

(2006)

船舶机电维修技术论文集

主 编 关德林 张晓锋
副主编 王宏志 沈 兵 魏海军



大连海事大学出版社

(2006)



ISBN 7-5632-1987-0



9 787563 219872 >

ISBN 7-5632-1987-0

定价: 36.00元

船舶机电维修技术论文集

(2006)

主 编 关德林 张晓锋

副主编 王宏志 沈 兵 魏海军

大连海事大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶机电维修技术论文集(2006)/关德林, 张晓峰主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2006.10
ISBN 7-5632-1987-0

I. 船… II. ①关… ②张… III. 船舶修理—文集 IV. U672.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第093723号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路1号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连海事大学印刷厂印装

大连海事大学出版社发行

2006年10月第1版

2006年10月第1次印刷

幅面尺寸: 185 mm×260 mm

印张: 26 字数: 629千字

责任编辑: 姜建军

版式设计: 晓江

封面设计: 王艳

责任校对: 沈荣欣

定价: 36.00元

2006 年全国船舶机电维修技术学术会议
组委会

张晓锋 教授 海军工程大学
沈 兵 教授 海军工程大学
关德林 教授 大连海事大学
王宏志 教授 大连海事大学
魏海军 教授 大连海事大学

主办

海军工程大学·大连海事大学

2006 年 10 月 26-27 日

中国·武汉

目 录

综 述

- 中国修船业现状与发展 中国造船工程学会修船技术学术委员会 (1)
- 振兴船舶配套工业 杨新昆 (8)
- 舰船电力系统网络控制器设计综述 尹 洋, 王 洁 (15)
- 船舶机舱综合管理与信息共享技术的研究 吴世君 (22)
- 舰船机舱的管理综述 阮周星, 刘忠新, 沈 武, 杨明玖 (29)
- 信息化战争条件下应急作战的海军战略后勤支援保障 阮周星, 沈 武 (32)
- 贯彻科学发展观 加强装备监测和计量工作 张长青 (37)
- 巩固和深化通用装备“两成两力”的建设成果 杨伟民, 沈 武 (40)
- 燃料电池技术在船舶领域的应用研究 吴桂涛, 孙培廷, 袁金良 (44)
- 国内外轮机模拟器的发展及对比研究 何治斌, 张均东, 林叶锦, 曾 鸿, 严浪涛 (53)
- 创新发展 构建和谐企业 黄思光, 郑华祥 (56)
- 加强质量管理 增强企业竞争力 罗运同, 马正亚, 马利军 (60)
- 牢固树立科学发展观 积极探索和推进装备修理质量监督和管理方法的创新
..... 刘小平, 胡海波 (62)
- 加强舰船修理资料档案管理 提高服务装备保障质量 郭连免, 马正亚, 郑 冲 (64)
- 提高信息安全与保密意识 加强对在办公计算机上使用USB存储设备的管理
..... 郑 冲, 马正亚, 郭连免 (67)
- 薪酬设计的发展趋势 李 黎 (69)
- 舰船监修室计划修理的综合协调工作 罗运同, 刘小平 (73)

失效分析

- 舰艇橡胶件性能原位无损检测技术初探.....刘波, 饶秋华 (76)
- 海洋船舶腐蚀与防护数据库的设计与实现.....李娅娟, 齐育红, 张占平 (82)
- 海洋防污涂料性能动态模拟评价.....罗晓亮, 张占平, 齐育红, 刘德良 (86)
- 基于Ostu法图像分割的船用缸套材料磨合表面评价.....何鸿, 关德林 (91)
- 12PA6V-280型柴油机连杆轴瓦故障原因分析.....沈岳辉, 刘传光, 郭连兔 (96)
- 船舶轴系强度校核的新方法.....吴家明, 易大连 (98)
- 船舶柴油机气缸盖裂纹分析与解决办法.....于浩然, 才玉国, 杨亚东 (102)
- 某船用柴油机损修理及原因分析.....朱金标, 张兴彪 (109)
- 石油管道环焊缝疲劳裂纹扩展特性研究.....沈烈, 于功志, 张文孝 (114)

故障诊断

- 异步电动机电磁类故障监测诊断方法.....赖延辉, 李槐树, 张晓锋, 郭尚芬 (119)
- 复杂结构船舶电力系统故障区域快速定位研究.....甄洪斌, 沈兵, 张晓锋 (125)
- 远程故障诊断系统研究初探.....焦绍光, 毛海涛, 李红江 (131)
- 基于优化技术的电力系统故障诊断数学模型概述.....康海兵, 蒋心怡 (136)
- 红外测温技术在船舶电气设备状态监测中的应用.....王超, 蔡璐, 董国保 (142)
- 舰船机电设备故障红外诊断基础问题的研究.....柴卓野, 曹占伟, 彭泽均, 孙宝芝 (147)
- 基于混合神经网络的柴油机故障诊断技术研究.....熊玲, 张晓丽 (154)
- 某船主推进机电流值过高故障排除.....邵茂良, 焦宇飞 (160)
- 环境温度对空气冷却器热负荷的影响.....李可顺, 朱金标, 孙培廷 (162)
- 改进的BP神经网络方法在船舶设备故障诊断中的应用.....孟宪尧, 韩新洁, 孟松 (167)
- 6S35MC柴油机燃油喷射系统的故障模式和影响分析.....赵俊豪, 黄连忠, 徐庆新 (174)

滚动轴承故障诊断.....	徐维克, 王莹 (179)
船舶故障事件树分析.....	刘晓平, 李可顺, 徐庆新 (183)
船用滑动轴承的性能及故障分析.....	才玉国, 于仁财, 李忠锡 (186)
一种船舶视频跟踪算法的研究与实现.....	曹辉, 张均东 (190)
某船I号起货机起升机构的故障分析.....	唐浩, 张洪朋, 陈良 (196)
某船液压舱盖系统开舱异常故障分析及排除.....	朱金标, 李可顺 (203)
某船液压舵机跑舵故障分析及处理.....	朱金标, 李文华 (206)
船舶尾轴润滑油液监控的数据挖掘.....	王宏志, 郭心红, 王乃凡 (210)
电机控制实验教学中的典型故障分析.....	蒋力, 王晓 (215)

维修保障

舰用XC-4 (89) 型控制仪检修平台设计.....	王军民 (219)
舰船电网拓扑结构的可靠性分析.....	焦绍光, 李红江, 毛海涛 (225)
MOV在能量吸收电路中的应用研究.....	杨锋, 庄劲武, 毛海涛, 徐国顺 (232)
资产评估理论在渔业船舶评估方案中的寻优分析.....	郭庆祝, 周晓光 (239)
影响舰船临时抢修费用的客观因素分析.....	姚智刚, 黄佳典, 王义, 何江清 (244)
装备可靠性、维修性对舰船临时抢修费用的影响.....	黄佳典, 姚智刚, 王义, 何江清 (249)
舰船结构预防性维修大纲制订方法研究.....	李彦强, 姚智刚, 张衍, 朱晓军 (251)
轮机人员对船舶排修的管理.....	阮周星, 李建春, 胡文生, 苏广东 (258)
船舶柴油机的使用与管理.....	张长青, 沈武, 陈业充 (260)
柴油机动力装置的使用、维护与管理.....	阮周星, 沈武, 苏广东 (265)
舰船机电设备动态维修决策系统.....	郭仪清, 郭明亮, 郭文勇 (271)
低速柴油机采用变流量冷却时冷却水温度控制方法.....	吴桂涛, 孙培廷 (275)

系统设计

- 网络控制系统的建模.....尹 洋,李洪科(281)
- 一种直流限流器的分析与设计.....毛海涛,焦少光,杨 锋,徐国顺(288)
- 电动斥力机构的动态分析.....毛海涛,杨 锋,焦少光,徐国顺(294)
- 大型远洋渔船机舱CAN总线技术的分布式监控系统.....郭庆祝,周晓光,郭远扬(300)
- PLC 在远洋渔船主机遥控系统中的应用.....郭庆祝,周晓光(306)
- 新型直流电力系统限流装置的试验研究.....张怀亮(311)
- 液化天然气船舶推进装置的研究.....李可顺,朱金标,魏海军,孙培廷,朱哲仁(316)
- 船用柴油机共轨燃油喷射技术.....徐庆新,黄连中,赵俊豪(322)
- 基于VB与MATLAB的PID简易仿真软件.....夏 极,巫 影(326)
- 虚拟设计在舰船动力系统中的应用研究.....吴家明(331)
- VB与PLC串行通信在柴油机控制系统中的应用.....巫 影,夏 极(336)
- 计算机在船舶控制系统的探讨与研究.....才振洲,王少毅(341)
- 船舶电站微机控制系统中改进型电子测功装置设计.....黄朝明,冯 惠(356)
- 船舶轴系动态校中计算的传递矩阵方法.....温玉奎,王宏志,关德林(359)
- 船用小型柴油发电机组自动化电站中微机控制系统实现方案.....武起立,冯 惠(364)
- 船舶电力推进的操纵系统.....于海宁,刘 攀(372)
- 基于 PROFIBUS 的某船 PLC 控制网络设计.....柯常国,杨俊飞,王孟莲,洪 敏(376)
- 基于 Ethernet 技术的舰船损管监控系统设计.....王 晓(382)
- 舰艇反渗透海水淡化装置的实验研究.....陈金增,钟民军,朱强华,李光华,王 怀(386)
- 某型潜艇空调能耗分析和节能研究.....钟民军,陈金增,吴 钢(391)
- 船舶柴油机电子控制调速系统的仿真.....韩晓军(397)
- 金属氧化物变阻器并联电容限制过电压技术分析.....江壮贤,杨 锋,庄劲武(402)



综述

中国修船业现状与发展

中国造船工程学会修船技术学术委员会

在世界经济全球化浪潮冲击下,建设航运强国和造船大国强的前景,给我国修船业带来了难得的发展机遇,同时又面临严峻的挑战。认真总结修船业现状,研究存在问题与发展对策,对促进我国修船业蓬勃开展、立足于世界修船业之林具有重要意义。

1 修船业现状

1.1 2005年修船业务大幅度增长

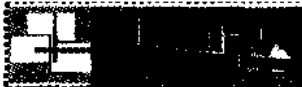
继2004年以来,我国修船企业修船总量大幅上升,2005年主要船舶修理企业完成工业总产值达140余亿元,同比增长40%左右,提前实现在2000年65亿元基础上翻一番的目标。根据2006年初“中国修船定期会议”(SPCC)的预测报告,中国各主要修船企业在2005年取得了如表1所示的业绩。

表1 2005年主要船厂的修船总量预测

序号	单位名称	修船产值/亿元人民币	修船数/艘
1	上海船厂	4.6	180
	澄西船厂	13.2	202
2	中远船务	33.5	522
	其中: 大连	(12)	(165)
	南通	(11)	(140)
	广州	(4)	(75)
	上海	(2.5)	(68)
	舟山	(4)	(74)
3	中海工业	12.5	547
4	华润大东	7.8	176
5	蛇口友联	4.6	135
6	广州中船远航 (原文冲船厂)	7.5	92
7	北海重工	4.3	114
8	山海关船厂	6.4	97
9	大连新船重工	3.2	9
合计		97.6	2074

各大修船企业修船各项指标大幅度增长的主要原因:一是受钢材涨价和需求拉动,船舶





修理价格迅速回升。二是修船企业通过提高坞修机械化水平和人员技术水平,船舶修期达到国际先进水平。三是主要修船企业加大了大型船舶和高技术、高附加值船舶的修理量,批量承接改装船业务,产值达到52亿元。四是修理外轮增多,政府部门支持多修外轮,给了优惠的出口政策,使企事业利润提升。现在,我国不仅可以承接7万吨级巴拿马型船、10万~15万吨级苏伊士型船,还可承接15万吨级好望角型船和30万吨巨型油船(VLCC)的修理。对40万吨级超大型油船(ULCC)也可进厂修理。

1.2 修船能力不断增强

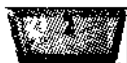
经过几十年的建设和发展,我国修船业不仅能够满足国内运输船、工程船、港口作业船、军船及海洋石油平台等修理的需要,还能承接众多的外轮修理业务。我国主要修船企业换板量已经达到了世界先进水平,所占市场份额不断扩大。据全国工业企业普查资料显示,目前我国有700余家大大小小的修船厂,分属中央16个行业、分布在25个省市,沿海地区修船3000载重吨以上船坞达100多座,坞容量已超过400万载重吨,专为修船用的6万吨级以上船坞近30座,超过世界船坞占有平均数。其中已经建成或即将建成的大型修船坞(超过10万吨级的)如表2所示:

表2 各船厂大型修船坞统计

	所在船厂	坞容量	形式	备注
1	山海关船厂	30万吨级	干船坞	
2	文冲船厂	15万吨级	干船坞	
3	南通中远船务	15万吨级	浮船坞	
4	大连中远船务	15万吨级	浮船坞	
5	大连中远船务	30万吨级	浮船坞	
6	舟山中远船务	17万吨级	干船坞	正在扩建
7	北海重工	30万吨级	干船坞	
8	北海重工	12万吨级	浮船坞	
9	澄西船厂	15万吨级	浮船坞	
10	华润大东船务	12万吨级	浮船坞	
11	华润大东船务	20万吨级	浮船坞	
12	招商工业蛇口友联船厂	30万吨级	干船坞	正在新建
13	招商工业蛇口友联船厂	30万吨级	干船坞	正在新建
14	万邦永跃船务	30万吨级	干船坞	
15	中海工业	30万吨级	浮船坞	正在改建
16	中海工业	20万吨级	浮船坞	正在改建

1.3 企业管理向国际化接轨

由于国际修船竞争日趋激烈,修船企业转变观念、强化管理,积极向国际化管理轨道靠拢,引进和采纳国外先进的管理思路、管理模式、经营理念和营销技术,建立起高效、精干





的企业管理运行机制,提高管理层次,不断扩大国际修船市场份额。

文冲等大型修船企业相继实现管理信息化。其核心是以修船报价为龙头、生产管理为主体,对控制成本、计价结账进行全系统、全过程计算机监控,真正做到修船管理优化配置、数据统一、信息共享、科学决策的目的。

中远船务全力打造“COSCO-SHIPYARD”中国修船优秀品牌,首创国内修船技术标准体系,致力于“产业化、集团化、规模化”的发展战略,通过优势资源整合重组,不断提升企业核心竞争力,并引进世界先进管理模式,优化生产管理流程,实现营销和修船总管制,实施全过程管理,使修期、质量、安全、成本得到有效监控,各项经营指标大幅度提高,已经成为世界修船业的一颗明星。

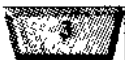
上船澄西船舶有限公司首家通过质量、环境和职业健康安全体系三标一体化认证。他们改进管理办法,推行一套“集中人力、物力、实现重点突破,确保船期”的措施,强化生产总管负责制,提高工程策划准确性、生产组织严密性和现场安全控制科学性,以“沟通距离短、协调环节少、落实指令快”的便捷指挥通道,开展一系列劳动竞赛:“每人提一条合理化建议”、“费用再降1%”、“出手质量一次成功”等活动,大大发挥全厂一盘棋大兵团作战的整体优势,缩短了修期。

中海工业根据公司“依托中海,围绕主业,争创一流”的发展战略和“一业为主,多元发展”经营方针,以提高公司核心竞争力为目标,以完善公司质量体系为重点,以注重“诚信”为核心的企业文化建设,积极推进以“六统一”(“统一对外”、“统一经营”、“统一计划”、“统一调度”、“统一收支”、“统一核算”)为主要内容的企业各项改革工作。通过实施“每日调度会”、“统一工号”、“黄灯管制”、“9+1表”成本管理、资金统一管理、统一经营等集团内部的修船一系列制度和措施,使公司经营管理的关键环节得到有效调控,内部不良竞争得到有效遏制,公司的规模优势得到有效发挥,边际效应得到充分显现,经济运行质量大幅度提高,实现了扭亏为盈,利润大幅度上升,企业效益明显改善,促进中海工业走上了内涵式发展的道路。

北海船舶重工有限责任公司为保证船舶进厂后的生产指挥、服务系统的责权统一,分厂全面推行了单船项目主管总负责制。单船主管工程师代表厂长行使多方面的指挥权,既负责船、机、电专业工程方面的生产指挥,也负责船方对工程、生活等方面的要求进行协调服务,同时还负责单船成本控制和单船结账与效益的直接责任。各职能部门和作业单位的员工视主管工程师、船东的需求为工作指令,并以“服务链”覆盖“指令链”。顾客提出的要求一般都可以在这个系统中得到立即处理。顾客为中心的理念已深深印记在北海修船作业员工的心中,做到了“质量达标不是最终目的,用户满意才是真正追求”。

1.4 整合改造扩大生产能力

经过整合改造优化,提高了修船技术含量,激发了各自长处。江南造船有限责任公司把修船重心移向双高船舶,承接“远望号”航天测控船和“雪龙号”极地科学考察船修理任务;采用干粒移位法,成功改装韩国籍一艘沥青船,在高技术含量、高附加值修船上有强劲的竞争优势。山海关船厂将VLCC改装成一艘大型矿砂船。华润大东把俄罗斯6000 DWT船改装成运木材船。上船澄西船厂在激烈市场竞争中把大型船改装任务作为主攻方向,近年来先后





改装水泥自卸船、散货船加长、矿石运输船、汽车滚装船、破冰船、单底油船改成双层底油船等多个品种船舶改装修理任务,2004年改装15艘,占总修理量40%以上,并取得较好的经济效益,成为“要改装去澄西”的一个品牌。

1.5 着眼未来开拓新基地

全国大型企业各自发挥自身优势,着眼未来,努力开拓修船新基地。

中海工业在长兴岛南岸中段建立大型修船基地,收购了上海粤海长兴船务工程有限公司,一期工程投资8亿元,形成3000米岸线,2个坞、8个泊位,年修船产值可达10亿元。建成后能修VLCC、超巴拿马型船、第六代集装箱船及海洋工程装备。目前已拥有超巴拿马型浮船坞“中海普陀山号”。

中远船务收购舟山六横岛鑫亚船厂整体资产,做到当年投资当年收益。并与新加坡圣科海事集团共同投资20多亿元,在岸线长5000米,占地170万平方米上,建设7个修船坞和10个码头,其中10万吨级修船坞1座,15万~20万吨级修船坞2座,30万吨级修船坞2座,30万吨级多用途船坞1座,海洋工程船坞1座。全部工程计划于2010年完成。大连中远船务在大连港建造长340米、宽76米、深27米、吃水5.4米,有3个标准足球场面积大小的浮船坞,它能承担30万吨级油船、8100TEU集装箱船等巨轮的修理和改造任务,是亚洲最大的“水上修船车间”。

中船集团在崇明的修造船基地一期工程进展顺利,修船区已于2003年6月正式投产。修船船装码头、附属设备4070门机、10万吨“祥生”号浮船坞、舱口盖修理平台等修船设施等已全面投产。中船集团公司还将在华南龙穴岛上建设一个占地7.97平方公里,技术先进、人员精干的修造船基地,将形成200万吨的生产能力。文冲船厂也拟增加一座8万吨级修船坞。

华润大东改装的20万吨级浮船坞也已建成投产,大大提升修船能力。

中船重工集团公司北海船舶重工有限责任公司的30万吨和15万吨修船坞及配套工程进度较快,大坞配套起重机200吨龙门吊的主梁、刚性腿和柔性腿正在厂内加快制作。200吨龙门吊件已完成总工程量的90%,有望今年上半年投产。

友联船厂(蛇口)有限公司在大铲水道孖洲岛兴建修船基地和进行航标改造,预计在2007年底完工。新基地共占地65万平方米,码头岸线达1800米。届时,该公司将拥有两个VLCC干坞(400米×87米、360米×65米),两个浮船坞(240米×34米、190米×27.8米),码头岸线长达3000米。

福建泉州船厂修船基地近期兴建30万吨级船坞(360米×76米×13.5米)和17万吨级船坞(300米×58米×13.5米)各一座、码头长900米、总投资8亿元人民币,2006年建成后可年修VLCC、17万吨散货船、15万吨油船,年产值达7.53亿元,填补海峡两岸大型船舶修理的空白。

浙江万邦永跃船务30万吨和10万吨干船坞将于近期投产,年产值可达7亿元、岱山引资兴建大型造修船基地,占地450亩,总投资5亿元,建造30万吨级和15万吨级干船坞各一座,5万吨级造船台1座,码头两座以及相应设施,计划在2008年完成全部工程,可以投入生产。

天津新港船厂塘沽临港工业区30万吨和10万吨修船坞正在加快兴建。韩国大洋商船株





式社落户在大连开发区大孤山半岛规划建设 10 万吨和 15 万吨船坞各一座, 近期开工实施。

有远见的企业家, 抓住上海建设国际航运中心的机遇, 规划在杭州湾洋山深水港兴建修船基地, 跳出江口区域, 接纳全球新一代集装箱船全天候进出、靠泊, 成为集装箱枢纽大港, 为修船带来无限商机。

1.6 向专业化社会化修船迈进

为解决完整性修船, 适应国际国内航运部门的要求, 原中国船舶工业总公司组织厂家筹建近百家专业技术维修服务站。大多数维修服务站同国外著名厂商合资或合作经营, 使国内修船逐步向专业化、社会化方向迈进。主要的维修服务站有 ABB 增压器维修站、苏尔寿等柴油机配件维修站、船舶自动化维修站、船用吊机维修站、DP 拖船及可变距螺旋桨维修站、金属热喷涂维修站, 以及建立修船配件和油漆保税仓库等。如今, 世界名牌油漆等船舶修理设备材料均可及时供应。国内主要的修船坞还配备了自动喷丸除锈、喷漆高空作业车、坞壁车及液压边墩等设施, 提高了坞修效率。

2 世界修船需求给予机遇

目前, 世界修船市场相当活跃。据世界海运咨询机构预测, 2005 年世界修船需求的增长率将达 2.1%, 2006 年至 2010 年将上升到 2.5%, 而 2011 年至 2015 年将回落到 2.0%。世界修船市场需修量给予中国修船业很好的机遇。

(1) 船队构成拉动修船需求。截至 2004 年年初, 世界商船队船舶保有量约为 4 万艘, 平均船龄为 19.1 年, 需要进行定期或不定期的维修。各国船级社船检规则趋于严格, 船舶的修理将更加频繁。

(2) 世界船队船舶已达 8.26 亿载重吨。船舶正趋于大型化, 大型船舶的修船需求明显增加。据有关部门预测, 集装箱船修船业务量 2005 年至 2010 年将增长 32%, 2011 年至 2015 年可能略有回落。

(3) 鉴于船舶的安全性和环保性, 居全国首位各相关机构对在航船舶的结构、性能等提出了越来越高的要求。将给修船厂带来许多船舶更新、加强结构及提高性能等改进性修理业务。

(4) 由于国际海事组织 (IMO) 在淘汰单壳油船新规则中明确规定了单壳油船的使用截止日期, 为保证在航单壳油船在今后几年的正常营运, 船东会对一些单壳油船进行维修和改装。

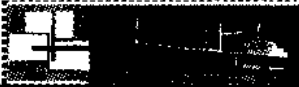
(5) 促使今后几年船舶量增加的国际规则, 如《国际防止船舶海洋污染公约》以及《船舶压载和沉淀物控制和管理国际公约》, 将于 2005 年 4 月生效, 船东对现有船舶结构纷纷进行升级改造。

(6) 旺盛的石油需求和谨慎的能源安全, 使浮式生产储油 (FPSO) 船的市场需求大幅增长。FPSO 船的一个重要来源是改装旧油船, 世界 FPSO 船的改装业务正逐渐扩大。

3 中国修船业面临的问题和对策

随着世界修船业的不断发展, 修船市场的竞争日趋激烈。目前欧洲修船业占世界修船市场的份额稳中有降, 东南亚国家已成为世界修船中心。新加坡是世界主要的修船国家, 其年





修船产值占世界修船总产值的 9.48%，其中 FPSO 船改装产值占世界总产值的 2/3，海上平台修理/改装产值占世界总产值的 60%。中东修船业在激烈竞争中凭借地理优势和优质服务赢得了良好的声誉，其所修船舶类型众多，客户群也日益壮大，占有地理位置和技术、服务等优势。日本和韩国也有较强的实力，虽然目前他们发展的重心在造船上，但在“高技术”、“高附加值”和“大型化”（两高一）的修船订单上仍具有竞争力。

面对国际市场和国际竞争，中国修船业面临的主要问题有：

3.1 修船向“双高一”方向发展尚不适应

大多数修船企业设计能力差，没有船舶改装的专业设计院。当前二三十万吨级大型修船坞的差异化不足，修船科技进步投入太少，影响向“两高一”的修船业方向发展。

3.2 修船工艺技术规范跟不上

各修船企业缺少修船专业技术规范，对一些新型船舶如 B-69 型大型远洋渔业加工母船、工程船、单壳油船改成双壳油船的修船技术及工艺规范亟待补充和修订。

3.3 专业化、社会化修船需要继续强化

要进一步提高修船的质量，确保完整性修船，修船专业技术维修服务站面临新的洗牌和重组。

3.4 修船环保问题尚待根本解决

修船企业在过去的岁月里，注重了污水处理，对烟囱粉尘的处理加强了治理。但按照科学发展观来看修船业，环境保护存在的问题，需要积极创造条件，尽快与发达国家的环保标准和要求接轨。

3.5 修船行业船坞设施出现重复建设

修船坞的建设由于没有统筹规划、缺乏严格论证和合理布局，必将出现阶段性的供需失衡，对于保持合理的价格和利润形成重大威胁。

对于以上这些带有行业性、长期性、结构性的问题，业内有识之士在下述对策方面越来越趋于达成以下共识：

(1) 尽快确定行业的发展目标

据统计，2000 年全国修船产值（含军船修理）65 亿元，占世界修船产值 250 亿美元的 3%，计划 2006 年全国修船产值达到 160 亿元以上，约占世界修船产值 7%。根据修船业内的预计，2010 年达到 260 亿~300 亿元，占世界修船产值 10%~13%，2015 年~2020 年，中国的修船产值可达到 400 亿~500 亿元，占世界修船产值的 19.3%~24%。这种预计，应该尽早纳入行业的规划，以促进在总量增长的同时，修船技术水平的跨越式提升，促进与世界修船技术水平接轨，指导行业形成合理的结构和增长方式。

(2) 发展修船企业管理技术

修船企业要破旧立新，修改或废除不适用的规章，制定与国际惯例相一致的修船法规和条款，行业运行规范而有序，企业的经营管理、生产计划、物资管理、生产与安全管理、成本跟踪与控制、人力资源、设备管理、财务管理、质量管理等得到相互协调，形成良性循环。





(3) 把握修船基础设施同港口泊位建设同步

根据交通部规划, 2010年, 沿海港口货物吞吐量达30亿吨, 集装箱1亿TEU, 进口原油20万吨以上大型泊位接卸能力1.6亿吨, 接卸比重达95%。大型矿石码头接卸矿石比重达90%。针对我国进口矿石接卸码头大型化和进口原油接卸码头大型化, 以及第五代、第六代集装箱码头的建设, 促使大型修船坞、码头、系泊能力等的建设, 必须同步及时跟上。

(4) 引进与开发改装设计软件技术

船舶改装设计工程与国外同行业相比, 国内修船企业的主营业务中船舶改装工程所占比例占35%左右(而新加坡等修船业较发达国家的船舶改装工程所占比例在50%以上)。各主要船厂虽积累了一定的经验, 但在改装设计、施工工艺等方面, 应采取引进国际先进专业软件, 聘请技术顾问, 培训人员等措施来提高我国的改装设计技术, 加大船舶改装技术的开发力度。

(5) 进一步开展水下维修

应进一步开展水下维修的可行性及方案论证, 组织力量开展对水下清扫、检测、涂装工艺、材料设备的研制及引进设备的国产化工作, 与国外水下维修工程公司搞联合经营, 引进技术和设备, 加强对船体清扫、推进器抛光、推进器和舵的修理、锌板换新、艏轴和舵系水下测量、水下焊接、水下涂装以及水下粘接等技术的研究。

(6) 引进开发防污染涂装技术

采用真空回收装置和超高压水(压力在200 Pa/m以上)除锈来解决干喷砂除锈对环境污染问题, 引进国外先进涂装技术和设备, 解决光污染、大气污染、水体污染等环境污染的技术与工艺, 逐步走向清洁生产。

(7) 建立全国修船信息网站

运用现代信息技术, 掌握国内外修船厂动态, 才能在激烈市场竞争中发展壮大。目前各大型修船企业都有自己的网站, 应当尽快建立全国统一的修船信息专业网站, 广泛交流国内外修船信息, 推广新技术、新设备、新工艺、新材料, 实现资源共享, 建立全国修船信息网络, 促进修船企业的发展。

(8) 建设一支高素质的修船员工队伍

为适应修船事业发展, 加强对新技术、新工艺、新材料的应用, 建设一支高素质的修船员工队伍十分迫切。高素质的员工队伍和充足的劳动力资源是修好船的根本, 有了一支稳定且素质较高的工程技术人员、施工人员队伍(包括外包工程队), 修船质量、效率、安全才能有可靠的保证。

(9) 争取国家给予优惠政策

对巨型船坞和码头的投资应给予贴息免息支持; 对修船重大技改融资和外资引进给予奖励, 我们非常赞赏国税、海关、外经、商务等主管部门对中远修船的支持力度, 实施外轮修理“异地报关, 统一结汇, 集中核销”等方式, 对于国有修船厂提高国际竞争力是十分有益和值得推广的。

(本文由鲍承昌执笔修正; 朱儒席、李正建审改补充)





振兴船舶配套工业

杨新昆

(中国船舶工业行业协会常务副秘书长)

中国船舶配套工业,自1978年改革开放以来,结合中国造修船工业发展的实际情况,贯彻了“引进+研制”的方针,船舶配套工业有了很大发展,奠定了发展的初步基础。跟踪国际著名厂商的品牌与技术,通过引进许可证贸易和自主研发相结合的道路,不断增强船舶配套工业的发展。目前拥有一批具有良好品牌、信誉和售后服务优势的企业。这类企业,具备做大做强实现新发展的条件和基础。造船产量已连续11年居世界第三,仅次于日本和韩国;修船产值超过140亿元,但船舶配套工业国产化率则由70%下降到40%左右,日、韩以及欧洲船舶配套设备抢滩中国市场,船舶配套工业面临新的挑战与机遇。

1 船用机电设备自身特点

我国船用机电设备与发达国家相比较有其自身的一些特点:

(1) 品种多,涉及专业面广,有些设备本身还存在二、三轮配套,仅依靠造船厂或船舶企业集团不能大幅提高船用设备的国产化或本土化率。

(2) 船用设备和船体制造相比有较高的附加值,因此虽然欧洲几个主要的造船国家在船舶市场上所占有的份额已经很小,但在船用设备市场上却占有较大份额。

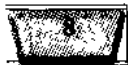
(3) 船用设备的售后服务能覆盖全球各主要港口,过去只要求在主要港口设有维修点或零配件供应站,目前有些设备的维修及零配件供应可以通过互联网实现。

(4) 一些主要船用设备的设计已经十分成熟,并获得船东的广泛认可,设计开发新的品种有较大困难,但存在修改完善的可能,当前我们最重要的是在引进专利技术的基础上扩大制造能力,提高制造水平及设备本身的国产化率,进行工艺创新,降低成本,以满足船厂的需要,在有可能时进行消化吸收和创新,目前少数设备已经能够进行这方面的工作了。

(5) 船用设备应是面向全球市场的,因受技术引进商务条款的限制,有些船用设备只能在中国销售,在造船产量比较低的时候,这些设备的产量也下降,技术引进及生产费用提高,在国内市场没有竞争力,现在造船产量日益增加,我国又加入了世贸组织,这方面应有所改善。

(6) 有些船用设备不是买到图纸就能进行生产,如一些自控设备,还需要根据船东及船型的需要进行开发设计,此外还有品牌及船东认可的问题。

对这些特点和情况必须逐一把握,有针对性地做工作,才能不断提高船用设备的本土化率。





2 船舶配套工业发展现状

船用机电设备在一艘船的船价中占有约40%的比例,原材料及物耗约占30%,船厂进行船体及自制件的制造、涂装、舾装、各种检验、设备调试以及试航等工作的人工费、动力消耗及设施使用等费用约占30%。在我国生产的船用设备的装船率不仅对船舶产品的市场竞争力有着重大影响,还影响着船舶工业对国民经济所能作出的贡献及带动其他行业的力度。

2.1 船舶配套引进技术有了成果

在国家政府监管部门大力支持下,仅原中国船舶工业总公司系统先后从瑞士、丹麦、德国、法国、挪威、英国、日本、奥地利等国引进了船用主、辅机、舱室机械、甲板机械、船舶电器以及铸铁件60余项先进技术。其中,大部分是以制造许可证方式引进的,也有以合作生产或合资方式引进的。通过引进、消化、吸收再创新,在一大批大型关键船舶配套设备的研制生产方面取得重大突破:成功引进了代表世界领先技术水平的16/24等四型中速机制造技术;成功交付了世界最大级别的船用螺旋桨,单桨重量近百吨;甲板机械成功实现了为大型油船、散货船和超大型集装箱船的配套。

多年来,中国船舶配套企业利用引进的先进技术,积极消化、吸收和创新取得很大成绩,所生产的船舶配套产品已广泛用于我国建造出口船、江海船、内河船、工程、港作船等各类船舶上,同时一些船用配套产品还整机向海外出口。引进国外船舶配套工业先进技术制造生产,证明是成功之举。

2.2 自我研制、创新配套工业产品

在引进国外船舶配套先进技术的同时,我国也自行研制、创新船用配套工业产品。原中国船舶工业总公司的配套企业、设计科研院所,经过几十年艰苦努力,已成功地开发、设计、制造了40余项船舶配套工业产品,为中国初步形成较完整的船舶配套工业体系,奠定了初步基础。一批中国企业的产品,维持着较好的出口装船率。如低速大马力柴油机、中速柴油机及发电机组、高速发动机、船用起重设备、海洋工程大型起重设备、锚绞机、舵机、船用焚烧炉、螺旋桨及船舶多种推进系统,海洋锚链、救生系统、净油器、增压器、船用舱口盖及液压系统、污水处理装置、船用锅炉等。例如镇江辅机厂生产的艇机、艇架;华南船用机械厂生产的船用吊机;上海船用柴油机研究所生产的LSK燃油辅锅炉、燃油废气组合锅炉;镇江生产的折叠式、滚动式和吊离式舱口盖等产品已广泛用于我国建造的远洋船和出口船上;上海航仪总厂生产的DH-II陀螺罗经已批量出口美国和丹麦;镇江正茂集团引进瑞典伊莎公司制链机组以及自制制链机组后,年产船用锚链3万吨以上,其中,70%用于出口;安庆船用电器厂生产的船用厨房饭锅、燃油灶等多种产品用于出口船的配套;武汉重型铸锻厂生产的轴系、舵系、柴油机铸锻件已广泛用于各类船舶上。显而易见,我国自行研制生产的许多船舶机电配套产品,不仅用于国轮上,还用于我国建造的出口船上,进而发展到船舶配套机电产品整机出口,这不能不说明是个历史的飞跃。

2.3 重点突破船用配套设备关键制造技术

在柴油机领域,沪东重机股份有限公司相继制造出世界首台80MC-C大型柴油机、国内





首台为 VLCC 配套的 7S80MC 机以及国内单缸功率最大的 7K90M-C 机,大连船用柴油机厂也成功进入 K90MC-C 机、7S80MC 机制造领域;在智能型柴油机方面,宜昌船舶柴油机厂、大连船柴、沪东重机分别制造出了 5RT-Flex58T-B 机、7RT-Flex58T-B 机和 7RT-Flex60C 机。业内还成立了大型船用曲轴生产企业——上海船用曲轴有限公司。该公司于 2005 年交付 5 根大型船用曲轴,并实现了大型船用曲轴从毛坯到精加工的完全自主生产。此外,业内企业还自主设计了代表世界先进水平的超大型锚绞机。

2.4 开发船舶配套基地建设

配套基地建设是“十五”期间船舶配套业的另一大亮点。在此期间,中船临港船用柴油机生产基地一期工程正式开工。一期项目于 2007 年建成后将形成年产 100 万马力大功率低速船用柴油机的能力。在船用曲轴方面,继上海船用曲轴有限公司一期工程后,上海电气临港大型船用曲轴二期工程也破土动工。2010 年,形成 160 根大型船用柴油机曲轴的年产能。中船重工集团公司的大型船用曲轴基地也于“十五”在青岛奠基。该基地是中船重工在青岛建设的船舶配套基地的一部分,一期工程完工后,可年产大型船用曲轴 50 根。关键配套设备基地建设,江苏、浙江、重庆、武汉、大连等地也都制定了配套业的发展规划,打造船舶配套园区,当地的造船企业走“总装化”造船之路提供有力支撑。

2.5 船舶设备工业的总体水平不断提高

(1) 在高附加值船舶方面,全船机电设备价格(不含材料和钢板)占全船价值比例为 35%~45%,其中采用国外设备的约占全船机电设备价值的 60%,采用中国本土化设备占 40%。

(2) 在常规船舶方面,全船机电设备价格比例为 30%~35%,目前采用国外设备占全船机电设备价格的 30%~45%,本土化设备占 70%~55%。

(3) 随着船舶向高附加值、大型化方向发展,国产设备柴油机、发电机组、螺旋桨、安全救生系统、电气系统、电源、警报系统、照明系统、锚泊、甲板机械等船用配套等设备,已能制造并愈来愈多地满足装船使用需要,发展潜力较大,产品技术水平总体上达到国外当代同类产品水平。

(4) 在船舶导航、通信、操舵系统、特殊船舶操纵系统、辅助系统等配套产品领域,许多装船使用的,还多采用国外设备。

(5) 船舶设备制造业,已具备一批重要的企业及相关零部件、辅助设备的供应企业,形成了相当规模的配套产业链,在研发、制造、销售与服务方面,正在迅速的发展壮大。

3 船舶配套工业薄弱环节

“知彼知己、百战百胜”要想准确地分析中国船舶配套工业的薄弱环节,首先应了解国外先进船舶配套工业状况。欧洲从英国资产阶级革命开始,资本主义及其市场经济的发展已有 380 多年的历史,尤其自欧洲第二次工业革命后,现代科学技术和现代化工业有了长足的发展,随着欧洲造船工业的快速发展,其船舶配套工业得到同步发展。

早在 20 世纪 70 年代以前,世界大型低速船用柴油机八大名牌中,在欧洲占有七个,分布在丹麦、瑞士、德国、瑞典、意大利、荷兰、英国。丹麦的 B&W 和瑞士的苏尔寿机,在





不断地竞争造机产量的首领地位的过程中,成立了MAN-B&W公司,进一步增强竞争能力。欧洲如此众多的发达国家的船用配套产品,不仅满足国内造修船配套之需,还大量向海外出口。日本在20世纪五六十年代大力发展船用配套产品,目前,拥有一大批著名的船用配套产品,日本造修船工业所需船的配套产品基本可以自给自足。而韩国随着造船工业的快速发展,造船配套设备国产化率已达85%左右,30万吨超级油船的大型主机及其曲轴铸造加工,均可以在本国解决。有数据显示,近10年来,中国年造船完工量翻了两番有余,但造船技术与世界先进水平的差距基本没有缩小。专家指出,只有将国产设备配套率提高到80%以上时,船舶工业才能真正成为资金、技术密集型行业。目前,中国平均本土化设备装船率不足40%,而日本超过98%,韩国也达到90%,甚至我国有些重要电子系统本土设备装船率还不到17%。

中国造船从产量上讲,虽然已连续多年居世界第三,可是船舶配套产业与日本韩国还相差甚远。20世纪七八十年代所引进的50多项船用配套产品的制造技术,由于缺乏消化创新,在生产水平和技术性能上,已远远落后于国外同行业。国内制造的民用大型船舶中,导航、通信、操舵系统、特殊船舶操纵系统、辅助系统等设备均为国外生产,导致造船成本上升,劳动力价格优势被抵消。事实上,我们现在只是在替国外企业推销船用设备,顶多挣一点劳务费而已。到目前为止,上海、大连和广州已被规划为我国的三大造船基地,其中中船集团斥巨资发展长兴岛和南沙龙穴岛两大造船项目。即使上海、大连等地的船舶配套工业已渐成气候,国产程度仍未超过40%,甚至有的不足20%。造成的原因就是技术和服务两大因素。从技术层面来看,许多船舶设备的生产技术发展相对滞后,在性能、质量、规格和品种方面与国外同类产品比较存在着一定差距,甚至还有一些关键的高技术、高附加值的船用设备和部件国内根本不能生产,只能依赖进口。从服务层面看,国内大多数配套厂没有能力或没有意识去建立全球售后服务网络,而国外的产品一旦发生故障,可在短时间内根据编号更换配件,最大限度地保证船舶的适航能力。同时船舶配套设备国产化下降的原因还存在:

(1) 国内配套企业的规模和制造能力普通不强,如国内低速柴油机企业的规模和制造能力远远低于日本、韩国的低速柴油机企业的规模和制造能力;大型柴油机曲轴是船用主机上最重要的部件之一,虽然上海已能提供,但仍需进口,经常出现船等机、机等曲轴的严重现象,船厂订不到主机就不能承接船舶订单,严重影响着中国造船工业的快速发展;中国配套设备企业在国际航运船舶中未设设备供应商,在世界各地没有维修网络,售后服务需要解决;有些引进许可证专利技术的配套设备,因制造企业的工艺技术和手段落后,影响了竞争力。同时,有些国产配套件的质量控制未能跟上,也影响了产品质量的稳定。配套企业开发能力有待提高,有些处于跟踪开发阶段,船用导航设备及船舶自动化产品差距大。中外合作与中外合资发展船舶设备要对外方厂商和引进产品所含技术量进行选择,防止负而影响。船舶工业行业协会对船舶配套企业发展中的组织、协调和维护企业利益的作用还需要加强。

(2) 在船舶动力装置中,按制造许可证或专利协议在国内制造,目前可供出口的有船用主机、辅机,压载泵,主海水泵、消防泵三大主泵等,而其他动力装置则很难出口,同时也影响国内造船工业单机配套。主要原因是原来已签约专利协议或制造许可证到期未及时续签,因而中断协议停止制造。

(3) 国外船舶配套产品制造技术不断进步,国内有关厂家未能及时跟踪,没及时签署新的专利协议或制造许可证,而按引进的老机型生产已不能适应造船配套的需要。例如,为保



护环境, IMO1997-MARPO(73/78)公约附件V1条例13,对船用柴油机排气释放的氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)等均有新的规定。

(4)按引进制造许可证或专利协议制造的柴油机、部件、配件以及其他有关动力装置的生产,据协议有关条款规定,对世界划分区域范围限制产品出口。目前,印度、印度尼西亚、泰国、越南等东南亚国家造、修船均对我国产品有需要,因为有限制区域出口,则不能引进满足用户需求。

(5)船用通信、导航设备的制造是船舶配套工业中薄弱环节。一方面,海外高科技产品,如某些雷达,电台、罗经等不愿签署专利协议,则强行国内厂家停止原产品生产而专门生产专利协议产品。通信、导航设备引进专利协议谈判具有一定难度,进而不能适应造船配套的需求。

4 跟上国际船舶工业发展趋势

中国加入世贸组织后,船舶配套工业国内市场竞争国际化,外企入驻中国后人才实施本地化,使中国船舶配套工业面临更大的挑战,竞争会更加激烈,同时也为中国船舶配套工业的发展带来新的机遇。

4.1 如何稳步健康的发展

为使中国船舶配套工业做到稳步健康的发展,针对国内外船舶工业新形势:一要有选择地引进国外技术和知名厂商、中外合作要有发展;二要适应新的市场发展需求,加快推进国有配套企业的体制改革、机制创新和投资主体的多元化,发展多种形式的中外合作、中外合资企业,有条件的产品,向世界船舶制造基地发展;三要重视市场研究,大力培养市场运作与营销人才队伍,加强企业开拓市场的能力。建设以企业高端人才为顶层以及不同层面人才的金字塔结构;四要以市场为出发点,加强行业协会组织、协调企业在开拓国际、国内市场与推销、评价配套产品以及信息化交流、维护市场秩序等方面的特殊作用;五是加强船用设备技术研发能力和采用新技术、新工艺的能力。从市场开发、产品经营、设计、制造、质量控制、成材核算、销售到维修服务,形成良性循环机制,提高企业国际竞争力;六要实施品牌战略。满足以出口装船和提高本土化(多种技术途径)船用设备占有率,成为骨干企业的经营发展核心目标;七要推动本土化配套企业与造船企业、航运企业之间市场信息交流机制,促进协调发展;八要推动专业化,规模化生产,强化信息化、现代化管理,不断降低成本,保证产品质量,获取市场销售收益的最大化。同时应做到三个适应:

(1)要适应中国造修船工业发展的要求,使船舶配套工业同步发展。2005年,全国造船完工量突破1000万载重吨,达到1212万载重吨,同比增长36%,占世界市场18%;承接新船订单1500万载重吨;截至2005年12月底,手持船舶订单3760万载重吨,同比增长9%。全国规模以上船舶工业企业实现产品销售收入1000亿元,同比增长18%;全行业实现利润总额超过30亿元;船舶出口创汇超过47亿美元;随着修船船坞大型化的建设,船舶及海洋石油平台改装修理工程的增加,预计2010年全国修船产值可翻一番,达到260亿元人民币。根据造、修船发展战略目标,运筹现有船舶配套工业,尽快做到同步发展。

(2)要适应造、修船向双高技术、大型化方向发展。进入21世纪,许多国家重视和加



紧开发海洋石油,海上钻井平台、采油平台及其构筑物、浮式海上生产储油船等建造、维修、改装的任务与日俱增,RO/RO、大型化学品油船、LPG、LNG 船新造和维修业务不断涌现。大连新船重工公司自承造国内第一艘 30 万吨超级油船以来,已承接国内 36 艘,已交船 10 艘,国内最大的 8 000 TEU 集装箱船已下水,5 618 TEU 集装箱船已多艘交付使用,这标志着新造船已向大型化方向发展。这些船舶配套设备的国产化率更低,大连建造的首艘超级油船的主机、锅炉等均由海外提供,中远——川崎建造的超级油船的配套设备大约 90% 由日本提供。对双高技术船舶以及大型船舶配套设备国产化问题,已到了不得不考虑的时候了。

(3) 要适应中国入世的要求。过去中国是在政策指导下的对外开放,如今已加入世贸组织,是在 WTO 法律法规框架下的双方开放,企业要公正、公平竞争,提高竞争的透明度。一方面,政府机关要转变思想观念,修改或废除不适用的法规,制定适应 WTO 要求的新法规;另一方面企业要真正走向市场,打破地区之间、部门行业之间的封闭式分割的局面,使企业形成真正竞争力,不断提高船舶工业配套水平和能力。

4.2 船舶配套工业发展的振兴之路

(1) 有条件的、关键的船舶配套要立足国内。我国船用主机、辅机、增压器在成功引进国外制造许可证专利后,产品产量有了很大发展,但仍满足不了快速发展造船的需要,充分利用我国中外合资企业政策,在“十一五”船用配套产品将有很大突破,尤其是造机和曲轴产品:上海厂商和日本三井在上海临港工业区合资建年产 300 万马力低速船用柴油机厂,韩国斗山在大连开发区建年产 300 万马力低速柴油机厂于 2008 年投产,韩国 STX 重工在抚顺建年产 1 000 台船用柴油机厂,宁波中策动力机电集团扩建柴油机厂,将建 5 000 马力以下柴油机 300 万千瓦。中船集团安庆柴油机厂扩建,将达年产 800 台中速柴油机的能力。以往因进口而受制于日本、韩国的大型曲轴已在上海建厂投产,中船重工海西湾基地年产 200 根曲轴工厂已开工建设;大连市也在筹建大型曲轴毛坯生产厂;资阳机车厂生产中小型柴油机已出口韩国。将逐步满足大型低速机造机需要,同时要不断提高造机配套件的国产化率。

继续发挥船用锚链生产优势,进一步提高出口比重。目前全国拥有船用锚链厂 13 家,拥有闪光焊接制链机组 34 套,船用锚链年生产能力为 12 万吨,占世界总能力 40%,出口锚链产量已超过世界出口量的 20%。目前可生产锚链最大直径达 152 mm 超大规格锚链及配件,可用于 60 万吨超大型油船上。生产 105 mm 四级系泊链,用于海洋石油平台、大型油船上,使用寿命长达 20 年,是最高级别锚链,世界仅有瑞典、日本极少数国家有能力制造。

船用主海泵、消防泵、压载泵等机舱三大主泵,目前在天津生产,质量不错,可供出口,国内厂家生产的 BLM、IHI、Hugglunds 船用吊机也可供出口,应该把可供出口的船用配套产品这块蛋糕做大、做强。

关于船用钢板供应更应立足国内。目前船舶设计向钢板超宽方向发展,以提高造船效率。如印度设计建造的 5 万吨散货船船板最宽达 4.09 m,船板厚度大多在 20 mm 以下,但自龙骨、A 列板、艏艉柱等不同部位,钢板厚度达 40、60、80、100 mm,要求国内钢厂能引进超宽超厚轧机,满足造船配套钢板之需,是完全可以做到的。

国内生产船用油漆厂家遍地开花,但绝大多数仍未创出名牌影响油漆销量。国外船东大多惯用国际名牌船用油漆,即英国的国际牌、丹麦的老人牌、荷兰的西格玛牌、日本中国涂



料等,国内蛇口海虹牌油漆与丹麦老人牌合作生产,油漆质量受到船东好评,最需要解决的是船用油漆国产化问题,尤其用于我国建造的出口船上以及用于外轮修理上。

(2)尚不具备条件的坚决走合作合资之路。中国船用配套产品最薄弱环节为通信导航设备,船用雷达、电台、电罗经等缺少优质名牌产品,长期未得到有效的解决。辽宁无线电二厂(集团)成功地引进日本古野雷达制造技术,年产船用雷达3000台以上,部分产品已向海外出口,该企业在2005年销售额已超过50亿元人民币,成为大连市中外合资企业的一个新亮点。

随着中国船舶配套设备国产化率的下降,同时造修船产量迅速提高,欧洲、日本、韩国等厂家正瞄准中国船舶配套产品市场,最有代表性的是韩国厂商,已决定在大连技术经济开发区,筹建船用配套件工业园区,三年后销量超过10亿元人民币。港商和大连厂商共建占地近70万平方米的船舶配套工业园区;营口的辽宁船舶配套园区已开工建设。以上海为中心的长三角船舶配套业的建设与发展已在提速。

最近舟山市已建成船用配套产品交易市场,并要逐步融入船用配套设备的全球开发、制造、采购、销售体系。

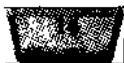
在尚不具备条件以国产为主的领域里,坚决走合作生产或中外合资之路,搞好售前服务和售后服务,合理利用国内、国外两个市场、两种资源是当前的首选。

(3)要及时跟踪国外船舶配套产品先进技术,避免拉大同国外的差距。国际海事组织海上安全委员会第73届会议(2000年11月27日~12月6日),最新修订的SOLAS公约第V章,规定了自动识别系统(AIS)和航行数据记录仪(VDR)的配备要求。世界上自美国和南非厂家合作生产出首批AIS以来,相继在德国、日本等厂家制造出VDR、AIS、ECS(电子海图)。国内目前在京、闽等地企业已生产出VDR、AIS,大连厂家生产ECS,通过船级社鉴定认可的产品开始安装到船上使用,并及时充实国外同类产品的先进技术的应用。

众所周知,世界造船业的中心已由欧洲转移到以日、韩、中国为代表的东北亚地区。中国要成为世界造修船大国和强国,势必加快船舶配套工业的发展。

欧美是船舶配套工业大国,日、韩的船舶配套工业也很发达。中国的船舶配套工业的国产化率的下降,值得引起我们的关注。今后一二十年是中国船舶工业发展的黄金时期,尤其围绕上海、大连两大造船工业基地加速发展船舶配套工业。上海地区科技经济发达,人才济济;大连地区是振兴东北老工业基地的先行区,工业基础雄厚、人才素质高。国家已重视船舶配套工业的发展,并赋予东北三省及大连市相应的优惠政策,深信,在未来若干年内,中国船舶配套国产化率再次恢复到70%,进而上升到80%以上,以确保造船工业的快速发展。

(本文由杨新昆撰稿;鲍承昌、朱儒席修改补充)



舰船电力系统网络控制器设计综述

尹 洋, 王 洁

(海军工程大学 电气与信息学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 近年来, 网络控制系统得到越来越多的关注, 其主要挑战之一在于控制环中的网络时延对其影响, 网络时延会降低网络控制系统的性能, 甚至使系统不稳定。本文基于大型舰船电力系统的需要, 对其网络控制器的设计方法进行了研究, 论述了现有的几种典型控制方法, 并指出其发展趋势。

关键词: 网络控制系统; 网络时延; 控制器设计

1 引 言

随着大型舰船电力系统复杂程度的不断增加, 其控制系统必然朝着网络化、智能化的方向发展, 因此电力系统网络控制的研究具有重要的现实意义。网络控制系统(NCS)是指用通信网络代替传统的点对点连接方式构成的闭环控制系统, 其基本特征表现为控制组件的高度集成与智能化, 以及整个系统的分布与网络化^[1-6]。网络控制系统具有如下优点: 可以实现资源共享; 可以实现远程操作与控制; 具有高的诊断能力, 可靠性高; 易于系统扩展; 连接线数大大减少, 可以简化控制系统复杂程度; 安装与维护简单。典型电力系统网络结构图如图1所示。NCS中的网络诱导时延(时滞)会降低系统性能甚至引起系统不稳定, 虽然时延系统的分析和建模近年来已取得很大进展, 但NCS中可能存在多种不同性质的时延(常数、有界、随机时变等), 使得现有得方法一般不能直接应用。要使NCS能够稳定并且具有良好的动态性能, 就必须设计满足实际条件的控制器^[7-11]。本文重点论述目前控制器设计的各类方法。

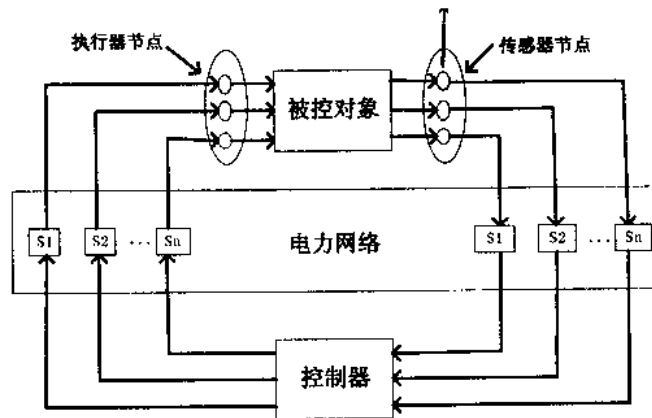
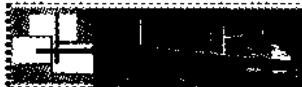


图1 典型网络系统结构图



2 网络控制系统中的时延

由于网络控制系统是通过网络形成闭环的反馈控制系统,所以网络诱导时延不可避免。网络诱导时延包括传感器-控制器时延 τ_{sc} 和控制器-作动器时延 τ_{ca} 。

定义1:若网络诱导时延在区间 $[0, \alpha]$ 内分布,且 $\alpha \leq T$,则称这样的网络诱导时延称为短时延。

定义2:若网络诱导时延在区间 $[0, \alpha]$ 内分布,且 $\alpha \leq T$,则称这样的网络诱导时延称为长时延(丢包可以看成时间无限长的时延)。

要分析具有网络诱导时延的闭环网络控制系统,就必须给网络诱导时延建模,一般认为网络控制系统的时滞有下面的几种模型^[1]。

(1) 定常时滞,这是对网络控制系统的时滞最简单的一种建模方法,实现使网络控制系统具有定常时滞的一种方法是,将不确定的时滞通过引入信息接收缓冲区实现时滞的确定化。这种方法的一个缺点是人为地将时延扩大了,一般来说,时延越大控制性能将变的越差。

(2) 随机时滞,传送的多个信息的延迟彼此独立。网络控制系统的时滞通常是随机的,为了把时滞的随机性考虑到模型中,时滞可以从概率分布的角度来建模。进而可以采用随机控制的方法,利用随机控制理论,使设计出的控制器能够保证系统统计意义上的稳定性和性能指标。

(3) 随机时滞,概率分布特性受 Markov 链的约束。在 NCS 中,将网络诱导时延建成一个其概率分布由 Markov 链调节的随机序列更符合 NCS 的实际。

3 控制器设计方法

(1) 确定性控制

针对传感器、控制器和执行器全为时钟驱动的情况,文献[11]提出了通过在控制器和执行器的接收端设置一定长度的缓冲区的方法,将 NCS 中的随机时延转化为确定性时延,从而将随机的闭环系统转化为确定性的闭环系统。

因此设计确定性控制器时,首先通过时延变换将具有时延的系统转化为无时延的系统;然后,再针对该无时延系统设计系统的控制器;最后,再通过时延变换的逆变换得到原时延系统的控制器。

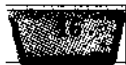
假设被控对象为线性时不变系统,其数学模型可表示为

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_{k-m} \\ y_k = Cx_k \end{cases} \quad (1)$$

引入带控制记忆的时延变换

$$z_k = x_k + \sum_{i=1}^m A^{i-1} Bu_{k-i}$$

推导出对应无限时间性能指标为 $J = \sum_{k=0}^{\infty} x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k$ 的最优控制律为



$$u_k = -(R + \bar{B}^T P \bar{B})^{-1} \bar{B}^T P A (x_k + \sum_{i=1}^m A^{i-m-1} B u_{k-i}) \quad (2)$$

其中: $B = A^{-m} B$ 。

可以证明,对于系统(1),若(A, B)能控,则引入控制律(2)后,闭环系统是渐进稳定的。

(2) 随机最优控制

对网络控制系统而言,采用确定性控制有其必要性,因为在有的控制网络中时延统计特性具有不确定性,以至于无法采用随机控制的方法。但采用确定性控制也有其固有的缺陷:一方面,确定性控制方法将每一次的传输时延转化为最大时延,人为地扩大了控制作用的滞后,从而降低了系统的性能;另一方面,大多数控制网络在硬件上没有共同的时钟,网络中的节点只能靠软件方式进行同步,而这在实际应用中又不可避免地存在偏差,从而影响控制的效果;再者,当网络中的节点采样事件驱动时,则不能将网络中的随机时延转化为确定性时延,也即不能采用确定性控制。所以在已知网络诱导时延的分布特性时,采用随机控制的方法要优于确定性控制方法。对于系统

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + v(t) \\ y(t) = Cx(t) + w(t) \end{cases} \quad (3)$$

$v(t), w(t)$ 为零均值白噪声向量。当网络诱导时延小于系统的采样周期时,对于系统(3)在一个采样周期 T 内积分并考虑网络诱导时延后可得系统(3)的离散状态方程为

$$\begin{cases} x(k+1) = A_s x(k) + \Gamma_0(\tau^k) u(k) + \Gamma_1(\tau^k) u(k-1) + v(k) \\ y(k) = Cx(k) + w(k) \end{cases} \quad (4)$$

其中: $A_s = e^{A\tau}$, $\Gamma_0(\tau^k) = \int_0^{\tau^k} e^{A_s(\tau^k-s)} B ds$, $\Gamma_1(\tau^k) = \int_{\tau^k}^{\tau^k} e^{A_s(\tau^k-s)} B ds$ 。

当讨论使以下性能指标极小的控制律的设计时

$$J_N = E \left\{ x_N^T Q_0 x_N + \sum_{k=1}^N x_k^T Q_1 x_k + u_k^T Q_2 u_k \right\} \quad (5)$$

文献[12]证明,当系统(4)具有完全状态信息时,使性能指标(5)极小的控制律由下式给出

$$u_k = -L_k \begin{bmatrix} x_k \\ u_{k-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

且最优性能指标为 $J^* = J^0 = x_0^T S_0^1 x_0 + \sum_{k=1}^N \text{tr}(S_k^1 R_1)$

其中: $L_k = (Q_2 + E\{\Gamma_k^T S_{k+1} \Gamma_k\})^{-1} E\{\Gamma_k^T S_{k+1} \Gamma_k\}$;

$$S_k = E\{(\Phi_k - \Gamma_k L_k)^T\} S_{k+1} (\Phi_k - \Gamma_k L_k) + L_k^T Q_2' L_k + Q_1', S_N = Q_0'$$

$$Q'_0 = \begin{bmatrix} Q_0 & 0 \\ 0 & 0.5Q_2 \end{bmatrix}, Q_1 = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & 0.5Q_2 \end{bmatrix}, Q_2 = 0.5Q_2;$$

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} A & \Gamma_1(\tau^k) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \Gamma_k = \begin{bmatrix} \Gamma_0(\tau^k) \\ I \end{bmatrix}.$$

并证明了若不考虑网络控制系统的系统噪声,式(6)所示的控制律可以使系统(4)均方指数稳定。

当传感器为时间驱动,控制器和执行器全为事件驱动时长时延 NCS 模型

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + \sum_{i=0}^h B_i^k u_{k-i} + v_k \\ y_k = Cx_k + w_k \end{cases} \quad (7)$$

引入增广向量状态向量 $Z_k = [x_k^T, u_{k-1}^T, \dots, u_{k-h}^T] \in R^{n+hm}$, 则式(7)可表示为

$$\begin{cases} Z_{k+1} = \Phi_k Z_k + \Gamma_k u_k + H v_k \\ y_k = C_0 z_k + w_k \end{cases} \quad (8)$$

其中:
$$\Phi_k = \begin{bmatrix} A & B_1^k & \dots & B_{h-1}^k & B_h^k \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I_m & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & I_m & 0 \end{bmatrix}, \Gamma_k = \begin{bmatrix} B_0^k \\ I_m \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} I_m \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, C_0 = [C, 0, \dots, 0]^T$$

依然讨论使式(5)所示的性能指标极小的控制律的设计,此时性能指标(5)又等价于下式所示的性能指标

$$J_N = E \left\{ z_N^T Q'_0 z_N + \sum_{k=0}^{N-1} z_k^T Q'_k z_k + u_k^T Q'_2 u_k \right\} \quad (9)$$

其中:
$$Q'_0 = \begin{bmatrix} Q_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (h/(h+1))Q_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (1/(h+1))Q_2 \end{bmatrix}, Q'_1 = \begin{bmatrix} Q_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (1/(h+1))Q_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (1/(h+1))Q_2 \end{bmatrix}, Q'_2 = \frac{1}{h+1} Q_2.$$

当系统(7)具有完全状态信息时,使性能指标(5)极小的控制律由下式给出

$$u_k = -L_k z_k = -L_k [x_k^T, u_{k-1}^T, \dots, u_{k-h}^T]^T \quad (10)$$

其中:
$$L_k = (Q_2 + E \{ \Gamma_k^T S_{k+1} \Gamma_k \})^{-1} E \{ \Gamma_k^T S_{k+1} \Gamma_k \};$$

$$S_k = E \{ (\Phi_k - \Gamma_k L_k)^T S_{k+1} (\Phi_k - \Gamma_k L_k) \} + L_k^T Q'_2 L_k + Q'_1, S_N = Q'_0.$$

可以证明当系统(7)具有完全状态信息时,若不考虑系统噪声,则式(10)所示的控制律可以使系统(7)均方指数稳定。

在其他系统条件假设下,状态反馈控制的推导会有所不同,但其思路大体一致。

(3) 滑模控制

在具有不确定性的系统的研究和应用中, 滑模控制一直是一个非常有效的控制方法。对于具有信号传输时延的网络控制系统, 也可以应用滑模控制消除对延对系统的影响。

假设 NCS 中的被控对象为线性时不变的单输入系统, 考虑了网络的诱导时延的 NCS 可表示如下

$$\dot{x}(t) = A_1 x(t) + B_1 u(t - \tau)$$

离散化后的状态方程为

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k-d)$$

其中: $A = e^{A_1 T}$, $B = \int_0^T e^{A_1 s} ds B_1$ 。

测得 k 时刻系统的状态变量值 $x(k)$, 记录 k 以前 d 个时刻的控制变量值, 推算出 k 以后 d 个时刻系统状态的预测值。然后就可以在系统状态的预测值上进行离散变结构滑模控制器的设计。

构造切换超平面

$$S(k) = Cx(k+d) = 0$$

矩阵 C 的选取可以按照对应连续系统的方法, 如可用极点配置法或二次型最优方法。

离散变结构控制为

$$u_i(k) = \begin{cases} u_i^+; S_i(k) > 0 \\ u_i^-; S_i(k) < 0 \end{cases}$$

$u_i^+(k), u_i^-(k)$ 的取值应满足准滑模存在条件。通常取状态反馈形式的变结构控制律

$$u_i(k) = k_i x(k+d)$$

$K = (k_{i1}, k_{i2}, k_{in})$ 为第 i 个反馈增益向量, 可由下式选取

$$k_{ij} = \begin{cases} k_{ij}^+; S_i(k)x_j(k+d) > 0 \\ k_{ij}^-; S_i(k)x_j(k+d) < 0 \end{cases}$$

(4) 鲁棒控制

鲁棒控制理论是针对实际工程中模型不确定性发展起来的, 因此对于此类问题可以直接应用鲁棒控制器的设计方法来解决。采用该方法的关键是要将时延环节转化为系统的一个不确定块, 同时可以考虑被控对象本身的不确定性, 然后针对转化后的系统设计鲁棒控制器, 这样设计出的控制器能同时保证 NCS 的鲁棒稳定性和鲁棒性能指标, 该性能指标是确定性的性能指标, 而不是概率意义上的性能指标。

于之训等将 H_∞ 和 μ 综合的方法引入控制器的设计, 给出了将传输延迟的不确定性转化为不确定块的等价框图, 并用 MATLAB 的 μ 分析和综合工具箱设计了鲁棒控制器, 使得闭环系统具有较好的抗干扰能力^[13]。

鲁棒控制方法的一个优点在于没有必要知道网络延时的先验信息。Göktas^[14]采用鲁棒控制理论在频域设计了一种网络化控制器。文中把分布式的网络延时 τ^* 和 τ^{ω} 同时建模成乘性摄动,并假定 τ^* 和 τ^{ω} 都有界且能近似成流体流动模型。进一步采用 μ 综合方法设计了鲁棒控制器,并在实际的网络环境中用二次线性化进行了离散化处理。

(5) 智能控制

考虑到网络时延具有不确定性的因素,可以采用模糊逻辑、神经网络、遗传算法等智能计算方法。特别是,当被控对象的模型难以建立,没有精确的数学模型,并且传统的控制方法难以胜任时,往往可以采用模糊逻辑控制的方法。由于网络产生的时延经常是不可预先得知且难以测量的,因此可以断定:模糊逻辑控制器适合于研究网络控制系统。

Kyung Chang Lee、SukLee等重点研究了用模糊逻辑控制方法解决网络控制系统的可行性^[15-16]。为了评价其可行性,作者在 Profibus-DP 网络上完成了伺服马达网络控制系统的控制,利用这种网络控制系统对网络时延进行分析,以找到时延产生的原因。作者采用远程模糊逻辑控制器对 SISO 系统的网络时延进行补偿,并与传统的 PID 方法进行了比较。试验结果表明:由于网络控制系统参数的不确定性,模糊逻辑控制器的鲁棒性使得它可能成为研究网络控制系统的不错的选择。

Naif B. Almutairi 和 Mo-Yuen Chow 利用模糊逻辑控制方法,在网络控制系统的 PI 调节器的增益前部设置智能控制器,对网络时延进行自适应补偿^[17]。这种模糊逻辑补偿器的优点之一在于:人们不需对已存在的 PI 控制器全部进行重新设计,而只需简单地利用智能模糊逻辑控制器的输出来调节 PI 控制器的运行。

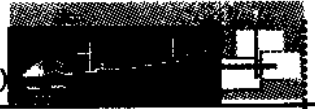
4 小 结

从目前的研究情况看,分析和设计网络控制器逐渐由单变量到多变量、由确定到随机、由经典控制理论到智能控制理论和高级控制算法发展。但这仅仅是个开端,到目前为止还没有一套系统的方法用于分析、建模、设计整个网络控制系统,而网络控制系统的体系结构也还在不断发生变化,对各种不同情况的研究还有待深入。

另外,在对网络控制系统进行控制器的设计时,能同时兼顾网络和控制性能的智能控制器应该在今后得以研究随着网络应用在各领域的快速发展,网络控制系统必将会起到越来越重要的作用。

参考文献

- 1 Nilsson J. Real-time control systems with delays[D]. Sweden: Lund Institute of Technology, 1998.
- 2 Walsh G C, YeH, Bushnell L G. Stability analysis of networked control systems[J]. IEEE Trans on Control Systems Tech, 2002,10(3):438-446.
- 3 Zhang W, Branicky M S, Phillips S M. Stability of net worked control systems[J]. IEEE Control Systems Magazine, 2001, 21:84-99.
- 4 Li F L, Moyne J R, Tilbury D M. Network design consideration for distributed control systems[J]. IEEE Trans on Control Systems Tech, 2002,10(2):297-307.



- 5 Bushnell L.G Networks and control[J]. IEEE Control System Magazine. 2001, 21(1):22-23.
- 6 Raji R.S. Smart networks for control[J]. IEEE Spectrum, 1994,31(6):49-55.
- 7 Ray A. Output feedback control under randomly varying distributed delays[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1994,17(4):701-711.
- 8 Tsai N.C.,Ray A. Stochastic optimal control under randomly varying distributed delays[J]. International Journal of Control, 1997, 68(5): 1179-1202.
- 9 Lee K.C, Lee S. Remote controller design of networked control system using genetic algorithm[C]. IEEE ISIE, Pusan, Korea, 2001:1845-1850.
- 10 O.C.Imer, S.Yuksel, and T.Basar. Optimal control of dynamical systems over unreliable communication links[C]. In NOLCOS 2004, Stuttgart, Germany, 2004.
- 11 V.Gupta, R.M.Murray, and B.Hassibi. On the control of jump linear markov systems with markov state estimation[C]. In Proc. of the American Control Conference, 2003.
- 12 苏宏业, 褚健, 王骥程. 基于分步变换的离散时滞系统控制器设计及应用[J]. 自动化学报, 1996, 22(2):197-202.
- 13 朱其新, 胡寿松. 网络控制系统的随机状态反馈控制[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(6):372-376.
- 14 于之训, 陈辉堂, 王月娟. 基于 H_∞ 和 μ 综合的闭环网络控制系统的设计[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2001,29(03):307-311.
- 15 Goktas, F. Distributed control of systems over communication networks[D]. University of Pennsylvania,2000.
- 16 Lee K C, Lee S, Lee M H. Remote fuzzy Logic control of networked control systems via profibus-DP [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003,50(4):784-792.
- 18 Lee S, Lee S H, Lee K C. Remote fuzzy Logic control of networked control systems [A].IECON'01: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society[C],2001,1822-1827.
- 19 Almutairi N B, Chow M Y. PI parameterization using adaptive Fuzzy modulation (AFM) for networked control systems [A]. 2002IEEE [C], 2002:3152-3163.

船舶机舱综合管理与信息共享技术的研究

吴世君

(海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 论述了基于集散型结构的多级分布式船舶机舱综合管理系统。它把机舱的实时监控与船舶的综合管理融为一体, 实现数据共享。软件实现上, 在基于 COMMAND 对象行为模式的基础上, 就船舶机舱下位监控网, 船舶综合管理局域网, 这两种网络之间的数据通信与数据共享技术以及网络数据库技术实现等问题进行论述。

关键词: 船舶机舱综合管理系统; 数据共享; COMMAND 对象行为模式

1 引言

从 20 世纪 50 年代以来, 自动化船舶发展经历了由主机遥控、无人机舱到全船自动化的发展过程。由于微机处理、电子计算机广泛应用于自动控制系统中, 特别是电子计算机的应用, 使得船舶向着全信息化发展, 其中, 综合管理与信息共享技术是实现全信息化船舶的关键部分。

2 船舶机舱管理系统的分析

2.1 船舶局域网的特定环境

众所周知, 船舶局域网的工作环境比较恶劣, 由于船上设有通信导航设备, 存在较强的电磁干扰, 此外, 船舶在航行中颠簸、振动、摇摆都很严重, 这就要求船舶上的计算机局域网必须具有抗干扰性、抗振动性强的特点, 以保证网络运行良好。

首先, 构成网络的计算机部件、线缆等应具有高度的可靠性, 按照一般的要求工业局域网的数据误码率应小于 1×10^{-8} , 残差率不大于 3×10^{-5} ; 其次, 应有较强的检错及纠错能力。关键的硬件及软件应有必要的冗余, 局部发生故障不应该导致整个系统瘫痪, 适用于船舶环境, 抗振、防电磁干扰。要求网在 10 kHz 到 30 MHz 范围内的 5 V/MHz 的电磁干扰下仍能正常工作。船上布线范围广, 船内的温度差异大, 要求网络的传输介质能满足工作环境的温度要求。

2.2 系统的总体设计思路

船舶所包含的信息中, 其中一部分信息是现有的自动化装置采集的数据, 如监测系统、主机遥控系统、工况分析系统等实时数据, 这些数据大多没有经过一定的处理。另一部分为船舶营运管理的所必需的相关信息, 但这些信息目前都处于比较分散和不完善的状态。本文所设计的船舶综合管理系统就是要把这两种信息融为一体, 实现数据共享, 之后再作进一步

的分析处理。同时,轮机长等房间均可设有管理系统的子系计算机,在房间里可以查到机舱的各种数据,充分实现全自动化机舱。整个系统的总体设计框图如图1所示:

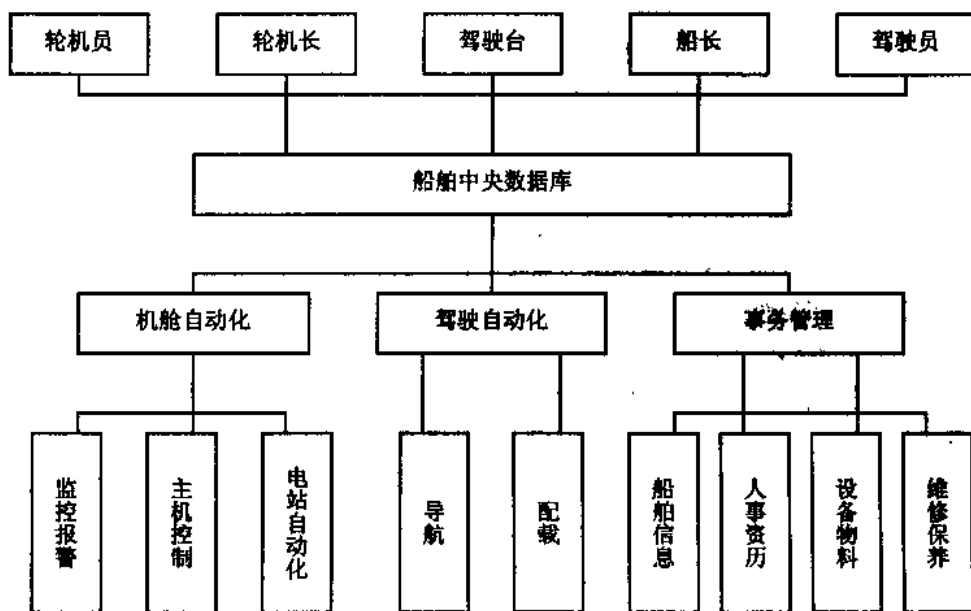


图1 分布式管理综合系统框图

2.3 系统结构选择

(1) 目前机舱监测系统的组成结构形式

机舱集中监测报警系统是机舱中最基本和最重要的自动化设备之一。它对机舱内的主机、锅炉、舵机、油水柜及各种泵等设备各种运行参数进行监视,测量和报警。目前,机舱集控室内的计算机集中监测报警系统有如下3种结构形式。

第一种是集中式结构。这种系统的典型特点是共用一台功能强,速度快的小型(或中型)计算机在集控室对机舱中的动力装置和系统实行集中监视和控制。它可以监测上百个参数,对开关量和模拟量进行监控(开环或闭环控制);可同时代替十几个模拟调节器,例如温度、压力、黏度、转速等调节器,对十几个被控参数实现PID自动调节。

第二种是全分布式结构。此类系统应用现场总线作为各个子系统的内部控制网络,并将监控功能进一步下放,利用智能I/O模块、智能变送器,数字传感器和执行器在现场一级实现控制系统的组态,因此提高了现场信息的可利用程度,增强了整个系统的可靠性。并且由于采用了开放的现场总线通信协议,所以既实现了控制设备的互换和互操作,又使得监测报警系统、主机遥控系统、电站自动化系统等机舱监控子系统之间的互联更为方便,为船舶机舱综合控制信息系统的构建与实现打下了坚实的基础。

第三种是集散型结构。这种结构,将监测点逆行分区,每个分区设一台下位机,信号经下位机转换处理后,经通信线送到上位机。集散型微机监控系统,又称分布式多级微机控制系统。它是由数字调节器、可编程控制器(PLC)以及多个计算机递阶构成的集中、分散相





结合的控制系统。该类系统的主要特点是把过去由一台小型计算机独自承担的监控任务合理的分散成多个子系统,并由多台微机或控制器分别实现各个子系统的监测与控制。同时,为了便于集中管理,还通过高速微机局域网(LAN)将各个子系统的主控单元和上层(管理层)计算机互连在一起,实现了控制信息的共享。

目前,船舶机舱的集中监控报警系统采用上面两种结构的都有。随着计算机通信联网技术的日益成熟,采用集散型结构的系统将日渐成为主流。并向船舶综合管理与数据共享方向发展。

(2) 网络拓扑结构的选择

船舶局域网的节点虽然比较少,但各节点分散在船舱各处,工作环境难以保证,而且不便于管理和监测。最好的方案是将网络节点集中在一起放置在船舶环境条件比较好的房间,有利于网络工作的可靠性。

现今,流行的网络结构有三种:星形拓扑结构、总线拓扑结构、环形拓扑机构,这三种拓扑结构各有优缺点。由于船舶局域网对可靠性的要求较高,因此,首先需对不同网络的可靠性进行对比。

度量系统的可靠性的主要参数是 $R(t)$ 。系统的可靠性 $R(t)$ 是指在 $t=0$ 时,系统正常的条件下系统在时区区间 $[0, t]$ 内能正常运行的概率。数字系统是由众多的元器件构成的。在一个无冗余系统中,元器件的失效将导致系统的失败。

系统的可靠度表示为

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

式中: λ 为单位时间内失效元件数与元件总数之比,称为失效率。

系统平均无故障运行时间为 $MTTF$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

① 总线型局域网系统的可靠度的计算

在总线型局域网系统中包含 N 个节点(节点包括计算机,网卡及其相连的电缆),所有点均无故障时整个系统才能正常工作。 R_1, R_2, \dots, R_n , 各个节点的故障都是独立的,由概率论知识可知,整个系统的可靠度为

$$R = \prod_{i=1}^N R(t)_i = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t}$$

设工作站的可靠度为 $R_j=0.8$, $N=4$, 服务器的可靠度为 0.9 , 则总线型局域网的可靠度为 0.36864 。

② 星形局域网的可靠度的计算

在星形网中,工作站(包括计算机,网卡及其相连的电缆)的故障不会影响到网络远程数据传输的功能,但是 HUB 和通信服务器出现故障时远程数据传输就无法进行。设工作站的可靠度为 R_w , HUB 的可靠度为 R_{HUB} , 通信服务器的可靠度为 R_{SERVER} , 则整个网络系统的可靠度入



$$R = [1 - (1 - R_w)^4] \times R_{HUB} \times R_{SERVER}$$

设 $R_x=0.8$, $R_{HUB}=R_{SERVER}=0.9$, 则整个网络的可靠度为 0.808704。

(3) 结论

由于星形局域网各节点故障不会影响到整个系统, 所以星形网的可靠度比总线型网络的可靠度要高, 而且随着网络节点的增加, 总线型网络的可靠度会降低, 星形网的可靠度会升高。提高系统的可靠度的最直观的方法是减少故障的概率。

(4) COMMAND(命令)——对象行为模式

①意图。将一个请求封装为一个对象, 从而可用不同的请求对客户进行初始化; 对请求排队或记录请求日志, 以及支持可撤销的操作。

②动机。有时必须向某对象提交请求, 但并不知道被请求的操作或请求的接收者的任何信息。COMMAND 模式通过将请求本身变成一个对象来使工具箱对象可向未指定的对象提出请求。这个对象可被存储并向其他的对象一样被传递。这一模式的关键是一个抽象的 COMMAND 类, 它定义了一个执行操作的接口。COMMAND 类将一个接收者作为其一个实例变量, 并实现 Execute 操作, 指定接收者采取动作。而接收者有执行该请求所需的具体信息。

③适用性。在不同的时刻指定、排列和执行请求, 抽象出待执行的动作参数化某对象; 支持取消操作, 支持修改日志; 用构建在原语操作上的高层操作构造一个系统。

3 系统实现

3.1 创建数据库

数据库设备是用来支持将要建立的数据库所必需的底层物理介质, 它有一个逻辑名和一个物理名, 我们把该设备的逻辑名命名为 ShipSeiver。物理名也就是所在的物理介质位置, 即数据库设备所在的文件夹名字, 它包括一个完整的路径并且遵循操作系统的文件命名规则。用 PowerBuilder 制作底层数据库, 用 SQLServer6.5 数据库服务器来管理数据库, 注册完服务器之后, 必须在该服务器中的设备中创建一个新的数据库设备 (Data Base Device)。首先定义一个抽象的 COMMAND 类, 程序如下:

```
class command {
public:
    virtual ~command();
    virtual void Execute()=0;
protected:
    command();
};
```

其次, 对数据库所需的相关功能菜单进行相应的功能定义。例如, 定义功能菜单中的粘贴命令, 其源程序如下:

```
class Pastecommand:public command {
```



```

public:
    Pastecommand(Document*);
    virtual void Execute();
private:
    Document* -document;
};
Pastecommand:: Pastecommand(Document*doc){
    -document=doc;
}
void Pastecommand:: Execute(){
    -document-> Paste();
}

```

创建好数据库之后, 用 ODBC 接口把它和应用连接起来。用 SQL Server 6.5 网络服务器连接各模块, 我们用如下的 Script 语句逆行连接:

```

/*.....ConnectTo Seever NT 4.0.....*/
sqlca.DBMS      ="ODBC"
sqlca.database  ="shipserver"
sqlca.userid    =""
sqlca.dbpass    =""
sqlca.logid     =""
sqlca.logpass   =""
sqlca.servername="Ship Server"
sqlca.dbparm="Connectstring='DSN=Ship_Server;UID=an;
APP=Microsoft(R)Windows(TM);WSID=GRADUATE2 ; DATABASE= Ship Server',
cursorscroll='dynamic'"
connect using sqlca;
If sqlca sqlcode<0then
MessageBox("错误信息","PowerBuilder 不能连接到数据库!")
return
end if
Open(face_win)

```

如果是 SQL Anywhere 5.0 本地库服务器, 我们用如下的 Script 语句进行连接:

```

/***.....connect to Sysbase SQL Anywhere.....***/
sqlca.DBMS      ="ODBC"
sqlca.database  ="c:ship/db/shiplocat.db"
sqlca.userid    ="dba"
sqlca.dbpass    ="sql"
sqlca.logid     =""

```

```

sqlca.logpass  =""
sqlca.servername  =""
sqlca.dbparm="Connectstring='DSN=Ship_locat; PWD=;',cursorscroll='dynamic'"
connect using sqlca;
if sqlca.sqlcode <> 0 then
  MessageBox("错醒信息", "PowerBuilder 不能连接到数据库!")
return
end if
Open(face_win)

```

3.2 网络通信与仿真实验

各种网络互连结构图如图 2 所示。

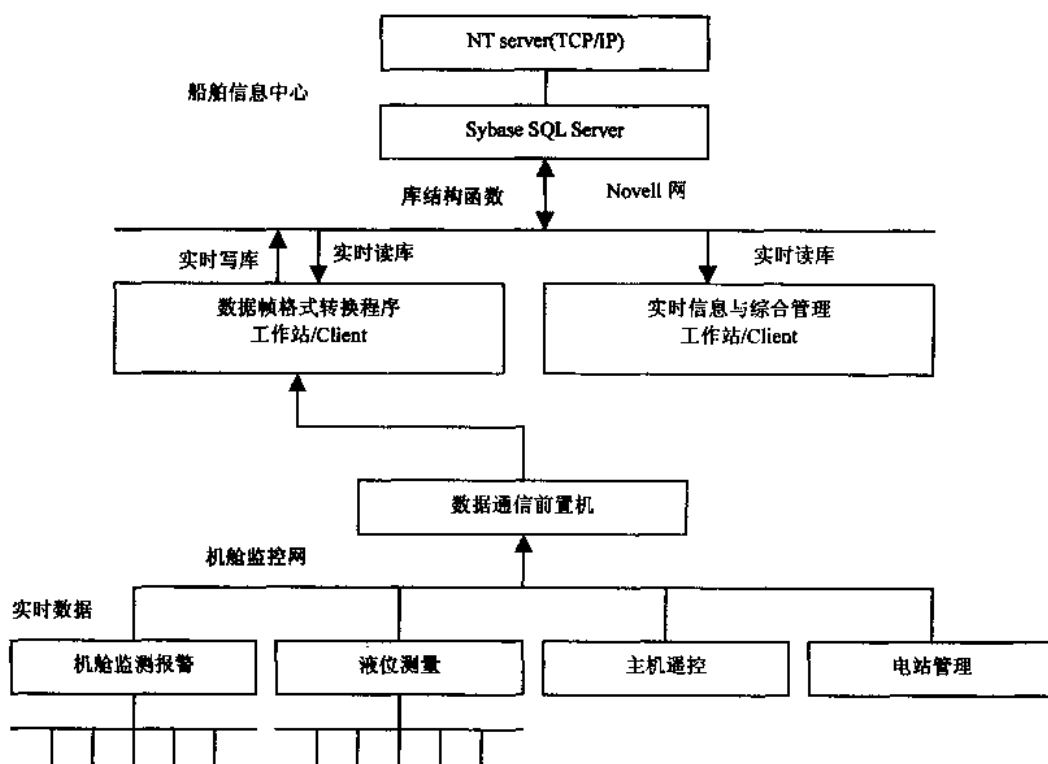


图 2 异种网络互连结构

应用 DDE 技术, 即动态数据交换 (Dynamic Data Exchange) 技术进行网络连接。它用来响应网络上发到服务器计算机 DDE 的各种请求, 并将请求传递到上层应用程序, NetDDE.EXE 可执行文件同时也将本机的 NetDDE 请求发送到网络。NetDDE.EXE 在 NetDDE 链接起到底层通信的桥梁作用。首先建立 NetDDE 共享名。必须为发送端程序(不妨将它叫做 SendDatapri.EXE)建立网络共享名, 该服务程序能提供特定的 DDE 服务。在 Windows98 下建立共享名, 需要使用注册表编辑程序 (regedit.exe) 修改注册表。启动发送端计算机的 REGEDITEXE 程序, 按如图 3 所示找到主键 NetDDE,

并在该主键下建立新主键 Datasend。创建窗体 Form1, 图中正上方的文本框就是为接收端提供数据的文本框, 在定时器的 Timer 事件中编写一个随机数发生的程序, 发送一定格式的数据。对“建立连接”按钮编程, 以便建立连接。

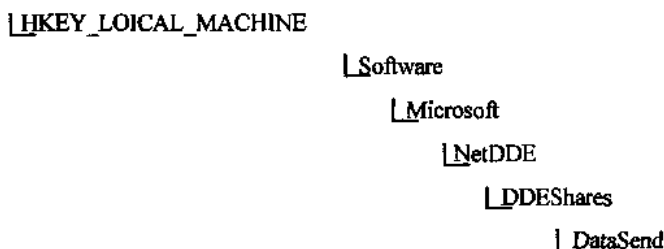


图3 查找 NetDDE 主键

加入下面所示的键值名和对应的键值:

Additional item count 00 00 00 00

Application "SendDatapj"

Item ""

Password1 ""

Password2 ""

Permissions1 IF 00 00 00

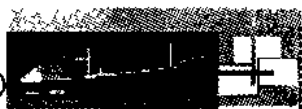
Permissions2 00 00 00 00

Topic "SendData"

至此, 实现船舶机舱综合信息管理系统的思路及关键技术已介绍完毕。

4 结 论

本论文提出了一种基于集散型结构的多级分布式船舶综合管理系统的设计方案, 并重点对该系统的结构、网络数据库、异种网络的连接、数据共享等问题进行了研究和探讨, 特别是重点探索了数据库设计模式、异种网络的数据互连和共享技术。本系统顺应了国内外船舶机舱综合自动化的发展趋势, 为真正实现一人驾驶台体制迈出了坚实的一步。



舰船机舱的管理综述

阮周星, 刘忠新, 沈武, 杨明玖

(92854 部队)

机舱是舰船的“心脏”, 如何做好机舱管理, 保证各项任务的完成, 是重要的基础, 笔者根据所学知识和实践, 浅谈一下机舱的管理供大家参考。

机舱是机电部门人员每日工作的地方, 机电人员在机舱的工作主要是管理船舶的动力装置。因此, 要经常维护和保养机器, 延长机器的使用寿命。同时对机器的技术状况经常研究分析, 及时排除故障, 保证安全运转, 完成任务。

对于备用机件、零件、工具及必要的物料, 顺放置在一定的场所, 指定专人保管, 保持备件能随时使用之状态, 如喷油器针阀、喷油泵出油阀副, 柱塞副等零件要放在火油内浸着保管, 防止生锈, 便于随时可供使用。对难于拆下的备件外部应涂上油料或油漆, 防止生锈。

当柴油机在运转时, 应认真遵守安全操作规程, 注意机舱内各油类, 棉纱以及其他容易引起火灾的易燃物品的处理。在机器停车后, 打开曲轴箱盖时, 避免用明火之物放进去检查, 防止机舱失火。

1 舰(船)员的职务

一般舰船的机电部门人员包括有: 机电长、副机电长、各专业分队长、轮机、电工、舱段等人员组成。

机电长是在船长领导下的机电部门部分的独立领导者, 为使装置能持久地正常地工作, 必须领导机电人员对装置的维护和保养的工作, 为延长装置的使用寿命, 减少修理器材的消耗和缩短修理的时间, 必须对装置使用过程技术状态进行监督, 同时利用船员力量进行小修理, 预防磨损, 进行计划预防检查, 测量、拆卸, 长期延长装置的使用期限。

机电长必须了解柴油机在各种工况下的使用状况, 在不妨碍生产和安全的条件下争取节约燃料, 润滑油的消耗量, 提高装置经济效益。

提出预防性修理计划以及充分准备船舶进厂修理的工作, 保证船舶在生产过程中不因装置个别零件的故障而有所影响, 这是机电长的重要工作之一。

此外, 督促轮机人员及亲自记载轮机日志, 负责轮机部分一切书籍、图表、资料和工具的保管工作, 以及组织、教育轮机人员的业务学习。

副机电长, 领导其他机电人员工作, 除经常向机电长学习技术外, 负责管理机舱的机械、轴系和舵机, 他应对它们的技术状况负责。同时也负责组织值班工作, 及利用船员力量进行修理的工作。

此外, 还随时注意燃油, 润滑油的性能和消耗量。



各专业分队负责管理甲板机械,船舶系统或船舶电站及电线路工作,并使其处于良好状态。同时担任燃料、润滑油的领取验收、保管和消耗量统计工作。

机电人员的职务和责任同所有船员一样,在舰船职务章程内有明确的规定。

舰船上有明确的规章制度,有严格的纪律,遵守纪律、保持整洁,这是舰船船员的工作特点。

2 机舱值班与交接班

(1) 机器运转后必须值班,值班人员必须经过考试合格后才能担任。值班员要认真执行“三勤”管理法,确保机器正常运转。

(2) 值班人员不得随意离开机舱岗位,因事需要离开机舱(包括吃饭)必须有其他人员接替岗位。值班时不准穿拖鞋。

(3) 值班人员必须常检查:

- ① 主机、副机、电机、舵机泵等各部件情况,并按时加油;
- ② 各种电器设备、电瓶及仪表指数,发现异常及时查找原因;
- ③ 各油柜的油位,特别安装顶热器的油柜,防止油位低了引起火灾;
- ④ 污水坑的积水,及时排水。

(4) 开车、停车要及时开、关海底阀。

(5) 机电人员值班时,遇有下列情况,须报告机电长现场检查:

- ① 轴瓦发生高热,循环水发生高热;
- ② 各转动部件发生高热和异常声响等故障;
- ③ 螺旋桨打空转;
- ④ 主机转数突然下降或增高;
- ⑤ 其他异常现象。

(6) 做好废油回收工作,严禁向港湾、洋面排出废油,防止海水污染。

(7) 值班人员要认真记录机器运转情况。详细填写值班登记簿。

(8) 交接班时,必须认真严肃,接班人员未到时,交班人员不得离开工作岗位。

(9) 交接班时,必须交清下列事项:

- ① 主、副机、电机运转情况,有否不正常现象或者需要修理调整的事项;
- ② 机电长的有关指示;
- ③ 其他要说明的情况。

(10) 交班员交清后,接班人员巡回检查一遍,确认无疑,交班人员方可离开岗位。

3 柴油机拆装安全事项

(1) 柴油机拆前必须注意检查吊环,卸克是否有断痕;起重葫芦是否灵活;链环有否断裂或跑马现象。

(2) 准备吊机件时,舱内工作人员要立安全处,并戴好安全帽,禁止在吊起的机件下走动或工作。



- (3) 听从指挥人员的命令, 并注意人员和机件的安全, 随时联系, 谨慎操作。
- (4) 拆卸机件时严禁冒险操作或勉强硬拆, 以防人身事故和损坏机件。
- (5) 拆下之机件应放在适当安全的位置, 并绑好盖好, 禁止零乱堆放。
- (6) 在脚下不清、跳板不牢、照明不良的情况下不可搬运物件。
- (7) 盘车人员要听从拆卸人员的指挥, 并通知其他在机器上工作的人员后, 方可盘车, 以防事故的发生。
- (8) 凡使用开口销的机件, 不准用铁丝等代用。
- (9) 机器安装完毕后要将各部详细检查一遍, 并盘车、试验倒、顺车有否吃紧之处, 然后再试车。

4 轮机日志及其他技术文件管理

机电人员主要的职务是管理船舶的动力装置, 因此, 机电人员对有关船舶动力装置的产品证书、技术证明书、设备计算书、使用说明书、零件图册以有关图纸、参考资料等, 应认真保管。它不仅可以帮助新到船上工作的机电人员尽快熟悉设备的基本结构, 同时还可以帮助机电人员深入了解设备的工作性能。此外, 还可供机电人员在维护修理和有关部门选购产品零件时查阅产品零件的型号、材料规格、技术要求, 以便准确编制修理单和零件订货单。

船舶修理单是船舶修理工程的基本技术文件。修船厂据此估工、估料, 继而编制作业计划及材料供应计划、签订修船合同, 生产主管部门亦以之掌握修船费用和修船日期。质检技术部门根据机械设备及其零件修换的技术状态, 对船舶机械进行技术监督, 因此编好修理单既要保证修船计划顺利完成的关键工作, 也是机电管理人员的重要任务之一。

机电管理人中对修理工程的项目、名称部位、损坏情况、修理方法与技术要求, 更换零件的型号, 材料规格以及在修理中牵涉到的附带工程的设备, 在修换后的技术状态和有关技术资料, 如实地填入轮机日志中。

轮机日志包括有: 轮机工作日志和轮机概要日志两部分内容。工作日志是记录柴油机在各种工况下运行时的技术状况, 值班人员对装置的维护和保养等工作情况。概要日志则是记录在非常情况下, 机电人员对柴油机的维护修理, 故障发现与排除等工作情况, 一般附在工作日志中。

在舰船中, 一般把轮机工作日志和轮机概要日志称为轮机日志, 它是舰船柴油机及其辅助装置技术管理的历史性纪录文件。它对改善轮机技术管理、预防故障、保证机器安全运转起着重要的指导作用。



信息化战争条件下应急作战的 海军战略后勤支援保障

阮周星, 沈 武

(92854 部队)

信息化战争条件下应急作战的海军战略后勤支援,是指以海军战略后勤建制应急支援保障力量为主,在总部战略后方基地、海军战略后勤基地、国防工业系统和作战地区民众后勤力量的配合下,对执行应急作战任务的海军兵力或涉海作战兵力所实施的一系列支援保障行动的总和。其保障任务的突击性强,时效性高,单位时间内保障强度大,要求海军战略后勤具备很强的爆发力,在对战役、战术后勤实施支援保障的同时,能超越中间保障环节,对一线作战兵力实施直达保障。

1 应急作战海军战略后勤支援的要求

1.1 战略支援一体化

即指战略后勤指挥机关统一筹划后勤保障资源,统一制定保障计划,统一控制使用各战略后勤力量,统一调节各种支援保障活动,使之在空间和时间上产生有序的结构,从整体上为应急作战兵力提供支援保障。其主要包括以下方面。一是诸军种战略后勤力量一体化,是指海军后勤机关在总部的指导下,根据涉海性后勤保障的需要,既运用海军战略后期直属力量,又牵引其他军兵种战略后勤配属力量,共同保障海上作战兵力的应急作战行动。二是军事战略后勤力量与国家支援力量一体化,主要指海军战略后勤指挥机关从保障全局出发,整体筹划,统一控制、统一使用不同性质、不同隶属关系(包括军队战略后勤力量、国家地方支援力量)的战略后勤支援力量,支援应急作战的后勤保障。三是保障功能一体化,主要是指海军后勤支援力量要由不同保障功能的专业勤务保障部(分)队组成,其具有对多种兵力的综合保障能力。战时通过模块化组合,使之可以合则实施一体化的综合保障,分则编成不同专业保障分队单独实施支援保障。

1.2 跨区支援立体化

即指综合运用海军战略后勤直属力量、其他军兵种后勤配属力量,灵活采用陆运、海运、空运等运输方式,从地面、海上、空中实施大规模、远距离、高速度、多方向的投送,对海战兵力实施战略后勤支援。跨区支援立体化主要包括:一是保障空运、铁路等高速机动手段,组织跨区支援保障,由国防工业基地或战略后方基地直接对一线作战兵力后勤实施支援,或者由海军战略后勤力量直接向一线海战兵力提供后勤保障;二是支援方式多样化,指海军战略后勤应综合采用按方向分区支援,前伸靠近支援、超越直达支援以及机动伴随支援等方式,

组织后勤力量实施跨区支援；三是支援过程动态化，主要指海军战略后勤支援为适应海战作战战区域兵力作战域广阔、流动性大的特性，及时调整各支援力量的部署，在海上作战兵力机动作战过程中为海战兵力提供动态支援保障。

1.3 辐射聚焦相结合

即在信息保障充分的条件下，海军战略后勤不仅运用现代化的装备，将配置在战略后方基地的后勤支援力量投向不同的作战海域，而且能将配置在相应保障地点的战略后勤支援力量投向其他保障区域，支援海战兵力的应急作战行动。辐射保障，主要指海军战略后勤力量依靠交通运输网，运用强大的战略运输力量，将位于战略后勤基地和国家后方的后勤资源分别向应急机动作战各主要方向、主要兵力后勤发送。聚焦保障，是指采用位移聚焦、能量聚焦和信息聚焦等方式，将多点、全维的后勤力量向应急作战兵力后勤保障急需的“某点”集中提供，聚合成强大的保障力。位移聚焦，是指海军战略后勤力量以空间的方式实施支援保障；能量聚焦，就是将分布在广阔空间和不同层次、不同地点的保障力量，通过空中、水上、在面等多种运输手段，采取远程直达投送和多向投送等方法，在作战海（地）区聚集，形成强大的保障能量流，对海战兵力实施支援保障；信息聚焦，就是通过战略后勤支援系统，将各种有效信息向作战地区聚合，指导对一线海战兵力的后勤保障。

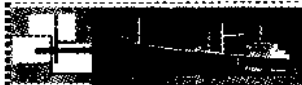
1.4 指挥控制自动化

即指海军战略后勤利用通信网络，根据海战兵力的后勤保障需求，适应建立战略后勤支援要求的指挥自动化系统，自动处理战略后勤保障的相关信息，提高海军后勤指挥员组织战略后勤支援保障的能力和水平。一是后勤信息分布共享。在指挥控制自动化系统中运用信息共享技术，把有关的后勤信息数据分成块、存放在地理上分散的网络计算机中，但各种数据之间却形成一个有机联系的整体，用户使用有关数据时不用关心数据的空间结构布局，就像在同一台计算机中使用数据一样，这样即使某台计算机中的数据受到毁伤，用户还可以通过其他计算机获得必要的相关信息，从而实现后勤信息共享抗毁的目的。二是信息传输网络化。运用可靠的网络通信技术，将战略后勤指挥自动化各分系统连接成网，对网络上传输的后勤信息加载密码，并通过身份认证等技术手段进行自动识别，从而实现军队诸军种之间、军内各相关业务部门、地方有关部门之间后勤信息的可靠互通与共享。三是辅助决策智能化。在指挥自动化系统中采用数据库技术，建立后勤信息综合数据库、后勤指挥专家数据库，详细记录各种后勤保障计划的拟订方法，建立后勤指挥专家辅助决策子系统，使用者只要输入必要的后勤信息，该系统就能够自动生成后勤保障计划，提出战略后勤支援的有关建议，协助后勤指挥员自动进行指挥决策。

2 加强海军战略后勤支援的对策

2.1 加强战略后勤支援理论的研究

应急作战中，战略后勤支援的任务主要是通过决策聚集、超常部署、超前配置现有或紧急筹措的人力、物力、财力、形成具有综合保障能力的保障“拳头”，快速实施经费物资、卫生、装备技术、交通运输、涉海工程等专业勤务保障，保证当前应急作战行动的顺利实施，



并为后续作战的后勤保障创造条件。组织战略后勤支援理论的研究,必须围绕其支援保障任务、支援保障体系的构建、保障力量的筹划和编组以及战略后勤支援的组织实施,以理论研究成果指导战略后勤支援的保障行动。

信息化战争物资消耗巨大,对专用保障的需求更高,战略后勤逐级支援已不适应应急作战后勤保障的需要。战略后勤将根据应急作战后勤保障的实际,采取靠前预置储备的手段做好物资储备的平时准备,以源源不断地向一线兵力提供应急物资支援。合理选择储备地点、确定物资储备的数量和种类以及建立军民兼容的物资储备体系等问题需要深入研究。

应急作战战略后勤支援,时效性强、突击保障强度大,必须打破所属力量平时的建制关系,超常编组所属力量,运用强大的战略运输力量,实施立体跨区机动,进行直接保障。战略后勤超常编组、战略运输力量的使用管理以及越级直达支援等直接影响战略后勤支援保障的重大问题需要深入研究。

2.2 科学构建重适应应急作战需要的支援保障体系

通常,海军战役军团后勤力量根据兵力部署进行配置,其力量有限,难以大规模机动保障。在主要方向作战时,海军战略后勤担负对主要方向海军战役军团及其后勤实施应急支援任务。支援保障体系,是指挥海军战略后勤保障体系,要以主要作战方向应急作战对海军战略后勤支援的需求为牵引,调整海军后勤基地的空间布局,综合运用各种支援力量,形成无缝隙的支援体系、应急支援体系和地方民众支援体系。

海军战略后勤持续支援体系,由相关国防工业体系、总部战略后方基地、海军战略后勤基地、沿海一线保障基地和海上前进基地组成。为了实施持续的战略后勤支援,该体系以相关国防工业体系为后方,以总部战略后方基地、海军战略后勤基地为依托,以沿海一线保障基地为骨干,以海上前进基地为补充的格局。这样,海上前进基地将成为组织应急作战支援保障的直接依托,海军战略后勤中心基地将通过沿海一线基地对前进基地实施源源不断的补充。

海军战略后勤综合支援体系,主要由机动保障力量、卫勤力量、技术保障力量、岸海衔接力量等组成。该体系各力量以专业分队形式存在,战时根据应急作战对战略后勤支援的需求,按照“系统配套、模块组合”的方式,组成不同规模、具有综合支援能力的保障队伍,对海战兵力实施支援保障。

海军战略后勤应急支援体系,以海军战略后勤基地中技术精湛的干部、士官为主体,科研院校、军工企业的技术力量为补充,吸收部分预备役专业技术人员参加,配备专用后勤技术装备,战时能使用三军战略运输力量,将技术人员、保障装备投送至作战地区,支援一线海战兵力的后勤保障。

地方民众支援体系,就是以预备役后勤力量为骨干,以地方力量为主体,以动员民用企业为依托。以预备役后勤力量为骨干,就是预备役后勤部(分)队要具有综合保障能力或某一专业保障能力。以地方力量为主体,就是根据应急作战后勤支援的需求,有计划地实施人力、物力资源的征用,并做好动员装备的加改装。以动员民用企业为依托,就是要依托国家动员法规和企业为依托,就是要依托国家动员法规和企业转产方案,搞好民用企业的转产。

2.3 建设利于跨区支援保障的战略后勤支援体系

建设海军战略后勤支援系统,必须依托军队综合信息网,以提高战略后勤支援系统建设

的效率和效益。海军战略后勤支援系统包括战略后勤支援指挥信息系统、战略后勤军事信息系统和战略后勤物流管理系统。

海军战略后勤支援指挥信息系统,包括信息收集子系统、信息传递子系统,信息处理子系统和专家辅助决策系统,各子系统协调工作,共同完成对战略后勤指挥信息的收集、传递、处理的反馈校验,为战略后勤指挥员组织战略后勤提供决策建议。该系统通过特定接口,与同级作战、装备技术信息网络相连接,与国家机关、地方政府信息网络相连接。在军队后勤系统内部,该系统与总部后勤、战略后方基地、海军专用物资器材保障基地、海军战役后勤信息网络相连接,从而实现各指挥机构的网络互通、信息共享。如海军专用物资器材保障基地要以主要作战方向支援保障为重点,建立与主部队、相关战区联勤及其他军兵种后勤之间的协同信息网络。

海军战略后勤军事信息系统,主要是综合信息数据库系统。综合信息数据库系统是一个地理上分散面物流信息共享互通的分布式数据库系统,包括海军后勤数据库和相关军事信息数据库。建设综合信息数据库系统,要求应用信息共享技术,依托军队310网络系统和综合信息系统,将面向对象的设计方法和数据库技术进行结合,采用标准化的数据编码和存取方式,建立结构合理的数据库物理模型,把各种专用物流信息分类存储在数据库系统中,使用者随时根据需要调用有关信息。

战略后勤物流管理系统,主要包括战略后勤仓储子系统和物流动态可视化子系统。战略后勤仓储管理子系统,是数字化的后方仓库管理系统,它以网络技术为依托,以传感器技术为手段,运用二维条码技术实现物资的自动识别,传感器技术实现实时监控,运用微电子控制技术进行机电设备的自动调节控制,实现仓库管理自动化。战略后勤物流动态可视化子系统,是指采用计算机、微电子、自动控制、卫星遥感、传感器等先进技术,将海军后勤力量与作战力量联系成一个有机整体,在后勤保障的全过程中对物流进行自动识别、全程监控,实时反馈后勤保障信息,控制海军专用物资流向的自动化系统。

2.4 灵活选用战略后勤支援方式

组织应急作战海军战略后勤支援,应从作战和保障全局出发,根据作战进程和战法变换,兼顾应急支援和持续保障,灵活选用支援保障方式。一是按方向分区支援。应急作战中,海军将按作战方向编组应急机动作战兵力。为适应多方向应急作战后勤保障的需求,战略后勤可采取按不同作战方向,编组相对独立支援保障力量,沿主要交通线配置,分别与战役后勤保障力量相衔接,实施分区支援。二是前伸靠近支援。就是根据支援保障的需要,将海军战略后勤基地,总部加强的后勤力量,前出到适当地区,开设前进保障基地,组织靠近支援。组织前伸靠近支援,首先,要正确选择位置。其次,当战役后勤力量随海战兵力前伸或严重受损时,战略后勤应及时开设前进保障基地,以充分发挥战略后勤支援保障的作用。三是超越直达支援。是指战略后勤突破按级保障的束缚,直接向一线作战兵力后勤提供支援保障。如海军战略后勤可建立海上保障专线,直接向海上机动保障编队提供支援,开辟空中专线,直接前接海战伤病员等。四是机动伴随支援。是以机动保障装备为载体编组保障力量,根据应急作战战场形势变化而组织的支援保障行动。海军战略后勤的机动伴随支援,通常由编组的机动保障力量组织实施,根据一线作战兵力的急需,派出综合或单项的保障部(分)队,



视情实施机动伴随保障或跟进支援保障。

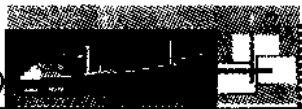
2.5 实施稳定可靠的指挥控制

应急作战海军战略后勤保障情况复杂,事先难以进行准确的预测,必须围绕快速形成综合支援保障能力,实施稳定可靠的指挥控制。

一是建立权威高效的战略后勤指挥机构。海军参加应急作战,可能在数个战略方向上采用不同的样式作战。在主要战略方向上采用不同的样式作战。在主要战略方向上,可能还设有若干个战役方向。为了适应不同战役方向的作战需求,战略后勤可采取按方向分群支援一线战役军团的应急作战行动。因此,需要建立权威高效的战略后勤指挥机构,组织实施以专用支援为主的海军战略后勤支援。

二是准确把握指挥重点。在作战准备阶段,应重点把握海军战略后勤基地、应急支援力量的后勤准备情况,协调三军战略运输力量和其他军种配属的后勤力量,动员地方预备役人员参加海军战略后勤支援,保障应急作战兵力完成出动前的准备。在部署展开阶段,应重点把握战略后勤支援兵力投送中的保障需求,及时协调各保障区为战略后勤支援力量提供后勤保障,重点控制保障关系的交接转隶,确保不出现保障空白区。在支援保障阶段,全面、准确地掌握支援保障实施情况,指挥海军战略应急支援力量、战略后勤基地的超级直达保障活动,根据战场发展变化,转变支援重点、变更支援保障部署、调整支援关系、改变支援方式等。在作战结束(转换)阶段,重点掌握后续作战行动的支援保障需求,协调控制其他军种配属的战略后勤力量,调整支援保障部署,修订后续支援保障方案,完成后续作战的后勤准备。

三是搞好指挥信息保障。一要充分发挥战略后勤指挥信息系统的效能。海军战略后勤指挥信息系统应当成为连接海军作战、装备部门信息网络的信息枢纽,能及时获取海战兵力部署调整、军工企业生产、储备等信息。二要做好与战区联勤、战役后勤、装备部门以及地方动员机构的协同。主要是建立支援信息相互通报制度,使海军战略后勤能全局掌握后勤支援的态势,集约使用战略后勤资源。



贯彻科学发展观 加强装备监测和计量工作

张长青

(92854 部队)

随着新《海军舰艇监测工作规定》和《海军计量工作管理规定》颁布执行,科学发展观的战略思想不断深入人心。笔者根据所学的知识与实践工作浅谈一下对装备管理科学化认识,就贯彻科学发展观思想,加强装备状态监测和计量工作谈些体会,供大家参考。

1 装备管理的科学化认识

装备管理的科学化,就是要根据现代军事装备技术复杂系统性强和耗资巨大的特点不断探索管理规律,从充分发挥装备的作战效能出发,运用现代科学管理理论、方法和手段实现最佳管理效益,它包括以下三个方面:

(1) 严格按照装备管理的客观规律办事。装备管理有其不以人的主观意志为转移的客观规律,违背了客观规律就谈不上科学性。如,装备放在潮湿的地方就容易生锈、霉烂,再先进的装备也经不起长年的日晒雨淋,这就是规律。又如,装备都有一定的寿命期,超过了寿命期,技术性能就要下降甚至丧失,这也是规律。再如,装备的使用强度和使用条件都有客观标准,超强度、超条件使用,就会发生故障或造成损坏,这还是规律。可以说,按照客观规律办事是装备科学管理的基础。

(2) 不断学习和运用先进管理思想、理论和方法,指导装备管理实践。先进的管理思想和理论一旦运用于实践,将产生巨大的效益。物质条件相同,管理思想和理论不同,将产生不同的结果。如:在装备“三化”管理中,为使装备在复杂多变的情况下始终保持良好的技术状态,将指导思想由强调“静态”管理转变为强调“动态”管理,摸索了动中达标的基本方法和手段,增强了维修的计划性、针对性、及时性和有效性,从而使装备完好率大大提高。

(3) 不断改革完善管理机制,努力开发和应用先进的管理手段和方法。管理机制的建立和运行既依赖于物质条件,又有其自身相对的独立性。改革和完善装备管理机制,一方面要注重“硬件”,即管理设备、设施的改进和提高,创造采用先进管理手段和方法的良好物质基础。另一方面更应注重“软件”,即体制、制度、手段、方法的改进和完善,充分利用现有的物质条件提高管理效益。应根据各单位所担负的使命与任务,针对装备管理的特点和实际条件,发挥各种管理手段和方法的综合效能,完善管理机制,提高管理效率。

装备管理的科学化是整体性、综合性很强的一项工作,涉及政治思想、军事、行政、经济、法律等多方面,需要统筹规划,严密组织实施。当前,特别要强调解放思想、转变观念,积极借鉴社会主义市场经济条件下在经济领域中之行之有效的先进管理思想和方法,如,目标管理、系统管理、全寿命管理、质量控制、综合效益评估等。应根据实际积极创造条件,有



计划地探索研究先进管理手段和方法,就积极组织试验、试用,使装备管理的科学化水平更上一层楼。

2 贯彻科学发展观加强装备状态监测和计量工作

装备监测是准确掌握装备技术状态,及时消除故障隐患。科学确定修理范围,指导部队正确使用保养的重要手段,计量是保证装备系统完好可靠和性能参数准确统一,提高装备战备水平的重要手段,当前我们积极开展监测和计量工作,促进了部队装备管理由经验型向科学型,由定性分析向定量分析转变,推动了装备管理向深层次发展具有重要意义,为此我们必须做好以下三点:

2.1 明确职责,加强装备状态监测

(1)首先要以《海军舰艇装备监测诊断工作规定》为依据,明确职责,认真学习监测工作的规定,加强对监测工作的认识,目前信息化装备的不断发展和陆续列编,对装备工作和舰员使用监测设备的技能提出了更高的要求,我们将在不断总结前期监测工作的基础上建立状态监测机制,按照有关规定进一步加强监测工作,不断增强装备管理的科学性,才能有效地预防和减少装备事故的发生,提高装备的完好率、在航率。

(2)要进一步认真落实海军[2005]装备字第5号《关于装备技术监测工作的几点意见》的通知精神。建立健全各项规章制度,规范监测工作程序和监测设备的使用管理,及时按时上报监测报告,进一步加强对新造舰艇初始状态修理舰艇的勘验和验收监测,重大任务监测保障,使之贯穿于部队装备使用管理和修理保障中,提高科学管装和维修水平。

(3)加强培训,不断提高监测技能,各单位要针对在监测工作中出现的问题和技术难点,组织监测业务集训。在海军领导下基地的培训重点要解决本单位和舰艇开展的监测方式、方法等问题,要总结吸取监测工作的教训,注意在职岗位培训与送院校学习的有机结合。

2.2 明确职责,加大计量工作检定力度

(1)要按照《海军计量工作管理规定》的要求进一步完善规章制度,研究探索装备计量工作的特点和规律,明确职责抓好落实,促进计量工作的深入发展。

(2)要认真贯彻海军第五次计量工作会议精神,加强人才队伍建设落实装备计量工作,开展对舰艇的检定工作,提高舰艇装备的受检率。

(3)将计量工作纳入部队的“三化”检查考评中,检查装备时看是否按规定进行计量检定,在验收新装备和修理后的装备时,组织部队检查是否按规定进行计量检查。

(4)加强培训,提高人员素质,按海军要求有计划地组织计量管理人员和技术人员的培训,加强计量基础知识的普及教育和专业学习,使计量人员持证上岗,不断提高计量人员素质和管理水平。

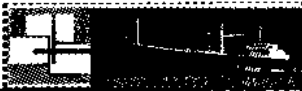
2.3 要贯彻科学发展观思想,加强新理论、新方法的研究

胡主席指出:科学发展观是我们党领导社会主义现代化建设实践经验的理论结晶,是对毛泽东思想,邓小平理论,“三个代表”重要思想关于发展思想的继承和发展,是指导发展的世界观和方法论的集中体现,是推进社会主义经济建设、政治建设、文化建设、社会建设全





面发展的指导方针,也是加强国防和军队建设的重要指导方针。我们要充分认识科学发展观的战略思想,以科学发展观为指导,统筹兼顾,加强装备管理工作的新理论新方法的学习研究。随着以信息化为核心的世界新军事变革的加速向深度和广度发展,武器装备作为军队信息化建设的物质基础和突出标志,呈现出信息能迅速提高,智能化水平不断增强,体系化进程明确加快,网络化态势逐步显现,信息对抗日益激烈的发展趋势。顺应发展趋势,实现信息化转型,已成为世界各国军队现代化建设的方向和目标,我国也一样随着新军事变革的不断深入,装备人员、编制体制和作战方式都不断地发展变化,部队装备管理工作也必须适应这个特点。因此积极探索装备管理的新规律、新方法,改进管理手段,掌握主动权,教育部队官兵坚持装备管理科学化制度,提高管装能力具有重要意义。我们认真贯彻科学发展观,高度自觉地把这一战略思想贯穿于装备管理工作的全过程,贯穿于装备管理准备工作的各个环节,贯穿于装备管理工作改革的各个方面。我们的装备建设必将创造继往开来与时俱进的新境界,开创百舸争流、千帆竞发、万马奔腾的新局面。



巩固和深化通用装备“两成两力”建设成果

杨伟民, 沈 武

(92854 部队)

通用装备成建制成系统形成作战保障能力,是中央军委从军队建设和军事斗争准备全局的高度出发做出的重大决策,是加速推进军事斗争准备的重要途径,是开创部队装备工作新局面的重要因素。自2003年开展“两成两力”建设以来,各部队严格按照“两成两力”建设标准,狠抓落实,部队装备建设有了很大的发展,装备“两成两力”建设水平有了一定的提高,但我们应当看到“两成两力”建设是一项复杂的系统工程,是一项长期的、经常的动态的工作,一种武器系统的作战保障能力建设完成了,另一种武器装备系统建设又将开始。随着保障任务的变化、科学技术的发展等都将不断赋予“两成两力”建设新的内容。因此,如何进一步巩固和深化通用装备“两成两力”建设,是摆在我们面前的一项值得深思的课题。

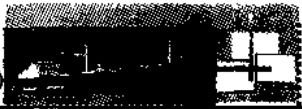
1 坚定不移地把“两成两力”建设摆在部队装备工作的中心位置常抓不懈

1.1 要深刻理解把“两成两力”建设摆在部队工作中心位置的重大意义

首先,只有把“两成两力”建设摆在中心位置常抓不懈,才能抓住部队装备工作的根本。部队装备建设是一项涉及面很广的系统工程,各个要素之间、各个武器单元之间,具有很强的关联性和整体性。仅是单件武器装备形成战斗力不行,光是某一级形成保障力也不够,只有成师、整旅、整团成建制形成整体作战能力,成系统形成技术保障能力,才能适应保障“打赢”的要求。可以说“两成两力”建设是我们抓部队装备工作的根本出发点和最终目标,既是装备工作之纲,也是装备建设之本。其次,只有把“两成两力”建设摆在中心位置常抓不懈,才能抓住军事斗争装备准备的关键。未来军事斗争,我们面临的是拥有大量高技术装备的作战对手,部队要真正形成“打赢”能力,关键在于现有装备“两成两力”建设的实际成效。第三,只有把“两成两力”建设摆在中心位置常抓不懈,才能适应装备工作动态发展的特点规律。随着部队人员的变动,编制的高速和武器装备的更新,“两成两力”建设将不断面临新的情况、遇到新矛盾,特别是随着大批新型装备将陆续列装部队,新装备形成战斗力和保障力的任务更加繁重,难度更大。“两成两力”建设必须适应遵循新的形势,与时俱进,走上制度化、规范化、经常化的轨道。

1.2 要进一步完善机制

在取得成绩的基础上,进一步完善机制,围绕部队现有装备“两成两力”建设,各级党委要把它列入重要议事日程,加大领导力度,形成主官亲自抓,机关合力抓,官兵全员抓的



局面;依据条令条例,进一步明确分工,界定责任,建立协调顺畅的工作关系,解决管装不管人、管人不管装的问题;完善奖惩制度,解决抓部队现有装备“两成两力”建设干好干坏一个样的问题;树立“常抓不懈”的思想,力戒“推一推动一动”的“被动式”做法,把“两成两力”建设一以贯之地抓下去,在抓经常、经常抓上下工夫。

2 强化管理,以管促建,不断巩固现有装备“两成两力”建设成果

2.1 坚持依法管装

要认真贯彻落实《装备条例》,坚持依法管装、用装、治装,纠正有法不依、执法不严的问题;要按规定动用使用武器装备,要严格落实装备动用使用制度,按规定比例动用使用武器装备,特别是车辆、工程机械等保障装备,该封存的一定要封存,更不允许不按编配用途使用装备;要加强装备的维护保养,认真落实装备的维护保养制度,组织好对装备日常维护保养,特别是车、炮(场)日制度一定要坚持经常,做到“四落实”,杜绝走过场现象的发生;要实行规范化操作,强化官兵对装备操作使用的学习和训练,教育官兵严格按程序操作使用装备,对因违反操作规程造成的武器装备损坏手的单位和个人,要依据有关规定追究其责任。

2.2 加强经常性管理

装备管理工作贵在抓经常,难在抓经常,针对重用轻管、经常性管理不经常、以突击式管理代替经常性管理的问题,各级一定要强化法规意识,加大检查监督力度,确保经常性管理工作的落实,同时要积极探索装备管理的特点和规律,寻求装备科学化管理的新途径、新方法,进一步提高装备管理工作的质量,使各类装备始终处于良好的战备状态;从日常管理到技术保障,从机关建设到分队管理,从装备训练到技术革新,都要纳入部队全面建设之中,做到全员参与、全装定位、全程管控、责任落实。

3 着力突破“两成两力”建设的重点难点

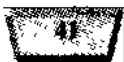
部队现有装备成建制成系统形成作战保障能力建设是一项复杂的系统工程,涉及理论、人才、训练、管理以及保障等主方方面面,必须遵循保障的生成规律,围绕保障力的主要生长点做文章,通过突破重点、难点问题带动整体发展。

3.1 深入开展装备保障理论研究

一是加强装备维修系统工程理论的研究,力求以最少的维修资源消耗获得最大的保障效益。二是加强战场抢修理论的研究。运用计算机技术,建立战时各种条件下的武器装备维修模型,提高武器装备维修组织管理水平,学习借鉴外军先进的野战维修工程理论,积极开展装备战斗毁伤规律、损伤评估技术和应他修复技术的研究,加强故障检测与诊断理论研究,大力开展前沿维修技术,制定和颁发战场损伤评估与修复手册,为战时装备维修提供有力的理论支撑。

3.2 建立一支高素质的人才队伍

科技兴装,人才为本。在人才培养上要实现三个转变,即由注重单一专业型人才转变到





培养一专多能的复合型人才;由注重培养体能、技能型人才转变到培养具有高科技知识的智能型人才;由注重培养一般应用型人才,转变到培养高素质的创新人才。在人才来源上要拓宽渠道,强化军队院校、基地的主渠道作用,加强在职培训和提高学历教育,使装备技术人才的知识更新跟上时代的步伐。同时,要广开渠道,依托国民教育培养人才;对部队急需的专业人才,也可以从相应的科研机构、军工企业特招充实装备保障队伍。

3.3 继续抓好保障装备的配套建设

保障装备是技术保障的物质手段和载体,同时又是武器系统的重要组成部分。注重保障功能配套,配备相应的抢救抢修装备,科学确定维修器材的储备量,为平时保持装备的完好率、配套率和战备出动率,战时使战损装备得到及时、快速的恢复和再生提供必要的物质保障。装备的完好率和配套率是动态的,经常性的装备训练,特别是野外驻训、军事演习和战备拉动,会不断造成武器装备的损坏和自然消耗磨损,需要不断的抓好武器装备的完好率和配套率。对于我旅来讲,应发展相应的两栖装甲弹药补给车、加油车、架桥车、抢修车和抢救牵引车、修理工程车组等,以适应未来登陆作战的需要。

3.4 强化装备训练,提高野战综合保障能力

保障能力是“两成两力”建设中的一个重要方面。要使“两成两力”进一步深化,就要积极探索高技术条件下作战的装备保障方式、方法和途径。一是训练对象合成化。从单纯的装备技术分队驻训向注重装备系统包括装备机关、装备技术分队和器材、弹药保障分队在内的合成化训练转变。二是训练内容实战化。装备保障综合演练要以实战为背景,着眼高技术条件下聚合作战的特点,瞄准强敌设置训练内容,提高训练针对性,要突出抓好装备指挥机构的开设、装备保障力量的编成与部署、装备保障行动的组织实施、装备保障防卫以及自动化指挥手段的使用等内容训练。充分利用外训、演习等时机进一步深化装备保障能力。三是训练方法多样化。因按纲施训的同时,注重灵活运用各种训练方法,确保训练效果,做到战技一体,训保结合,提高野战综合保障能力。

4 与时俱进,确保“两成两力”建设深入持久发展

4.1 把握规律,促进“两成两力”建设的健康发展

随着我军现代化建设步伐的加快,部队的武器装备不断推陈出新,更迭发展,给“两成两力”建设不断赋予新生的内容;另外,部队经常性的训练,又使武器装备完好率和配套率不断发生变化。再如,每年的干部转业、战士复员,也使装备保障队伍的人员在不断更替。正是由于装备使用、管理、保障和管装、用装、修装人员的动态变化,决定了“两成两力”建设不可能“一蹴而就”,更不会“一劳永逸”。所以必须不断研究新情况、解决新问题,遵循装备工作的自身规律,一如既往地抓好“两成两力”建设。只有持之以恒,保持工作的连续性和稳定性,才能促进“两成两力”建设不断地健康发展。

4.2 规范机制,营造良好的“两成两力”建设持续性发展氛围

首先,应把依法管装作为规范运行机制的重要前提。《装备条例》和《装备维修条例》等一系列有关装备建设的法规制度都是我们必须遵循的行为准则。只有依法办事,在遵循“母

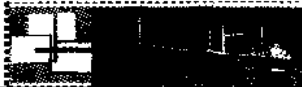




法”的原则下实践和创新,才能促使“两成两力”建设在科学化、制度化和经常化的轨道上前进。其次,应把按职责办事作为各种保障的基础。各级必须坚持各司其职,分层建设,一级办好一级的事,对下属单位既不能越俎代庖,也不能甩手不管。

4.3 开拓创新,不断推进“两成两力”建设向纵深发展

首先是理论创新,把先进的装备理论作为指导装备工作不断发展的重要前提,紧密结合现代作战理论、保障理论和部队保障实践进行深入研究,以科学的、前沿的理论为装备“两成两力”建设导航指向。其次是方法创新,在按职责办、按制度办、按操作规程办的前提下,努力在落实的方法上有所创新和突破,达到事半功倍。三是技术创新,积极采用新材料、新技术和新工艺,广泛开展技术革新活动,提高保障效益,只有以创新为先导,把理论创新、方法创新和技术创新有机地结合起来,作为“两成两力”建设的催化剂,才能不断提高工作效率,使“两成两力”建设在发展中创新,在创新中发展。



燃料电池技术在船舶领域的应用研究

吴桂涛, 孙培廷, 袁金良

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 燃料电池具有能量转换效率高、排放和噪音低的特点, 可在很多领域得以应用。在船舶上可用作应急发电机、发电机及主推进器的电力供应等。本文简要概述了多种类型的燃料电池及其在船舶上的应用前景, 并通过与传统的能量供给装置, 诸如柴油机和燃气轮机的对比, 在效率、功率密度、排放等方面阐述了燃料电池的特点; 指出了燃料电池技术应用于船舶需要解决的问题, 还以用于船舶推进的燃料电池堆为实例进行了详细的探讨。

关键词: 燃料电池; 船舶应用; 能量转换效率; 柴油机

1 引言

传统汽轮机和内燃机消耗了大量不可再生的自然资源并造成了严重的环境污染, 为了解决经济发展与能源短缺及环境污染之间日益加剧的矛盾, 研究清洁、高效、可持续发展的新能源动力技术已经成为当前迫切的任务。风能、水能及太阳能这些持久能源的使用将成为趋势, 但由于这些能源可用性具有不规律性, 所以不能达到电力基本负荷的要求。从 1839 年 William Robert Grove 发现了燃料电池的电化学反应原理到今天, 燃料电池技术一直在不断发展。燃料电池的高效率和无污染的特性, 使其成为下一代汽车与船舶电力设备替代品中的佼佼者。

目前, 船舶主推进市场占主导地位的仍是柴油机, 占 95% 的份额。在过去几十年里, 当空间与重量作为主要考虑因素时, 燃气轮机在海运市场上的份额也有所增加。尽管燃料电池在军事应用方面, 特别在用于不依赖于空气推进的潜艇和水下特殊工程船上, 取得了很大的成功, 但由于本文所阐述的各方面因素, 燃料电池在商用船舶上的使用仍受到限制。

本文总结了各类燃料电池的特点及发展现状。通过与传统的能量供给装置, 诸如柴油机和燃气轮机的对比, 在效率、功率密度、排放等方面阐述了燃料电池的特点。并阐述了燃料电池技术在商用船舶上应用的阻碍因素。本文还给出了使用燃料电池作为船舶推进系统电力供应的一些初步研究成果。

2 燃料电池及其发展

燃料电池是一种将化学反应物的自由能按电化学原理(而不是通过燃烧)转化为电能能量转换装置。化学反应过程中吉布斯(Gibbs)自由能与燃料电池的电压关系如下

$$\Delta G = nF\Delta V_0$$



其中, n 表示反应过程中的电子数目, F 表示法拉第常量, ΔV_0 表示电池两端电压。

所有燃料电池都具有类似的基本结构: 两个电极(阳极通入燃料, 阴极通入氧化剂)布置在电解质两端, 通过外部导线连接成回路。燃料和氧化剂可通过电极上的多孔结构渗入电极。电解质对于气体的渗透性应越低越好。

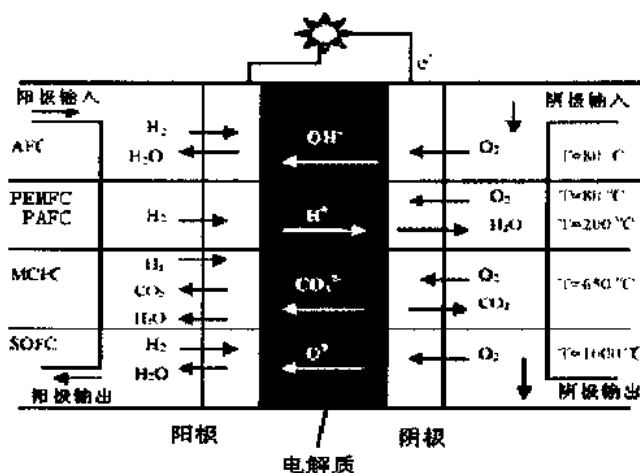
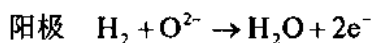
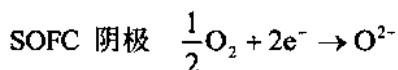


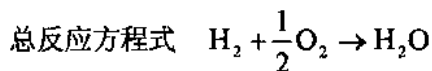
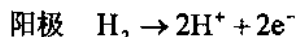
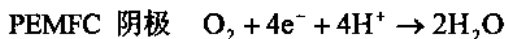
图1 燃料电池的分类

图1根据电解质和电池工作温度的不同对各类燃料电池进行了大体的分类。碱性燃料电池(AFC)已被美国国家宇航局(NASA)用于太空船很长时间了,它使用氢氧化钾碱性溶液作为电解质。质子交换膜燃料电池(PEMFC)和磷酸型燃料电池(PAFC)工作过程中氢气分解为自由电子和质子(正的氢离子),氢离子穿过电解质到达阴极。在阴极,空气中的氧气,外部回路中的电子及氢质子电化学反应就生成了水和热量。这三种类型的电池为低温燃料电池。

高温燃料电池如固体氧化物燃料电池(SOFC)和熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)吸引着人们的关注,因为其工作温度高,可使用天然气作为燃料,还可以与燃气轮机联合使用。整个系统的效率可得到显著的提高。

过去的几十年里,人们对燃料电池的研究和开发做了大量的工作,尤其SOFC和PEMFC系统。阳极通道中注入燃料(如氢气),阴极通道中注入空气(O₂+N₂)。这些通道被电解质和电极分开,反应物通过扩散或对流形式输送到电极/电解质界面(SOFC)或是催化剂/电解质的交界面(PEMFC),即电化学反应区。阳极氧化反应产生的电子经PEMFC双极板,或SOFC内部连接器流到外部回路,离子经过电解质去了另一极,电子通过外部回路回到阴极,进行电化学反应。电化学反应过程中,部分的氧气在阴极侧被消耗了,氢气在阳极侧被消耗,热量和水(H₂O)是反应过程中唯一的副产物,生成的水在SOFC中被排放到阳极管中,而在PEMFC中被排回到阴极管中,电化学反应方程式如下:





电池的平衡电压是阴阳两极的电势差,由两极电化学反应决定:

$$\Delta V_0 = \Delta V_{oc} - \Delta V_{os}$$

一般来说,由于反应表面积的限制,单节电池在工作条件下只能产生有限的电能,要通过单节电池的串并联(即燃料电池堆)才能产生所需的电能。

如果应用于船舶,为了得到高电量,就需要燃料电池堆以及相应的部件联合工作,如燃料重整设备(将碳氢燃料转变为氢),空气压缩机,加湿器,冷凝器等。目的是控制热量的平衡,反应物及产生物的有效管理,如水的管理,对于燃料电池的有效工作来说至关重要。

由于效率高,营运成本低,可靠性高,燃料电池可以和技术发展比较完善的内燃机相抗衡。为了使燃料电池堆取得良好的工作性能,同时又要使系统成本降低,目前相关的研究工作集中在电池的新材料以及燃料的预处理等相关技术的攻关。

3 商船使用的热机

商船的种类很多,但一般来说,其能量要求可总结如下^[1]:推进功率:5~50MW;船舶电力系统电能供给:小于10MW;应急能量供给0.1~1MW。

表1 船舶能量系统的工作性能标准

工作性能	标准
燃料经济性	燃料消耗率
可靠性	两次故障之间的时间间隔
可维修性	修理故障需要的时间及人力
安装灵活性	系统/部件可以在多种场合或在多个舱室内安装
操作灵活性	满足各种操作要求的能力
系统反应	根据指令改变输出的速度
功率密度	每单元体积或重量所输出的功率
排放	每千瓦时的气体排放量
噪音/振动	系统释放出的噪音/振动
适应性	系统适应不同负荷的能力

对于船舶,能量系统的设计和安装,下面几个重要因素应给予足够的重视,即船型、船舶用途、装载的货物及经济等因素。尽管现代商船能量系统的设计多种多样,但能量系统的工作性能标准还是有共性的,如表1所示^[1]。

柴油机作为船舶主推进装置和发电副机,占据绝对主导地位。燃气轮机在商船上的使用还是很少。表2给出了各种发动机作为船舶主推进发动机的市场份额^[2]。在过去的几十年中,

低速柴油机在市场上的份额稳固增长,主要原因是高速机需要高质量的燃油。值得一提的是,当空间和重量为首要考虑因素时,燃气轮机的份额在过去十年里有所增加,但增加幅度有限,表3为柴油机和燃气轮机的特点比较。

表2 各种船用发动机的市场份额

机 器		数 值
柴 油 机	低速	75
	中速	15
	高速	5
燃气轮机		5

表3 船用柴油机和燃气轮机的特点比较

柴 油 机	燃 气 轮 机
低油耗/低功率密度	高功率密度/环保/船上维护工作量小
可维修性好	特定设计、可维修性差
部分负荷特性良好	部分负荷特性较差/大气温度对于工作性能有显著影响

目前热机技术的发展方向主要是增加功率密度和减少排放的同时,保持热效率、可靠性和降低维修成本。对于柴油机来说,可通过改善缸内燃烧,控制燃油喷射,增加气缸承压和气缸紧凑布置等来改善柴油机工作性能。为了提高系统热效率,废气透平、废气锅炉和经济器得以应用,甚至低等废热也用来发电。但是,以上的任何一种改进都会使系统变得复杂,而且这些方法并不是所有的情况都适用。

4 燃料电池优越性及船舶应用前景

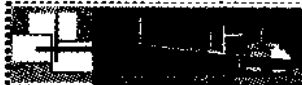
与普通热机,如柴油机及燃气轮机相比,燃料电池具有如下优点:

(1) 高效率。由于燃料电池不是通过燃料的燃烧来发电的,因此,它的热效率并不受卡诺循环(热力学第二定律)的限制。燃料电池电池堆的转换效率(从燃料输入到电能输出)一般为40%~50%,如果热电联产,系统效率可达60%~70%。因此燃料电池可作为油船、散货船、集装箱船等的推进能量来源。

(2) 低排放。对于PEMFC来说,大部分有害成分在燃料重整过程中被除去了。因此,燃料电池的排放可忽略不计。对于SOFC来说,燃料重整后,其排放物有CO₂,但是其排量要比传统热机小,而且氮氧化物的排放与传统热机相比要小得多。因此燃料电池可用于拖船、沿海船舶、渡轮和海上供给船。

(3) 低噪音。燃料电池本身没有运动部件,只有辅助部件或设备发出声音。例如泵、风扇、增压机等。这样燃料电池堆就可安装在任何地方,甚至是乘客或船员舱室附近。这个特性对于噪音要求严格的船舶,如勘探船和客船,相当重要。

(4) 良好的低负荷工作性能。燃料电池堆的效率很大程度上取决于单节电池的特性,和系统的大小无关。在30%~100%的额定功率范围内,燃料电池系统都具有较高的效率,而传统热机在低负荷情况下的工作效率很低。因此,燃料电池非常适用于于负荷经常变化的船舶,



如渡轮和海上供给船等。而且燃料电池可以以组件形式制造,可以根据负荷要求,随意改变燃料电池堆的大小,这样可以灵活布置燃料电池系统,优化船舶机舱和货舱空间结构。

(5) 燃料选择的多样化。燃料电池可采用多种燃料:如氢气、天然气、甲烷、石脑油、液态碳氢燃料、煤气甚至是生物质油。低温燃料电池(如 PEMFC)需使用纯氢气,而高温燃料电池(如 SOFC)对燃料的要求不严格,可直接使用天然气或是除去 H_2S 后的重整系统中的混合气。燃料电池对多种燃料的适应性特点,可减少传统热机对燃油的依赖。

(6) 低操作/维修成本。和热机相比,燃料电池操作方便,几乎没有运动部件,不需要滑油,需要维修保养的部件很少,和传统的技术相比系统的可靠性提高了。

通过以上对照可以看出,燃料电池明显优于传统热机。因此,对于特别注重燃料消耗以及运行在环境敏感区域的船舶,燃料电池是首选的能量装置;另外,使用燃料电池还可以提高船舶的操作性能,因为燃料电池提供的电能可很快使螺旋桨反转或是启动侧推器或喷水推进装置。然而,燃料电池的功率密度只能和低、中速柴油机相比,还不能和高速燃气透平及高速柴油机相比。因此燃料电池不能应用于功率密度要求较高的船舶(如高速渡轮)。

5 燃料电池在船舶应用中的主要障碍

众所周知,轮机是一项保守的行业,操作经验起主要作用,这就是说,引进一项新技术如燃料电池技术到一个已经很成熟的市场中并不容易。燃料电池必须具备相当的优势才能使这种可能性变为现实。

燃料电池应用于船舶的主要障碍可归结为:成本,燃料的供应与重整,技术的成熟程度,安全和船级社入级等问题。

燃料电池是一项新技术,技术还不够成熟,而且成本相对比较高,这是其广泛商用的主要障碍。而且传统热机的售后服务和基础设施都发展十分完善。因此,出于安全及经济方面的考虑,船东仍可能会继续选择使用重油或船用燃油的柴油机或燃气轮机。

燃料电池如应用于船舶,其燃料供应的问题必须得到解决。表4给出了可用于燃料电池各种燃料的性能对比^[1, 3]。可以看出纯氢的功率密度最大,但比体积效率并不高。而且,可燃氢的安全性以及由此造成的对船舶结构的改造也是一个缺陷。甲醇优点很多,可从诸如天然气、煤、木头和其他可再用能源中获得,而且洁净,储存方便,可在低温下重整。乙醇的重整较为困难,而且不容易获得,没有相应的供应网络。柴油作为重整的燃料之一,在不久的将来非常有竞争力。

表4 燃料电池各种燃料的性能对比

燃料	符号	功率密度/ (MJ/kg)	单位体积/ (litre/kg)	单位质量/ (kg/kg)
氢气	H_2	51.8	10500	1.00
甲烷	CH_4	50.0	14.08	1.00
甲醇	CH_3OH	21.1	10.01	7.95
乙醇	C_2H_5OH	27.7	9.55	7.62
柴油	$C_{12}H_{26}$	43.3	8.69	6.50

注:单位体积/质量代表获得1千克氢气所需的各种燃料的体积(升)或质量(千克)



如果重整技术能够使燃料电池使用传统燃料,这对燃料电池在航运业的应用来说是一个突破,尤其那些航线相对较长的船舶。研制高效的燃料重整装置以及制备性能稳定的催化剂是该技术的关键。

燃料电池船舶应用应考虑到安全、控制和监测等问题。如果燃料电池堆及相关部件出现了小故障,应不会引起整个系统供电的失效;如果部分电池堆不能工作,也不应影响其他部分的正常工作。

目前,燃料电池大多是按照陆地工作条件设计的,尚未充分考虑到船舶航行的环境。船舶海洋环境主要表现在盐分,振动,摇摆及腐蚀等。燃料电池在严峻海况下的工作性能和持久性还需进一步实验,以证明其能够适应工况及环境的突然变化并作出反应,如由于船舶操作而突加负载引起温度的变化等。对于燃料电池在商船上的应用,应当在各种典型海况下做长期实验。

6 实例研究

从上述分析可以看出,燃料电池的船舶应用有着相当广阔的前景,但到目前为止,燃料电池的船舶应用还相当有限。仅在海军潜艇和 underwater 特殊运输工具有些应用实例。美国海岸警卫队对正在服役的一艘单体船进行了改装,这艘船采用电力推进,直流电机直接驱动螺旋桨,原来由 4 台柴油发电机供电,改装为 4 组 MCFC 电池堆(每组 625 kW,总体输出 2.5 MW)供电,燃油重整设备可将 F-16 柴油分解为氢气和二氧化碳^[2]。

研究表明,低温燃料电池(PEMFC)的效率和现有热机不相上下,而 SOFC 的效率有望超过最先进的柴油机和燃气轮机,如图 2 所示。另外,燃料电池的功率密度可能比柴油机略高一点,但无法和燃气轮机相比。这些研究结论以应用 F-76 柴油和交电供应为前提^[2]。

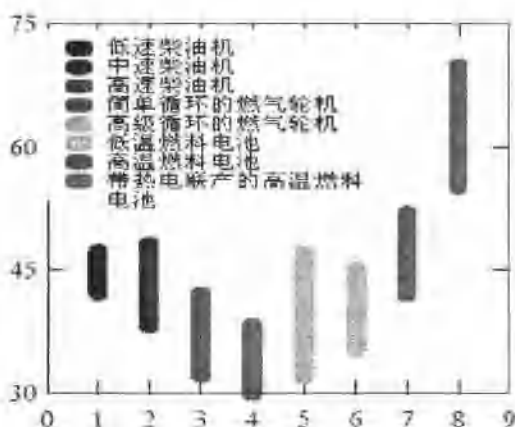


图 2 不同动力装置能量转化效率对比^[2]

本文为了预测燃料电池堆的工作情况和总体系统的电力分布,对船舶燃料电池系统进行了简化并进行了计算机模拟,图 3 给出了简化的船舶燃料电池系统图。这个系统包括了几个主要的操作设备,如燃料电池堆,反应物控制单元,电流转换器和必要的能量/电力供应组件。



作为一个例子, 此系统使用的是中温固体氧化物燃料电池 (ITSOFC)。此种电池采用新型材料, 在 $600^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ 时正常运行。该电池采用盐-陶瓷复合电解质, 含有氧化镍、氟化物的合成物作为电极。研究发现, 氟化物对于碳氢燃料有很明显的催化作用, 使 ITSOFC 在较大的气体组成和温度变化范围内都能良好地工作。控制单元包括必要的热量/水平衡部件 (如各种热交换器), 转换器将直流电转换为交流电。另外, 还需要控制/监测系统参数来控制燃料/空气比例、水平衡、燃料使用、温度和压力、电力/功率负载的平衡等等。

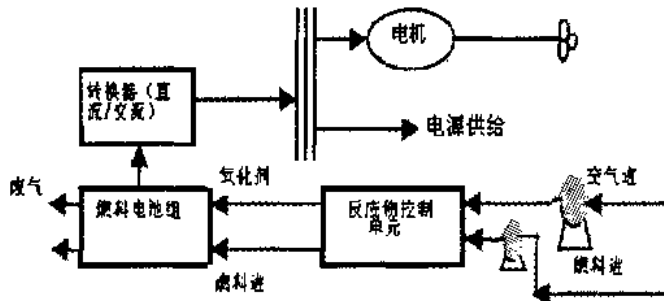


图3 船舶燃料电池系统简图

船舶不同设备间的电力分配应得到很好的监控。例如, 负载增加则电流增加, 主汇流排上的电压就会降低, 这时需要相应控制燃料电池堆中反应物的流量和浓度。

作为研究项目的第一步, 本文的实例仅集中在燃料电池堆的性能分析, 分析结果分别示于图4、图5, 而采用的 ITSOFC 电池堆模型的各种性能参数见表5, 电池堆的工作性能以电压-电流曲线 (V-I), 功率-电流曲线 (P-I), 热量/气体平衡等表示。本文计算中也考虑了碳氢燃料重整过程, 详细信息参见文献[7, 8]。

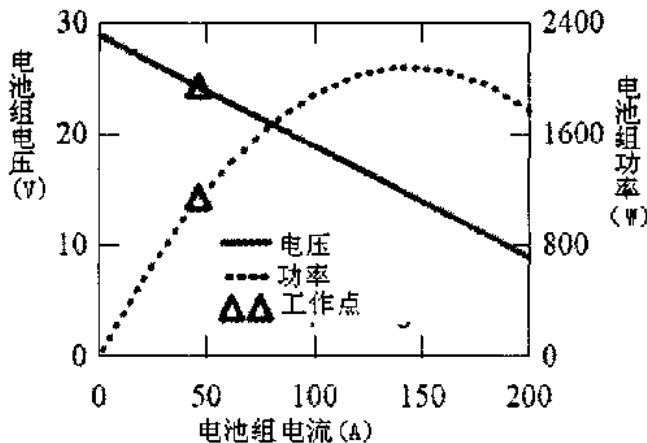


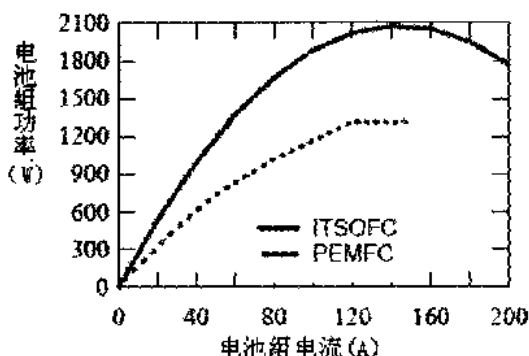
图4 中温 SOFC 电池堆工作性能

表5 中温 SOFC 电池堆的各种参数及其性能预测

电池堆参数	数值
电池堆额定电功率, kW	1
燃料成分	CO(30%)+CO ₂ (10%)+H ₂ (50%)+CH ₄ (10%)
电池堆额定电压, V	24
电池堆额定电流, A	46.3
电池堆温度, ℃	700
压力, MPa	0.1
电池功率密度, mW/cm ²	364
电池电流密度, mA/cm ²	606
电池堆燃料消耗, kg/s	1.22×10^{-4}
效率(不包括热电联产/包括热电联产)%	34/64

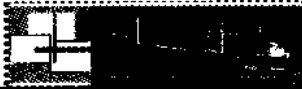
图4表示了ITSOFC的模拟工作性能,本文研究的对象是1kW的电池堆,使用的混合气成分为CO(30%)+CO₂(10%)+H₂(50%)+CH₄(10%)。由于ITSOFC能直接氧化碳氢燃料,因此不必使用外部重整设备。电池堆在24V的情况下发出1kW交流电(直流电功率为1.1kW,本例中假定电力转换效率为90%),电池单元电压为0.5~0.7V,电流密度200-950mA/cm²。如果选用0.6V作为工作电压(相应的电流密度为606mA/cm²),为提供所需电能,需要40节电池,每个电池提供0.008m²的有效工作面积。电池堆设计工作点见图4。电池堆工作参数和计算的工作性能列于表5。如表5所示,电池堆的效率为34%,如果考虑到热电联产,其效率为64%。假定燃料的使用率(反应掉的燃料与输入的燃料的质量比)为70%。

通过和其他文献的数据对比^[6],图5给出了ITSOFC和PEMFC在相同功率(1kW)输出,燃料分别为生物质燃料和氢气的工作情况。结果表明,即使采用碳氢燃料,ITSOFC电池堆仍有较大的性能优势。

图5 ITSOFC 电池堆与 PEMFC 电池堆电功率对比^[6]

7 结 论

和传统柴油机相比,燃料电池有很大的优势。然而目前的研究主要集中于燃料电池在陆地的使用,如SOFC用于发电,PEMFC用于汽车等,目前燃料电池的船舶应用仅限于军用。

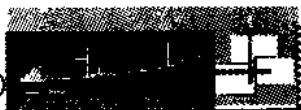


通过本文的讨论,可以看出燃料电池技术应用于船舶,尤其是商用船舶,还需要更进一步的精心设计和技术发展。但很多船舶可以使用燃料电池作为理想的电源。预计,燃料电池将应用于游轮、渡轮、集装箱船和天然气船等。由于燃料电池的排放优越性,可用于航行于环境敏感地区的船舶。目前首先要解决的问题是合适的燃料供应,燃料电池的动态反应以及燃料电池的可靠性和安全性。

参考文献

- 1 Borgnakke, C. and Sonntag, R.E. Thermodynamic and Transport Properties[M]. New York: J. Wiley & Sons, Inc., 1997.
- 2 Bourne, C., Nietsch, T., Griffiths, D. and Morley, J. Application of Fuel Cells in Surface Ships, ETSUF/03/00207/00/00 (internal report)[R]. Rolls-Royce Strategic System Engineering, 2001.
- 3 Greg, A. Fuel Cells and Issues for Their Use in Warships[J]. Marine Design and Operations, 2003, B3: 9-19.
- 4 Sattler, G. PEFCs for Naval Ships and Submarines: Many Tasks, One Solution[J]. Power Sources, 1998,71: 141-149.
- 5 Sattler, G. Fuel Cells Going-on Board[J]. Power Sources, 2000, 86: 61-67.
- 6 Schmal, D., Kluiters and C.E., Barendregt, I.P. Testing of a De Nora Polymer Electrolyte Fuel Cell Stack of 1 kW for Naval Applications[J]. Power Sources, 1996, 61: 255-257.
- 7 Yuan, J., Faghri, M. and Sundén, B. On Similarities of Heat and Mass Transfer Phenomena in PEMFC and SOFC and Their Modeling, book chapter in Transport Phenomena in Fuel Cells[M]. Sundén, B. & Faghri, M.(eds), WIT Press, 2005.
- 8 Yuan, J., Zhu, B., Shah, R. and Sundén, B. Modeling and Analysis of a Bio-fuelled Ceramic Fuel Cell Stack[C]. Second International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, 2004.
- 9 Zhu, B., Bai, X.Y., Chen, G.X., Yi, W.M. and Bursell, M. Fundamental Study on Biomass-fuelled Ceramic Fuel Cell[J]. Int. J. Energy Res., 2002, 26: 57-66.
- 10 牛东翔, 吴桂涛, 黄飞. 燃料电池简介及其在船舶上的应用前景[J]. 航海技术, 2004(5): 51-53.





国内外轮机模拟器的发展及对比研究

何治斌, 张均东, 林叶锦, 曾 鸿, 严浪涛

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 结合国际上知名的挪威 NORCON 公司研发的轮机模拟器和国内大连海事大学自主研发的最先进的轮机模拟器的特点及其差异, 论述了轮机模拟器的历史、现状, 并分析了国内外轮机模拟器的发展规模和研究水平以及发展趋势。

关键词: 轮机模拟器; 对比研究; 发展趋势

1 轮机模拟器的概念及研究目的

轮机模拟器是用计算机仿真的方法将实船使用的控制箱体、物理盘台及其他模拟设备进行展示, 模拟实船机舱设备及其操作控制功能, 并对操作者进行操作技能训练和熟练程度评估的装置。

尽管轮机模拟器培训不能完全替代实船经历, 但它的确有助于提高实船操作中所必需的快速反应能力和安全操作的能力, 可以缩短轮机员在航适应时间、减少海上事故的发生, 是一种培训现代远洋轮机人员经济、安全、高效的设施之一, 国际海事组织 (IMO) 在 STCW95 公约中已将其列入船员培训的必备条件之一。

STCW95 公约对轮机模拟器的一般性能标准和建议性标准作了详细规定, 要求轮机模拟器能够模拟船上有关设备的操作 (包括这种设备的性能、局限性和可能产生的误差), 具有足够的仿真环境, 使受训者达到规定培训目标的实际水平。

早期, 国内外对轮机模拟器的研制主要以满足 STCW95 公约对轮机模拟器的一般性能标准作为研制目标, 目前, 已经上升到了一个新的水平, 代之以船型求新, 数据求精, 功能求全, 感觉求真。

2 国外轮机模拟器历史与现状

国外对船舶动力装置的系统仿真自 20 世纪 80 年代起就已开始, 由于受到当时计算机技术的限制, 整个船舶动力装置的数学物理模型及其对动态过程的分析和显示均较为简单。较有代表性的有英国 AVEN 公司为英国华什西航海学院建造的轮机仿真训练器, 以及挪威 NORCON 公司研制的轮机仿真训练器。20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术的发展, 整个仿真系统的网络和工作站都有了很大的进步, 其中 NORCON 公司已率先研制出调距桨船舶动力装置的仿真系统。

挪威 NORCON 公司生产的轮机模拟器基于真实的船舶机舱类型, 主要部件, 如主机遥控系统、机舱就地控制箱及控制器、车钟、报警系统、电力供给系统、机器声响等都与实船



一样,学员在模拟器操作训练如同于实船。它的数学模型包括不同的船型,不同的配置,不同的主机类型。模拟器的子系统包括主机控制系统、淡水冷却系统、海水冷却系统、燃油供应系统、燃油净化系统、滑油和活塞冷却系统、压缩空气系统、扫气和排气系统、警报系统、机舱污水及油水分离系统、故障排除系统等。同时该公司开发出了一种有效的轮机模拟器教练员系统,该系统提供了一套练习方案,教练员可方便地设计机舱各设备的工作状态并保存,方便下次直接调用不同的仿真环境;还可以设定基于时间或事件的故障,依据自身编辑好的考核模式进行评分,以从不同角度客观准确评估学员的知识和技能水平,减少教练员评判时的主观性。该公司研制的轮机模拟器系列、种类齐全,在技术上居于世界领先地位,但是也有不足,其仿真的母型船有些偏旧,子系统有些已经不符合当今标准。

英国 Transas 公司生产的轮机模拟器分为三个类型,即 ERS2000, ERS3000 和 ERSSolo 型轮机模拟器。ERS2000 型轮机模拟器基于 PC 网络,由一个教练员台和 1~12 个学员工作站组成,教练员工作站可以在线监视和控制学员工作站的操作,学员台可运行不同的柴油主机模型和电站模型以及与其相配的控制系统和设备;ERS3000 是全使命轮机模拟器,采用实际的控制设备面板、仪表和控制台,并且可与航海模拟器相互联网组成驾机综合训练中心;ERSSolo 是单台 PC 桌面型轮机模拟器,特别适用于海船船员的适任评估和相关的知识更新培训。这三种类型的轮机模拟器可以单独配置,也可以结合起来配置。

3 国内轮机模拟器历史与现状

我国轮机模拟器的研制起步较晚,条件差,但研究起点高,发展很快,国内具有代表性的轮机模拟器研制单位有大连海事大学、上海海事大学和武汉理工大学。

大连海事大学自行研制的新型虚拟轮机模拟器系统,是以交换机为中心将各个子系统仿真工作站、服务器、相关控制台、配电盘和 VR (Virtual Reality, 虚拟) 工作站以星型网络结构构成的分布式仿真系统,系统以虚拟现实技术,配合集控室控制台、配电盘和驾驶室控制台等实物再现船舶的实际机舱。整个轮机模拟器留有网关,可与航海操纵模拟器联网,建成驾机联网模拟训练中心。整个系统由驾驶室/教员室功能模块、集控室功能模块、机舱设备功能模块、学员操作功能模块和电源(UPS 不间断电源)五大部分组成。

同时,大连海事大学为青岛远洋船员学院研制的大型集装箱船轮机模拟器已经通过了交通部和国家海事局的科技成果鉴定。鉴定委员会认为:“该模拟器总体上达到国际先进水平,在故障设置数、轮机训练内容和三维可视化交互仿真等方面性能超过国外产品”。

目前,大连海事大学已经与山东交通学院海运学院签订合同,2006 年为该院研制建造 DMS-2005 大型集装箱船轮机模拟器和机舱虚拟现实仿真系统,合同额为 215 万元。该模拟器具有我国自主知识产权,是目前国内系统规模最大的轮机模拟器。DMS-2005 轮机模拟器以中远集团目前箱位最多、设备最新、航速最高的第六代集装箱船作为母型船,对船主柴油机及其推进系统等 13 个主要系统建立全功能仿真模型,其操作、显示功能与母型船相同。模拟器建立了各系统精细数学模型,可设置大量各类型系统故障,除满足轮机专业本科模拟器教学要求外,更适合于轮机长、大管轮等管理级船员培训要求。

武汉理工大学 1991 年开始研制,1994 年研制成功以教学船舶为对象的轮机仿真模拟器,



并于2004年9月21日至24日承办第六届国际轮机模拟器大会,此前的五届会议在欧美航运发达国家举行,由此可见武汉理工大学轮机模拟器的研发水平在国际上所处于的重要地位。

上海海事大学也于1998年研制成功以大型集装箱船舶为对象的轮机仿真模拟器。

4 国内外轮机模拟器的发展趋势

轮机模拟器的研制将与船舶自动化的发展和船员教育培训要求紧密结合,并随着船舶自动化程度的提高和计算机技术的发展而发展,具体将表现在如下几个方面:

(1) 对真实训练环境及仿真逼真效果的追求

①对主机和集控室都采用硬设备,每个系统重现所用的泵浦和管线,并且考虑液体或气体的流动特性。同时,系统采用实际的控制盘台和显示,能够仿真不同的报警和故障,产生随机的机舱声响效果。这种模拟器造价比较高,但是货真价实,临场感强,德国STN Atlas Elektronik公司的产品比较具有代表性。

②虚拟技术的介入。可生成一个逼真的、具有视、听、触的虚拟机舱环境,操作人员不仅可以看见机舱的设备,而且可以通过操纵手柄或鼠标实现在机舱漫游,极大提高人控仿真的逼真性和实效性。这种模拟器价廉物美,市场前景乐观。大连海事大学的模拟器已经采用了虚拟技术,并且正以大连海事大学教学实习船为母型进行研制的轮机模拟器也将会引入这一技术。

(2) 计算机网络系统将普遍采用分布式模块化结构,可以把基于不同目的的系统、不同厂商的产品和不同的平台组织起来并允许它们互操作,具体可组建驾机合一的船舶模拟训练中心甚至船岸管理训练中心,中心的每个单元点是完全自治。挪威NORCON公司生产的轮机模拟器比较典型。

(3) 随着Internet和远程教育的迅速发展,轮机模拟器作为一种有效的教育培训工具,将应用于远程模拟培训和船上操作模拟训练。

5 结束语

国内外对轮机模拟器的研发正处于一个热火朝天的时期,各种尖端计算机技术、前沿网络技术都被引用进来,轮机模拟器已发展成一个软硬结合、人机结合、高度复杂、可伸缩的庞大系统,研究局面呈现出欣欣向荣、百花齐放形势,国内以大连海事大学等院校为主的单位也正紧锣密鼓的集贤纳良、招商引资、开源节流,欲在轮机模拟器这一领域有所建树。目前,能否研制轮机模拟器已经成为衡量一个国家技术水平高低的标志之一。



创新发展 构建和谐企业

黄思光, 郑华祥

(海军 7807 工厂)

科学发展观是构建和谐企业的长期战略思想和根本指针。近十多年来, 4807 工厂坚持科学创新发展, 取得了良好的经济效益、军事效益和社会效益。尤其是 2002 年以来的 4 年中, 工厂完善了某型舰修理生产线、建设和完善了多条大型船舶修造生产线, 生产能力连上新台阶; 某型舰中修按时圆满完成, 再一次实现了产品升级; 多艘万吨级成品油轮、散装货轮建造完工出厂, 取得了良好的经济效益; 企业管理明显进步, 企业改革不断深入, 各项主要经济指标均创下历史最高水平。其中工业总产值年递增 20.64%; 工业增加值年递增 18.77%; 产品销售收入年递增 20.76%; 利润总额年递增 26.35%; 职工人均收入年递增 10%。四年来, 工厂先后被评为全国精神文明建设工作先进单位、全国“守合同、重信用”企业、全国模范职工之家, 福建省文明单位、福建省“AAA”级信用企业等二十多项荣誉桂冠。

汉代名臣贾谊说:“夫为人臣者, 以富乐民为功, 以贫苦民为罪”。4807 工厂的新一届领导, 十分清楚肩上担子的分量, 他们牢固树立和落实科学发展观, 把自己定位为职工利益的实现者和忠实维护者。他们以为海军装备保障服务为荣, 以提供坚强的装备技术保障后盾和实现企业持续、稳定、协调发展为目标, 以提高职工的生活水平为己任, 创新经营理念、创新管理机制、创新质量文化、创新人本管理, 朝着企业的愿景目标, 推动了企业的发展。

1 创新经营理念, 制订和落实科学发展方略

随着工厂的进一步发展, 厂领导班子更加深刻地认识到只有坚持学习, 不断创新, 才能跟上时代前进的步伐, 才能更好地带领职工实现新的目标。因此, 工厂领导班子始终坚持学习, 努力实践“三个代表”重要思想, 牢固树立和落实科学发展观, 不断更新经营理念, 把握时代脉搏, 紧跟发展步伐, 并以一种全新的经营管理视角, 抓住我国向世界造船大国、强国进军和加强海军建设的这个有利于工厂发展的战略机遇期, 结合当前市场的形势和企业的现实情况, 提出了一系列新的发展思路, 描绘了工厂的远景规划, 且逐步落实到实际行动中。

一是紧紧围绕“保障有力”这条主线, 不断提高装备修理能力。作为海军装备保障企业, 首要的任务就是要结合装备发展的步伐, 致力于提高装备保障能力。厂领导班子根据工厂在未来几年内应承担的舰船保障任务和国际国内船舶市场发展的趋势, 组织深入调研, 进行合理的产品定位, 把重点放在装备保障能力配套建设上, 紧紧围绕“保障有力”这条主线, 采取“重点建设与兼顾一般、优化整合和改造新建、硬件达标与软件配套相结合”的办法, 从提高舰船装备保障能力的要求和企业长远发展的全局出发, 围绕逐步配套新型、大型舰船修理生产线, 争取立项, 落实投资, 完成了×万吨级高桩码头和××座标准厂房、办公楼及相



关设施的建造等,落实了各项修理技术准备,提前具备了大型舰船的修理保障能力,圆满地完成了×艘×××型舰的计划中修任务。同时,根据×××型艇即将配备基地部队的实际情况,以高度的责任感和使命感,积极开展修前各项准备工作,进行技术资料的收集和消化、选派人员送外培训、引进有关技术软件等,同时抓紧该型艇修理生产线建设,工厂的生产能力和保障能力即将再上一个新台阶。

二是充分发挥内部资源的相对优势,制订和落实经营战略决策。在完成装备保障任务的同时,根据船舶市场的发展形势,工厂领导班子达成共识,坚持“转变经营策略、引进外来资源、实行互补合作、争创多赢局面”的经营战略决策。引进了资金、劳动力,发挥了管理、技术、检验优势;进一步完善了2.5万吨级船舶建造生产线,并建设了多条大型船舶建造生产线,使工厂的万吨级船台由原来的一座变为现在的五座。今天,工厂船台、船排、船坞、码头上,一艘艘正在修造中的海上“蛟龙”,顶着飞舞的焊花、闪耀的弧光,无不烘托出一片兴旺发达、蒸蒸日上新景象。一艘艘万吨级船舶的成功建造,均以优质的产品获得了船东、船检和工厂等三方满意的肯定,实现了良好的经济效益、军事效益和社会效益。这一战略举措是工厂建厂以来一个新的转折点,它给工厂的产品结构调整提供了一条崭新的路子。经过了近年来的创新发展,工厂的资金“瓶颈”得到了有效的缓解,民用船舶修造市场得到了较大的拓展,而市场风险却得到了有效地规避。

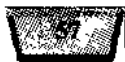
目前,工厂已相继开发建造了大型挖泥船、军用水船等技术含量高、附加值高的船舶产品,经营发展形势十分喜人。随着生产规模的逐渐扩大,下一阶段,工厂将巩固和发展已取得成果,重新调整 and 确立“科学配置资源,加强互补合作,多种模式并存,实现共同发展”的经营战略思路,继续扩大生产经营规模,促进船舶建造产业的良好发展。在确保军品的同时,实现到2010年年建造船舶24万吨的发展目标。

2 创新管理机制,增强企业的生机与活力

制度是生产力发展的重要保证。为了发挥制度的约束和激励作用,增强企业的生机与活力,厂领导根据企业现状,决定改革现有的分配制度,组织人员前往兄弟工厂考察、学习,取长补短,逐步使改革思路更加清晰。2005年,本着以“按劳分配、效率优先、兼顾公平”的原则,工厂进行了深化工资分配制度的改革。此项改革以维护职工利益为根本,收入分配更加向生产一线倾斜、向管理、技术保障等关键性岗位倾斜,在第九届三次职工代表大会上获得了全体代表的一致通过。

进一步健全和完善干部能上能下、职工能进能出的用人机制。工厂坚持在保持稳定的基础上,做到有破有立,逐步引导观念的转变,改变相对单一的人才招聘模式,在监修、财会等岗位深入推行人才招聘办法,激发了全厂争当知识型员工的积极性,有效地增强了企业活力。

在人才的培养和引进方面。工厂坚持采取送出去、引进来的办法,通过自办培训、联办本科班、委托高校培养、选送外出培训等方式,完善了内部人才培养、成才机制。同时通过实施储备金制度等,提高工资、福利水平;通过建造综合科技楼等,改善生活条件;并提供施展才华的舞台,营造拴心留人的温馨环境等,充分发挥引进人才的作用。





在基础管理方面。工厂以推进信息化建设为重点,大力提高基础管理水平。2003年以来,工厂投入资金购买了计算机,建设了内部局域网,开发和引进了成本管理软件和各类工程技术软件。目前信息化建设的成效已在成本管理和生产设计等环节得到了映射。在现场管理上,重点进行了生产工作现场的规范管理和厂区的绿化、道路的整治,现在厂区绿化已经初步完成,并将申报参加省级园林式单位的评审。

在基建工程建设管理方面。工厂领导班子严格遵守国家的法律法规,认真贯彻执行上级的有关文件精神,发挥职工民主管理和党委当家理财的作用,把各个工程的建设置于多重的监督之下,同时健全工程的组织领导机构、明确工程的现场指挥、搞好工程的预决算和审计、严格招投标管理,认真履行各道程序,不断规范工程管理运作,避免“工程建起来、干部倒下去”的情况发生。近年来,投资逾亿元的各项工程建设,经过经费使用审计和工程质量验收,没有出现工程质量、经费使用、安全生产等方面的问题和其他违法违纪行为。

在加强成本管理、提高经济效益方面。工厂坚持推行厂级领导目标责任制,实施经济责任承包办法。并通过加强对材料的管理,加大资金的催收力度,加强对历年积压和报废物资的处理,合理确定库存量,抓好物资采购审价,严格物资采购管理,加强对资本运作的调控,盘活固定资产等等。工厂的经济运行状况迅速好转,经济效益明显提高。如近年平均物资采购审降率达 2.5%;又如通过对资本的运作和固定资产的盘活,2005 年仅营业外收入一项就达上千万元。

3 创新质量文化,塑造良好的诚信形象

塑造良好的企业形象,就必须要以诚立信。只有讲诚信,企业与顾客之间才能建立起信任,市场才会为你打开。工厂要求全体职工要真正做到以市场为中心、以顾客为关注焦点,坚持做到“以诚立信、精益求精、顾客满意;严格管理、持续改进、实现共赢”。经过近年来的努力,工厂坚持诚信经营成果收获颇丰。如在民用船舶的修造上,能做到周期保证、质量优良、服务周到,从而满足了顾客的要求,提高了顾客的满意度,留住了老顾客,吸引了新顾客。由于产品质量好,坚持诚信经营,老顾客们争着与工厂合建新的大吨位船舶建造生产线,决定与工厂长期合作。工厂还根据现有目标市场的供求情况,重新确定了顾客群、目标顾客及潜在的顾客。产品也从油船、散货船发展到工程船、集装箱船和化学品船。同时考虑到五年后,国内船舶市场可能出现的波动,工厂目前正在努力打开国际市场,现已签订了出口数艘万吨级油轮的建造合同。

质量是产品的灵魂,是产品抢占市场的依据。而对于肩负着东南沿海舰船装备技术保障任务的海军装备保障企业来说,产品质量更是保证部队战斗力、恢复部队战斗力、增强部队战斗力的前提。因此,两级领导班子首先牢固树立了“抓质量就是保生命、抓质量就是保胜利、抓质量就是讲政治”的思想观念,并在已有的质量管理体系的基础上,建立了修船质量管理体系。坚持做到只要部队需要,只要有利于提高舰船在航率、能战率,维护和保持部队战斗力的事,再难都要做好。

工厂对质量的管理一贯从严要求,奖罚分明。对不負責任造成质量事故的行为,坚决给予严厉的批评教育和惩治;对在产品质量上做出贡献的,立即给予晋级、增资等嘉奖。同时





还多次组织开展全厂性的质量教育整顿活动,进行质量教育、自查整改等一系列活动。

为了提高产品质量,工厂实施了对有贡献的技术攻关人员的奖励措施,鼓励积极开展QC攻关活动,支持“四新”成果的引进、推广和运用,有效地改善了舰艇装备的使用性能和安全性、可靠性,减少了维护难度,得到了部队的好评。

4 创新人本管理,促进全厂职工凝成合力

和谐是稳定社会之道、成就事业之本、持续发展之基。工厂始终坚持和谐与发展这两大主题,围绕凝聚人心、促进发展、维护稳定三大任务,正确处理改革、发展、稳定的关系,在和谐中加快发展,在加快发展中促进和谐。积极把和谐建设与人本管理融合进行,把做好人的工作,带好职工队伍作为实现和谐发展的重要环节,将企业管理的重心工作之一放在对人的管理和关心上,通过入微的体贴,进一步凝聚了全厂职工的心。坚持每年都要征询职工的意见,坚持每年为职工做几件好事、实事,如提高公积金缴纳标准、追加养老保险基金、给离退休人员发放过节费、生活困难补助费等、分期分批在上海、福州等地购房安置离退休人员、建设和装修业余活动场馆、给住宅小区配套健身器材等各项实事,同时保持每年较快的人均收入增长幅度,切实提高职工的满意度,增强职工的幸福感。

对职工的关心和体贴还体现在其他的一些具体的实事和细小的琐事上,如在高温季节,工厂除了安排送防暑降温汤茶外,还提高职工的冷饮费、高温费标准,确保职工身心健康。如在职工偶遇伤痛时,都能得到单位领导和厂级领导及时的关心和帮助等。有些事看似小事,但起到的作用却不小。当看到汗流浹背的职工满含感激地端起防暑降温汤茶时,工厂领导们的心似乎也得到了同样的滋润,仿佛感受到企业职工们共同跳动的脉搏是那么的坚强有力。

对职工的尊重,莫过于让职工的胸臆得到直抒,思想得到疏导。工厂领导普遍认为让职工讲话没有大害,不让讲话才是隐患。联系群众,工作基础才扎实;脱离群众,企业迟早要出事。为了做到体察民情、了解民意、疏导民声,厂领导坚持主要从三个渠道了解和掌握职工的心声。一是坚持深入生产工作现场,贴近职工,广纳贤言,真心听取意见,多思考多分析,不断地调整工作偏差。二是在职工行使民主管理权力时,坚持虚心听取意见,并进行认真的归纳、分析,对这些意见和建议,坚持给予当面答复。对不能立即答复的,也要在事后签转有关部门及时提出解决方案并尽快处理。三是抓住与各层面职工的各种沟通和交流的机会,让他们畅所欲言,并从中掌握有用的信息,作为决策参考。工厂坚持把关系企业生产经营、建设发展和改革管理的重大决策,以及牵涉职工切身利益的大事,交给职工代表共同来决定,让职工在参与决策的同时更增强自身的责任意识。

为了保护职工的知情权,便于履行民主监督,工厂还成立了厂务公开领导小组和单位经济民主管理领导小组等,制订并推行厂务公开、民主议事制度,不断规范管理行为。对接待费用开支情况、职称评审、人员的录用、积压物资和废旧淘汰设备等的处理、基建招投标、材料采购价格等等,都予以公开。

得民心者得天下。办好企业,也同样要把好企业的脉、拥有职工的心、凝聚全厂的力。心散则人散,没有了人心,企业怎么能发展!工厂坚持创新发展,构建和谐企业,也是从这个道理出发,目的就是要凝心聚力,共同推动工厂的持续、稳定、健康、快速、协调发展。



加强质量管理 增强企业竞争力

罗运同¹, 马正亚¹, 马利军²

(1. 中国人民解放军湛江海军基地; 2. 中国人民解放军 4804 工厂, 广东 湛江)

中国人民解放军 4804 工厂创建于 1960 年, 是海军大型舰船修造企业, 现有职工 2700 人, 下设 19 处室、9 个分厂。有船、机、电、管、钳、焊、机加工等高、中级技工和舰体、建造、轮机、电气、铸造、机械、压力容器等方面的工程技术人员, 设备配套齐全。该厂长期以来担负着海军各类舰船的修理和重大军事任务的装备技术保障任务, 始终如一坚持服务于海军建设的宗旨, 以海军装备现代化建设为目标, 不断提高装备维修和技术保障能力。近 20 年来先后建立了 051 型、053 型舰船修理生产线, 以及军辅船建造生产线, 有较完整的生产、技术、质量管理体系, 能出色完成总部和海军下达的各项重大专项军事任务的技术保障。培养和锻炼了一支业务精湛的技术骨干队伍, 为长期、稳定地担负起海军南海方向舰艇的技术保障奠定了牢固的基础。在确保军品任务完成的同时, 积极开拓国际国内市场, 外轮修理质量接受英国劳氏、美国船检协会、法国船级社、日本 NK 等国际著名船级社和协会的检验, 并得到确认。先后获得全军先进单位、军队先进企业, 国家一级计量先进单位、省重合同守信用单位等多项殊荣。

4804 工厂是国家大型二档综合企业。海军 051 型、053 型舰船修理定点厂, 1988 年经总参批准对外开放, 被国务院口岸办批准为外轮修理定点厂, 1994 年取得广东省甲级舰船设计资格, 1996 年通过 ISO9002 质量体系认证对取得军、民船建造资格, 1997 年通过军工产品质量体系认证, 2002 年国家劳动部在该厂设立国家职业技能鉴定所, 为技术工人进行职业技能鉴定。拥有 6.5 m 深水码头 786 m; 拥有 3.5 万吨级干船坞(长 210 m, 宽 32 m, 深 13 m)一座; 拥有可同时供 10 艘 1500 t 级船上排修理, 并能同时对满足开工建造 5 艘 1500 t 级军、民船的横移式船排一座, 另有一座 2000 t 级横移式船排在建造中; 拥有与修、造船配套的各类设备 500 多台(套), 其中大型设备、精密设备 20 多台(套)。其主要产品是: 对大型水面战斗舰艇进行修理及武器系统设备、通信导航警戒探测系统设备的增、改、换装, 对大型综合补给舰、军辅船进行修理及设备的增、改、换装, 建造各类中小型军辅船、民船, 修理民船、外轮, 生产大功率柴油机缸套系列产品, 承制一、二类压力容器等。

4804 工厂作为海军企业化工厂, 在市场经济的大潮中, 不可避免地受到市场经济的冲击, 要在市场经济的环境中求生存、求发展就必须符合市场经济规律的发展。他们始终遵循江泽民同志当年“机制创新, 坚持按经济规律和科学规律办事, 建立一套有效的竞争机制、评价机制、监督机制和激励机制”的指示, 视产品的质量为生命, 为了提高在市场经济中的竞争能力, 于 1996 年通过 ISO9002 质量体系认证后, 狠抓产品的质量管理, 不断提高产品的质量水平, 提高工厂在市场经济中的竞争能力。首先建立了质量管理班子, 明确了工厂的质量管理责任人,

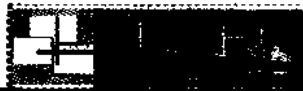


以文件的形式明确了各工作岗位的质量职责和工作联系方式, 责任到人, 使得各项工作的进行有程序可依, 有规章可循。在实际工作中, 通过对每一项工程进行质量保证大纲的编制, 向用户进行产品质量管理、技术管理、生产管理、生产进度等方面的承诺, 为用户提供产品全过程监督的条件。在产品的生产之前先对参加工程的全体职工进行产品的质量意识、生产的规章制度方面的教育, 使其提高思想认识。工程技术人员对产品图纸进行消化, 对产品设立质量监控点, 对影响产品质量的工序编制工艺文件, 生产单位依据施工工艺编制作业指导书, 施工人员依据作业指导书进行施工。质量检验人员依据经过用户同意的质量监控点进行质量检查, 实行三级检验制度——自检、互检、专检, 最后向用户报验。自检是由工作者自己按工艺、技术标准对产品进行检验; 互检是由工艺员按工艺、技术标准对产品进行质量检验; 专检是由工厂的专业质量检验人员对产品进行最终的质量检验。对加工产品的每一道工序严把质量关, 一些重要工序还要进行技术交底、工艺技术参数的试验、职工职业技能的培训和实际操作的考核等。

随着现代舰船高科技含量的增加, 4804 工厂为了能按对, 保质地完成生产任务, 加大了生产前的技术保障力度, 密切与设计院所、高等院校的联系, 利用其知识、能力优势为舰船的修理、建造提供有力的保障。同时, 采取“走出去, 请进来”等办法, 大力加强人才队伍的建设, 逐步培养一支思想好、技术精、观念强的企业人才队伍。真正做到: 以高技术、高效益、高待遇作为企业对人才的吸引; 以强烈的事业心、责任感作为企业对人才的呼唤; 以知人善任、人尽其才、各尽所能作为企业对人才的承诺。充分创建以人为本的氛围, 树立成绩高于人情的用人标准; 坚定能者上、庸者让、劣者下的用人观念; 实现上岗靠竞争、报酬靠奉献的用人机制。

在加入世贸组织的今天, 市场更加开放, 竞争更加激烈。“十五”期间, 4804 工厂为了更好地适应国家战备需要, 确保海军舰船的维修、建造任务, 将进一步加强企业基础管理, 完善各项机制和制度, 积极走向市场, 确保经营目标的实现。以新装备修理为重点, 以周期和质量为核心, 抓好主战舰艇和大型舰船的修理, 做好新技术的推广与应用, 搞好旧设备的更新改造, 努力提升修理能力。以目标成本和目标利润为核心, 建立与市场经济相适应的经济责任运行机制, 进一步加强以人为本的思想教育和技术培训, 努力提高全员素质。加大特殊专业人才的引进力度, 精心打造造船品牌, 筑牢企业后劲, 增强产品的竞争力。





牢固树立科学发展观，积极探索和推进

装备修理质量监督和管理方法的创新

刘小平，胡海波

(中国人民解放军湛江海军基地，广东 湛江)

近年来，海军部队围绕装备“两成两力”建设和“三化”管理要求，积极推进规范化管理，装备管理取得了长足的发展。先进的装备需要科学的方法来管理。随着新装备更新换代步伐的加快，装备维修时的质量监督和管理方法也提出了更高的要求。为做好舰船的修理工作，海军驻某地区装备修理监修室以与时俱进的精神，牢固树立科学发展观，积极探索和推进装备质量监督和管理方法的创新。

1 运用状态监测，掌握好舰艇修理技术状态的第一手资料

1.1 发展现状

海军舰艇主要装备维修体制，已经从早期的事后维修和按计划维修开始进入现代的具有预知性的维修。预知性维修主要依靠装备状态监测。利用设于基地的装备质量监测站，开展装备技术状态监测诊断工作，准确掌握舰艇的技术状态，合理确定修理范围，获得第一手的技术资料。装备状态监测主要包括功能性监测诊断技术、振动噪声监测技术和油液分析技术。目前，在装备维修中，主要通过通过对舰艇各类发动机、液压系统、传动系统的油样进行分析，从而判断系统工作状态或故障部位。

1.2 把监测诊断技术与舰艇修理紧密结合

状态监测在舰艇修理中起到了重要的作用。它可以节约经费和工时，确保得到较高的修理质量，提高维修的有效性，同时可以为排除故障提供有效的科学依据。对即将进厂修理舰船进行工程勘验时，舰船的状态监测数据是一个重要组成部分，同时也是确定修理项目的重要依据。通过油液光谱分析、铁谱分析和振动监测等，准确地了解舰艇装备所处的技术状态水平，对装备了然于心，在后续修理中，才能做到有的放矢。以往，尤其是在执行紧急和重大任务之前，舰艇部队会报上一大批的修理项目，在时间紧、任务重的情况下，使修理部门及承修厂的工作较为被动。如果能充分利用监测诊断手段，对舰艇装备技术状态掌握到位，则会大大降低和减少修理的工程量、费用和维修时间，避免不必要或者维修性差的维修工作。在某新型导弹驱逐舰的修理过程中，监修室借助监测站的监测数据对舰艇装备的技术状态进行全面的了解。他们对汽轮消防泵轴承进行铁谱监测、对油液进行光谱分析。在综合分析监





测数据的基础上, 监修军代表掌握了装备的技术状态, 明确了存在的问题, 结合实际情况, 合理确定本次修理的范围和的重点, 确保在有限的修理时间取得较好的修理效果, 使整个维修工作得以顺利进行。

2 主动作为, 严格坚持定期分析制度

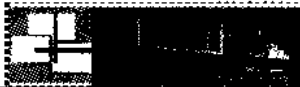
舰船修理具有阶段性的特点。为此, 该室建立了定期分析制度。以周、月、季度、半年、一年分别为时间段, 定期组织、召集承修厂和各级装备机关业务部门等单位召开修理, 总结各阶段的修理工作, 提出改进意见, 促进维修工作的顺利进行。每周五, 各主管军代表总结所管舰船一周的修理工作, 填写周报表, 然后将汇总后的情况上报基地修船处; 每月底, 组织主修厂、各专业承修厂、舰方, 并邀请机关业务部门和主管装备修理的领导召开月修理分析会。总结本月的修理工作, 各方提出修理过程中出现的问题。通过会议, 讨论解决的办法, 协调各承修方之间的关系和修理进度, 分清职责, 促进维修工作安全有序地开展; 每个季度, 在召开月度修理分析会的基础上, 召开季度修理分析会, 总结分析本季度的修理工作特点, 推广并坚持好的做法和经验, 尽最大努力解决修理中存在的问题, 提高修理质量, 保证舰船保质保量地按时出厂, 早日回到战斗序列。此外, 他们在每半年和一年时也召开修理分析会, 对下一阶段的维修工作提出指导意见。定期分析制度的建立为圆满地完成每年度繁重的修理任务起到了极大的推动作用。

3 编制工作手册, 完善规章制度

为规范本室的监修业务工作, 提高监修军代表正规化管装的能力, 根据质量管理体系和各种条例的要求, 该室编制了《监修室业务工作手册》。有章可循, 干起工作来就能得心应手, 工作效率也会大大提高。该手册从工作程序、各种通知单的使用和档案整理三个大的方面对整个监修工作的各个阶段进行了详细的规定和说明。通过手册, 军代表理清了工作思路, 明确了自己的职责和任务。在哪个阶段应该做哪些工作, 注意哪些问题, 发生问题该如何处理等等, 都了然于心。以往那种不知从何下手, 各种批阅件该报给哪个部门、具体的报批程序的现象不见了, 本室的工作走上了正规化的轨道。手册的编制极大地提高了工作效率和军代表的监修能力。

新型装备的不断列装, 促使维修工作也随着不断地快速发展。以往有些维修方法和思想也已经跟不上形势的发展, 不能满足修理工作的需要。我们应该转变观念, 认真工作, 在装备修理方面探索创新, 适应新的使命任务的需要, 圆满完成各级交给我们的修理任务, 做一名新世纪合格的监修官。





加强舰船修理资料档案管理 提高服务保障质量

郭连兔, 马正亚, 郑 冲

(中国人民解放军湛江海军基地, 广东 湛江)

海军装备修理监修室档案管理的基础设施建设近几年发展很快, 比如湛江地区监修室, 有了专用的房间, 安装了空调、抽湿机、报警器, 配备了计算机、打印机、扫描仪等。但是, 这些与军队档案建设的要求, 尤其是档案信息化建设的要求, 还相差很远。本文根据军队档案条例的要求, 考虑监修室舰船修理档案管理工作的实际情况, 提出了几点建议。

1 监修室档案资料管理使用中的一些问题

(1) 监修室保存历年来单舰单船修理的技术档案, 其具体内容条目由监修室自行拟定, 导致档案制作不统一。比如, 舰船修理原始工程单是否有必要存档? 按规定, 原始工程单在工程明细签订了之后就作废了, 但是否归档保存呢? 目前做法不统一, 有的舰船保留了, 有的则没有。

(2) 档案保存期限为定期, 没有明确如何鉴定保存期限和是否过期。现在, 有的舰船已经退役、报废、拆解多年了, 但其修理档案仍然保存着, 这些档案还有没有保存和利用价值? 应该怎样处理? 这也没有业务指导。

(3) 监修室没有档案管理人员编制, 也没有确定是否作为立档单位, 因此监修室的单舰修理档案是否应该收集移交上级业务部门(如保障基地科技档案室)统一管理。

(4) 监修室在收集、整理单舰修理档案时, 存在以下问题: 一是负责管理的人员队伍不统一、不稳定, 有职工, 有退休老干部, 也有指定干部兼管的, 工作变动也很频繁; 二是没有组织人员业务培训, 一方面是依靠以老带新, 一方面是依靠自身学习, 摸着石头过河; 三是人员做法不一致, 导致整理、制作方法不统一。

(5) 监修室装备档案资料利用率还是比较高的, 尤其是本室年轻军代表和舰船方主管修理的干部。但是由于编目不完善, 信息化程度低, 查询效率不高。

(6) 另外, 技术资料、业务书籍部分老化过时, 更新不多; 新装备、新技术方面的资料严重欠缺, 这也是资料档案室提供查阅服务时经常受到诟病的地方。

2 舰船装备修理档案的保存和利用价值

(1) 单舰修理档案留存, 可作为该舰后续修理或同类型舰修理的参考资料, 供有关部门、人员查阅, 也可作为年轻的、新进的监修军代表的技术业务学习资料。

(2) 作为装备修理保障的履历资料, 可供追溯、核查, 比如查装备故障原因、更换部件情况, 经费使用情况等。实际上, 单舰修理档案也确实起到了这样的作用, 比如, 某潜艇重



大事故后,就核查了某监修室的该艇修理档案,排除了对修理质量的怀疑;某舰副机舱起火事故后,虽然该舰已过了保修期限,还是核查了某监修室的该舰修理档案;某舰发生海上掉锚事故后,也核查了某监修室的修理档案,找到了相关修理更换记录,排除了对修理换新质量的疑问。

(3) 档案管理对装备修理工作具有监督促进作用。因为有了存档备查的要求,承修工厂、主管监修军代表就必然增加风险责任意识,会更加重视,在进行修理、报检、验收等环节中严格工作程序、严格施工工艺、严格质量标准,从而促进了装备修理质量的提高。

3 加强装备修理档案管理的一些建议

根据军队档案条例的要求,考虑监修室业务工作的实际情况,提出以下几点建议:

(1) 明确监修室是否作为立档单位进行档案管理建设。根据档案条例的要求,监修室要作为立档单位,需要由上级部门确定。作为立档单位,档案室是管理档案和提供档案信息服务的机构,负责档案的收集、鉴定、整理、保管、统计、移交及销毁工作,开展档案信息化建设,提供档案信息服务。而作为非立档单位,其职责是由指定部门或专门人员负责档案的收集和移交工作。

编制不同,人员的职责和工作内容也不同,只有明确了自身的位置,档案收集管理人员才能立足岗位,按标准要求干好分内的工作。

(2) 明确档案管理人员的编制岗位,以及业务指导和技术培训的方式。档案管理责任重大,如果人员调动太频繁,必然影响档案工作的质量;同时,档案管理也有自身的业务技术要求,管理人员需要熟悉相关业务知识。

档案条例对档案管理人员素质有明确要求:档案专业干部应当具备档案或者相关专业大学本科以上学历,胜任本职工作;其他档案工作人员必须具备大专以上学历或者经过相关专业培训,具有承担本职工作的专业知识和能力。档案工作主管部门和档案管理机构应当重视档案工作人员的继续教育,有计划地选送档案工作人员到有关院校进修和组织在职培训。

在监修室现行编制中,并没有档案工作相关的规定,普遍的做法是由室领导指派,助理员负责,由职工或其他人员进行归档资料的收集、整理、分类、装订、保管等工作。由于助理员还有政工、行管、后勤等单位常规性事务工作和计划、器材、财务等自身的业务工作,同时他们也不一定具有档案管理方面的知识或经验,所以他们负责档案工作经常是力不从心;而职工对装备修理业务不熟悉,档案管理技术也是依靠同事间以老带新习得,没有专业的理论和技术培训,在整理、分类过程中就难免有各种误漏现象发生。

所以,建议由有关部门指定专人负责监修室的舰船修理档案管理,设定职务担任期限,使人员队伍稳定,以便组织业务技术培训和指导,也方便地区监修室之间的业务学习和交流。

(3) 明确建档内容、方法,保存条件、期限等要求。档案条例规定,应当归档的材料由其形成、承办部门或者档案室收集齐全,由档案室及时归档,集中保管;档案室根据情况,可以督促有关部门及时移交应当归档的材料。

装备修理中产生的归档材料有文字材料、图纸资料、照片资料,还有软磁盘、光盘、磁带等电子资料,保存的环境要求很严格,材质本身的寿命也有限定。如某些质量较差的光盘,



在一定的温度、湿度等环境作用下,几年之内就不能再读取,这就很容易造成档案资料的丢失。

在目前工作中,文字材料归档相对比较好,制定了应归档材料清单,也有比较统一的整理制作和保管方法。但是,在图纸资料的整理和保管方面,方法很原始,差不多是简单堆放;在电子材料归档方面,几乎还是空白,一方面因为数量还不是很多,归档管理的需求还不是很迫切,另一方面人员还没有信息化档案管理的意识,对电磁媒介保存的档案资料还没有引起重视。

图纸资料的归档,电子档案的管理,对于监修室现有档案管理人员来说,迫切需要业务技术指导和技能培训,对于监修室现有档案管理设施来说,也迫切需要补充建设。

另外,在档案保存期限确定和鉴定销毁过期档案工作方面,监修室也缺少必要的业务指导。

根据档案条例,科技档案定期保存的时间,由有关业务主管部门确定,销毁不需要归档的材料和失去保存价值的档案,必须经过鉴定,按照规定履行审批手续,不得擅自销毁。不少已经退役、报废、拆解的舰船的修理档案仍然保存着,如何处理,需要业务主管部门的指导。

(4)明确档案信息化的相关工作、要求。提供档案信息服务是档案工作的根本任务,档案管理机构应当运用先进手段,采取多种方式,为利用档案信息创造便利条件。

档案信息的加工整理应当符合标准化、规范化要求,对所有档案建立完整的机读目录、关键词、摘要等索引,建立档案信息检索系统,这是档案信息化的基础工作。

采用信息技术,按照统一的技术体制,采取可靠的信息安全防护措施,建设档案信息局域网,通过军事综合信息网,实现档案信息资源共享,这是档案信息化的目标。

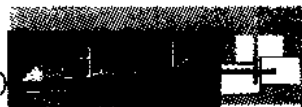
按照统一的技术规范,对档案信息资源进行加工处理,构建多类型、分布式档案信息数据库,实现档案信息资源组织和管理的标准化、规范化,这是档案信息化能够实现的保证。

统一的技术规范,可靠的信息安全防护措施,组织、管理的标准化、规范化,这些高标准的要求,如果需要监修室档案工作人员在档案收集、整理、制作、保管工作中实行,就必须对他们进行全面的理论知识、专业技术培训。

(5)更加重视监修室档案工作,加大建设投入力度。总的来说,监修室档案管理基础建设已经有了长足地进步,但是,与军队档案建设的要求,尤其是档案信息化建设的要求,还相差很远;在为装备保障提供技术支持方面,还有很多工作要做。

信息化建设目标很明确,但是具体的实施并不容易,资料分类体系的建立,资料的收集整理,资料的电子化,需要较多的体力劳动付出和足够的经费支持;信息数据库及管理查询系统的设计开发,还需要熟悉舰船修理业务和档案管理工作,否则做出来的软件不实用,只能废弃,如以前某单位开发的《某装备修理档案管理系统》和《某舰员级维修管理系统》。

档案工作的投入需求是长期的,产生的效益也是逐渐显现的,这就要求支持和从事档案工作不能有追求立竿见影的功利心理,对档案工作的经费投入也要建立长期的制度保证。



提高信息安全与保密意识

加强在办公计算机上使用 USB 存储设备的管理

郑 冲, 马正亚, 郭连兔

(中国人民解放军湛江海军基地, 广东 湛江)

现在的计算机 USB 数据传输与存储技术已经可以使大量的数据传输在极短时间内完成(USB1.1 传输速度达 1.5 Mb/s, USB2.0 传输速度高达 480 Mb/s), 同时, USB 存储设备体积越来越小(现在普遍使用的闪存盘只有一个钥匙扣大小), 而存储容量越来越大(已经超过了 1 GB 的容量), 价格越来越低(1 GB 闪存盘市面售价约 200 元)。这使得信息交换可以更多、更快捷、更有效、更便利。

与此同时, 计算机信息安全性能却直线下降。只要能接触该计算机的人员, 就可以使用这些小巧方便的 USB 存储设备来下载一些内部涉密的资料, 或者用来上传一些有害的应用软件如木马病毒。

在信息化建设深入发展过程中, 这样的问题会不断出现, 我们应该正视并解决这些问题。

1 从 BIOS 中禁止 USB 端口的使用

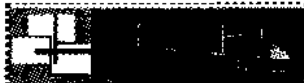
是否可以从本地计算机里禁止 USB 端口, 有没有办法让用户无法轻易地使 USB 端口恢复使用? 从本机的 BIOS 设置开始着手, 可以禁止计算机主板内置的 USB 端口的使用。大多数新型主板的 BIOS 中有禁止内置 2 个(或者 4 个) USB 端口(连接鼠标或者键盘)的选项, 但是不能禁止用户通过 PCI 接口、并口、串口等附加的 USB 端口。管理员可以通过简单的手工拔掉 PCI 转接卡等附加的 USB 接口方式解决这一问题。

最好是在 BIOS 中禁用 USB 端口, 然后设置一个 BIOS 密码, 再用带锁的机箱把它锁起来或者用其他设备加以保护, 以防止终端用户解开 BIOS 密码重新设置 CMOS 启用 USB 端口。

但是这样一来, 工作人员就无法在网络中使用 USB 设备从 USB 接口上传或者下载资料了, 丧失了信息交换快捷高效的优越性, 这显然背离了信息化建设的初衷。

2 在网络服务中监控 USB 端口的使用

既要保障信息交换的高效畅通, 又要保证密级资料的有效管理, 在技术上最好的解决方



案是采用网络软件监控系统,有效监控 USB 端口的使用,在网络服务器中记录详细的使用日志,记录下终端计算机开机使用日期时间、登录用户、使用 USB 端口时间、使用其他可移动存储设备如光盘、磁盘等的时间、上传或下载的文件名称、存放位置、文件大小等信息。

网络软件监控系统采用服务器/客户端模式,服务器端保存数据,进行网络状态检测,客户端进行 USB 端口监控等工作,产生监控记录,提交服务器保存,向服务器申请操作权限。

大量的涉密资料和较高密级的资料集中在网络服务器中保存,用户使用时通过权限验证后,才能下载或上传,在服务器中留下使用记录。

有了 USB 端口使用日志,管理员或保密检查工作人员就有了审查依据,办公室工作人员也有了安全使用计算机的责任记录,一般人员就不会冒险进行一些好奇或恶意的尝试。

但是,最关键的是,建立的使用日志是否能保证记录完整?

其一,如果用户终端网络连接不通或用户故意断开网络连接,这段时间的记录能否补回,如何补回?服务监控系统在用户计算机中有客户端同时运行,进行本地监控记录,在网络连通时将记录的数据提交到服务器上保存。

其二,如果用户断开网络连接,备份系统数据,进行他想进行的使用活动后,又恢复原来的系统状态,这样就可以将本地监控记录销毁;或者,用户用别的系统启动计算机,进行各种操作,监控客户端没有启动,也就没有监控记录;又或者,用户将硬盘拆下外接到其他计算机进行拷贝等操作,这样也可以避开监控软件客户端的干扰。对于这种故意进行的非正常活动,通过 BIOS 设置并加密码,可以限制用户通过其他系统盘启动该计算机,通过机箱锁,可以限制用户拆卸计算机硬盘设备。

对于更高级别的暴力入侵窃密,再高明严谨的技术措施都没用,只能通过法律手段和国家机器来治理,不在单位内部监管范围内了。

3 对工作人员进行信息安全和保密教育,强化保密意识

一切机器设备的正常运行都离不开人的使用管理活动,要想真正做好安全保密工作,首先的做好人的工作。如果计算用户,办公室人员,甚至网络管理员麻痹大意,或者故意失泄密,任何的技术防护手段都是没用的。所以说,人的保密意识教育是基础。

但是,也不能说做好人的教育工作,技术监控手段就可以不要了。意识是一回事,无意识又是一回事,技术手段是保持一道防线,给无意识者提示、警醒;给有意识者加压,使之不敢麻痹大意,放松警惕。

薪酬设计的发展趋势

李 黎

(大连水产学院, 辽宁 大连, 116028)

摘 要: 经济全球化对现代企业人力资源管理包括薪酬管理提出了更高的要求, 薪酬制度对于企业来说是一把“双刃剑”, 使用得当能够吸引、留住和激励人才, 而使用不当则可能给企业带来危机。探讨富有竞争性的薪酬设计的发展趋势, 建立全新的、科学的、系统的薪酬管理系统对于企业在知识经济时代获得生存和竞争优势具有重要意义。

关键词: 薪酬管理; 股票期权; 非货币薪酬

0 引 言

薪酬是员工因向其所在单位提供劳动或劳务而获得的各种形式的酬劳或答谢, 其实质是一种公平的交易或交换关系, 是员工在向单位让渡其劳动或劳务使用权后获得的报偿。在这个交换关系中, 单位承担的是劳动或劳务的购买者的角色, 员工承担的是劳动或劳务出卖者的角色, 薪酬是劳动或劳务的价值表现。

迪娜·爱尔兰(Tina Irwin) 1986年创立了友谊卡片公司(Friendership Cards), 她们打算利用自己的商品设计专长来制造和销售贺卡, 虽然只有12名员工, 但年均利润已超过10万美元。1993年3月, 迪娜决定让员工分享公司的成功, 在即将到来的6、7、8三个月中, 公司星期五也成为休息日, 但员工们仍得到与五天工作制一样的薪酬。不过一位迪娜最信赖的员工向她坦言, 他宁愿加薪而不是额外的休息时间, 而且其他几位员工也有同样的想法。迪娜十分惊讶。因为员工的工资比同业的高出20%。如果让她在金钱和休闲时间之间选择的话, 她毫无疑问会选择后者。不过迪娜十分开朗, 她问到: “是希望得到夏季四天工作制呢, 还是希望得到40 000美元的奖金? 多少人赞成实行四天工作制?” 6只手举了起来。“多少人更愿意得到奖金?” 另外6只手举了起来。^[1] 这一典型管理案例说明了员工对自己所取得的薪酬的多样性, 同时也说明了企业的薪酬管理正在发生深刻的变化。

1 企业人力资本逐步攀升

“21世纪什么最重要? 人才!” 一语道破人力资源管理的奥秘。在全球经济一体化和知识经济的趋势下, 人力资源已经成为组织取得和维系竞争优势的关键要素, 因此人才的竞争将在全球范围内更为激烈的展开, 人力资源领域内所带来的最直接的竞争后果就是薪酬的剧烈动荡。所有竞争对手为获得所需要的人才而采取十分慷慨的态度将会使人力资源的价值不断攀升。与此同时, 薪酬制定的依据将不再是工作本身的价值, 而更多的是反映市场价值, 价值规律的市场作用将会在人力资源的供应方面表现的淋漓尽致。



未来几年,中国高新技术企业的薪酬管理发展趋势的重点在于更加注重个人的能力,从“为职位付薪(pay for job)”走向“为个人付薪(pay for person)”。这种薪酬管理方案的实质是将薪酬管理作为企业管理和人力资源开发的一个有机组成部分,作为一种激励的机制和手段,其基本思路是将企业的工资计划建立在薪酬、信任、缩减工资分类和基于能力与业绩四个基础原则的之上。目的是通过加大工资中的激励成分,换取雇员对企业的认同和敬业精神。

传统的工作价值论将向市场价值论过度,依靠工作分析计算,工作价值的传统做法将向更高层次发展,薪酬将更多地反映知识市场化的需求,薪酬管理将形成动态的分析机制以适应市场变化的需求。^[2]

2 薪酬形式由货币形式向非货币形式转变

在人力资源的薪酬管理体系中,目前出现了一个重要的组成部分,即非货币性质薪酬。非货币性质薪酬是指以非货币形式发放给员工的待遇,其作用是满足员工多方面的需求。非货币性质薪酬不像货币薪资,其目的是为体现员工的价值。非货币性质薪酬更多体现的是对员工的关心和尊重,是体现企业人性管理的一个重要措施。虽然劳动依然是人们的谋生手段,但随着经济的发展、社会的进步,作为劳动补充的薪酬形式却并不一定就是货币形式。

经济的发展、社会的进步使人们的需求呈现出多样化,与此相适应的是薪酬的实现形式将由以货币为主导形式向以非货币形式为主导形式的转变。将来在职工的薪酬中,我们所看见的将不是单一的货币薪酬,而是一个完整的套餐薪酬,在这个套餐薪酬中非货币薪酬的比重将会越来越大。比如企业为员工提供的带薪进修、深造或培训的机会;资助员工完成某方面的学业;提供假期旅游;授予优秀员工荣誉称号;为员工成立互助基金等等,都将是薪酬表现形式。

在国外,尤其是发达国家的企业中,以股票期权为主要形式的资本分配在薪酬中已成为主导性的分配方式。股票期权和期权制度始于20世纪70年代,西方发达国家常常采用这种长期激励机制使职工与企业结成利益共同体。股票期权是指购买股票的约定权利,具体来说,是指按事先约定的日期、约定的价格、约定的条件完成股票购买行为的权利。股票期权适用于上市公司。

期股是指按既定价格购买一定量的股份,先行取得所购买股份的分红权等部分权益,然后再分期支付购股款项。购股款项一般以分红所得分期支付,在既定时间内支付完购股款项后,取得完全所有权。期股主要适用于非上市股份有限公司和有限责任公司。

企业中高层核心员工持有期权和期股,是一种把经营者个人利益与投资者利益相捆绑的形式,极大地促进了经营者提高资产经营利润。《财富》杂志评出的世界500强中已经有89%的企业对经理等核心员工实行了股票期权的报酬制度。

我国企业在改制中,不少试行过期权和期股制,但是由于我国证券市场还不完善,因此股票期权和期股的兑现也存在一些法律障碍。近来甚至有人提出以自然资本包括环境、生态等非货币化方式为奖励手段。因此,更准确地讲,非货币性质薪酬不是一种企业奖励行为,而是社会化奖励行为。





3 薪酬制度的透明化程度越来越高

关于薪酬的支付方式到底应该公开还是保密,这个问题一直存在比较大的争议,最近支持透明化的呼声越来越高。实行保密薪酬制(即所谓的模糊工资)的企业经营出现这样的现象,强烈的好奇心理使员工通过各种渠道打听同事的工资额,使得刚刚制定的保密薪酬很快就变成透明了,而且保密的薪酬制度使薪酬应有的激励作用大打折扣,即使制定严格的保密制度也很难防止这种现象。既然保密薪酬起不到保密作用,不如直接使用透明薪酬。

实行透明化的薪酬方式,实际上就是向员工表明了企业的薪酬是建立在公开公正和公平的基础上的,实际上是向员工传达了这样一个信息:公司的薪酬制度没有必要保密,薪酬高的人自有其高的道理,低的人也自有其不足之处。欢迎所有员工监督其公正性。

4 薪酬设计更富有弹性

传统的薪酬设计以单一的货币形式为主,不考虑员工的其他需求,当然这也是与当时的生产力水平有着密切的关系。随着生产力水平的不断发展,人们物质生活水平的不断提高,人们不再满足于当前的状况,萌发出许多新的需求,同时公司在福利方面的投入在总成本里所占的比例是比较高的,但这一部分的支出往往被员工忽视,认为不如货币形式的薪酬实在,有一种出力不讨好的感觉。而且,员工在福利方面的偏好也是因人而异,非常个性化的。解决这一问题,目前最常用的方法是采用选择性福利,即让员工在规定的范围内选择自己喜欢的福利组合。这也就是人们常说的自助式整体薪酬体系,自助式整体薪酬体系具有很强的弹性,员工完全可以在企业给定的框架内根据个人的需求进行相应的调整与组合来建立起自己的薪酬系统,同时随着自己的兴趣爱好和需求的变化作出相应的变更。它适合于企业的全体员工,扩大了人们传统观念上的薪酬范围,并把它们组合在一起,让员工前所未有的享受到了个性化薪酬体系所带来的愉悦。

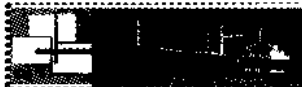
5 物质激励与精神激励相结合,外部激励和内部激励相结合

薪酬激励手段已经多样化,企业将会短期与长期相结合、物质激励与精神激励相结合以及自助式薪酬福利方式等多样化的手段来激励员工,将自己100%的精力和热情投入到工作中来。

新中国成立初期,传统的管理忽视员工物质利益的需求,片面强调精神激励的作用,挫伤了员工的积极性,导致员工士气低落,效率低下。

改革开放以来,我国企业在对传统管理反思的基础上,开始重视员工的经济利益,并力图以经济激励的手段改变原有的工作状态。于是以提升物质利益为主题的薪酬改革一度成为我国企业的热门话题。

近年来,随着人们物质生活水平的提高,单纯的物质激励越来越难以产生强烈而持久的激励效果。为此,企业在充分考虑到员工需求多样性的基础上,把物质激励与精神激励相结合,外部激励和内部激励相结合,充分利用两种激励手段,充分发挥双重激励效果,充分满足员工的不同需求,最大限度地调动员工工作的积极性。



6 薪酬信息日益受到关注

随着信息化程度不断加强,人们对信息的要求越来越高。信息披露的不断规范,上市公司高管人员薪酬状况逐渐浮出水面,薪酬制度改革中存在的诸多问题引起了各方的关注。而其中关注的重点之一就是企业薪酬信息。

薪酬信息包括外部信息和内部信息。外部信息系指相同地区、相似行业、相似性质、相似规模的企业的薪酬水平、薪酬结构、薪酬价值取向等,外部信息主要是通过薪酬调查获得的,能够使企业在制定和调整薪酬方案时,有可以参考的资料。内部信息主要是指员工满意度调查和员工合理化建议,满意度调查的功能并不一定在于了解有多少员工对薪酬是满意的,而是了解员工对薪酬管理的建议,以及不满到底是在哪些方面,进而为制定新的薪酬制度打下基础。

薪酬制度改革中透明是关键。薪酬信息披露透明度不够,真实性不强是企业薪酬体系中存在的主要问题。如何解决这一问题,规范市场薪酬调查,提高市场薪酬信息质量,是顺利实现这种变革的关键。但无论薪酬信息公开与否,其沟通渠道均需保持畅通。

7 薪酬的支付方式日益多样化

随着互联网、宽带、无线通讯技术的发展,人们的工作模式、员工的概念、企业的运作模式将发生根本性的变化。工作家庭化,弹性工作制和虚拟企业将成为一种新潮被一部分企业所追随,网上考核和网上支付将会被许多企业广泛采用。

8 结 论

经济全球化对现代企业人力资源管理包括薪酬管理提出了更高的要求,在增加适应性、创新性和企业竞争力方面对人力资源管理施加了可怕的压力;专门知识的价值被确认,并融入组织和日常管理中以应付上述压力;智力资本作为独特的生产要素取代人力资本,并排在产业资本、金融资本之首。所有的这些都给企业薪酬管理带来了根本性的变革。

薪酬制度对于企业来说是一把“双刃剑”,使用得当能够吸引、留住和激励人才。而使用不当则可能给企业带来危机。因此,建立全新的、科学的、系统的薪酬管理系统对于企业在知识经济时代获得生存和竞争优势具有重要意义。

随着市场竞争的加剧,当前企业越来越意识到富有竞争性的薪酬设计不可或缺,比较、研究、实践现代薪酬设计是薪酬管理的客观需要。

参考文献

- 1 [美]斯蒂芬·P·罗宾斯. 管理学. 第4版[M]. 北京:中国人民大学出版社,1996.
- 2 [美]罗勃·华特曼著;黄贤楨译. 美式管理[M].北京:时报出版社,1994.



舰船监修室计划修理的综合协调工作

罗运同, 刘小平

(中国人民解放军湛江海军基地, 广东 湛江)

协调工作主要是各相关组织对双方相关事务进行的沟通、协商并达成一致意见的过程, 一般由两个组织互相沟通, 当双方意见不能达成一致时, 往往需要第三方予以仲裁, 才能达到协调目的。

舰艇按年度计划进厂修理, 往往进度时间紧、工程项目多、质量要求严、经费控制难、涉及单位多, 是一项规模庞大、牵连广泛的系统工程, 要做到质量、进度、经费三者的协调一致、共同促进, 必须做好综合协调工作。监修室作为在一线组织计划修理的责任单位, 能否搞好综合协调工作, 具有十分重要的意义。

对监修室如何做好计划修理的综合协调工作, 下面作一些肤浅的分析研究。

1 综合协调工作的特点

协调相关方多。在计划修理的具体实施过程中, 相关组织包括了送修部队、承修厂、外协厂家、改(换)装单位、监修室、保障基地机关、舰艇所属支(大)队、舰队验委会等, 涉及多方人员。在影响计划修理的各因素中, 各承修厂、修船部队是主要因素, 他们是修理的主要实施者, 这几方的精心努力, 是计划修理在进度、质量上的根本保证。同时, 各承修厂、修船部队与外部的联系, 各承修厂和修船部队的上级组织、保障机关单位、监修室, 对修理也具有不可忽视的影响, 共同构成了影响计划修理的次要因素。

协调事务繁杂。主要是计划修理中的“人、财、物”三方面不确定因素多, 修理的领导指挥、组织管理、具体实施、勤务保障等方方面面的工作中, 多头参与、事务交叉, 综合计划难、偶发事件多, 需要沟通、调整和协调的事务杂。

协调难度大。在计划修理参与各相关组织中, 有的是上下级关系, 有的是平行同级关系, 有的是合同关系, 有的是业务指导、协作、保障关系, 各有参与修船的职责, 对修理的质量标准、时间进度、先后主次、落实职责等都有各自不同的观点和理解, 工作态度和时效性难保达到一致。

2 综合协调工作的主要内容

从组织关系上来看, 主要是做好各承修工厂与修船部队、修船厂与特装(外协、改装)厂、修船部队与基地机关、监修室与基地机关和舰艇所属支(大)队、监修室与舰队验委会等的协调工作。其中最重要的是具体参与修理的承修工厂和修船部队要搞好协调一致的工作, 对其双方存在的沟通、认识上问题, 监修室要主动作为, 及时调解分歧。



从具体事务上来看,主要有以下几项内容:

(1) 修理周期调整的协调。舰艇计划修理的年度计划一经批准、下发,应视为战斗指令一样予以执行。但往往因部队训练任务繁重,加之演习、执行重大任务、战备等用船需要,承修工厂能力不足,舰艇防台误工、试验故障等影响,致使舰艇不能按期进(出)厂、有时还需要紧急出厂。协调中,针对保证舰艇按期进厂要求,加强与舰艇所属支(大)队进行联系,在舰艇未停航情况下,采取提前组织承修厂进行修前勘验,结合出航任务进行修前航行检查等手段,缩短舰艇进厂前的准备时间;对紧急出厂需求,要求各承修工厂组织好技术力量,及时调整,集中力量完成紧急任务。

(2) 勤务支援保障的协调。在舰艇计划修理中,凡是与舰艇在航勤务支援保障有关的事务,都要进行联系、沟通、通报,予以通盘考虑,防止顾此失彼。从近几年的实践来看,与基地机关业务处主要要联系好下列事务:油料抽卸、补装,油漆和帆缆的请领,防滑甲板处理,试炮用弹申请,装备报废,专用器材请领,安排试航海区和配合兵力等。由于油料、油漆、帆缆、弹药、专用器材等型号种类多,有时修船需求数量大,经常出现保障供应不上的问题,需要及时摸清需求底数,提前通报基地机关做好准备。

(3) 工程范围、项目的协调。工程明细经监修室、修船部队、工厂三方确定,并以其为基础签订合同,展开实际修理后,由于不可预见的装备问题,需要进行修理工程追加。对比较大的项目,要按修理范围和等级要求,在工厂和修船部队间协调,要与基地机关协调修理经费;对超期申报的追加工程,往往已过了最佳修理时限,引起的牵连工程多,但确需修理的,要协调工厂安排好修理周期和调度项目。

(4) 自修助修与工厂修理保持同步的协调。目前,因教育、训练、战备、舰员转业退伍等活动影响,修船部队参修人员被所属支(大)队大量借用、抽调,加之有的修船部队自修助修经验不足,导致自修助修在人员、项目、进度上很难保证与工厂修理同步。要协调工厂与修船部队共同确定自修项目完工节点和配合要求,保证厂修项目与自修项目能同步开展、互不影响。要协调舰艇所属支(大)队,尽量在人力上保证舰员参修率,确保自修助修不拖厂修进度。

(5) 装备增、改、换装的协调。装备增、改、换装审批环节多、手续复杂,往往不能与厂修周期保持同步。在计划没有正式下达前,要督促工厂、修船部队不消极等待,按厂修计划进行修理,以免影响修理进度。要协调工厂、修船部队在装备增、改、换装中积极配合,确保安装、调试、试验、牵连工程、验收与修船同时进行、同步展开。

(6) 检查验收的协调。主要要协调好承修厂与修船部队在验收中的关系,立足于试验大纲、合同、技术协议、技术标准、工程明细、修理工艺等在验收中做好仲裁工作。对验收中出现的难点问题,要协调修船部队所属支(大)队、舰队验委会,按照海军修理标准,共同研究解决方案。

(7) 修理安全和防台工作的协调。监修室作为基地组织计划修理在一线的责任单位,必须对计划修理的安全和防台工作加以检查、督促。军代表要能深入修理现场,查找安全隐患,检查台风季节防台准备情况,组织工厂和修船部队,及时处理有关安全和防台的问题。



3 综合协调的原则和关键环节

在计划修理的综合协调工作中,需坚持以下两条原则:

一是坚持法规和标准的原则。要坚持在条例法规和修理标准的基础上开展协调。要充分利用合同、协议约定,保持监修室在条例法规、技术标准仲裁上的相对独立性、权威性和主导性。对承修厂不重视修理工艺、器材配件不合格、安全保证措施不到位、技术指标不达标等严重影响装备的问题,坚持毫不妥协。对修船部队提出的超出修理范围的工程项目,不予审批,不合规定的生活设施、电器、用具,坚决不予上舰。

二是坚持互相尊重的原则。协调中要充分尊重各自责任和权力,不能干涉各方内部事务、上下级指挥关系。要保持尊重客观实际的科学态度,充分尊重各方处理问题的原则和立场,要善于把条例法规和各方的实际结合起来,不急不躁,耐心细致做协调,做到既保证了修理工作的落实,又保持了各方的和谐关系。

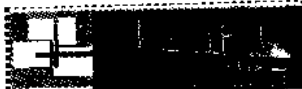
同时,综合协调工作需要把握以下关键环节:

开好协调会。力争在各种问题和事务处理上取得一致意见,并形成会议纪要,以规范、约束各方行为。召开进厂、开工、技术方案评审、试验大纲评审、试验试航等协调会时,注意邀请各承修厂、修船部队的上级组织参加,以增加形成一致意见的成功把握。必要时,邀请舰队验委会参加协调会。

审好修理计划和网络图。要求各承修工厂和修船部队对修理、自修拿出详细的计划和网络图,对需其他方配合的事务做到早计划、早安排,提前考虑,协同准备,防止临阵忙乱。

加强现场协调。工厂厂修、舰方自修能力不足固然影响修理进度、质量,但厂厂、厂舰双方配合的事项进展缓慢,也是计划修理中的一个“老大难”问题。经常出现下列现象:船厂舾装和机电工程影响特装回装、调试,特装厂临时要求换电缆、加装部件等导致船厂返工,修船部队自修助修影响船厂工程,厂舰双方对配件更换、试验验收争执不下等。一旦出现了问题,不及时调解、协调,往往就双方顶牛、把问题搁置了起来,严重影响进度。监修室军代表要善于在修理现场处理问题,认真分析各类问题的缘由,争取几方尽快协同,寻求最佳解决办法,要发扬锲而不舍的韧劲和一抓到底的狠劲,做到既原则又灵活,扎实解决各方问题,确保修理进度不受影响。

逐步形成制度。正确处理好各自的外部关系,确保各方始终在服务修理、促进修理,关键在于逐步形成有效的多方协调制度,对各自的职责和协同程序进一步加以规定,对各类装备修理中需其他单位配合的工艺要求进一步明确、细化。监修室作为计划修理在组织上的前沿点、结合部,在长期的综合协调工作中充分总结经验,基本形成了一些关于协调的注意事项和办法,掌握了可能出现纠纷、问题的规律,并在计划修理的计划、组织中进行了有针对性的布置和安排。在实际工作中,采取积极介入协调的态度,防止了计划修理中出现大的进度和质量上的问题。但这些经验和对策,有待于进一步系统化、制度化、正规化,通过各级的共同努力,将其充实到与计划修理有关的各类条例法规中去,充实到各类装备的修理工艺中去,使计划修理能够更加顺利地展开。



失效分析

舰艇橡胶件性能原位无损检测技术初探

刘波¹, 饶秋华²

(1. 海军装备技术研究所 青岛研究室, 山东 青岛, 266012;

2. 海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 舰艇用橡胶件在使用过程中因种种原因可能引发提前老化、性能下降, 导致密封、减振的失效, 而对橡胶性能的无损检测尚未有好方法。探讨了部分舰艇用橡胶种类的无损检测方法, 肯定了对丁苯、丁腈类橡胶制品进行无损检测的可行性。

关键词: 橡胶; 无损检测

1 概述

橡胶在舰船上起到密封、减振降噪和防护等作用, 是装备稳定可靠地运行不可或缺的重要零部件。在舰艇橡胶件的使用中, 曾出现由于使用不当或使用环境超出规定情况引发橡胶加速老化、性能下降, 导致密封、减振性能下降, 引起设备、系统性能降低、漏气漏水漏油, 振动噪声增大的现象, 影响舰艇的战斗力。由于橡胶件失效而引发的事故有时是灾难性的。例如, 1986年1月28日美国挑战者航天飞机发生爆炸, 事故原因调查表明, 这完全是由于使用温度过低, 助推器段间的O形密封圈失去弹性, 没有密封效果而造成的。

为了保证这些橡胶件工作稳定可靠, 在维护保养过程中有必要对正在运行中的橡胶件的状态作出准确的判断, 对将要失去使用价值的部件要及时更换。但对于橡胶件的性能原位检测, 目前部队还没有一个简便易行、实用可靠的无损检测方法。

针对这个问题, 我们对目前橡胶检测技术及方法进行了分析研究。通过对某性舰艇主要胶种一二烯类橡胶的老化研究发现, 橡胶老化拉伸强度变化率与老化硬度变化之间、扯断伸长率变化率与硬度变化之间, 以及强度变化率与扯断伸长率变化率之间呈线性关系, 其中丁苯橡胶老化扯断伸长率的变化率与老化硬度变化之间成同一线性关系, 这就为橡胶件性能的无损检测提供了依据。通过硬度的测量, 我们就可以推测出橡胶件的基本力学性能是否下降和下降的程度, 从而可作出报废、更换的决定。

2 橡胶性能原位检测技术方案

2.1 研究思路

橡胶失效的形式主要有两种: 其一是橡胶本身的材料性能未下降, 但是其物理特征发生





了变化,如扭曲、变形、磨损、划伤等导致橡胶件不能完成其应有的功能;其二是,由于使用时间长或贮存过久,导致橡胶本身的材料性能下降而不能胜任其相应的工作,就是一般所说的老化。前者通过外观检查和必要的尺寸测量即可判定橡胶是否具有使用性能;而老化现象就要通过性能测试才能评价。

聚合物老化时的化学变化是衡量其老化程度最有效的指标。但是,化学分析方法虽然仪器分析灵敏,需要样品少,结果可靠,可以定性检测到发生的某些变化,但是要作出精确的定量分析很困难,而且往往需要大型昂贵的设备和专业技术人员才能完成。

通过表面颜色变化、动态力学粘弹谱、核磁共振技术,以及用超声脉冲回波法来评价老化状态的方法都有所报道,但都有很大局限性,结果易产生争议。橡胶的电性能随时间变化很早就受到关注,通过测量表面电阻率已经成为检测 EPDM 绝缘电缆老化程度的方法之一。但是缺乏老化过程中橡胶绝缘性的变化与基本力学性能联系起来报道。

表征聚合物老化程度的直接方法是测定其力学性能,表征橡胶性能的基本参数主要是拉伸强度和扯断伸长率,但二者只能通过破坏性试验得到。由于橡胶老化导致橡胶一系列的性性能发生变化,包括拉伸强度、扯断伸长率、硬度的变化等,只有硬度的测定是非破坏性的。为了实现无损检测,只有找出硬度与基本性能之间的相关性,才有可能通过非破坏性的指标测量来确定破坏性测量指标。

2.2 研究方法

为了确定某型舰艇主要橡胶件的胶种,对从部队取回的若干常用橡胶件样品进行燃烧试验、热分解试验。试验表明,艇上常见的橡胶件燃烧时都产生大量黑烟,同时喷射火花与火星,表现为二烯类橡胶的特征。这些橡胶包括丁苯橡胶,丁腈橡胶、顺丁橡胶、天然橡胶。热分解产物的 pH 值试验表明,所试验的样品中,除两类呈碱性外,均呈中性。呈碱性者最有可能是丁腈橡胶。

绝大多数是丁苯橡胶,丁腈橡胶、顺丁橡胶等二烯类橡胶,属于 R 类橡胶。R 类橡胶中均含有聚丁二烯链节,都存在不饱和键,对氧化反应敏感,因此,课题组采用热氧老化试验作为改变橡胶老化程度的方式。通过测定橡胶老化引起的扯断伸长率、扯断强度、硬度、电学能的变化,研究电性能、硬度与扯断强度和扯断伸长率之间的相关性,来验证用硬度来反映橡胶性能的可行性。

3 老化试验

本试验选用丁苯橡胶、丁腈橡胶和天然橡胶,采用常见的硫化体系进行研究。表 1 为制备的硫化橡胶样品的基本特征。

表 1 硫化胶样品配方

编号	胶种	硫化体系
LH01	丁苯橡胶	有效硫化体系 1
LH05	丁腈橡胶	有效硫化体系
LH06	天然橡胶	有效硫化体系
LH07	丁苯橡胶	普通硫化体系
LH08	丁苯橡胶	有效硫化体系 2
LH09	天然橡胶	普通硫化体系





3.1 丁苯橡胶热空气老化试验

丁苯橡胶是使用最为广泛的合成橡胶, 在舰船上多用于减振器、水阀及气缸的密封。

将普通硫化体系和有效硫化体系的丁苯橡胶老化性能变化率均与其硬度的变化作图, 得到图 1 所示曲线。由图可见, 三个试样两种硫化体系的硫化胶的扯断伸长率与硬度的变化均呈可以用线性关系进行拟合, 而且所用三个样品的数据基本上落在同一直线上, 如下式

$$\Delta E = 1.27 - 3.17 \Delta H \quad (1)$$

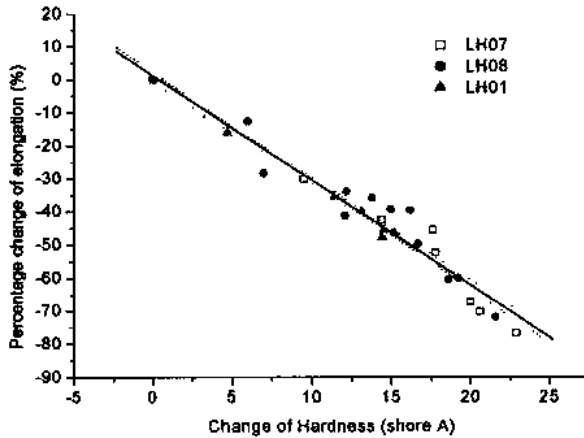


图 1 丁苯橡胶硬度变化与老化拉伸强度变化率之间的关系

普通硫化体系丁苯橡胶老化拉伸强度变化率与其硬度的变化作图 (如图 2 所示) 呈线性关系, 如下式

$$\Delta E = 2.32 - 3.22 \Delta H \quad (2)$$

普通硫化体系丁苯橡胶老化拉伸强度变化率与老化扯断伸长率变化率之间、硬度老化变化与拉伸强度老化变化率之间都接近直线关系, 如图 2、图 3 所示, 相应的线性拟合见式 (2)。

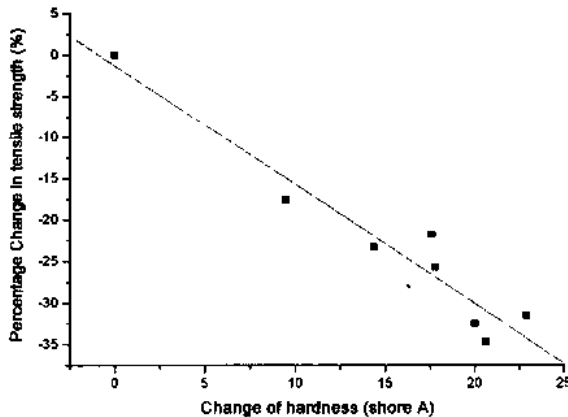


图 2 丁苯橡胶硬度变化与拉伸强度变化率之间的关系

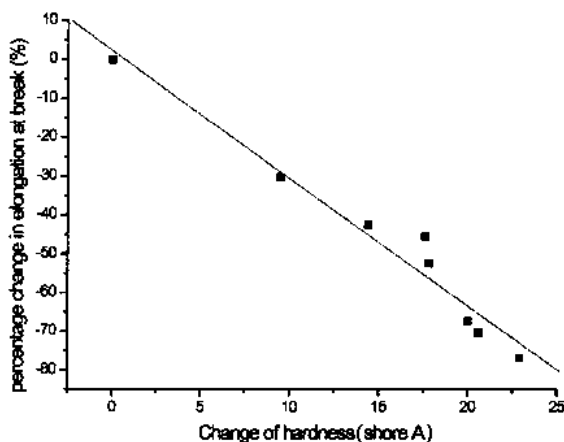


图3 丁苯橡胶硬度变化与扯断伸长率变化率之间的关系

由此可见,对于丁苯类橡胶,其老化拉伸强度变化率与老化硬度变化之间、扯断伸长率变化率与硬度变化之间以及强度变化率与扯断伸长率变化率之间呈线性关系。

3.2 丁腈橡胶热空气老化性能的变化

丁腈橡胶大量用于制造各种耐油密封制品,如O形圈、Y形圈等。

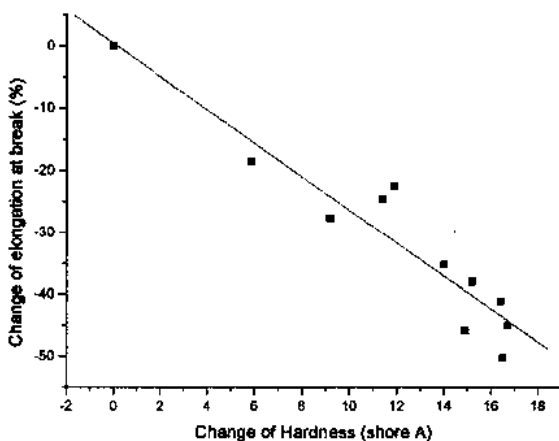


图4 丁腈橡胶扯断伸长率的变化率随硬度变化的关系

$$\Delta E = 0.434 - 2.68\Delta H \quad (3)$$

式中: ΔH 为硬度变化 (shore A); ΔE 为扯断伸长率变化率 (%)。

说明丁腈类橡胶的扯断伸长率变化率与硬度变化变化之间呈线形关系。

3.3 天然橡胶热空气老化试验

扯断伸长率老化变化率对其相应的拉伸强度老化变化率分别落在以下两条模拟直线附近,见图5。对有效硫化胶(LH06)为

$$\Delta E = -4.64 + 1.06 \Delta S \quad (4)$$

对普通硫化胶(LH09)为



$$\Delta E = 1.06 + 0.862 \Delta S \quad (5)$$

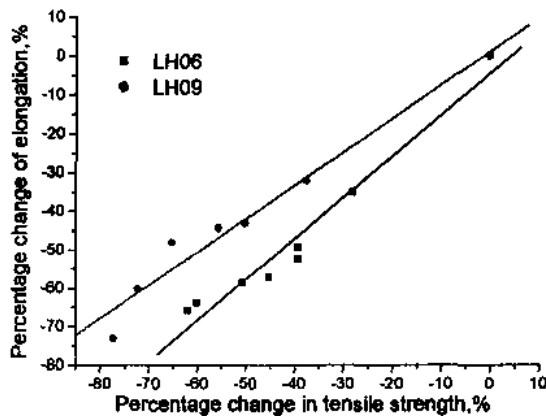


图5 天然橡胶老化伸长率变化率与老化强度变化率之间的关系

由此可见, 硬度变化随老化时间的增加而变化不大; 但老化扯断伸长率变化率与老化拉伸强度变化率之间成直线关系。

3.4 老化试验结论

通过对三类橡胶不同硫化体系的 5 组试样的老化试验表明:

(1) 丁苯和丁腈类橡胶无论是有效硫化体系产品还是普通硫化体系产品, 老化拉伸强度变化率与老化硬度变化之间、扯断伸长率变化率与硬度变化之间以及强度变化率与扯断伸长率变化率之间呈线性关系。基于此, 这两类橡胶可以通过硬度值变化来定量地反映出其强度和扯断伸长率的变化情况, 即反映出机械性能的下降情况, 为利用硬度测量的手段进行橡胶性能检测提供了依据。

(2) 天然橡胶由于在整个老化过程中硬度变化与强度变化和扯断伸长率变化之间无规律可循, 表明天然橡胶无法通过硬度变化来反应其机械性能的变化, 无法利用硬度测量为手段进行橡胶性能检测。

4 制定检测方法

根据有关国军标, 结合对某艇橡胶件的无损检验结果, 总结橡胶件原位性能检测方法如下:

(1) 外观检测

检查有无明显划伤、磨损、龟裂、扭曲变形和溶胀等现象, 有上述缺陷的橡胶件不得使用, 应予以更换。

(2) 硬度测试

根据资料表明, 丁苯和丁腈类橡胶在拉伸强度和扯断伸长率降低 30% 时, 其机械性能已经显著下降, 难以保证使用要求, 应进行更换或淘汰。由于其硬度与拉伸强度和扯断伸长率呈线性关系, 因此, 在检测丁苯和丁腈类橡胶件时, 应当在橡胶件进货 (入库) 时测量橡胶

件新品的硬度值,作为橡胶件硬度基准值。在需要检测橡胶件机械性能情况时,对在用或库存橡胶件进行硬度测量,当硬度比基准值上升30%时,应进行更换或报废。

在对橡胶件进行硬度检测时,应在被侧面均匀选取五点以上,取平均值作为橡胶件被侧面的硬度值。

5 结 论

(1)通过对橡胶各种性能检测技术的分析,针对艇上主要品种橡胶,建立了老化过程中硬度的变化与基本力学性能变化之间的相关性,确定了以测量橡胶硬度为手段的原位检测技术。该技术通过测量硬度的变化达到评价橡胶制品老化程度的目的,操作简便,安全可靠。

(2)首次发现丁苯和丁腈类橡胶,其老化拉伸强度变化率与老化硬度变化之间、扯断伸长率变化率与硬度变化之间以及强度变化率与扯断伸长率变化率之间呈线性关系,据此提出了通过硬度测量来定量测定橡胶性能老化下降程度的无损检测方法,对提高海军舰艇的装备可靠性、安全性和部队维修保证能力具有重要意义。



海洋船舶腐蚀与防护数据库的设计与实现

李娅娟, 齐育红, 张占平

(大连海事大学 机电与材料工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 采用两层分布式 C/S 结构设计和实现了海洋船舶腐蚀与防护数据库, 库内包括与船舶腐蚀防护有关的大量数据, 数据库有多种查询途径, 以及数据库维护和打印等功能。使用可视化编程语言 Visual Basic 编制数据库管理系统, 数据库管理系统在访问数据库时, 采用了 ODBC 数据源+ADO 模型的方式。界面采用传统的 Windows 界面风格, 全中文操作环境, 简洁友好, 用户只需用键盘或鼠标控制光标点, 无须输入任何字符, 即可实现所要求的功能, 操作简便。

关键词: 腐蚀; 防护; 数据库

1 引言

海洋环境十分复杂, 而在其中运行的船舶时时刻刻都受到腐蚀的危害。随着数据库技术在腐蚀科学领域中的广泛应用, 国内已相继建立了各种类型的腐蚀数据库, 然而目前尚未见船舶腐蚀与防护数据库系统的应用报导。本研究中采用两层分布式 C/S 结构设计和实现腐蚀与防护数据库。

2 数据库总体结构

数据库类型。 数据库类型采用目前比较流行的关系型数据库^[1], 数据库的开发选用当前流行的 SQL Server 2000, 它全面扩展了 SQL Server 7.0 版的性能。SQL Server 2000 可以运行于现在几乎所有的操作系统平台上, 功能强大, 界面友好, 能实现数据库的创建、更新、删除、数据定义、安全限制、处理控制等操作, 是一个适合客户/服务器需要的关系数据库管理系统。

数据库系统结构。 本数据库采用两层 C/S 结构分布式应用系统, 两层 C/S 结构就是客户端应用程序通过 ODBC、SQL Link、TCP/IP 直接连接数据库服务器进行通信, 并完成数据的添加、修改、删除和检索等操作。作为一种成熟的应用程序结构模型, 两层结构具有开发难度小, 维护和使用比较方便的优点。

数据表。 为了保证数据的冗余度达到最佳, 将数据表分成五大类: 船型结构数据、船舶材料数据、海洋环境数据、腐蚀防护数据和案例数据。其中船型结构数据包括油船、集装箱船、货船、客船和化学品船等船舶的船型结构参数。船型结构参数表中的字段包括船舶名称、总长、两柱间长、设计水线长、型宽、型深、设计吃水和设计排水体积等; 船舶材料数据包括船体外壳材料、螺旋桨材料、管路系统材料和压载舱材料等。船舶材料数据表中的字段包

括材料牌号、成分、屈服强度、强度极限、延伸率、使用温度极限和腐蚀状况等；海洋环境数据包括海洋大气和海水的环境介质。海洋大气数据表中的字段包括区域、风向和风速、相对温度、污染物质、气温、降水和降尘等；海水数据表中的字段包括区域、温度、溶解氧、pH 值、含盐量、相对流速和污损生物等；腐蚀与防护数据包括涂层防护体系、涂装方式和阴极保护的各种参数等。涂层防护体系数据表中的字段包括体系名称、涂装区域、腐蚀环境条件、对涂料的要求、底层、中间层、面层、每层又包括涂料名称、涂装道数、总干膜厚度和使用年限等；涂装方式数据表中的字段包括涂装方式、处理对象、处理介质、工艺流程和工艺设备等；阴极保护参数表中的字段包括设备、材料、材料型号规格、船舶各部位保护电流密度和保护电位等；案例数据包括已经成功应用于各种船型的腐蚀防护案例。案例数据表中的字段包括案例号、船舶名称、部位、配套涂料名称、涂料牌号、涂料颜色、涂装道数和干膜厚度等。本数据库共建立了 28 个数据表，结构如图 1。

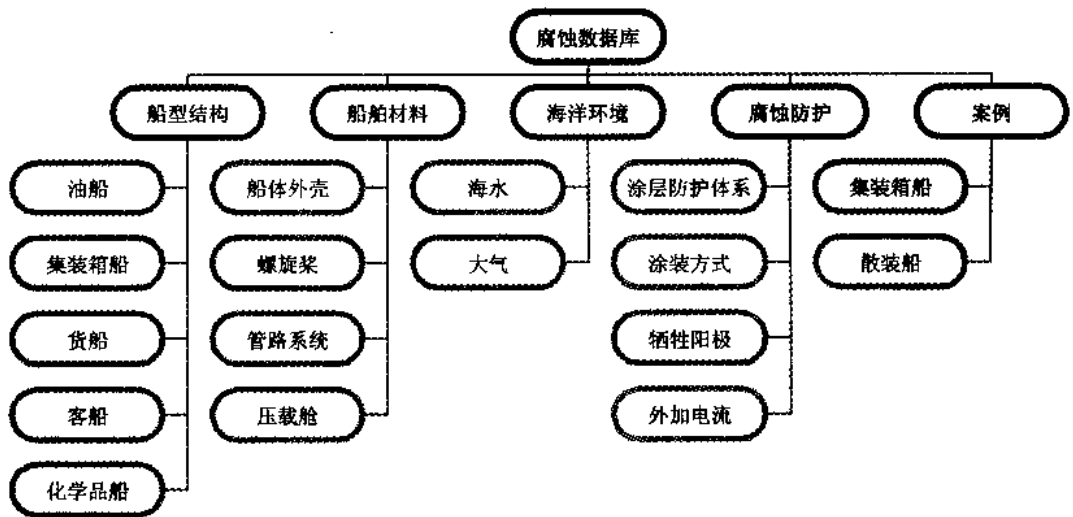


图 1 数据库结构图

3 数据库管理系统功能

数据库管理系统的开发采用了 Visual Basic 6.0, Visual Basic 是在世界范围内广泛使用的一种强大的编程语言, 它为 Windows 应用程序的开发提供了最迅速和便捷的方法。它简单易学, 功能强大, 可以很轻松地开发 Windows 程序。

数据库管理系统在访问数据库时^[2], 采用了 ODBC 数据源+ADO 的方式。ODBC(Open Data Base Connectivity, 开放数据库互联)是一个用于访问数据库的统一的界面标准。ODBC 实际上是一个数据库访问库, 可以使应用程序直接操纵数据库中的数据, 具有数据库的独立性。作为开放式数据库互联的标准接口, 用户可以直接通过加载连接到数据库的驱动程序来建立与各种数据库的连接。ADO (ActiveX Data Objects, ActiveX 数据对象)是基于 ActiveX 技术的新的编程接口。利用 ODBC 设置, 可以比较灵活地配置服务器端数据库; 而采用 ADO



模型来进行数据库编程将使得应用程序更加灵活,并能利用 ADO 提供的强大而又完善的数据库功能。

本系统主要包括三个功能:数据查询、数据管理和用户管理,结构如图 2。

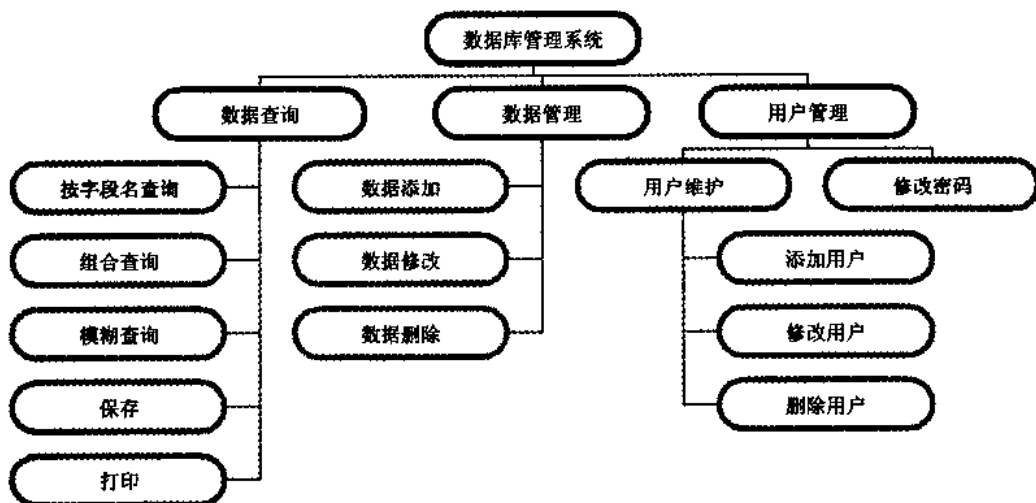


图 2 数据库管理系统结构图

数据查询。数据库主要的应用功能就是其数据查询,查询功能设计的方便与否,将直接影响数据库系统将来在实际工程中的使用效率。查询窗口以列表框的形式设计,列表框中的内容从数据库中即时加载,保证了检索条件与数据库内容的一致性,用户无需输入查询条件,只要选择一下即可,避免了用户输入无效条件,提高查询效率。用户可以进行单独查询也可以进行组合查询。在数据库应用系统中,往往需要将查询所得到的一组特定的记录数据打印出来使用,因此,本系统提供了两种打印模式——报表打印和通用打印。报表打印是用 Visual Basic 提供的内置的功能比较完备的报表制作工具 Data Report 来制作的,代码的编写相对较容易,可以满足要打印字段数并不太多的记录集使用。但面对比较复杂的表格时,报表打印就显得比较笨拙,因此本系统又设计了通用打印。通用打印模块主要是利用在 ActiveX DLL 工程中加入一个表单的方法。通用打印能够动态调整报表的标题、能够控制需要打印的字段,并且能够以两种方式完成打印,这两种方式分别是 Word 打印和 Excel 打印,利用这两种方式可以灵活地完成数据的保存和打印。

数据管理。数据管理功能使具有管理数据权限的用户可以对数据库中的内容进行管理,包括数据的添加、修改和删除。用户对数据所作的改动可以通过浏览界面直接观察到。

用户管理。该功能主要是用来建立数据库用户,并对用户的信息进行修改。本系统的用户分为系统用户和普通用户,系统用户和普通用户拥有不同的操作界面,系统用户拥有图 2 所示所有权限,而普通用户只拥有数据查询和修改自己密码的权限。

4 用户界面

本数据库系统设计的用户界面具有传统的 Windows 界面风格,分为主窗口和若干子窗

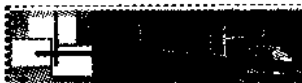
口,主窗口包括菜单、工具栏,全中文的操作环境,简单、易学;数据显示界面以网格列表形式设计,方便用户查看;窗口布局整洁,多窗口同时显示时,程序可按照用户的习惯自动排列窗口,便于用户分析、比较和查询数据。

5 结束语

设计和实现了一个全中文的海洋船舶腐蚀防护数据库,库内包括了与船舶腐蚀防护有关的大量数据。数据库有多种查询途径,还有数据添加、删除等库维护和打印功能。使用可视化编程语言 Visual Basic 编制数据库管理系统和用户界面,用户只需用键盘或鼠标控制光标点,无须输入任何字符,即可实现所要求的功能,操作简便。

参考文献

- 1 龚波等. SQL Server 2000 教程[M]. 北京: 希望电子出版社, 2002.
- 2 李存斌, 郭晓鹏. Visual Basic 高级编程及其项目开发[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.



海洋防污涂料性能动态模拟评价

罗晓亮, 张占平, 齐育红, 刘德良

(大连海事大学机电与材料工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 海洋防污涂料能防止船舶及其他海洋设施上海洋生物的附着, 防污涂料的性能评价是新型涂料开发过程中的重要环节。本文总结了海洋防污涂料的发展过程及其对应的性能评价方法, 指出目前的涂料性能评价方法已不再适用于新型防污涂料的发展。介绍了以缩短新防污产品的研制周期、降低成本为目的, 在实验室进行防污涂料性能评价的海洋动态模拟装置的研制; 海洋动态模拟装置能分别模拟船舶在海洋中航行的实际工况和海水对海洋结构物的冲刷, 运行试验表明该装置情况良好。

关键词: 防污涂料; 性能评价; 动态模拟; 装置

0 引 言

海洋生物对船体以及其他海洋设施的附着污损会带来一系列严重问题, 如降低舰船航速、增加燃料消耗和导致管路堵塞等^[1]。在防止和控制海生物附着的方法中, 防污涂料的使用最为普遍和有效^[2]。防污涂料性能的优劣取决于涂料在海洋中实际工况及其常规性能和防污性能, 其中防污性能因防污机理的不同, 性能指标也不一样。如传统的防污涂料主要依靠有毒防污剂从涂层中渗出杀死企图附着于其上的海洋生物孢子或幼虫来达到防污目的^[3], 因此该类涂料的防污性能主要取决于防污剂的渗出率; 而新型防污涂料如低表面能防污涂料的防污性能主要取决于其表面能等^[4]。

防污涂料的开发需要很长的周期, 尤其是防污性能考核需要大量的时间。通常一个防污涂料新产品从配方设计到进入市场, 必须要经过实验室性能测试、浅海挂板试验、实船涂装试验等, 累计一个周期达到 8 年或者 10 年。例如, 在大型船只上用这些产品做试验, 要花费 3 至 5 年的时间, 也就相当于进干船坞的间隔。这些试验不仅消耗相当长的时间, 而且耗资巨大^[5]。一旦该配方效果不好, 又得重新调整, 重复试验。如此反复的过程, 不仅导致新产品开发成本高昂, 而且严重制约了防污涂料新产品的开发效率, 进而对航运业产生消极的影响。

随着国际海事组织全面禁止有机锡涂料使用期限的临近, 防污涂料朝着无毒或低毒的环保型涂料发展。因此, 针对新型防污涂料研究其防污性能评价的新方法具有重要意义。

1 海洋防污涂料的性能评价

防污涂料性能评价是为了快速评定防污涂料的性能, 短时间内筛选出防污漆的配方, 从而缩短新型防污涂料的研制周期, 降低开发成本。随着海洋防污涂料的发展, 其性能评价方

法也有相应变化。

传统防污涂料一般是由防污剂(毒料)、基料、溶剂、各种助剂(成膜助剂、渗出剂、防沉剂)等组成。在航海史上,人们一直使用有毒物质进行防污,曾用过铜、砷、镉、铅和汞等化合物。这虽然能减少或消除海洋生物的污损,但有害物质的释放给生态环境和人类健康也造成了严重危害,因而早已被淘汰。20世纪70年代,人们发现有机锡在低浓度下可以达到广谱、高效的防污目的,因此有机锡化合物成为代表性能的防污剂^[6]。有机锡防污涂料的防污机理是:防污剂从涂层中渗出,杀死或赶走企图在结构物表面附着的海生物。这就要求防污涂层达到防污剂可控的缓慢释放的要求,即有一个稳定有效的防污剂渗出率。因此,出现了以测定防污剂的渗出率为标准的性能评价方法,主要有ISO15181-1防污涂料中杀生物剂渗出率的测定——第1部分:杀生物剂萃取的通用方法;美国材料和试验协会(ASTM)制订的标准ASTM D5108-90(96)防污涂料体系在海水中有机锡渗出率的试验方法;GB6825-86船底防污涂料有机锡单体实海渗出率测定法^[7]。

20世纪80年代,人们发现有机锡在鱼类、贝类体内会累积,导致遗传变异,而且还有可能进入食物链。国际海事组织(IMO)提出,到2008年全面禁止在防污涂料中使用有机锡。

目前,在市场上占主导地位的防污涂料是低释放率的含铜防污涂料,即以毒性较小的氧化亚铜和杂环类杀菌等作为防污剂的无锡自抛光防污涂料。该类涂料是通过聚合物在海水作用下缓慢水解,不断露出新的表层,溶出防污剂,使海生物没有固定的附着条件来达到防污的目的。这样既防止了海洋生物对船体的污损,又避免了粗糙表面的形成。为了评价自抛光防污涂料的性能,国内外很多研究机构通过建立海洋试验站,在浅海模拟船舶等的实际工况来测定涂料磨蚀率。如洛阳船舶材料研究所设计了一套防污涂料动态试验装置(图1所示),将涂有防污涂料的样板安装在转子试验装置上,模拟船舶航行状态,在天然海水中按一定周期连续运转,和海洋污损生物生长旺季时样板浸泡相结合进行试验。通过航行里程的长短和生物旺季试验浸泡的有机结合,评定各种防污涂料性能的优劣。美国材料与试验协会也使用类似的装置来评价防污涂料的性能(图2所示)。海洋试验站防污涂料性能评价环境很好的模拟了船舶航行的实际工况,但由于其地理位置的固定,很难模拟海水与船舶的实际工况,而且在海上进行时实验周期长、耗费较高,不利于涂料的初始配方设计。

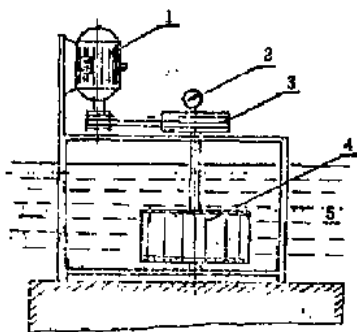


图1 实验装置示意图^[8]

1—电机; 2—转速表; 3—传动装置; 4—样板; 5—海水

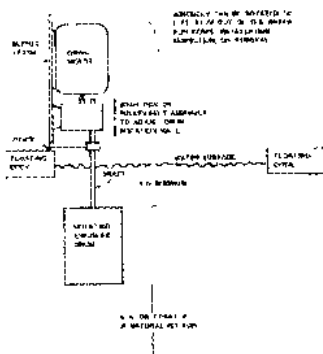
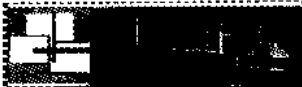


图2 旋转试验装置^[9]





随着人类环保意识的增强,低毒防污涂料也将最终被淘汰,开发研制对环境无污染的新型无毒海洋防污涂料已是大势所趋。目前,新型无毒防污涂料的开发主要通过以下几种途径^[10]:①改变涂层表面的物化性能;②采用生物仿生技术;③利用涂层的自抛光机理;④降低涂料表面的自由能。由于新型防污涂料防污机理与传统防污涂料的不同,上述的性能评价方法已不再适用于新型涂料的研究和开发工作。

针对现有防污涂料性能评价方法无法满足新型防污涂料发展的现状,本文研究了在实验室测试新型海洋防污涂料性能的新方法。该方法通过将涂有防污涂料的试样放在自主研发的海洋动态模拟装置模拟其在海洋中的实际服役工况,测试涂料的各项性能指标随试验时间的变化情况,从而综合评价防污涂料的性能。

2 海洋动态模拟装置的研制

海洋防污涂料用于船舶和海洋结构物表面防止海生物附着效果的好坏(即性能)与船舶和海洋结构物在海洋中的实际工况直接相关。因此防污涂料的性能评价,必须有工况与上述情况相同或相似的环境。船舶与海洋平台等结构物在海洋中所处状态不同,因此设备采用两种不同的方式分别模拟不同的工况。其中,海水动态模拟装置模拟船舶航行的实际工况,海水冲刷模拟装置主要模拟海水对海洋中固定结构物的冲刷状态。

(1) 海水动态模拟装置

装置由电机、变速机构、旋转圆筒、挡板、恒温装置及海水组成,采用旋转方式来实现船舶与海水的相对运动,利用无级变速电机改变旋转速度,同时使用恒温装置控制海水的温度。结构如图3所示。涂有防污涂料的样板镶嵌在旋转六棱柱的侧面上,用宽面螺钉固定。蓄水容器内适当安装挡板,以避免容器中介质漩涡的形成并导致研究试样暴露在海水上。同时提高研究试样与介质之间的相对运动速度;海水采用下进上出的方法,加快海水温度的变化;由于海水具有强腐蚀性,旋转圆筒及螺钉使用聚四氟乙烯,蓄水容器采用有机玻璃钢材料。

根据线速度与转速(弧度)公式 $v = \omega r$, 通过调节旋转速度实现模拟各种船舶在海水中不同的航行速度。

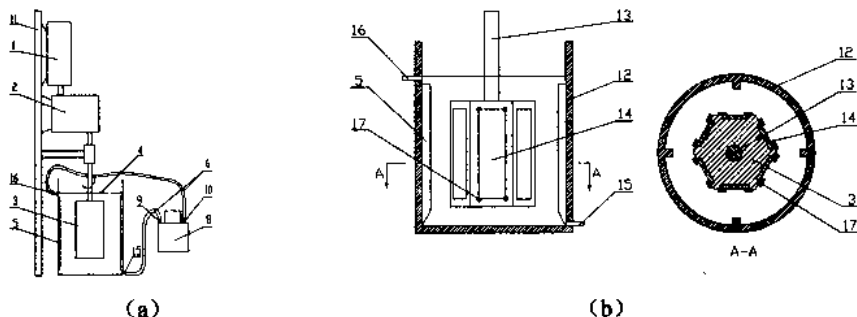


图3 (a) 装置示意图 (b) 海水动态模拟装置

1—电机; 2—变速机构; 3—旋转圆筒; 4—海水; 5—挡板; 6—水管; 8—恒温装置; 9—恒温装置出水口; 10—恒温装置入水口; 11—支架; 12—蓄水容器; 13—主轴; 14—试样; 15—入水口; 16—出水口; 17—螺钉

(2) 海水冲刷模拟装置

该装置与动态模拟装置不同之处在于旋转部件和蓄水容器,作用是通过轮毂叶片的旋转带动海水冲刷容器四壁的试样。结构如图4所示,图中箭头为水流方向。涂有防污涂层的样板镶嵌在试样架和轮毂叶片上,试样架上的试样正反两面均受海水的冲刷,用宽面螺钉固定。

该装置能够模拟三种状态:轮毂叶片旋转产生的水流有角度的冲刷试样,模拟流动海水对海洋平台等固定海洋结构物和船舶某些部位的冲刷作用;水流穿过试样架向四周产生向上的水流,以一定的速度冲刷试样,模拟船舶航行时海水对船底和侧身的冲刷;轮毂叶片上的试样以一定的速度在流动的海水中旋转,模拟船舶航行时艏部的实际情况。

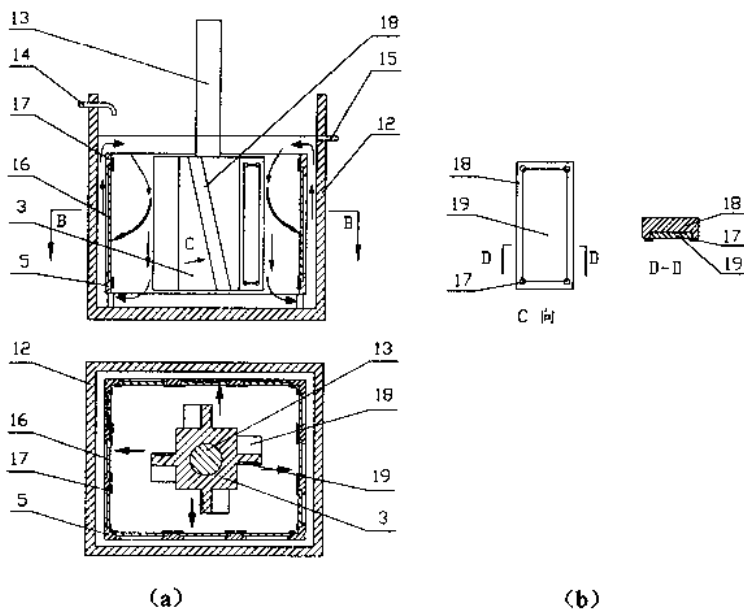


图4 (a) 装置示意图 (b) 海水冲刷模拟装置

3—轮毂; 5—试样架; 12—蓄水容器; 13—主轴; 14—入水口; 15—出水口;

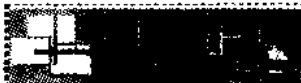
16—试样a; 17—螺钉; 18—叶片; 19—试样b

海洋动态模拟装置的优点在于一机两用,即使用同一电机和支架模拟两种不同的状态,即降低了成本,又减小了占地面积。同时,装置能够在一定范围内控制海水温度和试样的旋转速度以及水流冲刷速度,便于模拟各种船舶在不同海水条件下以各种速度航行的实际工况,而且试样尺寸符合国家标准,方便制备。该装置的使用可以在实验室测试防污涂层的性能,为实验室研究开发新型防污涂料提供了有利的基础。装置的主要技术尺寸(mm)如下:

设备	600*600*1800	试样	50*50, 50*120
容器1	Φ400*500	容器2	400*400*500

3 结 论

经过240h运行试验表明:海洋动态模拟装置结构基本合理,性能稳定可靠,较好地模拟了防污涂料在海洋中服役的实际工况。基于此装置的防污涂料性能评价方法能够快速测定



涂料的性能,确定防污涂料的配方,明显缩短开发新型防污涂料时间和降低研究费用,从而加快新型防污涂料的发展。

参考文献

- 1 李慧娟, 王国建. 船舶防污涂料研究进展[J]. 涂料工业, 2005,35(3): 45-48.
- 2 黄修明, 刘建军等. 三烷基系有机锡化合物的制备及防污效果优选评价[J]. 海洋与湖沼, 1992,23(1):56- 62.
- 3 海洋防污与防腐蚀[M]. 北京: 海洋出版社, 1987.
- 4 Lindner Eler.Biofouling[J].1992, 6(2): 193-205.
- 5 Iva rentin,Vittorio Romairone, Giuseppe Marcenaro,Giorgio De Carolis.Quick test methods for marine antifouling paints[J]. Progress in Organic Coatings 42 (2001): 15-19.
- 6 李慧娟, 王国建. 船舶防污涂料研究进展[J]. 涂料工业, 2005,35(3): 45-49.
- 7 金晓鸿. 新型船舶涂料性能评定和标准[J]. 中国涂料, 2005,20(6): 4-5.
- 8 金晓鸿, 叶美琪, 胡雪娇等. 船舶防锈漆体系加速实验方法研究(一) [J]. 涂料技术, 1994(1): 37-40.
- 9 ASTM. Standard Test Method for Subjecting Marine Antifouling Coating to Biofouling and Fluid Shear Forces in Natural Seawater[S]. Designation: D 4939 - 89 (Reapproved 1996).
- 10 徐国财等. 特种功能涂料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.



基于 Ostu 法图像分割的船用缸套材料磨合表面评价

何 鸿, 关德林

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 利用基于 Ostu 法的图像分割, 对在 CD40 润滑油中以不同转速进行模拟磨合试验的船用缸套材料表面形貌进行二值化分割, 利用图像中高灰度区域所占的比例 R 对磨合表面质量的优劣进行评价。并模拟了不同亮度和对比度图像, 验证了 Ostu 法图像分割的稳定性及结果的可靠性。试验结果表明, 对磨合表面图像基于 Ostu 法的二值化分割可以半定量或定量地评价磨合表面质量, 图像的亮度, 对比度对评价结果影响极小。

关键词: 船舶柴油机; 磨合; 缸套; 表面形貌; 图像分割

0 引 言

船舶柴油机良好的磨合能保证其运营期间正常高效运行, 目前对船舶柴油机磨合的评定方法主要是油液检测, 表面形貌分析等^[1]。油液检测用光谱分析、铁谱分析以及颗粒计数间接反映摩擦表面磨损状态。表面形貌分析则借助于表面粗糙度测量, 扫描电镜观察。为了更准确地评定磨损表面, 近年来诸多学者对表面特征参数的提取及分析进行了大量研究^[2,3]。

图像的二值化处理已经广泛用于医学、气象和航天测绘等领域^[4~6], 在材料表面形貌分析上的应用还甚为少见。研究表明, 材料表面的灰度信息可以详细地反映其表面形貌, 甚至可以根据其二维灰度矩阵模拟出三维表面形貌。本文利用 Matlab 实现了 Ostu 最大类间方差确定阈值的算法, 对在不同转速下磨合的缸套表面进行二值化图像分割, 进而对其磨合质量做出评价。

1 方法与原理

材料表面图像的凸凹不平在灰度图像上反映为灰度等级的不同。以摩擦副表面为例, 相互接触的区域经过一定时间的磨合后, 表面会光洁平整, 在灰度图像上呈现为高灰度等级的高亮区域; 而没有接触的摩擦副表面则显示为低灰度等级的暗黑区域。所以, 在一幅灰度图像中, 如果高亮区比例大, 则表面平整。在此, 将高亮区所占整个图像区域的比例 R 称为支撑比。

按照 Otsu^[7~9]提出的最大类间方差法(也称为大津方法), 将图像按灰度值 T 分为两类: C_0 类(灰度级为 0 到 T) 和 C_1 类(灰度级为 $T+1$ 到 $L-1$)。那么 C_0 类和 C_1 类出现的概率, 均值和均方差分别为



$$\left. \begin{aligned} w_0 &= P_r(C_0) = \sum_{i=0}^T P_i = w(T) \\ w_1 &= P_r(C_1) = \sum_{i=T+1}^{L-1} P_i = 1 - w(T) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 &= \sum_{i=0}^T i p_i / w_0 = \mu(T) / w(T) \\ \mu_1 &= \sum_{i=T+1}^{L-1} i p_i / w_1 = \frac{\mu - \mu(T)}{1 - w(T)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: $\mu(T) = \sum_{i=0}^T i p_i$; $\mu = \mu(L-1) = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$ 。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_0^2 &= \sum_{i=0}^T (i - \mu_0)^2 P_i / w_0 \\ \sigma_1^2 &= \sum_{i=T+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 P_i / w_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

定义类内方差和类间方差分别为

$$\sigma_w^2 = w_0 \sigma_0^2 + w_1 \sigma_1^2 \quad (4)$$

$$\sigma_b^2 = w_0 w_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (5)$$

总体方差是类内方差和类间方差的和:

$$\sigma^2 = \sigma_b^2 + \sigma_w^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 P_i \quad (6)$$

由式(6)可知, 总体方差与阈值无关, 只由图像的直方图决定。

最优分类满足如下准则: 类间方差要最大, 类内方差最小。由于总体方差对一特定图像来说是固定的, 因此这两条准则等效。由此有判据准则

$$\eta(T) = \sigma_b^2 / \sigma^2 \quad (7)$$

所以欲使分类最优, 只需求的 σ_b^2 的极大值, 这时对应的阈值即为分割阈值。

2 试验方法

在 MMW-1 立式万能摩擦磨损试验机上进行不同条件下的磨合模拟试验, 上试样(销)用线切割从 S50MC 船用柴油机活塞环上切取, 尺寸 $5 \text{ mm} \times 9.5 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$, R_a 为 $3.7 \mu\text{m}$; 下试样气缸套切割尺寸 $\Phi 30 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, R_a 为 $1.0 \mu\text{m}$ 。试验转速分别为 400、600 和 800rpm, 载荷 700 N, 采用浸油润滑方式。润滑介质为 CD40 润滑油, 试验时间 3 h。图像通过 CCD 摄像头采集, 图像格式为 $640 \times 480 \text{ bmp}$, 对图像进行分析时, 放大倍数为 $100 \times$ 。用 TR200



手持式粗糙度仪测量表面粗糙度。

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

三种转速下运转 3 h 后, 缸套材料表面形貌分别如图 1 中 (a)、(b)、(c) 所示, 图 1 (d)、(e) 和 (f) 为其对应的直方图。

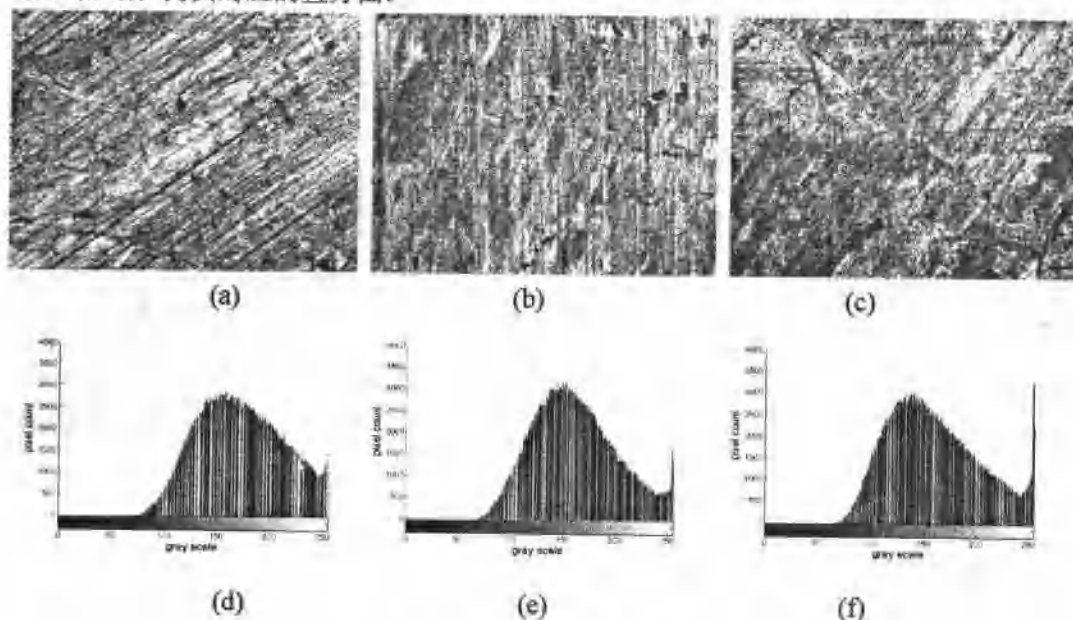
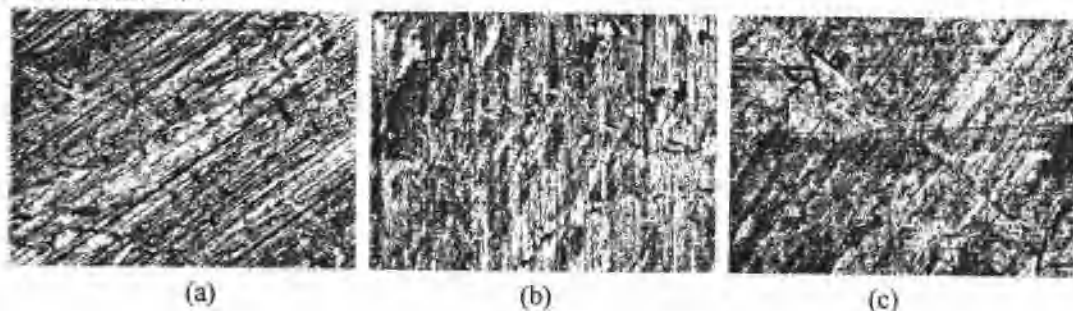


图 1 缸套表面形貌图像及其直方图分布

为验证算法的稳定性及可靠性, 对图 1 中 (a)、(b) 和 (c) 进行了图像均衡化处理, 从而模拟出不同的亮度和对比度, 结果见图 2 中 (a)、(b) 和 (c), (d)、(e) 和 (f) 为其相应的直方图分布。



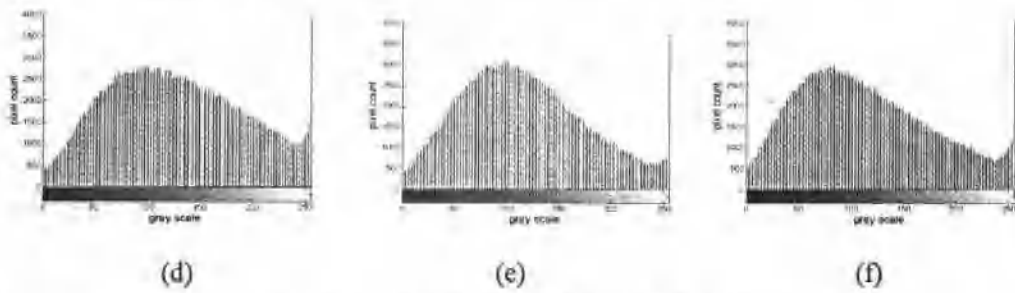


图2 均衡化后缸套表面形貌图像及其直方图分布

基于 Ostu 算法, 利用 Matlab 编程实现图 1 和图 2 中表面图像的二值化分割, 结果如图 3 和图 4 所示:

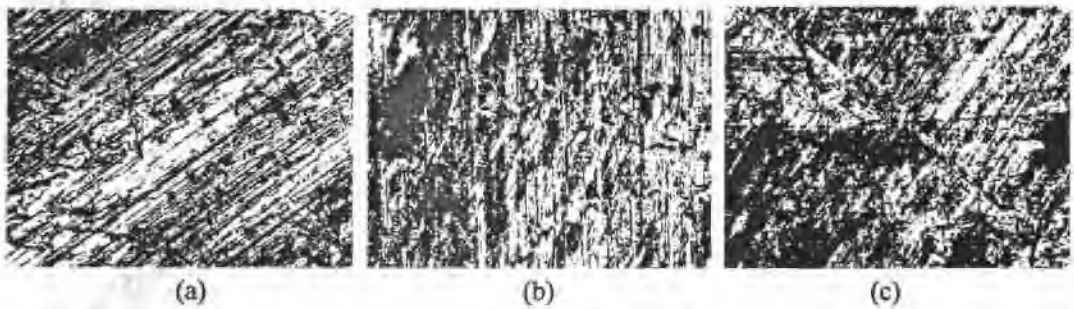


图3 缸套表面形貌二值图像

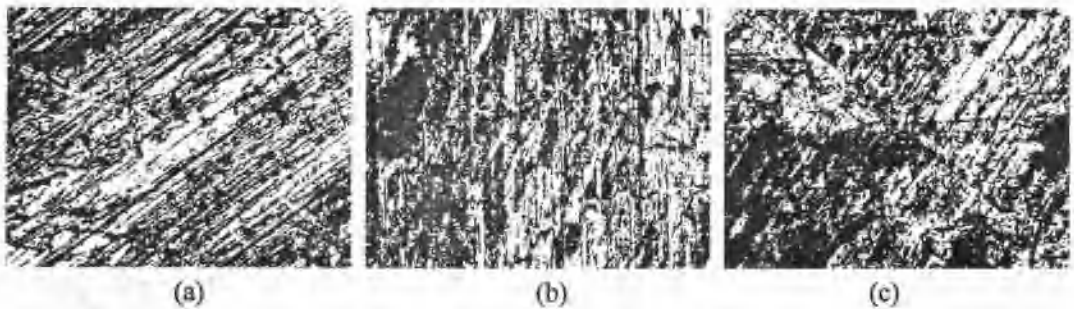


图4 均衡化后缸套表面形貌二值图像

不同转速下表面粗糙度 Ra 和支撑比 R 如表 1 所示:

表 1 不同转速下的评价参数值

转速		400 r/min	600 r/min	800 r/min
R	原始图像	0.449 3	0.410 5	0.386 8
	均衡化后图像	0.441 0	0.401 7	0.386 8
$Ra(\mu m)$		0.160	0.291	0.227

3.2 结果分析

由图 1 和图 2 可以看出, 无论是表面图像亮度和对比度, 还是其直方图分布均有较大的差异, 但其经过 Ostu 图像分割后的二值图像图 3 和图 4 几乎看不出任何差别, 仅能通过表 1 中的数据才能看出其细微的差别。这说明 Ostu 法图像分割是比较稳定的, 图像的亮度, 对比

度对其结果影响极小,即在拍摄表面形貌图像时环境光照对其表面质量评价的结果影响极小。

由表1中的 R 值变化来看,随着转速的增加,支撑比 R 呈下降趋势,即转速高时,单位时间内的磨损距离增加,同时由于混合润滑中流体润滑所占比重上升,粗糙峰接触所占的部分下降,磨合结束时缸套的表面粗糙度偏高^[10]。但是由于 Ra 测量的是在取样长度内,轮廓曲线偏离绝对值的算术平均值,其评价对象是一条线上的表面轮廓,所以从 Ra 数据变化上看不出规律,结果呈现出随机性。若以图1中(c)为测量对象,所测得的上半部分的 Ra 必然小于下半部分。所以,用 Ra 来评价磨合表面,有很大的随机性,若要使结果准确,必须多点测量。

本文所提出的方法是可视化的,即可以在视场范围内选择要评价的区域。而且,该方法评定的对象是一个面,这比 Ra 的评定范围要大许多,更加具有普遍性。

4 结 论

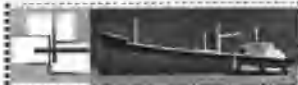
本文将Ostu图像分割理论其应用于缸套材料磨合表面的评价。结果表明:

(1)由Ostu图像分割得出的支撑比 R 可以定量或半定量的评价磨合表面质量。评价对象的亮度,对比度对其结果影响极小,结果具有较高的可靠性及稳定性。

(2)选用支撑比 R 评价磨合表面,以面为评价对象可以减小测量随机性带来的误差,使结果更可靠。

参考文献

- 1 许俊等.多技术综合分析方法在柴油机台架磨合研究中的应用[J].柴油机,2004(6):25-26.
- 2 陈国安,葛世荣,张晓云.磨合过程中表面形貌变化的分形表征[J].润滑与密封,1999(2):55-56.
- 3 W P Dong, P J Sullivan, K J Stout. Comprehensive study of parameters for characterization 3-D surface topography III(VI)[J]. Wear, 1994, 178(1): 29-60.
- 4 师春香,吴蓉璋等.多阈值和神经网络卫星云图云系自动分割试验[J].应用气象学报,2001,12(1).
- 5 万剑.肿瘤细胞计算机辅助诊断系统的研究[D].武汉:华中科技大学,2004.
- 6 汤亚波,刘晓军等.一种遥感图像海上船舶多级自适应聚类分割方法[J].计算机应用,2005,25(9).
- 7 N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans.SMC-9(1) (1979): 62-66.
- 8 黄爱民,安向京等.数字图像处理与分析技术[M].北京:中国水利水电出版社,2000:238-240.
- 9 T.Kurita, T.N.Otsu, N.Abdelmalik,Maximum likelihood thresholding based on population mixture models[J]. Pattern Recognition 25(1992): 1231-1240.
- 10 张移山,孔宪梅,陈大融.磨合过程的摩擦学设计研究[J].清华大学学报(自然科学版),1998,38(4):38-41.



12PA6V-280 型柴油机连杆轴瓦故障原因浅析

沈岳辉, 刘传光, 郭连免

(中国人民解放军湛江海军基地, 广东 湛江)

12PA6V-280 型柴油机为我国引进法国热机协会 (SEMT) 专利生产的四冲程中高速柴油机, 性能优良, 目前已在我国海军舰船中作为主动力装置广泛使用。

1 故障现象

某舰(下称甲舰)采用 2 台该型柴油机作为主机, 进厂修理时抽检主机连杆轴瓦, 发现下轴瓦表面镀锡层有轻微脱落现象, 脱落部位沿油槽方向在油槽末端附近, 深度约 0.05 mm, 范围约 0.5 cm^2 (见图 1)。在发现上述现象后, 对 2 台主机 24 副连杆轴瓦全部进行拆检, 发现每副轴瓦均有此现象, 并且位置和大小均极为相似。



图 1 轴瓦表面镀锡层脱落

2 原因分析

2.1 从轴瓦结构上进行分析

由于同时在厂修理的另一艘舰船(下称乙舰)也采用该型主机, 给我们分析故障提供了方便。在分析过程中发现目前该型柴油机使用的连杆轴瓦有两类, 一类是长油槽轴瓦(见图 2), 在轴瓦中间开有沿圆周方向的油槽, 油槽贯穿整个下轴瓦及上轴瓦的 $1/4$, 油槽中间有长方形油孔, 油孔较大 ($9 \times 40 \text{ mm}$); 另一类是短油槽轴瓦(见图 3), 只是在下轴瓦上开有沿圆周方向的油槽, 油槽的长度不到下轴瓦的 $2/3$, 油槽中间有圆形油孔, 油孔较小 ($\phi=9 \text{ mm}$)。

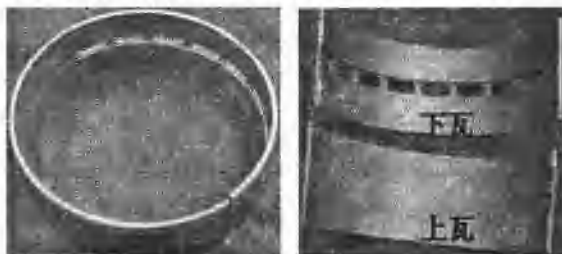


图 2 长油槽轴瓦

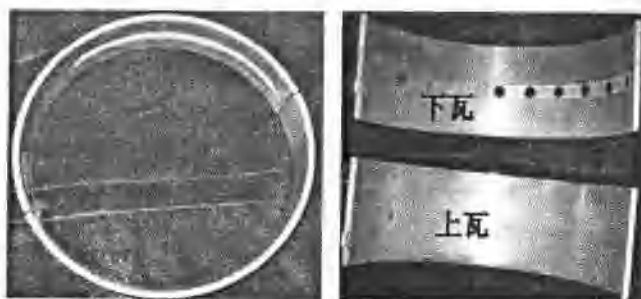


图3 短油槽轴瓦

甲舰的连杆轴瓦全部为短油槽轴瓦,使用时间约2000h,2台主机24副轴瓦下瓦表面镀锡层普遍出现脱落现象;乙舰2台主机24副连杆轴瓦中,除一副为短油槽轴瓦外其余均为长油槽轴瓦(由于前一轮修理时单缸更换所致),使用时间也是约2000h,恰巧就是这副短油槽轴瓦下瓦表面出现脱落现象,其他23副轴瓦均正常。

通过以上对比分析显然可以得出如下结论:轴瓦表面镀层脱落与轴瓦结构有关,可能是由于短油槽轴瓦所开油槽不合理所致。

2.2 从故障产生机理上进行分析

作为海军舰船,由于其使用上的特殊性,离靠码头多,空车及低速运转时间长,换向频繁等,这些都会造成柴油机工况不稳定,从而导致轴瓦中滑油压力波动。当轴瓦中某一局部滑油压力降低时,溶解其中的气体就可能析出形成气泡,这些气泡受到曲轴颈和连杆轴瓦的挤压作用而破灭,周围的液体以极高的速度冲向气泡,产生高压冲击波,形成气蚀。长期反复作用,从而在轴瓦表面某一集中区域形成金属疲劳剥落。

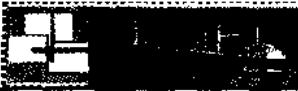
长油槽轴瓦由于其所开油槽足够长,油孔较大,工况变化时轴瓦中的滑油能及时补充和卸放,滑油的流体特性较好,不会形成气蚀。而短油槽轴瓦所开油槽不充分,油孔较小,工况变化时在连杆轴瓦的某一局部区域,滑油来不及补充,出现局部负压而产生气泡。并且顺着滑油流动方向,油槽末端附近区域是滑油流体特性最差区域,容易出现负压,因而最容易发生气蚀。

3 处理措施

(1) 根据以上分析,轴瓦表面镀层脱落与轴瓦结构有关,是由于短油槽轴瓦所开油槽不合理、不充分所致,建议承修单位以后在更换轴瓦时尽量使用长油槽轴瓦,慎用短油槽轴瓦;

(2) 舰艇部队应严格按该型柴油机操作规程进行操作,尽量减少使用时造成柴油机工况不稳定的因素,例如避免长时间低速、空转状态,养成良好的操作使用习惯;

(3) 轴承间隙过大也是导致气蚀的原因之一,因此要求承修单位严格按修理标准进行修理,保证连杆轴瓦合适的间隙。



船舶轴系强度校核的新方法

吴家明, 易太连

(海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 轴系强度校核通常是凭借经验公式对轴系的强度进行校核, 采用计算机数值分析的有限元法可以克服以往的不足, 提高效率, 使轴系强度校核更具有合理性、科学性。运用 ANSYS 软件对某型舰艇的螺旋桨轴进行了有限元优化设计计算, 计算结果表明有限元法是切实可行的。

关键词: 有限元法; 轴系; 强度校核

0 引言

轴系是船舶动力装置的基本组成部分, 它的主要任务是将主机的功率传递给螺旋桨, 同时又将螺旋桨产生的推力传给船体, 使船舶航行。如果轴系发生故障, 会直接影响船舶的航行, 特别是要求具有很高机动性能的舰艇, 轴系发生故障的影响是不可想象的。所以轴系的主要部件必须满足规范要求 and 进行强度校核, 以保证轴系在各种恶劣的载荷情况下, 不致发生永久变形和断裂, 在运行中安全可靠, 并有较长的使用寿命。

对于舰艇来说, 轴的重量尺寸也是一项重要的指标, 因为它直接影响舰艇的战术技术性能。通过缩小轴系的重量尺寸, 可以省出更多空间、重量作为其他用处, 对提高舰艇的合理装载很有好处。由于调距桨具有高效率、良好的机动性和操纵性等优点, 目前在舰艇上的使用也越来越广。但是调距桨的控制部分较为复杂, 要求传动轴是空心的, 以便于布置其操纵装置, 所以在保证轴系强度而不至于使轴发生故障的前提下, 最大限度的确定其空心度, 从而得到更大的空间, 以利于更好地布置其操纵装置。

随着计算机技术的发展, 采用计算机数值分析的方法进行计算分析显得越来越方便、快捷, 计算的结果也更为精确。本文主要是采用有限元分析软件对传统的轴系强度校核进行运用, 试图探索一种轴系强度的新方法, 从而克服传统的轴系强度校方法中的不足, 提高效率 and 精度, 得到轴系的最佳尺寸。

1 轴系强度的经验校核方法

传动轴在工作时, 同时受到扭转、弯曲和压缩(或拉伸)三种载荷, 不仅是静载荷, 而且还有附加动载荷作用。目前国内外主要根据规范公式计算轴径, 而且主要着眼点是扭矩, 即以轴在额定工况时传递的平均扭矩所产生的扭应力 τ , 应小于或等于许用扭转应力 $[\tau]$, 并考虑一些经验公式推导出来的。为了反映轴系实际受力情况, 及对规范公式计算出的轴径作进一步校核, 有必要对传动轴的强度进行计算和校核。

传动轴强度校核的基本方法是,在规范计算决定的传动轴的基本轴径的基础上,计算静载荷下的合成应力,再引用实际经验所确定的安全系数来考虑动载荷的作用。具体步骤如下:

(1) 主机扭矩引起的扭应力

$$\tau = M_n / W_t \quad (1)$$

式中: M_n 为主机额定功率时的扭矩; W_t 为轴的抗扭截面模数。

(2) 螺旋桨推力所产生的压缩应力

$$\sigma_y = T / F_w \quad (2)$$

式中: T 为螺旋桨最大推力; F_w 为轴截面面积。

(3) 轴重量所产生的弯曲应力

$$\sigma_w = M_w / W_{wx} \quad (3)$$

式中: W_{wx} 为轴抗弯截面模数; M_w 为轴本身所产生的最大弯矩。

(4) 安装误差引起的附加弯曲应力

由于轴段安装间隙较小,安装误差造成轴段的不同轴度,会引起轴的附加弯曲应力 σ_{wl} , 应力的大小一般是根据经验选取。

(5) 合成应力

根据强度计算合成应力为:

$$\sigma_H = \sqrt{(\sigma_y + \sigma_w + \sigma_{wl})^2 + 3\tau^2} \quad (4)$$

(6) 安全系数

传动轴的静强度校核结果应符合下式要求

$$\text{安全系数 } K = \sigma_s / \sigma_H \geq [K] \quad (5)$$

式中: σ_s 为材料屈服极限; $[K]$ 为许用安全系数,其大小一般由经验来确定。

这种传统方法校核轴系的强度比较简单,大部分都依赖经验来完成,与实际情况不尽相符。

2 有限元法在轴系强度校核中的运用

有限元位移法是一种利用位能变分和分割近似原理求弹性力学问题的数值方法。它首先把连续弹性体分割为在节点上相连的单元组合体,然后以节点位移为基本未知量,分别在各单元内选取位移函数,并按线性弹性力学的几何方程、本构方程、虚功方程或位能变分方程,建立并求解关于节点位移的线性代数方程组,把无限个自由度的问题化为有限自由度的问题。

弹性体网格划分后,在载荷作用下,体内任一节点的应力表示为

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}]^T \quad (6)$$

其中: σ_x 、 σ_y 、 σ_z 为正应力, τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 为剪应力。

弹性体内任一节点的位移可以用直角坐标轴方向的位移分量 u 、 v 、 w 列阵表示

$$\{\psi\} = [u \quad v \quad w]^T \quad (7)$$

应变分量与位移分量之间的几何关系为



$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \lambda_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial w / \partial z \\ \partial u / \partial y + \partial v / \partial x \\ \partial v / \partial z + \partial w / \partial y \\ \partial w / \partial x + \partial u / \partial z \end{Bmatrix} \quad (8)$$

对于各向同性的线弹性材料, 可以以应变表示应力形式

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (9)$$

式中: $[D]$ 称为弹性矩阵, 它完全由弹性模量 E 和泊桑比 μ 决定。

运用虚位移原理, 即外力在约束允许的微小虚位移上所做的功等于整个弹性体内的应力在虚应变上的功。通过变换后, 最后可得到线弹性的单元有限元求解方程为:

$$[K]\{\psi\}_e = \{R\}_e \quad (10)$$

其中: $[K]_e = \int_V [B]^T [D] [B] dV$, 称为单元刚度矩阵; $[B]$ 为几何矩阵, 也称为应变位移关系

矩阵; $[D]$ 为本构矩阵或称为材料矩阵; $\{\psi\}_e$ 为节点位移; $\{R\}_e$ 为单元载荷向量。

通过计算, 最后可以得到弹性体在各种载荷作用下的最大的等效应力。

3 有限元优化设计计算

在保证轴运转过程中的强度情况下, 为了减轻轴的重量, 一般轴都设计为空心轴。随着调距桨的运用, 轴的空心部位被用来安装大量的用来控制调距桨的装置, 在不影响轴的强度下, 通常希望空心度越大越好。在轴段外径不变的情况下, 通过有限元软件的优化技术, 可以对轴的空心度进行优化, 从而得到不降低轴的强度情况下的重量和空心度的最佳配合。

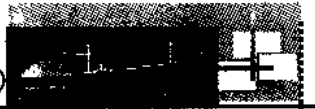
在轴的优化过程中, 以轴的内径作为设计变量, 以有限元计算得到的轴的最大的等效应力小于轴材料的屈服极限应力作为状态变量, 优化的最终目标是使轴的强度不降低下重量最小。

优化方法采用一阶方法, 即通过对目标函数添加罚函数将问题转换为无约束。一阶方法使用状态变量对设计变量的偏导数, 在每次迭代中, 梯度计算 (用最大斜度法或共轭方向法) 确定搜索方向, 并用线搜索法对无约束问题进行最小化。

4 计算实例

现对某型舰艇的艉轴进行有限元优化计算, 已知艉轴长度为 1 350 cm, 轴外径为 46.5 cm, 中空直径为 30 cm, 其螺旋桨的最大推力为 1 176 kN, 额定轴功率为 20 200 kW, 轴额定转速为 230 r/min。

轴材料为锻钢, 材料的比重为 $0.000\ 769\ \text{N/cm}^3$, 锻钢的弹性模量 E 为 $20.6 \times 10^6\ \text{N/cm}^2$,



泊桑比 μ 为 0.3, 其屈服极限应力为 $26\ 500\ \text{N/cm}^2$, 许用安全系数 $[K]$ 根据军标要求取为 2.2。

有限元优化计算的设计与实现步骤:

(1) 建立计算分析所需要的有限元参数化模型, 包括定义单元类型, 创建节点和单元。同时定义材料性质。在本例中, 艉轴较长, 且轴为空心, 可以运用 PIPE16 管单元建立艉轴有限元模型。为了便于后续优化设计, 有限元建模时, 必须参数化轴的尺寸。优化设计时, 目标函数为轴的自重, 设计变量为轴的内径, 而状态变量为轴的最大等效应力。

(2) 加载并设置各项参数。求解并进行结果的后处理, 可得到该轴的最大等效应力, 并参数化读取轴的最大等效应力和轴的体积。

(3) 进行优化计算, 设定优化次数, 本例共进行 15 次优化, 最后可以确定最佳优化后的结果为第 14 次, 将优化设计后的轴与原始轴进行比较, 如表 1 所示。

表 1 原始轴与优化设计后的轴的比较

比较项目	原始轴	优化设计后的轴
轴最大应力(N/cm^2)	9155	12033.2
轴直径(cm)	46.5	46.5
轴中孔直径(cm)	30	36.254
轴的空心度比	0.645	0.780
轴的重量(kN)	1.029 20	0.691 37
相对重量比		0.672

通过比较原始轴与有限元优化设计后的轴可以发现, 轴的内直径还可以扩大 6.254 cm, 轴的重量可以降低到为原轴重量的 67.2%, 同时还完全满足轴的强度要求, 这样很高的实用价值。

5 结论

本文给出了一种新的轴系强度校核的方法和实现步骤, 具有广泛的通用性。并对某型舰艇的艉轴进行了有限元优化设计计算。计算结果表明, 这种方法是切实可行的, 可以应用于各种船舶的轴系校核计算, 同时, 这种方法也将对原有轴系强度校核的方法产生积极的影响。

参考文献

- 1 曹成钰. 船舶动力装置原理与设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1993.
- 2 李景潮. 有限元法[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 1999.
- 3 谢贻权, 何福保. 弹性和塑性力学中的有限单元法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- 4 IMAG 公司. ANSYS 高级技术分析指南[S]. 1998.



船舶柴油机气缸盖裂纹分析与解决办法

于浩然¹, 才玉国², 杨亚东³

(1. 中海集团大连英才公司; 2. 大连海事大学 轮机学院, 辽宁 大连, 116026;

3. 青岛远洋船务工程有限公司, 山东 青岛)

摘要:通过分析柴油机气缸盖的结构特点来解决缸盖裂纹问题。针对气缸盖裂纹这种故障, 通过分析工作原理, 找出引起故障的原因。列出了解决办法, 尤其介绍了金属扣合工艺在气缸盖裂纹中的应用, 具有一定的实用意义。

关键词: 船舶柴油机; 气缸盖; 裂纹; 金属扣合法

0 引言

气缸盖是柴油机中结构最复杂, 机械负荷和热负荷最高的零件之一。气缸盖是燃烧室的一部分, 直接与燃气接触, 周期性地受到高温、高压的作用。由于各部分温度不均匀, 使其受到较大的热应力, 裂纹是其主要损伤形式之一。在柴油机运行过程中, 经常暴露出由于其刚度或强度不足而引起的裂纹问题。因此, 防止气缸盖裂纹的产生是保障柴油机安全运行的一个重要方面。

1 气缸盖裂纹的部位及现象

船用柴油机气缸盖的裂纹主要发生在气缸盖底面有应力集中的地方, 如孔与孔之间的圆角处, 冷却水腔的截面变化处等。产生裂纹的具体部位则随机型, 气缸盖的结构和材料不同而异。船用四冲程柴油机的在进排气阀孔和喷油器等孔之间以及阀座面上容易产生裂纹。当裂纹产生时, 多为径向裂纹; 当裂纹产生在外部时, 裂纹大多是从中央喷油器孔向进排气阀孔扩展, 这是由于小孔处的应力集中所致, 如图1所示。

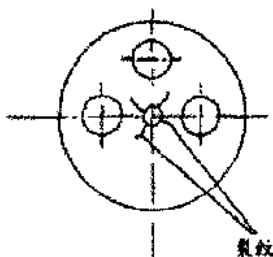


图1

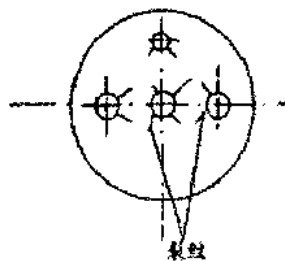


图2

苏尔寿 RD 和 RND 型柴油机气缸盖, 裂纹大多发生在中央小缸盖底面上的喷油器孔,

起动阀孔,安全阀孔四周的圆角处,多沿径向扩展如图2所示。

MAN型柴油机气缸盖由上,下两部分组成,下半部分用耐热合金铸铁制成,主要承受热负荷;上半部分采用灰口铸铁制成,主要承受机械负荷,由于下半部分缸盖冷却水道布置了环形冷却水道,故裂纹多发生在冷却水道的环形筋根部有应力集中处,沿周向扩展。如图3所示。

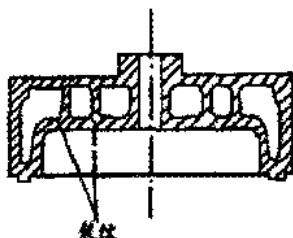


图3

B&W型柴油机气缸盖,是由耐热合金钢制成的整体式结构,容易在抗弯截面较小处及冷却水腔底部和阀孔壁上产生裂纹。

2 气缸盖裂纹的原因分析

气缸盖产生裂纹的根本原因是热应力和机械应力周期作用引起的热疲劳或机械疲劳。在柴油机运转过程中,气缸盖产生裂纹的直接原因是热疲劳,机械应力,热冲击力,以及轮机员的使用操作不当、维修保养不良等管理问题所致。而设计不合理,材料内部缺陷和加工工艺等问题,不是首先要检查的。因为,一般说来制造厂对这些问题均以妥善解决,其产品也是久经考验的。

2.1 热疲劳的影响

气缸盖底面裂纹的产生,从本质上讲是热疲劳,产生过大的附加拉伸应力造成的。柴油机工作时,气缸盖底部周部受热,温度可达 400°C ,在热膨胀变形受到限制的情况下会产生强烈的压缩应力。气缸盖材料在温度超过 350°C 时,抗蠕变性能下降。随着柴油机运行时间的延长,压缩应力逐渐下降,停车后,受热面的温度降低,达到室温状态前,压缩应力已完全消失。温度继续下降至室温时,表面即出现附加拉伸应力,裂纹是否产生,即取决于此附加拉伸应力的大小,局部地区温度超过允许值越多,运行时间越长,附加拉伸应力也越大。由热疲劳引起的裂纹通常是从高温触火面开始,逐渐发展形成疲劳破坏。

2.2 机械应力的影响

气缸盖水腔面的裂纹往往发生在进水口入口支承筋根部的过渡圆角处,裂纹沿圆周方向延伸,然后沿壁厚方向由水腔表面向燃烧室壁面扩展,这种裂纹产生的主要原因是由爆炸压力导致的高频交变机械应力和热负荷所引起的低频交变热应力的复合效应所产生的疲劳破坏。



2.3 热冲击的影响

据对 200GZC 柴油机上做异常起动实验证明(突然起动,突加负荷至 100%):正常起动时,缸盖上鼻梁处的最大瞬间温度变化率为 $3.9^{\circ}\text{C}/\text{s}$,而异常起动时则为 $11.7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。这说明异常起动时热冲击问题要严重得多,随着柴油机起停的突变将使冲击温度波不断地作用于缸盖底部,就有可能使部件材料逐渐失去韧性,变形脆化,最终使缸盖底部造成脆性破坏。

2.4 操作使用不当

轮机员操作使用不当将会造成零件过热,机械应力和热应力过大引起机械疲劳和热疲劳。柴油机冷车起动或起动后加速太快,使气缸盖等零件触火面与冷却面的温差过大,热应力增加;柴油机频繁起动、停车和长时间超负荷运转使机械应力和热应力增加;冷却和润滑不良或中断,停车后立即切断冷却水等都会使零件过热,热应力增加,均加速热疲劳裂纹的出现。

2.5 维护保养不良

轮机员未能按照说明书维修保养大纲的要求进行定期吊缸检修,不能及时发现问题和加强保养;柴油机长期运转,对冷却水不进行投药处理或处理不当致使冷却水腔积垢影响零件散热产生过大的热应力;安装气缸盖时不按说明书的要求上紧气缸盖或各螺栓受力不均,使气缸盖产生过大的附加应力等。所以轮机员在轮机管理工作中应按照规定操作、保养,不使零件因管理不正确产生过大的机械应力或热应力而损坏,这也是衡量轮机员业务素质和技术水平的标准。

3 气缸盖裂纹的检查

对于新制或修理的气缸盖,或怀疑有裂纹的气缸盖,除了用肉眼仔细观察外,还可使用各种无损探伤的方法,或进行水压试验的方法加以判断。船舶在航行期间可以采用下列方法判断气缸盖上的裂纹,以便及时采取措施。

(1) 观察法:明显的裂纹可用眼睛或放大镜观察发现。

(2) 荧光探伤法:荧光溶液可用 0.25 L 的变压器油和 0.5 L 的煤油,0.25 L 的汽油混合剂,再加入 0.25 g 金黄色的染料制成。对待鉴定部位进行仔细清洗,彻底祛除油污、锈斑;用毛刷涂敷荧光溶液于待检部位,待荧光渗透液流尽后;用 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$ 的清水彻底冲洗,再用紫外线灯烘烤 $2\sim 4\text{ min}$;然后在零件表面涂一层氧化镁显像粉,粉末覆盖 $10\sim 15\text{ min}$ 后清洗干净;用紫外线灯照射零件表面,则裂纹位置和形状可通过微细的伤痕液显示出来。

(3) 着色探伤法:探伤剂由渗透剂、清洗剂和显像剂三部分组成,分装在不同的罐内。具体使用方法:先用清洗剂将被检零件表面上的灰尘和油污洗净、晾干,然后向零件表面喷射渗透剂,保持 $10\sim 15\text{ min}$ 。再用清洗剂和清洗剂喷射被检零件表面,然后用清水洗掉多余的渗透物,并用干净布擦拭干零件表面。将显像剂喷洒在零件表面上,其厚度为 $0.05\sim 0.07\text{ mm}$, 10 min 后,零件表面的缺陷便会在白色的显像剂上显示出红色的缺陷图像。

(4) 磁力探伤法:使用便携式磁力探伤机,将缸盖或缸体在电磁场的作用下,由于其表面裂纹处会生磁力线泄漏或聚集,涂覆磁粉后,可以显示出裂纹部位。若没有磁力探伤机,可很简单地用两个永久磁铁作磁极,构成磁场,铁粉用聚乙烯瓶喷洒到零件上,检验操作非



常方便。此法不适合于铝合金缸盖和缸体。

另外,柴油机运行中,若冷却水压力表指针波动,当系统放气后仍未消失,可以表明气缸盖或气缸套上有裂纹产生。或者若冷却水温度升高,淡水消耗量增加,扫气箱有水流出现,膨胀水箱有大量气泡,冷却水中有油渣,则可进一步说明裂纹的存在。柴油机运转中可打开示功阀检查,若发现冒白烟或有燃烧不良的现象,可确定该缸冷却水发生泄漏,需打开观察孔进行进一步检查。

在起动前冲车时,若打开的示功阀中有水汽或水珠冲出,则该缸缸盖或缸套上可能有裂纹。若循环油柜油量增多,滑油中水明显增加,均说明冷却水发生泄漏,应进一步查明来源。吊缸检查时,若气缸盖底面有锈痕或活塞顶积水等,则可判断气缸盖有裂纹。

4 气缸盖裂纹的修理工艺

当气缸盖产生裂纹,应仔细检查裂纹的部位,范围和程度,若裂纹发生在关键部位,且程度较重时,则必须采用换新的办法。当裂纹的程度较轻时,为了延长气缸盖的使用寿命,节约备件费用,或者暂时没有可换备件时,则可采用修理的办法。气缸盖的修理可采用焊接法和金属扣合法等。

该法尤其适用于气缸盖触火面裂纹的修理,不仅连接强度高,而且密封性好。气缸盖裂纹如图4所示。

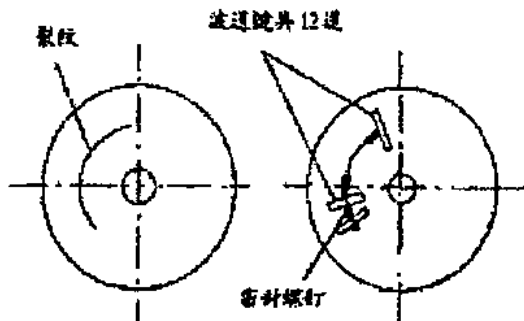


图4 气缸盖裂纹发生位置

气缸盖上的穿透性裂纹和关键部位的严重裂纹都必须采用换新办法处置。如果船上无备件则只能采用封缸办法,实行减缸航行的应急措施。

为了延长气缸盖的使用寿命,需对缸盖上的裂纹进行修理。修理前先进行无损探伤查明裂纹部位,尺寸和深度等,然后再依次根据缸盖材料,结构选用不同的修理办法。

4.1 金属扣合法

金属扣合法是利用扣合件的塑性变形或过盈配合产生的拉应力来实现缺损零件的扣合,以达到修复零件的裂纹和断裂。金属扣合法(波浪键-密封螺钉扣合工艺修复法)具有工艺简单、成本低,可就地随船加工修理、不破坏零件原有的精度和在常温下修理不会引起变形等特点。尤其适合于材质为铸铁,难以采用焊接方法修理的气缸盖。这种方法适用于不易焊修



和不允许有较大变形的钢件和铸铁件,对大型铸件的修复效果特别显著。可修理气缸盖底面和其他部位的裂纹,不仅保证零件的强度要求,还可满足密封性要求。修理前,应进一步查明裂纹的部位,长度,可采用无损探伤法进行探伤,查明裂纹的起始部位,在裂纹两端打上止裂孔后便可采用波浪键-密封螺钉法进行修理。

首先在垂直于裂纹方向上每隔一定距离加工出一定尺寸和形状的波形槽,将由特殊合金材料制成的波浪键嵌入其中,常温下铆击波浪键,使波浪键产生塑性变形而充满槽腔,借助波浪键与波形槽的凹洼互相扣合,使裂纹拉紧。再沿裂纹攻丝,旋入涂有无机黏结剂的密封螺钉,要求密封螺钉之间有 $0.5\sim 1.5\text{ mm}$ 的重叠,以保证密封性。然后用砂轮将突出气缸盖平面的螺钉修平即可。

4.1.1 波浪键扣合法

(1) 方法:垂直于裂纹方向加工出波形槽,嵌入形状相似的波浪键,在常温下铆击波浪键,利用波浪键与槽的啮合作用使零件联成一体。

(2) 适用范围:一般强度的零件,壁厚在 $8\sim 45\text{ mm}$ 。

(3) 波浪键的材料:一般选用镍铬不锈钢—— $1\text{Cr}18\text{Ni}9$ 、 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 等,冷变形后强度可提高 50% ;也可选用普通低碳钢 10 、 15 、 20 钢等,冷变形后强度可提高 $10\%\sim 20\%$ 。高温零件可选用含镍量高并与零件材料膨胀系数相近的高温镍基合金: $\text{Ni}36$ 、 $\text{Ni}42$ 等,此种材料膨胀系数与铸铁相近,或选用 10 、 15 、 20 钢等。

(4) 波浪键和槽的形状和尺寸

波浪键的尺寸有凸缘直径 d 、宽度 b 、间距 l 、厚度 t 。通常将 d 、 b 、 l 作成标准尺寸,根据零件壁厚和受力情况决定凸缘数、波浪键数和零件裂纹上的波形槽间距等。

波浪键的尺寸: b 是基本尺寸,一般取 $3\sim 6\text{ mm}$,其他尺寸依公式计算:

$$d = (1.4\sim 1.6)b$$

$$l = (2.0\sim 2.2)b$$

$$t = (1.0\sim 1.2)b$$

波浪键的凸缘数一般取 5 、 7 、 9 个。凸缘数越多,波形槽各凹处断面上的应力越小,并使最大应力远离裂纹。但凸缘数过多,使镶嵌波浪键工作量增加,难度加大。在位置允许的情况下,尽可能选用 7 或 9 个凸缘的波浪键。

波形槽的尺寸:波形槽的形状与尺寸与波浪键一致,只需使二者配合间隙保持 $0.1\sim 0.2\text{ mm}$,槽深 T 依零件壁厚 H 而定,一般 $T = (0.65\sim 0.75)H$,并依槽深放入一层或两层波浪键。零件裂纹上波形槽间距 W 可依经验法或计算公式确定。

承受载荷不大的普通铸铁零件,波形槽间距可为宽度 b 的 $5\sim 6$ 倍,即 $W = (5\sim 6)b$ 。

承受较大载荷的高强度铸铁件,可依波浪键和零件材料的强度计算波形槽的间距 W 。

(5) 波浪键扣合工艺

- ① 在零件上裂纹两端钻止裂孔;
- ② 设计并在零件裂纹处画出波形槽位置线;
- ③ 利用专用钻模板和工具加工出波形槽;
- ④ 将波浪键嵌入波形槽中(可预先在槽内涂抹胶粘剂),铆击波浪键使之充满槽腔。

4.1.2 波浪键—密封螺钉扣合法(或螺丝密封法)

(1) 方法: 在波浪键扣合的基础上, 再沿裂纹钻孔攻丝(有一定的重叠), 将涂有粘结剂的密封螺钉旋入。钻削第二个孔要切入已装好的密封螺钉, 使密封螺钉间有 0.5~1.5 mm 的重叠。全部裂纹上装满密封螺钉后用砂轮打磨平整。在裂纹上可装密封螺钉或密封圆柱销。前者用于承受低压的裂纹零件, 后者用于承受高压的裂纹零件。密封螺钉可选用 M3~M8; 圆柱销直径可选用 3~8 mm, 长度与波浪键厚度 t 相同。密封螺钉和圆柱销的材料与波浪键材料相同, 但不重要零件也可选用低碳钢或紫铜。

(2) 应用: 有强度要求和密封要求的场合。如缸体、机体裂纹的修理。

4.1.3 加强块扣合法

(1) 方法: 垂直于裂纹(或折断面)加工出矩形键槽, 嵌入加强块, 沿结合线加工圆孔, 嵌入短圆柱。

(2) 特点: 加强块使载荷分布到更多的面积和更远离裂纹的地方。加强块的形状各异, 有矩形、十字形、X 形等, 依机件和裂纹情况选用。

(3) 必要时可与波浪键对加强块与机件进行扣合。

(4) 应用: 加强扣合法主要用于承受高载荷、壁厚超过 45 mm 的机件。

4.1.4 热扣合法

热扣合法是利用金属材料的热胀冷缩的特性修复零件裂纹的方法。将一定形状的扣合键加热至一定温度后嵌入零件裂纹处的相应形状、尺寸的键槽中, 当扣合键冷却收缩后将零件裂纹拉紧而成一体。

扣合键的形状、尺寸依零件裂纹部位的形状和安装的可能性设计成不同的形式, 例如圆环形、工字形等。

金属扣合工艺修理零件的裂纹和断裂具有较好的效果和较高的经济效益, 目前已广泛应用于修船工作中。

4.2 打磨

裂纹微小时采用锉刀, 油石或风砂轮等工具打磨裂纹处予以消除, 经无损探伤或水压试验检验合格后继续使用。否则, 继续打磨, 检验。若裂纹较深达壁厚的 3% 以上时, 停止打磨改用其他方法修理或报废换新。

4.3 焊补

当裂纹较小时先铲去裂纹再焊补。为了获得良好的焊补质量, 应制定严格的焊补工艺和选用合适的焊补方法。

4.4 镶套修理

对于孔壁上的裂纹, 如气缸盖上的进, 排气阀孔和喷油器孔的裂纹采用镶套修理。此法效果好, 可使零件继续使用 2 年以上的时间。衬套端部与阀孔底部空间垫以紫铜垫片以增强密封性。

4.5 胶粘剂修理

对于气缸盖上的裂纹或铸造缺陷, 依其部位和工作条件选用有机或无机胶粘剂进行修理。



4.6 覆板修理

用于修理气缸盖外表面裂纹,修理时先在裂纹两端钻止裂孔,涂胶粘剂后(如环氧树脂)后将钢板覆盖其上,用螺钉将钢板固紧在气缸盖上。

以上修理气缸盖裂纹的方法亦可用于修理其他有裂纹的零件,应依零件的具体情况选用。修理后,对有密封性要求的零件进行液压试验以检验修理质量。例如对气缸盖进行 0.7 MPa 压力的水压试验。

5 结束语

随着修船技术的发展,船舶柴油机零部件的专业化修理已经越来越为人们所重视。在我国,柴油机的修理主要靠人的经验和能力去判断,这大大限制了维修效率的提高。柴油机在恶劣的工作环境下长时间运行,气缸盖承受着机械负荷,热应力的影响,烧蚀,腐蚀等的强烈作用。因此,讨论研究柴油机气缸盖裂纹的失效机理、检验方法,以及修理方法具有实际意义。

参考文献

- 1 孙培廷. 船舶柴油机[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2002.
- 2 满一新. 船机维修技术[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1999.
- 3 《船用柴油机设计手册》编辑委员会编. 船用柴油机设计手册(五)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- 4 王德生, 王宏生. 船舶柴油机气缸盖产生裂纹的分析与预防[J]. 航海工程, 2002(3): 33.
- 5 施洪新. 船舶柴油机气缸盖的裂纹及其检修工艺[J]. 航海技术, 2002(4): 66-67.

某船用柴油机机损修理及原因浅析

朱金标¹, 张兴彪²

(1. 中波轮船股份有限公司, 上海 200080;

2. 大连海事大学, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 在海上航行途中, 某船用中速柴油机 MAN8L52/55A, 出现曲拐箱油雾浓度高报警, 主轴承高温报警, 直至主机停车。打开曲轴箱道门检查, 发现油底壳内有大量铜铅金属碎片, 2、3、4、5、6、7、8道主轴承均有不同程度损坏。本文详细分析了主机产生故障的原因, 描述了故障修理方法, 提出了主机的管理改进建议, 为今后维护同类型主机, 保证良好运行以及船舶安全具有重要意义。

关键词: 船用柴油机; 主轴承; 机舱管理

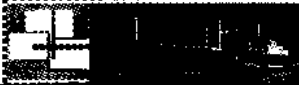
0 前言

某船主机型号 MAN8L52/55A, 为中速柴油机, 额定转速 430 r/min, 最大额定功率 8 000 马力, 并带轴带发电机和可变螺距桨(原最大服务螺距为 20)。该船几经易手, 更换了多个船东, 现服务螺距为 12, 机舱设备均由人工操作, 主机遥控和自动控制系统以及安全保护系统几乎全部瘫痪。2006 年 3 月 12 日该船主机发生故障, 致使船舶无法航行, 作者应船东要求, 于 3 月 31 日前往修理港口接班, 亲历主机修理过程, 历时近 2 个月, 于 5 月 23 日顺利的修复主机, 经系泊试验和磨合后, 5 月 28 日离开修理港前往新港装货。本文将对此次重大机损事故的原因和修复进行分析, 并提出切实可行的机舱管理建议。

1 故障现象及初步措施

1.1 机损经过

2006 年 3 月 12 日 20:40 对, 该船航行于北方海域, 当时处于浪高 5 米, 西北风 8 级气候条件, 主机油门 7 格位置变动。此时发现曲拐箱油雾浓度高报警, 复位后报警消不掉, 又发生第 6 道主轴承温度很高, 立即将螺距由 12 减小到 5, 随之主机由 430 r/min 减速至 400 r/min, 21:00 时发现第 5、7、8 道主轴承温度也很快升高。轮机长通知驾驶台要求立即停车, 同时起动备用发电机并电, 脱开轴带发电机, 调低主机滑油温度。但由于当时海况不允许, 船长想找个合适的地方抛锚后停车, 故要求减速运行, 直到 21:30 时再次降低主机转速至 380 r/min, 螺距减小到 0, 此时滑油压力已由正常的 0.39 MPa 跌至 0.30 MPa, 21:37 时主机减速至 230 r/min (此为最低稳定转速), 滑油压力将降至 0.27 MPa 并低压警报, 21:45 时主机停车(非自动停车, 后证实曲拐箱油雾浓度和滑油低压安全切断功能均失效), 立即合上盘车机



盘车 30 min, 待冷却后, 停主滑油泵并打开曲拐箱门检查, 发现油底壳内有大量铜铅金属碎片, 第 6 道主轴瓦已松动, 主机已不能继续运转, 只能由拖船拖至修理港口修理主机, 经过船厂安装人员进一步拆开检查, 发现 2、3、4、5、6、7、8 道主轴瓦均有不同程度损坏, 以 5、6、8 道损伤最为严重, 均出现“露铁”现象且该三处主轴颈表面烧坏并有许多不同深度热裂纹, 2、3、4、7 道主轴瓦严重露铜且该四处主轴颈表面拉毛, 只有 1、9 道主轴瓦尚可继续使用, 立即装复, 第 1、2、3、4、5、7、8 道连杆大端轴瓦也有不同程度的拉毛刮伤和烧伤等, 只有第 6 道连杆大端轴瓦尚可继续使用。

1.2 修理过程

(1) 主机曲轴的第 5、6、8 道主轴颈由船东安排某专业公司磨削, 根据各自损坏程度, 并综合主轴颈表面硬度和裂纹深度分别磨至 394、392、395 mm。原标准直径为 400 mm, 经咨询原柴油机厂确认允许的最大磨削量为 8 mm (2%标准直径)。所有技术参数 (经测定曲轴的跳动量, 表面硬度和中心线偏差) 基本符合要求 (除个别点表面硬度稍高以及 5、6、8 道主轴颈位置的曲轴中心线稍偏左 0.10 mm) 并且表面裂纹经磁粉探伤确认也全部消失。其余 2、3、4、7 道主轴颈仅作抛光处理。

(2) 根据主轴颈磨削量, 由船东安排专业厂家定做第 2 至 8 道的 7 付主轴瓦 (包括标准瓦和加厚瓦), 第 1 至 8 道的 8 付连杆大端轴瓦。综合考虑曲轴的加工精度, 轴瓦的加工精度以及新轴瓦的材料膨胀系数等因素, 要求专业厂家制造新瓦时适当放大轴瓦间隙至 0.6 mm, 但不超过它们的极限间隙 0.8 mm, 将详细的说明书要求和具体的加工尺寸传真给专业制造厂家作参考。

(3) 所有贯穿螺栓由安装人员按说明书要求全部用液压专用工具上紧到螺栓拉伸量 5.1 毫米。发现 1 只贯穿螺栓的螺母松动, 该位置刚好处于第 5 道主轴承的左侧。此螺母曾裂开并换新, 表明以前没有上紧到位。

(4) 所有底脚螺栓也由安装人员按说明书要求全部用专用扳手上紧到标记位置。发现有 2 只底脚螺栓断裂另 8 只底脚螺栓松动, 而机座没有发现明显的异常。据查前一段时间的轮机日志, 还发现以前发生过 13 只底脚螺栓断裂另 4 只底脚螺栓松动。

(5) 前后机架所有连接螺丝也由安装人员用专用扳手上紧到正常位置, 发现前后机架连接螺丝 1 只断裂。据查前一段时间轮机日志, 又发现前后机架 2 只连接螺丝断裂过。

(6) 拆去曲轴上的各个油孔闷头, 将油通道用高压空气吹通检查并重新闷妥, 以防油通道内留存部分金属小碎片和金属颗粒, 然后将各主轴径及曲柄销周围, 包括曲柄臂和机座等用柴油反复冲洗抹净, 再用空气彻底吹干净。这是由于主轴颈磨削后, 留下大量的铁末。

(7) 7 道主轴瓦和 8 道连杆大端轴瓦由安装人员按说明书要求分别上紧到螺栓伸长 0.8 mm 和液压拉伸到 100 MPa。除第 6 道连杆大端轴瓦未换新外, 其余均为新轴瓦。在此安装过程中, 因曲轴中心线在第 5、6、8 道主轴颈位置稍偏左 0.10 mm, 故对 5、6、8 道新主轴瓦 (定做的双合金瓦) 在相应位置进行少量的拂刮, 以保证合适的间隙。

(8) 主轴承全部安装完毕后由安装人员测量主机曲轴拐档差和各主轴承间隙, 均符合说明书要求。

(9) 缸套和活塞连杆由安装人员清洁检查测量正常, 根据船方要求, 连杆内部油孔检查

清通吹净后,再全部装复,这一点对主机试车和磨合成功特别重要。在此过程中,确实发现2只连杆的内部油孔全部被小金属碎片堵死,将之清除吹净并检查正常后,将各连杆脚上4只固定螺丝按说明书要求液压拉伸上紧到70 MPa。

(10) 活塞连杆全部安装完毕,由安装人员再次测量主机曲轴拐档差,并测量各主轴承和各连杆大端轴承间隙,均符合说明书要求。

(11) 缸盖与缸套接触平面由安装人员用专业工具研磨,清洁检查所有部件后,将缸盖及其附件装复。缸盖螺丝用专用电加热工具加热30 min后上紧,进排气阀间隙重新调整检查至说明书规定值。

(12) 将主机油底壳彻底清洁干净,为防止滑油进机前的管路中留存大量的金属碎片和粉末,根据船方要求,在每个主轴承的滑油进口管法兰处先加装细滤网。修理期间已修理并恢复了主机滑油系统中的手动滤器和细滤器,等串油48 h后,再拆去,后经检查证实系统管路中的确存在大量的金属碎片和粉末,这一点也对主机试车和磨合成功特别重要。

(13) 至此主机全部装妥,确认上述各项技术参数和安装尺寸(各轴承间隙)都符合说明书要求,具备了试车条件。

2 试车和磨合

(1) 试车前48 h开始串油,开启主滑油泵,对机油泵前进口滤器和机油手动/自动滤器(因油脏自动滤器暂时不能用),机油细滤器反复进行检查和清洗。同时盘车检查2 h以确认各主轴承,连杆大端轴承,活塞销,喷嘴,摇臂,透平的润滑情况和流量大小。

(2) 试车前主机机油分油机对循环柜提前投入运行1周,加强滑油分离,并保持正常工作。

(3) 试车前分别开启为主机服务的其他各泵(包括缸套水泵、燃油泵、油头水泵、减速齿轮油泵和变距桨油泵等),同时进行暖缸至60℃,检查各系统压力并消除漏油漏水地方。确认各油水位以及温度压力均正常。

(4) 试车前控制空气和启动空气打开并处于正常工作状态。

(5) 试车前主机可用的报警系统和重要的安全保护系统投入使用。

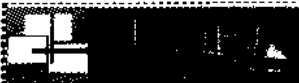
(6) 试车时,脱开盘车机,打开示功阀,将螺距设为0。

(7) 将机旁燃油限制杆放在0刻度,按下机旁启动按钮,反复冲车多次,后关闭功阀。

(8) 将集控室内气动调压阀调至0 MPa,此阀仅用于加速和减速,不能启动停车。后将机旁燃油限制杆放在5刻度,按下机旁启动按钮,主机启动成功,此时主机运转在最低稳定转速约230 r/min。检查主机各缸发火情况及各运行参数,特别监视滑油压力温度和主轴承温度显示值以及油雾浓度检查情况,发现均正常,并注意到主机运转过程中无异响。在运转5、15、30和60 min后,分别停车打开曲拐箱道门,外观检查各主轴承、连杆大端轴承并触摸其温度,发现均正常。

(9) 重新启动主机,机旁燃油限制杆放7刻度位置,然后根据说明书要求在2 h内逐步增加集控室内的气动调压阀设定值,每次增加20转,由230 r/min加速至430 r/min,在此过程,发现滑油压力温度和主轴承温度显示值以及油雾浓度检测情况等一切正常,在连续运转





2 h后,再停车打开曲拐箱道门,再次外观检查各主轴承、连杆大端轴承并触摸其温度,也发现正常。

(10) 根据说明书要求主机必须进行带负荷磨合运行至少 18 h,且逐步增加至全负荷。由于码头条件等多因素限制,同时为了配合船检进行主机检验,在码头不带负荷且额定转速下先磨合运转了 24 h。再停车打开门道,外观检查各主轴承、连杆大端轴承并触摸其温度,再测量主机曲轴拐档差,发现一切正常。

(11) 上述磨合正常后,主机带负荷磨合只能安排在去新港途中进行,此过程按要求逐步增加负荷(即桨螺距分别为 5、8、10、12 下各运转磨合 6 h 左右),这样又磨合运行了 24 h。至此主机试车和磨合工作结束。

3 机损原因分析

(1) 主机滑油系统只有油泵前有粗滤器,自动滤器废弃不用,与之并联的手动滤器无滤芯,最后一道细滤器形同虚设,仅用一般的细滤网包扎代替,滤芯早已抽掉。造成金属粉末碎片和油泥垃圾等直接进入各道轴承内,造成油路通道脏堵,滑油的流量变小,破坏了各道轴承和轴颈之间油膜的良好建立,始终让它们处于临界的边缘润滑。

(2) 主机滑油系统的油底壳太脏,滑油分油机长期有故障,很少使用或无法使用。这对中速柴油机安全运行来说,是致命的。尤其在恶劣天气下,滑油系统内沉积的大量杂质油泥泛起,且无滤器阻挡,直接进入各道轴承内,促成各轴承的快速损坏。

(3) 主机油门长期处于无限制位置。经查阅有关的操作说明书,要求机旁燃油限制杆应放在希望的位置,而以前一直误以为应放在最大位置,这在正常的气候条件和负荷下,主机油门不会太大,但在大风浪天气和变螺距控制失效使螺距大大超过设定值 12 的情况下,(注:该船自 2005 年 7 月接船以来一直在螺距 12 左右下运营)会造成主机油门失控,导致主机高负荷甚至超负荷运行,这易引起主机剧烈振动,进而造成贯穿螺栓上螺母裂开和地脚螺栓断裂或松动,以及前后机架连接螺栓断裂,同时破坏了主机各道轴承和轴颈之间正常的润滑油膜。并在滑油不洁的情况下,更容易发生曲轴与轴瓦烧损,引发重大机损事故。

4 结论及建议

(1) 轮机主管人员对主机滑油系统各滤器的重要性要有足够的认识。为了做到心中有数,要求主管人员经常亲自清洗各个滤器,检查其脏污程度以及有无金属碎片和粉末,准确地掌握主机的工况,并及时发现滤网和滤芯有无破损或缺少,如有问题应立即更换备件或安排修理。

(2) 为了保证主机滑油的清洁度,要求主机滑油系统的净油机进行不间断运行,并注重滑油分油机实际分离效果,保持合适的流量和温度。同时应定期将滑油送岸化验。这些对中速柴油机尤为重要。

(3) 轮机主管人员对主机操作说明书等资料要仔细研究。对于一些老旧船且从外国人手里接手的船,各类说明书,图纸,设备铭牌等资料残缺,部分说明书语言非英文,以及船员的频繁变动,交接班不详尽等情况,要求主管人员对主机的各个环节要现场摸清,做到心中有数,准确操作。特别是大风浪天气和螺距失控下,应及时脱开轴带发电机,并通过油门限

制杆来限制柴油机油门,防止主机超负荷。

(5) 主管人员对主机正常工况,以及超负荷等引起的异常振动要引起足够的重视。从本船现有的主机参数记录来看,主机各缸排气温度均匀,但各缸爆压相差太大,以及时常出现的主机超负荷,严重影响了主机运转的平稳性,引发了主机的异常振动,从而造成1只贯穿螺栓螺母裂开和15只底脚螺栓断裂11只底脚螺栓松动以及前后机架3只连接螺丝断裂。由此对轴承工况的严重危害是显而易见的。

(6) 轮机主管人员要对主机的安全保护系统的功能进行试验,并确保它们工作正常。

(7) 轮机主管人员对主机出现紧急情况时的应急处置措施要熟练果断,并与驾驶台沟通配合。如发现主机自动安全停车失效情况下,及时通知驾驶台,并早一点使主机手动停车,或者降低主机转速,造成的故障可能没有那么严重,损失也许要小得多。

总之,这次罕见的主机机损留给我们的教训是深刻的,也是多方面的,值得我们各级船舶管理人员引以为鉴。

石油管道环焊缝疲劳裂纹扩展特性研究

沈 烈, 于功志, 张文孝

(大连水产学院 机械工程学院, 辽宁 大连, 116028)

摘 要: 试验研究了两种典型规格($\Phi 711$ 和 $\Phi 219$) X70 钢管道环焊缝的疲劳裂纹扩展特性。结果表明: 两种管道环焊缝的焊缝区存在的粗大块状珠光体引起疲劳过程的组织应力集中, 加速疲劳裂纹扩展过程; 管道焊接接头外侧残余应力都为拉应力, 且随着管道直径的增大, 残余拉应力值也增大, 在较高应力比范围内对疲劳性能没有明显影响; 本研究中一定范围内硬度的提高有利于抵抗疲劳裂纹扩展。

关键词: 焊接残余应力; 疲劳裂纹扩展速率; X70 钢

0 前 言

众所周知, 疲劳性能是管道的一种重要力学性能。管道在服役过程中, 管内输送压力的波动及管道外部的变动载荷, 不可避免地会引起疲劳破坏。而在管道的焊接加工过程中, 由于焊接热循环的作用, 引起接头局部不均匀的热塑性变形和相变, 使焊接接头组织结构劣化并产生残余应力, 导致结构疲劳性能降低。因此, 管道焊接区的质量及其对疲劳裂纹扩展的影响引起越来越大的关注。

通过对“西气东输”管道用钢——X70 钢的环焊缝的金相组织、硬度和残余应力测试, 研究了环焊缝的组织, 硬度和残余应力的分布规律。结合疲劳裂纹扩展试验, 研究了焊接接头各部位的组织与疲劳特性的关系。本研究为研究油气管道疲劳性能和安全使用提供了实验依据, 为“西气东输”工程中管道焊接安全性评估提供了技术支撑。

1 试样及试验方法

1.1 试样制备及残余应力测试

实验用管道为现场施工普遍大量使用的螺旋焊缝钢管, 并使用 $\Phi 711$ 和 $\Phi 219$ 两种规格管道进行对比试验研究。管道材料为 X70 钢, 常规力学性能 $R_{p0.2}=535$ MPa, $R_m=610$ MPa, $A\%=10.5$, 材料成分见表 1。焊接采用自动焊技术, 焊接参数见表 2。

试样焊接后使用角磨机对测点进行表面平整。随后人工用砂纸打磨, 然后进行电解抛光。电解抛光液为 NaCl 饱和溶液, 电解抛光电压为 10 V, 电流为 3~4 A, 时间为 4 min, 采用不锈钢电极。电解抛光完毕后即测量焊缝区、热影响区和基体附近轴向残余应力。试验仪器为日本理光电机公司 PSF/-2MX 射线应力仪。

表1 X70 钢成分

C	Si	Mn	S	P
0.05	0.23	1.58	0.002	0.015

表2 管道焊接参数

管道规格	焊丝材料	焊接电流/A	焊接电压/V	送丝速度
Φ711	E6010 (打底) Φ4.0 mm	80~90	24~35	
	81N1 (填充) Φ2.0 mm	220~240	18.5~19.5	80~90
Φ219	氩弧焊 (打底)	80~90		
	J507 (填充)	80~100		

1.2 疲劳裂纹扩展速率试验方法

疲劳裂纹扩展速率按 GB/T6398-2000《金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法》由型号 MTS810 高频疲劳试验机在室温大气中进行测定。两种型号管道各取 3 块 3 点弯曲标准试样, 在焊缝中心处预制裂纹, 试样尺寸如图 1 所示。试验载荷 $P_{\max}=3.5 \text{ kN}$; 试验频率 $f=15 \text{ Hz}$; 应力比 $R=0.5$ 。

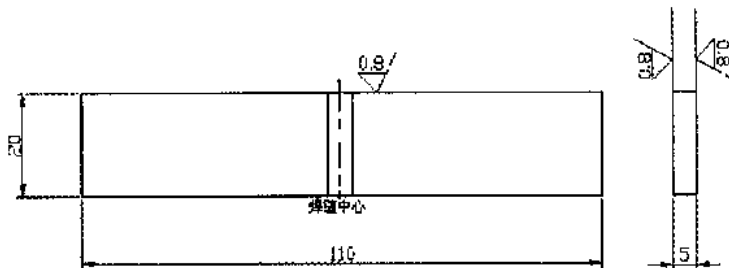


图1 三点弯曲试样尺寸

2 试验结果及分析

从图 2 中可以看出 Φ219 和 Φ711 管道的残余应力分布规律相似: 焊缝、热影响区和附近基体都存在残余拉应力, 热影响区的残余拉应力最大。焊缝中心由于焊接时金属熔化发生再结晶, 降低了残余应力集中情况, 所以两种管道的应力状态基本一致。但在热影响区, Φ711 管道的残余应力大于 Φ219 管道。原因是 Φ711 管道采用的焊接电流较大, 焊接电流的增大使焊接线能量增加, 随着焊接线能量的增加金属的压缩塑性变形区将变宽, 进而导致焊接残余应力增大。

另外, 螺旋焊缝管道的口径越大, 其在加工中的应力集中和焊接过程中内凹导致的外表面拉应力也就越大。两种口径管道材料相同, 所以基体处的残余应力状态相差不大。

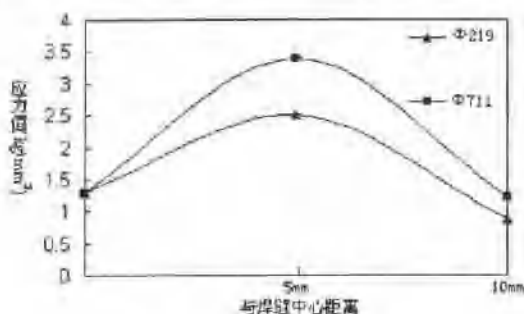
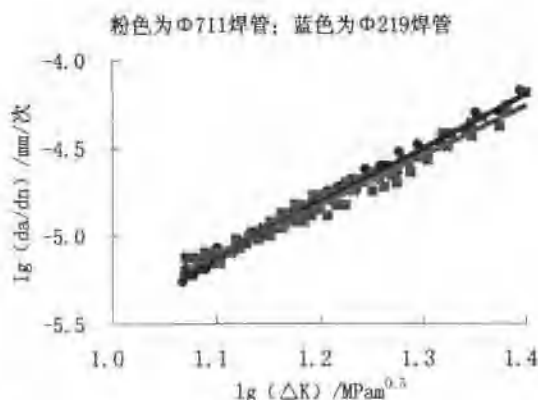


图2 残余应力测试结果



Φ711 焊管： $c=6.315 \times 10^{-9}$ ， $m=2.815$ ，相关系数 0.987；Φ219 焊管： $c=3.214 \times 10^{-9}$ ， $m=3.071$ ，相关系数 0.995

图3 疲劳裂纹扩展速率结果

从图3可以看出两种焊管试样的 da/dn 特性曲线存在差别：在疲劳裂纹扩展的开始阶段两者扩展速度基本相同；在中期以后 Φ711 焊管的扩展速率要低于 Φ219 管道，抗疲劳性能较好。

根据断裂力学可知，影响 da/dn 的材料因素主要有基体组织、脆性相、硬度及残余应力等。残余应力对疲劳裂纹扩展速率的影响主要是残余应力使焊接接头应力分布不均，改变了使用应力的分布状态，导致结构疲劳性能降低。在循环应力的作用下，焊缝将发生应变松弛，残余应力对疲劳裂纹萌生和扩展的影响将减小甚至可忽略。从图2看出，试验所用两种管道整体残余应力分布规律相似，且两者焊缝区残余应力大小相同。此外，图3中两种管道初始疲劳裂纹扩展率相等，可见残余应力对两种管道焊缝区疲劳裂纹扩展速率的影响可忽略。

下面来分析焊接接头处组织结构对疲劳裂纹扩展速率的影响。从图4和图5对比发现，Φ219 管道焊缝区铁素体上明显存在粗大珠光体支晶组织，材料的均匀性比 Φ711 管道的焊接组织差很多。众所周知，具有强度、塑性和韧性合理配合的基体组织是减小 da/dn 的必要条件。可以看出两种管道焊接接头的组织结构的差异是影响疲劳裂纹扩展规律的重要因素之一。

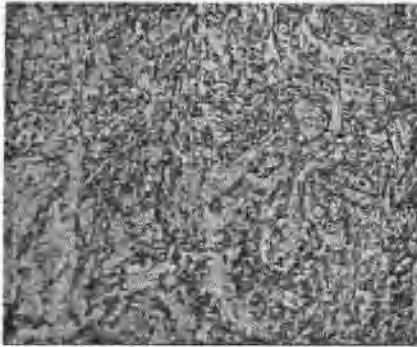


图4 Φ711管道焊缝区显微组织

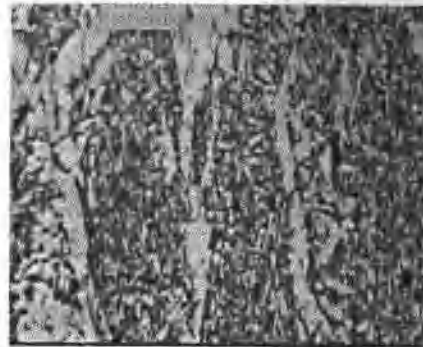
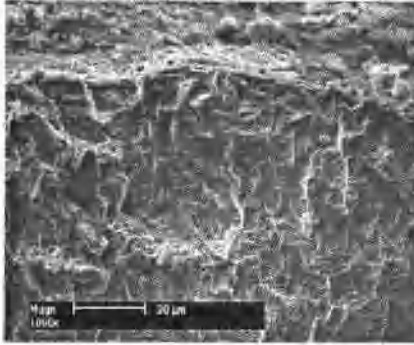
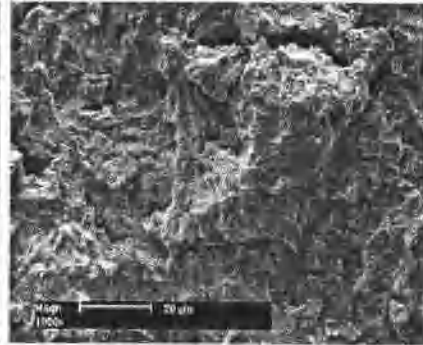


图5 Φ219管道焊缝区显微组织

图6、图7为Φ711和Φ219管道疲劳裂纹扩展断口处的SEM图片。(a)、(b)分别为裂纹扩展始端、末端位置的SEM图片。对比两组图可发现Φ219管道疲劳裂纹扩展的断口表现出较多的塑性断裂；而图7(b)可看出的断裂多为准解理断裂。

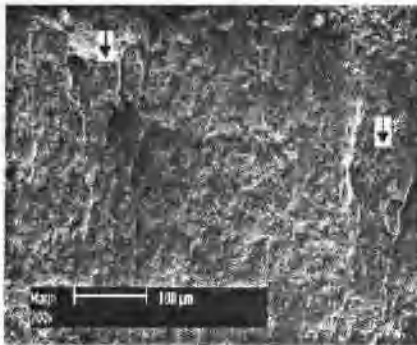


(a)

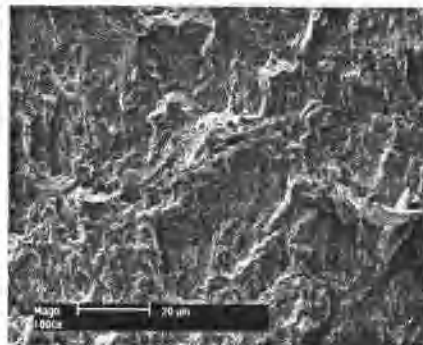


(b)

图6 Φ711管道疲劳裂纹扩展试样SEM照片



(a)



(b)

图7 Φ219管道疲劳裂纹扩展试样SEM照片

为了更深入各项参数对疲劳裂纹扩展规律的影响,对两种管道疲劳裂纹扩展三点弯曲试样还进行了布氏硬度测试。结果如表3所示。从试验结果可以看出Φ711管道的硬度比Φ219管道的要高。硬度作为表征焊接性的重要输出参数之一,微观上直接体现了相变行为,即显微组织的形成和发展,同时宏观上又表征了组织的强度和塑性。在本试验中,具有较高硬度

的 $\Phi 711$ 管道焊接接头具有较高的抗疲劳裂纹扩展能力。

表3 $\Phi 711$ 和 $\Phi 219$ 管道布氏硬度值

$\Phi 711$ 管道	5/750HRW	2.10	2.10	2.09	2.30	2.10	2.10
		206	207	208	170	207	207
$\Phi 219$ 管道	5/750HRW	2.19	2.17	2.17	2.18	2.14	2.15
		198	193	193	191	198	196

3 结 论

(1) $\Phi 711$ 焊管和 $\Phi 219$ 焊管焊缝和基体附近轴向残余应力大小相近。由于焊接方式和管道直径的差别影响, $\Phi 711$ 管道热影响区残余应力值大于 $\Phi 219$ 管道。本研究中残余应力分布对油气管道疲劳裂纹扩展规律影响不大。

(2) 管道焊缝和热影响区组织结构对疲劳裂纹扩展率有很大影响。 $\Phi 219$ 管道由于焊缝和热影响区带枝晶状珠光体的存在, 降低组织均匀性, 导致抗疲劳裂纹扩展性能减弱。

(3) 硬度作为反映材料组织形成和发展, 强度与塑性的重要特性之一, 在一定范围内高硬度有利于提高管道抗疲劳性能。

参考文献

- 1 D. 达拉依. 焊接冶金和焊接残余应力[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- 2 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- 3 刘顺洪, 李志远, 谢明立等. 螺旋管残余应力的分布及影响因素[J]. 焊接学报, 1995,23(1): 25-29.
- 4 游敏, 郑小玲, 余海洲. 关于焊接残余应力形成机制的探讨[J]. 焊接学报, 2003,24(2): 51-58.
- 5 Suresh. S. Fatigue of Material [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- 6 凌超, 李风, 郑修麟. 疲劳裂纹扩展速率 da/dn 与材料性能常数间关系的研究[J]. 机械强度, 1997,19(1): 74-76.



故障诊断

异步电动机电磁类故障监测诊断方法

赖延辉¹, 李槐树¹, 张晓锋¹, 郭尚芬²

(1. 海军工程大学 电气与信息工程学院, 湖北 武汉, 430033;

2. 海军工程大学 训练部, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 概要介绍了电机监测诊断原理、引发电机故障的原因、异步电动机电磁类故障类型, 对异步电动机电磁类故障几种较为实用有效的现代监测诊断方法进行了介绍和评述, 并就异步电动机监测诊断提出了自己的见解。

关键词: 异步电动机; 监测诊断; 电磁类故障

交流异步电动机具有结构简单、造价低廉、坚固耐用等特点, 因而成为各种机械和工业设备的最通用的驱动装置, 随着交流变频调速技术的进步, 其使用范围和场所更加广泛, 如何对其进行有效地监测诊断, 一直是人们研究的热点问题。电机以磁场为媒介进行机械能和电能相互转换, 集机械部件和电磁构件于一体, 因此电机故障可分为两大类: 机械类故障和电磁类故障。本文仅对异步电动机电磁类故障监测诊断方法进行介绍和评述。

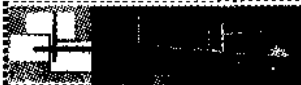
1 电机监测诊断原理及电磁类故障类型

1.1 电机监测诊断原理

电机在运行过程中会受到各种因素的作用而使其性能逐渐发生劣化, 最终导致故障发生。在电机出现故障之前, 总会呈现机械的、电磁的、声学的及绝缘系统的劣化征兆。若能及时地检测到故障特征信息, 采取相应维护维修对策, 就可避免恶性事故的发生和不必要的停机造成的重大经济损失。电机监测诊断的主要任务是利用各种检测手段和方法, 及早发现和获取电机的故障特征信息, 通过分析处理来判定故障的种类、性质、发生部位、严重程度, 为电机的使用和维修决策提供科学依据。

1.2 引发电机故障的原因

除电机固有质量问题外, 电网电压、负载性质、安装环境、维护保养等因素均与电机故障的发生密切相关, 其中恶劣的工作环境和超技术范围运行是导致故障过早发生的主要原因。电机的绝缘介质大多为有机材料, 潮湿、过热、振动冲击等会加速其老化和损伤, 引起匝间短路、相间短路、绕组接地等绝缘故障; 频繁起动、负载波动, 容易使电机端部绕组、转子和轴承出现故障; 电源电压不平衡、过载、堵转等致使电机过热、振动加剧, 长期运转和外力冲击会造成部件疲劳断裂, 也会引发电机故障。



1.3 电磁类故障基本类型

依据异步电动机的结构原理,可将电磁类故障划分为三大类:定子绕组故障、转子绕组故障和气隙偏心故障。

定子绕组故障可分为断相、相间短路、匝间短路、绕组接地、绕组连接松动等类型。

转子绕组故障可分为断条、细条、缩孔、端环开裂、烧损等类型。

气隙偏心故障可分为静态气隙偏心和动态气隙偏心。

2 异步电动机电磁类故障的监测诊断方法

电机故障的诊断方法,应根据故障时运行电机所表现出的特征参量的变化,或者说故障征兆来确定。电机发生故障前,总会呈现绝缘电阻下降、温升加大、振动噪声加剧、驱动力矩减小等异常现象,或引起某些特征参量变化,为捕捉这些异常征兆,就会有相应的监测诊断方法。如绝缘监测诊断法,利用绝缘监测仪表对电机绝缘进行监测,这也是电气设备(包括电机)日常维护保养的一项重要内容;温度监测诊断法,利用温度仪表、温度传感器或红外测温仪对电机部件的温升进行监测诊断;功率监测诊断法,利用电气仪表监测电机的电流、功率等参数。上述几种常规监测诊断法只能监测较为严重的故障现象,不能获取诸如绕组轻微匝间短路、转子导条初期开裂等早期故障征兆,对进一步判定故障类型和发生部位等也往往无能为力。目前,异步电动机电磁类故障较为实用有效的现代监测诊断法主要有:电流频谱分析法、对称分量法、派克相量法、交流变频参数检测法等。

2.1 电流频谱分析法

电流频谱分析法是通过将电机定子电流进行频谱分析,查找与故障征兆相对应的某些频率分量,以此来诊断电机故障的类型和严重程度。对于定子绕组短路、转子断条、三相电压不平衡运行、单相运行、气隙偏心等故障是一种比较有效的检测手段。电动机发生故障时,在其电流频谱上会出现相应的故障征兆。

当电机发生定子绕组故障时,绕组内部不对称,此时,气隙磁场中有较强的空间谐波,定子电流中有较强的时间谐波,其表现是,3次谐波和5次谐波明显增大,三相电流不对称,故障相电流恒为最大,三相电流之间的相位差偏离 120° 。

当电机发生断条等转子故障时,在定子绕组中将产生频率为 $(1 \pm 2ks)f$ 的电流分量($k=1, 2, 3, \dots$)。在定子电流频谱图上,除了一个基波分量 f 外,还有两个与电网频率相差2倍转差率频率($\pm 2sf$)的边频分量 $(1 \pm 2s)f$ 。通过检测分析边频分量来判断有无转子断条及故障程度。

电机发生气隙偏心故障后,改变了电机定转子之间的正常的气隙磁通波形,气隙磁通波形随空间和时间而变化,这些谐波磁通相对定子移动,它们在静止的定子绕组中感应出相应的电流谐波,即定子电流中出现新的谐波分量

$$\begin{aligned}f_s &= [1 \pm (1-s)/p]f = f \pm f \\f_s &= [(R \pm 1)(1-s)/p \pm 1]f = (R \pm 1)f_r \pm f \\f_s &= [R(1-s)/p \pm 1]f = Rf_r \pm f\end{aligned}\quad (1)$$



其中: f_r 为转子旋转频率; $Rf \pm f$ 为主齿谐波; f 为基波; s 为滑差; p 为极对数。

电机在正常运转的情况下, 含有基波和主齿谐波。当电机发生静偏心时, 主齿谐波分量将会增大; 当电机处于动偏心状态时, 定子电流被旋转频率所调制, 呈现在电流信号的谱图中, 是在基波和主齿谐波的两侧分别出现以旋转频率为大小的边频带。

电流频谱法信号采集容易, 分析诊断前只需要作降噪处理, 简单实用, 广泛用于电机故障诊断, 特别是转子断条故障诊断。如何从大电流环境中提取故障特征信息, 一直是该方法的“瓶颈”问题。由于转差率 s 很小 (10^{-3} 数量级), 两者频率之差在 10^{-1} 数量级上, 若不消除电网频率分量, 边频分量的谱线有可能被基频分量所淹没, 用传统的傅立叶频谱分析效果欠佳。为此, 人们探索使用小波变换、希尔伯特变换的时谱分析、复数滤波器等现代信号处理技术, 提高了该方法的故障检出率, 也有利用电机瞬态过程, 如对电机起动电流、对断电后定子绕组所感应的反电动势进行现代频谱分析等新方法, 来消除电源负载影响、提高故障检测有效性。总之, 电流频谱法简单实用, 可用于电动机在线监测诊断, 有较高的故障检出率, 但对故障程度准确判定尚有不足。

2.2 对称分量法

电动机故障也可划分为对称故障与不对称故障两大类。对称故障有对称过载、堵转、相间短路等, 这类故障对电动机的损害主要是由于电流增大引起的热效应。电动机的不对称故障, 如断相、不平稳运行、匝间短路、绕组接地等, 除了严重的匝间短路会造成故障相电流明显增大外, 不对称故障的大多数一般不会出现明显的过电流, 但不对称故障产生的负序电流也会给电动机造成很大的危害。

根据对称分量法, 对于任意一组不对称的电流 (或电压), 都可以按一定的方法把它分解成正序、负序和零序三组三相对称的电流 (或电压), 后者称为前者的对称分量。

$$\begin{cases} \dot{I}_{A+} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a\dot{I}_B + a^2\dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A-} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2\dot{I}_B + a\dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \end{cases} \quad (2)$$

其中: a 是复数运算符号, $a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^3 = 1$ 。

当电动机正常运行时, 三相基本对称, 负序和零序电流分量基本为零, 而一旦发生不对称故障, 负序、零序电流分量则会大幅值出现, 以此鉴别不对称故障将有很高的灵敏度和可靠性。

因此, 可通过检测电动机正序电流反应对称故障 (过载、堵转、相间短路), 检测负序电流反应不对称故障 (断相、不平稳运行、匝间短路), 检测零序电流反应接地故障 (绕组接地)。

对称分量法在电动机严重故障监测诊断和综合保护方面业已得到广泛应用, 但受电源电压、负荷等因素的干扰, 对检测匝间短路等轻微故障较为困难, 为此人们探索用负序功率、定子负序视在阻抗滤波值等新方法并结合神经网络等智能手段, 来提高故障的检出率。对称分量法实施较为简单, 可用于大中型电动机故障的在线监测诊断和综合保护。



2.3 派克相量法

派克相量法是通过三相定子电流(i_a, i_b, i_c)进行正交派克变换,得到二维派克电流分量(i_d, i_q)。即

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

对于理想的异步电动机,有

$$\begin{cases} i_d = \frac{\sqrt{6}}{2} I_m \sin(\omega t) \\ i_q = \frac{\sqrt{6}}{2} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (4)$$

其中: I_m 为定子相电流的最大值, ω 为供电电源角频率。

显然,定子派克电流分量(i_d, i_q)在相量图上表现出来就是一个中心在原点的圆。实际上,由于制造、安装、材料等方面原因,派克电流分量的矢量轨迹只能接近圆。当感应电机出现转子等各种故障时,电流信号的相应关系发生变化,从而导致矢量发生变化,会偏离圆轨迹,变成椭圆。椭圆长短轴的长度和偏转方向的变化,与电机故障类型和程度有对应关系。因此派克相量法可用于电动机缺相、转子断条、转子偏心、定子绕组匝间短路等多种故障的识别和诊断。

采用派克相量法,避免了复杂的谱分析技术,通过相量图的对比及分析,使电机故障一目了然。该方法仍然存在如椭圆率的度量问题、椭圆率与故障严重程度具体对应关系的确定问题等技术问题亟待解决。通过小波变换等现代信号处理技术有效提取电机故障特征信号,并与神经网络、模糊逻辑等人工智能技术的结合,派克相量法可望为电动机监测诊断提供一种实用有效的新方法。

2.4 交流变频参数检测法

电机绕组的电阻值很小(有的仅为十几毫欧),初期微小的匝间短路,阻值的变化很小,用电桥法难以准确测出,且受到温度、锈蚀、老化等因素的影响。此外,最值得注意的是阻值的变化与绕组品质的劣化程度(L 的失效程度)并非成比例。对绕组电感 L 的测试会受到转子互感作用的影响,很难判定故障发生在定子还是转子。以往的高压耐压测试只能解决对地绝缘问题,对匝间短路无能为力。

交流变频参数检测法是20世纪末美国BJM公司推出的一种新的电机电磁类故障监测诊断方法,在电机停机断电的情况下,通过施加低幅交流测试信号来测取电机绕组的电阻 R 、电感 L 、阻抗 Z 、相角 ϕ 、倍频测试值 I/F 和对地绝缘电阻等参数,能快速准确地判断定子、转子故障及程度,诊断初期微小的匝间短路。

交流变频参数检测法的检测诊断原理为:

(1)采用相对较高的交流测试信号,频率是工频的几倍至十几倍,绕组的感抗增加了数倍或数十倍,而阻值不变,突出了电感量 L 在阻抗中所占的比重,使得任何 L 的微小变化都能显著地表现出来。

(2) 采用三相对比方法,若各参数三相平衡,表明电机正常,若不平衡,可根据参数与故障类型的对应关系以及转子试验,进一步判别转子故障还是定子故障,判定故障类型和严重程度。

(3) 引入倍频测试值 I/F ,即电流在测试电源频率加倍后的相对变化量,其定义如下:

$$\text{令 } I_1 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad I_2 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\omega L)^2}}, \quad \text{则倍频测试值 } I/F = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{I_2 - I_1}{I_1} \text{ 对于纯电感电路,}$$

$I/F = -50\%$,对于纯电阻电路, $I/F = -0\%$ 。无匝间短路发生的绕组类似于“纯电感电路”,短路发展到最严重程度,电感 L 几乎完全失效,绕组类似于“纯电阻电路”。匝间短路的发展趋势是使绕组从“纯电感电路”向“纯电阻电路”的迈进, I/F 值直接反应了电感的失效程度,因而可以作为匝间短路程度的判定依据。

交流变频参数检测法使用便携式检测仪,操作简单、检测快捷,对诊断人员要求低,能诊断各类电磁类故障,特别是利用倍频测试值 I/F 诊断绕组微小的匝间短路,可用于对大量电动机进行长期跟踪普测和故障诊断,也可用于电机的质量检验,是一种值得大力推广的实用监测诊断方法。该方法在停机断电下实施,不受电源、负载等因素干扰,但它仅是一种非常实用的简易监测手段,对转子断条程度等故障进一步诊断分析尚需其他精密检测仪器配合,也不适用于在线监测。

3 结束语

对异步电动机实施监测诊断,可避免恶性事故的发生和不必要的停机造成的重大经济损失,实施监测诊断应把握好以下要点:

(1) 应根据被监测电机的情况选择合适的手段和方式。对于大型电动机和重要电机,可加装监测装置进行在线实时监测诊断,对于中小型电动机,可采用监测诊断仪器进行离线跟踪监测。

(2) 应采用简易监测和精密诊断相结合的策略。用简易仪器对所有电动机进行普测,用精密仪器对重点和有故障苗头的电动机实施精密监测诊断,以提高监测诊断工作的成效。

(3) 应多种监测诊断手段和方法并用。由于故障征兆与故障模式之间的复杂性和实际中的非线性,同一种故障可能导致多个特征参量的变化,同一特征参量的变化也可能由多种故障所引起,因此,在有可能的情况下,应多种监测诊断手段和方法并用,多信号融合,并尽可能采用现代信号处理技术和人工智能,从而提高电动机故障的检出率和准确性。

参考文献

- 1 马宏忠,方瑞明,黄允凯等.大型异步电机转子绕组故障特征量的新研究[J].大电机技术,2004,(4):1-4.
- 2 董建园,段志善.基于BP网的异步电机故障诊断方法[J].西安建筑科技大学学报,1998,30(2):159-162.
- 3 Subhasis N, Shehab A, Hamid A T. Detection of rotor slot and other eccentricity related harmonics in a three phase induction motor with different rotor cages[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2001, 16(3):253-260.



- 4 曹志彤, 何国光, 陈宏平等. 电机故障特征值的倍频小波分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(7):112-116.
- 5 刘振兴, 尹项根, 张哲. 基于 Hilbert 模量频谱分析的异步电动机转子故障在线监测与诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(7):158-161.
- 6 刘高辉, 高勇, 杨媛等. 改善异步电机转子断条故障诊断性能的一种方法[J]. 西安理工大学学报, 2002, 18(3):244-248.
- 7 马宏忠, 李训铭, 王刘芳. 高压异步电机转子绕组故障诊断系统的研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(4):31-33.
- 8 魏云冰, 黄进, 牛发亮. 基于小波脊线的笼型异步电动机转子故障特征提取[J]. 电工技术学报, 2003, 18(4):123-127.
- 9 Francesco C, Elisabetta D V. Analysis techniques for detection of IM broken rotor bars after supply disconnection[J]. IEEE Transaction on Industry Applications, 2004, 40(2):526-533.
- 10 马宏忠, 李训铭, 方瑞敏. 利用失电残余电压诊断异步电机转子绕组故障[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7):183-187.
- 11 蔡泽祥, 俞亮, 高爱云. 大型电动机的内部故障诊断与保护方法[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(7):61-65.
- 12 许伯强, 李和明, 孙丽玲, 王永宁. 异步电动机定子绕组匝间短路故障检测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7):177-182.
- 13 Benouzza N, Benyettou A, Bendiabdellah A. An advanced Park's vectors approach for rotor cage diagnosis[J]. 0-7803-8379-6/04/\$20.00 @2004 IEEE, 461-464.
- 14 Mario E, Ali C, Isamil Z. A comparison of external and internal methods of signal spectral analysis for broken rotor bars detection in induction motors[J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2004, 51 (1):107-121.
- 15 蒋建东, 蔡泽祥. 用 Park 变换方法检测感应电动机转子故障[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(5):55-56.
- 16 赖延辉. AT4 型电机绕组检测仪及其应用[J]. 设备管理与维修, 2003(2):47-48.



复杂结构船舶电力系统故障区域快速定位研究

甄洪斌, 沈兵, 张晓锋

(海军工程大学 电气与信息工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 提出了复杂结构船舶电力系统在并网条件下进行保护区域的划分, 并在此基础上引入汇入电流的概念。在利用保护区域差动电流幅值特征的基础上, 引入相位特征, 并对船舶电力系统故障区域快速定位的问题提出了相应的解决方法。

关键词: 船舶电力系统; 复杂结构; 故障定位

0 引言

在目前的船舶电力系统中, 电力网多为单侧电源、辐射形线路, 并且距离短、无中线, 结构相对简单, 利用基本网络上供电元件的保护即可切除能发生的故障, 不用装设专门的基本网络保护。随着船舶功率等级的大幅提高, 将出现如环型网、多环型网等复杂结构电力网络。在并网条件下, 要提高船舶电力系统保护的快速性、选择性和可靠性, 首先应定位故障区域, 现有方法是通过时间和电流两个基本原则配合实现的。但复杂电力系统网络中保护要求的复杂性仅靠时间原则提供不了如此多的时间等级, 并且长期以来沿用的时间保护原则, 是靠延长切除故障时间来保证保护的选择性, 而故障时间的滞后越长, 对供电连续性越不利, 尤其是对大功率系统发生“金属性短路”, 如果切除不及时, 可能造成整个系统的崩溃。为了最大限度保证船舶供电安全和供电质量, 应快速切除故障区域, 恢复电网的额定电压, 有必要提出一种对故障区域的快速定位的方法。

1 船舶电力系统保护区域的划分

对于大功率船舶电力系统复杂结构基本网络, 希望在并网条件下, 发生短路故障时, 能快速准确的判断故障发生的区域, 并及时隔离故障区域和非故障区域, 再在故障区域内运用现有的电流和时间原则, 选择合理的断路器跳开, 最终将故障限制在最小区域。图1所示的四电站环型电力系统, 其基本网络为4台发电机、四段母线及其连接线和断路器组成的复杂基本网络。按照基本网络中与各母线的连接, 划分为四个保护区域, 如基本网络中断路器 D_{11} , D_{12} 之间的母线I区域, 包含发电机 G_1 , 母线I, 及母线I上所接的变压器、电动机 M_1 、 M_2 和静态负载 I_1 。同理, 网络其他部分划分为母线II区域、III区域和IV区域。

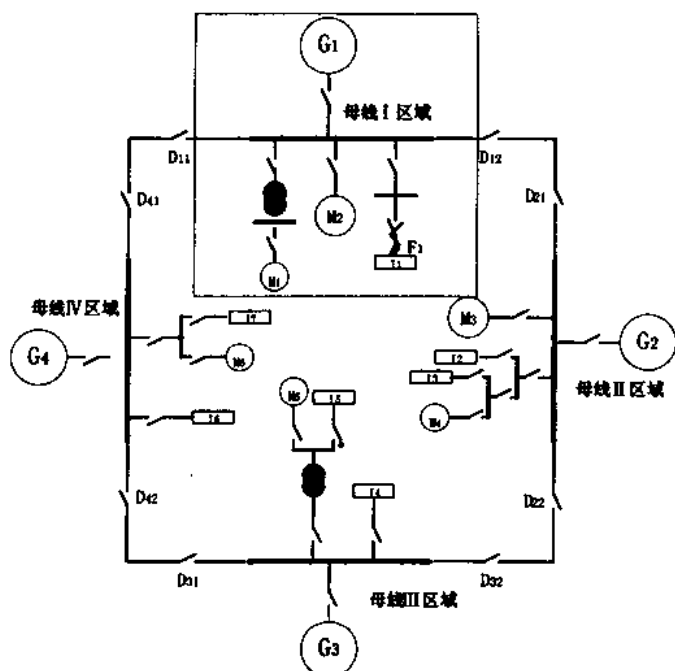


图1 四电站环型电力系统结构图

2 新型故障区域定位方法的提出

船舶电力系统有其自身的特点，母线上引出的负载很多。差动电流 $I_d = \sum I_i$ ($i=1 \sim n$)，其中 n 为被保护设备母线段引出线的数目， I_i 为第 i 条引出线上的电流（流入保护设备为正，流出为负）。此方法在工程上实现很困难。若将某母线段与其相连的发电机和所接的负载看成一个整体，作为一个区域保护的對象，则当该区域内发生短路故障后，能快速、灵敏地判断，这样可以很快的断开故障区域与其他非故障区域的断路器，不会波及非故障区域的正常供电。然后在故障区域内运用现有方法逐步判断，最终将故障限制在最小区域内。

图1中母线I区域作为保护区对象，此区域通过断路器 D_{11} 、 D_{12} 与其他网络相连。当母线I区域内部发生短路故障时，其他保护区通过断路器 D_{11} 、 D_{12} 的电流之和会表现为很大的流入母线I区域的短路电流；而区域外发生短路故障时，通过断路器 D_{11} 、 D_{12} 的电流之和会表现为很大的流出短路电流。所以只要区分这两种短路电流到底是流入还是流出保护区的母线I区域，就能判断短路故障是发生在母线I区域内还是区域外。图1所示的网络中，对母线I区域而言，当保护区内发生三相对称短路故障时，这里在检测保护区两端的电流和时， I_1 和 I_2 为两侧流入被保护区的电流向量。定义保护区汇入电流

$$\dot{I}_{od} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \quad (1)$$

当保护区内发生三相对称短路故障时，保护区外电源向保护区内提供短路电流，汇入电流 \dot{I}_{od1} ，表现为流入保护区内。

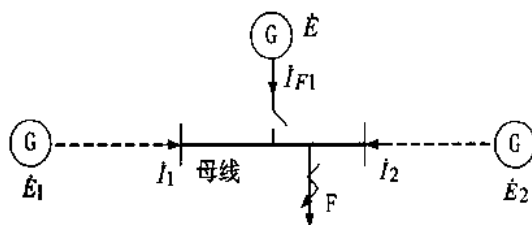


图2 区内故障时各电流示意图

如图2,发电机电势 \dot{E} ,发电机的超瞬变电抗为 \dot{X}'' ,发电机到短路点F的线路阻抗为 \dot{Z}_L ,发生短路时,发电机开始电抗值主要表现为超瞬变电抗 \dot{X}'' ,这时发电机的流出电流为

$$\dot{I}_{F1} \approx \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_L + \dot{X}''} = I_{F1} \angle \varphi_{d1} \quad (2)$$

母线两端有其他发电机流入该母线区域的电流,分别是 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 ,母线两端的等效电势分别为 \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 ,等效超瞬变电抗为 \dot{X}_1'' 、 \dot{X}_2'' ,线路阻抗分别是 \dot{Z}_{L1} 、 \dot{Z}_{L2} 。

$$\dot{I}_1 \approx \frac{\dot{E}_1}{\dot{X}_1'' + \dot{Z}_{L1}} \quad (3)$$

$$\dot{I}_2 \approx \frac{\dot{E}_2}{\dot{X}_2'' + \dot{Z}_{L2}} \quad (4)$$

在同一系统中 \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 的相位近似相同,船舶母线和馈线较短,线路阻抗值较小,相对于超瞬变电抗来说可以忽略。母线两端的等效超瞬变电抗 \dot{X}_1'' 、 \dot{X}_2'' 为纯感性,所以 \dot{I}_1 和 \dot{I}_2 的相位近似相等。

$$\dot{I}_{od1} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \approx \frac{\dot{E}_1}{\dot{X}_1'' + \dot{Z}_{L1}} + \frac{\dot{E}_2}{\dot{X}_2'' + \dot{Z}_{L2}} \quad (5)$$

\dot{E} 与 \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 的相位近似相等,与式(2)式比较可看出,汇入电流 \dot{I}_{od1} 的相位与 \dot{I}_{F1} 的相位近似相等。

当保护区外发生三相对称短路故障时,对母线I区域而言, G_1 向短路点提供短路电流,此时的汇入电流 \dot{I}_{od2} ,表现为流出保护区外的。这里设发电机流出电流 \dot{I}_{F2} 将滞后发电机电势 φ_{d2} 。同理,此时汇入电流 \dot{I}_{od2} 的相位约为 $180^\circ + \varphi_{d2}$, \dot{I}_{od2} 与母线I区域的发电机 G_1 流出电流 \dot{I}_{F2} 相位近似相差 180° 。

因此,利用判别短路时的母线区域的汇入电流 \dot{I}_{od} 与该区域内发电机的流出电流 \dot{I}_F 之间的相位关系,就可以判别发生故障的区域。汇入电流既表现了所保护区两端电流之和的幅值大小,也能体现相位特点,克服了不完全差动电流的只用幅值判断方法,对于复杂结构船舶电力系统故障区域定位很有意义。



3 故障区域定位方法的仿真验证

为了验证新型方法的正确性,进行了仿真研究,研究如图1所示的四电站环型电力系统,系统中的四台发电机统一为同功率,同参数时,所带总的负载功率为发电机总功率的60%,其中负载的80%为电动机负载,系统在正常运行后于某时刻在静态负载 I_1 处发生三相对称短路故障时,各区域的汇入电流如图3。

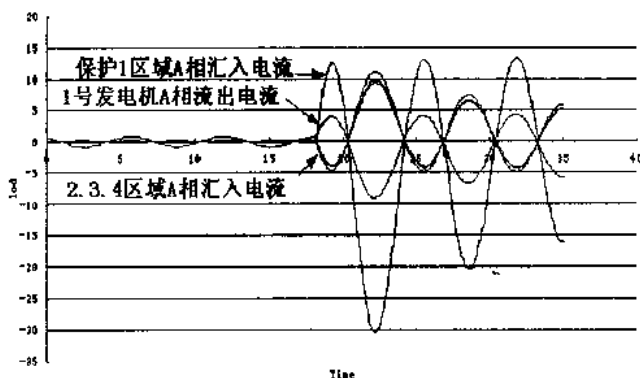


图3 区域1负载三相对称短路各区域汇入电流

图3中,在发生短路故障时,各区域的汇入电流都会增大,但发生短路故障的区域汇入电流的相位与其他非故障区域的汇入电流的相位近似相反,与此时发电机的短路电流相位近似相同。对于该典型环型电力系统,在发电机一台到四台工作时,在不同区域的静态负载上发生三相对称短路故障时,研究各区域的汇入电流,皆能从仿真结果中得到上述特点。

4 保护方案的设置

根据上述分析,采用汇入电流的相位比较或相位与幅值结合比较,都可以实现对复杂结构船舶电力系统的故障区域的快速定位。

4.1 比较相位法

已知该网络中某处已经发生三相对称短路故障(可以利用母线上电压突降的特征),可采用比较相位来判别故障所发生的区域,具体有:

(1) 以某台主机的电流相位参考

以某台发电机的电流相位为基准参考值,将各区域的汇入电流的相位与其进行比较,某区域发生了短路故障,汇入电流的相位则与发电机的电流相位基本一致,而非故障区域的汇入电流的相位与发电机的相位近似相反。

(2) 比较各保护区的汇入电流的相位之间的关系

有一个保护区的电流相位与其他区的电流相位近似相反,则发生短路故障的区域就是这个区域。

对于图1所示船舶电力系统,各保护区相位比较结果如表1所示

表1 各保护区相位相互比较

	1区内短路	2区内短路	3区内短路	4区内短路
1区 I_{od} 相位	+ (-)	+ (-)	+ (-)	+ (-)
2区 I_{od} 相位	- (+)	- (+)	+ (-)	+ (-)
3区 I_{od} 相位	- (+)	+ (-)	- (+)	+ (-)
4区 I_{od} 相位	- (+)	+ (-)	+ (-)	- (+)

注：“+”表示设定的相位近似正方向“-”表示与设定的相位近似相反。

4.2 比较幅值和相位结合法

当网络中发生短路故障时，故障区的汇入电流幅值突增很大，且相位与发电机的电流相位近似同相；而非故障区域的汇入电流的幅值也可能增大很多，但此汇入电流的相位与发电机的相位近似相反。利用以上的综合特征，可以用图4所示流程图来表示。

利用汇入电流的相位和幅值的特征，可以先排除汇入电流幅值小的母线区域，克服当汇入电流幅值较小时不易检测的问题。这种方法将比仅利用相位特征判断要准确、可靠，但判断的步骤增多，延长了判断的时间，对快速隔离短路故障是不利的。究竟要采取何种判断方法对短路故障区域的定位，可以结合保护对象的特点和所采用的硬件计算速度，来实现保护的的最佳策略。

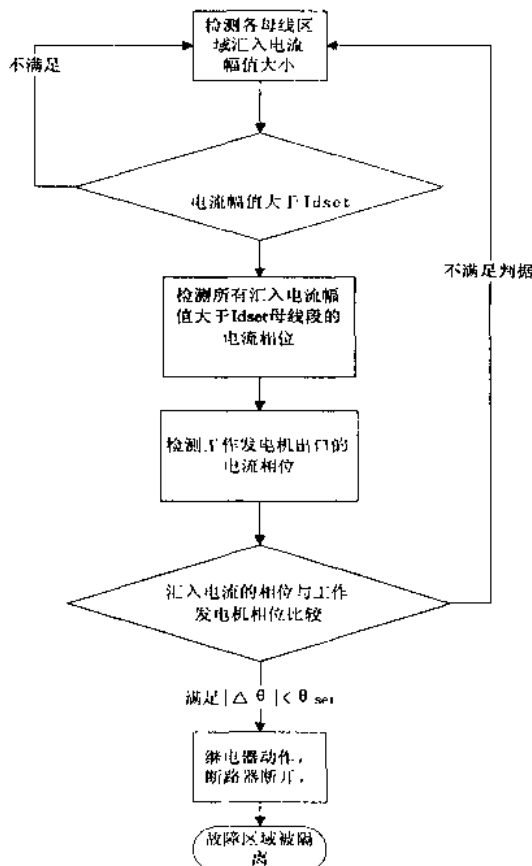


图4 比较幅值和相位结合法的动作流程



5 结 论

本文针对复杂结构船舶电力系统的特点,提出了汇入电流的概念,在原来不完全差动电流利用幅值判断的基础上,提取了差动电流的相位特征。然后通过对一四电站船舶环型电力系统网络的三相对称短路电流的仿真分析,比较汇入电流的幅值和相位特征,可以达到对故障的区域定位,克服不完全差动电流判断方法不适用于保护区域内

有电源的情况。利用汇入电流的相位比较或相位与幅值结合比较的方法,都能解决对三相对称短路故障的快速、准确的区域定位,这些方法无疑对未来复杂结构船舶电力系统的保护很有帮助。

参考文献

- 1 吴忠林. 船舶交流电力系统的短路电流[M]. 国防工业出版社, 1983.
- 2 贺家李, 宋从矩. 电力系统保护原理[M]. 中国电力出版社, 1994.10.
- 3 朱声石. 数字式比率差动继电器的通用特性[J]. 电力系统自动化, 1999(6).
- 4 甘正宁, 甘正佳. 电力系统环形网络的供电可靠性研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004(4).



远程故障诊断系统研究初探

焦绍光, 毛海涛, 李红江

(海军工程大学 电气与信息学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 讨论了远程故障诊断系统在现实中的需求和必要性, 讨论了国内外的研究现状; 探讨了远程故障诊断系统的关键技术, 包括集成技术和故障预测诊断技术; 通过对数据压缩和故障诊断子模块的建立, 初步提出了一种基于专家系统的远程故障诊断系统实现方案。

关键词: 远程故障诊断技术; 网络系统; 专家系统

1 概 述

远程故障诊断技术, 是利用远程网络系统在异地对远程的现场设备实施监视、测试, 并根据测试数据进行故障的预报和诊断的技术。远程故障监测、预报、诊断是涉及计算机网络、信息集成、专家系统等多门学科的综合技术。

舰船上一些关键的机电设备故障往往十分复杂, 必须依赖专家系统和(多方面的)专家进行综合诊断, 但船用计算能力和专家资源往往十分有限, 因此, 舰船上一些关键的机电设备的故障诊断需要远程系统和专家的支持。

随着 Internet 在全世界的迅猛发展和普及, 计算机信息技术已经开始在各个领域中广泛应用。如在医疗、教学方面, 已实现了网上的远程医疗和远程教学。在制造业方面, 工业发达国家十分重视远程服务在工业上的应用, 其研究及应用水平已相当高。如德国的大学和工业界都在积极开展这方面的研究工作, 而且有的甚至结合对中国出口的设备开展这方面的研究。

在我国, 网络的应用只是限于企业内部网络的建设或与 Internet 的连接, 缺少企业间横向的联系, 尤其是对需要多方部门共同合作完成的大型工程建设和运行期间遇到的故障问题, 极少应用远程监测、预报、诊断技术解决。但是, 我国的机械制造业经过几十年的发展, 尤其是 20 世纪 80 年代末以来的计算机产业的迅猛发展和普及应用, 以及国家 863 高技术发展计划的推动, 在许多设备制造企业进行了以信息技术为基础的改造, 已经具备了实现远程故障监测、预报、诊断技术的硬件体系基础。在软件方面, 实时监测, 远程监测, 故障诊断等单元技术都有了一定成果和经验。然而对于一门综合性技术, 我国尚未组织企业与研究部门结合并投入较大力量进行系统研究开发, 致使我国远程监测、预报、诊断技术研究和应用进展缓慢。



2 远程故障诊断系统关键技术

远程故障监测是对现场设备进行在线实时监视、测试,通过远程网络把反映设备运行情况的实时图像和测试数据传送到进行预报或诊断的异地终端,由预报模块和诊断模块处理。远程监测是远程预报和诊断的基础,它为远程预报和诊断提供了依据。监测的结果是采集到的各种数据,其中,对声、像、图的数据采集(通过在现场安装的视频头对现场关键工段的连续图像的采集,对于发生故障的部分,可对其进行录像和对关键部位进行拍摄),作为异地专家进行远程诊断时的依据。而对一些现场的实时测试数据(如设备运行参数)的采集,则是故障预报的主要依据。

故障预报的主要功能是利用算法对监测数据进行分析,以判断设备运行是否会出现故障。如果经判断有可能出现故障,则发出故障警报,以便及时对故障进行诊断,避免故障发生。其中,预报算法是进行故障预报的核心,它对测试数据的异常变化趋势很敏感。

远程故障诊断的功能是远程诊断在异地现场发生的事故故障,主要通过故障诊断模块(包括数据库、记录专家知识的知识库及推理机制)和各专家合作完成。对于一些常见、多发故障,可通过故障诊断模块实现,这时无须专家介入;而对于那些大型事故或疑难故障,其故障的复杂性很高,要想通过具有简单推理机制(相对专家而言)的故障诊断模块得到解决十分困难,需要各方面的专家共同对其分析诊断。由此可见,故障诊断的实现要比故障预报复杂得多,它不仅仅是推理出故障和找出故障的模块化的算法问题,还需要在多个不同地点(专家可能来自多个地方)通过远程网络提供诸如虚拟会议的环境,其中包括多方的可视动态图像,需要讨论的故障的原始信息、现场监视情况以及相关的历史数据等。并在诊断故障后,写入知识库,备以后参考。

远程故障监测、预报、诊断是涉及计算机网络、信息集成、专家系统等多门学科的综合技术。主要分为两大方面:

(1) 集成技术的研究

① 支持远程故障监测、预报、诊断的网络技术研究

多媒体信息的集成技术主要是指对图像、视频、音频、数据的集成。由于集成信息要跨多种网络传输,而网络存在的固有的时延问题又严重影响远程故障监视、诊断的质量,因此,需研究信息的集成技术。

由远程监视系统采集生成的无论是连续的图像和声音还是静态的照片都要经过压缩后才能传送到远程终端。考虑到传输带宽的有限性,利用先进的算法对视频信号和音频信号进行压缩后得到尽可能高的压缩比,以缓解带宽的压力。多媒体信息(声、像、图、文)的集成主要是指对视频和音频信号的压缩和编码后,利用控制信息将其与数字数据复用到一个比特流中,以实现多媒体信息在网络上的传输。其中,集成的关键是做到视频和音频的同步,这与所连接的终端设备密切相关,主要是通过控制协议来达到。

远程监测、预报和诊断是在异地进行的,它必须通过网络来实现。如何利用有限的带宽来提供尽可能高的服务质量是实现远程监测、诊断的前提和基础。而各种技术的应用也主要是为了保证远程通讯信息在网络上的顺利传输。

实现远程监测、预报和诊断的传送有多种方法,如卫星、X.25、DDN、ISDN、普通电话



线等。因此,根据具体应用对象,综合考虑需求和价格因素和保障多媒体通信的带宽因素,选择适当的方案,研究开发或选用相应的技术和设备,以使远程监测、预报和诊断的服务质量得到提高并得以顺利运行。

② 异地应用系统集成技术的研究

远程监测、预报和诊断需要综合利用现场监测的实时及历史信息,在设备制造企业的设备制造相关的信息如误差等质量信息,在异地的故障预报和故障诊断的算法和经验知识等等。因此需要通过网络(和数据库)等技术把异地不同的应用软件和系统集成在一起,使其构成一个能够实现所需功能的系统。

③ 支持远程监测、预报、诊断的设备接口技术的研究

研究如何对设备(主要是计算机监测的接口)进行改造或重新设计,使之更适于远程监测、预报、诊断,并集成于远程监测、预报、诊断的系统中。

(2) 故障预报及诊断技术研究

① 分布式故障预报和诊断技术研究

故障的预报和诊断不仅需要依据设备运行的状态和历史数据,而且还与设备设计制造过程密切相关。也就是说,设备故障的预报和诊断,特别是零件多结构复杂的大型成套设备,如汽轮机等大型发电设备,故障的原因和位置等往往与制造设计有很大关系。因此,必须研究如何使用现场信息(设备运行的监测数据包括实时数据和历史数据,及现场人员对设备故障预测和诊断的知识经验)和分布在制造企业中的设计与制造信息来进行预报和诊断。

当前,故障的预报和诊断一般只根据设备运行的数据和状态,极少综合地、有机地使用现场信息及制造设计过程的信息对故障进行预报和诊断,研究故障的预报和诊断技术将大大增强故障预报和诊断的准确性和及时性,从而优化设备的运行和维修,增加设备的可靠性和利用率。

② 故障预报和诊断方法和技术的研究

主要研究适用的故障预报和诊断的方法和技术,包括统计分析等算法及专家系统。对于结构复杂,零件多的设备往往采用以专家系统为主要方法,采用以经验知识为主的推理机制。根据故障预报和诊断往往有许多不确定性因素的特点,需重点研究支持模糊知识和确定性知识综合表达和推理的专家系统。

对于故障预报,界限值的制定十分关键。各种采集和处理得到的数据,都要有定量指标的准则,即界限值。根据当前的分析值与界限值比较,可判断故障有无、故障程度、故障部位、故障模式,进而判定故障原因。一般说来,单凭界限值要达到如此定量的故障诊断和预报是有困难的,常常需有其他信息和经验、知识来相辅相成。而对界限值定出正常的区间范围即上下界就可以,有的需给出正常、警告、异常三种预报,由于故障的随机性和模糊性,预报常常具有建议性、提示性。

由于故障现象、部位和原因之间的关系常常是复杂的,而各设备有其特定的和局限的信息指示能力,因而如何将众多不完全的信息进行综合、集成来判断故障,在有些情况下达到信息融合,是故障诊断的难点和研究目标。为此,需要研究能够表达和推理模糊性知识和确定性知识的专家系统。

模糊知识推理能在初始信息不完全或不十分准确的情况下,较好的模拟人类专家解决问

题的思路和方法,其实质是根据前提条件与规则本身的不确定性来推算结论的可信度,运用不太完善的知识得出尽可能准确的解答或提示。其主要功能就是即使在观察事实与规则的前提条件之间匹配不精确的情况下,系统仍然能推导出一个结果。

基于模糊和确定知识综合推理的专家系统的难点和关键是知识的表达和获取,以及知识库的管理。尤其是模糊知识的表达和获取,需在现有的各子系统中获取专家知识和从历史数据及历史故障中获取专家知识,不断的积累、考核和改进。同时,建立完善的知识库需要设计、使用维修的历史资料,使用和维修工程师的知识和经验,各种检测数据的界限值及信息综合的判断等。

3 远程故障诊断系统实现方案

本方案从数据的传输和故障诊断子模块两个方面分别进行了初步实现。

首先由于网络带宽有限,所以数据文件的压缩有利于数据在 Internet 上的快速传输,同时也节省服务器的外存空间。

Java 1.1 实现了 I/O 数据流与网络数据流的单一接口,因此数据的压缩、网络传输和解压缩的实现比较容易,本方案利用 ZipEntry、ZipInputStream 和 ZipOutputStream 三个 Java 类实现 zip 数据压缩方式的编程方法,对数据图像信号进行压缩、解压缩处理,提高网络传输效率。

故障诊断模块是系统整体的核心部分。由于神经网络是自适应的和可以被训练的,有自修改能力,同时有对信息并行处理及并行推理的能力,在原理上比传统方法迅速,并且具有高度非线性、模拟并行性、高度容错性、鲁棒性、自联想自学习和自适应等特点^[4]。所以系统的故障诊断模块采用神经网络的 BP (Back Propagation) 模型进行的故障诊断,采用 GCAQBP (Globally Convergent Adaptive Quick Back Propagation) 算法作为神经网络中的权值的训练算法^[5]。

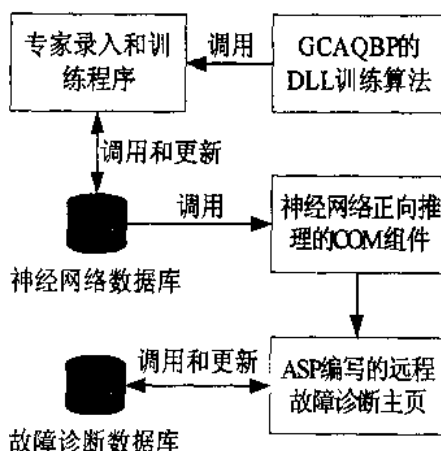


图1 故障诊断子系统框架图

故障诊断子系统包括4部分:专家录入和训练程序、GCAQBP的DLL训练算法、神经网络正向推理的COM组件和远程故障诊断主页。采用SQLServer 7.0数据库管理系统,包括



两个数据库:神经网络数据库和故障诊断数据库。结构框架如图1所示。其中,专家录入和训练程序作为子系统与专家交互的接口,接受专家的经验并将训练结果可视化;GCAQBP训练算法用DLL封装,接受专家的经验数据,训练神经网络各层权值;神经网络数据库管理神经网络故障诊断的训练样本和权值结果。包含3个表,分别为Specimen、W1和W2。Specimen存放专家录入的故障专家经验,W1存放神经网络输入层到隐层的训练权值,W2存放神经网络隐层到输出层的训练权值。故障诊断数据库管理使用故障诊断主页的用户的信息及相关资料。由此初步实现了故障的诊断。

4 结束语

本文利用Java程序实现对数据的压缩,使网络传输速度得到较大的提高;采用专家数据库实现了对故障信息的管理和诊断。本方案对专家系统的有效性还需进行进一步的评价,从而完善知识库信息,更好地解决故障诊断问题。

参考文献

- 1 朱志浩,樊留群,张浩,严隽薇.远程服务技术在设备维修领域的应用[J].组合机床与自动化加工技术,1999(6).
- 2 张金玉,张优云,王汉功.远程诊断与远程维修中的安全技术[J].计算机工程,2002,28(2).
- 3 陈维义,冯传收,王树宗,李宗吉.装备维修教学训练虚拟现实系统的设计[J].系统仿真学报,2001,13(增刊).
- 4 杨彩云,尹文生,李世其,朱文革.注塑机虚拟维修系统的研究和实现[J].华中科技大学学报(自然科学版),2003,31(2).
- 5 洪津,张万军,谢庆华,陈明宏,王永健.虚拟维修训练系统发展综述及其关键技术探讨[J].解放军理工大学学报,2000,1(1).

基于优化技术的电力系统故障诊断数学模型概述

康海兵, 蒋心怡

(海军工程大学 电气与信息学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 介绍了三种基于优化技术的电力系统故障诊断方法, 并对上述几种方法数学模型的建立过程进行了详细的描述。

关键词: 优化技术; 电力系统; 故障诊断; 数学模型

0 引言

目前, 国内外在电力系统故障诊断方面主要方法有: 逻辑处理方法、人工神经网络(ANN)方法、专家系统(ES)和基于优化技术的方法。随着电力系统规模日益扩大, 其逻辑关系难以描述, 而运行方式改变, 相应逻辑关系也随之改变, 当意料之外的故障出现时, 基于逻辑关系的诊断系统就不能工作。ANN与符号数据库交互的功能较弱, 不具备表达电网拓扑结构的能力, 且缺乏解释自身行为和输出结果的能力, 一般仅能用于具有固定接线方式的小规模电网。ES维护困难, 知识获取能力和容错能力较差, 推理速度不够快, 对于复杂任务可能产生组合爆炸问题, 难以满足大规模电力系统在线故障诊断的需要。基于优化技术的方法有比较严密的数学基础, 且用常规算法可以有效地实现。其基本思想是首先将电力系统故障诊断描述为优化问题, 之后再优化方法求解。文献[4]首先构造了电力系统故障诊断与不可观测的保护状态识别的0~1整数规划模型, 用Tabu搜索方法求解; 文献[5]和文献[6]提出了基于停电区域电力系统故障诊断的新方法。

在前者的基础上, 本文总结介绍了三种常用的基于优化技术的电力系统故障诊断方法: 基于断路器信息的诊断方法、基于保护和断路器信息的诊断方法和基于停电区域的诊断方法。并结合实例对上述三种方法数学模型的建立过程进行了详细的描述。

1 基于断路器信息的故障诊断数学模型

该数学模型如下:

$$E(S) = \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} |c_j^{(t)} - \bar{c}_{ij}^{(0)}(S)| \quad (1)$$

式中: $S \sqrt{a^2 + b^2}$ 为元件状态向量 (n 维, n 为元件数); S_i 为第 i 个元件的状态 (正常时为 0, 故障时为 1); t 为保护动作时段序号, $t = 1, 2, 3$ 分别表示主保护动作时段、第一后备保护动作时段和第二后备保护动作时段; n_t 为保护动作时段数; n_i 为保护总数目; $c_j^{(t)}$ 为第 j 个断路器在第 i 个保护动作时段的状态 (未跳闸时为 0, 跳闸时为 1); $\bar{c}_{ij}^{(0)}(s)$ 为根据第 i 个保

护的动作原理确定的第 j 个断路器在第 t 个保护时段的断路器函数 (应该跳闸时为 1, 不应该跳闸时为 0), 如果在第 t 个保护动作时段内, 第 j 个断路器的状态不受第 i 个保护所控制, 则取 $\bar{c}_{ij}^{(t)}(s) = c_j^{(t)}$; n_c —— 断路器的数目。

由于式 (1) 中等号右边各量的取值都是 0 或 1, 因而使式 (1) 最小化的问题即为 0~1 整数规划问题, 优化变量为 S_j 。式 (1) 可作以下简化

$$\begin{aligned} E(S) &= \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} |c_j^{(t)} - \bar{c}_{ij}^{(t)}(S)| \\ &= \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} c_j^{(t)} + \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} [1 - 2c_j^{(t)}] \bar{c}_{ij}^{(t)}(S) \end{aligned} \quad (2)$$

由于式 (2) 中等号右边的第一项与优化变量 S_j 无关, 可将其从目标函数中去掉而不影响优化问题的解

$$f(S) = \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} [1 - 2c_j^{(t)}] \bar{c}_{ij}^{(t)}(S) \quad (3)$$

当 $f(S)$ 最小时, $E(S)$ 也最小。

2 基于保护和断路器信息的故障诊断数学模型

诊断电力系统发生故障的元件就是要找出最能解释警报信号的故障假说, 其可表示为使下述目标函数 (误差函数) 最小化的问题

$$E(S) = \sum_{k=1}^{n_r} |r_k - \hat{r}_k(S)| + \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - \hat{c}_j(S, R)| \quad (4)$$

式中: n_r 为保护总数目; n_c —— 断路器总数目; S 为一个 n 维向量, 表示系统中元件的状态 (n 为系统中元件的数目)。 S 中的第 i 个元素 s_i 表示第 i 个元件的状态, $s_i = 0$ 或 1 分别表示第 i 个元件的正常或故障状态; R 为个 n_r 维向量, 表示 n_r 个保护的的实际的状态。 R 中的第 k 个元素 r_k 表示第 k 个保护的的实际状态, $r_k = 0$ 或 1 分别表示第 k 个保护的未动作或动作状态; $\hat{R}(S)$ 为个 n_r 维向量, 表示 n_r 个保护的期望的状态。 $\hat{R}(S)$ 中的第 k 个元素 $\hat{r}_k(S)$ 表示第 k 个保护的期望的状态。如果第 k 个保护应该动作, $\hat{r}_k(S) = 1$, 否则 $\hat{r}_k(S) = 0$; C 为一个 n_c 维向量, 表示 n_c 个断路器的实际状态。 C 中第 j 个元素 c_j 表示第 j 个断路器的实际状态, $c_j = 0$ 或 1 分别表示第 j 个断路器的未跳闸或跳闸状态; $\hat{C}(S, R)$ 为一个 n_c 维向量, 表示 n_c 个断

路器的期望的状态。 $\dot{c}_j(S, R)$ 中的第 j 个元素 $\dot{c}_j(S, R)$ 表示第 j 个断路器的期望的状态。如果第 j 个断路器应该跳闸, $\dot{c}_j(S, R) = 1$, 否则 $\dot{c}_j(S, R) = 0$ 。

$\dot{r}_k(S)$ 的值根据保护动作原理较易得到, 我们用图 1 所示的简单例子来简要说明如何根据保护动作原理来确定 $\dot{c}_j(S, R)$ 。

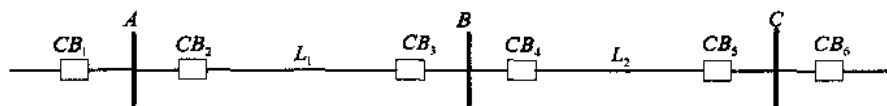


图 1 简单系统

上图所示系统中共有 5 个元件, 即 A 、 L_1 、 B 、 L_2 和 C (依次用 $S_1 \sim S_5$ 表示), 6 个断路器 $CB_1 \sim CB_6$ (依次用 $C_1 \sim C_6$ 表示), 15 个保护 (即 A_m 、 B_m 、 C_m 、 L_{1Rm} 、 L_{1Sm} 、 L_{2Rm} 、 L_{2Sm} 、 L_{1Rp} 、 L_{1Sp} 、 L_{2Rp} 、 L_{2Sp} 、 L_{1Rs} 、 L_{1Ss} 、 L_{2Rs} 和 L_{2Ss} , 依次用 $r_1 \sim r_{15}$ 表示)。这里, A 、 B 、 C 表示母线, L 表示线路, 下标 S 和 R 分别表示线路的送端和受端, m 表示主保护, p 表示第一后备保护, s 表示第二后备保护。

根据保护的动作用原理可知

$$\dot{c}_1(S, R) = s_1 r_1 \quad (5)$$

类似地, 可得到

$$\dot{c}_2(S, R) = \text{MAX} \langle s_1 r_1, s_4 r_4, s_4(1-r_4)r_8, \{1-[1-s_2(1-c_3)][1-s_5(1-c_3)(1-c_4)]\} r_{12} \rangle \quad (6)$$

$$\dot{c}_3(S, R) = \text{MAX} \langle s_2 r_2, s_4 r_5, s_4(1-r_5)r_9, s_1(1-c_2)r_{13} \rangle \quad (7)$$

$$\dot{c}_4(S, R) = \text{MAX} \langle s_2 r_2, s_5 r_6, s_5(1-r_6)r_{10}, s_3(1-c_5)r_{14} \rangle \quad (8)$$

$$\dot{c}_5(S, R) = \text{MAX} \langle s_3 r_3, s_5 r_7, s_5(1-r_7)r_{11}, \{1-[1-s_2(1-c_4)][1-s_4(1-c_3)(1-c_4)]\} r_{15} \rangle \quad (9)$$

$$\dot{c}_6(S, R) = s_3 r_3 \quad (10)$$

上式中 MAX 的含义是取 $\langle \rangle$ 中各项中最大者。 $\langle \rangle$ 中各项的取值均为 0 或 1, 反映了各有关保护的动作用原理。若采用遗传算法求解, 使式 (1) 最小化的问题改变为使下式最大化的问题

$$f(S) = W - \sum_{k=1}^{n_k} |r_k - \dot{r}_k(S)| + \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - \dot{c}_j(S, R)| \quad (11)$$

式中: W 为任意给定的很大的正数, 用于确保 $f(S)$ 恒为正, 故障元件的识别问题就是寻找能使 $f(S)$ 取得最大值的 S 。





3 基于停电区域的故障诊断数学模型

以上介绍的两种数学解析模型都具有较严密的理论基础,但其函数表达式比较难以确定,特别是程序实现自动形成数学模型难度很大,不利于推广。而且这两种数学模型是无约束的组合优化模型,求解无约束的组合优化问题所采用的算法都比较费时,因此其速度较慢,不利于在线应用。

与上述两种方法相比,基于停电区域的故障诊断数学模型简单而快速,找出最能解释警报信号的故障假说,识别电力系统发生故障的元件。以停电元件的状态值与其权值的乘积之和为目标函数、以保护动作函数为约束条件的数学模型。该模型以元件的状态值为变量,元件的状态值反映了元件是否发生故障。我们将其表示为使目标函数最大化的数学模型

$$\max E(D)=WD \quad \text{st. } f(C,D) \cong M \quad (12)$$

式中: $D=[d_1, \dots, d_n]^T$ 为元件状态向量 (n 为停电区域中的元件数), 若该元件为故障元件, 每个元素取值为 1, 若该元件为正常元件, 每个元素取值为 0; $C=[c_1, \dots, c_m]^T$ 为断路器状态向量 (m 为与停电区域中的元件关联的断路器数), 若该断路器未跳闸, 元素值取为 1, 若该断路器跳闸, 元素值取为 0; $M=[m_1, \dots, m_k]^T$ 为保护状态向量 (k 为警报信号中的保护数), 每个元素取值为 1; $f(C,D)$ 为保护动作函数; $W=[w_1, \dots, w_n]$ 为元件权值向量, w_i 表示第 i 个停电元件解释警报信号的权值。

3.1 权值向量的计算

$$W = \text{sgn}(M^T A) = [\text{sgn}(w_1), \dots, \text{sgn}(w_n)] \quad (13)$$

式中: A 为保护和元件的关联矩阵 (保护是指警报信号中的保护, 元件是指停电区域中的元件), 矩阵 A 中的行对应的是动作保护, 列对应的是停电元件。其元素值为

$$a_{ij} = \frac{e}{p} \quad (14)$$

式中: a_{ij} 是保护装置保护停电元件的概率值, 若元件 j 在保护 i 的范围之内, 则 e 为 1, 否则为 0; p 为保护 i 所保护范围中的元件总数。

函数 $\text{sgn}(w_i)$ 的取值为

$$\text{sgn}(w_i) = \begin{cases} w_i (w_i > 0) \\ -1 (w_i = 0) \end{cases} \quad (15)$$

3.2 数学模型的建立过程

我们仍用图 1 所示的简单系统来简要说明建立数学模型的过程, 以及如何根据保护动作函数的构成规则写保护函数。

表1 后备保护动作原理及保护范围

保护名	动作原理	保护范围
L_{1Rp}	L_1 故障, L_{1Rn} 未动作时, L_{1Rp} 动作跳开 CB_2	L_1
L_{1Sp}	L_1 故障, L_{1Sn} 未动作时, L_{1Sp} 动作跳开 CB_3	L_1
L_{2Rp}	L_2 故障, L_{2Rn} 未动作时, L_{2Rp} 动作跳开 CB_4	L_2
L_{2Sp}	L_2 故障, L_{2Sn} 未动作时, L_{2Sp} 动作跳开 CB_5	L_2
L_{1Rs}	B 故障, CB_3 未跳开时或 L_2 故障, CB_3 和 CB_4 未跳开时, L_{1Rs} 动作跳开 CB_2	B, L_2
L_{1Ss}	A 故障, CB_2 未动作时, L_{1Ss} 动作跳开 CB_3	A
L_{2Rs}	C 故障, CB_5 未动作时, L_{2Rs} 动作跳开 CB_4	C
L_{2Ss}	B 故障, CB_4 未跳开时或 L_1 故障, CB_3 和 CB_4 未跳开时, L_{2Ss} 动作跳开 CB_5	B, L_1

假设发生警报信息为: 保护 L_{1Rs} 、 L_{2Sp} 动作, 断路器 CB_2 、 CB_3 跳闸, 其他断路器处于闭合状态。数学模型的建立过程如下:

(1) 识别停电区域

故障后的停电区域为: $N_{ig} = \{L_1, B, L_2\}$ 。

(2) 确定各向量

元件状态向量 $D = [d_1, \dots, d_n]^T$ (分别对应元件 L_1, B, L_2);

断路器状态向量 $C = [c_1, c_2, c_3, c_4]^T = [0, 1, 1, 0]^T$ (分别对应断路器 CB_2 、 CB_3 、 CB_4 、 CB_5);

保护状态向量 $M = [m_1, m_2]^T = [1, 1]^T$ (分别对应 L_{1Rs} 、 L_{2Sp});

L_{1Rs} 的保护范围: $\{B, L_2\}$;

L_{2Sp} 的保护范围: $\{L_2\}$;

保护和元件的关联矩阵

$$A = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$\text{权值向量 } W = \left[-1, \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \right]$$

(3) 确定保护动作函数



保护 L_{1Rs} 、 L_{2Sp} 的保护动作函数为:

$$L_{1Rs}: c_2 \cdot d_2 + c_2 \cdot c_3 \cdot d_3 \leq 1$$

$$L_{2Sp}: d_3 \leq 1$$

(4) 确定数学模型

数学模型为

$$\max E(D) = WD = 1 \times d_1 + \frac{1}{2} \times d_2 + \frac{3}{2} \times d_3 \quad (16)$$

$$st. \begin{cases} c_2 \times d_2 + c_2 \times c_3 \times d_3 \leq 1 \\ d_3 \leq 1 \end{cases} \quad (17)$$

4 结束语

本文总结介绍了三种常用的基于优化技术的电力系统故障诊断方法。基于断路器信息的诊断模型和基于保护和断路器信息的诊断模型函数表达式比较难以确定;基于停电区域的诊断模型简单而快速,模型的规模与电力系统的规模没有关系,只与故障情况的复杂性有关,因此求解这一优化问题,能够比较快地找到最优解,具有在线应用的潜力。

参考文献

- 1 韩祯祥,钱源平,文福拴.基于模糊外展推理和 Tabu 搜索方法的电力系统故障诊断[J].清华大学学报(自然科学版),1999,39(3).
- 2 李雄刚,李力,李日隆.基于 Prtri 网技术的电力系统故障诊断[J].广东电力,2004,17(3).
- 3 顾雪平,盛四清,张文勤等.电力系统故障诊断神经网络专家系统的一种实现方式[J].电力系统自动化,1995,19(9).
- 4 文福拴,钱源平,韩祯祥等.利用保护和断路器信息的电力系统故障诊断与不可观测的保护的状态识别的模型与 Tabu 搜索方法[J].电工技术学报,1998,13(5).
- 5 文福拴,韩祯祥,田磊等.基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法[J].电力系统及其自动化学报,1999,11(1).
- 6 孙伟,李林川,卢庆聪等.基于停电区域的电力系统故障诊断的一种新模型[J].电网技术,2004,28(5).



红外测温技术在船舶电气设备状态监测中的应用

王超, 蔡鹏, 董国保

(海军潜艇学院, 山东 青岛, 266042)

摘要: 针对船舶电气设备中带电部件温度检测技术的不足, 提出应用红外测温技术对船舶电气设备带电部件进行非接触测温; 并认为利用红外测温传感器开发船用红外温度检测仪, 可提高管理和维修人员对船舶电气设备故障的早期预测、诊断及维修能力, 从而减小电气设备故障损失。简单介绍红外测温原理、红外测温仪及其特点, 重点阐述红外测温技术在船舶电气设备中的应用可行性、应用范围、应用方法及应用注意事项。

关键词: 红外测温; 船舶; 电气设备; 状态监测; 应用

1 引言

温度参数是对船舶电气设备进行状态监测与故障诊断的重要依据。目前, 船舶电气设备中, 主要采用热电阻、热电偶对电机的绕组、轴承、冷却媒介(油、水、空气)测温, 也有采用半导体测温元件对电路组件测温。通常在被测物体上预埋、打孔安装温度传感器, 传感器直接与被测物体相接触测温。这种测温方法在上述等场合可行, 但要测量带电、运动部件的温度, 就显得无力。船舶电气设备中的触头、电连接件、换向器及滑环等部件, 在故障前温度会发生变化, 若能测量其温度, 可及早发现故障隐患。由于温度检测技术的限制, 对这些部件却没有采取相应的测温措施, 导致管理和维修人员不能及时发现此类部件的故障, 得不到及时维修, 常因此引发事故。

随着科学技术的发展, 过去造价昂贵、可靠性差的红外测温仪器, 已变得经济、可靠, 并在电力部门和其他行业中被广泛应用^[1, 2]。有调查表明, 100%的美国电气管理和维修人员使用过红外测温仪对电气设备发热点测温^[6]。与传统的接触测温相比, 红外测温具有安全、方便、快速的特点, 而最为突出的是非接触测量方式, 可以测取难以接触的物体的温度。应用红外测温技术可对上述船舶电气设备的带电部件测温, 对船舶电气设备进行状态监测。

2 非接触红外测温技术

2.1 红外测温原理

红外辐射是一种电磁波辐射, 只要温度高于绝对零度(-273℃)的物体就有热能转变为热辐射向外部辐射红外波段的电磁波, 物体的红外辐射能量、辐射波的波长与其温度有一定的函数关系(基尔霍夫定律、斯忒藩-玻耳兹曼定律、维恩位移定律及普朗克定律)。物体的



温度越高,辐射能量越强,辐射峰值处的波长越短^[5]。例如:温度在 210~80℃的物体,它的红外波峰值在 6~15 μm 之间^[1],红外辐射测温,就是根据红外辐射这种本质特性,通过某种方法探测和转换物体的辐射能量,测量物体的温度。

2.2 红外测温仪器

按照对被测物体的点、线、面的检测能力,红外测温仪器可分为四类,红外点温仪(红外测温仪)、红外行扫仪、红外热电视和红外热像仪。红外点温仪测量物体较小面积处的温度;红外行扫仪在短时间内对多点线扫描测温,与红外点温仪相比它扩大了测量物体的表面范围;红外热电视和红外热像仪对物体进行二维温度场检测,并转变成可见热像。这四类仪器的性能指标逐渐提高,其中红外点温仪结构最简单、价格便宜、使用最方便。红外点温仪的基本组成包括光学系统、探测器、信号放大器、信号处理及输出(显示与传输)等部分,如图 1 所示。光学系统收集被测目标的红外辐射能量;探测器物体辐射能量的变化转换成电量的变化——电信号,是红外测温的核心;放大器和信号处理电路将信号放大处理;显示、报警输出结果,或传输到相关网络系统中进一步利用。

红外点温仪又分为便携式和固定式。便携式测温仪手持使用,不需安装,可根据需要随时随地使用,但需要人工操作。固定式测温仪安装于固定的位置,可作在线式红外测温,连续自动监测温度。比如将传感头安装在电气设备中的某一狭窄空间处,将信号处理装置放置在其他较为合适的地方。

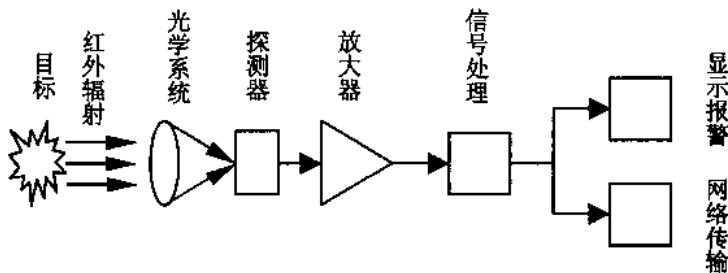


图 1 红外点测温仪的基本组成

2.3 红外测温的特点

与接触测温相比,红外测温具有以下特点:(1)非接触测温,对被测物体无影响;(2)检测物体表面温度;(3)测温速度快,可测运动物体温度和瞬态温度;(4)测温范围宽;(5)测温精度高;(6)可对小面积测温;(7)可同时对点、线、面测温;(8)要求高精度测温时,需知道被测物发射率、消除背景噪声等。

3 红外测温在船舶电气设备中的应用

3.1 应用的可行性

从红外测温的特点看,红外测温仪、红外热像仪和红外热电视等都可用于对船舶电气设备在线非接触测量各部件的温度,拍摄设备运行中的温度场分布,监测设备状态和诊断各种外部故障及内部故障,为对该设备故障诊断和维修决策提供依据。对船舶电气设备带电部件



测温的主要目的是了解其温度状态、变化趋势及异常变化等,而不是控制温度,在有些情况下可放宽对精确程度的要求。这就扩大了红外测温仪器在船舶电气设备中的应用范围。对船舶环境条件来说,相比之下红外点温仪较为适用、方便。红外点温仪在远离目标处非接触安全测量物体的表面温度^[6],可距离目标远达 55 m,响应时间小于 1 s。充分利用红外点温仪,结合船舶电气设备自身的特点,检测、分析和处理测量结果,可满足船舶电气设备状态监测与故障诊断中对温度检测的要求。

3.2 应用范围

船舶电气设备中,所有可能由故障引起不正常温升而又难以采用接触式测温的物体,只要可视都可采用红外测温。这类物体有:电机的电枢绕组接头、换向器、电刷与滑环;配电屏、电源柜及控制柜中的开关触头、接触器触头、接线柱(端子)、电连接片及汇流排连接处;电磁式电器的电磁线圈与铁心;三相电动机的电缆与熔断器(不对称运行引起发热不均);小型电动机的轴承与传动齿轮等等。对一些不可视部件,若其外壳表面温度与内部部件温度相对应也可用红外测温方法间接测温。对需要移取封盖和外壳才能露出目标正确测温的情况,可考虑采用微型传感器,只要能在安全位置测量带电体的表面温度就可以。

3.3 应用方法

(1) 在日常巡检、定期检查、设备检修及跟踪监测中用便携式红外点温仪作流动性温度测量工具,对电气设备的可视发热部件非接触测温,并记录检测结果。

(2) 在电源柜、配电屏、控制柜中,可将裸露的接头、连接部件选取为测点目标,采用固定探头单独测温或安装多传感头的红外测温仪,在线监测各发热部件的温度状态。

(3) 电气设备中那些被覆盖或被阻挡而不能直接进入传感器视场的目标温度不易测量,如:封装在空气断路器内部的触头、灭弧罩的开关触头。对此,若能确定表面温度与目标温度之间的传递关系可选取与发热点相近的导热、对流和辐射导热良好的壳体间接测温,然后进行推算。若不能确定表面温度与目标温度之间的传递关系,可采用定时测温比较法,比较一定时间间隔内温度差,即测量温度的变化率。

(4) 对于受负荷和环境温度影响较大的检测对象,可采用相对温差法^[1]。选测两台相同或基本相同设备(型号、安装位置、环境温度、表面状况和负荷)的对应测点的温差,计算其与较热测点温升的比值,依此判断设备的故障性质。也可采用同类比较法,测量同类设备对应部位温升值,进行比较,判断设备是否正常。

(5) 开发适合于船舶环境的红外测温仪,对船舶电气设备的器件、部件温度状态进行监测,为基于温度参数的在线状态监测与故障诊断装置提供分析与判断依据。如应用红外测温仪构成非接触温度实时监测网络。可将红外测温仪与全船集中控制台相连,完善电气设备温度监测功能。温度实时监测网络由红外探测头、数据采集单元、数据主控单元等组成^[8]。

3.4 应用中注意的事项

(1) 根据部件的温度范围选择合适测温范围的测温仪。如:船舶电气设备中的连接片、电枢绕组的温度正常值最大不超过 150℃,镀银(镀)锡的母线连接处的温度不超过 75℃(85℃)。选用低温范围的红外测温仪即可。缩小测温仪的测温范围,能够提高分辨率和精度^[4]。



(2)根据部件的具体情况正确设定发射率。大多非金属材料的发射率在0.85~0.95之间,且与其表面状态关系不大。金属材料的发射率与表面状态有密切的关系,在设定金属材料的发射率时,应考虑其表面状况。如果部件温度高于环境温度,设定的发射率比真实值高,红外测温仪输出的温度值就会偏低。例如,如果发射率设定为0.95,而实际发射率是0.9,读数会比真实温度低^[10]。典型发射率能够在探头上选择,红外测温仪器的产品资料上附有典型材料的发射率或发射率设定方法。

(3)明确测量距离和被测目标的大小。由于测温仪利用接受被测目标能量测温,所以只有被测目标尺寸大于或等于测温仪光学目标的直径,才能保证测量真实。探头光学部件的焦距决定了最大测量距离和被测目标的大小。光学分辨率反映这个关键性能,它是探头到被测目标之间的距离 D 与光学目标(光斑)直径 S 之比($D:S$)。当探头离测量目标较远时,就要选择高分辨率的测温仪,应尽可能靠近被测目标安装测温仪。在红外测温仪器的产品资料上光学分辨率也用光路图的形式给出^[10]。

(4)测温仪的响应时间和被测目标温度的变化速度要相符。比如,过电压、过电流引起部件温升很快,而接触不良引起温升可能缓慢,前者要求响应时间相对较短。又如,运动部件和静止部件,对测温仪的响应时间也各有不同的要求。响应时间表示测温仪对被测物体温度变化的反应快慢,定义为测温仪显示读数的95%所需时间。假设某部件温度以 $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的速度变化,温度变化 1°C 需要 0.2 s 的时间。若要识别 1°C 的温差,则需要选用响应时间为 0.1 s 的测温仪。当目标温度变化较快,测温仪的响应时间过长,测温结果将是平均温度。这并不是说测温仪的响应时间越小越好,过小的响应时间会使温度数值显示变化过快、不稳定,对此,有些温度探头具有峰值和谷值保持功能^[11]。比较发现,现有红外测温仪的响应时间能满足船舶电气设备的测温需要。

(5)消除船舶环境对测量结果的影响。船舶环境使红外测温仪与被测物体之间存住油雾、盐雾、水蒸气等物质,还有噪声、振动、电磁场等,将影响仪器的测量精度,故检测前需清洁透镜表面或采取有效的防衰减、防干扰措施,如加装保护罩、选用光纤双色测温仪等。

4 结束语

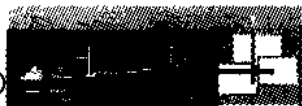
红外测温技术是先进的非接触在线检测技术^[9],应用红外测温技术可对船舶电气设备的带电部件测温,进行非接触在线状态监测。在红外测温技术的应用中,应针对不同的测温对象和要求,采用不同的方法,并注意文中谈到的注意事项。实际中还会遇到一些具体问题,如测试方位、背景温度的影响等,有待在应用中根据具体情况去解决。进一步利用红外测温传感器开发船舶电气设备的温度检测仪、基于温度参数的在线状态监测与故障诊断装置,可提高管理和维修人员对船舶电气设备故障的早期预测、诊断及维修的能力,从而减小电气设备故障损失。

参考文献

- 1 程玉兰. 红外诊断现场实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- 2 郑忠、何腊梅. 红外测温技术及在钢铁生产中的应用[J]. 工业加热, 2005, 34(3).



- 3 刘西亮等. 智能红外测温仪研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2004 (4).
- 4 杜文军等. 如何正确选择红外测温仪[J]. 矿业安全与环保, 2002,29(3).
- 5 晏敏, 颜永红等. 非接触红外测温原理及误差分析[J]. 测量与设备, 2005(1).
- 6 Raytek 公司. 电气系统故障诊断. 应用实例, www.raytek.com.cn
- 7 孙传友, 孙晓斌. 感测技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- 8 张艳, 田竞等. 基于红外传感器的高压开关柜温度实时监测网络的研制[J]. 高压电器, 2005,41(2).
- 9 秉时. 红外电力设备诊断技术对操作环境的要求[J]. 红外, 2001(4).
- 10 Raytek 公司. TX 系列操作手册[Z]. 北京: Raytek 公司, 2003.
- 11 Raytek 公司. MID、MIC 红外测温仪操作手册[Z]. 北京: Raytek 公司, 2001.



舰船机电设备故障红外诊断基础问题的研究

柴卓野¹, 曹占伟², 彭泽均², 孙宝芝²

(1. 海军装备技术研究所, 北京, 102442;

2. 哈尔滨工程大学 动力与能源工程学院, 黑龙江 哈尔滨, 150001)

摘要: 红外诊断技术是一种遥感诊断方法, 为舰船机电设备故障诊断提供了可靠的保证。本文阐明了机电设备故障红外诊断需要研究的基础问题, 并就机电设备故障的红外诊断的基本原理、基础研究问题、传热学研究等基本问题进行了一系列探讨。

关键词: 红外诊断技术; 故障诊断; 基础问题

0 引言

随着海军舰船装备技术的不断提高, 各种新装备及新技术的应用越来越复杂, 对舰船装备故障诊断维修提出了更高的要求。为了确保机电设备正常运转, 需要对机电设备实施经常性的技术状态检测工作。

红外热像检测技术是一种非接触、直观、准确、灵敏度高、快速、安全、应用范围广泛的测定物体表面温度场分布的方法。国外红外热像仪的工业化应用始于 20 世纪 60 年代中期^[1-3], 最早应用的电力部门是瑞典国家电力局, 他们成功地运用红外热像仪对电器设备进行故障诊断, 效果十分明显。目前红外技术在国内的电力行业中也得到了广泛的应用。近些年来, 应用红外故障诊断技术对舰船机电设备进行诊断检测, 已经逐步显示出其经济性与优越性。

1 机电设备故障红外诊断原理^[4]

严格来说, 机电设备故障红外诊断原理, 应包括下列三个方面的基础知识:

1.1 机电设备红外诊断的物理基础

机电设备故障红外诊断的物理基础, 着重研究各种电力设备的主要故障模式(故障形态)、故障机理(产生故障的物理、化学原因)、故障随时间的发展演变规律和故障的统计规律。

1.2 机电设备红外故障诊断的数学基础

对于设备故障的红外诊断而言, 诊断数学基础主要应该包括两个方面的知识, 一是设备内部故障信息传递的数学分析方法(温度场传递的正向算法和反向算法); 二是诊断信息采集、处理和逻辑判断的数学原理与方法。

1.3 故障信息的红外检测原理

在设备故障红外诊断过程中, 因为故障信息(故障发热产生的温度场)是以红外辐射能



量为信息载体被检测出来的,所以,必须掌握物体红外辐射能量发射、传输、与探测规律,以及各种因素对故障信息和探测的影响规律和应该采取的对策措施。

2 机电设备故障红外诊断的基础研究内容

2.1 故障起因与发热机理^[5]

任何诊断科学,“病因”和“病理”的研究都是十分重要的基础研究,机电设备故障红外诊断也不例外。虽然各类设备众多不同故障的起因千差万别,但是归纳起来,主要表现为发热与温度分布异常。这也正是运用红外方法诊断设备各种内外故障的基础。因此,通过各种故障发热机理的研究,不仅可以明确进行红外诊断的可行性,也为故障识别提供理论依据。

2.2 设备主要故障模式及机理

对于机电设备的诸多故障,如果从红外检测与诊断的角度讲,大体可分为两大类,即外部故障和内部故障。分析研究设备故障的主要模式、产生原因和出现热分布异常的机理与规律显得至关重要。

(1) 电阻损耗(铜损)增大故障

机电设备导电回路中的金属导体都存在相应的电阻,当通过负荷电流时,必然有一部分电能按焦耳-楞次定律以热损耗的形式消耗掉。由此产生的发热功率为

$$P = K_f I^2 R \quad (1)$$

式中: P 为发热功率, W; I 为通过的负荷电流, A; K_f 为附加损耗系数。

K_f 表明在交流电路设计中计及趋肤效应时使电阻增大的系数。当导体的直径、导电系数和磁导率越大,以及通过的电流频率越高时,趋肤效应和邻近效应越显著,附加损耗系数和磁导率越大,以及通过的电流频率越高,趋肤效应和邻近效应越显著,附加损耗系数 K_f 值也就越大。因此,在大截面积母线中,其影响往往不可忽略。但是对于股绞线或空心导体,均可认为 $K_f = 1$ 。

(2) 介质损耗(介损)增大故障

除导电回路外,由固体或液体(如油等)电解质构成的绝缘结构也是许多机电设备的重要组成部分。用作电器内部或载流导体附近绝缘介质材料,在交变电压作用下引起的能量损耗,通常称为介质损耗,由此产生的损耗功发热功率表示为

$$P = U^2 \omega C \tan \delta \quad (2)$$

式中: C 为介质的等值电容, F; $\tan \delta$ 为绝缘介质损耗因数或介质损耗角正切值。

由于绝缘电介质因介质损耗产生的发热功率与所施加的工作电压平方成正比,而与负荷电流大小无关,因此称这种损耗发热为电压效应引起的发热。由式(2)可知,即使在正常状态下,内部和导体周围的绝缘介质在交变电压作用下,也会有介质的损耗发热。当介质的绝缘性能出现故障时,会引起绝缘介质损耗(或绝缘介质损耗因数 $\tan \delta$) 增大,因此导致介质损耗发热功率增加,设备运行温度升高。

(3) 铁磁损耗(铁损)增大故障

对于由绕组或磁回路组成的设备,由于铁芯的磁滞、涡流而产生的电能损耗称为铁磁损

耗或铁损。如果由于设备结构设计不合理、运行不正常,或者由于铁芯材质不良,铁芯片间绝缘受损,出现局部或多点短路,可分别引起回路的磁滞或饱和,或铁芯片间短路处产生短路环流,增大铁损并导致局部过热。

(4) 电压分布异常和泄漏电流增大故障

有些设备(如舰船输电线路绝缘子)在正常运行状态下,都有一定的电压分布和泄漏电流,但是,当出现某些故障时,将改变其分布电压 U_d 和泄漏电流 I_g 的大小,并导致其表面温度分布异常。此时的发热虽然也属于电压效应发热,但发热功率不同于式(2)给出的结果,而是由于电压与泄漏电流的相乘积决定

$$P = U_d I_g \quad (3)$$

(5) 缺油及其他故障

油浸设备由于渗漏或其他原因而造成缺油或假油位,严重时会引起油面放电,并导致表面的温度分布异常。这种特征,除放电时引起发热外,通常主要是由于设备内部油位面上下介质热物性参数值得不同所致。

除了上述各种主要故障模式以外,舰船机电设备由于特殊的运行方式,如过负荷、电压过大、单相运行等原因引起的故障。此外还有由于设备冷却系统设计不合理、堵塞及散热条件差等引起的热故障。

3 红外故障诊断传热学研究

由于红外辐射在固体中的穿透能力很低,设备内部的故障信息只能通过设备内部各相关部件及介质的传热过程,把内部故障发热传递到表面并形成特定的温度场。因此,传热学研究是设备内部故障红外诊断的基础研究课题。

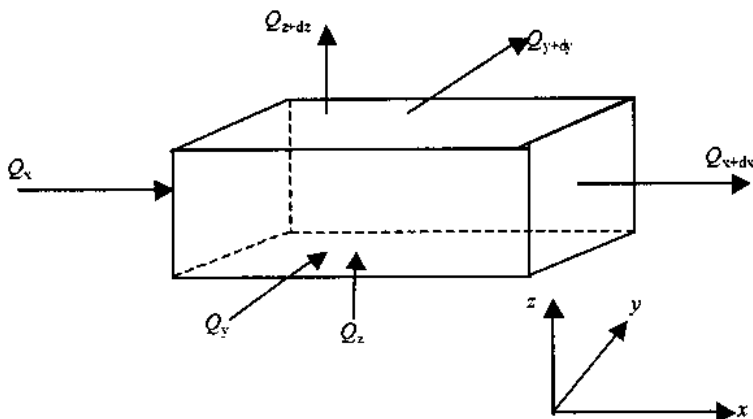


图1 微元平行六面体的导热热分析

对于一维导热问题,只要对傅里叶定律表达式进行积分,就可以得到沿 x 方向的温度场分布。但是对于多维导热问题,则必须考虑不同坐标方向间导热的相互联系问题,为此,考查物体内一个微元六面体的导热过程(如图1)。

设物体的材料热导率 λ ,比热容 c 和密度 ρ 等参数均为常量,根据傅里叶定律,通过

$x = x$ 、 $y = y$ 、 $z = z$ 三个表面流入微元的热流量分别为

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -\lambda \frac{dT}{dx} dydz \\ Q_y &= -\lambda \frac{dT}{dy} dx dz \\ Q_z &= -\lambda \frac{dT}{dz} dx dy \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

而通过 $x = x + dx$ 、 $y = y + dy$ 、 $z = z + dz$ 三个表面流出微元体的热流量分别为

$$\left. \begin{aligned} Q_{x+dx} &= -\lambda \frac{\partial}{\partial x} \left(T + \frac{\partial T}{\partial x} dx \right) dydz \\ Q_{y+dy} &= -\lambda \frac{\partial}{\partial y} \left(T + \frac{\partial T}{\partial y} dy \right) dx dz \\ Q_{z+dz} &= -\lambda \frac{\partial}{\partial z} \left(T + \frac{\partial T}{\partial z} dz \right) dx dy \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

如果物体内部没有内热源，则在物体内部各点温度不随时间变化的稳态条件下，根据能量守恒定律，流入微元体的热流量必然等于流出微元体的热流量。因此，式(4)、式(5)可以得到

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dx dy dz = 0 \quad (6)$$

如果能把实际问题简化为一维稳态无内热源导热问题，则式(6)可简化为

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (7)$$

对于物体内部各点温度分布随时间变化的非稳态及有内热源的导热问题而言，根据能量守恒定律，流入微元体的总能量 ($Q_x + Q_y + Q_z$) 与微元体内热源的生成热 ($\dot{Q} dx dy dz$ ，其中 \dot{Q} 为单位体积内热源的生成热) 之和，必等于流出微元体的总能量 ($Q_{x+dx} + Q_{y+dy} + Q_{z+dz}$)

与微元体内能量的增量 ($\rho c \frac{dT}{d\tau} dx dy dz$) 之和。因此，考虑到式(4)、式(5)可以得到恒

定热物性材料的非稳态、有内热源的普遍性导热微分方程式为

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\dot{Q}}{\rho c} \quad (8)$$

式中： α 为热扩散系数或导温系数。 α 值越大，表明材料内温度变化传播的速度越快。或者说，热扩散系数越大，物体内部温度平均能力越强。

上述给出的导热微分方程式都是假设材料热导率 λ 为常量。若物体的材料热导率不是常量，而是空间位置的函数，则属于变热导率问题。在这种情况下，非稳态、有内热源的导热微分方程具有如下形式



$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{Q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (9)$$

导热微分方程是描述某类导热过程共性的数学表达式,也是研究一切问题的出发点。在机电设备红外故障诊断的理论研究中,必须从导热微分方程的理论出发,根据问题性质和需要,求解导热微分方程,取得物体内部温度分布空间分布与表面热特征。然而,在求解实际设备内部故障红外诊断问题时,不仅希望得出导热微分方程的通解,而且更重要的是要求出满足实际问题附加条件的特解。在一般条件下,非稳态导热微分方程问题的定解条件包括初始条件和边界条件;对于稳态导热问题,定解条件不包括初始条件,只有边界条件,常见的边界条件有如下三类:

(1) 第一类边界条件

这类边界条件规定了边界上的已知温度(分布)值,其中最简单的情况是规定边界温度分布某个恒定值($T_s = \text{常数}$)。对于非稳态导热问题而言,这类边界条件要求在边界条件上的温度(分布)值是某种随时间变化的函数

$$T_s(t > 0) = f_1(t) \quad (10)$$

(2) 第二类边界条件

规定了边界上的热流密度(分布)值,最简单的情况是规定边界上的热流密度值($q_s = \text{常数}$)。对于非稳态导热问题,这类边界条件规定在非初始时刻,沿边界法线方向的热流密度是某个随时间变化的函数

$$q_m(t > 0) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = f_2(t) \quad (11)$$

(3) 第三类边界条件

这类边界条件规定了所研究物体表面与周围流体之间的换热系数 h ,以及周围流体介质温度 T_f (或环境大气温度 T_a)。以物体冷却过程为例,这类边界条件可表示为

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = h(T_s - T_f) \quad (12)$$

4 红外故障诊断影响准确性因素与对策

红外测温技术的关键是检测结果的真实性和可靠性,判断缺陷部位的准确性和合理性。因此,在红外检测中发现设备温度异常,特别是根据外部热场变化对设备内部定性的缺陷判断,需要排除各种可能的干扰因素,进行分析、比较、确认,防止把正常运行的设备判断为异常,或把存在缺陷的设备判断为正常。因此,在电气设备的红外诊断中,了解影响温度测量准确性的因素并采取相应的措施是红外诊断技术中一项很重要的技术内容。





4.1 大气吸收的影响

在红外线的传输过程中,由于大气的吸收作用总要受到一定的能量衰减,即使选择波长区域在红外线穿透能力很强的“大气窗口”的范围,也不能全部通过,造成这种衰减的主要原因之一就是由于大气吸收的影响。

辐射能量在大气吸收的衰减程度可有大气模式补偿,此模式可以计算出大气的吸收程度与物体距离、相对湿度及大气湿度的反应关系,但目前大多数仪器没有作如此补偿,以致造成误差。因此,在舰船机电设备诊断时,空气湿度最好低于75%的环境下进行,否则应进行大气模式补偿以降低测量误差,才能取得较好的效果,以便对设备热缺陷的准确判断。

4.2 大气尘埃及悬浮粒子的影响

大气中的尘埃及悬浮粒子的存在是红外线辐射在传输过程中能量被衰减的又一个原因。这主要是由于大气尘埃和其他悬浮粒子的散射作用的影响,使红外线辐射偏离了原来的传播方向而引起的。因此,红外测温应在无尘或较清新的环境条件下进行。

4.3 风力的影响

当被测得设备处于风力较大的条件下,由于受到风速对流冷却的影响,存在发热缺陷的热量会被风力加速散发,使裸露导体及接触体的散热条件得到改善,散热系数增大,从而使热缺陷的温度下降。如风速在1.5 m/s左右时,由于风力正面方向强制对流冷却的影响,大约可使接触部位的温度下降一半。若风速超过0.5 m/s的环境条件下进行检测,需要进行风速修正^[6]。

(1) 当风速小于1.5 m/s时,定量检测值可按下式进行修正

$$\tau_0 = \tau_v \exp(v/W) \quad (13)$$

式中: τ_0 为无风时的温升, K; τ_v 为风速为 v 时的温升, K; v 为风速, m/s; W 为衰减系数,迎风取1.3,背风取0.9。

(2) 当风速大于1.5 m/s时,定量检测值可按下式进行修正

$$\tau_{01} = \tau_{02} (v_2 / v_1)^{0.448} \quad (14)$$

式中: τ_{01} 为在风速 v_1 下的温升, K; τ_{02} 为在风速 v_2 时的温升, K。

4.4 辐射率的影响

辐射率 ε 值的大小与物体的材料、形状、表面粗糙度、凹凸度、颜色、厚度等有关。总体上说红外测温装置从物体上接收到的辐射能量大小与该物体的辐射率 ε 成正比。对运行的机电设备进行红外测温诊断时,一般只求出相对温度的变化,不必对辐射率 ε 的精度过分苛求,但要进行绝对温度准确测量时,必须事先知道被测设备的辐射率,否则测出的温度将于实际值有较的误差,最大时可达19%。因此,红外故障诊断时要确定被测设备的辐射率 ε 。当仪器本身附设定标准的黑体附件时,首先要用具有标准辐射率的定标物体确定定标标准温度的辐射率。若仪器本身没有定标器件(特别是红外热像仪),应该校正被测物体的辐射率。



4.5 临近物体辐射的影响

当临近设备温度比被测设备的表面温度高很多或低很多,或被测设备本身的辐射率很低时,临近设备的辐射率将对被测设备的测量造成影响。因此,当临近设备对被测目标存在热辐射反射影响时,应选择正确的测试角度和位置,或设置必要的屏蔽措施才能消除反射干扰的影响。

4.6 设备负荷率对温升的影响^[7]

设备负荷率越高,缺陷部位温升越高,缺陷报漏越明显,根据焦耳定律,发热能量与温升的平方成正比,即

$$\Delta t_2 / \Delta t_1 = (I_2 / I_1)^2 \quad (15)$$

式中: t_1 为负荷电流 I_1 时的温升; t_2 为换算到负荷电流 I_2 时的温升。

以上是对影响机电设备红外技术诊断结果各种可能因素进行的分析探讨,并针对这些干扰因数,提出了相应的对策,以提高检测的准确性和置信度。

5 结 论

通过对机电设备红外诊断技术的故障机理研究、传热学研究、故障影响因素研究,得出了红外故障等基础性问题一系列理论结论,对红外故障诊断指明了研究方向。红外故障诊断技术是红外技术与多学科相结合的产物,但该领域的基础理论研究仍比较落后。欲使红外故障诊断这一先进技术进一步成熟和完善,还需要进一步研究许多基础问题。尤其是在传热学正问题的基础上,应对其反问题进行理论研究,找出设备内部故障发热的位置和发热量,从而借助计算机对设备内部故障作出定位和定量诊断。结合舰船机电设备的特殊性,在故障诊断中对影响因素进行适当修正,以更好的满足舰船运行维修的需要也是今后研究的重要内容。

参考文献

- 1 付冬梅, 李晓刚, 唐争化. 基于相对温差法的电器设备故障红外诊断方法与软件开发[J]. 红外技术, 2002(5).
- 2 ROBERTS C C. The application of infrared thermal graphy in fire and explosion investigation [A]. SPIE[C], 1988, 934.
- 3 David J T. Infrared evaluation of an underground steam distribution system[A]. SPIE[C], 1987, 780.
- 4 陈衡, 侯善敬. 电力设备故障红外诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- 5 陈衡. 电气设备故障红外诊断中的基础研究问题[J]. 电力情报, 1997(1).
- 6 DL/T 664 - 1999. 带电设备红外诊断技术应用导则[S]. 1999.
- 7 董其国. 红外诊断技术在电力设备中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.



基于混合神经网络的柴油机故障诊断技术研究

熊玲¹, 张晓丽²

(1. 海军装备技术研究所, 北京, 102442; 2. 西安交通大学, 陕西 西安, 710049)

摘要: 柴油机是一种典型的往复式动力机械, 结构复杂决定了对其进行故障诊断的困难性。本文提出了一种基于 ART+BP 混合神经网络的柴油机故障诊断策略, 具有较高的准确性。并在柴油机故障诊断中得到了很好的应用。

关键词: 柴油机; BP 神经网络; ART-2 神经网络; 故障诊断

1 基于神经网络的柴油机故障诊断技术研究现状

舰用柴油机因其高热效率和动力性成为舰船的动力心脏, 它的安全可靠运行与否直接影响整个舰船的安全稳定运行, 因此提高其故障诊断的有效性, 具有显著的实际应用价值。目前对柴油机故障进行诊断的方法很多, 其中基于神经网络的柴油机故障诊断方法是准确性较高、应用最为普遍的一种方法。

神经网络是从本质上模拟专家直觉且通过量化过程来解决知识中的不确定性问题, 它的一个成功应用就是根据先前知识进行对所研究系统的学习来实现正确分类。故障诊断过程就是从被诊断系统的某些检测量得到故障征兆信息, 经过对这些征兆信息分析处理, 判断故障源的过程。基于人工神经网络的故障诊断技术, 就是通过对故障信息和诊断经验的训练学习, 用分布在网络内部的连接权值来表达所学习的故障诊断知识, 所以它具有对故障模式的联想记忆、模式匹配和相似归纳的能力, 体现故障与征兆之间复杂的非线性映射关系。

众多研究工作者都在努力探索着满足柴油机自身特性的实用的方法: Gu 和 Du 等人应用 RBF 神经网络利用振动信号重构气缸压力; Lucas 等人利用神经网络实现了多状态参数(扭矩、转速、负载等)下排放的建模, 为实现利用排放进行故障诊断打下了基础。神经网络与其他理论方法相结合是一个很好的研究方向, Dote 等提出了基于神经网络和 AR 参数模型的故障诊断方法; 李智等利用图像特征的神经网络识别法实现了气门的故障诊断; 另外, 神经网络结合模糊理论实现了排气噪声的预测、柴油机燃油系统的故障诊断及冷却系统的故障诊断。

2 混合优化算法的提出

柴油机结构复杂, 容易发生故障, 并且造成其故障的因素十分复杂, 即存在单一类的故障, 也存在多故障并存于一台柴油机的现象, 而且还会出现异常类故障。对于这些复杂故障的诊断问题, 在实时使用中仅仅依靠单一神经网络技术的故障诊断已经无法满足要求, 因此

采用神经网络必然受到限制,具有一定的误判率。

一个有效的方法就是进行网络算法优化。神经网络优化算法就是利用神经网络中神经元的协同并行计算能力来构造的优化算法,它将实际问题的优化解与神经网络的稳定状态相对应,把对实际问题的优化过程映射为神经网络系统的演化过程。然而,随着科技的发展和工程问题范围的拓宽,问题的规模和复杂度越来越大,传统算法的优化结果往往不够理想,同时由于各算法的本身性质决定了特点,因此单一算法的性能改进程度有限。

基于这种现状,算法混合的思想已发展成为提高算法优化性能的一个重要且有效的途径,其出发点就是使各种单一算法相互取长补短,产生更好的优化效率。近年来,混合优化策略得到了较广泛的应用,并取得了理想的效果,其设计与分析已成为算法研究的热点。

目前混合算法的结构类型主要可归纳为串行、镶嵌和并行结构。

串行结构的一种最简单的结构,如图1所示。串行结构的混合算法是吸收不同算法的优点,用一种算法的搜索结果作为一种算法的起点依次来对问题进行优化,其目的主要是保证在一定的优化质量的前提下提高优化效率。设计串行机构的混合算法需要解决的问题主要是确定算法的转换时机。

混合算法的镶嵌结构如图2所示,它表现为一种算法作为另一种算法的一个优化操作或用作搜索性能的评价器。前者混合的思想主要是鉴于各种算法优化机制的差异,尤其是互补性,进而克服单一算法早熟和陷入局部极小。设计向前结构的混合算法需要解决的问题主要是子算法与嵌入点的选择。

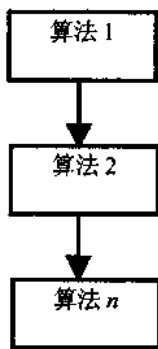


图1 串行结构

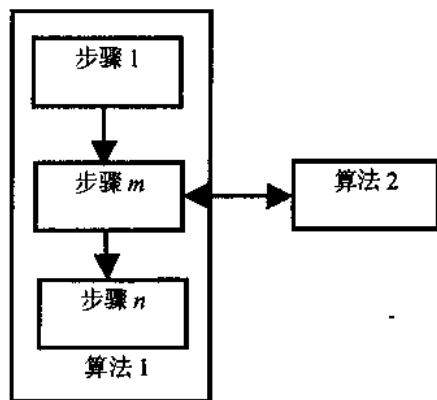


图2 镶嵌结构

混合算法的并行结构如图3所示,它包括同步式并行、异步式并行结构。在并行结构中有一个算法作为主过程(算法A),其他过程作为子过程,子过程间一般不发生通信。同步方式中主过程与子算法是一种主仆关系,各子算法的搜索过程相对独立,而且可以采纳不同的搜索机制,但与主过程的通信必须保持同步。异步方式中各子算法通过共享存储器彼此无关地进行优化,与主过程的通信不受其他子算法的限制,其可靠性有所提高。问题分解与综合以及进程间的通信问题是设计并行结构的混合算法需解决的主要问题。



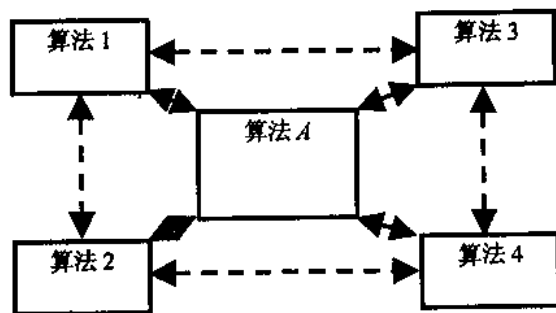


图3 并行结构

3 ART-2+ 并行 BP 混合优化策略的建立

3.1 ART-2+ 并行 BP 的构造出发点

客观世界中任何事物都是利弊同时存在的,采用单一的神经网络算法进行故障诊断存在一定的问题。ART-2 模型是一种自组织的网络模型,采用无监督的竞争学习规则,不存在并行 BP 算法对样本知识的强烈依赖性问题,能正确识别出异常类故障,且识别速度快。但是,该模型是通过聚类来完成模式分类任务的,它不能进行故障严重性评估和发展趋势预测,并且无法进行并发故障的诊断识别。而并行 BP 网络具有较强的非线性逼近能力,能进行故障模式识别,还能进行故障严重程度评估和故障预测,并且将每种故障分别建立学习网络和诊断网络(多故障学习及诊断模型),将使得网络规模大大减小,网络的归纳、联想能力将大幅度增强,很好地解决了并发故障的诊断识别。但是,并行 BP 算法用于故障诊断存在一个突出问题,即对异常类故障的处理能力低以及不具备增量学习能力。

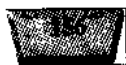
因此,本文将自适应谐振理论 ART-2 和并行 BP 神经网络结合在一起,建立了针对柴油机复杂系统的故障诊断模型。在 ART-2+并行 BP 混合学习策略中根据 ART-2 算法自适应学习特点和并行 BP 算法的解决并发故障的能力,采用以 ART-2 算法为主框架,并在学习过程中引入 BP 策略。

3.2 方案分析

ART-2 模型是通过聚类来完成模式分类任务的,属于“硬分类”。当故障模式分布复杂,多故障同时发生时,ART-2 将失去方向感,识别为新故障的发生。而在 ART-2 算法中引入并行 BP 算法,可以赋予优化过程在异常类故障状态具有可控性,尤其在多种已有故障模式同时发生的时候,是避免误判的有力手段。

并行 BP 算法对异常类故障的处理能力低以及不具备增量学习能力。由于混合优化策略中 ART-2 对异常类故障的处理和记忆增量学习能力,避免了并行 BP 算法对单一新故障的识别过程,加大了打破僵局的可能。

综上所述,采用这种组合结构,既可以是网络具有对异常类故障的处理记忆增量学习能



力,又利用了并行BP的归纳联想能力,解决了单个神经网络在故障诊断中出现的问题。采用并行BP网络对ART-2网络诊断为异常类的故障再次进行诊断识别,可以最大限度地提高了确诊率。

3.3 优化策略设计

基于并行BP的诊断模型的诊断能力完全依赖于知识库中的现有知识,当一种新的异常征兆出现时,很可能由于找不到最佳匹配而导致无法诊断或者错误诊断;基于ART的诊断模型虽然能正确识别出异常类故障,对于并发故障会诊断为异常类故障,存在着应用方面的局限。解决这种复杂的模式识别问题的一个有效途径是将有监督算法与无监督算法集成起来进行求解,即采用ART网络为主,进行柴油机故障的实时诊断,并识别异常类故障,而以并行BP网络为辅,识别并发故障,图4所示为诊断模型的原理结构框图。

首先将准备好的待测样本输入至ART网络。ART网络属于竞争网络,输出单元中只有一个神经元获胜,由于对于并发故障会误识别为新的故障类型,为此,采用并行BP网络进行并发故障与新型故障的分离,从而完成多故障的综合识别诊断。

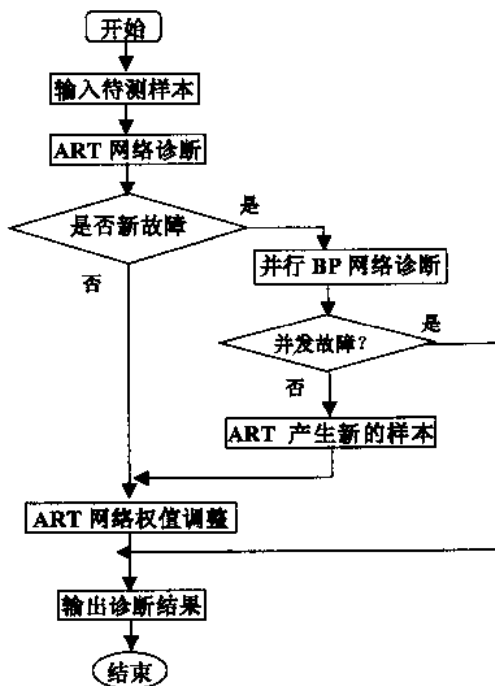


图4 诊断模型原理结构框图

4 ART+BP神经网络在柴油机故障诊断中的应用

为验证模型的合理性,采用6135ZG柴油机的缸盖系统故障数据进行调试验证,其工况条件为:转速1000 r/min、轻微负载。

据研究结果,缸盖表面正对各缸中心处测点对缸进排气门激励和气缸爆压激励响应最为敏感,所以选为振动测点。对6缸内燃机缸盖系统选6个测点,测得6路振动信号,描述内燃



机缸盖系统状态模式。由于激励源的状态表现为能量变化,从而引起表面振动信号能量变化,改变缸盖系统模式状态。所以,选择时域信号均方根值为特征参数。根据模式分解结果,各缸盖系统模式可用各缸测点的振动信号均方根值来描述,即

$$E = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6)$$

试验模拟了 2 缸排气门间隙大、3 缸进气门间隙大、3 缸排气门间隙大、4 缸气缸爆压消失、4 缸气缸爆震等 5 种故障,设置为 5 种标准状况和 5 种待检状况。表 1 给出了 5 种模式样本(已经归一化),将这些样本用于网络训练。表 2、表 3 为待识别样本和识别结果。

表 1 标准故障模式试验数据

序号	标准模式	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
1	2 缸排气门间隙大	1.000 0	0.731 2	1.000 0	0.521 7	0.210 1	0.092 1
2	3 缸进气门间隙大	0.705 1	0.512 3	1.000 0	0.523 1	0.232 1	0.051 8
3	3 缸排气门间隙大	0.816 1	0.971 6	1.000 0	0.823 4	0.473 1	0.067 3
4	4 缸气缸爆压消失	1.000 0	0.527 5	0.621 7	0.078 9	0.178 9	0.009 1
5	4 缸气缸爆震	0.932 7	0.681 2	1.000 0	0.376 9	0.272 0	0.037 1

表 2 待诊断试验数据

序号	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	故障模式
1	1.000 0	0.428 9	0.521 7	0.091 2	0.201 3	0.008 1	待识别
2	0.800 1	0.712 1	1.000 0	0.623 1	0.327 8	0.061 7	待识别
3	1.000 0	0.812 1	0.531 1	0.412 5	0.112 7	0.068 1	待识别
4	1.000 0	0.527 5	0.621 7	0.078 9	0.178 9	0.009 1	待识别
5	0.932 7	0.681 2	1.000 0	0.376 9	0.272 0	0.037 1	待识别

表 3 ART-2 网络诊断结果

序号	ART 诊断结果	实际故障
样本 1	4 缸气缸爆压消失	4 缸气缸爆压消失
样本 2	新故障	3 缸进气门间隙大、3 缸排气门间隙大
样本 3	新故障	新故障
样本 4	4 缸气缸爆压消失	4 缸气缸爆压消失
样本 5	4 缸气缸爆震	4 缸气缸爆震

可以看到,第 2 和第 3 组数据诊断结果为新故障,实际模拟的第 2 个样本是 3 缸进气门间隙大和 3 缸排气门间隙大并发故障,第 3 个样本数据为 1 缸进气门间隙大。这说明单一 ART-2 神经网络不能诊断并发故障,只是识别为一种新的故障类型。其他的样本诊断结果均与实际模拟结果一致。

将同样的 5 组数据输入到本文新建的综合模型中,其诊断结果见表 4 所示。

表4 ART+BP神经网络诊断结果

序号	新型神经网络诊断结果	实际故障
样本1	4缸气缸爆压消失	4缸气缸爆压消失
样本2	3缸进气门间隙大 置信度: 0.52 3缸排气门间隙大 置信度: 0.48	3缸进气门间隙大、3缸排气门间隙大
样本3	新故障	新故障
样本4	4缸气缸爆压消失	4缸气缸爆压消失
样本5	4缸气缸爆震	4缸气缸爆震

对于样本1和3~5的诊断结果不变,而样本2被诊断为3缸进气门间隙大和3缸排气门间隙大的并发故障,与实际模拟故障相符。

5 结 论

从表3和表4可以看出,新建的神经网络模型的诊断测试结果明显优于单一ART或者并行BP网络。表现为如下几个基本方面:第一,算法速度快,且是自稳定的,具备增量学习能力;加入新样本时,不必使整个网络重新学习;第二,既能诊断单故障又能诊断并发故障,并且具有识别新故障的能力。表2中的第2组数据,实际对应的是3缸进气门间隙大和3缸排气门间隙大组合故障,由于ART诊断为新故障,自动转入并行BP网络进行确认和分辨,排除了全新故障,最终输出为3缸进气门间隙大和3缸排气门间隙大的并发故障,与实际模拟故障相符。

从以上实例看出:新型神经网络模型既可以解决并发故障诊断问题也可以解决新的故障类型诊断问题,这使得人工神经网络技术在柴油机等大型机械故障诊断中的应用向实用化方向前进了一步。在实际应用中,有些样本可能存在有较大的误差,因此应对特征进行合适的选择和增加新的特征使得各个故障均能正确分开。在并发故障样本中,由于特征组合,并行BP网络也可能诊断出其他故障,这也和人工诊断很相似。在实际应用中,应将其作为故障分析的一种参考。



某船主推进电机电流值过高故障排除

邵茂良, 焦宇飞

(91287 部队)

某船进厂进行设备加改装, 驻坞期 1 个月, 出坞后靠泊工厂码头 3.5 个月, 靠泊期间后 2.5 个月未动过车, 出厂试航时发现主推进电机电枢及励磁电流值过高。该船采用单桨推进, 驱动方式为电力传动, 螺旋桨为 7 叶大侧斜桨, 在厂驻坞期间, 对螺旋桨进行过清洁保养, 船体、轴系、主电机仅进行过常规检查保养, 未进行过拆修。

1 故障现象

试航中发现: (1) 主推进电机前后电枢电流值过高, 在低速时(前进一、前进二), 经过几次工况转换, 电枢电流值有时在正常范围, 有时超出正常范围。在高速时(前进三、前进四), 经长时间运转和多次工况转换, 电枢电流、励磁电流值增多超出正常范围。(2) 主控制板上电枢电流表、励磁电流表、风机电流表指针读数均存在波动, 电枢电流波动幅度在 50 A 左右。

表 1 主推进电机工作正常时运行参数

工况	转速/(r/min)	前电枢电流/A	后电枢电流/A	前励磁电流/A	后励磁电流/A
前进一	70	450~550	450~550	17	19
前进二	90	1 000~1 100	1 000~1 100	12	13
前进三	120	1 000~1 100	1 000~1 100	17	19
前进四	150	2 150~2 400	2 150~2 400	12	14

表 2 主推进电机试航期间部分运行参数

工况	转速/(r/min)	前电枢电流/A	后电枢电流/A	前励磁电流/A	后励磁电流/A
前进一	70	650	600	17	19
	70	526	516	17	19
	71	590	581	18	19
	70	483	473	17	19
前进二	90	1 193	1 128	13	14
	90	982	973	12	13
	90	1 062	1 048	13	14
前进三	120	1 367	1 229	21	23
	120	1 430	1 263	22	24
	120	1 384	1 259	22	24
前进四	149	2 868	2 765	20	18
	150	2 863	2 793	20	18
	151	2 957	2 866	20	18
	150	3 017	2 908	19	18

对比表 1、表 2 可以看出,在前进一、前进二时,主机电流值在正常值上限上下波动;在前进三时,主机电流值超出正常值 150~330 A;在前进四时,主机电流值超出正常值 360~620 A。

2 故障分析

故障发生后,经分析造成主推进电机电流值过高的原因主要有以下几个方面:

(1) 推进电机及其控制设备方面的原因。励磁调节器工作不稳定、电枢线圈匝间短路、励磁绕组短路、电刷不在中心位置、测速发电机故障、测量仪表不准等。

(2) 轴系方面的原因。轴系中心线偏移、轴系异常振动、艉轴及隔墙填料函过紧、艉轴气胎密封装置误供气、轴或托架有异物缠绕钩挂、轴承(支点、推力、艉轴管)故障等。

(3) 船体方面的原因使艇阻力增大。船体线形变化、船体外应收回的装置未收回、船体海洋附生物增多、船体外钩挂了异物等。

(4) 螺旋桨方面的原因。螺旋桨卷边等损坏改变了桨原有形态、异物缠绕钩挂、海洋附生物增加等。

(5) 载荷及海况方面的原因。载荷增加、航行区海流异常使船体阻力增大、浅水效应等。

3 故障排除

首先检查了主推进电机及其控制设备:主电机换向器火花正常,电机轴承、推力轴承温度正常、供油正常,控制系统操作正常,未发现异常声音和气味。其次检查了轴系:大轴经盘车转动正常,盘车电机电流值正常,艉轴管密封装置松紧正常,艉轴气胎没有误供气,隔墙填料函未锁紧,大轴运转时无异常振动,支点轴承、推力轴承温度正常。经分析初步排除由船体变形、载荷变大及海况方面的原因导致主机电流值过大。

返港后,联系潜水员潜水检查了螺旋桨、轴系水中部分,未发现螺旋桨、轴系有损坏和异物缠绕情况。慎重起见,修理厂会同部队、主电机制造厂、主推进系统研究所有关人员再次对主推进电机及其控制设备进行了全面检查,从电枢电阻值,到仪表误差、线路连接均未发现异常。第二航行进,故障现象仍然存在。

再次分析,焦点集中到艇体阻力增大和螺旋桨效率下降方面,即艇体和螺旋桨上的海洋附生物,决定在不进坞的情况下,调整船态,先清除螺旋桨上海洋附生物。在实施过程中,艇员调整油水压载,使船体产生最大艏倾,让螺旋桨叶中部露出水面。螺旋桨海生物清除后,再进行航行试验时,主机电流值恢复正常,故障排除。

通过此次故障实例,使我们认识到,海洋附生物对不同类型螺旋桨的“污桨(底)”,产生的影响差别很大。7 叶大侧斜螺旋桨海洋附生物对主机电流值的影响,远远超出其他类型船舶。部队在今后的装备管理中,当经历类似时间的停航,特别是停泊在海水富营养的港湾,应当高度重视对螺旋桨的保养。

环境温度对空气冷却器热负荷的影响

李可顺¹, 朱金标², 孙培廷¹

(1. 大连海事大学, 辽宁 大连, 116026;

2. 中波轮船股份有限公司, 上海 200080)

摘要:为了解决空冷器对环境温度的适应性, 满足柴油机燃烧的要求。采用图解的方法, 分析了船舶增压柴油机压气机运行点随环境温度的变化, 通过计算实例对其进行验证, 得出了压气机质量流量、增压空气温度和空冷器热负荷随环境温度的变化趋势, 并应用 Visual Basic 语言实现了程序化计算。所获结论有助于轮机管理人员对不同温度下空冷器的工作性能进行认识和理解。

关键词: 涡轮增压柴油机; 环境温度; 运行点; 空冷器热负荷

1 引言

为了降低增压后的空气温度, 增大进气密度, 使柴油机的循环进气量增多, 一般在压气机出口和柴油机入口之间安置空气中间冷却器, 这样可以在柴油机的热负荷不增加甚至降低, 以及机械负荷增加不多的前提下, 较大幅度地提高柴油机功率, 还可以提高柴油机的经济性, 降低排放。空冷器所带走的热量在主机冷却系统中占很大比重, 以 MAN B&W 7S80MC 机为例: 主机额定功率 (79 r/min) 25 480 kW, 空冷器热负荷 10 040 kW, 滑油冷却器热负荷 1 960 kW, 缸套水冷却器热负荷 3 850 kW, 中央冷却器总换热量 15 850 kW。

由以上数据 (在额定功率下, 环境温度: 海水 32℃, 空气 45℃的条件下测定的)^[1]可以看出, 空冷器热负荷占中央冷却器总换热热量的一半以上, 相当于主机功率的 30%~40%。

无论是船用还是车用柴油机涡轮增压器都是在某一确定静态条件下设计的, 实际上在使用涡轮增压器时, 由于地点和季节的不同, 环境条件会发生变化, 这会引引起压气机特性参数发生改变, 进而影响空冷器的热负荷。在船用条件下, 一般来说, 大气压力变化较小, 大气参数中变化大的是温度。远洋船舶航行于世界各海域, 柴油机时常在差别悬殊的环境温度下工作, 内河船舶虽不像远洋轮常年往来于各气候带之间, 但随着四季的更迭, 内河船舶柴油机环境温度的变化也有 50℃~60℃之多。因此本文着重研究环境温度对船用柴油机空冷器热负荷的影响。

2 环境温度对空冷器热负荷影响的理论分析

空冷器实质上就是一个换热器, 其带走的热量可以用下式表示

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_1 - T_0) = \dot{m}C_p\Delta T$$

式中： \dot{Q} 为热负荷，kW； \dot{m} 为空气质量流量，kg/s； c_p 为空气比热，kJ/kg·K； T_1 为空冷器入口空气温度，K； T_2 为空冷器出口空气温度，K，一般可取为定值323 K，即50℃； ΔT 为空冷器进出口空气温差，K。

为了分析方便，假设扫气箱的温度保持不变，因此影响空冷器热负荷的主要因素有两个：空气的质量流量和空冷器入口空气的温度，即压气机出口空气温度。

当船舶从寒带航行到热带时，环境温度升高，会使压气机进口温度升高，它将影响压气机运行点的位置。对这个问题作分析是比较复杂的，因为它涉及具体的压气机特性、涡轮特性和柴油机特性的一些因素。为简单起见，假设在柴油机功率、转速和燃料消耗率不变的情况下，压气机进口温度由 T_0^* （上角标“*”表示滞止参数，下同）升高至 T_0^{**} 时，经计算分析^[2]发现由热量平衡所得到的温度是低于由流量平衡和功率平衡所得到的温度。由于涡轮得到的能量不够，压气机不可能仍在原运行点运行。

为了求出新的运行点，图1^[2,3]上绘出了压气机进口温度为 T_0^{**} 时的一条等转速线1，它的折合转速和原来运行点的相同，而流量的绝对值却减小了。图上还绘出了涡轮进口温度为 T_T^* 时的涡轮通流特性。

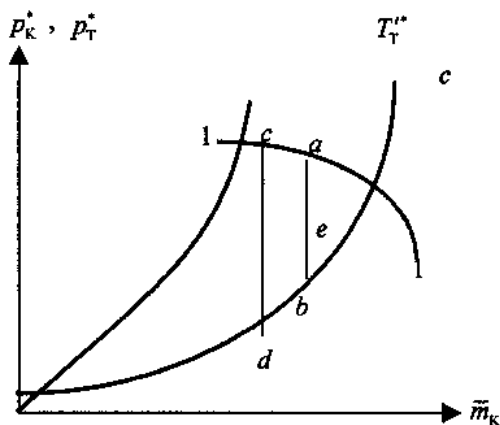


图1 压气机、涡轮通流特性图

经过分析，压气机在 c 点或 e 点工作时，都可以达到功率平衡，却不能满足流量平衡^{[2][3]}。 c 点的流量太小， e 点的流量太大，必然有一条连接 c 、 e 两点的线，这条线上各点的转速和流量都小于 a 点，并且都满足功率平衡。但在这条线上只有一点还能满足流量平衡，压气机将在这一点工作。这一点的位置和许多因素有关，主要是压气机特性、涡轮的通流特性和效率变化以及原来的运行点位置。新的运行点位于 a 点的左下方。由图可知，当压气机入口温度升高时，压比和流量都是减小的。

在中华人民共和国船舶行业标准《柴油机船舶机舱通风设计条件和计算基准》CB/T 3772—1996 附录B中提到，约有50%的通风量应送到主柴油机顶部靠近涡轮增压器进口的上面，因此压气机进口空气温度更接近环境的温度，而不是机舱空气的温度。为了研究方便，设压气机进口空气温度与环境温度相等。

3 实例计算

3.1 压气机空气质量流量的变化

压气机的空气质量流量主要取决于柴油机功率和增压系统,同时亦受环境温度和冷却系统工作性能的影响,对于MAN B&W系列的机型,可用下式估算质量流量^[1]:

$$M_{\text{air}} = M_{L1} \times \frac{P_0}{P_{L1}} \times m_0 \% \times (1 + \Delta M_{\text{amb}} \%) \times (1 + \Delta m_s \%) \times P_s \% \quad (\text{kg/h})$$

式中,“O”点为柴油机的优化工作点:

$$M_0 \% = -14.9388 \times \ln(n_0 \%) + 14.9388 \ln(P_0 \%) + 100$$

$$\Delta M_{\text{amb}} = -0.41 \times (T_{\text{air}} - 25) - 0.03 \times (p_{\text{bar}} - 1000) + 0.19 \times (T_{\text{CW}} - 25) - 0.011 \times (\Delta P_0 - 300)$$

$\Delta M_{\text{amb}} \%$ 是增压器在ISO条件下的废气质量变化量。

$$\Delta m_s \% = 0.0055 \times (P_s \%)^2 - 1.15 \times P_s \% + 60$$

P_{L1} 、 M_{L1} 柴油机在MCR处所对应的功率和流量。

以“远大湖”所用机型MAN B&W 7S80MC为例,估算流量的变化。此处假设环境的压力保持不变,冷却液(海水温度)也不变,均为ISO所规定。计算结果见表1。

表1 压气机空气流量随入口空气温度的变化

T_0 (°C)	10	20	27	45
$\dot{M} / \dot{M}_{T=10}$ (%)	100	96.1	93.4	86.4

由此可知:当主机功率一定时,空气的质量流量随环境温度升高而减少。环境温度每升高10°C,空气质量流量约减少4%。这与文献[1]试验结果相符。

3.2 空冷器入口空气温度和热负荷随环境温度的变化

因为增压器的增压比主要受柴油机负荷的影响,而受环境温度的影响很小,据试验结果^[5]表明,环境温度每上升10°C,增压比约减小1%~2%,经过计算如果忽略增压比的影响,所带来的误差约为1.6%~3.1%(假设空冷器出口空气温度即扫气为50°C保持不变,如果扫气温度越低带来的误差将越小)。因此在分析环境温度对空冷器热负荷的影响时,可以忽略不计。在主机转速不变的情况下,一定的主机负荷对应着一定的增压比。压气机的效率随环境温度的变化基本上保持不变。基于上述情况计算主机在75.6%额定负荷时,空冷器热负荷随环境温度的变化。下列参数为“远大湖”2002年4月11日试航数据^[4]:

表压力 $P_{\text{baro}} = 0.1018$ MPa, 空气过滤器压降 $\Delta P_f = 0.0003$ MPa, 空冷器压降 $\Delta P_c = 0.0012$ MPa, 压气机入口温度 $t_0 = 21$ °C, 增压器转速 $n_k = 11450$ r/min, 扫气压力 $P_{\text{scav}} = 0.189$ MPa (表压力, 一般用绝对压力) 经计算, $\pi = 2.88$, $\eta = 0.838$ 。

因为 $\dot{Q} / \dot{Q}_{\text{MCR}} = \dot{m} / \dot{m}_{\text{MCR}} (T_1 - T_0) / (T'_1 - T'_0)$ 根据表1分析和计算结果, 就可以用上式得出一



定功率和环境温度下的空冷器的相对换热量(假设空冷器出口空气温度即扫气为 50°C 保持不变),计算结果见表2。

表2 空冷器热负荷随环境温度的变化

$t_1(^{\circ}\text{C})$	10	20	27	45
$t_k(^{\circ}\text{C})$	129	144	153	179
$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	79	94	103	129
$Q/Q_{T=25}(\%)$	71	81	86	100

由此可知空冷器的热负荷随着压气机入口空气温度的升高而增加。环境温度每升高 10°C ,空冷器热负荷约增加8.3%。

4 空冷器热负荷计算程序的实现

为了简化计算,本文借助 Visual Basic 编程语言,编写了“MAN B&W 柴油机压气机空气质量流量和空冷器热负荷的计算程序”。计算程序界面如图2所示,对 MAN B&W 机型输入已知参数就可以得到压气机的相关特性参数和空冷器热负荷。



图2 空冷器热负荷计算程序

5 结束语

环境温度升高时,质量流量 m 降低,但是 ΔT 却是增加的,而且增加的幅度比质量流量减小的幅度要大,因此总的来说,空冷器的热负荷是增加的。因此轮机管理人员应该注意随着环境温度的变化不断地调节空冷器冷却液的流量,以保证扫气温度在正常范围内,也可以通过选择合适流量的泵和合适的节流元件实现空冷器的变流量冷却,满足柴油机工作要求。

参考文献

- 1 MAN B&W S80MC Project Guide 2nd Edition[Z]. 1992.
- 2 李可顺,孙培廷等.环境温度对船用增压柴油机压气机特性的影响[J].大连海事大学学报,2003(4):38-40.

- 3 曹孝瑾. 涡轮增压器与柴油机的匹配[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984: 26-32.
- 4 KAWAASAKI—MAN B&W S80MC VOLUME-1[Z]. 2002.
- 5 朱嘉象, 吴锦翔. 环境温度对四冲程涡轮增压中冷柴油机性能的影响[Z]. 1983.



改进的 BP 神经网络方法在 船舶轴系故障诊断中的应用

孟宪尧, 韩新洁, 孟 松

(大连海事大学 自动化与电气工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 由于船舶机电设备由于其运行的特殊性, 采用传统的故障诊断方法, 故障难于早期发现和排除。本研究采用遗传算法改进的 BP 神经网络方法, 进行船舶轴系故障的早期智能诊断。BP 神经网络在故障诊断中有广泛的应用, 但由于 BP 网络采用的是沿梯度下降的搜索求解算法, 存在收敛速度慢, 且容易陷入局部极小等问题。而遗传算法具有全局搜索速度快的优点。为此, 引进自适应遗传算法来优化 BP 神经网络, 使之诊断过程中的迭代次数大大提高。本文以船舶轴系的故障诊断为实例, 证明采用遗传算法优化的 BP 网络在船舶设备的故障智能诊断中可以得到理想的效果。

关键词: 船舶轴系; 故障智能诊断; 遗传算法; BP 网络

1 概 述

船舶设备的正常运行是保障航运安全的前提。在船舶设备故障诊断领域, 近年来, 由于采用了神经网络等智能诊断技术, 可以解决用传统故障诊断方法无法解决的问题。目前, 在故障诊断领域中应用较多的是前向多层神经网络, 由于该网络在学习(训练)过程中采用了 BP (Back Propagation) 算法, 故称为 BP 网络, 也称为误差反向传播网络。BP 网络对于简单的故障诊断问题性能良好, 输入层单元数一般等于特征向量的维数。输出层单元数等于故障类别数。但随着问题复杂性的增加, 误差能量函数在其空间中的全局最小点附近将出现许多的局部极小点。对于神经网络阈值的选取和权值的训练, 传统方法多是凭经验定义阈值, 用梯度法来确定其中的权值, 因此常常需要反复试验, 而且很难找到最优的权值和阈值。

遗传算法是基于生物进化机理的数学算法, 为神经网络阈值的选取和权值的训练提供了一种新途径, 可以非常灵活地对权值和阈值进行修改和优化。因此, 鉴于 BP 网络有易陷入局部最小点、难以找到最优的权值和阈值等缺点, 而遗传算法却具有的全局寻优的特点, 因此, 本文引进自适应遗传算法来优化 BP 网络的权值和阈值, 从而确定较优的拓扑结构, 提高 BP 网络学习效果和增强其预测能力。

本文以船舶轴系故障诊断为实例, 证明采用遗传算法优化的 BP 网络在船舶机电设备的故障诊断方面可以得到理想的效果。

2 遗传算法的特点

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索法。它提供了一种求解复杂系统优化问题的通用框架,它不依赖于问题的具体领域,对问题的种类有很强的鲁棒性,所以广泛应用于很多学科。如函数优化、组合优化、自动控制、机器人学、图像处理等领域。

基本遗传算法是一个迭代过程,它反复将选择算子、交叉算子、变异算子作用于群体,最终可得到问题的最优解或近似最优解。基本遗传算法提供了一种求解复杂系统优化问题的通用框架,它不依赖于问题的领域和种类。构造遗传算法时需要考虑的两个主要问题是可行解的编码方法和遗传算子的设计。对不同的优化问题需要使用不同的编码方法和不同操作的遗传算子,它们与所求解的具体问题密切相关,因而对所求解问题的理解程度是遗传算法应用成功与否的关键^[1]。图1所示为遗传算法的主要构造过程示意图。

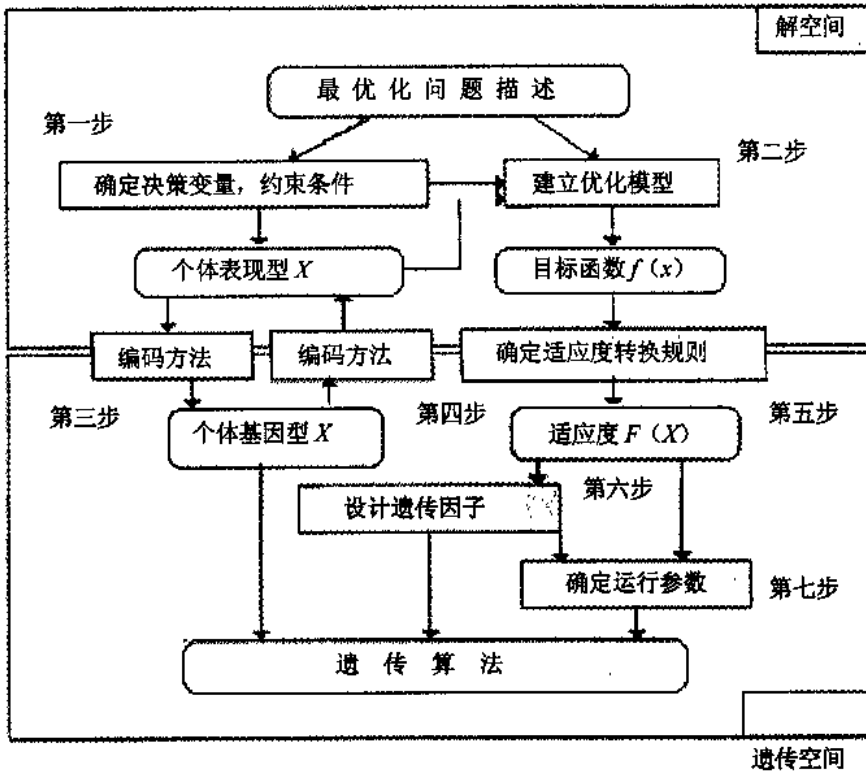


图1 遗传算法的主要构造过程示意图

目前,将遗传算法在应用于故障诊断领域中,主要有两种方法:一种是将故障诊断问题转化为最优化搜索问题,然后用遗传算法求得最优解;另一种方法是将遗传算法与其他故障诊断方法相结合,如与模糊聚类相结合,与神经网络方法相结合等。



3 遗传算法优化的 BP 神经网络模型

BP 算法的学习过程由正向传播和反向传播两部分组成,在正向传播过程中,输入模式从输入层经过隐层神经元的处理后,传向输出层,每一层神经元的状态只影响下一层神经元状态。如果在输出层得不到期望的输出,则转入反向传播,此时误差信号从输出层向输入层传播并沿途调整各层间连接权值和阈值,以使误差不断减小,直到达到精度要求。该算法实际上是求误差函数的极小值,它通过多个样本的反复训练,并采用最快下降法使得权值沿着误差函数负梯度方向改变,并收敛于最小点。但是因为 BP 网络采用的是沿梯度下降的搜索求解算法,这就不可避免地出现了网络学习收敛速度慢,以及容易陷入局部极小等问题。此外,在具体实施过程中,学习串和动量项这两个参数的选取只能凭实验和经验确定,一旦选取不当,会引起网络振荡,甚至导致网络陷入饱和状态而不收敛。为此人们提出了附加动量项、调整学习率和动量项、改进作用函数、改进 BP 算法神经网络的结构等各种改进方法^[2]。采用这些方法在不同程度上提高了学习速度,加快了网络的收敛,避免陷入局部极小。但由于 BP 算法本身是以误差平方和为目标函数,用梯度法求其最小值的算法。除非误差平方和函数是正定的,否则必然产生局部极小点。梯度下降法的迭代在向极小点靠近的过程中走的是曲折的路径,即所谓的“锯齿现象”,从而造成该算法收敛速度慢。为此,本文引入 Srinivas 提出的自适应遗传算法,对 BP 算法进行优化。自适应遗传算法中交叉率和变异率能够随着染色体适应值的改变进行自适应调整,因此,能够加快算法的收敛。遗传算法优化的 BP 算法的基本构成框架如图 2 所示:

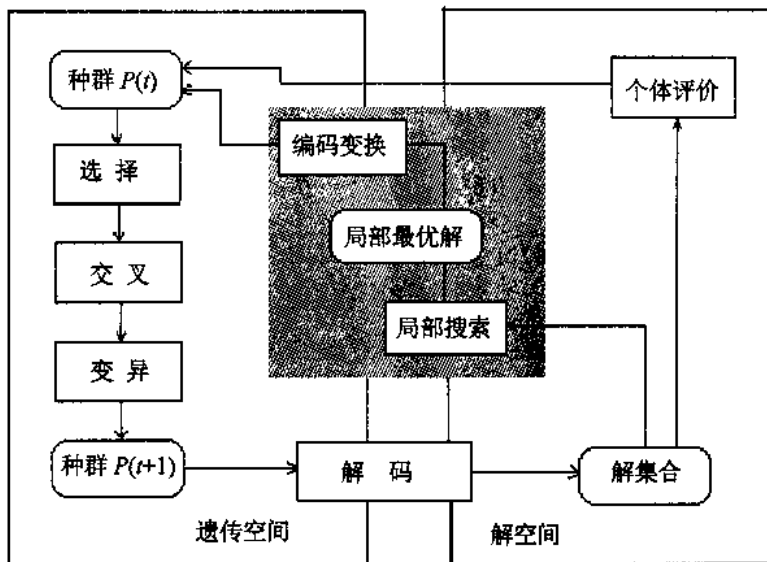


图 2 混合遗传算法构成示意图

采用遗传算法优化 BP 网络从以下几个方面进行。

(1) 编码方式: 权值和阈值采用实数编码,网络拓扑结构采用二进制编码,初始权值和阈值要求比较小,一般取 (0, 1) 之间的数。由于输入与输出节点数比较多,每个染色体由十

位二进制表示, 隐含层节点数从 0~63 中搜索。

(2) 选择策略: 根据个体的适应度函数值, 利用轮转法从父代染色体中选取相同数目的染色体组成新的染色体群。

(3) 计算染色体适应值 F : 将染色体表示的各权值和阈值分配到 BP 神经网络上, 结合训练样本集的输入和输出, 得到误差平方和 E

$$E = \sum_i^k e_i^2, \quad i=1, 2, \dots, k \text{ 代表训练样本} \quad (1)$$

(4) 自适应交叉和变异。交叉在遗传算法中起着核心的作用, 它决定了遗传算法的搜索能力。二进制编码采用单点交叉, 变异也是必需的, 它可增加样本模式的多样性, 避免种群过早收敛。实数编码的交叉方式如下

$$\begin{aligned} y_i^{(1)} &= ax_i^{(1)} + (1-a)x_i^{(2)} \\ y_i^{(2)} &= ax_i^{(2)} + (1-a)x_i^{(1)} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $a \leq p_c, 0 < a < 1, a$ 是为每一对父代染色体产生的一随机数, $i=1, 2, \dots, n$ 。

式中, $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, y_i^{(1)}, y_i^{(2)}$ 分别是两个相邻父代和两个相邻子代染色体的第 i 个变量; p_c 是每一对父代染色体的交叉率; n 为每个染色体的变量个数。

二进制编码的变异为每一个父代染色体随机产生一个在 (0, 1) 之间的数, 若它大于染色体的变异率, 则在染色体上随机选一个二进制码进行变异; 否则不变。实数编码的变异方式如下

$$\begin{aligned} y_i &= y_i + \beta(a_i - y_i), & p_m \geq \beta \geq 0.5 \\ y_i &= y_i + \beta(b_i - y_i), & \beta < 0.5 \text{ 且 } \beta \leq p_m \end{aligned} \quad (3)$$

式中: y_i 为参加变异染色体的第 i 个变量; β 为每一个染色体产生的一个在 (0, 1) 内的随机数, 它随机决定变异方向; p_m 为 i 个变量所在染色体的变异率; a_i, b_i 分别为权阈值的下限和上限, 各为 -1 和 1。通过自适应交叉和变异, 适应值高于群体平均值的个体有更大的概率进入下一代, 而适应值低于群体平均值的个体则将被淘汰, 这样可大大加快收敛速度。

4 船舶轴系故障诊断实例

目前船舶主机大多采用大型低速柴油机, 从主机到推进器之间将所有设备联结在一起的机构称为轴系, 主机和轴系的运转直接关系到船舶的正常航运, 因此, 船舶主机和轴系的故障诊断具有特别重要的意义。本位仅以船舶轴系的诊断为实例, 介绍遗传算法优化的 BP 网络在故障诊断中的应用。船舶主机轴系长、连接节点多, 由中间轴、推力轴、艉轴、推进器轴等几部分组成 (如图 3 所示), 其动力响应即有回转运动、纵向运动, 又有扭转运动, 因此, 故障现象较复杂。

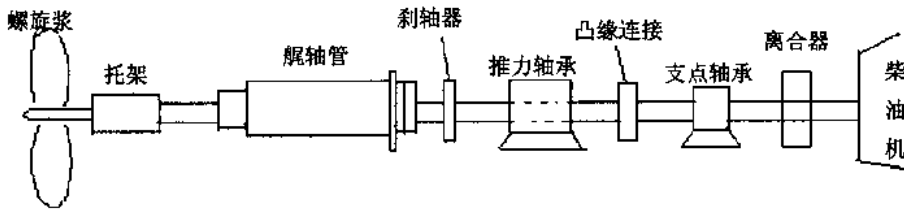


图3 船舶轴系旋转装置示意图

现仅以轴系常见的不平衡、轴向碰磨、不对中、油膜振荡等8种故障作为网络输出,利用振动信号频谱中的9个频段上的不同频率的谱峰能量值作为特征量形成训练样本,如表1所示。

表1 船舶主机轴系常见故障原因与征兆表

振动频谱 故障样本	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<0.4f	0.4-0.49f	0.5f	0.51-0.99f	1f	2f	3-5f	奇数倍 f	高频> 5f
1 不平衡	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.05	0.05	0.00	0.00
2 轴向碰磨	0.10	0.10	0.00	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10
3 不对中	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.50	0.10	0.00	0.00
4 轴承损坏	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00
5 轴裂缝	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.20	0.00	0.20
6 支撑松动	0.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
7 油膜振荡	0.10	0.20	0.00	0.10	0.20	0.30	0.10	0.00	0.00
8 间隙过大	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.20	0.20	0.00

选用本文所提出的算法程序进行研究,输入层单元数为9,对应9个频谱特征量;输出层单元数为8,对应于8种典型故障,使用7个样本对网络进行训练,网络的训练结果如表2所示。

表2 样本的实际输出

输出节点 故障样本	1	2	3	4	5	6	7	8
1 不平衡	0.9425	-0.0024	0.0015	0.0000	-0.0064	0.0001	0.0016	0.0011
2 轴向碰磨	0.0001	0.0576	0.0013	-0.0021	-0.0000	0.0009	0.0053	0.0078
3 不对中	-0.0063	0.0042	0.9920	-0.0044	-0.0097	0.0082	0.0034	0.0025
4 轴承损坏	0.0013	0.0024	-0.0080	0.9761	0.0016	0.0002	0.0011	0.0028
5 轴裂缝	0.0025	0.0066	-0.0051	0.0037	0.9921	-0.0000	0.0000	-0.0065
6 支撑松动	0.0053	-0.0000	-0.0059	0.0021	0.0010	0.9915	0.0038	0.0045
7 油膜振荡	0.0000	0.0000	0.0017	0.0001	0.0002	0.0022	0.9884	0.0081
8 间隙过大	0.0075	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0095	-0.0033	0.0066	0.9765

从表2可见,对相应的输入样本和目标样本,输出模式中相应故障节点值接近于1,非故障节点值接近于0,由此可见采用本文所提出的算法,网络对学习过的知识能够很好地记忆,完全可以对系统故障进行诊断。输入实际的故障样本,如表3。

表3 待识别的故障样本

输入节点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
输入数据	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.20	0.00	0.20
	0.10	0.22	0.00	0.09	0.20	0.31	0.10	0.01	0.00
	0.11	0.10	0.00	0.10	0.18	0.10	0.20	0.08	0.10



实际的诊断结果输出如表 4 所示。

表 4 网络诊断结果

输入节点	1	2	3	4	5	6	7	8
输出结果	0.0025	0.0066	-0.0051	0.0037	0.9921	-0.0000	0.0000	-0.0065
	0.2949	-0.1856	0.0375	-0.1097	0.2009	-0.0784	0.8256	0.1235
	0.0424	0.8129	-0.0558	0.1059	-0.0367	0.0347	0.2335	-0.0781

从表 4 可以看出, 将自适应遗传算法引入其学习过程以后, 诊断正确率明显超过了原来的算法。在引入遗传算法之后, 网络陷入局部极小点的情况基本上不会发生, 从而提高了诊断正确率。

5 结果比较

利用学习样本集分别用 BP 算法、自适应遗传算法 (AGA) 和自适应遗传-BP 混合算法 (AGA-BP) 训练神经网络, 一个典型的神经网络输出误差变化关系如图 4 所示。

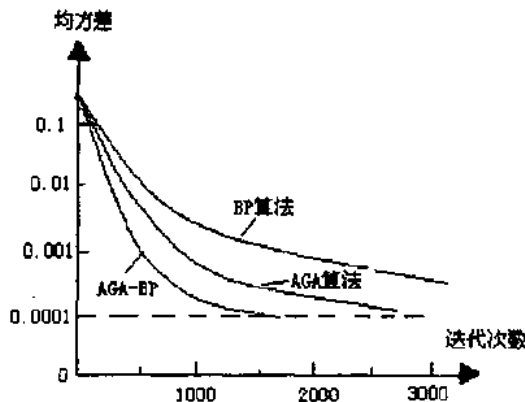


图 4 算法输出误差变化比较

其中遗传算法的一代相当于 BP 的一步, 两者的计算时间也基本相同。由图 3 可以看出, 要达到同样的误差精度 0.000 1, BP 网络的迭代次数为 24 141 次, 自适应遗传算法的迭代次数为 27 16 次, 而自适应遗传-BP 混合神经网络需要的迭代次数仅为 1 685 次, 可见自适应遗传-BP 混合神经网络较 BP 神经网络和自适应遗传算法, 在全局优化意义上能更加稳定快速地收敛。

6 结束语

为了克服 BP 神经网络在诊断中容易陷入局部极小点的问题, 以及 BP 神经网络的权值和阈值的选择没有一定的依据而影响神经网络的性能, 本文提出了采用自适应遗传算法来优化 BP 神经网络的权值和阈值的故障诊断方法, 并结合船舶轴系故障诊断的实例进行了分析研究。可以证明, 该方法能够有效地克服 BP 神经网络容易陷入局部极小点和收敛速度慢等缺陷, 计算速度明显改善, 因此, 用自适应遗传算法优化 BP 神经网络可以在船舶复杂设备的



故障诊断中取得很好的效果。

参考文献

- 1 Michalewicz Z, et al. A modified genetic algorithm for optimal control problem[J]. Computer & Mathematics with Applications, 1992,23(12): 83-94.
- 2 Goldberg D E, et al. Genetic algorithm in pipeline optimization[J]. Computer Civil Engineering, 1987(2): 128-141.
- 3 Matwin S, et al. Genetic algorithm approach to a negotiation support system[J]. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, 1991,21(1): 102-114.
- 4 杨建刚, 戴德成等. 改进 BP 网络在旋转机械故障诊断中的应用[J]. 振动工程学报, 1995,8(4): 342-350.





6S35MC 柴油机燃油喷射系统的故障模式和影响分析

赵俊豪, 黄连忠, 徐庆新

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 故障模式和影响分析(FMEA)方法是系统可靠性分析的重要方法之一, 本文利用FMEA方法对6S35MC柴油机燃油喷射系统进行分析, 总结出故障模式及影响分析表, 通过专家调查得出各故障模式的风险顺序数(RPN), 并运用加权模糊综合评判方法建立一套模糊数学模型, 从而将传统的FMEA方法加以改进, 并根据分析结果提出提高燃油喷射系统运行可靠性的措施。

关键词: 柴油机燃油喷射系统; FMEA; 风险顺序数; 模糊综合评判

1 引言

柴油机燃油系统是柴油机的重要系统之一, 它工作的好坏直接影响整机的功率和经济效益。据英国柴油机工程师和用户协会提供的停机故障分析表明, 造成柴油机停机后果的各种原因中, 燃油喷射系统的故障占27%, 所占比例最大^[1]。因此, 对柴油机燃油喷射系统进行可靠性分析, 随时掌握燃油系统的工作状态, 对柴油机的正常运行意义重大。本文将采用故障模式和影响分析方法对大连海事大学新建的教学实习船主机(6S35MC柴油机)燃油喷射系统进行研究, 分析柴油燃油喷射系统运行过程中潜在的故障及其后果, 找到避免或减少故障发生的措施, 以期为实习船的安全运行提供一些建议。

2 6S35MC 柴油机燃油喷射系统简介

6S35MC柴油机采用的是传统的泵—管—嘴燃油喷射系统加可变喷油定时机构。

该柴油机的每个气缸都设有单独的柱塞式高压油泵。高压油泵的主要部件是柱塞一套筒偶件, 以及安装在其上端盖的空气刺破阀(puncture valve)和吸油阀的组合阀。空气刺破阀主要部件包括: 空气活塞、弹簧和密封圈。空气活塞与柴油机气动或电动控制系统连接, 当应急速闭系统、燃油泄露报警系统动作或有停车指令时, 压缩空气通至空气活塞上方, 使活塞下行打开吸油阀, 从而切断喷油器的燃油供给。一旦空气刺破阀动作, 燃油便通过回油孔流回高压油泵泵腔, 喷油便不能进行。

该柴油机喷油器最大的特点是针阀的下部带有一根与喷孔相匹配的滑动轴针(cut-off slide), 在喷油过程中, 轴针随着针阀的运动而在喷嘴中滑动, 此过程能够对喷嘴产生清洁作用, 并在一定程度上降低喷嘴温度, 从而大大降低了喷嘴积炭乃至堵塞的可能。

3 FMEA 方法介绍

故障模式和影响分析(Failure Mode and Effects Analysis, 简称 FMEA)是生产过程中一项事前预防的分析手段,是在系统的研发、设计与使用中的一项非常重要的可靠性分析工作^[2]。该方法起源于 20 世纪 50 年代初的美国航空航天领域,目前广泛应用于航空、航天、兵器、舰船、电子、机械、汽车、家用电器等工业领域,为保证产品及系统的可靠性发挥了重要作用。

FMEA 标准主要分为军工标准和汽车行业标准。中国规定的 FMEA 标准是 GJB1391-92,主要适用于中国军工产品;而汽车行业采用的主要是 QS9000FMEA 标准。结合柴油机燃油喷射系统的实际情况,本文将采用 QS9000FMEA 标准进行分析。QS9000FMEA 的工作流程如图 1 所示。

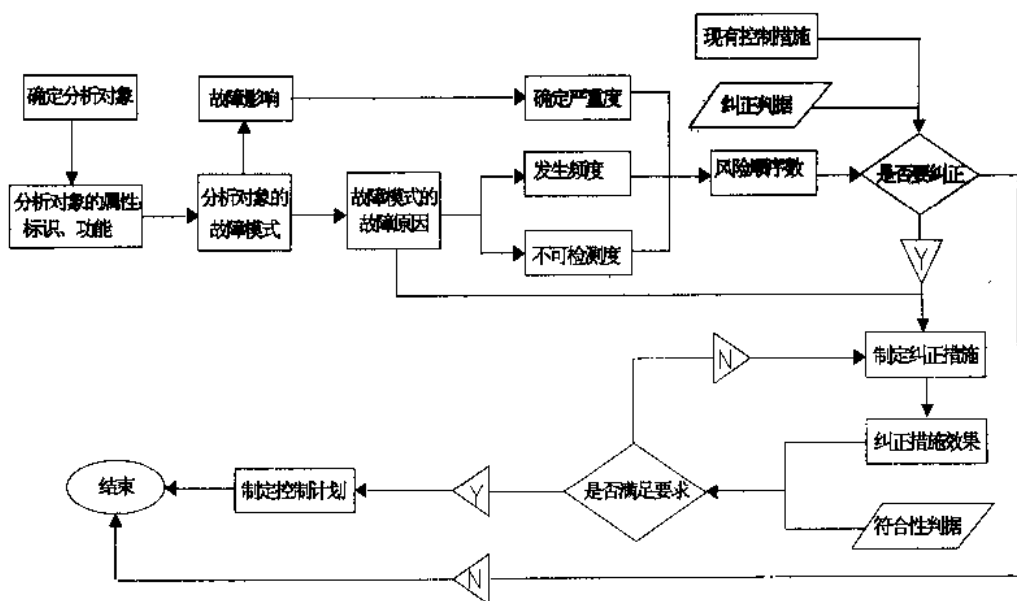


图 1 FMEA 分析流程图

风险顺序数(Risk Priority Number, 简称 RPN)是风险分析中最常用的方法之一,即由产品(或系统)设计人员、使用人员等专家对各故障模式的发生频度(Occurrence Probability Ranking)、影响严重程度(Effect Severity Ranking)和检测难易程度(Detection Difficulty Ranking)打分,形成三组十分制分数,最后连乘即得 RPN。通过 RPN 可对各故障模式相对的危害性进行评定。那些故障发生可能性高、故障严重程度高,又难以检出的故障模式,其 RPN 值较高,从而危害性较大;而那些故障发生可能性低、故障严重程度低,较容易检出的故障模式,其 RPN 值较低,从而其危害性也较小。对于危害性高的故障模式,应从降低故障发生可能性和故障严重程度及提高该故障检出可能性三个方面提出改进措施。当所提出的各种改进措施在系统设计或保障方案中落实后,应重新对各故障模式进行评定,并计算新的 RPN 值,按改进后的 RPN 值对故障模式进行排队,直到 RPN 值降到一个可接受的水平。

4 6S35MC 柴油机燃油喷射系统的故障模式和影响分析

在研究过程中,经过对大批船舶设计人员和有经验的轮机员等专家进行调查,回收了20份专家调查表。据此,对6S35MC柴油机燃油喷射系统进行了故障模式和影响分析。下面以“喷油压力不足”这一故障模式为例做FMEA表格。如表1所示。

表1 6S35MC柴油机燃油喷射系统FMEA表格

故障模式	故障原因	故障发生频度	故障影响	影响严重程度	检查方法	检测难易程度	风险顺序数	补救措施
喷油压力不足	高压油泵柱塞套筒偶件密封不良	3	雾化不良	5	检查高压油泵的密封性	5	75	更换偶件;加强燃油净化,视情检查柱塞偶件的密封性
	高压油泵柱塞套筒偶件卡滞或卡死	5	雾化不良或无法喷射	5	解体检查	5	125	清洁偶件;定期检查偶件的运行状况
	高压油泵进油阀泄漏或卡滞	5	雾化不良或无法喷射	5	检查进油阀的密封性和动作是否顺畅	5	125	研磨阀件
	高压油管密封不良	5	雾化不良,燃油外泄	7	检查是否泄漏	5	175	更换垫片,并定期检查其密封性
	高压油管破裂	3	雾化不良,燃油外泄	7		1	21	更换油管,加强油压监控
	喷油器针阀偶件密封不良	9	雾化不良	5	在喷油器雾化试验台检查密封性	5	225	研磨偶件;定期检查针阀密封性
	喷油器针阀卡滞或卡死	9	雾化不良或无法喷射	7	检查高压油管的脉动状态,并进一步解体检查	5	315	研磨、清洁偶件,并在运行中做定期检查

由表1可以看出,“喷油器针阀卡滞或卡死”和“喷油器针阀偶件密封不良”的RPN值位于前两位,故在日常运行中应采取相应对策,加强对喷油器针阀的管理。

5 加权模糊综合评判

模糊综合评判方法用于评判受到多种不确定因素影响的系统,其基本原理是先构造因素集和评判集,由此构成模糊矩阵;再结合各因素的权重集获得评判结果,从而将样本由模糊集转化为对应的分明集,以便于对系统进行更加直观、详细的评价^[3]。下面通过模糊综合评判方法对“喷油压力不足”这一故障模式进行评价。

结合表1,设评价对象“喷油压力不足”的因素集为

$$F = \{\text{故障发生频度 } F_1, \text{影响严重程度 } F_2, \text{检测难易程度 } F_3\}$$

而其中每一因素 $F_i(i=1,2,3)$ 都由更加基本的因素所决定。对于因素 F_1 ,其因素集与评价集分别为



$F_1 = \{ \text{高压油泵柱塞偶件密封不良 } f_1^1, \text{高压油泵柱塞偶件卡滞或卡死 } f_1^2, \text{高压油泵进油阀泄漏或卡滞 } f_1^3, \text{高压油管密封不良 } f_1^4, \text{高压油管破裂 } f_1^5, \text{喷油器针阀偶件密封不良 } f_1^6, \text{喷油器针阀卡滞或卡死 } f_1^7 \}$

$C_1 = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ (其中, 1 表示极少发生; 3 表示很少发生; 5 表示偶然发生; 7 表示有时发生; 9 表示经常发生)。

对于 F_1 , 经过专家调查, 将矩阵中各元素转化为 0 到 1 之间的概率值, 而后得到评判矩阵如下

$$\tilde{R}_1 = \begin{pmatrix} 0.05 & 0.3 & 0.45 & 0.2 & 0 \\ 0.15 & 0.5 & 0.3 & 0.05 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.25 & 0.15 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.35 & 0.15 & 0 \\ 0.6 & 0.25 & 0.1 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.2 & 0.3 & 0.25 \\ 0.1 & 0.35 & 0.25 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix}$$

各因素的权重分配为 $\tilde{A}_1 = (0.23, 0.12, 0.07, 0.11, 0.13, 0.18, 0.16)$, 从而得到因素 F_1 的第一级评判结果 $\tilde{A}_1 * \tilde{R}_1 = (0.1485, 0.3345, 0.2845, 0.1715, 0.0610)$, 归一化得

$$\tilde{B}_1 = \tilde{A}_1 * \tilde{R}_1 = (0.15, 0.34, 0.28, 0.17, 0.06)$$

由此可见, 对于 6S35MC 柴油机燃油喷射系统“喷油压力不足”这一故障模式, 有 15% 的专家认为其极少发生, 34% 的认为很少发生, 28% 的认为偶然发生, 17% 的认为有时发生, 6% 的认为经常发生。作为评判结果, 可以根据 34% 的几率认为该故障很少发生。

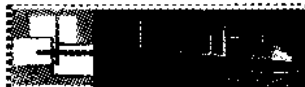
同样地, 可以对因素集 F_2 和 F_3 进行评判, 结合相应的权重集 A_2 和 A_3 , 便可分别得出因素 F_2 和 F_3 的评判结果 \tilde{B}_2 、 \tilde{B}_3 ; 然后, 再根据 C_1 、 C_2 和 C_3 的权重集 \tilde{A} , 从而可得到第二级评判结果 \tilde{B} , 据此, 可以对“喷油压力不足”这一故障模式的发生频度、影响严重程度和检测难易程度进行直观而精确的评判。

6 结束语

(1) 由于大连海事大学教学实习船的主要服务对象是大批实习生, 故应按客船的标准要求其安全性与可靠性; 而主机燃油喷射系统又是非常重要的、极易发生故障的环节, 这便要求我们对其可靠性进行全方位的评估, 在日常的运行管理中对其薄弱环节加强监控。

(2) 通过对燃油喷射系统进行故障模式和影响分析, 结合风险顺序数, 能够清楚地看出系统中的薄弱环节, 以利于我们采取相应措施, 如加强对喷油器针阀的检查与管理等, 从而提高船舶运行的安全性与可靠性。

(3) 利用模糊综合评判方法可以将故障模式和影响分析过程中的模糊因素加以量化, 以利于更加直观、准确地对主机燃油喷射系统进行评判。



参考文献

- 1 王俊生. 柴油发动机燃油系统的故障分析研究[J]. 山西建筑, 2003(4).
- 2 王绍印. 故障模式和影响分析(FMEA)[M]. 广州: 中山大学出版社, 2003.
- 3 刘普寅, 吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998.

滚动轴承故障诊断

徐维克, 王莹

(大连海事大学 自动化与电气工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要:从滚动轴承由于各种原因引起损坏故障的主要形式入手,分析了滚动轴承故障的原因,着重分析在运转过程中引起故障的主要形式——振动,在频域下对所测得的振动信号进行处理和分析,找出正常和异常轴承的不同特征,并且以此作为判断轴承故障的标准,给出了对滚动轴承故障的几种诊断法。

关键词:滚动轴承; 振动分析; 故障诊断

1 滚动轴承故障的原因

滚动轴承是广泛应用的机械支撑。它主要由滚动体支撑负荷,并与机座作相对旋转、摆动等运动,以求在较小的摩擦力矩下,达到传递功率的目的。船舶上有发电机、电动机等旋转机械上百台,随着高科技的发展,精密机械应用的愈来愈多,滚动轴承是旋转机械的易损件,旋转机械的故障有相当大比例与滚动轴承有关,它的损坏直接关系到船舶的正常航行,因此有必要对重要电机滚动轴承故障进行及时诊断。

滚动轴承在运转过程中可能会由于各种原因引起损坏,如装配不当;润滑不良、高速重载情况下工作;尘埃和异物侵入滚道;水分或酸、碱性物质直接侵入等;即使在安装、润滑和使用维护都正常的情况下,经过一段时间运转,轴承也会出现疲劳剥落和磨损而不能正常工作。试验规程规定,在滚道或滚动体上出现面积为 0.5 mm^2 的疲劳剥落坑就认为轴承寿命终结。同一批轴承中,其最高寿命与最低寿命可以相差几十倍乃至上百倍,这从另一角度说明了滚动轴承故障监测的重要性。

2 滚动轴承故障的主要形式

滚动轴承故障的主要形式是振动和噪声,振动可由外部振源引起,也可由轴承本身的结构特点及缺陷引起。此外,润滑剂在轴承运转时产生的流体动力也可以是振动(噪声)源。

正常的轴承也有相当复杂的振动和噪声,有些是由轴承本身结构特点引起的,有些和制造装配有关。

滚动轴承在承载时,由于在不同位置承载的滚子数目不同,因而承载刚度会有所变化,引起轴心的起伏波动,要减少这种振动的振幅可以采用游隙小的轴承或加预紧力去除游隙。

由轴承零件的加工面(内圈、外圈滚道面及滚动体面)的波纹度引起的振动和噪声在轴承中比较常见,这些缺陷引起的振动为高频振动(比滚动体在滚道上的通过频率高很多倍)。高频振动及轴心的振摆不仅会引起轴承的径向振动,在一定条件下还会引起轴向振动。

当轴承游隙过大或滚道偏心时都会引起轴承振动,振动频率为 nf_n, f_n 为轴回转频率, $n=1, 2, \dots$;

滚动体大小不均匀会导致轴心摆动,还有支承刚性的变化。振动频率为 f_c 和 $nf_c \pm f_n$, $n=1, 2, \dots$, 此处 f_c 为保持架回转频率;

轴弯曲会引起轴上所装轴承的偏移,造成轴承振动。轴承的振动频率为 $nf_c \pm f_n$, $n=1, 2, \dots$ 。

3 滚动轴承的诊断法

利用滚动轴承的振动信号分析进行故障诊断,先初步判断被列为诊断对象的滚动轴承是否出现了故障;再精确诊断故障类别及原因。

3.1 滚动轴承故障的简易诊断标准

在利用振动对滚动轴承进行简易诊断的过程中,通常需要将测得的振值(峰值、有效值等)与预先给定的某种判定标准进行比较,根据实测的振值是否超出了标准给出的界限来判断轴承是否出现了故障,以决定是否需要进行精密诊断。因此,判定标准就显得十分重要。

用于滚动轴承简易诊断的判定标准大致可分为以下3种:

- (1) 绝对判定标准是指用于判断实测振值是否超限的绝对量值。
- (2) 相对判定标准是指对轴承的同一部位定期进行振动检测,并按时间先后进行比较,以轴承无故障情况下的振值为基准,根据实测振值与该基准振值之比来进行判断的标准。
- (3) 类比判定标准是指对若干同一型号的轴承在相同的条件下在同一部位进行振动检测,并将振值相互比较进行判断的标准。

需要注意的是,绝对判定标准是在标准和规范规定的检测方法的基础上制定的标准,因此必须注意其适用频率范围,并且必须按规定的方法进行振动检测。适用于所有轴承的绝对判定标准是不存在的,因此一般都是兼用绝对判定标准、相对判定标准和类比判定标准,这样才能获得准确、可靠的诊断结果。

3.2 振动信号简易诊断法

利用计算机技术和自动检测技术对轴承进行在线监测,并利用这些数据对轴承进行故障诊断,通过试验总结出轴承疲劳受损后其振动信号中幅值域参数的变化规律,给出了峰值、有效值、峭度、峰值因子等参数变化趋势,判断出故障原因,通过大量试验,总结出早期点蚀的故障诊断方法,利用频谱分析的方法,分辨出轴承故障的损坏部位。

(1) 振幅值诊断法:这里所说的振幅值指峰值、均值(对于简谐振动为半个周期内的平均值,对于轴承冲击振动为经绝对值处理后的平均值)以及均方根值(有效值)。这是一种最简单、最常用的诊断法,它是通过将实测的振幅值与判定标准中给定的值进行比较来诊断的。

峰值反映的是某时刻振幅的最大值,因而它适用于像表面点蚀损伤之类的具有瞬时冲击的故障诊断。另外,对于转速较低的情况(如300 r/min以下),也常采用峰值进行诊断。



均值用于诊断的效果与峰值基本一样,其优点是检测值较峰值稳定,但一般用于转速较高的情况(如300r/min以上)。

均方根值是对时间平均的,因而它适用于像磨损之类的振幅值随时间缓慢变化的故障诊断。

日本NSK公司生产NB系列轴承监测仪和新日铁研制的MCV-21A型机械监测仪就是这类仪器。可以测量振动信号的峰值或峰值系数,有的还可以测量均方根值或绝对平均值。测量参数除加速度外,有的还包括振动速度和位移。

(2) 波形因数诊断法:波形因数定义为峰值与均值之比(X_p/X)。该值也是用于滚动轴承简易诊断的有效指标之一。当 X_p/X 值过大时,表明滚动轴承可能有点蚀;而 X_p/X 小时,则有可能发生了磨损。

(3) 波峰因数诊断法:波峰因数定义为峰值与均方根值之比(X_p/X_{rms})。该值用于滚动轴承简易诊断的优点在于它不受轴承尺寸、转速及载荷的影响,也不受传感器、放大器等一、二次仪表灵敏度变化的影响。该值适用于点蚀类故障的诊断。通过对 X_p/X_{rms} 值随时间变化趋势的监测,可以有效地对滚动轴承故障进行早期预报,并能反映故障的发展变化趋势。当滚动轴承无故障时, X_p/X_{rms} 为一较小的稳定值;一旦轴承出现了损伤,则会产生冲击信号,振动峰值明显增大,但此时均方根值尚无明显的增大,故 X_p/X_{rms} 增大;当故障不断扩展,峰值逐步达到极限值后,均方根值则开始增大, X_p/X_{rms} 逐步减小,直至恢复到无故障时的大小。

(4) 概率密度诊断法:无故障滚动轴承振幅的概率密度曲线是典型的正态分布曲线;而一旦出现故障,则概率密度曲线可能出现偏斜或分散的现象。据此诊断故障。

(5) 峭度系数诊断法:对振幅满足正态分布规律的无故障轴承,按峭度定义式计算,其峭度值约为3。随着故障的出现和发展,峭度值具有与波峰因数类似的变化趋势。此方法的优点在于与轴承的转速、尺寸和载荷无关,主要适用于点蚀类故障的诊断。有统计资料表明,使用峭度系数和均方根值共同来监测,滚动轴承振动情况,故障诊断成功率可达到96%以上。

3.3 滚动轴承的冲击脉冲诊断法(SPM法)

滚动轴承存在缺陷时,如有疲劳剥落、裂纹、磨损和滚道进入异物时,会发生冲击,引起脉冲性振动。由于阻尼的作用,这种振动是一种衰减振动。冲击脉冲的强弱反映了故障的程度,它还和轴承的线速度有关。

3.4 滚动轴承共振解调诊断法(IFD法)

共振解调法是利用传感器及电路的谐振,将故障冲击引起的衰减振动放大,从而大大提高故障探测的灵敏度,这是与冲击脉冲法相同之点。但该方法还利用解调技术将故障信息提取出来,通过对解调后的信号进行频谱分析,可以诊断出故障的部位,指出故障发生在轴承外圈、内圈滚道或滚动体上。这是美国波音公司提出的一项技术,称为早期故障探测法(Incipient Failure Detection)。

利用解调技术对信号进行频谱分析。轴承故障引起的冲击脉冲 $F(t)$ 经传感器拾取及电路谐振,得到放大的高频衰减振动,再经包络检波得到的波形,相当于将故障引起的脉冲加以放大和拓宽,并且摒除了其余的机械干扰,最后作频谱分析可以得到与故障冲击周期 T 相对应的频率成分 f 及其高次谐波。据此,可以用于滚动轴承故障及故障部位的诊断。



3.5 高通绝对值频率分析法

将加速度计测得的振动加速度信号经电荷放大器放大后,再经过 1 kHz 高通滤波器,只抽出其高频成分,然后将滤波后的波形作绝对值处理,再对经绝对值处理后的波形进行频率分析,即可判明各种故障原因。

通过安装在轴承座上适当位置的振动传感器拾取轴承振动信号,并对此信号进行分析和处理来判断轴承轴承工况和故障,由于振动法具有:(1)适用于各种类型各种工况的轴承;(2)可以有效地诊断出早期微小的故障;(3)信号测试与处理简单、直观;(4)诊断结果可靠等优点,所以被广泛应用。目前,国内外开发生产的各种轴承监测与诊断仪器和系统中大都是根据振动法原理制成的,从适用、实用、有效的观点看,目前没有比振动法更好的诊断方法了。

4 结束语

目前,检验和诊断滚动轴承技术状态的方法很多,具体应用何种方法应根据被诊断机械系统的重要性的和工作现场情况来确定。随着科技的发展,将会有更简便且精确的滚动轴承诊断方法面世。

参考文献

- 1 王德志. 滚动轴承的诊断与维修[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
- 2 万长森. 滚动轴承的分析方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- 3 刘双发. 新编滚动轴承应用技术手册[M]. 上海: 上海科技出版社, 1997.





轮机故障事件树分析

刘晓平, 李可顺, 徐庆新

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 在轮机管理中, 轮机员起着维护设备安全运行的作用, 是实现故障分析的保证。本文利用事件树(ETA)的方法对机舱进行定性和定量的分析, 可帮助轮机员更好地管理机舱设备。

关键词: 轮机管理; 管理模型; 人为因素; ETA 方法

1 引言

随着科学技术的发展, 船舶的硬件(此处指船上的机电设备、导航仪器、自动控制设备等)已达到了相当完善的程度。船舶能否安全、高效、经济地营运, 就直接与管理者的管理水平息息相关了。

我们知道机舱被誉为船舶的心脏, 机舱的管理与船舶的营运有着重大的关系。一艘船舶的机舱经常出故障, 不仅会影响高效、经济、安全的航运, 有时甚至会危及人身安全, 从而不能实现有效的救助。在机舱的故障中, 人为因素所造成的故障比例占 80% 以上, 这些人为因素就体现在机舱的管理水平上。可见, 机舱管理与高效、经济、安全的航运紧密相连。

2 事件树分析(Event Tree Analysis, ETA)

事件树分析是安全系统工程和风险分析中重要的分析方法, 它是一种归纳法, 是从给定的一个初始事件的事故原因开始, 采用追踪方法, 对构成系统各事件的状态逐项进行的二者择一的逻辑, 分析初始条件的事故原因导致的事件序列的结果, 将会造成什么样的状态, 从而定性地与定量地评价系统的安全性。

事件树分析与故障树分析相反, 是从底事件向上分析(down-top), 根据各个事件(要素)的故障概率, 可以概略地计算出不希望事件的发生概率; 通过找出最严重的事故后果, 为故障树确定顶上事件依据。通常可以将事件树分析与故障树分析二者结合起来, 共同完成整个分析过程。

3 事件树分析的一般步骤

(1) 确定或寻找可能导致系统严重后果的初因事件, 并进行分类。对于那些可能导致相同事件树的初因事件可以划分为一类。

(2) 建造事件树。先建立功能事件树, 然后再转换成系统事件树, 按功能建树是一种原





理性建树,它的好处在于在初始建树时可忽略许多具体的设计上的差别,集中精力保证功能原理的正确性。

- (3) 进行事件树的简化。
- (4) 进行事件树的量化分析。

4 轮机管理职责说明

在轮机管理的现有模式中,各司其职是管理的主要模式。

职务	轮机长	大管轮	二管轮	三管轮
职责	机舱所有事务的总负责人	主机及相关设备,机舱的日常管理	辅机,空压机,燃油分油机	锅炉,各种泵,液压系统,管系

5 建立故障事件树

轮机故障解决过程是:

初始故障	说明书中明确提及	三管轮修复	大管轮协助修复	轮机长协助修复	概率	感兴趣的失效
					0.9×10^{-8}	重复的修复
					4×10^{-6}	重复修复

6 数据分析

从以上可看出,说明书及第一修复人对系统的顶事件贡献是最大的。在改进中要加强对系统故障的说明的系统及详细性,同时对人员的培训也是提高可靠性的有效手段,现阶段已经广泛的采用培训手段。系统中人为错误还会导致修复的不安全性,维护工程中的人为错误





会在错误的修复中加强系统的不安全性。

7 结束语

事件树分析是安全评估中的一部分,其优点不但能分析硬件,而且能分析软件、人的因素和环境因素,能考虑系统内部的相互作用。对事件树的分析可以直观的理解解决问题的方法,并且可以定性和定量的分析轮机故障。

参考文献

- 1 张圣昆,白勇,唐文勇.船舶与海洋工程风险评估[M].北京:国防工业出版社,2003.
- 2 樊红.综合安全评估(FSA)方法研究[M].武汉:武汉理工大学,2004.
- 3 金星,洪延姬.工程系统可靠性数值分析方法[M].北京:国防工业出版社,2002.





船用滑动轴承的性能及故障分析

才玉国¹, 于仁财², 李忠锡³

(1. 大连海事大学轮机学院; 2. 沈阳交通学院; 3. 青岛港国际集装箱公司)

0 前言

使用可靠和维护工作量少对任何轴承来说都是最重要的,特别是船用滑动轴承尤其如此,因为在危急时刻一个轴承的损坏可能造成整台机机损或整条船遭受损失。设计轴承的负荷时,应尽可能考虑到安全。除此之外,由于管理人员的疏忽或维修保养不当也会造成机损事故。然而,随着船用高增压柴油机的发展,轴承负荷必然增加,这就要求设计人员充分考虑轴承的工作工况,确保轴承工作安全,同时也要求管理人员在日常管理、维修保养工作中,掌握轴承合金的基本性能,熟悉常见故障。

1 轴承合金的机械性能指标

1.1 机械强度

轴承合金的机械强度必须在最高的工作温度下足以最大负荷(无论是连续的或是交变的)而不致被挤出和产生塑性变形。能承受高负荷的合金可能比较合金脆些,抗疲劳的寿命短些。

1.2 柔软性(嵌入性)

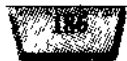
柔软性和弹性模数在足以承受轴承最大负荷的条件下应尽可能低。金属越软,越能容纳随同滑油进入轴承的污物、锈或硬的外界物质,硬颗粒将嵌入软金属中,而不致损伤硬的轴颈(这种特性称做嵌入性)。使用软的金属合金轴承也减少了运动表面发生接触焊接和随之损坏的危险。如果轴颈上的凸起处接触到轴承表面,则在局部高温下低熔点的成分将使软合金局部熔化,或者产生局部塑性变形,而不会损伤硬的轴颈。

1.3 相容性

相容性可反映出某一轴承副(轴承和轴颈)中的轴承合金在边界润滑条件下的减磨、抗焊接和抗划伤的性能。在一定程度上,它与前特性有关。一般说来,轴承合金较软时,相容性较好。

1.4 适应性

从本质上讲,这是轴承合金凭靠产生弹性和塑性变形而承受较小的轴线失中或几何外形误差的能力。一般轴承合金愈软,适应性愈好。材料的弹性模数低也是有益的。





1.5 耐蚀性

轴承的耐蚀性变得越来越重要,对于使用添加剂含量高的润滑油的强载柴油机或燃烧含硫较高的劣质燃油的柴油机尤其如此。润滑油本身要受到严重氧化并伴随产生弱的有机酸和含氧酸,在烧高硫分的劣质燃料油强的无机酸可能进入曲柄箱并腐蚀轴颈和轴承合金。还有化学处理过的冷却水也有漏入柄箱的危险,造成轴承合金的严重腐蚀。某些添加剂特别是硫磷类添加剂,在高温下也能引起磷青铜的严重腐蚀。

1.6 边界润滑特性

除上述各种特性这外,轴承合金还能与边界润滑剂有效的配合。这主要是指油性剂或金属湿润剂,而不是指纯极压添加剂。在边界润滑条件下正确地配合使用轴承合金和极性边界润滑剂,就能使摩擦力量显著减小。

1.7 导热性

轴承合金要有良好的导热性,就能将轴承中产生的热量迅速散掉。虽然在强制润滑的轴承中大部分热量由润滑油带走,但是如果轴承的导热性差,局部“热点”就会扩展并能很快产生轴承故障。

1.8 热膨胀系数

轴承热膨胀系数也是一个重要特性,假若它太大,则能将轴承间隙减至危险的程度。同时,假若它大于轴承座的膨胀系数,则可能产生变形,过热和故障。

我们了解这些轴承的基本特性,使我们的设计或在日常管理工作中对轴承产生的故障和损坏的原因有了充分的认识,并在许多场合它们是互相联系的,下面我们只讨论在管理中造成损坏的主要原因。

2 轴承的故障分析

2.1 划伤

在我们维修保养工作中,发现多数轴承多多少少都有划伤的痕迹,然而如果严重的话,特别当夹着硬磨损颗粒时,则有效的轴承面积可能减至不足以承受负荷,并且通常由于软的轴承合金烧融或被挤出,因而产生故障,解决这个问题的办法是,在润滑系统中保证使用清洁的油,并在使用过程中对油进行有效的过滤和净化(分油机净化)

2.2 擦伤(烧融)和咬死

产生擦伤的原因可能是超负荷或者是滑油中断,使用不合适的滑油,滑油被柴油稀释、轴线失中、轴承间隙不足或以及上述几种因素的综合结果等等。

保证供应足够数量合适的滑油是非常重要的,在每次开车之前用盘车机转动机器并使润滑油在系统中循环,可以防止由于“干起动”而使轴承咬死。

2.3 超负荷

超负荷是不允许的,但是在危急的特殊情况下会出现超负荷现象,超负荷特别是间歇性



的冲击负荷是轴承产生故障的最普遍的原因。在超负荷的瞬间若滑油供应不足或油质不适合,超负荷可能引起轴承合金被烧熔,甚至被挤出,但若硬质轴承合金,则更可能发生咬死。

所以,轮机管理人员除非是应急避碰的情况下,才可超负荷。

2.4 疲劳

在负荷作用下,轴承合金表面出现裂纹时,当裂纹进入轴承的低压区时,滑油会渗入其中,轴继续转动,直至充满油的裂纹又进入高压区。这时,油受到很高的液体压力,轴承裂纹成了封闭的曲线,小片的合金就会被局部压力顶起而从轴瓦上脱落。

当轮机人员在管理中发现薄壁轴承中产生疲劳破坏的一个普遍原因,是在日常维修中轴瓦在轴承上安装不良,特别是当滑油中有硬质的颗粒留在轴瓦和轴承座之间时,轴瓦被局部托起,也能引起过热和疲劳损坏。

2.5 腐蚀

轴承腐蚀的产生主要是由于在润滑油中形成有机酸和含氧酸,当柴油机使用重油时,燃油中会分有钒、钠和硫的化合物,在燃烧的过程中,这些元素燃烧生成氧化物或硫酸盐,并进一步转化成更复杂的化合物,引起污染和腐蚀。

2.6 浸蚀(水蚀)

浸蚀是少见的轴承故障并且仅限于软轴承合金和高速机轴承,特别是承受交变负荷的轴承,损坏的形式是轴承表面呈现外形规则或不规则的凹穴,好似金属从表面被冲刷掉一样。特别是承受高频率冲击负荷的轴承似乎容易发生这种故障。

2.7 气蚀(空泡腐蚀)

当水以高速流过一根局部收缩的管子时,收缩部位会由于压力降低而产生气泡。当液体渡过收缩过后,由于压力重新上升,这些气泡随即破裂。气泡迅速破裂时会产生很高的局部压力。

根据蒸发压力不同,一般矿物油中溶解有6~9%的空气,它与油中夹带空气不同,后者能使气蚀问题更加严重。

精心设计轴承和选择正确的间隙可以减少极低压力区的面积。使用黏温特性高的滑油也有助于克服这种故障,因为黏度指数高的油对空泡效应有阻危作用。但是,由于其经因素限制,滑油的黏度对于每一台柴油机都有一定的适用范围。

2.8 电化学腐蚀

电化学的腐蚀的主要形式是产生腐蚀麻点,在发电机和电动机的轴承中特别严重,麻点大小取决于经过轴承的漏电时间和漏电量。当漏电经过轴承座接地时,轴瓦的背面,特别是钢瓦和薄壁瓦也可能产生麻点。轴承如果是润滑不良或出现半液体润滑,金属与金属周期性地发生接触,漏电将更为严重,因而产生严重的局部麻点。

2.9 白合金硬化

船用中速柴油机的轴承中发生了一些罕见的锡基白合金硬化现象,在轴承或推力块表面形成一种极硬的表层,外观呈灰色或黑色,有的表面粗糙,有的相当平滑。

这种硬化层有时只发生在轴承的工作表面上,但一般都发生在轴承全部裸露的表面上,这种硬化层的出现会造成以下后果:

- (1) 使轴承的厚度增加,因而轴承的间隙减小。
- (2) 由于白合金已失去其原有的适应性和嵌入性,若有硬的外界物质进入轴承,则会划伤轴颈。
- (3) 硬化层极脆,容易发生疲劳损坏,若有碎片剥落下来,则会在轴承中形成极硬的磨料。
- (4) 硬化层剥落后,轴承承压面减少,单位面积所承受的负荷增加。

3 结 论

对于船用滑动轴承的设计性能及故障分析必须综合考虑,包括轴承的结构设计、材料特性、轴承副两相对表面运动形式、各类润滑剂的特性和应用,以及轴承副的工作条件等因素。当前,在船用柴油机的机械负荷和热负荷日益增加的情况下,重要问题之一就是设计人员要充分考虑轴承的工作工况,安全系数,管理人员必须具备有分析问题、解决问题的能力。以高度的责任心,认真的管理,经常进行检查、维修和保养,才能保证船舶滑动轴承的正常可靠工作。

一种船舶视频跟踪算法的研究与实现

曹 辉, 张均东

(大连海事大学轮机自动化研究所, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 在海事执法及船舶监控领域中实现自动、快速、稳定的视频目标的稳像与跟踪是一项关键技术。本文在一般的视频图像序列的采集、检测与跟踪理论的基础上, 根据海上作业的特点, 提出了一种全新的海上视频稳像与移动目标跟踪方法。它建立在目标船舶空间运动信息的基础上, 通过船体轮廓质心算法得到质心并利用均值偏移特性, 并辅以相应的云台控制实现了目标船舶位置的预测与跟踪。

关键词: 视频; 船舶; 跟踪; 云台

0 引 言

船舶视频自动跟踪是数字视频在船舶监管以及执法领域中的一个重要的研究课题, 目前在船舶视频监控以及相关海事执法中还处于初始应用阶段, 它涉及计算机图像处理、视频图像处理、模式识别以及人工智能等诸多领域, 因而具有较强的研究价值和意义。本文将在一般视频图像序列的采集、视频运动目标检测与运动目标跟踪的基础上着重研究海上任意背景下运动的船舶的跟踪算法以及相应的云台控制响应等, 由此提出和实现了一种全新的改进船舶视频跟踪算法, 提高了船舶目标跟踪的鲁棒性和有效性。

1 船舶运动目标检测

运动目标检测处于整个船舶视频跟踪系统的最底层, 是各种后续高级应用如目标分类、目标行为理解、目标跟踪等的基础。运动目标检测是指从视频流中实时提取目标, 一般是确定目标所在的区域、颜色以及目标轮廓的质心等。

本文的运动目标检测算法的模型如图 1 所示, 本文将连续的两帧间差分法与背景差分法相结合, 使用到了连续两帧灰度图像 f_k, f_{k+1} 和背景图像, 然后最后的检测结果都是以二值运动模板给出的。即先将连续帧间差分图像和背景差分图像直接相乘得到的灰度图像, 然后对此灰度图像再进行二值化处理, 最后获得二值运动模板, 此方法得到的二值运动模板 M 、更能保证目标轮廓的完整性和运动目标区域的连通性。

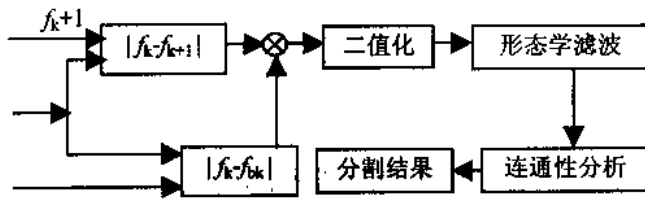


图1 本文的运动检测模型

完整的目标轮廓对于精确地反映目标的形状,边缘以及目标的在图像中区域和位置都是很重要的,而运动目标区域的连通性对于精确的提取运动目标的二值模板和灰度模板,多运动目标中的多目标定位以及确定目标的外接矩形也都是很关键的,所以保证目标的轮廓完整性和目标区域的连通性是我们评价运动目标检测结果的一个重要考虑。为了能更好地保证这两点,我们不但保留了两幅差分图像中检测到的运动信息的公共部分,而且还通过差分图像直接相乘,使相乘所得到的灰度图像中运动信息的公共部分的灰度值变的最大,运动信息的非公共部分的灰度值次之,非运动信息部分最小,这样在使用最大类间方差法进行阈值分割后,既可以保留了运动信息的公共部分还可以使两幅差分图像的非公共运动信息部分也部分的得到了保留。

因为我们在对帧差图像进行二值化的过程中,能够对感兴趣的运动目标信息给予更多的“偏爱”,即希望能有一个能与运动目标在形状、大小、位置方面相匹配的模板,利用此模板对二值化前的帧差灰度图像进行特别的权重,而且这个模板还应该是随着目标的运动能自动更新的(或者说是自适应变化的)。因此,本文采用了一种新的运动目标检测模型—帧差灰度图像匹配加权法,如下图2所示。

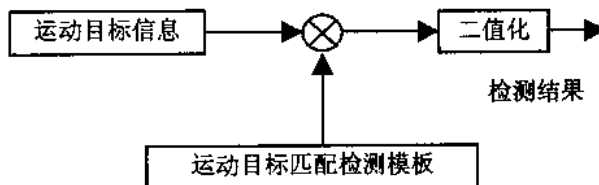


图2 差灰度图像匹配加权法

可见,问题的关键在于如何得到与当前运动目标相匹配的模板。显然检测模型中的匹配模板应具有如下特征:

- (1) 与待分割的目标图像在位置上“几乎重合”;
- (2) 与待分割的目标图像在形状上“十分相似”;
- (3) 与待分割的目标图像在大小上“基本相同”;

这种模板是动态的,即能随运动目标的变化而自适应的改变。本文采用的方法可以理解为采用背景差图像作为目标匹配加权模板的帧差灰度图像匹配加权法。在具体实现上,将作为 $f_k - f_{bk}$ 匹配模板,然后将连续两帧差分图像和背景差分图像直接相乘,再将相乘结果进行阈值分割得到运动目标的检测结果。

由于这样得到的检测匹配模板与运动目标在形状、大小、位置上与目标“近似匹配”,所



以达到了既能有效地抑制静态背景、又能使运动目标得到特别的权重从而更有利于二值分割中提取目标的效果。

2 船舶运动目标跟踪

基于船舶视频的运动目标跟踪是船舶办公和执法的技术关键。所谓船舶运动目标跟踪,就是在船舶运动目标检测的基础上,利用船舶视频目标的有效特征,使用适当的匹配算法,在序列图像中寻找与目标模板最相似候选目标的位置,简单说就是在船舶目标运动的序列图像中的每一幅图像为目标定位。在研究过程中,运动的船舶目标跟踪是衔接其运动检测和行为分析与理解的一个重要环节,在实船应用中,运动船体目标跟踪不仅可以提供目标的运动轨迹和准确的位置,而且反过来还可以为运动目标检测提供帮助,从而更有利于目标的跟踪。

在运动目标跟踪的方法中依据目标和目标所处的环境,选择一个或多个能唯一表示目标的特征,然后在后续图像中搜索与所选特征最匹配的目标位置是非常关键的,所以运动目标跟踪的主要工作就是选择好的目标特征(如运动船体反光性能交好的甲板或天线等)和采用适用的搜索匹配算法。

目前的运动目标跟踪算法都是以提高跟踪匹配的准确性为目的而提出的,其主要特点是通过选取好的跟踪特征来提高目标的搜索匹配速度和匹配的正确程度。

运动目标跟踪一般有以下几个部分组成,如图3所示。

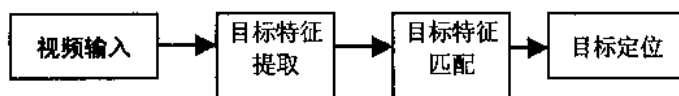


图3 运动目标跟踪组成框图

- (1) 在视频序列中检测到新的运动目标及运动区域;
- (2) 对检测到的运动目标提取有效特征并建立目标模板;
- (3) 确定目标在下一帧当中的搜索范围或方向;
- (4) 在确定的搜索范围内或方向上,用特征相似性测度对目标模板进行匹配;
- (5) 搜索,寻找最佳的匹配位置,如果在确定的搜索范围内或方向上未找到目标,则进行相应处理;

(6) 利用匹配到的目标图像,可以对模板进行适时的更新,如此反复,就可以完成目标的跟踪。

2.1 均值偏移算法 (Mean Shift Algorithm)

在进行目标跟踪过程中往往只是关心以均值偏移过程提供的方向定位目标位置,而并不关心目标实际宏观的运动情况,即没有利用目标在空间中运动方向和运动速度信息。本文文在使用基于颜色的均值偏移跟踪算法的过程中同时还加入了对目标的运动方向和速度信息,保证了跟踪效果的稳定性和鲁棒性。

(1) 预测的运动目标位置

设目标运动状态参数 \bar{x}_k 和 \bar{v}_k 分别为 k 时刻目标所在的位置和速度,即 $\bar{x}_k = (x_{s_k}, y_{s_k})$, $\bar{v}_k = (x_{v_k}, y_{v_k})$, 其中 x_{s_k} , y_{s_k} , x_{v_k} , y_{v_k} 分别表示目标在 X 轴和 Y 轴上的位置和速度,

则 $k+1$ 时刻目标的预测位置 $\hat{x}_{k+1} = (x\hat{s}_{k+1}, y\hat{s}_{k+1})$ 为

$$x\hat{s}_{k+1} = xS_k + xv_k * \Delta t$$

$$y\hat{s}_{k+1} = yS_k + yv_k * \Delta t$$

其中 Δt 为 k 时刻和 $k+1$ 时刻的时间间隔, 实际应用中, 由于采集的视频图像每秒钟都有固定的帧数, 所以 Δt 是固定不变的。本论文中, 由于采集的视频是 25 帧/秒, 所以 Δt 就固定为 40 ms。

(2) 运动目标位置的确定

运动目标的位置是将预测得到的位置之一, 与利用均值偏移得到的位置 $\bar{x}_{msa,k+1}$ 通过设定一个比率因子 a 加权得到:

$$\bar{x}_{k+1} = a\hat{x}_{k+1} + (1-a)\bar{x}_{msa,k+1}$$

特殊情况下, 当比率因子 a 为零时, 运动目标的位置 \bar{x}_{k+1} , 就是均值偏移得到的位置 $\bar{x}_{msa,k+1}$, 而当比率因子 a 为 1 时, 运动目标的位置 \bar{x}_{k+1} , 就是预测得到的位置 \hat{x}_{k+1} 。

在已知了 k 时刻和 $k+1$ 时刻的目标位置 \bar{x}_k 和 \bar{x}_{k+1} 后, 就可以完成对速度参数的更新:

$$x\hat{v}_{k+1} = \frac{xS_{k+1} - xS_k}{\Delta t}$$

$$y\hat{v}_{k+1} = \frac{yS_{k+1} - yS_k}{\Delta t}$$

2.2 运动目标跟踪算法步骤

引入运动目标位置预测的均值偏移算法分为三个阶段, 分别为: 目标位置预测、均值偏移计算目标位置、加权得到目标位置。具体算法步骤为:

- (1) 初始化目标位置, 速度, 加权比率因子 a 。如果目标运动速度未知, 可以将其设置为零, 加权比率因子 a 可以根据具体试验环境设定;
- (2) 不在进行均值偏移计算目标位置之前, 利用公式计算预测的目标位置 \hat{x}_{k+1} ;
- (3) 利用均值偏移算法步骤计算目标的位置 $\bar{x}_{msa,k+1}$;
- (4) 利用加权得到的最终的目标位置 \bar{x}_{k+1} , 并对目标运动速度进行更新, 速度得更新也可以是对当前帧之前的目标运动速度求取均值。

3 云台控制

对图像中的目标的参数作出估计后, 下面的任务是如何控制云台进行水平摆动和上下俯仰, 使得某个运动物体处于摄像机视野之内, 即将此目标实时反映在屏幕中央, 对异常目标进行跟踪。

假设跟踪过程中, 在 t 时刻得到了目标 i 在第 m 帧图像中的坐标为 (xw_m, yw_m) 。将 xw_m, yw_m 输入 Kalman 滤波器之后, 可以得到目标在当前时刻的状态估计 (xS_m, yS_m, xv_m, yv_m) 。假设以间隔 k 帧后的 $t + \Delta t$ 时刻的图像作为输入, 假定目标的速度在 Δt 时间内没有发生变化, 则可以预测出目标在间隔 k 帧后的图像中的坐标 (xS_{m+k}, yS_{m+k}) 。

$$\begin{cases} xS_{m+k} = xS_m + xV_m \Delta t \\ yS_{m+k} = yS_m + yV_m \Delta t \end{cases}$$

当估计出运动物体在后续 k 帧图像中处于警戒位置, 即可能脱离摄像机监控范围时, 需要控制云台做上下或左右的旋转, 使目标处于图像的某个合理的位置, 记为 (x'_{m+k}, y'_{m+k}) , 则可以得到位移:

$$\begin{cases} \Delta x = xS_{m+k} - x'_{m+k} \\ \Delta y = yS_{m+k} - y'_{m+k} \end{cases}$$

假设在 Δt 时间内, 只有云台转动, 目标不动, 此时相当于旋转光轴, 使目标位于屏由上。因为目标的深度信息 z 由于投影而丢失, 并且转动云台亦不用考虑深度, 故将视点做原点, 把三维坐标转换成球面坐标, 如图 4 所示。将云台沿水平方向顺时针绕视点旋转 θ 角即可消除 X 方向上的偏移。在如图 4 所示的坐标中, 要将 X 轴转到 OM 位置, 可先将 Z 轴水平方向旋转 θ 角, 再将 Z 轴沿垂直方向旋转 α 角即可。此时的 θ 角与焦距深度无关, 而 $\alpha = 90^\circ - \phi$ 。

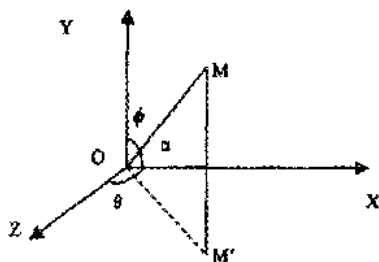


图 4 球心投影

如图 5 的所示, 在双角度坐标系中, 点 M 生屏幕上投影为 A 点, 若镜头在水平方向的视野 θ 角沿光轴对称, 屏幕宽度为 L , 要将点 A 移至屏幕中央, 光轴需转动 α 角度。

$$\begin{cases} \frac{L/2}{OD} = \tan(\theta/2) \\ \tan \alpha = \frac{DA}{OD} = \frac{2DA \cdot \tan(\theta/2)}{L} \\ \alpha = \arctan \frac{2\Delta x \cdot \tan(\theta/2)}{L} \end{cases}$$

同理为消除 Y 方向上的偏移, 在 Y 方向上移动光轴角度为 β 。

$$\beta = \arctan \frac{2\Delta Y \cdot \tan(\theta/2)}{H}$$

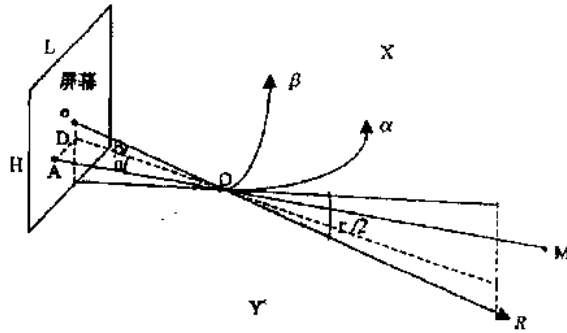


图5 摄像机双角度模型

其中, r 为镜头在垂直方向上的视野角度, H 为屏幕高度。在求出角度 α 和 β 后, 根据云台的转动速度 w , 即可知 $T_1 = \alpha/w$, $T_2 = \beta/w$ 。由此, 此控制水平脉冲宽度 T_1 和垂直脉冲宽度 T_2 即可将云台沿水平方向旋转 α 角, 沿垂直方向旋转 β 角。这样, 就可实现将目标 i 固定于屏幕中央的目的。

4 结束语

本文从船舶视频监控以及海上现场执法等实际特点出发, 建立了船舶视频目标自动跟踪系统的理论和实践基础, 针对船舶运动目标的检测与跟踪算法进行了研究, 在运动目标检测中, 运用了静态背景下的联合背景差分和连续帧间差分的改进运动目标检测算法, 实验结果表明改进的运动目标检测算法能够较好地保证检测结果的连通性和轮廓完整性, 并缩短了运算的时间; 在运动目标跟踪中, 运用了联合运动目标位置预测的改进的均值偏移跟踪算法, 通过实验表明了, 改进的运动目标跟踪算法由于加入了目标空间运动的运动信息, 提高了跟踪算法的鲁棒性和有效性; 最后, 通过对摄像机以及云台模型等分析, 提出了云台等实时响应控制, 实现将船舶运动目标固定于屏幕中央的目的, 从而在整体上完成了的船舶视频目标自动跟踪。

参考文献

- 1 Thomas Wiegand, Gary, J. Sullivan, GisleBjontegaard,etal. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 7.
- 2 D. Comaniciu, V Ramesh, and P. Meer, Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects Using Mean Shift [C]. Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2000, 6(2): 142-149.
- 3 D. Comaniciu, V Ramesh, P. Meer. Kernel-Based Object Tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2003,5(25): 564-577.
- 4 M. Isard and A. Blake, Condesation-Conditional Density Propagation for Visual Tracking [J]. Int' l J. Computer Vision, 1998,1(29).
- 5 E.F. Mulder and M.V. Kothare, "Title of paper," in Proc. Amer. Control Conf., vol. 5, Chicago, IL., June 2000, pp. 3239-3243.



某船1号起货机起升机构的故障分析

唐浩¹, 张洪朋¹, 陈良²

(1. 大连海事大学, 辽宁 大连, 116026;

2. 中国船级社大连分社, 辽宁 大连, 116002)

摘要: 本文分析了某船1号起货机液压系统的工作原理, 该起货机型号为利布赫尔 B5/18-20 型, 阐述了该起货机在工作过程中出现的起升机构动作不正常故障。针对该故障现象并结合液压系统图分析了各种可能引起该故障发生的因素, 根据这些可能性因素在液压系统中对其进行了逐一排查, 最终找出了故障根源并解决了故障。最后对产生本次故障的原因做了总结。

关键词: 起货机; 起升机构; 液压系统; 液压泵; 液压油

0 引言

20 世纪 60 年代以来, 随着液压技术的发展, 在船舶上出现了回转式液压起货机的应用。该种起货机将起货绞车, 回转绞车, 变幅绞车以及吊杆和索具等组装在一个共同的回转座台上。作业时, 所有组成部件都随座台一起回转。其具有重量轻, 体积小, 操作轻便, 工作平稳, 可实现无级调速, 能吸收冲击性负荷和自动防止过载, 并具有良好的制动能力。此外, 系统中充满着具有润滑性的油液, 部件磨损少, 传动效率高, 对环境的温湿度变化也不敏感。与吊杆式起货机相比, 其具有明显的优势, 因而在现代船舶上的应用越来越广泛。但是它对于液压系统的维护管理要求较高, 其需要一定的专业知识。且该种起货机在使用不当时易发生漏油, 此外密封元件的老化, 液压油的污染也极易造成起货机故障。

某船共有 3 台起货机, 其皆为利布赫尔型液压起货机。额定起重量分别为: 1 号与 3 号起货机为 5 吨, 2 号起货机为 16 吨。利布赫尔型液压起货机是德国 LIEBHERR 公司的产品, 20 世纪 80 年代初由南京绿洲机器厂引进技术生产, 是我国船用液压起货机中使用较多的一种。该型起货机采用电液驱动装置和电子控制系统, 采用电磁比例行程和恒功率控制实现无级调速。在起升油路中安装有压力记忆单元, 用来增强系统的工作稳定性。其工作压力高, 元件集成化程度高, 执行机构采用高速液压马达与行星齿轮减速器, 整体结构紧凑, 自重轻。液压泵站与主要控制元件位于油箱中, 以改善其工作环境。但大部分元件位于空间有限的油箱中给维护管理带来不便, 又极易造成液压油的污染, 从而进一步提高了液压系统的故障发生率。本船在 3~6 月份, 3 台起货机曾不同程度上发生过故障。本文以 1 号起货机为例, 对其液压系统的工作原理及其起升机构发生的故障进行讨论分析。



1 液压系统的工作原理

某船1号起货机型号为利布赫尔B5/18-20型,其液压系统由起升机构液压系统、旋转机构液压系统、变幅机构液压系统和辅泵液压系统组成。

起升机构液压系统采用由双向比例变量的斜盘式轴向柱塞泵HA和斜轴式定量液压马达HU所组成的闭式系统,其液压系统如图1所示。主泵变量机构的控制油、起升油路的补充油和制动器H61U的控制油均由辅泵油路中的补油泵A1提供。补油压力由限压阀A4整定,其整定值为2.8 MPa。为了在超载和制动时限压,系统设有溢流阀H16和H17。由于管路H1在货物升降和制动时始终承受高压,管路H2始终承受低压,故阀H16的整定压力较高,为40 MPa,阀H17的整定压力较低,为10 MPa。系统实际的最大工作压力是由高压继电器4H-S21决定的,其整定压力为27.2 MPa。当高压管路中的油压超过该整定值3秒后,起升控制电路就会断电,油泵HA也就被迫回中,制动器也会由于刹车电磁阀失电而将液压马达HU刹住。低压管路H2中的最低工作压力由低压继电器4A-S14限定为0.6 MPa。当管路中的油压低于该限定值时,起升油路与回转油路都不能工作,并报警。

当操纵手柄在零位时,泵控比例电磁换向阀H11的电磁线圈4H-Y01、4H-Y02与刹车电磁阀的电磁线圈4H-Y05均失电,使主泵HA位于中位,以恒转速运转但不排油。液压马达被制动器H61U刹住,负载固定不动。

当操纵手柄向“起升”方向扳动时,泵控比例电磁换向阀H11的电磁线圈4H-Y01就会通过与手柄移动幅度成比例的电流,使伺服活塞H14的输出位移及液压泵HA的流量都与之成比例。但此时刹车电磁阀的电磁线圈4H-Y05尚未通电,制动器保持刹紧。只有当高压管路H1中的油压增大到与吊钩上的负载相等时,压力记忆电子板上的触点闭合,使刹车电磁阀的电磁线圈通电,刹车电磁阀动作其上位通,控制油进入制动器H61U的油缸内而使制动器松闸,液压马达HU转动并起吊负载。

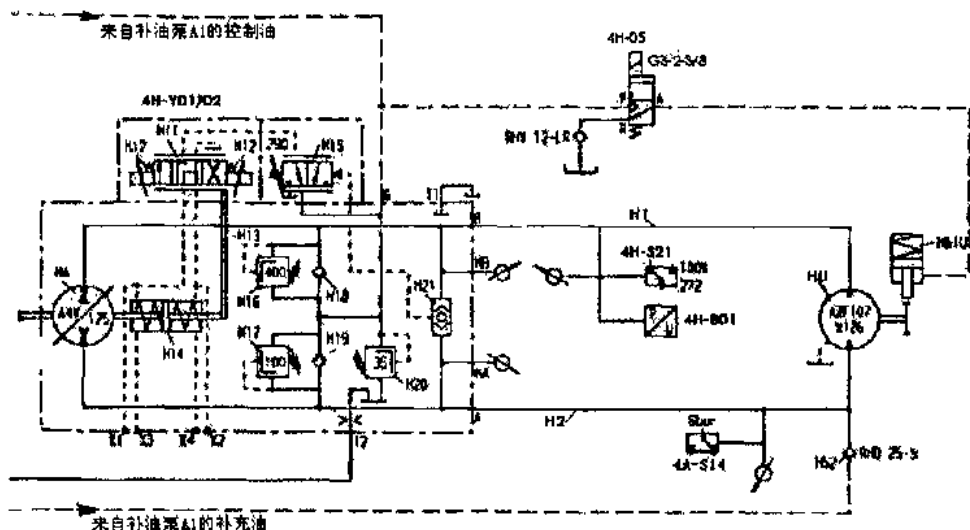


图1 起货机液压系统起升机构原理图

系统加设压力记忆单元是为了在停车后重新启动时保证制动器只有当高压油路中恰好建

立起停车前的油压时方能松闸，以防止松闸过早导致货物瞬间下坠，产生液压冲击。

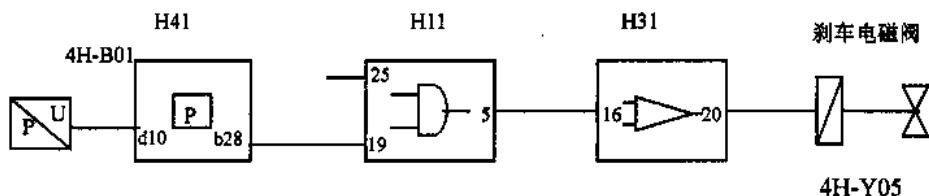


图2 压力记忆电子板控制刹车的数字框图

压力记忆单元工作原理：图2为压力记忆电子板控制刹车的数字框图。压力传感器4H-B01可以测量出高压管路H1中的压力，并可以将该压力信号转化为电信号传送给压力记忆电子板H41（40 MPa=10 V 直流）。起升时，压力传感器将管路中的压力信号转化为电信号传递给压力记忆电子板的输入端引脚d10，当该信号值与其记忆存储的值相等时，该板上的触点闭合。此时压力记忆电子板上的输出端引脚b28向控制板H11的引脚19送出低电平信号，随后在控制板的输出端引脚5上出现高电平信号并送给电子板H31的引脚16，此时刹车发光二极管熄灭。通过引脚16上的高电平信号对刹车电磁阀的输出晶体管充电，这样就使刹车电磁阀的电磁线圈4H-Y05有电，刹车电磁阀动作，控制油进入制动器油缸内而松闸。当起升中途停车时，由于刹车电磁阀失电，制动器由于油缸中的压力油泄出而抱闸。这时，在压力记忆电子板中记忆存储了停车前高压管路中的油压信号。这样当重新起升而起升时，在高压管路中的油压尚未恢复到原来的数值时，由于压力记忆电子板上的触点尚未闭合，制动器就不会松闸。只有当管路中的压力恢复到停车前的油压时，压力传感器发出的信号使压力记忆电子板上的触点闭合，这时制动器才会松闸。

当操纵手柄扳向“下降”方向时，为了避免因高压油路中的油压不足而使货物瞬间下坠，产生液压冲击，故在电路设计上还是先使泵控比例电磁换向阀的电磁线圈4H-Y01通电，以便先让泵HA向高压管路供油，直至该管路建立起足够的油压并使压力记忆电子板上的触点闭合时，刹车电磁阀的电磁线圈通电使制动器松闸。同时泵控比例电磁换向阀的电磁线圈4H-Y02通电，电磁线圈4H-Y01断电，于是泵HA也就转而向低压管路H2供油，液压马达转动并使货物下降。

当操纵手柄扳回到零位时，电磁线圈4H-Y01或4H-Y02失电，泵控比例电磁换向阀回到中位，于是泵HA回复到零位。而且只有当泵回到零位并使零位开关断开时，才能使刹车电磁阀断电，制动器也才会因油缸泄油而抱闸，从而可避免过早抱闸而导致刹车片严重磨损。万一液压泵HA的控制系统发生故障以致在手柄回中1秒后泵仍未回到零位，刹车电磁阀也会在延时继电器的作用下断电而使制动器抱闸。

在该起货机系统中设有功率限制单元，图3为“起升动作”电子功率限制的模拟电路框图。该电子功率限制是根据负载（工作压力）来限制吊钩的速度（泵的排量）从而使速度和负载的乘积等于恒定数。如图所示，利用压力传感器4H-B01可测得负载压力，并将该信号引到功率限制板H23。操纵手柄的模拟信号经过积分板H21，功率限制板H23而送到功率输出板H31，这一输出信号控制着液压泵的比例电磁换向阀，以决定泵的排量（吊钩的速度）。



如果负载与速度的乘积超过了最大允许值,则加到泵控比例电磁换向阀 H11 电磁线圈的电信号在无须操纵人员作任何调整的情况下会自动减小,直到达到与负载相应的速度为止。这以减小的信号在功率限制板 H23 上形成,从而实现了系统中最大功率的限制。

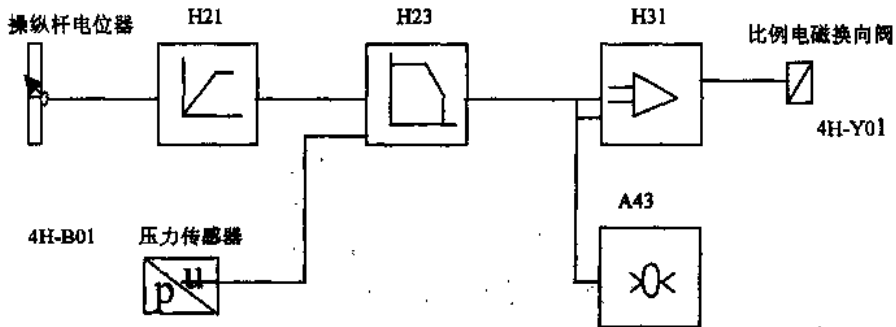


图3 “起升动作”电子功率限制的模拟电路框图

2 起升机构故障的原因分析

2.1 起升机构故障的出现与故障原因的查定

1号起货机在装货期间突然出现起升机构工作不正常,吊的升降时有时无,甚至停止。由于在此之前该吊曾经发生过起升机构工作不正常故障,后经检查发现是由于油马达花键端盖的油封压盖破损造成油封损坏,油马达与卷筒的连接法兰处在系统工作过程中有大量油液漏出,从而导致故障的发生。后经更换油马达轴封系统恢复正常工作。因此首先怀疑是不是又是因为起升油马达的油封损坏造成油液大量泄漏而导致该故障的发生呢?于是我们便到吊顶对油马达进行了仔细的检查。检查后发现油马达轴封端并没有大量漏油现象,而且从检漏孔处检查也未发现有大量泄漏发生。显然不存在油马达泄漏这个问题,于是排除了油马达故障这一因素。

那么故障到底是由什么原因引起的呢?通过对照该起货机的液压系统图进行仔细的分析,并根据该故障现象列出了另外几种可能引起该故障发生的原因:(1)系统中的补油压力不足,导致主油路中的油液得不到及时的补充,管路中建立不起正常的工作油压,造成起升机构工作不正常。(2)控制油路供给油压不足导致进入制动器内的控制液压油不能使制动器松闸,造成起升机构不能正常动作。(3)刹车电磁阀控制电路故障或者刹车电磁阀自身故障,即刹车电磁阀自身卡阻或者刹车电磁阀电磁线圈损坏以及控制电路发出的信号无法送到电磁阀导致刹车电磁阀不能动作,控制液压油不能通过刹车电磁阀进入制动器,制动器不能松闸从而起升机构不能正常工作。(4)主令操纵手柄控制电路故障使操纵控制信号失真或控制信号无法送到比例电磁换向阀,导致阀不能离开中位,起升液压泵始终处于零位不能向管路中供液,系统中不能建立正常的工作油压,在压力记忆单元的控制下制动器不能松闸,造成起升机构工作不正常。(5)比例电磁换向阀自身故障即阀自身卡死或者阀的电磁线圈损坏,导致阀不能离开中位,同样起升液压泵不能向管路中供液,系统中不能建立正常的工作油压,在压力记忆单元的控制下制动器不能松闸,造成起升机构工作不正常。(6)起升液压泵自身故障,导致其不能向管路中供液,系统中不能建立正常的工作油压,在压力记忆单元的控制

下制动器不能松闸,造成起升机构工作不正常。

根据以上分析结果,首先对该起货机液压系统的补油油路进行检查。在确认补油油路各油管接头处无漏泄后,从补油泵 A1 的吸入口开始,检查其吸入口滤器是否脏堵,泵运行是否良好,泵的排压是否正常,排出口滤器是否脏堵,限压阀 A4 的设定值是否正常,检查后发现均正常,无异常现象,系统中的补油压力正常。由于该系统中的控制油压也是由补油泵提供的,由以上检查也认为控制油路的供给油压也正常。那么控制压力油进入制动器的刹车电磁阀会不会发生故障呢?通过扳动刹车电磁阀的手动操纵手柄发现电磁阀的动作良好,无卡阻现象,且在刹车电磁阀处于松闸位置时发现吊仍然无起升动作。显然,导致该故障发生的原因另有所在。考虑到以往曾多次出现过主令操纵手柄的控制电路板故障而导致比例电磁换向阀的电磁线圈无输入电流或输入电流不正常造成系统不能正常工作,后经更换电路板,系统恢复正常。那么,此次故障会不会是因为该控制电路板出了问题而引起的呢?于是,电机员对控制电路板进行检测。通过扳动操纵手柄测量控制电路板输出引脚的输出电位值,并测量比例电磁换向阀的两电磁线圈的输入电流,检测后与正常值比较发现均正常。显然,控制电路板没有出问题,比例电磁换向阀的电磁线圈也未损坏。那么比例电磁换向阀本身会不会因为卡死而不能离开中位呢?通过扳动其手动操纵手柄发现其动作良好,不存在卡阻。而且在扳动操纵手柄的过程中发现即使在阀离开了中位后起升机构仍然无动作。从理论上讲,当比例电磁换向阀离开中位后,泵就会在控制液压油的作用下离开零位而向管路中供液,其流量与比例电磁换向阀的位移成正比。那么管路中的油压会不断的升高,当达到系统中正常的工作油压时,在压力记忆单元的控制下,制动器就会松闸,油马达在油压差的作用下转动,吊起升或下降。而现在情况恰恰相反,根据以上分析认为可能是起升液压泵 HA 本身出了问题。于是对该泵进行了仔细的检察,用手触摸其泵壳发现泵有较大温升,从油箱中拔出其泄油管发现泄漏量很大,很明显,该泵的内漏泄量过大,不能正常供液,导致系统主油路中无法建立正常的工作油压,制动器不能松闸,从而造成起升机构不能正常工作。

2.2 故障原因的进一步分析

在确认故障源为起升液压泵后,便将泵从系统连接管路中拆下,搬运至机舱车间对其进行拆检。打开端盖后,发现从泵内流出含有大量金属屑的油液,从这种迹象感觉该泵可能遭受了严重的磨损。进一步拆卸发现泵内与油缸相接触的配油盘已磨损变形,大部分柱塞球头已磨平,甚至有的已磨成尖状,柱塞在油缸中有卡阻现象。显然,泵遭受了严重的磨损,泵的内漏量过大也正是由泵内过度磨损引起的。

那么,泵为何会受到如此严重的磨损呢?通过对系统油箱中的油液进行抽样检验后,发现液压油中含有的固体污染物已严重超标,且其中含有大量的金属屑,其污染严重。显然泵遭受如此严重的磨损与液压油的污染是分不开的。对于泵类元件来讲,液压油中的固体颗粒会使泵内的相对滑动部分磨损加剧,从而导致其失效。在本系统中液压起升泵采用的是斜盘式轴向柱塞泵,该种泵在运转过程中其相对滑动主要发生在配油盘与缸体之间、柱塞与油缸之间、柱塞球头与滑履之间以及滑履与斜盘之间,同时进入泵中的液压油会在这些相对滑动面发生漏泄,从而影响泵的容积效率。系统在正常工作时,进入泵中的液压油会在各滑动表面之间形成一层油膜,该油膜将相对滑动表面的金属隔开,起到润滑和冷却作用,以减轻相



对滑动表面之间的磨损。如果系统中的液压油受到污染,那么油液中的颗粒会随着油液分布到各滑动表面之间,这会使滑动表面的磨损加剧,磨损后的产物残留在系统中会使泵的磨损进一步加剧。同时系统液压油中的污染物也越聚越多,泵的磨损也就越来越严重。当泵磨损到一定程度后,其各滑动表面之间的漏泄就会变的过大而造成泵的内漏严重,从而导致泵的失效,不能正常向系统中供液,导致系统中不能建立起正常的工作油压,从而造成起升机构的工作不正常。

3 故障的解决与事后的处理

根据泵的拆检结果,发现泵已严重磨损无法修复,只能采取更换新的备件泵安装到系统中去。为了从根本上消除此类故障的再次发生,决定对该起货机的液压系统进行一次彻底的冲洗,并更换系统中的液压油。首先,从油箱底部的放残考克将油箱中的存油放出,存入空桶内已作其他用途。待油放尽后,打开油箱的两个道门,对油箱内部做彻底的清洁。用铁铲将油箱内壁上的油泥以及油箱底部的渣油清理出来,然后用废床单对其内部进行擦拭,最后用面团沾吸脏污将油箱内彻底清理干净。接着,将打开的两个油箱道门清洗干净,将其密封圈更新。随后将系统中各油路油管接头打开,将系统管路里残存的油液冲出,并对系统中各滤器进行清洗或更换。然后通过油箱注油孔上的滤器向油箱中注入400L的新油。最后,开机空转几分钟,系统充油排气,同时对系统中的滤器进行检查酌情对其进行清洗。然后扳动操纵手柄,系统各机构动作正常。

事后,加强了对起货机液压系统的维护保养,及时检查与清洗系统中的滤器,注意对系统中液压油污染度的控制,定期对系统中的液压油进行抽样检验并酌情对其采取措施。每次到港使用起货机前通过油箱底部的放残考克对油箱中的液压油进行放残,大大地提高了起货机的工作可靠性。

4 结束语

本文叙述了利布赫尔B5/18-20型液压起货机发生的起升机构动作不正常故障,从分析其液压系统的工作原理,可以得出结论——由于液压起升泵的内漏泄量过大而造成起升机构动作不正常故障。在对液压起升泵的实际拆检过程中发现是由于该泵内部遭受了严重的磨损,造成其在工作的过程中内漏泄量过大,系统中无法建立正常的工作油压,从而导致起升机构动作不正常。

液压起升泵内部的严重磨损,是由于日常维护管理中对液压油的污染度控制不严而造成的。正是因为对液压油的污染度控制不严,使得系统中的液压油污染越来越严重,当达到一定程度后,便会使系统中的液压元件遭受损坏。因此对于液压系统的管理要特别注重对其液压油的污染度控制。在日常维护管理过程中要做好系统中滤油器的保养工作,定期清洗和更换滤芯;系统的投油与补油要经过滤油器;对于大修后的液压系统在投油前要对系统进行彻底的冲洗;要防止液压油工作温度过高,造成液压油氧化变质;对于系统中的液压油要定期抽样检验,视情更换液压油;

另外,从本次故障的发生到彻底解决过程中,可以看出对于液压系统的检查和管理需要



管理人员对系统进行深入的分析、判断之后,再着手对其进行维修。同时在管理过程中,建立和健全必要的维护保养体系,作好日常维护保养工作的故障处理记录,提高备品备件的数量与质量,以及对液压系统采用必要的先进监控手段。

参考文献

- 1 费千. 船舶辅机[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998.
- 2 阎永阁. 船舶辅机[M]. 大连: 大连海运学院出版社, 1990.
- 3 利布赫尔 B5/18-20 型电动-液压船用起货机使用说明书[Z]. 南京绿洲机器厂, 1987.



某船液压舱盖系统开舱异常故障分析及排除

朱金标¹, 李可顺²

(1. 中波轮船股份有限公司, 上海 200080;

2. 大连海事大学, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 本文针对某船液压舱盖机发生故障的事实, 在仔细分析了舱盖机液压系统的工作原理的基础上, 结合平时的工况现象, 进行故障原因分析, 并提出了解决方法, 最后得出结论, 为以后管理船舶液压设备时提供了宝贵经验。

关键词: 船舶舱盖机; 故障诊断; 液压系统

0 前言

随着造船业与航运业的迅速发展以及液压技术的不断进步, 液压技术在船舶上的应用日益广泛。但在实际使用中, 若维护管理不当, 势必影响液压系统的正常工作, 甚至影响到船舶的安全航行与正常营运。因此, 要求船舶轮机管理人员不仅要懂得相关的专业知识, 而且还要了解相关液压设备的维护保养方法, 同时, 对于出现故障时还要能及时准确的分析排除故障, 从而确保船舶的正常营运。本论文论述了一艘有 19 年船龄的杂货船的舱盖液压系统故障的分析及排除方法。

1 故障现象

某船是一艘有 19 年船龄的杂货船, 该轮共四个大舱, 除 No.1 舱有一组舱盖板外, 其余三舱均有四组舱盖板, 每组舱盖板有两个液压油缸驱动, 该舱盖系统采用的是外置油缸折叠式舱盖, 油路采用串联形式, 一次只能操作一个舱盖, 此时, 其他的控制阀均在中位, 将各缸旁通。该轮在第 43 航次卸货, 开舱时, 出现如下现象:

(1) 开舱时速度明显减慢, 特别是刚开舱时 1 min 左右, 舱盖几乎觉察不到移动。

(2) 有些舱在开启后不能彻底, 止动块打不上。

(3) 检查开舱压力表压力始终停留在 17.5 MPa, 而正常时应该是开舱过程中在 17.5 MPa 上下摆动。因为, 在开舱过程中, 随着舱盖位置的变化, 阻力臂也发生变化, 所以, 开舱压力也应当变化。

(4) 液压泵出口管油温明显升高。

(5) 安全阀泄油管用手摸有发烫感。

(6) 油箱油位正常, 但油箱上的油温表显示 60°C 以上。

当时舱口周围滚轮轨道上有很多大豆, 又经雨水浸泡发胀, 因而会影响开舱阻力, 但是



经清除后只有现象(3)消除,其他仍然没有改善。液压油缸放气,依然没有效果。

2 故障分析

2.1 液压系统的故障分析

该液压系统的动力装置是一个定向变量泵,额定压力21 MPa,正常工作压力17~19 Mpa。压力油通过管路及控制阀进入液压油缸,使油缸内的活塞伸缩以实现舱盖的开关。

从动作原理可分析出止动块打不上的原因是舱盖板开到此位置时压力不够高,不能克服开舱阻力,具体原因有:

(1) 舱口围轨道堵塞,增大开舱阻力,从而开舱压力,使安全阀开启;

(2) 管系泄露,损失压力;

(3) 本身安全阀开启压力调节过低,开舱时,阻力大时开启,使开舱不彻底,小时又自动关闭。

对原因(1)经采取初步措施时已经排除;

对原因(2)可通过管系检查和油箱油位正常也可排除;

对原因(3)可通过故障现象:安全阀泄油管用手摸有发烫感,说明安全阀有开启,在适当调整安全阀压力后,故障现象消除。

供油流量决定开舱速度,因此,可分析出导致开舱速度慢的原因有:

(1) 液压管系漏油,如管路爆开,阀箱锈穿等;

(2) 油缸内部泄露严重,液压油直接从高压侧漏入低压侧,导致做功流量减少;

(3) 液压泵排量降低。

针对以上几条原因,结合故障现象,我们可以进行逐一排除,首先,发现管系泄漏,第(2)条很可能是导致该故障的因素之一,因为印尼白天气温极高,液压缸内起密封作用的橡皮圈容易高温硬化,从而使密封作用降低。另外,该轮液压油缸大多自造船以来未经过解体检修,油缸内活塞上的橡胶密封圈老化磨损也可导致内部泄漏。再者,高温天气下,液压油粘度会随着温度升高而降低,也是可以形成内部泄漏的因素之一。但通过更换两个新油缸(1舱左右两缸)实验,同样发现有开舱速度减慢的毛病,因此,我们可以判定油缸没有内漏。

因此,可以初步判断开舱缓慢的原因是液压泵问题,这可由故障现象进一步证实。因为,如果液压泵排量降低,则必然会导致此种结果。而液压泵排量降低的可能因素大致有以下几种:

(1) 泵内部泄漏严重;

(2) 吸入滤器阻塞或管路阻塞;

(3) 安全阀或溢流阀设定值过低,安全阀开启后,油泄入油箱,使流量减少;

(4) 此液压变量泵斜盘角度太小。

对此,对液压泵解体之前,首先对(2)、(3)、(4)条进行验证。分别对滤器清洗,安全阀解体调节,溢流阀调节,斜盘角度调节,但是故障均未能排除,此时可以断定,其原因是液压泵内部泄漏严重,而故障现象的第(4)、第(6)条,正符合泵内部泄漏所产生的现象。

通过以上分析,我们可以确定,导致此次故障的根本原因在于液压泵内部泄漏严重,致使泵的排除流量降低,开舱速度减慢,为此,决定对此液压泵进行解体修理。

2.2 液压泵的故障排除

该液压泵型号为PV-FLSY-30-CC-11-JA斜盘式轴向柱塞泵。根据其结构和工作原理可知,能引起液压泵内部泄漏的几个主要密封面有:

(1)缸体与配油盘之间;(2)缸体与柱塞之间;(3)滑履与斜盘之间;(4)滑履与柱塞的球头之间。

因此,解体油泵检查,发现配油盘上与缸体接触的地方有损伤迹象,可导致压力油直接从高压端渗出或进入低压端,从而引起泵体发热,排量降低,回油管流量增大,形成液压油在油箱与泵之间循环而使油温升高,到此也可解释为什么安全阀开启后,泄油管有发烫感以及泵出口管发烫。于是,将配油盘上附件拆下,在盘面涂500单位的细研磨沙放在平台上呈“8”字形研磨,直至损伤痕迹消失,在泵已完全解体的情况下,顺便也将柱塞顶端,缸体端面分别研磨,最后,在确认泵各密封面清洁后,将泵装复。

装复后注意各密封面贴合良好,并在泵体内充满干净的液压油,后将斜盘角度调节螺钉调到合适位置,并将安全阀调至全开,确认一切正常后,点启动试验,如泵体及接头处无泄漏。即可进行压力实验,使压力表指示为23 MPa(按说明书要求),最后再调节安全阀,使压力表指示为21 MPa,至此,油泵压力调节完毕,各阀恢复后即可正常开关舱盖。

3 结 论

针对这次液压系统出现故障及解决过程,我们可以总结出以下几点管理注意事项:

(1)冷天启动液压泵时,应先将泵起动5 s,停5 s,重复5次以上;与此相应,天热时,油黏度降低,系统内泄漏加大,开关舱速度将稍慢于低温时。为此,应在温差大时及时作好泄压工作。

(2)液压泵启动后或停止前要观察压力表读数,否则,如果不注意的话,在油路不畅通的情况下开关另一个舱盖,可造成油路循环几乎完全中断,极易出现爆管故障。

(3)在故障发生后,对故障分析及排除过程中,根据由易至难的原则,在根本原因未确定之前,首先从简单易行的方案进行检验,然后逐一排查,可能导致费工费时,甚至造成更严重的故障。

同时,要求我们轮机管理人员,要熟悉系统,精心维护,做到防患于未然。一旦发现故障,则应认真分析,及时予以排除,确保船舶的安全运行及减少经济损失。



某船液压舵机跑舵故障分析及处理

朱金标¹, 李文华²

(1. 中波轮船股份有限公司, 上海 200080;

2. 大连海事大学, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 液压舵机是船上的重要设备, 它一旦发生故障, 便会使船舶处于失控状态, 其后果很难设想。本文针对某船液压舵机发生故障的事实, 仔细分析了舵机液压系统的工作原理, 在此基础上, 结合平时的工况现象, 找到了故障原因, 并提出了解决方法。

关键词: 船舶舵机; 故障诊断; 液压系统

0 前言

液压舵机已广泛用于各种类型的船舶上。由于液压舵机是船上的重要设备, 它一旦发生故障, 便会使船舶处于失控状态, 特别是在复杂的水域和狭窄的水道时, 其后果很难设想。有些故障产生的原因比较明显, 易于查找和解决, 但是有些不易立即找出故障原因。而需要轮机管理人员对液压系统中的各个液压元件的结构和性能进行仔细地分析和研究, 才能逐步找出发生故障的部位, 进而排除故障。本文针对某船液压舵机发生故障的事实, 总结了管理液压舵机的技巧和方法, 对轮机管理人员在维护液压舵机时具有参考意义。

1 故障现象

本船所使用的舵机是 TELERAM R4ST 650 型四撞缸十字头式舵机, 舵机油泵为主油泵和控制油泵一体式装置, 型号为 A2P 250 型, 工作流量为 300L/min, 舵机工作扭矩为 2 784 kN/m。

某日机工在巡回检查中听见舵机间停用的备用 No.2 舵机油泵管系中有异常声响, 即告诉大管轮, 大管轮起动 No.2 舵机油泵联机工作, 声响消失, 工况正常。抵达锚地对两台舵机进行运转和操舵试验, 无异常。几天后正常航行时发现 No.1 舵机油泵单独使用、自动舵方式情况下, 发生跑舵现象。

2 故障原因

舵机存在的故障立即引起了船舶的重视, 轮机长立即组织人员对两台舵机在不同工况下进行了试舵。试舵时海况是和风轻浪, 航速 15 kn, 当单独运行 No.1 舵机油泵时, 左舵在 15° 范围内尚能转动, 但舵效慢; 右舵能至 30°, 但回舵在 10° 卡舵, 启用两台舵机恢复正常。当单独运行 No.2 舵机油泵以及两台油泵同时运行时, 转舵情况均正常。

试验结果表明, 故障是在大负荷情况下出现的, 因此判断可能是 No.1 舵机系统防浪阀出



现问题,另考虑到两台舵机系统主油路是连通的,为缩小故障范围进行了两台舵机系统隔离情况下的试验,试验时的海况是和风轻浪,航速 15 kn,试验结果如下:当单独运行 No.1 舵机油泵并关闭缸阀 C3/C4 时,转舵情况正常;当单独运行 No.2 舵机油泵并关闭缸阀 C1/C2 时,转舵情况也正常。

经过这样的试验,可以认为在两套舵机系统隔离情况下 No.1 舵机油泵和 No.2 舵机油泵单独运行时都是正常的,防浪阀也可以认为是正常的,问题集中在非隔离情况下两套舵机系统互相影响的原因是什么?因此,继续观察发现 No.1 舵机油泵使用, No.2 舵机油泵停用情况下电动机跟转,而 No.1 舵机油泵电动机无此现象,进一步观察油泵,并作了记录如表 1。

表 1

运行舵机	No.1 舵机油泵斜轴指示	No.2 舵机油泵斜轴指示
No.1 舵机油泵	左 10	偏右 5 振荡
No.2 舵机油泵	保持为 0	正常来回摆动
No.1+No.2 舵机油泵	正常来回摆动	正常来回摆动

对上述现象进行分析,其原因是:在 No.1 舵机油泵运转时,由于停用的 No.2 舵机油泵斜轴偏离零位,当 No.1 舵机油泵泵出的高压油作用时,油泵逆变为油马达,导致电动机跟转,这样 No.1 舵机油泵泵出的部分压力油经 No.2 舵机油泵泄漏,也就是说 No.1 舵机油泵单独运转时增加了一个负荷,当船舶高速、大舵角时(即大负荷情况)时, No.1 舵机油泵不能承受如此高的负荷,出现反舵现象,至于震荡是因为负荷变化引起 No.1 舵机油泵流量变化,经 No.2 舵机油泵泄漏的油量也发生变化,主动带动摆缸角度变化。

3 故障机理

在分析液压舵机油泵工作原理的基础上,推断泵缸偏离中心的原因应该有两种:

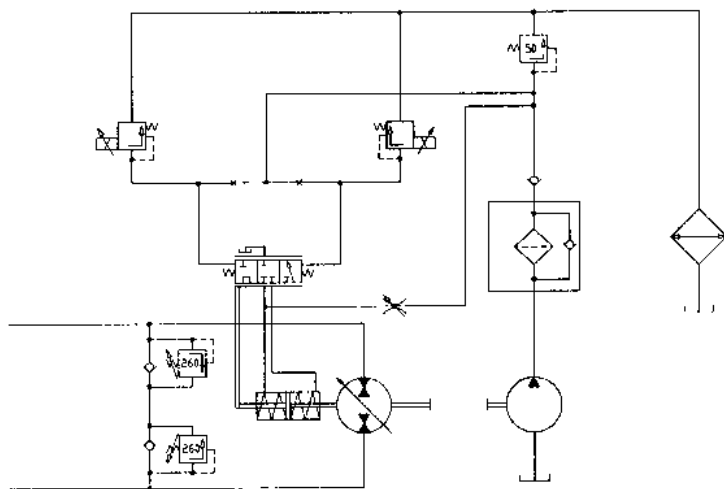


图 1 舵机油泵控制油路液压原理图

3.1 No.2 舵机油泵伺服装置故障

由于油泵停止时已无伺服控制油压,无推动伺服油缸活塞移动的作用力,因此引起这种小角度偏离零位则很有可能是伺服油缸的截面积小的一侧弹簧断。因为从伺服油缸的工作原理我们可以看到,在有操舵指令时,滑阀先工作在左位时,伺服油缸中活塞能移动,在中位时由于液体不可压缩原理,也能保持,工作在右位,活塞在伺服压力液压油的作用下,一般50bar 的压力油能克服弹簧的作用使伺服油缸也能移动,所以单泵使用也能继续正常工作,与现象吻合。如截面积大的一侧弹簧断,如上分析工作在左位时,由于截面积差引起的作用力能够克服弹簧弹力,伺服活塞也可以正常左移,所以,舵机也能正常工作,但在停泵时的故障现象就不同于截面积小的一侧弹簧断,因为伺服油缸右部的液压油被滑阀密封住,根据液体不可压缩原理,活塞不会移动,不可能出现偏离零位的现象。

3.2 舵机油泵机构故障

若配油盘表面有冲蚀或泵缸预紧力有问题,在来自 No.1 舵机油泵高压油的作用下使泵缸偏离中心而带动伺服装置出现指示偏离零位,但这种分析仔细推敲又存在很多疑点,如在这种情况下因为 No.1 舵机油泵高压油的方向是交替的,因此泵缸偏离的方向应是任意的;而且在这种情况下油泵的工作油压也是变化的,则泵缸的偏离角度也应是不固定的。这与故障现象并不吻合。

基于以上分析,造成本次故障的唯一可能原因就是 No.2 舵机油泵伺服油缸的截面积小的一侧弹簧断。

4 应急措施

由于在航行期间,所以无法对故障泵进行彻底维修,待船舶抵港后,安排专业厂家进行检修。此时只能制定如下几项应急措施:

- (1) 况正常时,使用 No.2 舵机油泵;
- (2) 海况复杂时,使用两台舵机油泵;
- (3) 如需要使用 No.1 舵机油泵时,驾驶台必须先通知大管轮,待大管轮完成与 No. 2 舵机油泵的隔离后,方可开启使用;换泵使用亦然。
- (4) 进出港时派人在舵机间值守。

5 结论

近年一些新造船采用的舵机伺服控制系统中的伺服执行机构是电动定位器,伺服油缸两端无弹簧,正是这一点的不同给我们故障的分析以启发,说明该弹簧的作用只是阻尼作用,伺服油缸中活塞的位移是依靠液压油的动力作用形成的,与弹簧无关。如果船舶自行拆装该装置,发现一侧弹簧断裂,在无备件更换情况下,可以将另一侧弹簧取下,系统还是能正常工作的,如认为两端弹簧取下后工作发生冲舵,可以通过节流阀调整。

从这起故障分析的整个过程看,轮机长和主管轮机员要掌握舵机运行数据和第一手资料,为整个故障的分析判断起到关键作用,同时,主管轮机员要在平时多观察舵机工作的各个细



节,就更加容易分析故障,如在舵机工作时应经常观察摆缸的角度指示变化包括速度和角度值,并对两台系统的工况进行比较等。

从原理上讲液压舵机是船舶甲板机械中较为简单的液压系统,但同时也是船用液压机械中最为重要的液压系统。所以任何微小的工作不正常现象都应高度重视。因此,对于液压舵机的使用管理,一是要建立合理使用的维护体系,加强预防性检查。二是要保证使用管理计划的认真落实,并且做好记录。这样液压舵机一旦出现问题,只要要根据其液压系统的特点,遵循正确的步骤和方法,相对来说对故障进行诊断分析和排除就显得比较容易。

船舶尾轴润滑油液监控的数据挖掘

王宏志¹, 郭心红², 王乃凡¹

(1. 大连海事大学轮机工程学院 116026; 2. 青岛远洋船员学院机电系 266071)

摘 要: 本文根据某轮尾轴润滑油的监控的原始数据, 利用相关分析和聚类分析方法进行了数据挖掘, 提取出了有助于失效机理与原因分析的特征指标。

关键词: 船舶尾轴; 润滑油; 故障诊断; 数据挖掘; 特征提取

0 引言

为了充分利用光谱与铁谱分析数据, 应该从多个方面分析和研究其规律性, 为故障诊断提供更多的证据。在实际应用中需要考虑选择多个参数, 多参数的引入, 将带来决策的不一致性。基于此, 本文将对大连海事大学油液检测中心连续五年对某轮尾轴润滑油的监控数据, 进行相关分析和聚类分析, 从中找出的某些变化规律及其影响因素, 为失效机理与原因分析提供重要的定性定量的特征指标。

1 相关性分析

1.1 光谱数据相关性分析

		FE	CU	PB	NA	B	CA	MG
FE	Pearson Correlation	1	.417	-.014	-.100	.178	-.002	.399
	Sig. (2-tailed)	.	.230	.970	.784	.622	.995	.253
CU	Pearson Correlation	.417	1	-.169	-.064	.000	-.280	-.210
	Sig. (2-tailed)	.230	.	.641	.861	1.000	.433	.560
PB	Pearson Correlation	-.014	-.169	1	.948**	.421	-.773**	.599
	Sig. (2-tailed)	.970	.641	.	.000	.226	.009	.067
NA	Pearson Correlation	-.100	-.064	.948**	1	.251	-.803**	.329
	Sig. (2-tailed)	.784	.861	.000	.	.485	.005	.354
B	Pearson Correlation	.178	.000	.421	.251	1	-.102	.682*
	Sig. (2-tailed)	.622	1.000	.226	.485	.	.779	.030
CA	Pearson Correlation	-.002	-.280	-.773**	-.803**	-.102	1	-.306
	Sig. (2-tailed)	.995	.433	.009	.005	.779	.	.391
MG	Pearson Correlation	.399	-.210	.599	.329	.682*	-.306	1
	Sig. (2-tailed)	.253	.560	.067	.354	.030	.391	.

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

由上表可以看出, Pb 与 Na 的相关系数为 0.948, 显著性水平 Sig=0.000, 呈现高度相关性, 与 Mg、Ca 呈现中度相关性, 而与其他元素均呈现低度相关性。这说明, 是 Na 导致了



Pb 含量的变化, 也即滑油中的钠元素引起了艉轴管的磨损或腐蚀。

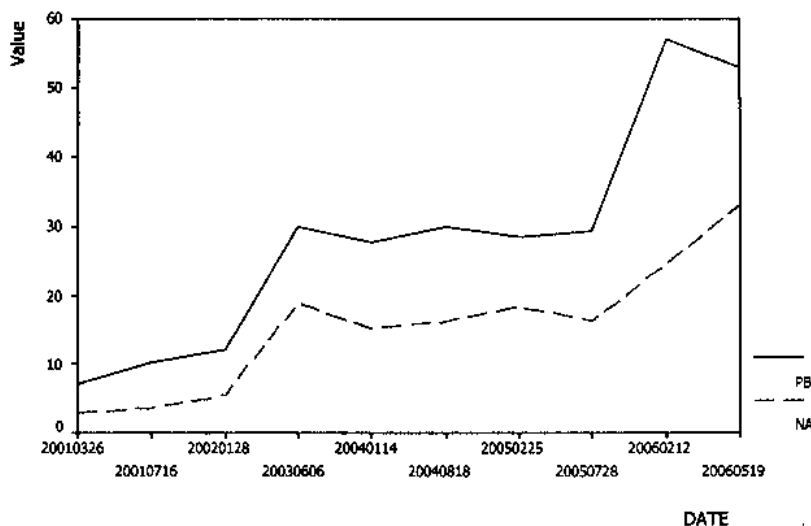


图1 铅、钠元素含量变化趋势图

铅、钠元素含量趋势的一致性, 也显示出了二者的高度相关性。元素 Fe(主要来自于是艉轴)与其他元素的相关性都不大, 说明艉轴在工作过程中没有受到其他元素的影响。

1.2 铁谱数据的相关性分析

铁谱数据分析是对磨损颗粒数量、尺寸、形状与成分的分析, 可以获得关于机器磨损程度、磨损类型以及磨损部位等方面的信息。根据对该轮艉轴滑油连续采样过程所得到的大颗粒数 D_L 和小颗粒数 D_S 两个原始数据, 以及磨损总量 Q 、磨损严重度 D 、磨损严重程度指数 I 三个计算数据做出相关性统计表和变化趋势图。

		DL	DS	Q	D	I
DL	Pearson Correlation	1	.155	.921**	.899**	.945**
	Sig. (2-tailed)	.	.668	.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10
DS	Pearson Correlation	.155	1	.528	-.294	-.109
	Sig. (2-tailed)	.668	.	.117	.410	.764
	N	10	10	10	10	10
Q	Pearson Correlation	.921**	.528	1	.657*	.769**
	Sig. (2-tailed)	.000	.117	.	.039	.009
	N	10	10	10	10	10
D	Pearson Correlation	.899**	-.294	.657*	1	.962**
	Sig. (2-tailed)	.000	.410	.039	.	.000
	N	10	10	10	10	10
I	Pearson Correlation	.945**	-.109	.769**	.962**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.764	.009	.000	.
	N	10	10	10	10	10

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

从铁谱数据的相关性分析结果来看,该轮艉轴润滑油中大颗粒数与磨损严重程度指相关性最大, Pearson 相关系数为 0.945, 呈现高度线性正相关关系。

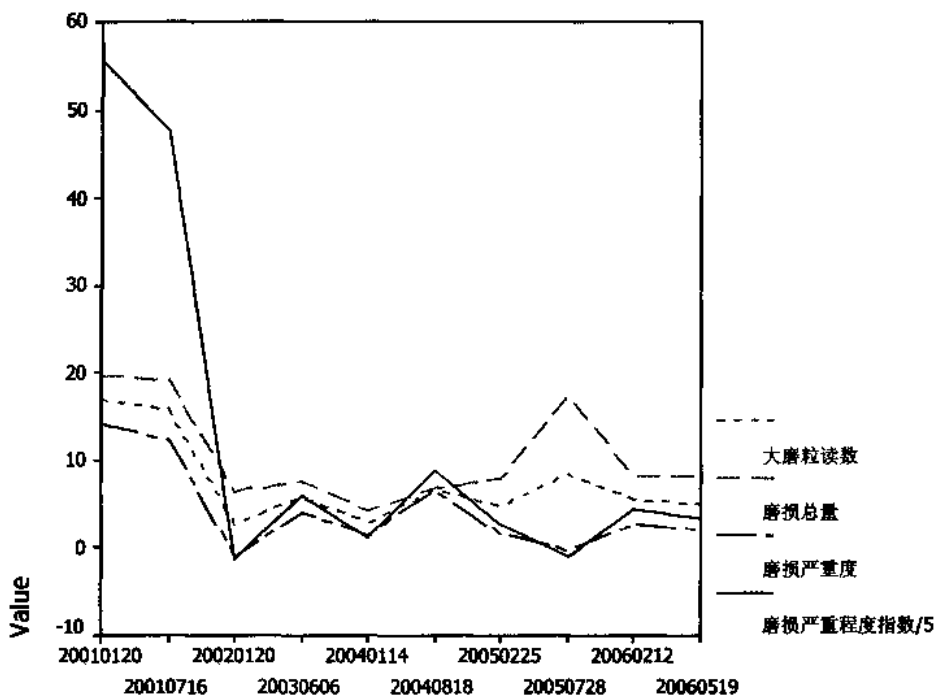


图2 铁谱数据 D_L 、 D_S 、 Q 、 D 、 I 趋势图

为了将变化趋势显示在同一个图表中,便于直观分析,把磨损严重程度指数由缩小5倍后输出,如图2所示。2001年上半年(即油样1、2采集时期),大颗粒数、磨损总量、磨损严重程度、磨损严重程度指数都较大,说明艉轴工作状况不理想,磨损较为严重,而在2004年初(油样5)总体润滑状况较好,磨损程度较低,此后虽大颗粒数和磨损总量有增加,但磨损严重程度变化不大。

通过对艉轴油样的铁谱数据进行相关分析,可以判定大颗粒数与艉轴磨损度和磨损严重程度直接相关,呈现高度线性正相关关系,而磨损严重程度与艉轴工作状况直接相关,小颗粒数与磨损的严重程度相关性不大。所以,当艉轴油样大颗粒发生异常的变化时,艉轴的磨损严重程度也将发生异常的变化,二者的变化趋势应是一致的。

2 聚类分析

根据各油样所含磨损元素特征信息,将元素含量相近的油样聚在一起,即根据事件的聚类,这样可以横向比较采样时期设备的工作状况是否相近。可以根据油样中元素含量的变化,将元素来源(即磨损部件)聚在一起,也即判定是哪些部件发生相似的磨损或受到污染。

2.1 根据变量的聚类

光谱数据变量聚类的树形图如下。

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

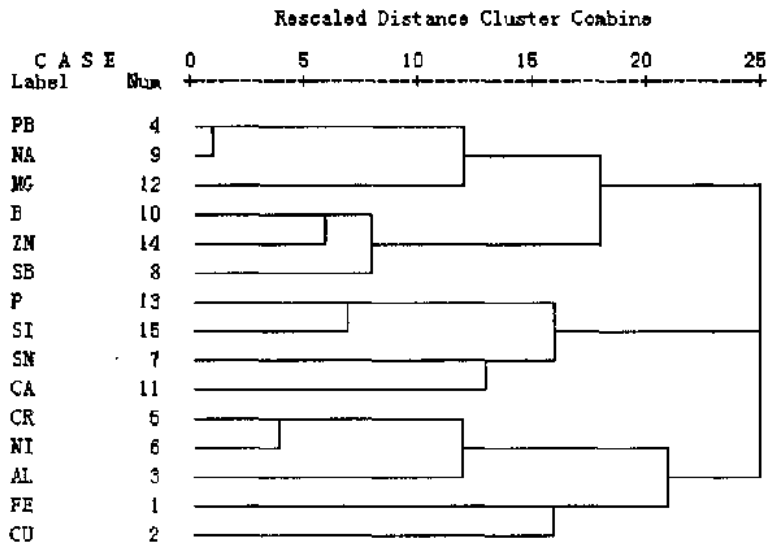


图3 光谱数据聚类分析树状图(变量)

按照变量聚类的树状图,可以看出 Pb、Na 元素的距离最近,基本上①铅、钠、镁元素;②硼、锌、铟元素;③磷、硅、锡、钙;④铬、镍、铝元素;⑤铁、铜元素五类。

2.2 根据事件的聚类

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

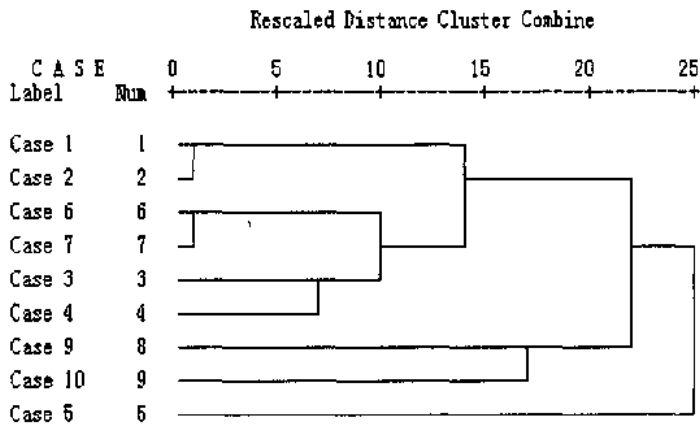
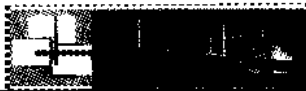


图4 光谱数据聚类分析树状图(事件)

根据样品(设备状况)分类输出的树状图,可以看出,“Case 1”与“Case 2”具有较高的相似性,先聚在一起,“Case 6”和“Case 7”也具有一定的相似性,也即油样 1 和油样 2 采集的时候,油样 6 和油样 7 采集的时候艉轴管的磨损情况较为相似,而 Case 5 最后被聚在一起,说明油样 5 采集时期,艉轴的磨损状况与其他时期均不一致,至于该时期磨损是更轻微还是更加严重,这里尚无法定论,需要综合铁谱数据的分析结果。



3 结 论

本文主要在光谱分析、铁谱分析进行润滑油油液监控的基础上,对已取得的大量油液监控原始实验数据和相关信息,进行数据挖掘,可以进一步获得与故障有关的油液监控的特征信息参数,提取故障的判别规则并确定来源,为评价轮机技术状况和智能化故障诊断系统奠定基础。

油液监控光谱与铁谱分析数据的相关分析,可以提供相关度的量化指标,可以为失效机理与原因分析提供重要的量化证据。

油液监控光谱分析数据的聚类分析,不仅可以得出元素分类信息,同时还可以获得设备状态变化一致性的信息,可以为失效机理与原因分析提供重要的定性证据。

参考文献

- 1 严新平. 油液监测技术的发展和思考[J]. 润滑与密封, 1999(增刊).
- 2 廖伯瑜. 机械故障诊断基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- 3 谢友柏. 油液分析技术发展历程及展望[J]. 润滑与密封, 1999(增刊).
- 4 王小斌. 油液分析技术在机械设备状态监测中的应用分析[J]. 煤炭技术, 2001, 20(9).
- 5 郑德如. 回归分析和相关分析[M]. 上海: 上海人民出版社, 1993.



电机控制实验教学中的典型故障分析

蒋力, 王晓

(大连海事大学 轮机学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要:通过对《船舶电气设备及系统》实验教学过程中出现的一些典型故障的分析, 介绍了查找和排除故障的基本方法, 以及预防故障的发生应采取的相应的措施。

关键词: 船舶电气; 实验教学; 故障分析

0 引言

《船舶电气设备及系统》是我校轮机工程专业的一门重要的专业课。教学大纲规定为 90 学时, 其中实验占 10 个学时, 主要包括以下内容:

- (1) 三相异步电动机磁力起动器控制实验及电机绕组极性判别。
- (2) 三相异步电动机按时间顺序起动及能耗制动。
- (3) 三相异步电动机正反转控制实验。
- (4) 三相异步电动机星形—三角形降压起动控制实验。
- (5) 船舶电站运行操作实验。

该实验课的主要目的在于通过培训, 使学生掌握常用电工仪表的正确使用方法; 了解各种电器(如接触器, 继电器等)的使用原理及熟悉它们的代表符号; 学会用万用表检查电路及对一般故障予以分析和排除, 提高分析能力和解决问题的能力。

1 实验教学中的常见故障

由于种种原因, 在实验过程中难免会出现各种各样的故障现象, 这些故障有时是因为人为的接线错误造成的, 有时是因为电器的故障(如触点故障等)造成的。下面仅以三相异步电动机星形—三角形降压起动实验为例, 叙述分析查找故障的基本方法。Y— Δ 形降压起动的控制电路如图 1 所示。

该电路的工作原理如下: 按下起动控制按钮 SB_1 , $1KM$ 通电, $1KM_1$ 自锁, 该触头闭合后时间继电器 KT 和星形接触器 KA 同时通电, 电动机星形联接降压起动, 常闭互锁触头 KA 断开 $2KM$ 电路, 经延时后常开触头 KT_1 闭合, 为 $2KM$ 通电做准备, 同时常闭触头 KT_2 断开, 星形接触器 KA 断开, 互锁触点 KA 闭合, $2KM$ 通电自锁, 电动机三角形联接全压运行。与此同时, 互锁触点 $2KM_2$ 断开, 使时间继电器失电, 并保证 KA 不能再通电。

在实验教学中出现的典型故障有如下几种:

- (1) 合闸起动瞬间电源短路。
- (2) 合闸后 KA 即动作。

(3) 2KM 接通后, 电机出现震颤, 工作电流增大。

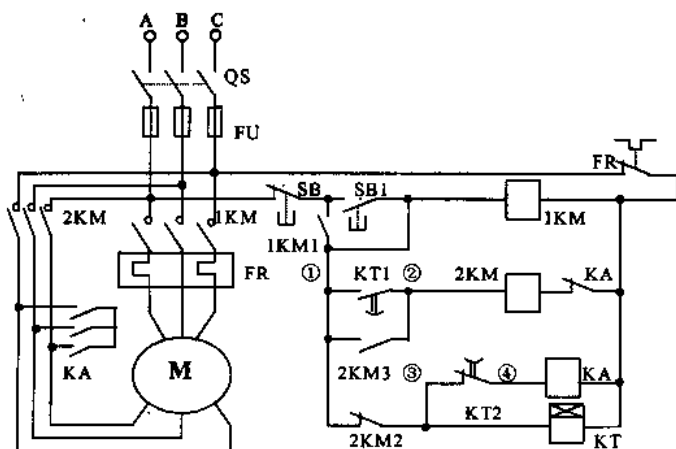


图 1 控制电路图

2 分析查找故障的基本方法

在实验过程中如出现故障, 应首先切断电源, 根据电路图及故障现象分析

故障原因。同一种故障现象造成的原因可能是多种多样的, 只有弄懂了电路的工作原理, 再根据现场的故障现象进行分析, 才能查找出造成故障的真正原因, 采取相应的措施排除故障。在查找故障的过程中, 最重要的一个原则就是尽量缩小查找故障的范围。下面介绍几种常见的查找故障的方法。

2.1 电阻测量法

这里特别要向学生强调的是, 电阻测量法是在断电的情况下对电器元件进行检查。在接线之前, 首先对实验台上的电器元件(如接触器, 按钮等)进行检查, 看其触点的工作状态是否正常; 接好线路之后, 可将万用表的欧姆挡放置在 $R \times 10$ 或者 $R \times 100$ 挡位上, 并将两表笔接在控制线路接电源的二相上(以图 2 磁力起动器控制线路为例, 即 B、C 相上), 按下起动按钮 SB_1 , 此时电路中可能出现三种测量结果:

- (1) 万用表所测阻值为 0;
- (2) 万用表所测阻值为 ∞ ;
- (3) 万表所测阻值大约在 $1.5 \text{ k}\Omega$ 左右。

前两种情况均说明电路联接有问题((1)为短路, (2)为开路), 应重新检查线路。在第三种情况下, 可试着先合闸, 看电路能否实现控制功能; 若不能实现, 再根据故障现象进行分析判断。

2.2 电压测量法

在某些情况下, 带电测量可以使故障现象维持, 更利于故障分析和排除。还是以磁力起动器电路为例。假设合闸后电机不转, 首先应用万用表交流电压档检查 A、B、C 三相电源是否有电。若有电, 再把表笔移到熔断器下方测量, 此时有电, 说明熔断器是好的; 若无电,

说明熔断器接触不好, 或已烧断, 应予更换。若上述故障排除后, 电机仍不转动, 再检查控制回路, 如果 SB、SB₁、KM、FR 均无问题, 则说明电路中有开路的地方, 此时应考虑问题是否出在连接线路上, 应对结点和导线进行检查, 直到排除故障。

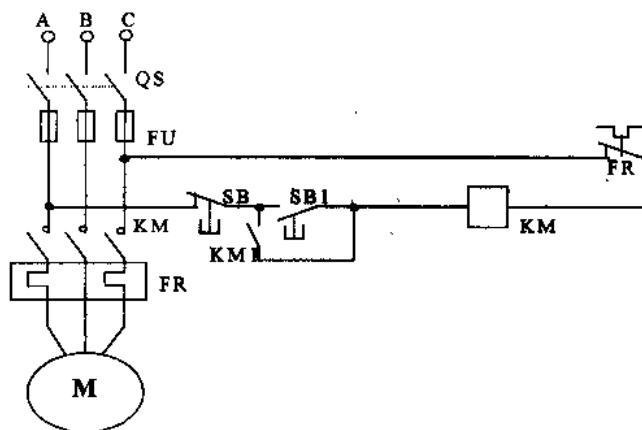


图2 磁力起动器控制线路图

3 Y- Δ 起动实验的典型故障分析

3.1 合闸起动电源短路

(1) 将 KA 的常开触点接至 2KM 主触点的上方 (见图 1), 造成合闸起动瞬间, KA 触点闭合, 三相电源直接短路。此现象在学生实验过程中出现多次, 其原因在于学生实验前没有仔细、认真地分析电路图; 接好线后, 没有经指导教师同意私自合闸。

(2) KA 触点粘合失效。根据电路图分析, 当时间继电器触点 KT_1 闭合时, KT_2 同时断开, KA 线圈失电, 其触点应立刻断开, 但在实验过程中发现, 当 KT_2 断开后, KA 触点会延时断开, 而此时 2KM 主触头已闭合, 造成三相电源短路。

(3) 合闸起动瞬间 KA 与 2KM 同时动作。

此现象比较罕见, 但确实发生了, 经查接线正确, 各元器件均无故障。根据线路图分析, 在合闸起动后 2KM 和 KA 是不可能同时有电的。后经检查发现, 在控制板的背面, 时间继电器触点 KT_1 和 KT_2 之间 (也就是图中的②和④之间) 有一根短路线, 造成了 KA 和 2KM 同时动作。

3.2 合闸瞬间 KA 动作

这种现象在学生实验过程中常出现。即合上空气开关 QS, KA 立即吸合, 经查, 在接线时, 把 KT_1 的①点或 $2KM_2$ 和 $2KM_2$ 与①点相连的这根线接至 SB₁ 前端 (即同 SB 相连端), 这样就造成了合闸瞬间 KA 动作。

3.3 2KM 接通后, 电机出现震颤, 工作电流增大

出现此现象后断开电源, 经线路原理分析, 各控制电器工作均正常, Y 形起动完成后, 已转入 Δ 运行, 接触器 2KM 也已正常工作, 重新通电试验, 发现三相电流不均匀, 出现一



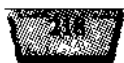
相缺相,使电机单相运行而出现震颤,经仔细检查,在接触器 2KM 主触头有一处接线松脱,紧固后系统即可正常工作。

实验过程中还普遍存在的一个问题是导线断线问题,由于使用的是塑料导线,加上多种原因,经常出现导线断线,可是用肉眼又看不出来,学生在接线过程中就会造成一些电路故障,学生往往不根据现象去分析,而是盲目认为自己接线有问题,于是接了拆、拆了接,由于故障导线始终在电路中,就会出现每接一次,故障不同。

综上所述,要做好实验,首先在实验前应认真预习,彻底读懂电路,实验过程中严格按照接线原则和操作要求去做,即:在连接电路时应做到先主后辅,先串后并。这样就可避免由于接线不当造成的一些故障。当电路中出现故障后,要会根据现象进行分析,然后用断电的“欧姆法”和带电的“伏特法”进行检查,最终排除故障。

4 结束语

随着电子技术、计算机技术的飞速发展,船舶电气设备的自动化程度越来越高,对电的理论及实践技能的要求越来越高。特别是轮机工程专业的学生,要达到 21 世纪轮机员机电一体化要求,就必须学习新知识、新技能,培养独立分析问题和解决问题的能力,这样才能挑起管“机”和管“电”的两副重担,才能走向世界,去占领世界海运的大市场。





维修保障

舰用 XC-4 (89) 型控制仪检修平台设计

王军民

(海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 目前舰装消磁电流自动调整仪均为电子控制设备, 因设备控制原理和结构等因素, 其电路模块较多, 大量电子元件集中在电路板(插件板)上, 在舰维修调试的工作量很大, 特别是要将示波器、频率计、信号发生器等检测设备带进舱室, 在窄小的空间内展开工作, 既费时费力, 又影响设备正常工作。本文针对 XC-4 (89) 型消磁电流自动控制仪的维修调试, 设计了对几个主要插件板的实际工况进行模拟的电路, 可将其制作一个调试模块, 或将几个模拟的电路组合在一起构成综合调试平台, 对插件板进行故障检修和参数整定, 实现快速检修和不影响设备正常工作的目的。

关键词: 控制仪; 插件板; 故障检修; 参数整定

0 引言

XC-4 (89) 型消磁电流自动控制仪是舰艇内消磁系统的专用控制设备。整套设备 90% 的器件为电子元件, 并且集中在电路板(插件板)上, 插件板有激励板(EX)、通道板(CH)、手动板(MC)、电子开关板(ES)、触发板(FF)、固定分量控制板(F)和综合板(MIX)等。各插件板在系统中的工作环境是特定的, 即与其连接的输入输出电信号各有特性, 据此特性可设计一套外围模拟电路构成检修调试平台, 复现其在系统中的工况, 使其脱机正常工作, 这样即可对单个插件板进行故障检修和参数整定, 实现快速检修和不影响设备正常工作的目的。

根据上述思路, 作者对各个插件板的外围模拟电路进行了设计, 本文仅举例介绍固定分量控制板(F)和手动板(MC)的模拟电路设计及其参数整定方法。

1 固定分量控制板(F)

1.1 技术要求

工作电压: +15 V; -15 V; +5 V

脉冲宽度: $\geq 15^\circ$

移相范围: 144°

输出电压(额定): 220 V—

同步电源: 380 V/3 V $\Delta/Y-1$

脉冲幅值: $\geq 17 V_{pp}$

输出电流: 0.5~10 A (系统)

过电流报警: $I_0 \geq 12 A$



过电压报警: $U_0 \geq 250 \text{ V}$

1.2 调试模拟电路设计

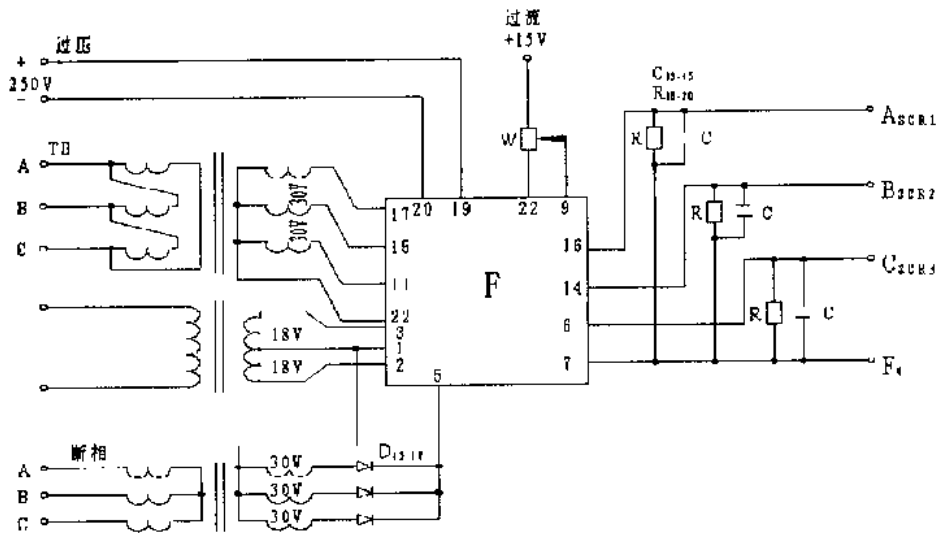


图1 F分量控制板调试接线图

1.3 调试步骤

1.3.1 同步级波形的测试

按试验接线图接线, 通电, 双线示波器 Y_A 测试线地端与印刷板 1 端连接, 测试端分别接 $BG_{8, 9, 10}$ 三极管的基极, 应是方形脉冲 (见图 2)。再将示波器 Y_A 测试线测试端接至 $BG_{8, 9, 10}$ 三极管的集电极, 所测得的波形与图 2 波形相似但相位反相 180° , 幅值也增大至 $3.4 V_{pp}$ 。

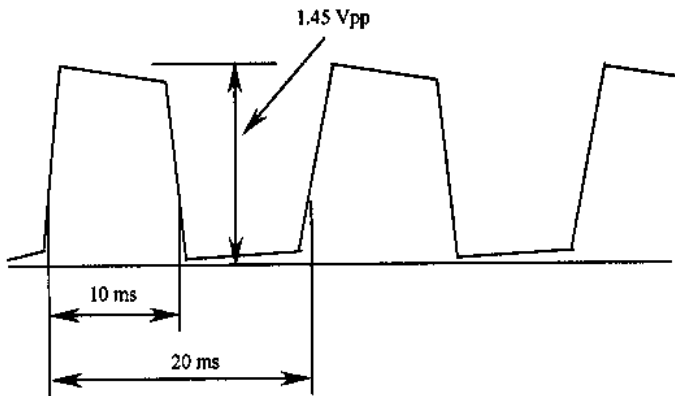


图2 移相同步级波形图

1.3.2 移相级测试

将印刷板中的 $W_1 \sim W_6$ 电位器调至中间位置, R_{33} 电阻与 IC_4 运放 6 脚联结节点拆开。在拆

开的电阻端对印刷板 1 号端加 0~+14 V 直流电压信号, 双线示波器 Y_A 测试线的测试端分别接 $BG_{4,5,6}$ 三极管的集电极, 测锯齿波的波形, 如图 3。

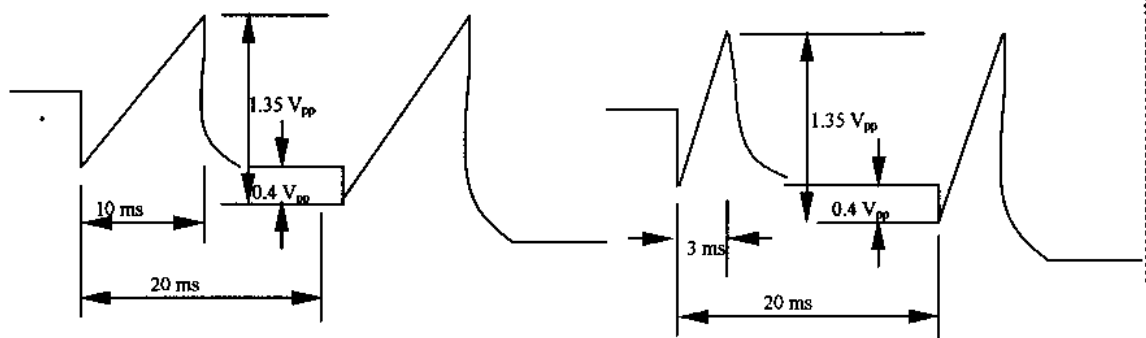


图 3 施加电压变化 $BG_{4,5,6}$ 集电极波形比较

1.3.3 脉冲生成级波形的调整

(1) 在拆开的 R_{33} 电阻端加 +12 V 电压, 调节 $W_{4,5,6}$, 使 IC_1 、 IC_2 、 IC_3 集成块的 13 脚方脉冲波形脉宽均等于 13 ms, 再去掉 +12 V 所加电压, 调节 $W_{1,2,3}$ 电位器, 使 IC_1 、 IC_2 、 IC_3 集成块的 13 脚方脉冲波形脉宽均等于 3.5 ms。多次重复此项调节, 使三路脉冲宽度在高端和低端满足统一要求, 波形见图 4。双线示波器的 Y_A 测试线的测试端分别接 IC_1 、 IC_2 、 IC_3 的 5 脚和 BG_1 、 BG_2 、 BG_3 的集电极, 测试输出的触发脉冲波形, 图 5。

(2) 双线示波器 Y_A 测试线的地接印刷板的 7 号端 (F4), 测试端分别接印刷板的 16 端、14 端、6 端, 观察 +A、+B、+C 的触发脉冲波形, 其幅值大于 $10 V_{pp}$ 。

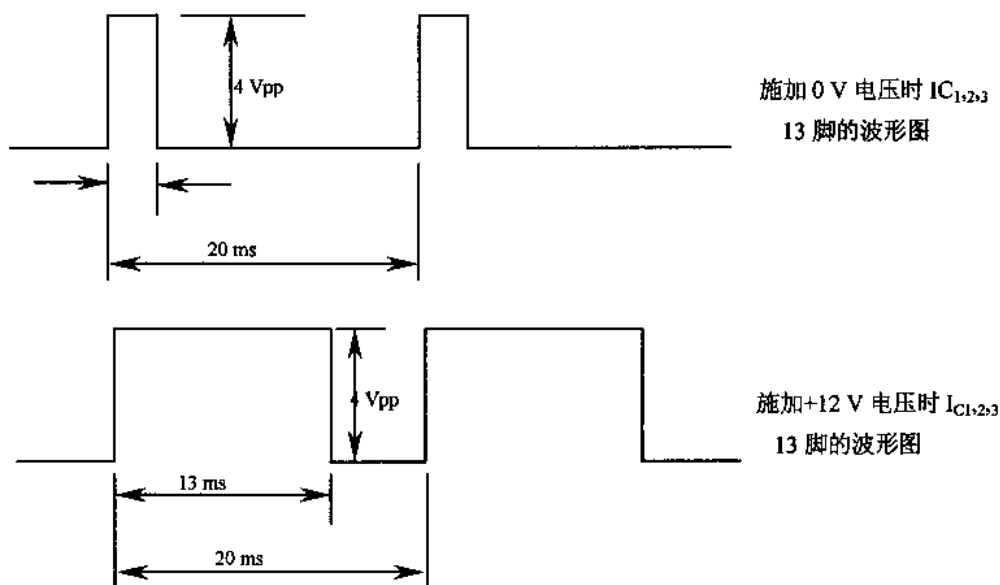


图 4 施加电压变化 $IC_1 \sim IC_3$ 脚的波形图

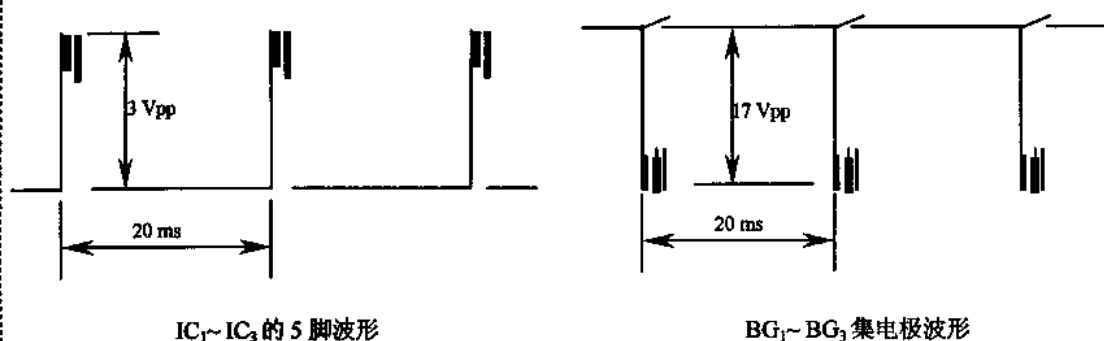


图5 脉冲生成级的输出脉冲波形图

1.3.4 过电流报警调试

调节调试接线图中的 W 电位器使印刷板 9 号端对 22 端的电压为 -8.2 V , 调整印刷电路板中的 W_7 电位器使插件板上的过电流指示灯亮, 再使印刷板 9 号端的电压降至 -6.4 V , 过电流指示灯应灭。

1.3.5 缺相报警调试

在印刷电路板的 5 端对 1 端加三相半波整流电压波形, 电压有效值约为 24 V 左右, 观察断相指示灯不应亮, 变压器付边断开一相, 调节印刷板中的 W_{10} 电位器使断相指示灯亮, 恢复三相供电后, 指示灯灭。

1.3.6 输出电路过电压报警调试

在印刷电路板的 20 端 (F5) 和 19 端 (F6) 加直流电压 220 V , 19 端为正, 20 端为负。此时插件板上的过电压指示灯不亮, 逐渐增加直流电压值为 250 V 时, 调节印刷板中的 W_{11} 电位器, 过压指示灯亮, 再逐渐降低输入直流电压至 220 V 时, 过电压指示灯灭。

2 手动板 (MC)

手动控制板是由函数变阻器提供正弦和余弦电压信号, 放大后输出二组双边电压分别为 Y 分量和 X 分量的移相电压。

手动放大板自备 $\pm 15\text{ V}$ 稳压电源。同时在系统中给直流传感器提供工作电压。

2.1 技术要求

稳压电源: $\pm 15\text{ V}$ $\Delta U \leq \pm 0.3\text{ V}/0.5\text{ A}$

双端输出对称性: $\Delta U \leq \pm 0.1\text{ V}/-5\text{ V} \sim 0 \sim +5\text{ V}$ 范围内。



2.2 调试接线图

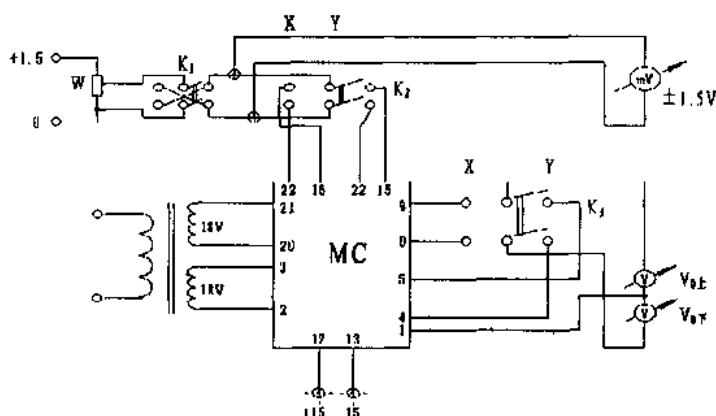


图6 手动放大板调试接线图

2.3 试验方法

2.3.1 稳压电源的试验

按图6,印刷线路板的1与12端为+15V输出;1与13端为-15V输出。变化交流18V输入电压为16.2V和19.1V时,±15V电压应在15.3~14.7V范围内变化。

2.3.2 直流放大器开环测试

印刷线路板的16与22端为X分量输入端。8与9端是X分量控制电压输出端。将3R5电阻的输入端对地短接,调节印刷线路板中的3W7电位器使8、9端的输出电压为零,完毕后除去短接线。

调节试验线路中的W输入信号电位器,使信号自0、-30、-60mV……逐级增加,并记录每档输入信号时所对应的两个输出表的电压指示值,并列表,输出指示值大于±5V时为止。

表1

X分量输入(-)	0	-30	-60	-90	-120	-150
V ₀ 上桥	0	+1.65	+2.87	+4.12	-5.10	+5.80
V ₀ 下桥	0	-1.63	-2.84	-3.99	-5.08	-5.78

输入信号回至“0”位,将K₁置于反向,使信号自0、+30、+60mV……逐级增加,并记录每档输入信号所对应的两个输出电压值,并列表,输出表的指示值大于5V时为止。

表2

X分量输入(+)	0	+30	+60	+90	+120	+150
V ₀ 上桥	0	-1.57	-2.85	-4.12	-5.10	-5.78
V ₀ 下桥	0	+1.56	+2.84	+4.11	+5.10	+5.78

以上两组数据表格中,每档输入信号所对应的上、下桥输出电压绝对值之差不大于0.1V。

X分量放大器输出特性测试完毕后,将输入信号改接至印刷线路板的15与22端。将输出测量表改接至印刷板的4与5端,重复以上的调零和输出特性测试步骤(调零时将3R17输入端对地短接)完成Y分量放大器的测试。



3 结 论

按照以上设计思路和方法,可对其他的插件板的模拟电路进行设计,构成一套完整的检修调试平台,使其满足对XC-4(89)型消磁电流自动控制仪的故障诊断和维修,而且可以进行精确的参数整定。

为了对插件板进行故障检修和调试,另需配置双踪四线示波器、频率计数器、函数信号发生器、台式数字万用表等常用电子仪器。

采用上述检修调试平台和电子仪器对XC-4(89)型消磁电流自动控制仪进行离舰维修和调试,是一种既简便实用又经济可行的快速修理方法。



舰船电网拓扑结构的可靠性分析

焦绍光, 李红江, 毛海涛

(海军工程大学 电气与信息学院, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 讨论了舰船电力系统可靠性研究的需求和必要性, 讨论了国内外的研究现状; 探讨了舰船电力系统可靠性的研究内容以及研究思路和步骤; 对舰船电网的拓扑结构这一关系舰船电力系统整体性能的关键因素, 采用基于邻接矩阵的最小割集方法, 建立了通用的舰船配电系统可靠性评估算法, 并基于该可靠性定量分析平台, 对辐射状、环状和带状结构的船舶电网进行了定性分析和定量的算例计算。通过负荷点可靠性指标和系统可靠性指标的比较分析发现, 带状结构的可靠性水平高于辐射网结构和环形网结构, 是未来船舶电网结构的发展方向。

关键词: 舰船电力系统; 可靠性; 拓扑结构; 带状网络

1 概述与背景

可靠性问题, 对于船舶, 特别是军用舰船来说, 具有特别重要的意义。船舶出航后长时期远离基地, 在发生故障时不可能指望及时得到岸上的支援, 重要的部件发生故障有可能导致船毁人亡^[1]。随着现代舰船自动化、电气化程度的提高, 对电力的供给有很大的依赖性。因此, 它要求船舶电力系统有非常高的可靠性, 能在任何情况下均不中断重要设备的供电。

另外, 随着舰船电力系统规模的不断增加, 其网络结构日趋复杂。尤其是综合电力系统舰船和航母的电力系统, 可以预计在不久的将来将达到 100 MW 级, 这已经达到一个中等城市的用电规模, 其复杂程度远远超过了现有的舰船电网。传统的基于经验的定性可靠性分析, 已经不能满足船舶电力系统设计和运行的要求, 需要开展定量的可靠性分析研究。

国际上对船舶电力系统的研究可追溯到 20 世纪 60 年代。在 20 世纪 60 年代末到 70 年代初, 世界先进国家的船舶可靠性工作已全面展开, 其中包含了对其供电网络及电气设备的可靠性分析。现在, 随着全电化舰船(All-Electric Ships)、综合电力系统(Integrated Power System, 简称 IPS)概念的推广^[2], 船舶电力系统可靠性问题达到了前所未有的重要度, 而其研究内容的深度和广度都大大增加, 在常规可靠性分析和生命力评估方面, 尤其是电网结构设计及分析、网络重构和故障恢复等^[3-10], 都开展了广泛的研究。

2 可靠性评估的步骤

由于陆地电力系统的复杂性, 在实际研究中往往分成不同的层次进行分析^[14], 发电系统、输电系统和配电系统。但由于船舶电力系统是一个独立系统, 所有电力设备布局在有限的空间范围内, 设备的电气距离比较小, 发电机与负载电动机的动态特性相互影响很大, 因此必

须把整个船舶电力系统作为分析对象,采用一体化的可靠性分析方法。而且,船舶电力系统的输配电网络基本上是重叠的,可靠性指标体系需要兼顾输电和配电两方面的特点。

对于可靠性评估包括两个方面,一是充裕性评估,二是安全性评估。充裕性评估是对电力系统维持连续供给用户总的电力需求和总的电能量的概率评估,安全性评估是对电力系统在动态条件下经受突然扰动,并不间断地向用户提供电力和电能量的概率评估。两者分别对系统的静态特性概率和动态特性概率进行评价,是互相完善互相补充的。

船舶电力系统常规可靠性评估的步骤如下:

通过各种算例的仿真计算,我们可以在这个过程中得到各个元件对系统可靠性指标的影响,网络结构对系统可靠性指标的影响,能够获得系统重构的算法(但是没有最优化),能够仿真出系统失效的过程和规律。

战损情况下的评估和正常情况下的情况类似,只是前面三步不同,战损情况下不再按照可靠性参数模拟各个元件的故障过程,而是按照战损情况,根据受损舱室,以舱室为单位确定该舱室的元件失效,从而模拟各种受损情况下的系统故障状态。

通过生命力的评估,我们可以获得:舰船电力系统舱室布置原则;可以根据对受损情况的预测,提出进行预测性重构的原则。

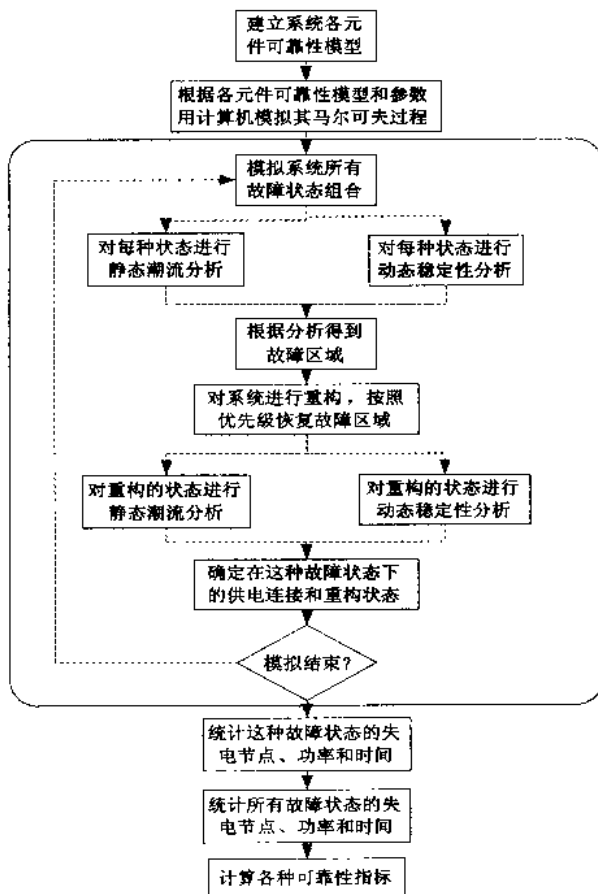


图1 船舶电力系统常规可靠性评估的步骤

3 舰船电力系统可靠性的评估分析原理

在此采用一种基于邻接矩阵的最小割集算法来进行船舶电网的可靠性评估。即通过分析船舶电网的网络图,建立邻接矩阵和终点矩阵,利用矩阵运算得到系统的最小路集和对应负荷点、电源点的各阶最小割集,从而找出影响各个负荷电供电的事件。然后分析在该事件下的损失后果和可能的重构方案,得到该状态下的停电概率、频率和持续时间指标,进一步可统计得到整个系统的可靠性指标。

本文采用如下的评估指标。

对于每个负荷点,计算如下3个基本可靠性指标:

- A. 故障率 λ (次/年);
- B. 年停电总时间 U (小时);
- C. 平均停电时间 r (小时/次)。

对于全系统,计算如下可靠性指标:

- (1) 系统平均断电频率指标 (SAIFI) = 负荷点断电总次数/负荷点总数

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (1)$$

- (2) 系统平均断电持续时间指标 (SAIDI) = 负荷点断电持续时间总和/负荷点总数

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (2)$$

- (3) 平均用电有效度指标 (ASAI) = 负荷点用电小时数/负荷点需电小时数

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (3)$$

- (4) 平均用电无效度指标 (ASUI) = 负荷点缺电小时数/负荷点需电小时数

$$ASUI = 1 - ASAI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (4)$$

- (5) 系统总的电量不足 (ENS)

$$ENS = \sum L_{s(i)} U_i \quad (5)$$

- (6) 系统平均电量不足 (AENS)

$$AENS = \frac{\sum L_{s(i)} U_i}{\sum N_i} \quad (6)$$

计算分析中,对网络重构策略进行了简化分析,暂不考虑线路容量限制,采用网络搜索方法寻找可用的重构路径,以重构路径最短,即需要操作的开关最少作为重构路径选优的判据。若存在路径长度相同,而操作开关分别为自动转换开关和手动转换开关的情况,优先选

择自动转换开关方案作为重构路径。

4 舰船电力系统典型网络结构

一般而言,舰船电力系统的网络结构有以下三类:(1)辐射网结构;(2)环形网结构;(3)带状网结构。我们以辐射状为例进行算例分析。

辐射结构的船舶电网拓扑结构如图2所示。图中,发电机配电板(Generator Switchgear, GS)通过电缆相连,每个负荷中心配电板(Load Center, LC)与一个发电机配电板相连,形成辐射结构,每个负荷中心配电板下都接有一个一般负荷(Common Load, CL)和一个重要负荷(Important Load, IL),一般负荷直接与负荷中心配电板相连,而重要负荷则通过手动转换开关(Manual Bus Transfers, MBT)和自动转换开关(Automatic Bus Transfers, ABT)与两个负荷中心配电板相连,形成双路供电,以保证重要负荷的供电可靠性。

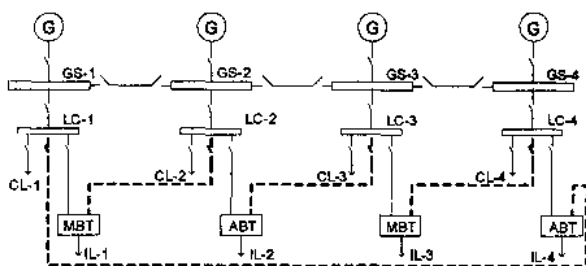


图2 辐射结构船舶配电网示意图

环形结构的船舶配电系统见图3所示。图中,四个发电机配电板通过电缆和断路器形成环状连接,每个负荷中心配电板通过断路器与发电机配电板连接,构成辐射状连接。每个负荷中心配电板下连接一个普通负荷和一个重要负荷,普通负荷单路供电,与负荷中心配电板连接;重要负荷通过转换开关与两个负荷中心配电板连接,形成双路供电。

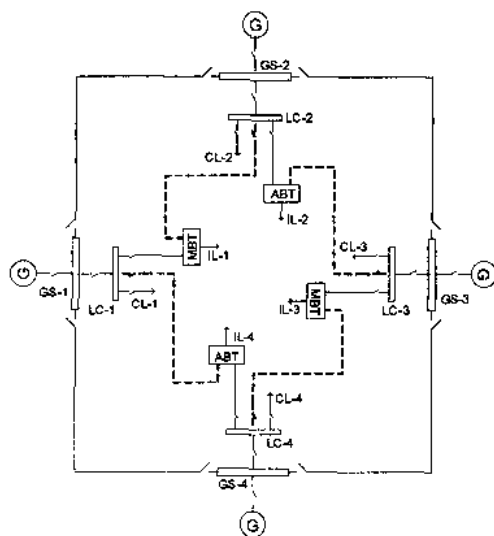


图3 环形结构船舶配电网示意图

带状结构的配电系统分为两种,一是负荷中心配电板通过断路器与舰船左舷母线和右舷母线分别连接,如图3所示;另一种则是每个负荷中心配电板只通过断路器与左舷母线或右舷母线相连,如图4所示。

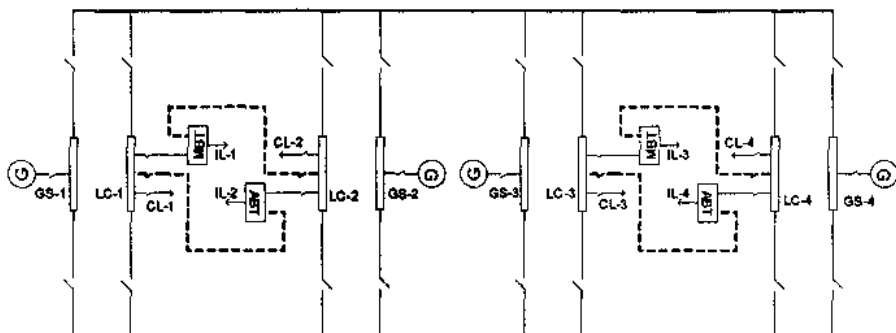


图4 带状结构船舶配电网示意图(负荷中心双路连接)

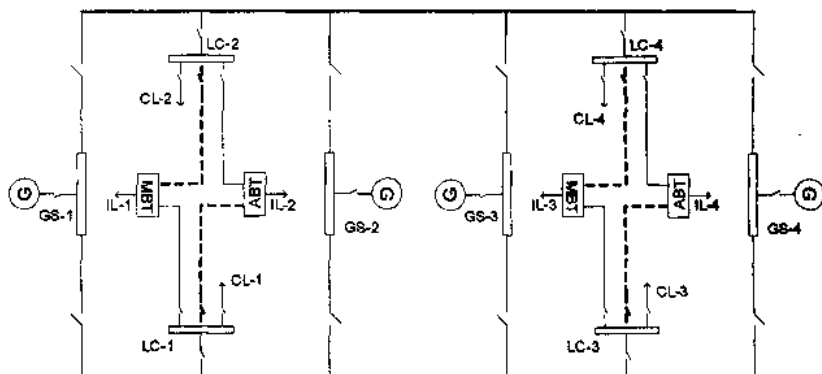


图5 带状结构船舶配电网示意图(负荷中心单路连接)

5 不同船舶电网拓扑结构的算例分析

本文选取了一个 4×2500 kW的舰船配电系统,其负荷被分为4个区域,每个区域内都包括一个普通负荷和一个重要负荷,负荷信息如下:

表1 负荷信息表

区域	负荷名称	有功功率/kW	无功功率/kVar
A区	普通负荷(CL-1)	428	142.53
	重要负荷(IL-1)	460	99.16
B区	普通负荷(CL-2)	586	191.5
	重要负荷(IL-2)	90	55.77
C区	普通负荷(CL-3)	945	74.35
	重要负荷(IL-3)	170	105.36
D区	普通负荷(CL-4)	1448	333.41
	重要负荷(IL-4)	174	107.85

计算采用的设备的可靠性参数如下:

表2 设备可靠性参数表

设备名称	故障率/(次/年)	修复时间/小时	计检率/(次/年)	计检时间/小时
发电机	0.1	120	1	50
主母线	0.001	30	0.5	30
配电母线	0.002	30	0.5	30
线路	0.001	20	0.5	40
变压器	0.002	40	0.5	20
断路器	0.007	10	0.2	5
隔离开关	0.003	8	0.1	5
手动转换开关	0.004	10	0.1	2
自动转换开关	0.001	5	0.1	2
负荷断路器	0.005	8	0.2	5
发电机断路器	0.004	12	0.2	5
联络断路器	0.007	10	0.2	5

采用上述测试数据和设备可靠性参数对4种网络结构进行可靠性评估,主要从系统综合可靠性方面进行分析。

对上述4个网络的系统可靠性指标进行计算,得到如下结果:

表3 不同网络结构下系统可靠性指标比较

系统指标	辐射网	环形网	带状网(1)	带状网(2)
SAIFI	0.019 554	0.019 250	0.018 250	0.018 250
SAIDI	0.141 940	0.135 041	0.060 021	0.125 039
ASAI	0.999 984	0.999 985	0.999 993	0.999 986
ASUI	0.000 016	0.000 015	0.000 007	0.000 014
ENS	96 735.38	91 996.55	40 887.97	85 182.19
AENS	120.919	114.996	51.1100	106.478

从表3中可以看出,辐射网、环形网和带状结构2的SAIDI、ASAI、ENS等指标相差不大,其趋势为带状结构方案2优于环形网,环形网优于辐射网。带状结构方案1的可靠性指标明显优于上述3种方案,ENS指标更是降低了50%以上,其原因与负荷点指标的分析相同,负荷中心配电板的双路供电能够大大提高负荷点和系统的可靠性水平。

6 结论与展望

从算例计算结果来看,带状结构适合于现代舰船的大容量电力系统。事实上,美国、挪威等国的海军及相关科研机构,正在开展以带状结构为基本形式的新一代全电化舰船的电力系统研发和示范工作。

这种结构的最大优点是在于其带状母线可以沿船舷纵向布置,与船体结构匹配较好,既便于常规续航工况下实现双路甚至多路供电,提高可靠性水平;而且,根据容量大小,发电机可以选择前舱、后舱甚至多舱室布置,有利于在战损情况下实现分区独立供电,提高舰船的生命力水平。

我们还需要深入进行以下研究:

- (1) 建立可靠性评估模型。
- (2) 搜集船舶电气设备的基础可靠性参数并建立信息管理系统。
- (3) 事故监测和分析方法的研究。

为了使可靠性分析模型与实际系统的故障过程比较吻合,需要对事故的分析方法进行研究。研制事故监测装置,如事件顺序监测设备、故障记录设备、动态扰动记录设备等,对判断系统元件行为,改进可靠性模型都十分必要。

后两项工作对于可靠性评估的可信性具有很重要的意义,事实上,在可靠性模型和算法基本固定后,可靠性研究的大量工作是如何获得有效准确的可靠性参数,这是一项长期的基础工作。

参考文献

- 1 易宏. 船舶可靠性工程导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- 2 马伟明. 舰船动力发展的方向——综合电力系统[J]. 上海海运学院学报, 2004,25(1): 1-11.
- 3 John Cerminara, Rolf O. Kotacka. Ship service electrical systems-designing for survivability[J]. Naval Engineers Journal, 1990,9:32-36.
- 4 K.L.Bulter, N.D.R.Sarma. General Reconfiguration Methodology for AC Radial Shipboard Power Systems[C]. IEEE 2000 Power Engineering Society Winter Meeting, 2000,2:1226-1230.
- 5 Bulter K L, Sarma N D R, Cliff whitcomb. Shipboard SYtems Deploy Automated Protection[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1998,11(2):31-36.
- 6 Bulter K L, Sarma N D R. General reconfiguration methodology for AC radial shipboard power systems [C]. IEEE 2000 Power Engineering Society Winter Meeting, 2000, 2:1226-1230.
- 7 Bulter K L, Sarma N D R, Prasad V R. A new method of network reconfiguration for service restoration in shipboard power systems[C]. Proc. 1999 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf, 1999:658-662.
- 8 Bulter K L, Sarma N D R, Prasad V R. Network reconfiguration for service restoration in shipboard power distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power System, 2001,16(4):653-661.
- 9 Sanjeev K.Srivastava, Karen L. Butler-Purry, N.D.R.Sarma. Shipboard power restored for active duty[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2002, 15(3):16-23.
- 10 Ayyub, B.M. Karaszewski, Z.J. Wade. Probabilities risk analysis of diesel power generators onboard ships[J]. Naval Engineers Journal, v 111, n 3, May, 1999: 35-58
- 11 孙诗南. 舰船电力系统可靠性的研究(一)[J]. 舰船科学技术, 1985(5):18-25.
- 12 程智斌, 张耀祖. 电力系统生命力综合评估[J]. 船舶工程, 1994(2): 31-34.
- 13 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- 14 Roy Billinton, Ronald N. Allan. Reliability Evaluation of Power System(Second Edition)[M]. New York: Plenum Press, 1996.

MOV 在能量吸收电路中的应用研究

杨 锋, 庄劲武, 毛海涛, 徐国顺

(海军工程大学 电气与信息工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 对金属氧化物变阻器(MOV)的物理特性进行了分析,在此基础上提出了将MOV吸收能量的过程分为三个阶段即:换流部分、线性吸收部分、电流渐近部分的分析方法,并完成了MOV元件的数学建模,将其等效为电感、电阻、二极管三部分组成。得到了MOV最大限制电压吸能过程中吸收的能量及作用时间等一系列参数的计算公式,给出了它们之间的解析关系式,并通过实验验证了其正确性。

关键词: 金属氧化物变阻器; 过压保护; 能量吸收

0 引 言

随着电力系统容量的不断增加,系统短路电流也不断增大,严重危害电网运行稳定性。应用电力电子技术的固态断路器能够快速有效的限制短路电流,在分断主回路电流的过程中,线路中储存的大量能量需要吸收,电力电子器件会产生过电压,严重时甚至损坏元件^[1]。如果采用传统的电容来吸收能量和抑制过电压,则设备体积将会非常巨大,给安装带来诸多不便,因此采用MOV压敏电阻来吸收电路中储能的显得优势相当明显。

MOV上流过最大故障电流值时,出现的残压最大值(峰值)。如图1所示,通常保护水平为电器额定电压的2.0~2.5倍^[2-4]。

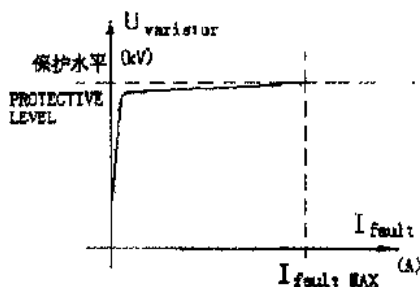


图1 MOV的保护原理图

1 MOV的物理特性和数学建模

MOV作为固态开关的过压保护和能量吸收电路时,在开关分断瞬间同时担负了抑制过电压和吸收回路泄放能量的作用。以下分析了MOV吸收能量过程,并给出了回路的变量和



参数对 MOV 吸收能量动态过程的影响关系。如图 2 所示, MOV 吸收能量的过程可以分为三个部分, 即换流部分、线性吸能部分、电流渐近零部分。

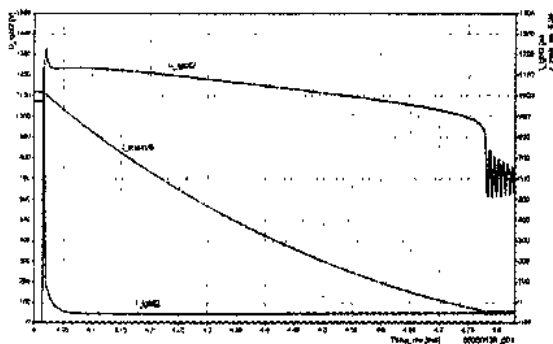


图 2 MOV 吸能过程的电压和电流曲线

1.1 换流过程

IGBT 关断, 电流转移至 MOV 上, i_{MOV} 从零到最大值 I_{Rm} 。MOV 的电压从零上升至最大限制电压 U_{Rm} 。当 MOV 支路上有电感 L_{R} , 会引起尖峰电压为

$$\Delta U_{\text{Rm}} = L_{\text{R}} \cdot \frac{di_{\text{R}}}{dt} \quad (1)$$

1.2 MOV 吸能过程 (限制电压区)

MOV 电流从 i_{Rm} 下降趋近至零; 电压从最大限制电压 U_{Rm} 缓慢下降。动态阻抗 R_{R} 近乎恒值 (对同一冲击电流而言)

$$R_{\text{R}} = \frac{\Delta U_{\text{R}}}{\Delta i_{\text{R}}} \quad (2)$$

R_{R} 随 I_{Rm} 的增大而减小。限制电压最大值 U_{Rm} 的表达式为

$$U_{\text{Rm}} = k_{\text{R}} \cdot I_{\text{Rm}}^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

其中: α 为非线性特性系数; I_{Rm} 为泄放电流初值; k_{R} 为 MOV 特性系数, 可用 $k_{\text{Ru}} \cdot U_{1\text{mA}}$ 表示。

限制电压区的最小值 U_{Rmi} 约为恒值, 即不随 I_{Rm} 变化 (约为 $U_{10\text{mA}}$)。由此可得, 吸能过程中 MOV 吸收能量 E 的数学表达式,

$$E = \frac{U_{\text{Rm}} + U_{\text{Rmi}}}{2} \times \frac{I_{\text{Rm}}}{2} \times t_{\text{R}} \quad (4)$$

其中: t_{R} 为电流从 I_{Rm} 下降至零的时间。

1.3 电流趋近零 (变阻区)

电流趋近于零, 从 MOV 电压从 U_{Rmi} 迅速下降至 $U_{1\text{mA}}$ 。根据上述对 MOV 吸能过程的物理解释, 可以得到其相应的数学描述, 如图 3 所示。



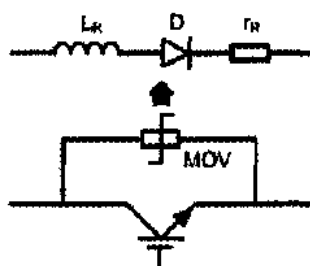


图3 MOV的等效电路

将MOV等效为电感、电阻和二极管组成,相关参数为 L_R 、 R_R 、 U_D (前后电压)。其中, L_R 为MOV吸能回路的电感,为常数; U_D 为MOV的压敏电压 U_{1mA} 或 U_{10mA} 等,为常数($=U_{Rmi}$); R_R 为动态阻抗,决定于分断电流 I_{Rm} ,其数学表达式为

$$R_R = \frac{U_{Rm} - U_D}{I_{Rm}} \quad (5)$$

而 U_{Rm} 取决于某一型MOV的 U_{1mA} 和 I_{Rm} ,见式(3)。

2 试验结果和分析

试验线路见图4。线路中,蓄电池组,电压为240V,回路电感为55 μ H,回路电阻为30m Ω ,FCL采用单IGBT,MOV直接并联。MOV采用武汉金属氧化变阻器厂产品,型号为MYS-390-10K。

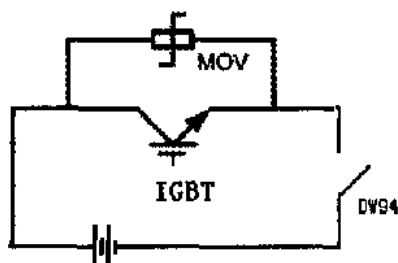


图4 MOV限制过电压实验波形

开关K闭合,使供电回路突然短路,当短路电流到达FCL的限流预设值时,FCL分断,用数字示波器记录了主回路的电流和IGBT的CE间电压波形。通过对试验结果的分析,验证前述MOV的物理过程和数学描述的正确性。

2.1 尖峰电压 ΔU_{Rm} 的分析

设定FCL的分断电流分别为200A、400A、600A,完成了短路分断试验,记录并对比了不同分断电流时的尖峰电压,见图5。

根据图5,并令换流时间相同,且约为500ns,可以得到不同分断电流对应的电流上升率、尖峰电压值,见表1。



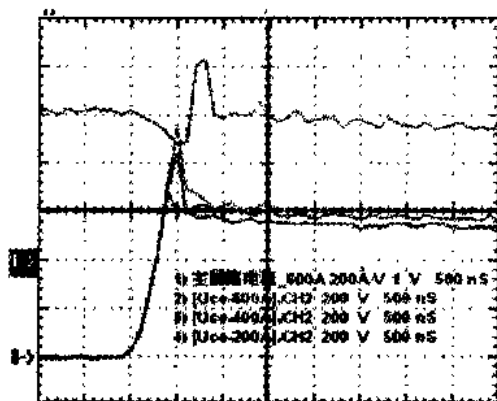


图5 不同分断电流时尖峰电压波形

表1 不同分断电流时尖峰电压波形

分断电流 I_{Rm} (A)	200	400	600
电流上升率 ($A/\mu s$)	400	800	1200
尖峰电压 ΔU_{Rm} (V)	120	240	340
回路电感 L_R (μH)	0.3	0.3	2.83

可见 ΔU_{Rm} 与 $\frac{di_R}{dt}$ 或 I_{Rm} 成正比。其比值取决于 MOV 回路电感 L_R ，其中， $L_R = \frac{\Delta U_{Rm}}{di/dt}$ 。

2.2 最大限制电压 U_{Rm} 分析

设定 FCL 的分断电流分别为 200 A、400 A、600 A，完成了短路分断试验，记录并对比了不同分断电流时的 IGBT 电压和主回路电流波形，见图 6。

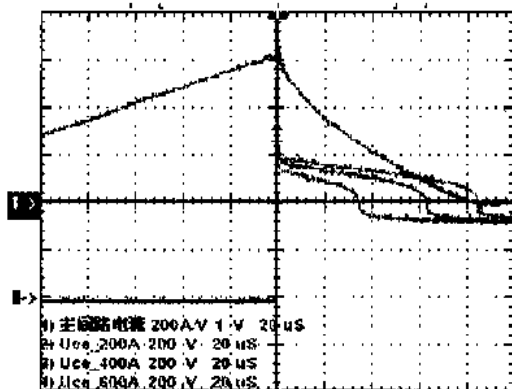


图6 不同分断电流时 IGBT 电压和主回路电流波形

根据上图，可得到不同分断电流对应的最大限制电压、吸能时间、最小限制电压见表 2。

代入式 (3)，可辨识出该型 MOV 的参数 k_R 和 α ，进而得到最大限制电压取决于压敏电压和分断电流的关系

$$U_{Rm} = 0.85U_{1mA}I_{Rm}^{\frac{1}{10}}$$

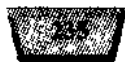


表2 不同分断电流时最大限制电压、吸能时间、最小限制电压

分断电流 I_{Rm} (A)	200	400	600
最大限制电压 U_{Rm} (V)	560	600	620
吸能时间 t_R (μ s)	32	60	80
最小限制电压 U_{Rmi} (V)	480	480	480

α 越小, 说明受 I_{Rm} 的影响越明显; k_{Ru} 越小, 则最大限制电压 U_{Rm} 越小。

2.3 MOV 作用时间 t_R 分析

令线路分断时泄放能量 A_{RY} 为

$$A_{RY} = \frac{1}{2} L_m I_{Rm}^2$$

分断时 MOV 吸收能量近似表示为

$$E = \frac{U_{Rm} + U_{Rmi}}{2} \times \frac{I_{Rm}}{2} \times t_R$$

当假设回路泄放能量等于 MOV 吸收能量时且令 $U_{Rmi} = U_{Rm}$ 时, 则可以得到吸能时间的简化表达式为

$$t_R = L_m I_{Rm}^{1-\alpha} / (R_{Ru} + U_{1mA})$$

利用简化公式得到不同分断电流对应的吸能时间, 并与试验结果进行了对比。见表 3。采用近似计算公式计算的吸能时间, 与实测值的误差在工程误差范围内。

表3 不同分断电流时吸能时间解析计算值和实测值比较

分断电流 I_{Rm} (A)	200	400	600
吸能时间解析值 t_R (μ s)	28.5	53	76
吸能时间实测值 t_R (μ s)	32	60	80
误差	11%	11%	5%

2.4 MOV 的能耗计算

在 MOV 的参数手册中, 都有通流容量及其波形参数, 以用于限制电压测试的脉冲电流 8/20 μ s 为例, 见图 7。

图中, 脉冲宽度 T_1 为 20 μ s, 上升时间为 8 μ s。用为为电流脉冲作用时间和限制电压存在时间为 $2 \times T_1$, 则 8/20 μ s 电流脉冲对应能耗 A (μ J) 为

$$A = U_{Rm} \times I_{Rm} \times T_1$$

其中, U_{Rm} 与 I_{Rm} 的对应表见图 8。

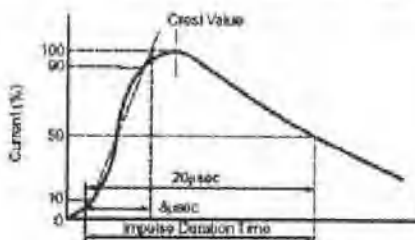


图7 用于限制电压试验的脉冲电流波形

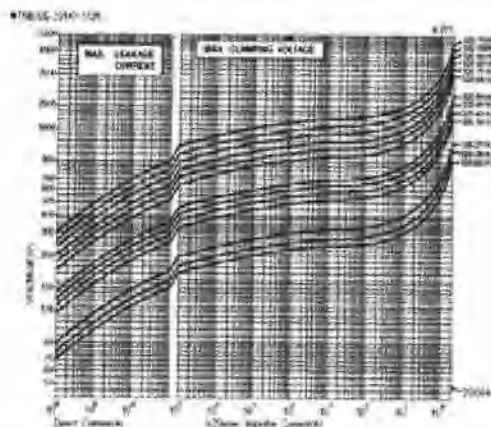


图8 最大限制电压与 8/20 µs 脉冲电流的关系

图中可见, 随 I_{Rm} 的升高, U_{Rm} 亦升高, A 亦升高。以型号为 TNB32E-221K 的 MOV 为例, $U_{ImA} = 220 \text{ V}$, 由 $I_{pm} = 20 \text{ kA}$, 得到对应 $U_{Rm} = 900 \text{ V}$ 。可计算出 MOV 的吸收能量, $A_{max} = 360 \text{ J}$ 。

对于 2 ms 电流脉冲对应能耗 (mJ) A_{2ms} , 由上述分析, 可得能耗为:

$$A \cong U_{Rm} \times I_{Rm} \times 2$$

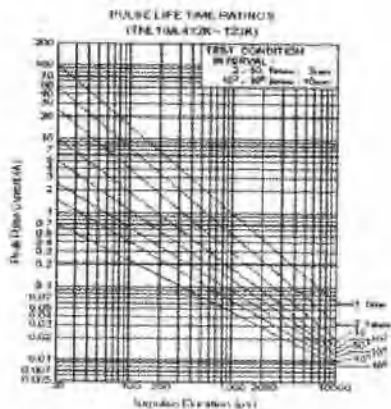


图9 脉冲宽度与电流峰值的关系

在电流峰值与脉冲宽度关系曲线图 9 中, 找到 2 ms 对应的 I_{Rm} (随寿命期而变), 而后在 8/20 μ s 曲线图 8 中可得对应于 I_{Rm} 的 U_{Rm} 。以 TNB32E-221K 为例, 承受一次 2 ms 脉冲电流冲击的 $I_{Rm} = 230$ A, 对应 $U_{Rm} \cong 420$ V。可得 $A_{max} = 193$ J, 与参数表中的值基本一致。同理, 可得任意脉冲宽度电流对应能耗。如一次 1ms 脉冲电流冲击对应的参数为, $I_{Rm} = 450$ A, $U_{Rm} = 460$ V, $A_{max} = 207$ J。根据以上两种对于 MOV 的能耗计算方法, 可以方便的得到其应用于电力电子器件保护的约束关系, 根据所保护电路中不同宽度和幅值的脉冲电流要求, 合理计算选择 MOV 保护参数。

3 结 论

在对 MOV 进行数学建模的基础上提出了将 MOV 等价为由电感、电阻、二极管三部分组成, 并将 MOV 吸收能量的过程划分为换流部分、线性吸能部分、电流渐近部分三个阶段。

给出了限制电压最大值 U_{Rm} 的表达式: $U_{Rm} = k_R \cdot I_{Rm}^{\frac{1}{\alpha}}$, 进而得到最大限制电压取决于压敏电压和分断电流的关系, $U_{Rm} = 0.85 U_{1mA} \cdot I_{Rm}^{\frac{1}{\alpha}}$, 当假设回路泄放能量等于 MOV 吸收能量时, 可以得到吸能时间的简化表达式 $t_R = L_m I_{Rm}^{\frac{1}{\alpha}} / (R_{Ru} + U_{1mA})$ 。

实验的结果表明所建的模型与仿真结果基本相符。

参考文献

- 1 庄劲武, 张晓锋, 杨锋等. 一种新型直流电网短路限流装置的设计与分析[J]. 海军工程大学学报, 2005,17(4): 13-17.
- 2 T. Teranishi. et al. An approach to suppressing resonance voltage in transformer tap windings[J]. IEEE Trans. Power App. Syst., 1983,102(8): 2552-2557.
- 3 R. J. Musil, G. Preininger, E. Schopper, and S. Wenger. Voltage stresses produced by a periodic and oscillating system over voltage in transformer windings[J]. IEEE Trans. Power App. Syst., 1981,100(1): 431-441.
- 4 Koosuke Harada and Tamotsu Ninomiya. Noise generation of a Switching Regulator[J]. IEEE Transactions Effect of Power Line Filter on MOV Clamping Voltage on Aerospace and Electronic Systems, 1978,14(1): 178-184.



资产评估理论在渔业船舶评估方案中的寻优分析

郭庆祝¹, 周晓光²

(1. 大连渔港监督局, 辽宁 大连, 116015;

2. 大连渔业船舶检验局, 辽宁 大连, 116015)

摘 要: 船舶资产的产权交易涉及船舶这一特殊资产保值增值。因此, 如何选择船舶资产评估方法, 对船舶持有人的船舶资产价值进行公允评估便有着极为重要的经济性意义。本文论述了资产评估的理论及方法, 并针对渔业船舶这一特殊资产进行了优选评估方法的研究。

关键词: 渔船; 资产评估; 评估方法

海洋经济的不断发展带来了渔业经济前所未有的繁荣, 也从而引发了渔业船舶数量的不断壮大。在不断发展的船务市场中, 资产评估机构出具的“资产评估报告书”, 为产权转移(买卖)、企业重组、破产清算、抵押贷款、纳税等提供了经济论证必要的材料, 已备受社会广泛的关注。船舶资产是船舶持有人主要的经营性资产, 且资产投资大, 配套设备繁多、复杂, 专业技术性强, 因此船舶通常视为一种特殊复杂的“机器”或海上“建筑物”。

1 船舶资产评估概述

资产评估是指评估机构根据特定的目的, 遵循客观经济规律和公正的准则, 按照法定的标准和程序, 运用科学的方法, 对资产的现实价格进行评定和估算。其核心是对资产在某一时刻的价格进行估算。

船舶资产评估涉及的基本要素:(1) 主体。资产评估专门机构, 由注册资产评估师、船舶工程师合作完成。(2) 客体。被评估船是资产评估的对象, 即评估内容的界定。(3) 特定目的。指业务发生的经济行为, 将决定价值类型和评估方法的选用。(4) 价值类型。“资产评估”中分重置价值、现行市价、收益现值和清算价格 4 种类型。船舶资产评估选择重置价值(成本), 即被评估船现时重置完全价值, 扣减各项损耗价值来确定评估价值。(5) 方法。特定的基本方法有市场法、成本法和收益法等, 它们是实现评估的手段和途径, 在船舶资产评估中采用“成本法”更为快捷合理。

2 资产评估方法的特征分析

2.1 资产评估的基本方法

(1) 收益现值法, 它是通过估算被评估资产在可以预见到的未来若干年内每年的预期收益, 并采用适宜的折现率折算成现值, 然后累加求和, 得出被评估资产的现时价格, 即评估

值。

(2) 重置成本法,它是用现时条件下重新购置或建造一个全新状态的被评估资产所需的全部成本,减去被评估资产实际已经发生的实体性陈旧贬值、功能性陈旧贬值和经济性陈旧贬值,得到的差额作为被评估资产的现时价格,即评估价。或者,估算出被评估资产与其全新状态相比有几成新,即成新率,然后用全部成本与成新率相乘,得到的乘积作为评估价。

目前,重置成本法在船舶资产评估中的运用较为广泛,运用重置成本法对船舶资产评估时,重置全价可通过公式“重置全价=造船成本(材料费+设备费+属具及备品费+总工时及劳务费+生产专项费)+利润+税金+建造国船舶造价系数调整+资金成本”计算。有形损耗可通过查阅船舶使用及维修记录、船舶实体勘察、向驾驶及轮机人员了解船舶营运情况来判定。鉴于功能性损耗和经济性损耗目前在国内船舶市场所交易的船舶中表现得不甚明显,故一般情况下不予考虑。在评估实务中对有形损耗和无形损耗,主要以“成新率”指标综合反映。

(3) 现行市价法,它是指在市场上选择相同或近似的资产作为参照物,针对各项价值影响因素,将被评估资产与参照物进行价格差异的比较调整后,得出被评估资产的评估价。

(4) 清算价格法,它是指企业在破产或停业时,按清算价格确定被评估资产的价格。

2.2 船舶资产评估方法运用的建议

(1) 对于能参照近期公开交易市场船舶交易价格的,宜采用市价法对船舶资产进行评估。

(2) 对于老龄船,超龄船,宜采用清算价格法和其他方法综合评估。对于老龄船,超龄船,评估其有形损耗和无形损耗难度较大,采用重置成本法评估较复杂。笔者认为,对于这样船舶,以清算价格法为基础,辅以收益法综合考虑后加以评估。即通过预测尚可使用年限内的船舶收益及达到经济使用年限后的清算价值,经折现后得出综合评估价值。

(3) 对于价值较大,尚可使用年限较长的船舶,宜首选收益法,并运用重置成本法加以验证,进行综合评估。

3 重置成本法在渔业船舶资产评估中的运用

在资产评估中,最适合运用重置成本法评估的对象是市场上难以找到参照物,并可重新购建的资产。船舶资产属于可重新购建的资产,可运用重置成本法进行评估。这种船舶资产评估的优点是评估参数的资料、依据比较具体,且较易搜集,如船舶的总布置图、设备清单、船用属具、备品清单以及船体、轮机、电气、舾装四大系统的说明书等设计资料。此外,以账面价值为基础的评估比较可靠,容易取信于人。但是也有缺点,主要是:

(1) 船舶资产具备独立获利能力,正体现了重置成本法运用的局限性。

(2) 在计算重置价值时,船舶的材料价格清单难以搜集,往往需要靠专家的估计确定价值;生产专项费用也是依靠估算确定,带有一定的主观性;造船企业利润率的选取缺乏权威标准,实务中一般取成本的6%确定船舶评估价值。

(3) 在对船舶资产进行评估时,船舶往往处于在航状态,或停泊在世界各港,对于运用技术鉴定法和实地勘察法评估船舶资产的成新率,往往无法实地勘察或进行实地技术鉴定,无法了解船舶实体的营运条件、保养水平、事故损伤等真实的船舶状况。在评估实务中,只



能根据企业对船舶状况和船舶管理人员对船舶状况的调查表来计算勘察成新率和年限成新率,然后计算加权成新率。有的往往单从使用年限及剩余寿命上去计算成新率,甚至凭主观经验去评判,缺乏量化概念及评判的科学依据。

4 评估主要程序

4.1 交验“船舶所有权登记证书”等法定证书

船舶的“船舶所有权登记证书”可验明产权真实归属。“船舶检验证书”是船舶的安全环保、适航技术条件、法定检验合格后签发的证书,其他“国籍证”、“签证簿”等证书上也有重要记录。船舶主尺度、布置、结构、材料、设备等技术参数是评估运作中最基础的资料。

4.2 实船勘察鉴定

应登上被评估船,实体勘察核查,如逐项清查、抽样测查。通过“看”、“问”、“记”,直接观察分析被评估船腐蚀情况、新旧程度,调查并掌握清楚。委托方提供资产账表,建造、维修和技术改造的背景,航行日记等资料。有条件时可进行起动或航行试验进行实船勘察鉴定,这是估测成新率至为关键的环节。通常将船舶技术状态和性能的鉴定分成4种类别,如表1所示。

表1 船舶技术状态和性能分类

类别	技术状态和性能	船体构件	主辅机运转	成新率/%
1	良好	不渗漏	正常运转、功率良好	100~85
2	一般	有局部腐蚀、不危及安全	存在少量缺陷	84~65
3	较差	腐蚀较重、局部渗漏	运动件过度磨损	64~40
4	不良	陈旧、严重腐蚀、渗漏	运转不正常	39~15

4.3 评估价值测算

将调查、取证、咨询的全部材料,包括背景、技术鉴定、价格依据等资料,归集登记、分析整理,采用“成本法”的原理确定被评估船的评估价值。刘玉平编的《资产评估》推荐的计算公式如下

被评估资产评估值=重置成本-实体性贬值-功能性贬值-经济性贬值或被评估资产评估值=重置成本×成新率

该方法中成新率反映评估船现时的新旧程度。在船舶资产中采用“重置完全价值”更为准确。其含义是复制1个与被评估船完全一模一样的“全新船”,现时的完全价值称做“重置完全价值”,各项贬值归纳成“损耗率”,计算公式如下

$$\text{评估价值} = \text{重置完全价值} \times \text{成新率} \text{ 或 } \text{评估价值} = \text{重置完全价值} \times (1 - \text{损耗率})$$

可见船舶资产评估价值取决于重置完全价值和成新率。

表2为作价细目分析表,显而易见这是新建船施工报价单。表3为船舶资产评估作业表,登录被评估船背景资料,取价依据及价格调整因素比和成新率的最终取值。成新率的测算可理解为被评估船现时状态与全新状态的价值比率,其与损耗率(贬值)之和为1。

表2 作价细目分析表

船名: DY20061808		计算依据及基价		价值/万元
序号	项目			
1	船舶主体工程	SW=73.00×14.00×5.00×0.13=664.3		318.85
1.1	船体钢材	耗用量 664.30t	基价 0.39 万元/t	259.07
1.2	焊接切割材料	以下2项统筹取 0.09 万元/t×664.3t		59.78
1.3	电费及冷作装配与焊接工资			
2	轮机电气设备工程			37.34
2.1	主机组及辅助机械	X6160C2(J300)2台(套)12.8 万元/台×2+4.80 万		30.40
2.3	轴、舵系加工	1.2 万元/台×2		2.40
2.4	轮机安装工资	0.67 万元/台×2		1.34
2.5	电气装备工程及工资	柴油机发电机组、电瓶、航行信号及照明电系		3.20
3	木作舾装工程			13.05
3.1	木作甲板室建筑装修	二层甲板室修建、装饰(材料及工资)		3.50
3.2	舾装设备	液压舵机1台,人柴起锚机1台,轴及锚链等		6.80
3.3	除锈、油漆	除锈、油漆、材料费及工资		1.80
3.4	下水	气囊下水		0.95
4	专项费用(设计图纸及技术资料,胎架、船台、停泊,试验、密性试验,X 摄片检查,系泊、航行试验等检查,工程不可估计等。			3.60
5	工厂成本合计	1~4项小计		372.84
6	利润(6%)	含工厂管理费		22.37
7	税金(2.4%)			8.95
8	船舶建造总费用			404.16
10	船舶检验费及交通规费(有效证书办理、生成无形资产)			3.20
重置完全价值(大写):肆佰零柒万叁仟陆佰圆整				407.36

表3 船舶资产评估作业表

资产占有单位:大连远扬国际船舶公司

评估基准日:2006年4月12日

船舶名称		DY20061808		类型	拖网渔船	船质	钢质
船	制造工厂	大连渔轮公司	完工日期	2003-07-27	船龄	3年	
	船籍港	大连	航区	A级	参考载货量	1650t	
	型宽	14.00 m	总长	73.00 m	船长	68.00 m	
概	总吨位	1220	型深	5.0 m	吃水	3.75 m	
	主机型号数量	X6160ZC2	柴油机	2台	功率	2×255 kW=510 kW	
况	齿轮箱	J300 2台	其他主要设备	油水分离器			
	舾装设备:	锚设备	锚2只、锚链	舵设备	液压舵机、舵2只		
	航行设备	齐全	救生设备	齐全	信号设备	齐全	
所有权登记证:		NO:2711030022764/3431042316		取得日期	2005年11月14日		
国籍证书		NO:2711030022764/3431042316		有效期至:	2010年11月18日		
船舶检验:		NO.2001Q210112421		证书有效期至	2006年9月24日		
适航有效期		有效 并有最低安全配员证书		改造与维修	无		
技术工况		良好 属I类船		外观质量	尚可		
成新率		0.90 损耗率0.10(实用性0.05 功能率0.03 经济性0.02)					
主要取价依据		目前市价,大连地区工价					
价格调整因素比		建造工艺、钢材基价变化等因素,成新率调整为0.90×0.95=0.855					
重置完全价值		407.36 万元	评估价值	348.29 万元	评估人	郭庆祝	
项目经理意见:			附件:作价细目分析				
签字:							

附件(一) 损耗率和成新率估算

实体性损耗也称有形损耗。它是指资产在运行中的磨损和暴露在自然环境中的侵蚀,造成实体形态的贬值。由技术鉴定的方法确定,并参考使用年限,修复费用等因素综合确认估算。

功能性损耗是由于技术进步,致使被评估船与新船相比,营运功能相对落后引起的贬值,参比评估船尚可使用寿命来估算其损耗值。

经济性损耗是市场条件变化,如疲软、竞争加剧等因素,表现在经济营利下滑,所生成的经济性损耗。

实体性损耗是主要的损耗,综合研定各项损耗率,就可得出被评估船的成新率。

附件(二) 取价依据和价格调整因素比

(1) 钢材耗用量估算式如下

$$SW = \alpha \cdot L \cdot B \cdot D$$

式中: SW 为钢材耗用量; α 为系数,由本地区回归分析资料统计得出; N 为船之立方数,即总长 L 、型宽 B 、型深 D 的乘积。

(2) 系统加工费,如船体工程包括焊接、切割材料,电费,冷作加工装配焊接工资及设备使用费等统列在此系统项目内核算,根据船舶类型、结构、船厂生产技术条件、管理水准档次,签订造船合同时与船主商定。目前渔船的取价标准为每吨钢材耗用量约在 700~820 元(又称来料加工费标准)。其他如轮机电气设备工程、木作舾装、除锈、油漆、下水等作业,各地区也有系统作价标准。

(3) 船检费、法定证书办理、交通规费,无形资产价值的估算等。在各项分析估算时尚须考虑交易时间、地域诸因素,取价标准按市场现行价斟酌损益,适当调整。二手船市场已成交的同类型船的交易价、新建相同船现时的报价均可与被评估船直接对比,起着“参照物”的比价作用。



影响舰船临时抢修费用的客观因素分析

姚智刚¹, 黄佳典¹, 王 义², 何江清²

(1. 海军装备技术研究所, 北京, 102442; 2. 海军装备部, 北京, 102442)

摘 要: 临修作为舰船维修的重要组成部分, 对维持装备完好率有着重要的和不可替代的作用。本文从影响临抢修费用的舰船的使用强度、维修结构、建造和维修质量、装备修理单位技术和管理水平, 以及舰员自修和操作水平等方面的客观因素, 对临时抢修费用的影响进行深入讨论。

关键词: 舰船; 临时抢修; 费用

0 引 言

随着军事技术的不断发展, 高技术武器装备的不断出现, 舰船装备日趋先进、复杂, 自动化、精确化程度也越来越高, 维修技术保障已从一般的维修概念发展成为维持和提高战斗力的一项重要因素, 而现代战争具有突然性、快速性、规模大等特点, 对舰船的维修保障提出了更高的要求。

临修作为舰船维修的重要组成部分, 对维持装备完好率有着重要的和不可替代的作用。近年来, 海军各种新型舰船的不断入役带来了今后临修工作量的大幅上升; 随之而来的, 便是临修经费的大幅上升。对近几年的一些数据所进行的分析不难看出每年的临修经费一般占计划修理经费的 1/7~1/4, 这是一个比较大的比例, 具体数额也是十分可观的。由于临修费用发生时间较长, 每笔临修费用又相对较小。所以, 长期以来, 对临修费用的规律研究少有开展。各级主管单位一般只能依靠历史经验决定临修经费的划拨, 具有很大的主观性, 不能保证有限经费的最优使用效果。因此, 对舰船临修经费的变化规律进行深入的研究, 可以为机关管理提供决策依据, 提高决策的科学性, 减少盲目性, 避免下拨经费的数额过于随机的情况发生, 保证经费的投入准确及时。这对于最大限度地发挥舰船的战斗能力, 合理使用维修资源, 控制维修经费都具有重大和深远的意义。

影响舰船临抢修经费的主要因素为: 装备的自身因素、客观因素、环境因素等几类。其中影响临抢修费用的客观因素包括: 舰船的使用强度、维修结构、建造和维修质量、装备修理单位技术和管理水平以及舰员自修和操作水平等。下面就客观因素对临抢修费用的影响进行深入讨论。

1 使用强度的影响

通常, 出航时间较多的舰艇, 其发生的临抢修次数也比较多。这一方面是舰艇各类设备的可靠性和维修性决定的, 另一方面, 使用频度增加, 舰员操作不当和失误的情况也会增多。



因此,装备的使用强度越大,必然会出现越多的故障。所以维修工作量是随使用强度递增的。但根据机械的疲劳限制和系统的突变理论,可以知道存在某一个使用强度 P_0 ,当使用强度大于 P_0 时,临抢修维修工作量会急剧上升,以至于不能保证装备在规定时间内按要求恢复性能。维修工作量和设备使用时间之间是非线性关系,函数的导数是递增的。使用强度可以用设备的运行小时数来表示。

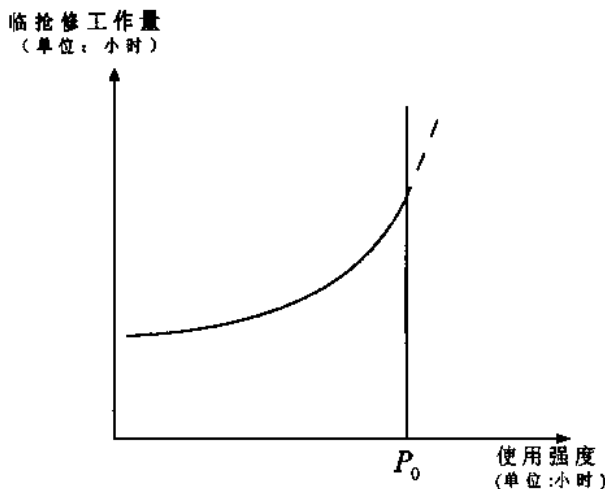


图1 工作量和使用强度的关系

使用强度对器材费用的影响主要由设备的机械或电子特性决定的。故障类型由设备本身决定,当使用强度较大时,舰艇各设备离耗损期的时间就越短,接近失效期的设备和零部件在单位时间里的失效率就越高,当接近或达到零部件的实际使用寿命时,由于失效导致的临抢修器材数量会急剧攀升,费用也随之迅速上升。因此,结合舰船常用设备设计的冗余量,合理使用舰船和分配舰船上各种设备的使用时间,可以有效降低单位时间设备的故障率,减少临抢修工作量和费用,使得各分系统的修理时间尽量与计划修理时间相匹配,从而达到节省经费的目的。目前仍有某些单位对少量几艘战备状态较好的舰艇集中超强度使用,而其他舰艇处于闲置状态,这样便有可能形成各舰使用强度的不均匀,也导致同一型舰的不同舰艇之间的临抢修费差别悬殊,增加了经费预测规范计算的困难。

2 维修结构的影响

根据以往经验可知,科学合理的维修结构,可以有效地减少装备使用过程中设备故障的发生次数,从而减少临抢修的工作量和器材的消耗量。

在每次的舰船计划修理完成后,舰船的技术特性必然有相当的提升(如图2所示),系统设备的性能和可靠性应基本得到恢复,这必然会有效减少以后一段时间内的故障发生率和维修工作量以及器材消耗量。

科学合理的维修结构能使舰艇在最需要级别修理时得到应有的修理,这是舰船平时低故障的重要保证。计划修理过程的维修间隔和维修结构,可以重点预防A、B、C三类故障,从而有效控制这些故障的发生,减少这三类故障在使用过程中的出现。同时,合理的、有预

见性的确定计划修理的工程项目,可以在计划修理期间预防性的处理一些可能大量增加临抢修工作量或临抢修难以完成的工程,这有助于提升各个大系统的总体可靠性,可以大量减少临抢修中对这些故障的视情维修和事后维修;此外,通过统筹管理还可以减少各临抢修单位对一些大型器材、不常用的器材的购置、储备,减少器材费用长期低效运转的情况,这些都助于控制临抢修经费的发生额。

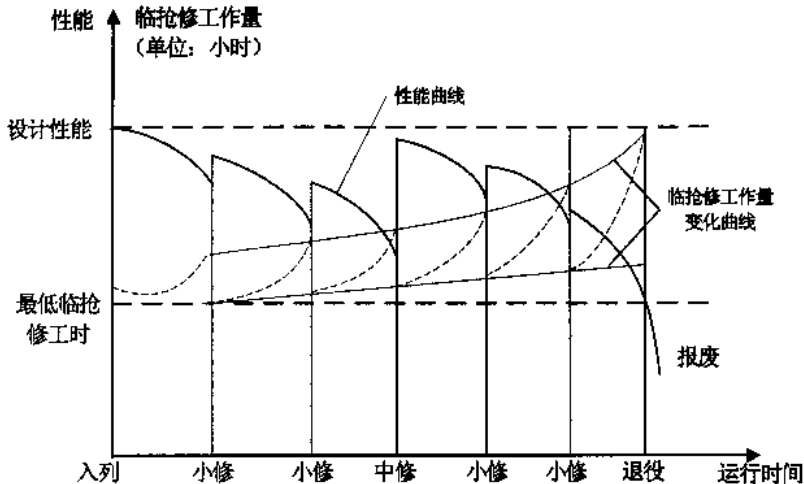


图2 计划修理后装备性能恢复情况及维修间隔中临抢修工作量变化示意图

3 临抢修承修单位的影响

3.1 军方修理和外协修理

军队自己修理和外协修理的比例大小影响着修理费用。一般军队自身如果具备某型装备的临抢修能力,其修理费用是会低于外协修理的费用的。这是因为军方修理部门不是以盈利为目的的,其大部分人工和器材费用都已列出,增加临抢修工作量不需或只需少量增加人工和器材费用。而如果外协修理,地方修理单位是以盈利为目的的,军方与地方单位是以合同为基础进行合作,各项与临抢修有关费用都被计入修理成本,并且必须保证地方修理单位人员的工资、适当盈利和设备的损耗费用,因此,必然会造成费用的升高;尤其是当地方修理单位掌握某些关键技术时,具有垄断优势时,外协修理费用的比例会有明显的上升。但分析问题要注意事物的两面性:当军方修理单位的修理能力不足,而且只有通过增加基础设施、人员培训费用等长期规划,并且花费大量资金和时间才能提升其临抢修能力,这时采用外协修理可以充分利用地方单位的技术力量和基础设施,避免相关项目的重复建设。这种情况下,选择外协修理是比较经济的。

3.2 承修单位自身素质

承修单位自身素质体现在单位的人员素质、修理设施、测试技术、技术文件以及管理水平等方面。

在装备的维修过程中,不论是计划修理还是临抢修,修理质量的好坏都会影响到故障率的高低。不同技术水平的单位或技术人员对同一故障的修理质量是不同的,修复后设备的平



均无故障工作时间(MTTF)也是不同的。一般来说,相同的故障,地方修造船厂的修理质量最高;海军修理厂次之;由于技术实力和基础设施均较薄弱,海军各修理所和抢修队等单位的修理质量与修造船厂有一定差距。因此,海军修理所等单位的返修工程数量要高于海军修船厂和地方修造船厂,装备维修后的再发故障率也要高于后两者。

随着现代化装备的不断投入使用,装备操作人员不断减少,而维修任务和维修人员的比重不断增加;维修的技术含量不断上升。只有人员素质比较高,修理设施比较齐全的修理单位才能有效利用各种先进维修工具和技术,大大减轻维修人员的工作量,大幅提高修理单位的维修能力,并大幅度降低维修保障费用,简化检测与诊断设备的管理和培训费用。技术文件的有效收集和利用可以使修理单位充分吸收以往的修理经验,减少新修理人员的经验积累时间,避免修理中一些重大难题的重复性摸索;可以有效减少第一次排除某些故障时,由于资料和经验不足造成的维修结果的不确定性。管理是提升生产力的重要方法。因此,承修单位自身素质高,一般管理水平较高、技术创新较多、生产效率较高,那么修理同样型号同样故障的装备,素质高的单位其装备修理费用要比素质低的单位其修理费用要低得多。

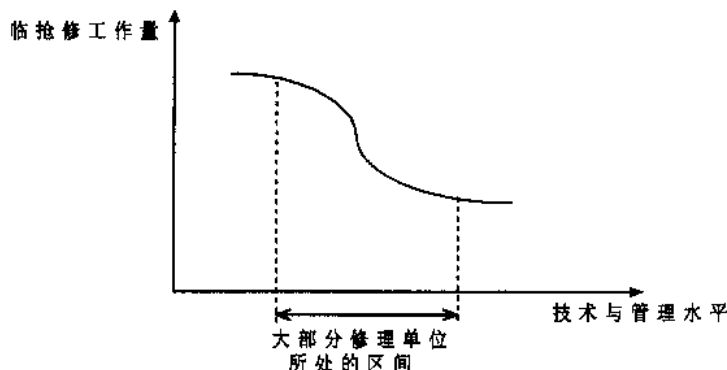


图3 修理单位技术与管理水平对临抢修工作量的影响

如图3所示,技术和管理水平很高和很低的单位均属少数,同级别修理单位的技术和管理水平绝大部分处在一个比较集中的范围,它们的差别不会太大。但从上图也可以看到处于中间位置的修理单位如果适当提高技术和管理水平,就可以大幅降低临抢修工作量,提高经费使用效益。

3.3 垄断程度的高低

由于装备生产具有垄断性,装备修理同样具有垄断性。对于一些独家生产经营的装备产品,特别是武备、电子系统以及新型控制系统,由于技术上的垄断导致承修单位搞价格垄断,使得某些特殊装备的修理费用异常的高。

4 舰艇使用单位的影响

随着科技的发展,我国的国防工业水平不断提高,机械设备越来越精密,武器装备技术含量越来越高,舰艇装备正向着智能化、高精度的方向发展,因此,每条舰艇的装备管理水平都直接影响到装备的维护保养能否正常、准确的进行,较差的管理水平会导致装备的维护、



保养和检查等工作不及时、不到位,不能及时消除故障隐患,从而造成装备故障率高,临抢修费用上升。同时,各舰的自修能力也对临抢修费用构成直接影响,自修能力弱时,舰员不能排除简单的常见故障,必然要上报临抢修工程,而各级修理单位承修费用要远远高于舰员自修费用。目前还有一种现象:在遇到重大任务或拉动兵力时,部分舰员将许多属于自修范围的工程作为厂(所)修工程上报,形成了严重的依赖心理,也使得现在的各级修理变成了“保姆式”维修保障,这不仅增加了各级修理单位的工作负担,使得临抢修经费的使用价值大大降低,最严重的是对培养舰员海上自修自救能力极为不利。

我国舰艇上没有专门的维修人员,一般的维护大都由部门长、军士、士兵完成,其知识的深度和广度较难达到专业的要求。一方面部队的人员流动性大;另一方面装备的批量小,更新快。这些都导致舰员日常使用和保养水平难以提升到一个令人满意的水平,不同舰只的使用和自修水平也各不相同。但大部分舰艇单位的舰员操作和自修水平处于图4中所示的区间,可以看到,加强舰员操作和自修能力的培训对降低临抢修工作量是很有帮助的。

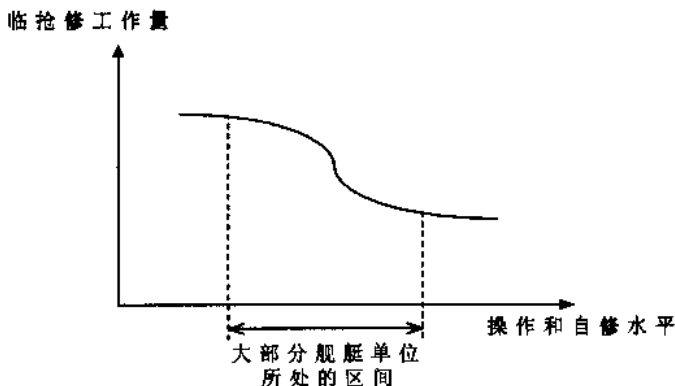


图4 舰艇单位装备管理水平对临抢修工作量的影响

在装备临抢修一线的工程人员普遍感受较深:装备管理水平高的舰艇的临抢修工作量明显少于水平低的舰艇,前者的临抢修费用也要远低于后者。因此,舰员操作和维护水平的高低直接影响临抢修费用。对计划修理费用,由于修理范围一般相差不大,故影响不大。

装备可靠性、维修性对舰船临时抢修费用的影响

黄佳典¹, 姚智刚¹, 王 义², 何江清²

(1. 海军装备技术研究所, 北京, 102442; 2. 海军装备部, 北京, 102442)

摘 要: 本文介绍了舰船装备全寿命周期内装备可靠性、维修性与维修工作量的关系, 全寿命周期装备总费用、制造费与临抢修费用的关系。

关键词: 可靠性; 维修性; 全寿命周期费用; 临时抢修

在现役舰船装备中, 设备型号繁杂, 总体上讲, 可靠性较低, 维修性、保障性较差已成为制约装备维修效益的一个重要因素, 较明显的增加了临抢修的工作量。现代维修理论认为, R&M&S (即可靠性、维修性和保障性) 是装备的设计特性, 属于装备质量的重要特性。在现代装备的设计中, R&M&S 已成为与其技术指标同等重要的设计要求, 对装备的作战能力、生存能力、部署机动性、维修人力和寿命周期费用具有巨大的影响。当代质量观认为, 提高装备质量的核心是提高其效能, 降低设备寿命周期费用, 而提高装备效能的关键是提高其 R&M&S。具有良好 R&M&S 的装备, 其故障率较低, 且具有较强的适应能力和较好的保障环境, 一旦出现故障, 则能尽快修复, 因而其固有可以得到充分的发挥。提高装备的可靠性, 将减少装备的故障次数; 改进维修性, 能够减少装备维修停机时间, 增加配件的互换性、通用化和标准化, 使得维修省时、省力; 因此, 可靠性和维修性的提高会极大地减少临抢修工作量。同时, 良好的 R&M&S 有助于减少维修人力、备件供应及保障设备和器材, 降低维修人员的技术等级要求和培训要求, 进而降低装备的使用保障费用。由于历史的原因, 在相当长的时期内, 我们只注重装备的性能, 忽视了 R&M&S 在装备建设中的重要作用。统计表明, 在装备的全寿命过程中, 由于质量缺陷带来的经济损失和消耗是以数量级的变化增大的。

可靠性、维修性和工作量的关系大致如图 1 所示, 这是因为维修工作量随着装备可靠性上升, 维修工作量是不断下降的。但当单一设备可靠性或维修性提高到某一程度时, 系统整体的维修工作量的下降已经非常不明显, 逐渐趋向一个稳定的平衡点 T_0 , 因此, 可靠性、可维修性对临抢修的工时费用的影响也类似于图 1 所示关系。

但可靠性和维修性对临抢修费用的影响还不止于工时费用, 它们对器材费用的影响也比较大。一般情况是装备生产时的原材料费越高, 一般修理费用也越高。首先建造可靠性和维修性好的装备时对高质量材料的需求较大, 因此, 修理时这些材料的用量也会增大, 导致费用增高; 其次是材料性能高, 单价必然高, 修理时更换同样材料时费用也必然高。但是对一些新型装备采用了高性能材料, 使其在服役期间很少损坏, 使修理工作量减少, 这样却会使修理费用降低, 如海军船体采用耐腐蚀性能好的 945 钢比 907 钢价格要高得多, 但修理费用却有可能降下来, 其他材料也有类似情况。就临抢修来说, 其材料使用量和计划修理的器材消

耗量相比,是比较有限的。可靠性、维修性较低的装备,由于故障多,导致修理零备件消耗增多,使临抢修器材费用上升。可靠性、维修性高的设备虽然它们的备品备件的购置等费用较高,但由于使用数量的大幅降低,因此可以大幅降低器材采购和仓储的数量,使得器材费用得到有效控制。

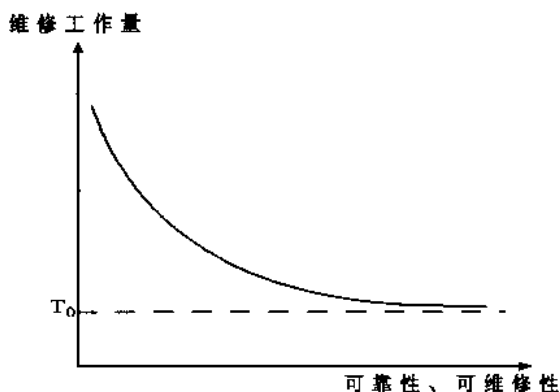


图1 可靠性、维修性和工作量的关系

可以看出,可靠性、维修性的提高可以使费用得到有效控制,它们和临抢修费用是一种负相关关系,但在考虑控制临抢修费用时,我们还必须注意把握临抢修费用和全寿命费用的关系(如图2所示)。如果对装备的可靠性要求过高,固然可以大幅降低临抢修保障的费用,但将使装备发展早期的可靠性投资急剧增加,从而导致全寿期总成本、费用增加。所以在临抢修费用的控制中,追求过高的可靠性、可维修性也是不经济的,通常在技术经济论证中要求寻找合适的决策点。

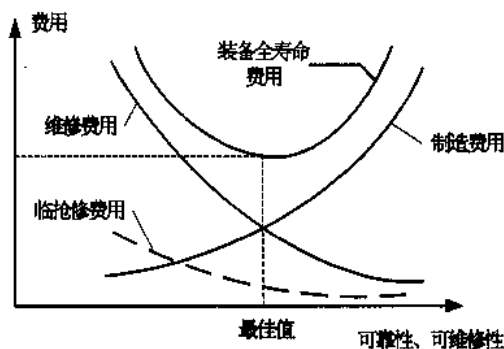


图2 装备可靠性、维修性与全寿命费用的关系





舰船结构预防性维修大纲制订方法研究

李彦强¹, 姚智刚¹, 张 衍¹, 朱晓军²

(1. 海军装备技术研究所, 北京 102442; 2. 海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 根据舰船结构特点和舰船装备预防性维修大纲制订的需要, 建立了一整套舰船结构预防性维修大纲制订方法。该方法包括预防性维修工作分类、间隔期、维修级别、RCM 分析、大纲汇总等内容。

关键词: 舰船结构; 预防性维修大纲; RCM

0 引 言

舰船装备预防性维修大纲是舰船装备预防性维修要求的汇总, 是舰船装备维修的基础性技术文件。在装备研制阶段制订的初始预防性维修大纲则是提出维修保障方案、同步建设维修保障分系统、进行维修资源准备的基本依据, 也是编制其他维修技术文件(如舰船使用保养规则、舰船修理条例和舰船装备维修工作卡等)的主要依据。按照新装备“两成两力”建设的要求, 为提高新型舰船的保障能力, 与新装备建造同步研究制订其预防性维修大纲, 这对建设一个高效、低耗的维修保障系统, 使新型舰船形成并持续保持战斗力有着重要作用。为确保大纲的顺利制订, 在目前国内尚缺乏适用于舰船装备预防性维修大纲制订的实用方法的情况下, 非常急需和有必要深入研究和建立一整套舰船装备预防性维修大纲制订方法。舰船装备预防性维修大纲制订方法包括舰船结构和系统设备两部分, 限于篇幅, 本文主要研究舰船结构预防性维修大纲制订方法。

1 GJB1378-92 和 RCM II 的适用性分析

制订舰船结构部分预防性维修大纲的基本依据是 GJB1378-92《装备预防性维修大纲的制订要求与方法》。GJB1378-92 标准是十多年前参照国外有关标准、指令和文件资料制订的, 当时我国尚无制订装备预防性维修大纲的实践经验, 多年来, 有关各方在贯彻实践该标准的实践中发现, 由于我国的国情和我军装备及其维修保障的实际情况与一些发达国家存在着很大差距, 标准的有些内容不完全符合我国实际。因此, 现正着手修订该标准。此外, GJB1378-92 标准中有关结构部分的内容主要以飞机为对象提出的, 舰船结构与飞机结构无论在结构形式、采用材料、加工工艺及其使用环境上有很大差别。因此, 舰船结构大纲的制订难以完全按照标准条文要求实施, 只能以标准为指导, 结合舰船结构实际, 研究一套切实可行的方法来制定大纲。

在 GJB1378-92 中, 以可靠性为中心的结构维修分析的目的表述为: “确定结构项目的预防性维修要求, 主要是检查等级和检查间隔期”。其基础是, 认为对结构项目而言(主要是飞



机结构),适用的预防性维修工作类型比较单一,只有检测和对安全寿命结构项目的定时报废两种。检测分为一般目视检查、详细目视检查、无损检测3个等级。该分析方法的特点是,制订结构维修大纲时的注意力不是集中在确定维修工作类型,而是在于确定恰当的检查等级及其相应的检查间隔期。其分析原理是根据设计资料、试验结果和类似结构的使用维修经验,按照结构项目的故障后果以及对损伤的敏感性和损伤的可检性,比较各个检查等级及其相应间隔期的有效性,以最有效的组合方案确定结构维修大纲。

舰船结构维修的经验告诉我们,环境腐蚀是舰船结构面临的主要矛盾。要保持舰船结构的功能完好性,单靠检测和定时更换是不够的。需要经常性的保养,包括清除附着于结构表面的污渍、海生物和锈层,清除滞留于结构表面及周边的油、污水,局部涂补受损的表面防护层。需要经常性的检查测量结构损伤及舱室密封情况。需要对局部结构作非更换性修补,如焊补被腐蚀的焊缝、挖补坑点和裂纹、矫正结构局部变形、壳体或支骨的局部加强等。需要对结构局部或整体进行更换,如换板、换肋骨等。可见,对舰船结构来说,其预防性维修具有多种类型,而不是简单的一两种类型。舰船结构预防性维修大纲要解决的主要问题,应是确定适用有效的维修工作类型及其维修间隔,而不是检查等级和检查间隔。

由上述分析可以看出,GJB1378-92给出的结构以可靠性为中心的维修分析方法,在目的性、要解决的主要问题及分析原理等方面,与舰船结构维修性大纲制订需求是不相适应的。除此之外,由于要解决的主要问题的差异,同时带来了GJB1378-92中结构以可靠性为中心的决策逻辑、环境损伤依损伤敏感性和损伤可检性的评级方法等方面,都与舰船结构维修大纲的需求具有一定的不适应性。

以可靠性为中心的维修(RCM)是目前国际上通用的、用以确定资产(装备)预防性维修需求、优化维修制度的一种系统工程方法。它的基本思路是:对系统进行功能与故障分析,明确系统内各故障的后果;用规范化的逻辑决断方法,确定出各故障后果的预防性对策;通过现场故障数据统计、专家评估、定量化建模等手段在保证安全性和完好性的前提下,以维修停机损失最小为目标优化系统的维修策略。RCMII是对RCM的改进与发展,它更加重视安全性与环境性后果。但RCMII分析方法主要是针对设备进行RCM分析,没有考虑装备结构的特殊性,尤其是舰船结构这种大型结构。

本文在广泛、深入研究的基础上,提出了一整套适用于舰船结构以可靠性为中心的维修分析方法,包括分析目的、维修工作类型、分析方法步骤、逻辑决断图、维修工作适用性和有效性原则以及分析记录表格等。

2 舰船重要结构项目 RCM 分析

2.1 RCM 分析目的

确定舰船结构重要结构项目的预防性维修要求,主要是维修工作类型和维修间隔期并提出维修级别的建议。

2.2 所需信息

根据分析工作需要,尽可能收集下列信息:舰船结构项目的功能、类型、材料和主要受



力情况; 每个重要结构项目的编码、名称、位置、图形、初步估计的故障后果等; 内外部环境损伤状况 (如腐蚀、污底等); 已有的静力试验、疲劳试验结果; 类似结构的信息等。

2.3 分析步骤与方法

2.3.1 确定重要结构项目

按故障后果将舰船结构划分为重要结构项目 (SSI) 和非重要结构项目 (NSI)。凡其损伤会使舰船结构削弱到对安全或任务产生有害影响的结构组件、结构零件或结构细节应划为重要结构项目, 其余为非重要结构项目。

2.3.2 进行损伤模式和影响分析

参照 GJB1391 对每个重要结构项目进行损伤模式和影响分析, 分析时应考虑其所有的功能及其可能的损伤模式。

2.3.3 应用逻辑决断图确定预防性维修要求

应用逻辑决断图 (见图 1) 确定各重要结构项目的预防性维修要求。

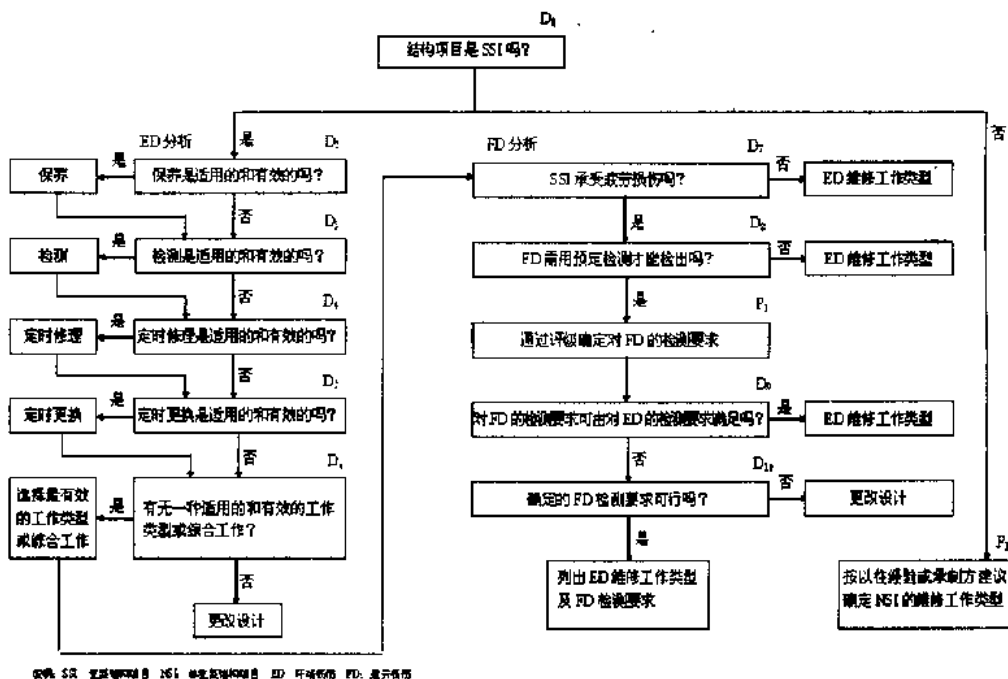


图 1 舰艇结构 RCM 分析逻辑判断图

(1) 舰船结构预防性维修工作类型

舰船结构预防性维修工作类型按所进行的预防性维修的内容及其时机控制原则划分, 各种类型的预防性维修工作包括一种或多种基本维修作业。舰船结构预防性维修工作的类型可分为: 保养、检测、定时修理、定时更换和综合工作五类。保养: 清除附着于结构表面的污渍、海生物和锈层, 清除滞留于结构表面及周边的油、污水和其他杂物; 局部涂补受损的表面防护层。检测: 检查测量结构损伤情况, 分为目测检查和仪器检查两类, 其中目测检查是



用肉眼对结构表面进行一般检查,而仪器检查则是使用仪器仪表等检测手段对结构损伤进行定量检测。对于潜艇,耐压结构只允许采用无损检测,而非耐压结构一般也应采用无损检测,在必要时根据实际需要允许进行有损检测,如先将结构局部钻孔或切割拆卸,待检测后再予以焊补修复。定时修理:结构使用到规定时间进行局部非更换性修补。如焊补被腐蚀的焊缝、挖补坑点和裂纹、矫正船体的局部变形以及用贴板或焊补支骨进行局部加强等。定时更换:结构使用到规定时间进行局部或整体更换结构的细节、零件、组件或防护层。综合工作:实施两种或更多种类型的预防性维修工作。

(2) 决断时应考虑的因素

①结构的材料特性及结构的功能;②结构损伤的种类,分为环境损伤(ED)和疲劳损伤(FD)两类;③结构项目的损伤模式和影响分析结果;④结构项目受环境损伤的可能性和环境损伤检测的可能性;e. 结构项目对疲劳损伤的敏感性和探测及时性;⑤影响预防性维修工作适用性和有效性的因素。

(3) 决断过程

①D₁:把舰船结构项目分为重要结构项目和非重要结构项目;

②D₂~D₆:选择对环境损伤适用、有效的维修工作类型。由于舰船结构重要结构项目的环境损伤将产生严重的安全性和任务性影响,必须千方百计预防。所以必须回答D₂~D₆中的所有问题,然后从各适用而有效的工作中选择最有效的工作或综合工作。通过对各问题的回答后认为没有适用、有效的工作可做,则必须更改设计。

②D₇:确定重要结构项目是否承受疲劳损伤。若不承受疲劳损伤,则直接列出通过环境损伤分析确定的维修工作。

④D₈:对受疲劳损伤的结构项目进行分析,确定其疲劳损伤是否需要预定检查才能发现。若不需要,则只列出通过环境损伤分析确定的维修工作,不必另定对疲劳损伤的检测要求。

⑤P₂:对各疲劳损伤结构项目进行疲劳损伤评级,并按评级结果确定对疲劳损伤结构项目的检测要求,包括首检期、检测间隔期和检测等级。

⑥D₉:分析对疲劳损伤的检测要求是否可由对环境损伤的检测要求来满足。若是,则只需列出通过环境损伤分析确定的维修工作。

⑦D₁₀:分析所确定的疲劳损伤检测要求是否可行。若可行,则列出由环境损伤分析确定的维修工作和疲劳损伤评级确定的检测要求。若不可行,应更改该项目设计。

2.3.4 各种预防性维修工作类型的适用性和有效性

某类型维修工作是否可用于预防所分析的结构项目的故障,不仅取决于工作的适用性,还取决于其有效性。只应选择那些既适用又有效的预防性维修工作。所谓适用是指该类工作与结构项目的固有可靠性相适应而能预防其故障。有效性是对维修工作效果的衡量,所谓有效是指该类工作能把故障的发生概率降低到可接受的水平。各类预防性维修工作的适用性和有效性准则见表1。

表 1 维修工作类型与适用性和有效性准则

维修工作类型	适用性准则	有效性准则
保养	1. 工作必须是设计所要求的 2. 必须能降低结构功能的退化速率	必须将结构故障发生概率减小到规定的可接受水平
检测	1. 结构功能的退化必须是可探测的 2. 结构必须存在一个可定义的潜在故障状态 3. 结构从潜在的故障发展到功能故障必须经历一定的时间	
定时修理 定时更换	1. 结构必须有可确定的耗损期 2. 结构工作到该耗损期前须有较大的残存概率 3. 定时修理工作必须能将结构恢复到规定的状态	
综合工作	所综合的工作必须都是适用的	

2.3.5 疲劳损伤的评级和检测期的确定

新舰船投入使用时执行的结构预防性维修大纲，只包括环境损伤的维修要求。以后针对部分结构项目可制订疲劳损伤分析领先使用计划，由领先使用计划的执行结果，确定在预防性维修大纲中是否增加某些疲劳损伤检测要求。

2.3.6 维修间隔期

维修间隔指相邻两次预防性维修工作的间隔时间(广义的时间)。工作间隔期的确定要结合装备使用和维修的实际情况与经验，根据有关技术文件和资料进行。确定维修工作间隔期时，往往由于信息不足，难以一开始就定得很恰当，一般开始定得保守一些，在舰船投入使用后，应进行维修间隔期探索，即通过分析使用与维修信息、研制试验和技术手册提供的信息，确定结构可靠性与使用时间的关系，调整结构预防性维修工作类型及其间隔期。结构疲劳损伤维修要求主要通过领先使用计划进行。

2.3.7 维修级别

根据海军舰船的维修作业体制，预防性维修工作等级分为舰员级、中继级和基地级三级。维修级别的合理确定需要大量信息，也可采用费用计算分析，但 RCMA 中不要求做详尽的分析，只提出各项具体维修工作建议的维修级别。由于地域、维修能力、人员统配、保障对象等各不相同，即使同级的修理机构其修理能力也可能存在很大的差别，因此必须考虑到舰艇部队维修机构的具体情况。

2.3.8 分析记录表

分析记录表包构项目与功能表、结构损伤模式与影响分析记录表、检测分析记录表、定时修理或定时更换分析记录表、综合工作分析记录表、环境损伤可能性与损伤检测可能性分析记录表，共计 6 种表格，样表如表 2~表 7 所示。

表 2 结构项目与功能表

结构编码	结构名称	结构材料	功能说明	备注

表 3 结构损伤模式与影响分析记录表

结构编码	结构名称	结构功能	损伤模式	损伤原因	损伤影响	损伤检测方法	备注

表 4 检测分析记录表

结构 编码	损伤 原因	维修工作适用性			维修工 作说明	维修间 隔期	维修 级别	维修工作有效性		维修工作是否 适用和有效
		探测结构 损伤的方 法	可探测的 潜在故障 状态	潜在故障 至功能故 障的时间				故障概率	故障的可 接受水平	

表 5 定时修理或定时更换分析记录表

结构 编码	损伤 原因	维修工作适用性			维修工 作说明	维修间 隔期	维修 级别	维修工作有效性		维修工作是否适 用和有效
		结构损耗期 或寿命	结构工作至耗 预期的残存比	能否将结构修复 到规定状态*				故障概率	故障的可 接受水平	

*本栏只适用于定时修理。

表 6 综合工作分析记录表

结构 编码	损伤 原因	维修工作适 用性 所有适用的 维修工作	维修工 作说明	维修间 隔期	维修 级别	维修工作有效性		维修工作是否适用 和有效
						故障概率	故障的可接受水平	

表 7 环境损伤可能性与损伤检测可能性分析表

结构编码	结构名称	损伤可能性分析		损伤检测可能性
		表面防护分析	环境类型分析	

3 舰船结构预防性维修要求

3.1 重要结构项目的预防性维修要求

完成 RCM 决断, 填写完毕分析记录表后, 即确定了所分析的重要结构项目的预防性维修要求。将各记录表的有关内容汇总, 形成舰船结构重要结构项目预防性维修要求记录表(表 8 所示)。

表 8 舰船结构重要结构项目预防性维修要求记录表

结构编码	结构名称	维修级别	维修工作类型	维修间隔期	维修工作说明

3.2 非重要结构项目的预防性维修要求

对非重要结构项目, 依据类似结构项目以往的维修经验或承制方建议确定合适的维修工作, 填制非重要结构项目预防性维修要求记录表(如表 9 所示)。

表 9 舰船结构非重要结构项目预防性维修要求记录表

结构 编码	结构 名称	根据类似结构的经验确定工作		根据承制方建议确定工作		维修 间隔期	维修 级别
		类型	说明	类型	说明		

3.3 舰船结构预防性维修大纲

对舰船重要结构项目预防性维修要求和非重要结构项目预防性维修要求进行汇总,形成舰船结构预防性维修大纲(如表10所示)。

表10 舰船结构预防性维修要求汇总表

序号	项目	维修级别			维修工作类型	维修间隔		维修工作说明	备注
		舰员	中继	基地		首检期	重检期		

4 结 论

本文提出的舰船结构以可靠性为中心的维修分析方法,具有下述特点:

(1) 舰船结构以可靠性为中心的维修分析的目的表述为:“确定舰船结构重要结构项目的预防性维修要求,主要是维修工作类型和维修间隔期并提出维修级别的建议。”将制订结构维修大纲的注意力集中在确定恰当的维修工作类型及其相应的维修间隔期。

(2) 充分利用逻辑决断的优势,构建了舰船结构以可靠性为中心的维修分析逻辑决断图。该决断图吸取了 GJB1378-92 中系统和设备决断图及结构决断图的优点,结合舰船结构特点,进行了综合、重构和优化。通过 09III 型潜艇结构维修大纲制订过程中的使用,证明是适用的和有效的。

(3) 结合舰船维修实际,提出了针对舰船结构的保养、检测、定时修理、定时更换及综合工作五种预防维修工作类型。分析过程中,用适用性和有效性准则结合逻辑决断流程,确定预防性维修工作要求,形成了一套确定舰船结构预防性维修工作要求的新方法。

(4) 该分析方法不但适用于潜艇结构,也适用于水面舰艇结构及其他主要受环境腐蚀的军用装备结构,具有广泛的推广应用价值。

轮机人员对船舶排修的管理

阮周星, 李建春, 胡文生, 苏广东

(92854 部队)

在船舶上排(进坞)修理过程中, 由于没有按操作规程办事, 在使用管理中, 出现一些事故时有发生, 为避免类似事故发生, 笔者根据所学的知识和工作实践浅谈轮机人员对船舶上排(进坞)管理的有关事项, 供大家参考。

船舶停航上排(进坞)修理, 称为排修(进坞)。在舰船中, 除吨位较大的舰船进坞修理外, 一般小型船舶仅为排修。

排修(坞修)按修理工程性质分为: 计划性养护修理和临时性恢复修理两种。计划性养护修理是按照中、大修和基本恢复修理工程的需要而安排上排(进坞)修理的。它包括有船体方面的舳板、底板, 骨架、舵的工程等和机械方面的艉轴装置、螺旋桨、通海阀、管系等工程的一部分或全部。临时性恢复修理大多由于海损事故或由于船体水线下的装置中部分零件的损耗已临近极限标准, 而其强度不足以支持到计划养护修理的时候, 需要提前进行修理的工程而安排上排(进坞)的。

船舶上排(进坞)修理, 轮机人员对船舶上排(进坞)的管理, 除对全部机械设备进行详细检查, 按机械设备技术保养的需要, 提出有关修理工程的项目, 编好修理单, 随附有关资料, 图纸, 送交有关部门审查外, 还必须配合船体上排(进坞)做好下列管理工作。

1 船体上排(进坞)前应做的工作事项

(1) 把动力装置轴系的中间联轴节拆开, 防止船体由于进坞时底龙骨变形而促使轴系弯曲现象。

(2) 注意检查舱面及舱内重量较大的机件存放位置, 必要时加于固定, 防止进坞时发生移动之危险。

(3) 所有需要在进坞时修整之零件, 必须安排好, 以使进坞后检查修理。

(4) 注意各储油柜之油量存放情况, 必要时应预先作好适当处理, 以防止船体进坞时因歪斜而发生故障。

(5) 船体上排(或进坞)时, 严禁轮机人员在舱内工作, 以防止意外事故。

2 船体上排(进坞)后的工作事项

(1) 应检查船底海水阀是否良好, 如果发现有损坏时, 应及时修复。

(2) 检查轴系艉轴筒轴承磨损情况(一般不得超过其极限数值), 若磨损严重时应予以换新件。



(3) 测定螺旋桨之螺矩是否正确, 并要检查大螺帽紧固螺母和整流帽, 及顶螺钉有否松弛。

(4) 检查船艏轴颈之技术状态是否因海水的侵蚀而有损坏之现象。

(5) 详细检查机垫紧固螺栓是否有松弛或腐蚀现象, 必要时应加以旋紧或换新。

3 船体下排 (出坞) 时应做的工作事项

(1) 凡在船坞经过修理部分, 要详细检查, 是否妥当。

(2) 船在进水前应首先检查船面两边存放的机件重量分布是否平衡, 同时应注意有否上重下轻现象, 如果存在这种现象应该排除, 以免下坞后发生歪斜倾覆之危险。

(3) 注意把通海阀关闭, 以免水进入舱内, 船外进水时应派专人在舱内检查各处是否有漏水现象。

(4) 检查轴系艏轴筒之压紧法兰的松弛缓程度是否适当, 以防止水进入舱内。

(5) 注意舱面及舱内的机件放置是否妥善, 以防移动发生危险。轮机人员同时离开机舱。

(6) 在下坞后, 检查轴承系中线, 并进行轴系校中工作。

舰船柴油机的使用与管理

张长青, 沈武, 陈业充

(92854 部队)

随着高新技术的不断发展, 电子化程度进一步提高, 人们的思想认识也发生了新的变化, 但我们不能忘记科学基础的工作, 作为舰船柴油机来说, 必须要按科学的方法去使用和维护, 本文根据自己所学的知识和工作实践以及下部队装备检查中对柴油机使用存在的问题, 浅谈一下柴油机使用与管理情况供大家参考。

1 舰船柴油(主)机的使用

1.1 开车

从机电人员接到开动主机的命令起至柴油机起动起来可以进行负载的时刻为止, 是开车时间。

一般的开车时间是包括两部分, 一部分是起动前准备时间; 一部分是开车动作时间。

准备时间: 柴油机从完全静止的状态, 经过机电管理人员的检查和准备, 直到借外界力量的作用, 把柴油机完全起动起来的时间。

开车时间: 从主机起动后经过检查, 至主机驱动其他机械动作起来为止是开车时间。

1.2 加速和变速

船在开动以后, 从慢船速航行到航速航行, 是需经过一段时间, 此时, 主机从开车起至满负荷改变为轻负荷所需要的时间, 是为加速或变速的时间。

1.3 倒车

螺旋桨的旋转方向根据船舶在移泊或者进出港的需要, 往往要从一个旋转方向改变成另一个旋转方向。在改变过程是需要一定时间的, 这个时间一般称为倒车时间。倒车时间的长短与柴油机装置有关。在利用换向离合器的装置中, 换向时间较短, 而在直接应用主机反转的装置中, 由于改变曲轴反向时, 机器的转动惯量极大。这时虽然停止向柴油机输送工质, 但仍要经过一段较长时间使柴油机停止下来, 之后, 才能着手反转。

1.4 停车

从机电人员接到停止使用主机工作的命令起, 至柴油机完全停止下来, 工作暂告一段落的时间为停车时间。机电人员为了使柴油机能处于随时都可以开动有状态, 这时必须对柴油机进行停车后的维护工作。

所有以上这些操作, 除在设备上应能满足船舶机动操作的要求外。在实际中, 能不能在

各种复杂条件下准备、迅速、灵活地操纵主机,关键在于机电管理人员。所以正确地使用和管理柴油机,是机电管理人员的重要任务。

2 船舶柴油机的技术管理

2.1 柴油机起动前准备

柴油机在开始工作之前,必须依靠外来力量使它转动,以便进行吸气压缩等工作过程,开始燃烧做功。在船舶中,柴油机起动时必须迅速可靠,否则对航行安全威胁很大。

为使柴油机从静止状态顺利地起动,必须对柴油机各部分进行认真、细致的检查和准备。稍有疏忽,会造成机器不能起动或发生故障,甚至造成工伤或严重的海损。所以管理人员对于起动前的准备工作,切莫疏忽(特别是检修后的初次起动)。起动前的准备工作,大致有如下几个方面。

(1) 暖机和油的加热。船舶在停港期间,如当地气候比较寒冷,柴油机起动前,应预热机舱,将燃油和滑油加温并进行暖机,使燃油和滑油保持适当的流动性,以防止输送中断。进行暖机除可以减少柴油机起动后气缸的热应力,使柴油机容易起动外,还可以减少硫对缸壁和活塞顶的腐蚀,这对燃用重柴油的主机尤其重要。

(2) 润滑油系统的准备。在柴油机起动前,检查润滑油的日用油箱或曲轴箱内的油位是否足够油量,同时用滑油输送泵对主机所经常需要润滑部分进行注油,以排去系统中的空气,使整个润滑系统充满润滑油之后,检查滑油系统中之管路管接头,是否有漏泄以及各阀门之开启情况,压力表之控制阀是否开启,最后检查由主机带动之滑油泵至过滤器管路是否畅通以及过滤器的滑油的清洁情况。

(3) 冷却系统的准备。在柴油机起动前,检查一下冷却系统中的紧密性并检查气缸水夹层及气缸盖是否有漏水,然后再检查冷却系统的通路上的进排水阀开启与关闭的情况。如果柴油机是海水直接冷却的开式冷却系统时,应开启独立的冷却水泵运送冷却水,把存在系统中的空气排出,使整个冷却水系统充满冷却水。如果柴油机系统采用闭式冷却系统时,首先检查主机膨胀水箱的水位,然后开启独立的淡水泵排出冷却系统中空气,并对系统进行压水,同时应注意开启冷却淡的海水进排水阀。

(4) 燃油系统的准备。在柴油机起动前,应将主机日用柴油箱驳至规定油位,并注意放水。对于具有燃用重柴油的舰船,应注意对重柴油加温,并将重柴油日用油箱驳至规定油位。如果主机日用油箱位置不高而设有独立的低压燃油输送泵,则应在起动主机之前开启。若主机本身还有低压输送泵,待柴油机正常运转后应将独立的低压输送泵停掉。日用燃油箱充油之后,应进一步检查从过滤器至燃油泵之间,以及从燃油泵至喷油之间的管路是否充满了油。如果发现燃油系统缺油时,须用燃油输送泵把燃油压送或让燃油自行流入,并通过检查旋塞(如果没有此种旋塞可通过与喷油器拆开的油管)来检查油管内是否已充满了油,然后再检查燃油系统管路接头之紧密性。此外,对于新安装柴油机或经过检修之后的柴油机还应检查喷油定时,供油量和燃油雾化情况。

(5) 压缩空气系统的准备。对于采用压缩空气起动的柴油机,当班机电人员在柴油机起动前,应将所有空气瓶打到规定压力。放掉气瓶中的油和水,将气瓶与主起动阀之间空气管



路上所有的阀门打开。如设有压缩空气汽笛管系,则在起动前应将气笛瓶出口阀打开。以备驾驶台随时使用。

(6) 转车和冲车。柴油机起动前,应检查各部份在连接螺钉有否松动,检查有否杂物或工具落到在机器上,并接上盘车器,转动主机(离合器处于空挡位置),注意是否灵活无阻,之后,合上离合器,将主机转几转,检查轴系的回转情况(特别是在港内或避风后起动主机时,尤应注意)。在确认转动自如后,将盘车器、离合器脱开,再进行冲车,以便吹走气缸中的杂质,残水或积油等。

应该指出:在转车和冲车过程中,应把燃油操纵手柄放在“停车”位置,以免燃油进入气缸内,致使起动时飞车事故。此外,应注意观察是否有大量的油和水从各缸的示功旋塞中冲出。冲车后关闭示功旋塞。

柴油机起动前的准备,由于柴油机的类型、构造特别、设备布置和使用状况各不相同,因而起动柴油机的准备与检查工作也有所不同。通常,应按照制造厂的规走,结合柴油机的构造原理、使用状况以及周围环境的条件灵活掌握。但应牢记:在实际操作中,或起动时发生严重事故,多数由于对柴油机没有进行细致检查的缘故,切莫草率从事。

2.2 柴油机起动运行

柴油机燃油的燃烧是在气缸内部进行的。欲使柴油机起动运转,必须让燃油在气缸内发火燃烧,但任何柴油机为了获得第一工作冲程必须先定完成进气,压缩和喷油等过程,而这些辅助过程必须在柴油机转动时才能完成,由此可见为使静止的柴油机开始工作,必须先利用某种外力把它转动起来。仅仅使柴油机转起来还不够,还必须使之达到一定的转速。因为转速较低时,气缸内被压缩的空气对气缸壁的散热和通过活塞环的泄漏都较大,燃油发火所需的空气温度,在柴油机转数过低时是难以达到的。柴油机启动所要求的最低转速就叫做启动转速。

柴油机的起动转速在低速柴油机中,转数须达 40~50 r/min 时才能起动。而在中速柴油机须达 100~150 r/min,甚至高达 200 r/min 以上。

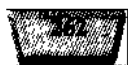
柴油机的起动方法,由于柴油机的类型不同有所不同。目前小型高速柴油机多用手摇或电启动,较大功率的舰船柴油机则用压缩空气启动。

(1) 手摇启动。手摇启动是用人力来完成柴油机的第一次着火燃烧。为了初摇车省力一般都设有减压装置,在摇车前先打开减压阀,使气缸内不压缩,当柴油机曲轴有一定转动惯性和达到一走转速,开始供油和关闭减压阀,当听到气缸内有爆发声后,起动结束。

因为手摇启动是用人力,所以一般只适用于小马力的小型柴油机。

(2) 电启动。电启动是用蓄电池供电,由启动电动机带动柴油机完成第一次着火燃烧。为了减少起动电流,有的电启动柴油机也设有减压装置。启动前先打开减压阀,待机器达到一走转速时,再关闭减压阀。听到有爆发声后,释放按钮,起动结束。为了保护电瓶极板,每次起动按电钮时间一般不要超过 10 s。两次起动时间间隔要在 1 min 以上,如果连续 4 次起动无效,应检查原因,等查明原因后再行起动。

(3) 压缩空气启动。用压缩空气启动柴油机就是用压缩空气来推动活塞,使用曲轴转动,从而完成柴油机第一次着火燃烧。





柴油机压缩空气起动装置：它主要由内空气压缩机、空气瓶、操纵阀、主启动阀、空气分配器、单向阀、气缸起动阀组成。空气压缩机将空气打到一定压力后经充气阀送入空气瓶中储存起来。起动时，先将空气瓶的阀打开，压缩空气分两路，一路进入操纵阀；一路进入主启动阀，当操纵手轮转到起动位置时，操纵阀被打开，压缩空气经操纵阀进入主启动阀，主启动阀被打开，从空气瓶来的压缩空气经主启动阀一路进入空气分配器，一路经单向阀进入起动空气总管。因空气分配器受凸轮轴控制，从主启动阀来的压缩空气，经分配器以后进入起动瓶的气缸起动阀，起动阀被打开。这时候等在总管中的空气也通过启动阀进入各缸，使柴油机转动起来并不断加速。当柴油机达到了启动转速并能自行运转时，关闭控制阀，切断启动空气，增大给油量，使柴油机在指定转速下运转。启动结束。

必须指出，柴油机在起动期间以及在起动以后的运转初期，各机件在摩擦部分，特别是气缸套将发生最大的磨损。

因此，为了减少机件的磨损，延长柴油机的使用寿命，频繁的起动，特别是冷机的起动要尽量予以避免。

2.3 柴油机起动后的检查

当柴油机起动后，管理人员应及时注意仪表的读数是否符合要求，操纵燃油，使柴油机处于低稳定转速运行 10~15 min，倾听机器有无异常的响声，在确认机器没有特别的故障后，应进行下列工作：

- (1) 补充压缩空气瓶的空气量（如用主机气缸充气，则该气缸应停止燃油供应）。
- (2) 调整不符合要求的各个参数。如油压、水温等。
- (3) 检查有无漏油漏水现象，并消除之。

(4) 从各方面鉴定机器运行是否良好，如转速表、排烟、声音、检验阀等，当使用检验阀检验火焰情况时，必须注意安全，阀门（或旋塞）不应开得太大，人不应对正检验阀门。

经过检查和调整，在确信主机运行正常，可以带负荷运行时，可通知驾驶室备车完毕，在航泊机日志上做好记录。

柴油机起动后的运转过程，管理人员必须严格按照说明书中规定的柴油机各项参数。

例如，曲轴转数、冷却水温度、滑油的温度及压力、排气的温度、气缸内的压缩压力及最高压力、燃油及滑油的消耗量等等。

2.4 柴油机的停车

当需要停止机器运转时，应该做好停车前的准备检查工作，以便能够保证安全和创造下次再发动的条件。

(1) 在停车前应作好下列工作：

- ① 先卸去负荷。
- ② 检查起动能源是否已经足够，不足应首先补充。
- ③ 抽清舱底水。
- ④ 将转速渐渐降至低速运行 10-15 分钟，使机温下降后，再行停车。
- ⑤ 在低速运行期间，应注意观察仪表数值的变化以及机器的音响情况，有无异常。

当所有准备检查完毕，机温下降后，使可缓慢地切断燃油供应机器便停止运转。



(2) 机器停止运转后, 应作好下列工作:

- ① 关闭各种阀门(特别注意海底阀门和舱底水的阀门)。
- ② 打开检验阀, 转几转曲轴, 使残存在气缸内的废气排出, 还可以使气缸组件得到冷却。
- ③ 检查润滑油存量有无变化, 并检查油质, 若需要更换, 应该随即更换(即在热机时更换)。关闭各滴油盅。

停车后, 如果柴油机构造上许可的话, 还须触摸活塞和气缸套的下部, 曲轴和凸轮轴承以及其他摩擦部分和连接件的温度变化情况, 假使发现柴油机机件有缺陷应及时加以处理。





船舶柴油机动力装置的使用、维护与管理

阮周星, 沈武, 苏广东

(92854 部队)

船舶柴油机以及为其服务的辅助设备能安全经济地运转, 以使柴油机经常处于最良好的技术状态, 机电管理人员必须对整个装置进行正确的使用、维护和管理。

1 船舶在开船前的工作事项

机电长在接到舰(船)长的通知后, 要督促机电部门作好开航的准备工作, 把装置各部分整理妥当, 遵守开航时间, 同时检查燃料、润滑油储备量, 以及备用机件, 垫片材料, 修理器材, 消耗性物品和一切工具等是否足够, 若不足时应予以补充, 并加以妥善处理, 以免出海移动或丢失。

经过修理的零件、部件, 要检查其规格质量和装配质量, 以免引起动力装置在使用时发生故障。

在船舶要离港前, 必须检查燃油的贮存量是否足够储油量应该比全航次实际需要所需要的增加 15%~20%, 日用油柜必须充满, 并且将沉淀的水分和污秽放出。油柜与机器间的粗滤器和细滤器必须在定泊期中清洗过, 否则燃油在通过滤器时会受到很大的阻力, 尤其在停车后, 机舱温度较低, 燃油也比较粘, 这样可能使机器起动困难或者在起动不久后就停掉。机舱温度过低(低于 5°C)时, 应该先用暖气预热机舱, 假如没有机舱暖气设备, 就预热器用油柜, 同时放出油管中的冷油。

沉淀柜应该隔一个时期后就清洗一次, 去除沉积在柜底的油垢质(陈油)。如果陈油堆积太多, 在舰船波动时, 则可能会带一部分细小杂质到喷油系统中去, 或者引起机器运行不正常, 或者使阀门活塞环很快磨损。

2 柴油机起动前的工作事项

起动柴油机之前, 首先做好柴油机起动前之准备工作, 其次要检查传令钟之动作是否正常, 以免因使用失效而发生事故, 同时详细填写各种登记簿。

另外, 应盘车检查喷油泵——喷油器之射油状况和检查起动装置之技术知识, 以免发生起动困难故障, 同时应检查燃油箱、滑油箱、海水门、阀件是否打开, 以免开车后发生无油、无水等现象。

所有用手加油的油盒, 应该充满清洁的滑油。

在预备起动前, 引动喷油泵和喷油器是非常重要的, 打开喷油阀上的放气阀, 用手泵或专门的引动油泵驱出空气。如果燃油混着气泡流出, 则表示空气还没有驱尽。



如果机器已停用很久,应该将各汽缸上的喷油器取下,放在专门的试压架上,检查燃油雾化的程度如何,并且要盘车检查喷射的开始和终止时间。

控制喷油量大小的操纵杆系,不能有松弛或卡紧,用手将手柄放在停车位置上时,所有的喷油泵都应该停止供油。

起动空气压缩机应该预先把空气瓶打到规定压力。空气瓶底部的水要放去,管路中的水也应该放去。起动阀的安全装置必须检查是否良好。汽缸上的泄压装置是很重要的。有的柴油机在机器改变旋转方向时,扳动换向手柄到中间位置时,同时打开泄压阀,手柄在顺车和倒车的位置时,此阀关闭;倘若调整得不好,可能损坏阀门机构或不能起动。汽缸上的自动起动阀和分配阀也应该检查一下,有无粘住。起动机构的摩擦部分应该加柴滑油,扳动时须很灵活,然后将起动手柄放在停车位置,这时起动空气主起动阀还没有打开。

如果柴油机本身带动空气压缩机,因为它的气缸余隙比较小,而且可能有积水,所以必须将疏水阀打开,同时也可减小起动时所需的转矩,气缸壁的滑油量也要增加。

柴油机上的调速器,应该遵照说明书加润滑油,并且检查传动机构是否灵活。

机器上的各种压力表和温度计应该检查一遍是否正常工作。

同时也应该检查轴系中的各轴承润油是否充足。

待所有准备工作完毕后,用盘车机构转动曲柄一二转,注意有无障碍。盘车后必须将盘车机构脱开。

然后开启起动空气主气阀,使压缩空气通到自动起动阀旁,机器附近人员应该离开些,在得到驾驶台表示舵部无障碍后,即可起动物器。如果机器与轴系间有联轴器连接,起动时须要将它们分开。

起动准备的内容和时间的长短,需根据机器设备形式和使用状况而定。如果机器是经常使用,则时间较短,如已长久不用,准备工作应该更加仔细和充分。

3 柴油机起动后的工作事项

舰船上主机(柴油机)大都是用压缩空气起动。近代主机需要的时间很短,约5s钟就可以,所以消耗的起动空气颇多。但是在船舶进出港口时,停车和换向的次数是很多的,压缩空气瓶的空量应该足够大,如果起动空气的压力比较高(有时达到4MPa,通常为2~3MPa),空气瓶的容量可以用得比较小些。起动机器的空气压力有时可以低到12kg/cm。每个汽缸的起动空气阀开启的时间根据汽缸的数目和冲程数来决定。船用主机(柴油机),应该在任何曲柄位置上都能起动,如果汽缸数目在5个以上,则就不成问题,否则起动前要先盘车。起动最有利的角度是曲柄过上在点后45°附近。起动空气压力过低,使柴油机不能达到一定的转速,汽缸内被压缩的空气压力和温度都较低,不能使燃油自燃着火。因此,柴油机起动后首先要及时补充储气瓶之压缩空气(对于电力起动的,则应补充蓄电池之电容量),同时应指定专人负责值班,以免机器因发生故障而无法工作。其次应注意柴油机起动后不能迅速进行增加负载,最好低速运转20min,再进行半速或全速。第三,检查冷却水之出水温度及排水量,并检查泵浦之动作和工作温度。第四,应做好柴油机运转的检查工作。仔细检查各运动零件和各种系统情况是否正常,各压力表和温度计读数是否正常。再将机器以倒车



运转一次,检查换向是否灵便可靠。一切准备就绪后,以车钟回复驾驶台,等候命令。在检查工作完成之前,不能摇摆传令钟,以免因准备工作做得不充分而发生事故。

4 航行中的管理

值班机电员是维护柴油机的主要工作者,他应对装置各部件的润滑油运行情况是否正常、各部件之温度——如曲轴箱、气缸、至轴承和推力轴承等温度是否正常进行检查,同时应注意检查装置各零件部件之连接螺栓是否有松弛之处。

按时补充日用燃油箱,润滑油柜之油量,加添润滑油杯之油量以及各部需要人工注油的部件的加油工作,是值班员经常性的任务。

在船舶航行中,机电人员在值班时应定期进行巡回检查,并按规定时间将柴油机及其装置的各种参数记入柴油机值更登记簿中。在交接班时,也应按巡回路线进行周密的检查。各舰船所检查的项目和内容不尽一致,应根据机舱设备和布置特点加以确定。

在前往机舱接班之前,应先观察主、辅机的排气颜色以及各种排出舷外的冷却水流量和海面情况。以备进一步判断气缸燃烧和冷却情况时参考。

进入机舱后,应按最合理的巡回路线认真检查,并听取交班人员的意见,对出现的不正常或可疑情况应有明确判断并予以排除。

4.1 冷却水系统的管理

在接班检查时,应注意检查主、辅机各气缸盖的温度和冷却水的出水温度。对于采用海水直接冷却柴油机气缸的冷却水系统,则出水温度不应高于 50°C ,如用淡水冷却柴油机气缸的冷却水系统,应注意主、辅机膨胀水箱的水位是否在规定范围。接班后,应注意膨胀水箱的水量消耗。如发现水位的下降速度超出了正常消耗量,必须查明冷却水泄漏的原因并予以消除。柴油机各缸的出水温度应保持正常,并应基本一致。若各缸冷却水量相差不大,但某缸的水温过高或过低,则说明该缸超负荷或负荷过低,应进一步从排气温度或喷油设备来查明原因。如冷却水温度和排气温度都有相应的变化,那就可断定是喷油设备工作不佳使燃烧不良而导致气缸温度不正常。如果喷油设备和燃烧情况正常,只是气缸冷却水温度变化,则可调节该缸的冷却水量使冷却水温度达到正常。当某一缸由于冷却水量不足而过热时,应首先停油,再慢慢地增加冷却水量,这样就可使过热情况好转。如果过热是由于缸套中断水,则应降速运转,并切断该缸燃油,绝不可骤然加入冷水,否则,气缸将会破裂。在正常情况下,冷却水温度应该稳定,不应忽高忽低。在短期停车或慢车运转时,亦在停掉海水循环泵或控制淡水冷却器的海水流量,防止冷却水温度急剧降低。

冷却水温度也不应过低。水温过低,不但使柴油机的热效率降低,还使气缸套内外温差增大,热应力增加,结果容易引起气缸套裂纹。若冷却水出口温度太高,则气缸阻水橡皮圈容易因受热而损坏,造成气缸套漏水。一般柴油主机的出水温度为 $60^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。近代的柴油机,冷却水和滑油系统都装有自动调节设备。

4.2 滑油系统的管理

滑油循环泵的出口压力应保持正常,低速柴油机为 $0.15\sim 0.3\text{ MPa}$ 。冷却器前的滑油温度





为 $50^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ，冷却器后为 45°C 左右。中、高速柴油机的滑油温度和压力应稍高于低速柴油机。

检查滑油压力的数值可根据压力计的读数，循环滑油的压力大小应根据柴油机的保养说明书来确定。同时过滤器前、后的压力计读数应经常注意：当压力差增加到说明书内的额定数值时，就须转用另外一个过滤器，将原来用过的过滤器拆开清洗；当过滤器前、后的压力差愈益降低时，那就表示过滤器内的滤网有了破损，应及时予以处理。

轴承滑油管路的压力和温度，也应特别注意。管理中滑油的压力与油的黏度和轴承的间隙有关。油泵开动时滑油冷而黏，在管路中产生很大的压力，这样常常会使管路中某些接头发生漏油现象，油的温度升高后，滑油变稀，压力降低，但是油量并未减少。主轴承间隙太大的，滑油大部分在此漏回曲柄箱，油压因此降低，曲柄销轴承，活塞销就不能得到充分的润滑。不管滑油泵是哪一类型，它应该维持管路中的油压稳定。如果发现压力表被动厉害，则表示油量不足或油很黏，滑油的给时断时续，所以在开动泵前最好将滑油加热到 35°C 左右。吸油管漏气，常常也是油泵压力不够的原因之一。油压的突然降落，可能是由于油泵失灵或者曲柄箱内的油管折断，如用黄铜管，因为它具有脆性，受到机器的振动时很可能发生裂口。油压突然增加的原因，多半是滤油器发生阻塞。对于指示油压的压力表，应该经常检查是否正常，阀门必须开足，节流或杂质的阻塞都会使得压力表的指示不正确。

滑油柜的油面高低，在巡视时应加注意，如发现油位很快降低，则说明有漏泄之处。如油位反而升高，则说明水或燃油漏入曲柄箱。在分析油位的变化时，应结合柴油机运转情况一起判断。这时，可减速或停车，检查原因并加以消除。

进排气阀阀杆用煤油或柴油（30%）与滑油的混合油进行润滑，应定期向油杯和加油孔加油。

4.3 燃油系统的管理

应注意主机日用油柜的油位和温度，经常放掉油柜中的积水。否则主机将会自动停车。

应定期清洗燃油滤器，清洗后要充满燃油，将空气排出，以免造成燃油的暂时中断。当船舶在大风浪中航行时，由于船舶的摇摆，沉淀的脏物又重新被搅起，燃油滤器很容易被污塞，所以应特别注意燃油滤器前后的压差。在正常情况下，其压差为 0.02 MPa 左右。当压差达到 $0.04\sim 0.07\text{ MPa}$ 时，应立即更换滤器。

在燃油系统管理中，必须十分注意喷油泵和喷油器的工作状态。一般说来，它们的工作状态决定着柴油机的燃烧质量，而且直接影响着柴油机的使用寿命。所以，除定期进行检查和调整外，在值班时还应经常检查喷油泵、喷油器的工作状态和温度，检查高压油管的脉动情况，如果泵体或高压油管发热，则说明喷油器的喷孔被堵塞。若高压油管脉动微弱，而且排气温度和燃烧压力均较低，则可能是由于喷油泵密封性不良而使供油太少所造成。若高压油管脉动虽微弱，但排气温度增高，则可能是由于喷油器针阀与阀座密封性不良而产生漏油，或针阀在开启位置咬死所造成。这时，应进一步检查针阀的跳动情况。若高压油管无脉动，则可能是喷油泵柱塞咬死。

排气温度是大致反映气缸燃烧状态的一个参数，它不但可以表征柴油机的经济性和功率大小，而且直接影响着柴油机的寿命。在多缸柴油机中，各缸排气温度的高低还大致表示出



各缸负荷的分配情况。如各缸排温度相差太大,必须迅速查明原因,采取措施,使之保持在各限定的范围内。通常,为了更可靠地了解柴油机燃烧过程的进行状况,需定期或及时测取示功图,再结合其他热力参数(如排气温度、冷却水温度等)进行综合分析,给予必要的调整,以保证柴油机始终有一个良好的燃烧过程。

4.4 机动操作和风浪中航行时的管理

在机动操作时(如进出港口、狭水道航行),由于柴油机的工作状态变化频繁,所以应特别重视正确管理。首先,为了保证柴油机具有良好的起动机性能,燃用重油柴油机,最好将重油改用轻柴油。其次,应注意冷却水和滑油温度的调节,使之不致太低,以免影响柴油机的工作性能。最后,在完车后,不要立即关闭主机的滑油泵和淡水泵,以便将气缸和活塞中的热量带走,因为金属中积聚了巨大热量,若散发出来,则会使气缸壁上的滑油结焦。在过渡到正常航行的加速过程中,不要使柴油机突然加速,以免发生超负荷。

在风浪中航行时,由于船体阻力增大,船舶发生纵倾和横倾,柴油机曲轴的负荷就会大幅度地波动。例如,当船舶纵倾时,由于螺旋桨的回转和船体的摇摆而产生一个变化的横向力和横向力矩,使艉轴在横向受到弯曲,这个横向力矩的最大值可达正常转矩的90%。风浪越大,浪越长,船体阻力也越大,主机越容易超负荷。运转经验表明,当船舶在风浪很大航行时,气缸的温度就比正常温度升高,使机件过热而超负荷。在这种情况下,机电人员不能为了保持正常运转而加大油门,而应该降速运转。

在值班时要经常地巡视和检查,运用听觉、视觉、嗅觉和触觉及早地发现任何不正常现象而加以修正。由于柴油机构造的复杂和精确,需要有丰富的经验,科学的分析能力和迅速的行动,高度警惕地、负责地守着自己的岗位,以延长机器的使用年限和提高效率。

5 船入港前后的工作事项

船舶返航进港时,值班员应注意传令钟来往信号,同时应注意储气瓶之充气压力或蓄电池之电容量是否足够,不足的予以补足。要做到及时操纵柴油机使之符合车钟指令的转速及倒顺车工作,以防止操作不及时而发生的船舶碰撞事故,机电长应责成副机电长或亲自指挥及操作柴油机工作。

船靠港后,应得到驾驶室传令钟通知终止主机工作时,才能停车,否则不能擅自停车,以免发生意外,船靠港后机电长应领导机电部门人员做好动力装置停止运转时的保养工作和做好返航所消耗的燃油、润滑油、修理器材及消耗性物品的统计工作,以及检查动力装置各部件,零件使用后的技术状况。如果有修理的零件,且自己能修理的,应组织人员进行修复工作,如自己无法解决者,应做好申请修理计划及时送交主管部门处理。

舰船在港泊,轮值停泊班的机电人员应经常做到下列几方面工作:

- (1) 注意舱内的污水,若见有水时应把水抽去,以免积水过多而淹及动力装置设备。
- (2) 要经常注意空气瓶内空气压力(或蓄电池之电容量),以保持足够柴油机起动的起转速度的要求。如发现不足时应及时予以补足。
- (3) 要检查轴系之艉轴筒压紧法兰是否漏水,若发现有漏泄时,应把压紧法兰两边之螺栓平均地旋紧。

(4) 在较长时间停泊中,要每隔三四天用人力盘车,将机轴转运几次,以免使活塞与气缸胶住。同时对于用海水冷却柴油机的冷却系统,应把冷却水放走,以免因海水侵蚀而使机件损坏。

6 机舱的安全措施

机舱安全措施主要有两个方面:防止曲柄箱爆炸;防止机舱失火。

6.1 曲柄箱爆炸

柴油机的曲柄箱内常有挥发的滑油气体存在,同时曲柄箱内必然留有空气,这两种气体的混合物,在一般情形下,还不至于达到可以燃烧的程度。但是如果有某些摩擦部分发生过热,滑油气体就增加,在炽热金属的点燃下,能发生爆炸。曾有一台四冲程高速柴油机在运转时,轴瓦烧坏连杆发生红热,机电人员为了使它冷却而泼上滑油,结果滑油燃烧,引起爆炸。

在近代柴油机上都设有曲柄箱通风装置,使曲柄箱与进气阀或扫缸泵或增压器的吸入口相连通,将滑油气体送入气缸中去燃烧。但是这样就增加了滑油的消耗量。因此有些柴油机上另装一凝聚集器收集之,或者从曲柄箱接一根直径相当大的通气管到甲板上去,使滑油气体在上升过程中冷却,再滴回曲柄箱去。有些柴油机曲柄箱的手孔盖上装有安全阀,可以防止爆炸。

6.2 机舱失火

柴油机船只机舱发生火灾的事件很多。它的原因总不外乎燃油系统维护不周密。燃油安放处所不当。或者油管漏油,在任何引火物的点燃下而燃烧。

有的舰船,曾发生过由于燃油日用油箱装置在柴油机排气管上方,燃油管漏油滴在排气管上而引起火灾。

如果发生火灾。不可用水浇灌,这样反会使火焰蔓延。如非用水不可时,应该同时开动舱底泵,将水迅速排出。

通常机舱内一定备有化学灭火设备和沙箱。但是必须定期地对这些设备进行检查,以免发生慌乱。

有些船只在机舱的操纵花甲板下装有电灯,这样使工作人员在值班时可以很清楚地看到双层底顶的情形,是否有燃油积聚。最好每周用救火泵将双层底顶上冲洗一次。

在清除油柜和油舱前,必须用蒸气或者鼓风机将其中的油气驱尽,以免中毒和发生火灾。

最后,必须着重指出,柴油机许多零件细小的疏忽,会使机器发生严重的损坏。除上面所提及的一切问题外,应该根据机器结构的特点,切实遵照机器制造厂在说明书上的各项规定执行。



舰船机电设备动态维修决策系统

郭仪清¹, 郭明亮², 郭文勇³

(1. 91458 部队装备部, 海南 三亚, 572021;

2. 海军大连地区装备修理监修室, 辽宁 大连, 116041;

3. 海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 动态维修是舰船机电设备安全可靠运行的有力保障, 介绍舰船机电设备动态维修决策系统的总体设计、主要功能及实现。

关键词: 机电设备; 动态维修; 决策系统

1 概述

随着舰船机电设备的大型化、自动化、连续化, 其运行时的故障或失效而造成的影响和后果也更加严重, 舰船机电设备的状态监测和故障诊断、动态维修和视情维修等领域成为人们非常关注的问题。

动态维修的前提是要求维修者掌握大量、真实的设备状态信息, 以装备的状态信息为依据, 做出动态维修决策。为此, 本文在积累了大量的数据, 总结了丰富的设备故障诊断方法和经验的基础上, 研制舰船机电设备动态维修决策系统, 动态地对舰船机电设备故障进行判断, 从而提供维修决策方案。它能使管理者和设备维护人员通过本系统能够快速准确地了解到舰船机电设备的运行状况, 对设备故障进行准确判断, 从而自动确定故障的维修方案^[2]。

2 系统总体设计

根据系统功能要求及各功能之间的关系, 将整个系统分为系统数据管理、参数规则管理、状态规则管理和专家规则管理四个子系统, 系统总体结构如图 1 所示。

2.1 系统数据管理子系统

系统数据管理子系统对所有设备的检测数据管理, 允许用户根据需要设置设备之间的隶属关系, 设置设备的检测参数, 输入检测数据。

系统设备之间的隶属关系以树状显示, 所有设备的属性存储在一个数据表中, 用户可以对没有下级设备的设备设置检测参数, 所有的检测参数也用一个数据表存储, 对于设置了检测参数的设备, 系统创建一个数据表用于存储该设备的检测数据。

2.2 参数规则管理子系统

系统将需要检测的参数限定为数值型、文字型和逻辑型, 其中文字型参数的设备状态描

述直接和专家规则的条件相对应, 作为一条参数规则; 数值型参数在不同的数值区间对应的不同的设备状态描述和状态值, 其中设备状态描述也和专家规则的条件对应, 作为一条参数规则。数值型参数的数值区间, 由用户根据设备及检测参数的实际需要来划分。

进行设备故障诊断时, 系统根据设备检测参数值, 查找可匹配的参数规则, 将参数规则的设备状态描述文字作为诊断条件, 用专家规则对设备故障进行诊断。

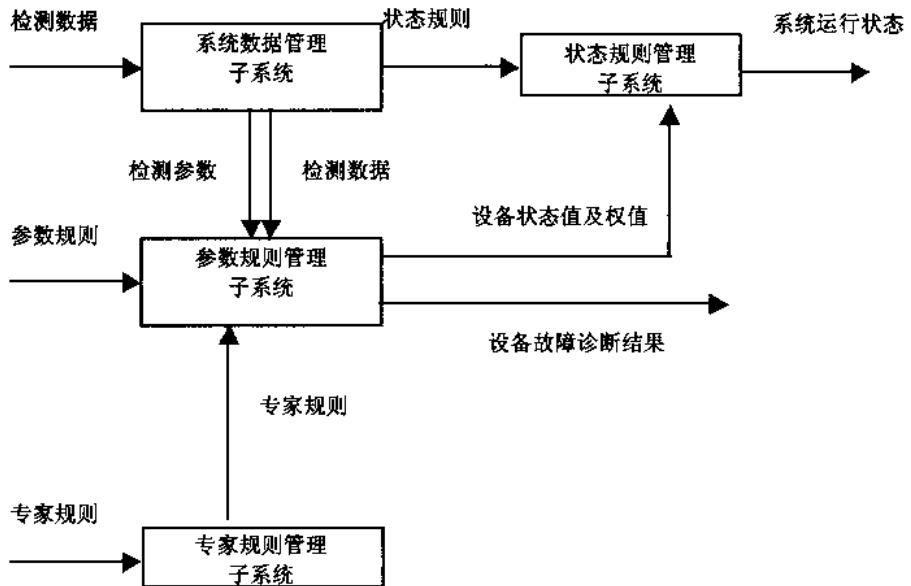


图1 系统总体结构

2.3 状态规则管理子系统

状态规则管理子系统可以根据设备各检测参数的权值和当前状态值计算设备状态值, 并根据设备隶属关系和各设备的权值计算系统中所有设备的状态值。

对设备状态进行分析, 采用与参数规则类似的方法, 按设备状态值划分不同的区间, 用相应的文字对设备状态进行描述, 用户进行设备状态分析时, 系统先计算所有设备的状态, 再对照状态规则获得设备状态的文字描述。

2.4 专家规则管理子系统

专家规则管理子系统是设备故障诊断的核心部分, 用户可以输入、浏览、删除专家规则。系统用文字描述的方式来表示专家规则, 用户用文字输入规则的条件和结论, 每条规则只对应一个结论, 如果一个(或一组)条件对应多个结论, 作为多条规则; 每条规则的多个条件之间是“与”的关系。

用户利用专家规则进行设备故障诊断时, 推理过程采用正向推理来实现, 每一步推理得到的结论追加到条件集, 进行一步推理, 直到得不到新的结论为止, 整个推理过程结束。





3 系统功能及使用

3.1 系统主要功能

本系统的主要功能是建立船舶机电设备状态监测数据库,对监测参数进行趋势分析,建立设备故障诊断、维修决策专家系统,并能实现数据传输。

3.1.1 建立船舶机电设备状态监测数据库

数据库可以实现如下功能和操作:

- (1) 数据库可根据用户要求动态创建数据表;
- (2) 用户可以根据需要动态改变数据表结构,增加数据表中记录的字段数;
- (3) 用户可以根据需要自行设置设备隶属关系;
- (4) 数据库具有按隶属关系、按设备、按时间、按字段的查询、报表、打印功能;
- (5) 可对数据库中的数据进行趋势分析。
- (6) 系统用户管理:根据需求进行用户管理,设置不同的用户操作权限。

3.1.2 设备故障诊断、维修专家系统

(1) 专家系统推理范围:根据某一个(或一组)监测参数确定某设备的工作状态和所有受该设备直接影响的各单位的工作状态;

(2) 专家系统推理方法:多参数输入、多结论、模糊推理;

(3) 专家知识库管理:系统管理员可以添加、删除、编辑专家系统推理规则。

3.2 用户登录与管理

故障诊断专家系统分为设备类型管理、检测数据管理和专家规则管理三个子系统。进入系统前必须进行用户登录,用户输入正确的用户名、密码和数据库服务器名称即可登录到设备故障诊断专家系统。系统主界面如图2所示:

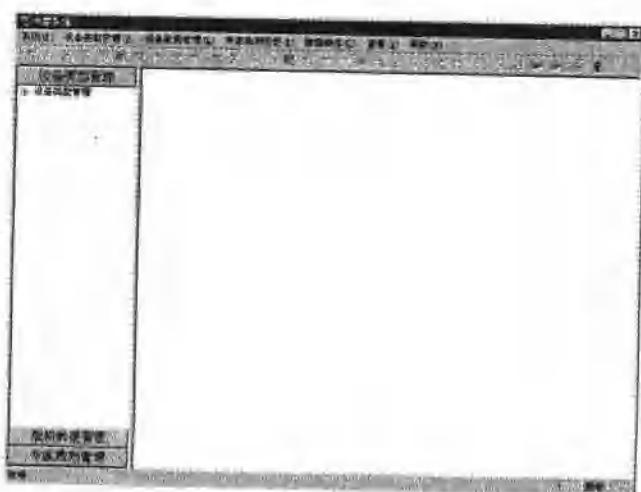


图2 系统主界面

系统主界面顶端是执行各种操作的菜单和按钮,主框架左半部分是用于选择各种操作的控制区,用户可以在这个窗口按鼠标右键执行相应的命令;主框架右半部分是主要的数据显

示区, 用户执行各种操作的结果数据在这个窗口显示。

系统用户的安全检查由数据库服务器进行, 系统安装完成后自动将数据服务器的管理员作为专家系统的管理员, 拥有最高权限, 可以执行所有的操作并分配用户权限。用户权限分为四个级别: 超级管理员、系统管理员、数据管理员、数据浏览者。

3.3 设备类型管理

系统对设备分类进行管理, 在设备类型管理子系统可以进行设备类型管理、检测参数管理、参数规则管理、状态规则管理并设置设备类型, 同一种设备具有相同的检测参数、参数规则和状态规则, 用户给设备指定设备类型后, 设备自动引用对应设备类型的检测参数、参数规则和状态规则信息。

3.4 舰船数据管理

系统对检测数据按设备进行管理, 在舰船数据管理子系统可以进行设备管理、检测数据管理、设备故障诊断、参数趋势分析和设备状态分析。

3.5 专家规则管理

系统按设备类型对专家规则进行管理, 每种设备类型对应一个专家规则库, 进行设备故障诊断时, 根据其类型引用相应的专家规则库, 在各自的规则库内进行推理诊断。

专家规则管理子系统主要通过增加专家规则、浏览规则库和删除专家规则操作来实现对专家规则的管理功能。

用户在主窗口左部的控制区按“专家规则管理”按钮进入专家规则管理子系统, 专家规则库树状层次结构显示, 专家规则库的层次结构与设备类型相同, 专家规则库与设备类型一一对应。用户可以在专家规则管理下拉菜单或在规则库树上选择规则库后通过鼠标右键菜单执行相应的操作。

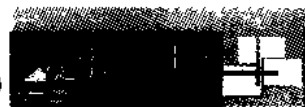
4 结 论

(1) 本课题系统利用现代计算机技术, 建立了装备状态监测信息管理、故障诊断规则管理和计算机辅助故障诊断的开放性、通用性系统。

(2) 研究了系统中所采用的设备状态评估方法、参数趋势分析方法、状态参数规则制定、计算机辅助故障诊断方法, 以及装备状态监测数据库管理方法, 编制了相应的系统软件, 丰富并发展了该领域理论研究, 并有着重要的工程实用意义。

参考文献

- 1 沈庆根, 郑水英. 设备故障诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- 2 郭文勇, 孙云岭, 张永祥. 柴油机缸套-活塞副磨损动态监测方法研究[J]. 内燃机工程, 2005, 26(6).



低速柴油机采用变流量冷却时冷却水温度控制方法

吴桂涛, 孙培廷

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 根据低速柴油机的输出功率采用变冷却水流量的方法对气缸套进行冷却可有效地控制气缸套内表面的温度, 从而改善低速柴油机的工作性能。但采用变流量冷却时, 如冷却水流量减小, 控制对象时间常数就会变得较大, 冷却水出口温度的控制难度增大。本文对缸套冷却水出口温度的控制提出了采用开环控制和闭环控制相互配合的复合控制, 即当主柴油机运行工况发生变化时, 根据柴油机的热负荷以及冷却水的进、出口温差计算出所需的冷却水流量, 按此流量进行开环控制。当缸套冷却水出口温度的偏差较小时, 则停用开环控制, 启用闭环控制, 对被控对象施加按偏差信号进行的控制作用。计算结果表明, 这种控制方法有较好的控制效果。

关键词: 轮机工程; 低速柴油机; 缸套冷却水系统; 变流量冷却; 复合控制

1 前 言

船舶主柴油机是一个大惯性、多变量、多输出、运行工况复杂的动力装置, 控制柴油机运行于良好的工况, 一直是人们追求的目标。当主机采用变流量冷却时, 如冷却水流量减小, 冷却水流过冷却室的时间就会增加, 进口处的水温的变化要经过一段时间才能传递到出口处。控制对象时间常数变得较大, 冷却水出口温度的控制难度增大, 为了改善控制性能, 必须对控制方法进行优化^[1,2,3]。在实现船舶主柴油机冷却水的流量随柴油机工况的变化而变化的条件下, 如何同时满足柴油机冷却水出口温度保持在某一较小范围内, 即动态偏差较小, 这就给主柴油机缸套冷却水的温度控制提出了一个新的问题。

2 控制方法的提出

对实现变流量冷却的船舶主柴油机, 其缸套冷却水出口温度的控制, 本文采用了开环控制和闭环控制相互配合的复合控制系统, 这种控制的特点是: 不以被控量为唯一的信号输入控制通道, 而是把引起被控量变化的其他主要因素也输入控制通道。其原理方框图如图 1 所示。当外界扰动 f 作用到控制系统而被控参数尚未来得及反应之前, 系统按开环控制进行粗调 ($\mu 1$), 这样控制作用 $\mu 1$ 一开始就能抵消扰动 f 的大部分影响, 使被控参数 y 不发生变化或变化很小。如果不能起到完全的补偿作用, 被控参数 y 还存在一些偏差时, 则闭环控制回路通过反馈, 对被控对象施加按偏差信号进行的控制作用, 这样就能达到最佳的控制效果。

当主柴油机运行工况 (柴油机热负荷) 发生变化时, 根据柴油机的热负荷以及冷却水的进、出口温差计算出所需的冷却水流量。系统按开环控制进行粗调, 使得实际的冷却水流量

大致等于计算所需的冷却水流量。按开环控制调节一段时间后,当缸套冷却水出口温度的变化较小,缸套冷却水出口温度还存在一些偏差时,则停用开环控制,启用闭环控制,通过反馈回路对被控对象施加按偏差信号进行的控制作用,以求能达到最佳的冷却水出口温度控制效果。

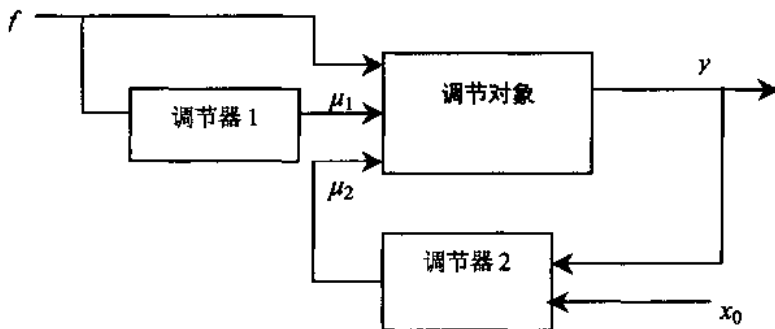


图1 复合控制系统示意图

按照上述方法进行控制时,一个必须解决的问题是:当柴油机工况发生变化时,按开环控制进行调节后,多长时间转换为具有反馈回路的闭环控制。

为了解决这个问题,本文利用ANSYS程序软件对柴油机缸套的传热情况进行了热分析。

3 缸套的传热分析

3.1 理论分析

当柴油机工作时,燃烧产生的热量除了一部分转化为指示功,其他热量则通过气缸套、气缸盖、活塞顶等的传热传给冷却介质。当柴油机改变运行工况时,气缸套的温度场分布是随时间而变的。此时气缸壁的导热属于不稳定导热过程。当柴油机在某一稳定工况下工作时,由于气缸内工质的温度也随不同的冲程和曲柄角在变化,使得气缸内壁的一个薄层被工质周期性的加热和冷却。所以,这一薄层内的导热现象,也属于不稳定导热过程。但在稳定工况下,不稳定仅仅局限在这一薄层内,薄层以外的温度场仍是稳定温度场,因此工程上认为:柴油机在稳定工作时,气缸套的传热是稳定传热,气缸套的温度场是稳态的温度场^[6,7,8]。

本文需要解决的问题是:气缸套的传热从一个稳态变化到另一个稳态的温度场数值模拟。

由传热学理论及上述分析知道,柴油机气缸套的传热可看成沿径向方向的一维传热,因此要了解缸套内热流随时间的变化规律,就是要求解下面的一维微分方程组

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (0 \leq x \leq \delta, t > 0)$$

$$\rho(x,t) = -\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \quad (0 \leq x \leq \delta, t > 0)$$

其中: T 为温度, $^{\circ}\text{C}$; $\alpha = \lambda / \rho c$ 为导温系数, m^2/s ; ρ 为缸套的密度, kg/m^3 ; λ 为缸套的导



热系数, $w/m \cdot k$; c 为缸套材料的比热, $J/kg \cdot k$; t 为时间, s 。

气缸套燃气侧 ($x=0$) 采用第二类边界条件, 即已知边界上的热流密度。

一开始柴油机稳定时的热流密度 ρ_1 已知, 假设热流密度突然变为 ρ_2 (数值也已知), 而后一直不变。 ρ_1 、 ρ_2 的具体数值可由柴油机的输出功率所对应的缸套冷却水热负荷得到。

气缸套冷却水侧 ($x=\delta$) 采用第三类边界条件, 即已知边界上的对流换热系数和流体的平均温度。

在实际工程中, 因水温只在比较小的范围内变化, 可认为冷却水和气缸套外壁的换热系数只受流动速度的影响, 即冷却水和气缸套外壁的换热系数仅是冷却水流动速度或体积流量的函数。根据冷却系统中的流动状态, 不同速度下的对流换热系数有如下关系^[4,5]

$$\alpha/\alpha_0 = (w/w_0)^{0.8} = (\dot{V}/\dot{V}_0)^{0.8}$$

式中: w 为冷却水流动速度; \dot{V} 为冷却水的体积流量。

对流换热系数随冷却水体积流量的 0.8 次方而变。冷却水温度 T_f 取冷却水进口温度和出口温度的平均值。

3.2 实例计算

以大连海事大学“211”工程动力实验室主柴油机的缸套传热为例, 假设该柴油机按推进特性工作, 一开始稳定工作在 75% 的额定负荷, 冷却水进口温度为 75°C , 出口温度为 80°C , 冷却水侧 ($x=\delta$) 的对流换热系数 $\alpha=1350 (w/m^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 当柴油机负荷突然增加到 100% 额定负荷, 冷却水流量立即作相应调整后, 需要了解:

- (1) 柴油机气缸套温度场重新达到稳定大致所需要的时间。
- (2) 在重新达到稳定的过程中, 缸套外壁温度 T_1 的变化速率, 即它的动态响应。

气缸套的一些物性参数已知, 气缸套材料的比热 $c=448 (J/kg \cdot k)$, 气缸套壁厚 $\delta=2 \text{ cm}$, 缸套的导热系数 $\lambda=65 (w/m \cdot k)$, 密度 $\rho=7837 (kg/m^3)$ 。

柴油机两种运行工况下的缸套燃气侧的热流密度可通过以下方法求得:

气缸套的总传热面积为

$$F = \pi \cdot d \cdot S \cdot n = 3.14 \times 0.23 \times 0.30 \times 6 = 1.3 \text{ m}^2$$

式中: d 为缸径, S 为冲程长度, n 为柴油机气缸数。

根据柴油机选型手册或柴油机说明书上的缸套冷却水热负荷随柴油机功率的变化曲线, 可以查得柴油机稳定工作在 75% 的额定负荷时, 缸套冷却水热负荷 Q 为 $141.0 \text{ kW}^{[4]}$ 。此时缸套燃气侧的热流密度 ρ_1 , 即单位面积上的热流量为

$$\rho_1 = Q/F = 141000/1.3 = 1.3154 \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

同理, 可以查得当柴油机工作在 100% 的额定负荷时, 缸套冷却水热负荷 Q 为 $225.0 \text{ kW}^{[4]}$, 此时缸套燃气侧的热流密度 ρ_2 , 即单位面积上的热流量为

$$\rho_2 = Q/F = 225000/1.3 = 1.731 \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

由于柴油机气缸套的传热可近似看成沿径向方向的一维传热, 因此只需研究横截面上某





一段的传热就可以了。沿垂直于气缸轴线作横截面,得到一圆环,取其中 1° 进行分析。如图2所示,左侧竖线代表气缸内壁(燃气),右侧竖线代表气缸外壁(冷却水);两条横线之间的夹角为 1° ,横线的长度等于缸壁厚。



图2 柴油机气缸套传热问题的有限元网格划分

热分析采用四边形四节点单元,由于各个节点温度的初始值是未知的,因此首先作稳态热分析以求得瞬态热分析的初始条件。当柴油机稳定工作在75%负荷时,通过稳态热分析求得该负荷下气缸套的稳定温度场,从而得到了瞬态热分析的初始条件。当柴油机的负荷由75%额定负荷突变为100%额定负荷时,假设冷却水流量立即作相应的变化,缸套冷却水侧的对流换热系数也按体积流量的0.8次方发生相应变化。为了求得气缸套温度场随时间的变化规律,在求得瞬态热分析的初始条件之后,通过ANSYS程序对此进行了瞬态热分析,求得了气缸套燃气侧和冷却水侧的气缸套壁面温度在此负荷变化过程中的变化规律,变化曲线如图3、4所示。

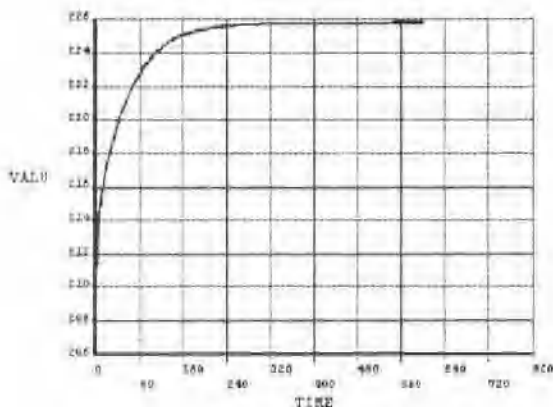


图3 燃气侧的气缸壁温度随时间的变化曲线

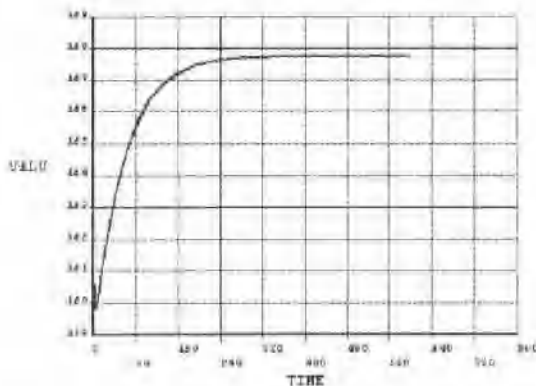


图4 冷却水侧的气缸壁温度随时间的变化曲线



4 实施控制方法的具体步骤

以大连海事大学“211”工程动力实验室主柴油机的缸套传热为例,假设该柴油机按推进特性工作,一开始稳定工作在75%的额定负荷,相应的缸套冷却水热负荷为145 kW,如冷却水进口温度为75℃,出口温度为80℃,则稳定工况下的冷却水体积流量为(该温度条件下,冷却水的比热 $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,冷却水的密度 $\rho = 971.8 \text{ kg/m}^3$)

$$\dot{V} = Q / \rho \cdot c_p \Delta t = 145000 / 4.18 \times 5 \times 97.81 = 7.0931 \text{ kg/s} = 25.54 \text{ m}^3/\text{h}$$

此流量下的冷却水对流换热系数 $\alpha = 1350 (\text{W/m}^2 \text{g} \cdot \text{K})$ 。当柴油机负荷突然增加到100%额定负荷,相应的缸套冷却水热负荷为225 kW,如仍保持原来的冷却水进、出口温差,冷却水流量应立即调整为

$$\dot{V} = Q / \rho \cdot c_p \Delta t = 225000 / 4.18 \times 5 \times 97.81 = 11.006 \text{ kg/s} = 39.62 \text{ m}^3/\text{h}$$

具体的冷却水流量的调整方法参见文献[9]。该流量下,冷却水和气缸套外壁的对流换热系数为:

$$\alpha = (w/w_0)^{0.8} \cdot \alpha_0 = (\dot{V}/\dot{V}_0)^{0.8} \cdot \alpha_0 = (39.62/25.54)^{0.8} \times 1350 = 1918 (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

该对流换热系数作为变流量后的气缸套温度场计算的边界条件,根据上一节计算实例的热分析结果可以看出(如图所示):变流量后的前180 s内,冷却水侧的气缸壁温度随时间的变化很大,以后的温度变化较小。在此时间(前180 s左右)内,对冷却水温度的控制采用开环控制,以船舶主柴油机的输出功率作为衡量柴油机缸套冷却水热负荷的唯一参数。在采用开环控制控制大约180 s后,停用开环控制,启用闭环控制,此时以主机缸套冷却水的出口温度作为衡量缸套冷却水热负荷的唯一参数,利用常规的反馈控制,如常规PID控制,消除缸套冷却水出口温度的偏差,使其维持在设定温度上。

5 结束语

采用该方法对主机缸套冷却水出口温度进行控制时,需要注意的一个问题是:由于可以依靠闭环控制使系统在稳态时能准确地使被调量等于给定值,因此开环控制只是一个粗略控制,而且当柴油机的工况发生变化后,需要较快地预估出进行开环控制的大致时间,因此预估进行开环控制时间的计算方法并不需要太精确,计算的时间务必较短。

由于时间关系以及实验条件的限制,该方法的实验验证以及实际的控制效果有待于进一步深入研究。

参考文献

- 1 Sun Peiting. Einfluss der Auslegung des Kuehlwassersystems auf den Verschleiss der Zylinderlaufbushse bei Zwei-Takt-Schiffsdieselmotoren [D]. Berlin:Verlag oester, 1993: 16-34.
- 2 孙培廷. 船舶柴油机变流量冷却的研究[J]. 中国航海, 1998(1): 24-27.



- 3 吴桂涛, 孙培廷. 船舶主柴油机缸套冷却水出口温度的智能控制[J]. 中国造船, 2004,45(2): 57-61.
- 4 Project Guide Engine Type L23/30[R], MAN&BW. February 2001-Marine.
- 5 唐兴伦等. ANSYS 工程应用教程(热与电磁学篇)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- 6 吴桂涛, 尹自斌, 孙培廷. 基于功率扰动的主机缸套冷却水出口温度控制方法[J]. 交通运输工程学报, 2003,3(3): 35-39.
- 7 吴桂涛, 任旭东, 孙培廷. 船舶主机缸套冷却水系统建模与仿真[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003,24(4): 376-380.
- 8 朱访君, 吴坚. 内燃机工作过程数值计算及其优化[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- 9 吴桂涛, 孙培廷. 低速柴油机变流量冷却方法研究[J]. 中国造船, 2005,46(1): 61-65.



网络控制系统的建模

尹洋, 李洪科

(海军工程大学 电气与信息学院, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 网络控制系统由于将通信网络引入控制系统的闭环反馈中, 使得对其分析、仿真和设计非常复杂。本文根据时延长短以及控制器和执行器的不同工作模式(时钟驱动与事件驱动), 建立了两类网络控制系统模型。在实际工程应用中可根据网络特性运用以上模型, 然后再进行控制器设计。

关键词: 网络控制系统; 系统建模; 时钟驱动; 事件驱动

1 引言

网络控制系统(NCS)的概念于20世纪90年代初被提出并引起了人们的广泛关注^[1-5]。其定义特征是系统各组件(传感器、控制器、执行器)之间可以通过网络交换信息。国内外很多学者在网络控制系统的建模方面已经做了深入的研究。Halevi等^[6]给出了连续被控对象和离散控制器的集成通信和控制系统(ICCS)模型, 此模型中控制器采用时间驱动, 而执行器采用事件驱动。Walsh等^[1]建立了连续被控对象和连续控制器情形下的模型。Nilsson^[3]在离散域内对NCS进行了分析, 对定常延时、独立随机延时、具有基本Markov链约束的随机延时3种情况进行建模, 解决了不同延时模型的LQG最优控制问题。Zhang等^[2]则建立连续被控对象和离散控制器的NCS模型, 提出了基于模型的网络延时补偿器。

本文主要考虑在短时延(CAN等网络)和长时延(大型中继网络)的情况下, 建立控制器和执行器在不同工作模式下的网络系统模型, 为分析和设计控制器奠定基础。

2 短时延网络控制系统的模型描述

网络控制系统的结构如图1所示, 传感器、执行器与控制器均连接在网络上。图中 τ_{sc} 和 τ_{ca} 分别表示传感器—控制器和控制器—执行器之间的网络诱导时延。假设网络控制系统中总的网络诱导时延 $\tau = \tau_{sc} + \tau_{ca}$ 小于系统的采样周期。

设被控对象是线性时不变的, 其状态方程描述如下

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax(t) + Bv(t) \\ y = Cx(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中: $x(t) \in R^n$ 是对象的状态, $v(t) \in R^p$ 是对象的输入, $y(t) \in R^q$ 是对象的输出, A, B, C 是适



当维数的常系数矩阵。

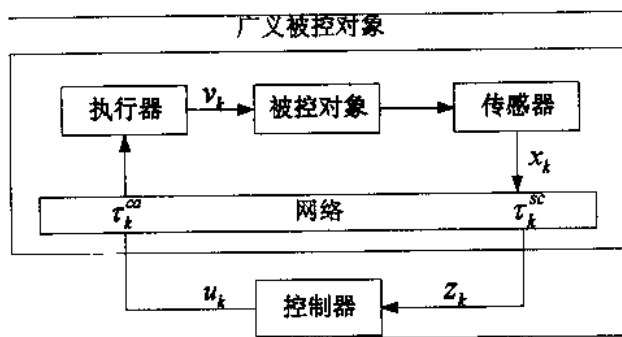


图1 网络控制系统结构图

目前控制系统部件有两种工作模式：事件驱动和时间驱动。时间驱动就是系统部件按照事先规定的时间间隔进行工作，即传统计算机控制系统中定时采样的工作模式。而事件驱动是指系统部件在特定的事件发生时，部件才开始处理相应的任务。对于网络控制系统，传感器的工作方式一般采用时间驱动，而控制器节点和执行器节点采用何种工作模式则有待进一步讨论。

2.1 控制器节点与执行器节点均为时间驱动

有关的假设条件如下。

假设1 控制器节点、执行器节点与传感器节点的时钟完全同步；

假设2 不考虑在数据传输中可能出现的数据包丢失；

假设3 传感器采样的信号为被控对象的状态；

假设4 传感器节点和控制器节点的数据均采用单包传输，且控制器节点与传感器节点的数据包长度相同。

控制器在 t_k 时刻能够利用的数据为 $z_k = x_{k-1}$ ，其中 x_k 为第 k 周期传感器的采样值， z_k 为第 k 周期控制器的输入。

执行器节点在 t_k 时刻能够利用的数据为 $v_k = u_{k-1}$ ，其中 u_k 为第 k 周期控制器的输出。

因此按传感器的采样周期对被控对象进行离散化，可得包含网络的广义被控对象的离散时间模型为

$$x_{k+1} = Gx_k + Hu_{k-1}$$

$$y_k = Cx_k$$

$$z_k = x_{k-1}$$

其中： $G = e^{AT}$ ， $H = \int_0^T e^{A(T-s)} B ds$ ， z_k 为广义被控对象的输出（即控制器输入）， u_k 为广义被控对

象的输入（控制器输出）。





2.2 控制器节点为时间驱动, 执行器节点为事件驱动

假设 5 控制器节点与传感器节点的时钟完全同步。其余假设同假设 1~4。

控制器节点为时间驱动时, 有 $z_k = x_{k-1}$ 。而执行器节点为事件驱动, 在控制量到达执行器节点时, 执行器节点立即输出控制量。由于网络诱导时延的影响, 有

$$v(t) = \begin{cases} u_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k^{ca} \\ u_k & t_k + \tau_k^{ca} < t < t_{k+1} \end{cases}$$

其中: $\tau_k = \tau_k^{sc} + \tau_k^{ca}$ 。

因此广义被控对象的离散时间状态方程为

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Gx_k + H_0(\tau_k^{ca})u_k + H_1(\tau_k^{ca})u_{k-1} \\ y_k &= Cx_k \\ z_k &= x_{k-1} \end{aligned}$$

其中: $H_0(\tau_k^{ca}) = \int_0^{\tau_k^{ca}} e^{As} B ds, H_1(\tau_k^{ca}) = \int_{T-\tau_k^{ca}}^T e^{As} B ds$ 。

2.3 控制器节点为事件驱动, 执行器节点为时间驱动

假设 6 执行器节点与传感器节点的时钟完全同步。假设 1~4 仍然成立。

由于控制器节点采用事件驱动, 传感器节点的数据到达控制器时, 控制器节点计算控制量并输出, 因此

$$z(t) = \begin{cases} x_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k^{sc} \\ x_k & t_k + \tau_k^{sc} < t < t_{k+1} \end{cases}$$

而执行器节点采用时间驱动, 定时输出控制量。由于网络时延的存在, $v_k = u_{k-1}$, 因此广义被控对象的离散时间状态方程为

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Gx_k + Hu_{k-1} \\ y_k &= Cx_k \\ z(t) &= \begin{cases} x_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k^{ca} \\ x_k & t_k + \tau_k^{ca} < t < t_{k+1} \end{cases} \end{aligned}$$

2.4 控制器节点与执行器节点均为事件驱动

由假设 1~4, 控制器节点在传感器的数据到达时刻立即计算控制量并输出, 有

$$z(t) = \begin{cases} x_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k^{sc} \\ x_k & t_k + \tau_k^{sc} < t < t_{k+1} \end{cases}$$

同理, 执行器节点在控制量到达时刻输出控制量, 有

$$v(t) = \begin{cases} u_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k \\ u_k & t_k + \tau_k < t < t_{k+1} \end{cases}$$



其中 $\tau_k = \tau_k^{ca} + \tau_k^{bc}$ 。

因此广义被控对象的离散时间状态方程为

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Gx_k + H_0(\tau_k)u_k + H_1(\tau_k)u_{k-1} \\ y_k &= Cx_k \\ z(t) &= \begin{cases} x_{k-1} & t_k < t < t_k + \tau_k^{bc} \\ x_k & t_k + \tau_k^{bc} < t < t_{k+1} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

3 长时延网络控制系统的模型描述

假设 1 传感器节点为时间驱动, 采样周期为 T ;

假设 2 传感器节点和控制器节点均采用单包传输, 其数据包均带有时间戳, 总的网络诱导时延 $\tau_k = \tau_k^{bc} + \tau_k^{ca}$, 存在上界 $\bar{\tau}$;

假设 3 数据在传输过程中可能发生数据包时序错乱(乱序)现象。

被控对象状态方程同式(1)。

3.1 控制器节点与执行器节点均为时间驱动

假设 4 控制器节点、执行器节点与传感器节点的时钟完全同步。

由于网络诱导时延的存在, 在 $t \in [t_k, t_{k+1})$, 到达控制器节点的传感器数据为 $\{x_k, \dots, x_{k-\bar{d}_c}\}$

中的 l 个数据, $0 \leq l \leq \bar{d}_c + 1$, 其中 $\bar{d}_c \in Z^+$ 为 τ_{sc}/T 的上界。

为描述方便, 记 $t_k + t_0, \dots, t_k + t_{\bar{d}_c}$ 分别为 $x_k, \dots, x_{k-\bar{d}_c}$ 的到达时间, $t_0^z, \dots, t_{\bar{d}_c}^z$ 分别为 $x_k, \dots, x_{k-\bar{d}_c}$ 在控制器节点接收端保持的时间, 其中 $t_0, \dots, t_{\bar{d}_c}, t_0^z, \dots, t_{\bar{d}_c}^z \in [0, T]$, 且 $\sum_{i=0}^{\bar{d}_c} t_i^z = T$ 。约定上个周期最后在控制器节点接收端保持的数据视为本周期第一个到达控制器的数据; 若 x_{k-1} 在该周期内未成功传输到控制器节点, 则 $t_1 = t_1^z = 0$ 。

定义函数 $I(t_0, t^z) = \begin{cases} 1 & t_0 \leq t \leq t_0 + t^z \\ 0 & \text{other} \end{cases}$, 则

$$z(t) = \sum_{i=0}^{\bar{d}_c} I(t_k + t_i, t_i^z) x_{k-i}, t_k < t \leq t_{k+1} \quad (2)$$

在 $t = t_{k+1}$, 控制器将利用已经接收到的数据计算控制量, 并将控制量输出。

而执行器节点在 $t \in [t_k, t_{k+1})$ 可能接收到多个控制量, 在 $t = t_{k+1}$ 时刻输出所接收到的控制量中最新的一个。考察 $v(k)$ 与 $u(k)$ 的关系, 可以发现:



如果控制量经过时延 τ_k^{ca} 后到达执行器节点, 并被执行器节点所采用, 则

$$v_{k+1} = u_{k+1-d_{ca,k+1}} \quad (3)$$

其中: $d_{ca,k+1} = \left\lceil \frac{\tau_k^{ca}}{T} \right\rceil$, $[z] = \begin{cases} z & z \in Z^+ \\ \text{int}(z) + 1 & z \in R^+ \cap z \notin Z^+ \end{cases}$ 为取整函数, $\text{int}(z)$ 为 z 的整数部分。

如果没有新的控制量到达执行器节点, 则执行器必须采用已有的控制量, 即 $v_{k+1} = v_k = u_{k-d_{ca,k}}$ 。此时相当于控制量的时延增加了一个周期, 即 $d_{ca,k+1} = d_{ca,k} + 1$ 。

将式(1)按照传感器采样周期进行离散化, 结合式(2)和式(3), 可得包含网络在内的广义被控对象为

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Gx_k + Hu_{k-d_{ca,k}} \\ y_k &= Cx_k \\ z(t) &= \sum_{i=0}^{\bar{d}_{ca}} I(t_k + t_i, t_i^2) x_{k-i}, t_k < t < t_{k+1} \end{aligned}$$

其中: $G = e^{AT}$, $H = \int_0^T e^{As} B ds$ 。

3.2 控制器节点为时间驱动, 执行器节点为事件驱动

假设5 控制器节点与传感器节点的时钟完全同步。

执行器节点采用事件驱动模式, 在接收到控制量后, 首先根据时间戳进行判断, 如数据是“新”的, 则输出该控制量, 否则保持原有输出不变。由网络诱导时延的时变特性以及数据包丢失和乱序现象的存在, 在一个采样周期内, 执行器节点的输出可能出现:

(1) 没有新的控制量到达, 执行器节点的输出更新次数为0;

(2) 有 r 个控制量到达, 但是由于数据包时序错乱, 执行器节点的输出只更新了 s 次, $0 \leq s \leq r \leq \bar{d}_{ca}$, 其中 $\bar{d}_{ca} \in Z^+$ 为控制器到执行器的时延的上界; 因此 $v(t)$ 与 u_k 之间有如下关系

$$v(t) = \sum_{i=0}^{\bar{d}_{ca}} I(t_k + t_j, t_j^2) u_{k-j}, t_k < t \leq t_{k+1} \quad (4)$$

其中 $t_k + t_j, t_j^2$ 分别为控制量 u_{k-j} 的到达时间和保持时间, 规定在该周期未到达的控制量和已到达但未被执行器采用的控制量的 t_j, t_j^2 为0, 上周期最后保持的控制量为第1个到达执行器节点的控制量。

将式(1)离散化, 结合式(2)以及式(4), 可得

$$\begin{aligned}
 x_{k+1} &= Gx_k + \sum_{j=0}^{\bar{d}_m} H_j(t_j, t_j^z) u_{k,j} \\
 y_k &= Cx_k \\
 z(t) &= \sum_{i=0}^{\bar{d}_s} I(t_k + t_i, t_i^z) x_{k,i}, t_k < t \leq t_{k+1}
 \end{aligned}$$

其中: $H_j(t_j, t_j^z) = \int_{t_j}^{t_j+t_j^z} e^{A(t-s)} B ds$ 。

3.3 控制器节点为事件驱动, 执行器节点为时间驱动

控制器节点为事件驱动, 控制器节点在接收到传感器的数据时, 将立即利用已接收到的数据计算控制量, 并立即发送控制量。如果在该控制量尚未成功发送时, 控制器节点又接收到数据, 且刚接收到的数据比现有的传感器数据新, 则控制器节点将再次进行控制量的计算, 并丢弃尚未发送成功的控制量, 改为发送“新”的控制量。这时控制器节点的输入如式(2)所述。执行器节点采用时间驱动模式, 定时输出已接收到的最新的控制量, 因此执行器节点的输出如式(3)所述。

将式(1)离散化, 并结合式(2)和式(3), 可得广义被控对象的离散时间模型为

$$\begin{aligned}
 x_{k+1} &= Gx_k + Hu_{k,d_{ca,k}} \\
 y_k &= Cx_k \\
 z(t) &= \sum_{i=0}^{\bar{d}_s} I(t_k + t_i, t_i^z) x_{k,i}, t_k < t < t_{k+1}
 \end{aligned}$$

3.4 控制器节点与执行器节点均为事件驱动

由于控制器节点与执行器节点均为事件驱动, 其工作模式和数据更新的情况可以参照前文所述。离散化式(1), 结合式(2)和式(4), 可得广义被控对象的离散时间模型为

$$\begin{aligned}
 x_{k+1} &= Gx_k + \sum_{j=0}^{\bar{d}_m} H_j(t_j, t_j^z) u_{k,j} \\
 y_k &= Cx_k \\
 z(t) &= \sum_{i=0}^{\bar{d}_s} I(t_k + t_i, t_i^z) x_{k,i}, t_k < t \leq t_{k+1}
 \end{aligned}$$

4 小结

本文分析了控制器和执行器分别工作在不同模式下的输入输出情况, 建立了短时延和长时延的情况下的8种网络控制系统模型。在实际工程应用中, 在分析了网络特性基础上, 可按



以上方法对广义被控对象建模,然后再进行控制器设计。下一步将继续研究多包传输、丢包以及噪声影响下网络控制系统的建模问题。

参考文献

- 1 Walsh G C, YeH, Bushnell L G Stability analysis of networked control systems[J]. IEEE Trans on Control Systems Tech, 2002,10(3):438-446.
- 2 Zhang W, Branicky M S, Phillips S M. Stability of net worked control systems[J]. IEEE Control Systems Magazine, 2001,21:84-99.
- 3 Nilsson J. Real-time control systems with delays[D]. Sweden: Lund Institute of Technology, 1998.
- 4 Li F L, Moyne J R, Tilbury D M. Network design consideration for distributed control systems[J]. IEEE Trans on Control Systems Tech, 2002,10(2):297-307.
- 5 Bushnell L.G, Networks and control[J]. IEEE Control System Magazine. 2001, 21(1):22-23.
- 6 Halevi Y, Ray A. Intergrated communication and control systems: Part I - analysis [J].Journal of Dynamic Systems, measurement, and control,1988:110(3).
- 7 朱其新, 胡寿松. 网络控制系统的分析与建模[J]. 信息与控制, 2003,21(1).
- 8 Tsai N.C.,Ray A. Stochastic optimal control under randomly varying distributed delays[J]. International Journal of Control, 1997, 68(5): 1179-1202.
- 9 Lee K.C, Lee S. Remote controller design of networked control system using genetic algorithm[C]. IEEE ISIE, Pusan, Korea, 2001:1845-1850.
- 10 O.C.Imer, S.Yuksel, and T.Basar. Optimal control of dynamical systems over unreliable communication links[C]. In NOLCOS 2004, Stuttgart,Germany, 2004.



一种直流限流器的分析与设计

毛海涛, 焦少光, 杨 锋, 徐国顺

(海军工程大学 电气工程系, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 针对直流电网短路故障时迅速产生的短路电流, 提出了一种零电压型混合式直流短路电网限流开关拓扑结构, 以超快速电磁斥力机构为通流支路, 用快速熔断器实现固态开关和能量吸收支路的功能。开发出额定为 640 V/2 500 A 的原理样机, 实验结果表明样机将预期峰值为 100 kA, 对时间常数为 4.17 ms 的短路电流限制 10 kA 以下, 证明了所设计限流开关工作的快速有效性。

关键词: 混合式限流开关; ZVS; ZCS; 电磁斥力开关; 快速熔断器

1 引 言

随着直流供电系统的功率急剧增加, 其设计和研制中都面临着许多全新的问题。其中一个瓶颈技术就是, 如何使短路电流被限制在保护设备的极限通断能力之内。

目前国际上现有的解决方法, 主要是加装限流装置 (Fault Current Limiter, FCL)。有两种常用的解决方案^[1]: 传统机械开关导通稳定、带负载能力强, 但是响应速度慢、带电弧、稳定性和可控性差; 而固态限流开关响应速度快、无电弧, 但是通态损耗大、耐压水平低、不能完全开断电路而且给电网带来了严重的谐波污染。混合型限流技术充分利用了两种开关的优点并通过合理动作配合的设计来克服其缺点, 它能够随时检测系统故障电流状态并控制开关的分断, 又可以及时响应控制信号, 是名副其实的智能化保护设备, 也是限流开关发展的方向。混合式限流开关从功能实现上又主要分为两种: 零电流型 (ZCS) 和零电压型 (ZVS) 开关^[2]。

本文在分析和比较了 ZCS 和 ZVS 型开关的原理和特点基础上提出了一种简单可行的零电压型混合式限流方案, 有效地抑制了短路电流。

2 ZVS 和 ZCS 型开关的比较

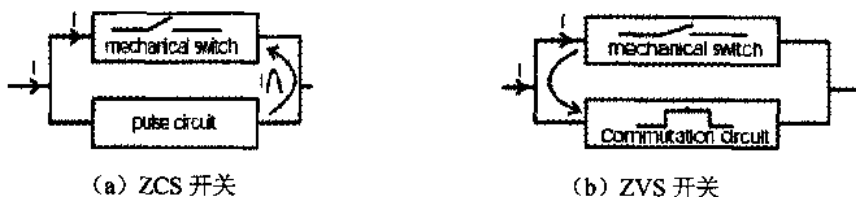


图 1 混合式开关原理图

假设开关动作时电弧电压为 v_{sw} , 开关电流为 i_{sw} , 电弧产生时间为 t_{ac} , 则开关动作时电



弧能量为

$$E = \int_{t=0}^{t=t_{arc}} v_{sw} i_{sw} dt \quad (1)$$

ZVS 和 ZCS 开关两种方案都降低了电弧的能量。ZCS 开关依靠产生零电流, ZVS 开关依靠产生零电压, 两种方法又都减少了电弧存在的时间。两种方案都是通过给机械开关布置了一条并联的电路来实现, 两种方案的原理如图 1 所示。

ZCS 开关是通过并联支路在开关动作时释放一个与主电流反方向的电流脉冲, 从而实现机械开关动作时的零电流; 而 ZVS 开关方式采用了一条并联的换流电路, 机械开关断开时电流换流至并联支路同时保证开关两端电压很低, 从而实现了开关动作时的零电压。

在混合式开关的设计过程当中我们选择了 ZVS 开关形式。ZCS 开关之所以没有被选择是因为其需要大量的谐振元件和外部电源。ZVS 开关形式的另外一个优势就是在机械开关闭合的过程当中可以避免触头拉弧, 这是因为在开关接通时并联支路提供了一条的换流电路。ZVS 开关的不足就是需要一些无弧电流关断器件, 如电力电子器件等。

3 ZVS 开关的拓扑结构

图 2 所示是文献[2]、[3]中提出的 ZVS 型混合式开关的基本拓扑结构, 它主要包括三条并联的支路: 机械式斥力开关为通流支路, 而固态开关和能量吸收器件并联组成了整个换流回路。

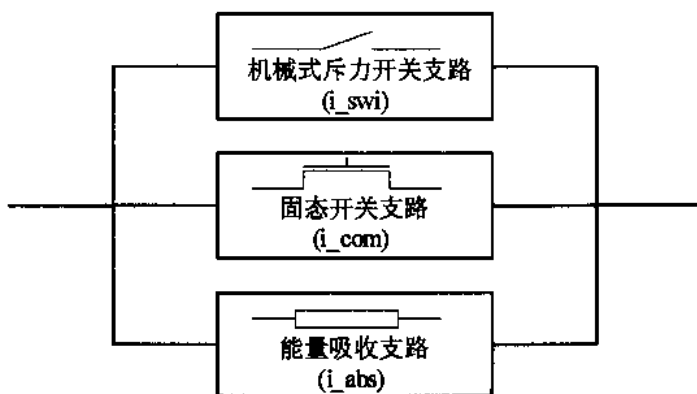


图 2 ZVS 型混合式开关拓扑结构

整个开关过程中三条并联支路中的电流波形如图 3 所示。它的工作过程是: 电网正常运行时, 机械斥力开关闭合, 固态开关关断, 额定负载电流通过机械开关, 不会产生显著损耗; 当电网短路故障时, 控制机械开关分断, 固态开关导通, 短路电流换流到固态开关支路, 随后控制固态开关关断, 电流又快速转移到并联的能量吸收支路, 达到快速限制短路电路的目的。采用两次支路换流, 是因为开关电弧电压较低, 直接由电弧电流向限流电阻转移较为困难。

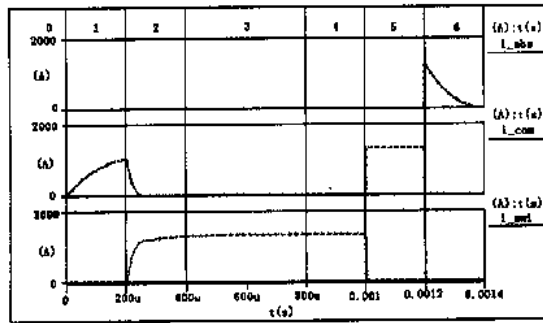


图3 ZVS型混合式开关三条支路电流波形

在这种ZVS混合式限流开关的设计中主要有三点关键技术:机械式斥力开关的设计、固态开关支路的设计以及能量吸收器件的选择。机械式斥力开关的设计将在下文做详细介绍。固态开关^[2, 4, 5]现阶段通常采用IGBT和IGCT等电力电子器件组成。由于电网短路功率的急剧增加,为了解决固态开关耐流耐压的问题,通常采用多个电力电子器件串并联来实现,这种方法实践证明既复杂可靠性又低^[2]。为了有效解决这个矛盾,本文提出了一种新的ZVS开关的拓扑结构如图4所示。

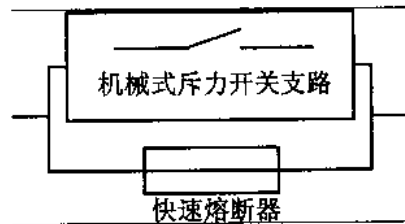


图4 新型ZVS型混合式开关拓扑结构

这种方案中用快速熔断器代替了传统结构中的固态开关支路和能量吸收支路。这里选用的快速熔断器是专为电力电子器件过流保护设计的,具有通态电阻小,弧前能量低等特点,而且它的额定电流远小于电网系统额定电流,这些都保证了短路电流从机械式斥力开关换流到快熔支路后能够在极短的时间内将快熔熔断,从而达到迅速限制短路电流的目的。

4 超快速电磁斥力开关设计

混合式限流技术的关键技术是动作以微秒记的快速操动机构,根据现有技术,只有采用电磁斥力开关^[6, 7]可以满足这种快速动作的要求。

电磁斥力开关的工作原理如图5所示。其中,1为驱动线圈(驱动盘),2为运动铜盘(动盘)。当K闭合,由于回路电感很小,使线圈1中产生巨大的电流脉冲,和电容放电脉冲,线圈1产生的磁场匝穿越铝盘2,在铝盘中感应出电流,这个感应电流所产生的磁场与线圈产生的磁场方向相反,线圈1与铝盘之间立即产生斥力 F ,使铜盘向上迅速运动。放电时脉冲电流的增长速度 di/dt 越大,铝盘中产生的感应电流也就越大,斥力越大。而当电流不变化时,则斥力为零。

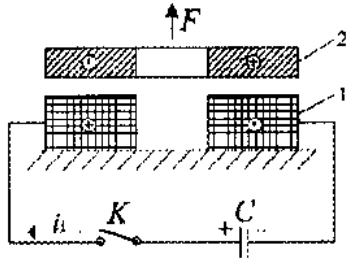


图5 电磁斥力开关的原理图

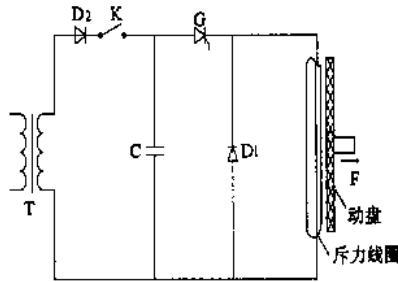


图6 电磁斥力开关的试验电路图

电磁斥力开关的分析和设计由于涉及到电路、电磁感应、电磁力、机械运动等多个动态方程,非常复杂,当前多用有限元法分析^[3]。试验电路如图6所示。图中T为升压变压器,二极管D1为线圈提供续流电路,变压器通过D2向电容C充电,通过晶闸管G的导通时间来控制电容器C的放电。经过实验阶段的不断测试和改进斥力线圈采用了印刷电路板形式,这种形式主要有两方面的好处:一是通过线圈与铝盘之间小距离减小线圈与动盘之间的互感;二是可以在最小互感的基础上达到完全绝缘的目的。采用这种方式在实验室的测试过程当中取得了较为明显的效果。另外动盘在安装时使用弹簧提供给开关触头一个适当的预紧压力,从而保证触头接触良好。

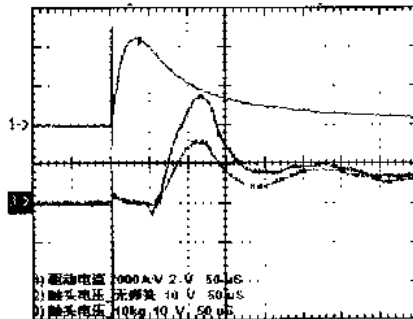


图7 不同反力时的触头电压波形

图7是试验中使用的电磁斥力开关分别无弹簧和100 N预紧弹簧力作用下对驱动线圈放电,测得了驱动电流和触头电压波形。试验中电磁斥力开关串联在一个电池与电阻的串联回路中。图中,从上至下依次为驱动电流波形、100 N预紧弹簧力作用时触头电压波形、无弹簧时触头电压波形。可见,触头分断时刻几乎不受弹力大小的影响,但触头过电压的大小



却随着弹力的增大而增大。试验中各电路、机械运动参数如下表 1 所示。

表 1 电磁斥力开关各项参数

放电电容	0.98 mF
电容初始电压	1 000 V
动盘质量	0.75 kg
驱动电流峰值	9 000 A
动盘加速度峰值	5 000 g
动盘运动平均速度	5 m/s
触头分断时间	70 μ s

5 实验研究



图 8 实验样机外形图

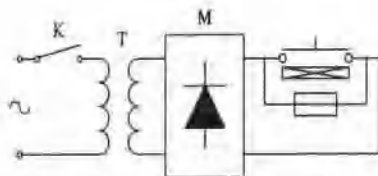


图 9 短路实验电路图

图 8 所示是按照文中提出的 ZVS 混合式开关拓扑结构制作的实验样机。样机开关的额定容量为 640 V/2 500 A，样机中使用的快速熔断器的额定电流为 250 A，通态电阻为 0.49 m Ω 。

短路实验电路如图 9 所示。通过降压变压器将上万伏高压降压后通过整流桥 M 得到 640 V 模拟电网电压。实验时通过控制高压侧开关 K 时间长度为 55 ms 的导通时间来模拟直流电网短路状态。模拟电网的短路预期电流峰值为 100 kA，短路电流时间常数为 4.17 ms。

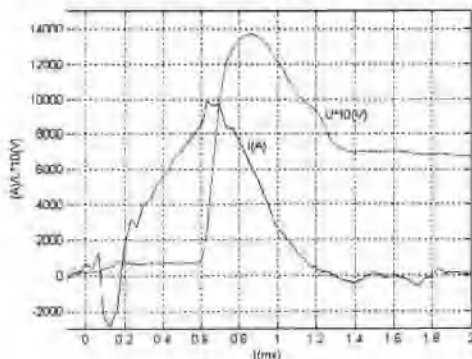


图 10 短路实验示波图

短路实验结果示波图如图 10 所示。从实验结果可知，短路电流峰值被限制在 9.87 kA，从短路到电流峰值的时间为 0.54 ms。从短路到快速熔断器开始建立弧压的时间约为 150 μ s，此时可以认为电磁斥力机构支路上的电流已经完全换流到快速熔断器上，快速熔断器燃弧弧



压峰值为 1.37 kV。从开始短路到短路电流被截止整个过程的时间为 1.17 ms。

实验表明,该 ZVS 型混合式限流开关对于直流电网短路故障能达到快速准确限流的要求。

6 结束语

通过分析比较 ZVS 和 ZCS 型混合式开关的原理和特性,给出了一种新型的 ZVS 混合式直流限流开关方案和电路拓扑结构。分析了其设计结构,并说明了其工作的各物理过程,对混合式开关的关键技术:超快速电磁斥力机构的设计进行了分析。实际研制出 640V/2500A 的限流开关器样机,完成了模拟直流电网突然短路限流实验,实际限流结果证明所设计限流开关动作快速准确,能有效抑制短路电流。

参考文献

- 1 梅军,郑建勇,胡敏强等(Mei Jun,Zheng Jianyong ,Hu Minqiang,et al). 基于IGBT软关断的混合式限流断路器结构与分析(Structure and analysis of a hybrid current limiting circuit breaker based on IGBT soft switching)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power System), 2004,28(18):59-62.
- 2 Polman H, Ferreira J.A., Kaanders M, Evenblij B.H, Van Gelder P. Design of a bi-directional 600 V/6 kA ZVS hybrid DC switch using IGBTs[C]. Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, Volume 2.
- 3 P. van Gelder, J. A. Ferreira. Zero Volt Switching Hybrid DC Circuit breakers[C]. IEEE IAS conference, May 2000.
- 4 Steurer M, Ferohlich K, Halaus W, et al. A Novel Hybrid Current-limiting Circuit Breaker for Medium Voltage, Principle and Test Results[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003.
- 5 Halaus W, Frohlich K. Ultra-fast Switches-A New Element for Medium Voltage Fault Current Limiting Switchgear[J]. Power Engineering Society Winter Meeting, Vol 1. Piscataway(NJ): IEEE, 2002.
- 6 S. Basu, et al. Electromagnetic force on a metal disk in an alternating magnetic field[J]. IEEE Trans. Power Apparatus and systems, 1969,88(8): 1281-1285.
- 7 R. Jungblut, R. Sittig. Hybrid high-speed DC circuit breaker using a charge-storage diode[C]. 1998 Industrial and Commercial power systems technical conference. Papers presented at the 1998 annual meeting IEEE, New York 1998.



电动斥力机构的动态分析

毛海涛, 杨 锋, 焦少光, 徐国顺

(海军工程大学 电气工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 基于电动斥力机构的能量平衡方程, 导出计算电动斥力的基本分析方法。计算得出斥力的大小与驱动电流的平方和等值电感与位移的导数成正比。针对一具体实例证明, 在动盘运动初瞬, 等值电感大小与动盘的位移呈线性关系; 电动斥力在动盘运动初瞬全部用于产生加速度, 而后随动盘速度和位移增大加速度逐渐减小。最后通过试验和计算结果的比较证明了本文提出的斥力计算方法的有关假设及理论分析的正确性。

关键词: 电动斥力机构; 等值电感; 斥力计算

0 引 言

在配电电器中, 为了能够实现机构快速动作的目的, 譬如为满足快速脱扣或开闭操作阀门等用途, 可采用快速电动斥力机构或感应斥力机构。图 1 是其一般构成, 其原理为: 通过预充电的电容 C 向线圈 1 放电产生持续几毫秒的脉冲电流, 铜盘 2 因感应涡流而受到电磁推力 F 作用向上运动同时迅速推动其他机构。

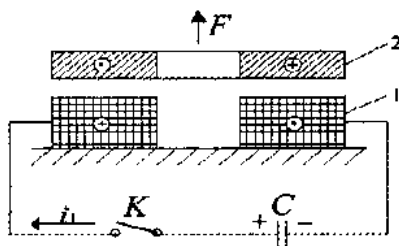


图 1 电动斥力机构示意图

电动斥力机构的动态分析涉及电路、电磁感应、电磁力、机械运动等多个动态过程, 当前多用有限元法分析, 该方法计算极为复杂, 而且没有解析结果。本文则采取不同的思路, 提出了忽略加速运动阶段回路电感变化的假设, 使斥力机构的电气回路可以用常系数二阶微分方程描述, 由此得到了电气量的解析解, 并得到了试验验证。

1 作用斥力的计算

在斥力机构动作时, 根据能量守恒定律电源供给的能量 dA_s 应等于机构所做的功 dA 与磁场中能量的变化 dW 以及热损耗 dQ 之和, 即



$$dA_s = dA + dw + dQ \quad (1)$$

电源供给的能量为

$$dA_s = e_1 i_1 dt + e_2 i_2 dt \quad (2)$$

且两个线圈电压和磁链的表达式为

$$e_1 = \frac{d\psi_1}{dt} + i_1 R_1; \quad e_2 = \frac{d\psi_2}{dt} + i_2 R_2$$

$$\psi_1 = i_1 L_1 + i_2 M; \quad \psi_2 = i_2 L_2 + i_1 M$$

其中 e_1 与 e_2 、 i_1 与 i_2 、 R_1 与 R_2 、 ψ_1 与 ψ_2 分别为线圈 1 与线圈 2 回路的电压、电流、电阻和磁链。将电压和磁链方程代入 (2) 得到

$$dA_s = i_1^2 R_1 dt + i_2^2 R_2 dt + i_1 L_1 di_1 + i_1 M di_2 + i_2 L_2 di_2 + i_2 M di_1 + 2i_1 i_2 dM \quad (3)$$

两个线圈的磁能 w 决定于下式

$$w = \frac{1}{2} i_1^2 L_1 + \frac{1}{2} i_2^2 L_2 + i_1 i_2 M$$

式中, M 为两线圈间的互感; L_1 和 L_2 分别为线圈 1 和线圈 2 的电感。假设 L_1 和 L_2 为常数, 则微分上式得到

$$dw = i_1 L_1 di_1 + i_2 L_2 di_2 + i_2 M di_1 + i_1 M di_2 + i_1 i_2 dM \quad (4)$$

热损耗 dQ 的表达式为

$$dQ = i_1^2 R_1 dt + i_2^2 R_2 dt \quad (5)$$

将式 (3) ~ (5) 代入式 (1) 得到机械能表达式

$$dA = i_1 i_2 dM \quad (6)$$

由式 (6) 可知, 机构中机械做功与回路中通电的时间无关, 而只与电流值、回路本身的互感变化有关。

机构的电磁斥力为

$$F = dA/dx = i_1 i_2 dM/dx \quad (7)$$

式中, F 为动盘所受的力 (N); dx 为机械运动的单元位移 (m); M 为两线圈的互感 (H)。可以看出, 斥力的大小与线圈流过的电流以及和线圈互感与运动位移的导数成正比。

由于式 (7) 中动盘电流及互感皆难以计算和测得, 故本文采用了动盘电路折合至驱动电路的方法, 旨在得到电动力与驱动电流和等值电感的关系, 从而使计算和分析简化。

对于图 1 所示的电动斥力机构, 等值电路如图 2 所示, 电容器 C 放电电流 i_1 流过线圈时, 在盘中的电感电势 e_{2M} 为

$$e_{2M} = -M di_1 / dt$$



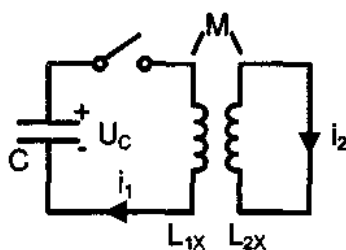


图2 电动斥力机构等值电路

铝盘中感应电流 i_2 产生的自感电势 e_{2L} 为

$$e_{2L} = -L_2 di_2 / dt$$

这两个电势大小相等, 方向相反, 即

$$-M di_1 / dt = L_{2x} di_2 / dt \quad (8)$$

积分式(8), 考虑到在 $i_1 = 0$ 时 $i_2 = 0$, 得

$$i_2 = -i_1 M / L_{2x} \quad (9)$$

电容器 C 上的电压 U_C 在一次回路中的电压方程式为

$$U_C = L_{1x} di_1 / dt + M di_2 / dt$$

将式(8)中的 di_2 / dt 代入上式得

$$U_C = L_{\text{ex}} di_1 / dt$$

式中等值电感 $L_{\text{ex}} = L_1 - M^2 / L_2$, 对位移微分后得

$$\frac{dM}{dx} = -\frac{L_2 dL_{\text{ex}} / dx}{2M} \quad (10)$$

将式(9)与(10)代入(7), 得到线圈对动盘作用的电动斥力

$$F = \frac{1}{2} i_1^2 dL_{\text{ex}} / dx \quad (11)$$

从式(11)看出, 电动斥力和驱动电流的平方成正比, 和等值电感与位移的导数成正比。

2 等值电感测量

等值电感或互感随动盘位置的变化而变化, 要准确计算非常困难^[3], 因此为了较准确地计算电斥力, 用试验方法测出在不同位移时的等值电感值的特性 $L_{\text{ex}} = f(x)$, 再由特性的每一点上用作图法作出它们的切线, 用图解法分析法求出 dL_{ex} / dx 值。

将图1中电容(1 mF)充电至100 V左右, 依次调整动盘与驱动线圈盘气隙从0~2 mm, 并对驱动线圈放电, 测得电容的电压和驱动线圈的电流波形。气隙为0 mm和1 mm时的电压和电流波形见图3。



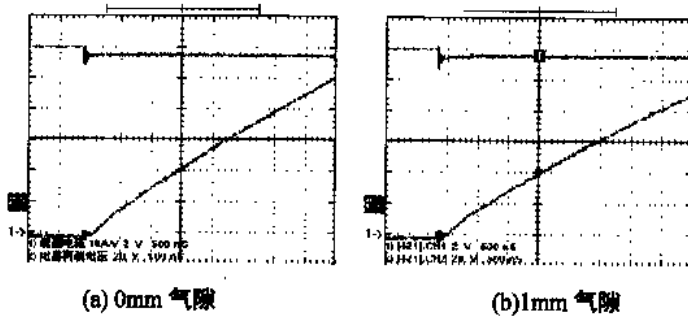


图3 不同气隙时电容电压和电流

图中可见, 初始电流上升率随气隙的增大而减小, 说明等效电感随气隙的增大而减小。根据初始电容电压和初始电流上升率, 可得不同气隙时的等效电感, 见表1和图4。

表1 等效线圈电感与气隙的关系

间距/mm	$di/dr/(A/us)$	U_0/V	$L_e/\mu H$
0	26.8	96.0	3.582
0.24	26.4	97.6	3.696
0.48	25.2	96.0	3.810
0.72	24.4	95.2	3.902
0.96	23.2	96.0	4.138
1.20	22.8	97.6	4.281
1.44	21.6	96.0	4.444
1.68	21.2	97.6	4.604
1.92	20.4	96.8	4.745
2.16	19.6	96.8	4.938
2.40	18.8	96.8	5.149

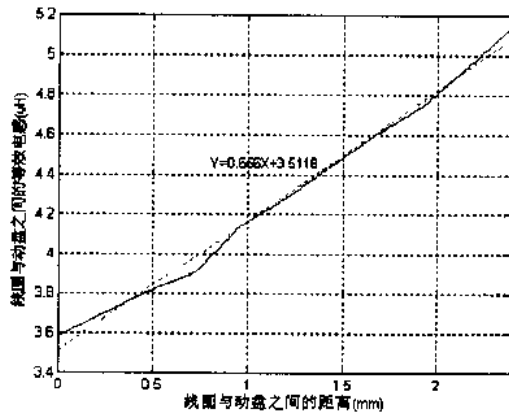
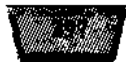


图4 气隙与等值电感的曲线

可见, 当气隙小于2 mm时, 等效电感随气隙增大呈线性增大关系, 气隙最小时, 对应的起始等效电感为3.4 μH , 电感随气隙的变化率为0.66 $\mu H/mm$ 。





3 电动斥力试验与分析

电动斥力机构运动方程式如下

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + g \frac{dx}{dt} + cx + F_0 + G = F(t) \quad (12)$$

其中, m 为运动部分质量之和, 它包括反作用弹簧的归化质量、机构运动部分的质量以及线圈的可动线匝段的质量; g 为与运动速度有关的反作用力系数(例如在运动机构上有电磁阻尼或油阻尼等装置时); C 为反作用弹簧的刚性系数; F_0 为弹簧的初压力; G 为机构运动部分的重力。

驱动线圈回路参数如下, $C=1 \text{ mF}$, $L=2.5 \text{ } \mu\text{H}$, $R=0.05 \text{ } \Omega$, 动盘的质量 $m=0.75 \text{ kg}$ 。对线圈驱动回路中电容充电至 1000 V , 并对驱动线圈放电, 测得驱动电流和开关动盘的加速度, 见图 6 中的细实线, 驱动电流单位为 kA , 加速度单位为 1000 g 。基于线路参数和公式(11), 对电容初始电压为 1000 V 时的驱动电流和电动斥力波形进行了计算, 见图 6 中粗实线。

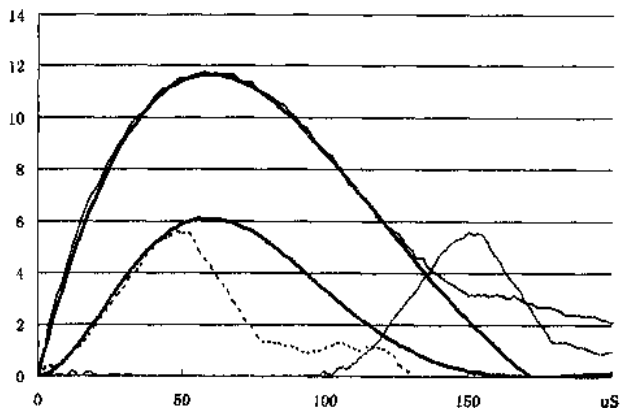


图5 驱动电流和加速度的理论计算和试验结果对比

图5可见, 驱动电流的试验和计算结果基本一致。实测的加速度滞后驱动电流约 $100 \text{ } \mu\text{s}$, 这一滞后主要是由于斥力从动盘(通过机械轴)传至轴末端的加速度传感器过程的机械传输时间造成的。去除机械传输延时影响后的加速度试验修正曲线见图6中虚线。对比修正后的实测加速度与计算电动斥力发现, 两者在前半段基本一致, 说明初始瞬间动盘速度和位移非常小, 所以运动方程式(12)中 gdx/dt 、 cx 和 $F_0 + G$ 项数值远小于电动斥力, 即认为电动斥力全部用于产生加速度; 而后半段产生了差距, 这是由于运动方程中 gdx/dt 、 cx 两项随动盘速度和位移增大而增大的结果。

4 结 论

(1) 建立了电动斥力机构的能量平衡方程, 推导出电动斥力的表达式, 得出斥力的大小和线圈流过的电流以及线圈互感与运动位移的导数成正比。

(2) 采用了动盘电路折合至驱动电路的方法, 得到电动斥力与驱动电流和等值电感的关



系, 得出, 电动斥力和驱动电流的平方成正比, 和等值电感与位移的导数成正比。

(3) 提出了等值电感的测量方法, 通过试验证明, 在动盘运动初瞬, 等值电感大小与动盘的位移呈线性关系。

(4) 通过试验证明电动斥力在动盘运动初瞬全部用于产生加速度, 而后随动盘速度和位移增大加速度逐渐减小。

(5) 实测加速度滞后驱动电流约 $100 \mu\text{s}$, 这一滞后主要是由于斥力从动盘(通过机械轴)传至轴末端的加速度传感器过程的机械传输时间造成的。





大型远洋渔船机舱 CAN 总线技术的分布式监控系统

郭庆祝¹, 周晓光², 郭远扬³

(1. 大连渔港监督局, 辽宁 大连, 116015;

2. 大连渔业船舶检验局, 辽宁 大连, 116015;

3. 大连海事大学 研究生院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 提出了基于 CAN 总线的典型监控系统, 鉴于渔业船舶环境和工作条件的特殊性要求, 从可靠性、可维护性和实时性进行了数据采集模块的软件设计及调试。

关键词: CAN 总线; 监控系统; 机舱

随着船舶工业技术的不断发展, 尤其是船用微机技术的不断提高, 各类高科技数字化智能设备, 广泛应用在船舶的主机遥控系统、主机安全保护系统、机舱综合报警系统、各种导航助航设备中, 这对船舶的运行和管理起到了智能化、自动化的作用, 也为船舶的安全运行起到促进作用。

对于远洋渔业船舶, 机舱监控报警系统要长期连续运行, 机舱内环境恶劣, 系统不仅要克服船舶的震动、摇摆以及各种电气设备的电磁干扰, 还要适应机舱内的潮湿、有腐蚀性的盐雾等环境。因此要求机舱报警系统可靠性高、实时性好、系统容量大、抗震、扩充性和耐腐蚀能力强。作者正基于此, 研制基于 CAN 现场总线的船舶机舱分布式监控系统, 实践证明: CAN 总线的机舱分布式监控系统优于以往的集中式分布系统, 指明了现代船舶机舱监控手段的发展方向。

1 基于 CAN 总线技术的分布式机舱监控系统概述

1.1 CAN 总线分布式控制系统特点及优越性

现场总线是当今自动化领域技术发展的热点之一, 被誉为自动化领域的计算机局域网。它的出现为分布式控制系统实现各节点之间实时、可靠的数据通信提供了强有力的技术支持。CAN (Controller Area Network) 属于现场总线的范畴, 它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络, 在工业现场过程控制中, 有如下特点:

首先, CAN 控制器工作于多主方式, 网络中的各节点都可根据总线访问优先权(取决于报文标识符)采用无损结构的逐位仲裁的方式竞争向总线发送数据, 且 CAN 协议废除了站地址编码, 而代之以对通信数据进行编码, 这可使不同的节点同时接收到相同的数据, 这些特点使得 CAN 总线构成的网络各节点之间的数据通信实时性强, 并且容易构成冗余结构, 提高系统的可靠性和系统的灵活性。



其次, CAN 总线通过 CAN 控制器接口芯片 82C250 的两个输出端 CANH 和 CANL 与物理总线相连, 而 CANH 端的状态只能是高电平或悬浮状态, CANL 端只能是低电平或悬浮状态。这就保证不会出现现象在 RS-485 网络中, 当系统有错误, 出现多节点同时向总线发送数据时, 导致总线呈现短路, 从而损坏某些节点的现象。而且 CAN 节点在错误的情况下具有自动关闭输出功能, 以使总线上其他节点的操作不受影响, 从而保证不会出现现象在网络中, 因个别节点出现问题, 使得总线处于“死锁”状态。

而且, CAN 具有的完善的通信协议可由 CAN 控制器芯片及其接口芯片来实现, 从而大大降低系统开发难度, 缩短了开发周期, 这些是只仅仅有电气协议的 RS-485 所无法比拟的。另外, 与其他现场总线比较而言, CAN 总线是具有通信速率高、容易实现、且性价比高等诸多特点的一种已形成国际标准的现场总线。这些也是目前 CAN 总线应用于众多领域, 具有强劲的市场竞争力的重要原因。

1.2 CAN 总线分布式机舱监控系统概述

根据 CAN 总线的特点, 设计了具有双主机热备冗余的全分布式机舱监控报警系统, 系统分上下两层, 上层位于集控室, 采用两台高可靠、高性能的工业控制机构成双机热备系统, 下层位于机舱内, 由经过特殊设计的各种数据采集模块及输出模块构成, 用 CAN 总线将现场数据采集模块及位于集控室的两台上位机相连, 从而构成分布式监控报警系统。同时本系统还通过 CAN 总线将采集到的数据与状态送到船舶综合监控系统的航行管理微机上进行显示。

2 分布式监控系统研究的主要内容及性能指标

2.1 研制内容

研制插于上位机中的智能型 ISA 总线 CAN 通信卡, 板上带有 CPU, 负责管理 CAN 总线通信任务, 采用此智能型通信卡可减小主 CPU 的负担, 卡上实现本系统的 CAN 总线数据链路层协议。研究机舱监控报警系统上位机软件和双机并联热备系统的实现方法, 使系统的各种带有 CAN 总线接口的现场数据采集单元模块(模拟量输入模块, 模拟量输出模块, 开关量输入模块、开关量输出模块及数字量输入模块单元)可靠性高、抗震、耐腐蚀。找出适合分布式机舱监控系统的通信协议。

2.2 性能指标

系统的测量误差要小于 5%; 系统报警响应速度满足船舶报警系统的要求, 即报警响应时间小于两秒。系统要具有热备能力, 当一台主机发生故障(死机或损坏)时, 另一台主机能接续不间断运行。且系统操作简单、维护方便, 具有直观的人机界面。

3 技术方案和技术措施

3.1 技术方案

机舱监控报警系统的主机采用高性能和高可靠的 CPU: Pentium 系列的工业控制微机。



两台主机构成其热备系统;采用 CAN 总线构成系统通信网络;80C196, CAN 通信接口 SJA1000 等构成现场采集单元模块。采用 INTEL 80C196 嵌入式微处理器的 ISA 总线智能 CAN 通信卡和 SJA1000CAN 的控制器。CAN 通信卡采用双口 RAM 方式与主机交换数据,以加快通信卡与主机的数据传送速率。主机与各采集模块的通信软件采用汇编和 VC++ 设计,人机界面采用组态软件 FIX 设计^[2]。

3.2 技术措施

机舱报警系统的关键和难点是实现双机热备冗余,需解决的问题包括双主机的快速无扰动切换、双机运行的协调以及数据的同步问题。一般的备用方式是一台为主机进行正常的监控任务,另一台处于备用状态,当检测到主机故障时自动投入运行,这种方式必然存在着切换延迟等问题^[1]。作者利用 CAN 总线的特点,采用了双机同时运行的备份方式,实现了完全意义上的双机热备。为保持其数据同步及协调运行,减少网络信息流量,不采用由主机对各现场采集模块逐台查询的通信方式,而是充分利用 CAN 总线的优点,由各现场节点主动定时向上位机发送采集数据,对报警数据则随时采用高优先权进行优先发送,以保证报警时间的要求。为使两台主机的数据保持同步,各模块的数据是采用广播方式发送的,即网上每个节点都可收到数据,而不需要这些数据的节点,则可通过 CAN 控制器的特殊的屏蔽码将这些数据予以屏蔽。由于 CAN 总线采用优先权编码的仲裁方式,保证了两个或多个节点同时发送数据时不会发生冲突,也不会像以太网那样发生阻塞,因此保证了所有节点都能正常地发送数据。

4 集中式机舱监控报警系统的局限

目前的远洋渔业船舶机舱监测报警系统大部分采用集中式监控的方式,这种系统是把被监测的各类信号,通过电缆线一对一的传送到集控室,这种集中式监控系统存在的一个重要问题是当监控微机出现故障后,没有替代系统可接续运行,直接导致监测报警系统瘫痪失灵,同时,即使监控微机故障修复,恢复工作后,也不能在故障断点接续工作,使得系统出现延时、滞后的失控盲区,直接威胁到船舶的安全运行。对于船舶重要的安全设备中,主控微机突然失控,后果不堪设想。另一方面,由于这种系统的每个信号都要从机舱引到集控室,这将消耗大量昂贵的电缆线,增加各类工程费用等,使得系统造价过高,。因此无论从技术上或经济性,集中式监测报警系统都存在较大的缺陷^[3]。

5 CAN 总线分布式监控系统的软件设计

微控制器选用单片机 80C196KC, CAN 接口由独立控制器 SJA1000。SJA1000 有两种工作模式:Basic CAN 模式和 PeliCAN 模式,其中 PeliCAN 模式全面支持 CAN2.0B 协议。SJA1000 作为微控制器的片外扩展芯片,其片选引脚 CS 接在微控制器的地址译码器上,从而决定了 CAN 控制器各寄存器的地址。

CAN 总线节点要有效、实时地完成通信任务,软件的设计是关键,也是难点。它主要包括节点初始化程序、报文发送程序、报文接收程序以及 CAN 总线出错处理程序等等。CAN

控制器芯片 SJA1000 的内部寄存器是以作为微控制器的片外寄存器存在并作用的。微控制器和 SJA1000 之间状态、控制和命令的交换都是通过复位模式或工作模式下对这些寄存器的读写来完成的。在初始化 CAN 内部寄存器时注意使得各节点的位速率必须一致,而且接、发双方必须同步。报文的接收主要有两种方式:中断和查询接收方式。为提高通信的实时性,文中采用中断接收方式,而且这样也可保证接收缓存器不会出现数据溢出现象。PeliCAN 工作模式支持 CAN 协议中的更多功能。下面给出 SJA1000 工作在模 PeliCAN 式下的节点初始化、报文发送、报文接收的 196 汇编源程序。

```

INITIALIZE:      初始化子程序
LDB AL, #09H;   初始化模式寄存器进入复位模式
STB AL, MODE;   选择单滤波方式
LDB AL, #88H;   时钟分频器
STB AL, CDR;    选 Peli CAN 模式
LDB AL, #00H
STB AL, ACR0;   初始化接收代码寄存器
LDB AL, #60H
STB AL, ACR1
LDB AL, #00H
STB AL, AMR0;   初始化接屏蔽寄存器
LDB AL, #3FH;   只接收标识符为 2, 3 的报文
STB AL, AMR1
LDB AL, #8FH
STB AL, IER;    中断使能寄存器
LDB AL, #01H;   总线定时寄存器 0、1 的设置
STB AL, BTR0;
LDB AL, #1CH;   在 16MHz 晶振情况下
STB AL, BTR1;   波特率设置为 250
LDB AL, #0AAH
STB AL, OCR;    输出控制器寄存器设置
LDB AL, #0H;    接收缓存器起始地址设为 0
STB AL, RBSA;
LDB AL, #01H;
ORB AL, MODE;
STB AL, MODE;   返回工作模式
RET

```

```

TRANSMIT:;      发送子程序
LDB AL, SR
SRCVE: JBS AL,4, SRCVE; 正接收?

```


STRSV: JBC AL,3, STRSV; 发送成功?
 STBF: JBC AL, 2, STBF; 发送缓存器锁定否
 WID: LDB AL, #08H
 LD BX, #TXB; 发送缓存的首址
 STB AL,[BX]+; 传送两个字节的标识符
 LDB AL,#ID0
 STB AL,[BX]+
 LDB AL,#ID1
 STB AL,[BX]+
 LDB COUT,#08H; 8 个字节数据
 TDATA: LDB AL,[DATA]+ CPU 内的发送数据缓存区首址
 STB AL,[BX]+;
 DJNZ COUT,TDATA; 8 个字节发完否?
 LDB AL,#01H;
 STB AL,CMR; 发送
 RET

RECEIVE: ; 接收中断程序
 PUSHF; 保护现场
 LDB AL,IR
 JBC AL,0,OTHER; 接收中断否?
 LD BX,#RXB; 接收缓存器首址
 LDB AL,[BX]+
 JBC AL,6,RCDATA; 标识符的 RTR=1?
 LDB AL,#04H; 是远程帧,释放接收缓存区
 STB AL,CMR;
 LCALL TRANSMIT; 相应远程帧,发送相应数据
 SJMP BACK
 RCDATA:
 ANDB AL,#0FH; 取低四位数据长度
 ADDB AL,#03H;
 STB AL,R1; 该报文含有的字节数
 LD BX,#RXB; 接收缓存器的首地址
 LD CX,#CRBF; CPU 内的接收数据缓存区首址
 RECE:
 LDB AL,[BX]+
 STB AL,[CX]+
 INCB R1

DJNZ R1,RECE; 接收完否?
LDB AL,#04H
STB AL,CMR; 释放接收缓存区
BACK;
POPF
RET

6 总 结

现场总线技术应用于船舶上,可以实现全分布式机舱监控报警系统,彻底解决集中式系统存在的问题。因此,开发研制船用现场总线系统技术,不仅可提高船舶工业的科技水平,同时可保证船舶安全运行的可靠性^[3]。

国内近几年来也在工业现场总线方面有很大的发展。如 CAN, LONGWORKS, PROFIBUS, FF 等。其中基于 CAN (Control Area Network) 的工业现场总线系统由于结构简单、可靠性高、通信速率高,其芯片的开发生产得到西门子、摩托罗拉、飞利浦等等大公司的支持,开发简单易行,是目前最有前途的高性能价格比的现场总线,已开始在我国工业领域得到广泛应用。该种总线系统将是工业控制现场总线领域主要产品之一。

参考文献

- 1 任光,张均东,孙培廷. 驾机集成监控系统的设计[J]. 大连海事大学学报, 2002,28(1): 100-103.
- 2 杨文菊,孟宪尧等. 双冗余网络型船舶机舱监控系统[J]. 大连海事大学学报, 2003,29(4): 35-37.
- 3 张均东,任光,孙培廷. 舰船综合监控中上层计算机网络的冗余设计[J]. 系统工程与电子技术, 2002,24(11): 100-103.



PLC 在远洋渔船主机遥控系统中的应用

郭庆祝¹, 周晓光²

(1. 大连渔港监督局, 辽宁 大连, 116015;

2. 大连渔业船舶检验局, 辽宁 大连, 116015)

摘 要: 介绍可编程逻辑控制器的功能和优势; 重点介绍基于可编程控制器的渔业船舶主机遥控系统设计, 并编写了工作流程图, 分别对各个模块单元进行说明。最后给出几点体会。

关键词: 主机遥控系统; 可编程控制器; 逻辑图编程

0 引 言

目前国内外大型远洋渔业船舶的自动化程度比较高, 技术上基本采用了当前最新的计算机网络监控与控制技术, 真正实现了无人机舱。但由于结构复杂其初始投资较高, 故在小型船舶上推广应用还有一定的难度。同时大多数船主机遥控装置是使用自行研制的专用控制装置, 存在着可靠性差、通用性弱等质量问题。可编程控制器(PLC)是现代工业控制的三大支柱之一, 具有可靠性高、耗能低、抗干扰能力强、控制精确及系统功能可拓展性强等特点, 我们可以结合中小型渔业船舶主机遥控系统的特点, 根据渔业船舶机舱条件, 充分发挥 PLC 的优越性, 使系统更广泛地适用于各种类型的船舶。

1 PLC 的主要功能及较之继电器系统的优势

1.1 灵活性

过去, 电气工程师必须为每套设备配置专用控制装置, 有了可编程序控制器, 硬件设备采用相同的可编程序控制器, 只编写不同应用软件即可, 这样, 能满足所控生产流程频繁变化的要求, 相对古典的电器控制线路, 可编程序控制器为改进和修订原设计提供了极其方便的手段, 以前也许要花费几周的时间, 用可编程序控制器只要花费几分钟就行了。

1.2 成本低、可靠性高

可编程序控制器提供的继电器触点、计时器、计数器、顺控器的数量与实际数量的继电器、计数器、顺控器相比要便宜得多。另外, 可编程序控制器由集成电路元件构成, 在硬件上采取光电隔离、滤波等技术, 软件上采取自诊断等技术, 因此可靠性大大高于机械和电器继电器。

1.3 构成简单, 使用方便

可编程序控制器采用模块化结构, 用户只要根据被控系统输入/输出信号的性质及点数多



少,选置相应的模块,便可像堆积木一样,“拼”出所需要的控制系统。

1.4 可维护性好

可编程序控制器由各种功能模块组合而成,这样,一旦出现故障,系统的自检功能将指出故障部位,维修人员便可方便地更换模块,使维修时间降低到最低程度。同时,亦大大压缩了备件库存。

1.5 模拟调试

可编程序控制器能对所控功能在实验室内进行模拟调试,缩短现场的调试时间,而古典电气线路是无法在实验室内进行模拟调试的,只能在现场花费大量时间进行调试。

1.6 强大的通信能力

目前,世界上各大可编程序控制器生产厂家生产的 PLC,均可通过通信处理模块或通信处理卡组成网络,或连接到现场总线,以满足现代规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的工程大系统的控制要求

2 可编程控制器实现主机遥控系统的设计

PLC 的程序设计过程,大致可分为以下步骤:

应用系统的整体设计——►PLC 相关设备选型——►编程和程序调试——►系统安装和现场调试——►系统试运行——►资料编写和投运

主机遥控系统包括控制部分和执行部分。控制部分完成遥控系统的信号传递、判断、运算和控制;执行部分主要解决遥控系统的执行动作。两部分通过电气转换器连接起来,我们可以选定性能、功能合适的 PLC 作控制单元,来完成控制部分的所有功能。从集控室/驾驶室遥控操纵器发出的各种车令信号(正车、倒车、停车、刹车及主机转速设定信号)以及主机机旁各传感器发出的工作状态信号(燃油切断、盘车机合上、主起动阀开、烟囱盖合上、滑油温度低、测速探头等),全部输入 PLC 系统,经 PLC 判断、运算、发出 PID 调节信号来控制电/气转换器,从而完成主机的遥控,其原理如图 1 所示。

系统的设计依据主要有:

- (1)《船用中速柴油机主机遥控装置技术规格书》;
- (2)《内河钢船建造规范》;
- (3)《钢质渔业船舶入级与建造规范》;
- (4)《船舶与海上设施与电气电子设备型式试验指南》。

操纵方式及操纵方式转换功能:系统设置驾驶室遥控、集控室遥控和机旁操纵 3 种操纵方式。

(1)驾驶室遥控:在驾驶室用操纵手柄直接控制齿轮箱按设定的程序换向和控制主机按给定的加速和减速程序调速;

(2)集控室遥控:在集控室根据车钟指令用操纵手柄直接控制齿轮箱按设定的程序换向和控制主机按给定的加速和减速程序调速;

(3)机旁操纵:操作人员根据应急车钟指令在机旁操纵主机起停和调速,在机旁控制箱

直接用选择开关来操纵齿轮箱换向。

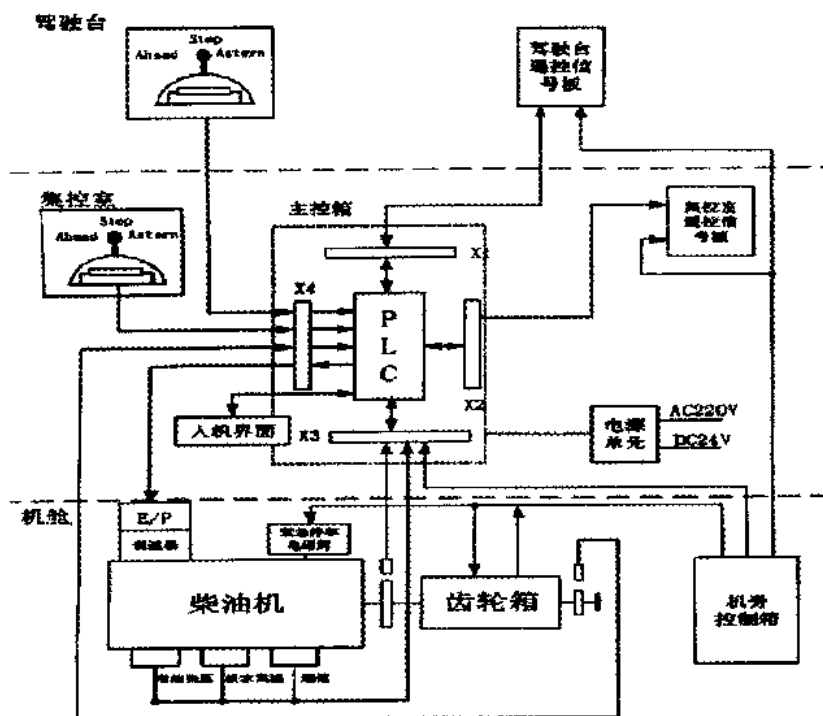


图1 PLC主机遥控系统原理图

根据以上要求,我们选用S7-200系列CPU226 DC/DC/DC该PLC本机上具有24路数字量输入,16路数字量晶体管输出。最多可扩展7个模块,128个输入和128个输出。CPU226有4k字程序存储器,2.5k用户数据存储器,布尔指令执行速度为0.37 μ s/指令,6个20kHz内置高速计数器,2个RS485通信口,并支持PROFIBUS总线点对点通信,电源电压允许范围20.4~28.8VDC。模拟量I/O模块选用EM235;人机界面选用TD200中文版文本显示器;数字量扩展模块选用EM223 24VDC数字量混合模块。

了解主机遥控系统的基本功能要求和选用了适用的可编程控制器后,就可以开始编写工作流程图,见图2。

编程前,首先应对输入输出信号进行地址和内存单元的分配,分配应从运行的可靠性出发,合理进行分配。所分配的地址或单元应在产品所许可的范围内,可参考产品的技术手册。根据工作流程图,我们可以确定基本输入点和输出点:

X0: 急停指令	X3: 齿轮箱正车状态	X6: 舵轴制动脱开
X1: 正车指令	X4: 齿轮箱倒车状态	X7: 急停指令取消
X2: 倒车指令	X5: 安装舵轴制动	X8: 油量补偿指令
Y0: 错向报警	Y3: 柴油机限速	Y6: 急停电磁阀
Y1: 正车换向阀	Y4: 切断油压报警	Y7: 舵轴制动电磁阀
Y2: 倒车换向阀	Y5: 油量补偿电磁阀	

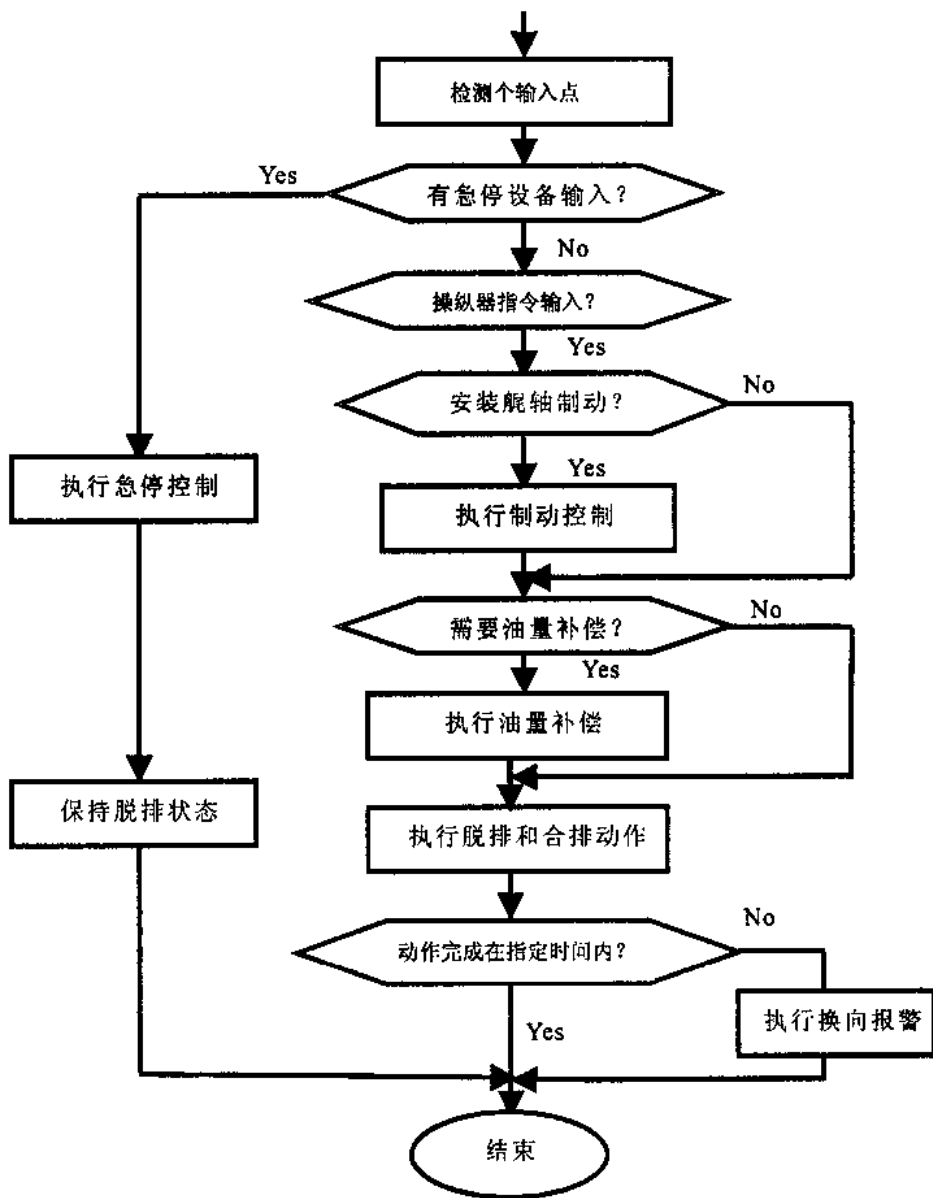


图2 PLC 工作流程图

综合工作流程图，整个程序可以分为一下几大模块单元：

(1) 操纵器发送指令直至指令完成，这是程序的核心单元。操纵器发送指令（正车或倒车指令），若齿轮箱处于相反工作状态，则齿轮箱等待脱排，延时 0.5 s 后开始脱排，同时接通柴油机限速阀，切断油压报警装置，延时 5 min 后脱排完成。接通相应换向阀（正车或倒车换向阀），断开柴油机限速阀，齿轮箱开始脱排；若齿轮箱正处于脱排状态，则直接连通相应的换向阀，齿轮箱开始合排；合拍完成后，接通油压报警装置，整个指令完成过程时间不能超过 12 s。

(2) 急停控制单元。控制器接收到急停指令，检测齿轮箱工作状态，若齿轮箱处于合排



状态,则要求齿轮箱等待脱排,延时 0.5 s 后开始脱排,延时 5 s 后脱排完成,保持脱排状态;若齿轮箱已处于脱排状态则保持脱排状态。一旦实施过急脱排控制,只有确认主机状态正常后,由机旁输入急停指令才可以解除该状态。

(3) 艏轴制动控制单元。若系统要求安装艏轴制动装置,则齿轮箱在开始脱排后,控制器检测系统是否需要制动,若齿轮箱上次动作是处于倒车完车状态,系统不需要制动,延时 5 s 后脱排完成,接通相应换向阀,齿轮箱合排;若齿轮箱上次动作不是处于倒车完车状态,系统需要制动,延时 2 s 后,接通艏轴制动电磁阀,开始制动,制动器动作持续 3 s 后,自动脱开,脱排完成,接通相应换向阀,齿轮箱合排。

(4) 油量补偿控制单元。若系统需要油量补偿,则齿轮箱在开始合排时,控制器接通油量补偿电磁阀,在合排完成后,再断开油量补偿电磁阀。

(5) 错向报警单元。系统由操作器发出指令,直到齿轮箱到达相应指令要求的状态,整个过程应不超过 12 s,若超过时间,控制器应发出错向误车报警。

3 PLC 设计的几点体会

为适应市场需求,设计部门必须选用性能价格比出众的产品,小型而功能强大的 PLC 产品正是满足这一需要的最佳之选。由于 PLC 产品是专门为在各种工业环境下工作而设计的,能适应恶劣的工作环境,即使在船舶上也一样能出色的工作,而不需要特别的防护装置。中小型船舶多数用于经济营运,它要求船舶能够长时间的无故障运作。频繁的返修、停修将严重影响经济效益,PLC 产品在集控系统中的应用大大增强了本系统的可靠性,确保了主机系统核心功能的正常运行。

在实际设计工作中,由于各种原因经常变更要求,加之可编程控制器是通过编程实现各种功能,要根据要求实现不同的功能,只需对相应的程序进行修改即可,不需要改变外围设备或修改原理图。同时对设计人员,可编程控制器可以模拟具体运行过程和结果,对实现功能直观的认识,能及时正确地修改相关程序达到任务要求,这些都在一定程度上减轻了设计人员地工作,使设计工作变得更加简单快捷。

以上叙述的功能程序只是较为初步的部分,我们还可以考虑增加 PLC 扩展单元,实现控制室和监控室两地控制。除了控制部分,对主辅机报警部分,只要确定相应的报警点作为输入输出点,通过 PLC 可以很方便及时报警输出。要注意到由于 PLC 本身的成本和输入输出的点数有关,减少点数可以减小系统规模并降低费用,因此,在确定输入输出点时,可通过外部接线和程序优化等手段尽量缩减。

参考文献

- 1 陈鸿琛. MAN·B&W 主机遥控[M]. 上海:上海海运出版社,1985.
- 2 刘道俊. 电器自动化和主机遥控[M]. 北京:科学技术出版社,1993.
- 3 廖常初. PLC 编程和应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.



新型直流电力系统限流装置的试验研究

张怀亮

(海军驻 431 厂军代表室)

摘要: 提出了一种新的基于 IGBT 的直流电力系统限流装置。介绍了新型限流装置的电路结构和工作原理,建立了限流过程的数学模型,进行了 300 V 蓄电池组的预期 900 A 的限流试验,开断时间小于 200 μ s,研究了限流装置参数对限流效果的影响。试验结果证明,该型限流装置具有结构简单、限流动作迅速准确、适用范围广和安全可靠等优点,在直流电网保护中具有广阔的应用前景。

关键词: IGBT; 直流; 限流装置; 短路故障

1 引言

目前,在直流电力系统中广泛应用的具有限流特性的产品主要有直流断路器和熔断器及二者的组合。它们都是利用电弧电阻的迅速增大来限流的,原理相当于在线路中串联了一个限流元件。但是利用电弧电阻限流有很大的局限性。直流断路器触头的重量制约其快速性,而触头重量正比于断路器的额定电流不能过分减小。同时直流断路器还存在所谓电弧起始停滞现象。熔断器靠短路电流熔断熔丝燃弧,熔丝的热惯性限制了限流效果^[1]。因此亟待研制一种能够迅速限制短路电流,且对系统无影响的限流装置(FCL)。

自 1985 年绝缘门极双极型晶体管(IGBT)进入实际应用以来,IGBT 已经涵盖了 600 V~6.5 kV 的电压范围和 1~3 500 A 的电流范围。IGBT 具有反应迅速、低功耗、高可控性的优点,特别适合用于双向开关场合^[2]。利用 IGBT 作为主要元件的电力电子型限流装置已成为未来电网保护装置的发展方向。本文提出了一种基于 IGBT 的新型直流电力系统限流装置的拓扑结构,完成了蓄电池系统的限流试验,给出了限流装置工作原理的数学模型。文章对十二相整流发电机系统直流侧突然短路的限流效果进行了分析研究,为该限流装置的电力系统实用化奠定了理论基础。

2 新型限流装置的结构及工作原理

新型电力电子限流装置的电路结构如图 1 所示。限流装置主要由二极管桥式电路、IGBT 电路、故障检测电路和 IGBT 驱动电路及控制电路组成。为了解决关断感性负载所引起的过电压问题,IGBT 桥式电路并联了由 C、R₁、D₃ 组成的缓冲电路。

新型限流装置的电路结构设计为桥式电路是为了电流正反向均能流动的需要。正常运行时,直流电源 E 通过 D₁、IGBT、D₄ 给负载 R 供电,当直流电源 E (如蓄电池)需要充电时,充电电源通过 D₂、IGBT、D₃ 给直流电源 E 充电。检测电路中,预先设定保护动作电流值为 I_{set} ,



故障发生时,检测到短路电流大于 I_{set} 时,驱动电路迅速关断 IGBT,短路电流转移到缓冲电路上,限流装置实现故障保护。

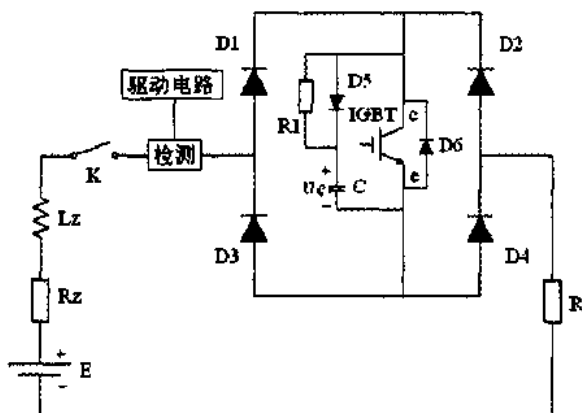


图1 新型直流限流装置电路结构图

3 电源为蓄电池组的限流效果分析

3.1 蓄电池组的限流过程分析

蓄电池组短路限流过程可分为两个动态阶段。第一阶段:故障发生后,短路电流迅速上升到设定动作电流值 I_{set} ,控制电路分断 IGBT;第二阶段:IGBT 分断后,短路电流转移到缓冲电路上给电容 C 充电,电流到达峰值 I_{max} 后衰减至零,电容充电至 U_{cmax} 。下面给出两个动态过程的数学模型。

(1) 短路发生至 IGBT 分断

若忽略 IGBT 和二极管的通态压降,电路可简化为由 E 、 R_2 、 L_2 组成的典型 RL 一阶电路,列写微分方程易得到此过程的电流表达式为

$$i = E/R_2 + (i_0 - E/R_2)e^{-\frac{R_2}{L_2}t} \quad (1)$$

其中, $i_0 = E/(R_2 + R_0)$ 。

该过程中 $u_c = 0$ 。

(2) IGBT 分断至限流过程结束

在这一过程中,电流由 IGBT 上换流至电容 C 上,若忽略二极管压降,电路可简化为由 E 、 R_2 、 L_2 、 C 组成的典型 RLC 二阶电路,列写二阶微分方程易得到此过程的电流表达式为

$$i = (I_{set} \cdot \cos \omega t + A \cdot \sin \omega t)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$



其中, $\omega = \frac{\sqrt{4L_z C - R_z^2 C^2}}{2L_z \cdot C}$, $A = \frac{C[2E - R_z \cdot I_{set}]}{\sqrt{4L_z C - R_z^2 C^2}}$, $\tau = \frac{2L_z}{R_z}$, 当 $\frac{di}{dt} = 0$ 时, 电流 i 取到最

大值 I_{max} 。

由(2)式, 可得电容电压的表达式为

$$u_c = E - (E \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

其中, $B = \frac{R_z \cdot C \cdot E - 2 \cdot L_z \cdot I_{set}}{\sqrt{4 \cdot L_z \cdot C - R_z^2 \cdot C^2}}$, 当 $t = 0$ 时, 电容 C 充电结束, 电容电压 u_c 取到最大值 U_{cmax} 。

3.2 蓄电池组的限流分断试验

本文采用了图2所示的限流实验电路。电源为铅酸蓄电池组, $E = 300 \text{ V}$, 可长时承受 500 A 短路电流。线路总电感 $L_z = 39 \mu\text{H}$ (实验测得), 线路总电阻 $R_z = 340 \text{ m}\Omega$ (实验测得), $R_0 = 5.1 \text{ k}\Omega$ 。IGBT 采用 Eupec 公司的 FD600R12KF4 ($600 \text{ A}/1200 \text{ V}$), IGBT 驱动电路芯片为 M57962, 缓冲电路参数: $C = 200 \mu\text{F}$, $R_1 = 10 \Omega$ 。 $t_f = 0.1 \text{ s}$ 时, 短路开关 K 闭合, 模拟短路故障发生。控制保护电路中, 设定动作电流 $I_{set} = 500 \text{ A}$, 这是为了满足实际系统应用时的限流指标需要。试验波形由 Tektronix 公司的 TDS220 示波器实时记录得到, 并经 RS232 传输进入计算机中。

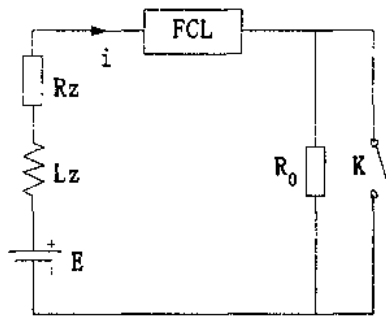
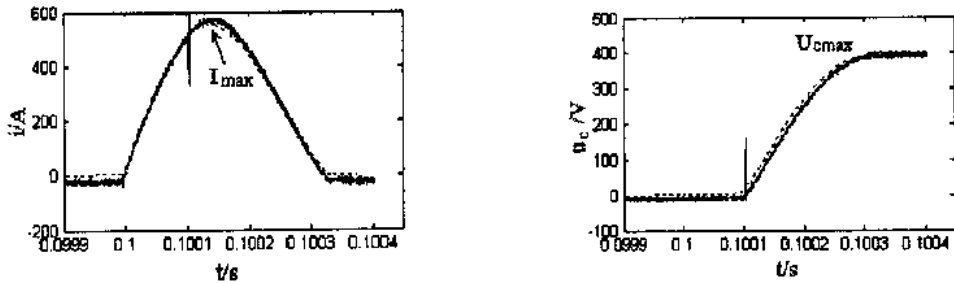


图2 限流实验电路

新型限流装置的限流效果如图3所示, 图(a)为线路电流 i 的波形, 实线为实验波形, 虚线为采用 MATLAB6.5 编程得到的仿真波形; 图(b)为电容电压 u_c 的波形, 实线为实验波形, 虚线为仿真波形。从试验与仿真波形对比可以看出, 两者的吻合程度很好, 计算机仿真具有较高地准确性和可靠性。当短路电流到达动作电流 500 A 后, 限流装置立即动作, 关断 IGBT, 短路电流转移到缓冲电路上, 给电容 C 充电, 短路电流最大值 I_{max} 上升到 550 A , 电容 C 充电电压最大值 U_{cmax} 约为 400 V , U_{cmax} 也是 IGBT 的 c、e 两极间承受的最大电压, 没有出现超出器件允许的过电压。从短路电流到达设定值到电流减小至零, 整个限流过程用时仅 $200 \mu\text{s}$, 可见限流装置动作迅速且限流效果明显。试验波形上有尖脉冲是由于电容上混有杂散电感所引起的, 仿真波形由于采用无感电容就不存在尖脉冲现象, 以后试验也将采用无感电容进行。图4为未装限流器短路电流 i 仿真波形, 电流 i 在故障发生后约 $600 \mu\text{s}$ 到达稳态

值 900 A, 对比图 3 (a) 和图 4 波形可知, 限流装置效果明显。



(a) 电流 i 波形

(b) 电容电压 u_c 波形

图 3 动作电流为 500 A 的限流波形 (实线: 试验波形; 虚线: 仿真波形)

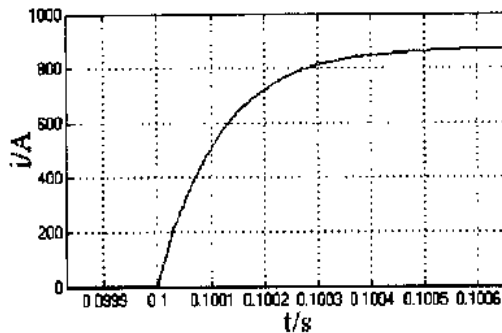
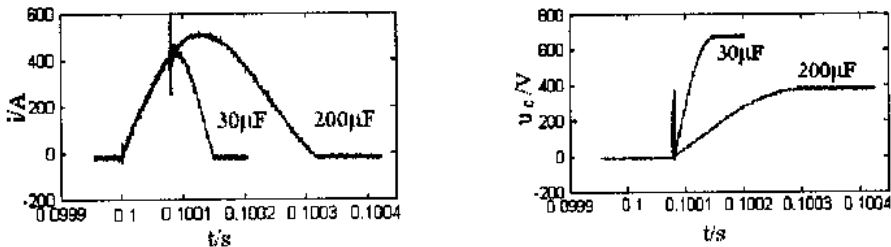


图 4 未装限流器短路电流 i 波形

3.3 限流装置参数对限流效果的影响

(1) 电容 C 对限流效果的影响

缓冲电路中的电容 C 的作用是吸收故障前线路电感上储存的能量, 以降低 IGBT 器件两端电压值, 保证限流装置可靠关断, 并减小开关损耗。本文采用 $30 \mu\text{F}$ 、 $200 \mu\text{F}$ 两种电容值进行了限流试验, 限流波形如图 5 所示。从图 5 可以看出, 随着电容值增大, I_{max} 也增大了, U_{cmax} 则减小了。从试验结果可以看出, 在电容参数选取时, 为了降低 IGBT 器件两端承受的最大电压值应选取较大的电容值, 而这将带来电流最大值的增加, 这可能会对器件造成损坏, 因此, 设计电容参数时需要综合考虑这两方面因素。



(a) 电流 i 波形

(b) 电容电压 u_c 波形

图 5 不同电容值的限流波形 ($I_{\text{set}} = 400 \text{ A}$)





(2) 动作电流设定值 I_{set} 对限流效果的影响

考虑到实际系统应用中,可能会对限流设定值有不同的要求,本文分别进行了设定值为 200 A、400 A、500 A 的限流对比试验,限流效果如图 6 所示。由图 6 可知,当 $I_{set} = 200$ A 时, $I_{max} \approx 400$ A; 而当 $I_{set} = 500$ A 时, $I_{max} \approx 550$ A。随着 I_{set} 的增大, $(I_{max} - I_{set})$ 减小了,而 U_{cmax} 变化不大,这说明当选择较大设定值时,电流超过设定值的增量较小, I_{max} 近似等于 I_{set} , 即限流装置中器件可能承受的最大电流 I_{max} 可由设定值 I_{set} 预先估出。

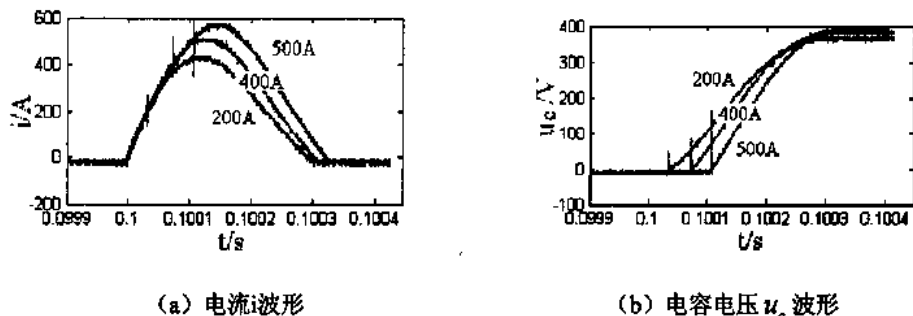


图 6 不同设定值的限流波形 ($C = 200 \mu F$)

4 结 论

试验结果证明,本文提出的基于 IGBT 的新型直流电力系统限流装置具有结构简单,限流动作迅速准确,适用范围广,安全可靠的优点。随着新型电力电子器件的不断涌现和性能的迅速提高,未来电力电子型限流装置的研究将取得更大的突破和进展。

参考文献

- 1 苏方春,李凯. 电力电子技术在配电系统限流中的应用[J]. 高压电器, 1997(2).
- 2 钱照明,张军明,吕征宇等. 我国电力电子与电力传动面临的挑战与机遇[J]. 电工技术学报, 2004,19(8).
- 3 马伟明,胡安,袁立军. 十二相同步发电机整流系统直流侧突然短路的研究[J]. 中国电机工程学报, 1999,19(3).
- 4 Genji T, Nakamura O, Isozaki M, et al. 400 V Class High-speed Current Limiting Circuit Breaker for Electric Power System[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003,9(3): 1428-1435.
- 5 Steurer M, Frohlich K, Halaus W, et al. A Novel Hybrid Current-limiting Circuit Breaker for Medium Voltage: Principle and Test Results[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003,18(2): 460-467.





液化天然气船舶推进装置的研究

李可顺¹, 朱金标², 魏海军¹, 孙培廷¹, 朱哲仁¹

(1. 大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026;

2. 中波轮船股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 经过两次石油危机后, 燃料费用在整个营运成本中占的比重越来越大, 要提高船舶的营运经济性, 就必须降低燃料费用, 而船舶的推进装置是影响船舶营运经济性的一个重要因素之一。因此本文针对目前在 LNG 船上占主导地位的蒸汽轮机推进系统进行研究, 指出其存在的一些致命缺点。并对未来可能采用的几种推进系统进行了综合评估。

关键词: 液化天然气; 船舶; 推进装置

1 引言

经济的发展离不开能源的支持, 能源结构的多元化促进了 LNG 贸易和运输的发展。任何船舶, 燃料费在营运成本中都占有相当大的比例, LNG 船也不例外。在寻求最佳经济性方面时, 针对以货物蒸发气体作燃料的 LNG 运输船, 一些企业纷纷开展研究 LNG 运输船的燃料经济性问题, 并就 LNG 运输船更经济的设计进行了研究, 主要方案有减少 BOG (Boil Off Gas), 将产生的 BOG 再液化后送回液货舱, 采用替代蒸汽轮机的主推进装置等。为减少 BOG, 一般需要增加绝热层厚度, 绝热层厚度的增加使成本增加, 液货舱容积减少, 船舶自重增加, 载货量减少, 因此 BOG 不可能无限制地降低。因此为降低营运成本, 必须选用低耗油率的动力装置。目前, 世界范围内一般商船的主推进系统大致有三种形式, 即内燃机推进系统、蒸汽涡轮推进系统和电力推进系统。目前, 一般商船都采用柴油机推进系统, 其经济性和操纵性能都比较好。对 LNG 船来说, 不管选择什么样的推进系统, 都必须采取某种方式来处理蒸发气, 把它用作推进系统的燃料或进行再液化。

2 营运中的 LNG 船舶所采用的推进系统及其面临的挑战

目前所有营运中的 LNG 船舶均采用双燃料锅炉蒸汽涡轮推进系统。如图 1 所示, 锅炉配备货物 LNG 蒸发气和燃油两套燃料供给系统。锅炉可以单独燃烧蒸发气或燃油, 也可以两种燃料同时使用。这种推进系统的最大优点是 LNG 蒸发气得到安全、合理利用。

蒸汽轮机占据今天全球 LNG 船推进系统的主流, 主要原因是系统有效地解决了蒸发气的安全利用问题。LNG 蒸发气在主锅炉中烧掉是最简单、最直接的蒸发气的处理方法, 这也一直是其他推进系统进入 LNG 市场的一个障碍, 使得蒸汽轮机系统成为 LNG 船的标准选择。

船舶运营商就必须寻找那些运营灵活及效率高的船舶以适应新的合同形式, 这就要求推



进装置也必须适应不同的船速和不同的运营环境,传统的蒸汽轮机推进装置的主要缺点是它的低效率以及高耗油量,缺乏可选择的处理蒸发气的方法。燃烧的热效率差,燃料消耗大。蒸汽轮机的燃油消耗率也比低速柴油机要高,当蒸发气体的价格与燃油的价格相比更便宜时,此种方案的推进系统才有一定的优势,否则经济上来说不太划算。而且,在现代 LNG 船上由于货舱绝热技术和设计的进步使得自然蒸发率比较低。结果,自然蒸发的蒸发气就远不能满足航速较高时推进装置对蒸发气的需求,因此,就需要强行进行蒸发或用重油来弥补锅炉的燃料需求。而这两种方法都增加了运营成本。在满载航行时大约 50% 的能量需求来源于重油,而在压载航行时这一比例上升到 80%^[1]。

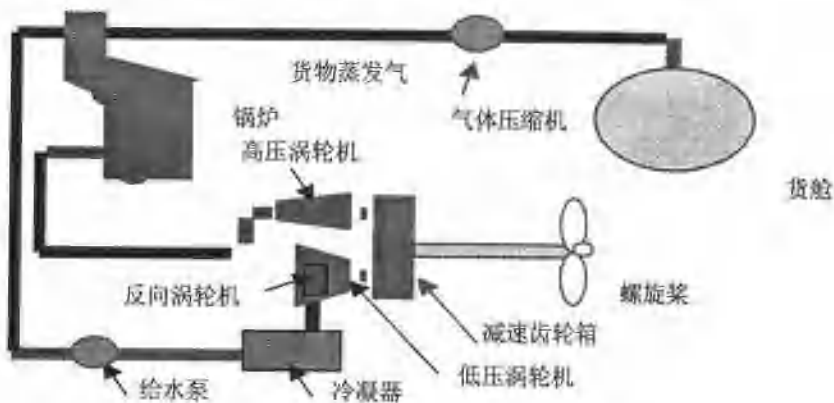


图1 双燃料锅炉蒸汽涡轮推进系统原理图

环境方面也要纳入考虑范围,高耗油率的蒸汽轮机装置,二氧化碳的排放量很高,在未来有逐渐增加的趋势,尽管由于锅炉的燃烧特性,氮氧化物的排放很低,但硫化物的排放却是相当大的,特别是在用重油来弥补能量缺口时。

3 可能的几种替代方案及其对比研究

3.1 燃气轮机方案

在 LNG 船上采用燃气轮机推进装置,可采用机械式或电力式。燃气轮机重量较轻,无振动、并且可以使用双燃料(使用重油作为备用燃料)。它的低效率某种程度上可通过联合循环系统来弥补。然而,燃气轮机对电站和气体压力的要求较高,这会使安装更复杂,费用更为昂贵。另外可以采用复合涡轮机组方案(即燃气轮机发动机+蒸汽轮机发动机方案)它是在用燃气轮机燃烧蒸发气体的同时,利用废气能量产生蒸汽,以驱动蒸汽轮机的。这种发动机的燃料效率较一般的蒸汽轮机好,而且排放的废气与汽轮发动机相同,是比较清洁的。缺点是需要高质量的石油燃料,并且不能与蒸发气混合燃烧。将来还可能考虑与电力推进装置相结合。从环保因素考虑将来有可能会采用此种方案的推进系统。

3.2 柴油机方案

船用柴油机动力装置所积累的丰富经验可以成功地帮助将柴油机应用于 LNG 船推进系



统的开发。

(1) 低速柴油机

单机单桨低速两冲程主机是船舶推进装置一个最简单的选择, 尽管这种布置在发生故障时没有冗余, 但却被证实是相当可靠的, 这使得对冗余度要求相当低, 然而, 对 LNG 船来说, 安全和冗余度需求要高于其他类型的船舶。市场也不会接受一个没有冗余度的低速推进装置。可能的安排还包括双主机(单桨或双桨)或辅助推力装置, 两者都需要齿轮箱, 弹性联轴结和可变螺距螺旋桨。不过, 使用高压气体作为发动机的燃料面临一些问题, 而且需要额外的柴油发电机来满足 APD(辅助推力装置)对电力的需求。最近双燃料低速柴油主机的发展已经使有效利用蒸发气成为可能, 双燃料低速柴油机是从重油柴油机发展而来。因此基于双燃料发动机的推进装置也是现代 LNG 船一个富有前景的选择。

(2) 中速柴油机

中速柴油机推进装置是一个多台主机的装置, 因此可提供一定的冗余度。可以是单桨或双桨。同样, 重油的使用需要一个再液化装置, 当然, 也具有前面提到的缺点。对中速柴油机来说, 有可能使用气体作为柴油机的燃料, 这样就需要很高的气体喷射压力, 这可以由一个大的往复压缩机提供, 这种技术在中速气体柴油机上已获得很好的发展并且在海上已被广泛应用。尽管烧高压气的柴油机应用于近海平台有其优点, 但却并不是 LNG 船的最佳动力选择。在绝大多数近海平台上, 得到高压气体相对容易, 包括分子量大的碳氢化合物及不纯物质。将气体压缩到高压不仅可提供高质量的气体, 而且消耗相对较小的功率即可将气体压至燃气发动机所需的合适的压力水平。另一方面, LNG 船上的蒸发气的压力为大气压水平, 并且基本上是纯甲烷。因此, 必须要有一个气体压缩机, 并且其所耗功率也较高(6%的发动机输出功率)^[1]。

(3) 大型低速柴油机+再液化装置的方案

选用高效柴油机作为推进装置, 蒸发气被再液化后回到液货舱使经济性有了提高。的效率高。但是, 配置再液化装置初投资极大, 并且对船舶电站要求也很高, 增加了驱动电力, 且由于该机燃烧的是重油, 排出的氮氧化物、硫氧化物较其他机种多。同时燃油消耗量也将增加。LNG 船用再液化装置已进行过海况条件下的测试, 但由于这项技术尚没海上运行实际经验, 因此技术上存在一定的风险。虽然 LNG 船采用再液化装置是可行的, 并且能降低燃料费用, 但只有在节省的燃料费用足以抵消公司在设备和船型变大时的投资, 并且不对操作和维护保养带来额外投资时, 才具有现实意义, 另外, 再液化装置对 LNG 与重油的比价也是相当敏感的。当今, 几乎所有的 LNG 船是用蒸汽轮机推进的。现有 LNG 船航行时把 BOG 引入锅炉与重油一起混烧, 所产生的蒸汽用来驱动蒸汽轮机, 但在机动航行或停泊时, 全部或部分 BOG 只好浪费掉, 这种方法成本大, 在建造和运行期间又需要特殊的技术。为此, 人们开始对 LNG 船上装备再液化装置的可行性进行研究。通过低气化率和强制蒸发装置的组合, 在低速区至高速区的全部区域内有效利用汽化气体, 提高了航运的经济性。还通过降低氮氧化物、硫氧化物的排放量, 改善了生态环境。另外, LNG 船 BOG 的再液化可以增加 LNG 船的运输量, 为船东选择最佳的推进系统提供了可能。

LNG 船配置再液化装置技术上是完全可行的。但目前尚鲜见配有再液化装置的 LNG 船投入商业运营, 究其原因, 主要是 LNG 船配置再液化装置初期投资过于高昂, 一般约占总



船价的5%左右。同时,船舶的整体经济性预期对船东也没有足够的吸引力。

3.3 电力推进方案

电力推进是将船舶推进原动机产生的机械能量转变为电能,并以电机驱动船舶螺旋桨的一种推进方式。电力推进装置被认为是迄今最具有灵活性选择的,尤其对机械装置的布置来说,它也很容易达到所要求的冗余度,并且发动机室和辅助系统可分开。它主要有下面几种:

(1) 吊舱推进装置

吊舱式推进装置(Podded Propulsor)出现在20世纪90年代,已在各类船舶上都有应用,尤其广泛应用于特种船推进。吊舱式推进装置实际上是一种具有线型外罩的全回转电力推进装置,所谓吊舱是指整个推进系统中部分悬置于船艏外。具体地说,就是把电力推进系统中的电动机置于船舶后部可旋转360°的流线型吊舱内,由一台变频器供电和控制,吊舱的一端或者两端装有定距桨,由电动机直接驱动。它具有低噪音、低振动和优良操纵性能等优点。由于靠岸和停泊时优异的可操控性,得到越来越多船东的关注,也是目前LNG船可供选择的推进方案之一。如图2^[2]所示:

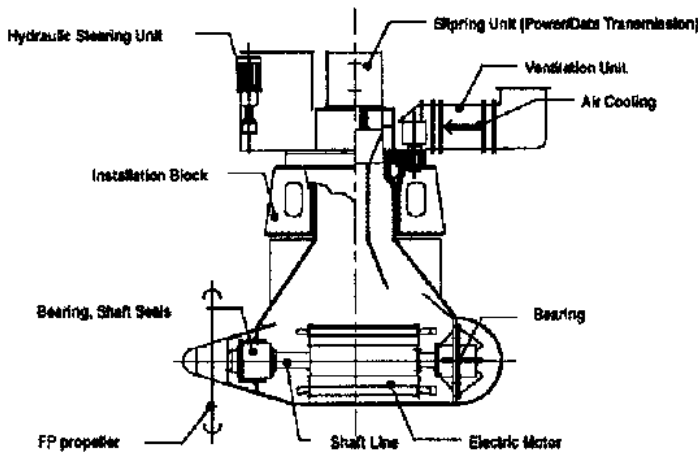


图2 吊舱式电力推进装置简图

(2) 重油发电机和蒸发气发电机联合电力推进系统

这个系统不需安装再液化装置,自然蒸发气被用作发电机的燃料(不需强制蒸发气化),同时,重油发电机发电用来弥补蒸发气溢出量不足部分的能量需求。由于船舶营运状态不断变化,蒸发气溢出量也依不同工况大幅变化。要适应蒸发气热值的大幅变化,发动机总装船功率必须很高,预计将比单一型发动机高65%。而且若LNG的价格和重油的价格相近时,使用蒸发气的发动机也是合乎逻辑的,只要能保持推进装置简单,更不用说燃烧蒸发气带来环境方面的好处。

(3) 双燃料发电机的电力推进

瓦锡兰公司认为最可行的,就是基于双燃料发电机的电力推进方案,采用四冲程低压双

燃料发动机为原动机。下图为拟采用四台瓦锡兰双燃料发动机为原动机的电力推进系统线图。

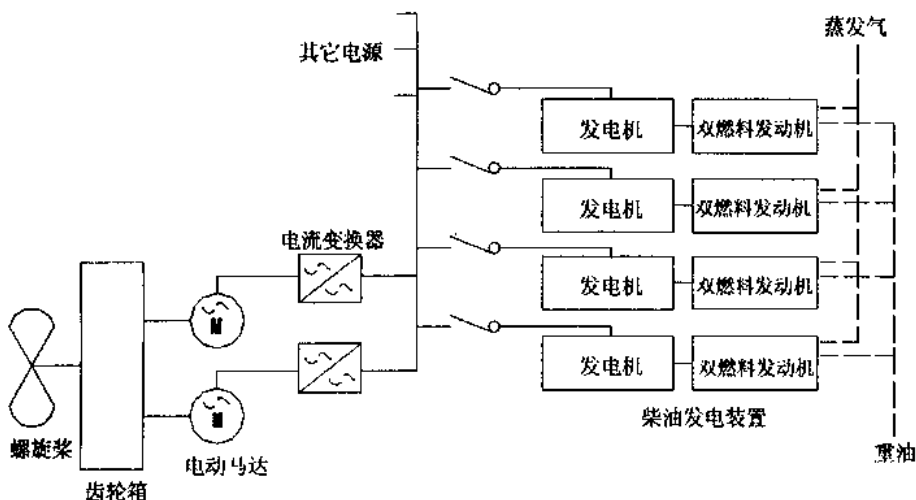


图3 采用四台瓦锡兰双燃料发动机电力推进装置的 LNG 船的布置线图

研究表明,这个方案结合替代燃油的强制蒸发的 LNG,经济性较好。这种推进方式冗余度高,操作灵活,可以保证 LNG 船具有较高的可靠性;提高了热效率,具有低排放的特性;为 LNG 船改装成为动力定位要求较高的浮式 LNG 船提供了可能性。与双燃料发动机相比,单一使用柴油的柴-电推进技术也是成熟的,并已在不同的船用领域中得到应用,其设计、施工、操作并不复杂,且易于维护。柴-电电力推进还具有安全性好、经济性好、振动小等优点,机械设备的总重量也要比同等功率的系统要轻约 30%。

(4) 三星重工的柴-电推进装置

三星公司的动力装置设计理念是采用双燃料中速柴油机提供动力,通过电动机和齿轮箱驱动推进轴,对于 LNG 船停靠港所需电力较低时,有可能导致蒸发的天然气过量,对此三星公司采用两种方式进行控制,一是通过燃烧器烧掉多余的蒸发气,二是将过量的蒸发气用于加热压载水。据三星公司介绍,在 LNG 船上采用柴-电动力推进方式后,通过节省燃料的费用和降低的维修费用,而且通过提高燃烧效率,降低了二氧化碳排放量,减少了排放中的氮氧化物和氧化硫的含量。所以,柴-电动力装置的 LNG 船对船东还是具有相当的吸引力。

最近的研究表明,最有利的解决措施,包括经济上和环保方面,为弥补蒸发气能量的不足,使用强行蒸发气而不是柴油,这种方案结合双燃料电力推进装置,在初投资和运营成本上都非常具有吸引力,最近,企业的评估表明,每年节省的运营成本在 220~280 万美元,与传统的蒸汽轮机相比。由于双燃料发动机使用的是低压的蒸汽,发动机进口压力低于 0.5 MPa,气体压缩机与现在蒸汽轮机作为推进装置的 LNG 船上使用的压缩机相似,只是它是两级压缩而不是单级。最主要的区别是双燃料发动机的效率要高于 40%,而传统的蒸汽轮机装置还不到 30%,这种区别在部分负荷时尤其明显^[2]。

当前,天然气—柴油双燃料二冲程和四冲程发动机技术的成熟,使双燃料发动机作为液化天然气船推进主机的构想变为现实。法国大西洋船厂为法国燃气公司建造的 1 艘 7.5 万立方米 LNG 船,将选用 4 台 6L50DF 双燃料发动机作为该船推进动力装置,该船将于 2004 年



底交付。瓦锡兰 50DF 型柴油机就是一种以天然气和柴油作为燃料的双燃料发动机。在正常工作时,仅使用 99%的天然气和 1%的燃油混合燃料,只有在天然气系统出现故障时,才切换到燃油状态。在预燃室中喷入燃油启动发动机。

与常规动力装置相比,使用这种双燃料发动机不但最大限度地利用了蒸发气燃料,而且大大降低了燃油的消耗和运营成本,可节约燃料 20%~30%,提高发动机的效率。同时,双燃料发动机具有很低的排放,其氮氧化物的排放量只相当于普通柴油机的 1/10,二氧化碳的排放也相当低。由于双燃料发动机可以在气体燃料和液体燃料两种模式下交替工作,而且两种模式是自动切换,在停止气体燃料供应时,发动机不会停止运行,而是自动切换到液体燃料模式。随着船舶动力装置的不断发展,双燃料发动机以其可使用两种燃料、重量轻、制造成本较低等优点将成为今后 LNG 船主机的首选。

4 结束语

目前在航的 LNG 船采用的多为蒸汽轮机推进系统,而其他船型却多采用效率更高的大型低速柴油机推进。但在考虑采用其他推进系统时不能仅考虑推进系统的效率,更主要考虑的是其运营的可靠性、推进装置的冗余度、初期投资以及运营的经济性。所以对于船东和承租者而言,在提出非蒸汽轮机推进方案之前,必须对推进装置的安全性和冗余度提出明确的要求。从航运业的角度来看,经营者不仅需要船舶效率高,而且还应有相当大的弹性,以适应不同的实际运输需求。与此相适应,要求推进系统也必须高效、有弹性,从而满足不同航速、航线等运营情况的实际要求。随着船舶动力装置的不断发展,双燃料发动机以其可使用两种燃料、重量轻、制造成本较低等优点将成为今后 LNG 船主机的首选。

参考文献

- 1 朱哲仁. LNG 船推进系统的研究与展望[D]. 大连海事大学硕士研究生论文, 2005.10.
- 2 Joseph E. McKechnie. Liquefied Natural Gas Shipment[C]. Proceedings, Fall 2005.
- 3 黄连中, 孙培廷, 李斌. 现代船舶电力推进装置[J]. 世界海运, 2002(3).



船用柴油机共轨燃油喷射技术

徐庆新, 黄连中, 赵俊豪

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 柴油机的发展已经经历了一个多世纪的发展。20世纪50年代, 柴油机因其功率范围大、效率高、能耗低等特点, 在各种船舶和中小型舰艇推进装置中确立了主导地位, 在其主辅机中被广泛应用。随着经济的发展, 人们越来越关心柴油机的经济性的好坏, 并在喷油定时方面为改进柴油机经济性一直做着不懈的努力。近年来, 电控技术已成为柴油机研究领域的热点, 而共轨燃油喷射技术是最重要的组成部分。

关键词: 柴油机; 喷油定时; 共轨燃油喷射

1 引言

随着世界范围内燃油价格的持续上涨和公众环保意识的不断提高, 经济性优越、污染较低的直喷式柴油机受到了越来越多用户的青睐; 但其NO_x和颗粒排放高、噪声大等因素阻碍了它的发展。因此, 进一步降低燃油消耗率、噪声和排放成为直喷式柴油机今后发展的主要方向。

车用发动机是新技术采用非常活跃的领域, 因为只有通过新技术的不断研究和应用, 才能满足日益严格的排放法规。随着人们环保认识的深入, 鉴于世界上大多数港口都临近人口密集的居住区, 近年来, 世界范围内对船用柴油机也出台了相应的排放法规。可以预见, 用户对于技术先进、排放低的船用柴油机的需求将日益增长, 而共轨式燃油喷射系统的开发应用将在满足这一需求中起到举足轻重的作用。

2 传统柴油机的喷油定时调节方式^[1, 2]

由于柴油机工作的环境比较特别, 经常处于不同工况下进行工作, 并且考虑到采用主机降速运行是降低营运成本的一项行之有效的技术措施这一特点, 船舶需要经常在部分负荷工况下来进行工作。但是, 如果柴油机长期处于低负荷运行状态工作时, 因供油量减少, 最高燃烧压力也随之降低, 就会导致偏离其设计工况太多, 会导致燃烧恶化, 从而使柴油机磨损加剧、缸内结炭严重等, 经济性相应下降。所以就需要针对柴油机不同负荷下的喷油定时进行调节。

传统船舶喷油定时的调节是根据喷油泵的工作原理和喷油泵的传动机构的动作规律来进行调节的, 主要调整方法有: (1) 转动凸轮法; (2) 升降柱塞法; (3) 升降套筒法来对喷油定时进行调节。然而传统的方法存在很大的不足, 使船舶无法根据其运行状况来进行自动的喷油定时的调节。



20世纪80年代中期以后生产的MAN B&W、L、S—MC/MCE各型船用柴油机普遍采用VIT(可变喷油定时)机构,根据负荷的大小,自动调整喷油定时,以提高主机运行的经济性^[5]。其实质是:保证变负荷时,油泵自动调整供油提前角,使柴油机在部分负荷时有较高的爆压,在高负荷运行时最高燃烧压力不超过额定值。VIT机构的调节特性如图1所示。在低负荷时(图1上左位置),杠杆A与压力控制阀D顶端的探测传感器E不接触,压力控制阀的输出压力为零,VIT机构不起作用,此

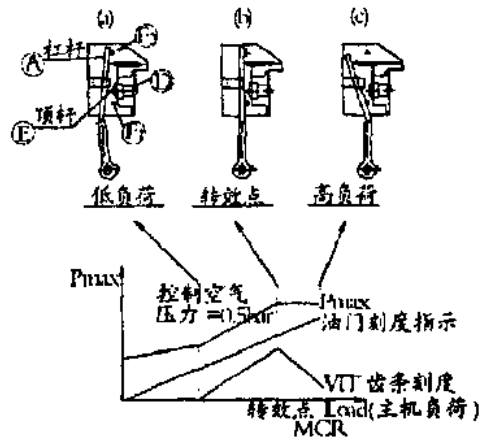


图1 VIT机构调节特性

时,油泵的供油提前角最小。随着主机负荷的增加,杠杆A在油门调节轴的带动下,绕支点F2作逆时针转动。当杠杆A转动到与E接触(大约50%额定功率)时,VIT机构开始起作用,并随着压力控制阀D输出压力的增加,油泵的供油提前角相应增加,柴油机的爆压 P_{max} 上升较快。当主机负荷增加到大约85%额定功率时,杠杆A与连杆B在一条直线上(图1上中位置),爆压 P_{max} 达到最大,该点称为“拐点”。如果主机负荷继续增大,杠杆A在油门调节轴的带动下,绕支点F1作逆时针转动(图1上右位置),压力控制阀D输出压力随之减小,油泵的供油提前角相应减小,确保柴油机的最高燃烧压力 P_{max} 维持不变。

VIT机构虽然较传统的喷油定时调节方法有了较大的进步,但仍然存在着不足的地方,随着航运事业在世界经济发展中的地位日益的上升,以及科技的进步和油价的逐年升高,人们越来越重视对柴油机喷油设备的改进,因此,共轨燃油喷射技术应运而生。

3 船用柴油机共轨燃油喷射的特点

共轨燃油喷射技术,是首先在汽车发动机领域内发展起来的,在20世纪90年代中期,带有电控喷射的柴油机已有成品上市,本世纪初,较成熟有德国的卡特匹勒(Caterpillar)公司、日本的电装(Nippondenso)公司、德国的罗伯特·波许(Robert Bosch)公司等开发的小型车用柴油机电控喷油系统。船用柴油机与中、小型车用柴油机相比,具有自己特点,所以对共轨系统有着不同的要求,因而车用柴油机电控燃油喷射技术不能简单地“嫁接”到船用柴油机上。船用柴油机燃油喷射系统有以下特点:

(1) 单循环供油量大。在较小的循环喷油量情况下,利用电磁阀即可实现喷油过程的精确控制。在循环供油量较大的情况下,如何实现燃油喷射过程的控制以及保证整个系统压力的稳定,需要认真研究;

(2) 船用柴油机功率大,对系统安全性要求高。作为柴油机心脏的燃油系统一旦发生故障,将产生严重的后果,因此,系统中应有较强的安全性;

(3) 相对陆用柴油机,船用柴油机电控系统所受的电磁干扰要强得多,因此将对共轨系

统信号采集和信号处理系统提出更高的要求;

(4) 船用柴油机工作环境更为恶劣。狭小的空间,潮湿、腐蚀性的气体对电控系统的绝缘性提出了更高的要求;

(5) 船用柴油机所用燃油的品质要比车用机的差,所以要求保证燃油系统在高压下能可靠地使用劣质燃油运行;

(6) 船用机通常为中、低速机,其运行工况相对于车用机则较为简单。

4 船用柴油机共轨燃油喷射系统^[3,4,6,7]

共轨电控燃油喷射系统的应用,被认为是柴油机发展史中的一次飞跃,其主要系统结构框图如图2所示:系统主要由电控单元、高压油泵、共轨管、电控喷油器以及各种传感器等组成。低压燃油泵将燃油输入高压油泵,高压油泵将燃油加压送入高压油轨,高压油轨中的压力由电控单元进行调节,高压油轨内的燃油经过高压油管,根据机器的运行状态,由电控单元从预设的MAP图中确定合适的喷油定时、喷油持续期由电液控制的电子喷油器将燃油喷入气缸。其主要特点是:(1)将高压燃油的产生过程和燃油喷射过程相对独立开来,喷油压力独立于发动机运行工况,喷油压力任意可调,保证整个柴油机运行工况内的喷射性能;

(2)喷油定时与喷油量的调节依靠电控单元控制电磁阀的开闭来实现,控制范围大幅度增加;

(3)喷油规律可调,可在一次供油过程中实现多次喷射。由于燃油的喷射由电磁阀的开启和关闭控制,所以采用高速电磁阀即可实现前喷、主喷和后喷;(4)由于高压油泵的供油已与燃油的喷射相对独立,因此可采用多次供油的方法保证系统高压燃油的需要。这样,可有效减小高压油泵的峰值扭矩和机械噪声,减小高压油泵尺寸。另外,共轨式燃油喷射系统缩短了高压油管的长度,减小了高压油压力波对喷射定时的影响,可保证柴油机喷油定时的准确性;(5)由于喷射压力、喷射定时、喷油量和喷油规律都可实现柔性调节,因此可在整个运行

范围内优化发动机性能。降低NO_x排放及噪声和烟度,提高经济性。

高压油泵是系统关键部件之一,其供油量的设计准则是必须保证在任何情况下柴油机的喷油量与控制油量之和的需求,以及启动和加速时的油量变化的需求。由于共轨系统中喷油压力的产生与燃油喷射过程无关,且喷油正时也不由高压油泵的凸轮来保证,因此高压油泵的压油凸轮可以按照峰值扭矩最低、接触应力最小和最耐磨的设计原则来设计。

电控喷油器是共轨式燃油系统中关键和最复杂的部件,它的作用根据ECU(电控单元)

发出的控制信号,通过控制电磁阀的开启和关闭,将高压油柜中的燃油以最佳的喷油定时、喷油量和喷油率喷入柴油机的燃烧室。

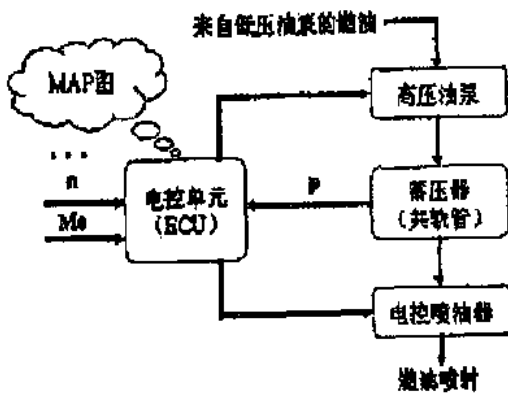


图2 高压共轨系统组成



由于喷油器电磁阀的控制对象为 100 MPa 高压燃油, 或 20 MPa 的伺服液压油; 系统要求它有足够的开启速度, 一般仅为几个毫秒; 考虑到预喷射是改善柴油机性能的重要喷射方式, 控制电磁阀要有较短的响应时间; 因而电磁阀应具有快速响应能力、工作精确性、重复性、可靠性以及良好的流通能力, 其中响应特性是最重要的。

另外共轨式喷油系统取消了齿杆、调速器、提前器等传统的油量调节机构, 利用高速电磁阀控制系统的喷油量、喷油定时、喷射压力及喷油速率等, 实现了喷油系统的全电子控制, 将高压喷射与电子控制完美地结合起来, 目前已成为柴油机电控喷油系统研究领域的重要课题与发展趋势。

5 总 结

柴油机采用电控共轨燃油喷射技术后, 燃油喷射压力和喷射定时可以自由选择, 喷射雾化好则燃烧完全, 排气污染减轻了, 还能适应多种燃烧性能差的燃料, 适应各种使用工况和环境条件的要求。必将成为柴油机发展历史上的又一次革命。

参考文献

- 1 张连方, 顾宏中, 刘焯棠. 柴油机原理[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1988.
- 2 初纶孔. 柴油机供油与雾化[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1990.
- 3 安士杰, 欧阳光耀. 船用柴油机高压共轨系统结构特性柴油机[J]. Diesel Engine, 2002(6).
- 4 张晓力等. 柴油机电控共轨喷油系统发展现状[J]. 内燃机, 2002(2).
- 5 高火柴. HITACHI-B & W6S60MC 型主机 VIT 机构简介[J]. 航海技术, 2002(4).
- 6 蔡遂生. 柴油机共轨蓄压式电控喷油系统的研究与开发[J]. 北京理工大学学报, 2001(2).
- 7 周文华. 柴油机电控燃油喷射设计与试验研究[J]. 内燃机学报, 1999(3).



基于 VB 与 MATLAB 的 PID 简易仿真软件

夏 极, 巫 影

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 提出了以 DDE 协议实现 VB 与 MATLAB 的通信, 设计出 PID 简易仿真软件。充分利用了 VB 友好的界面和 MATLAB 强大的计算能力, 得到了令人满意的 PID 参数。该方法具有通用性。

关键词: PID 整定; VB; MATLAB; 动态数据交换

0 引 言

PID 是闭环控制较好的方法之一, 简单易懂、稳定性好、易于实现, 被广泛应用于工业过程控制。使用传统 PID 控制器, 首先要整定 PID 参数, PID 控制参数的整定一般要现场完成, 既耗时又耗力, 整定效果不一定能令人满意。如果可以在计算机仿真软件上分析、整定出 PID 参数, 得到对象输出的动态响应令人满意的参数, 再用于工业控制, 将能提高 PID 控制效果。

MATLAB 是一种基于矩阵运算的语言, 具有非常优越的计算能力。它拥有大量的标准算法, 如模糊控制、神经网络, 系统辨识、鲁棒性能等。且提供了基于模块图的仿真软件 SIMULINK, 可以方便地构造复杂的控制算法的模型。在 MATLAB 环境下, 对 PID 控制进行仿真, 通过仿真结果来评价 PID 参数的整定效果。VB 是 Microsoft 公司的可视化编程软件, 可设计方便、友好、交互的人机交互界面。将 MATLAB 仿真结果发送到 VB 人机交互界面, 在 VB 人机交互界面上动态显示仿真结果, 从而有利于对算法的分析和改进。VB 和 MATLAB 可通过 DDE 协议来交换数据。

1 DDE 在 VB 与 MATLAB 中的使用方法

1.1 动态数据交换(DDE)简介

DDE 是程序间数据交换的主流技术, 它使用 Windows 消息和共享的内存, 使相互合作的应用程序能够交换数据。应用程序可以借助 DDE 对话 (Conversation) 实现彼此间的通信。请求建立对话的应用程序称为客户 (Client), 而响应对话请求的应用程序被称为服务器 (Server)。

当客户应用程序创建 DDE 对话时, 必须识别被呼服务器的两个 DDE 参数: 服务器 (Server Name), 即被请求对话的应用程序名; 话题名 (Topic), 即对话主题。这服务器各主题名的组合构成了区分不同对话的唯一标志。



交换数据的方法根据连接方式的不同而不同,主要有三种:由客户申请数据,服务器发送数据的这种方式称为冷链(Cold Link);服务器的数据有变化时,服务器通知客户,再由客户来取数据,这种方式称为温链(Warm Link);服务器的数据有变化时,服务器直接把数据送给客户,由客户对这些数据进行处理,这种方式称为热链(Hot Link)。本文采用热链方式。

1.2 DDE 在 MATLAB 中的使用方法

MATLAB 既能作为客户,又可以作为服务器使用。本文作为服务器使用。MATLAB 作为服务器使用时与客户连接图如图 1 所示。此时客户应用程序是通过 DDE 函数与 MATLAB DDE 服务器模块进行通信的。DDE 对话内容由一组预先规定的参数名称构成。当 MATLAB 作为 DDE 服务器使用时,所能选用参数的具体名称及它们间的层次关系如图 2 所示。其中 Engine 话题就其内容性质分为两类:



图 1 MATLAB 与 VB 建立 DDE 连接图

(1) EngEvalString 为客户把指令发送给 MATLAB 进行计算;

(2) EngFigureResult、EngStringResult、<matrix name>为客户向 MATLAB 要求数据。

EngFigureResult 要求图形数据, EngStringResult 要求文字数据, <matrix name>要求某个名称的矩阵。

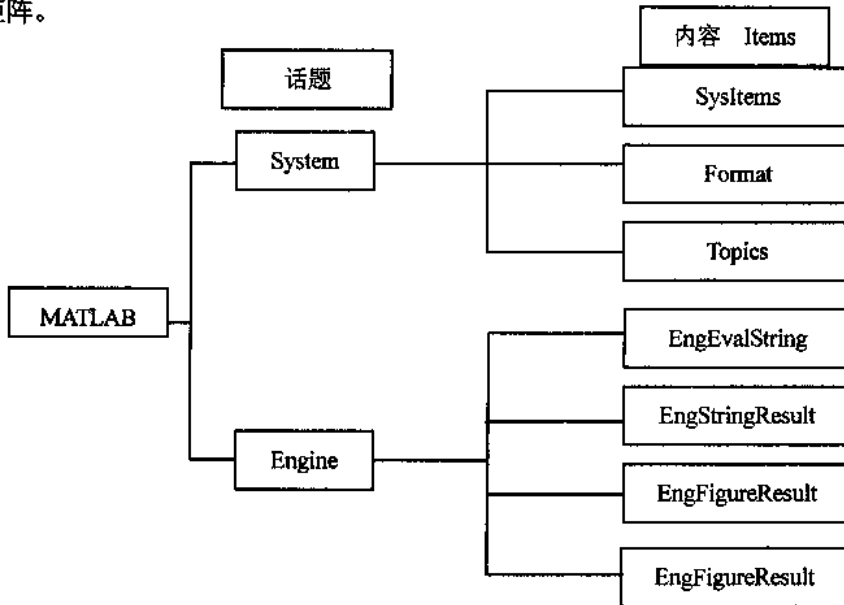


图 2 DDE 中 MATLAB 作服务器时对话参数名称层次图

EngFigureResult 要求图形数据时, 如果客户应用程序只能接受文字串, 那么图形结果就以“文字 Text 格式”直接发送。客户收到“yes”文字, 就知道 MATLAB 所产生的图形已经被成功地放在剪贴板 Clipboard 上。客户收到“no”文字, 发送失败。

2.3 DDE 在 VB 中的使用方法

VB 应用程序首先通过确定服务器名和主题 (Topic) 建立与 MATLAB 的 DDE 会话, 服务器名和主题唯一地确定了这次会话, 在会话期间 VB 应用程序作为客户端, MATLAB 作为服务端, 客户端与服务端可以就确定的项目 (Item) 交换数据。在 Visual Basic 可视化编程工具中, DDE 连接是通过控件的属性和方法来实现的。对于作“顾客”的文本框、标签或图片框, 要设置 LinkTopic、LinkItem、LinkMode 三个属性。

control.LinkTopic=服务器程序名|主题名

control.LinkItem=项目名

其中, control 是文本框、标签或图片框的名字。control.LinkMode 有四种选择: 0=关闭 DDE; 1=热连接; 2=冷连接; 3=通告连接。

2 仿真软件的实现

2.1 MATLAB 应用程序的设计

用 MATLAB 的 Simulink 工具箱构造仿真对象模型模拟实际对象的运行。在 Simulink 中, 具有 PID 控制功能的系统如图 3 所示。

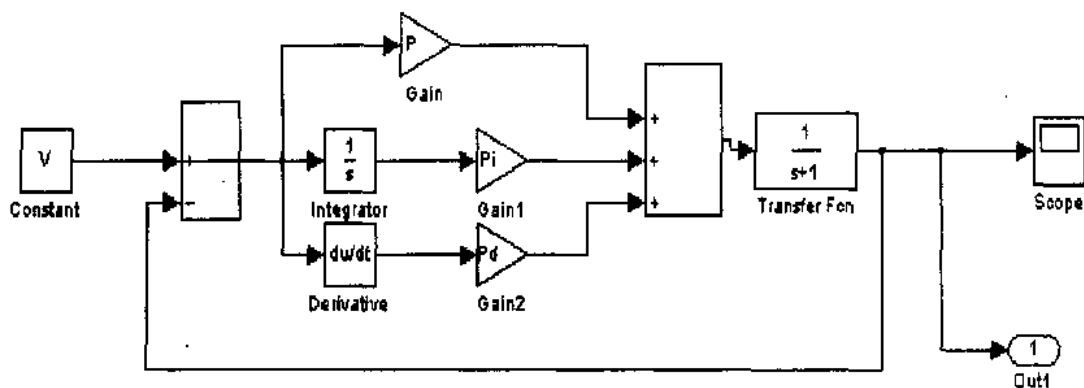


图 3 PID 系统仿真图

2.1 VB 中软件界面

VB 中人机交互界面如图 4 所示。可以在文本框中分别设定“设定转速”、“比例系数”、“积分系数”、“微分系数”, 也可以用滚动条控件进行微调。单击“开始仿真”控件开始计算, 并将 MATLAB 仿真结果在 IMAGE 控件中显示。

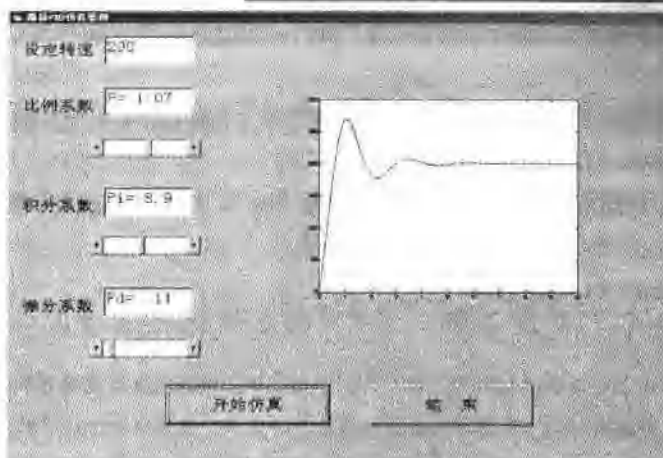


图4 VB操作界面

2.3 VB和MATLAB的DDE通信的实现

DDE通信的实现是通过VB向MATLAB发送命令和要求数据来实现的。举例说明如下:

(1) 传送比例系数 P_i 到 MATLAB

Rem 控件 Text1 和 MATLAB 对话初始“清零”

Text1.LinkMode = vbLinkNone

Rem 对话主题取“Engine”

Text1.LinkTopic = "MATLAB|Engine"

Rem 对话内容取 EngEvalString

Text1.LinkItem = "EngEvalString"

Rem 对话方式采用 vbLinkManual

Text1.LinkMode = vbLinkManual

Rem 对话的细节

Rem 把 P_i 发送到 MATLAB 运行

szcommand1 = Text1.Text

Text1.LinkExecute szcommand1

Rem 关闭对话

Text1.LinkMode = vbLinkNone

(2) 向 MATLAB 请求图形数据

Text5.LinkMode = vbLinkNone

Text5.LinkTopic = "MATLAB|Engine"

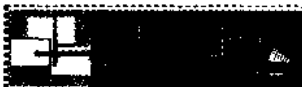
Rem 对话内容取 EngFigureResult

Text5.LinkItem = "EngFigureResult"

Text5.LinkMode = vbLinkManual

Rem 向 MATLAB 请求图形数据

Text5.LinkRequestA



Rem 请求到图形数据, 即 Text5 内容为“yes”, 则把剪切板中图形发送到 Image1 控件中显示

```
If (Text5.Text = "yes") Then
```

```
    Image1.Picture = Clipboard.GetData()
```

Rem 没有请求到图形数据, 即 Text5 内容为“no”, 清除 Image1 中图形

```
Else
```

```
    Image1.Picture = LoadPicture
```

```
End If
```

3 结束语

通过 DDE 协议将 VB 与 MATLAB 结合起来, 充分发挥了 VB 友好的人机交互界面和 MATLAB 强大的计算仿真特点, 取得很好的仿真效果, 得到了令人满意的 PID 参数。该方法具在程序简单、方便的特点。只要更换仿真模块中的控制算法, 即可完成各种复杂功能, 运用到工业控制去, 通用性强。

参考文献

- 1 徐江华. 基于组态王、Excel 和 Matlab 的 PID 自整定仿真软件[J]. 计算机工程, 2003(3).
- 2 张志涌. 精通 MATLAB6.5 版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.3.





虚拟设计在舰船动力系统设计中的应用研究

吴家明

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 基于对舰船动力系统设计过程特点的分析, 讨论了以虚拟样机为中心的虚拟设计技术的特点及在该行业的应用现状, 并建立了总体的虚拟设计框架。通过建立的虚拟设计环境进行了实例介绍, 并描述关于数据通用性等的关键问题。

关键词: 动力系统; 虚拟样机; CATIA

0 引言

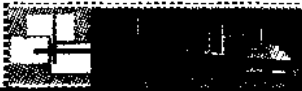
舰船动力系统的任务是提供舰船所需的一切动力, 同时还要满足规定的寿命、可靠性、生命力、重量、尺寸、隐蔽性等多项指标的要求。其设计过程包含多阶段、多学科, 需要进行大量的信息交互、性能评估和分析。近年来, 动力系统(尤其在军用领域)的设计又有了一些新的发展方向, 如电力推进、喷水推进、联合动力等, 动力系统的复杂程度日益提高, 对开发时间、生命周期成本的需求也日益苛刻。而传统依赖经验、基于平面图纸的设计方法难以适应这种新形势。随着计算机技术的发展, 虚拟技术以其强大的生命力迅速进入到各个领域, 动力系统的设计也因此有了强大的工具。本文针对动力系统设计的具体情况, 进行以虚拟样机为设计对象的虚拟设计应用研究

1 虚拟样机(Virtual Prototype)技术的概念

样机(Prototype)的概念主要来自于复杂系统开发过程中为了避免生产—测试—修改这一反复过程造成的巨大资源损失而采用的仿真方法。生成样机主要用于以下目的:

- (1) 学习。用于产生与设计有关的信息;
- (2) 交流。为设计过程提供一个可视化和能被感知的表达工具;
- (3) 集成。可以实现在某个设计任务中进行装配;
- (4) 减少设计过程的迭代。能够提供更多的确定信息, 从而减少返工。
- (5) 作为生产目标。确定最终产品所要达到的功能。

虚拟样机的概念是相对于物理样机(Physical Prototype, 或称实物样机)而言的, 物理样机一般用于某些虚拟样机难以(精确)实现一些测试任务, 例如多因素共同作用的复杂使用环境、船体阻力试验等。虚拟样机在计算机环境内建立, 因此具有更好的灵活性和通常情况下更低的使用成本, 随着计算机技术的发展, 其功能也将进一步扩展和增强。



2 舰船动力系统中虚拟样机技术的应用现状

舰船动力系统设计的内容广泛,涉及多门学科。目前对于虚拟样机技术的应用主要体现在各种 CAX 软件的成功应用,这些软件突破的传统 CAD 软件主要描述几何信息的局限,将材质、结构动态特性等物理信息融入产品模型中,因而生成了区别于物理样机的虚拟样机。

2.1 强度和振动校核

动力系统中典型的强度和振动校核的内容包括设备抗冲击和振动噪声的验证。传统的方法往往采用经验公式法和动力分析法,前者适合于简单设备,缺点在于不够严密。后者将系统和设备转化为质量、弹簧和阻尼模型,计算包括冲击、振动、噪声在内的各种动力学响应。该方法的特点是对建模的要求高,而且忽略了一些非线性因素而导致结果不够精确。

目前较为流行的方法是有限元方法,这类方法的计算精度比上述方法要高,但对计算机性能的依赖性很强。比较流行的有限元计算软件有 ANSYS、MSC.Patran、I-deas 等。这些软件大大减轻了设计人员建模和工作量,进一步增强了计算的可靠性。在使用这类软件进行计算时只需输入一些相对基本的参数,界面友好。更值得称道的是这类软件都具有很强的可视化能力,能将计算结果以三维图形或动画直观地表示。目前在动力系统中已应用的有设备的抗冲击计算、轴系振动计算、齿轮箱的振动计算和减振座的设计等等。

2.2 机舱布置

舰船机舱布置布置的主要任务是把属于某个机舱的所有设备(包括管系)科学地定位,使之成为一个能够充分发挥所有设备性能和人员能动性的系统。机舱布置相对于厂房等的布置有其特殊点,主要难点在于空间小,设备多(对于战斗舰艇情况最严重),还要满足一定的抗损性(意味着要有冗余)。传统机舱布置要求设计者首先要对机舱的每个机械设备的总体性能、外形、尺寸、所需的操作维修条件、舰员与他们的联系等了如指掌,然后遵从合理的设计过程,从主到次布置各个设备。同时,要求设计师具有坚实的数理功底(如线性规划、多目标综合寻优理论等)。从这些表述可以看到,真正具备机舱布置设计能力的人员是不多的,而且需要付出大量的时间和精力来成功地完成某个机舱的布置设计。以完成一艘 200 吨级小型高速护卫艇机舱布置的技术设计为例,需要六个有经验的工程师一起工作约 2.5 个月。而且机舱内各设备关系错综复杂,最有经验的设计师也难免有疏漏或不合理之处。目前,有许多针对三位视景的软件和标准得到了广泛的应用,如 3DMAX、AUTOCAD、VRML、WTK、Vega 等。这些技术在游戏、房屋装饰等方面应用很成功。虽然还没有专门针对机舱布置设计的有关软件的报道,但完全可以利用这些软件的性能,辅助完成机舱布置。这样做的好处至少有以下几点:(1)设计过程直观,容易实现设计师与决策者的交流;(2)方案修改过程变得很简单,可以通过键盘、鼠标的简单操作完成,可以避免采用需在车间里建造机舱模型的传统方法;(3)可实现漫游,如果使用如 WTK 之类针对虚拟现实的软件通常还可实现自主漫游;(4)降低了对设计师的要求,部件的外形尺寸一目了然,不再需要很强的想象力。

2.3 一些分部件的设计

动力系统部件中较为特殊的部件之一为螺旋桨。由于其曲面算法的复杂性,一般的 CAD 软件设计时有较大的困难。目前,针对此问题有专门的软件推出,如 PropCAD 等,在这类



软件中加入了大量带有针对性的 CAD 功能,使螺旋桨设计过程得以简化。还有一些非标准件,需要根据实际情况来调整尺寸和重量以满足要求,得到初步的三维图形并且进行预装配非常有利于这些部件的大致外形尺寸的确定。

3 作为整体设计应考虑的问题

以上所讨论的内容主要针对动力系统设计的一些具体方面,对于整体设计而言须从全局出发来加以考虑。为了提高设计效率和质量,应考虑制定总体的虚拟设计方案,包括采用的软硬件等。动力系统的设计分为方案论证、技术设计和施工设计三个阶段。第一阶段侧重于总体方案论证和主要设备选型论证;第二阶段侧重于对第一阶段结论的初步细化和具体化,完成全部计算和校核;第三阶段侧重于结合船厂的实际情况,将前两个阶段的工作进一步具体化,最终得到用于生产的图纸、施工工艺和验收标准等。结合现在的相关软件可实现将三个阶段的设计内容同时进行,从而使得设计时间大大缩短,但须考虑以下几个方面:

3.1 软件兼容性

不同的阶段所需模型的细化程度不同。在设计初始阶段,往往要求能迅速见到结果,以便于修改,而对具体尺寸等没有严格的要求。而在进行各种校核计算和生成图纸时则需要完整的数据。如采用不同的软件进行不同阶段的设计,应考虑模型数据的相互转化能力或者说实现转化的可能性,例如采用 STEP 标准中的各种应用协议来表达动力系统各个部分的设计内容,尽可能地避免重复劳动。目前,有众多软件采用了先进的产品生命周期管理技术(Product Lifetime Management, PLM),使得软件的应用能贯穿整个设计过程。这类软件全部或部分实现了产品三维模型的建立和观察、三维实体零件的装配和加工、以及设计产品的有限元分析等功能。典型的这类软件有 Parametric Technology Corp 公司的 Pro/Engineer、Unigraphics Solutions 公司的 UG、法国 Dassault Systems 开发的 CATIA、SDRC 公司的 Ideas Master Series 等。

3.2 针对具体情况

动力系统设计是一个庞大的系统工程,往往由几家单位来完成不同部分的设计。如果所采用的软件具有数据共享和分布式处理的能力,则很容易实现及时沟通和实现以统一的标准来提供设计结果。同时,以上提到的软件各有其特点,在采购时应考虑软件的价格、易用性、可扩展性、二次开发能力及完成本领域设计内容的能力等。例如上面所提的软件中大部分只能在三维空间观察,但其中的 CATIA 具有四维空间观察的能力,也就是说该软件能够模拟观察者的视野进入到零件的内部去观察零件,而且该软件又有专门的管系布置模块,那么对于机舱布置而言就更加适合。也可考虑不同的软件的组合,这就需要考虑数据格式的问题。另外,对于总体的选型过程来说,还要考虑在虚拟设计系统中加入实现优化选型配置的规划方法或专家系统等的功能,那么就需要对所采用的软件的二次开发能力作深入了解。

3.3 制定具体的标准

即便在同一开发环境内,对同一零件的建模可采用不同的方法。例如采用尺寸驱动的建模方法,这种方法可通过建立基于特征的模型库实现一些标准件的反复使用。同时,从有限

元分析的角度出发,对建立部件模型有严格的要求,否则可能导致计算结果的很大误差。所以,必须从全盘考虑,制定具体的建模标准,保证整个设计过程的一致性。

基于以上的考虑,在传统的舰船动力系统设计过程中加入虚拟设计方法后系统的流程和组织方式有了新的变化。新的设计过程简单框图如图1所示。此框图主要是在原来的设计过程中加入了使用软件 and 标准,其中软件的选择既可由决策者来决定,也可由各工作组(单位)以一定的标准自行决定。对于标准的制定和选择软件,需要相关人员进行专门的研究。

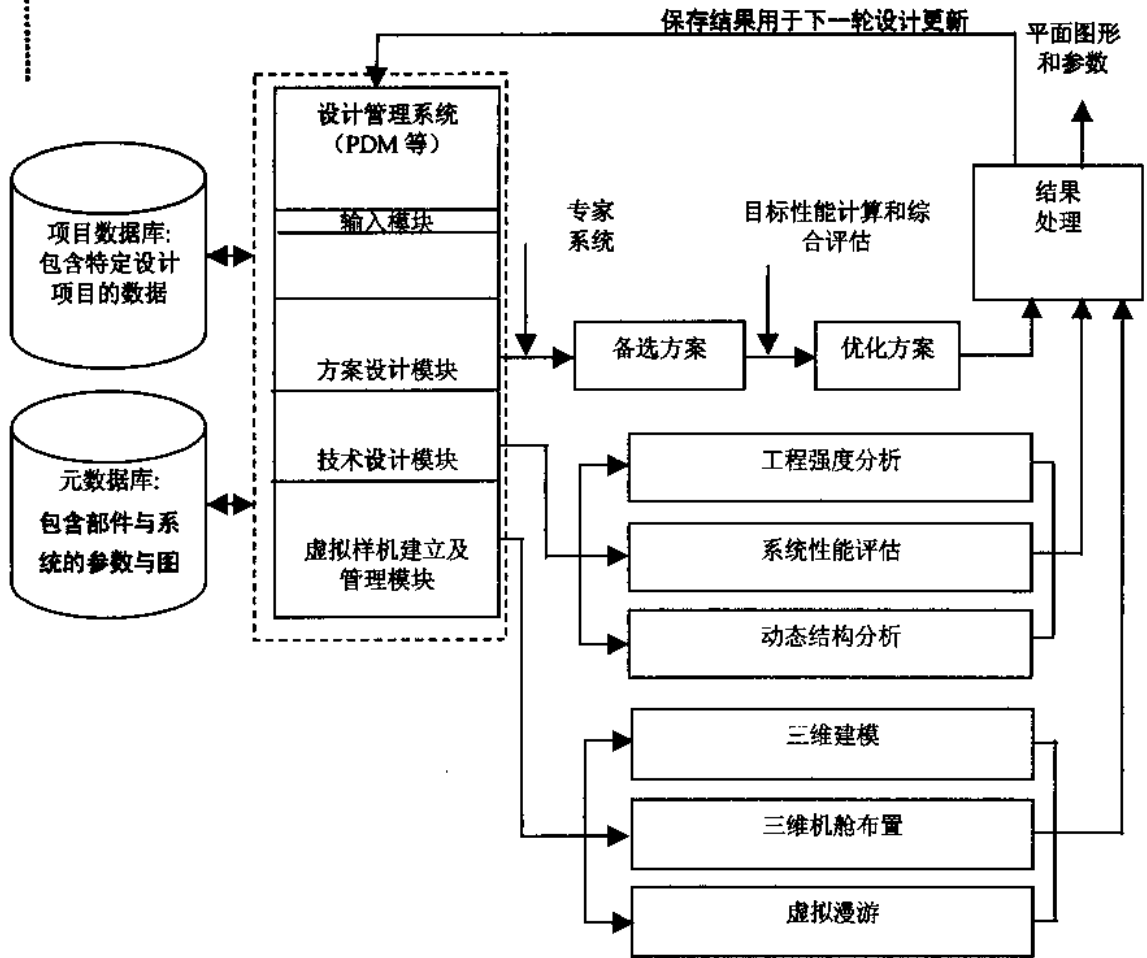


图1 舰船动力系统虚拟设计原理图

4 实例

为了实现以上讨论的虚拟设计方案,本文建立了初步的虚拟设计环境,其主要构成如下:

(1) 硬件环境。包括高性能图形工作站,实现三维产品模型的建立、装配、分析等任务;数据服务器,用于设计结果的保存并安装数据库;普通工作站,用于动力系统设计中大量设计任务所采用的不同软件的运行;局域网,将所有计算机集成到一起,便于实现数据管理和



分布式设计计算。

(2) 软件环境。包括 CATIA 为主的 CAX 系统, 广泛用于虚拟原型相关的各种任务; 自行开发的 PDM 软件, 用户集中管理数据、协调设计过程、良好集成多种通用及行业特殊软件; 其他动力系统设计软件, 如动力装置选型、轴系设计等。

目前针对某快艇的动力装置进行了虚拟建模研究, 其产品结构树及三维图形分别如图 2 和图 3 所示。该动力装置模型被成功用于运动仿真(用于模拟转舵、倒车等动作)和虚拟机舱的建立。



图 2 某主动力装置产品结构树



图 3 某主动力装置 CATIA 视图

5 结 论

从本文的论述可以看出, 基于虚拟现实和 CAX 技术的虚拟设计技术是目前在舰船动力系统设计中逐步得到应用的一个强有力的工具。通过对动力系统整体设计制定符合实际需要的建模标准和软件选择原则, 建立有效的工作流程, 能为这项庞大的系统工程节约大量的人力物力和时间, 提高设计质量。同时, 鉴于计算机技术的飞速发展, 要求每一位动力系统设计人员要紧跟潮流, 积极学习和采用新技术, 让动力系统设计这个传统的领域真正发挥出新的活力。

参考文献

- 1 Helvacioğlu S, Insel M. A reasoning method for a ship design expert system[J]. Expert Systems, 2005,22(2): 72-77.
- 2 Gischner B, Lazo P, Richard K, et al. Enhancing Interoperability Throughout the Design & Manufacturing Process [C]. SNAME Maritime Technology Conference & Expo 2005.
- 3 熊光楞, 范文慧, 陈晓波. 复杂产品开发的仿真技术[J]. 系统仿真学报, 2004 (16): 2.

VB 与 PLC 串行通信在柴油机控制系统中的应用

巫影, 夏极

(海军工程大学 船舶与动力工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘要: 介绍了 OMRON PLC 与 VB 串行通信, 并根据柴油机控制系统给出通信程序, 完成了串行通信。实践证明该方法有较大的利用价值, 能应用到各种场合。

关键词: OMRON PLC; VB; 串行通信

0 引言

PLC 是基于计算机, 且用于工业现场工作的电控制器。基于计算机使其不仅可以处理信息, 还可以与计算机信息交换, 从而可在计算机上存储信息、显示信息, 实现信息可视化。同时 PLC 又考虑了信息输入输出的可靠性、实时性以及工业环境的因素, 能够很好地适应工业控制的需要, 因此已广泛用于工业控制。

采用组态软件与 PLC 通信是一种很好的信息交换的方法。但对于小型控制系统, 为实现信息可视化而购买专用组态软件很不经济。为此, 采用基于 VB 的上位机 PC 与 PLC 通信的形式, 自行编程来实现对小型控制系统的可视化控制不失为一种经济可靠的方法。

1 某系统组成及功能简介

某艇柴油机进排气系统、燃油系统及冷却控制系统由 PLC 控制, 主要控制进气内外舌阀、排气内外舌阀、燃油压力、冷却水吸入与排出阀、燃油阀等, 同时能够监控集水箱水位、燃油管路进水与否及冷却水箱的水位等。PLC 采集控制开关的控制信号, 延时 3 s 后控制相应的阀门, 并在显示屏上显示相应阀门的状态。该系统 PLC 采取 OMRON, 配置为 CJ1M CPU22、3 个 OC211 模块、1 个 OD263 模块、2 个 ID262 模块。OMRON PLC 与 PC 上位机通过 RS232 串行通信。PC 上位机主要用于设置该系统控制开关的初始状态, 同时模拟给出主机控制台的控制信号。系统的组成如图 1 所示。

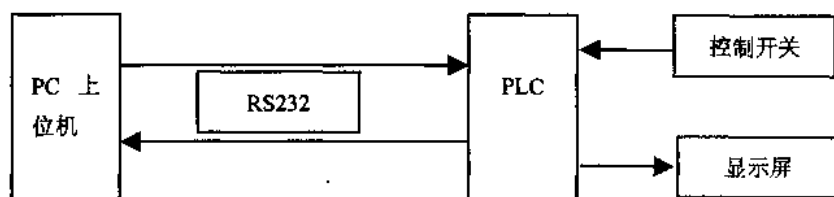


图 1 系统组成



2 通信方案的设计

PC 与 PLC 间采用串口进行数据通信。PLC 通信按通信发起方可分为主动通信和被动通信。计算机发起的通信称为被动通信,而 PLC 发起的通信为主动通信。由于本文 PC 与 PLC 通信主要是设置 PLC 参数及 CIO 对应的位及读取对应 CIO 位的状态,因此采用被动通信,主要通信命令在 VB 上完成。VB 提供一个名为 MSComm 控件用于串行通信,因此利用该控件可方便进行编程。

2.1 MSComm 控件简介

串行通信控件(MSComm)通过串行端口传输和接收数据,为应用程序提供串行通信功能。MSComm 控件提供事件驱动通信和检查 CommEvent 属性两种处理通信的方式。程序中一个 MSComm 控件只能对应一个串行端口。如果应用程序需要访问多个串口,必须使用多个 MSComm 控件。

2.2 MSComm 主要属性与事件

CommPort 属性 用于设置或返回通信端口号。

Settings 属性 用于设置并返回波特率、奇偶校验、数据位、停止位参数。

PortOpen 属性 用于设置或返回通信端口的状态。

Input 属性 用于从输入缓存区返回并删除字符。

Output 属性 用于往输出缓存区写入数据流。

CommEvent 属性 返回最近的通信事件或错误。只要有通信错误或事件发生时都会产生 OnComm 事件,CommEvent 属性存有该错误或事件的数值代码。

MSComm 控件的事件 OnComm 事件是 MSComm 控件的唯一事件,此事件可用来处理所有与通信相关的事件,不管是何种事件发生,MSComm 控件只用一个 CommEvent 的属性值予以代表。使用事件程序的好处是不需要一直让程序处于检查的状态,只要事先将程序代码写好,一有事件发生,就会直接执行相应的程序代码。

2.3 OMRON 串口通信命令格式

OMRON PLC 通信有两种通信协议:C 系列和 CV 系列机协议。其中 C 系列协议适合 OMRON 所有机型,该系列中 Host Link 协议的发送命令格式为图 2 所示。

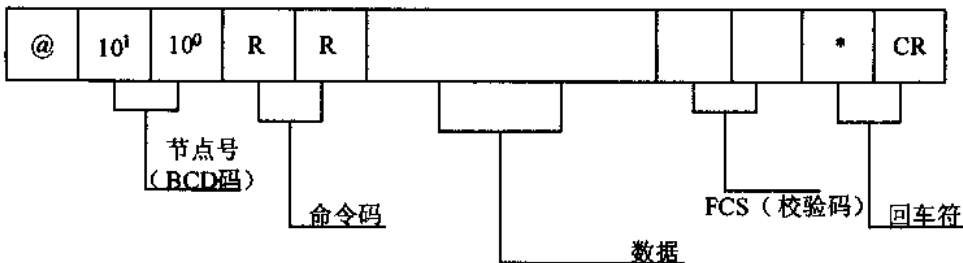


图 2 发送命令格式

相应的接收数据格式如图 3 所示。

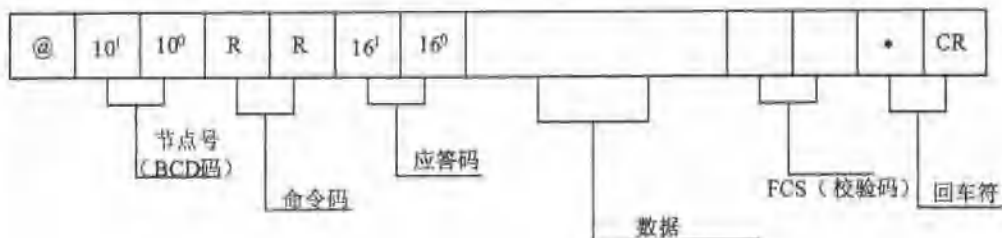
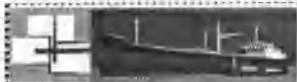


图3 接收命令格式

节点码为 PLC 的编号，在本文中为 00。OMRON 通信协议定义有很多种命令码。本文主要用到 RR 和 WR，其中 RR 是从指定的字开始，读出 CIO 区域指定数量的字的内容，WR 是从指定的字开始，将指定数据（仅限于字单元）写入 CIO 区域。其他命令码用法相同。

应答码依命令码的不同而不同。如命令码为“RR”，则 00 为正常通信；13 为 FCS 错误；14 为格式错误等。

3 通信的实现

3.1 上位机中 VB 设计

VB 中 PC 上位机主要用于设置该系统控制开关的初始状态，同时模拟给出主机控制台的控制信号。因此主要是设置参数及监控阀门状态。设置参数设计使用参数界面，界面如图 4。点击相应按键，便可以方便设置各阀门及水位等的状态，设置完成后点击“开始设置”按键，如通信成功则在文本框中显示“通信成功”。反之显示“通信失败”。按“结束”按键程序结束。监控界面则是读取 PLC 状态，从而动态显示各阀门的实时状态。本文仅以设置界面为例。



图4 VB 设置界面



3.2 通信的实现

以实际程序为例,说明 VB 与 PLC 串行通信的实现。

MSComm1.CommPort = 2 设置串行端口为端口 2

MSComm1.Settings = "9600,e,7,2"设置波特率为 9600, 偶校验, 7 位数据位, 2 位停上位

MSComm1.PortOpen = True 串行端口打开

以下为通信数据的建立

If bbb(1) < 16 Then

s\$ = "@00WR0003000" + LTrim(c\$)

End If

If bbb(1) > 255 And Hex(bbb(1)) < 4096 Then

s\$ = "@00WR00030" + LTrim(c\$)

End If

If bbb(1) > 15 And bbb(1) < 256 Then

s\$ = "@00WR000300" + LTrim(c\$)

End If

If bbb(1) > 4095 Then

s\$ = "@00WR0003" + LTrim(c\$)

End If

ss\$ = s\$ + Itrim(FCS(s\$))

sss\$ = ss\$ + Chr\$(13)

MSComm1.Output = sss\$ + Chr\$(13) 输出为 "@00WR00003****" + FCS + "*" + "CR"

Do 接收数据返回

dummy = DoEvents()

Loop Until MSComm1.InBufferCount >= 15

instring = MSComm1.Input

If Mid(instring, 6, 2) = "00" Then 通信完成显示 "通信成功"

Text1.Text = "通信成功"

Else: Text1.Text = "通信失败" 反之显示 "通信失败"

End If

MSComm1.PortOpen = False 串行端口关闭

3.3 FCS 的实现

FCS 是从帧的开始字符 ASCLL 码到帧的最后一个字符的 ASCLL 码进行异或, 然后转换成 2 个 ASCLL 字符的 8 位数。具体程序如下:

b% = 0

m% = Len(a\$)

For i% = 1 To m%

```
b% = b% Xor Asc(Mid(a$, i, 1))  
Next i%  
FF$ = Hex$(b%)  
If Len(FF) = 1 Then  
    FF$ = "0" + FF$  
End If  
FCSS$ = FF$ + "*"
```

4 结 论

本文中 PC 上位机采用 VB 与 PLC 串行通信实现对 PLC 参数的设置及监控,不但经济方便,而且具有较高的可靠性,在小型 PLC 监控系统有较大的利用价值。但串行通信速率相对较慢,在实时性要求较高的场合中不宜应用。

参考文献

- 1 求是科技. Visual Basic 6.0 程序设计与开发技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004: 377-381.
- 2 CJM-CPU. 可编程序控制编程手册[M]. OMRON, 2003: 263-267.
- 3 CJ1M-CPU. COMMUNICATIONS COMMANDS REFERENCE MANUAL[M]. OMRON, 2003: 66-67, 74.
- 4 宋伯生. PLC 编程理论算法及技巧[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 525-527.
- 5 宋万清. Labview 实现 RS232 协议 FCS 校验码运算[J]. 仪器仪表用户, 2005(2): 73-74.



计算机在船舶控制系统的探讨与研究

才振洲, 王少毅

(大连大工安道船舶技术有限公司, 辽宁 大连, 116001)

摘要: 船舶控制是计算机的一个重要应用领域, 计算机过程控制正是为了适应这一领域而发展起来的一门专业技术, 本设计在阐述计算机过程控制的基本概念的基础上, 以 MCS-51 系列单片机 8031 为核心, 设计了一个基于单片机的计算机过程控制系统。

关键词: 船舶; 控制系统; 计算机应用

1 计算机控制的一般概念

计算机控制系统由计算机和被控制对象及测量部分组成。在船舶的自动控制系统中, 虽控制对象、控制规律和控制器结构的不同而有很大的差别。一般的自动控制系统中, 为了获取信号, 要将被控制量 y 与给定值 W 相比较, 已构成误差信号达到时被控制量 y 趋于给定值 W 的控制目的。这种控制, 由于被控制量是控制系统的输出, 被控制量的变动着的值又反馈到控制系统的输入端, 与作为系统输入量的给定值相减, 所以称为闭环反馈系统, 如图 1 所示。计算机控制系统和一般自动控制系统一样, 也有开环和闭环两种。控制系统中引进计算机, 就可以充分运用强大的计算、逻辑判断和记忆等信息加工能力。只要运用微处理器的各种指令, 就能实现对被控参数的控制。而在一般的控制系统中, 系统的控制规律的改变只要改变程序就可以了。

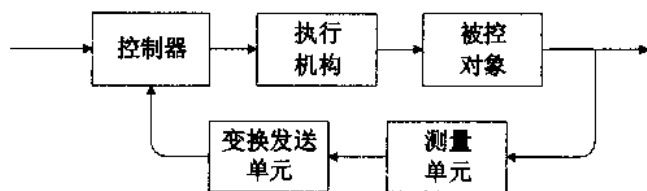


图 1 闭环控制系统图

这种负反馈控制时自动控制的基本形式。如果把图 1 的控制器用计算机代替, 这样就可以过程计算机控制系统, 其基本框图如图 2。

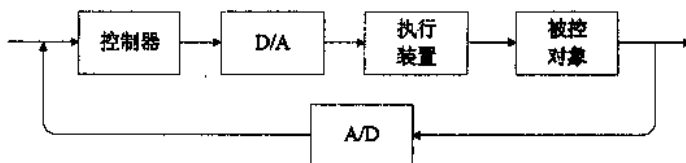


图 2 计算机控制系统基本框图



计算机控制系统中, 计算机的输入和输出都是数字信号, 因此, 在这样的控制系统中, 需要有模拟信号转换成数字信号的 A/D 转换器, 以及将数字控制信号转换为模拟信号的 D/A 转换器。

计算机控制系统, 从本质上来看, 它的控制过程可以归结为以下三个步骤:

(1) 实时数据采集 对被控参数的瞬时值进行检测, 并输入。

(2) 实时决策 对采集到被控参数的状态量时行分析, 并按一定的控制规律, 决定进一步的控制过程。

(3) 实时控制 根据决策, 适时的对控制机构发出控制信号。

上述过程不断重复, 使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作, 并且对被控参数和设备本身的异常状态进行监督并做出迅速处理。对微处理器来讲, 控制过程的三个步骤, 实际只是执行算术、逻辑操作和输入、输出操作。

所谓“实时”是指信号的输入、计算和输出都要在一定的时间内完成, 亦即计算机对输入信息足够快的速度进行处理, 并在一定的时间内做出反应或进行控制, 超出这个时间, 就失去了控制的时机, 控制也就失去了意义。实时的改变不能脱离具体过程。

2 计算机过程控制系统的组成

船舶航行中, 控制的微型计算机系统必定是一个实时控制系统, 它包括硬件和软件两部分。

2.1 硬件组成

计算机控制的组成方式和层次取决于船舶的自动化程度的要求, 在此我们研究的是位于直接层次的、与控制过程发生直接联系的计算机控制系统的组成, 如图 3 所示。

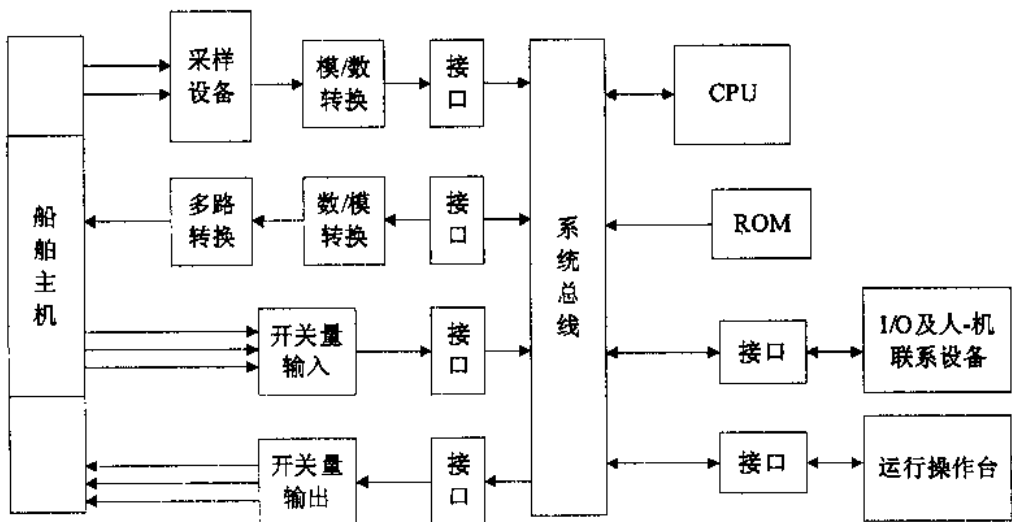
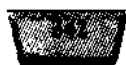


图3 微型机控制系统硬件一般组成图

如图 3 所示, 微型计算机控制系统的硬件一般包括 CPU、内存储器以模数转换和数模转





换为核心的模拟量输入/输出通道,开关量输入/输出通道、I/O及人一机联系设备,运行操作台等几部分。他们通过微机处理器的系统总线(数据总线、地址总线和控制总线),构成一个完整的系统。

(1) 主机。微处理器是控制系统的核心,他和内存存储器一起通常称为主机。主机根据过程输入通道发送来的工业对象的生产工况参数,按照人们预先安排的程序,自动的进行信息处理、分析和计算,并租出相应的控制决策或调节,以信息的形式通过输出通道,及时发出控制命令。主机中的程序和控制数据是人们事先根据控制规律安排好的。系统启动后,微处理器就从内存存储器中逐条取出指令并执行之。于是,整个系统就按人们事先设定的规律,一步步地工作。

(2) 常规外部设备。常规外部设备,按功能可分为三类:输入设备、输出设备和外存储器。外部设备配备多少,要视具体情况而定。

(3) 输出输入通道。过程输出输入通道,又称过程通道。船舶主机控制过程参数一般是非电量的,需经传感器转换为等效的电信号。为了实现计算机对工况参数的控制,必须在计算机和控制过程之间设置信息的传递和变换的连接通道,这就是过程的输入输出通道。

过程通道一般分为:模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道、开关量输出通道。

检测变送单元和执行单元,归属于自动化仪表,系统设计人员对它们应有一般的了解和选用知识。

(4) 接口电路。外部设备和过程通道是不能由主机直接控制的,必须由接口来传送相应的信息和命令。

微型机控制系统的接口,根据应用不同,由各种不同的接口电路。从广义上讲,过程通道属于过程参数和主机之间的专用接口。这里讲的接口属于通用接口电路,一般由并行接口、串行接口和管理接口(包括中断管理、直接存取DMA管理、计数/定时等)。

对微型机控制系统的设计人员来说,应该在集成化标准的可编程序接口电路中,熟练的选择接线口电路并配上简单的硬件,组成完整的符合要求的接口。

(5) 运行操作台。每台微型机原来都有一套键盘控制台,它是用来直接与CPU进行对话的。程序员可用这个控制台来检查程序;当主机硬件发生故障时,维修人员可以利用这个控制台判断故障。操作管理人员必须对微机控制系统进行对话以了解控制参数工况的状态,有时必须修改控制系统的某些参数,以及发生故障时进行人工干扰。

2.2 软件组成

微型机控制系统的硬件,只是控制系统的躯体,而各种程序是控制系统的大脑和灵魂,统称为软件。他是人的思维与机器硬件之间的桥梁。软件的优劣关系到计算机的正常运行、硬件功能的充分发挥和推广应用。程序系统一般包括操作系统、监控程序、程序设计语言、编译程序、检查程序及应用程序等。软件通常分为两大类:一类是系统软件,另一类是应用软件。由于计算机系统硬件的迅速发展和应用领域的不断扩大,故系统软件和应用软件发展也很快,且种类繁多。

不同控制对象和不同的控制任务在软件组成上有很大的区别。在均衡系统硬件和软件功

能, 确定系统硬件后, 才能去确定如何配置软件。在微型机控制系统中, 每个控制对象或控制任务都一定要配有相应的控制程序, 用这些控制程序来完成各个控制对象的不同要求。这种控制目的而编制的程序, 通常称为应用程序。

在控制系统中, 应用程序是一个直接的控制程序, 而其他的程序往往是为它服务的。所以, 应用程序的优劣会给系统的精度和效率带来很大的影响。

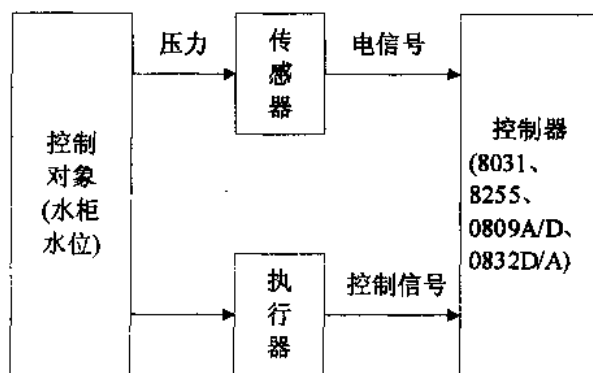
从系统功能来看, 除作为核心的监控程序外, 可分为前沿程序、服务型程序和后沿程序三部分。前沿程序是指那些直接与控制过程有关的程序, 即这些程序直接参与系统的控制过程, 这是保证系统完成基本工作的部分; 服务型程序对所有外围设备控制和人—机联系等工作的程序。它和控制过程没有直接关系, 但它承担的工作是系统所不可少的; 后沿程序是指那些与系统控制过程完全无关的部分, 如对系统各种硬件和软件进行考察的程序, 它们的工作只是保证系统能可靠的运行, 而且这些程序只是利用系统过程所留下的空隙时间来运行的, 不合其他程序一起参与对微型机资源的竞争。一个小规模的控制系统, 至少包括最初始的监控程序和一个前沿程序。

下面我们将以 MCS—51 系列的单片机 8031 来设计一个通用的控制系统。

3 单片机 8031 实现的控制系统的设计

3.1 系统硬件设计

在主机自动控制过程中, 许多场合要求主机冷却水压力值保持在某一范围内恒定, 下面我们将要设计一个单片机过程控制系统来控制主机冷却水位和压力。该系统有过程调节系统和过程控制系统两部分组成, 过程调节系统包括电动执行机构、调节阀、流量变送器、液位变送器、储水柜、水泵等组成; 过程控制系统由单片机、显示器、键盘等组成。其基本结构如图 4。



本系统是以水柜为控制对象, 水柜底下装有压力传感器, 由于压力与水位高度呈线性关系, 以控制压力来取代控制水位高度, 压力传感器将压力信号转换变位电信号, 送入 A/D 转换器 0809 将模拟信号转变为数字信号后送入单片机 8031 控制器, 经与给定值比较后, 输出控制信号经数模转换器 DAC0832L 输出模拟信号, 再经放大后输入执行器来控制阀的开启度以





便控制水的流量, 进而来控制水位的高度。

本系统在进行试验时, 存在着一定的误差, 尤其是在设定值越大的情况下, 误差越大, 发现水柜底下的压力传感器的先行度不够, 导致在给定值增大时, 实际水柜水位偏差较大, 故建议增大压力传感器的线性度, 改进目前的传感器线性度或更换线性度高的传感器。

(1) 单片机系统设计

系统的硬件图如图 5 所示。

系统采用 MCS-51 系列的单片机 8031, 这是 Intel 公司 80 年代推出的单片 8 位计算机。从应用角度来看, 它有以下优点:

集成度高: 单片的 8031 内含有 128 字节的 RAM, 4 个 8 位并行口, 一个全双工的串行口, 两个 16 位定时 / 计数器, 片内的时钟振荡器、两种优先级的五个中断源的中断结构、64K 的程序存储器地址空间和 64K 的数据存储器地址空间。并且, 由于集成度高、焊点少, 可靠性也大大提高。

速度快、处理能力强 8031 指令系统含有大量的算术运算、布尔运算和逻辑判断、转移指令, 并且有丰富的位操作功能。它执行一条单字节的乘法指令仅需 $4\mu\text{s}$, 这个速度足以满足主机冷却水位控制系统的要求。

可扩充性能好, 寻址范围大, 另外, 8031 还具有特殊的多机通信功能很适合于用作分布是控制系统中的直接控制级。

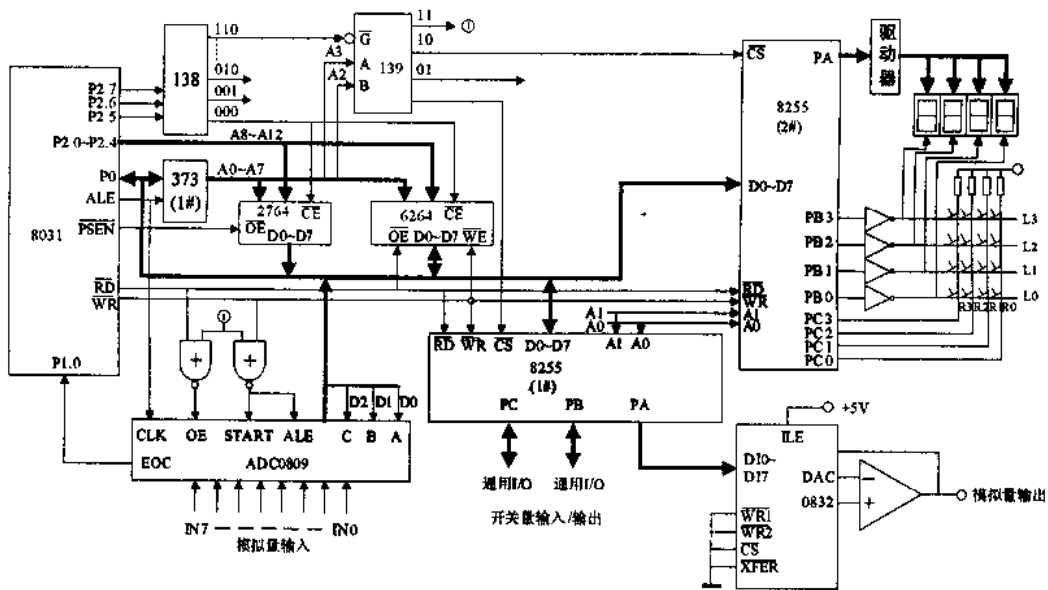


图 5 硬件电路图

(2) 模拟量输入

模拟量输入是先通过 A/D 转换器将模拟量转换为数字量, 再由 CPU 读取转换接过的方法实现的。

A/D 转换器: 本电路中采用的 A/D 转换器是一片具有 8 位分辨率的 ADC0809 芯片, ADC0809 芯片是一种逐次逼近式的 A/D 转换器, 可以和微机直接接口。ADC0809 有 8 路模

拟开关、地址锁存与译码器、比较器、256电阻阶梯，树状开关、逐次逼近式寄存器 SAR、控制电路和三态输出锁存器等组成，如图 6 所示。

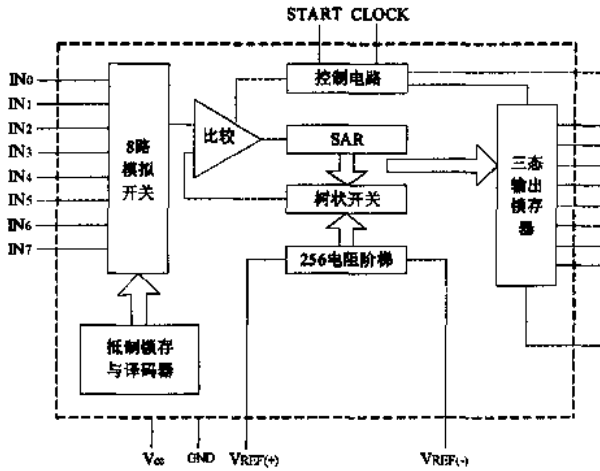


图 6 0809 组成框图

(3) 模拟量输出

在计算机系统需要驱动外部执行机构的场合，往往要将计算机输出的数字量转换为执行机构所能接受的模拟量。计算机的模拟量输出是通过数/模拟转换器来实现的，这里采用的数模转换器为 DAC0832。内部由三部分组成，如图 3-5 所示。“8 位输入寄存器”用于存放 CPU 送来的数字量”，使输入数字量得到缓冲和所存，由 \overline{LE}_1 加以控制。“8 位 DAC 寄存器”用于存放待转换数字量，由 \overline{LE}_2 控制。“8 位 D/A 转换电路”，有 8 位 T 型电阻网络和电子开关组成，电子开关受“8 位 DAC 寄存器”输出控制，T 型电阻网络能输出和数字量成正比的模拟电流。

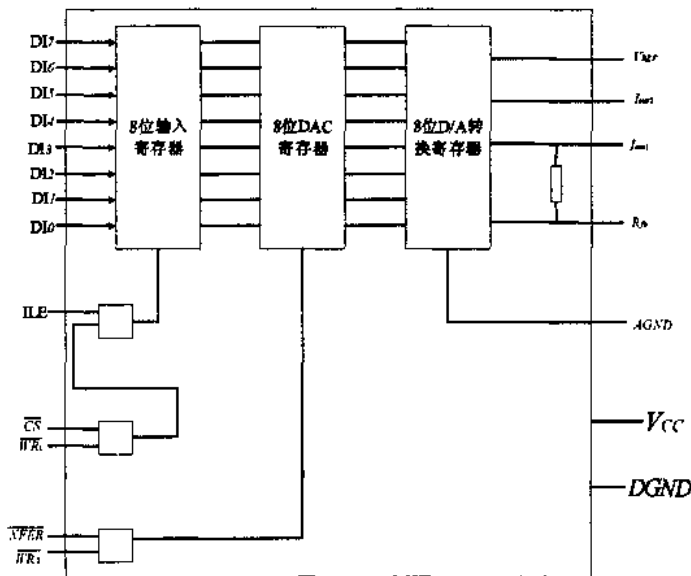


图 7 DAC0832 原理图



3.2 数字 PID 控制算法

按偏差的比例积分和微分进行控制的调节器(即 PID 调节器),是连续系统中技术成熟,应用最为广泛的一种调节器,他的结构简单,参数易于调整,在长期应用中以积累了丰富的经验,特别在船舶自动控制过程中,由于控制对象的精确数学模型难以建立,系统的参数又经常发生变化,运用现代控制理论分析综合要耗费很大代价进行模型辨识,但往往不能得到预期的效果,所以人们常采用 PID 调节器,并根据经验进行在线整定,随着计算机特别是微机技术的发展, PID 控制算法能用微机简单实现。

(1) 模拟 PID 调节器

PID 调节器是一种现行调节器,这种调节器是将设定值 w 与实际输出值 y 进行比较构成控制偏差

$$e = w - y$$

并将其比例积分和微分通过线性组合构成控制量,在实际应用中,根据对象的特性和控制要求,也可灵活的改变其结构,取其中一部分环节构成控制规律,在这里,我们只是简要介绍一下比例微分积分调节器。

为了弥补比例积分的缺陷,加快控制过程,我们在其中加入了微分环节,来对偏差量作出即时反应,对偏差量的变化作出反应,或者说按偏差变化的趋向进行控制,使偏差消灭于萌芽状态之中,可以得到 PID 调节器的如下控制规律

$$u_d = K \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) + u_0 \quad (1)$$

(2) 数字 PID 控制算法

由于计算机控制室有一种采样控制,它只能根据采样时刻的偏差值计算控制量,因此积分和微分向不能直接准确计算,只能用数值计算的方法逼近。在采样对刻 $t=iT$ (T 为采样周期),因此, PID 调节器规律可通过数值公式

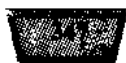
$$u_d = K \left[e_i + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^i e_j + \frac{T_d}{T} (e_i - e_{i-1}) \right] + u_0 \quad (2)$$

近似计算。如果采样周期 T 入的足够小,这种逼近可相当准确,被控过程与连续过程十分接近,这种情况就是“准连续控制”。

式(1)表示的控制算法提供了执行机构的位置 u_i (如阀门的开度),所以称为位置式 PID 控制算法。当执行机构需要的不是控制量的绝对数值,而是其增量时,由式(2)可导出提供量的 PID 算法,这只要将 u_i 和 u_{i-1} 相减可导出公式

$$\Delta u_i = u_i - u_{i-1} = K \left[e_i - e_{i-1} + \frac{T}{T_i} e_i + \frac{T_d}{T} (e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}) \right] \quad (3)$$

该式称为增量式 PID 控制算法。两种算法的结构比较如下



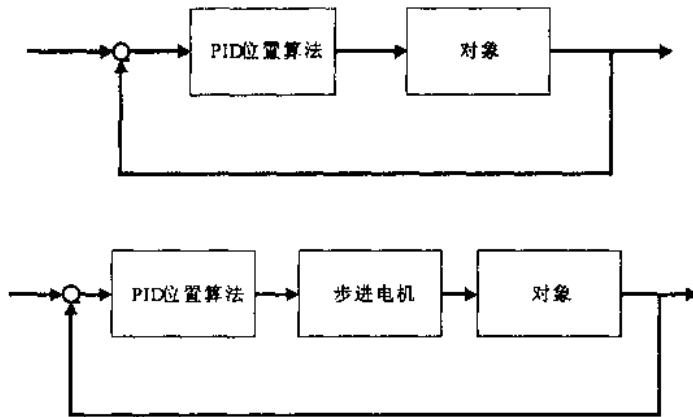


图8 位置式与增量式PID控制算法示意图

式(3)也可以进一步改写为

$$\Delta u_i = d_0 e_i + d_1 e_{i-1} + d_2 e_{i-2} \quad (4)$$

其中,

$$d_0 = K \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right), \quad d_1 = -K \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right), \quad d_2 = K \frac{T_d}{T}$$

可见增量式算法只需要保持先是以前三个时刻的偏差值即可。

增量式PID算法与位置式相比,有以下优点:

位置式算法每次输出与整个过去状态有关,计算式中要用到过去偏差的累加值 $\sum_{j=0}^i e_j$,

容易产生较大的积累误差。而增量式只需计算增量,当存在计算误差或精度不足时,对控制量计算的影响较小。

控制从手动切换到自动时,必须首先将计算机的输出值设置为原始阀门开度 u_0 才能保证切换。此外,在计算机发生故障时,由于执行专职本身有寄存作用,故可仍然保持在原位。

因此,在实际控制中,增量式算法要比位置式应用更为广泛。

3.3 对标准PID算法的改进

(1) PID位置算法的积分饱和作用及其抑制

在实际过程中,控制变量因受到执行元件机械和物理性能的限制而在优先范围内,即 $u_{min} \leq u \leq u_{max}$ 。



如果由计算机给出的控制量 u 在上述范围内，则控制可以按预期的结果进行。一旦超出上述范围，实际习性的控制量就不再是计算值，由此将引起不期望的效应，即饱和效应。克服积分饱和作用很多，有遇限削弱积分法、积分分离法等。遇限削弱积分法的思想是：一旦控制变量进入饱和区，将只执行削弱积分项的运算而停止进行增大积分性的运算。积分分离法在开始时不进行积分，只值偏差达到一定之后才进行积分积累。这样，一方面防止了一开始时过大的控制量，另一方面及时进入饱和后，因积分累积小，也能较快退出，减少了超调。两种算法的框图如下：

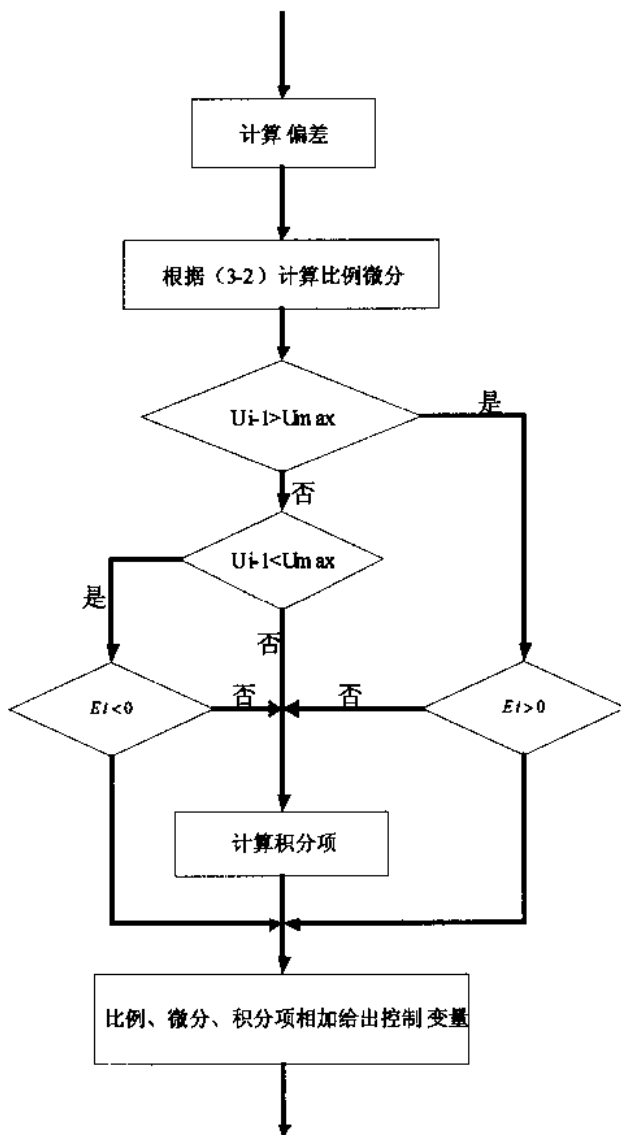


图 9 采用遇限削弱积分的 PID 位置算法

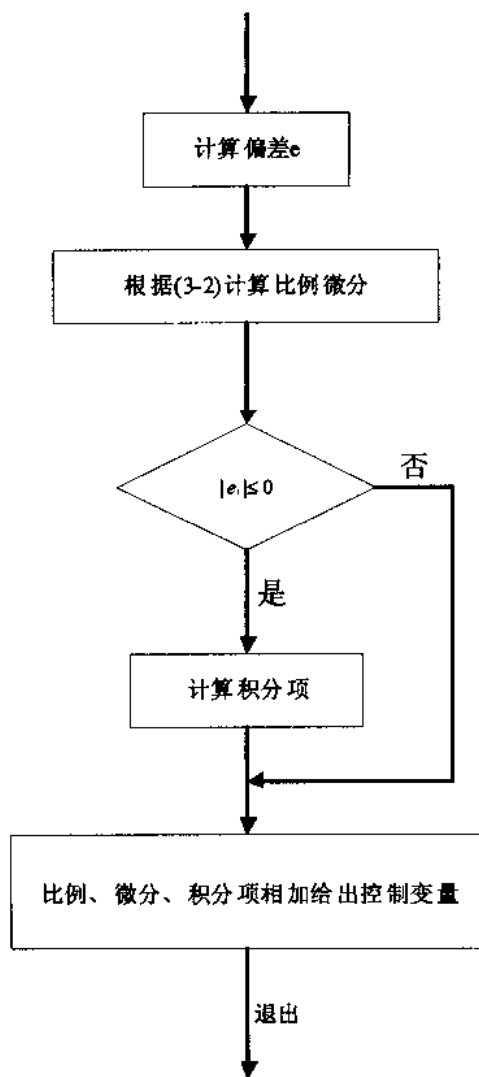


图 10 采用积分分离法的 PID 位置算法

(2) PID 增量算法的饱和作用及其抑制

在 PID 增量算法中, 由于执行元件本身是机械或物理的积分储存单元, 在算法中部出现累加和式, 所以不会发生位置那样的累积效应, 这样就直接避免了导致大幅度超调的积分累积效应。这是增量算法相对于位置算法的一个优点。但是, 在增量算法中, 却有可能出现比例及微分饱和现象。特别在给定值发生跃变时, 由算法的比例部分和微分部分计算出的控制增量可能比较大。如果超过了执行元件所允许的最大限度, 那么实际上实现的控制增量将是限制的值, 计算值的多余信息没有执行就遗失了, 这部分遗失的信息只能通过积分部分来补



偿。因此,与没有限时相比较,系统的动态过程将变坏。

纠正比例和微分饱和的办法之一是积累补偿法。其基本思想是将那些因饱和而未能执行的增量信息积累起来,一旦可能时,再补充执行。这样信息就没有仪式,动态过程也得到了加速。如果计算出来的 Δu 越界,那末,多余的未执行的控制增量将存储在累加器中。一旦控制量脱离了饱和区,累加其中的量将全部或部分的夹道计算出的控制量上,以补充由于限制而未能执行的控制。

使用累积补偿法虽然可以抑制比例和微分饱和,但由于引入的累加器具有积分作用,使得增量算法中也可能出现积分饱和现象。为了抑制它,在每次计算积分项时,应判断其符号是否将继续增大累加器的积累。如果增大,则将积分将略去,这样,可以使累加器的数值积累不致过大,从而避免了积分饱和现象。

4 采样周期的选择

数字PID控制算法是建立在用计算机连续PID控制进行数字模拟的基础上的控制。该方式要求采样周期与系统时间常数相比充分小。采样周期越小,数字模拟越精确,控制效果就越接近连续控制。但采样周期的选择时受到多方面因素影响的。

从对调节品质的要求来看,似乎硬件采样周期取得小些,这样在按连续系统PID调节选择整定参数时,可得到较好的控制效果。但实际上调节质量对采样周期的要求有充分的余度。根据香农采样定理,采样周期只需满足

$$T \leq \frac{\pi}{w_{\max}}$$

其中, w_{\max} 为采样信号的上限角频率,那么采样信号通过保持环节仍可复原为模拟信号,而不丢失任何信息。因此香农采样定理给出了采样周期的上限,在此范围内,采样周期越小,就越接近连续控制,采样周期大些也不会失去信号的主要特征。

从执行远见的要求来看,有时需要输出信号保持一定的宽度,否则,上一输出值还未实现,马上又转换为新的输出值,执行元件就不能按预期的调节规律动作。

从控制系统随动和抗干扰的性能要求来看,则要求采样周期短些,这样,给定值的改变可以迅速地通过采样得到反映,而不致在随动控制中产生大的时延。此外,对低频扰动,采用短的采样周期可以使之迅速得到校正并产生较小的最大误差。对于中频干扰信号,如果采样周期选大了,干扰就有可能得不到控制和抑制。因此,如果干扰信号的最大频率值已知,可根据香农采样定理来选择采样周期,以使干扰尽可能得到调节。

从计算机的精度看,过短的采样周期是不适合的。因为工业控制用的微型机字长一般较短,且为定点机,如果采样周期过短,前后两次采样的数值之差可能因计算机精度不高而反映不出来,使调节作用因此而减弱。

5 数字PID控制算法程序流程

在控制过程设计中,使用的是PID的增量式控制算法,增量式相对于位置式的优点在上

面我们已经提到了,下面是增量式PID控制算法子程序的流程图。

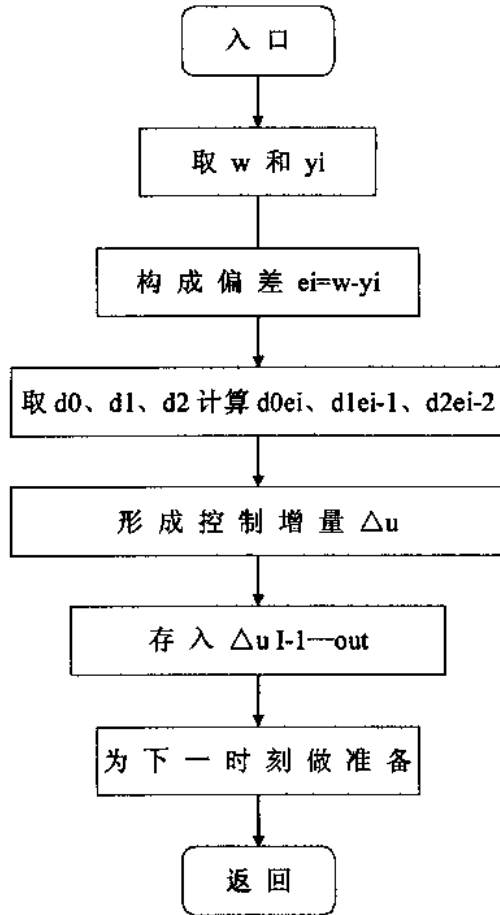


图 11 增量式PID控制算法子程序流程图

6 结束语

科技在不断地发展,计算机控制技术必将有更大的发展空间和用武之地。本设计基于传统的控制设计思路,应用INTEL公司生产的MCS-51单片机8031的过程控制设计。

参考文献

- 1 谢剑英编著. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- 2 胡汉才编著. 单片机原理及其接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- 3 冯品如编著. 计算机过程控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- 4 任成玉编著. 计算机控制技术与系统[M]. 北京: 华北电力出版社, 1998.
- 5 于海生等编. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.



船舶电站微机控制系统中改进型电子测功装置设计

黄朝明, 冯 惠

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要:在船舶电站自动控制过程中, 必须有测量发电机三相有功功率的装置—测功器。其准确度和可靠性对电站自动控制的质量是非常重要的。在“模拟集成乘法器”集成芯片出现之前, 测功器常由半导体分立元件组成的“相敏电路”来实现。随着微机控制技术和模拟集成电路的发展, 需要一种适合与微机接口的电子测功装置。本文以“模拟集成乘法器”为核心设计了新一代电子测功器的原理。

关键词: 船舶电站; 微机控制; 测功器; 模拟集成乘法器

0 引 言

相对负载而言, 船舶电站的容量是较小的, 一台较大的电器设备起动和停车都可能引起电网电压的波动, 影响电网的正常运行。如何准确地测量电网负荷的变动情况, 适时快速地作出响应, 是电网稳定可靠运行的保障, 所以在船舶电站自动化系统中, 发电机功率测量和调节是必不可少的。过去对功率的测量通常是根据相敏电路原理, 采用“双表法”去获得。随着微机和模拟集成电路的发展, 近年来一种适合与微机接口的模拟集成电路组成的电子测功装置出现在自动化的船舶电站中。本文将介绍一种新型的电子测功装置的设计思想和实现方法。

1 理论依据

由电路原理可知, 对图 1 所示的任意无源电路, 如外加电压为 $u(t)$, 流入的电流为 $i(t)$, 则无论其波形如何, 任一瞬间吸收的功率为当时的电流和电压的乘积 $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ 。通常船上采用的是正弦电制, 故设电压和电流分别为



图 1

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin \omega t$$

其中, φ 为两者之相位差, 大小取决于负载性质。这样

瞬时功率可表示为

$$\begin{aligned} p(t) &= u(t) \cdot i(t) \\ &= 2UI \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi) \end{aligned} \quad (1)$$

由 (1) 式可以画出如图 2 所示的电压、电流和功率之间的波形关系图。

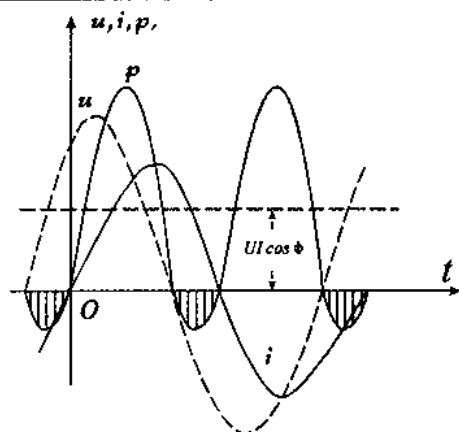


图2

由式(1)和图2可以清楚地看到,瞬时功率 $p(t)$ 是由两部分组成,其一为恒定分量 $UI \cos \varphi$ 。它不仅与 $u(t)$ 和 $i(t)$ 的有效值有关,还与 $\cos \varphi$ 成正比,这是电路吸收的有功功率;其二是为两倍电源频率的谐波分量。它反映了 $p(t)$ 的变化速率。由此可知,要测量电路的有功功率只要把 $u(t)$ 与 $i(t)$ 相乘,然后滤除谐波分量,保留恒定分量即可。

这就是电路功率测量的思路,它同样适用于发电机输出功率的测量。

2 电路实现

由上述分析可知发电机输出功率的测量应含有以下几个基本环节:

- (1) 信号采集电路。完成发电机输出电压和电流的采样;
- (2) 运算电路。实现对电压和电流的相乘;
- (3) 滤波电路。完成滤除二次谐波的任务;
- (4) 转换和数字处理电路,提供有效数据给微机控制系统。

其基本结构的框图为图3所示。

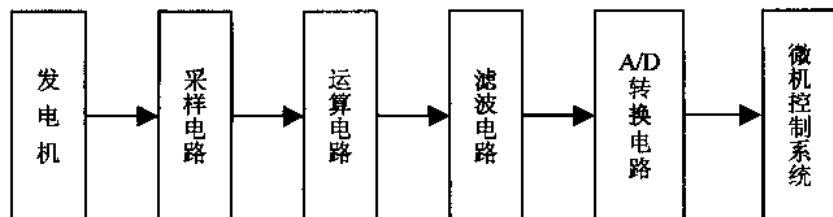


图3

上面是我们从单相电路导出的有功功率的理论公式和测量的电路框图。但是船舶发电机多为三相电源,如何用图3的电路测量三相电源的有功功率呢?

2.1 信号采样电路

船舶发电机发出的是三相对称电源。在三相对称电源中,每相输出的瞬时功率在数值上是相等的,即





$$p_A(t) = p_B(t) = p_C(t) = u_A(t) \cdot i_A(t)$$

而三相瞬时功率为任一相瞬时功率的三倍, 以 A 相为例有:

$$p(t) = 3p_A(t) = 3u_A(t) \cdot i_A(t) \quad (2)$$

由上式可见, 只要把 $u_A(t)$ 或 $i_A(t)$ 扩大三倍, 即可得到三相瞬时总功率。一般发电机的端电压是比较稳定的, 而电流随负载变化比较大, 所以取三倍相电压比较方便。

(1) 电压采样

设: 发电机的三相对称相电压分别为

$$u_A(t) = U_{am} \sin \omega t$$

$$u_B(t) = U_{bm} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C(t) = U_{cm} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

则可以证明线电压为

$$u_{AB} = u_A - u_B = \sqrt{3}U_{am} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

$$u_{AC} = u_A - u_C = \sqrt{3}U_{am} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})$$

令: $u_{mn} = u_{AB} + u_{AC}$

则有:

$$\begin{aligned} u_{mn} &= \sqrt{3}U_{am} [\sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) + \sin(\omega t - \frac{\pi}{6})] \\ &= \sqrt{3}U_{am} (2 \cos \frac{\pi}{6} \sin \omega t) \\ &= 3U_{am} \sin \omega t \end{aligned} \quad (3)$$

可见, $u_{mn}(t)$ 与 $u_A(t)$ 同相位, 且为 $u_A(t)$ 的三倍。三相对称正弦波之间的这种关系可以用图 4 所示的相量图表示。由此可以采用如图 5 所示的电压采样电路。

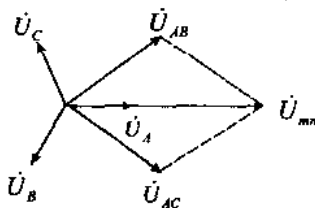


图 4

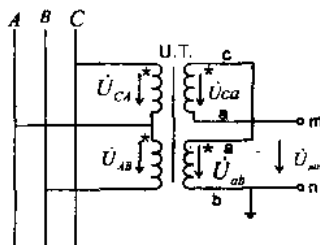


图 5

(2) 电流采样

基于以上的分析和实际情况的要求, 电流采样电路应按以下几方面设计: ①采样信号应取自与电压同一相的电流, 即 A 相电流; ②船舶发电机的端电压只有固定的几种, 而容量的



差别却很大,所以电流采样电路要有较宽的调节范围;③本电路是采用模拟乘法器作为乘法运算电路,只能用电压信号,所以式(1)中的电流应转换成电压,同时为了获得高的转换精度,应采用高输入阻抗的集成运算放大器构成电流—电压转换电路。本例采用如图6所示的电流采样电路。由于图中的集成运算放大器的输入阻抗高,输入偏置电流接近于零,所以转换精度仅决定外接电阻网络的精度。

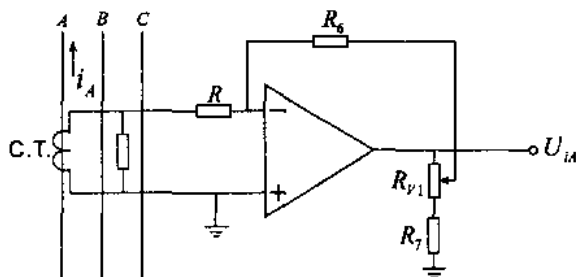


图6

$$u_{iA} = k \cdot i_A$$

式中: k 为比例系数。

2.2 乘法运算电路

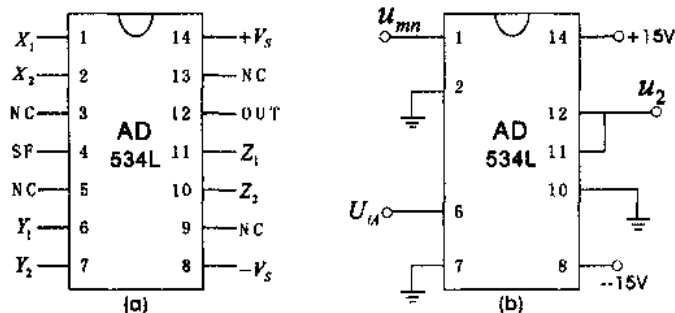


图7

由于集成模拟乘法器的面市,为电功率的测量带来了方便。它是一种可以实现两个电压信号相乘的电子器件,利用它来完成式(1)中 $U \times I$ 的运算电路是合适的。它具有体积小,重量轻,外接元件少,工作可靠,运算精度高,而且便于与微机接口等许多优点。本例采用的是 AD534。它是一种变跨导的四象限模拟乘法器,运算误差小于 0.25%,工作频率不小于 3MHz。图7(a)是它的管脚图,共有 14 根引线。其中 1 和 2, 6 和 7, 10 和 11 分别为电压信号的输入端,可完成三个电压量的相乘运算。把采样电路得到的电压信号 u_{mn} 和电流信号 u_{iA} 分别与 1 端和 6 端直接相连,从 12 端输出,便得到 u_{mn} 与 u_{iA} 相乘的功率信号。电路如图 7(b) 所示。

2.3 滤波电路

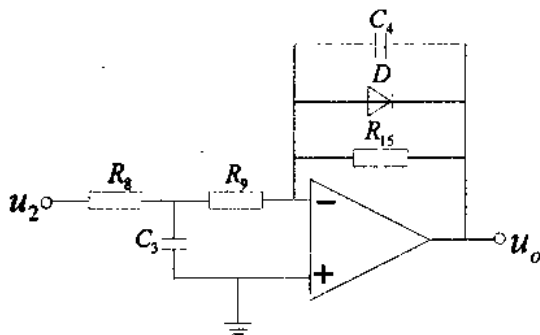


图 8

式 (1) 的右边第二项是一个为电源二倍频的余弦信号。它表示发电机与负载之间的功率转换速率，为无功功率。在测量发电机输出功率时应该滤掉，滤波电路的任务就是把这一分量衰减掉。本设计采用如图 8 所示的二阶有源滤波电路。它的滤波特性可用下式表示

$$U_o(j\omega) = -\frac{R_{15}}{R_9(1+j\omega C_4 R_{15})} \cdot \frac{R_9}{R_8(1+j\omega C_3 R_9) + R_9} \cdot U_2(j\omega)$$

取 $R_9 = R_8$ ，则：

$$\begin{aligned} U_o(j\omega) &= -\frac{R_{15}}{R_9(1+j\omega C_4 R_{15})} \cdot \frac{1}{(2+j\omega C_3 R_9)} \cdot U_2(j\omega) \\ &= -\frac{R_{15}}{2R_9(1+j\omega C_4 R_{15})} \cdot \frac{1}{(1+j\frac{1}{2}\omega C_3 R_9)} \cdot U_2(j\omega) \end{aligned}$$

它表明电路有两个截止频率

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_4 R_{15}};$$

$$f_2 = \frac{1}{\pi C_3 R_9}$$

只要 R_9 、 C_3 和 R_{15} 、 C_4 取值合适，就可以把 100 Hz 或 120 Hz 的正弦信号滤掉。本电路取 $R_8 = R_9 = 100 \text{ k}\Omega$ ， $R_{15} = 390 \text{ k}\Omega$ ， $C_3 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ， $C_4 = 0.22 \text{ }\mu\text{F}$ 使 100 Hz 或 120 Hz 的信号衰减 60dB 以上，所以滤波电路输出的交流分量已不再对恒定分量产生影响。

该装置测量部分的总图如图 9 所示。其中 $D_1 \sim D_4$ 为限幅电路，保证乘法器的输入电压不超过规定的范围。 C_2 为高频滤波电路，滤除电网的高频干扰。实测表明本装置的测量精度小于 0.5%。



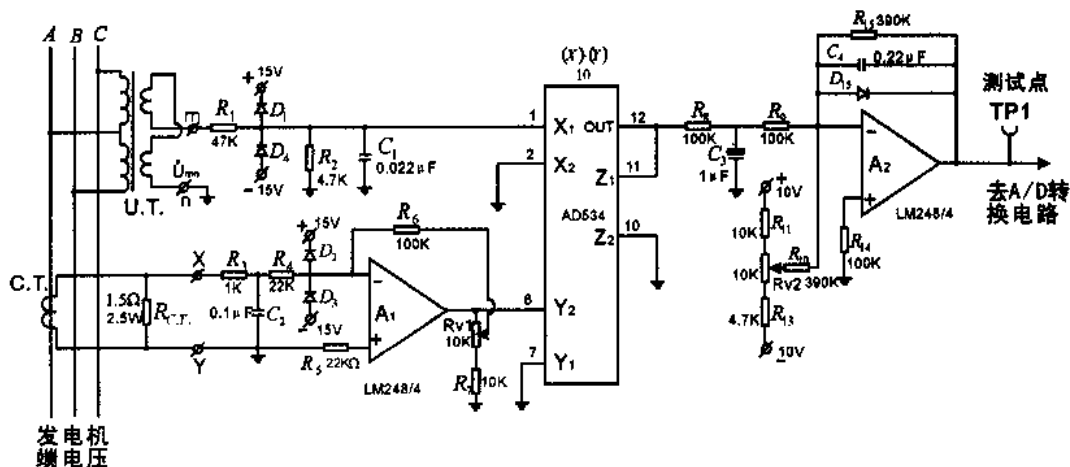


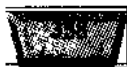
图 9

3 结束语

由上可见, 该测功装置结构简单, 所用元器件少, 因而故障出现的概率少, 且调整测功非常适合与微机系统接口, 故此原理的测功装置非常适合与船舶电站自动化系统中“微机总体控制装置”配合使用。

参考文献

- 1 周孔章. 电路原理[M]. 北京: 高教出版社, 1983.
- 2 康华光. 电子技术基础[M]. 北京: 高教出版社, 2000.
- 3 黄伦坤. 船舶电站及其自动装置[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.





船舶轴系动态校中计算的传递矩阵方法

温玉奎, 王宏志, 关德林

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 本文针对船舶轴系动态校中问题, 利用 Matlab 软件, 应用传递矩阵方法进行了合理校中计算, 实船轴系静态与动态计算结果的对比, 不仅证明了方法的可行性, 同时也反映了动态因素对轴系校中状态的影响程度。

关键字: 船舶轴系; 轴系校中; 传递矩阵

1 概述

在船舶建造和修理过程中, 轴系的校中质量对确保轴系长期可靠的运转极为重要。目前, 现有的轴系校中计算和校中工艺中, 一般不考虑航行中的动态因素, 船舶在试航和营运过程中会出现一些问题。为了使轴系的安装状态更接近实船的运动状态, 并能有效地改善轴系的受力状况, 国外从 20 世纪 60 年代开始进行轴系动态校中的研究, 在轴系校中计算中充分考虑: 螺旋桨水动力、船体变形、润滑油膜、温度变化等因素在一定程度上影响轴系原有的校中状态。作者应用传递矩阵原理, 利用 Matlab 软件作为计算工具, 计入各种动态因素的影响, 实现了动态轴系校中计算。

2 传递矩阵法

船舶轴系是由一系列弹性元件连接而成的结构, 按照一般的静力学线性理论, 把轴系划分成若干轴段。根据传递矩阵原理, 某一轴段右端截面的状态矢量与左端截面的状态矢量存在一定的关系, 同样下一个轴段左端的状态矢量与前一轴段右端的状态矢量同样存在一定的关系, 这些内在关系表现为矩阵形式。各单元从最左端截面开始, 每个截面的状态矢量就是借助这些矩阵实现从左至右的传递, 一直到最右端截面。形成矩阵连乘的形式, 再引入左右两端的边界条件, 可实现各截面状态矢量的求解。

以轴系最后端为坐标原点, x 轴指向船艏方向, z 轴指向水平左舷方向, y 轴垂直向上。轴系在 $x-y$ 平面内弯曲, 轴段端面的应力及应变状态由垂向位移 y 、截面转角 θ 、弯矩 M 和剪力 T 表示, 写成向量形式为:

$$Z_i^n = [y \ \theta \ M \ T \ 1]_i^T$$

式中: Z_i 为端面的状态矢量; n 为端面角标, $n=L$ (轴段的左端面)、 R (轴段的右端面); i 为单元序号。

轴段左右两端的状态矢量之间可以通过一个矩阵进行传递: $Z_i^R = T_i Z_i^L$



式中: t_i-i 单元的传递矩阵。

2.1 轴段单元的传递矩阵

轴段单元承受均布载荷, 如轴自重, 受力模型如图 1 所示, 其传递矩阵表达式为

$$\begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_R = \begin{bmatrix} 1 & l_i & \frac{l_i^2}{2EI_i} & \frac{l_i^3}{6EI_i} & -\frac{q_i l_i^4}{24EI_i} \\ 0 & 1 & \frac{l_i}{EI_i} & \frac{l_i^2}{2EI_i} & -\frac{q_i l_i^3}{6EI_i} \\ 0 & 0 & 1 & l_i & -\frac{q_i l_i^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -q_i l_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_L$$

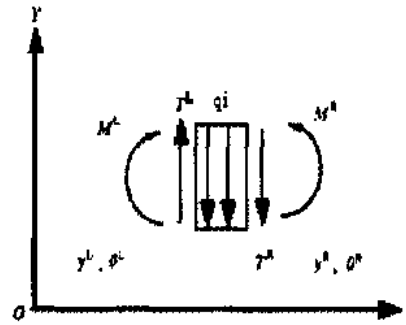


图 1 轴段单元受力

2.2 集中载荷单元的传递矩阵

船舶轴系中承受集中载荷的单元, 如螺旋桨、法兰、弹性联轴节、主机的活塞组件、连杆、十字头、曲柄等在轴系校中计算时可作为集中载荷处理。在动态校中计算是要计算气缸内气体压力和运动部件惯性产生的激振力, 为了简化计算可以对某一时刻各缸的激振力进行计算。受力模型如图 2 示, 其传递矩阵的表达式为

$$\begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -P_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_L$$

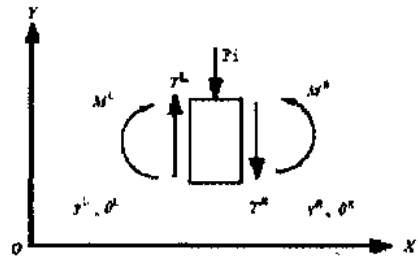


图 2 集中载荷单元受力

式中: P_i —第 i 个集中载荷。

2.3 弹性支承单元的传递矩阵

船舶轴系实际上是在多个弹性支承上的一个连续梁, 在静态轴系合理校中计算中艉轴管后轴承、艉轴管前轴承、中间轴承、主机各主轴承以及用顶举法测量轴承负荷的千斤顶都为实支

承, 在计算时应用支承等效刚度 k_e 计算, 其值可由下式计算: $k_e = \frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_s}$, k_b —轴承刚

度 k_s —船体刚度。在动态轴系校中计算中由于润滑油在各轴承中形成润滑油膜, 此时轴承





的等效刚度 k'_e 为: $k'_e = \frac{1}{k_o} + \frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_s}$, k_o —轴承中油膜刚度^[3]。受力模型如图 3 所示,

其传递矩阵为:

$$\begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ k_i & 0 & 0 & 1 & -k_i \delta_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}_L$$

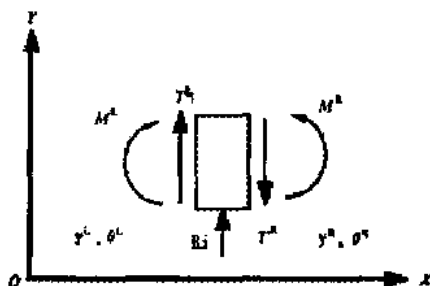


图 3 弹性支承单元受力

式中: k_i 为第 i 弹性支承的等效刚度, 其值在静态校中时取 k_e , 在动态校中时取 k'_e 。
 δ_i 为第 i 轴承的 y 轴方向位移, 它包括船体变形及温度变化引起的轴承垂向位移。

图 3 中的 $R_i = k_i(y_i^L - \delta_i)$

2.4 外加力矩单元的传递矩阵

实际轴系在船舶运行在 $x-y$ 平面内不仅受到均布载荷、集中载荷和支反力作用, 而且受到外加力矩作用, 如在船舶运行中在螺旋桨在船尾伴流场中运转时, 其受到的力和力矩如图 4 所示, 在 $x-y$ 平面内螺旋桨受到垂直力 F_y 和垂向弯矩 M_z 的作用, 该外加力矩单元受力模型如图 5 所示, 其增加的矩阵为:

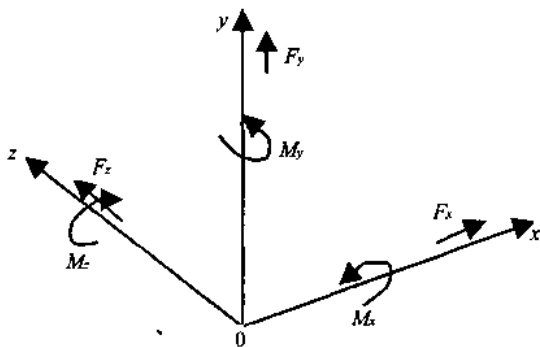


图 4 螺旋桨轴承力

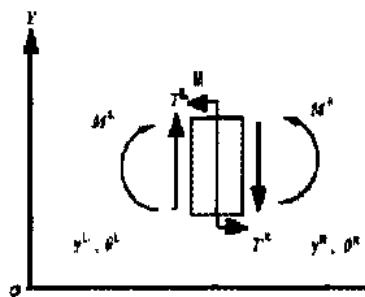


图 5 外加力矩单元受力

式中: M 为第 i 节点处的外加力矩, 即图 4 中的 M_z 。

改进后的传递矩阵比原有一般的传递矩阵法使用范围更广, 计算结果更符合实际情况。在轴系动态校中计算中, 充分考虑了轴承和油膜刚度、螺旋桨水动力、柴油机机激振力、温度变化对船舶轴系校中状态的影响。



$$\begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}^R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -M \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ T \\ 1 \end{bmatrix}^L$$

3 计算实例

本文对某船轴系进行了合理校中计算,由于本船只有一根中间轴,但没有中间轴承,在计算模型简化及后续的计算过程中,1#和2#轴承分别代表艏管后轴承和艏管前轴承,而3#、4#、5#轴承是主机的主轴承。艏管后轴承支点取距艏后轴承后端面 $1/5L$ 的艏后轴承长度,其余轴承支点取该轴承的长度的中点。

轴系在不同状态下的计算都是在主机最后一缸活塞在上死点时进行的,热态情况下主机各主轴承上升为 0.24 mm 。

动态校中计算是在柴油机 CMCR ($17\,640 \text{ kW}$, 94 r/min) 工况下进行计算,计入了船舶运行时螺旋桨的水动力,在螺旋桨处产生外加力矩 M_z ($670 \text{ kN} \cdot \text{m}$) 和一个向上的升力 F_y (676 kN)。

在计入的轴承刚度之中,NSD 推荐艏管前后轴承的刚度为 $5 \times 10^9 \text{ N/m}$,主机各轴承刚度为 $4 \times 10^9 \text{ N/m}$ 。

油膜刚度与许多因素有关,它的计算可由不稳定载荷下 Reynold 方程推导求得,近似估算时,Jsper (1956年) 建议用下式计算: $k_o = CP/\delta$, 式中 P 为轴承静负荷、 δ 为轴承径向间隙、 C 为系数。Hylarides, S (1975年) 经过理论分析与全尺寸观测比较后认为,系数取 20 能给出更好的结果。

船体的刚度很大,对等效刚度的影响较小,在计算中被忽略。

在动态情况下计算时,主机最后一缸活塞在上死点,此时气缸中的气体压力近似为主机的爆发压力 (19 MPa)。相邻气缸与最后缸的曲柄夹角为 240° , 此时气缸内的气体压力对校中计算的影响很小,可忽略不计。

实船轴系合理校中的主要计算结果如下表:

表 1

轴承		冷态轴承受力/kN	热态轴承受力/kN	动态轴承受力/kN
轴承号	轴承位置/mm			
1	2 995	271	272	131
2	7 390	170	163	251
3	18 212	295	312	0
4	18 930	179	173	294
5	20 110	169	163	373

注: 轴承位置为该轴承距离轴系艏布导流帽的最后端的距离。



4 验证分析

由计算结果可知冷、热状态下轴系各轴承负荷变化不大。各轴承负荷都在允许的负荷范围内。现场用“顶举法”分别对2#、3#、4#、5#轴承在冷热状态下进行负荷测量,其测量结果都在计算结果的 $\pm 20\%$ 范围内,因此,本文建立的传递矩阵方法对轴系进行静态校中计算是可行的。

在进行动态校中计算时,1#轴承的负荷较静态校中明显减小,2#轴承的负荷增大,可见船舶运行时螺旋桨的水动力对艉后轴承负荷前移,艉前轴承负荷增大,并且导致3#轴承处轴承的负荷为0。此时该轴承处于临界状态,当主机工况变化时,3#轴承有出现反向负荷的可能,但需要避免。3#、4#轴承负荷的计算结果较静态时的大,但仍然在允许的范围内。

5 结论

传递矩阵法不仅适于轴系静态校中计算,而且在动态的校中计算中也是可行的。当计入动态影响因素时,各轴承的负荷较静态时有很大的变化。因此,轴系校中应采用动态校中计算。

轴系校中的动态影响因素很多,在动态校中计算后,各因素的作用规律还应该通过试航时的动态测量加以验证和完善。

轴系校中及轴系工作过程中,应防止因轴承脱空而引起的轴系振动固有频率,以及轴承负荷的变化。

参考文献

- 1 柳幼宏. 船舶推进轴系动态设计及计算[D]. 武汉交通科技大学硕士论文, 2000.
- 2 张杰. 递矩阵法在钢桥结构分析中的应用研究[D]. 河海大学硕士论文, 2005.
- 3 陈之炎. 船舶推进轴系振动[M]. 上海交通大学出版社, 1987.
- 4 英国劳氏船级社. 船舶入级规范和规则(中文版)[S]. 2004.





船用小型柴油发电机组自动化 电站中微机控制系统实现方案

武起立, 冯 惠

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要:以实用在电力推进滚装船自动化电站中的英国“BRUSH ELECTRICAL MACHINES LTD”制造的“PRISMIC 微机控制系统”为摹板,在分析了其软、硬件方面的特点后,提出了在单元自动化基础上,实现多机组并联供电的“微机控制系统”软、硬件方案。

关键词:电站自动化;微机控制系统;主程序流程图

0 引 言

在中小型客滚船的设计上,为了满足船舶操纵的机动性,可采用“多螺旋桨”电力推进方式,如:四螺旋桨船(艏、艉各两桨),且四桨均可 360° 旋转。船舶操纵极为灵活。而供给推进电动机的电能,也可采用多台并联运行的普通小型柴油发电机组(如十台以上)实现。由于体积小,其安装位置可在主甲板的两侧,这样就节省大量空间,使主甲板及主甲板以下成为装载汽车的“通舱”。此类设计,虽然省去了大功率低速柴油机(即主机)。但是多台柴油发电机组的并联供电质量,成为船舶能否安全航行的主要条件。为了提高其并联供电质量,在电站各主要环节已实现“单元自动化”的基础上,利用微机控制系统对电站进行“总体控制”,使多个单元自动化环节有机地联系在一起,是提高其供电质量的必经之路。本文在剖析了英国《BRUSH ELECTRICAL MACHINES LTD.》公司制造的“PRISMIC 电站总体控制装置”后提出了自己的用微机控制系统实现船舶电站“总体控制装置”的方案。

采用“总体控制装置”后,船舶电站实现“全自动化”。又由于是采用小型普通柴油机(汽车用柴油机),其日常维护非常简单,故此类船舶可真正实现“无人机舱”,仅由驾驶员根据需要随意操纵船舶,无需“机舱备车”环节,使起动船舶如同驾驶汽车一样简单,可见,电站“总体控制装置”是该类船舶的“核心装置”。

1 应用电站“总体控制装置”的条件

船舶电站各主要环节均已实现单元自动化是应用“总体控制装置”的基础,它们应包括自动并车装置;自动调频调载装置;自动调压及无功功率自动调整装置;自动分级卸载装置;各柴油机自动起、停控制器等等。在此基础上,由“总体控制装置”将多个单元自动环节有

机地联系起来,组成一个总的系统。图1用方框图方式给出了它们之间的组成关系。

图1中,重要负荷分级自动启动环节和重载询问环节无需专门装置,仅是“总体控制装置”中含有的软件功能块。监视报警单元是任何自动化系统必不可少的环节。

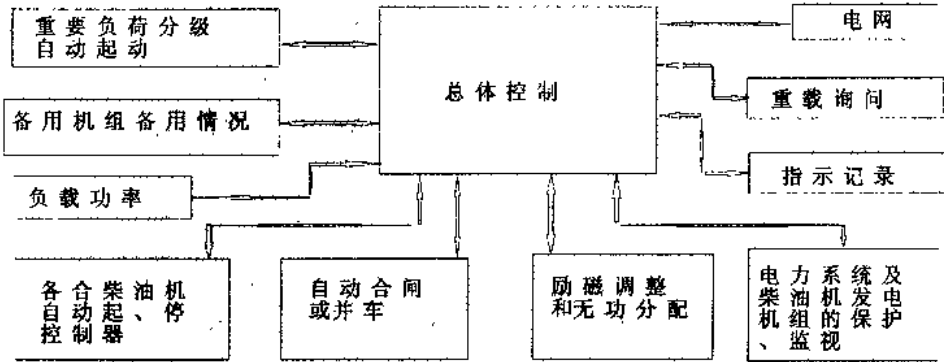


图1

2 “总体控制装置”应实现主要功能

- (1) 根据值班员预先设定的机组值班原则,制订机组值班顺序。
- (2) 根据负荷的大小,决定柴油发电机组的启动、停止。
- (3) 监视并保证供电质量:频率稳定、电压稳定、有功功率、无功功率分配均匀。
- (4) 对电站运行状态监视、显示及报警。

3 “总体控制装置”的硬件框图

在电站各单元已实现自动化的基础上“总控装置”仅起一个判断、测量、指挥的作用。其内存容量大大缩小,故采用常规的工业控制计算机即可,本文采用MCS-96系列工控单片机系统,其系统框图见图2、图3。

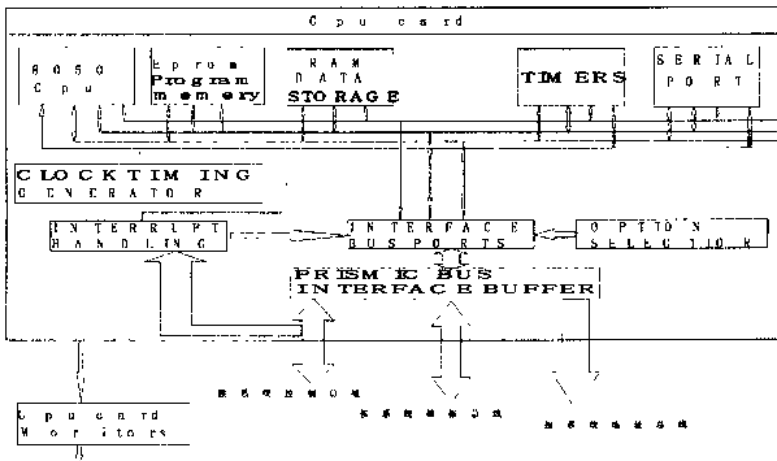


图2



TYPICAL CARD OPTIONS (SELECTED TO SUIT CONTACT REQUIREMENTS)

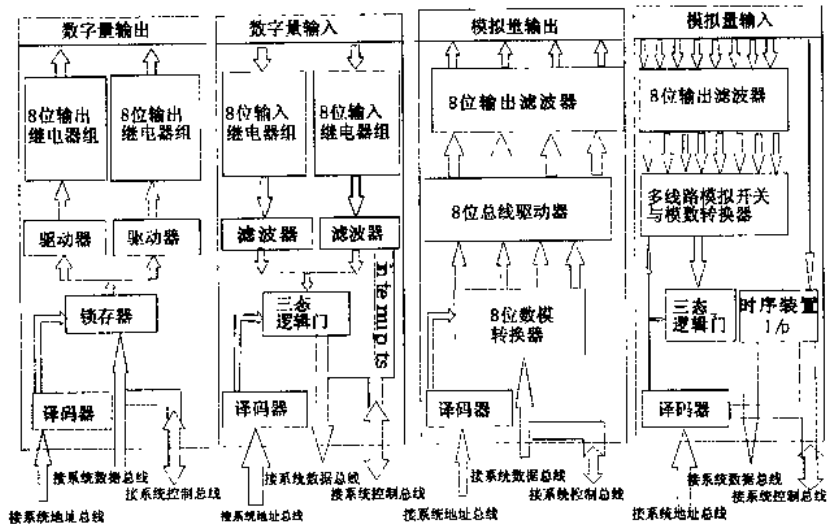


图 3

本硬件系统由五种印刷电路板组成，均作成插卡式，由印制在基板上的公共“总线”连在一起，组成计算机系统。

(1) CPU CARD (CPU 卡)

它为系统核心，主要是存储系统监控主程序，并运行主程序使整个电站工作起来。同时产生系统标准定时信号，以协调指挥系统有条不紊地工作。

(2) DIGITAL INPUT CARD (数字量输入卡)

它主要采集电站及柴油机中各“开关电器”状态，输入 CPU 卡以备分析。

(3) DIGITAL OUTPUT CARD (数字量输出卡)

它主要是去控制电站及柴油机中各种开关电器。如空气断路的闭与合，柴油机起动与停止等。

(4) ANALOGUE INPUT CARD (模拟量输入卡)

它主要采集电网的 U 、 I 、 P 、 f 等模拟量，并进行 A/D 转换后送入 CPU 卡以备分析。

(5) ANALOGUE OUTPUT CARD (模拟量输出卡)

它主要是把 CPU 卡检测到的 U 、 I 、 P 、 f 等模拟量进行 D/A 转换后输出到对应仪表去显示，以实现人——机对话之用。

以上五种类型插板，由于采用“总线制”，故可根据船舶电站实际情况增加输入/输出板数，以扩大控制规模。

4 “总控装置”主程序流程图

主程序流程图表明“总控装置”的工作过程，其设计合理与否直接关系到系统运行质量。现以十台“柴油——发电机组”组成的船舶电站为例进行说明。为维修方便，将发电机组分为完全相同的二个组，它们有各自独立的配电盘、两配电盘之间由自动空气断路器连接，故它

们即可以单独供电, 也可并联在一起供电。

总配电盘单线示意图如图 4。

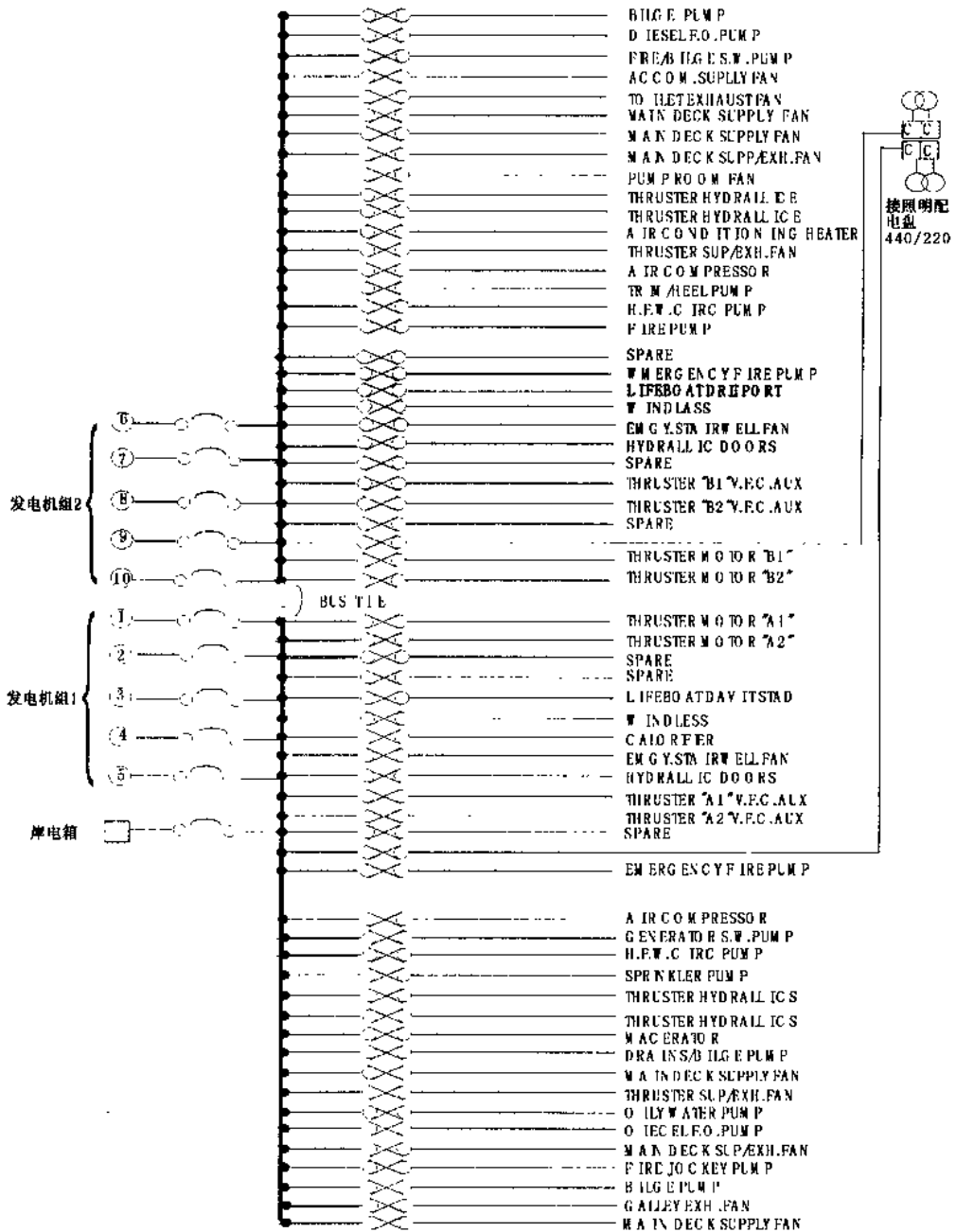
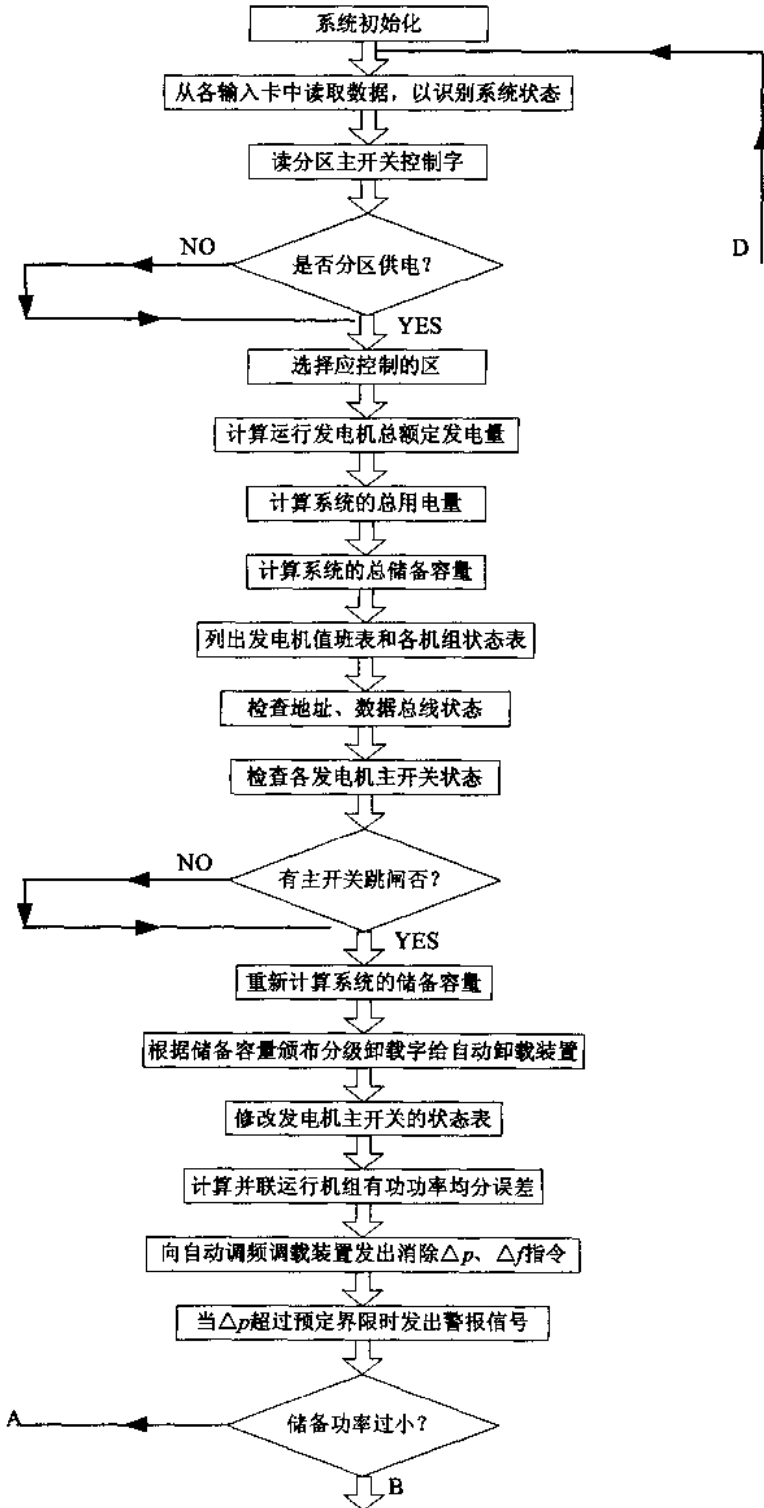
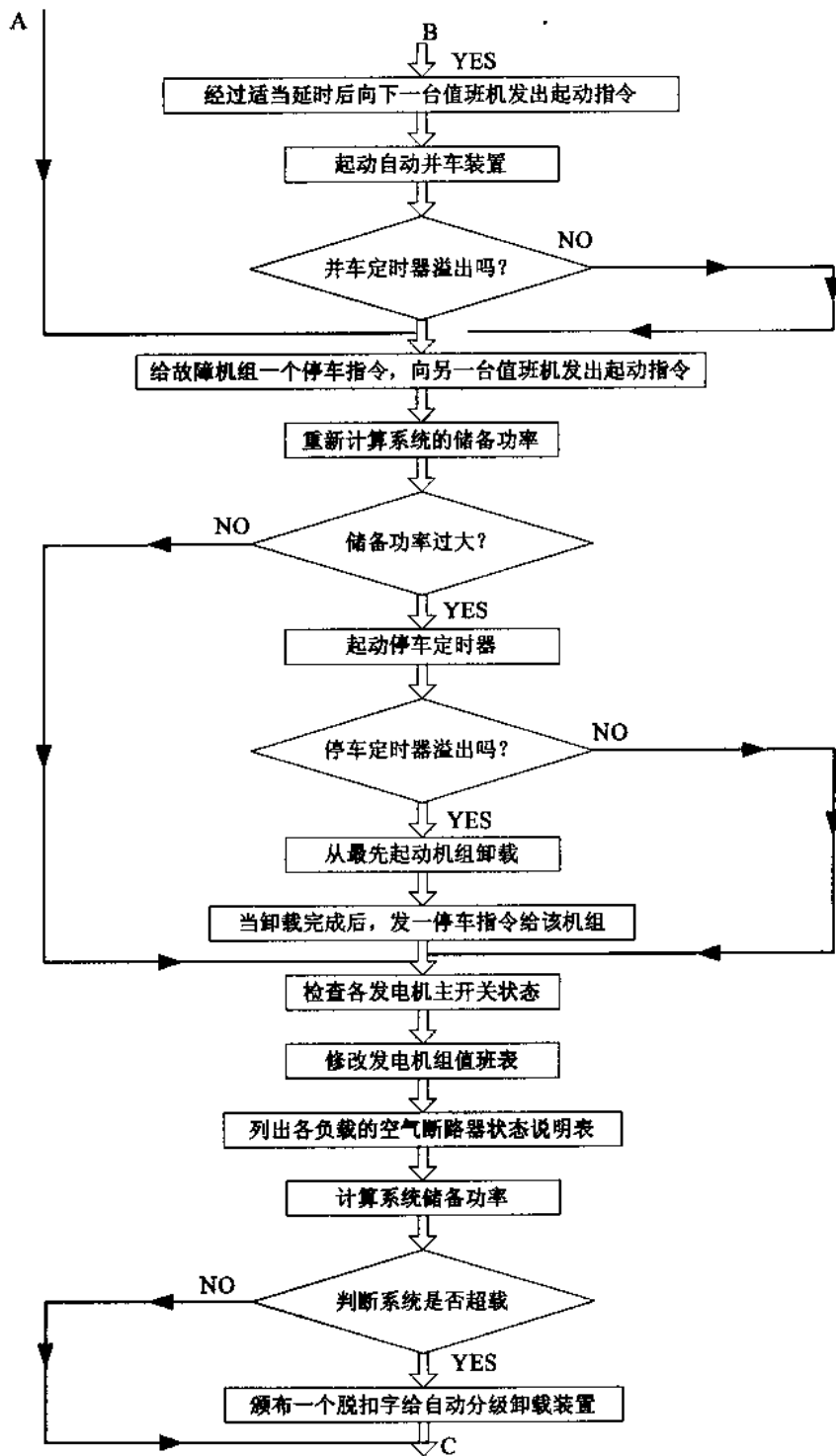


图 4

控制该电站自动运行的“总控装置”主程序流程图如图 5 所示。





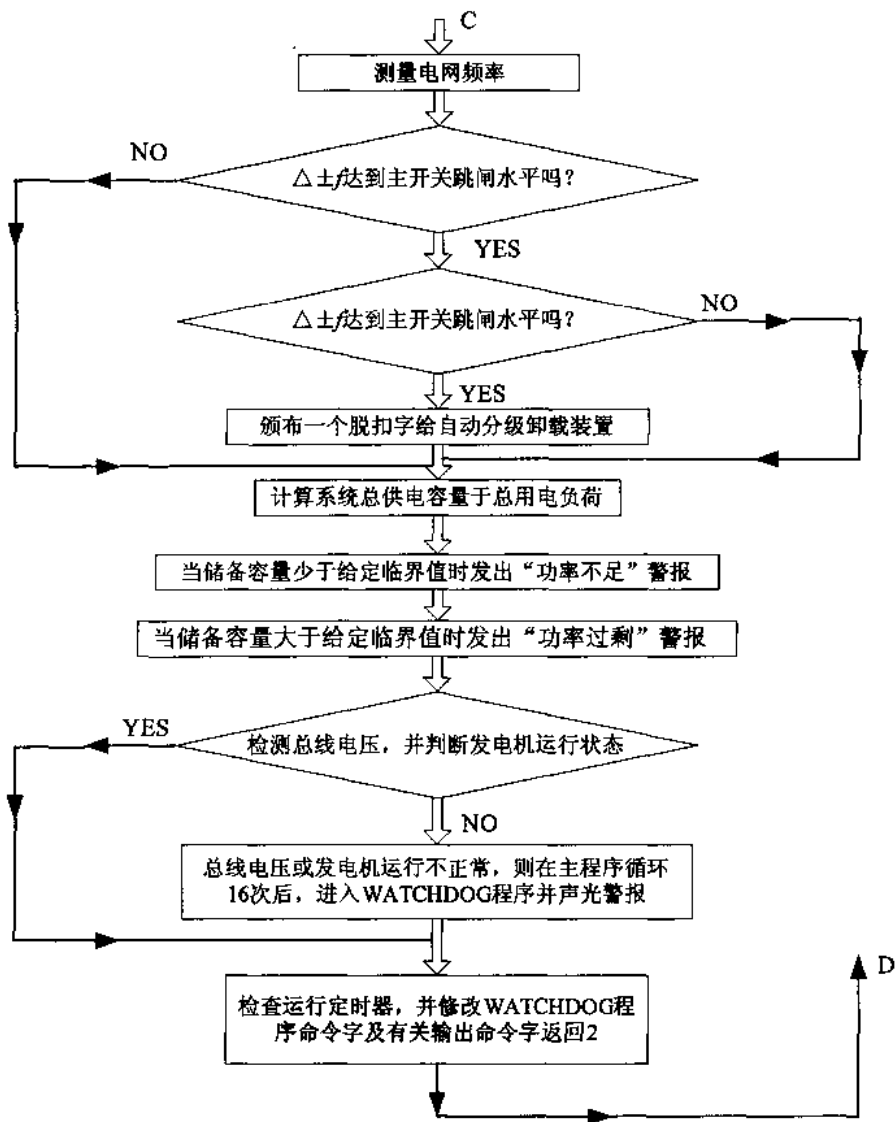
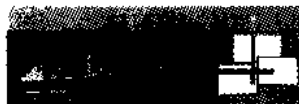


图5 主程序流程

5 结 语

船舶电站“总控装置”是电站自动化的核心, 本文所提出的“总控装置”思路是对实船运行的“同类装置”进行分析综合后提出的。与国外同类装置比, 主程序思路清晰, 整体造价低廉, 实用性较强, 特别适合用于在多台柴油发电机组并联供电的中小型客滚船和“石油钻井平台”上实现船舶电站全自动化。



参考文献

- 1 黄伦坤. 船舶电站及其自动装置[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.
- 2 刘忠德. 船舶电站及其自动装置[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992.
- 3 何立民. 单片机应用技术选编[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.
- 4 史际昌. 船舶电气设备及系统[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998.
- 5 BRUSH ELECTRICAL MACHINES LTD. PRISMIC POWER MANAGEMENT SYSTEM. 1999.



船舶电力推进的操纵系统

于海宁¹, 刘 璧²

(1. 中国船舶重工集团公司第712研究所, 湖北 武汉, 430064;

2. 海军驻武汉712所军事代表室, 湖北 武汉, 430064)

摘 要: 推进操纵系统是一个基于计算机网络技术的、按功能划层次的、实现操纵功能的智能控制系统。能在驾驶室(含桥翼)、机舱集控室和现地对各相关推进装置进行操纵, 具有保护、联锁和必要的指示和报警功能。本文明确了系统的控制功能和工作流程。

关键词: 电力推进; 操纵系统

1 引 言

船舶电力推进系统主要由主推进系统、艏侧推系统、电力推进操纵系统等组成。

主推进系统中较为普遍采用的是变频调速舵桨系统, 由推进变压器、推进变频器、推进器等组成。

艏侧推系统一般包括软启动或星—三角启动器、侧推电机和推进器。

电力推进操纵系统一般分为推进控制系统、操舵控制系统、艏侧推控制系统和车钟系统等四个部分。

本文主要介绍的是电力推进操纵系统的功能及构成。

2 电力推进操纵系统的控制功能

电力推进操纵系统是在主机遥控系统的基础上, 为了适应电力推进船舶的要求和控制特点转变过来的。它有以下特点: 电力推进系统的控制对象是电动机及舵桨操纵系统; 监测的主要是推进变压器、推进变频器和推进电动机的状态量。

电力推进操纵系统的组成与主机遥控系统基本一致, 一般设驾驶室操纵单元(含桥翼操纵单元)、机舱集控室操纵单元和机旁操纵单元。每条电力推进船舶的控制要求和系统组成有所差异。

不论采用何种推进器, 推进操纵系统都将是一个实现操纵功能的、按功能划分层次的、基于计算机网络技术的智能控制系统, 能在驾驶室、机舱集控室和现地对各相关推进装置进行操纵, 具有必要的指示和报警, 具有保护和联锁功能, 并向本船的其他系统提供通信接口。

2.1 推进控制系统功能

推进控制系统设有下列操纵部位: 推进舱、机舱集控室(ECR)和驾驶室(包括驾驶室桥翼)。其中推进舱优先于机舱集控室, 机舱集控室优先于驾驶室。这3个部位相互连锁, 只能一个





部位操作有效。

推进控制应采用基于标准、可升级的可编程控制软件。推进控制软件应具有保护和联锁等功能,确保系统的安全操作和防止供电网络的过载,甚至崩溃。

在正车和倒车方向均可从零功率至满功率连续调节。遥控系统的故障应不致引起转速的明显变化。在所有控制部位均应设置应急停车功能,该功能应独立于遥控系统。

2.1.1 功率限制

推进控制系统中功率限制是为了防止推进系统设备的过载和故障。一般应具有下列限制:电网可利用功率的功率限制;变频器最大电流限制;发电机过载的功率限制(包括无功电流);供电网络频率过低的功率限制;发电机脱扣的功率限制;基于舵角的功率限制;转舵系统故障的功率限制;推进系统设备过热报警的功率限制

2.1.2 转速控制或功率控制

太快的速度变化会引起过快的负载变化,从而导致柴油机排放的增力口和对柴油机维护的增加,同时也会导致电网的不稳定,因此推进控制系统应能够根据柴油机的负载比例曲线和螺旋桨的设计设定一个速度或功率的变化比例曲线,限制最小的速度变化时间。当然,此比例曲线可以根据在网的发电机组和变频器数量自动调整。

2.1.3 联锁

当系统设备未准备好或发生重要故障,为保障系统的安全操作和人员的安全,应设置相应的联锁功能以防止变频器供电断路器的闭合和变频器的启动,或使变频器供电断路器脱扣和变频器停止工作。

2.1.4 越控

在应急情况下,为使船舶脱离危险,系统应具有越控功能以防止推进功率的减少和停车。

2.2 操舵控制系统功能

操舵控制系统可选择在驾驶室或机旁(推进舱)对转舵装置装置进行操纵、指示和必要的报警。

操舵控制系统设有下列操纵部位:推进舱和驾驶室(包括驾驶室桥翼)。推进舱优先于驾驶室。这2个部位相互联锁,只能一个部位操作有效。

系统应具有4种操舵控制模式:随动控制、非随动控制(应急操舵)、自动导航控制(自动舵)和动力定位(DP)。

当发生转舵装置动力单元停车、脱扣和全船失电等情况下,转舵装置会被自动刹车。

2.3 艏侧推控制系统

艏侧推控制系统可选择在驾驶室(DP和遥控)和侧推舱对侧推装置进行操作、指示和必要的报警。

艏侧推控制系统有驾驶室(包括桥翼)和侧推舱两个操纵部位。

其中侧舱操纵优先级高于驾驶室操纵。两个部位相互联锁,只有一个部位操纵有效。

在驾驶室操纵模式下,可选择每台侧推装置由各自的操作手柄控制,也可选择综合手柄控制三台侧推装置。

控制软件保证在零螺距状态下起动艏侧推电机,并具有完善的连锁和保护功能,确保系



统的安全操作和防止供电系统过载。

2.4 车钟系统

设有完善的车钟系统。

3 控制站设置及转换

3.1 控制站的设置

推进控制系统设驾驶室、左桥翼、右桥翼、机舱集控室和推进舱五个控制站。其优先级为驾驶室(左桥翼、右桥翼)、机舱集控室和推进舱依次增高。

操舵控制系统设驾驶室、左桥翼、右桥翼和推进舱四个控制站。其优先级为驾驶室(左桥翼、右桥翼)、推进舱依次增高。

艏侧推控制系统设驾驶室、左桥翼、右桥翼和侧推舱四个控制站。其优先级为驾驶室(左桥翼、右桥翼)、侧推舱依次增高。

3.2 控制站的转换和联锁

3.2.1 控制站之间的转换原则

遥控和现地之间的转换只能在现地控制站进行;

集控室与驾驶室之间的转换只能在集控室进行;

控制系统和动力定位系统之间的转换只能在驾驶室进行;

应急操纵单元优先级高于当前有控制权的控制站,不须转换允许。

3.2.2 转换的一般条件

控制系统处于初始化状态;

当前控制站的车位、舵角给定和螺距给定与待转换控制站的车位、舵角给定和螺距给定一致。

3.2.3 控制站之间的转换程序

推进系统和艏侧推控制系统的转换程序相同。

3.2.3.1 驾驶室、集控室和就地控制站之间的转换程序

在有转换权的控制站按下待转控制站对应的按键(或拨动旋钮);

各个控制站对应的待转控制站的指示灯均闪烁,且蜂鸣器响;

在待转控制站按下转换允许按键后,原控制站指示灯熄灭,待转控制站的指示灯常亮。

此时控制权转换到待转控制站。

3.2.3.2 驾驶室、左桥翼和右桥翼控制站之间的转换程序

这三个控制站的优先级相同,它们之间的转换只有在驾驶室控制站当权的前提下才能进行。待转控制站按下按键,原控制站指示灯熄灭,待转控制站的指示灯常亮,此时控制权转换到待转控制站。

3.2.3.3 转换终止

转换过程中,若有转换权的控制站再次按下待转控制站对应的按键(或拨动旋钮),则转换程序终止,控制权不转移。





3.3 连锁

在任何状态下只允许一个控制地点控制有效。

在各个控制站均设有应急操纵转换按键和应急操纵按键, 应急操纵的级别最高。

4 应急操纵

4.1 舵角应急操纵

在舵角操作的各个控制站均有舵角应急操作功能。在当前控制站的舵角应急有效时, 该控制站应急操作的左转(右转)有效, 而其它控制站的左转(右转)无效。

在取消应急操作后, 操纵系统需重新启动。

4.2 推进应急操纵

在推进操作的各个控制站均有推进应急操作功能。在当前控制站的推进应急有效时, 该控制站应急操作的升速(零、降速)有效, 而其它控制站的升速(零、降速)无效。

在取消应急操作后, 操纵系统需重新启动。

4.3 侧推应急操纵

在侧推操作的各个控制站均有侧推应急操作功能。在当前控制站的侧推应急有效时, 该控制站应急操作的增加(减小)有效, 而其它控制站的增加(减小)无效。

在取消应急操作后, 操纵系统需重新启动。

5 结束语

本文所介绍的电力推进操纵系统是通过通过对 DNV、CCS 等国内外船级社对电力推进控制系统的相关规定的理解, 消化吸收 Alstom、Siemens、ABB 三家国外知名的船舶电力推进系统供应商提供的相关资料。根据综合电力推进系统技术要求, 提出了推进操纵系统的组成和功能。在今后的实船应用中还需进一步深化的完善。

基于 PROFIBUS 的某船 PLC 控制网络设计

柯常国, 杨俊飞, 王孟莲, 洪敏

(中国船舶重工集团公司 712 研究所, 湖北 武汉, 430064)

摘要: 本文先简要介绍了 PROFIBUS 现场总线的特点, 然后对某船 PLC 光纤控制网络的设计过程进行分析介绍。

关键词: 现场总线; PROFIBUS PLC 光纤

1 功能需求

某船电力推进系统采用 4 台柴油发电机组并网发电组成船舶电网, 为日用以及 2 套推进系统供电, 每套推进系统包括一台推进变压器、一台变频器以及一台推进电机。每台电动机由独立的变频器供电, 每台变频器通过推进变压器连接到船舶电网, 如图 1 所示。根据功能划分, 可将系统控制对象分为发电分系统、推进分系统、配电分系统、应急分系统四部分。

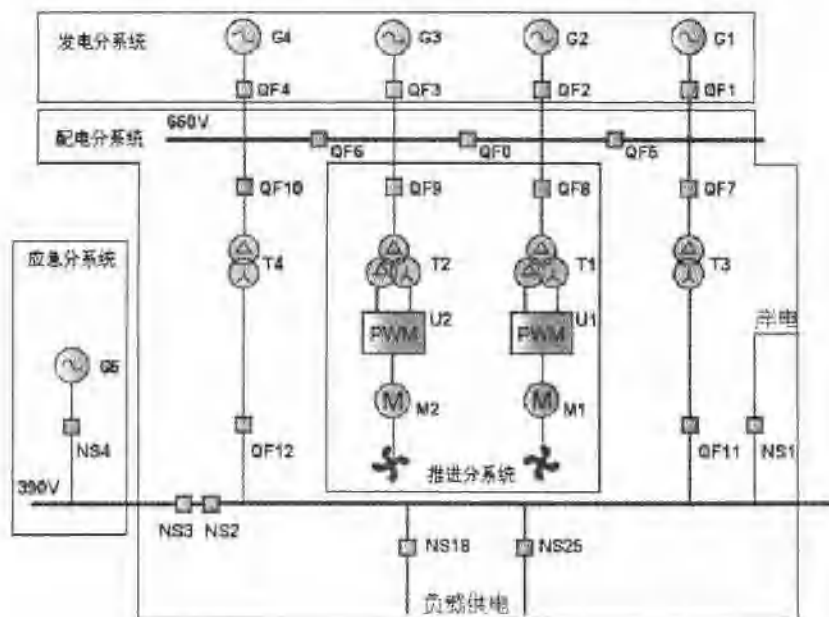


图 1 系统单线图

功率管理与监控系统是电力推进系统的控制中心, 控制对象主要有柴油发电机组、发电配电屏、变流调速驱动推进装置(推进变压器、变频器、推进电动机)、配电变压器、中央控制台、驾驶室推进控制台、车钟系统以及一些辅机控制箱。功率管理与监控系统能对各组成



设备实施实时控制、有效的故障诊断与保护,能自动协调柴油发电机组和电力推进功率,实时记录系统的事件信息及系统设备的运行参数和状态。功率管理和监控系统包括分布在整个电力推进系统内的传感器和执行机构。这些传感器和执行机构通过实时通信连接到中心处理器。功率管理和监控系统将实时监测电力推进系统各设备的运行状况,并利用对设备的在线检测,使操作人员全面掌握电力推进系统的运行状况,同时功率管理和监控系统利用检测的信息对电力推进系统进行评估、故障诊断和故障报警等,从而提高电力推进系统的可靠性和维修性。因此控制网络的设计对系统运行稳定性、可操作性有重大影响。

2 现场总线选择与 PROFIBUS-DP

在过去的十多年里,随着生产车间自动化和过程自动化中分散化结构的迅速增长,现场总线系统的应用日益普遍。现场总线系统实现了数字和模拟输入/输出模块、智能信号装置和过程调节装置与可编程逻辑控制器(PLC)和PC之间的数据传输,把I/O通道分散到实际需要的现场设备附近,使安装和布线的费用开销减少到最小,从而使成本费用大大地节省。另外,标准化的现场总线具有“开放”的通信接口,允许用户选用不同制造商生产的分散I/O装置和现场设备。

在选用现场总线时,我们对多种现场总线进行比较,特别是对较具竞争力的几种总线,如PROFIBUS、FF总线、CAN、Lonworks等。只有通过深入比较,才可能从市场上大量可供应的现场设备和部件中选择最佳的产品组成他们自己的系统。根据数据传输容量的不同,可分为数据流总线(如FF等)、字节总线(如PROFIBUS、Device Net等)和位总线(如AS-I等)。数据流总线适用于大型系统的信息传输与过程控制;字节总线有开关量和模拟量I/O,适合于PLC和过程控制应用,数据量适中,实时性也可以得到保证;位总线传送二值信号,适用于简单开关量I/O等。显然,本系统实时性要求较高,数据量适中,应该选取字节总线。根据控制对象的情况可最终确定总线方案,本船的推进部分采用SIEMENS公司的6SE71系列变频器以及多种SIEMENS控制器,由于这些设备都集成了PROFIBUS总线接口,因此功率管理与监控选用PROFIBUS现场总线来构造控制系统网络,不仅降低改造成本,提高了系统的智能化和自动化程度,而且使整个系统的控制水平得到了很大的提高。

现场总线PROFIBUS满足了生产过程现场级数据可存取性的重要要求。一方面它覆盖了传感器/执行器领域的通信需求,另一方面又具有单元级领域的所有网络通信功能。特别在“分散I/O”领域,由于有大量的、种类齐全的、可连接的现场设备可供选用,因此PROFIBUS已成为事实上的国际公认的标准(现场总线PROFIBUS是国际标准IEC 61158的组成部分Type III)。

连接在PROFIBUS现场总线上的站点分为主站和从站,PROFIBUS总线存取协议包括主站之间的令牌传递方式和主站与从站之间的主从方式。令牌传递方式确保得到令牌的主站可在一个事先规定的时间内得到总线控制权,令牌传递就是在总线上传递总线控制权,连接到PROFIBUS的主站按其总线地址的升序组成一个逻辑令牌环,令牌是按主站地址升序在令牌环中传递,为了使逻辑令牌环闭合,具有最高总线地址的主站总是把令牌环传递给具有最低总线地址的主站,如图2。主从方式允许得到令牌的主站可以与所属的从站进行通信,主站



向从站发送数据或发出轮询,从站接收数据或者接收到轮询后进行应答。总线启动或初始化时,介质存取控制(MAC)通过辨认主站建立令牌环,并将这些主站的地址保存在主站列表(LAS)中,LAS可以在运行期间自动更新,可以自动剔除有故障的主站节点,也可以添加新的主站节点到令牌环中。

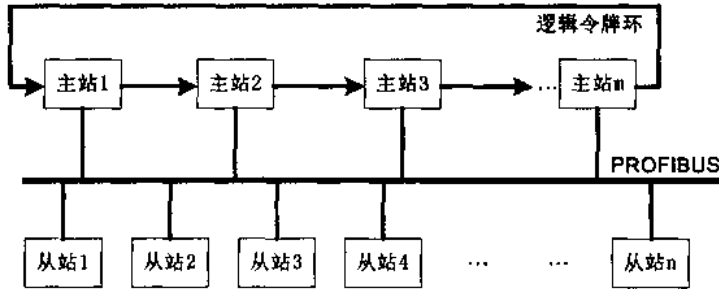


图2 令牌传递

用于 PROFIBUS 的 RS485 传输程序基于半双工、异步、无间隙同步传输,RS-485 接口是采用平衡驱动器和差分接收器的组合,抗共模干扰能力增强,即抗噪声干扰性好。数据的发送用 NRZ(不归零)编码,即 1 个字符帧为 11 位(bit)见图 3。当发送位(bit)时,由二进制“0”到“1”转换期间的信号形状不改变。在传输期间,二进制“1”对应于 RXD/TXD-P (Receive/Transmit-Data-P) 线上的正电位,而在 RXD/TXD-N 线上则相反。两根 PROFIBUS 数据线也常称之为 A 线和 B 线,A 线对应于 RXD/TXD-N 信号,而 B 线则对应于 RXD/TXD-P 信号。

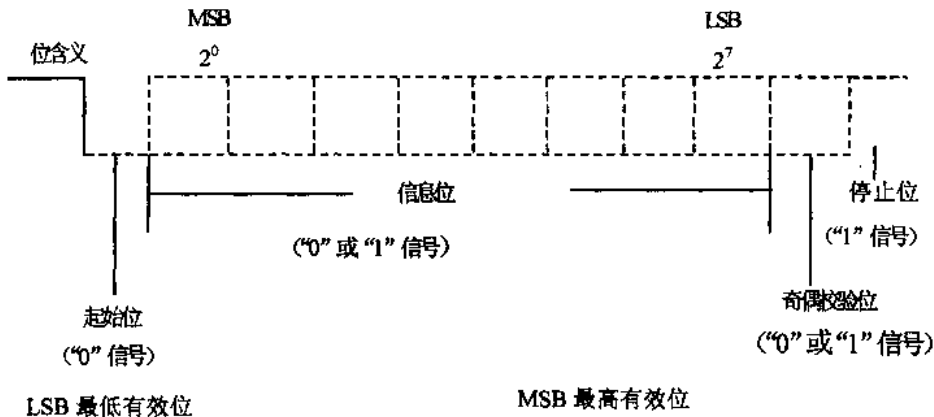


图3 PROFIBUS 字符帧

3 网络介质选择及拓扑结构设计

对于 PROFIBUS 来说,RS 485 是最廉价的、也是应用普遍的传输技术。这时的 PROFIBUS 系统是一个两端有有源终端器的线性总线结构,亦称为 RS485 总线段。根据 RS 485 标准,在一个总线段上最多可连接 32 个 RS 485 站(也称“节点”)。与总线连接的每一个站,无论



是主站还是从站,都表现为一个 RS 485 电流负载。在一个 PROFIBUS 系统中需要连接的站多于 32 时,必须将它分成若干个总线段。在各个总线段上最多有 32 个站,每个总线段彼此由中继器(也称线路放大器)相连接。只有使用中继器才能实现最大可能的站数。此外,中继器还可以用来实现“树型”和“星型”总线结构。

用玻璃或塑料纤维制成的光纤电缆可用作 PROFIBUS 传输介质,目前光纤能处理的连接距离达到 15 公里。光纤通信作为第三代有线通信技术,具有大容量、速度快、线路损耗小、抗干扰等突出优点。光纤技术的成熟已经为新型的总线结构打下了坚实的基础,使用光纤技术,可以构建更加复杂的网络拓扑结构,如环形结构,此外还有线型、树型或星型结构,光纤链路模块(OLM)可以用来实现光纤环网。在光纤环网中,OLM 通过双工光缆相互连接,如果光纤发生断线或 OLM 故障,它们将作出反应并自动地切换总线系统成线性结构。一旦光纤导线中的故障排除后,总线系统即返回到正常的冗余环状态。因为每条光缆有发送光纤以及接收光纤组成,有些文献把这种称为冗余双环。

4 控制网络方案

一般现场总线控制系统(FCS)结构按照职能可以分为三层:现场控制层、过程监控层和管理层。如图 4。其中现场控制层主要包括现场控制器 PLC、智能仪表、变频器、远程 I/O 设备等。过程监控层主要包括操作面板、监控工作站以及其他工作站,它是联系现场控制层和管理层的纽带,通过与子站进行通信获取现场设备运行信息,并传送给管理工作站或服务器。管理层包括管理工作站及其它服务器,如知识库服务器、运行数据库服务器等。



图 4 FCS 控制分层

功率管理和监控系统是由中央控制台、驾驶室推进控制台和发电配电板、机旁控制箱组成,通过 PROFIBUS 现场总线相连,通过 OLM 实现光纤环网连接,中央控制台 S7-400 作



为主站的单主站 PROFIBUS 系统,同时通过以太网与上位机相连形成计算机监控系统。配置如图 5 所示。

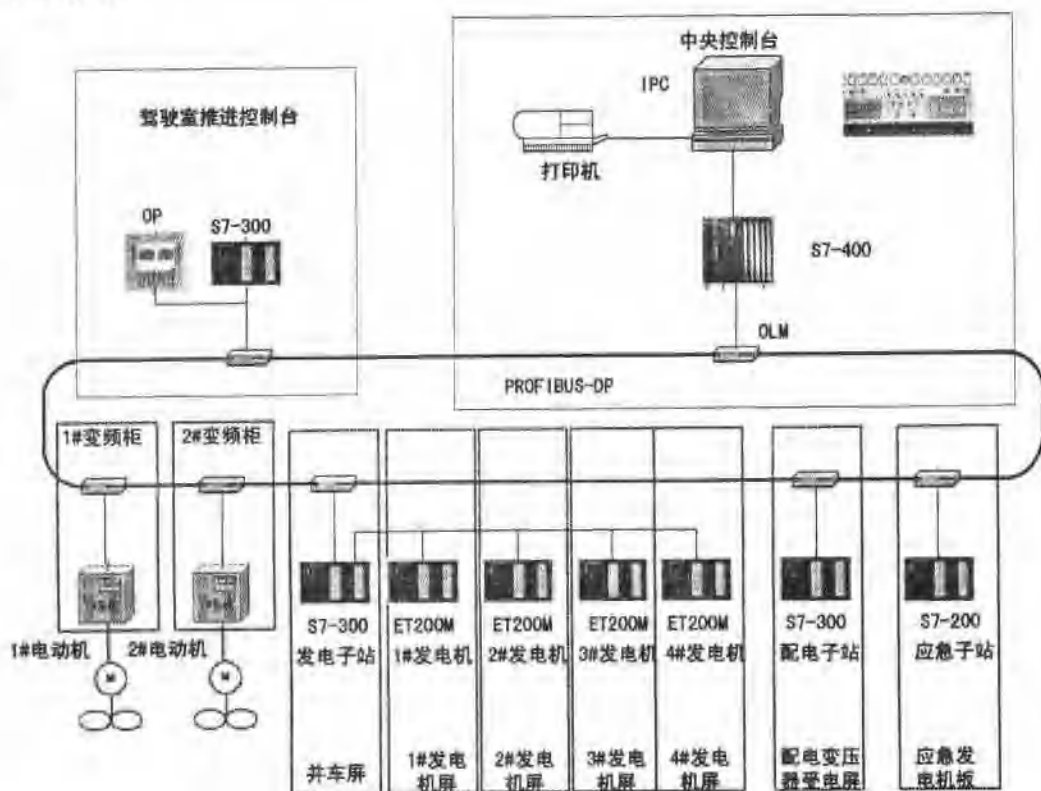


图 5 网络方案

光缆选用烽火通信的 IOBC-4-MM 四芯防水尾缆,内部光纤采用 62.5/125 μ m 多模光纤。光纤连接器用于将光纤连接到光纤链路模块(OLM),同时为光纤提供了测试入口,方便了光系统的调试、测试与维护。为与 OLM 进行可靠的连接,采用标准的 BFOC 连接器,型号规格为 ST 型 BFOC/2.5。

功率管理和监控系统对主推进系统的控制设备实行实时监控,实现航行工况及航速的集中控制;对柴油发电机组控制设备实行实时监控并显示。对发电配电分系统,主要操作模式有中央控制台自动、半自动、板前半自动、板前手动以及机旁操作。对推进分系统,主要操作模式驾驶室操车、中央控制台操车、中央控制台后备操车以及变频器机旁操车。

本系统采用的上位机监控软件 Wonderware® InTouch® 8.0 是用于工业自动化、过程控制和管理监视的一个强大的图形人机界面(HMI)软件。它在 PC 基础上开发的操作员监控系统,用于可视化和控制工业生产过程。同时以 Wonderware 公司的 InSQL Server8.0 提供工业实时数据库支持智能化和信息化,不仅提供更友好的人机界面,使信息更加详细,并可以向上提供标准数据接口,使监控系统与管理系统的沟通。这样,电力控制系统将不再是信息孤岛,而成为全船信息系统的一部分。



5 网络实时性预计

现场设备之间需要快速互锁或联锁控制,完成设备故障保护功能,系统实时性影响到设备运行精度。系统实时性不高,可能会导致设备损坏、引起更严重的故障。影响系统实时性的因素有现场总线数据传输速率、数据传输量、传输介质、从站数目、主站数据处理速度等等。主站应用程序的大小、计算复杂程度也影响系统响应时间,这与主站设计原理有关。

采用 PROFIBUS 可以满足系统响应时间短的要求,因为在 PROFIBUS 网络中,主站之间采用令牌传递的方式工作,令牌传递方式确保得到令牌的主站可在一个事先规定的时间内得到总线控制权,以保证在限定的时间间隔内,该主站能有机会处理自己范围内的工作,且主站可通过主从工作方式和从站以及其他没有令牌的主站之间进行通信,保证了实时性。在 PROFIBUS 中,总线循环时间与站点数的关系如图 6,可以看出,在一个有着 30 个站点的分布式系统中,PROFIBUS 对所有的站点发送 512 位的输入输出数据时,在 12Mbps 时只需要 1ms,500kbps 时也只要 16ms。

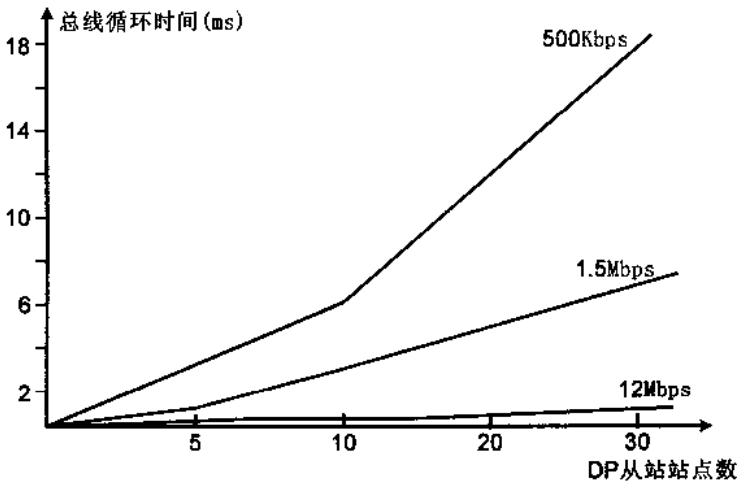


图 6 总线循环时间与站点数的关系

6 结束语

本系统通过应用 PROFIBUS 现场总线技术,结合光纤传输技术,实现了全船系统网络化控制,经试验验证,提高了系统的可靠性、可用性、抗干扰性和可维护性。



基于 Ethernet 技术的舰船损管监控系统设计

王 晓

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘 要: 舰船的损管系统是保障舰船生命力和战斗力的主要手段之一。本文提出利用当今计算机网络技术实现舰船损管监控系统, 上层网络采用当今流行的千兆以太网技术, 下层使用现场总线和可编程控制器, 充分发挥软件功能。为网络技术在舰船损管系统的应用提供了广阔前景。

关键词: 以太网; 损管系统; 监控系统

1 引 言

舰船要承受来自各种武器袭击、碰撞、搁浅、大风浪、起火和爆炸等威胁。正确积极地进行损害管制对舰船的生存有着重大的作用和意义。本文将先进的以太网技术应用于舰船, 在全船搭建局域网。结合成熟的现场总线技术和可编程控制器, 完成了采集、传输、监视和控制一体化。使我国的舰船损管系统自动化水平达到了一个新的高度。本文所介绍的损管监控系统利用传感器采集损管各设备的运行状态参数, 通过现场总线(如 CAN 总线, RS485 串口线)和可编程控制器送至串口设备联网服务器(NPort)上, 串口设备联网服务器再与以太网交换机之间实现信息交互, 管理人员可以通过任意一台接入局域网的计算机监控损管系统状态。监控机通过软件将舰船的损管系统再现, 利用桌面虚拟现实技术以其友好形象的方式将该系统的运行状态实时显示出来。管理人员可以在计算机上对相应设备进行操作, 监控机会将操作信息即时送到串口设备联网服务器, 该设备通过现场总线和 PLC 去实现现场设备控制, 从而实现网络化远程监控功能。

2 监控系统总体设计

基于 Ethernet 技术的舰船损管监控系统主要由上下两层网络组成, 其中下层为损管设备和仪器数据采集、控制和传输, 上层为以太网构建的舰船局域网络, 完成监控、管理损管系统和船岸通信(图 1 损管监控系统拓扑图)。

损管系统根据军舰建造标准和规范的指导要求, 从舰首至舰尾、从底舱至舰桥广泛分布, 子系统间相互独立, 功能上又相互照应。最大限度地利用硬件资源, 使信息贯通流畅。并且尽量利用软件来实现各种监控和管理功能, 并以人工智能为核心来编制模块化软件。以实现如下功能: 水密隔壁的进水报警、防火门和水密门(盖)状态指示及自动关闭、露天门灯光泄露监视、火灾探测和抑制、消防总管状态和控制、通风系统状态和控制、液舱液位自动监测、液舱之间液体调驳、可燃气体探测报警、辅助决策、动力装置及辅助系统有关参数的延

伸显示。

在下层网络中,将根据不同舰船的具体情况,要采集的数据类型、设备性质和采集位置的不同,实现模块化,分散化现场数据采集和现场设备状态控制,并综合应用各种总线使系统总体性能指标(如实时性,可靠性和故障可诊断性等)达到最优。选用适当的通信机制和连线获取实时现场数据,如 CAN 总线, RS-232 总线, RS-485 总线和 TCP/IP 接口。由于 CAN 总线具有可靠性高,传输速率快,连线简单等突出优点,因此船上主要使用 CAN 总线进行数据采集和控制。RS-232 和 485 串口线主要用于可燃气体探测仪、火灾报警装置、灭火联动装置和某些损管设备集成监控单元的数据采集与控制,在采用 Siemens 可编程控制器组网采集数据时也使用。

在上层网络中,从串口设备联网服务器(Nport)出来的数据经过以太网交换机接入船舶局域网进行网络监视、数据查询和打印功能,另外从该交换机接出四路分别送至安装在损管室、机舱集控室和驾驶台的四台监控 PC 机上,实现数据监视、控制系统管路的电磁阀门驳运泵开关起停和保存历史数据的功能。四台监控机均采用 UPS 供电,即使在突然失电的情况下,仍能正常运行 26 小时,有效维护了系统的稳定性。数据收发软件安装在损管室的两台主从互为备用的监控机上,一旦主机故障,从机自动切换。软件控制功能采用密码登陆和优先级控制,损管室最高,其次是集控室和驾驶台。

舰船损管监控系统流程如下:首先选用不同的传感器装置进行数据监测,通过可编程控制器和现场总线进行数据收发、数据传输,采用串口网络服务器(Nport)实现串口设备与以太网的互联和远程端口映射,利用软件数据收发程序进行不同通信协议之间的转换,最终以 TCP/IP 协议向上层以太网广播数据包,同时接收监控机发来的控制数据包。传送给现场执行单元实现远程控制。损管软件接收网络上的数据包,进行解包显示计算存储,同时将控制命令打包发送给底层接收。

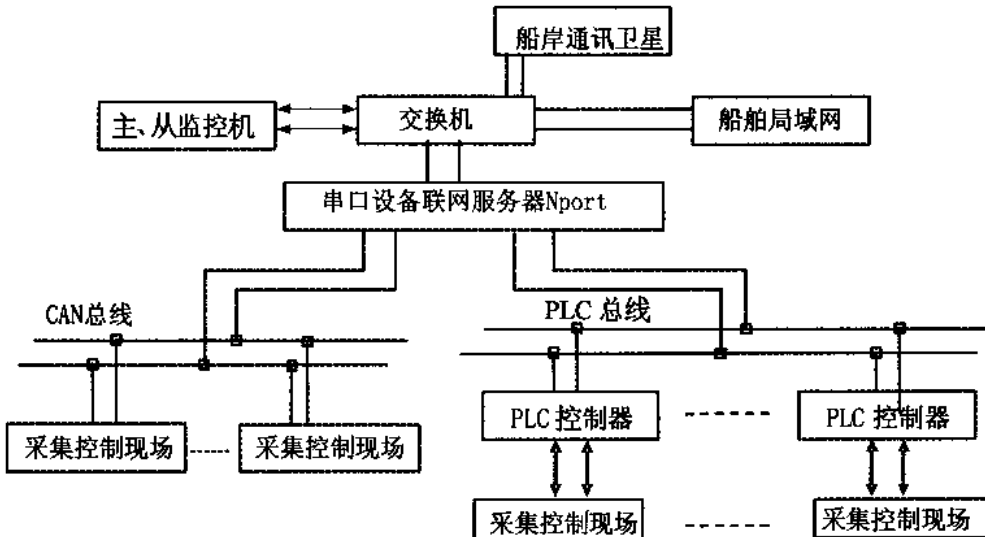


图1 损管监控系统拓扑图

3 损管软件

损管软件采用分布式软件结构,其中编码部分使用 C#(C Sharp)语言作为开发的语言工具,本地数据库使用微软的 Microsoft Access 数据库。

软件结构上分为三大块,细化为舰船状态监视、稳性计算、事故处理、火灾报警处理、可燃气体探测、系统管路阀门遥控、日常事务管理、数据存储查询等共 8 个子系统。从而实现如下功能:实时数据显示,计算船舶稳性,抗沉决策,系统电磁阀门和驳运泵的远程遥控,数据存储,历史数据查询,报表显示和打印功能等(图 2 损管软件结构)。实时数据显示包括:各液舱液位显示,火警状态显示,灭火状态全程跟踪,可燃气体探测,船舶吃水实时测量。

在事故处理和抗沉性上:通过实时测量该舰吃水状态、干隔舱的浸水情况、液体舱液位,手动输入全舰备品重量重心状态,能对船舶稳性及抗风浪能力进行实时计算、显示,并根据油水消耗情况,提供保持和改善稳性与抗风浪能力的措施和方案。对于破舱和搁浅时,根据测量数据和输入相关参数计算出船舶浮态和稳性,并推荐调节方案。当发生火灾时,通过计算消防总管的排水位置和排水量计算船舶稳性变化,从而判断受损程度。

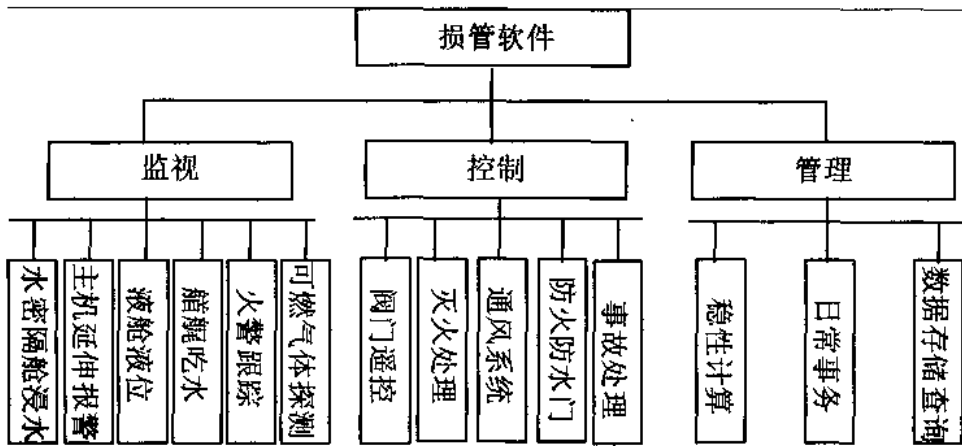


图 2 损管软件结构

4 通信功能和协议转换

(1) 各子系统间采用事件 (EVENT) 和委托 (DELEGATE) 的方法来实现数据通信。

在主系统中我们利用 Visual C# 中的 System.EventHandler 委托,并自定义了菜单单击事件和封装一系列单击事件的委托函数,用于实现主系统和子系统间的数据通信。

(2) 上下层网络间采取广播方式进行数据传递。

监控机与现场设备之间通过收发程序来实现数据通信,通信格式按自定义的数据格式以广播方式向舰船局域网上发送数据包,通过判断数据包的包头、发送机器的 IP 地址和端口号来识别数据包。



5 结 论

该系统具有如下优点:

(1) 以太网技术是非常成熟的技术之一, 性价比高。

(2) 选用了串口设备联网服务器, 解决了不同串口设备之间的互连问题。是系统具有很好的延展性。

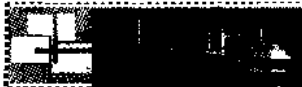
(3) 发挥软件的强大功能, 在提高数据采集、传输和显示实时性方面有创新, 同时解决不同通信协议的转换, 增强了系统的灵活性。

(4) 采用分区采集数据, 分区供电, 分区设置监控台且互为备份, 网络节点相互独立且网络总线有冗余能力, 使该系统的整体可靠性和生命力大大提高。

总之, 该套损管监控系统选用的硬件设备具有通用性好和很强的拓展性, 易于系统维护。且相对同类外国产品在整体价格上要大大降低。同时搭建的局域网平台可以用于实现其他系统的网络监控。

参考文献

- 1 万方水等. 舰船损管监控系统发展概述[J]. 舰船科学技术, 2002,24(6).
- 2 张均东等. 船舶监控网络中的冗余设计和实现[J]. 中国造船, 2002,43(3).
- 3 张均东, 闫惠琦, 余剑翔. 基于 CAN 总线的船舶监控系统设计[J]. 测控技术, 2003,22(10).
- 4 Marina Smith. Virtual LANS[M].1st edition. 北京: 清华大学出版社影印, 2001.



舰艇反渗透海水淡化装置的实验研究

陈金增¹, 钟民军¹, 朱强华², 李光华¹, 王 怀¹

(1. 海军工程大学, 船舶与动力学院, 湖北 武汉, 430033;

2. 海军工程大学, 电子工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要:以5吨/天反渗透海水淡化装置为例,通过改变进水含盐量和系统工作压力,测得产水量、产品水含盐量的变化规律,并利用 ROSA 反渗透分析软件对装置进行了分析计算;计算分析证明:实验结果与理论分析结果有较好的一致性,随着进水含盐量的增大,产品水含盐量增加,系统回收率、产水量降低;随着系统工作压力的升高,系统回收率、产品水流量及产品水含盐量升高。

关键词:反渗透;海水淡化;实验

1 引 言

现代舰艇执行远洋战斗任务,设备、人员需消耗大量淡水。舰艇用淡水补充量与舰船的吨位、动力装置类型和人员编制等因素有关。36 765 kW 的蒸汽动力装置的驱逐舰,其主机耗汽量约 200 t/h,锅炉排污、系统泄漏所损失的淡水(即锅炉给水补充量)一般占主机蒸汽耗量的 2%,这样仅是动力装置每天需补充淡水量 96 m³。如果舰艇编制人员 200 人,每人日平均用水量限制为 30 kg,则全部人员日需淡水量至少 100 m³,这艘驱逐舰每天需补充淡水约 200 m³。目前正在推广应用的船用注蒸汽燃气轮机(STIGT),为提高循环效率增加发动机功率,需向燃烧室里喷注大量蒸汽。以美国的 LM2500 注蒸汽燃机为例,功率约为 18382 kW,蒸汽注入率为 0.3 kg/s,合计每天淡水需要量为 544.3 m³。如此大的淡水需求,单靠舰艇携带的淡水是远不能满足需要的,为此,大中型舰艇都装备有海水淡化装置。传统的海水淡化装置主要采用单效蒸馏法,多级闪发法和电渗析法等,单效蒸馏技术是通过在蒸发器中一次加热蒸汽(新蒸汽)加热海水,产生二次蒸汽,二次蒸汽冷凝后获得淡水方法称为单效蒸发(SED);为节省加热蒸汽,将前一效的二次汽作为后一效的加热蒸汽,依次类推组成多效蒸发(MED),这是一种常规有效的脱盐方法。该法耗能高、易结垢。多级闪蒸(MSF)是靠外加热源将海水加热到某一温度使之进入蒸发室,在真空条件下进行单级或多级蒸发,浓盐水排放,凝结水回收的过程。由于海水加热和蒸发过程是在加热器和蒸发器中分别进行,因而蒸发器的结垢程度低于多效蒸发法。电渗析(ED)技术系 20 世纪 50 年代发展起来的一种膜分离技术。电渗析器由阴、阳离子交换膜对组成相间的浓海水室和淡水室,利用膜的选择透过性,即阴膜透过阴离子,阳膜透过阳离子,海水在外加直流电场作用下,Na⁺、Cl⁻离子迁移到相间的浓海水室中,淡水室的离子浓度越来越低,从而使盐水得到淡化。ED 每级每段的除盐率只有 25%~60%,因此高含盐量的海水淡化,需采用多级多段 ED 装置,体积



较大。反渗透(RO)法是近年来广泛应用的一种高科技新型膜分离技术。它利用反渗透膜的反渗透特性,当进入RO元件的海水压力高于其渗透压(对TDS为35000mg/L的海水,25℃时的渗透压为2732.1kPa)时,水经过半渗透膜渗入淡水侧,盐被膜阻留在浓水侧,从而使海水得到脱盐淡化。这种装置可在常温无相变条件下连续运行,只有高压泵和预处理系统的海水泵消耗电能,单级除盐率可达99%,而且装置操作简单,近年在舰艇上获得越来越多的应用。

2 5吨/天反渗透海水淡化实验装置

2.1 设备介绍

5吨/天反渗透海水淡化实验装置如图所示。装置主要由增压泵、多介质过滤器、粗滤器、精滤器、高压泵、反渗透膜件、手动调节阀、水箱等组成,测试设备包括:两只压力表、四个压力变送器、两个流量计(测量进水和产品水流量)、两个电导仪(测量进水和产品水含盐量)。多介质过滤器上设置有多路阀用来对多介质过滤器进行反向冲洗,高压泵采用美国GIANT公司P220A-3000型三柱塞泵,膜件采用DOWS公司的SW30-2540型卷式膜(四个膜件)。

2.2 实验过程

为验证装置的性能,实验过程通过改变进水含盐量和工作压力,测的不同进水含盐量和工作压力下的产水量、产品水含盐量、进水量以及计算得到的回收率、脱盐率绘于图2、3、4中。

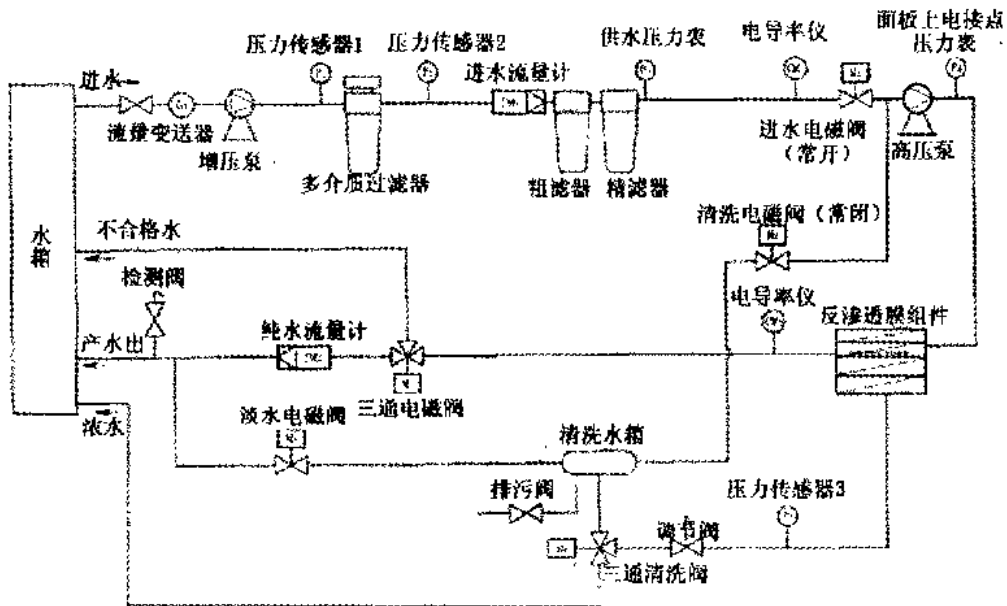


图1 实验装置原理图

3 实验装置性能分析

3.1 装置的数学模型

质量平衡公式

给水流量等于产品水流量和浓水流量之和

$$q_{V,f} = q_{V,p} + q_{V,b}$$

式中: $q_{V,f}$ ——给水流量, m^3/h ;
 $q_{V,p}$ ——产品水流量, m^3/h ;
 $q_{V,b}$ ——浓水流量, m^3/h 。

回收率 Y (以%表示)

$$Y = \frac{q_{V,p}}{q_{V,f}} \times 100\%$$

脱盐率 SR (以%表示)

$$SR = \frac{c_f - c_p}{c_f} \times 100\%$$

透水量 $q_{V,w}$ (L/h)与作用于膜的压力成比例,即

$$q_{V,w} = K_w (\Delta p - \Delta \Pi) \cdot \frac{S}{\delta}$$

式中: K_w ——膜对水的特性常数;

S ——膜的面积, m^2 ;

δ ——膜的厚度, μm ;

Δp ——膜两侧水的压力差, Pa ;

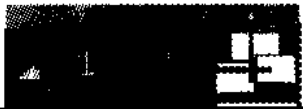
$\Delta \Pi$ ——膜两侧水的渗透压差, Pa 。

透盐量 $q_{m,s}$ (mg/h)与膜的两侧的浓度差 Δc (mol/l)成正比,即

$$q_{m,s} = K_s \cdot \Delta c \cdot \frac{S}{\delta}$$

式中: K_s ——膜的透盐系数。





3.2 分析计算

为分析实验装置的性能, 利用 ROSA5 反渗透分析软件, 在实验条件下对装置的性能进行理论分析计算, 计算结果如图 2、3、4。

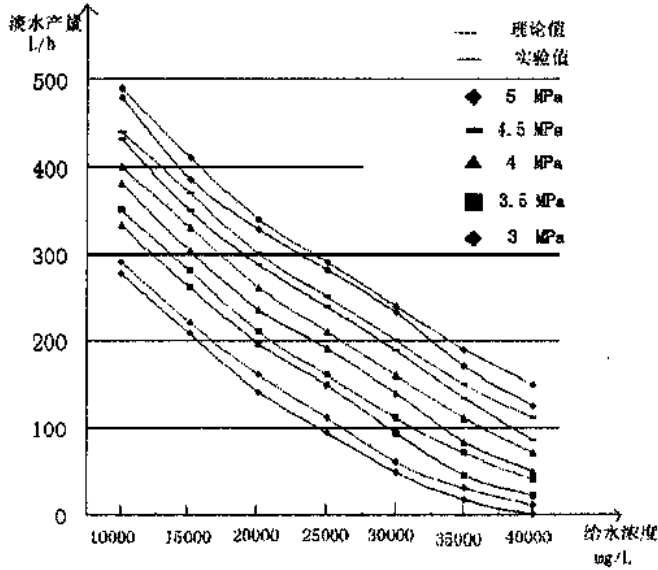


图 2 产品水流量随进水含盐量及工作压力的变化

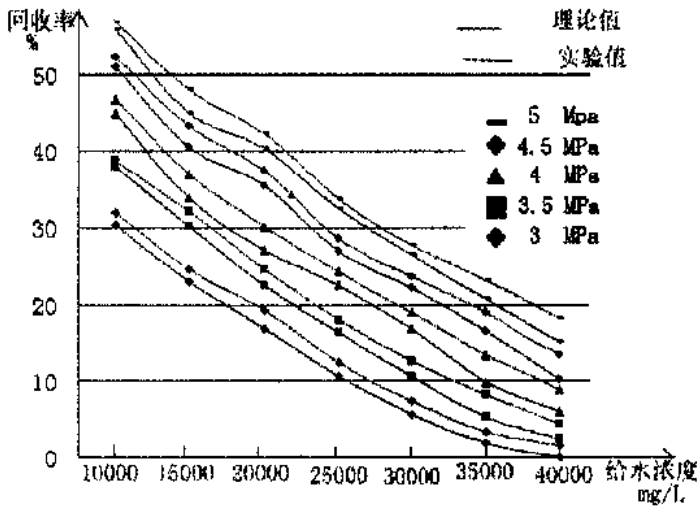
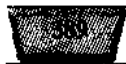


图 3 回收率随进水含盐量及工作压力的变化



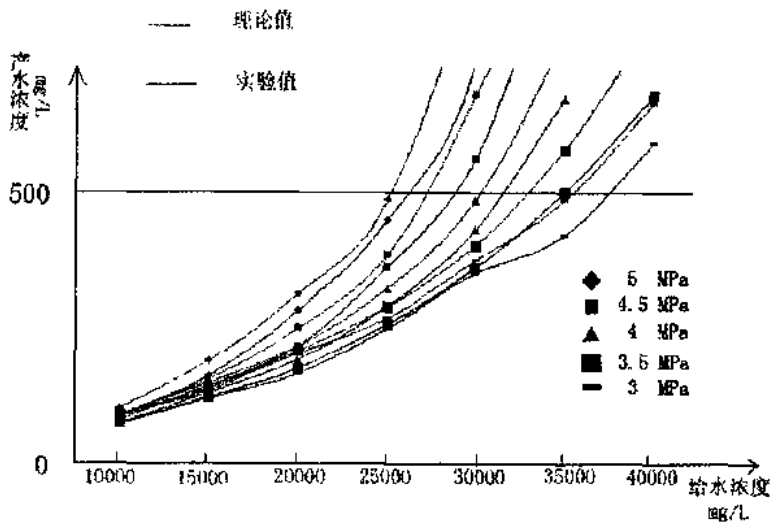


图4 产品水含盐量随进水含盐量及工作压力的变化

4 结 论

通过分析可见,随着工作压力的增加,产品水流量、回收率、产品水含盐量相应增大。随着进水含盐量的增加,产品水含盐量增大,回收率、产品水流量降低。试验结果与理论分析有较好的一致性。

参考文献

- 1 Jinzeng Chen, guanghua Li, Marine reverse osmosis desalination plant-a case study, *desalination*, 174(2005), 299-303.
- 2 舰船海水反渗透淡化技术适用性分析[J]. 应用科技, 2000
- 3 冯逸仙. 反渗透水处理工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000



某型潜艇空调能耗分析和节能研究

钟民军, 陈金增, 吴 钢

(海军工程大学, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 国产某型潜艇采用直流式空调系统, 处理风量大, 送风距离远, 空调能耗大。本文经多次实艇测试计算, 分析了该型潜艇空调冷量损失和能耗状况, 提出了改善空调品质和节能的措施。

关键词: 空调; 能耗; 潜艇

1 空调现状

国产某型常规潜艇为现役主战潜艇, 装有两套直接冷却式空调装置, 其设计制冷量为 74.4 kW。它依靠位于 V 舱的全艇吸、排通风机, 将经过蒸发器冷却后的空气通过全艇通风管路输送至全艇七个舱室进行空调。由于吸、排通风机功率大, 在输送空气时对空气增压和升温而消耗了大量的冷量, 因此潜艇水下航行时舱内温度普遍较高(见表 1 所示的某型××号潜艇在东海水下昼夜航行时测得的各舱室温度和相对湿度)。

表 1 舱室的空气温度(°C)和相对湿度(%)

时间	I 舱		II 舱		III 舱		IV 舱		VI 舱		VII 舱	
	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度
02:00	29.0	75	32.5	80	30.4	79	29.8	76	31.0	75	30.0	67
04:00	29.5	72	31.5	75	31.5	80	32.3	71	32.0	78	30.2	73
06:00	29.5	75	32.0	76	32.4	78	34.8	69	31.5	78	30.5	73
08:00	29.0	78	32.1	69	31.9	71	34.3	66	32.0	72	29.0	66
10:00	28.5	74	31.5	69	31.9	71	33.3	63	32.0	71	30.0	67
12:00	29.1	71	32.0	70	30.9	67	34.3	61	31.2	75	30.0	69
14:00	29.0	71	31.0	68	31.4	65	32.3	65	31.0	71	30.5	73
16:00	29.2	75	31.2	85	30.9	67	32.8	66	32.5	68	30.5	73

注: 各舱室空气的温度和湿度是用 HT-3001C 型数字式温、湿度计测量的。

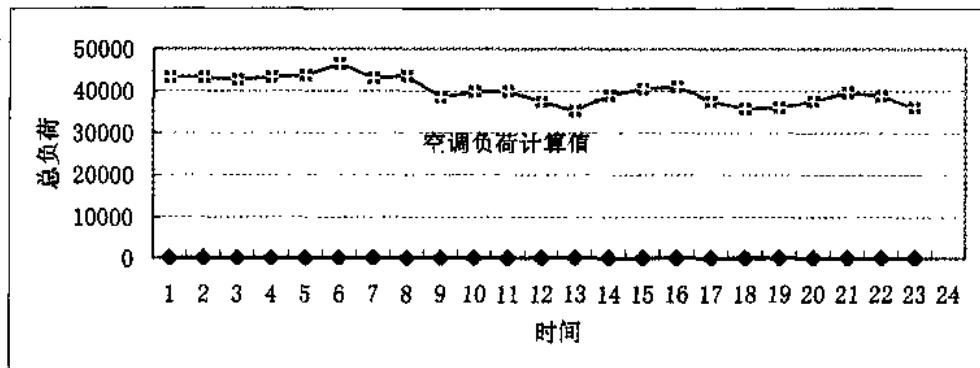
由以上各舱室温度、湿度测试结果可知, 大多数舱室空气温度和湿度都达不到《潜艇居住性规范》(夏季空调: 温度要求不高于 28°C, 湿度要求不高于 60%) 的要求。由于常规潜艇水下航行时所有机电设备的能源都来自蓄电池, 而空调装置是潜艇水下航行时必须连续工作的耗电大户。目前, 按最省电的方法使用空调时耗电达 49 kW, 大于一台经航电机以前进三的速度航行时的耗电。而空调效果并不尽人意, 因此, 有必要对该型艇进行改善空调品质

和节能的研究。

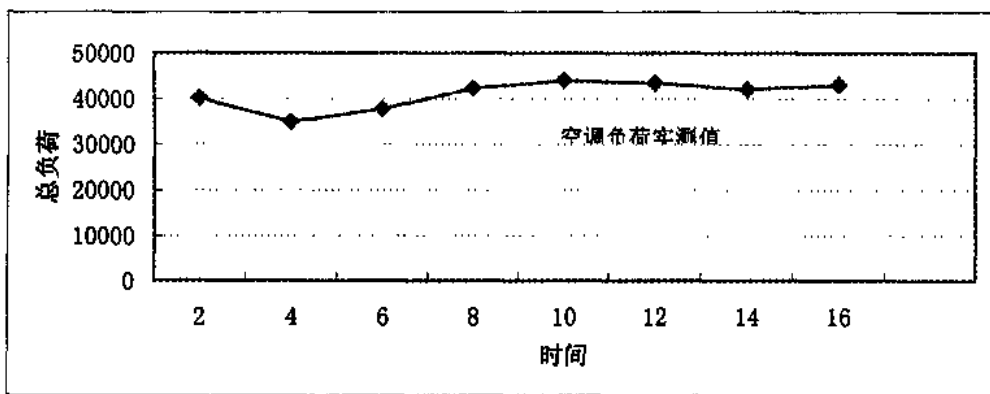
2 空调能耗分析

2.1 制冷量损失分析

从表 1 实测情况看,除 I、VI 舱外,其它各舱的平均温度在 31℃ 以上,IV 舱某些时刻达 34℃。显然,有两个原因造成这种局面。一是设计的装置空调冷负荷小于实际冷负荷;二是冷量损失过大。为确定是那种情况,本文用动态负荷计算方法……传递函数法,统计计算了该艇的空调冷负荷,计算的逐时空调负荷如下:(未计 V 舱制冷量)



计算结果表明,从舱空调实际负荷最高的 46.5 kW,远小于空调装置提供的 74.4 kW 的制冷量,为验证计算结果的正确性,我们结合某艇远航时进行了空调负荷实测,其结果如下:(未计 V 舱制冷量)



实测结果证明了计算值,实测最大负荷为 44.1 kW,也远小于空调装置的负荷值。设计制冷量大于实际冷负荷却未能达到理想的空调效果,显然大量的冷量被无谓地消耗掉了。为此我们深入调研了该艇实际的空调系统和空调环境,就可能引起冷量消耗的因素进行分析研究,结果如下:

(1) V 舱空调送风的冷量消耗

潜艇 V 舱是柴油机舱,潜艇水下航行时,柴油机停止使用后发出大量热量,在 V 舱这样一个高温舱室里,依然设置了三个空调送风口,其布置是艏端操纵部位一个,艉端挡板操



纵部位两个,其中前部风口靠近蒸发器的出口,送风温度低且风速很大。我们对V舱的送风口进行了测试,结果如下表:

表2

送风口	风速/(m/s)	流量/(m ³ /h)	冷量损失/W
前风口	21~23	887.0	13 591.0
后风口(右)	1.4	58.5	650.3
后风口(左)	1.2	50.1	558.4

计算得V舱三个送风口的冷量消耗总共为14 799.7(W),这个冷量消耗是比较大的。从温湿度实测情况看,消耗如此大制冷量,该舱温度依然在34℃以上,而潜艇水下航行时该舱仅艏部和艉部各一人值班,应该说如此大的冷量消耗是得不偿失的。

(2) 风管渗热的冷量损失

空调送风会通过风管与舱室环境进行热交换,一般来说冷空气从管壁吸热,实际上对该舱是起到了空调作用的,可以不视为冷量损失。但在高温的V舱,蒸发器和送风管均未敷设绝热材料,其对舱室空气调节的作用是微不足道的,应该视为有害吸热。在实艇测试中,我们对蒸发器出口和艉部风口的空气温、湿度进行了测试。这里选用了测得的一个连续的八个点次。其温度和焓差变化及冷量损失结果如表3。

表3

次数	温差/℃	焓差/(kJ/kg)	送风量/(m ³ /h)	冷量损失/W
1	4.9	9.0	1034.5	2 905.8
2	6.5	14.9		4 811.6
3	5.7	13.3		4 297.7
4	3.9	7.8		2 513.9
5	5.4	11.3		3 648.8
6	5.2	12.0		3 879.1
7	5.3	11.6		3 744.2
8	5.6	12.7		4 095.3
平均	5.3	11.6		3 737.2

从测试的八个点的结果看,V舱蒸发器出来的冷空气到达V舱艉部送风口时平均冷量损失为3 737.2(W),除去空气在风管中沿程阻力的影响因素外,实际上这部分冷量绝大多数是通过送风管壁吸热而损失掉了,而这些冷量损失还未把两个蒸发器的吸热计算在内。

(3) 大功率通风机消耗大量冷量

该型艇的空调系统借用全船通风系统进行空调送风,通风机配套电机的额定功率为17 kW。通风机不仅消耗的电能大,而且其消耗的功率一部分转化为机械发热散发在V舱,其排送空气所作的有功功率,从理论上讲最终全部转化为热能,也就是说通风机的有功功率是空调冷量的一种无效消耗。

关于通风机发热引起的送风温度升高问题,我们在旅顺潜艇某支队对356艇进行了测试。方法是用V舱的排气通风机从V舱吸气进行全艇通风,拧下通风机出风口处的检查孔口,测



量风机进、出口的空气温度差。测得通风机的进气温度为 39.5°C ，风机出口处的温度为 43.3°C ，舱内空气经过通风机后温度升高了 3.8°C ；测得风机排量为 $6250\text{ m}^3/\text{h}$ ，可计算出其传递给所输送空气的热当量为 8311 (W) 。

2.2 空调装置的电能消耗

该型艇空调装置采用两台 Z_1C-71/D_2 型制冷压缩机，配套电机额定功率为 12.5 kW ，冷却水泵额定功率为 7.3 kW ，加上通风机的耗电，全套空调系统消耗的额定功率为 49.3 kW 。据我们多次实艇观察，压缩机实际电流为 38 A ，水泵电流 21 A ，通风机电流为 61 A ，可换算得系统实际耗电为 34.8 kW ，与某艇的远航记载的耗电情况相当，空调装置的耗电相当于续航电机的消耗，水下续航航力损失较大。因而，我们认为对改善常规潜艇空调不适宜采取增大空调能量来提高制冷量的办法。

从实测情况看，VI舱由于使用了主电机空冷器（用海水做冷却介质的热交换器）进行舱室辅助性将温，致使测试负荷小于舱室实际负荷。如果停止主电机空冷器，估算舱室温度将达到 36.2°C 。据我们观察计录，主电机空冷器风机的电流为 85 A ，配套的海水泵泵电流 62.5 A ，两套这样的装置耗电是相当大的。这种大功率的空冷器，由于借助于本身温度就较高的海水采冷，加之冷量与设备自身巨大的发热相抵消，实际的产冷度很低。如果加大VI舱的冷量分配，使之满足负荷要求，则经航时即可停止使用主电机空冷器，在这方面节能的潜力是很大的。

3 改善空调品质和节能措施

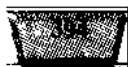
以上对空调系统的冷量损失做了一分析，并给出了一定的实测依据。不计蒸发器从V舱吸热以及空调送风在风管中因沿程阻力和局部阻力引起的冷量损失，该艇总的冷量损失约为 27 kW ，这部分损失掉的冷量是很大的。怎样减少空调的冷量损失，更好地利用现有的制冷量，达到即改善潜艇的空调品质又有效地节能，是我们对空调系统进行改进的出发点和目的。考虑目前该型艇已设计定型，立足于充分利用现有设备，少作变动的思想，提出分区空调的方案：

3.1 分区方式

从前面的能耗分析看，全艇送风管道长，沿程损失和局部损失都较大，通风机在大排量，高压头下运转，其消耗的电能和发热当量都很大，且实测的舱室的送风量却普遍较低。针对这种情况，从节能的方面考虑采用将全艇分为三个空调区域进行空调。

具体是将一套制冷装置移到III舱，并在II、VI舱各设一台小型风机和一个直接蒸发式空气冷却器，由一台压缩机向两个蒸发器输送制冷剂，运行时关闭II舱和III舱之间的通风插板，这样将前面四个舱划分为两个区，I、II舱为1区，III、IV舱为2区进行分区小循环；将V、VI、VII划为第3个空调区，在V舱设一直接式蒸发器，将V舱大通风机降速运行，用于向V舱定点供冷及给VI、VII舱空调送风。

采用分区空调，通风机送风量和压头下降，同对风机耗电大大下降，根据我们在武昌造船厂某艇的实际试验，设置 2 kW 的小型通风机完全能满足送风要求。可在1、2区内设置功率 2 kW 的小通风机，3区的原大通风机实行降速运行，实测耗电 3 kW 。





实机分区循环约可风机节能 10 kW。此外,由于后部空调区设计制冷量为 37.2 kW,并且配置单独的风机送风,可以保证 VI 舱的空调供冷,这样经航时省掉了主电机空冷器风机和海水泵,这两项将节能 33 kW 将会得到明显的节能效果。

3.2 对 V 舱高温战位实行定点送风(又称冷风淋浴)

可将 V 舱视为非空调区,仅对个别高温战位实行定点送风。潜艇水下航行时,柴油机停止工作,开始向舱内散发出大量的热量,舱内温度迅速升高,但在水下二部署时,V 舱前后部仅有两人值班,而此时 V 舱三个送风口的实际供冷量为 1 万 4 千多瓦,从经济角度看不够合理,而且实际达到的空调效果很差,可以认为这部分冷量被无谓地损耗掉了。将高温的机舱划为非空调区,重点对人员工作生活区进行空调是国外潜艇空调设计的惯常做法。为解决这个问题,提出在 V 舱前、后操纵部位实行定点送风,以创造局部微环境的舒适性。

80 年代美国 Azer 教授和 Hwang 等人定点空调进行了研究,国内学者就有关气压速度场、温度场计算式及不同送风参数对入体热感觉的影响作了更进一步的探讨。有资料表明,在高温环境下,当环境温度为 32℃~36℃,平均辐射温度为 37.5℃~39℃,相对湿度在 30%~70% 时,采用送风温度为 16℃~25℃ 的局部冷风系统就可满足人员的舒适条件。据该资料,在与 V 舱状况相当的环境温度 34℃,送风温度 19℃ 的情况下,送风量 37 m³/h,送风冷量 1412(W),即可使送风区域内人员达到舒适热感。两个定点送风口消耗冷量仅为 2 824 (W),节省有效制冷量达 1.2 万千瓦,预期创造的空调微环境却要好。

在潜艇上实施定点送风,对现有设备的改动很小,节约的冷量大,在潜艇上实施的条件较为成熟。

3.3 对 V 舱送风管道敷设绝热材料

减少空调冷量损失最简单和直接的办法莫过于在 V 舱的蒸了器和送风管道外敷设一层绝热材料,这样可以减少空调送风从 V 舱的吸热。按实测的舱室情况计算,若敷设一层 8 毫米的泡沫绝热层,计算得送风空气通过管壁传热为 980 (W),约减少冷量损失 2 400 (W)。

4 效益分析

采用分区空调的方式对原空调装置改动小,易于实施。其优点主要体现在:

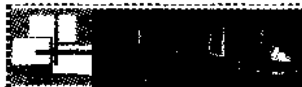
4.1 节省电能,有效提高潜艇水下续航力

本方案沿用原艇空调装置,但三台风机额定耗电仅 7 kW,较之原大风机耗电 17 kW,节能 10 kW,改装后空调整节能 20% 以上。如果算上 VI 舱因为空调整冷量增大而停用的主电机冷风机和海水泵 33 kW,节能效果将是十分可观的。根据潜艇不同的水下航速工况计算,平均提高潜艇水下续航力 15%~49%,有利于潜艇水下待机和机动,具有十分明显的军事经济效益。

4.2 减少空调冷量消耗,有效改善潜艇空调品质

以上措施减少冷量无谓消耗约 20 kW,这些制冷量可用于有效空调。其中,空调 1、2 区可多分配 12 kW 制冷量,3 区增加 8 kW 制冷量。根据我们在武昌造船厂某艇试验实测,各舱平均温度较以前降低 4℃~6℃,完全满足规范的要求,极大地改善了艇员的生活条件,





有利于保证潜艇艇员健康和战斗力。

4.3 降低空调噪声, 有利潜艇水下隐蔽性

原艇使用全艇通风机进行空调送风, 送风距离远、风量大, 风机在大排量高压头工况下运行工作噪声大, 实测表明风机噪声在 84~104 dBA 之间, 风机降速运行后实测噪声 74 dBA, 降噪效果十分明显, 有利于潜艇水下隐蔽性。



船舶柴油机电子控制调速系统的仿真

韩晓军

(大连海事大学 轮机工程学院, 辽宁 大连, 116026)

摘要: 本文在 MATLAB6.1 环境下, 利用 Simulink 工具箱, 实现了船舶柴油机电子控制调速系统的仿真。仿真计算结果表明系统建模可行、正确, 调速特性与理论分析结果一致。

关键词: 船舶柴油机; 电子控制; 调速器; 系统仿真

1 仿真工具

电子控制调速系统的仿真软件是 MATLAB6.1 环境下的 SIMULINK 工具箱。Simulink 是 MATLAB 的一个分支产品, 主要用来实现对工程问题的模型化和动态仿真。在世界范围内的模型化浪潮的背景下, Simulink 恰恰体现了模块化设计和系统级仿真的具体思想, 使得建模仿真如同搭积木一样简单。Simulink 对仿真的实现可以应用于动力系统、信号控制、通信设计、金融财会和生物医学等各个领域的研究中。由于 Simulink 可以很方便的创建和维护一个完整的模型, 评估不同算法和结构并验证系统性能, 因此对于系统工程师、软件开发和硬件设计人员来说, Simulink 可以大大加快产品的开发过程。另外, Simulink 还可以与 MATLAB 中的 DSP 工具箱、信号处理工具箱以及通信工具箱等联合使用, 进而实现软硬件的接口, 从而成为实用的控制软件。

2 系统模型

2.1 系统组成

船舶柴油机电子控制调速系统模型由下列 5 个部分组成: 柴油机、喷油泵、两级 PID 控制器和执行器。

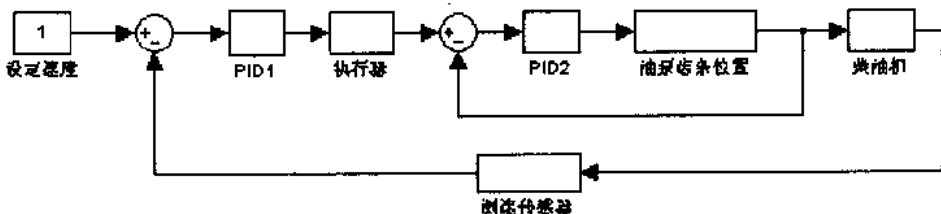


图1 电子控制调速系统组成框图

2.2 模型验证

在建立好柴油机的控制模型后,需要对其进行校验,以保证其性能与原机具有较好的一致性。在 110%Ne、100%Ne、93.5%Ne、90%Ne、75%Ne、50%Ne 和 25%Ne 七个船舶柴油机变工况的仿真计算,计算结果与实测数据比较如图 2 所示,表明计算结果其实测值吻合良好,证明了本仿真模型的正确性与实用性,为柴油机电子控制调速器的设计提供了一个良好的被控对象。分别对油门突变(设定速度突变)和负荷干扰的工况进行仿真实验,图 3 是柴油机转速为 50 r/min 时,突然把转速设定为 70 r/min 的加速工况的动态仿真曲线。

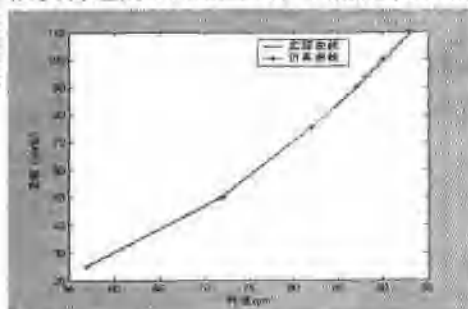


图 2 柴油机实验与仿真结果比较



图 3 柴油机转速变化

3 电控调速系统仿真结果及分析

为了研究调速系统参数的变化对发动机动态过程的影响,在下面的仿真中首先取一组标准的参数进行仿真,这组标准参数分别为:PID1 的比例增益 $K_{p1}=20$,积分增益 $K_{i1}=0.5$,微分增益 $K_{d1}=80$;PID2 的比例增益 $K_{p2}=25$,积分增益 $K_{i2}=0.8$,微分增益 $K_{d2}=40$;主环控制器增益 $K_1=0.8$,副环控制器增益 $K_2=0.2$;主环的转速 A/D 转换器位数 $q_3=12$,副环的齿杆位移 A/D 转换器位数 $q_2=12$;主环运算延迟 $t_1=0.005s$,副环运算延迟 $t_2=0.005s$ 。确定了这组标准参数后首先进行一次仿真,仿真结果如图 4 所示。之后每次仿真都只改变其中的一个参数同时保持其他参数不变,通过比较这些仿真结果就可以分析和验证各个参数对调速动态过程的影响。

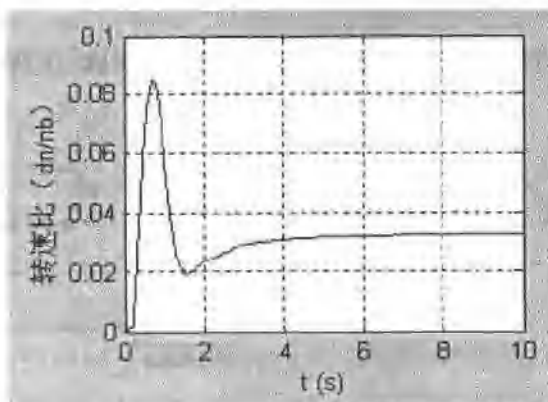


图 4 标准参数



3.1 主环比例、积分和微分增益的改变对调速性能的影响

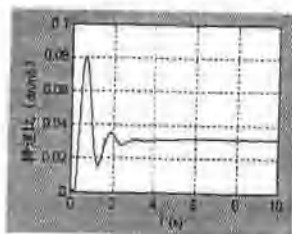


图5 $K_{p1}=30$

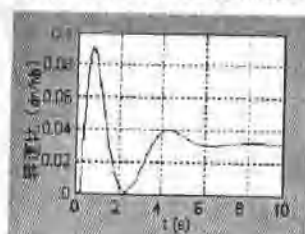


图6 $K_{p1}=10$

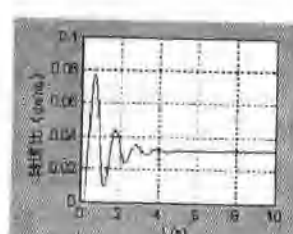


图7 $K_{p1}=40$

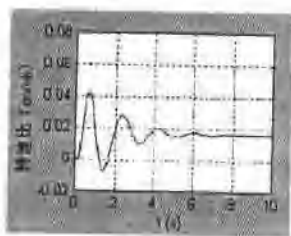


图8 $K_{i1}=1$

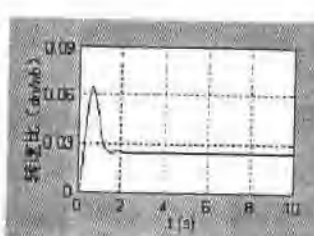


图9 $K_{i1}=0.1$

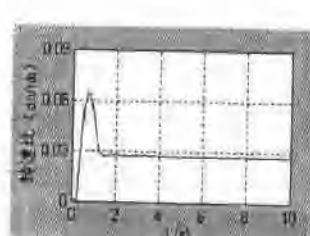


图10 $K_{i1}=0.01$

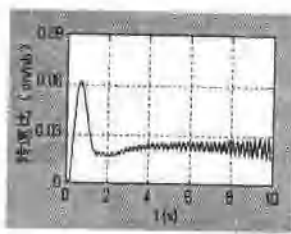


图11 $K_{d1}=100$

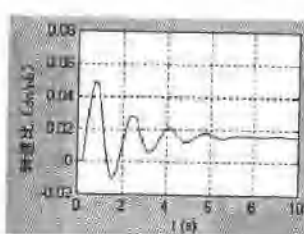


图12 $K_{d1}=20$

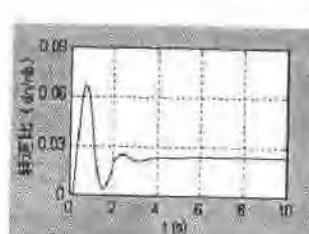


图13 $K_{d1}=40$

由图5~图7可看出:当比例增益较小时,变化比较平稳,波动频率小,但稳定时间变长,静差变大;当比例增益过大时,系统明显振荡。对于积分作用,图8明显比图9调节的动作快,但振荡也更大,而图10的调节作用明显太弱。微分控制的影响可从图11~13中反映出来,图13比图12波动小,调节时间短,但是当微分作用过强时系统反而变得不稳定了。

3.2 副环比例、积分和微分增益的改变对调速性能的影响

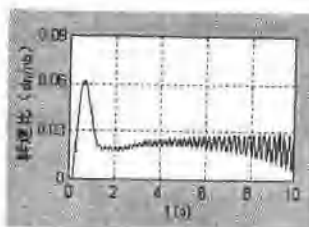


图14 $K_{p2}=40$

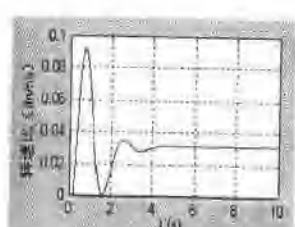


图15 $K_{p2}=10$

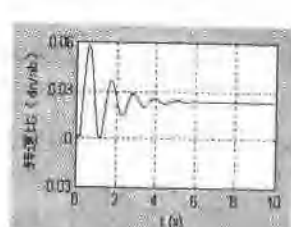
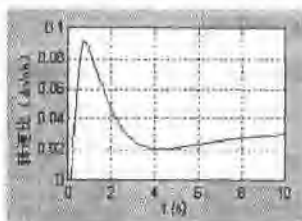
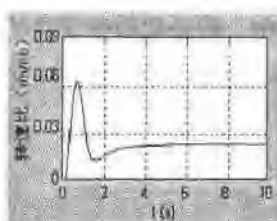
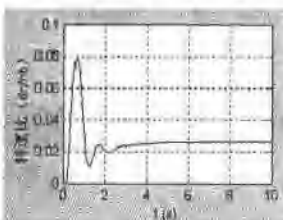
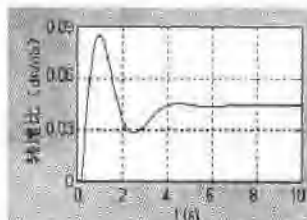
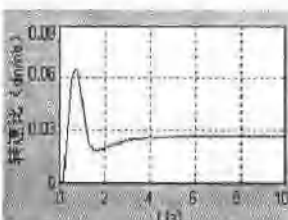
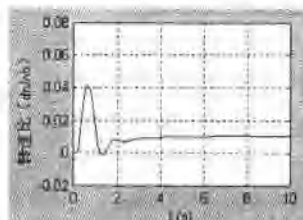


图16 $K_{i2}=2$

图 17 $K_{i2}=0.1$ 图 18 $K_{d2}=30$

由图 14~18 可看出:总的来看,主、副环 PID 参数对调速性能的影响趋势相同,但影响程度不同,副环参数对调速性能的影响比主环参数小;另外,副环的比例增益应取较小的值,否则会使系统失稳。

3.3 主、副环控制器增益的改变对调速性能的影响

图 19 $k_1=1.0$ 图 20 $k_1=0.4$ 图 21 $k_2=0.6$ 图 22 $k_2=0.2$

由图可看出,主环控制器增益则主要影响稳态调速率,图 19 的稳态调速率明显小于图 20 的稳态调速率,且随增益的变大,稳定时间也变短;但是当增益过大时会导致振荡。副环控制器增益主要影响瞬态调速率和稳定时间,增益越大,稳定时间越短,转速波动越小,瞬态调速率越小;但是当增益过大时会出现振荡,这是应该避免的;另外副环控制器增益对稳态调速率也有较小的影响,稳态调速率随增益的变大而变大。

3.4 A/D 转换器运算延迟的改变对调速性能的影响

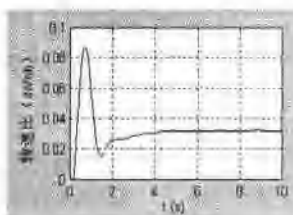
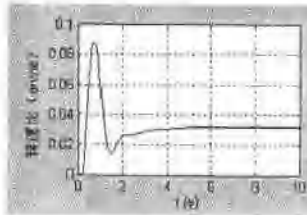
图 23 $t_1=0.02$ 秒图 24 $t_2=0.02$ 秒



图 23 和图 24 说明了无论当主环还是当副环的运算延迟变长时,其调速动态过程会变差,因为超调会变大。另外,主环运算延迟的改变对准稳态过程有较大的影响,主环运算延迟的增加会使转速波动率明显变大。因此,应该尽量选取较小的运算延迟。

综上所述,由仿真结果可看出:各个参数对调速过程的稳定时间、瞬态调速率、稳态调速率和转速波动情况的影响趋势不同,影响程度也不同,并与调速性能影响的理论分析是一致的。

4 结论

近年来,为解决能源和环境污染问题,柴油机的电控技术在微电子技术的推动下得到了飞速发展。鉴于开发成本、开发难度及现有生产状况等原因,目前国内柴油机实现电控化的途径一般是在对原有柴油机结构改动较小的情况下加装执行器控制喷油装置,实现电子调速。船用柴油机实现电子调速后,不仅能提高其动力性、经济性和排放性能,还易于和其它主机遥控系统相结合,提高船舶动力装置的各项性能,因此如何更好的实现柴油机的电子调速就成为摆在柴油机工作者面前的一个重要课题。为了解决这个问题,进行电控调速系统的实时仿真是近年来比较流行的一种方法,可以很好的解决电控系统新产品开发面临的多样性需求与快速开发之间的矛盾。

根据所建立的柴油机本体模型和整个电控调速系统模型,仿真结果和实际比较吻合,说明所建模型能满足动态仿真的实时性和精度要求。

通过对电子控制调速系统的仿真计算结果和理论分析相一致,即当比例增益较小时波动频率小,但稳定时间变长,静差变大;当比例增益过大时,系统明显振荡等等。这些结论都有助于进行调速器参数的选择,从而实现调速性能的优化。

参考文献

- 1 赵士林. 九十年代内燃机[M]. 上海交通大学出版社, 1992.
- 2 吴民桥, 朱从乔, 潜伟建, 杨胜国. 柴油机数字式电子调速器的技术现状与发展趋势[J]. 船舶与海洋工程研究专集, 2001年, 总第 143 期
- 3 Yang M G. Survey of the Electronic Injection and Control of Diesel Engines[J]. SAE Paper 940378
- 4 朱辉, 王丽清等. 用于控制分析的柴油机动态模型[J]. 内燃机学报, 1999, 17 (3): 211-218.
- 5 Watson N, Marzouk M. A Nonlinear Model Under Transient Conditions[J]. SAE Paper 770123
- 6 Hendricks E. Mean Value Modeling of Large Turbocharged Two-Stroke Diesel Engines [J]. SAE Paper:890564
- 7 Kataoka Takuya, China Hiroshi, Nakagawa Kunio, etc. Numerical Simulation of Road Vehicle Aerodynamics and Effect of Aerodynamic Devices[J]. SAE, Paper 910597
- 8 丁洪祥. 基于模糊-PID 控制的船舶柴油机调速系统的仿真研究[D]. 大连海事大学硕士学位论文, 2005.



金属氧化物变阻器并联电容限制过电压技术分析

江壮贤, 杨 锋, 庄劲武

(海军工程大学 电气与信息工程学院, 湖北 武汉, 430033)

摘 要: 分析了单独使用电容作为分断器的过压保护的弊端, 提出了使用 MOV 与电容配合作为过压保护的方法, 并分析了这一方法的优势所在。针对不同电路的预期分断电流大小给出了电容与 MOV 压敏电阻选型的方案, 并通过实验验证了方案的可行性。

关键词: 压敏电阻; 过压保护

0 引 言

当前, 随着各行各业对电能需求的不断增大, 电网中的功率也在不断增大, 当网络中出现故障时的故障电流必然越来越大, 为了保护对电网中的电器设备必须及时强行的分断电路。但是由于电路中电感的存在, 在分断电流的瞬间会产生一个很大的冲击电压, 这个瞬时的高压往往会对断路器产生致命性的破坏, 甚至使电路不能及时分断。传统的分断器为了抑制这个瞬时过压而采用一个大电容来吸收线路中的能量, 但是当要分断的是一个很大的短路电流时需要吸收的能量很多, 所用电容的体积也要相应增大, 设备的体积将会非常大, 给实际应用和安装带来诸多不便。因此 MOV 压敏电阻与电容配合使用来吸收电路中储存的能量优势十分明显^[1~3]。

1 MOV 压敏电阻的工作原理及过电压保护特性

1.1 MOV 压敏电阻的工作原理

现代压敏电阻的主导品种: 氧化锌压敏电阻, 是一种金属氧化物陶瓷半导体电阻器。它以氧化锌为基料, 加入多种(一般 5~10 种)其他添加剂, 经压制成坯体, 高温烧结, 两面印烧银电极, 焊接引出端, 最后包封等工序而制成, 氧化锌压敏电阻的内部可以区分为氧化锌晶粒和存在晶粒间的第二相物质两个部分。晶粒是充分半导体化了的, 尽可能减小晶粒的体电阻是制造技术中追求的一个目标。晶粒的平均直径大体在几个微米到 50 μm 左右。氧化锌原材料粉体的粒径在 1 μm 以下, 晶粒的粒径是在制造烧成中生长出来的, 烧成温度越高, 时间越长, 晶粒长得就越大。晶粒间的第二相物质, 是由添加剂化合物构成的绝缘体, 称为“化学晶界层”。现代的研究证明, 氧化锌压敏电阻的“压敏性”存在于一对相邻晶粒的直接接触处, 这里并没有第二相物质, 但有厚度约 100 \AA 的边界层, 其电学性能与晶粒内部不同, 存在着肖特基势垒。这 100 \AA 左右的边界层称为“电气晶界层”, 这样, 一对相互直接



接触的氧化锌晶粒间的一对肖脱基势垒,便相当于两只背靠背连接的稳压二极管,我们称它为“微压敏电阻器”或“压敏单元”。所以压敏电阻器是由大量压敏单元串、并联构成的集合体。压敏电阻的宏观性能,是许多压敏单元性能的统计表现。

1.2 MOV 压敏电阻的过电压保护特性

MOV 上流过最大故障电流值时,出现的残压最大值(峰值)。如图 1 所示,通常保护水平为电器额定电压的 2.0~2.5 倍。

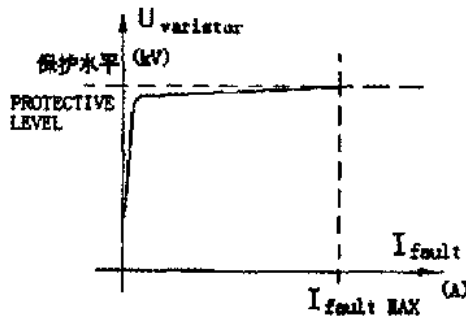


图 1 MOV 的动作保护原理曲线

1.3 MOV 压敏电阻的选择

(1) 压敏电阻器的选用原则

压敏电阻器通常是与被保护设备并联使用的,所选用的器件应满足以下基本要求:器件的最高限制电压应低于被保护设备允许的冲击耐压。

器件安装地点的电冲击强度不应超过器件允许的极限通流量,额定能量和平均功率。

(2) 大峰值电流的选定

由实际产生的过电压能量来选定氧化锌压敏电阻的最大峰值电流,应使得设备产生的被压敏电压所吸收的过电压能量小于压敏电阻的最大峰值电流。

(3) 压敏电压的选定

压敏电压($V_{1\text{mA}}$)值的下限选择是由使用回路电压来决定的,根据使用经验,一般按下式选定:

$$V_{1\text{mA}} \geq 1.8 \sim 2 \text{ VDC} \quad V_{1\text{mA}} \geq 2 \sim 2.5 \text{ VAC}$$

其中, VDC 为线路的直流电压; VAC 为线路的交流电压有效值。

压敏电压值的上限选择是由被保护设备的耐压决定的,应使压敏电阻在吸收过压时,残压抑制在设备耐压以下。

2 MOV 压敏电阻与电容的配合选型

2.1 实验方法及条件

依据 1.3 所述原则在选定某一型号 MOV 压敏电阻的前提下,如何选择吸收冲击能量的电容,使电压的峰值能够抑制在安全的范围之内,又不至于电容过大造成体积过大。在实验中我们选用的是 MYS390/10 的 MOV,其压敏电压是 390 V,通流容量为 10 kA。

实验线路如图 2:

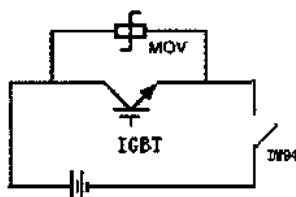


图 2 MOV 实验原理图

直流电源电压: 236 V, 电阻: 6.5 Ω, 电感: 20 μH。MOV 并联于 IGBT 的 C 极和 E 极。

2.2 能量法

由 MOV 对电压的抑制作用的实验波形可知, 当电路的电压超过 MOV 的压敏电压时, MOV 开始动作, 并在很短的时间内把电压抑制到安全的水平, 但是在 MOV 动作初期有一个瞬时冲击电压产生, 且该电压的峰值很高, 会对被保护电路产生破坏作用, 影响保护效果。通过在 MOV 两端并上电容把冲击电压的能量吸收, 从而使电压贬值被抑制在安全的范围之内, 不对被保护器件产生危险。

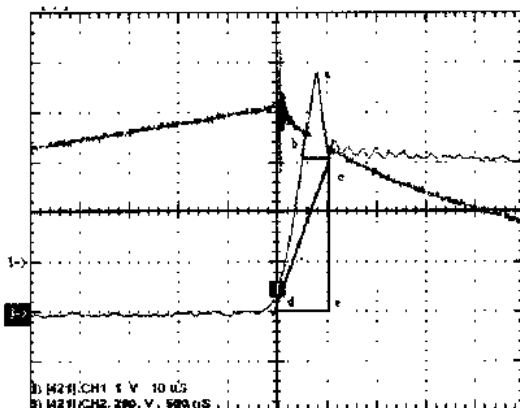


图 3 MOV 限制过电压实验波形

如图 3 所示, 可将 MOV 压敏电阻在电压限制产生过电压过程中的能量分为 3 个部分:

- (1) 最上面部分的锐角三角形 abc 的能量;
- (2) 钝角三角形 adc 的能量;
- (3) 直角三角形 ade 的能量。

通过对以上 3 个部分能量的计算, 可以计算得出不同情况时 MOV 压敏电阻需并联的电容大小, 计算如下

$$W = \frac{1}{2}CU_p^2 = \int u(t)i(t)dt = Ult,$$

其中: U_p 为 MOV 的限制电压; I 为回路最大电流; t 为冲击时间。

当分断电流 $I = 200$ A 时, $U_p = 620$ V, 电压峰值 $U_{max} = 760$ V, 冲击时间 $t = 0.36 \mu s$, 此



时各三角形的能量分别为

$$W_{abc} = 0.00512 \text{ J}; W_{adc} = 0.01008 \text{ J}; W_{ade} = 0.05200 \text{ J}.$$

可方便计算出对应所需并联的电容大小分别为 $C_1 = 0.052 \mu\text{F}$, $C_2 = 0.127 \mu\text{F}$, $C_3 = 0.285 \mu\text{F}$ 。

为了验证上述结论我们在预期的分断电流为 200 A 的情况下,根据该方法我们选用 $0.2 \mu\text{F}$ 的电容与 MOV 并联,得到的实验波形如图 4。

由图 4 的实验波形可看出在同样的条件下加上 $0.2 \mu\text{F}$ 电容后电压峰值由未并联电容之前的 760 V 降到 600 V,表明该依据能量法所选的电容大小与 MOV 配合对于过压能够起到较理想的抑制作用。

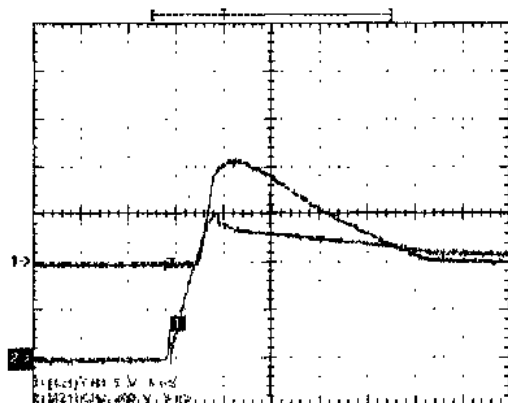


图 4 能量法计算并联电容值抑制过压波形

2.3 解析法

当电容与 MOV 一起并联用来作过压保护时,由于它们的动作特性不同,电容的生作用的时间要早于 MOV。由 MOV 单独保护时,它在动作的最初阶段会出现一个远大于其限制电压的冲击电压。而加上电容后,由于电容的作用,初期的冲击电压峰值可得到限制。因此,可以把最初阶段看成单独由电容保护,此时电容两端的电压会随着时间增大而增大,只要保证由电容保护的电压峰值不超过 MOV 的最大限制电压,就可以保证电路的冲击电压不会过大。据此原理可给出解析算法如下:

$$U_p = 1.4U_{1mA}I_{off}^{\frac{1}{20}} \quad (1)$$

其中: U_{1mA} 为 MOV 的压敏电压; $U_p = k_R I_{RM}^{\frac{1}{\alpha}}$ 为压敏电阻限制电压; I_{RM} 为泄放电流初值; α 为压敏电阻的元件非线性系数,取其 20 时, $k_R = 1.4U_{1mA}$ 。

根据试验可知,泄放电流初值一般小于分断电流,为取余量和方便计算,故此处取 I_{RM} 等于回路最大电流。

电力电子器件分断后单独由电容完成过压保护时电容两端电压的公式为^[1]

$$U_c = E - U \cos(\omega t - \theta_u) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

其中: E 为电路电压; $U = \sqrt{E^2 + B^2}$, $\theta_u = \arctan \frac{B}{E} e$, $B = \frac{rCE - 2LI_{\text{off}}}{\sqrt{4LC - r^2C^2}}$, $\tau = \frac{2L}{r}$ 。

在预期分断电流 $I_{\text{off}} = 400 \text{ A}$, 取电容 $C = 2 \mu\text{F}$ 时, $U_p = 1.4U_{1\text{mA}} I_{\text{off}}^{\frac{1}{20}} = 736.7 \text{ V}$, 取冲击时间 $t = 0.5 \mu\text{s}$, $U_c = 690.5 \text{ V} < U_p$, 实验波形如图 5。

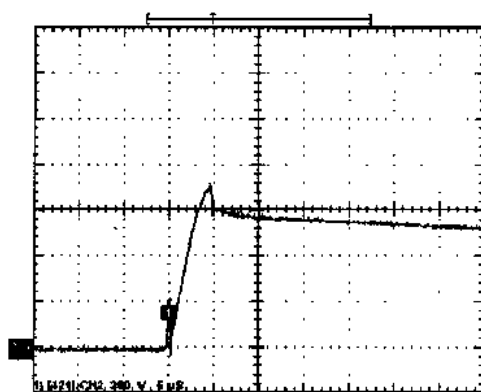


图 5 解析法计算并联电容值抑制过压波形

由实验波形可看出, 取电容 $C = 2 \mu\text{F}$ 时可将过压峰值限制在约 750 V, 用该方法计算的结果与实验的结果基本相符, 可较好预测所选定电容与 MOV 并联配合是否能满足过电压限制要求。

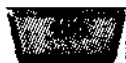
2.4 综合解析法

在综合能量法和解析法的基础上, 本文提出采用综合解析法来计算并联电容大小, 其步骤如下:

(1) 由 $U_c = E - U \cos(\omega t - \theta_u) e^{-\frac{t}{\tau}}$ 可得到电压上升到压敏电压所用的时间 t_1 , 再加上 MOV 从开始动作到电压达到峰值的时间 t_2 , 计算得到电压从零上升到峰值的总时间 $t = t_1 + t_2$ 。

(2) 由压敏电阻的限制电压峰值计算式 (1) 以及电力电子器件分断后单独由电容完成过压保护时电容两端电压的式 (2), 在 MOV 参数与过压限制要求已知情况下, 可计算得出对应的与 MOV 并联限压的电容值大小。

该方法的特点在于: 通过选择不同大小的电容, 使得即使没有 MOV 作用, 在 $t = t_1 + t_2$ 时刻的电压不超过 MOV 的限制电压。这种计算方法留了较大的余量。该方法适应于较大通流容量和分断电流较大情况, 与上面方法不同的是考虑到 MOV 电阻变化很快, 而且并联电容很小, 因此可以认为 MOV 作用到电峰值的时间主要由 MOV 自身的变化特性时间决定,





因此可以将 $t=t_1+t$ 相对固定, 从而确定电容值。计算实例如下:

$$\text{当主电路分断电流 } I=600 \text{ A 时, } U_p = 1.4U_{1mA} I_{\text{off}}^{\frac{1}{20}} = 751.8 \text{ V.}$$

取 $t_2=0.6 \mu\text{s}$, $C=0.9 \mu\text{F}$, 由式(2), 代入 $U_c=390 \text{ V}$, $E=242 \text{ V}$, 则有 $t_1=0.325 \mu\text{s}$ 。
再由解析法可算得 $U_c=789.2 \text{ V}$ 。

选用 MYS390/10 型 MOV 相应的实验结果波形如图 6 所示。

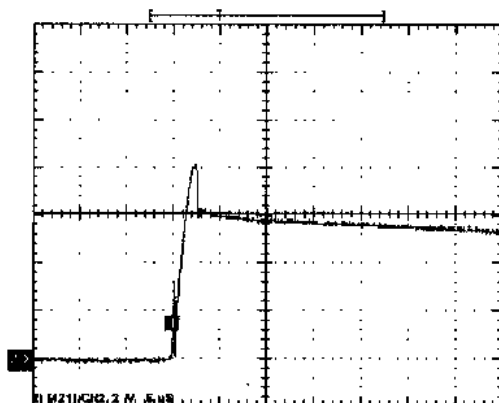


图 6 综合解析法计算并联电容值抑制过压波形

由实验波形可看出, 取电容 $C=1 \mu\text{F}$ 时, 可将过压峰值限制在约 800 V, 该方法计算的结果与实验的结果基本一致, 验证了该方法的有效性。

4 结束语

本文分析了单独使用电容作为分断器的过压保护的弊端, 提出了使用 MOV 与电容配合作为过压保护的方法, 并分析了这一方法的优势所在。针对不同电路的预期分断电流大小给出了电容与 MOV 压敏电阻选型的三种方案: 能量法、解析法和改进解析法。各方法都经过实验验证了其可行性。能量法的计算留有较大的余量, 可靠性很高。解析法和综合解析法相对来说比较精确, 可用来预测某一型号的电容与 MOV 配合使用是否能满足要求。

参考文献

- 1 庄劲武, 张晓锋, 杨锋等. 一种新型直流电网短路限流装置的设计与分析[J]. 海军工程大学学报, 2005,17(4): 13-17.
- 2 T. Teranishi, et al. An approach to suppressing resonance voltage in transformer tap windings[J]. IEEE Trans. Power App. Syst. 1983, 102(8): 2552-2557.
- 3 R. J. Musi, G. Preininger, E. Schopper, and S. Wenger. Voltage stresses produced by a periodic and oscillating system over voltage in transformer windings[J]. IEEE Trans. Power App. Syst., 1981,100(1): 431-441.
- 4 Koosuke Harada and Tamotsu Ninomiya. Noise generation of a Switching Regulator[J]. IEEE Transactions Effect of Power Line Filter on MOV Clamping Voltage on Aerospace and Electronic Systems, 1978,14(1): 178-184.