

现代注塑机控制

——微机及电液控制技术与工程应用

· 王志新 张华 葛宜远 编著 ·

XIANDAI ZHUSUJI KONGZHI

WEIJI JI DIANYE KONGZHI JISHU
YU GONGCHENG YINGYONG



中国轻工业出版社

现代注塑机控制

——微机及电液控制技术与工程应用

王志新 张 华 葛宜远 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代注塑机控制: 微机及电液控制技术与工程应用/王志新, 张华, 葛宜远编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.9

ISBN 7-5019-3282-4

I. 现… II. ①王…②张…③葛… III. ①注塑机-计算机控制②注塑机-电液伺服系统 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044693 号

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳 责任终审: 劳国强 封面设计: 崔 云

版式设计: 刘 静 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 高碑店市鑫昊印刷有限责任公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7.125

字 数: 179千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3282-4/TQ·252

定 价: 16.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

电液控制始于 20 世纪 40 年代,当时主要是为了满足航空及军事上的需要。随着材料科学的发展和工程上的需要,先后出现了具有新原理的功能材料和传感器件等,并促进了电液控制技术的发展。到了 70 年代,电液控制技术已经开始在工业上得到应用,且更加走向成熟。作为连接微电子学与工业控制的桥梁,电液控制技术在半个多世纪的时间,其工程应用范围日益扩大,主要典型应用对象为形变机械(包括塑料加工、压延、轧制、板材成型)、行走机器(包括小轿车、工程车、军事上用特种车辆等)和一般应用机械(如机床、工程机械、包装机械、纺织机械等)三大类,成为现代工程技术改造的技术基础。

注塑机能够一次成型复杂塑料制品、效率高,在不到 70 年时间就发展成为较为庞大的一族,占据相当大的应用领域,注塑成型加工现已发展成为一种重要的塑料加工方法之一。除了普通热塑性注塑机外,还包括热固性注塑机、结构发泡注塑机、反应注塑机(RIM 注塑机)、注拉吹注塑机、纯电动式注塑机、排气注塑机、多色注塑机、精密注塑机,以及多模回转注塑机、多模连续注塑机、多头注塑机、多料缸注塑机、动力熔化注塑机等专用和通用注塑机。注塑机控制系统引入微机及电液比例/伺服系统,更为有效地保证了注塑机系统的质量,并提高其控制水平,最终达到精密、高速、高压、节能、高自动化程度、高效率和高品质的效果,并能够满足不同层次用户对于注塑制品的要求。

本书较为全面地论述了现代注塑机控制,尤其是微机及电液控制技术与工程应用等问题,侧重分析介绍与现代注塑机有关的电液控制技术及注塑机的现状和发展动向,立足电液控制、计算机控制技术及其有机结合,涉及高分子材料流变学、微电子学和计算机控制技

术的基本理论与应用。本书作者多年来一直在从事注塑机微机及电液控制技术与工程应用教学研究工作,书中内容反映了作者的研究成果和工程应用成果,以及浙江大学流体传动及控制国家重点实验室等国内外研究报告和产品样本,具有基础性和系统性强、理论与工程应用实践紧密结合、分析计算简明扼要,且所提供的不少数据都来自生产实践特点。另外,有些内容曾编写入浙江大学等高校教材,作为塑料机械厂现代工程师继续工程教育课程《注射成型机电液控制技术》教材使用,收到了较好的效果,有助于注塑机生产部门的工程技术人员和用户对注塑机电液控制技术有一个比较全面的了解;同时,通过对国外注塑机的分析研究找出国内与国外先进注塑机的差距。

本书主要为从事塑料机械设计、生产以及注塑成型加工行业工程技术人员、企业领导,大专院校师生和有关专业研究生而编写,内容能够体现当今国内外最新技术,并特别强调基本原理、特点、工程应用和发展趋势等介绍,兼顾理论分析、设计计算和工程应用等论述。本书的出版,可供从事塑料机械设计、生产以及注塑成型加工行业工程技术人员、管理干部参阅,也可以作为高等学校相关专业师生的教学参考书。

全书分为9章,由上海交通大学王志新、张华、浙江大学葛宜远编著完成。其中,王志新(第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第八章第三节、第九章第三节),张华(第四章第二节、第五章第四节、第六章第三节、第七章、第八章第一节~第二节、第八章第四节~第五节、第九章第一节~第二节),葛宜远指导了有关科研工作,并负责全书的整理、统稿和修改等;张华参与了书中涉及的多数科研工作,负责书稿打印与文字校对等。

本书反映的研究成果和工程应用成果,大都是作者在浙江大学攻读博士学位期间,得益于中国科学院院长、中国科学院院士、中国工程院院士、浙江大学前校长路甬祥教授指导取得的。中国工程院院士、上海交通大学国家模具CAD工程中心主任、上海交通大学塑性成型加工系主任阮雪榆教授、中国轻工总会杭州轻工机械研究所原副所长、总工程师吴梦旦教授级高工在百忙中仔细审阅了全书,并

提出了许多重要的、建设性的意见。借此对各位专家、师长给予的鼓励和支持深表谢意。

本书的编著和出版得到香港蒋氏工业慈善基金资助。有关科研工作先后还得到浙江大学流体传动及控制国家重点实验室基金、浙江省自然科学基金、机械工业科技发展基金、机械工业部科技基金、香港蒋氏工业慈善基金等资助。

由于编者水平有限,知识贫乏、认识和资料的局限性,再加上时间仓促且科技日新月异,书中一定有许多不妥和错误之处,远不及预想目的,竭诚希望得到读者的批评、指正和谅解,并望经过共同努力,为提高我国注塑机水平和质量献计献策,力争早日赶上并在某些方面超过发达国家。

编著者

2001 年 4 月于上海

目 录

第一章 概论	1
第一节 注塑机的发展及技术现状.....	1
第二节 其他注塑机的特点及控制要求	15
第三节 现代注塑机的发展趋势	20
第二章 现代注塑机的构成与特点	23
第一节 现代注塑机的组成及工作原理	23
第二节 现代注塑机的基本参数	27
第三节 现代注塑机电液控制系统的组成及特点	29
第三章 注塑机微机及电液控制系统结构	47
第一节 电液控制系统的目标	47
第二节 被控制对象及要求	52
第三节 微机及电液控制系统整体结构	52
第四节 微机及电液控制系统抗干扰及可靠性技术	60
第五节 注塑机节能系统	63
第四章 注塑机料筒温度控制	65
第一节 料筒温度控制系统的组成	66
第二节 料筒温度控制方法	68
第五章 注塑机塑化螺杆预塑计量控制	85
第一节 概述	85
第二节 塑化单元及驱动机构	86
第三节 预塑计量过程与控制	89
第四节 测试系统及实验结果分析	94
第六章 塑料注射成型过程控制	98
第一节 概述	98
第二节 注射成型过程控制要求及特点	98

第三节 注射成型过程控制策略·····	101
第七章 专家系统及其在注塑加工中的应用·····	128
第一节 概述·····	128
第二节 专家系统的组成及其特点·····	129
第三节 注塑材料数据库及其特点·····	130
第四节 注塑原料选择专家系统·····	132
第五节 注塑机选择专家系统设计·····	138
第六节 专家系统用于注射成型过程参数优化·····	142
第八章 注塑机计算机辅助设计与计算·····	146
第一节 概述·····	146
第二节 计算机辅助设计方法·····	150
第三节 注塑机液压系统设计·····	153
第四节 注塑机模板有限元分析与计算·····	167
第五节 塑料注射填充过程流动模拟·····	171
第九章 现代测控系统在注塑机控制及加工系统中的应用·····	182
第一节 概述·····	182
第二节 注塑加工控制系统设计及应用·····	184
第三节 注塑成型加工综合自动化·····	198
主要参考文献·····	214

第一章 概 论

第一节 注塑机的发展及技术现状

一、注塑机的特点

注塑机是一个集机-电-液于一体的典型系统。由于注塑加工能够一次成型形状复杂的塑料制品,如照相机镜头、塑料齿轮和激光光碟等精密塑料制品,同时,可供注塑加工的塑料种类非常多,具有适应性强、效率高和后加工量少等特点,因此,这种加工方法在近几年得到了迅猛发展,注塑机的产量在塑料机械中所占比例达到 40% 左右。

注塑成型利用柱塞式螺杆或螺旋式螺杆,将加热料筒中预先已均匀塑化的热塑性塑料或热固性塑料,高速推挤到闭合的模具的型腔中,经过保压和冷却等程序后成型注塑制品。除了一些连续的塑料型材外,注塑成型加工方法几乎可以生产各种复杂形状和尺寸,并满足各种实际要求的塑料制品。因此,广泛用于机械配件、国防工业、电讯工程、交通运输、仪表工业、电子电气、航空、建筑、农业、文教、医疗卫生及日常生活等各个领域。

微计算机技术的发展和普及应用,以及与电液比例/伺服技术有机结合,实现注塑机程序控制、过程控制和生产控制与质量管理等。各行业对塑料制品的需求量在不断增长,对塑料制品的质量要求也越来越高,包括塑料制品的尺寸精度和重量精度。这就要求研制与开发相适应的注塑机,同时,必须满足成型效率、节能、低噪声和环境污染、操作简便和机器经济性能指标高等要求。普通开环控制的注塑机显然不能够满足全部要求,必须采用闭环控制的方法,并基于微机和电液比例/伺服系统,对注射成型加工过程实施可编程序控制和

闭环控制。

影响注塑制品质量的因素是多方面的,包括注塑原料性能、模具、成型设备及其成型过程控制方法,而后者往往更为重要并急待解决。注塑制品加工厂家选择注塑机的标准除了可靠性、精密度和成本等因素外,还注重注塑机所占的面积大小。因此,优良的性能、合理的机器设计及整机外观质量等,必然成为决定注塑机市场竞争力的重要因素。

二、注塑机的发展概况

1849年,斯托格思(Sturgiss)公司推出了首台金属压铸机,主要用于加工纤维素硝酸酯和醋酸纤维类塑料。1932年,德国弗兰兹·布劳恩工厂生产出全自动柱塞式卧式注塑机,成为柱塞式注塑机的基本形式。1947年,在意大利制造出了第一台液压驱动式注塑机。1948年开始使用螺杆塑化装置,并于1956年推出了世界上第一台往复螺杆式注塑机。从此,注塑成型工艺技术得以重大突破,注塑机的生产效率和质量大大提高,更多的塑料有可能通过注射成型方法加工成各种塑料制品。实际应用证明,往复螺杆式注塑机是一种比较理想的加工设备。近几十年来,其基本结构没有多大改变,但控制水平及节能措施一直在不断改进,扩大了品种和规格,系列和款式更为齐全,出现了多组分复合材料和低压普通热塑性注塑机,同时,加工人工陶瓷材料、磁性材料、聚氨酯的低压反应式专用注塑机、精密和超精密注塑机发展迅速。

注塑机自20世纪30年代问世以来,在不到70年的时间得以迅猛发展,成为塑料机械中量大面广、最具代表性的塑料成型设备之一。根据锁模机构不同,将注塑机分为直压式和肘杆式两种;根据排列形式不同,分为立式与卧式两种;根据注射机构的差异,分为螺杆式与柱塞式两种。统计表明,注塑机约占塑料机械总产量的35%~40%。其中,日本注塑机占塑料机械总产量的70%以上;1995年、1996年德国注塑机产值分别为13.9亿马克和12.9亿马克,占塑料机械总产值的20.1%;奥地利1995年塑料机械总产值为58亿奥地

利先令,其中,注塑机占 51.8%;美国约占 30%。我国是世界上塑料机械生产发展最快、产量最大的国家之一,现有塑料机械生产企业 500 多家,从业人员超过 10 万人,年产量从 1990 年的 1.6 万多台发展到 1995 年的 8.5 万多台。在 1993 年~1995 年 3 年间,塑料机械市场容量分别达到 122 亿元、168 亿元和 150 亿元人民币,其中,国产塑料机械的市场占有率分别为 26%、23% 和 25%。1995 年,注塑机产量为 1.8 万台,价值 27 亿元人民币,分别占中国塑料机械总产量和总价值的 21% 和 61%,其中,数控注塑机的产量约占当年产量的 30%。震德塑料机械有限公司、上海轻工机械股份有限公司、宁波通达塑料机械有限公司、宁波江东三元塑料机械厂和浙江申达塑料机械有限公司等五家企业,年产注塑机均超过 1000 台;震德塑料机械有限公司、宁波海天机械有限公司、柳州塑料机械总厂、上海轻工机械股份有限公司和东华机械有限公司等五家企业,年销售注塑机金额均超过 1 亿元人民币;震德塑料机械有限公司、上海轻工机械股份有限公司、宁波通达塑料机械有限公司、宁波江东三元塑料机械厂、浙江申达塑料机械有限公司、宁波海天机械有限公司、柳州塑料机械总厂和东华机械有限公司等八家企业,年生产量和销售量分别占当年国产注塑机的 35.8% 和 36%。事实上,为了满足国内市场需求,1993 年~1995 年我国塑料机械进口量大,年进口数量都约在 2.9 万台,价值 13.5 亿~15.8 亿美元,分别占我国塑料机械市场接纳总量和总值的 25%~31% 和 74%~77%,其中,1994 年进口注塑机 15 699 台。

1. 注塑机高速发展的原因

注塑机高速发展的原因主要有以下三个:

① 世界性能源危机的出现,由于塑料具有优良的物理和化学性能,重量轻、易成型和切削,并能够较好地与金属、玻璃、木材及其他材料胶接等特点,同时,塑料制品具有经济、耐用、质轻、易于批量生产等特性,使其能够逐渐取代木材和金属制品,成为一种重要的现代结构材料。

② 随着石化工业的发展,新型塑料材料的不断出现,原料来源

更加丰富,足以提供物料保证,促进了塑料工业的发展,尤其在工程塑料出现以后,其应用领域也越来越广。同时,塑料制品的广泛应用要求发展相适应的加工技术和成型设备,从而直接带动相关产业,例如,塑料机械制造业的发展。

③ 行业需求量的增长,质量要求越来越高,包括制品精度、自动化生产程度、高效率及节能等。例如,电子、电器工业迅猛发展,以及汽车工业从节能角度出发,要求车体轻量化,大量需要微型、精密塑料制件或大型塑料制件等。同时,微电子技术、微机控制技术的普及应用,以及与电液比例/伺服技术的有机结合,使得高速、精确过程控制得以充分实现,为注塑成型加工的发展提供了技术上的保证。

2. 注塑机的发展历程

注塑机的发展经历了以下五个阶段:

① 20 世纪 50 年代以前,第一代注塑机采用柱塞式注射机构,动力传动方式由机械发展到液压。

② 20 世纪 50 年代中期,第二代注塑机采用往复螺杆式注射机构及液压驱动方式,其基本结构和液压工作原理一直沿用至今,主要特征是采用开关式电气元件和继电器及开关式液压控制阀。

③ 20 世纪 60 年代中期后,由于对塑料加工工艺、制品质量、生产效率提出了更高的要求,电液伺服阀和电液比例阀(20 世纪 70 年代初出现)逐渐为注塑机采用。同时,随着大规模集成电路的发展,集成电子技术和微处理机系统也逐渐用于注塑机。采用微机及电液比例/伺服开环控制技术,成为第三代注塑机的主要特征。目前,这类注塑机的产量在世界上占有很大的比例。

④ 1973 年,世界上出现了第一台采用闭环控制的注塑机,可以分别对温度、注射速度、注射压力、保压压力、塑化背压、塑化转速等重要工艺参数及过程参数实施闭环控制,并大幅度提高控制精度,确保产品质量更加稳定。微计算机技术、电液控制技术和现代控制理论的综合应用,进一步发展了自适应控制的注塑机。微机闭环控制成为第四代注塑机的主要特征,具有极高的技术附加值,代表着注塑机的发展方向。

⑤ 第五代注塑机的控制系统具有通讯及网络功能,采用多级控制结构及总线技术,能够实施统计过程控制(SPC)、优化工艺参数和生产监控。

三、注塑机的发展和进化

1. 塑化与注射装置

(1) 柱塞式注塑机 1932 年推出了最早的柱塞式卧式注塑机,其塑化、注射机构比较简单,由喷嘴、分流梭、电热圈、料筒、加料装置、料斗、计量室、注射柱塞传动臂、注射柱塞、注射座移动油缸等部分组成。由于塑化机构本身存在物料塑化不均匀、塑化能力低、注射压力损失大(颗粒物料之间存在摩擦)、注射速度不稳定、清洗料筒比较困难等不足,再加上带入了颗粒物料包含的空气,注塑制品上常常产生气泡或者出现银条等缺陷。同时,成型较大型制品、质量要求高的制品,或加工热敏性塑料有困难,例如,加工尼龙时由于填充的玻璃纤维不能够充分分散,物理性质不均匀,而很难保证制品的外观质量。目前,柱塞式注塑机大都用于成型小型塑料制品。

(2) 螺杆式注塑机 1948 年开始在注塑机上使用螺杆塑化装置,1956 年出现了世界上第一台往复螺杆式注塑机。这种注塑机能够克服柱塞式注塑机存在的缺陷,满足用户不断提高的质量要求。其工作原理是螺杆旋转,塑料通过螺杆的螺槽向前移动。由于剪切生热和料筒外部加热,使得料筒内塑料被塑化,已塑化的熔料因不能在前面被压出,因而反向推压螺杆向后移动并进行计量,待螺杆前部的熔料积存到所需的数量时,螺杆就会停止转动。由于采用了螺杆塑化装置,并通过料筒外加热方式,颗粒状塑料得以充分塑化,便于控制温度和计量。由于液压马达易于实现低中速无级调速和有效过载保护,故螺杆驱动通常采用液压马达来实现。

随着注射量的增大,预塑螺杆的驱动方式也在变化。电机是以恒功率传动的,而液压马达则为恒转矩驱动,塑化时由于螺杆所受的转矩基本是恒转矩,因此,采用液压马达频繁启动会比电机驱动的能耗高出 130%。但是,液压马达可以实现无级调速并有效实施过载

保护。因此,对于不太经常更换物料和模具的大型注塑机而言,采用电机拖动螺杆结构是经济的;而对于经常更换物料和模具的小型注塑机而言,宜采用液压马达驱动方式。随着直流和交流伺服电机的出现,已能够实现无级调速。为了节能,还出现了变排量马达(二次调节)预塑系统。

目前工厂使用的多数是往复螺杆式注塑机,但也有相当数量的柱塞式注塑机。柱塞式注塑机一般用于生产 60cm^3 以下的小型制品;而往复螺杆式注塑机则用于成型热敏感塑料、流动性差的塑料制品,以及中、大型塑料制品。往复螺杆式注塑机除了能够用来加工热塑性塑料外,还成功地用来加工热固性塑料,加工制品的质量稳定,提高了制品的性能和尺寸精度,成型周期缩短,劳动条件也得到适当改善。

(3) 双料斗注塑机 国外还推出了双料斗注塑机,其两个料斗分别用两块可滑动的平板支架安装在可左右滑动的导轨板上。此导轨板上设有三个下料口,其中,左右两个下料口可供两个料斗排泄旧料、清洗料斗和更换新料,以及对物料进行干燥处理;中间的下料口可以供两个料斗分别对螺杆进行喂料。这样,两个料斗轮换使用,可以一边注射,一边对原料进行干燥处理,并可边注射、边清洗料斗及换料,毋须取下料斗,可以提高生产效率。尤其在大型注塑机上,这种机构减少了装卸料斗所需机械设备,因而可极大地降低劳动强度。

(4) 塑化装置 是注塑机最为重要的部件之一,要求提高塑化能力和塑料熔融质量,并具有较强的使用寿命。因此,必须对螺杆、止逆阀和料筒进行优化设计,并选择耐磨材料,克服高填充或纤维增强塑料和具有腐蚀性的填充材料(例如阻燃剂)引起的磨损。例如,奥地利恩格尔(Engel)公司提出采用注塑屏障型螺杆,并利用自己开发的一套数值模拟程序,对塑化螺杆进行优化设计,用屏障段代替标准型螺杆的压缩段。在该区域的起始位置,对第二条螺纹(屏蔽型螺纹)开辟了两条分离的螺槽,分别称作固体螺槽和熔体螺槽。其中,固体螺槽的深度在螺杆尖削方向减小,相对于料筒能够有效地对未熔融的粒料进行摩擦和塑化,并在固体床未破碎前停止摩擦塑化,屏

蔽螺纹和料筒壁之间的间隔很小,能够对塑料熔体产生一种短暂的剪切;相反,熔体螺槽的深度在螺杆尖削方向增加,剪切较小,能够减少聚合物熔体过热的可能性。在屏障段末端,所有的聚合物都已经熔化,并通过屏障螺纹。这样,保证了未熔融的粒料不能够到达螺杆的末端。可见,屏障螺杆利用分离螺槽能够将固态塑料与熔体分离,具有很高的塑化能量;即使螺杆速度很高,固体床也不会破碎;熔融均匀,无未塑化的粒料;在熔体螺槽中,剪切作用小。因此,能够减少循环时间,或者能够根据需要进行尺寸较小的注射装置。屏障型螺杆适用于加工 PE、PP、BS 和 PC,不适合加工纤维增强材料。

(5) 动态电磁塑化装置 采用电磁感应原理,对料粒进行塑化处理,不需要电加热圈,具有塑化效率高、节能和显著减小塑化装置体积的特点。

(6) 注射装置空间设置多种多样 例如,德国雅宝(Arburg)公司 S 系列注塑机,其注射、锁模装置除了标准卧式结构外,还包括卧式锁模、分模线立式注射,立式锁模、立式注射,以及立式锁模、分模线卧式注射等。

(7) 设计新型螺杆,采用组合嘴或弹弓嘴 例如,香港民森机械有限公司设计生产的组合嘴(即自动塑料防退、防漏喷嘴),能够替代注塑机保压功能,注射完成后即可回料,对于注塑时间较长的产品,可以缩短注塑周期时间 10%~20%;同时,保证在注塑成型时模腔内塑料不会回流,能够提高产品的密度。组合嘴适合安装在任何注塑机上,不适用于纤维塑料。

2. 锁模装置

锁模装置具有模具启闭及制品顶出功能,直接影响制品质量和生产效率。因此,通常要求其具备高速、低能耗、低噪声、重量轻、锁模力容易控制、维修方便、运行稳定、安全可靠等特点。有关控制参数包括力、速度、位置等。按照工作原理,锁模装置主要分为全液压式(直压式)和肘杆式(液压-机械式)两大类型。前者具有设计简单、制造容易、无特别易损件、模板受力均匀,以及模具便于安装、开合模速度容易调整、行程大等特点,只是在注射工况抗模具开启的阻

力较肘杆式小;后者通过机械机构进行力放大,具有锁模速度快、能耗低、节省液压缸尺寸等特点,因此,能够提供大的锁模力,且控制准确,不易发生飞边,但同时也存在难以调整锁模行程和保持机械精度等不足。锁模装置空间位置包括卧式和立式两种。

(1) 肘杆式锁模机构 广泛应用于大型注塑机上,例如,Engel 公司生产的锁模力为 15 000kN、20 000kN、30 000kN、40 000kN 的注塑机,均采用肘杆式锁模机构。双曲肘五节点外翻式结构允许模板的行程比内卷式大 15%~25%,动模板上连杆的支撑靠近模板中心,改善了动模板的受力情况,使得动模板的重量减轻了 40%,但在实践中发现外翻式结构存在开模困难、刚性差和机构复杂等不足。因此,国内几乎所有大型注塑机均改为内翻式结构。

(2) 直压式、全液压抱合螺母稳压式合模机构 有的大型注塑机也采用直压式、全液压抱合螺母稳压式合模机构,对提高设备灵敏度、生产效率和降低能耗起到了积极作用。例如,Engel 公司生产的 5 000~11 000kN 锁模力大型注塑机,采用双压板 H2 型快速、全液压合模装置。在动模压板上,四个高压同步油缸相连,能够迅速增大或减小锁模力;固定在定模压板上的拉杆作为连续的活塞杆,确保两个高压同步油缸内的大活塞面均衡,油缸内压力相同,无外力出现。通过两个对角线排列的油缸,快速移动动模压板,开模力提高大约 25%。借助四根拉杆、动模安装压板的导向器和导轨上光滑的支座,保证模板快速运动,以及合模装置的压板的平行度,压板变形不到 0.25mm。油缸的两腔由活塞隔离,并通过液压式启动溢流阀来操纵。例如,一台 7000kN 锁模力、配置有一台 75kW 油泵的注塑机,开合模速度达到 700mm/s,达到最大锁模力所需时间仅为 300ms。因此,具有结构简单、节能,以及压力降低、高速运行、能够迅速增加锁模力等特点,其空循环时间低于同样结构尺寸的传统肘杆式注塑机。

(3) 双模板锁模装置 传统的锁模装置,除了定压板和压板外,往往还需要另一种模板(或称作端板、端台),即通过采用三模板结构,将锁模力传递到拉杆和压板。例如,Engel 公司生产的 25 000kN

锁模力大型注塑机,采用 DK2 型双压板锁模装置,通过安装在定压板和动压板侧面的按对角线方式排列的位移气缸移动模具,压板的开模行程为 400mm,模具的最小高度为 800mm,四根短拉杆安装在固定的压板上(即在承压基座上),不进入模具区域,在动压板上,由于压板能够精确地在机架上导向,因此,不需要拉杆衬套以及润滑油或油脂;合模后,通过安装在动压板后侧的四个对开螺母锁模,螺母和拉杆螺纹之间的间隙为 1.5mm,在定压板上的四个短程传压垫上的活塞杆一侧,液压锁模力达到 22MPa,四根拉杆在螺纹处首先关闭轴向动作,然后再向动压板传递锁模力。这种锁模装置比传统的大型注塑机小 20%~30%,配置 440kW 驱动泵,开合模速度达到 860mm/s,总锁模时间为 1.4s。双模板注塑机较三模板注塑机所占空间小 35%,价格更低,开放式冲程更大、喷射机构更加容易接近和易于更换模具。此外,赫斯基(Husky)公司推出了 E 系列双模板注塑机,锁模力为 9 000~40 000kN;HPM 公司推出了 Next Wave 系列双模板注塑机,锁模力为 3 300~50 000kN;辛辛那提米拉克朗(Cincinnati Milacron)公司推出了 Vista Maxima 系列双模板注塑机,锁模力为 9 000~36 000kN;曼内斯曼德马格(Mannesmann Demag)公司推出了 Ergotech 系列双模板注塑机,锁模力为 11 000~40 000kN;日本宇都兴产株式会社(Ube)推出了一系列双模板注塑机,锁模力为 20 000~40 000kN;克劳斯玛菲(Krauss Maffei)公司推出了 MC 等系列双模板注塑机,锁模力为 400~40 000kN;Engel 公司推出了两个系列双模板注塑机,锁模力分别为 5 000~8 000kN 和 10 000~55 000kN;意大利 Sandretto 公司推出了 Mega HCS 和 Mega HC 两个系列双模板注塑机,锁模力分别为 13 000~17 500kN 和 13 000~55 000kN;意大利 MIR 公司推出了 Compact 系列双模板注塑机,锁模力为 11 000~60 000kN。

(4) 两套液压缸合模机构 采用两套液压缸的新型合模机构的注塑机,其中,两个小直径的液压缸可以高速开合模,四个锁模油缸直接安装在底板上,而不是在底板的后面,锁模油缸通过底板和固定在拉杆中的四个传力活塞,把锁模力和开模力传递给动模板,动模板

重量由机器底座支撑。

(5) 无拉杆结构 1989 年, Engel 公司推出了 HL 无拉杆注塑机, 锁模力为 $300 \sim 4\,000\text{kN}$ 。由于采用了无拉杆结构, 增加了模具安装面积和减少了制品取出时间。改进的支架结构降低了应力分布, 可以补偿拉杆移动。模板的平行度由动模板后面的旋转接头保证, 液压式合模机构可以在低摩擦情况下工作。无拉杆注塑机的锁模机构配置了最佳模具保护装置, 保证模板的绝对平行度, 其价格仅为拉杆式标准注塑机的 $70\% \sim 80\%$ 。通过设计自调节回转式接头, 可以精确地连接平行压板, 误差不到 0.05mm , 补偿机架的弹性变形, 使得模具内压力分布均匀, 并通过一个机械止动器精确地设置压板平行度。因此, HL 型无拉杆式注塑机采用大型压板, 轴向伸长和压板变形小, 压板平行度精度高, 并具有高灵敏度模具保护功能。

3. 动力传递及控制系统

注塑机的动力传递及控制系统的改进是多方面的, 包括以下几方面:

① 最初采用全机械传动, 依靠连杆机构等机械传动装置, 将电机的动力传递给注塑机的各个运动部件。缺点是噪声大、冲击强、能耗高、产品精度及自动化程度低、易过载和控制困难。

② 随着液压技术的出现和发展, 进入了电液传动时代, 液压传动技术成为现阶段注塑机的主要形式。目前, 还出现了小型全液压式自动注塑机, 例如, 瑞士机械工程有限公司和 Boy 公司在这方面均有成熟的产品, 其技术处于世界领先地位。

③ 随着机械传动技术及伺服电机的发展, 还出现了少量全机械注塑机 (Clean Machines)。这种注塑机由大功率伺服电机提供动力, 可以避免液压系统漏油、模型不准等不足, 便于进行精确控制。但因价格昂贵, 近期还难以商品化, 故第二阶段的液压式注塑机仍将在较长时间内占主导地位。例如, 日本三菱重工开发的 MSP 系列小型节能注塑机, 有 800kN 、 $1\,000\text{kN}$ 、 $1\,300\text{kN}$ 、 $1\,600\text{kN}$ 、 $1\,900\text{kN}$ 、 $2\,400\text{kN}$ 和 $2\,900\text{kN}$ 共七种规格, 改变了传统由液压驱动螺杆旋转的方式, 而由交流调速电机直接带动, 取得整体节能 30% 的效果。液压泵有以

一个或一组变量泵代替几个固定式容积泵的趋势,并可望收到 27%~60% 的节能效果。日本制钢所生产了锁模力为 50~100kN 的纯电动式注塑机,仅用一台交流伺服电机就实现了螺杆转动和进退、开合模等,系统响应性能及重复性好,具有节能、维护方便等特点。纯电动式注塑机主要用来加工有特殊要求的制品,包括光学仪器中的精密透镜、棱镜、反射镜,电子产品中的精密连接器、线圈支架、开关零件,医疗器械中的注射器、人工透析器,精密零件中的精密齿轮、轴承套等。此外,还出现了气动式小型注塑机。

4. 电气控制系统

注塑机自问世以来,其电气控制方式先后采用继电器、电子电路顺序控制、可编程控制器(PLC)及微机控制等,并与液压紧密结合,构成简单的普通开关控制系统,或复杂的模拟控制(比例阀/伺服阀)和数字控制系统,能够实施电液比例/伺服控制。

(1) 继电器、接触器控制 20 世纪 60 年代采用继电器、接触器控制,大多数为开环方式,由行程开关和挡块进行动作程序的切换控制。这种控制方式由于采用导线连接,仅适用于某一个固定的工艺过程,一旦过程有变化就得重新连接、安装,存在研制和调试时间长、修改不方便、寿命短、可靠性差、故障检查困难、控制精度低等不足,注塑机水平难以提高,也缺乏市场竞争力。

(2) 电子电路顺序控制 电子电路顺序控制采用分立元件或部分采用集成电路,以门电路来代替继电器,用直流电磁阀代替交流电磁阀,用无触点行程开关及挡块实现动作程序的切换,具有响应快、体积小、成本低等特点。

(3) 可编程控制器控制 PLC 控制注塑机的动作程序、过程参数,采用数字定时器来代替时间继电器、中间继电器,能产生 24V 直流电压,提供给直流电磁阀,用位移传感器等来实现动作程序和过程程序的切换,并能够进行比例压力和比例流量控制。采用程序存储方式,具有修改程序方便、结构小巧、可靠、反应灵敏、运行速度快等特点,可以进行开关量逻辑控制;同时,也可以兼有模拟量(例如,温度、压力、流量、转速等)闭环控制等功能。借助液晶或数码显示和键

盘,设定、修改工艺过程参数,监测生产过程,大大提高了整机水平,适合加工高精度注塑制品。

(4) 微机控制 微机控制利用阴极射线管(CRT)或液晶(LCD)来显示设定参数和过程参数及过程变化曲线,通过图形动画及菜单,使得成型过程可视化,具有信息容量大、操作直观方便等特点。同时,还具有较强的计算能力和自诊断、故障报警、模具参数储存、压力和流量无级可调、在线设定、修改参数、人机会话方式、在线监测动作状态、中文提示等功能,具有中、英、日等多种语言,可自由进行选择切换。能够实现成型过程开环及闭环控制,提高了注塑机的性能,并能够成型高质量的塑料制品。微机控制技术,由开环控制逐步发展为带有比例/伺服系统的闭环控制,并推广群控技术。据不完全统计,国外注塑机中采用闭环控制的约占 15%,而开环控制则占 85%,注塑机可通过专用键盘及 CRT,设定若干级压力、速度及温度参数,以曲线形式显示各参数变化情况,具有 99 套模具(含工艺参数)的储存能力,还可以对 10 多种故障进行报警。例如巴登费尔德(Battenfeld)公司新开发的注塑机控制系统全部采用 Unilog 系统的微处理机,Unilog1000 有八种速度、六种压力、五种时间设定,并有一个动作循环显示灯组,不仅可以了解机器动作状况,还可以对诸如电热故障、回油压力超值、油温超值等 10 多种故障进行报警。再如,日精树脂工业公司开发出世界上最高速的超精密、超高速注塑机,注射速度达到 1 000mm/s,可以成型填充困难的超工程塑料及极薄壁制品。采用电液伺服控制技术,由高速模数转换(A/D)、数模转换(D/A)、速度和压力传感器、高速计算处理器件等组成伺服控制装置。

注塑机电气控制技术经历了以下五个相互重叠的发展阶段:

① 初级阶段的注塑机采用手动控制方式。

② 从 1935 年到 1970 年,采用机械和继电器控制方式。其中,节流阀、压力阀由手动调节,通过机械限位开关、机械开关定时器进行切换控制,对温度作简单的调节控制。

③ 从 1965 年到 1980 年,注塑机控制采用电子控制器、数字设定、电子定时器、接近开关,以及行程测量系统,并由比例、积分、微分

(PID)调节器控制温度。

④ 从 1978 年到 1989 年,微机普及应用,数显技术更为完善,微机开环控制方式已经普及,闭环控制技术逐步得以采用和日趋完善,控制系统采用多处理机结构,能够实施程序控制、过程控制和温度控制等。现代控制理论广泛用于预塑计量控制、成型过程控制、温度控制,接触式行程开关完全被感应开关和各种模拟、数字位移测量系统代替。

⑤ 到了 20 世纪 90 年代,注塑机控制进入了第五阶段,配有通讯接口和总线功能,便于与主机进行联机控制,并对注塑加工过程进行质量管理与综合控制。

四、综 合 介 绍

香港震雄集团公司生产的捷霸系列精密电脑注塑机,采用电脑综合生产管理系统,注塑机锁模力为 $200 \sim 20\,000\text{kN}$,并配置了横行或摇臂式机械手。

注塑机设计的概念也在发生变化,利用新的构思将注塑机笨重的机体按照实际需要减小到最低限度,价格得以降低,同时能够满足精密成型要求。日本青木固研究所研制的 AV-70 型注塑机的锁模力为 700kN ,外形尺寸 $3.79\text{m} \times 0.66\text{m} \times 1.7\text{m}$,机器仅 23kN 重。合模机构采用特殊的液压直压方式,轻巧,便于高速工作,行程两端采用液压缓冲方式,即使是高速工作也不会产生震动,模具的开、停位置准确、稳定;模厚调整范围为 190mm ,可借助仪表进行微调;螺杆由电机驱动,无级变速,在模具开、合过程仍能够进行加料;取消了热交换器,真正实现了节能设计;成型条件容易确定,适应精密稳定成型;操作箱安装在机台上,改善了操作条件;机械安装面积小,较以往安装面积减少二分之一。

1995 年,Battenfeld 公司在欧洲推出了 HM 系列中大型注塑机,合模力为 $2\,700 \sim 40\,000\text{kN}$ 。合模机构采用三个模板和液压-机械合模机构,可以灵活地调整合模行程和模板开距,并保持良好的模板平行度,其中,动模板安装在线性支承装置上,确保动模板平行运动,

绝对平行偏差小于 0.2mm。注射装置也采用线性支撑,确保注塑机喷嘴和模具注道衬套准确对准,所有注射装置,无论其螺杆直径多大,螺杆长径比都是 22:1,具有优异的塑化和混合性能。液压系统通过一组可变级排量泵驱动,并装有负荷传感器,使压力不会超值,获得最大的节能效果,并允许几个运动同时进行,不需要辅助设备连续过滤油,一个旁路滤油和冷却装置是液压系统中不可分割的部分。采用 Unilog9000C 闭环控制系统,包括在线监测实际数值图、质量图、SPC 监控,以及每个循环所用能源的监控等。

台湾富强鑫机器股份有限公司作为台湾地区规模最大的注塑机制造厂商,推出了注塑机、热固性注塑机、双色及夹层注塑机等 20 多个机种,锁模力为 600~30 000kN。

台湾亚塑机械股份有限公司推出了注塑机、热固性注塑机和全电动式注塑机等机种,锁模力为 250~31 000kN,注塑量达到 50~18 000g。

Husky 公司推出了 Muduline G 系列注塑机,配置有水冷交流感应电动机,以消除余热交换和污染,锁模力为 1 600~7 500kN。

香港亿利达(Elite)公司推出了 G 系列、EH 系列和 E 系列全自动电脑控制精密注塑机,采用 MPC168 注塑机专用控制器,利用位移传感器检测注射及开合模位置,具有十级注射速度、十级保压压力控制、五级塑化背压控制功能,以及电气、机械和液压三重安全装置。

香港纪威机械工业有限公司推出了 CWI 系列全电脑控制精密注塑机,注射量为 100~10 000g,相应的锁模力为 900~16 000kN,具有故障自动屏幕显示与诊断、五级精密注射和位移控制功能。

香港华大机械有限公司生产的 W Welltec 系列电脑控制精密注塑机,锁模力为 250~30 000kN。

香港仁兴机器厂有限公司生产的 SP 系列精密电脑注塑机,锁模力为 750~12 500kN。

日本新泻铁工所研制 NN 系列精密注塑机。

香港恒生机器厂有限公司生产 HS-AⅢ、HS-AV 系列精密注塑机。

香港宝源(陶氏)机械厂有限公司生产的电脑控制注塑机,包括 PYI、PCR、PC、PCⅡ 和 H 五个系列,锁模力为 450~30 000kN。

英国奔达(Butler Designs)公司生产的超小型注塑机,注射量为4~14g。

香港格阑(Grand Tech)科技产品有限公司生产的 WG 系列电脑控制注塑机,锁模力为 800~16 000kN。

第二节 其他注塑机的特点及控制要求

注塑机能加工的物料十分广泛,新型工程塑料对注塑机的机械结构、技术参数、设备性能等提出了更高的要求,同时也促进了专用机和特种机迅速发展。下面分别叙述这类注塑机的主要特点及控制要求。

1. 热固性注塑机

主要用来加工酚醛塑料、尿醛塑料、三聚氰胺树脂、不饱和聚酯等热固性塑料,这些塑料对温度极为敏感,对模板温度控制(加热、冷却)精度要求高,并增加了一道放气工序。例如,Engel 公司 ES150/50VH 机型,采用水平注射、垂直锁模,取消了四根导柱,便于安装嵌件;香港力佳精密机械有限公司生产的电脑控制 BMC 热固性注塑机,锁模力为 450~1 800kN;日本新瀉精密注塑机厂推出了 CNT、NNT 系列热固性注塑机。

2. 结构发泡注塑机

主要用来加工聚苯乙烯、聚氯乙烯、尼龙,以及加上添料的聚胺酯、聚酰亚胺等结构发泡的大型塑料制品。这些塑料制品的芯部为低发泡层,外层结皮。要求制品表面平整光滑,不存在旋涡和凹陷,发泡的晶囊要细化和均布,成型周期短。采用“气体计量”装置,提高模腔内气压到 2.1MPa,或采用程控方法,实现二级注射压力、5~10 级注射速度;塑化装置将塑化好的物料注入模具中,采用高氮气压和蓄能器,保证注射熔体高速流动。Cincinnati Milacron 公司生产的 15 000kN 锁模力结构发泡注塑机,注射压力高达 206.9MPa(比普通注塑机高出 50%),以保证注射过程聚合物的流速。

3. 反应注塑机(RIM、RRIM)

通常,将石化工厂裂解再聚合得到的粒料,通过融化、注射和模

具加工得到注塑制品。反应注射成型将构成聚合物必需的几种原料通过计量泵按一定比例加入混合头,两种单体在混合头中高速撞击混合,最快地发生化学反应,并在形成固态聚合物之前已注入模具成型,全部过程仅在一台设备上完成。由原料贮存、供给及温度调节设备、计量和混合装置、模具及模具温度调节系统、模具装卸架等部分组成,具有泵输出系统、加热系统、流体输入系统和一个或多个特殊形式的高速混合头。

主要用来加工环氧树脂、聚氨酯、聚酰胺、聚碳酸酯和聚酯等弹性体及泡沫体塑料制品。制品应用领域已从汽车工业发展至农业机械、矿山油田机械、办公用品及家用电器等,从两组分发展至三组甚至四组分,以及增强反应注射(RRIM)。现有产品包括 Cincinnati Milacron 公司生产的 RIM90, Battenfeld 公司生产的 SHIS/15 及 SHN30 型, Krauss Maffei 公司生产的带有六个混合头的 KM-FD10、KM-FD15、KM-FD30, 日本丸加化工机械株式会社生产的 MEG-ACMA 等。

4. 注射吹塑成型机

主要用来加工中空塑料容器,包括瓶、管和桶等包装用品,以及油箱、油和水的容器等工业用品。要求制品壁厚均匀,重量公差小,后加工量和废边料少。主要技术参数包括注射压力、注射速度、型坯温度、型坯精度、吹胀压力、吹胀率等。除了设置有塑化、注射装置外,还有回转度、第二工位吹气、第三工位冷却、第四工位脱模等。其中,型坯及机头的温度控制精度要求高。典型产品包括日精 ASB 机械株式会社生产的 PB 系列一步法设备,型坯及吹塑成型在同一个主机内,采用冷型坯系统,确保型坯温度分布均匀,生产量增大,平均每小时生产 500~600mL 水瓶约 7 200 个,较采用二步法的设备占地面积减小一半。

5. 注射-拉伸-吹塑成型机

主要用来生产强度和透明度要求高的中空制品,例如,聚酯和聚丙烯中空制品。拉伸温度控制精度要求高,旨在确保能够有效地拉伸。在通常吹塑成型的基础上,增加一道工序,即用拉伸棒将型坯预

先进行轴向拉伸 1~2 倍,然后吹气成型。例如,日本青木固研究所株式会社生产的“三工位注射延伸吹塑成型机”,包括预制瓶坯工位、延伸吹塑工位和产品脱模工位,能够直接精确调节瓶坯温度,简化结构和工艺,适用于生产高质量容器。

6. 气体辅助注射成型机

20 世纪 90 年代才开始进入实用阶段。气体辅助注射成型技术能够克服传统注塑成型的局限性,通过把高压气体引入到制件的厚壁部位,产生中空截面,驱动熔体完成充填过程。

采用气体辅助注射比传统注塑方法好处多,已经广泛地应用于家电、家具、汽车、办公用品、日用品以及玩具等诸多领域,生产管道状制件、大型扁平结构零件和由不同厚度截面组成的制件,可以节省材料和能源、减轻产品重量、缩短生产时间,提高产品的刚性、表面质量,去除产品表面缩痕、无收缩凹痕及变形、降低模内压力和锁模力,简化模具设计、降低制造成本、延长模具寿命。例如,英国气体注射成型公司(Gas Injection Ltd.)可以提供整套解决有关气体辅助注塑问题的方案,包括设备及工艺技术。此外,香港华大机械有限公司、香港气体辅助注塑公司、美商绮城科技股份有限公司均能够提供相应的成套设备及技术。

7. 排气注塑机

主要用来加工有机玻璃、尼龙、聚苯乙烯、聚甲醛等塑料制品。需要设计特殊排气螺杆。现有产品有日制钢所产 V&VE 型排气注塑机。

8. 复合注射成型

主要用来生产一些特殊要求的制品,包括多种色彩或由多种材料复合而成的塑料制品。例如,表层是耐磨高润滑性能的聚甲醛,内层为热变形小的高强度制品;再如,外层为色彩及表面质量好的表现层,内层为电磁屏蔽材料或导电树脂的电磁波屏蔽零件;较简单的是那些双层采用不同颜色的注射件,还有内部带有回收料层的复合注射成型制品。根据结构特点,分为共喷嘴式、模具旋转式和联动式三大类。典型产品包括日本高桥精机工业所生产的 KS-3C-900 型

三色注塑机。

同时,也发展了多组分共注塑成型,注射单元由一个增加至两个,有助于减少甚至消除注塑后的装配操作量,能够加工软/硬组合零件。例如,Milacron 公司生产的共注塑机,能够用未修改的模具完成单组分单层注塑,更换模具后不必更动注塑机,就可以完成多模腔、多浇口、热流道封铸和双组分重叠注塑。其中,Vista Magna500 注塑机具有 4 500kN 锁模力,能够使注塑加工厂利用新料和价廉的回收料,使之各自分别注入同一个模腔,生产出面层是一种材料、芯层是另一种材料的制品,或者两种材料同时注入分开的模腔内。

通过一种新型的集料管对从注射单元来的熔体进行导流和测量,为多模腔注塑提供较高的灵活性。例如,一个模腔在共注塑,而另一模腔正在注入面层料或芯层料,集料管允许注射单元独自清理、快速方便地更换原材料和颜色。

Milacron 公司生产的 K140 S-2F 共注塑机,生产双色 28mm 苏打水瓶盖,平均每 5.5s 生产 12 个双色瓶盖成品。其中,模具是可以旋转的,采用二氧化碳冷却模具,减少注塑循环时间。

Mannesmann Demag 共注射系统,注射单元垂直安装(V型),全部柱塞和料斗安放在注射单元一侧,能够组成锁模力由 1 100kN 降低至 500kN 的四种机型。其中,可以将第二套注射单元侧向安装(L型),与第一套注射单元同向安装,或成一个角度安装分别构成 P 型和 R 型。

日精(Nissei)塑料工业公司推出的双组分注塑机 DC120-9A,采用两个并排的锁模油缸,使得在注射不同体积塑料时,能够保证压台的平行性,同时,整机缩短 400mm。

Battenfeld 公司生产的多组分注射系统 BM2000/630 + 630 + 200VBK,由一台 BM 系列共注射单元,一台附加的在垂直方向的第三注射单元,以及一台水平方向的 2 000kN BK 系列的肘杆式锁模装置组成。其中,垂直方向的注射单元可以伸缩,便于安装模具和调节注射点。

9. 精密、超精密注塑机

主要用来加工钟表用小齿轮、仪表零件、照相机光学镜头、隐形眼镜镜片、计算机配件和激光碟片(CD、VCD、DVD)等。在常规局部闭环控制基础上,往往还需要引入预塑计量和模腔压力控制等,构成全闭环控制系统;同时,对于注塑机模板平行度及刚性、模具质量的要求更高。

日本东芝株式会社推出了型号为“IS40HD”的 DVD 注塑机,专门用来加工光学级聚碳酸酯塑料原料[例如,通用塑料(GE Plastics)公司生产的高熔体流动性 Lexan OQ1030L 聚碳酸酯],制作壁厚只有 0.6mm 的 DVD 光碟。在东芝 IS40HD 注塑机上,设计有一个“无力矩机构”,来保持锁模力与注射压力之间的完全平衡,采用伺服阀实现高速开合模与注射控制,一次工作循环时间不到 4s,塑化和注射保压装置经过特殊设计。

日本新瀉推出了 CN_{AI} 系列高精密注塑机。

10. 新型低压注射成型和射出注射压缩成型

在注射充模时压力都较低,节省能源,而且能够保证具有小的残余应力和减少变形。主要用来加工大型家电部件、汽车发动机内部件等。锁模力仅为以往成型方法的三分之一。通过直接控制流量,控制处于稍微打开状态的模具,确保不产生飞边,采用四点平行控制锁模方式,使模具平行压缩,薄壁成型方法能够节省材料,甚至能够成型流动性差的材料。典型产品包括日本小松公司开发生产的新型低压注射成型机,Niigata 生产的 NN-MI4000 系列高速、低压注塑机。

11. 高速注塑冲压机

主要用来制作光学唱片和精密部件,配置有模腔压力控制系统和液压伺服系统,采用超高精度和高刚性的合模装置。典型产品包括日本某公司研制生产的 SIM-4797A 型机,实现了超高速充料(充填时间仅为 0.01~0.1s),反应快,流量大。

12. 超高速注射成型机

主要用来成型以前填充困难的超工程塑料和极薄壁制件。采用数字伺服控制技术,由高速 A/D、D/A、速度和压力传感器、高速处理

装置等组成。典型产品包括日精树脂工业公司开发生产的超高速注塑机,注射速度范围为 $1 \sim 1\,000\text{mm/s}$,注射压力范围为 $3 \sim 385\text{MPa}$ 。

13. 金属粉末成型(MIM 成型)

将金属粉末与树脂混匀后注射出性能特殊的制品。与此相类似的还有陶瓷粉末注射成型和玻璃纤维增强注射成型。显然,这些成型方法都要求使用特别耐磨的金属材料来制造螺杆、料筒、喷嘴和模具等;同时,也要求具有良好的物料混合性能和较高的注射压力。

14. 其他

成立于 20 世纪 50 年代的 Husky 公司,开发生产汽车工业专用注塑机,包括多种材料注塑机、迭式双模注塑机和垂直式注塑机。德国施太恩公司生产的橡胶注压机,采用特殊的“E”型注压系统,主机结构包括立式、卧式、框式和“C”型框式等多种形式。香港华大机械有限公司生产橡胶注塑机。此外,还包括一些特殊材料的注射成型,例如,对象超高相对分子质量聚乙烯、聚四氟乙烯等粉度很高的材料的注射成型,对低粘度液状树脂的注射成型(LIM)等。台湾赞扬(Canyang)公司生产的立式注塑机系列,包括眼镜专用注塑机、丝花注塑机、电源线插头注塑机、热固性注塑机等。

第三节 现代注塑机的发展趋势

现代注塑机的发展重点在于提高控制水平和整机自动化程度,以及整机优化设计和加工工艺的改进等方面,满足对于注塑制品质量及节能的要求。通过不断完善液压系统,采用先进的控制手段,性能优良的设备、质量可靠的电气系统及液压系统,以确保注塑机动作灵敏、运行稳定和可靠,最终达到改善劳动条件、减轻维修工作量、降低能耗、节省原料的目的,最终朝着高速、高效、高精度、高质量、低噪声、自动化、节能,以及降低生产成本的方向发展。例如,通过采用比例阀、伺服阀、插装阀、变量泵与蓄能器等,实现多级注射和保压,节能效果达到 $40\% \sim 70\%$;采用新型液压系统,具有反应快、灵敏度高、泄漏小等优点,大大提高了注塑机的可靠性和使用寿命,操作条

件得以改善;采用微机或 PLC,并结合位移传感器来代替传统的继电器、限位开关,根据系统压力、模腔压力,对注塑成型过程实施闭环控制和动态监测;通过在大型、中型注塑机上安置机械手、自动称量上料系统、模具快速交换系统(甚至全自动快速交换系统)、模具自动调温系统等自动化手段,以及各种辅助设备,真正实现注塑机整机自动化。因此,现代注塑机的发展总趋势可以归纳为以下几点:

① 功能专门化和价格低廉化,开发适合用户需求的特殊和专用注塑机,具有性能价格比高、技术密集型和结构简化等特征。例如,气体辅助注塑设备、可熔芯注塑设备、磁石与金属粉末注塑机等;

② 高速、高效和精密化,以中小型注塑机为主,同时发展大型、超大型甚至巨型和微型精密注塑机。目前,普通、精密、超精密注塑机的成型精度已分别达到 $0.02 \sim 0.05\text{mm}$ 、 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 和小于 0.001mm ;超精密注塑机的注射速度达到 $1\,000\text{mm/s}$,加工光盘的效率达到每片 4s 。最大型注塑机的锁模力达到 $60\,000\text{kN}$ (由日本三菱重工生产);

③ 机械结构设计采用先进的方法、构思及手段,合模方式以肘杆和直压式为主,改进合模机构,形成标准化系列,据此来提高注塑机生产厂家的应变能力;

④ 以节能为目标,选用高效油马达,自动润滑,尽可能降低注射压力;采用曲肘式合模机构;改进螺杆结构、压缩比和长径比等,提高塑化效率和混炼效果,选择变量液压马达驱动,以及合适的转矩和转速,克服塑化效率随转速降低而降低;采用新型的液压马达和驱动系统,用变速无刷直流电机来驱动液压泵,能够减少电机散热所需的能量消耗,不受电力波动的影响;采用节能液压回路,例如,蓄能器用来提高注射速度、开合模速度,变量泵用来代替几个固定容积泵;大型注塑机采用负载敏感泵与定量泵并用的多泵控制系统;针对中小型注塑机,设计压力敏感型、流量选择型和负荷感应型等节能回路;控制热流道系统以缩短成型周期;

⑤ 微机和新型液压系统结合,有助于保证产品的精度,从而减少废品、节约原材料,并保证产品一致性。注塑机广泛采用比例阀和

插装阀,以及微机闭环控制方式;已由初级经济型微处理机定值控制系统,发展到较高级普及型计算机直接数字控制(DDC)动态检测系统,以及计算机集成制造系统(CIMS),实施 SPC。例如,日本注塑加工行业曾经推行注塑成型加工自动化及注塑车间(工厂)的无人化,实现注塑制品由机器人取出及成品自动贮存。该工厂为具有消音结构的二层楼建筑,一楼分为成型及输送两个工区,并配备 6 台注塑机、6 台制品取出机器人、6 台制品自动贮存柜、一条无人输送线和一个自动升降机;二楼设有运货场、一条无人输送线、自动升降机、个人电脑管理系统以及自动通报系统。一楼注塑机成型出来的制品由取出机器人取出,排列在自动贮存柜,直到贮存柜装满后,便放到无人输送车上,搬移到升降机,然后转移到二楼;随自动贮存柜转移到二楼的制品,按电脑指示自动堆放到指定的位置。该作业结束后,无人输送车到组装线再把空贮存柜装入该车,搬回升降机回到一楼,再按指示把贮存柜搬到贮存工区,然后该车又把已装满的贮存柜搬到二楼;

⑥ 主机外观及形状优化设计已引起制造厂商的高度重视。噪音成为衡量注塑机质量等级的一项重要内容,通过采取措施,例如选用低噪泵、冲击性小的阀和低噪音电机,限制管道中液压油流速等,来降低噪音对人体的危害,以保证工作环境的安静;

⑦ 注塑机配套设备及其标准化、系列化,包括自动供料设备、模具温控设备、浇口柄的取出和切割装置以及机械手或其他自动化设备、注塑机的联结装置等;

⑧ 其他,注塑机的模块化在欧洲已引起多个注塑机厂家重视。发展环保型注塑机,主要是小型全电子注塑机。

第二章 现代注塑机的构成与特点

第一节 现代注塑机的组成及工作原理

注塑机是将经过预塑熔化后的颗粒状高分子材料,由喷嘴高速射入模腔,再经过冷却成型塑料制品的设备,能够一次成型复杂制品,具有生产效率高、后加工量少、制品表面光洁程度好、废品率低等特点,并能够满足对于注塑制品尺寸精度和质量精度的要求。因此,注塑机目前已成为塑料机械中量大面广、最具有代表性的一种塑料加工设备。促进我国注塑机发展的因素包括以下几方面:

① 国家政策上的扶持,一方面地方贷款有所松动,同时,通过一定范围限制进口注塑机,鼓励和支持逐步国产化;

② 采取了引进、消化、吸收和国产化方针的结果,使国产注塑机无论从种类、质量及水平上有大幅度提高,局部已达到国际水平,可以满足不同层次用户的需要;

③ 由于沿海地区继续执行开放政策,集体企业和个体工业者为了扩大再生产,纷纷购置塑料生产设备。例如,浙江温州地区的电器配件和钮扣行业,在全国占有大量市场,覆盖面很广,产量需求扩大,需要大量小型注塑机;

④ 随着汽车、电器、家具工业和儿童玩具的发展,对高层次的塑料制品和“以塑代木”、“以塑代钢”的制品需求量越来越大,增加了对国产名牌注塑机的需求;

⑤ 塑料行业部分设备老化,需要更新换代;

⑥ 制造的国际化与全球化,国际订单逐年增长。

一、现代注塑机的基本组成

现代注塑机一般由注射装置、锁模装置、液压传动和电气控制系统

统等部分组成

(1) 注射装置 包括料筒、加热圈、注射油缸、射台移动油缸、预塑油马达及螺杆等,其主要功能是使塑料均匀地塑化,并以足够的压力和速度将一定剂量的熔料注射到锁紧的模腔内。要求注射装置塑化性能好、计量精确,并能够提供准确的注射压力和注射速度。

(2) 锁模装置 主要由动模板、定模板、拉杆、锁模机构(包括合模油缸)、制品顶出装置和安全门等组成,是成型注塑制品的工作部件。由于高速注入模腔中的熔料具有一定的压力,只有在锁模装置给予了模具足够的锁模力情况下,才能防止因熔料的压力作用致使模具被打开,造成制品出现飞边、精度下降等缺陷。因此,要求锁模装置必须能够保证模具可靠地闭合,并实现模具启闭和制品顶出等。

(3) 液压传动和电气控制系统 液压传动和电气控制系统相互协调,完成主机预定动作。其中,液压传动系统包括油泵、控制阀(比例/伺服阀、常规方向、压力和流量阀)和附属装置(管路、冷却器、过滤器、蓄能器、油箱箱体)等;电气控制系统包括电源、微机控制器、加热及检测元件、执行机构等。

二、注塑机的基本工作过程

注塑机基本工序如图 2-1 所示,由合模、射台进、射料、保压、冷却、射台退、预塑、防涎、开模、顶针进和顶针退等基本过程组成,下面将逐一加以说明。

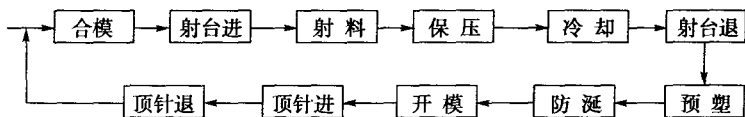


图 2-1 注塑机基本工序

(1) 合模过程 合模油缸中的压力油推动锁模机构动作,动模板移动使模具闭合。其中,模具首先以低压、高速闭合;当动模板即将接近定模板时,再切换成低速、低压闭合(即模具保护工况);在确认模具内无异物存在时,再切换成高压(锁模力),并将模具锁紧。

(2) 射台进和射料过程 模具以锁模力锁紧后,射台进工况使喷嘴和模具贴合。注射电磁阀通电后,注射油缸充入压力油,推动与该油缸活塞杆相连接的螺杆,并按照分等级的压力和速度将料筒内的熔料注入锁紧的模腔内。

(3) 保压过程 熔料在充填模腔过程中直至充满后,要求螺杆仍对熔料保持一定的压力,以防止模具中的熔料回流;同时,施加保压压力,以便向模腔内补充因制品冷缩所需的物料,避免制品产生缩孔等缺陷。

(4) 冷却和预塑过程 一旦浇口封死后,取消保压过程,制品在模具内自然冷却定型;同时,驱动预塑油马达使螺杆转动,将来自料斗的粒状塑料向前输送,进行塑化。在原料塑化达到预定计量值后,为了防止已熔化的塑料溢出喷嘴,需要将螺杆向后移动一定距离,即进行防涎处理。

(5) 射台退、开模及制品顶出过程 预塑计量及防涎过程结束后,为了使喷嘴不致于因长时间和冷模接触而形成冷料等,通常需要将喷嘴撤离模具,即进入射台退工况。该动作是否执行,以及执行的先后程序,可供选择。一旦制品冷却定型后就开模,并自动顶出制品。

三、注塑机基本工作原理

注塑机的基本工作原理可以理解为塑料原料在料筒内均匀塑化后,经过注射、流动充模、保压和冷却后成型得到注塑制品。各个阶段的特点及控制要求说明如下。

1. 预塑阶段

在螺杆的作用下,存放在料斗中的颗粒状塑料不断沿螺槽向前运动。由于受到料筒外加热和螺杆剪切的共同作用,塑料逐步被加热软化,最终成为熔融粘流状态。同时,螺杆头部熔料的作用力将螺杆往回推。通过改变螺杆背压(即工作油回泄阻力),来调节螺杆退回速度,改变螺纹槽内塑料流动状况,最终达到控制熔料塑化性能的目的。例如,提高背压可以改善熔料均匀化程度,同时,熔料温度升

高势必也会影响螺杆的输送能力;螺杆后退,其实际工作长度发生变化,引起塑化能力下降,同时,熔化后塑料温度在螺杆轴向偏差大,并随注射行程和螺杆转速的增加而增大。因此,利用背压与熔料温度存在的线性关系,可以根据实际料温动态调节背压大小,补偿预塑时因螺杆有效长度的缩短引起的轴向温差。同理,通过调节背压和转速,确保在高背压下具有大的剪切力和低转速,塑化均匀;在低背压和低转速下,由于螺杆前部熔料压力得到大部分释放,螺杆转动惯量小。

2. 注射成型阶段

在螺杆推力的作用下,已经塑化好的熔料以一定的速率流经料筒、喷嘴、流道、浇口等处后注入模腔,注射压力也因克服流动阻力而逐渐下降。塑料充填过程及成型质量,除了受到注射压力影响外,还取决于熔料注射速度、熔料与模具温度,以及流道、浇口和模具。通常,熔料压力高、速度快,则所能流过的路程越长。利用模腔压力,能够客观描述熔料流动及其状态变化,并控制制品的质量。如图 2-2 所示充模过程分为四个阶段,同一时刻在模腔内熔料流动长度上,不同测压点获得的压力值是不一样的,但是,压力变化具有相似的规律。

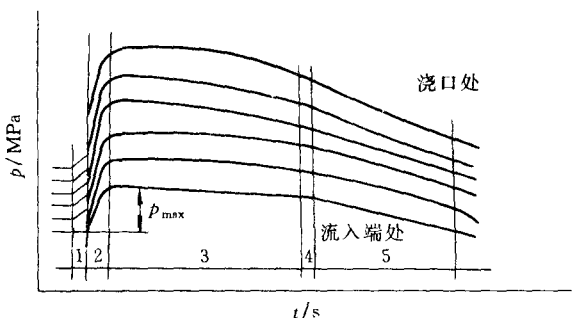


图 2-2 充模过程不同测压点的压力波形图

1—充模 2—压实 3—保压 4—卸压倒流 5—冷却

(1) 充模与压实阶段 在该阶段,压力随熔料流入路径而增高,并达到最大值。同时,注射速度迅速下降,压实模腔内的熔料。由于

熔料在模腔内的流动状态会直接影响制品的表面质量、分子取向、制品内应力等,因此,为了调节充模过程,根据塑料制品和模具结构特点,可以采用多级注射速度,即在熔料流经浇口和充模结束时速度较低,其他过程则采用高速注射。

(2) 保压增密阶段 在该阶段,模具冷却,熔料的比体积变化,引起制品收缩,需要对螺杆施加一定的保压压力,以补缩和增密熔料。保压时间及压力大小与制品的应力有关。压力越高,制品收缩小,但压力过大,容易产生较大的残余应力,导致脱模困难。

(3) 倒流阶段 在该阶段,模腔压力高于浇口至螺杆处熔料的压力,模腔内的塑料尚未完全固化,内层塑料还具有一定的流动性,有可能向浇口作微量的倒流,引起制品产生缩孔、中空等缺陷。采用多级保压压力,按时间进行切换,能够消除残余应力。保压切换过早,引起模腔内塑料倒流,产生缩孔、中空等缺陷;保压时间过长,因浇口已固化再进行填充,使浇口周围形成应力。

(4) 制品冷却阶段 在该阶段,模腔内塑料继续冷却,使制品在脱模时具有足够的刚度。冷却时间长短与制品的残余应力大小有关。

第二节 现代注塑机的基本参数

一、注塑机的基本参数

注塑机的技术指标包括螺杆直径、螺杆长径比、螺杆行程、螺杆转速、最大注射量、注射压力、塑化能力、锁模力、拉杆间距、移动模板行程、允许的模具最大和最小厚度、液压顶出力、液压顶出行程、料筒加热功率、油泵电机功率、机器尺寸与重量、名义与实际注射量、挤出力、最大注射速度、螺杆扭矩、液压系统压力和油箱容积等。下面将就几个重要的技术参数加以说明。

(1) 注射量 说明在对空注射条件下,注射螺杆在作一次最大注射行程时,注射装置能够达到的最大注出量,反映了注塑机能够生产塑料制品的最大重量,故常用作表征注塑机规格的主要参数。

(2) 注射压力 就是由注射油缸经螺杆对塑料施加的压力,用来克服熔料流经喷嘴、流道和模腔等处的流动阻力。该参数非常重要,对制品尺寸与重量精度,以及制品的应力都有影响。可以根据加工塑料性能、成型制品几何形状及精度要求、塑化方式、模具和模具温度等加以选择。

(3) 注射速度 通过喷嘴后的熔料势必要冷却,为了获得密度均匀和高精度制品,要求能够在短时间内把熔料充满模腔。因此,需要利用一定的注射速度进行快速充模。通常,低速注射熔料,充模时间长,制品容易出现冷接缝、密度不均匀和残余应力大等缺陷;高速注射虽然可以减少模腔内的熔料温差,改善压力传递效果,得到密度均匀、应力小的精密制品,并缩短成型周期,但是,过高的注射速度使得熔料流经浇口等处时,容易形成不规则的流动,吸入气体和排气等,直接影响制品的表面质量,同时,对程控的要求更高。

(4) 塑化能力 说明螺杆与料筒在 1h 内可以塑化的熔料量

(5) 锁模力 熔料在流经料筒、喷嘴、模具的浇注系统后,注射压力逐渐损失,最后余下的就是模腔压力。因此,在实际注射时,为了避免模具被模腔压力形成的胀模力顶开,必须对模具施加足够大的夹紧力(即锁模力)。锁模力是保证制品质量的重要参数,直接影响注塑机的尺寸和重量,并在一定程度上反映注塑机加工制品能力。因此,锁模力经常用来作为表示注塑机规格大小的主要参数。

二、注塑机的技术经济特性

注塑机技术经济特性能够反映注塑机的驱动能力、尺寸大小与重量特征,包括移模速度、循环次数、总功率、重量与外形尺寸等。

(1) 移模速度 反映注塑机工作效率,直接影响成型周期长短,原则上应尽可能提高移模速度。因此,模板的行程速度是变化的,通常分为三段,即在合模时由快到慢,开模时则由慢到快再慢。

(2) 循环次数 说明注塑机每小时最高的循环周期数,与注塑机塑化能力、塑料种类、成型条件、制品形状、模具结构和移模速度等有关。空循环次数表示在没有塑化、注射保压、冷却与取出制品等动

作的情况下,完成一次循环需要的时间。有时,也直接用开合模时间(或次数)来表示。空循环次数又分为理论空循环和实际空循环,前者是以油泵提供最大流量、油缸作最大行程时,经计算所需的周期时间;后者是指机器在无负荷条件下,以最高速度完成所规定的行程所需的周期时间。实际空循环与理论空循环时间相比,增加了动作之间的切换时间、行程末端减速时间等。

第三节 现代注塑机电液控制 系统的组成及特点

除了机械部分外,液压及电气控制系统组成注塑机综合控制系统,确保注塑成型过程能够按照设定参数(例如,压力、速度、时间、温度等)准确有效地工作;同时,满足高速、高效、节能等要求。

一、注塑机液压传动与控制系统原理及特点

作为注塑机的动力操纵控制部件,液压系统由油泵、油马达、油缸、油管及各种控制阀等组成,并在成型过程中进行压力、速度比例/伺服控制和动作程序控制。

(一) 液压系统的基本要求

(1) 锁模机构 要求合模油缸能够提供足够的锁模力,避免注射过程胀模,制品出现飞边缺陷;同时,液压系统还应该满足开合模速度变化的要求,可以采用双联泵、多泵分级控制以及调速等方法来实现多级速度调节,满足缩短空载行程时间、提高生产效率的要求。对开合模过程实施缓冲,还能够防止损坏模具和注塑制品,避免振动及噪声。

(2) 注射座整体移动机构 要求注射座整体移动油缸除了满足在注射时具有足够的推力,使喷嘴与模具浇口紧密接触,同时,还提供固定加料、前加料和后加料等多种预塑方式,以满足加工不同塑料的要求。

(3) 注射机构 要求在注射过程中能够依据塑料品种、制品几

何形状和模具的浇注系统,灵活调节注射压力和注射速度,并进行多级保压压力控制。另外,塑化时能够调节螺杆转速和背压,以适应加工热敏感性及熔体流动性不同的塑料的要求。预塑螺杆由低速高扭矩液压马达或高速马达加减速器直接驱动,使用变量泵或泵组组合调速、直流电磁(液)阀程控等技术措施,满足注塑成型的高速、低能耗和低噪音的要求。

(4) 顶出机构 要求能够提供足够的顶出力,且顶出速度平稳、可调,具有多种顶出方式,以满足加工不同种类制品的要求。

(二) 电液比例控制

1. 注塑机电液比例控制的特点

在注塑生产中引入微机、控制理论及电液比例/伺服技术,已成为各注塑机制造厂商追求的目标。事实证明,这也是提高制品质量,满足各行业对注塑制品日益增长的质量要求最为有效的技术措施和途径。同时,其可观的节能效果,生产效率的显著提高和优良的控制、操作性能等,使得主机的技术附加值得以提高,增强了其市场竞争力。

在实际应用中,由于传统的电液伺服阀对流体介质洁净度要求十分苛刻,制造成本和维护费用比较高,且难以满足注塑成型过程对液压元件工作的高可靠性、高抗污染能力及价格低廉等要求,而传统的电液/电磁开关控制阀也不能够满足高质量控制系统的要求,这为新的电液比例技术在注塑机上的工业应用提供了良机。利用电液比例阀(比例压力、比例方向、比例流量或复合 P-Q 阀),结合计算机控制,实现压力、流量的无级调节,并在节能、降噪、防污、简化控制回路、提高系统可靠性与控制精度、便于维护等方面收到显著的综合效果。随着电液比例阀与集成单元的完善、成熟和工业化,以及动态品质的提高,其应用前景更为宽广。值得一提的是,在小型精密注塑机上,伺服阀仍有一定市场,它能够满足注塑成型过程控制高速、高精度与高压要求。此外,比例技术结合插装技术,在大型注塑机上实现大流量比例控制也不失为一种行之有效的技术措施和手段。

电液比例控制及单元在注塑机上得到成功应用,并越来越趋于

广泛与普及,具有便于调节和维护、缩小安装体积、简化控制回路、延长寿命、降噪防污、满足加工制品特殊要求(例如精密、大投影面积薄壁制品)、实现成型过程多级(七级或更高)速度与压力控制(基于螺杆位置精确切换和速度与压力反馈)的特点,以及在节能、节省物料、缩短成型周期、提高生产效率、降低废品率、提高制品质量等方面获得显著成效,并已成为提高注塑机档次、技术附加值及获得高质量制品的有效途径。

2. 注塑机电液比例控制单元分析

按照选用的液压元件,可以将注射成型的压力、流量比例控制分为节流控制和容积控制两种。

(1) 节流控制 主要通过比例阀,按照节流原理来控制流入的流量或压力,其特点为动态响应快,可以利用公共恒压油源控制不同的执行元件(液压缸或马达)和负载。因此,节流控制的结构简单,操作方便。但是,也存在功耗较大、系统效率较低等不足,故多用于小功率场合。

(2) 容积控制 主要通过液压阀控制变量泵的变量机构,调节变量泵的流量或压力,并作用于执行元件(液压缸或马达)和负载,具有节能、功耗小、效率高(达 90%)等特点。不足之处是系统动态响应较差。因此,容积控制仅仅适用于动态性能要求不高的中、大功率液压传动系统。

针对一定应用场合,压力控制通常可以通过比例压力阀或电液比例恒压控制泵来实现,流量控制则选择比例节流阀、调速阀和方向阀的方案。电液比例变量泵或液压马达在大功率系统中的应用更为广泛,也可以通过压力阀实现负载限速控制。

图 2-3 所示为基于插装技术和比例技术的注塑机压力和流量控制回路。其中,比例节流阀 4 基于恒压差节流调速原理,速度可无级调节;保压压力由比例先导压力阀 10 与定差先导阀 8 精确控制;双联泵组由高压小流量泵 1 和低压大流量泵 2 组成,插装式单向阀 3 起隔离作用;低压溢流阀 5 及其压力值由先导阀 11 调定,高压溢流阀 6 的压力由先导阀 9 调定;当系统压力达到卸荷先导阀调定压

力后,使低压泵卸荷。由于采用了插装阀集成块,因而流量控制单元具有体积小、适用于大流量控制的特点。速度调节采用容积式分级调速和节流式无级调速混合系统,即采用双联泵组形式和比例节流阀,并分别通过泵 1、2 同时工作与切换,以及流量节流控制,便能够在较大范围内实现无级节流调速,同时使溢流损失大幅度降低,从而可大大提高系统效率。

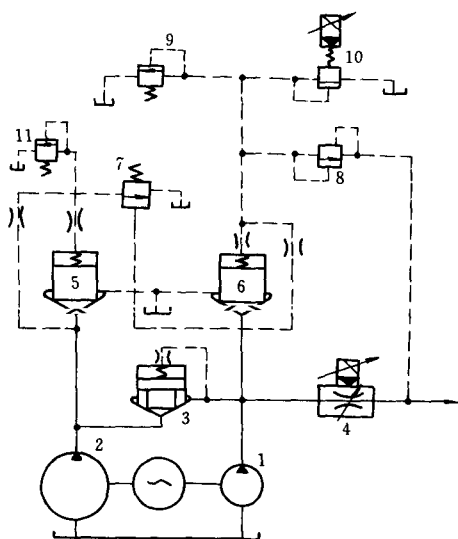


图 2-3 注塑机压力、流量控制回路

- 1—高压小流量泵 2—低压大流量泵 3—插装式单向阀 4—比例节流阀
5—低压溢流阀 6—高压溢流阀 7—卸荷先导阀 8—定差先导阀
9、11—先导阀 10—比例先导压力阀

图 2-4 所示为力士乐三通溢流调速阀 EFBG-03-125C 构成的压力及流量复合控制回路,能够分别调节压力与流量。例如,在注射工况下,系统压力仅由填充熔料流动阻力等负载确定,流量由调速阀进行无级调节;在模腔充满时,负载压力迅速增大,可以对溢流阀按塑料加工工艺及过程控制要求进行程控调节。这种液压回路已在 500g 以下的注塑机上得到广泛应用。

压力、速度控制回路采用电磁比例压力阀调压、电磁比例方向流

量阀调速的原理,具有工作流量与负载大小无关的特点。其中,通过在遥控口增设一个阻尼塞,可以增强压力补偿效果。系统压力额定值由起安全作用的普通溢流阀预先调定。在实际应用中,也有采用比例溢流阀控制压力、先导式比例方向控制阀控制速度和方向的。通过选择油路连接方式,还能够使比例方向阀的流量增大近一倍。

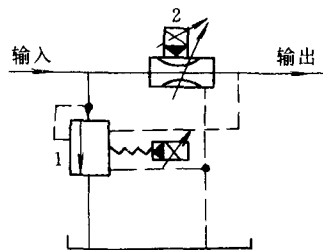


图 2-4 比例压力、流量
复合控制回路
1—溢流阀 2—调速阀

在注射回路中,采用溢流阀(或电液比例溢流阀)控制螺杆塑化背压,并实现背压程控及零背压,能够有效提高塑化质量及塑化计量精度,并满足精密注塑对制品尺寸与重量稳定性的严格要求。德国博世(BOSCH)公司分别采用由开关阀加闭环控制比例阀(直接或带先导级)和仅有一只带先导级的闭环控制比例阀的方案,构成两种控制回路,均能够实现注射成型过程中速度、保压压力及背压的控制,防涎及零背压控制。

注塑机功率主要消耗在液压系统与加热装置两大部分上,分别占 82% 和 18%,而注射和塑化工况耗能就占整个液压系统总能量的 70% 以上。可见,在液压系统上采取优化控制回路、合理选用液压件等措施,可获得显著的节能效果。对于容积传动及控制系统,采取引入负载敏感系统措施,即在恒压泵(例如叶片泵)基础上,增加一个压力补偿式比例阀(负载敏感阀),以保持该比例阀压力恒定来控制泵排量,使泵功率在一定情况下与实际负载成正比,达到恒流量调节的目的,避免出现油量过多现象。该系统不仅避免了溢流损失,获得了比节流调速系统更为显著的节能效果,同时还适用于多负载并联工况,因而被广为采用。例如,采用单定量泵外加负载敏感系统、双联泵外加负载敏感系统、三泵加负载敏感系统,以及变量泵加负载敏感系统等组合方案,均在主机上获得了 30% ~ 50% 的节能效果。然而,在实际应用中,这种系统也暴露出以下弱点:

- ① 主管道仍然有附加节流损失;

② 多负载并联工况,各负载差距较大时,由于系统只能与最大负载相适应,系统效率大大降低;

③ 要求功率适应泵与负载敏感阀必须严格匹配,使得元件的互换性较差。

对此,出现了二次调节系统,它能够满足塑化过程无级调速需求。该系统由一个安装在定压网络中的变量油马达及蓄能器组成,可通过调节变量马达的排量来调节马达轴上的动力扭矩,从而控制整个系统的功率流,达到调速和调节转矩目的,并由此收到更为显著的节能效果。

表 2-1 列举了注塑机比例压力、速度控制的方法、工作原理及特点。

表 2-1 注塑机比例压力、流量控制方法比较

控制方案	原 理	特 点
比例溢流阀加电磁换向节流阀	溢流阀,简单节流阀调节压力、流量	两级(调定、额定)流量控制;无级调压,节流控制
比例压力/流量复合阀	溢流阀、比例节流阀调节压力、速度	速度控制时,压力先导级不起作用,系统压力由负载确定;压力控制由溢流阀调节,节流控制
三通比例调速阀加比例压力阀	比例压力阀、调速阀调节压力、速度	定量泵供油,液压泵供油压力和负载压力协调,节能、效率高,无级调速和调压,节流控制
比例压力阀加比例方向流量阀	比例压力阀、比例方向流量阀控制压力、速度	系统额定压力由普通溢流阀调节,比例压力阀在该压力范围内无级调节;比例方向流量阀工作流量与负载大小无关,结构紧凑、调试方便,节流控制
溢流调速阀	溢流阀和调速阀分别调节压力、速度	分别实施压力、流量控制,能够进行流量适应控制,具有节能、系统发热小等特点,节流控制
比例压力泵加比例方向阀	比例压力泵、比例方向阀控制压力、方向、速度	压力控制同时进行流量适应控制,无级调压,调速节能,系统发热小,容积控制
比例压力/流量复合泵	比例压力、流量控制	流量控制既可适应控制又可根据负载感应控制,流量控制阶段,泵出口压力与负载压力协调;压力控制阶段流量接近于零。因此系统效率较高,容积控制

3. SZ-200/120 注塑机液压控制系统

图 2-5 所示为 SZ-200/120 注塑机(200g 注射量、1200kN 锁模力)的液压系统图。其中,比例压力、流量控制采用浙江大学流体传动及控制国家重点实验室研制的电液比例压力、流量复合阀;液压系统的压力由负载和同时受压力先导阀及流量先导阀影响的压力阀主调节阀芯的开度决定,并通过流量阀和压力阀来分别控制速度和压力。压力阀始终接在液压系统中,在控制速度时,由于系统压力低于压力阀的预设值,因此,压力先导级不起作用,系统压力由负载确定;压力控制时,压力阀根据溢流阀的原理工作。液压动力部分采用

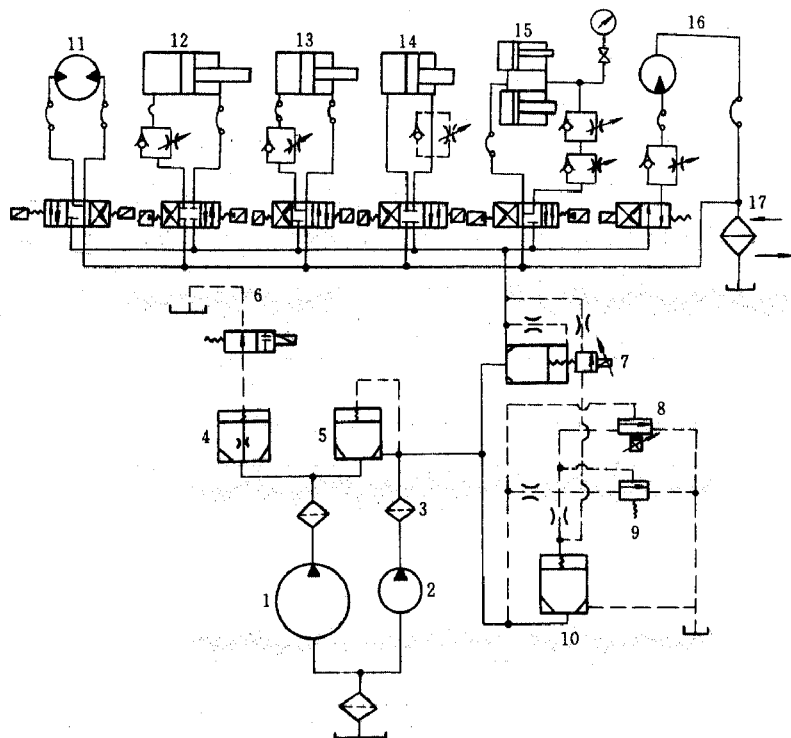


图 2-5 SZ-200/120 注塑机液压系统图

- 1—大泵 2—小泵 3—滤油器 4—卸荷阀阀芯 5—单向阀阀芯
6—二位二通电磁换向阀 7—流量阀调节器阀芯 8—压力先导阀
9—安全阀 10—主阀芯 11—调模油马达 12—锁模油缸 13—顶出油缸
14—射台进退油缸 15—注射油缸 16—预塑油马达 17—冷却器

双联泵快、慢速回路,大小泵同时或单独向主油路供油,实现快、慢速开合模。一般情况下,大泵卸荷,调定大泵压力为 6.5MPa,小泵压力为 9.5MPa。利用压力油,按照指令并经电磁换向阀控制相应的油缸(油马达),执行各项顺序动作。

二、注塑机电气控制系统的组成及特点

采用高性能的液压系统并对主机进行合理设计,运用现代控制理论,实施注塑机过程控制,例如,多级注射速度控制、多级保压控制、多级预塑速度控制和背压控制、预塑计量控制等,获得高质量注塑制品。

(一) 常见注塑机电气控制系统的结构与特点

1. 传统继电器型

包括传统的继电器控制箱、由数码-电压转换器组成的典型控制柜、以及有关的信号检测及输出控制线路等。其中,数码-电压转换器连接逻辑开关控制线路与模拟控制阀,将拨盘数字转换成模拟电压,并经比例放大器控制比例阀。信号输入及数值显示单元只能是数码拨盘和电位计。在 1987 年以前,我国注塑机大都采用这种控制系统,目前仍有一定市场,而国外已完全淘汰。由于该系统采用导线连接方式,仅适用于某个固定的工艺过程,存在研制周期和调试时间长、修改不方便、寿命短、可靠性差、故障检查和寻错困难、控制精度低等不足,由此而制约了我国注塑机水平的进一步提高,失去市场竞争力。这种系统结构简单,价格也相对便宜。

2. 可编程控制器型

PLC 是以微处理器为核心的工业控制装置,30 多年来先后经历了实用、成熟和加速发展三个阶段,形成三代产品。现代 PLC 具有以下功能:

① 小型与大型化,高速、大存储容量;

② 体系结构多样化,其中,小型 PLC 采用非总线式结构,大型 PLC 则采用自己的总线结构,还发展了以标准总线为基础的产品。网络系统分为低速和高速两种,不但可以级联,而且网上还可以兼容

不同类型的 PLC 和计算机,组成控制范围很大的局部网络,构成基于 PLC 实现 FA 多层网络控制系统,并遵守制造自动化(MAP)协议。FA 多层网络控制系统分为四级,包括实时控制级,进行顺序控制;协调控制级,用于协调各种机械的配合问题;PLC 的装入,管理数据的采集和调度;数据处理,并由上级计算机处理各种数据;

③ 智能外围模块发展迅速,智能接口模块作为一个独立的系统,有独立的 CPU、系统程序、存储器以及外界过程与控制器系统总线相连的接口环节,并通过系统总线与控制器的 CPU 模板连接和交换数据,在 CPU 模板的协调管理下独立且并行工作。这类模板包括温度 PID、高速计数、位置控制、联网通讯、远程 I/O、模糊控制、编程协处理器、图形显示协处理器、网络协处理器等,有助于提高 PLC 的信息处理能力和控制功能,保证 PLC 满足过程控制、批量控制的要求,并拓宽 PLC 的应用领域;

④ 编程与控制功能更强,采用多种编程语言,使得用户能够面向过程进行编程;

⑤ 集成式可编程控制器(Integrated PLC, IPLC)能够运行 DOS,包括 1988 年美国 A-B 公司推出的 IPLC-Pyramid Integrator,1994 年奥地利 B&R 公司推出的可编程计算机控制器(PCC)。其中,PCC 兼有 PLC 和工业控制计算机(IPC)的功能,采用多处理器和模块化结构,具有多任务分时操作系统,以及良好的开放性、网络通讯能力和高度的安全性,采用 PG200 图形编程系统,利用 PL2000 面向控制的结构化高级语言编程。

PLC 完全能够代替电气系统中的继电器部分,具有性能优良、价格低、指令系统简单易学、以及对操用使用和维护管理的要求不高等特点,与模拟电压输出装置(数码-电压转换器、电位计等)结合,可用来对注塑机进行定值控制。其中,数据处理和产生缓冲、斜坡信号由其他辅助功能块完成。PLC 采用程序存贮方式,具有修改方便、结构小巧、可靠、反应灵敏、运行速度快等特点,不仅可以进行开关量逻辑控制,同时,具有模拟量(如压力、流量等)闭环控制等功能,借助液晶或数码显示管和键盘设定、修改工艺参数,监测生产过程,

极大地提高了注塑机的整机水平,使之能够达到国外同类产品 20 世纪 80 年代初的水平。这种控制方式在我国已广为普及,一直到 1980 年,4000g 以下的中小型注塑机大都采用这种控制方式,并一直成为国内注塑机电气控制系统的主流,占 20% ~ 25% (1991 年 4 月统计)。

3. 微机控制型

20 世纪 60 年代后期,美国费洛斯(Fellows)公司首次采用微机对注塑机进行过程控制,通过将注塑成型过程中需要控制的压力、温度等模拟量采集到计算机内,同预先的设定值对比,进行决策控制。信号输入及数值显示单元种类较多,有数码拨盘、矩阵插孔板、阵列电位器、发光二极管矩阵、标准或专用键盘等输入方式,以及数码管、LCD、CRT 等信号显示方式。我国开发注塑机微机控制器的时间相对较晚,在不到 10 年的时间,先后已推出了好几代产品,并朝着专用、功能齐全和完善、性能可靠、操作方便的方向发展。1995 年,国产微机控制注塑机的产量约占当年总产量的 30%,比例较低,且微机控制系统大都是引进的,包括台湾弘讯、盟立、Battenfeld Unilog 1000、9000C, Elite MPC168 微机控制系统。

(1) Z80 - CPU 单板机控制系统 以 TP - 801 单板机为典型代表,结构紧凑,板上安装有中央处理单元、键盘、LED 显示器、输入/输出(I/O)、数据存储器(RAM)、程序存储器(ROM),以及可扩展的 I/O、D/A、A/D 等接口。采用 Z - 80 汇编语言编程,具有较强的数据处理功能,可以进行 8 位数据的输入与输出,在软件的支持下,还可以进行 8 位以上数字运算和处理,完全能够满足注塑机控制的要求。

(2) 单片机控制系统 单片机是比单板机集成度高的微处理器,在一块芯片上集成了中央处理器(CPU)、RAM、ROM、I/O、振荡器和时钟线路等,几乎拥有一个数字系统所需的全部功能,具有处理能力强、灵活、兼容性好、单一正 5V 电源、性能价格比高等特点,适合用来构成注塑机控制系统。继英特尔(Intel)8048 单片机出现以后,还推出了 MCS - 51、MCS - 96 系列产品。其中, MCS - 96 系列中的 Intel 8098 芯片,本身带有四路 10 位 A/D 及多路高速 I/O、

D/A 等,性能价格比高,完全能够满足注塑机控制的要求。

(3) 微机控制系统 随着微机技术的发展及广泛运用,为了适应注塑机发展的需要,已开发出专门适合注塑机过程控制的微机系统,并由简单开环控制,过渡到局部闭环控制,再发展至今天的全闭环控制。该系统除了具备常规的功能外,还能够进行图形显示、故障报警、自诊断、数据处理、存储和打印。例如,该系统除了具备常规 PLC 控制的程控功能外,还具有较强的计算能力,以及自诊断、故障报警、模具参数储存、压力和流量无级可调、在线设定、修改参数、人机会话方式、在线监测动作状态、中文提示及多种文字转换等功能。随着微机及电子元器件价格大幅下降,必将会被越来越多的用户接受,适用于中小型注塑机,同时,配备工业机械手、自动上料等装置后,可用于大型注塑机,对提高注塑机整机控制水平和档次具有积极意义。

(4) 多处理机控制系统 这种控制系统的设计思想是将多任务进行分配,由若干 CPU 来完成独立的工作。例如,温度控制由独立的 CPU 完成,其他 CPU 则作程控及过程参数控制。多机系统往往由一台主机和若干台从机组成,其中,从机可以采用单片机、PLC、IPC 等构成集成控制单元,主机则采用 IPC 等高档微机,并经 RS-232C 等串行通讯口与下位机进行联机通讯、协调管理、数据传输和控制等。

在以上控制方式中,Z80-CPU 单板机控制系统和单片机控制系统为过渡形式;微机控制系统日趋完善,是目前已经基本定型的形式,已经有了一定的市场占有率;多处理机控制系统正处于进一步开发、定型和推广运用阶段,具有潜在的发展远景。

微机用于注塑机程序逻辑控制和过程控制,成为提高注塑机档次和技术附加值的重要而且有效的手段。采用微机控制的注塑机,生产的注塑制品质量好,成型过程真正实现了高速、高效和自动化,成型周期缩短;程序控制准确、可靠;丰富、良好的人机界面和模具资料自动存贮功能,操作直观、方便;电气控制系统可靠性、可维护性提高,平均无故障时间增大,控制装置体积减小,噪声降低;程序修改方

便,系统功能便于扩展、增强;较强的数据和指令通讯功能,便于实现联机群控,为采用成组技术,改变常规机群制,使注塑机和辅机按成组单元排列,再结合机械手或工业机器人等辅助设备,实施注塑成型加工过程群控,确保对生产组织、成型加工、检验和运输等进行统一管理和控制,为真正建立“自动化注塑车间”、“自动化注塑工厂”创造条件。

(二) E180-CJ303 电脑控制全自动精密注塑机电气控制系统分析

图2-6所示为香港某公司生产的E180-CJ303电脑控制全自动精密注塑机电气控制系统原理图,该螺杆式注塑机注射量为500g,锁模力为1800kN。控制系统的流量及压力采用威格士(Vickers)P/Q-1控制块。该控制块为插装式逻辑阀,具有体积小、效率高(管路损失小)的特点,控制块上的电磁流量比例阀V14(CVU=40=EFF1=B29=90)带反馈装置,通过将流量插装阀的电信息与设定值进行比较,并据此自动调节流量。因此,系统流量的控制反应快,灵敏度高,准确且稳定性好。该系统由电脑控制箱、马达启动及电热控制箱、动作控制板、限位开关装置和报警装置等部分组成,采用开环控制和插板式结构,并由键盘输入数据、CRT显示中文操作界面。

1. 控制系统的组成及基本功能

控制系统采用8位CPU6803运行控制程序,两片2764EPROM储存16K程序,8K带电保护的静态RAM保持工艺及模具参数,提供24个输出及8个输入点,作为键盘及数字显示用。另外,还有一个RS-232C串行接口与其他电脑通讯,进行数据交换。微电脑板占用约32K容量,其中有2K是通过30位的共用总线与其他控制板连接的。系统功能模板包括换向阀控制板、输入界面板、D/A转换板、压力电磁比例阀控制板、速度电磁比例阀控制板、整流板、指示灯控制板、键盘输入板和CRT显示板。

(1) 电磁比例阀控制板 采用两个电磁比例阀来分别控制系统的压力和速度。微电脑板将数字信号(0~127)输出至比例阀控制板

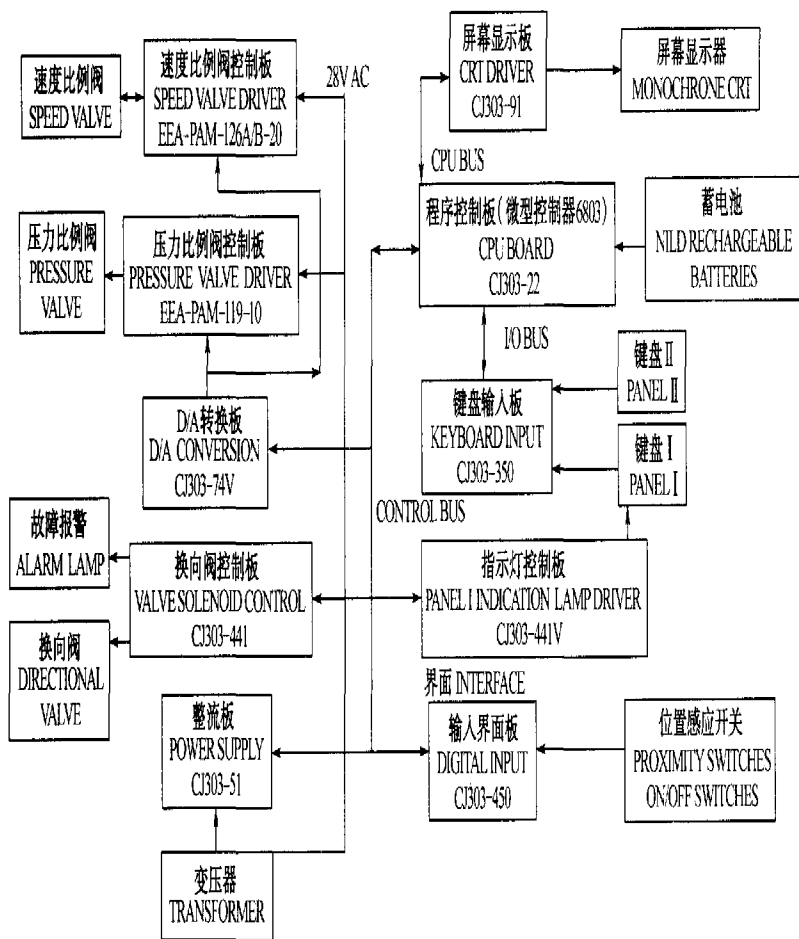


图 2-6 E180-CJ303电脑控制全自动精密注塑机电气控制系统原理图

相应的速度或压力锁存器中,此数字是 8 位的,其中 7 位代表数值,第 8 位用来控制信号的转换速度。7 位数字信号经过 D/A 转变为一个 0~3V 的电压信号,再经过电磁比例阀控制板转换为相应的 0~1A 电流,控制电磁压力比例阀线圈,或者控制电磁流量比例阀的开启位置。电磁流量比例阀带有位置反馈信号,有助于准确并快速地控制系统流量达到预置的位置。

(2) 换向阀控制板 总共有 11 个换向阀,微电脑将相应开闭换向阀的信号输出至锁存器,经放大后再通过晶体管提供 0.6~1A 的电流,驱动换向阀电磁铁线圈,控制注塑成型加工过程等。

(3) 输入板 主要用来采集限位开关(行程开关)的信号。系统所需限位开关(行程开关)总计 20 个,包括前安全门(常开)(LS1)、后安全门(LS2)、前安全门(常闭)(LS3)、机械连锁保护(LS4)、转低压合模(LS5)、重转高压合模(LS6)、合模终止(LS7)、射台前进止(LS8)、二级注射启动(LS9)、三级注射启动(LS10)、塑化终止(LS11)、防涎终止(LS12)、射台后退止(LS13)、转快速开模(LS14)、重转慢速开模(LS15)、开模终止(LS16)、顶针前进极限(LS17)、顶针后退极限(LS18)、调模最厚极限(LS19)和调模最薄极限(LS20)。

(4) 键盘输入板 键盘输入为一个 8×8 的阵列,扫描信号读取键盘是否按下。为了操作方便,操作板由两部分组成,一部分是动作控制板,安装在机体上,观察注塑机动作情况;另一部分为参数输入键盘,布置在 CRT 下部。由于动作控制板距离控制箱较远,所以,输入键必须经过光电耦合器隔离后再输入。动作控制板的按键均有指示灯,显示注塑机的运行状态。例如,慢速键灯亮,表示低速进行。控制指示灯的线路板与换向阀驱动板相似,主要区别在于驱动电压是 12V。

通过参数输入键盘预置的动作参数主要是压力和速度(采用百分比形式),分别为合模压力(一级、二级、三级)、合模速度(一级、二级、三级)、开模压力(一级、二级、三级)、开模速度(一级、二级、三级)、注射压力(一级、二级、三级)、注射速度(一级、二级、三级)、塑化压力、塑化速度、防涎压力、防涎速度、射台(喷嘴)前进压力、射台(喷

嘴)前进速度、射台(喷嘴)后退压力、射台(喷嘴)后退速度、顶针进压力、顶针进速度、顶针退压力、顶针退速度,以及时间(包括锁模时间 t_0 、注射时间 t_1 、冷却时间 t_2 和循环周期 t_3 、顶针次数、注塑加工件数、采用的模具编号和操作人员工号等。

(5) CRT 显示板 支持 320×200 点阵显示方式,显示板产生视频信号,显示内容存放在一块 8K 的 RAM 中,由微电脑读取并写入相应的地址。显示板上的视频扫描集成块(6845)不断扫描,在 RAM 中相应的位置 1 时,荧光屏上相应的一点亮;反之,置 0 则不亮。采用 16×16 点阵显示一个中文,这些点阵信息存储在 EPROM 中。所以,显示图像是依靠微电脑板的软件驱动实现的,便于改变并显示其他文字(如英文、日文等)及图形。显示板通过一条 34 芯的扁平线与微电脑板上的信号总线连接。采用中文方式,CRT 显示以下四个方面的内容:

- ① 操作方式,包括手动、半自动和全自动;
- ② 动作,主要显示正在执行的动作;
- ③ 故障,在动作显示栏上,出现故障影响动作完成,则会有问号提示,指出哪个部分出了故障;
- ④ 动作参数的预置与显示,包括动作压力、速度、时间参数、顶针次数、注塑件数等。

(6) 整流板 整流板起整流和稳压作用,分别提供 5V 和 8V 电源给控制线路元件,+24V 及 +40V 电源向电磁阀、感应开关(行程开关)和继电器供电。为便于维修,电源供应板也插在卡座上,通过 30 条共用母线供应电源给其他控制板,并通过 4 条电缆与主机相连。

2. 控制系统软件结构及操作说明

系统程序设计采用多任务的形式,利用 6803 的时钟产生 1ms 的时间中断信号,用作任务的转换,同时,在进入中断服务子程序后立即进行计时。图 2-7 为相应的控制系统程序结构图。

工作状态包括手动、全自动、半自动和调模,以及合模、射台进、注射、塑化、防涎、射台退、冷却、开模、顶针进、顶针退 10 个动作,并

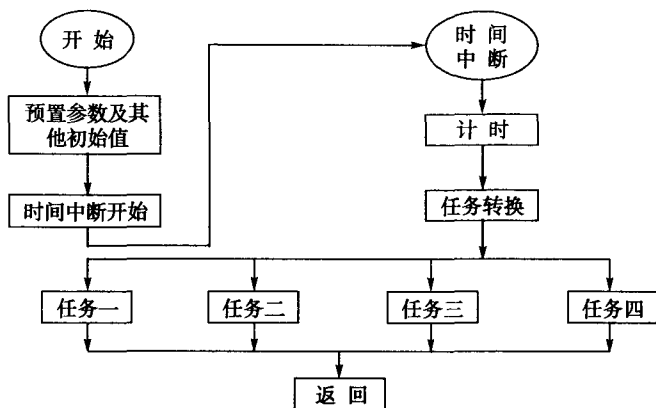


图 2-7 E180-CJ303 注塑机电气控制系统程序结构图

依靠行程开关和定时器依次顺序切换。为了增加系统的安全性,程序执行过程将不断检查存储器中的数据及硬件。发现任务执行不正常则作紧急停车处理。例如,出现安全门未关、注射无料故障,系统处于等待状态,需要依靠人工排除故障。

(1) 手动 开机后,按下“手动”键,手动按钮灯亮,便从“自动”、“半自动”或“调模”状态中恢复并进入手动状态,可用于完成注塑加工过程,更换模具和校验注塑机等。在更换模具时,按下“慢速”按钮,则所有操作将以慢速、低压方式进行。手动操作的顺序依次为合模、射台进、注射、塑化、防涎、射台退、开模、顶针进和顶针退。

(2) 半自动 按下“半自动”按钮,其他按钮灯全部熄灭,只剩下“半自动”按钮指示灯亮,注塑机将按“半自动”操作程序工作。半自动操作程序基本和“全自动”方式一样,区别只是在顶针动作完毕之后,“半自动”操作等待操作员将安全门开启,并取出注塑件和再次将安全门关闭后,才开始另一个注塑加工循环。

(3) 调模 在操作之前必须进行模具吊装。为了安全起见,要求按下“慢速”按钮。模具安装完毕之后,需要调整模具的合模位置。按下“调模”按钮,这时 CRT 上出现问句,提示采用“手动”还是“自动”调模方式。按下“手动”按钮,则进入手动调模。若要将模厚加

大,则按下“调模+”按钮;将模厚减薄,按下“调模-”按钮。

(4) 全自动 按下“全自动”按钮,其他按钮灯全部熄灭,只剩下“全自动”按钮指示灯亮,此时,手动动作按钮无效,注塑机将按“全自动”操作程序循环工作,分别执行三级合模、射台进、三级注射、塑化、防涎、射台退、三级开模、顶针进和顶针退。以下详细说明全自动运行过程中的主要动作:

① 合模。动模板在机铰的推动下以高压、高速前进至接近合模位置时,LS5起作用,转为低压、低速前进,在合拢之前,LS6起作用,转为高压锁模。合模压力与速度参数在调整注塑机时已确定下来,并显示在CRT上。在合模过程中,如果安全门打开,合模动作立即停止,并在CRT上显示“门?”的故障。在安全门再次关上时,故障显示消失,合模动作得以继续进行;

② 射台进。射台向前移动使喷嘴紧贴模具的主浇套球面。若操作中喷嘴不离开模具的主浇套,则无此动作,但射台前进动作需要保持恒压状态;

③ 注射。采用三级注射,所需参数在全自动操作之前已预先输入。例如,注射时间 t_1 在注射开始时计时, t_1 以0.1s为单位,按预置的注射时间倒数到零时,注射动作结束。其中,一级注射以一级注射设定的压力及速度参数进行注射,二级注射以二级注射设定的压力及速度参数进行注射,三级注射则以三级注射设定的压力及速度参数进行注射及保压;

④ 塑化。塑化螺杆按预置的压力和速度参数转动,塑料随着螺旋输送至料筒的前部,由于料筒前部熔料的堆积,螺杆后退。塑化的快慢及均匀度可以通过调整塑化背压加以控制,背压调小,则塑化快,均匀度较差;背压大,则塑化慢,均匀度较好。注射动作开始时,冷却时间 t_2 开始倒数计时。若 t_2 计时完毕,而LS11仍未有信号输出,则出现故障,并显示“无料”。此时,螺杆仍继续转动,等待处理;

⑤ 防涎。塑化动作将熔融的塑料输送往料筒的前部,为了避免熔融的塑料从喷嘴射出,在塑化动作结束之后,注射螺杆作微小的沿轴向后移动作,以克服由于内外压力不平衡引起的“垂涎”现象。若

操作过程中熔料无“垂涎”现象产生,就不需要这个动作。这时,可将 LS12 置于 LS11 之前即可;

⑥ 射台退。射台后退至预先调整的位置。若操作过程中不需要射台后退,则可将射台限位开关长期按下即可;

⑦ 开模。冷却时间 t_2 计时完毕,则进入开模动作。其中,一级开模以高压、慢速将模具慢慢分开,在操作之前预置其压力及速度参数,显示在 CRT 上;二级开模是在模具分开之后,转入高速开模,转换信号 LS14 发出;三级开模是在开模行程中,LS15 发出快速转慢速低压信号,在开模终止之前减慢开模速度,使机器在开模终止时不会产生震动现象;

⑧ 顶针进。开模动作结束之后,顶针将注塑件顶出,顶出次数按预先设定值操作完成;

⑨ 顶针退。在注塑制品顶出后,执行合模动作时,顶针要回退至原来位置。在自动生产过程中,顶针动作结束至下一周期开始设有周期循环时间 t_3 ,当 t_3 计时完毕才开始下一周期的循环。若操作上有机械手配合取出工件时,则 t_3 计时完毕仍需要等待发出机械手工作结束信号,再开始下一个循环周期。

第三章 注塑机微机及电液 控制系统结构

第一节 电液控制系统的目标

注塑制品的设计非常重要。为了获得性能良好的制品,在设计制品时必须遵循以下原则:

① 注塑制件图纸完整,并对需要正确复现的尺寸注明精密公差要求;

② 注明选用的塑料品级,以及多种相当品级的塑料以供优选;

③ 重点考虑由于塑料品级和注射参数引起制品出现尺寸收缩的因素,避免制品翘曲等;

④ 明确注射压力的要求,提出残余应力的容许值范围;

⑤ 明确合模线要求,确定合模线上凸起高度;

⑥ 明确熔合纹,确定制品强度要求;

⑦ 确定脱模容许的斜度,以便于制品顶出;

⑧ 采用较高的加强筋与凸缘,以满足强度要求;

⑨ 重点注意直角和厚、薄相接的截面,避免因不均匀的截面引起收缩率变化,并由此产生内应力、翘曲和其他有关问题;

⑩ 其他,例如,对于金属嵌件埋入塑料部分外形的要求等,确保脆化降低至最低限度。

采用电液比例/伺服系统控制注塑机,使其能够按照预定工序动作。在特定加工条件下,电液系统及其控制效果直接与注塑制品质量有关。在满足制品质量要求前提下,往往还要求提高注塑机技术经济性能指标,实现高速、高效、节能和自动化。

图 3-1 给出了影响注塑制品质量的众多因素,包括塑料原料的

性能、模具、注塑机及外部其他条件等四部分。其中,注塑原料涉及配方、颗粒形状及湿气含量;模具涉及刚度、浇口及模温控制效果;注塑机涉及注射装置、锁模装置和控制系统的的功能;外部其他条件涉及操作者的经验、使用的仪器设备和气候条件等。

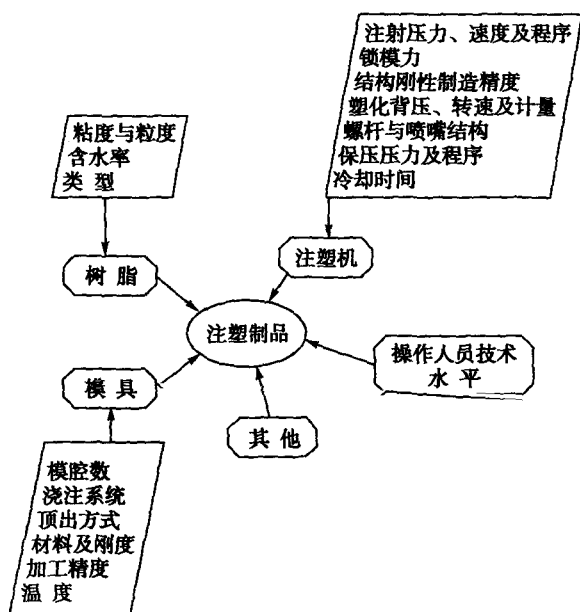


图 3-1 影响注塑制品质量的因素

一、塑料原料性能的影响

注射成型是将塑料原料加工成需要的塑料制品,并使原料的全部性能反映在制品中。事实上,待加工塑料原料有关数据,例如牌号、生产厂家,以及物理、热学、电气、机械及化学性能等,是模具设计、确定注射工艺参数及实施过程控制的重要依据。表 3-1 列举了热塑性塑料的有关数据,可供模具设计人员查阅并确定流道尺寸,模具工查阅试模用注塑参数的范围,注塑加工人员了解材料主要性能,并尽可能将这些性能变成制品的性能。例如,利用模具收缩率来设

计模具,便于正确选择注塑参数,并产生预期收缩量;熔融温度便于在一定安全系数下,保证聚合物具有良好的流动性能;比热容可以用来计算冷却模具所需的用水量等。

表 3-1 塑料加工数据表

项 目	数 值	项 目	数 值
※模具收缩率	0.006	相对密度	1.04
热膨胀系数/ ($m/m \cdot ^\circ C$)	6.11×10^{-5}	※热变形温度/ $^\circ C$	93~103
※吸水率/%	0.45~0.5 (24h, 22.8 $^\circ C$)	干燥条件/ $^\circ C$	2~4h, 76.7~87.8
※熔融温度/ $^\circ C$	246~274	模温/ $^\circ C$	37.8~93.3
(材料)背压/MPa	3.52~7.04	螺杆转速/(r/min)	75~120
比热容/(J/kg·K)	1256.04	注射压力/MPa	70.37~140.74
螺杆转矩	低	主流道/mm	$\phi 6.4 \sim 9.5$
排气槽高度	0.25mm 或喷砂打毛分型面	分流道/mm	$\phi 4.8 \sim 7.9$
浇口面/mm	0.76~1.02	浇 口	直径或高度 等同制件壁厚
		喷 嘴	通用型

注: 1. 标有※者随某些材料的品级而变化,该资料需同供货厂商核对。

2. 注塑制品问题及相应措施

- ① 浇口发白。可采取提高注射压力或降低注射保压压力、检查浇口面、加大喷嘴孔、减小成型周期、降低模温、检查排气槽、检查材料是否干燥、降低注射速度等措施;
- ② 皱纹。可采取加大喷嘴孔或降低机筒温度、提高模温、检查材料是否干燥、降低注射速度等措施;
- ③ 起鳞或色斑。可采取检查浇口面或加大喷嘴孔,或降低循环温度、提高模温,或检查材料是否干燥、是否被污染等措施。

3. 材料性能和用途

- ① ABS是一种冲击性能优异、韧性良好的材料,具有良好的尺寸稳定性,能承受 100 $^\circ C$ 以上的高温,耐化学性能和电气性能也很理想;
- ② ABS 适用于制作安全帽、汽车和冰箱零件、电气零件、提手等。

二、模具质量的影响

塑料制品最后是在模具里冷却固化成型的。因此,模具质量好坏及其温度控制效果,直接影响注塑制品的质量和使用特性。主要有以下几点:

- ① 喷嘴至模腔的塑料流道尺寸、表面粗糙、转弯半径和过渡是否圆滑,冷料井尺寸是否适合集存喷嘴冷料,以及浇口尺寸大小等,

都会影响模腔外的压降,并间接地影响密实制件的剩余压力大小;

② 模腔表面的粗糙度和硬度影响模具的使用寿命;

③ 控制模腔温度,使得整个模腔温度均匀一致,确保模腔内温差小、冷却水通道内以紊流为主;

④ 检查模座和模腔的刚度和强度、避免变形和出现支承零件嵌入模板的现象;

⑤ 注明注塑机锁模力和顶出力极限值,以保护模具和注塑机;

⑥ 其他,利用计算公式以便节省时间和校核强度条件。例如,单纯提高钢材的硬度与拉伸条件,并不能纠正变形过大的问题。但是,通过放大尺寸便能够减小变形。通过分析模具的散热理论,证明冷却液是一个主要的影响因素,同时,为冷却通道提供能产生紊流的冷却液流量也极其重要,因为与低速流动相比,紊流可提高吸热能力达到三倍。

三、成型设备的影响

根据注塑加工过程塑料原料的压力(p)、比体积(V)和温度(t)的变化曲线(有时也称为 $p-V-t$ 三因素图),要获得符合要求的注塑制品,对应于注塑加工过程的塑料状态必须保持恒定,并严格控制压力、温度、速度和时间等参数,确保塑化时提供定量、温度均匀的熔料,充模时有适合模腔特点的稳定流动,保压、冷却时有合适和恒定的状态条件。

实际成型过程中,影响制品质量的工艺过程参数往往由于各种因素的影响而发生变化,大多数变量与时间、温度、速度和压力参数有关。例如,非全自动操作中,因开模取制品和合模时间发生变化,必然引起熔体热量变化和模温变化等,影响制品生产质量稳定;再如,环境温度(气流等)突然变化,引起料筒与模温偏离设定值,因料筒与模具存在较大的热惯量,需要数分钟才能重新调整至所需的设定值,因而影响成型效率。原则上可以采取以下措施克服众多影响制品性能的不可预见因素:

① 注射过程中,严格控制模腔压力变化量(低于1%),每次注

射完成之后,料筒内螺杆前方的剩余料的数量应当保持一致。否则,模腔内的有效压力会发生变化。排气应适当,排气槽应保持畅通,以避免气体留在模腔内造成压力波动;

② 进入模腔的熔体温度应当保持一致。在塑化过程中,物料应当始终保持运动,直到快要注射时才停止。这样,物料的热量保持不变而达到平衡。必须保证每次注射物料的整个体积内熔体温度均匀一致。塑料向模具的传热必须使塑料各部分冷却速度均匀;

③ 在一个完整的注塑周期内,各部分的时间变化值应为零;

④ 清除模腔内异物,包括水分、气体和润滑剂等;

⑤ 维持模腔压力对控制注塑件质量至关重要。螺杆止逆环工作顺序不当是引起注射压力变动的最为常见的原因。止逆环出现漏料,将减少作用在模腔的压力,造成每次附加料量无法保持一致。

注射成型过程可以分为以下三个主要的阶段。

1. 预塑计量过程

要求塑化均匀、螺杆计量准确、消除熔料轴向温差、并提高计量精度。根据背压与加工塑料温度的关系和加工塑料在料筒内实际形成的轴向温差,利用位移传感器计量塑化螺杆位置,动态调节背压和螺杆转速,以补偿塑化时因螺杆有效长度缩短而引起的轴向温差。

2. 注射填充过程

要求熔料填充时间短、等温填充、压力传递性好、密度均匀以确保持制品内应力小。熔料填充时,流动状态由注射速度确定,因此,往往根据成型制品特点,采用多级注射速度程控方式,分别由时间或位移进行速度切换控制。

3. 保压过程

阻止熔料倒流,同时要求控制准确,避免制品出现缩孔、中空或残余应力等缺陷。注射转保压分别可以采用时间、位移或模腔压力进行切换控制,保压压力采用多级程序控制。

实际应用中,操作人员多数仍凭其实践经验和多次试模来克服塑料和模具对制品质量的影响。

第二节 被控制对象及要求

自 20 世纪 80 年代以来,注塑机的变化主要体现在采用微机控制系统和先进的液压装置及系统,尤其是前者,现已成为用户选购注塑机最为重要的依据。

利用计算机技术实施注射成型加工过程控制,通过在线检测和实施修正工艺过程参数,以获得高质量的注塑制品。控制系统一般由注塑机程序控制、过程控制等部分组成。由于采用了计算机控制技术,已能够加工对温度敏感的原料和形状复杂的制品,产品质量明显提高,降低了废品率,并普遍提高注塑机技术经济特性;同时,还因为其技术附加值高,使得注塑机性能得以大大改进,档次也得到提高。对用户而言,明显感觉到机器可操作性强、维护方便、节能。同时,强有力的通讯接口功能,除了提供外贮备份外,还可以与上下位机联机通讯,实现多级管理或生产过程群控,用于编制报表、记录工作状况、测定成型条件等。

注塑机集机-电-液于一体,完成驱动、控制等动作。成型过程以顺序控制为主,完成基本动作,要求控制系统具有足够的驱动能力,准确、可靠的逻辑控制功能,执行元件(液压阀)等动作可靠,响应速度快,并能够进行准确控制;过程参数控制是提高制品质量和成型效率、降低废品率的重要手段,关键在于预塑计量控制、注射填充过程控制两个过程,前者决定制品的重量精度,后者包括注射及保压两部分,分别对于成型工艺周期、制品表面质量缺陷、内应力、分子排列及尺寸精度和成型效率等产生作用。

第三节 微机及电液控制系统整体结构

一、微机控制装置整体优化设计

国内外众多注塑机主机生产厂及电脑控制厂商一直在努力研制、开发注塑机微机电液控制装置,例如,Battenfeld 公司、Engel 公司

等均推出了适合自身主机的控制装置, Nissel 公司、Mannesmann Demag 公司分别选用三菱、西门子的产品; 香港震雄机器厂有限公司采用日本富士公司制造的 CH2.5PC、CH3.0PC 注塑机控制器, 台湾地区弘讯、盟立公司分别在中国大陆众多注塑机厂家推广其 APC-3000、MJ-6000 型产品; 航天部 634 所、华南理工大学、上海交通大学、西北工业大学、西北轻工业学院、哈尔滨工业大学及浙江大学等科研院所、大专院校, 研制了各具特色的控制装置。相对而言, 国外产品系统构成合理, 技术具有一定的超前性, 比较成熟, 其特点为普遍采用 CRT 或 LCD 显示屏, 信息容量大, 同时, 具有更强的可操作性及可连接性; 广泛采用 16 位机(32 位机也有所见) 以满足压力、流量实时闭环控制要求, 引入了分散处理技术(多重处理), 并将尽可能多的处理工作分配给外围装置完成, 提高注塑机内的通讯能力, 并减轻主控部分负荷。例如, 飞利浦 P8 系列, 反应时间缩短到 0.2ms, 在 CRT 上显示的任何数据均可以实时地供注塑机系统使用, 基于 EUROMAP 15 和 17 通讯协议, 实现多台注塑机与主控电脑的通讯, 以实施 SPC。目前在国内推出的注塑机微机电液控制装置(带 CRT), 整体设计上不外乎以下两大类。

(1) 单机系统 采用单板结构和大板式设计方案, 将所有信息的采集、转换和处理融为一体, 由 A/D、D/A、数字 I/O, 以及比例放大器, 或外加比例放大器构成。这类控制器包括 Z80 或其增强型 64180, MC-68000 系列, MCS-51 和 MCS-96 系列, IBM-PC 通用计算机外加 A/D、D/A、I/O 等功能卡及比例放大器, 以及 STD-BUS 总线结构。

(2) 多机系统 采用多处理机结构和大板式设计方案, 进行功能分配, 并由 2~3 台同类型 CPU 完成相应功能。其中, 一台 CPU 进行协调和传输有关指令, 并经过并行口和串行口传输数据。

上述两大类控制装置体系结构各有其特点, 基本能够满足不同层次的需求, 直接由微机产生的脉宽调制(PWM)信号作为比例放大信号, 采用软件方式调节信号上升及下降的斜率、颤振频率、幅度、起始电流和最大电流值。但是, 在人机交互功能及可操作性方面存在

明显不足。因为,这些控制器几乎全都采用字符方式进行操作和显示,显示汉字的速度较慢,需要外加汉卡以加速其显示速度;采用堆栈式菜单操作方式,不能够充分利用 CRT 或 LCD 提供的信息量。表 3-2 分析比较了上述控制装置整机构成及性能。

表 3-2 注塑机微机控制装置整机构成及性能比较

类 别	性 能					
	可靠性	可维护性	抗干扰能力	可操作性	开放性 (可扩展性)	兼容性 (可移植性)
单板式	一般	差	较强	一般	差	差
PC 机	差	好	弱	较好	好	好
STD-BUS	好	好	强	一般	好	差
多处理机	一般	较好	较强	一般	差	差
STD-PC BUS						
PLC 单片机	好	好	强	好	好	好

类 别	性 能						
	编程	可读性	外形尺寸	安装	开发周期	工业化	性能价格比
单板式	不方便	差	不定	较方便	长	较好	高
PC 机	方便	好	不定	方便	短	差	较高
STD-BUS	不方便	差	等长	方便	长	较好	较高
多处理机			等高				
STD-PC BUS	不方便	差	不定	较方便	长	较好	高
PLC 单片机	方便	好	等长	方便	短	好	高

二、控制系统的硬件结构

某注塑机采用三通溢流调速阀比例调节压力和流量。图 3-2 为基于 STD BUS 技术的工控机硬件系统,采用模块化设计,具有良好的开放性。因此,可以根据被测对象及过程的要求,任意扩展该系统,而涉及到的问题仅仅是模块地址的变动。其中,工控机采用 80186CPU,具有 8MHz 主频、16 位数据线,直接寻址达 1MB 存储空间、1KI/O;开关量输入、输出信号全部采用光电隔离,以提高系统抗干扰能力,既可以避免对象干扰信号串入工控机系统,同时,又起电

平转换的作用,将开关信号(0~24V)转换成 TTL 信号(0~5V);温度控制由固态继电器作为执行元件,控制电阻加热圈导通与否,进行功率(弱-强)转换和光隔;模拟量、数字量转换分别采用 12 位 A/D 和 8 位 D/A,以满足测量精度要求。

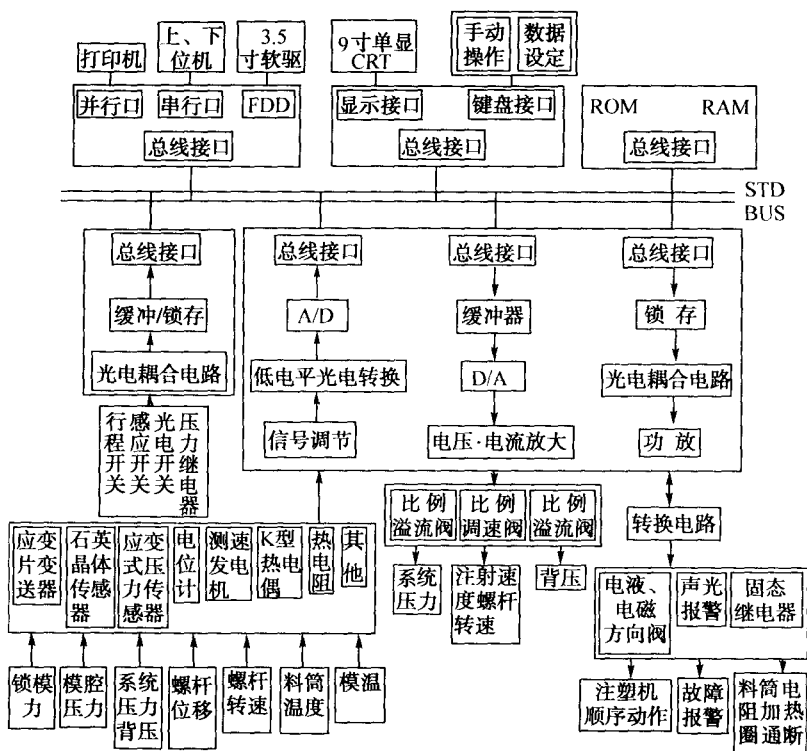


图 3-2 注塑机控制系统的硬件结构

三、控制系统的软件结构

由于受到硬件资源和应用环境的限制,对于控制系统的软件设计及性能相应提出了更高的要求,包括软件开发工具、系统软件的结构,以及软件的实时性、可靠性等。图 3-3 所示为控制系统的软件结构。其中,主程序采用树结构,通过将每一功能模块看作一个结点,针对每

—结点采用进程调用方式,整个系统的功能可以任意增加和减少。

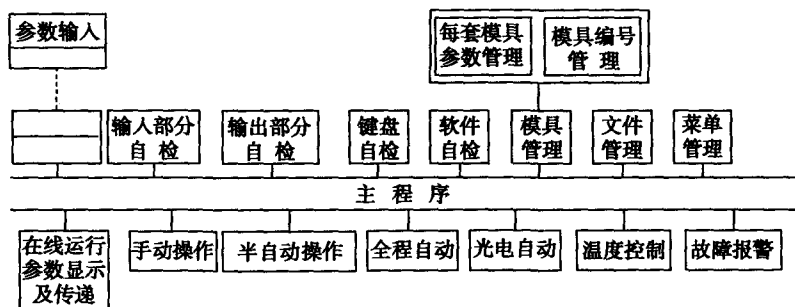


图 3-3 控制系统的软件结构

1. 软件开发工具

Turbo C 2.0 是一种适合 IBM PC 机的高效、优化的编译工具,支持六种存储模式,提供的开发环境完整,具有丰富的库函数和高质量的图形库,并能够很好地与汇编语言连接。由于其库函数是开放的,因此,用户可以任意增加函数入库,同时,利用 Turbo C 极强的内存管理、进程调用和直接操作接口的功能,确保开发的系统软件具有汇编语言编程的灵活性和高级语言编程的可读性特点。

2. 汉字显示方法

系统软件的汉化采用自建小汉字库方式,通过分别编写一段读取和显示汉字的程序,并在使用时根据需要直接从汉字库中读取所需汉字,建立一个汉字库供显示用。由于不需要进入 CCDOS 环境,因此,汉字显示系统软件具有占用内存小、显示速度较快等特点。

3. 多程序模块化编程

由于控制系统软件中引入了字符及图形,势必增大程序量,同时占用更多内存。采用多程序模块化结构设计方案,控制系统软件由一个管理程序和若干分程序组成。各分程序具有独立的功能,可以根据控制对象的要求,像搭积木一样灵活地拼集和组态。在编制分程序时,充分考虑到功能相似及通用性,采用仅改变入口参数便可以实现功能调用的方法,通过进程管理程序将所需功能模块调至内存进行操作。

4. 内存管理

由于过程控制中需要处理大量现场数据,势必占用更多的内存。采用重复使用内存数据区(即开辟动态存储区)的办法,来解决内存有限的矛盾。其中,内存数据区的大小可以随时根据被调用的程序来决定,确保能够减少数据区和内存占用量。

5. 人机界面

控制系统软件人机界面采用下拉和弹出菜单形式。要实现菜单下拉和弹出,一方面要求当前下拉和弹出的窗口覆盖上一级菜单的内容,同时,在退出当前菜单时,还需要恢复上一级菜单的内容。通常,按人机界面的执行顺序来编制相应的程序,普遍存在程序量大等不足。

采用下拉和弹出菜单设计多层式人机界面,图 3-4 为生成多层式人机界面程序

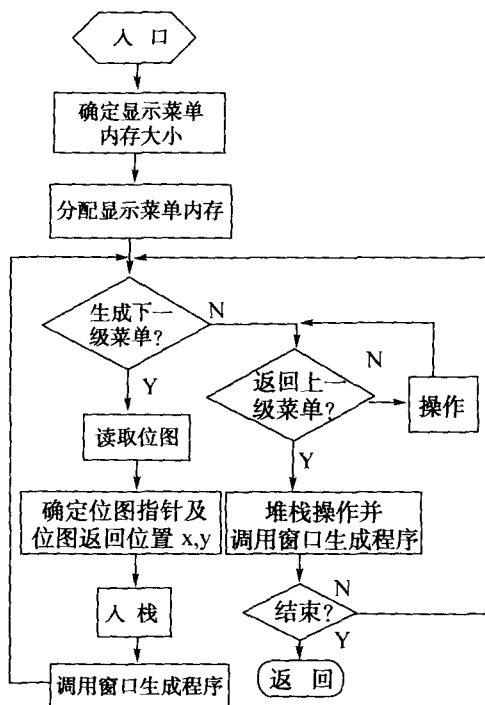


图 3-4 多层式人机界面程序流程

流程,包括一个键管理函数、窗口生成函数和堆栈。该程序精练,尤其在恢复上一级菜单时能够及时释放当前菜单位图所占内存,供系统重新使用,节省了内存空间。

6. 控制程序

利用主程序并根据菜单选择及手动操作键指令进行调度和监督,图 3-5 为半自动、全程自动和光电自动程序流程。

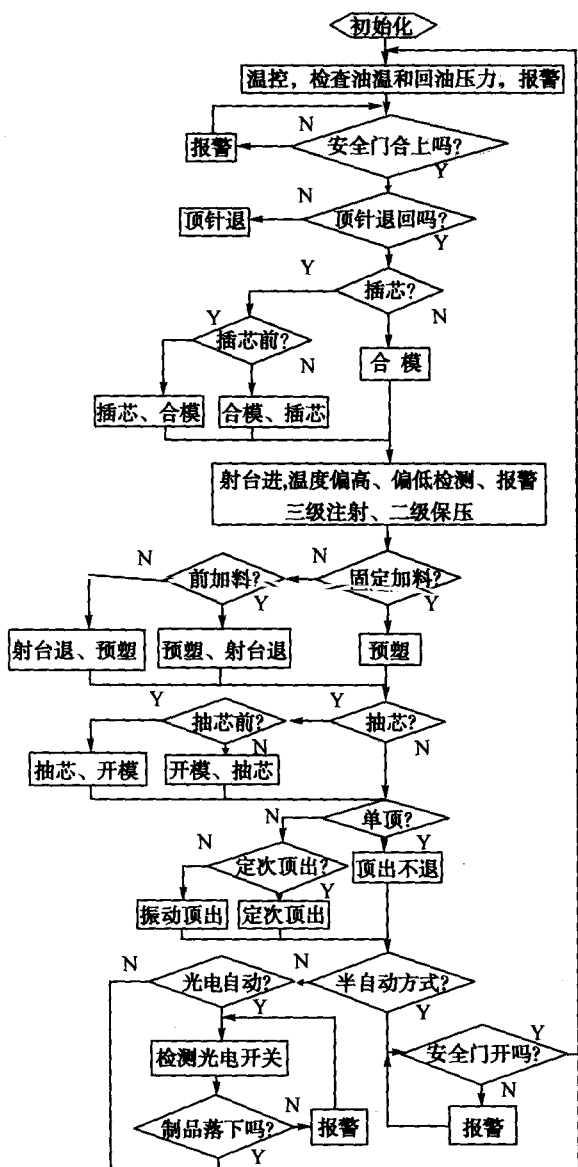


图 3-5 半自动、全程自动和光电自动程序流程

四、人机交互接口

注塑成型加工过程可视化已成为注塑加工工业界追求的目标。通过采用图形及动画方式,可以动态监视成型过程及其相应过程参数变化状况,便于改进、找出引起制品缺陷的根源,具有实用、直观、方便等特点。同时,良好的人机会话功能,也增强了注塑机的可操作性,便于查阅、修改成型加工数据。故障自诊断和报警措施极大地提高了注塑机的性能和可维护性,故障率也明显降低。控制系统提供的人机交互接口包括以下两部分:

① 图 3-6 所示防尘式键盘,分别用于手动操作、参数设定、功能选择等;

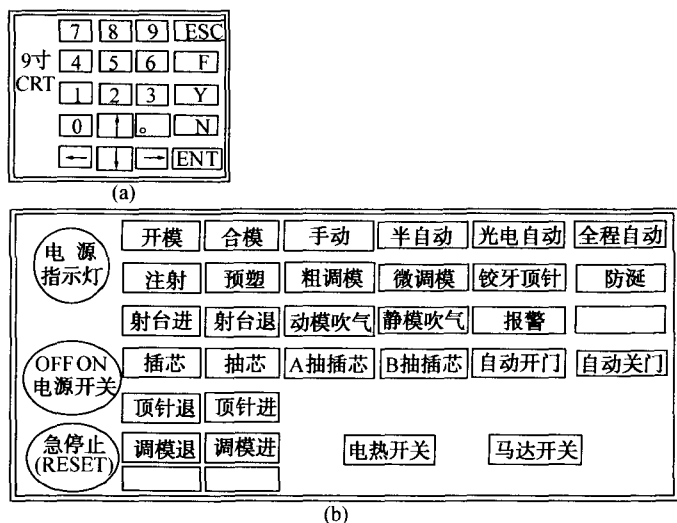


图 3-6 手动操作面板

(a) 参数设定、菜单选择键盘布置 (b) 手动操作及工作方式键盘

② 采用 CRT 显示数据、过程曲线和实现图形动画,具有参数设定及实时操作显示等多页画面。汉化下拉弹出窗口式菜单具有信息容量大、操作直观、方便等特点。

此外,通过并行打印接口和 RS-232C 串行通讯口,分别将 CRT

显示的信息、处理信息等输出到打印机,与上一级计算机通讯,便于实现多级管理和决策控制,或与作为 DDC 级的下位机联机,输出控制指令,接收、处理下位机采集到的现场数据等。

第四节 微机及电液控制系统抗干扰及可靠性技术

一、提高控制系统抗干扰能力措施

注塑机微机控制系统工作条件恶劣,需要长时间连续工作,平均每天工作 20~24h。工作现场周围强电设备多、功率大,频繁启动和停止引起电网供电不稳、波动大,出现数百伏,甚至几千伏尖峰干扰脉冲,并时常受到强电磁干扰。工作环境时常有潮湿、灰尘、油污和腐蚀性的空气,环境的温度湿度影响系统的可靠性。经过电源或信号(模拟量、数字量)通道,串入的干扰信号影响系统的控制性能。可见,注塑机微机控制系统可靠性及环境的适应性非常关键,必须采取一定的抗干扰措施,包括硬件和软件抗干扰技术。其中,硬件抗干扰措施涉及有效屏蔽和正确接地,包括强弱电信号走向、布线,抑制电磁场耦合干扰,采用隔离变压器抑制大功率设备引起的尖峰干扰,光隔技术,避免电源混用,采用掉电保护及看门狗(Watchdog)技术等;软件抗干扰措施包括以下数字滤波法,以及陷阱技术。

1. 算术平均值法

$$Y_{\text{avg}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(i) \quad (3-1)$$

式中: Y_{avg} ——测量值平均值

$Y(i)$ ——第 i 次测量值

n ——总的连续测量次数,根据现场实际情况确定,例如,料筒温度信号滤波值选 5

2. 加权算术平均值法

适合纯滞后较大的受控对象。

$$Y_{\text{avg}} = \sum_{i=0}^k a_i Y(n-i) \quad (3-2)$$

式中: a_i ——第 i 次测量值加权系数, 满足 $0 \leq a_i \leq 1$, 且

$$\sum_{i=0}^k a_i = 1 \quad (3-3)$$

3. 一阶低通数字滤波

$$Y_1 < Y_2 < Y_3, \text{ 则 } Y = Y_2。$$

4. 混合法

兼顾中值法及算术平均值法的优点, 通过去除一个最大值和一个最小值, 再取平均, 能够有效抑制低通串模干扰信号。

二、增强系统可靠性措施

微机电液控制系统的可靠性可以通过采用提高元器件、模板及设备的可靠性, 抗干扰措施和可靠性技术等方法予以保障。前两点属避错技术范畴, 后者作为补充, 以进一步提高控制系统的可靠性, 确保系统在规定时间内不发生故障和错误, 即使局部出现故障, 也能够维持系统正常工作。

1. 冗余技术

以增加成本为代价, 弥补避错技术的不足。通常可供采用的冗余结构分为并联系统、备用系统和表决系统三种。

(1) 并联系统 若干同样装置并联运行, 只要其中有一个装置正常, 系统就能够维持工作, 其可靠度为:

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3-4)$$

n 取 2 时, 即表示采用“2 保 1”技术措施, 可靠度为:

$$R_p = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \quad (3-5)$$

式中: R_i ——可靠度, $R_i = e^{-\lambda_i t}$

λ_i ——失效率

令 λ_i 均相等, 即 $\lambda_i = \lambda$, 则

$$R_p = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \quad (3-6)$$

平均无故障时间为:

$$M_p = \int_0^{\infty} R_p dt = \frac{3}{2\lambda} \quad (3-7)$$

可见,双机可靠性优于单机,平均无故障时间增加了 1.5 倍。

(2) 备用系统 由若干同样装置并行组成,只有一个单元在工作,其余处在等待状态,每一通道由一个工作单元和失效检测器组成,各通道由一个转换器连接。可靠度表示为:

$$R_b = e^{-\lambda t} \sum_{r=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^r}{r!} \quad (3-8)$$

n 取 2 时,可靠度表示为:

$$R_b = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad (3-9)$$

由式(3-6)、式(3-9),可见并联系统、备用系统可靠度均优于无冗余系统,且备用系统可靠度高于并联系统。

(3) 表决系统 确保一定数量的装置正常工作情况下,才作出正确判断,系统工作正常。

在实际系统中,更多采用备用系统(即双机热备份),并得以证实,关键在于单元间的切换控制方法及效果,确保在故障判断和输出切换时,不中断系统正常工作和信息输出连续性,以满足工业控制过程实时性要求。

2. 故障诊断技术

包括测试及诊断两部分,分为周期性检测及自动诊断等方法。常用测试方法包括状态表分析法、通路敏化法、D 算法和布尔差分法等。

结合注塑机微机控制装置整机构成特点,设计时兼顾软硬件故障诊断模块,包括软件自检(含字库)、数据文件、数据库、配置文件、0 号模具资料库等),及硬件自检两部分,后者又包括输入通道(含 A/D、数字 I)、输出通道(含 D/A、数字 O)和通讯口自检,分别用于测试操作键盘是否失灵、电磁阀通道故障,感应、行程开关故障,A/D、D/A 和通讯口的正常与否。充分利用控制系统冗余端口来完成诊断工作。

现代注塑机已成功地采用了计算机技术、电液比例控制技术,使

得注塑机性能、档次和成型制品的质量大大提高,为实现注塑机高速、高效、自动化和节能提供保障。

第五节 注塑机节能系统

注塑机的能量主要消耗在液压系统和加热单元两部分,分别占 80% 和 20%。液压系统的能量损失分为流量损失和压力损失两种,其中,注射工况耗电量最大,其次为合模工况,二者能耗所占比例为 9:11~4:1;充模时,动态压力损失主要包括油缸泄油阻力、喷嘴与浇口和模腔流动阻力三个部分,所占比例分别为 10%~40%、40%~70% 和 10%~15%;注塑成型时,静态压力损失主要是喷嘴、浇口和型腔三个部分,因此,设计具有低阻力结构的喷嘴、浇口和降低油缸泄油阻力,是降低机器能耗的一个主要措施;采用多级注射并基于模腔压力切换控制注射及保压压力,达到降低锁模力及其功耗的目的;降低注射压力和注射时间,能够降低能耗,避免制品出现应力过大缺陷。因此,合理设计注塑机的液压系统对于获得显著的节能效果无疑具有意义。

可供采用的液压系统设计方案是多种多样的。例如,采用定量泵系统,液压系统能耗很大。改进的措施之一是设计泵源,可供采用的设计方案包括单定量泵加蓄能器、双定量泵、多级定量泵和变量泵等;调速回路设计方案包括进口节流调速、旁路节流调速、定差溢流调速,并选择压力匹配回路、功率匹配回路和流量匹配回路。例如,某塑机厂在 SZ—68/40 小型注塑机上采用液压节能回路,利用一台远程调压变量泵,并根据远程调压阀设定的截流压力进行变量控制。与同类型注塑机相比较,可以节能 20%~25%。

表 3-3 分析比较了各种液压控制回路的效率,说明功率匹配回路的效率在任何工况下都是较高的。在液压系统中,采用负载敏感调速系统有助于减少能耗。通常,在变量泵出口的主油路上串联比例流量控制阀,保持该阀进出口压差 Δp 恒定,调节其开口大小来控制差压式流量调节阀(fC 阀)和压力控制阀(pC 阀),并通过 fC 阀调

节泵的排量以实现容积调速。虽然在溢流阀处没有能量损耗,但在fC阀两端的压差 Δp 为1~1.5MPa,带来较大的压力损失,占总功率的7%~10%。对此,采用二进制直接控制液压系统,能够十分方便地调节系统的流量,并免除压差 Δp 造成的功率损失。二进制直接液压系统由变量泵本体、换向阀、执行机构和变量控制装置组成。其中,变量控制器由多级油缸组成,油缸的行程按照二进制数加权,行程比为1:2:4:8,并由相应的微型电磁阀控制。当控制信号为1时,电磁铁通电,该级油缸活塞杆外伸,控制信号为0时,则电磁铁断电,油缸活塞杆内缩,据此控制微型电磁阀组,并按照16个等级来调节系统的流量。应用表明,采用该调节系统的注塑机,系统节约用电43%~51%,液压系统的油温明显降低,油质得以显著改善并减少了液压系统的泄漏,表明二进制直接控制液压系统在注塑机上的应用是可靠的。

表 3-3

液压控制回路效率比较

控制回路	特 点	功率损失
定量泵加溢流阀	定量泵提供最大流量,溢流阀工作在最高压力	压力、流量损失较大
定量泵加三通调速阀 (溢流节流阀)	节流阀阀口压降维持在一个较小值,进行压力匹配	压力、流量损失较小
定量泵加旁路调速阀	旁路节流回路的压力匹配效果好	流量损失小
恒压变量泵	供油量与负载油量匹配	压力损失较小
功率匹配回路	输出流量始终与负载流量相等,输出压力与负载压力之差 Δp 始终保持恒值	压力损失最小

第四章 注塑机料筒温度控制

目前,注塑机料筒广泛采用电阻加热方式,加热装置包括铸铝加热器、陶瓷加热器、云母加热器等,利用加热源与机械剪切联合作用对塑料进行稳态塑化。料筒温度采取分段控制的方式,获得符合工艺要求的温度分布,以及足够快的升温速度、温控精度,并满足节能要求。通常,在被加工塑料的剪切热较小时,近似认为熔体温度主要取决于料筒加热温度。近年来,出现了电磁动态塑化的新方法,在稳定工作过程基本上不需要外部加热,具有塑化效率高、能耗低等特点。

由于注塑机料筒温度及其控制效果直接影响注塑制品质量,例如,制品表面残余应力、收缩率,以及制品重量稳定性等,后者现已成为衡量精密注塑制品质量好坏的一个重要依据,因而引起工业界的重视。料筒温度控制装置的可靠与否及其温控精度的高低,已成为实现精密注塑成型的关键。由于加温系统存在大惯量,加上电源电压波动等环境因素的影响,往往难以获得理想的品质因素,需要采取相应措施。基于继电器型开关控制的注塑机料筒加温系统,料筒采用前中后三段加热方式,其超调量、过渡过程时间及稳态偏差等项性能指标是不理想的。

尽管无触点的可控硅是控制大功率部件的理想器件,也被用来控制料筒的加热,并通过改变导通角的大小来调节可控硅的输出功率。实际应用证实,这种方法仍存在三个明显的缺陷:

① 瞬间导通会对电网产生极大的污染,反过来又会对控制系统本身带来很强的干扰,尤其在大功率情况下,更为严重;

② 控制电路较复杂,尤其对触发脉冲电路要求高,以满足精确调功要求;

③ 输出电压与控制量导通角之间呈非线性关系,给控制系统的调整带来诸多不便,也会使控制系统的性能恶化。

因此,当今大都采用无触点过零型固态继电器作为大功率控制器件,并基于各种新型控制策略来控制加温过程,通过调节加热功率来控制温度。

第一节 料筒温度控制系统的组成

注塑机料筒温度控制系统是一个典型的多输入、多输出系统,一般由温度检测、信号输入、计算和信号处理、信号输出、驱动放大、执行元件及电阻式加热圈等部分组成。表4-1列举了常用温度传感器及其特点。注塑机目前大都采用热电偶检测温度,以及硅晶体管硬件电路或铂电阻测温来补偿热电偶冷端温度。热电偶测得的是0~30mV(相应温度大约为0℃~350℃)微弱电压信号,通常需要经过高倍放大处理后,再由A/D送入计算机。由于热电偶与加热圈紧靠在一起,加热圈通电加温时流过的220V、13A电流在热电偶及其引线上势必产生强大的感生电势,例如继电器型开关控制加温时,迭加在10mV直流信号上的交流感生电势经实测其幅值竟高达3V以上。可见,要求高倍放大部分应能够与滤波器配合,并具备克服交流感生电势干扰的能力。

表 4-1 各种温度传感器及其应用特点

传感器类型	检测原理及应用特点	缺 陷
红外线温度传感器	反应快,可获得光照角度内熔料的平均温度	非线性、价格昂贵
超声波温度传感器	利用超声脉冲通过一定距离所需的时间来反映熔料状态,具有与红外线温度传感器一样的优点	标定困难、价格昂贵
电阻式温度传感器	利用金属的温度特性并基于电桥原理测温,具有价格便宜、安装方便等特点	受外界干扰影响大、反应慢
热电偶温度传感器	利用两种不同金属材料的热电势效应测量温度,测温范围广、线性好、价格便宜、安装方便	外界干扰影响大、反应慢、需要进行冷端补偿

图4-1所示料筒温度测控系统以V40工控机为核心,完成数据采集、处理、显示及控制功能,构成四输入、四输出多变量温控系统。

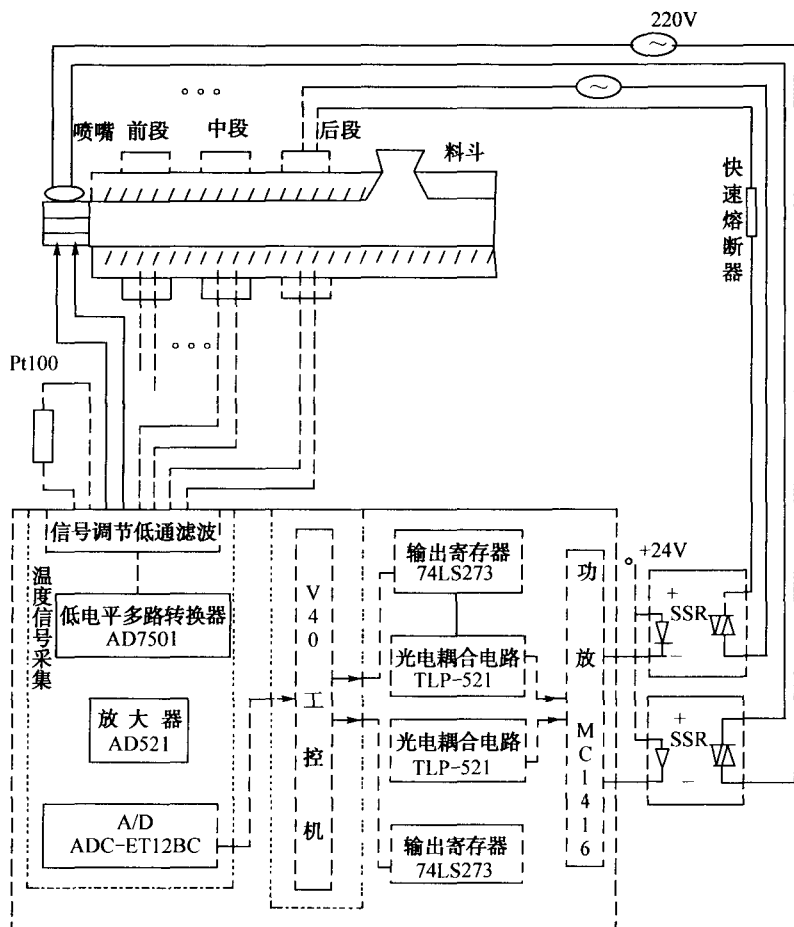


图 4-1 温控系统硬件结构图

其中,料筒温度由 K 型热电偶($0^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$)测量,铂电阻(Pt100)测量环境温度,再经软件作冷端补偿;经阻容(RC)低通滤波后的热电偶微弱信号(mV 级)由低电平多路转换器 AD7501(结合选址信号选择温度检测通道)选通后,再经仪表放大器 AD521 和 12 位高速 A/D 转换器 ADC-ET12BC 后,由 CPU 读入并计算。CPU 输出通断(开关量)信号经输出寄存器 74LS273 锁存、光电耦合电路 TLP-521 隔

离和达林顿功放阵列 MC1416 放大处理后,驱动固态继电器(SSR)直流端,再经光电耦合作用来控制双向可控硅,比例控制加热圈加热功率。采用 SSR 实现了强电(负载部分)与弱电(工控机部分)的光电隔离,系统抗干扰能力得以增强,工作也极为可靠,同时,也简化了控制及辅助装置。

第二节 料筒温度控制方法

一、加温系统建模

系统建模的目的在于全面认识、把握受控系统,并深入了解该系统的性能,以便能够设计一个合理的控制方案,并确定相应的控制参数;同时,加温系统时间常数大,由系统模型进行数值仿真,确定控制方案的效果和确定控制参数取值的大概范围,有助于节省大量的时间和人力。因此,建立一个合理、准确、适用的数学模型最为重要,响应分析以正确建模为前提。

通常,可以采用阶跃响应法建立料筒各加热段的数学模型,即通过对加热料筒各段施加控制信号(一定的加热功率百分比),观察料筒各段温度的阶跃响应,经辨识得到各加热段料筒温度数学模型(实验模型)。实测表明,料筒加温系统具有一阶响应特性(带时滞),且相邻加热段之间存在较强的耦合作用。经多变量解耦后,仅依据各控制通道之间的输入、输出值,就能够按照类似无耦合的单通道控制方式进行多变量控制。

二、温度控制策略

(一) 采用 SSR 输出的脉宽调制(PWM)控制原理

在一个采样周期 t_s 中,根据温度偏差离散值 $e(k)$ 计算得到 SSR 导通与截止的比率,再经 SSR 来控制加热线圈的加热功率,即对料筒加热段进行脉宽调制(PWM),达到调节料筒加温过程的目的。实际应用证明该原理具有以下特点:

- ① 过零型触发,确保 SSR 输出完整的正弦波形;

② 由于触发脉冲均匀分布,故对电网而言负荷是均匀的,从而可避免负载接通时对电网产生冲击或引起波动;

③ 输出功率与控制信号具有线性关系,因此,只要改变每个采样周期中 t_s 电源接通与切断的时间比,就能够达到调节输出功率的目的;

④ 控制及辅助装置简单,对控制信号要求不高,而且容易实现;

⑤ SSR 既有微弱控制信号的传递和转换作用,同时又起光电隔离器件作用,避免了强、弱信号之间的串扰,从而使控制装置工作可靠、抗干扰能力强。

(二) 多变量解耦控制算法

注塑机料筒加温系统属多变量(例如四输入、四输出)系统,各相邻加热段之间存在明显的耦合作用,使得仅依据单输入、单输出方法设计各加热段控制参数失效。针对多输入多输出(MIMO)系统,通常采用基于期望目标函数提出的最优控制理论或基于某种特定要求设计的综合理论,往往因算法复杂、计算时间长、占用内存多而不易实现,尤其在实时控制过程中更难以得到工程应用。采取何种简单有效而又易于工程实现的措施实现多变量间的解耦,将一个存在耦合作用的 MIMO 系统转化为数个无耦合作用的单输入单输出(SISO)系统来处理,现已成为现代工业控制实现多变量耦合控制的一个具有发展前景的课题。注塑机料筒温度控制就是一个典型实例。

由于相邻加热段之间存在较强的耦合作用,故首先必须实现变量间的解耦,然后再按照单变量来设计多变量系统,设计注塑机料筒温度控制器。

控制系统结构如图 4-2 所示。其中, r 、 y 分别表示为 m 维输入、输出向量, e 为 m 维误差向量, u 为 m 维控制器输出向量, $F(s)$ 为反馈补偿传递矩阵, $G(s)$ 为被控对象传递矩阵, $K(s)$ 为控制器传递矩阵, $K_F(s)$ 为前馈传递矩阵。通过设计 $K_F(s)$ 和 $F(s)$, 使得闭环传递函数矩阵成为完全的对角阵, 或对角优势阵, 便可达到各控制通道间解耦之目的; 再通过设计 $K(s)$ 以满足各通道动态性能要求。

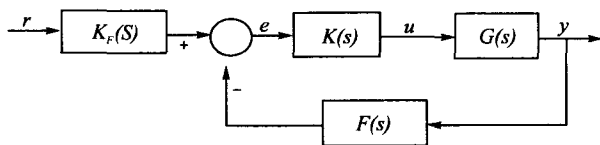


图 4-2 多变量闭环控制系统结构

料筒加温系统具有一阶响应特性,满足稳定条件要求。经离散后存在下列等式:

$$Y(z) = A^{-1}(z)B(z)U(z) \quad (4-1)$$

式中: $A(z)$ 、 $B(z)$ 为矩阵多项式, $A^{-1}(z)B(z)$ 为可逆矩阵,可分别表示为:

$$A(z) = I + A_1 Z^{-1} + \cdots + A_n Z^{-n}$$

$$B(z) = B_1 Z^{-1} + B_2 Z^{-2} + \cdots + B_n Z^{-n}$$

将式(4-1)描述为 DARMA 模型为:

$$A(z)Y(z) = B(z)U(z) \quad (4-2)$$

通过选择反馈阵 $F(z)$ 和前馈补偿阵 $K_F(z)$,使得闭环传递函数为对角阵。未考虑 $K(z)$ 阵作用时,控制器输出为:

$$U(z) = K_F(z)R(z) - F(z)Y(z) \quad (4-3)$$

式中: $F(z) = F_0 + F_1 Z^{-1} + \cdots$

$$K_F(z) = K_{F0} + K_{F1} Z^{-1} + \cdots$$

将式(4-3)代入式(4-2),得

$$Y(z) = K_c(z)R(z) \quad (4-4)$$

式中: $K_c(z) = [A(z) + B(z)F(z)]^{-1}B(z)K_F(z)$

只要 $K_c(z)$ 为稳定、对角(最起码为对角优势)且可实现矩阵,便能够满足解耦要求。将 $K_c(z)$ 分解为以下两个矩阵乘积,即

$$\text{令} \quad K_c(z) = K_a^{-1}(z)K_b(z) \quad (4-5)$$

式中: $K_a(z) = I + K_{a1}Z^{-1} + \cdots + K_{an}Z^{-n}$

$$K_b(z) = K_{b1}Z^{-1} + K_{b2}Z^{-2} + \cdots + K_{bn}Z^{-n}$$

其中, K_{ai} 、 K_{bi} ($i=1, 2, \cdots, n$) 为对角实常数矩阵, $K_a(z)$ 的极点与

闭环系统的极点对应,必须是稳定的。

由式(4-4)和式(4-5)知:

$$K_a(z) = A(z) + B(z)F(z) \quad (4-6)$$

$$K_b(z) = B(z)K_F(z) \quad (4-7)$$

直接求解式(4-6)和式(4-7),无法获得具有有限阶解的 $F(z)$ 和 $K_F(z)$ 。对此,需要设计一个稳定滤波器 $P(z)$,满足

$$P(z)U(z) = K_F(z)R(z) - F(z)Y(z) \quad (4-8)$$

式中: $P(z) = P_0 + P_1Z^{-1} + \dots$ ($P_0 \neq 0$)

$$\det(B(z)) = Z^{-m}(P_0 + P_1Z^{-1} + \dots) = P(z)Z^{-m}$$

将 $\det(B(z))$ 记作 Δ ,再求解式(4-6)和式(4-7),得

$$\begin{aligned} K_F(z) &= B^{-1}(z)K_b(z) \\ &= [\text{adj}B(z)]K_b(z)/\Delta \\ &= Z^m[\text{adj}B(z)]K_b(z)/P(z) \end{aligned} \quad (4-9)$$

$$\begin{aligned} F(z) &= B^{-1}(z)[K_a(z) - A(z)] \\ &= [\text{adj}B(z)](K_a(z) - A(z))/\Delta \\ &= Z^m[\text{adj}B(z)](K_a(z) - A(z))/P(z) \end{aligned} \quad (4-10)$$

由于受控系统稳定,并采用稳定滤波器 $P(z)$,故式(4-9)、式(4-10)的解具有稳定、阶数有限等特点,且变量间的耦合得以消除,使之易于实现。

至此,多变量系统的设计已可转化为数个单变量系统来设计,仅根据系统的输入、输出信号来构成控制变量,并基于非线性数字 PID 算法设计各通道。

(三) 非线性数字 PID 算法

1. 料筒温度数字控制系统原理

图 4-3 为注塑机料筒某一加热段的温度数字控制系统原理图。其中, t_s 为采样周期, T' 为该加热段温度设定值, $T(t)$ 为温度实测值,加热段温度设定值与实测值的偏差 $e(t)$ 是时间 t 的函数, $e(k)$ 为采样时刻 $k(k = t/t_s)$ 时的温度偏差离散值, $U(k)$ 为对应于 $e(k)$ 的控制量(一个采样周期 t_s 中 SSR 导通与截止的比率), $P(t)$ 为一

一个采样周期 t_s 中对应于 $U(k)$ 时施加在加热线圈上的加热功率。

2. 料筒温度非线性数字 PID 控制算法

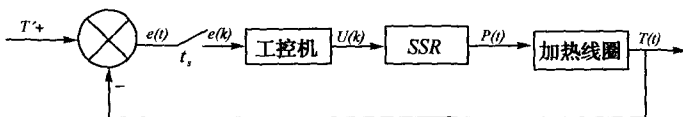


图 4-3 温度数字控制系统原理图

PID 算法及其改良型式具有运算速度快, 占用内存小、易于实现等特点, 从而适用于实时控制。位置型数字 PID 算法可表示为:

$$U(k) = K_p \left\{ e(k) + \sum_{i=0}^k e(i) \frac{t_s}{t_a} + t_b [e(k) - e(k-1)] / t_s \right\} \quad (4-11)$$

式中: $U(k)$ ——采样时刻 k 时的输出值

$e(i)$ ——采样时刻 i 时的温度偏差, $i=0 \sim k$

K_p ——比例增益

t_a ——积分时间常数, s

t_b ——微分时间常数, s

t_s ——采样周期, s

由此得到相应增量型算式为:

$$\begin{aligned} \Delta U(k) &= U(k) - U(k-1) \\ &= K_p [\Delta e(k) + t_s e(k) / t_a + t_b \Delta^2 e(k) / t_s] \end{aligned} \quad (4-12)$$

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1)$$

式中: $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$

$$\Delta^2(k) = \Delta e(k) - \Delta e(k-1)$$

式(4-12)只与 $k-2$ 、 $k-1$ 和 k 三个采样时刻的采样值有关。综合式(4-11)、式(4-12), 得到离散形式的 PID 控制算式为:

$$U(k) = U(k-1) + a_0 e(k) + a_1 e(k-1) + a_2 e(k-2) \quad (4-13)$$

式中: $a_0 = K_p (1 + \frac{t_s}{t_a} + \frac{t_b}{t_s})$

$$a_1 = -K_p (1 + 2 \frac{t_b}{t_s})$$

$$a_2 = K_p \cdot \frac{t_b}{t_s}$$

积分项对静态控制精度起决定作用。通常,增大积分时间常数 t_a ,可提高静态精度,但 t_a 作用太强,在进行启动控制或阶跃输入值变化幅度太大时会使超调量较大,甚至引起振荡。对此,分别设置了两个比例带宽 δ_1 、 δ_2 ,并采用以下控制策略来控制加热料筒的温度:

- ① 实测温度 $T(t)$ 在 δ_1 范围内,采用 PID 控制;
- ② 实测温度 $T(t)$ 在 δ_1 范围外、 δ_2 范围内,采用 PD 控制;
- ③ 实测温度 $T(t)$ 在 δ_2 范围外,且 $T(t) < T'$ 时,采用全功率加热,否则切断电源。

如图 4-4 所示为温度控制主程序模块流程,采用数字 PID 算法和 PWM 原理来控制料筒加热段 j 的温度,相应的控制模块流程如图 4-5 所示。图中 j 为温度控制通道(料筒加热段)编号, j 取 0、1、2 和 3,分别表示料筒喷嘴、前段、中段和后段加热线圈; R_j 为温度控制通道 j 在每个采样周期 t_s 中的触发脉冲数,亦即 SSR 导通次数; N_j 为温度控制通道 j 的 SSR 在每个采样周期 t_s 中的截止次数。

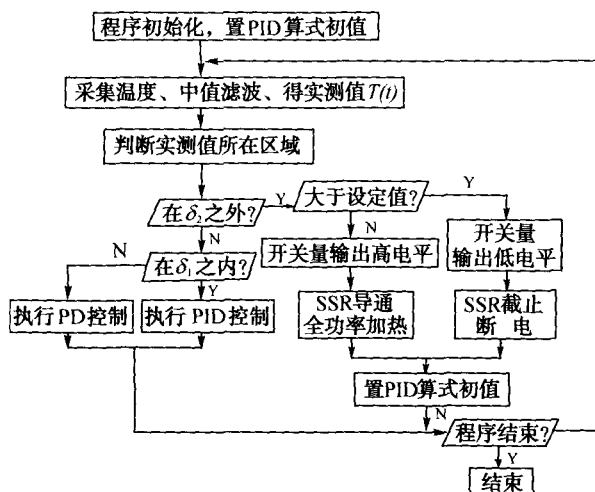


图 4-4 温控程序流程图

采样周期为 $t_s = 1s$, 触发(导通)周期为 $t_R = 20ms$, $U_j(k)$ 为温度

控制通道 j 在采样时刻 k 时的控制量, P_j' 为对应于温度控制通道 j 的料筒加热段的最大加热功率, T_j' 为该加热段的温度设定值, $T_j(t)$ 为该加热段的实测温度, δ 为非线性带宽。在非线性数字 PID 算法中, $U_j(k)$ 、 R_j 、 N_j 的选用规则如下。

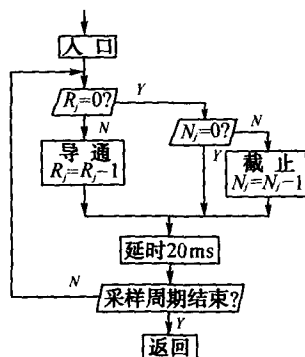


图 4-5 PWM 控制模块流程图

(1) 料筒加热段 j 的实测温度 $T_j(t)$ 在 δ_2 范围外, 且 $T_j(t) < T_j'$ 时, 采用全功率加热, 这时有:

$$U_j(k) = P_j'; R_j = 50$$

$$e_j(k) = e_j(k-1) = e_j(k-2) = 0, N_j = 0$$

(2) 实测温度 $T_j(t)$ 在 δ_1 范围内时, 采用 PID 控制加热功率, 分为以下三种情况:

① $U_j(k-1) \leq 0$ 时, 取 $U_j(k) = 0$; $T_j(t) < T_j'$ 或 $T_j(t) > T_j' + \delta$ 时, 取

$$e_j(k) = e_j(k-1) = e_j(k-2) = 0, R_j = 0, N_j = 50$$

② $U_j(k) \geq P_j'$ 时, 取 $U_j(k) = P_j', R_j = 50, N_j = 0$

③ $0 < U_j(k-1) < P_j'$ 时, 取 $U_j(k) = U_j(k-1) + a_0 e_j(k) + a_1 e_j(k-1) + a_2 e_j(k-2)$, $R_j = 50 U_j(k)/P_j', N_j = 50 - R_j$

(3) 实测温度 $T_j(t)$ 在 δ_1 范围外、 δ_2 范围内时, 采用 PD 控制加热功率, 分为以下三种情况:

① $U_j(k-1) \leq 0$ 时, 取 $U_j(k) = 0$; $T_j(t) > T_j'$ 时, 取 $e_j(k) =$

$$e_j(k-1)=e_j(k-2)=0, R_j=0, N_j=50$$

$$\textcircled{2} U_j(k) \geq P_j' \text{ 时, 取 } U_j(k) = P_j', R_j=50, N_j=0$$

$$\textcircled{3} 0 < U_j(k-1) < P_j' \text{ 时, 取 } U_j(k) = U_j(k-1) + \left(a_0 - K_p \frac{t_s}{t_a}\right) e_j(k) + a_1 e_j(k-1) + a_2 e_j(k-2), R_j=50, U_j(k) / P_j', N_j=50 - R_j$$

在预塑和注射热态工况下, 颗粒状塑料由料斗进入料筒或熔融塑料射出料筒时势必引起各加热段温度波动, 为此要求温控系统能够在 1~2min 内减小温差。如对数字式 PID 算法的比例项 $e_j(k) - e_j(k-1)$ 和积分项 $\left(\frac{t_s}{t_a}\right) e_j(k)$ 的符号进行程控变换, 能够加快温度调节速度。符号变换规则如下:

① $T_j(t)$ 偏离(正向、反向) T_j' 时, 取同号, 有助于加快调节速度;

② $T_j(t)$ 接近(正向、反向) T_j' 时, 取异号, 相互制约, 有助于削弱积分作用, 并避免了因此而引起的超调和振荡现象发生。但此举同时也带来响应时间延长、温差调节速度减慢等不足, 不利于维持注塑制品质量稳定。

通过设置非线性带宽 δ (取值范围为 $0.5^\circ\text{C} \sim 2^\circ\text{C}$), 并采用以下调整规则, 就能够满足温度调节过程的动、静态性能要求, 即

在 $e_j(k) \leq \delta$ 时, 采用正常调节规律;

在 $e_j(k) > \delta$ 时, 首先将比例项和积分项系数取同号, 然后再按正常规律调节, 通过增强控制作用以加快调节速度。

① 图 4-6 为料筒中段温度响应曲线。图 4-6 中曲线 3 与 2 比较, 由于增加了比例带宽 (δ_1 由 20°C 变为 30°C) 和增大了微分作用 (t_b 由 3.96s 变为 4.18s), 从而降低了超调量, 振荡得以抑制; 同时, 增大积分作用强度 (t_a 由 256.6s 变为 252.6s)、减小非线性带宽 (δ 由 2°C 变为 1.5°C), 静态误差由 2°C 减小到 0.5°C ;

② 调节比例带宽 δ_1 可改善加温系统响应过程、降低超调量, 但当 δ_1 增大到一定值后, 由于出现积分饱和现象会导致比例带宽的作

用失效(见图 4-7 所示)。图中曲线 2、3 和 4 的比例带宽 δ_1 分别为 30℃、36℃ 和 46℃,以曲线 3 最为理想。由此可见,合理选择比例带宽 δ_1 是非常重要的;

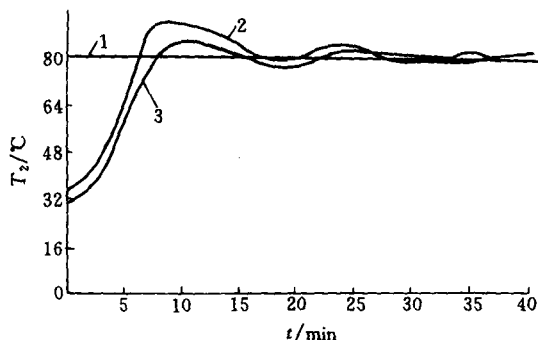


图 4-6 料筒中段温度响应曲线

1—设定值 2— $\delta_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_s = 3.96\text{s}$

3— $\delta_1 = 30^\circ\text{C}$, $t_b = 4.18\text{s}$

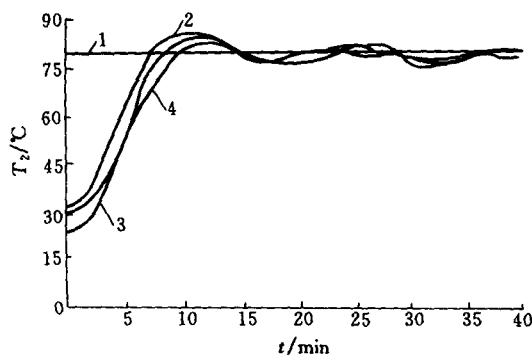


图 4-7 比例带宽对加温系统响应过程的影响

1—设定值 2— $\delta_1 = 30^\circ\text{C}$ 3— $\delta_1 = 36^\circ\text{C}$ 4— $\delta_1 = 46^\circ\text{C}$

③ 增大比例增益 K_p 可明显改善加温系统动态响应,减小稳态误差。但 K_p 作用过强势必引起超调和随之而来的振荡现象,使系统失稳。图 4-8 中曲线 2、3 的比例增益 K_p 分别为 203.6 和 202.6,采用正常调节方式;曲线 4 采用变增益调节方式,比例增益由 202.6 变为 102.6。可见,采用变增益策略后,一方面可以补偿加温

系统的非线性,同时也能够满足加温过程动、静态性能的综合要求;

④ 由于增强了微分作用,图 4-9 中曲线 3 较曲线 2 (t_b 分别为 5.16s 和 4.18s)提前进入稳态,输出无振荡;

⑤ 图 4-10 为参数经优化后四个加热段在冷态工况下的加温过程响应曲线,各加热段的 PID 控制参数及加温系统动、静态性能指标分别列于表 4-2 和表 4-3;

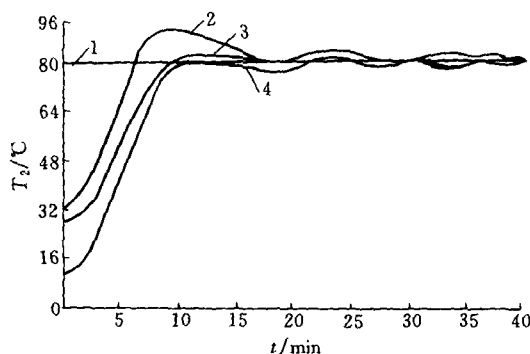


图 4-8 变增益策略对加温系统响应过程的影响

1—设定值 2— $K_p = 203.6$ 3— $K_p = 202.6$

4— $K_p = 202.6, K_p' = 102.6$

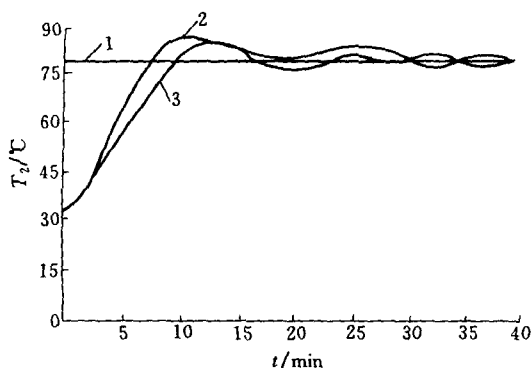


图 4-9 微分作用及其控制效果

1—设定值 2— $t_b = 4.18s$ 3— $t_b = 5.16s$

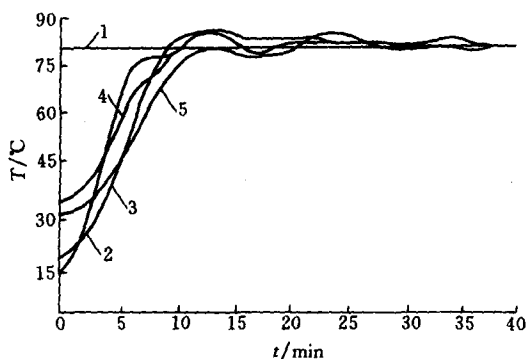


图 4-10 四个料筒加热段加温过程响应曲线
1—设定值 2—喷嘴 3—前段 4—中段 5—后段

表 4-2 四个加热段 PID 控制参数

料 筒	控 制 参 数						
	采样周期 T_s/s	积分常数 T_i/s	微分常数 T_d/s	比例系数 K_p	比例带宽 $\Delta/^\circ\text{C}$	变增益 K_p'	非线性 带宽/ $^\circ\text{C}$
喷 嘴	2.0	146.6	0.70	20.6	20.0	10.6	2.0
前 段	2.0	246.6	3.18	194.6	20.0	92.6	1.5
中 段	2.0	254.6	5.16	177.6	46.0	49.6	1.5
后 段	2.0	236.6	2.86	204.6	20.0	165.6	2.0

表 4-3 加温系统控制性能指标

料 筒	性 能 指 标					
	t_d/s	t_r/s	$M_p/\%$	t_p/s	t_{95}/s	最大稳态误差/ $^\circ\text{C}$
喷 嘴	210.0	258.0	0.00	660.0	504.0	± 0.5
前 段	318.0	360.0	5.00	570.0	527.4	± 0.5
中 段	291.6	401.4	5.00	585.0	549.0	± 0.5
后 段	400.2	454.0	1.25	1440.0	702.0	± 0.5

⑥ 在预塑和注射热态工况下,采用变符号策略后,显著地加快了温度调整速度,并且还能够满足调整时间少于 1min 的要求。表 4-4 分别给出了中段温度的变化值。由表 4-4 中数字可看出,经过改进后料筒温度波动值小,而且温度的调整时间短。

表 4-4 热态工况中段温度波动及调整变化值

单位: $^{\circ}\text{C}$

t/s	预 塑		注 射	
	改进前	改进后	改进前	改进后
0	185	185	185	185
15	184.2	184.2	184.5	184.5
30	183.8	183.9	184.3	184.4
45	183.8	184.1	184	184.3
60	184.1	184.7	184.2	184.8
75	184.2	184.9	184.3	185
90	184.6	185	184.5	185
105	184.7	185	185	185
120	185	185	185	185

注: 设定值 185°C

在热态工况下, 各加热段之间的稳态解耦效果明显。表 4-5 和表 4-6 分别列举了在预塑和注射工况下, 四个加热段温度波动及其动态调节过程值。其中, 动态误差优于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 且调整速度快, 调整时间缩短到 1min。

表 4-5 预塑工况下四个加热段温度波动及其动态调节值

单位: $^{\circ}\text{C}$

t/s	射 嘴		前 段		中 段		后 段	
	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后
0	200	200	190	190	185	185	180	180
15	199	200	189.5	189.6	184	185	179.5	179.5
30	198.7	199.3	189.3	189.5	184	185	179.1	179.4
45	198.7	199.2	189	190	184	185	179	179.7
60	198.8	199.8	189	190	184	185	179	180
75	199	200	189	190	184.5	185	179.2	180
90	119	200	189.3	190	184.6	185	179.4	180
105	200.2	200	189.5	190	184.7	185	179.5	180
120	200.3	200	189.8	190	185	185	179.7	180

注: 设定值分别为 200°C 、 190°C 、 185°C 、 180°C

表 4-6 注射工况下四个加热段温度波动及其动态调节值

单位: $^{\circ}\text{C}$

t/s	射 嘴		前 段		中 段		后 段	
	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后
0	200	200	190	190	185	185	180	180
15	199.6	199.9	189	190	184.7	184.8	179	179.6

续表

t/s	射 嘴		前 段		中 段		后 段	
	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后	改进前	改进后
30	199.5	199.5	189.5	190	184.4	184.6	179	179.5
45	199.2	199.4	189.5	190	184.8	184.9	179	179.7
60	199	199.6	189.6	190	184.9	185	179.2	180
75	198.7	199.9	189.7	190	185	185	179.4	180.1
90	198.8	200	189.8	190	185.2	185	179.5	180
105	199.2	200	190	190	185.2	185	179.8	180
120	199.6	200	190	190	185	185	179.8	180

注：设定值分别为 200℃、190℃、185℃、180℃

⑦ 图 4-11 为连续加工制品时,料筒中段的温度波动曲线。可见,该加热段动态温差小于 $\pm 1^\circ\text{C}$,完全能够满足精密注塑的要求。

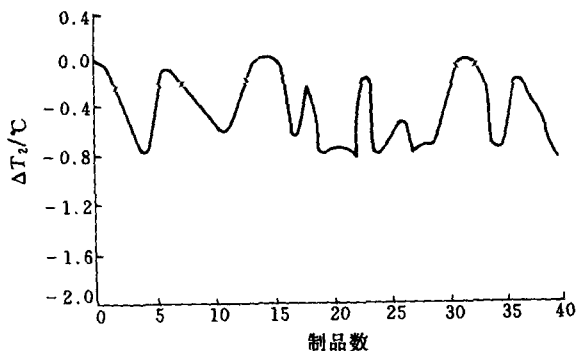


图 4-11 料筒中段温度波动曲线
(设定值为 185℃)

(四) 模糊控制算法

1973 年,扎德首次对模糊逻辑控制器进行定义,给出了相应的定理,从此为模糊控制奠定了基础。1974 年,英国学者马丹尼(E·H·Mamdani)利用模糊控制语句设计模糊控制器,并成功地用于控制锅炉和蒸汽机,模糊控制论因此而诞生。在设计控制系统时,相对于经典控制理论和现代控制理论,采用模糊控制技术,不需要准确建立被控对象的数学模型,实现起来也较为容易,并能够有效地解决工业控

制中普遍存在的非线性、强耦合和纯滞后等问题。因此,随着模糊数学和模糊控制理论不断发展及日臻完善,模糊控制技术也越来越显示出它强大的生命力。可编程控制器 PLC 具有通用性好、可靠性高、编程灵活、扩充方便、且特别适用于工业环境等优点,完全能够取代传统的继电器逻辑控制,并一直在不断发展与完善,最终实现智能化与网络化。

1. 模糊控制器设计原理

模糊控制器基于模糊集合理论,模拟人类方式表达知识和进行知识推理。如图 4-12 所示,典型的模糊控制器包括确定控制变量、模糊化处理、制定模糊控制规则、进行模糊推理和非模糊化处理等五个主要部分。其中,选择模糊控制器的输入变量为误差和误差的变化,输出变量为控制量的变化。图 4-13 所示二维模糊控制器,创建了负大、负中、负小、零、正小、正中和正大七个词汇,分别表示为 NB、NM、NS、O、PS、PM 和 PB,这些词汇均具模糊特性,可以用模糊集合表示。

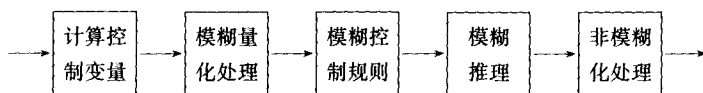


图 4-12 典型的模糊控制器

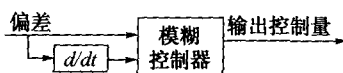


图 4-13 二维模糊控制器

通过定义一个模糊子集来确定各模糊子集隶属函数曲线的形状。图 4-14 为三角形或梯形隶属度函数曲线。在实际应用中,还常常用狄拉克函数作为控制输出部分的隶属度函数。

针对一类消除误差的二维模糊控制器,其模糊控制规则列于表 4-7,控制量变化的选取原则为:当误差大或较大时,尽快消除误差;而当误差较小时,侧重防止超调,满足系统的稳定性要求。

模糊控制器依据语言规则进行模糊推理,广泛采用 MAX-MIN 推理方法,制定以下规则:

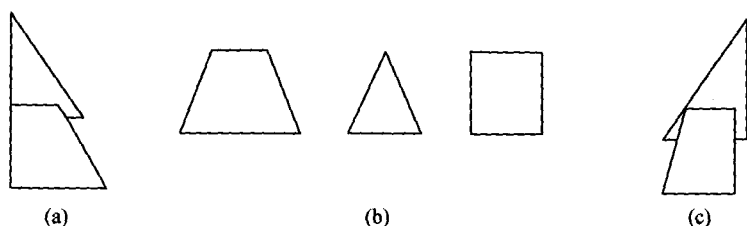


图 4-14 典型线性隶属度函数
(a) 偏左型 (b) 中间型 (c) 偏右型

表 4-7 一类消除误差的模糊控制规则表

$\begin{matrix} ec \\ e \end{matrix}$	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NM	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NS	PM	PM	PM	PM	O	NS	NS
O	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PS	PS	PS	O	NM	NM	NM	NM
PM	O	O	NM	NB	NB	NB	NB
PB	O	O	NM	NB	NB	NB	NB

规则 1: IF $X = A_1$ AND $Y = B_1$ THEN $Z = C_1$

规则 2: IF $X = A_2$ AND $Y = B_2$ THEN $Z = C_2$

经过模糊化处理后,能够将输入数值量化并根据输入变量模糊字集的隶属度函数,找出相应的隶属度,利用式(4-14)可以将此值转换成区间 $[-6, 6]$ 上的变量 Y 。

$$Y = 12 \cdot \frac{x - (a + b)/2}{b - a} \quad (4-14)$$

经过非模糊化处理后,将模糊量输出形式转化为精确量输出,通常采用最大隶属度法、重心法和高度法等三种方法,当函数幅宽缩小成线性时,重心法与高度法的结论是一致的。实际应用表明,重心法比较理想,但计算量较大。

2. 多变量模糊控制器设计

来自外界以及系统内部的各种耦合等干扰,使得系统难以获得理论计算或仿真所得到理想的精度,一般的模糊控制理论难以获得

理想的效果,难以满足较高的控制精度要求。注塑机料筒温度控制系统,各个加热圈的耦合干扰很大,加工对象(塑料)的变化、料筒导热系数的差异等,均能改变加热圈之间的耦合程度。环境温度的变化(最大可达 30°C),对温度控制精度的影响十分明显,因环境温度变化引起的系统温度误差在 1°C 以上。外界导热介质、现场空气流通状况等,也会影响系统的动、静态精度。

模糊控制主要基于规则,同其他控制方法相比,不依赖于精确的数学模型。因此,模糊控制具有较强的鲁棒性,对于一般的随机干扰,都能以较快的速度恢复正常。其中,内部干扰主要是多变量耦合,具有相对确定性;外部干扰由外界相关环境变化引起,复杂多变,存在非线性。

3. 模糊解耦控制

模糊解耦控制分为模糊规则解耦控制和模糊控制器解耦控制两种。其中,模糊规则解耦控制适用于系统输入、输出变量不多、简单,且模糊规则制定者对控制对象非常熟悉的场合。通过修改模糊规则或变量的隶属度来修正变量,因此,不增加系统输入、输出变量和规则的数目。但当系统变量较多、系统较复杂时,规则的建立和隶属度的确定就变得十分困难。如图 4-15 所示,模糊解耦控制器通过模糊解耦因子 β_i 修正变量之间的耦合。假定单变量的输出控制量为 U ,则多变量耦合控制输出量为:

$$U = \beta_i \cdot U_i \quad (4-15)$$

式中: β_i ——解耦因子

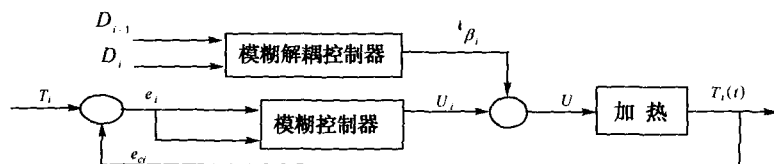


图 4-15 模糊控制器解耦控制原理框图

设第 i 个变量设定值为 T_i , 在时刻 t 的实测值为 $T_i(t)$, 则

$$D_i = (T_{i+1} - T_i) - [T_{i+1}(t) - T_i(t)] \quad (4-16)$$

$$D_{i-1} = (T_i - T_{i-1}) - [T_i(t) - T_{i-1}(t)] \quad (4-17)$$

根据模糊规则,确定解耦因子 β_i :

$$\beta_i = F(D_i, D_{i-1}) \quad (4-18)$$

此方法适用于系统输入、输出变量多、复杂、模糊规则制定者对控制对象并不熟悉的情况。同时,系统规则的建立和隶属度的确定十分容易,再加上解耦因子 β_i 是通过模糊算法获得的。因此,系统的鲁棒性更强。但输入、输出变量和规则的数目增加,使得控制系统变得复杂。

由于外界干扰复杂,必须对具体系统进行具体分析,因此,必须按照系统的实际需求确定干扰变量。例如,注塑机现场工作环境比较恶劣,受环境干扰较强,特别是料筒温度受外界干扰尤为突出,环境温度、外界传热介质、现场空气流动状况等因素的变化都会影响料筒温度,上加温系统表现出非线性特征。通过引入自适应系数 α_i ,利用 α_i 的变化使输出控制量 U_i 能够适应环境变化。根据模糊规则确定自适应系统 α_i :

$$\alpha_i = F(A, B, C, \dots) \quad (4-19)$$

假设理论输出控制量为 U_i ,则实际输出控制量 U_{ii} 为:

$$U_{ii} = \alpha_i \cdot U_i \quad (4-20)$$

第五章 注塑机塑化螺杆预塑计量控制

第一节 概 述

熔料均匀塑化程度主要用温度来度量,并通过背压和螺杆转速多级程序化设计来实现。通常,对于塑料制品的质量要求并非局限于制品的重量值,还包括设计图纸上标注的尺寸(几何尺寸)和光泽等外观要求,但是在实际应用中,由于塑料制品的尺寸随时间而变化,测量起来也十分麻烦,因此,在很多场合还是以重量作为评价制品质量稳定性的依据。

预塑熔料计量控制策略及其效果,在注射成型加工中对于稳定工艺条件、获得精密优质制品起着十分重要的作用。一方面,直接影响熔料在模腔中的充填过程,决定保压缓冲量(保留在塑化料筒内,起着安全装置的作用,以补偿塑化过程产生的波动或止逆阀开始运转时对充填过程的影响)和制品压实补缩的程度;另一方面,通过提高计量精度避免熔料不足,或余料过多因重复加热发生分子降解而烧焦,影响注塑件质量。由于螺杆式注塑机其预塑计量主要取决于螺杆预塑行程(即熔料体积),如何对螺杆进行精确定位、降低螺杆计量结束时的转动惯量,严格控制影响熔料密度的工艺条件(例如背压、熔料温度等),以提高计量精度,来获得致密、均匀的制品,近年来一直成为塑料注射成型加工行业追求的目标,尤其是精密注塑成型,对于控制制品重量精度的要求更高。经过多年悉心研究,提出了基于熔料 pVT 特性的适应控制等方法来提高塑化计量精度,对于稳定制品重量获得了不同程度的控制效果。表 5-1 列举了可供选用的确定塑化过程螺杆行程的位移传感器。

表 5-1 常用位移传感器及其特点

类 型	原 理	检测特点	灵敏度	分辨率	测量范围
电阻式	$\Delta R \rightarrow U$	接触式	高	0.05mm	大
威德曼效应	$\Delta X \rightarrow U$	接触式	较高	5 μm	大
电容式	$\Delta L \rightarrow U$	非接触式	高	0.01 μm	小
电感式	$\Delta L \rightarrow U$	非接触式	高	0.1 μm	较大
电涡流	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	高	0.05 μm	小
感应同步器	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	高	0.1 μm	大
磁栅	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	高	1 μm	大
霍尔元件	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	较高	1 μm	小
磁敏元件	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	高	0.1 μm	小
光电编码盘	$\Delta X \rightarrow t$	非接触式	高	1 μm	大
超声波	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	较高	5 μm	大
计量光栅	$\Delta X \rightarrow U$	非接触式	高	0.01 μm	大

类 型	响应特性	线性度	信 号 处 理	输出量特点
电阻式	较好	较好	直流放大器	模拟量
威德曼效应	好	好	信号发射、接收及处理	模拟量
电容式	好	较好	PWM+直流放大器	模拟量
电感式	一般	好	调制、解调、放大器	模拟量
电涡流	较好	较好	电桥、调频、调幅	模拟量
感应同步器	一般	好	鉴幅式或 PWM 放大	数字量
磁栅	一般	好	鉴幅、鉴相	数字量
霍尔元件	一般	较好	直流放大器	模拟量
磁敏元件	好	较好	直流放大器	模拟量
光电编码盘	好	好	信号处理、脉冲计数	数字量
超声波	较好	较好	信号发射、接收、处理	数字量
计量光栅	一般	好	放大、辨向、细分电路	数字量

第二节 塑化单元及驱动机构

一、塑化单元

塑化单元用来均匀地熔化充模所需的塑料,要求塑化时间短、熔化温度在允许的范围内应尽可能低,以获得较短的冷却时间,满足制品质量需求,包括取向、应力、翘曲、分子降解以及部分结晶材料的结构等。塑化过程的基本作用包括输送、熔化和均化。塑料熔体在螺

杆各段通过或输送的速率与塑化容量有关。通过建立在加料段固体物料的输送,以及在计量段熔体流动过程的数学-物理模型,表明固体段的长度受到料筒温度控制方式的影响很大。当加料段的温度较低时,由于固体段较长,塑化速率以及螺杆转矩将增加,势必引起压力增高;到达压缩段时,加料段输送速率越高、固体段越长,较长的加料段可以获得较高的塑化速率。

塑化单元包括柱塞式单元、带有定容加料器的柱塞式单元(包括计量柱塞和注射柱塞)、带有鱼雷头(弹子型)的柱塞式单元、带有预塑化螺杆的柱塞式单元(能够用来产生很小的结构泡沫制品、热固性和橡胶制品)、旋转圆盘式、最大压力塑化单元、冲击烧结单元、叠板圆盘和往复螺杆式单元。其中,高压塑化单元主要用来处理用正常螺杆不能塑化的很高相对分子质量的塑料,往复螺杆式单元能够经济地输送、熔化、均化和注射所有的热塑性塑料,所需清理和滞留的时间短。通过改变螺杆行程能够调节注射体积;利用螺杆速度、背压和螺杆几何尺寸能够改变塑化速率。采用液压方式驱动螺杆实现无级或精密地分级来调整螺杆速度,控制螺杆的恒定转速。塑化过程的加工参数包括注射体积、塑化速率、螺杆转矩、熔料温度、熔料均匀性和重复性等,采用的特殊控制方法包括:

① 塑化作用的推迟启动。使得塑化阶段能够在冷却时间之间按照需要移动,以减少塑化新料的停留时间,达到避免塑料过热而烧焦、降低废品率的目的。这种控制作用适用于加工热敏性原料(例如未增塑聚氯乙烯)和热固性塑料。以及采用排气系统的场合等;

② 旋转螺杆注射。在注射阶段,经过短暂的连续塑化产生额外的熔体,确保在临界情况下有足够的熔料供一次注射用。针对未增塑聚氯乙烯和厚壁制品,加工的注塑制品的重量达到机器最大注射量的两倍;

③ 背压卸荷、螺杆退回。背压卸荷使得液压背压迅速降低至零,螺杆回退降低了螺杆前端熔体的压力;

④ 背压程序设计。保持螺杆前面熔料的轴向温差尽可能小,确保能够根据行程进行程序设计。通常可以分为4~10段;

⑤ 螺杆速度程序控制。采用 2~10 级速度程序控制,确保能够在计量完成之前通过降低螺杆速度,达到精确调节计量终点的目的;

⑥ 熔体温度控制。补偿因塑化波动造成的短时间内的熔体温度变化。

二、塑化驱动机构

表 5-2 分析比较了液压与电机驱动塑化螺杆的特点及效果,具有以下特点:

① 提高生产率。液压驱动易于实现无级调速,适应注塑工艺的要求,便于实现熔料温度控制及计量控制;

② 节省能源。塑化在制品冷却前完成,为预塑液压马达利用主泵电机动力创造了条件;

③ 降低噪声。降低预塑机构的噪声达到了 5~10dB,大大改善了工作环境;

④ 提高可靠性。过载保护、省掉了变速箱,设备的维修工作量减小,使用寿命提高。

表 5-2 液压、电机驱动螺杆性能比较

项 目	液 压 传 动	电 机 驱 动
调 速	大范围无级调节	大范围无级调节
传动特性	恒转矩	恒功率
启动性能	启动转矩小、惯性小	启动转矩大、惯性大
效 率	80%~95%	90%~95%
结 构	紧 凑	笨 重
过载保护	自动实现	单独设置保护装置
噪 声	较 低	较 高
动力源利用	利用主泵电机	需单独设置电动机
工况匹配	恒转矩	转矩随工况而变化

在实际应用中,常常选用低速大转矩马达,典型型式有径向柱塞式、轴向柱塞式、叶片式和齿轮式马达等。国产低速大转矩马达包括摆线液压马达(例如,上海飞机制造厂开发的 BM 型产品有 4 个系列 38 种规格)、多作用内曲线径向柱塞(球塞)式液压马达(例如,浙江

镇海液压马达厂生产的 QJM 型定量、变量、通孔型共 65 种规格的铜球马达)、单作用连杆型径向柱塞式液压马达(例如,上海东海船厂生产的 LJM 型 4 种规格的斯达发马达)。表 5-3 分别列举了这三种马达的性能及特点。

表 5-3 低速大转矩马达性能比较

项目 品种及型号	最佳使用 压力/MPa	对应输出 转矩/N·m	最佳转速范 围/(r/min)	重量	体积	可靠性	成本	预塑适用 范围/g
BM 型	8~12	200~1 500	40~160	轻	最小	高	最低	30~2 000
QJM 型	8~12	300~3 000	30~200	较轻	小	较高	低	60~2 000
LJM 型	8~18	2 000~8 000	50~100	重	大	高	高	>1000

第三节 预塑计量过程与控制

一、塑化计量过程描述

塑化过程旨在均匀地塑化充模所需一定量的塑料,这些塑料在旋转螺杆与料筒之间进行输送、压缩和熔融塑化,并将塑化好的熔料储存在料筒的端部,具有输送、熔化和均化三个基本作用。与挤出机相比较,往复螺杆式注塑机的塑化螺杆既有旋转动作,又有轴向往复运动,即螺杆在旋转的同时还有后退动作,螺杆动作为间隙方式,因而也难以像挤出机一样建立相应的热平衡方程。

塑化熔料在螺杆各段通过或输送的速率与塑化容量有关,该过程相应的数学模型如下。

1. 固体段体积输送速率

$$V' = \pi D h_E (D - h_E) (t - e) \Omega (\tan \varphi_a \times \tan \omega) / 2t (\tan \varphi_a + \tan \omega) \quad (5-1)$$

式中: V' ——体积输送速率

D ——螺杆直径

h_E ——加料段的螺槽深度

t ——螺距

e ——螺棱宽度

Ω ——角速度

φ_a ——螺旋外径上的螺旋角

ω ——材料输送角

体积输送速率由螺杆几何尺寸、角速度 Ω 和材料输送角 ω 决定,后者反映了塑料粒子与料筒壁和螺杆之间的摩擦因数,即与料筒的摩擦因数越高,与螺杆的摩擦因数越低,则输送效率就越高。固体材料中压力的增高随固体段的长度增加成指数律变化,即

$$P_2 = P_1 e^{AL/\sin\varphi} \quad (5-2)$$

式中: P_2 ——固体段末端压力

P_1 ——起始压力

A ——常数

L ——固体段常数

φ ——螺杆的螺旋角

由式(5-1)、式(5-2),可见正确控制料筒温度、调节螺杆速度和背压,成为影响加料均匀性、塑化效率和螺杆转矩的重要条件。

2. 计量塑化段的流动近似为牛顿流体时的体积输送速率

$$V' = V_S' - V_P' - V_L' \quad (5-3)$$

$$V_S' = \pi^2 D^2 h_A n \sin\varphi \cos \frac{\varphi}{2} \quad (5-4)$$

$$V_P' = \pi D h_A^2 \sin^2 \varphi (P_1 - P_2) / 12 \eta L_{1,2} \quad (5-5)$$

$$V_L' = \pi^2 D^2 \delta^3 \tan\varphi (P_1 - P_2) / 12 \eta e \cos^2 \varphi L_{1,2} \quad (5-6)$$

式中: V' ——体积输送速率

V_S' ——拖曳流动

V_P' ——压力流动

V_L' ——漏流

h_A ——计量段螺槽深度

n ——螺杆速度

φ ——螺杆螺旋角

e ——螺棱宽度

δ ——螺杆与料筒壁之间的间隙

η ——熔料粘度

P_1 ——计量段起始部分的熔料压力

P_2 ——计量段末端的熔料压力

$L_{1,2}$ ——计量段的长度

体积输送速率由拖曳流动、压力流动和漏流三项组成,背压恒定时,塑化速率和拖曳流动具有线性关系。

二、计量控制策略原理及分析

(一) 熔料体积量计量控制

假定塑化过程熔料的温度及背压波动很小,控制装置具有良好的跟踪特性和重复性,并严格控制塑化后螺杆位置(采用塑化结束时降低螺杆转速和背压程控方法)。在实际应用中,由于受到诸如工艺条件、环境及设备等的影 响,控制效果是不理想的。因而,该控制方法仅限于加工精度要求不高的制品。

事实上,由于螺杆计量位置和缓冲量之间存在一定关系并影响注塑制品质量,因此需要直接检测每次成型实际缓冲量的变化和计量位置的变化来决定下一次预塑量的多少,即控制填充量为恒定值,或通过使熔料的注射初始状态、终止状态和注射填充行程恒定,来保证制品重量稳定性。式(5-7)描述了其工作原理,相应的控制动作程序和工作流程分别如图 5-1、图 5-2 所示。

$$(Q_{\text{set}} - Q_i) + X_{ei-1} = X_{ei} \quad (5-7)$$

式中: Q_{set} ——缓冲量设定值

Q_i ——本次实际缓冲量值

X_{ei-1} ——前一次塑化螺杆的结束位置

X_{ei} ——本次塑化螺杆的结束位置

(二) 熔料 pVT 特性计量适应控制

1. 熔料 pVT 特性基本原理

定容积塑化熔料状态可用下式描述:

$$(p + \pi)(V - W) = RT \quad (5-8)$$

式中: p ——压力

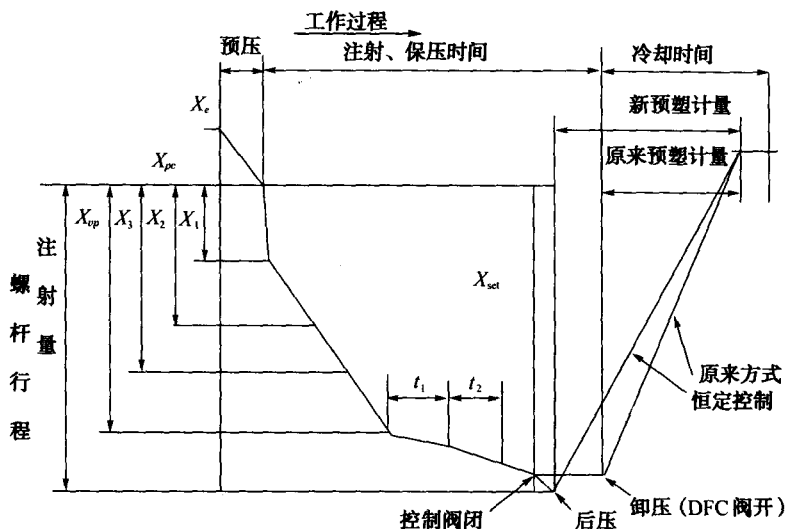


图 5-1 填充量恒定控制动作程序

注: X_e —计量结束点 X_{pc} —预压结束点 $X_1 \sim X_3$ —注射速度切换行程

X_{vp} —保压切换行程 t_1 —保压 1 时间 t_2 —保压 2 时间 X_{set} —填充行程

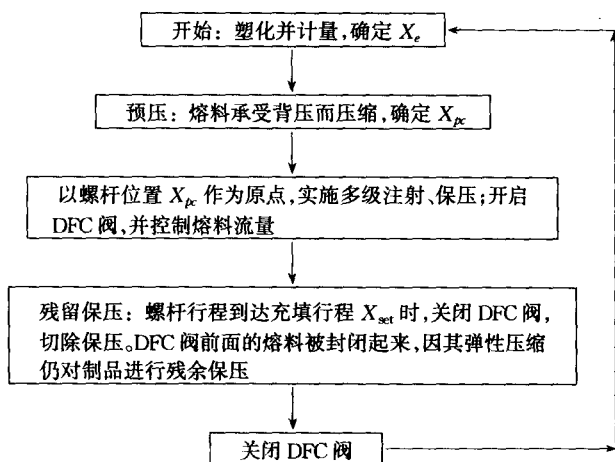


图 5-2 工作流程图

V ——比容积

T ——熔料温度

π ——压力常数(内压力)

W ——相应各大分子比容

R ——气体常数

式(5-8)表明, pVT 特性描述了一定重量的熔料三参数之间的关系, 即熔料的比容积与所处的压力、温度有关。恒定体积量计量控制与制品重量恒定控制方法, 控制效果显然是不一样的。下列原因常常会引起熔料比体积的变化, 包括温度、湿度、电源、振动等操作环境的变化, 原料初始状态(温度、湿度、成分等)不同, 温度、压力、流量、时间等控制元件的控制误差, 工作过程中因机器某些物理量(油温、油污、器械磨损、渗漏、阻尼等)的改变引起控制精度的变化。

2. pVT 计量适应控制原理及特点

pVT 计量适应控制方法, 通过直接检测熔料注射初状态、终状态的变化量, 用于修正注射填充行程(X_{set}), 来确保制品的重量稳定。

由式(5-8), 存在以下关系:

$$V = RT/(p + \pi) + W \quad (5-9)$$

对式(5-9)微分, 得

$$\begin{aligned} dV &= \frac{\partial V}{\partial T} dT + \frac{\partial V}{\partial p} dp \\ &= \frac{R}{(p + \pi)} dT - \frac{RT}{(p + \pi)^2} dp \end{aligned} \quad (5-10)$$

用比体积的改变量 ΔV 近似代替微分 dV , 得

$$\Delta V = \frac{R}{(p + \pi)} \Delta T - \frac{RT}{(p + \pi)^2} \Delta p \quad (5-11)$$

由式(5-11), 温度和压力的变化必然引起熔料体积的变化, 计量适应控制的目的是要消除由于体积量变化引起的计量行程误差。

设定计量行程为 L_0 、温度为 T_0 、内压为 P_0 时, 计算得到计量行程的修正量 ΔL 为:

$$\Delta L = \frac{L_0}{V_0} \Delta V \quad (5-12)$$

以精密注塑成型为例,其中:

- ① 设备最大注射量 4cm^3 , 计量螺杆增压比 17.36;
- ② 注射成型材料为低密度聚乙烯(LDPE), $W = 0.875\text{cm}^3/\text{g}$,
 $\pi = 324\text{MPa}$, $R = 0.296(\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1})$;
- ③ 工艺要求: $T_0 = 463\text{K}(190^\circ\text{C})$, $P_0 = 5.9\text{MPa}(600\text{N}/\text{cm}^2)$,
 $L_0 = 30\text{mm}(\text{约 } 4\text{g})$;
- ④ 由于受外界干扰影响,假设背压和熔料温度波动范围分别为
 $\pm 0.34\text{MPa}(\pm 34.7\text{N}/\text{cm}^2)$ 和 $\pm 2.5\text{K}$ 。

由上述条件:

$$\Delta p = 0.34 \times 2 \times 17.36 = 11.8\text{MPa}(1200\text{N}/\text{cm}^2)$$

$$\Delta T = 5\text{K}$$

由式(5-9),计算比体积:

$$\begin{aligned} V_0 &= 0.296 \times 10 \times 463 / (3240 \times 1.0133 + 59) + 0.875 \\ &= 1.285(\text{cm}^3/\text{g}) \end{aligned}$$

由式(5-11),比体积变化量(绝对值):

$$\begin{aligned} \Delta V &= 0.296 \times 10 [5 - 463 \times 118 - (3240 \times 1.0133 + 59)] / \\ &\quad (3240 \times 1.0133 + 59) = 0.01(\text{cm}^3/\text{g}) \end{aligned}$$

再根据式(5-12)计算计量波动值:

$$\Delta L = \frac{L_0}{V_0} \Delta V = 30 \times 0.01 / 1.285 = 0.234(\text{mm})$$

可见,计量行程的修正量达到 0.234mm,计量时熔料的压力、温度变化引起的计量误差必将影响制品的重量和收缩率。

第四节 测试系统及实验结果分析

图 5-3 所示为预塑计量测控系统原理图,注塑机型号 VT-130/880(柳州某注塑机厂产,螺杆直径 35mm,螺杆转速 0~180r/

in, 塑化能力 39kg/h, 注射行程 140mm), 塑化原料为北京燕山石化公司化工厂产“燕山牌”聚丙烯, 精密导电塑料直线位移传感器型号 Z3A(上海仪表厂产, 精度 0.25%, 阻值 2.2k Ω), 背压检测传感器型号 BPR-2/200(上海华东电子仪器厂产), 料筒温度传感器采用 K 型热电偶(美国某公司产, 0℃ ~ 400℃), A/D 卡型号 PC-L1216C(北京祥云计算机公司产, 12 位 A/D), 计算机采用工控机 IPC, 比例阀采用日油研三通比例溢流调速阀(型号 EFBG-03-125C)。

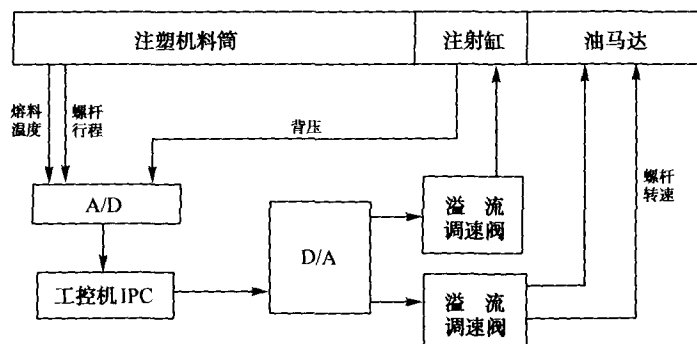


图 5-3 预塑计量测控系统原理图

选择塑化背压 0.8MPa, 在不同工艺参数条件下加工制品, 质量精度不一样, 即

① 料筒温度变化、定容积条件, 制品质量平均值作相应改变, 分别为 19.54g 和 19.69g;

② 增大保压压力, 制品质量平均值也作相应改变, 分别为 18.87g、19.12g 和 19.54g;

③ 增加一级保压时间, 制品质量平均值也相应增加, 分别为 19.54g 和 19.70g;

④ 由于实际料筒温度变化(最大值为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$), 即使其他参数未变, 仍然会引起制品质量值偏离均值, 质量最大偏离值分别为 0.33g、0.68g、1.96g、1.8g 和 1.09g 不等;

⑤ 三级注射压力及二级保压压力变化, 制品质量平均值分别为

25.35g 和 22.83g。

由于计量定位精度取决于螺杆转速(由熔料施加作用)、运动物(螺杆)质量及摩擦力大小,螺杆回退速度(及塑化时间)与背压、螺杆转速有关,故依据经验方法并基于二级转速及二级背压程控,在塑化结束时,转速降低、背压卸荷,一方面减少螺杆转动惯量以提高定位精度,同时背压卸荷引起螺杆回退降低了螺杆前端熔料的压力,大部分得以释放,避免了熔料从喷嘴流出(起防涎作用),同时使得热流道中的压力降低。图 5-4 给出了计量适应控制与常规控制对制品重量稳定性的影响,各种计量控制方式效果列于表 5-4。

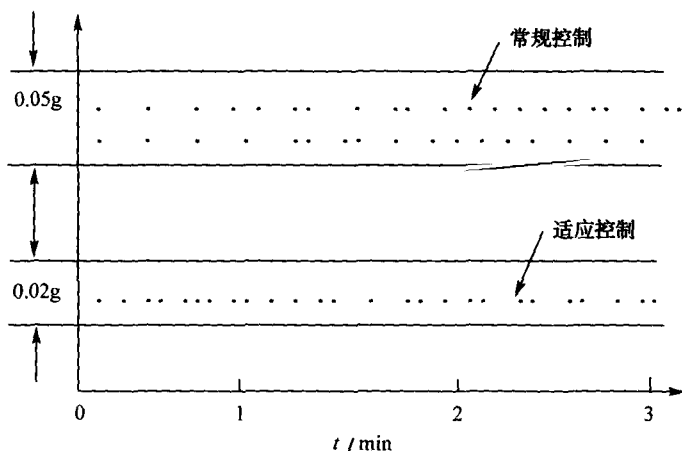


图 5-4 控制方式对制品重量偏差的影响

可见,塑化及注射阶段工艺参数变化对制品重量精度影响较大,尤其是保压压力、保压时间及料筒温度等参数,波动范围应加以严格控制。背压的调节及其控制,对于提高塑化定位精度,稳定制品重量也极为重要。基于熔料 $p-V-T$ 特性计量适应控制,综合考虑了熔料温度(T)、压力(p)及比容体积(V)三要素对制品重量的影响,并加以补偿,较常规计量控制或基于恒定填充体积量的计量控制都具有较好的重量稳定性,不仅为精密注射成型提供了重要保证,同时也为合理设计注塑机、实施过程控制提供了理论依据。

表 5-4

控制效果比较表

控制方式	变化条件及其作用效果	制品重量精度	制品最高重量偏差率
普通控制	材料温度 保压压力 预压压力	随温度升高而增加,变化无规律 — —	1.25 %
恒定体积量控制	料筒温度 保压压力 预压压力	随温度升高略有减少 规律变化 规律变化	0.75 %
pVT 控制	料筒温度 保压压力 预压压力	— — —	0.24 %

第六章 塑料注射成型过程控制

第一节 概 述

采用电液伺服/比例系统,研制和开发电液伺服/比例闭环控制注塑机,顺序控制整个注射成型加工过程,并能够在线测试及实时控制诸过程参数,达到优化工艺、缩短成型周期,在确保制品质量前提下提高生产效率的目的。

注射成型过程以控制注射速度、注射压力、模腔压力、保压压力、保压时间、模具温度和料筒温度等参数为重点,是决定制品质量的重要环节。通过在线检测诸如注射压力、注射速度、熔料温度等过程参数,并施以闭环控制来达到提高制品尺寸精度、重量稳定性和降低废品率的目的。自 1972 年以来,M. R. Kamal、H. A. Lord 等学者一直致力于注射成型过程控制研究,基于等温填充、系统呈线性状态等假设边界条件,并通过求解连续性方程、动量方程和能耗方程建立数学模型;国内学者针对模腔压力,根据实验探讨了成型工艺参数与模腔压力的定性关系,或针对系统压力和流量闭环控制策略对于注塑制品质量的影响和控制效果进行实验研究。因此,通过对注射成型过程进行理论分析,开展动态特性研究,建立相应的数学模型,并在仿真研究的基础上针对不同的控制策略进行实验验证,仍然是当前的研究热点和急待解决的问题。

第二节 注射成型过程控制要求及特点

一、注射成型过程描述

塑料注射成型包括熔料经喷嘴射出进入模腔,再经过充模、保压,直至最终冷却成型等过程。其中,充模、熔料在模腔内压实、倒

流、在浇口处凝固、冷却及制品脱模等阶段的控制最为重要。图6-1给出了在整个注射成型过程,液压系统压力和模腔浇口压力的变化曲线,具有以下特征:

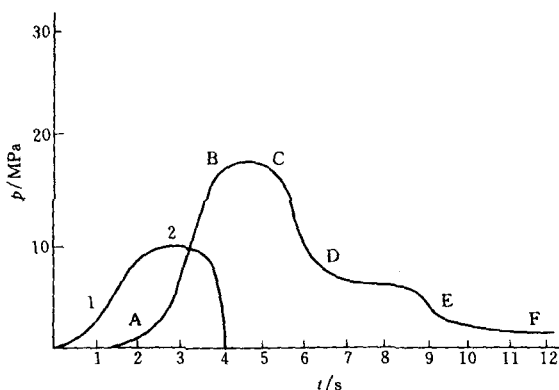


图 6-1 注射过程系统压力和模腔压力示意图

1—液压系统压力 2—模腔浇口压力

① A—B 为充填和压实阶段,熔料近似等温填充。首先,由 A 开始进入模腔,在到达 B 时表明模腔已填满,模腔压力在极短的时间内迅速增大,直到模具允许的极限值。在该阶段,开始时通常只需要控制注射速度,缩短成型周期和避免熔料因流速过低冷却凝固,最终满足近似等温填充的要求,并减少表面质量缺陷及内应力。随着模腔填满,注射速度趋于零,压力迅速上升,压力变成影响制品质量的重要变量,需要转为压力控制;

② B—C 为保压阶段,要求从 B 点开始按等压曲线变化,模温持续下降,熔料被压实。在该过程仍有少量熔料进入模腔,以补偿模腔内制品由于冷却而产生的尺寸收缩。到达 C 点时,浇口因熔料冷却凝固后封死;

③ C—D 为冷却阶段,在模腔内的熔料继续冷却,模腔压力按等容曲线变化,并一直下降到某压力值(残余压力);

④ 经过冷却阶段之后,再按等压曲线 D—E 冷却至 E 点,达到启模所需的温度,经过 E—F 开模阶段,模腔压力从残余压力陡然降

低为零。

二、注射成型过程控制的要求

塑化好的熔料受到螺杆的推动作用,经料筒、喷嘴和流道、浇口高速注入锁紧的模具。熔料在模腔内的充填过程,可以描述为非牛顿流体在模温低于聚合物凝固点的模腔中的非稳态流动行为。因此,为了避免熔料在模腔中过早凝固,必须通过控制充模速度,确保熔料在模腔中的流动速率为常数。通常,速度控制是通过控制螺杆移动速度,并基于时间或位移进行多级注射速度切换控制来实现的;在熔料充满模腔后,即刻进行压实和补缩,进行注射转保压过程切换控制,并以压力控制为主。准确控制注射速度转压力控制切换点是确保注塑制品质量和精度的技术关键。通常,可以采用定时注射时间,或检测注射螺杆位置、注射压力及模具变形等间接方法,或直接检测模腔压力进行切换控制。保压阶段对于制品内应力、分子排列及尺寸影响很大,一般采用多级保压压力控制方式,以补偿材料的收缩、避免材料外溢。在冷却阶段,控制的重点在于寻找能够工程实现的压力变化曲线。Tait 经验公式建立了 p 、 V 、 T 之间的关系:

$$V = V_0(T) \left[1 - 0.0894 \ln \left(1 + \frac{p}{b_0 e^{b_1 T}} \right) \right] \quad (6-1)$$

式中: $V_0(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2$

一般而言, a_i 、 b_j 是温度的函数,在等容冷却阶段(V 为恒值),由式(6-1):

$$p = f(T) \quad (6-2)$$

可见,压力变化取决于制品的温度,若能够知道 T 的变化规律,就可以获得期望压力变化曲线。事实上,由于成型制品形状复杂,再加上模具冷却不均匀,常常很难得到 T 的理想变化曲线。迄今为止,工程应用中都采用近似方法,即假定压力随时间成正比下降来简化求取期望压力变化曲线。

表 6-1 分析比较了分别采用微机 PID 控制,程控器三级注射速度、三级保压压力开环控制方式加工的注塑制品的质量及偏差,说

明微机控制方式的控制质量较高。

表 6-1

控制效果比较表

单位: g

控制方式	平均质量	最大质量	最小质量	最大偏差
程控器开环控制	67.49	68.03	67.01	1.02
微机 PID 控制	66.41	66.6	66.2	0.4

第三节 注射成型过程控制策略

一、控制策略

1. 数字 PID 控制算法

采用以下数字 PID 位置控制算式:

$$u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + u(k-1) \quad (6-3)$$

$$u(k) = K_p[e(k) - e(k-1) + (T_s/T_i)e(k)] + u(k-1) \quad (6-4)$$

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T_s}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} + u(k-1) \quad (6-5)$$

采用以下简化算式,有助于缩短计算时间、加快运算速度。

$$u(k) = a_0 e(k) - a_1 e(k-1) + a_2 e(k-2) + u(k-1) \quad (6-6)$$

式中: $u(k)$ —— k 采样时刻比例阀开度, %

T_i ——积分时间常数, s

T_d ——微分时间常数, s

K_p ——比例增益, 阀开度 %/MPa

T_s ——采样周期, s

$e(k)$ —— k 采样时刻设定值与输出值的偏差, MPa

$$a_0 = K_p \left(1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_d}{T_s} \right)$$

$$a_1 = K_p \left(1 + 2 \frac{T_d}{T_s} \right)$$

$$a_2 = K_p \frac{T_d}{T_s}$$

实际应用中,往往需要根据被控对象的特点及控制特性要求,例如动态性、稳定性等,采用 PID 及其改良型或组合形式。在采用比例算式时, T_i 、 T_d 取 0;采用比例积分算式时, T_d 取 0。由于 PID 及其改良型具有算法简单、计算方便、占用微机内存小等特点,因此,通常采用微机作为数字 PID 控制器,并通过零阶保持器驱动。

2. 达林(Dahlin)控制算法

针对式(6-7)带纯滞后一阶和式(6-8)带纯滞后二阶惯性环节,采用 Dahlin 算法来满足控制性能要求,避免系统出现超调和持续振荡现象。

$$G_c(S) = K \frac{e^{-DS}}{(T_1 S + 1)} \quad (6-7)$$

$$G_c(S) = K \frac{e^{-DS}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} \quad (6-8)$$

式中: K ——过程增益

D ——纯滞后时间,为采样周期 T_s 的整数倍,即 $D = NT_s$,

T_s ——采样周期

T_1 、 T_2 ——时间常数

Dahlin 控制算法假设整个闭环系统期望传递函数为式(6-9)描述的一个带时间延迟的一阶惯性环节:

$$C(S)/R(S) = e^{-DS}/(T_c S + 1) \quad (6-9)$$

式中: $C(S)$ ——系统阶跃响应

$R(S)$ ——阶跃设定

T_c ——闭环系统时间常数

Dahlin 算式的输出结果经过零阶保持器后输出至被控对象,再经 Z 变换得到离散形式:

$$C(Z)/R(Z) = Z \left[\left(\frac{1 - e^{-T_s}}{S} \right) \left(\frac{e^{-DS}}{T_c S + 1} \right) \right] \quad (6-10)$$

$$= \frac{(1 - e^{-T_s/T_r})Z^{-N-1}}{(1 - e^{-T_s/T_r}Z^{-1})}$$

存在以下关系:

$$C(Z)/R(Z) = \frac{D(Z)HG(Z)}{1 + D(Z)HG(Z)} \quad (6-11)$$

相应的数字控制器表达式为:

$$D(Z) = \frac{C(Z)/R(Z)}{1 - C(Z)/R(Z)} \times \frac{1}{HG(Z)} \quad (6-12)$$

式中: $HG(Z)$ 为过程模型脉冲传递函数

(1) 当过程模型为式(6-7)具有纯滞后的一阶环节和单位反馈时 相应的脉冲传递函数为:

$$\begin{aligned} G(Z) &= Z \left[\frac{1 - e^{-T_r S}}{S} \times \frac{Ke^{-DS}}{T_1 S + 1} \right] \\ &= KZ^{-N-1} \frac{1 - e^{-T_s/T_1}}{1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1}} \end{aligned} \quad (6-13)$$

相应的数字控制器算式为:

$$D(Z) = \frac{(1 - e^{-T_s/T_r})(1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1})}{K(1 - e^{-T_s/T_1})[1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1} - (1 - e^{-T_s/T_r})Z^{-N-1}]} \quad (6-14)$$

(2) 当过程模型为式(6-8)具有纯滞后的二阶环节和单位反馈时 相应的脉冲传递函数为:

$$\begin{aligned} G(Z) &= Z \left[\frac{1 - e^{-T_r S}}{S} \times \frac{Ke^{-DS}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} \right] \\ &= \frac{K(C_1 + C_2 Z^{-1})Z^{-N-1}}{(1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1})(1 - e^{-T_s/T_2}Z^{-1})} \end{aligned} \quad (6-15)$$

$$\text{式中: } C_1 = 1 + \frac{T_1 e^{-T_s/T_1} - T_2 e^{-T_s/T_2}}{T_2 - T_1} \quad (6-16)$$

$$C_2 = e^{-T_s(1/T_1 + 1/T_2)} + \frac{T_1 e^{-T_s/T_2} - T_2 e^{-T_s/T_1}}{T_2 - T_1}$$

数字控制器算式为:

$$D(Z) = \frac{(1 - e^{-T_s/T_r})(1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1})(1 - e^{-T_s/T_2}Z^{-1})}{K(C_1 + C_2 Z^{-1})[1 - e^{-T_s/T_1}Z^{-1} - (1 - e^{-T_s/T_2})Z^{-N-1}]} \quad (6-17)$$

设计 Dahlin 控制器时发现,合理选择 T_s/T_c 有助于满足闭环系统控制特性要求,同时还能够避免数字控制器的输出产生强烈的振荡现象。

3. 自适应模型跟踪控制(AMFC)

自适应控制于 20 世纪 70 年代初问世,能够很好地克服环境变化等不确定因素给被控对象动、静态性能带来的不利影响;同时,在缺乏被控对象经验知识的情况下,不需要预先准确地辨识被控对象的参数,就能够自动地辨识系统,获得系统的最优控制性能,使得过程的动态响应能够跟踪期望的理想模型的变化。自适应能够将被控对象作为灰箱进行控制,使其在目前对复杂系统进行高性能控制的工程应用中具有十分诱人的前景。

基于超稳定性理论设计自适应模型跟踪控制算法,自适应规律由被控对象的输入、输出构成,并采用信号合成的方法以得到作用于被控对象的控制信号。不考虑时间滞后,模腔浇口压力的状态方程为:

$$\dot{X}_p = A_p(X_p, t)X_p + B_p(X_p, t)u_p + H(X_p, u_p, t) \quad (6-18)$$

式中: $A_p = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/\tau_p \end{bmatrix}$, $B_p = \begin{bmatrix} 0 \\ a_p/\tau_p \end{bmatrix}$, $X_p = \begin{bmatrix} p_c \\ p_{cr} \end{bmatrix}$

式中: $H(X_p, u_p, t)$ ——作用于注射成型系统的干扰

图 6-2 所示为自适应控制系统参考模型为基于 PID 补偿的闭环控制系统,相应的状态方程为:

$$\dot{X}_m = A_m X_m + B_m u_s \quad (6-19)$$

式中: $u_s = K_p(u_m - K_b X_m) + T_i I_m + T_d D_m + B_i$ (6-20)

$$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/\tau_0 \end{bmatrix}, B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ a_0/\tau_0 \end{bmatrix}, X_m = \begin{bmatrix} p_{cm} \\ p_{crm} \end{bmatrix}$$

$$K_b = [1 \quad 0]$$

B_i ——输出误差为零时驱动比例阀的常值

$$I_m = \int_0^t (u_m - K_b X_m) d\tau$$

$$D_m = \frac{d(u_m - K_b X_m)}{dt}$$

K_p, T_i, T_d ——PID 控制器常数

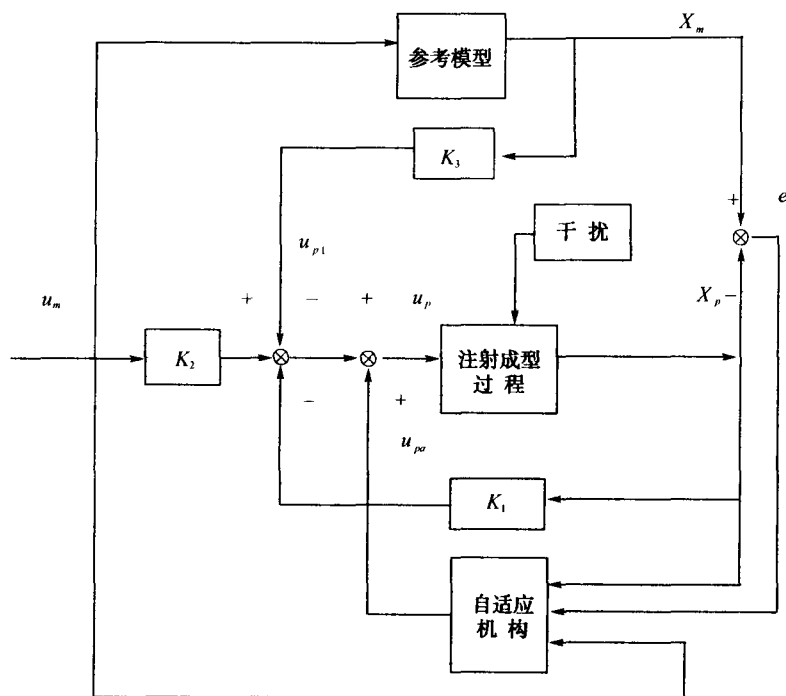


图 6-2 自适应模型跟踪控制系统结构

由图 6-2 和式(6-18)、式(6-19)、式(6-20)得到广义误差动态方程:

$$\begin{aligned} \dot{e} = \dot{X}_m - \dot{X}_p = & (A_m - B_m K_p K_b) e \\ & + (A_m - A_p - B_m K_p K_b) X_p \\ & + B_m K_p u_m + B_m B_i \\ & + B_m (T_i I_m + T_d D_m) \\ & - B_p u_p - H(X_p, u_p, t) \end{aligned} \quad (6-21)$$

$$u_p = u_{p1} + u_{pa} \quad (6-22)$$

$$u_{p1} = -K_1 X_p + K_2 u_m + K_3 X_m + u_{ps} + B_i \quad (6-23)$$

$$u_{pa} = DK_p(e, t)X_p + DK_u(e, t)u_m \quad (6-24)$$

要求满足下面的跟踪方程,以获得优良的模型跟踪特性:

$$B_{p0}K_1 = -A_m + A_{p0} + B_m K_p K_b \quad (6-25)$$

$$B_{p0}K_2 = B_m K_p \quad (6-26)$$

$$B_{p0}u_{ps} = B_m(T_i I_m + T_d D_m) \quad (6-27)$$

$$B_{p0} = B_m \quad (6-28)$$

由式(6-25)、式(6-26)、式(6-27)和式(6-28)得下列方程:

$$K_1 = K_p K_b \quad (6-29)$$

$$K_2 = K_p \quad (6-30)$$

$$u_{ps} = T_i I_p + T_d D_p \quad (6-31)$$

式中: $I_p = \int_0^t (u_m - K_b X_p) d\tau$

$$D_p = \frac{d(u_m - K_b X_p)}{dt}$$

式(6-23)变为:

$$u_{p1} = K_p(u_m - K_b X_p) + T_i I_p + T_d D_p + B_i \quad (6-32)$$

由 Popov-Landau 方法,得到自适应回路线性补偿器输出信号为:

$$\sigma = D e \quad (6-33)$$

线性补偿器 D 满足:

$$D = B_m^T p \quad (6-34)$$

其中, p 为下列 Lyapunov 方程的解:

$$(A_m - B_m K_p K_b)^T p + p(A_m - B_m K_p K_b) = -H \quad (6-35)$$

式中: H ——任意正定阵,取 $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

为使控制具有 PI 性能,得到自适应规律为:

$$DK_p(e, t) = \int_0^t F\sigma(GX_p)^T d\tau + F'\sigma(GX_p)^T + DK_p(0) \quad (6-36)$$

$$DK_u(e, t) = \int_0^t M\sigma(Nu_m)^T d\tau + M'\sigma(Nu_m)^T + DK_u(0) \quad (6-37)$$

取 $G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \epsilon \end{bmatrix}$, $\epsilon > 0$; $F = f_{12} > 0$, $F' = f_{11} > 0$, $N = 1$;
 $M = f_{21} > 0$, $M' = f_{22} > 0$, $\epsilon \ll 1$, 得到简化的自适应控制规律:

$$u_{pa} = (f_{12} \int_0^t \sigma p_c d\tau + f_{11} \sigma p_c) p_c + (f_{21} \int_0^t \sigma u_m d\tau + f_{22} \sigma u_m) u_m \quad (6-38)$$

由式(6-22)、式(6-24)、式(6-32)和式(6-38),得到自适应模型跟踪控制系统控制规律为:

$$u_p = K_p(u_m - K_b X_p) + T_i I_p + T_d D_p + B_i + u_{pa} \quad (6-39)$$

如图 6-3 所示为经过改进后的自适应模型跟踪控制系统结构。

经推导,获得自适应模型跟踪控制系统控制规律的离散形式为:

$$\begin{aligned} u_p(k) = & u_p(k-1) + K_p \{ [u_m(k) - p_c(k)] \\ & - [u_m(k-1) - p_c(k-1)] \} \\ & + T_i T_s [u_m(k) - p_c(k)] + [B_i(k) - B_i(k-1)] \\ & + T_d / T_s \{ [u_m(k) - p_c(k)] - 2[u_m(k-1) - p_c(k-1)] \\ & + [u_m(k-2) - p_c(k-2)] \} \\ & + f_{12} T_s \sigma(k) p_c^2(k) + f_{12} T_s \sigma(k) u_m^2(k) \\ & + f_{11} [\sigma(k) p_c^2(k) - \sigma(k-1) p_c^2(k-1)] \\ & + f_{22} [\sigma(k) u_m^2(k) - \sigma(k-1) u_m^2(k-1)] \\ & + f_{12} T_s [p_c(k) - p_c(k-1)] \\ & \times [M(k-2) + \sigma(k-1) p_c(k-1)] \\ & + f_{21} T_s [u_m(k) - u_m(k-1)] \end{aligned}$$

$$\times [N(k-2) + \sigma(k-1)u_m(k-1)] \quad (6-40)$$

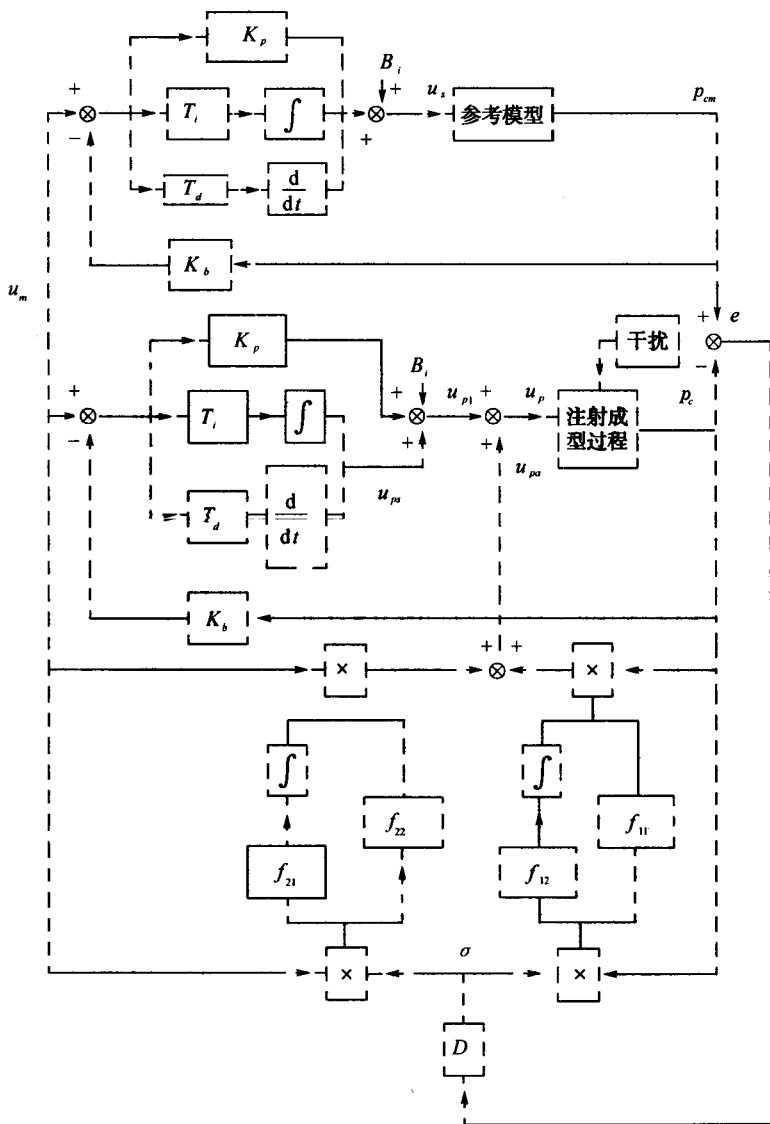


图 6-3 经过改进的具有 PID 补偿器的自适应模型跟踪控制系统结构

$$\begin{aligned}
 \text{式中: } M(k) &= \sum_{i=0}^k \sigma(i) p_c(i) \\
 N(k) &= \sum_{i=0}^k \sigma(i) u_m(i) \\
 \sigma(k) &= (a_0 p_{21} / \tau_0 + a_0 p_{22} / \tau_0 T_s) e(k) \\
 &\quad - a_0 p_{22} e(k-1) / \tau_0 T_s \\
 p_{21} &= \tau_0 / 2 a_0 K_p \\
 p_{22} &= \tau_0 (a_0 K_p + \tau_0) / 2 a_0 K_p
 \end{aligned}$$

二、测试系统及设备

如图 6-4 所示注塑机压力测控系统中,注塑设备为某厂产注塑机及经改装过的实验模具,注塑原料为聚丙烯,压力控制元件为三通

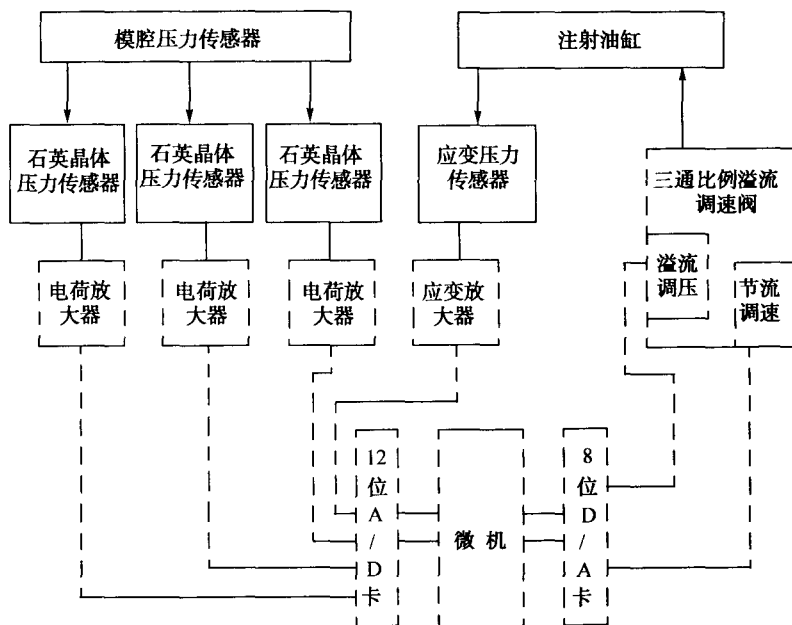


图 6-4 注塑机压力微机测控系统

溢流调速阀(日油研 EFBG-03-125);数据采集与液压控制由带有 12 位 A/D、8 位 D/A 的微机来实现,注射油缸液压压力、喷嘴压力、模腔浇口压力和模腔内压分别由应变式压力传感器(上海华东电子仪器厂产)和石英晶体压力传感器(华东计量测试中心、瑞士 Kistler 公司产)检测和预处理。

三、液压系统压力 p_h 与喷嘴压力 p_n 及其相互关系

液压系统压力,即作用于注射油缸的油压,由负载和同时受压力先导阀及流量先导阀影响的压力阀主调节阀芯开度决定。其中,流量阀和压力阀分别用于控制注射速度、保压压力。在注射过程中,螺杆前移,熔料由喷嘴经流道注入闭合模具型腔,随着模具型腔充满,系统压力迅速达到最大值;随后,螺杆停止不动,系统压力保持不变,一直到螺杆开始作回程移动时,系统压力才陡然降为零。实际应用中,尽管压力阀始终接在液压系统中,但在控制速度时,由于系统压力低于压力阀预先设定值,压力先导级不起作用,因此,系统压力往往由负载决定;一直到在压力达到切换要求时,类似比例溢流阀的作用,压力阀才开始进行压力控制。

1. 理论分析

根据力平衡原理,作用于注射油缸上的 p_h 、 p_n 和剪切力 F_S 满足以下关系:

$$p_n = A_p p_h / A_f - F_S / A_f \quad (6-41)$$

式中: p_n ——喷嘴压力,MPa

p_h ——液压系统压力,MPa

A_p ——注射油缸活塞横截面积,cm²

A_f ——螺杆螺纹横截面积,cm²

F_S ——聚合物作用在螺杆上的剪切力,N

根据聚合物的不同流动方式,分别计算 F_S :

① PCF(二维库爱特流动)

$$F_S = -\pi M(v/B)^n D_f L \quad (6-42)$$

② ACF(环形库爱特流动)

$$F_S = \frac{2\pi ML}{R^{n-1}} \left[\frac{v}{S(K^{1/S} - 1)} \right]^n \quad (6-43)$$

式中: M 、 n ——幂律粘度模型参数

v ——注射速率, cm/s

D_f ——螺纹直径, m

L ——螺杆长度, mm

R ——料筒内半径, mm

K ——螺纹半径与料筒内半径之比, $K \leq 1$

$$S = \frac{n}{n-1}$$

实际计算和应用中, 采用式(6-42)来计算 F_S , 且在 K (螺杆螺纹与料筒间隙) 接近 1 时, 式(6-42)、式(6-43)计算结果一致。图 6-5 所示为针对某牌号树脂的计算结果。

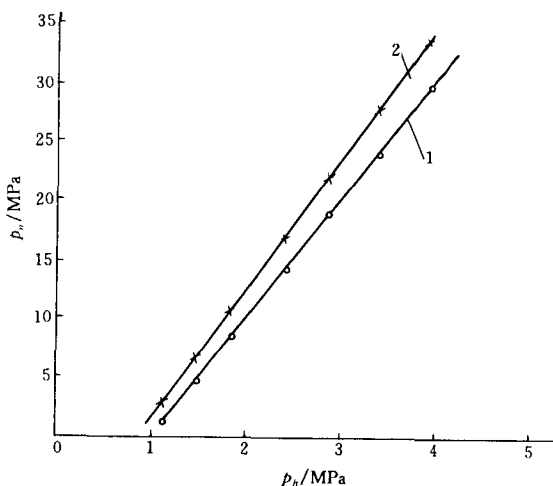


图 6-5 p_n 与 p_h 理论计算关系图

1—料筒温度 215°C, $v = 0.019 \text{ m/s}$

2—料筒温度 232°C, $v = 0.02 \text{ m/s}$

2. 动态数学模型

由于比例放大器的动态响应速度较比例阀和注射油缸要快得多,故近似认为比例放大器为一个放大环节,比例阀和注射油缸传递函数分别为:

$$G_p(S) = K_p / (S^2 / \omega_1^2 + 2\xi_1 S / \omega_1 + 1) \quad (6-44)$$

$$G_c(S) = K_c / S (S^2 / \omega_2^2 + 2\xi_2 S / \omega_2 + 1) \quad (6-45)$$

式中: ω_1, ω_2 ——分别为比例阀及油缸的自然频率

注塑机液压系统压力 p_h 动态响应数学模型可以用带延时的一阶环节加振荡环节来描述,即

$$p_h = G(1 - e^{-(t-D)/\tau}) + G_1 \left\{ \frac{1}{(1 - \xi^2)^{1/2}} \tau_1 e^{-\xi t / \tau_1} \sin[(1 - \xi^2)^{1/2} t / \tau_1] \right\} \quad (6-46)$$

式中: G, G_1 ——过程增益, kPa, 比例阀开度变化

τ, τ_1 ——时间常数, s

D ——滞后时间, s

ξ ——阻尼系数

参数 $G, G_1, \tau, \tau_1, D, \xi$ 经辨识和调整得到最佳值, 针对比例阀不同开度, 液压系统压力 p_h 相应参数估计值列于表 6-2。

表 6-2 液压系统压力 p_h 模型参数值

比例阀 开度变化/%	一阶模型参数		振荡部分		
	$G/(kPa/\%)$	τ/s	$G_1/(kPa/\%)$	τ_1/s	ξ
+10	29.6	0.040	0.0262	0.005	0.16
-10	32.2	0.049	0.0206	0.005	0.20
+15	27.6	0.048	0.0193	0.005	0.16
-15	27.6	0.048	0.0190	0.005	0.18
+20	34.4	0.041	0.0248	0.005	0.13
-20	33.1	0.046	0.0234	0.005	0.18

注: $D=0.005s$

同理, 喷嘴压力经辨识得到式(6-47)动态模型。针对比例阀不同开度, 喷嘴压力相应参数估计值列于表 6-3。

$$p_n = G(1 - e^{-(t-D)/\tau}) \quad (6-47)$$

表 6-3 数学模型参数值

阀开度变化/%	$G/(\text{kPa})$	τ/s	D/s
+10	208	0.045	0.0046
-10	210	0.048	0.0043
+15	207	0.052	0.0046
-15	195	0.053	0.0042
+20	229	0.047	0.0043
-20	220	0.050	0.0034

运用 PRBS(阀开度 $\pm 10\%$ 、周期 10ms, m 为 63)研究过程随机响应,获得了式(6-46)和式(6-47)相同的数学模型和参数估计值。

3. 控制策略研究

采用 PID 控制策略并基于 ITAE 准则和单纯形法寻优以确定控制器参数最优值。计算机仿真时,零阶保持器传递函数由 Pade 展开式近似为:

$$\begin{aligned} G_0(S) &= (1 - e^{-ST_s})/S \\ &\approx 1/(1 + T_s S/2) \end{aligned} \quad (6-48)$$

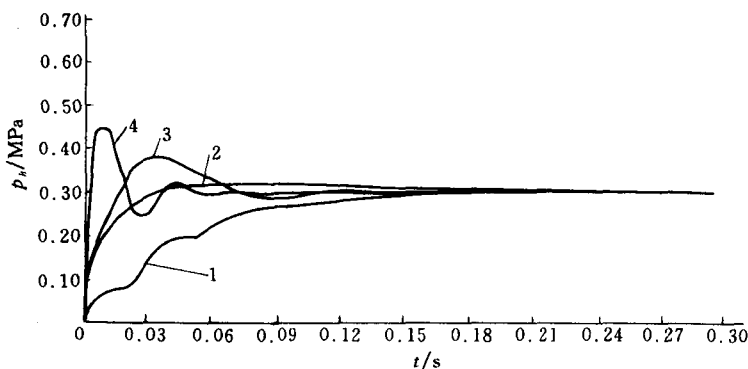
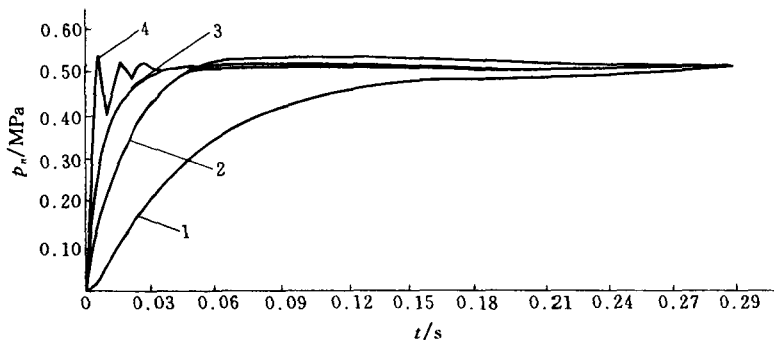
经 Z 变换,得到喷嘴压力离散模型:

$$\begin{aligned} p_n(k) &= a_1 p_n(k-1) - a_2 p_n(k-2) + b_0 u(k) \\ &\quad - b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) \end{aligned} \quad (6-49)$$

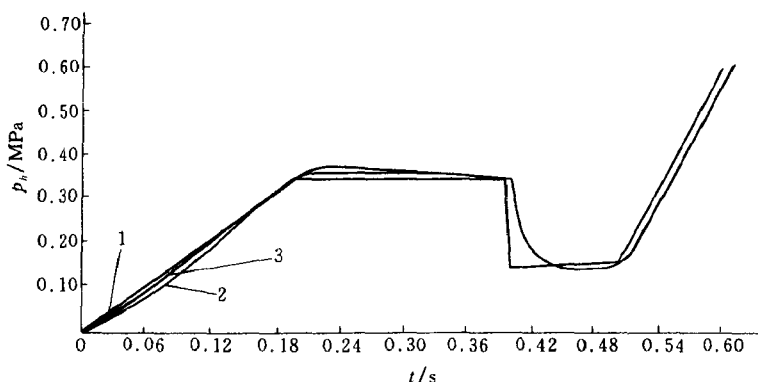
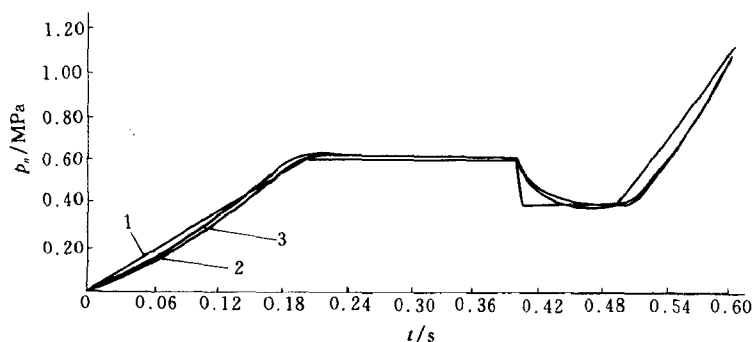
式中, a_i 、 b_j 为模型参数,与过程增益、时间常数、滞后时间及采样周期有关。

基于 PID 策略控制液压系统压力 p_h 和喷嘴压力 p_n 的仿真结果分别示于图 6-6 和图 6-7。采样周期为 5ms,闭环控制优于开环控制特性,增大比例增益,有助于提高动态响应特性、减小静态误差,但是,增益太大也会引起超调和阻尼振荡;积分环节有助于改善系统动态特性,消除静差;控制阀引起的振荡可消除,调整参数可以改善输出特性。

图 6-8、图 6-9 分别给出了 PID 控制对 p_h 、 p_n 施加控制的结果,反映了控制器的跟踪能力。其中,压力一开始连续增大,并在某

图 6-6 PID 控制 p_h 响应特性曲线1—开环 2—闭环, $K_p=0.89$, $T_i=0.21$, $T_d=0.0018$ 3—闭环, $K_p=0.89$, $T_i=0.016$, $T_d=0.0026$ 4—闭环, $K_p=0.98$, $T_i=0.002$, $T_d=0.0026$ 图 6-7 PID 控制 p_n 响应特性曲线1—开环 2—闭环, $K_p=0.075$, $T_i=0.215$, $T_d=0.0013$ 3—闭环, $K_p=0.13$, $T_i=0.0215$, $T_d=0.0012$ 4—闭环, $K_p=0.25$, $T_i=0.215$, $T_d=0.0013$

时压力突然增大,以满足注射成型横截面积较大的制品要求;图 6-8、图 6-9 中注射转压实过程的响应(约 0.4s),由于受到注塑机液压系统比例阀、注射油缸等动态特性限制,控制器调节无能为力,跟踪能力弱,而存在较大误差。

图 6-8 PID 控制 p_h 响应特性曲线1—设定值 2—闭环, $K_p=0.89$, $T_i=0.21$ 3—闭环, $K_p=0.89$, $T_i=0.218$, $T_d=0.001$ 图 6-9 PID 控制 p_n 响应特性曲线1—设定值 2—闭环, $K_p=0.08$, $T_i=0.165$ 3—闭环, $K_p=0.08$, $T_i=0.165$, $T_d=0.0009$

四、模腔压力及其控制特性

模腔压力指的是在注射成型过程,经塑化后的熔料从喷嘴射入模腔后作用于模腔内壁的压力。对模腔压力及其控制的研究尤为重要,因为模腔压力与注塑制品的质量有直接关系,例如熔接线强度、

力学性能等。通过直接测试、分析模腔压力的大小和分布,以及整个注射、填充、保压和冷却过程,一方面有助于确定最佳注射转保压过程切换点,提高注塑制品尺寸和质量稳定性、一致性;同时,还能够提供注塑模具强度和刚度设计的重要数据,为实现模具 CAD 提供理论依据,改变了已往仅依据经验来设计注塑模具存在开发周期长、出现问题多等不足。

影响模腔压力的因素较多,下式给出了圆盘状结构注塑制品的模腔压力变化规律,即

$$p_c = f(r, p_0, v, T, t, T_0) \quad (6-50)$$

式中: r ——测试点距中心距离

p_0 ——注射压力

v ——注射速度

T ——熔料温度

t ——保压时间

T_0 ——模具温度

因此,在实施模腔压力控制时,还需要控制其他工艺参数,只有这样才能获得最佳效果。

由式(6-50), T 、 T_0 及 v 稳定时,可得

$$p_c = f(p_0, t) \quad (6-51)$$

假定熔料充模过程的流动为近似服从指数的非牛顿流体在等温下通过圆管的稳定层流,则在流经料筒、喷嘴和浇注系统后,压力降 Δp 可用下式计算:

$$\Delta p = \frac{2L}{R} \left[\frac{(m+3)q}{\pi R^3 K} \right]^{2/m} \quad (6-52)$$

式中: R 、 L ——流道半径和长度

q ——熔体的容积流速

K ——流动常数

m ——与牛顿流体差别程度的函数

由于 K 、 q 、 m 分别与熔料温度、注射压力和塑料流动特性有关,因此,注射压力、熔料温度和塑料特性是影响压力损失的主要因素。

由于控制系统输出是位置型的,为了减小误差、提高控制精度,而采用比例环节为位置型、积分和微分环节为增量型的综合 PID 算式:

$$\Delta u(k) = Ie(k) + D\Delta e(k) \quad (6-53)$$

$$u(k) = \Delta u(k) + u(k-1) \quad (6-54)$$

$$u(k) = u(k) + K_p e(k) \quad (6-55)$$

式中: $I = T_S/(T_i K_p)$

$$D = T_d/(T_S K_p)$$

1. 模腔浇口压力数学模型

在注射阶段,模腔浇口压力对于比例阀开口变化的响应由具有时滞的一阶环节和斜坡两部分组成,即

$$p_c(t) = k_1 t + k_2 [1 - e^{-(t-D)/\tau}] \quad (6-56)$$

式中: p_c ——模腔浇口压力, MPa

k_1 ——斜坡斜率, MPa/s

k_2 ——过程增益, MPa/%

τ ——过程时间常数, s

D ——滞后时间, s

同理,填充过程 p_c 对于比例阀开口变化的响应,为具有时滞的一阶环节特性:

$$p_c(t) = k [1 - e^{-(t-D)/\tau}] \quad (6-57)$$

式中: k ——过程增益, MPa/%

填充过程时间常数 τ 可由熔料在模腔内的流动阻力 R 与模腔的容量 C_c 来描述:

$$\tau = RC_c \quad (6-58)$$

由于熔体的可压缩性, R 与熔料粘度和密度有关,并随压力的增加而增大; C_c 与注入模腔的聚合物质量 m 和聚合物熔料体积压缩量 B_p 存在关系:

$$C_c = m/B_p \quad (6-59)$$

B_p 为常数, m 随填充压力的增加而增大。因此,塑料填充阶段实质上是一个非线性过程, τ 随着 p_c 的变化(表现为熔料的不同压

实程度)而改变。可以采用适应性变增益控制策略来补偿该过程的非线性。

2. 基于 p_c 的注射、填充及保压过程控制

注射成型过程分为注射、填充、多级保压及冷却数阶段,采用图 6-10 所示基于 p_c 的综合控制策略。注射阶段一开始因 p_c 为零,而直接基于喷嘴压力 p_n 实施闭环控制。待 p_c 增大到设定值 p_{cset1} ,就转为基于 p_c 的闭环控制;直到 p_c 达到另一设定值 p_{cset2} ,且 p_c 曲线斜率达到设定值 K_{set} ,表明注射阶段结束,就转为填充阶段,并基于 p_c 控制峰值模腔浇口压力以确定注射转保压过程切换点;当模腔浇口峰值压力达到设定值 p_{cmax} ,就转为多级保压控制,并基于 p_c 进行切换控制。

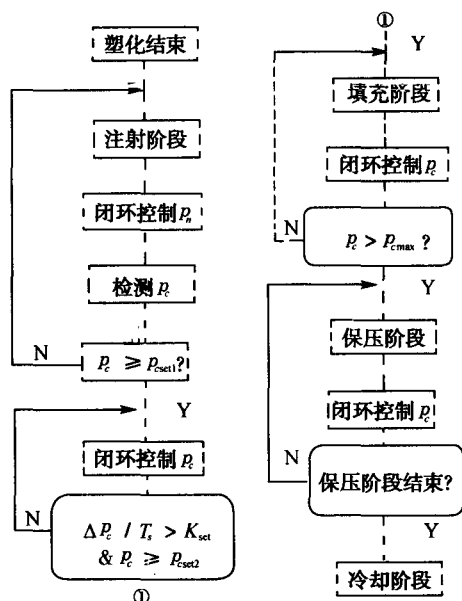


图 6-10 基于 p_c 控制注射成型流程

采用计算机仿真,零阶保持器传递函数由 Pade 展开式来近似,再经 Z 变换,推导后得到注射阶段模腔浇口压力离散模型:

$$p_c(k) = a_1 p_c(k-1) - a_2 p_c(k-2) + b_1 u(k-1) - b_2 u(k-2) - b_3 u(k-3) \quad (6-60)$$

式中: a_i 、 b_j 为模型参数,与过程增益、时间常数及采样周期有关。

图 6-11 给出了在注射过程基于 PID 控制、采样周期为 5ms 的模腔浇口压力的跟踪特性,注射过程采用斜坡变化,基于 PID 控制已能够满足要求。设定值按阶跃变化规律,旨在满足成型较大横截面积制品要求。图 6-11 表明,在注射阶段结束时由于液压系统的非线性,模腔浇口压力出现振荡现象。采用控制器增益适应程控调节控制策略(见图 6-12),即在注射阶段结束时逐渐减小控制器增

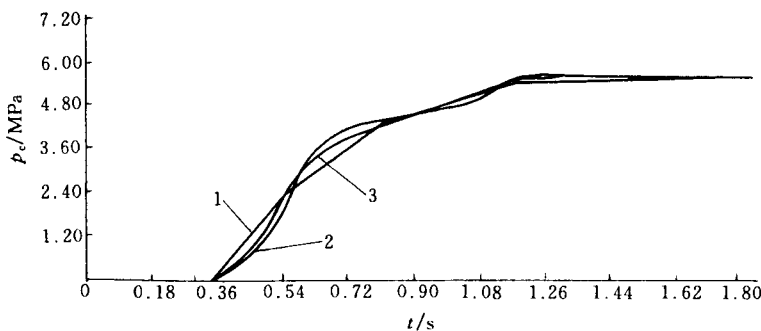


图 6-11 注射阶段 PID 控制浇口压力特性曲线

1—设定值 2—闭环, $K_p=0.12$, $T_i=0.089$

3—闭环, $K_p=0.12$, $T_i=0.098$, $T_d=0.0043$

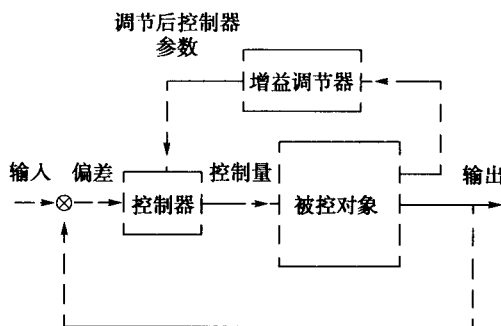


图 6-12 增益适应程控调节控制原理图

益,来补偿系统的非线性,可以获得理想的控制效果。

同理,经推导填充阶段模腔浇口压力离散模型:

$$p_c(k) = (1 - a)p_c(k - 1) + K(1 - a)u(k - 2) \quad (6-61)$$

式中: $a = e^{-T_s/\tau}$

可见,在填充阶段,随着压实程度的不同, p_c 具有非线性。图 6-13、图 6-14 给出 PID 控制模腔峰值压力和保压压力的效果,采

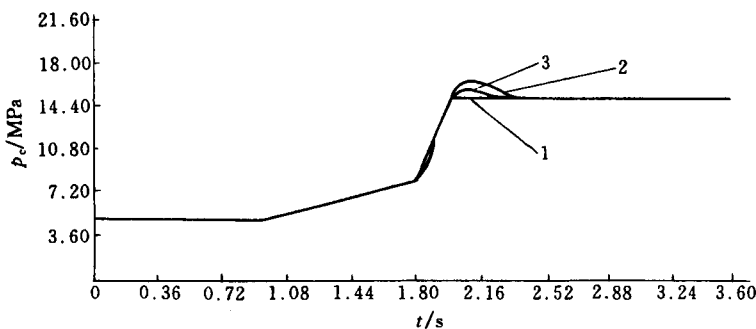


图 6-13 PID 控制模腔峰值压力曲线

1—设定值 2—闭环, $K_p=0.01$, $T_i=0.078$, $T_d=0.043$

3—闭环, $K_p=0.03$, $T_i=0.045$, $T_d=0.009$

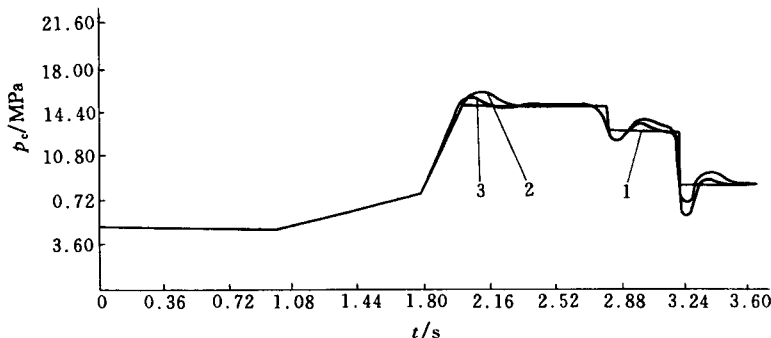


图 6-14 PID 控制模腔峰值压力和保压压力曲线

1—设定值 2—闭环, $K_p=0.01$, $T_i=0.078$, $T_d=0.043$

3—闭环, $K_p=0.05$, $T_i=0.068$, $T_d=0.009$

用增益适应调节方法,可以补偿因非线性带来的峰值超调,准确控制注射转保压切换点。正确选择 PID 控制器参数,可以改善多级保压控制过程,避免出现负超调而引起注塑制品出现中空等不良现象。

采用 Dahlin 控制算法,图 6-15 给出了采样周期为 5ms 时,时间常数 T_r 对控制效果的影响。由于时间常数 T_r 与过程时间常数之间的差异,响应曲线 2、3、4 具有超调,其中曲线 2 超调最大、阻尼最小,曲线 4 超调最小、阻尼最大。图 6-16 给出了采样周期 T_s

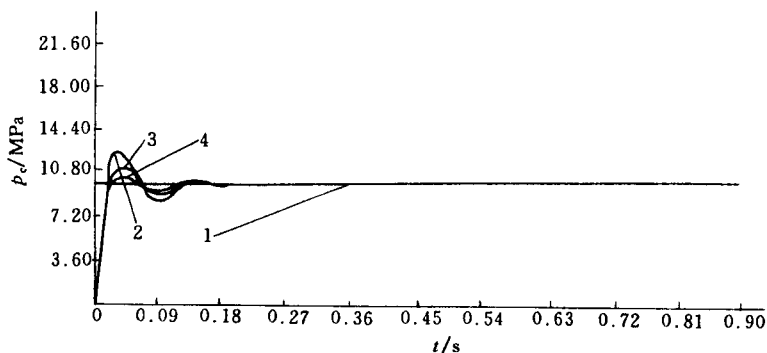


图 6-15 模腔浇口压力 Dahlin 控制阶跃响应曲线

1—设定值 2— $T_s=0.005, T_r=0.007$

3— $T_s=0.005, T_r=0.01$ 4— $T_s=0.005, T_r=0.012$

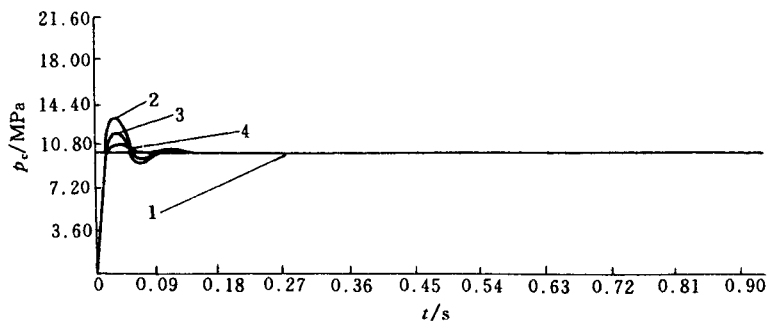


图 6-16 模腔浇口压力 Dahlin 控制阶跃响应曲线

1—设定值 2— $T_s=0.01, T_r=0.005$

3— $T_s=0.01, T_r=0.006$ 4— $T_s=0.01, T_r=0.0075$

为 10ms 时,时间常数 T_i 对控制效果的影响,其中响应曲线 2 超调量最大。图 6-17 给出了 Dahlin 与 PID 控制效果,两种控制算法具有几乎相同的上升时间。

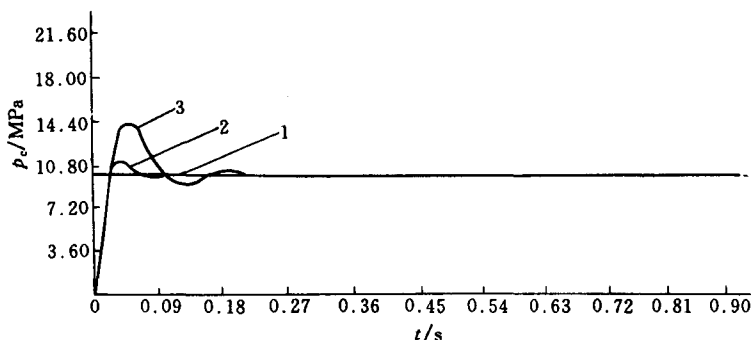


图 6-17 Dahlin 与 PID 控制效果比较

1—设定值 2—Dahlin($T_i=0.01, T_r=0.02$)

3—PID($K_p=0.01, T_i=0.048, T_d=0.003$)

图 6-18 和图 6-19 分别给出了恒定模腔压力梯度和变模腔压力梯度自适应模型跟踪控制(AMFC)对于注射阶段模腔浇口压力的

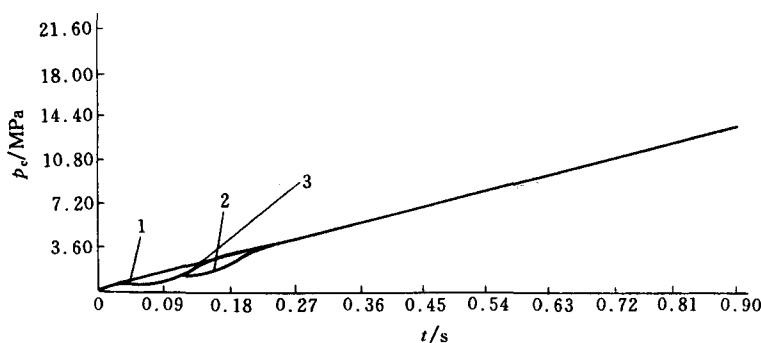


图 6-18 恒定压力梯度 AMFC、PI 控制跟踪特性

1—设定值 2—PI($T_i=0.005, K_p=0.05, T_i=0.0043$)

3—AMFC($f_{11}=f_{12}=f_{21}=f_{22}=1$)

控制效果(曲线 3),以及 PI 控制效果(曲线 2)。可见,在以上两种情况下,AMFC 跟踪特性远远优于 PI 控制。

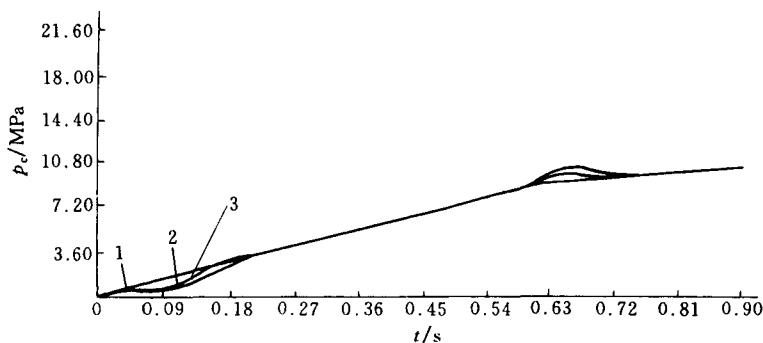


图 6-19 变压力梯度 AMFC、PI 控制跟踪特性

1—设定值 2—PI ($T_s=0.005$, $K_p=0.05$, $T_i=0.0043$)

3—AMFC ($f_{11}=f_{12}=f_{21}=f_{22}=1$)

3. 结果分析

注塑机采用 VT-130/880(有关技术参数见表 6-4 所列)。背压及注射压力检测传感器型号 BPR-2/200(上海华东电子仪器厂产),模腔压力检测用石英晶体传感器 6151(瑞士 KISTLER 产,编号 SN252458、SN252459),两只 $\Phi 8$ 孔安装模腔压力传感器,两只 $\Phi 20$ 孔安装温度传感器(热电偶),用于测模温。

表 6-4 VT-130/880 注塑机主要技术参数

技术指标	技术参数	技术指标	技术参数
螺杆直径/mm	35	塑化能力/(kg/h)	39
注射压力/MPa	156	锁模力/kN	880
注射量/g	112	螺杆内间距	350mm×316mm
注射行程/mm	140	模具厚度/mm	125×315
注射速率/(g/s)	100	料筒加温功率/kW	7
螺杆转速/(r/min)	0~180	温度控制段	3 段

图 6-20 所示为注射成型过程注射缸压力响应曲线,表 6-5 所列为相应基于比例溢流阀、调速阀的系统工艺参数。图 6-21、图 6-22 分别给出了模腔内壁距浇口中心点 10mm 和 50mm 处的模腔

压力分布,具有以下规律:

表 6-5 加工工艺参数

过程 \ 工艺参数	压力/MPa	流量/%	时间/s
注射一级	6.5	60	
注射二级	6	60	
注射三级	8	65	4
保压一级	5	40	4
保压二级	2		3

注:喷嘴温度 245℃、一段温度 220℃、二段温度 190℃

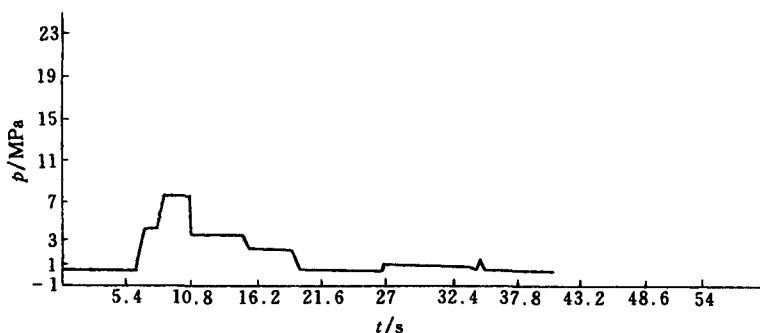


图 6-20 注射缸压力响应曲线

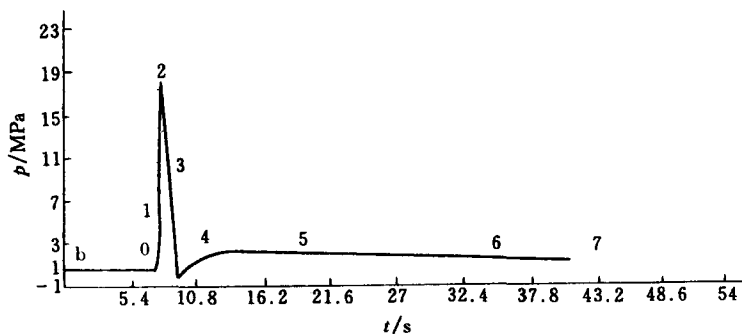


图 6-21 10mm 处测试点模腔压力分布

① 由于阀与管道引起的压力损失,导致比例阀出口压力(即液压系统压力)与注射油缸上测得压力之间存在压差(约为 1MPa);

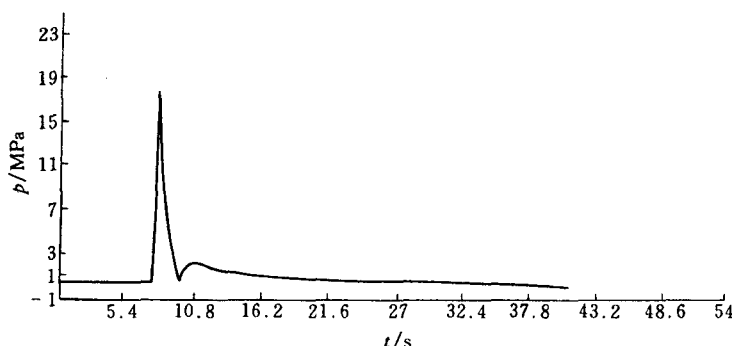


图 6-22 50mm 处测试点模腔压力分布

② 相对于比例溢流阀开度,注射缸压力响应需要一定时间,例如注射压力由 8MPa 提高至 9MPa,注射缸油压响应时间约为 1.35s;

③ 由图 6-21 所示,塑料填充过程分为几个阶段: b—0 段,熔料还没有射入模腔; 0—1 段,熔料由 0 开始进入模腔,模腔压力逐渐增大,至 1 点后模腔被充满;进入 1—2 段,模腔继续被填满、压实,模压迅速增大至峰值;到达点 2 后,即转入一级保压阶段(2—3—4),此时模腔内熔料被压实,并有少量熔料填入模腔,以补充模腔内塑料因冷却而产生的收缩,确保模腔内充满熔料。由于压力切换作用,一级保压引起模腔压力出现了负超调(4 为压力最低点); 4—5 为二级保压作用阶段, 5—6 为冷却阶段,模压逐渐降低,直至残余应力值;到了点 7 后开模,模腔压力迅速降低为零;

④ 保压结束后经一定时间,模腔中残余压力逐渐趋于一恒值,即使延长冷却时间,对于减小残余压力值的效果并不显著。

实验证明,模腔内表面不同点测得的模腔压力信号具有相似的分布特性,距浇口不同距离的两点处测得的模腔压力,二者在峰值大小、响应时间上存在差异,分别达到 2.4MPa 和 0.75s,距浇口越近,模腔压力越大,响应快,残余压力较大。注射压力太低,作用于模腔内壁的模腔压力太小,模腔压力峰值小,注塑制品存在填料不足等缺陷。采用三级注射压力(7.5MPa、8MPa、8.8MPa)、三级流量和二级保压压力(3.2MPa、2.2MPa),及注射时间(5.8s)、保压时间(1.4s、

1.6s)、冷却时间(6s)等工艺参数条件,由于三级注射压力过大而引起胀模,制品明显出现飞边缺陷。改变上述加工参数,制品质量得以改善。

由于三级注射时间(即注射转保压时间)过长(4s),引起注射转保压切换太慢,塑料注射过程出现过冲现象,模腔峰值压力太大,引起胀模和制品明显飞边等缺陷。注射转保压切换时间改为3.6s,模腔峰值压力降低。可见,注射转保压切换控制及其策略,直接影响制品的质量。

由于塑化过程背压过低、料筒温度偏低而引起塑化不充分,或注射成型模腔压力太小,制品内部出现气泡或不完全填充缺陷。

随着注射压力的加大,模腔中残余压力也相应增加;提高料温,在同样的注射压力下,残余压力小。因此,适当提高料温,有助于增强熔料的流动性,减小注射压力,能够满足成型加工要求,同时避免因注射压力过高引起注塑制品残余压力过大,造成制品开裂和翘曲等缺陷。

4. 结论

① 注射成型过程及其控制效果是影响注塑制品质量的关键;

② 注射成型过程具有非线性特征;

③ 基于液压系统压力、喷嘴压力控制注射过程,基于模腔浇口压力控制注射、填充、注射转保压及保压过程,能够获得较常规基于行程、时间及模具变形实施控制更为理想的效果;

④ 注射成型过程分为若干阶段,可获得相应的数学模型,为实施过程控制提供了理论依据;

⑤ 注塑成型过程采用PID及其改良型、Dahlin和AMFC控制算法,在不同程度上获得了理想的控制效果,增益适应程控调节可明显补偿过程的非线性;

⑥ 注射成型过程控制基于以下策略,即:注射阶段最初基于喷嘴压力进行闭环控制,待模腔浇口压力达到设定值时,即刻转为基于模腔浇口压力实施闭环控制,直到模腔浇口压力达到另一设定值、且压力梯度迅速增大,就转为填充阶段,并基于模腔浇口峰值压力作为

注射转保压控制切换点,随后进入保压控制阶段,基于模腔浇口压力进行多级保压控制;

⑦ 模腔压力响应为一动态过程,调节注射成型工艺参数(三级注射压力、保压压力及注射转保压切换时间)可控制模腔峰值压力大小,避免出现过充或填料不足等缺陷;

⑧ 注射压力增加,模腔内壁模压最大值也相应增大,同时,模内残余压力也相应增加。过大的注射压力,成为引起制品出现开裂或翘曲、飞边等缺陷的根源,同时引起制品脱模较困难。适当提高料温,可增强熔料流动特性,降低残余压力,以及注射压力。

第七章 专家系统及其在注塑加工中的应用

第一节 概 述

专家系统(Expert System)作为人工智能的一个重要分支,是由 Feigenbaum 在 20 世纪 70 年代提出来的应用概念。作为一个知识工程软件,专家系统由于在指定应用领域中能够以等同或略高于人类专家的水平成功地解决实际问题,得以迅猛发展,在不到 30 年的时间已经历了第一代、第二代和第三代。

第一代专家系统主要通过将专家的专业知识引入系统,再利用这些专业知识来回答问题,采用手工式的开发途径和 Lisp、Prolog、Ops—5 或 Pop—2 等人工智能语言编程,存在开发周期长、程序通用性差,同时因需要具有高度技能的专家和人工智能设计师参与而极不经济。

第二代专家系统通过把第一代专家系统的重复类同部分统一地变成一个系统,只需要填入专业知识,缩短了开发周期,同时,这种系统通用性强、具有自学习功能,且在问题不能够完全解决时可以给出系统的降级解。然而,第二代专家系统由于仅限于其输入知识部分,而影响求解状况及机器解的质量。

第三代专家系统中增加了机器发明系统,在内向收敛不能得到解时,机器就转入“自动外延”状态,并产生新的假设与途径。这是因为在该系统中形成了分层求解状态,在一般“各自运动”中不能求得解时,系统将会自动转入联想状态,并投入“属性运动”推理中去。

专家系统能在指定域以不低于或高于人类专家水平来解决实际问题,尤其适宜解决参数多、动态性强、隐含规则不清等领域内的问

题,广泛应用于管理、决策、设计、规划、控制等范畴,包括管理工程、工业过程控制等。目前,已开始用于塑料加工,包括注射成型塑料选择、成型设备确定及成型加工过程参数优化等。例如,日本在 1984 年就成功地借助专家系统来选择 44 个种类、3500 个等级的树脂及 7 个种类、2000 多个型号的设备。

第二节 专家系统的组成及其特点

专家系统一般由六个功能环节组成,包括知识获取、知识表达、知识库、知识库管理系统、推理机和解释环节等。

(1) 知识获取 采用人机交互方式获取有关知识,并确保知识获取效率,具有以机器为主、人为从的主从接口关系。机器在自动获取人类专家的专业知识时,通常涉及三个方面的问题急待解决,包括知识源的选取、支持机器学习和保证知识的一致性。

(2) 知识表达 将人类专家以日常方式表达的知识或提出的问题变换为机器易于操作的形式。常用的知识表达方式包括表表达式、逻辑表达式、产生表达式、语义网表达式、框架表达式和过程表达式等。

(3) 知识库 分为若干个“表”,并按照一定结构划分这些表以便于问题求解和比较,由分层知识库、事实库、规划库、策略库、置信库及典型例库组成。知识库中事实知识是最基本要素,并由规则控制事实知识,策略控制规则。典型方法例形成单独的库,以供求解类似问题时调用;置信测度库依附于事实、规则和策略。知识库往往配有知识库管理系统,便于知识的增减、删除、修改等操作。

(4) 推理机 利用知识库储存的内容来求解实际问题,常用的推理方式包括在 20 世纪 50~70 年代初采用的最经典的逻辑演绎法,到 60~70 年代初采用的状态链推理,以及目前广为采用的基于 Dempster-Shafer 模型的不精确推理方法。

第三节 注塑材料数据库及其特点

一、注塑材料数据库

数据库通常由数据和数据库管理系统两部分组成。随着我国塑料生产工业、塑料加工工业以及相关产业的发展,迫切需要建立不同的注塑材料数据库,以便能够迅速完成对大量相关物理数据的加工处理,为塑料工业提供科学的指导和服务。

注塑材料数据库已用于辅助工程技术人员设计和选择塑料,由图 7-1 可见数据库在现代塑料加工业中的中心作用,已远远超出了材料手册的传统概念,并成为计算机辅助材料工程的一个最重要的基础和先决条件。当然,还需要配以与其他系统的接口。

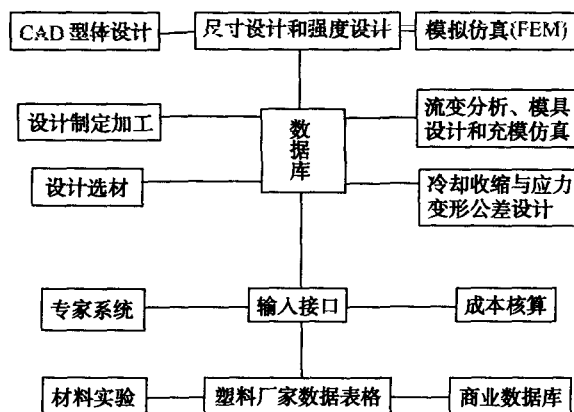


图 7-1 数据库在现代塑料加工业中的作用

二、塑料材料数据库现状

塑料材料数据库发展至今不外乎两类,一是多用户的大型计算机数据库,以有偿终端方式提供数据服务;另一类是基于 PC 机的分立数据库,数据和程序的载体为软盘。表 7-1 列举了在西欧市场上已运

行的数据库,可见分立的数据库具有更强的竞争优势,尤其是 Bayer、BASF、Hoechst 和 Huels 四家著名的化工公司联合开发的统一数据库,成为 1992 年统一欧洲的规范性塑料材料数据库,发展更为迅速。

表 7-1 西欧市场上已在运行的塑料材料数据库

数据库名称	研制开发 或推广者	计算机 类别	数据量	特征值 材料牌号	函数功能	使用环境
POLYMAT	DKI	大型机	2 500	200	无	Modem/PC
EDD	General Electric	大型机	>100	—	有	Modem/PC
PLASPEC	Plastics Tech.	大型机	9 000	56	无	Modem/PC
RHEODAT	BASF	PC 机	270	2	有	Modem/PC
RP3L	Rhone - Poulenc	PC 机	76	35	无	PC
CAPS	Polydata	PC 机	>4 000	87	无	PC
EPOS	ICI	PC 机	600	≈50	无	PC
DACAPO	AKZO	PC 机	121	19	无	PC
PLASCAMS	Rapra Tech.	PC 机	220	43	无	PC
THERMFIL	Thermfil	PC 机	450	26	无	PC
CAMPUS	Bayer、BASF、 Hoechst、Huels	PC 机	1 000	0	无	PC

三、塑料材料数据库设计及应用

数据库已广泛用于众多工业领域,包括汽车工业、电气应用行业、建筑行业、航空业及包装行业。数据库设计除了必须符合通用性要求外,还应满足以下要求,即:

① 数据库包括原料数据库和应用数据库,采用图 7-2 所示接口形式。通过应用数据库,用户能够了解某种塑料在某特定场所的详细应用情况,也可以通过材料数据库查询其原始应用特性;

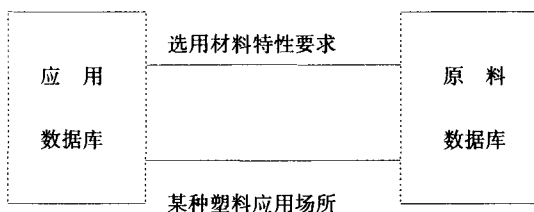


图 7-2 数据库接口

② 数据库采用动态形式,便于随时增减、修改数据,操作由菜单提示,具有良好的人机交互功能;

③ 基于成组系统,采用将塑件逐级分类的树形结构;

④ 针对分布广泛的塑料工业,建立基于 PC 机的分立式数据库;

⑤ 由于受到 PC 机资源的限制,诸如内存容量、运行速度等,为了提高运行效率,数据库的建立方式(数据结构)及查询方式(数据关系)也极为讲究。同时,数据的容量也不必过分全面,而应根据需要力求精简和全面,并注重数据本身的质量、数据之间的实用性和统一性,建立相应的录入标准或条件;

⑥ 数值型数据库虽然能够定量给出某一品种、某一牌号塑料相应的熔体流动速率、密度、弹性模量及拉伸强度等基础性能数据,还给出生产厂家,但不能对基础性能进行运算和分析,因而难以满足实际应用中对于其他功能选择的要求。这就需要建立具有运算功能的函数型塑料材料数据库,具体步骤是使塑料材料的性能表征函数化,即:结合材料测试技术、曲线拟合技术,以及材料基础性能的唯一象分析和结构分析,确定材料性能与限定因素之间的依赖关系,以及材料性能之间的依赖关系。

第四节 注塑原料选择专家系统

一、选择注射成型原料一般性方法及程序

实际工作中选择塑料大多基于实际经验,而不仅限于塑料特性本身。图 7-3 给出了确定塑料的典型程序,以设计、加工一个手柄为例,除了考虑到几何尺寸及承载能力(机械、热)要求外,再加上加工特性、颜色、外观、光泽、耐磨性及疲劳强度特性等,同时,基于类比设计方法,例如设计熨斗、锯子、电话机、摩托车、自行车及车门把等,凭借经验设计。

然而,这一方法存在以下不足,远远满足不了实际工作的需要:

① 由于人的干预过多而带有极强的主观性,难免存在一些问题。诸如面对品种繁多的塑料,要选取一种适合具体实际应用的材料

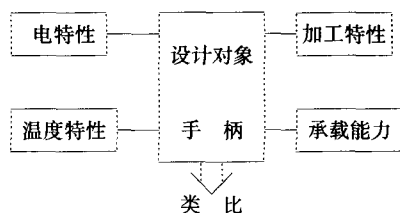


图 7-3 传统典型类比设计流程

极为不易,甚至难以找到;

② 由于方法上的原因,效率极低,周期长,影响实际生产;

③ 由于技术人员在塑料品种、性能等方面知识的局限性,难免出现选材不合适、选择的塑料制品满足不了要求,或者在模具设计、制品成型过程中出现问题,只得重新选材、设计、成型,造成时间、人力和物力的浪费。

微机技术及专家系统的发展和普及应用,通过建立塑料材料品种、性能数据库,并结合具有丰富实践经验和理论水平的塑料材料专家的知识以建立知识库,通过推理机的判断、推理来选择塑料材料,具有相当于专家的知识 and 经验水平,以及解决实际问题的能力。

二、注射成型原料选择专家系统设计

1. 系统组成框图

作为图7-4所示塑料成型专家系统的一个子系统,注射成型原料

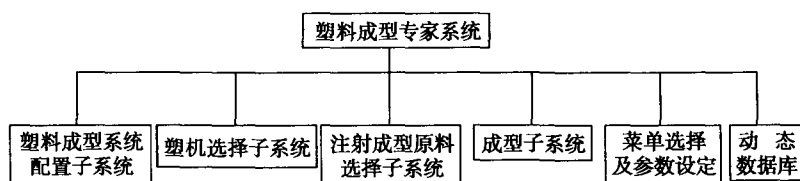


图 7-4 塑料成型专家系统组成

料选择专家系统采用图 7-5 所示结构,其中:

① 知识获取接口供专家使用,输入知识库元素,同时完善选择

塑料材料经验的知识库,增减、修改和删除库存知识;

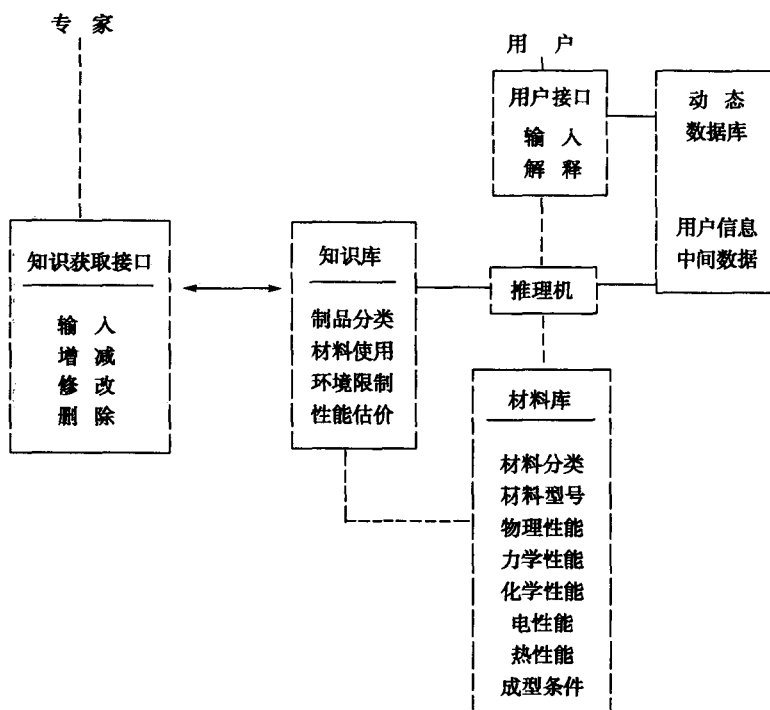


图 7-5 注射成型原料选择专家子系统结构框图

② 知识库存贮的有关注射成型塑料选材知识包括塑料制品的分类知识、材料使用知识、使用环境限制知识和性能估价知识。图 7-6 给出了这种基于成组系统塑料制品分类的树结构;

③ 材料库由塑料分类及型号、塑料性能参数和注射成型条件三方面内容组成。其中,注射成型塑料分为结构塑料、耐磨塑料、电气塑料和防腐塑料四大类,再按塑料件的工作环境逐级细分,形成图 7-7 所示树结构;注射成型塑料性能参数包括物理、力学、化学、电和热特性等,一方面可供塑料分类选材,另一方面供设计注射模具和塑料成型加工用;注射成型条件数据包括预干燥方法、加热形式、料筒预塑温度、模具温度、注射压力和速度、喷嘴直径和模塑周期等,用于

确定注射成型条件,制定注射成型工艺和设计注射模具;

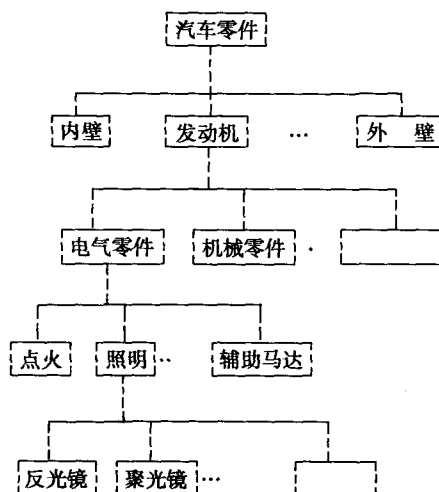


图 7-6 塑料制品分类的树结构

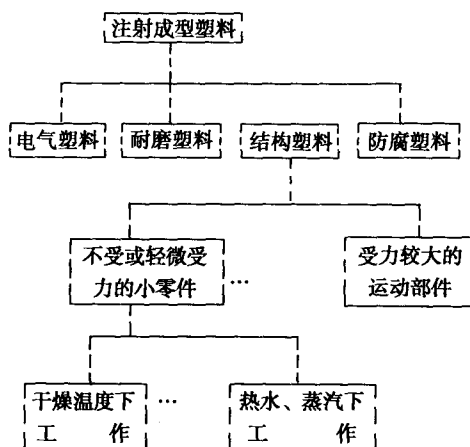


图 7-7 塑料分类树结构

④ 数据库以动态方式随时供存取、修改、编辑等,并以数据文件方式储存在磁盘中,具有数据库大小不受限制等特点;

⑤ 人机交互用户接口供用户与专家系统对话,输入塑料制品类型、使用环境等有关信息,并存入动态数据库,与知识库中的知识一起供推理机推理用;

⑥ 推理机根据塑料材料选择推理机制,通过应用知识中的有关知识和用户信息,选择适合具体实际应用的塑料材料。

2. 开发工具选择

专家系统通常采用 Prolog、Lisp 和 Ops5 等人工智能程序设计语言编制。以 Turbo Prolog 为例,由于其内部包含一个子程序,并提供搜索和模式匹配功能,为专家系统的推理过程提供了强有力的支撑。然而,有许多现已成熟的软件包大多由 C、Pascal、Fortran 等传统的程序设计语言编制,例如,采用当今最为流行的结构化语言 C、面向对象及因特网(Internet based)编程语言,一方面可与现有软件包连接,同时也可方便地集成到现有塑料注射成型 CAD/CAM 系统中。

3. 人机界面设计

专家系统人机交互采用图 7-8 所示下拉弹出窗口式菜单,借助光条及功能提示可方便地操作使用,同时具有信息容量大、可操作性强等特点。

文件选择	数据库管理
选择塑机	增加数据
选择材料	修改数据
成型过程	删除数据
系统配置	数据编辑
手册查寻	数据打印
成本分析、核算	

图 7-8 主菜单界面

4. 不精确知识表达

注射成型塑料选择过程存在许多不确定的、模糊的知识,包括不精确事实、不精确规则和不精确推理三类。

(1) 不精确事实 即为主要的塑料材料性能估价知识,性能值从 0~9 中取值,用以表示各种塑料材料间性能的相对优劣。塑料材料性能估价知识表达为:

$$V_A = \text{性能值} \quad (7-1)$$

(2) 不精确规则 指的是知识库中的塑料材料使用知识,表示某种塑料材料用来制作某种类型制品的可能程度,置信度从 0~9 中取值。塑料材料使用不精确规则表达为下式:

$$C_F = \text{置信度} \quad (7-2)$$

(3) 不精确推理 采用变通推理机制,选用材料(K)得分表示为:

$$R_E = \Pi\{[W_E(i) - \text{中点 1}] \times [\text{材料}(K) \text{ 的 } P_E(i) \text{ 的性能值} - \text{中点 2}] + \text{移动项}\} \quad (7-3)$$

式中 $P_E(i)$ ——注塑制品重点要求的塑料材料性能,在 0~9 中取值,塑料材料价格也综合作为一项材料性能,以性能价格比表示

$W_E(i)$ ——制品对塑料材料性能重点要求的程度,在 0~10 中取值

移动项——用以保证 R_E 为正的最小数,取 46

中点 1、中点 2——用以调整制品对于塑料材料某种性能的要求及程度,分别取值 0 和 4.5

5. 举例

塑料材料选择采用图 7-9 所示菜单式人机交互方式。以选择电视机外壳材料为例,其交互过程为:

① 输入制品所属类型,选择结构件、摩擦件、电气件或防腐蚀件;

② 输入制品使用情况,选择基本不受力或只受轻微载荷的部件、受较大力的运动部件、大型壳体 and 贮槽、塔器、管路;

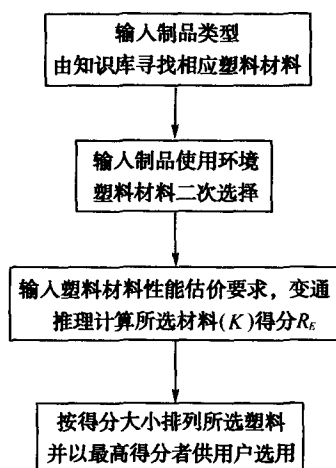


图 7-9 塑料材料选择流程

③ 输入制品使用环境,选择与热水、蒸汽接触、干燥温度、透明、较大外壳、外壳和其他;

④ 变通推理,显示输出优选塑料是 ABS。

第五节 注塑机选择专家系统设计

一、注塑机选择原则与方法

注塑机选择的原则是技术上先进、经济上合理,并满足制品质量要求。通常,需要全面衡量机器的技术经济特性,并遵循以下原则:

① 制品质量要求。包括内在质量(制品的物理和化学性质及其均匀性)和外在质量(几何形状、尺寸精度、质量精度、外观和色泽等);

② 机器的生产效率。包括注塑机的加工能力(注射量、注射功率)、注塑机驱动能力(移模速度、机器循环次数)和自动化程度;

③ 能量消耗。包括注塑机的加热功率和驱动功率两部分;

④ 机器的使用寿命。取决于预塑熔化装置、注射装置、合模装置及电控系统等的使用寿命,要求机器成本低、使用寿命长、维护费

用低和操作方便;

⑤ 注塑机的通用性和专用性。若加工范围广(不同聚合物、不同产品),选用通用性强的注塑机。

注塑机的选择步骤如下:

① 选择注塑机类型。注塑机发展很快,类型不断增加,分类方法有许多种(见表 7-2 所列);

表 7-2 注塑机分类

分类依据	类 别 及 特 点
塑化方式	柱塞式、螺杆式注塑机
传动方式	液压式、机械式、机械液压式注塑机
操纵方式	自动、半自动、手动注塑机
外形特征	立式、卧式、角式、多模注塑机
加工能力	超小型: 合模力小于 200~400kN(注射量<30cm ³) 小 型: 合模力在 400~3 000kN 范围(注射量在 60~500cm ³ 范围) 中 型: 合模力在 3 000~6 000kN 范围(注射量在 500~2 000 cm ³ 范围) 大 型: 合模力在 8 000~20 000kN 范围(注射量大于 2 000cm ³) 超大型(巨型): 合模力大于 20 000kN
机器用途	通用型: 普通热塑性注塑机 专用型: 热固型注塑机 发泡型注塑机 排气型注塑机 多色注塑机 高速注塑机 精密注塑机 鞋用注塑机 螺纹注塑机 注吹成型机 注拉吹成型机 伸缩动态式注塑机 反应注塑机

② 注塑机规格、型号选择。表示注塑机规格的主要参数有注射容量和合模力,其中注射容量用机器的标准螺杆的 80% 理论注射容量作为机器注射容量。由于该容量随螺杆直径而改变,同时,与加工的塑料性能和状态有关,因此,不能够仅从注射容量数值的大小来直接判断两台注塑机的规格大小。目前,大多采用合模力表示法,虽然

该法并不直接反映注射制品体积大小,不能表示机器在加工制品时的全部能力及规格的大小。注塑机规格确定后型号也相应定下来,表 7-3 列举了江苏某机械有限公司 SK 系列八种规格注塑机的主要参数;

表 7-3

注塑机参数表

机 型 项 目		SK - 63		SK - 250		SK - 800		SK - 1250	
		A	B	A	B	A	B	A	B
注射装置									
理论注射容量/cm ³	73	100	672	800	4 132	5 000	6 817	8 000	
螺杆直径/mm	30	35	55	60	100	110	120	130	
注射压力/MPa	206	151	167	141	161	133	156	133	
塑化能力/(g/s)	8.1	11.1	32.4	38.6	91	111	154	181	
合模装置									
合模力/kN	630		2 500		8 000		12 500		
拉杆有效间距/mm	355		600		1 000		1 250		
合模行程/mm	320		510		1 200		1 500		
其 他									
主马达功率/kW	11		30		55×2		37×4		
电热功率/kW	10		25		50		70		

机 型 项 目		SK - 2000		SK - 3200		SK - 4000		SK - 5000	
		A	B	A	B	A	B	A	B
注射装置									
理论注射容量/cm ³	14 063	16 000	28 880	32 000	28 880	32 000	28 880	32 000	
螺杆直径/mm	150	160	190	200	190	200	190	200	
注射压力/MPa	155	136	144	130	144	130	144	130	
塑化能力/(g/s)	297	338	376	417	376	417	376	417	
合模装置									
合模力/kN	20 000		32 000		40 000		50 000		
拉杆有效间距/mm	1 600		2 000		2 240		2 500		
合模行程/mm	1 900		2 300		2 500		2 800		
其 他									
主马达功率/kW	55×4		55×5		55×5		55×5		
电热功率/kW	90		110		110		110		

③ 根据生产规模、产品质量要求来确定注塑机的技术经济性指标。这是反映机器驱动能力、尺寸与质量的特征参数,包括移模速度、机器循环次数、机器总功率、机器重量与外观尺寸等,总体要求成

本低、高效、低能耗。

二、注射成型机选择专家子系统

1. 数据结构

知识库存放有关注塑机的若干知识及其属性、规则等,其中,数据项按链表存贮,采用 B+ 树型结构。这是因为 B+ 树是一种平衡树,每一关键字到终结点的距离相等,且每一关键字存贮、分类所需时间很短(仅数秒),因此适用于大型工程数据排序和分类。

2. 推理机制

采用反向链式推理机制选择注塑机,所遵循的规则包括“注塑机类型”、“标称合模力”、“理论注射容量”、“标称注射压力”、“模具高度”、“安装、拆换性”、“外型尺寸”。其中,不确定知识经过量化,在 0~9 中取值。

3. 推理过程

以选择某一特定要求注塑机为例来说明其推理过程。由于具备良好的人机交互功能,因此,使用该系统时,用户不需要回答专业和技能性强的问题,程序操作过程仅仅借助菜单及功能提示进行。具体如下:

① 选择注塑机类型。可以在“立式”、“卧式”、“角式”和“多模”选项中选择“立式”;

② 选择注塑机合模力。可以在“小于 400kN”、“400 ~ 3 000kN”、“3 000~6 000kN”、“8 000~20 000kN”、“大于 20 000kN”选项中,选择“小于 400kN”;

③ 选择理论注射容量。可以在“小于 30cm³”、“60~500cm³”、“500~2 000cm³”、“大于 2 000cm³”选项中,选择“小于 30cm³”;

④ 选择注射压力。“厚壁制品,注射压力不超过 70MPa”、“塑料粘度较低、制品形状一般、精度要求不高,注射压力在 70~100MPa 之间”、“塑料具有高、中等粘度,制品精度要求较高,注射压力在 100~140MPa 之间”、“塑料粘度高,制品精度高,注射压力在 140~180MPa 之间”、“精密制品,注射压力在 230~250MPa 以上”

选项中,选择“塑料粘度较低、制品形状一般、精度要求不高,注射压力在 70~100MPa 之间”;

⑤ 选择模具高度。在“50~60mm”、“60~70mm”、“70~100mm”、“100~130mm”、“130~150mm”、“150~165mm”、“165~180mm”、“180~200mm”、“200~250mm”、“250~280mm”、“280~300mm”、“300~355mm”、“355~406mm”、“406~450mm”、“450~600mm”、“600~800mm”、“800mm 以上”选项中,选择“100~130mm”;

⑥ 安装、拆换难易要求。在“0~9”中选择“8”;

⑦ 外型尺寸要求。在“0~9”中选择“8”。

经推理后,计算机显示输出结果为:SK—63A 型注塑机。

第六节 专家系统用于注射成型过程参数优化

一、注射成型过程参数确定常规方法

由于影响注射成型制品质量的因素有许多,包括塑料原料特性、模具质量、成型设备及成型过程控制等,尤其是后者,由于直接与制品质量有关而显得更为重要。

通常,成型过程控制决策大多直接依赖于操作者的经验等,而不是对制品缺陷的理论分析研究,这难免带来一系列问题,一是对操作人员的要求较高;二是由于制品缺陷通常并非一次就能够克服,而往往需要经过多次试模,并由人工反复进行调整,不仅花费更多的时间,有时还难以获得理想的结果。

二、注射成型过程参数优化专家系统设计

确定注射成型加工最佳条件非常重要。利用计算机和人工智能技术,通过获取该领域专家积累的知识或其专门技能和知识,并存入知识库系统,来优化成型加工条件。这样,注塑加工工艺条件更容易确定,不受操作者实践经验和技能限制。事实上,优化成型工艺往往需要经过多次实验后才可达到,即针对制品缺陷需要采取一系列纠

正和改进措施。

采用多维矩阵法描述过程参数与专家知识的关系,并组成知识库。多维矩阵包括以下四个矩阵:

① 基本决策矩阵。表 7-4 列举了制品缺陷与优先决策之间的关系;

② 决策—结果矩阵。表 7-5 列举了采取对策后制品缺陷状态与下一个决策之间的关系;

表 7-4 基本决策矩阵

优先决策编号	制 品 缺 陷			
	缺陷 A	缺陷 B	缺陷 C	...
1	a	e	i	...
2	b	f	j	...
3	c	g	k	...
4	d	h	l	...
	.	.	.	

注: a, b, c, ...: 决策

表 7-5 决策—结果矩阵

优先决策编号	采取决策措施后制品缺陷状态				
	改进	无效	出现其他缺陷	其他缺陷存在	其他缺陷无效
2	2	B-3	R-2	R-2	MTC-4
3	2	B-2	R-3	R-3	MTC-4
4	4	4	R-4	R-4	MTC-4
5	MKC-5	5	R-6	—	—
6	MKC-6	6	R-7	—	—
	.	.	.	.	.

③ 过程检测矩阵。表 7-6 列举了制品产生缺陷的过程和下一个决策之间的关系;

④ 决策检查矩阵变化过程。表 7-7 列举了决策变化过程的关系。

表 7-6 过程检测矩阵

子矩阵	制品缺陷出现过程	
	注 射	保 压
MKC-5	2	MRC-5
MKC-6	2	MRC-6

表 7-7 决策检查矩阵变化过程

子矩阵	采取决策过程			
	6-5	6-5	5-6	5-6
MRC-5	7	6	—	—
MRC-6	—	—	7	5

专家系统库存知识由专家输入,推理过程中用到了上述矩阵。图 7-10 所示为优化注射成型条件的流程,首先要输入信息,包括制品形状、成型材料、注塑规格及模具等,然后,专家系统再从相应数据库和材料数据库中搜索初始条件。生产过程中根据制品质量来改变初始条件,即将制品缺陷状态输入专家系统,同时,由专家系统自己

提出优化建议,并借此来改变注塑机过程参数。

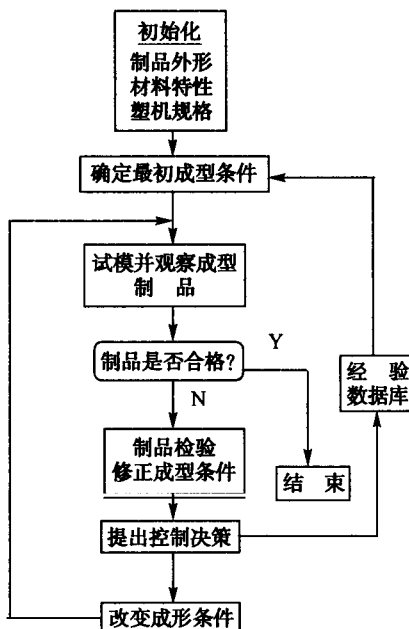


图 7-10 确定最优成型条件流程

经实际生产验证,通常只需调整五次后就可以获得合格制品。

值得一提的是成型系统配置、塑机和原料选择结果还需要结合成本分析和核算子库进行优化。

近几十年来,以符号为基础的专家系统得以迅速发展,应用领域逐渐扩大。在塑料成型加工中的应用尽管才开始,但具有更为巨大的潜力,正逐渐得以完善和成熟。

然而,由于现行的 Von Neumann 计算机固有的“瓶颈”问题(即计算和推理完全集中在 CPU 中,而完成计算和推理所需要的知识则放在存储器中),使得现有的专家系统不可避免地存在下面几个主要问题:

- ① 知识获取的“瓶颈”问题;
- ② 缺少深层的、本质的和理性的知识;

③ 通常还不具备联想记忆和自学习功能,不能随环境更新知识和用联想的方法进行推理;

④ 知识越多,推理速度越慢,效率越低。

由于神经网络具有信息的分布式存储、并行处理、自学习和自组织,以及实时处理等特点,使得将神经网络用于专家系统时,可用大量的神经元及连接权的分布来表示一些特定的概念和知识,也可用一些特定有效的学习算法从专家给出的实例及相应解中获得知识。在推理上,神经网络更具有独特功能,如对于一前向网络,网络能对于一给定的输入模式,在输出层各单元产生相应的输出,即各输出单元表示的概念被同时计算出来,完成并行推理。此外,网络对相似的输入能产生相似的输出,即联想推理。可见,神经网络的出现为克服现有符号专家系统的主要问题提供了一条有效途径。在塑料加工领域中开发基于神经网络的专家系统更具有较大的诱惑力。

第八章 注塑机计算机辅助设计与计算

第一节 概 述

现代设计运用先进的科学技术原理和方法,对产品进行综合集成设计计算,是传统设计的延伸和发展。现代设计方法具有综合性、系统性、社会性、创造性、最优化、动态性、宜人化、智能化、计算机化等特点,必须遵循面向社会、面向市场、面向用户的三面向设计原则,产品全寿命周期设计和广泛性原则。现代设计一般分为产品规划、原理方案设计、技术设计和施工设计等四个步骤,传统设计方法往往过早地进入具体的原理方案设计,缺少产品规划或规划不充分、不完整,造成原理方案设计不全面,缺乏创意,无法获得最优设计方案。现代设计方法注重将各种先进的原理和技术运用到具体设计,同时,更注重产品的规划,使产品能更好地适应社会和市场的变化。

现代设计理论和方法包括计算机辅助设计、人机工程、设计方法学、系统分析法、并行工程、工业造型、技术预测法、反求工程设计、智能工程、优化设计、信息分析法、工程遗传算法、可靠性设计、相似性设计、创造性设计、模糊评价与决策、三次设计、有限元法、模块化设计、人工神经元计算方法、价值工程、动态设计、摩擦学设计、防腐设计、可维护性设计、稳健(Robust)设计等。

1. 工程设计

运用科技知识和方法有目的地去创建工程产品的构思,制定相应的实施计划。工程设计涉及人类活动的全部领域,包括生产工具、生活资料、电子产品和软件设计等。通常,工程设计的费用尽管只占最终产品成本的很小一部分,然而,工程设计对产品的先进性和竞争能力起着决定性的作用,并决定了 70%~80% 的制造和营销成本。因此,工程设计是现代社会工业文明的最为重要的支柱,是工业创新

的核心环节。工程设计的水平和能力是决定一个国家和地区工业创新和竞争能力的重要因素。

无论是河姆渡文化还是仰韶文化,其遗址中出土的文物都表明工程设计的历史与人类的文明同步,大致分为以下几个时期;

① 工业革命前,设计过程尚处于经验、逻辑和灵感思维阶段,人们主要根据前人的经验和自身对客观事物的理解和思考,采取经验、思维加试验的途径进行设计;

② 20 世纪 40 年代以后,计算机的出现使数学方法和数值计算成为现代工程设计的基础,设计方法学开始形成;

③ 20 世纪 60 年代,明确地将设计过程分为方案设计、技术设计、工艺设计三个阶段,工程设计已不再是单纯依赖经验和灵感的创造艺术,而是逐步演化为一门科学,并以知识为依托、以科学方法为手段的工程创新活动;

④ 进入 20 世纪 80 年代,工程设计通过引入系统科学、信息科学的理论和方法,更广泛地采用现代数学方法和计算技术。工程设计的对象更多地来自精密机械、传动与控制学和电子装置与微机的综合,设计目标被综合为功能、质量、成本的系统优化,并通过选择物理效应的方案,进行结构设计、材料选择、优化分析与工艺设计规划、可靠性设计和成本估计等系统评价来实现。这些标志着工程设计进入了系统工程、系统优化和计算机辅助设计的现代工程设计阶段。

现代工程设计涉及设计过程的数字化、并行设计、协同设计、面向集成制造和分布式经营管理的工程设计、面向环境与生态的绿色设计,以及综合智能优化设计等多方面。例如,由于设计对象的复杂性、系统性和综合性,使得设计寻优目标出现了系统化和综合化趋势,优化目标已从局部走向系统与整体,从单目标走向多目标综合。由于设计对象是多变量、多目标、多个约束条件的复杂系统,因此,解决综合优化问题的方法为基于知识的人工智能建模与寻优,并采用新的数学方法和理论,依托多媒体虚拟现实技术(VRT)建立人机一体化智能综合优化技术体系。

2. 智能设计

智能水平就是在各种环境和目标的条件下,正确制定决策和实现目标的能力。智能工程是一种适用于工业决策自动化的技术。因此,智能设计是智能工程这一决策自动化技术在设计领域中应用的结果。利用计算机辅助决策,要求计算机能够自动处理各种知识,实现决策自动化。智能工程必须解决如何利用复合的知识模型来代表人类社会的各种决策活动,以及如何利用计算机系统来自动处理这些复合知识模型,从而实现决策自动化等。智能工程是智能设计的关键技术和基础,而智能设计则是智能工程的重要应用领域。

(1) 智能设计的发展历程及趋势 智能设计的发展与 CAD 的发展有着密切的联系。在 CAD 发展的不同阶段,设计活动中智能部分的承担者是不同的。传统 CAD 系统只能处理计算型工作,设计智能活动是由人类专家完成的。在智能 CAD 阶段,设计智能活动是由设计型专家系统完成的。但是,由于采用符号推理技术的专家系统求解问题的能力存在局限性,使得设计对象的规模和复杂性均受到一定限制,导致智能 CAD 系统完成的产品设计工作主要还是限于常规设计,只不过借助了计算机支持,大大提高了设计效率而已。为了满足集成化和开放性要求,智能活动通常由人机共同承担,这就是人机智能化设计系统。该系统不仅可以胜任常规设计工作,而且还可以支持创新设计。因此,人机智能化设计系统是针对于大规模复杂产品设计的软件系统,具有面向集成的决策自动化和高级设计自动化特征。

智能设计历经了设计型专家系统和人机智能化设计系统两个发展阶段,特别是人机智能化设计系统有待作进一步探索研究,其定义存在不确定性。因此,智能设计系统涉及范围较广。通常,最简单的智能设计系统是严格定义下的设计型专家系统,它只能处理单一设计领域知识范围的符号推理问题。完善的智能设计系统是人机高度和谐、知识高度集成的人机智能化设计系统,具有强大的自组织能力、开放型体系结构和大规模知识集成化处理环境。

(2) 智能设计的制约因素 利用计算机系统可以实现的决策自动化程度受到两个因素制约,一是能在何种水平上建立起代表决策

过程的知识模型,再就是计算机处理这种知识模型的能力。

就设计活动而言,建立决策过程的知识模型主要包括有关设计规律性的知识。通常,这些客观规律有的已经被认识,有的还未被认识。在已被认识的规律中,有的可以用适当的模型来表达,如数学模型或符号模型,有的还不能找到适当的表达形式。对于那些还未被认识的规律则无法建立相应的知识模型。这就说明在智能决策自动化系统中,一般都包括人类专家。即使将来能够完全认识到人类专家认知活动的规律性,计算机也不一定具备专家特有的某些能力,例如创造性。随着智能工程理论与技术的发展,以及人们对设计过程规律认识的深入和提高,建立知识模型和利用计算机系统来处理知识模型的能力将得以增强,同时,智能设计水平也将得到进一步提高。

3. 稳健设计

在研究不同产品的设计方案后,发现不同的设计方案对于制造误差的敏感程度不一样。一些设计允许比较大的误差,而另一些允许的误差相对较小。前者的优越性表现在较容易生产,不需要很精确的生产过程就能达到质量标准,因而生产成本较后者低。这就是稳健设计的基本思想。实际上,除了控制误差之外,影响产品质量的偏差源还包括环境变化带来的偏差、使用条件不同造成的偏差等,这些偏差都可以用稳健设计的方法加以补偿。

大批量生产时,难免会产生误差,影响产品的质量。生产线质量控制是通过监测及调节生产过程的方法来解决的,即把质量控制从对最终产品的检验提前到对产品生产过程的控制,因而也就提高了质量控制的有效性。但当控制参数过多或允许的误差很小时,生产过程的控制往往很困难。稳健设计主要用于解决这些问题。一般而言,在设计阶段就对产品质量进行控制最为有效。由于质量控制提前到产品设计阶段,因此,稳健设计有助于提高产品的质量和竞争力。

(1) 稳健设计方法 包括正交试验法和工程分析法两种。其中,前者在选择一组设计参数时经过正交试验并比较不同的参数组合,用统计学方法找到最佳组合,最后,再通过实验加以证明。这种

最佳组合应该能够最大限度地允许在生产或使用过程中产生的偏差。后者通过数学模型分析产品对偏差的敏感程度,并据此确定最佳的产品设计方案,采用该方法后,工程师不必经过统计学知识的特殊训练,就完全可以理解和应用其基本概念和方法,因而易于推广。采用数学模型取代实物,使得稳健设计工作可以在没有实物的情况下进行,真正实现了虚拟现实设计。

(2) 稳健设计的应用及条件 稳健设计在制造业的应用非常广泛。例如,日本丰田汽车公司早在 20 世纪 60 年代就率先应用稳健设计的基本思想来提高其产品质量,并使得采用稳健设计成为该企业增强产品竞争力的战略之一。再如,美国的汽车公司自 20 世纪 80 年代后期开始推广稳健设计,迄今已初见成效。

稳健设计的推广应用并不依赖于高科技,零部件、手工生产、机器制造等都可以通过稳健设计来提高质量。由于我国工程技术人员在工程分析方面已有一定基础,因此,针对我国机械制造业的现状,推广稳健设计并采用工程分析法是可行的。

第二节 计算机辅助设计方法

一、基 本 概 念

计算机辅助技术是利用计算机系统辅助工程人员进行工程和产品的设计、制造、管理,实现产品最佳效果的一种技术,包括 CAD、CAM、CAE 和 CIMS 等典型应用。其中,CAD 包括产品规划、建模、工程计算分析、模拟与试验、自动绘图、工程数据库的管理与共享和编写技术文件等;CIMS 以 CAD/CAM 为核心,集 CAD、CAM、物料资源规划(MRP)、管理信息系统(MIS)和自动化工厂(FA)等为一体。

随着计算机软硬件的发展,计算机辅助技术已广泛运用到宇航、汽车、飞机、船舶、机械、电子、建筑、轻工及军事等各个领域。

二、计算机辅助设计技术

CAD 是指以具有高速计算能力和显示图形功能的计算机为工

具进行设计信息处理的总称。CAD 系统支持设计过程的各个阶段,即从方案设计入手,使设计对象模型化;依据提供的设计技术参数进行总体设计和总图设计;通过对结构的静态或动态性能分析,最后确定技术参数;在此基础上,完成详细设计和产品设计。所以,CAD 系统支持包括创新、变型、分析、综合和模拟等各项基本设计活动。

一个完善的 CAD 系统应具有快速计算、分析能力,生成、处理图形能力,存贮程序、数据和快速检索能力,输入、输出信息能力,以及良好的人机交互功能等。CAD 系统由设计者、硬件系统和软件系统三部分组成。其中,硬件系统包括计算机及其外围设备(输入设备包括光笔、数字化仪和扫描仪等,输出设备包括绘图机、打印机等);软件系统由系统软件、支撑软件和应用软件组成。设计者的创新能力、想象力和经验在 CAD 系统中起着主导作用,通过人机对话方式控制和操纵 CAD 过程,从而完成设计计算、绘图、模拟和试验等任务。

三、计算机辅助设计与计算机辅助制造一体化技术

CAD/CAPP/CAM 一体化技术通过实现技术信息管理的一元化,减少设计差错、制造失误和信息传递错误,从而达到缩短生产周期、提高劳动生产率的目的。CAD/CAPP/CAM 一体化具有以下几种形式。

(1) 基于积木块技术基础上的 CAD/CAPP/CAM 一体化技术
基于积木块技术的设计原理是利用成组技术对产品、部件、零件及零件的结构要素进行标准化、系列化和模块化设计,得到各种可以组成不同产品的基本模块,同时,编制各种模块的工艺规程和数控程序,并进行相应的特征编码,在计算机中事先存放好各种模块的信息。当进行产品设计时,可以通过积木块设计原理,将各种标准化和系列化的模块组成新产品,然后通过相应的编码,检索相应的零件或结构要素的工艺规程及数控程序,从而实现 CAD/CAPP/CAM 一体化。

(2) 基于特征建模技术基础上的 CAD/CAPP/CAM 一体化技术
基于特征的特征建模技术认为零件由与具体加工方法相联系的型面集组成,因为特型面具有多种信息,既包括实体模型的数据又具有加工

工艺的数据,所以设计人员在用型面特征进行产品设计时,可以很方便地将产品制造加工信息传递到加工模型中。特征模型对零件的描述是建立在所有特征信息处理基础上的,不仅有几何信息和拓扑信息,而且还有更高层次的零件功能特征、工艺特征以及材料、公差、表面粗糙度及毛坯、热处理等方面的信息,从而可得到一种面向整个生产过程的零件模型。

(3) 直接工程中的 CAD/CAPP/CAM 一体化技术 直接工程(Direct Engineering, DE)中的 CAD/CAPP/CAM 一体化,即是由设计人员直接完成 CAD、CAPP、CAM 的所有工作。实现这一目标的关键是具有能为设计人员提供有关产品设计和制造的完整知识的数据库。

四、计算机辅助技术的特点及其发展

1. 计算机辅助技术的特点

① 提高设计效率,缩短设计周期,从而加速产品的更新,增强产品的竞争能力;

② 有利于从诸多设计方案中选出最优方案,从而提高设计质量,并能在设计时预估产品的性能,提高产品设计的一次成熟性;

③ 使设计人员从繁重的设计计算和绘图中解放出来,可更多地进行创造性的研究与开发工作,有利于提高生产力。专家系统的出现,使缺少经验的设计人员也能做出好的设计;

④ 有利于促进产品设计的标准化、系列化工作,从而加速产品的开发和投产过程,使新产品更快地投入市场,增强市场的竞争力;

⑤ 有利于各种集成技术的实现。

2. 计算机辅助技术的发展

计算机辅助技术是涉及多学科高度集合的一门新技术,随着计算机技术相关学科的迅速发展,计算机辅助技术将有如下几个发展趋势。

(1) 集成化 并行工程和集成化,建立统一的产品模型,实现 CAD/CAPP/CAM 一体化将是计算机辅助技术发展的一个重要发展方向。以 CAD/CAM 为核心的 CIMS 系统将企业的全部信息,包括

市场信息和销售信息,企业内部人、材料和设备等经营资料的管理信息等,都用计算机来综合处理,在计算机控制下,实现信息自动化、物流自动化和加工自动化。

(2) 智能化 未来的 CAD/CAM 系统将引入知识工程,从而产生智能 CAD/CAM 系统,智能地支持设计者,而且人机接口也是智能的。系统必须具有推理能力,并懂得设计人员的意图,能够检测失误、回答问题、提出建议方案等。智能化将是计算机辅助技术的一个新的目标。

(3) 标准化 计算机辅助技术的进一步发展,要求这一技术具有高度的通用化和标准化,要求软件系统具有很好的可移植性,系统具有开放性。在开放式 CAD/CAM 系统中,用户可以根据自己的需要随时加入运行文件和模块,还可重新装配各个模块中的子模块,或者按照自己的要求修改系统中的不足之处,而这种修改不会影响整个 CAD/CAM 系统。

(4) 多媒体技术的应用 多媒体技术使计算机辅助技术得到飞跃发展。文字、符号、图像和声音等不同媒体可随意切换操作,通过多媒体使用户可以接受信息的原型。

(5) CAD 技术的改进和完善 建模系统的改进研究,常用的几何建模包括的几何、拓扑信息等已满足不了集成生产系统的要求,为此要建立起包括与生产过程有关的所有信息的新产品模型;CAD 接口的研究,进行 CAD 系统与其他系统的有效联结,实现 CAD/CAPP/CAM 一体化,建立起 CAD 与其他系统,特别是 CAD/CAPP 接口是关键性问题之一;工程数据库的研究,为了能适应当前软件面向对象、可视化、集成化、智能化等发展方向,必须使工程数据库管理系统 (EDBMS) 图形化、关系化、分布化、集成化、动态化和智能化。

第三节 注塑机液压系统设计

一、概 述

注塑机液压系统主要包括三个组成部分,即泵站、控制阀组和执

行元件(包括液压缸或液压马达)。其中,控制阀组中的液压阀用来控制和调节液压执行元件的运动方向、作用力和速度,并通过建立阀组以满足特定注塑工况的需要。例如,针对中小型注塑机,通过集成普通液压阀来满足系统小流量控制的要求;大、中型注塑机利用小流量先导阀控制大流量。

通常,液压系统设计主要涉及液压原理图确定、液压回路布置和元件选择等,具体步骤如下:

- ① 在分析注塑机工况基础上,确定油缸、油马达的负载,作负载循环图;
- ② 确定油缸、油马达的工作压力和流量;
- ③ 根据注塑机总体布局及性能要求,结合部件之间的相互关系和组合形式,确定液压系统的具体方案,拟订液压系统原理图;
- ④ 选择标准元件,设计非标准元件(油缸、阀板、阀块);
- ⑤ 对液压系统进行必要的验算(强度、刚度、孔系);
- ⑥ 编制正式的工作图和编写技术说明书。

注塑机智能CAD集成系统如图8-1所示,并通过“相关零件尺寸联动修改系统”,确保在修改一个零件时与之相关的零件的尺寸也发生相应的变化;“加工精度标准数据库参考自适应系统”,保证公差等随基本尺寸合理地变动;“工程图样比例多因素参考自适应系统”,

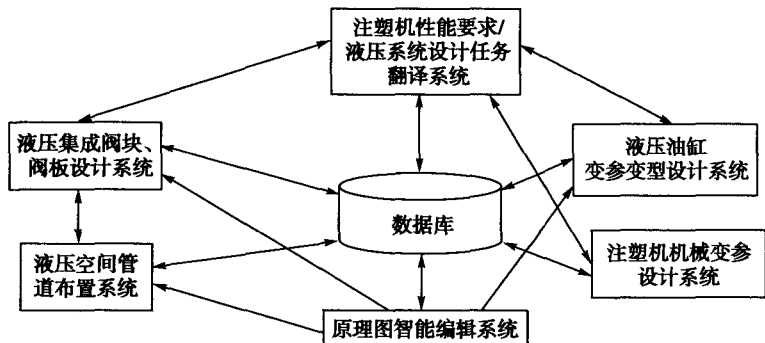


图 8-1 注塑机智能 CAD 集成系统

能够自动选取绘图比例,便于持图和读图;“零件强度校验系统”,确保变参设计后节省材料,保证强度、刚度;“工程图纸绘制数据共享系统”,旨在保证零件图和总装图绘制数据能够共享。

二、液压系统安装阀块与阀板设计

1. 阀块与阀板设计概述

注塑机上使用的液压阀大都是板式阀,功率较大的注塑机液压系统采用插装阀。因此,可以将阀集中安装、固定,便于控制,减少连接管道。同时,大部分液压阀可以安装在一个阀块(或阀板)上,阀块内加工出各种孔道用于连接各阀及油泵、油缸(油马达)、油箱。阀块表面加工有各种螺钉孔、定位孔,以便安装阀、管接头和法兰。设计中,阀块与阀板没有严格区别,只是阀板的装阀面要少一些,且不装插装阀。

系统中每个阀都有特定功能,相互之间的联系以及与系统其他元件的联系是错综复杂的,在有限的阀块空间中很多阀孔要通过设计工艺孔才能够连通,涉及三维空间布局,人工设计阀块难度很大,完成设计后校核的难度更大。

阀块内油路(孔道)设计,假设所有的孔都是从六个表面钻入的,规定所有的孔必须按垂直表面方向钻入。在阀块实际布置时,由于螺钉孔、定位销孔和其他阀孔的存在,以及每个阀在阀块表面上都要占据一定面积,寻求最短路径往往存在障碍。解决办法包括笼内让路(设计工艺孔)和笼外让路(移动待布阀),采用后让先原则。让路就是以达到连通为目的,故意向最优方向垂直的方向偏移。最优方向是当前可能实现连通的最短路径,在没有到达目标内面时,最优方向就是朝向目标内面的方向,到达目标内面时,最优方向就是朝向目标线方向。

就几何而言,让路的原因是理想路径的当前边所在的两个内面中至少有一个将因该边的生成而破坏笼图在该内面上的子图构成的平面图,理想路径为最优连通方案路径或纠偏步骤+最优连通路径,并定义当前边为正在处理的边;从物理上讲,让路是因为布阀过程阀

孔连通路径相互干涉(有一定直径)。

2. 阀块设计过程分析

针对图 8-2 注塑机液压系统,分析阀块设计过程。该系统有 14 只阀共 40 只孔,空间布置顺序可以采用多种方式:

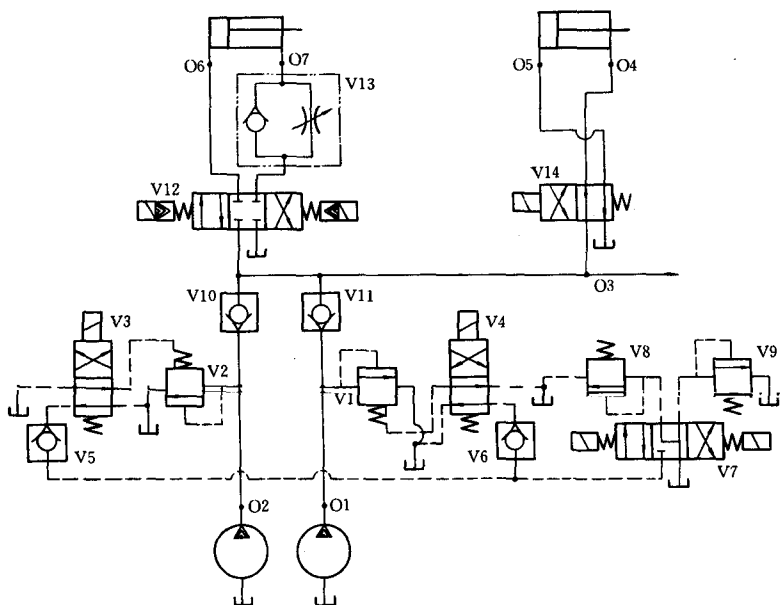


图 8-2 注塑机液压系统

V1—溢流阀,14.7 V2—溢流阀,14.7 V3—方向阀,6.3 V4—方向阀,6.3
V5—单向阀,6.3 V6—单向阀,6.3 V7—方向阀,6.3 V8—溢流阀,6.3
V9—溢流阀,6.3 V10—单向阀,14.7 V11—单向阀,14.7
V12—方向阀,11.7 V13—节流阀,14.7 V14—方向阀,6.3

- ① 流向顺序: 从泵开始,从油箱开始或从油缸、马达开始;
- ② 结构顺序: 孔系复杂者先布;
- ③ 空间顺序: 通径大、安装面面积大者先布;
- ④ 关联顺序: 孔系中的孔与其他孔相连次数多者优先。

上述四种顺序所包含的阀块设计实现的信息量由大至小顺序为④、②、③和①。

根据该设计顺序,需要确定阀块大小。采用逐步长大的初始阀

块 VBO, 确定 VBO 的体积:

l ——第一个待布阀安装面的长度

b ——第一个待布阀的宽度

h ——第一个待布阀安装螺孔深度

选择 V12 为首选待布阀, 布孔时, 将孔分为三类:

① F、G 孔, 这类孔不与其他孔连通, 深度固定;

② 连通目标明确的孔, 如 V12 的孔与 V13 的 P 孔相连;

③ 连通目标含糊的孔, 如 V12 的 P、A、T 三孔, 它们的出口位置并不确定(因为与其他阀孔共用出口)。

选中待布阀后, ①类孔已确定; 处理②类孔时引出相对孔对应孔系(阀安装面)位置确定问题。

阀块中除阀孔外, 还有与各种管道连接的螺纹孔或法兰孔。这些孔是标准的单点点系, 在布孔时, 自然要从相关性最少的孔开始布置。整个布置过程可用一个图来表示, 不涉及 F、G 类孔和安装面范围尺寸。相应的连通关系图如图 8-3 所示, 图中向左的线为连通线, 表示线上点相连通, 连通方式不定; 向右的线为属线, 表示线上点属同一点系(同一个阀), 点与点间的相对位置不变; 双线(向左)表示线上点间前两种关系并存。连通线由阀内布置解决, 属线可供阀外布置参考。

根据阀块笼的定义, F、G 孔不需要让路, 因为它们不与其他任何孔连通。而任何连通孔相连之前都要向内钻入一定的深度, 任何情况都可以让开。

3. 插装阀块/板式阀安装阀板计算机辅助设计系统 CVS/VBS

插装阀块/板式阀安装阀板计算机辅助设计系统 CVS/VBS 整体结构如图 8-4 所示。该系统能够提供安装阀块空间构造工具, 借助系统原理图给出的信息, 用户能够方便地生成空间阀块图形; 然后对用户所建立的空间阀块进行特性获取, 得到用包含空间孔系布置特性的 HCD 文件来表示的孔系模型; 根据所得到的模型, 进行各图素的甄别判断, 最后输出三视图以及用户任意指定的剖面图和经过复杂孔系校核模块处理输出的孔系通断报告文件。

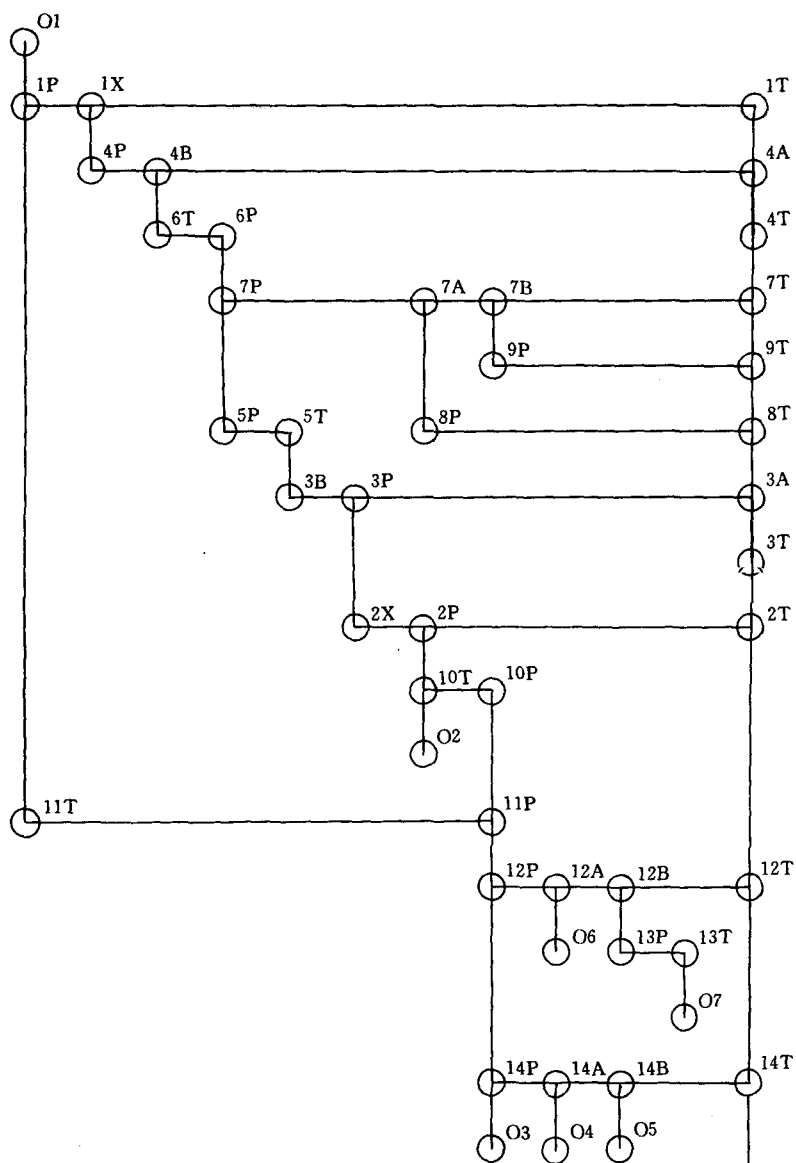


图 8-3 系统的连通关系图

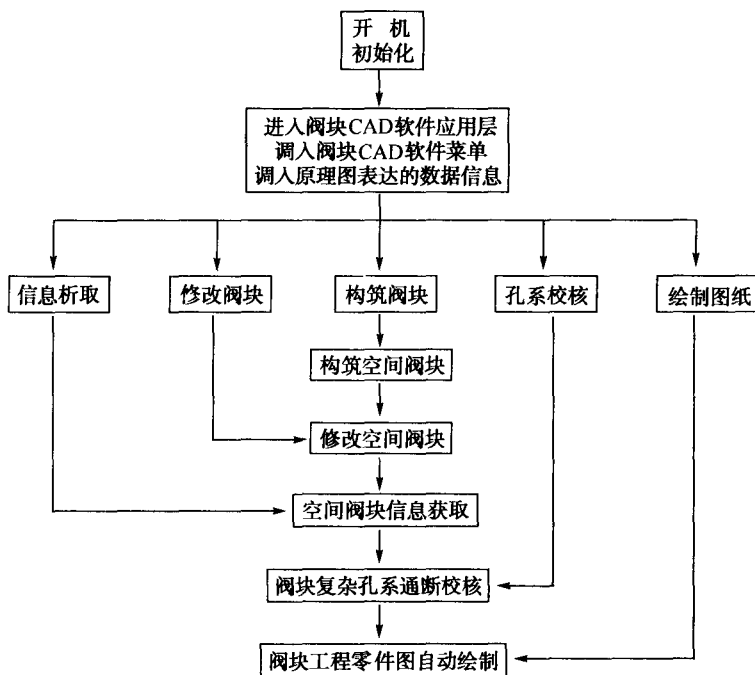


图 8-4 插装阀块/板式阀安装阀板计算机辅助设计系统 CVS/VBS 整体结构图

系统的用户环境为一菜单系统,借助 AutoCAD 软件中的用户菜单构造手段,设计了专用的用户菜单人机界面。根据系统功能,分为以下几个部分:

① 初始化模块。在进入 CVS 系统时自动装入并运行,包括设定层次、调进线型库和菜单系统、设定颜色等;

② 空间阀块构筑工具。作为构筑阀块模块的核心用来建立空间阀块,包括绘制块体、插孔、螺孔、工艺孔、阶梯孔和一般孔元素等基本空间图素;

③ 空间阀块信息析取。用来自动获取空间阀块内部结构信息,生成并输出 HCD 型信息文件;

④ 阀块修改模块。用于修改空间阀块,分为参数修改和阀块修

改两部分;

⑤ 阀块复杂孔系校核模块。立足 HCD 文件并在空间阀块构筑工具库的支持下,完成阀块复杂孔系通断校核;

⑥ 图纸绘制模块。用于绘制阀块六面视图,根据 HCD 文件自动生成阀块六面视图,绘制阀块任意剖面图,根据 HCD 文件以及用户指定的剖面,自动生成阀块剖面图,并配有标注菜单,供用户在工程图纸上进行尺寸标注、形位公差标注、图框绘制等;

⑦ 辅助工具库。由下拉菜单驱动,提供帮助、绘图工具、显示模式选择、相贯线处理、DOS 交互等功能。

系统运行步骤如下:

① 应用空间阀块构筑工具库,在菜单系统的控制下,完成三维阀块构造;

② 借助空间阀块构筑工具,对生成的阀块进行修改、重新生成,及时改正设计过程中的错误;

③ 获取空间阀块信息,对处理建立的任意阀块系统,获取孔系空间布置模型,各图素的技术特征,输出 HCD 型信息文件,同时,显示用户需要的阀块孔系布置一览表 PRT 文件;

④ 分析判断获得的空间图素特性表,分别确定各空间图素在六面视图上及用户指定的剖面上的表示;

⑤ 输出所需工程图,进行孔系通断校核,输出孔系通断表。

三、管道布置

1. 管道布置设计基础

注塑机上的各种控制阀大都是板式阀,空间管道布置的任务量并不大,管路串联部分主要是阀块、油箱、油泵、油缸和油马达等。如图 8-5 所示,这些管路受到一定限制,需要在空间向外延伸:

① 约束条件(1)可以由系统分析、系统原理图设计过程给出,与机械部件的运动速度、液压元件工作流量有直接关系;

② 约束条件(2)中管路强度与机械部件的输出力、液压元件的工作压力有直接关系;

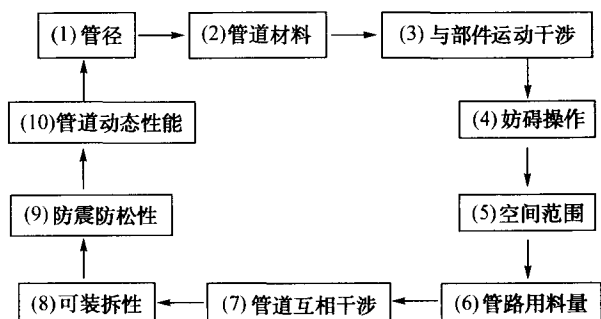


图 8-5 空间管道布置约束回路

- ③ 约束条件(3)可以根据注塑机设计方案直接获取；
- ④ 约束条件(4)与(5)和(6)是矛盾的,同时也相辅相成；
- ⑤ 约束条件(7)是复杂液压系统必须解决的。由于同时满足(3)、(4)、(5)、(6)各条的方案往往有限,因此,常常出现各条管路的最佳路线全部或部分重合；
- ⑥ 约束条件(8)实际上是安装工艺性问题,要求满足便于装拆条件；
- ⑦ 约束条件(9)涉及管网工作可靠性问题；
- ⑧ 约束条件(10)限制管路的长度、直径和材料性能(特别是刚度)。

2. 管道布置软件系统设计及功能特点

利用计算机布置管道,最终目的是为了进行管路设计,获得管路加工、安装数据。

管路的加工过程为根据所需长度截取一段管路,根据所需角度弯制这段管路,根据管接头的形式加工管路两端螺纹,编号以便于确定装配关系。

管路的安装过程为按编号备料,根据管长、通径及安装部位准备管接头、管夹,准备安装工具及设备,安装。

三维空间管道布置 CAD 过程如图 8-6 所示,应用软件包括菜单系统、数据库、变参图形库、结果图形库、图例库、通用子程序库、三

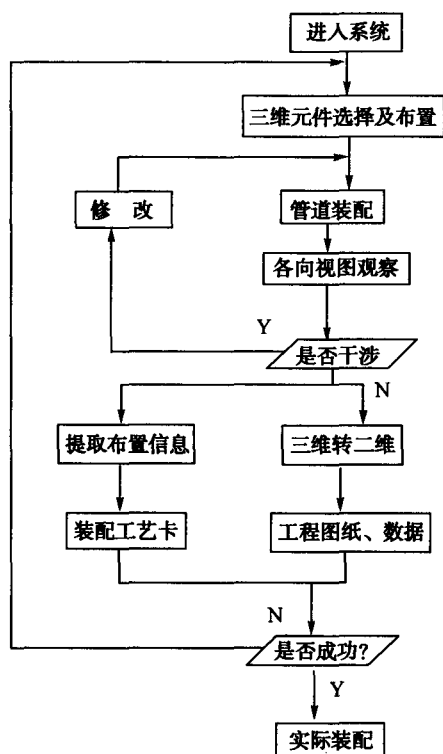


图 8-6 三维空间管道布置 CAD 过程

维布置控制系统、三维显示控制系统、布置信息获取系统和三维图转二维系统十部分。其中,菜单系统采用图 8-7 所示层次结构,管道布置策略及虚拟装配过程如下:

① 管道布置在屏幕上显示四个窗口,分别显示主视图、左视图、俯视图和正等侧图,并能够根据需要选择观察方向,例如后视图、右视图、仰视图以及任意方向视图,即能够从空间任意方向观察三维立体模型,并输出相应的工程图纸;

② 元件布置可以在任意视窗和观察方向进行,元件可以沿 X、Y、Z 轴及其他方向移动,直到满足布置要求为止。在进行位置移动时,各个视窗中的元件同步移动;

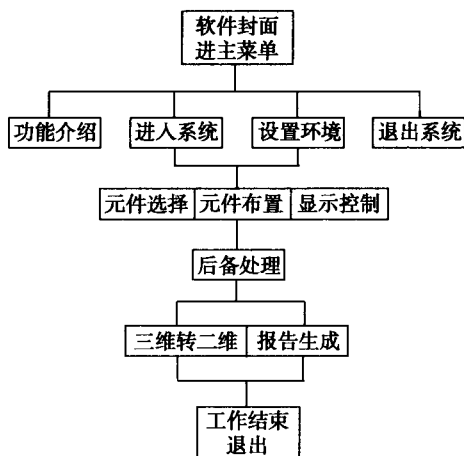


图 8-7 菜单系统层次结构

③ 人机交互布置设计过程,位置的确定以定标设备输入,在位置确定过程,坐标的单位大小可以确定。让光标与一个不可见的矩形栅格对准,栅格的分辨率决定了最小单位的大小,使得用鼠标就可以在计算机上准确地按步进方式定位;

④ 在管道系统的布置中,为了便于分辨不同功能用途的管道,将这些管道放在不同层中并赋予不同的颜色,因此,液压管道系统、压力油、回油及控制油管都处于不同层中;

⑤ 根据设计的管道布置,可以进行虚拟装配,通过全面了解布置好的各元件的位置及各种属性,提供装配参数及报告文件,包括元件类型、数量、位置,并将任意视图转换成 DXB 形式文件。

四、油缸及注塑机主机部件变型变参设计

1. 油缸变参设计

注塑机油缸因工作状态变化使得油缸结构十分复杂,包括结构、活塞面积比、活塞杆直径和行程。油缸设计需要用到许多标准件、优选系列的其他零件,这些零件大都是外购件,尽量选用为佳;油缸上其他需要自制的零件要求保证与这些零件匹配,自制件的尺寸也采

用优选系列。

在设计专用油缸时,遵循原则是设备上与油缸连接的其他机械结构根据型号变化尺寸可以按系列变化,油缸上的尺寸可以参照。变参设计时,专用油缸上那些与其他标准件或主机结构连接不匹配的尺寸,也可以根据行业知识、专家知识或生产厂家的习惯确定。

2. 油缸变型设计

工程设计中涉及三种设计类型,第一种是设计一个全新的产品,此时产品的一般结构没有形成概念,需要通过创造性劳动并应用不同的设计方法来满足设计目标要求,这种设计类型通常在研究机构中采用;第二种设计类型是在现有产品的基础上开发新产品,此时产品的一般构造已知,主要问题在于选择不同的零件并决定其参数;第三种类型是在已描述过的设计方案中选择一种方法来满足设计要求,即对现有产品进行修改设计,是设计部门经常采用的方法,因此作为变型设计的基础。

设计通用油缸或多种专用油缸需要用到较多的参数,并着重解决以下问题:

① 重新组织软件,除与外界有关的尺寸(与标准件、主机结构匹配)外,其他尺寸均能自由变化(无级、模拟量)。这种实现方法具有普遍性,可用于设计注塑机中一般机械零件,通过把注塑机上某些油缸作为普通机械零件的组合,在预定的注塑机型号范围给出合理的设计结果。需要注意的是,零件尺寸的自由变化引起的零件结构变化(形变)很有限,起码直线不能变成圆弧,简单的结构也不能变成复杂的结构,能力有限;

② 扩充数据库,便于根据不同情况调用不同的数据。通过充分运用专家知识把不确定的参数确定下来,并在数据库中存放多套油缸结构供选用。

3. 油缸变型变参设计系统

图8-8所示为油缸设计系统基本构成及工作流程图,主要由数据库、油缸设计计算和参数绘图三部分组成。其中,数据库由dBASEIII管理,当用户输入油缸的特征参数时,系统自动在数据库中

搜索、匹配,从而得到油缸的基本结构参数,如油缸内径、螺钉的直径等;利用数据库获得基本参数,进行油缸设计计算,最终获得绘图所需的油缸各结构参数;参数绘图获得油缸装配图和各零件图。

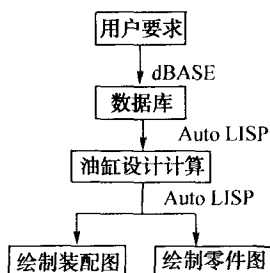


图 8-8 油缸设计系统基本构成及工作流程图

图 8-9、图 8-10 分别为设计系统辅助菜单、主菜单结构示意图,通过人机交互,用户输入油缸的吨位、油压、行程和空载速度四个特征参数,选择油缸型式,计算并自动绘制油缸装配图和各零件图等。

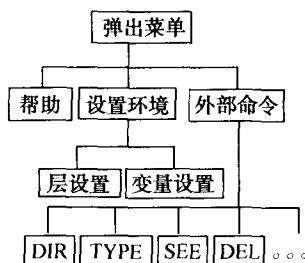


图 8-9 辅助菜单结构示意图

图 8-11 为注塑机主机部件变型变参设计系统流程图。例如,注塑机注射油缸变型设计,采用模块化设计思想,将装配图根据结果特点分解为八个图块以及一个辅助块,对其中的主要部件,例如活塞再进一步分为左活塞杆头、右活塞杆头,以构成几种不同型式的活

塞。所有这些图块构成图形库,用户可以根据需要通过图标菜单直观地选择不同型式的油缸,使得在绘制图块时,可以利用菜单项中的判断语句,根据用户的选择将所需的程序装入内存并完成绘图工作,再按照搭积木方式组合图块,装配成各种型式的油缸。

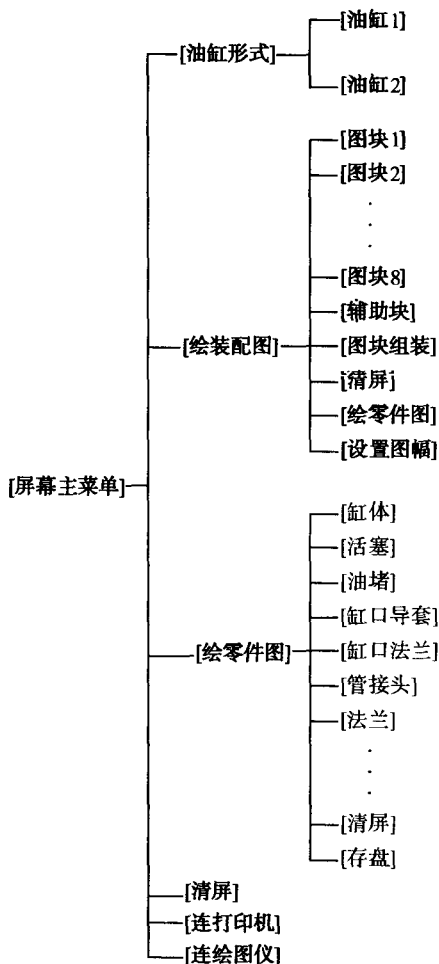


图 8-10 主菜单结构示意图

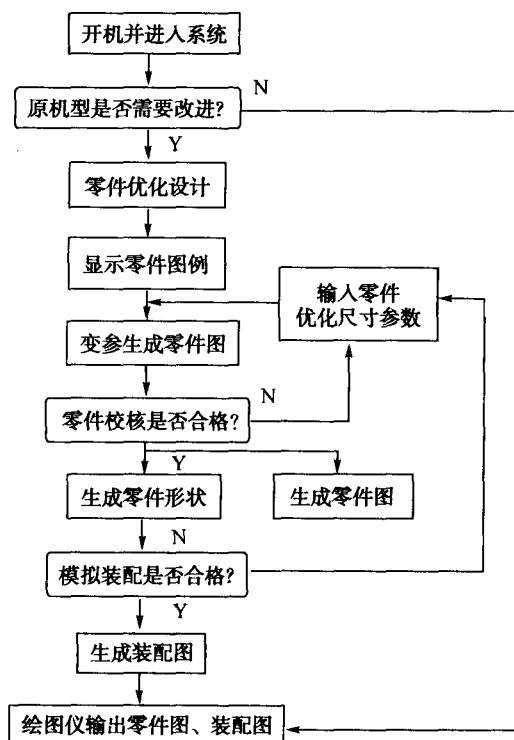


图 8-11 注塑机主机部件变型变参设计系统流程图

第四节 注塑机模板有限元分析与计算

注塑机前模板结构比较复杂,目前,模板设计大多采用经验和类比法,并用等截面梁进行校核计算,存在许多不足。通过采用有限元法对注塑机前模板进行受力分析,利用前后台处理系统,生成所需数据,并对计算结果进行处理,分析过程得到简化,结果简洁明了;同时,还利用实测数据校核计算的准确性,为模板的结构设计提供准确的方法。注塑机前模板集成 CAD 系统构成如图 8-12 所示。

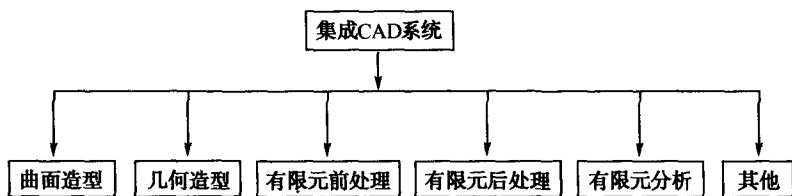


图 8-12 注塑机前模板集成 CAD 系统构成

一、模板计算简化与模型分析

模板结构比较复杂,受力状态也十分复杂,涉及因素多,综合考虑各个因素的影响往往比较困难,因而大都采用对模板及其受力状况进行简化和假设方法:

① 由于拉杆对模板的受力影响比较大,其相互作用属于接触问题。采用位移约束方法,通过测试模板拉杆孔的变形,将其影响作为边界条件处理;

② 前模板和移动模板承受温度应力影响,但由于模板的温度梯度不大,所以引起的温度应力与合模力引起的应力相比较显得很小,故可以忽略不计;

③ 忽略小孔的影响,简化结构形状,旨在简化计算模型,以减少计算时间和容量;

④ 结构和载荷有两个对称面,剖开两对称面,并取其四分之一进行分析,进行对称约束;

⑤ 模板的载荷为均布载荷。

模型分析计算流程如图 8-13 所示,采用波陈法编制模板有限元分析软件,可以随意增加或减少单元,便于解决模板的工程问题。目前,性能优良的有限元软件是大型、通用的分析软件,如 NAS-TRAN、ANSYS、I-DEAS 等,价格昂贵,因考虑到通用性造成单元很多,需要专业人员才能够熟练使用,且对计算机硬件要求高。

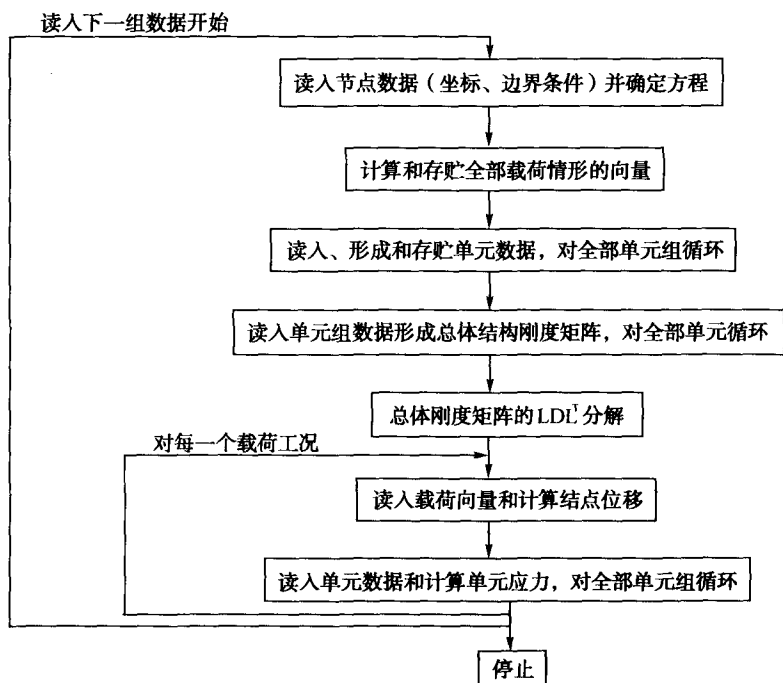


图 8-13 模型分析计算流程图

二、有限元处理

1. 有限元前处理

采用交互或者造型系统建立模板结构的几何模型,自动生成计算网格。数据生成过程如下:

- ① 输入网格密度、单元平均尺寸等控制信息;
- ② 处理约束、载荷、材料参数等各种有限元分析特性参数;
- ③ 形成有限元分析模型所需的各类数据。

以图形方式显示得到的有限元模型,包括单元数、节点数、自由度数量,能够达到优化网格图、检验模型及网格规模大小的目的。

2. 有限元后处理

为了直观和形象地表示模型内应力、位移场,需要将相应的数据文件经过处理后进行显示。主要算法有以下三种。

(1) 单元面分离算法 需要统一定义线单元、三角形单元、四边形单元、四面体单元、五面体单元、六面体单元等。

(2) 单元应力的修正 用最小二乘法修正节点上的应力,取得有关单元对应在该点上的平均值,对于二维单元的修正算法为:

$$\begin{vmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & b & c & b \\ b & a & a & b \\ c & b & a & b \\ b & c & b & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sigma_I \\ \sigma_{II} \\ \sigma_{III} \\ \sigma_{IV} \end{vmatrix} \quad (8-1)$$

式中: $a = 1 + 3/2$

$b = -1/2$

$c = 1 - 3/2$

$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}, \sigma_{IV}$ ——高斯点上未修正的应力,对于三维八节点单元,可以采用同样的方法。

(3) 等值线或等值域 通过将计算结果(位移、应力等)划分为 N 等分,则有 N 个等值域, $N+1$ 条等值线,在每个小三角形内只能通过一条等值线。对小三角形内三条边循环,若某边两顶点为等值点,将两等值点连接起来则为一等值线。另外两种情况是等值线只经过小三角形的某顶点或根本就不经过任何顶点。

对于任何一条边 MN 而言,若 $P(X_P, Y_P)$ 为插值点,则线性插值公式为:

$$X_P = X_M + (X_N - X_M)(V_P - V_M)/(V_N - V_M) \quad (8-2)$$

$$Y_P = Y_M + (Y_N - Y_M)(V_P - V_M)/(V_N - V_M) \quad (8-3)$$

对于任意小三角形 IJK 而言,只能通过一条线,可根据以上插值公式求出插值点 $A(X_A, Y_A)$ 和 $B(X_B, Y_B)$,将 A, B 点连接起来为一等值线。

同理,考虑到等值域算法彩色图形比等值线更加直观和明了,针对小三角形 IJK ,等值域算法为根据小三角形 IJK 三顶点的结果值

V_I 、 V_J 、 V_K 及形状函数 $N_I(X, Y)$, 求出三角形内任意一点 $P(X, Y)$ 的结果值 V_P , 计算公式如下:

$$V_P = N_I(X_I, Y_I) V_I + N_J(X_J, Y_J) V_J + N_K(X_K, Y_K) V_K \quad (8-4)$$

$$N_I(X, Y) = 1/(2\Delta)(A_I + B_I X + C_I Y)(I, J, K) \quad (8-5)$$

式中: $A_I = X_J Y_K - X_K Y_J$

$$B_I = Y_J - Y_K$$

$$C_I = -(X_J - X_K)$$

$$\Delta = 1/2 \begin{vmatrix} 1 & X_I & Y_I \\ 1 & X_J & Y_J \\ 1 & X_K & Y_K \end{vmatrix}$$

对于已进行 N 等分的结果赋予 N 种深浅不同的颜色, 则小三角形内任意一点都对应一种颜色值, 在计算机屏幕上用一个像素点来显示。应力分布大小由颜色表示, 每一种颜色表示的应力大小范围可以直观地表示出来。

3. 实验验证

采用应变片测量前模板应力值, 其中, 分别选择四根拉杆、两对对称点作为测试点, 编号为 1~10。表 8-1 给出了有限元计算值与实测值的比较。其中, 1~4 点为拉杆测试值, 故没有有限元计算值, 单位为 t; 5~10 点单位为 kg/cm^2 。

表 8-1 前模板有限元计算值与实测值的比较

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
计算值	—	—	—	—	320	320	72	110	56	62
测试值	52.3	58.9	48.5	55.8	282	292	86	128	47	73
误差/%	—	—	—	—	11.8	8.75	19.4	16.3	16.7	17.4

第五节 塑料注射填充过程流动模拟

一、概 述

注射成型加工过程, 即将预塑熔化的高分子材料高速注入闭合

的模具,经充模、压实、冷却成型,最后得到所需制品。由注射成型整个过程可以看出,影响制品质量、尺寸精度、生产效率的因素有三方面,即塑料性能、成型设备及工艺、模具。其中,塑料选择依据制品性能要求及成型条件,凭借实际经验及有关手册可以作出正确选择,或借助专家系统选择塑料,以满足某一制品的特殊要求。模具设计与制品要求及其选择的塑料有关,包括流道、浇口、成型腔及冷却系统设计,往往可以通过多次试模及长期实践经验的积累进行设计,来满足制品要求。事实上,注射成型过程、工艺参数确定及过程参数控制都会影响制品质量。其中,注射充模过程的影响更为复杂,因为这一过程主要决定制品尺寸、重量及应力,并直接与制品质量有关。因此,对于熔料在模具内流动及有关速度场、压力场和温度场的了解显得更为重要。一方面,可以模拟塑料填充成型情况,便于发现问题所在;另一方面,也为过程控制提供了现场数据,便于进行实时控制。当然,模具质量优劣,即模具型腔设计、冷却系统分布是否合理,也会严重影响塑料流动性、制品质量和残余应力等。长期以来,模具大都依靠经验设计,由于要求模具设计人员具有相当高的技能和丰富的经验,因而从设计、制造到投入使用往往存在周期长、费用高等问题,难以适应大型精密模具设计和现代化生产的需要,急需研究注射填充流动过程。

二、充模过程仿真软件及其特点

对注射充模过程的研究大致分为三个阶段,20 世纪 50 年代初为机理研究阶段,重点在于简单型腔的一维流动分析,二维、三维薄壁流动分析和研究,Spence 等研究了流动可视化、流体的流动机理、注射产品的残余应力分布、分子定向和充模压力损失。这一阶段仅限于理论分析和实验研究。进入 20 世纪 70 年代以来,采用了分支流动法,数值模拟工作大都限于研究几何形状简单的一维流动,如圆管、矩形型腔、中心浇口圆盘,更为复杂的几何形状往往分解为一系列简单流动单元(如矩形、扇形、圆管等)的组合(分支),再按照不同的路径,基于每个分支流动过程压降一致的原则来对每一条路径进

行一维分析。Williams 等分析了圆形管道和非圆形管道非等温一维流动。现阶段针对二维、三维薄壁塑料件模内流动进行真实分析,大多假设塑料熔体为纯粘性、不可压缩,流动是经典的 Hele - Shaw 流,采用网络流动方法(Network Flow Method),再结合有限差分(FDM)和有限元法(FEM)进行数值计算,求得流动前沿,熔料充填时压力、速度及温度信息。例如,Hiesber 等运用有限元法求解二维薄壁类型腔的充模过程,其中温度边界层采用一维有限差分方法,并对开孔矩形型腔的充模过程进行实验验证,构成了 K·K·Wang 注射模研究系统的核心内容。

我国从事这方面研究的单位主要限于一些科研单位及高等院校,如上海交通大学、华中科技大学、清华大学、浙江大学等。上海交通大学分析了经典的二维矩形型腔的充填过程,并对较复杂的三维型腔(三维开口箱体)充模过程进行了理论计算和实验研究,温度方程采用有限差分法求解、厚度方向一维差分、时间序列采用全隐格式,粘度模型为非牛顿、非等温纯粘性三参数幂律模型;官青等研究人员在采用 E·Broyer 提出的简化有限元法的基础上,推导出矩形型腔中压力场和速度场的差分方程,并进行了充模过程的数值模拟和实验研究。

表 8-2 列举了世界各国科研院所及高等院校在流动模拟方面所做的工作及取得的成果。可见,流动模拟对象已逐步由简单的几何单元发展到复杂的薄壁型腔真三维(加上时间实质为四维)模拟,系统更为成熟、完善,不仅能够提供良好的人机界面,同时模拟精度也逐年提高、与实际更为接近,真正有助于成型过程控制和质量保证。

表 8-2 现有流动模拟软件及其特点

产 品	研 制 者	国 家	组 成 特 点
Moldflow	C·Austin	Austria	分支流动方法分析流道、型腔充填,自动生成有限元网格
CADMOULD	IKV	West Germany	注射模流动模拟法分析流道、型腔充填,有限元方法三维型腔流动分析
CIMP	Cornell univ.	USA	有限元,流动路径法

续表

产 品	研 制 者	国 家	组 成 特 点
TMCONCEP	Plastic Counter Inc.	Italy	系统由材料选择、注塑条件和模具费用优化、流动分析、型腔尺寸设计等模块组成专家系统,具有流动型腔分析功能
POLYFLOW	M·J·CO	Belgium	有限元分析塑料熔体流动
MOLDFILL	AEC	USA	充模及冷却分析
MOLDCOOL			
PLASTIC CAD	Cencad	USA	基于经验公式,并在 AT 机上运行
IMES	PSP Inc.	USA	借助专家的知识解决注射模质量问题
C - MOLD CAE	AC Tech	USA	注射工艺过程分析软件,包括型腔充填、保压及冷却模拟等措施
SOFTWARE			系统由流动、压实及冷却模块组成
MCKAM - D	Mcgill vniv.	Canad	系统包括注塑件三维图形输入及其处理、注塑流动和冷却模拟、模具强度和刚度校核、模具结构设计和绘图模块组成,在 AT 机上开发
HSC - 1	华中科技大学	中国武汉	一维充模流动数值模拟、二维复杂几何型腔中聚合物熔体的流动模拟、二维非稳态温度场的数值模拟、高粘弹性流体的流动模拟和造型系统开发,在 HP9000 - 825RS 超级小型机上运行
	浙江大学	中国杭州	
	上海交通大学	中国上海	系统输入信息包括材料性能参数、塑料网格信息以及成型条件,压力方程采用控制体积法,温度方程采用有限差分法,本构方程为非牛顿、非等温纯粘性三参数幂律模型,基于二维 Hele - Shaw 流假设,在 HP9000 - 320 工作站完成

三、塑料充填过程理论模型

1. 塑料充填过程物理模型

塑料熔体在矩形型腔中的充模过程,因塑料熔体雷诺数 $Re < 10$,故表现为层流流动。整个过程大致分为三个区域:

① 入口区(浇口附近),流体作径向流动,呈扇形状,压力和速度梯度都较大;

② 过渡区,流体作充分发展流动;

③ 流动前沿(Fountain)区,流体作喷泉式流动,平行推进,几乎呈一维流动。

2. 塑料充填过程一般性数学模型

塑料熔体充模过程是一个瞬变、非等温、非稳态流动过程,在型腔内流动的控制方程有连续性方程、运动方程、能量方程以及本构方程。其中,连续性方程、运动方程和本构方程可统一为压力方程,能量方程和本构方程可以统一为温度方程,压力方程和温度方程通过对流项和粘性热效应耦合。

(1) 连续性方程 基于质量守恒定律,认为由质点组成的流体在流动过程中质量不变,即

$$d\rho/dt = -\rho(\nabla \cdot \vec{v}) \quad (8-6)$$

式中: ρ ——熔体密度

t ——时间

$\vec{v}$ ——速度向量

∇ ——拉普拉斯算子

式(8-6)的分量表示:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = -\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (8-7)$$

(2) Navier-Stokes 运动方程

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \nabla \cdot \vec{\tau} - \nabla p + \rho g \quad (8-8)$$

式中: $\vec{\tau}$ ——应力张量

p ——塑料熔体静压力

g ——重力加速度

式(8-8)分量表示:

$$\rho \frac{dv_x}{dt} = - \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g$$

$$\rho \frac{dv_y}{dt} = - \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g$$

$$\rho \frac{dv_z}{dt} = - \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g$$

(3) 能量方程 充模过程伴随着复杂的热变化,包括热传导、对流换热、辐射传热,以及摩擦引起的粘性发热,满足能量守恒定理:

$$\rho C_v \frac{dT}{dt} = K_{th} \nabla^2 T - T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p (\nabla \vec{v}) + \vec{\tau} \cdot \nabla \vec{v} \quad (8-9)$$

式中: C_v ——等容比热

T ——熔料温度,是该点所处位置与时间的函数

K_{th} ——热传导系数

$\rho C_v \frac{dT}{dt}$ ——单位时间定点温度变化引起的能量变化量

$K_{th} \nabla^2 T$ ——空间位置变化引起的温度变化及其相应能量变化

$T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p (\nabla \vec{v})$ ——热胀冷缩引起的能量变化

$\vec{\tau} \cdot \nabla \vec{v}$ ——粘性热效应

分量式为:

$$\begin{aligned} & \rho C_v \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ &= K_{th} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \\ &+ \left\{ \tau_{xx} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v_y}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right\} \\ &+ \left[\tau_{xy} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \right] + \left[\tau_{xz} \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \right] \\ &+ \left[\tau_{yz} \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \right] \end{aligned}$$

(4) 本构方程 即塑料熔体粘度模型,描述熔体粘度和剪切速率的关系,往往还与流体温度、压力有关。其中,压力的影响由于未

能获得足够的实测流变数据,再加上影响较小,故通常忽略不计。表 8-3 列举了三种粘度模型及其特点。

表 8-3 常用粘度模型

粘度模型	数学表达式	特 点
幂律模型 (Power Law Model)	$\eta(\dot{\gamma}, T) = A\dot{\gamma}e^{\frac{T_b}{T}}$ 式中 η ——粘度 $\dot{\gamma}$ ——剪切速率 T ——熔料温度 A ——粘度常数 T_b ——温度灵敏度常数	使用方便,计算简单,但适用范围很窄,即适合描述高剪切速率的流动行为。低剪切速率下粘度值偏高
Cross 模型	$\eta(\dot{\gamma}, T, p) = \eta_0(T, p) / \left(1 + \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau_0}\right)$ 式中 $\eta_0(T, p)$ ——零剪切速率 $\eta_0(T, p) = Be^{\frac{T_b}{T}} e^{\beta p}$ B ——粘度常数 T_b ——参考温度 n ——流变指数 τ_0 ——熔料剪切变稀应力 $\dot{\gamma}$ ——剪切速率 β ——压力灵敏度系数 p ——熔料压力	应用范围较广、可靠。剪切速率足够小(零剪切速率)时即为牛顿粘度公式;剪切速率足够大时,则为幂律模型。如果忽略压力的影响,可得到修正的 Cross 模型 $\eta(\dot{\gamma}, T) = \eta_0(T) / \left(1 + \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau_0}\right)$ $\eta_0(T) = Be^{\frac{T_b}{T}}$ 其中, n 、 τ_0 由测试确定, T_b 和 A 与温度有关
Carreau 模型	$\eta(\dot{\gamma}, T) = A\alpha_T / (1 + B\dot{\gamma}\alpha_T)$ 式中 $\lg \alpha_T = \frac{8.86(T_{st} - T_s)}{101.6 + T_{st} - T_s} - \frac{8.86(T - T_s)}{101.6 + T - T_s}$ A ——零剪切粘度 α_T ——温度漂移因子 B ——由牛顿特性转变为非牛顿特性的剪切速率的倒数 T_{st} ——熔料平均或参考温度 T_s ——任意温度	应用范围较广、可靠

充模流动反映出非牛顿流体中假塑性流体的行为,采用三参数的幂律模型表示为:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (n < 1) \quad (8-10)$$

式中: τ ——剪切应力

k ——流体稠度

$\dot{\gamma}$ ——剪切应变速率, $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dr}$

n ——流动行为指数, $n=1$ 时为牛顿流体, n 远离整数 1 愈小, 表明流体的非牛顿性愈强

$$\begin{aligned} \eta &= k \dot{\gamma}^{n-1} \\ \tau &= \eta \dot{\gamma} \end{aligned} \quad (8-11)$$

式中: η ——表观粘度

四、设计原理、数值计算方法及仿真结果分析

(一) 对象及设计原理

以薄壁矩形型腔为例, 分析流动前沿确定原理及其等值线的计算机实现方法。图 8-14 给出了流动模拟总体框图, 分为信息输入、分析计算和信息输出三大部分。

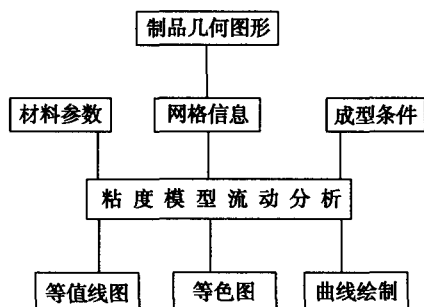


图 8-14 注射充模流动模拟总体框图

1. 流动前沿确定原理和计算

事实上, 在注射过程中, 型腔随时间不断充满, 求解压力方程和温度方程时涉及的计算域也在不断变化, 型腔壁和流动前沿成为其边界。

要确定流动前沿, 首先要计算当前时刻的速度场, 然后再依据该速度场和相应的时间间隔确定下一时刻流动前沿的位置, 算法简单、

直观。但是,这种方法对于较为复杂的几何型腔,存在质量溢出、数值解出现振荡等问题;同时,因要求在每一时刻终了时必须重新划分网格,势必占用较长的计算时间。

采用流动分析网格法,充模过程流动前沿确定和计算流程如图 8-15 所示。假定浇口节点一开始就充满,并具有初始温度 T_0 (熔料温度)、恒压 p_c ,与浇口节点相邻的诸节点即为流动前沿节点;定义其他充满节点为充填节点,与充填节点相邻的空节点为流动前沿节点,充填节点内具有恒压、温度值为相邻内节点温度值的均值;各控制体积单元内的 s 值和 $\eta \times \dot{\gamma}$ 为常量。计算中要采取相应的措施以避免发散。

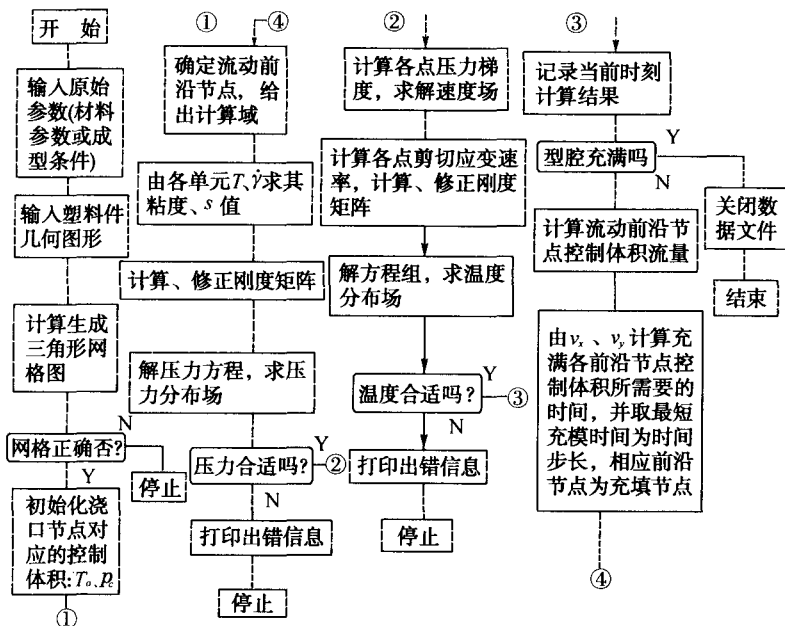


图 8-15 充模过程流动前沿确定和计算流程图

2. 流动前沿生成的计算机算法

用等值线图来表示塑料制品中的压力分布、速度分布,以及流动

前沿位置,一方面可以直观地表示数值模拟结果,同时还可以迅速地判断设计参数及成型条件是否合理。其中,流动前沿由于能够直观反映熔料在模具内充填过程,同时也可以了解充模速度的变化情况。因此,下面着重分析流动前沿等值线生成算法。

采用三角形三节点网格图,旨在避免通用基于矩形网格分割算法存在计算不规则边界形状麻烦、等值线走向判别较为复杂等不足;同时,在相同节点下,划分节点数增加一倍,有助于提高等值线精度和平滑性。

流动前沿等值线实质为不同时间步长相对应流动前沿连线构成的图形。根据到达各节点(控制体积)的时间,矩形型腔首先划分为有限个三角形网格图,连接各三角形单元的中心与各边的中心,便得到控制体积。流动前沿等值线由直接连接相应前沿节点得到。为了得到光滑的流动前沿等值线,采取了一定的光滑处理措施。若仅仅通过细分网格来获得高精度的计算结果,势必增大计算量。

(二) 数值计算方法

正如前面所述,流动数值模拟最终归结为求解压力方程和温度方程,即偏微分方程组的求解。通过将微分方程组在整个求解域离散化,例如,方程变量表示为 ϕ ,在求解域内 m 个节点上分别取值 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m$,方程组便转化为求解 ϕ_1 至 ϕ_m 的 m 个代数方程,再加上给定边界条件,来求解代数方程组。得到各节点上的 ϕ_i 值后,再按一定的插值方式即可求得整个计算域内的 ϕ 值。偏微分方程离散化方法不一样,得到的离散化方程组结构是不同的。求解结果还取决于节点的取值。表8-4列举了这些方法的原理及其特点。

数值计算往往建立在一定的假设条件下,并遵循一定的规则。诸如流体粘弹性、流动行为、压缩性,以及模具型腔几何尺寸特点、边界条件等,然后利用一定的算法求解各方程组,得到近似解。

表 8-4 数值解法原理及特点

	基本原理	特 点	缺 点
有限差分法 (FDM)	基于差分原理,在计算域内用差商逐点逼近微商来离散微分方程,求得各离散点处目标精确解的近似值	理论比较成熟、直观、简便,计算简单,计算量不大,占用内存少,程序编制和调试方便	对于复杂几何边界问题求解误差大,计算精度与离散点数量有关
有限元法 (FEM)	基于变分原理或加权余量法,采用分块逼近的思想,即将整个计算域分成有限个三角形单元来求取目标的近似解。常用的有 Galerkin 和控制体积有限元法	对于任意几何边界问题能够得到满意的精确解,可以通过局部加密网格的办法,来提高几何形状变化大处的计算精度	理论基础不太成熟,计算非常复杂,计算量大,占用内存多,计算时间长
简化有限元法	基于差分和变分原理,作了适当简化	综合有限差分法和有限元法的优点,适用于工程计算和分析	适用于精度要求一般的场合

第九章 现代测控系统在注塑机控制及加工系统中的应用

第一节 概 述

工业控制计算机能够提供各种数据采集和控制功能、直接与工业对象接口,能在苛刻工业环境中可靠地运行,并满足传统产业技术改造和工业自动化的需要,得以迅猛发展。工业控制计算机与主要用作科学计算、数据处理及信息管理的数据处理机(如个人计算机)在系统结构、技术要求、设计和使用方法、可靠性和抗干扰能力、以及方法论等方面均有很大不同。

目前,工业控制计算机包括基于 STD 总线和 PC 总线技术的工控机、PLC 可编程控制器及单片机等三大类,采用标准总线结构的板级计算机产业获得了飞速发展,促使这种迅猛发展的原因可归纳为:

① 标准总线结构的产品使得系统的设计者得以采用最新的技术,产品也跟随元器件而迅速发展;

② 采用板级计算机产品并重点放在系统设计,可减少应用系统的设计时间,缩短了开发周期,同时有助于降低成本、确保产品质量;

③ 模块化、组合化的技术发展趋势,面向具体对象往往采用功能组态,而不是传统的单独设计。

实现功能组态、模块设计的根本在于标准总线的应用和发展。总线技术出现的时间虽不太长,只有 20 余年的历史,各种总线产生的时期如下:

① 1971 年,按单总线结构制成微处理机的芯片、单板机,出现了板内总线;

② 1975 年前后,总线技术应用范围扩大、资源增多,出现了系统总线(例如 S-100 总线),以满足互连要求;

③ 1976 年 Intel 公司发表了多总线,进入了由单总线发展为多总线的时期;

④ 1978 年 Pro-Log 公司发表了 STD 总线;

⑤ 1981 年 Motorola 公司发表了 VME 总线;

⑥ 近年来 PC 总线、AT 总线、微通道、EISA 等相继出现,有了进一步发展。

这些总线具有各自的特点:

① PC 总线是单用户、单任务的 DOS 环境,软件开发工具较多、环境较成熟,用户易于接受。不足之处为模板的几何尺寸采取定高不定长方式,需要增加固定条,且因 I/O 槽数少,往往还需要扩充箱,故仅作为管理用,同时还因环境适应性差而需要加固;

② S-100 总线有 8 根数据线,未定义的信号线便于扩展,但兼容性差;

③ 多总线采用大板结构,硬件冗余度大,成本高;

④ Q 总线的地址和数据线采用总线复用、周期窃取的办法,共 44 根信号线;

⑤ STE 总线实质为欧洲标准的 STD 总线,即在 STD 总线的基础上做了一些改进,包括将信号线由 56 根扩充为 64 根,边缘式插座变成针孔插座;

⑥ STD 总线也称作标准总线,也可以理解为不能再少,总共有 56 根信号线。

比较各种微机总线的采用率,以及在工业控制领域中的采用率,STD 总线的采用率在所有应用领域中略低于 PC 总线和 AT 总线,而在工业控制领域中则遥遥领先其他总线,位居首位,充分说明 STD 总线已成为工业控制领域中的主流。

STD 总线是 STANDARD 的缩写,1978 年由美国 Pro-Log 公司发明,并与 MOSTEK 公司一起推出。对此,1981 年美国电子电气学会 IEEE 公布了 STD 总线标准,即 IEEE P961。由于它是一种面向过程控制和监测用的标准化微型计算机总线,具有独特的优势,使其在世界各地得到迅速发展。基于 STD 总线技术的工业控制计算

机现已成为在工业控制领域广为采用的主要机型。据悉,国外的航天设备控制系统、飞机控制系统以及 IBM 公司的计算机生产线上均采用了 STD 总线。

STD 总线的显著特点为:

① 采用小板结构,力学强度、抗震、抗裂、抗冲击、抗干扰性能好,温升小;

② 模块化设计、积木式结构,组态灵活,减小了硬件冗余度、成本低,可维护性提高;

③ 高性能,其软件与 PC 总线、AT 总线有较广泛的兼容性,支持多种 CPU,保护用户资源,缩短了开发周期;

④ 标准化程度高,机械尺寸统一,对存储容量和 I/O 端口的扩展能力强,映象范围宽;

⑤ 发展性好,可构成工业控制中的各种系统,进行前后台处理、双机备份处理等。

就我国现有情况,经过不断充实和改进,基于 STD 总线的工控机已形成了三个比较成熟的基本系列,分别为 8088 系列、Z-80 系列及单片机系列。I/O 模板相应配套成龙,并向智能方向发展,包括开关量入/出、模拟量入/出、脉冲量入/出,丰富的人机接口,包括单色、彩色图形显示,配备液晶显示/触摸键盘以适应恶劣工业环境的要求,通讯接口用于解决分布式系统中的通讯和互连问题。同时,在丰富系统软件支撑下,还有适合工业应用特点的各种配套软件和应用软件,如实时多任务操作系统、过程控制组态软件、PID 和自适应控制软件包等。

第二节 注塑加工控制系统设计及应用

一、基于 STD BUS 工控机的 YH-Ⅲ型注塑机电液控制系统设计

(一) 系统功能要求

VT-250/1250 型注塑机锁模力 1250kN、250g 注射量,要求具

备常规逻辑程序控制功能,并能够对系统压力、流量进行比例调节:

- ① 模具参数自动记忆,不少于 45 套;
- ② 三级开模、合模压力和速度;
- ③ 三级注射速度、二级保压压力;
- ④ 实时显示产品预置数及现时值,加热器预置温度及现时值,以及油温现时值;
- ⑤ 开模、合模前、后、行程中抽插芯、铰牙及铰牙顶针功能;
- ⑥ 固定、前、后三种加料方式;
- ⑦ 防涎功能取舍选择;
- ⑧ 除了安全门未关等常规报警外,还具有油温超值报警、回油压力超值报警和加热器故障报警等功能;
- ⑨ 操作键盘由参数设定和手动操作及功能键盘组成;
- ⑩ 电机采用星形启动、三角形运行方式。

(二) 系统设计

1. 液压系统设计

VT-250/1250 型注塑机液压系统具有以下特点,即:利用电磁阀执行调模、顶针、射台、预塑、抽、插芯动作,电液阀执行开模、合模、注射、防涎动作,差动阀供合模高速用,三通溢流调速阀控制压力和流量,其中,速度和压力分别调节,压力补偿式比例阀控制叶片泵排量,可以使叶片泵的功率在一定情况下与实际负载成正比,不致出现油量过多现象,有助于节能。

2. 电控系统设计

电控系统包括强电及弱电两部分。其中,强电部分由总电源、电机启动装置、温度控制仪及保护装置组成,弱电部分包括 STD-PC 工控机系统及应用软件、数据设定及操作键盘、显示器、比例放大器等。

系统设计基于以下思想,即:模块化设计,便于功能扩展和维护;面对用户具有良好的开放性,适用于不同规格的注塑机;软硬件采用可靠性设计;良好的人机交互功能,利用中文及下拉弹出菜单方式,并由屏幕(CRT)实时显示工况,借助防尘式触摸键盘,分别用于

设定和修改各有关工艺参数、实时操作等,以增强生产现场恶劣条件的适应性;模具资料自动记忆,断电后半年不丢失,便于操作和外存、备份等。

(1) 硬件设计 32 路开关量输入模板接收行程开关、感应开关、光电开关、压力继电器等信号,32 路带功率级的开关量输出模板用于控制电磁(液)阀、直流继电器、固态继电器(SSR)及报警器、报警灯等动作和控制料筒温度等,每路电压 24V、最大电流 3A;8 路模/数输入模板分别用于接收料筒温度、预塑行程、注射行程、合模行程、液压系统压力等信号,再经数/模输出模板(计 6 路)、比例放大器实施闭环控制;键盘、显示模板支持防尘式数据设定、手动操作和功能方式设定键盘、720×350 分辨率单显 CRT;CPU 模板具有 RS232 串行口,便于实现联机通讯和群控;一个符合 Centronics 标准的打印接口及软驱,供数据信息输出及外存;系统支持模板、电子磁盘模板分别支持系统时钟、WATCH DOG 功能及存放应用软件、继电器保护等。

比例放大器包括输入缓冲器,将输入信号限幅在 0~10V 以内;斜坡发生器把阶跃输入信号转换成缓慢上升或下降的输出信号,其斜率分别由两只电位器调节,最大斜坡时间 5s;颤振电流发生器通过产生三角波颤振电流来克服比例阀的滞环,颤振电流幅值和频率分别由两只电位器调节,常规设定值为 100mA 及 60Hz;恒流发生器将输入信号的电压在放大器的功率输出级转换成电流输出,为减少功率损耗,输出电流作 PWM 处理,频率为 3500Hz;稳压器产生 $\pm 9\text{V}$ 电压,既可用于内部的运算放大器和电位器,又可向外部输出 1000mA 最大电流,并可通过两只电位器分别调节输出电流至最小或最大值。

(2) 软件设计 图 9-1 所示为系统菜单,采用下拉弹出式汉化菜单方式,主要包括“数据设定”和“工作方式及实时显示”两大部分,具有信息容量大、可操作性强等特点。

考虑到工控机内存容量有限,采用自建小汉字库的方法。预先根据需要建立一个汉字库,并消除其中重复出现的汉字,显示时直接调用而不需要进入 CCDOS 环境。

数据设定	开合模	再循环计时	压力/%		速度/%	
	模具射针	开合模设定	合模快速	70	99	
模具注射	合模低压计时	模具指令	低压	10	70	
顶针	开模泄压计时	读出模具编号 15	高压	99	5	
抽插芯		写入 (Y/N)	开模—慢	65	30	
温度		使用模具总数 95	快速	50	90	
其他			二慢	22	22	
加料方式						

	压力/%	速度/%	时间/0.1s
防涎	45	99	30
预塑	20	70	
注射一	20	50	
注射二		40	
注射三		30	80
保压一	20	45	20
保压二	10		45

顶针/吹气 设定			
顶针方式	0	(0 顶出—不退 1 定次顶出 2 多次顶出)	
顶针次数			
顶针进压力/%	60	顶针进速度/%	50
顶针退压力/%	50	顶针退速度/%	50
顶针进延迟/0.1s	30	顶针退延迟/0.1s	30
动模吹气延迟/0.1s	20	静模吹气延迟/0.1s	0
动模吹气时间/0.1s	0	静模吹气时间/0.1s	0

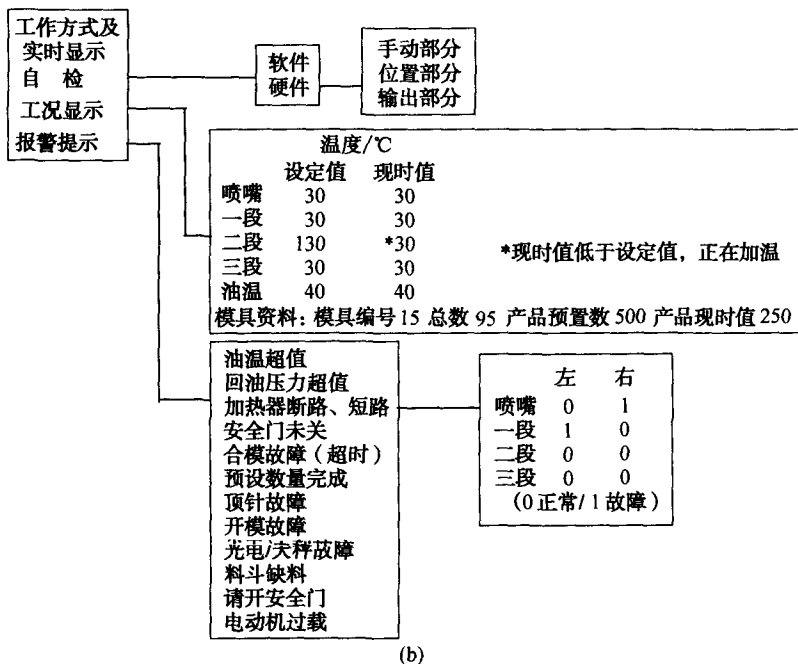
A 组抽插芯设定				B 组抽插芯设定			
抽插芯/铰牙 2 (0 不用/1 抽插芯/2 铰牙)				抽插芯 1 (0 不用/1 抽插芯)			
动作方式 0 (0 行程/1 时间)				动作方式 1 (0 行程/1 时间)			
压力/%	速度/%	时间/0.1s	计数	压力/%	速度/%	时间/0.1s	位置
绞牙进	40	30	0	0	0	0	0
绞牙退一	40	30	0	10	0		
绞牙退二			15				
动作位置 0 (0 开终/ 1 其他/ 2 闭终)				动作位置 1 (0 开终/1 其他/2 闭终)			

喷嘴 120 一段 120	单位: °C
二段 120 三段 120	油温 45

其他时间设定/0.1s	冷却设定 200	再循环延迟 5	合模低压 30	开模前泄压 0
警报功能设定	总循环计时/0.1s 1000	开模次数/次 9999		
其他动作	压力/%	速度/%	计数	
	射台进退 23	23		
	调模快/慢 80	50/20	20	
其他功能设定	合模高速 0	安全门自动 0	开模射台退 0	机械手 0
	(0 不用/1 使用)			

1 固定/2 前加/3 后加

(a)



(b)

图 9-1 下拉弹出菜单式人机界面

按照独立功能进行模块化设计,使函数具有多种功能,并通过改变函数的入口参数来实现相应功能。同时,使该程序内的各个函数同样也适用于其他程序,在运行速度允许的情况下,还可以被其调用,以减少程序量。由数据文件中读取相应的入口参数,再根据该参数由程序判断是何种操作,以调入相应的程序控制模块。程序设计中尽可能使每个程序的数据相对独立,以便于调试和修改,甚至功能扩展。

人机界面设计采用图形窗口方式,势必增加所需内存容量。通过采取返回存放屏幕上一矩形区域所需字节数,将指定区域的位图保存到内存,以及将以前保存的位图送回屏幕等措施,来解决实现窗口的弹出和消失时程序量大等矛盾。如图 9-2 所示,在屏幕上读取 buf 大小的图形区存入内存,并在 buf 位图的相应位置显示图形窗

口;操作完成之后,将 buf 位图由内存中读出再送回屏幕,即恢复原屏幕显示图形。

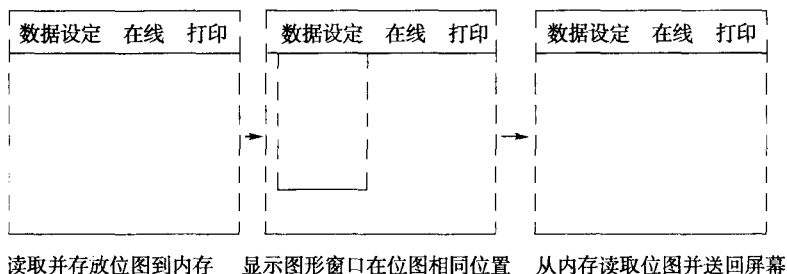


图 9-2 图形窗口设计

事实上,在解决了图形窗口显示之后,如何确定图形窗口中信息显示的方式也是非常重要的,同时,还需要通过建立堆栈来实现多层次的下拉式人机界面。

为了增强系统的可靠性和可维护性,系统中还配有软硬件自检程序,其中,硬件自检功能适用于手动键盘、各种开关及输出电磁阀等,并采用人机会话方式。

二、基于 PC BUS 工控机的注塑机综合测试系统设计

(一) 概述

注塑机性能优劣是影响注塑件质量的重要因素之一。如何提高注塑机性能,以及采取相适应的质检措施,已成为众多主机生产厂家急待解决的问题。

对于整机和主要零件的技术要求成为普通型注塑机的主要两部分,前者涉及设备采用的操作控制方式、安全保护、机械结构、外观、噪声,以及液压和电气系统等行业规范;后者包括螺杆、料筒和模板等。注塑机质量检测相应分解为基本参数与尺寸、整机、主要零件和总装技术要求的检测等四部分(见表 9-1 所列)。在具体实施过程中,由于众多因素所致,例如检测方法及设备落后、未按要求定期计量和调整、以及人为因素,实测数据通常存在较大误差,或者随机性

大,与实际不符,再加上传统检测方法操作麻烦、效率低,因而,对注塑机质量往往难以作出客观的评价。

表 9-1 注塑机质检及技术要求

类 别	项 目
基本参数与尺寸	锁模力 拉杆有效间距 移动模板行程、最大模厚、最小模厚 启闭模时间 启闭模速度 理论注射容积 实际注射质量 塑化能力 注射速度、注射压力 模具安装尺寸
整 机	操作控制方式、合模部分联锁安全保护装置、运动部件 整机噪声 液压系统 电气系统 外观、油漆、包装
主要零件	螺杆 料筒 模板
总 装	螺杆与料筒的最大径向间隙值 注射喷嘴轴线与固定模板模具定位孔轴线的同轴度 移动模板与固定模板的模具安装面的平行度

例如,锁模力及其测试,由于反映了合模机构对模具施加的最大夹紧力,并在一定程度上能够反映出注塑机加工制品能力的大小,成为表明注塑机规格的标称值,而显得尤其重要。然而,在实际生产过程中,厂家通常往往仅按一定比例抽检整机产品,并据此判断整批产品的质量优劣。由于我国机械加工能力还不太强,自动化程度不高,致使加工产品质量一致性较差,随机性太大,因而按惯例采用抽检的办法来考核塑机质量,未必能够真实反映其质量的客观性。在强化质量管理的同时,还应结合我国实际对锁模力进行实测,并逐渐完善自动调模功能,最终达到降低劳动强度,确保塑料制品质量的目的。

(二) 锁模力测试及软硬件系统设计

注塑机综合测试系统基于 PC-BUS 微机,具有如图 9-3 所示体系结构,采用模块化组态思想,通过 CRT 和键盘,借助下拉弹出窗口式菜单进行功能选择,实际测试、显示数据和曲线等。下面着重说明锁模力测试原理及其系统设计。

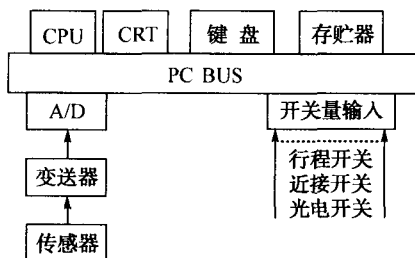


图 9-3 注塑机综合测试系统原理框图

1. 基本原理

在注射成型中,实际锁模力大小与制品形状、选用材料、工艺条件及模具结构有关,往往采用下式来确定成型某一制品所需锁模力大小,即

$$F_R \geq p_a A \quad (9-1)$$

式中: F_R ——实际锁模力, kN

p_a ——平均模腔压力, MPa

A ——制品在分型面上的投影面积, cm^2

其中, p_a 根据流长比(即熔体自浇口流经的极限长度与制品壁厚之比)、塑料粘度系数及制品壁厚选取,即

$$p_a = \alpha p \quad (9-2)$$

式中: α ——塑料粘度系数(例如 ABS 为 1.3~1.4, PE 为 1)

p ——模腔压力

事实上,由于机械加工过程的缺陷、调模不准确以及液压件泄漏等原因,往往造成实际锁模力低于理论设计值,增加了试模的难度,有必要作实时监测和控制。表 9-2 列举了通常可供采用的办法及其特点。

综合各方面的因素,采用了测试假模应变的方法来测试锁模力。

表 9-2 锁模力检测方法特点

检测原理	被测量	检测元件	检测点	特 点
电阻应变效应	应 变	应变片	拉 杆	注塑机、中空机典型测定方法,对粘贴质量要求高
弹性变形	位 移	位移传感器	拉 杆	基于弹性变形原理,对传感器精度及定位精度要求高,安装有特殊要求
压阻效应	压 力	半导体压力	模 具	安装在模具阴、阳模接触传感器表面,精度高,但对模具有特殊要求
压电效应	压 力	陶瓷、石英晶体压力传感器	模 具 内 壁	安装在模腔内壁,直接反映模腔压力,传感器要求高,有一定难度
电阻应变效应	应 变	应变片	假 模	假模为试件,符合塑机锁模力测定要求,易于实现

其中,工作应变片 R_1 、 R_3 和 R_2 、 R_4 沿轴向贴于假模外壁对称点,在每一点附近沿圆周方向分别还贴有应变片 R_T ,用于温度补偿。当模具锁紧时,假模受到的作用力为:

$$F = \sigma A_s = EA_s \epsilon \quad (9-3)$$

式中: F ——假模作用力

E ——假模弹性模量

A_s ——假模横截面积, $A_s = \pi(D^2 - d^2)/4$, 其中 D 、 d 分别为假模内外直径

ϵ ——假模应变

假模受力压缩变形,粘贴在上面的工作应变片相应产生应变,应变片阻值变化:

$$\Delta R/R = K \epsilon_r \quad (9-4)$$

式中: K ——应变片灵敏系数

ϵ_r ——工作应变片的应变,通常忽略应变胶等影响,近似认为 $\epsilon_r = \epsilon$

R ——工作应变片初始值,通常可选择 120Ω 、 250Ω 、 350Ω 等

ΔR ——工作应变片阻值变化量

由式(9-3)、式(9-4),得

$$\Delta R = KRF/EA_s \quad (9-5)$$

利用电测原理,常常将应变片组成电桥的一个工作臂(半桥)或四个工作臂(全桥),通过该电桥的不平衡来测得应变电阻变化量 ΔR ,再由式(9-5)得到锁模力 F 。以半桥为例,电桥不平衡输出量为:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \left(\frac{R_T}{R_T + R + \Delta R} - \frac{1}{2} \right) U_0 \\ &= \frac{-\Delta R U_0}{2(R_T + R + \Delta R)} \end{aligned} \quad (9-6)$$

式中, R_T 为温度补偿应变片阻值,通常, $R = R_T$, $\Delta R \ll R_T$, 故式(9-6)近似为:

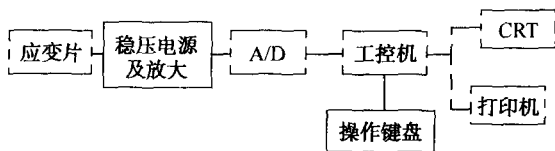
$$\Delta U \approx \frac{-\Delta R U_0}{4R} \quad (9-7)$$

$$= \frac{-KFU_0}{4EA_s} \quad (9-8)$$

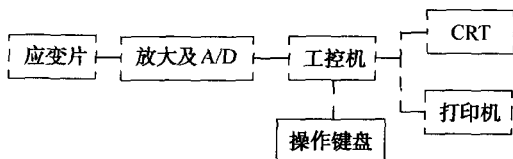
由式(9-8),可见,输出 ΔU 与 F 成比例。

2. 硬件设计

根据系统要求,具有两种可供选择的硬件结构(如图 9-4 所示),其工作原理完全一样,只是在信号获取及处理上有些差异。一



(a)



(b)

图 9-4 硬件组成框图

是有源信号传输(毫伏级微弱信号),需要采取信号滤波及光隔等措施以抗干扰,A/D通道不少于四路;或者采用无源信号传输(纯电阻变化),稳定性较好、电干扰较小,无需光隔处理,A/D通道不少于八路。

采用有源信号传输方式,由应变片组成的半桥、微弱信号预处理电路模块、低输入高输出阻抗直流信号放大电路、A/D转换模块和微机组成。其中,微机除用于采集、运算测试数据外,还可以利用CRT显示标定曲线和被测数据,并经打印机输出报表供存档用。

3. 软件设计

程序全部汉化,采用下拉弹出窗口式菜单进行操作,具有多种提示功能,增强了其可操作性。主程序人机界面由实际标定测试和理论辅助测试两个选择项组成。图9-5所示为主程序流程,采用模块化设计,包括键管理、数据处理、数据输入、注塑机和中空机标定及实际测试、应变仪标定测试等部分。其中,数据输入流程如图9-6所示,数据库由目录(标定、实测、应变仪、其他)、主关键词(注塑机、中空机)、副关键词(假模编号)及元素(测试数据、标定数据)等项组成,采用广度优先搜索算法。

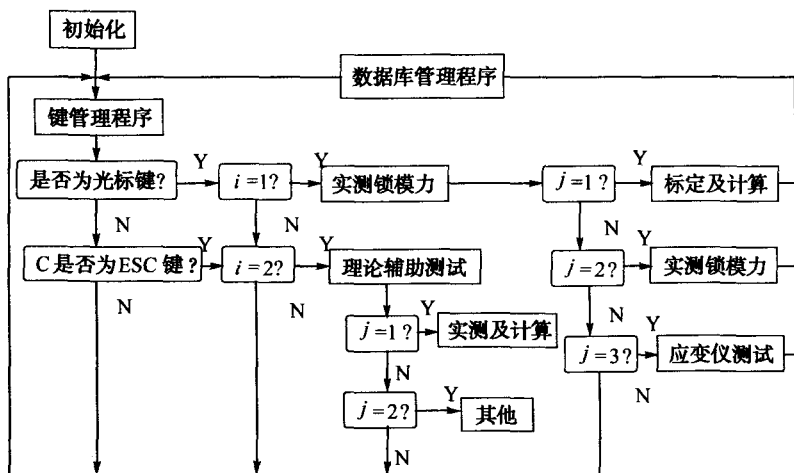


图 9-5 主程序流程

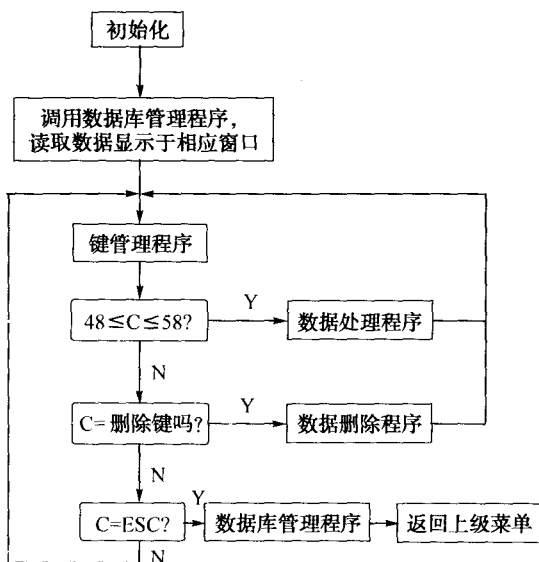


图 9-6 数据输入流程

(三) 标定测试及数据处理

工作及补偿(温度)应变片选用缩醛类箔式应变计 BX120-6AA (标称阻值 120Ω), 缩醛 XF-1 应变胶, 并经固化处理(施加预压 0.05~0.1MPa, 80℃ 恒温 30min, 再升温至 170℃ 恒温 60min), 最后再用丙烯酸类树脂 P-4 涂料以防潮或起绝缘作用。

系统标定时, 由油压机提供恒压力源, 数字万用表测试桥压、显示工作电桥不平衡输出电压。标定假模分别编号为 4 ($D = 315\text{mm}$, $d = 250\text{mm}$, $H = 315\text{mm}$)、5 ($D = 400\text{mm}$, $d = 315\text{mm}$, $H = 250\text{mm}$)、6 ($D = 500\text{mm}$, $d = 400\text{mm}$, $H = 500\text{mm}$), 分别适用于 250g、500g 和 1000g 塑机。工作桥压为 4V。

采用最小二乘法线性拟合, 得到 4、5、6 号假模及系统标定数据拟合直线方程列于表 9-4。实测结果表明, 系统精度优于 0.25%, 完全能够满足实际定量测试锁模力的要求; 同时, 根据四点(对应于四根拉杆)显示值的差异, 准确地反映出动模板与定模板间的不平行

度,以及由此而引起模具发生扭曲等不良现象,对于确保主机以及注塑制品质量具有明显的辅助作用。

表 9-3 锁模力检测方法特点

假模	输 出 电 压			
	拉杆 1	拉杆 2	拉杆 3	拉杆 4
4 号	$-0.035 + 0.0002 \times F$	$0.224 + 0.0003 \times F$	$0.047 + 0.0002 \times F$	$-0.002 + 0.0002 \times F$
5 号	$-0.011 + 0.0001 \times F$	$-0.071 + 0.0001 \times F$	$-0.021 + 0.0002 \times F$	$0.037 + 0.0002 \times F$
6 号	$-0.021 + 0.0001 \times F$	$0.044 + 0.0001 \times F$	$0.009 + 0.0001 \times F$	$-0.032 + 0.0001 \times F$

(四) 误差分析与问题讨论

1. 干扰及测试系统精度

测量时的干扰源有数种,包括应变片绝缘性变差及与导线连接处接触电阻变化。塑机及测试系统接地不佳,通常要求采取机壳共地、电路浮地的办法;电磁干扰,采用屏蔽及阻容滤波、数字滤波、光隔等方法来消除。

为了提高测试精度,硬件设计中选用了高精度运放 AD524、12 位 A/D(A/D574),软件设计利用最小二乘法拟合标定曲线,并通过软件进行温度补偿、导线阻值补偿、桥压及零位校正等。由于粘贴工艺对测试精度的影响也非常大,对此我们采取了一些措施,包括选择粘贴胶、试件预处理、粘贴方式、焊接引线和固化处理等诸方面。

2. 测量导线电阻的影响

实际现场测量时,应变片与测试系统之间有一定距离,势必增加连接导线长度(约 3m)。这时,不可能忽略测量导线的电阻值,因为该阻值必然会带来测量误差。例如,采用纯电阻测量方案,假设接入的两条测量导线阻值都为 r ,工作臂电阻相对变化则由 $\Delta R/R$ 变为 $\Delta R/(R+2r)$,由式(9-4)知,相同应变下,接入测量导线后,工作臂阻值相对变化减小,相当于应变片灵敏系数 K 降低了,即

$$K' = \left(1 - \frac{2r}{R}\right)K \quad (9-9)$$

此时,测量导线带来的相对误差为:

$$\delta = (K' - K)/K = 2r/R \times 100\% \quad (9-10)$$

另外,测量导线阻值随温度变化也会引入测量误差。

在系统设计时,除了要求各测量导线必须屏蔽、长度及规格完全一样外,还通过差动的办法来消除温度影响;同时,综合实际标定,按式(9-9)修正计算灵敏系数的方法,来消除较长测量导线对系统测量精度及准确度的影响。

3. 桥压源及其影响

根据式(9-8),电桥不平衡输出与桥压源电压成比例,由于桥压变化引入的输出误差表示为,

$$\delta = (\Delta U' - \Delta U) / \Delta U = \Delta U_0 / U_0 \quad (9-11)$$

式中: ΔU_0 ——桥压变化量

例如, U_0 取 4V, ΔU_0 为 0.01V 时,输出误差 δ 达到 0.25%。通常采取提高桥压源精度,不惜增加硬件投入来降低其对输出电压的影响。也可以采用软件补偿措施,桥压仅由一只普通稳压器 LM317 提供,在实时采集被测数据的同时,桥压信号也经 12 位 A/D 送入微机,经计算后提供修正系数以补偿桥压变化引入的误差。由于 12 位 A/D 的分辨率达到 0.122% (针对 5V 电压),故系统在未增加其他投入的情况下,桥压源误差的影响可降低 50% 左右,效果十分显著。

4. 自动调模

针对各种合模方式(如充液直压式、液压-机械式),调模方法不一样。例如,充液直压式可以通过压力传感器实时检测作用在锁模油缸上的压力,并控制相关的液压阀来调节锁模力。下面介绍一种适合机械-液压合模机构的自动调模结构及其工作原理。

调节锁模力是由模具厚度调整装置和微机来实现的,前者由蜗轮蜗杆、传动齿轮及调模油马达组成,两个行程开关分别用于确定连杆是否伸直和模具接触与否。通过油马达驱动齿轮,再经蜗杆、蜗轮使拉杆大螺母旋转,推动后固定板、连杆、动模板等整套机构前进或后退,以适应不同的模具厚度,并保证拉杆拉伸、连杆和模具压缩,满足所需锁模力要求。微机除了检测行程开关是否合上外,同时,根据锁模力大小计算出拉杆拉伸量,再结合动模板、连杆等的压缩量,决

定后固定板、连杆、动模板向前的移动量,并将该值转换为螺杆的转数。利用装在蜗杆轴上的转数传感器计数,并送入微机。当计数达到给定值后,再根据实测锁模力大小,由微机作出判断,并发出指令信号,使油马达停止转动(表示锁模力已达到给定值),或者继续转动一直到满足要求为止。

锁模力测试系统适合全系列注塑机锁模力测试。实际应用表明该系统测量精度已能满足要求,并且完全替代了传统采用应变仪测定锁模力的方法。

基于 STD 总线技术的工业控制计算机已成为当今用于工业控制领域最为流行的机种,其开放式系统易于系统升级和功能扩充等,标准化的总线结构和小板结构,模块化设计,便于功能组态,并由传统的元件级开发上升到板级或系统级产品开发,开发周期大大缩短,可靠性高、维护方便。

然而,由于受到工控机硬件资源的限制,再加上性能价格比等原因,尤其类似塑机等控制对象,对系统的要求高,包括人机交互性、可操作性、可视化、可靠性等,而成本却受到限制。如何在满足质量要求前提下,降低工控机生产成本,开发相适应的专用模板及高效工控软件,并能够进行功能组态,已势在必行。尤其是后者,包括良好的人机界面生成程序、下拉弹出窗口式菜单集成生成软件、控制策略组态软件,以及实用的算法和数据结构,例如多程序、模块化设计及其实现等。

第三节 注塑成型加工综合自动化

一、成组技术与综合自动化

成组技术是一种综合性的组织措施,一般用于机械制造企业产品生产的全过程。它从系统工程的角度将企业生产的多种产品、部件和零件,通常利用分类编码系统,按照特定的相似准则分类归组,并在分类分组的基础上完成产品生产的各个环节,从而实现各个领域(产品设计、制造工艺和生产管理等)工作的合理化。成组技术也

有机械制造系统工程学之称。近 20 年来,随着系统工程及计算机技术、数控技术的发展和普及运用,成组技术得以充实和完善,并用于指导实际工作,使之更加科学和系统,并形成了一套完整体系。

1. 成组技术发展过程

成组技术是 20 世纪 50 年代初由苏联学者 C·米特洛范诺夫提出的,并在机械加工过程中付诸应用。他于 1956 年出版了世界上第一部经典著作《成组加工的科学原理》。这主要是为了用于实现工艺标准化。20 世纪 50 年代末,成组技术由苏联、东欧传到西欧,西德阿亨大学教授奥匹兹建立了零件分类编码系统(国际上称之为奥匹兹法则),提出了零件统计学这个十分有用的工具,并发展了利用计算机进行零件分类分组的方法,促进了产品设计的标准化和计算机辅助设计的应用。目前,在研究柔性制造系统方面处于世界领先的国家,英国侧重于建立生产单元;瑞士注重全面应用成组技术;日本成组技术已应用到冲压、铸造和装配等工艺过程,现正在大力开发以成组技术为基础的柔性制造系统和无人化工厂;美国则先发展数控技术,后重视成组技术。

我国从 20 世纪 60 年代初才开始研究和推广成组技术,首先在纺织机械行业试点推行,并于 1967 年 10 月在上海召开了全国纺织机械推广成组技术的现场会。原第一机械工业部在大连机床厂、北京工程机械厂、济南第二机床厂等推广过典型工艺。原三机部 116 厂应用过成组技术。后来,绝大多数工厂中断了,但上海中国纺织机械厂两条成组自动线和几台成组专机及 116 厂的成组夹具迄今仍在生产中应用。1981 年后成组技术再度受到重视,同年 12 月在厦门召开了第一届成组技术经验交流会。原机械部决定,在济南第二机床厂、沈阳第三机床厂和北京人民机器厂试点。1984 年以机械部设计总院为主,组织有轻工业部等 14 个单位参加,共同完成了《全国机械行业零件分类编码法则 J1BM-1》,这是全国机械工业制定的第一个作为部级指导性技术文件的分类编码系统,发展至今全国已有 20 多个系统参加。1990 年 5 月在武汉召开了第四届年会,出席大会的有来自机电、轻工等部门的代表 250 余人,会议达到了空前的规

模。成组技术向集成化方向发展,充分意识到成组技术、数控技术、计算机技术是企业现代化的三大支柱,成组技术是走内涵式技术改造、提高经济效益、改变我国机械工业落后面貌、迎头赶上世界先进水平的必要手段之一。

2. 成组技术在轻机行业应用情况

轻工行业具有以下特点,即行业多样性决定了轻机产品的多样性;企业的多层次决定了轻机产品的多规格;较强的生产工艺性要求工艺改变时设备必须相应地适应;大部分轻机产品年需求量小,决定了轻机产品小批量、单件和轮番生产特点;轻工产品市场变化快,要求轻机产品更新换代快,致使每个新产品市场寿命短;轻工行业多为加工工业、流程工业,要求产品成套性强。

成组技术正是改变机械制造业多品种、单件小批量生产的设计、工艺、管理落后面貌,提高企业素质,增强应变能力,取得好的经济效益的有效途径之一。

1982年,成组技术首次在唐山轻机厂、广东轻机厂和无锡塑料机械厂进行试点。在唐山轻机厂的试用取得了显著的经济效益,课题的研究范围涉及成组技术应用的多个领域,其中,包括零件的分类、编码、成组单元生产、计算机辅助成组设计、CAPP和计算机辅助生产管理及计算机辅助工时定额等方面。该成果作为在一个企业内,在设计、工艺和管理上全面应用成组技术的综合成果,达到国内先进水平。它不仅对唐山轻机厂有很大的实用性,且在轻工机械行业具有推广价值,对我国机械行业推广成组技术也具有参考作用。随后,常德烟草机械厂等,均已打破机群制,机械加工车间重新按成组单元排列,并完成了第一期工程,取得较好的经济效益。

近年来,随着计算机的广泛应用,加快了成组技术推广的速度,越来越多的轻机企业准备应用成组技术,如北京塑料机械厂等都在积极准备、进行调研,有的已将该技术纳入中长期发展规划。

我国成组技术的研究取得了一定的成果,主要有以下几方面:

① 能熟练地根据不同企业、不同产品、不同用途要求,针对各种零件建立零件分类编码系统,并开发相应的计算机零件信息统计和

辅助编码软件;

② 利用成组技术原理,现已发展了人工检索、计算机检索和因素合成三种形式;

③ CAPP 系统研试成功;

④ 能够对机械加工车间单元平面布置进行设计,达到实用合理;

⑤ 计算机辅助成组生产作业计划的编制已成功地应用到生产实际;

⑥ 计算机辅助编制工时定额已经得到实际应用;

⑦ 成组夹具的设计已开始实施;

⑧ 机械加工车间收到了成组加工的效果。

总之,成组技术的应用一方面提高了应用领域的工作质量和工作效率,同时也带来了很大的经济效益。尤其是成组生产单元的建立,使零件加工由全车间内的大循环运转变为在单元内的小循环流通控制,由于加工对象稳定少变,少换工卡量具和刀具,生产辅助时间大大减少,效益显著。

3. 成组技术进一步应用前景——综合自动化

轻工机械行业运用成组技术势在必行,而且有了一个良好的开端,为了适应形势的需要,必须进一步推广成组技术:

① 进一步巩固、完善、提高和扩大现有成果,使已开始应用成组技术的企业,如无锡塑机厂等,尽快进入第二期工程,作好系统分析。

② 利用现有研究成果,建立轻机主要行业的零件分类编码系统,根据编码系统对该行业全部零件进行编码、信息统计处理,在此基础上建立相似图册。再根据零件出现频率从高到低进行标准化,从而建立起行业的标准零件、相似零件和专件的标准图册。根据标准图册,建立起相应的工艺、工时、工装、成本数据库,把全行业的优化最高水平应用到行业每个厂,达到共享。

③ 成组技术和多种现代化管理技术相结合,全面提高企业的现代化管理水平。

④ 以成组技术为基础,以计算机应用为核心,建立轻工机械企业内部信息管理系统。

⑤ 在建立全面信息管理系统的基础上,研究开发综合自动化系统,把轻机行业的管理提高到现代化阶段。

⑥ 以成组技术促进轻机行业的专业化和零件的商品化。

⑦ 以成组技术为指导,把各个企业的信息管理网络联结起来,建立全行业的轻机信息管理网络。

二、注塑机群控系统

(一) 概述

注塑机的节能、高效、自动化程度及质量已为用户所关注,同时,对于中大规模注塑工厂(车间),甚至量小、品种多的小规模注塑车间,在保证制品质量前提下,如何利用成熟的自动化设备,通过提高生产率,缩短成型周期,降低废品、次品率,节约原材料和能源,来降低成本,增强市场竞争力,已引起高度重视,势必采用先进的控制技术和手段。注塑机群控系统自然也就在这样的背景下诞生了。国内虽自 1982 年通过引进、消化、吸收途径,开发注塑机微机控制系统取得一些成果,但由于配套性差及受到各种客观条件限制,而难以推广和定型,更无法批量生产。

(二) 系统设计原理

这个系统的中心点在于采用了集中管理、分散控制设计思想,即预先将任务进行分配,并指定由独立的控制器完成相应的任务,形成集成控制单元;各集成控制单元再经通讯接口与一台中心管理计算机联系,获取指令,同时提供现场数据。通常,集成控制单元之间相互独立,信息传递都由中心管理计算机协调。

1. 硬件设计

注塑机群控系统对于包括不同种类的注塑机、辅助设备等进行联网群控,旨在实现从生产到储存的连续自动化生产,进一步提高管理和控制水平,降低管理费用。一般有两种方式,一种是利用一种分布智能网络系统,管理几十台注塑机并监测注塑机和辅机的数百万个功能参数,以及设备工作过程,还可以满足优化工序、协调生产与订货需要,并进行大量数据储存和管理工作。往往由一台中心管理

计算机,采用通讯方式与各个设备取得联系,发出指令,协调动作;另一种则基于 FMS/FMC(柔性制造系统/柔性制造单元),如图 9-7 所示,由三个区组成,并通过中心计算机统一控制,协调生产。其中,成型区每组注塑机共用一个换模系统(包括换模机、模具架及预热台)。FMC,即为小型化的 FMS,成型区每组仅有 1~2 台注塑机,组装机器人位于两组注塑机之间。

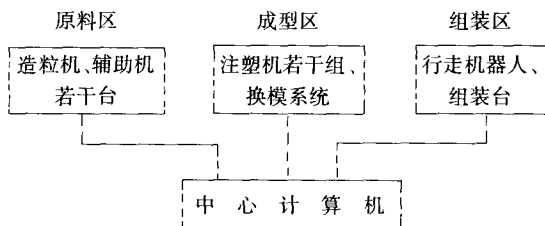


图 9-7 注塑机柔性加工系统/柔性制造单元

DDC 级的专用控制器,要求性能稳定、可靠,满足程序及过程控制要求。MCS-96 系列准 16 位 8098 单片机,性能价格比高,不仅具有较强的数据运算、处理功能(例如,片上自带四路 10 位 A/D、高速 I/O 及 PWM 输出和片内 RAM 等),而且还有 Watchdog(看门狗)电路,来保证程序“飞掉”后能及时恢复正常,缺点是需要从元件级开发,采用大板结构,开发周期长;PC(可编程控制器)结构紧凑、价格适中、编程简单、质量稳定可靠,可直接进行注塑机程序动作控制,再配上模拟量及数据运算单元,还能进行过程控制,国内已广泛用于中小型注塑机,从系统构成角度,可望还有一定的发展;选用适合工业过程控制的 PC 总线或 STD 总线工控机,由于系统具有开放式结构,便于扩展,同时各个功能模板经过严格考核,因此,质量上得以保证,同时有助于缩短开发周期,只是价格较贵,推广一时有些困难。从国情出发,选用单片机和 PC 来控制注塑机及其辅助设备,形成集成控制单元,作为 DDC 级;采用工控机或高档商业用个人计算机作为中心管理计算机,来构成群控系统。

只有一台注塑机的 FMC,采用如图 9-8 所示主从结构,下位机选用抗干扰性好、运算速度快、性能价格比高的 8098 单片机,作为直

接面向注塑机的 DDC 级,进行程序控制、数据采集等;STD-PC 工控机由于具有环境适应性强、性能稳定等特点,作为上位机,完成数据存贮和管理、发送指令,并监视生产过程。上下位机之间通过 RS-232C 异步串行口,再经数台两用 Modem(调制解调器)进行无线数据传输。

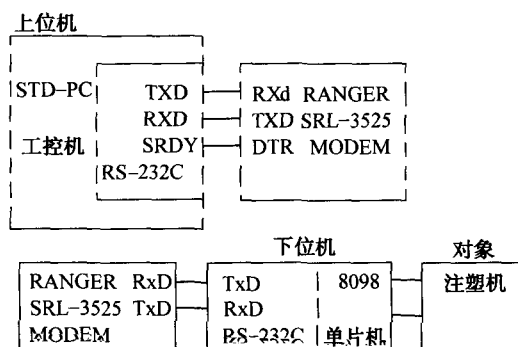


图 9-8 注塑机两级控制原理框图

2. 软件设计

群控系统软件包括质量控制(例如过程参数控制、质检和分类),即 QC 软件和系统管理软件两类,前者采用何种语言编程由选用的控制器决定;而后者一般是利用不同的支撑软件,开发出适合在特定环境下运行的软件包。

上位机采用下拉菜单进行功能选择和操作,主控程序由键管理程序和图 9-9 所示四部分组成。其中,“参数设定”菜单包括功能设定、报警参数设定、过程控制参数设定(修改)及显示、过程控制参数传递;“工况显示”菜单由实时及离线工况两部分组成,分别显示下位机在各工况下的参数及其响应曲线;“故障诊断”菜单由诊断(自检)及报警两部分组成,可以分别对软件中有关数据文件、配置文件、字库等,以及硬件中有关通讯口及设备、操作键盘、数字 I/O 通道、传感器、A/D、D/A、电磁阀等进行自检,同时,提供有关下位机实时工况的近 20 多种故障报警功能;由“文件管理”菜单进行文件拷贝、打印、删除、修改文件名等。图 9-10 给出了主控程序流程。下位机直接面

向对象,通过上位机获得工艺过程参数进行程控,同时以中断方式返回给上位机有关实时工况数据及故障信息等。

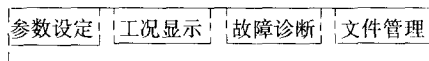


图 9-9 上位机主菜单

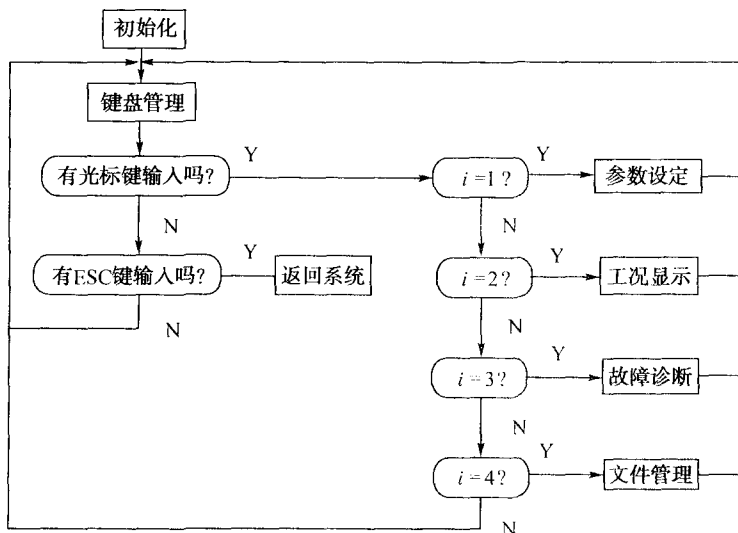


图 9-10 上位机主程序流程

上下位机通讯采用了以下规则:

① 上位机接收数据采用中断方式,即:有一台下位机提出申请,立即响应;数台下位机同时提出申请,按优先级高低排队,并响应优先级最高的下位机请求,依次类推;已接受一台下位机申请,在未结束通讯时,一方面禁止响应其他下位机申请,同时,对这些请求通讯的下位机排队,发出登记信息,直到当前正在进行的通讯结束后再去处理;

② 上位机发送数据采用查询方式,即:对每一台下位机编号,每次仅传送一台需要进行通讯的下位机编号,经握手过程,再按应答

方式进行正常通讯;

③ 下位机接收数据采用中断方式,即:上位机提出通讯请求,下位机都响应,经验证编号后,只有一致者才进入正常通讯,其他则退出;

④ 发送数据采用中断方式,即:向上位机中断请求发送数据,获得返回应答信息,根据该信息作不同处理,包括正常进行、等待或超时出错返回。

采用 1200 波特率、2 位停止位、1 位起始位及 8 位有效位的通讯格式,通过 RS-232C 或 RS-422 接口中断接收获得的数据,并预先存放在一个数据缓冲区供程序读取和处理。该数据缓冲区采用循环队列结构形式,其大小由被控对象和程序运行方式以及时间来确定。由于循环队具有存贮数据的数量不受限制等特点,因此可以减少数据区和对内存的占用量。该队列首尾相接,实际应用时可根据队列首尾指针进行操作。通讯程序中,数据缓冲区除了用于暂存数据外,还有助于远程通讯时速度匹配,进行数据流控制。

(三) 抗干扰措施及冗余技术

即使在硬件选用合理的前提下,由于各种干扰,尤其是经导线传输、电磁耦合传输、空间传输等途径侵入的电磁干扰,常常使系统发生故障,因此,必须采用诸如隔离、屏蔽及正确接地等措施予以排除。

通常采用硬件冗余(如双机热备份)和软件等办法来保证系统的可靠性。其中,后者通过增加系统信息管理及故障诊断、处理软件,一方面起保护信息作用,同时,能够及时发现故障并找出故障部位,便于维护,一旦故障排除,系统还能够迅速投入运行。对于群控系统而言,由于数据传输频繁,因此,最为关键的是如何保证数据传输过程正确、不出错。一般采用图 9-11 所示信息冗余传输方式:

① 图 9-11(a)所示返送方式,接收端把收到的信息经反馈通道送回发送端,并与发送信息比较以检验错误。这种方式对发送及反馈信道可靠性要求高,检错能力强,只是效率略低;

② 图 9-11(b)所示连发方式,发送端将一条信息连续发送两次,经接收端比较,作出是否出错并重发决策。这种方式一条信息至

少需要传输两次,效率极低,对于随机干扰出错可以检出,但对于因系统不完善出现的差错却无能为力;

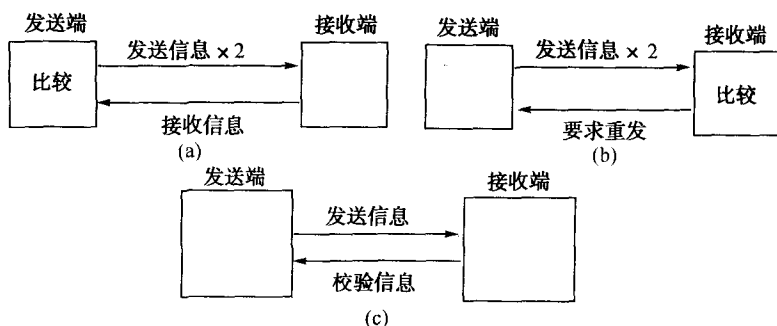


图 9-11 冗余传送方式

③ 图 9-11(c)所示返送校验方式,接收端根据收到的信息编制成校验码,并将其返送到发送端,与发送端保存的校验信息进行比较,作出是否因出错而重发原信息决策。这种方式效率最高、可靠。采用方式(c)通过对传输数据进行预处理,得到如图 9-12 所示若干邮包。其中,每个邮包由报头(项目分类)、身份码(地址)、文本(数据)、结束标志和校验码五部分组成,并按照协议确定的文件传输规约进行数据传输。这时,数据的传输变为传输一系列对应的邮包,接收端将收到的邮包再按规约作相应识别,进行检错和处理。由于采用了上述循环冗余校验技术,并通过重复传输出错的数据块,即克服了校验位检测由于只能提供一位传输出错信息,而对数据截断和数

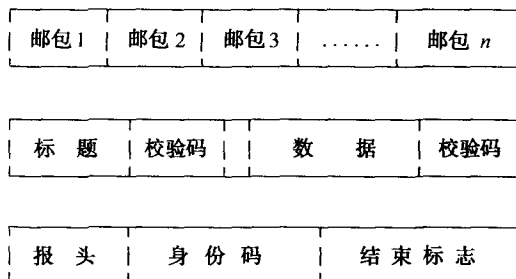


图 9-12 邮包的组成

据块出错却无能为力等不足,又提高了数据传输的可靠性。经实际运行证明完全能够满足系统设计要求。

为了提高应用软件本身的可靠性,还采取许多措施,包括模块化结构设计,各功能模块之间尽可能减少直接依赖关系;通过严格的考核及测试,尤其是现场调试,使软件趋于完善。

注塑机群控系统在国内外潜力很大,尤其是随着微机控制系统的普及和不断采用机械手或工业机器人等辅助设备,有助于提高注塑机自动化水平。群控系统还可望涉及以下几方面:

- ① 自动上料(含预处理)、换料、换色;
- ② 自动更换注射装置,与注射座以及各种管线(加热、压力油、冷却水、热电偶、各种传感器等)的自动连接;
- ③ 模具的输送与快速自动更换,包括模具自动装卸和自动夹紧及各种管线(水、电、气)、各种传感器等快速自动连接;
- ④ 自动调节模板间距;
- ⑤ 模具和注射装置的放置和预热;
- ⑥ 机械手的辅助性工作;
- ⑦ 工艺参数自动调节,生产过程自动监控,生产数据采集、处理和显示等;
- ⑧ 质量监督,自动收集和分离制品、回收浇口和废料。

开发基于 FMC 的群控系统更符合国情,因此,国内市场潜力会更大。同时,在开发经济、实用而又可靠的智能化集成控制单元的同时,普及、推广成组技术及相关技术,通过联网真正实现塑料成型生产、管理、计划、经营等群控,以计算机、通讯和控制技术来改善传统塑料加工产业,改变落后的生产、经营管理方式,从而提高企业管理水平,在保证产品质量的同时,降低劳动强度,提高劳动生产率,无疑这已成为发展的必然趋势。

三、基于 PLC 的注塑机多级控制系统设计

(一) 概述

PLC 自 1969 年问世以来,随着微电子技术、微机技术和控制技

术的迅猛发展与综合,已远远超出单纯继电器和逻辑程控范畴,发展为多功能、智能化的综合控制器。其应用领域也已从单机自动化、生产线自动化扩展到车间及工厂生产综合自动化,甚至 CIMS、IMS 等。与此相适应,PLC 的网络与通讯技术也发展得比较成熟,表 9-4 列举了日本欧姆龙 PLC 四种网络与通讯类型及其特点。

表 9-4 PLC 网络与通讯

链接方式	说 明	分 类	
下位链接	PC 与 远 程 I/O 单 元、 远 程 终 端 或 链 接 单 元 相 链 接	远 程 I/O 系 统 I/O 链 接 系 统 光 传 送 I/O 系 统	
同位链接	PC 机 之 间 通 过 PC 链 接 单 元 相 链 接	单 级 系 统 多 级 系 统	
上位链接	PC 机 与 上 位 计 算 机 相 链 接	光 纤 链 接 的 上 位 链 接 系 统 RS-422 链 接 的 上 位 链 接 系 统 RS-232 链 接 的 上 位 链 接 系 统	
网络链接	PC 机 通 过 网 络 链 接 单 元、网 络 服 务 板、网 络 服 务 单 元 链 接 PC 机 与 计 算 机 构 成 网 络	SYSMAC NET 链 接 单 元 PC 卡 单 元 SYSMAC LINK 单 元 CONTROL LINK 单 元 CompoBus/S 主 单 元	

链接方式	特殊单元	连接线	应用场所
下位链接	3G2A5-RM001 CQM1-LK501 G72C-I/D16	电缆、光缆	远程大型设备 大规模分散控制 分散 I/O 控制, I/O 点有限
同位链接	C200H-LK401 C500-LK009-V1	电缆、光缆	大规模控制
上位链接	C200H-LK101-P C200H-LK202 C200H-LK201	电缆、光缆	车间及工厂自动化
网络链接	C200HS-SNT32 C200HW-CPU01 C200HW-SLK23/24 C200HW-CLK21 C200HW-SRM21	光缆 光缆 同轴电缆、光缆 双绞线 电缆	工厂自动化

(二) 同位链接通讯设计

同位链接也称为 PC 链接,它是通过 PC 链接单元将 PC 链接起

来,在连接继电器(LR)数据区建立公共数据区,使用自动轮流查询方法在同位链接系统中的所有 PC 之间传送数据。数据传送不需要占用 I/O 位,不减少系统的 I/O 点数,PC 间传送位的数量仅受到 LR 区的大小和 PC 数量限制,而一般下位链接系统只能传送 1 个或 2 个字,PC 链接系统能够实现多级自动化,一台 PC 可以有四级子系统,每个子系统最多可连接 32 台 PC。

1. 运行分级和轮流查询

所有 PC 链接单元都被分配有单元编号。单元号确定了 LR 区的哪部分分配给它,在一个 PC 链接系统或子系统内,不管链接多少个 PC,其中一个 PC 链接单元必须设置为轮询单元(即 0[#] 单元),而所有其他 PC 链接单元必须设置为被查询单元(即 0[#] 以外的任何其他单元)。在每个 PC 链接子系统内的轮询单元并不控制其他 PC,各个 PC 是由它自己的 CPU 独立控制的。在同一台 PC 中,如果安装有两个 PC 链接单元,则该系统即为多级系统,在该系统内必须设置操作等级 0 和 1,以与该多级系统的两子系统相对应。

在 PC 链接系统中系统控制是分散的,轮询单元仅仅处理 PC 链接单元间的通讯。当被轮询单元确认 LR 区中的一部分作为写区时,在轮询和其他单元之间就建立了一个链接。如图 9-13 所示,当轮询单元依次查询系统中或子系统内每个 PC 链接单元时,向系统中的其他 PC 发送最新的 LR 数据,并从正被查询的 PC 链接单元里接收最新的数据。数据保存在 PC 链接单元的缓冲器里,该缓冲器在 PC 扫描中的 PC 链接单元服务段时,由 PC 更新。当单元被查询

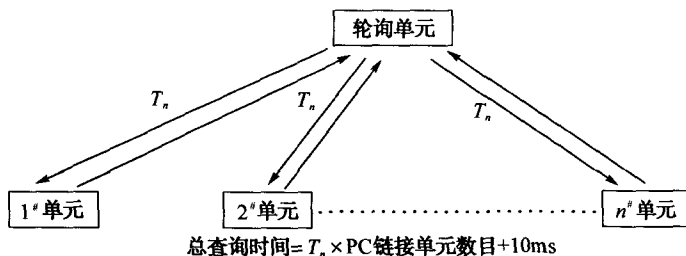


图 9-13 PC 链接原理图

时,系统中每个单元的运行标志状态和错误标志状态也被更新。

2. 数据传送方式及 LR 区划分

PC 链接单元利用 LR 区来传送数据。PC 链接系统中每个 PC 的 LR 区是公用的,即好像系统只有一个 LR 区一样。当在轮询单元上设置 LR 可传送的点数后,LR 区被自动划分并分配至其他的每一个 PC 链接单元,即每个 PC 可将数据写入公用 LR 区中分配给自己的部分,通过 PC 链接单元从 LR 区的其他部分读数据,从而使系统中的 PC 相互交换信息。

现以一个二级系统为例论述 LR 区的划分,为方便起见,设系统中所有 PC 都为 C200H,PC 链接单元都为 C200H-LK401,每个子系统均有 4 个 PC,链接适配器为 3G2A9-AL001,每个子系统内轮询单元设置所传送的 LR 点数为 128 点,即 8 个通道,C200H 的 LR 区大小为 64 个通道,系统结构如图 9-14 所示。与此相适应,该系统 LR 区划分如图 9-15 所示,方块表示每台 PC 的 LR 区,箭头指出由每台 PC 写入的数据流向,每台 PC 的写通道已涂上阴影。

3. 编程

PC 链接系统不需要或者只需要少量编程。以图 9-14 为例,级 1 的 3[#]单元 DM00 通道的数据传送到级 0 的 3[#]单元 DM00 通道中去,其程序梯形图如图 9-16 所示。

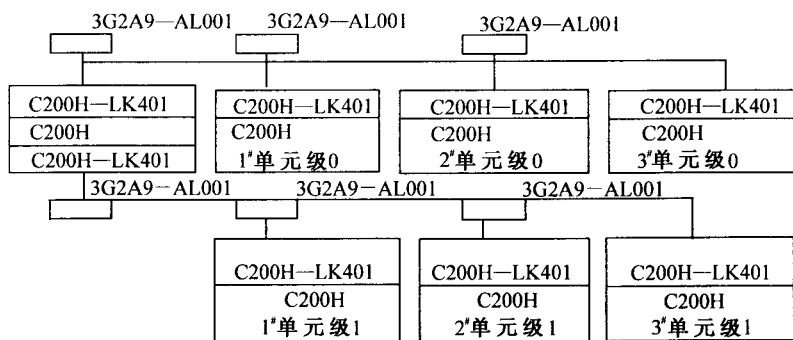


图 9-14 PC 链接系统图

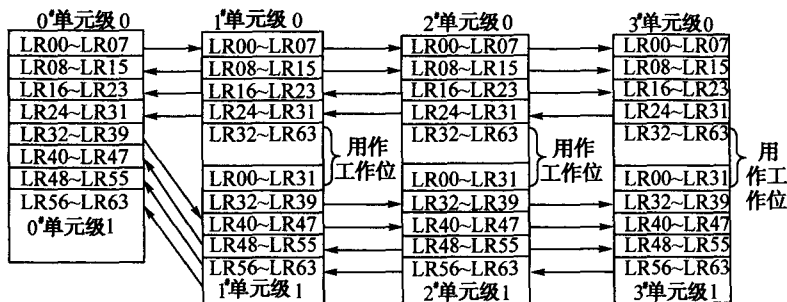


图 9-15 系统 LR 区分图

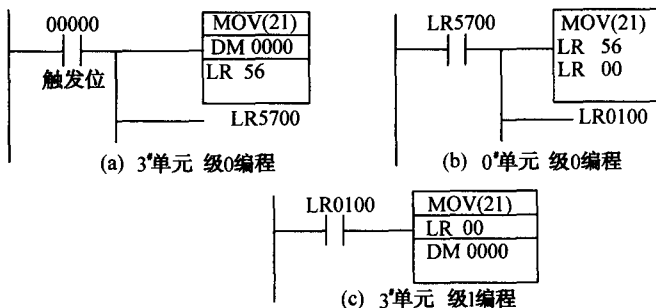


图 9-16 程序梯形图

(三) 上位链接通讯程序设计

上位链接系统也称为 SYSMAC WAY, 是一种自动化综合管理系统。上位计算机通过安装在各 PC 上的上位链接单元或直接用 RS-232 口与各 PC 链接, 对各 PC 进行集中监视、管理。所以, 上位链接系统可以实现自动化系统集中管理、分散控制。现以 RS-232 链接的上位链接系统为例, 介绍其通讯程序设计。该系统中一个上位链接单元 (C200HS - LK201) 接一个上位计算机, PC 型号为 C200HS, PC 与上位计算机采用异步串行通讯, 通讯方式有两种: 一种是上位计算机主动, PC 被动, 这时只需在上位计算机编程, PC 不需编程, 计算机主动地发送和接收数据; 另一种是上位计算机被动, PC 主动, 此时, 上位计算机和 PC 都需要编程, PC 主动地发送和接

收数据。

例如,采用上位计算机被动,PC 主动通讯方式,首先要对上位链接模块的开关进行设置,以确定单元号、波特率、校验类型、数据长度等,PC 使用 TXD 和 RXD 命令主动发送和接收数据,TXD 命令格式如图 9-17 所示。

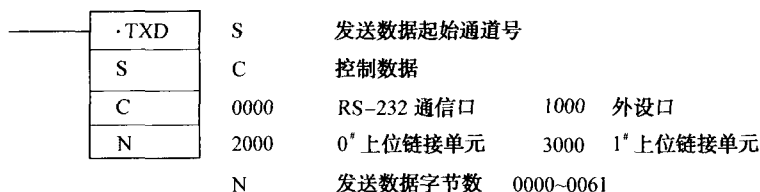


图 9-17 TXD 命令格式

其中,TXD 命令数据以帧为单位传送,且每次传送都要由 PC 进行预包装,预包装最大长度为 128 个字符,相应的格式如图 9-18 所示。

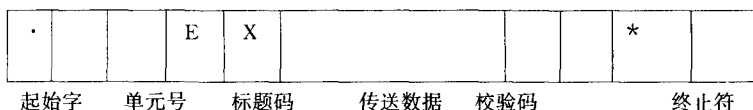


图 9-18 帧格式

在 PC 中有一个标志位 26705,其变化规律为在 TXD 指令执行时为 ON,而在数据由 PC 传到上位计算机时变为 OFF。因此,可以利用标志位 26705 来控制数据的发送。由于 TXD 指令一次传送的数据有限(不超过 61 个字节),在实际工业控制中,可能使用不只一个 TXD 指令来传送数据,这时出现数据传送相冲突的问题,为了避免同一数据被多次发送,触发信号都被设置为在一次扫描周期内有效。PC 在执行完一个 TXD 指令(向上位计算机传送数据)过程中,有可能另一个 TXD 指令也要求传送数据(触发信号为 ON),这时就需要把数据保存在数据区内(即不执行此 TXD 指令),留待 PC 发送完数据后,即 26705 变为 ON 后,再执行此指令,但这时触发信号已经变为 OFF。

主要参考文献

- [1] 唐赛珍. 世界塑料机械技术水平和动向. 北京: 轻工部经济科技信息中心, 1989
- [2] 路甬祥, 胡大紘. 电液比例控制技术. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [3] 陈金南, 许政仓. 中国塑料机械工业的现状与发展. 中国塑料橡胶, 1997(9): 30~34
- [4] 王志新, 路甬祥, 邵大文. 注塑机注射过程控制及实现. 浙江大学学报机械工程专业辑, 1991(增刊): 25~31
- [5] 王志新. 塑料注射成型机微机控制软硬件结构设计及过程控制研究(博士学位论文). 杭州: 浙江大学, 1994
- [6] 朱善安. 电液控制系统辨识及实时控制策略研究(博士学位论文). 杭州: 浙江大学, 1987
- [7] 北京化工学院等. 塑料机械液压传动. 北京: 轻工业出版社, 1984
- [8] 沈颖华. 注塑充模过程的数值模拟及实验研究(博士学位论文). 上海: 上海交通大学, 1989
- [9] [日]横田明. 新的成型控制方式“DFC/PVT”. 塑料, 1990(10)
- [10] [苏]B·B拉普申. 热塑性塑料注塑原理. 北京: 轻工业出版社, 1983
- [11] 夏廷文. 高聚物熔体压力传感器. 塑料, 1983(1)
- [12] 王志新, 张华, 路甬祥等. 注塑机中空机锁模力测控系统. 塑料科技, 1993(1)
- [13] 武永光. 注塑模具模腔压力的研究. 塑料, 1983(4)
- [14] 王志新, 路甬祥, 邵大文. 注塑机多级控制系统及通讯. 机电工程, 1992(3)
- [15] 益小苏. 浅谈塑料材料数据库的开发. 现代塑料加工应用, 1991(3)
- [16] 应胜杰, 阮雪愉. 注射成型塑料材料选择专家系统. 中国塑料, 1991(4)
- [17] 应胜杰, 阮雪愉. 应用专家系统技术选择注射成型塑料. 塑料科技, 1991(1)
- [18] 龙籍轩, 路甬祥, 葛宜远. 计算机辅助型坯形状设计. 中国塑料, 1988(1)
- [19] 王志新, 张华, 葛宜远. 注塑机电液比例控制的应用研究. 华东工业大学学报, 1996, 18(1): 80~86
- [20] 王志新, 张华, 路甬祥. 注塑机料筒加温系统多变量解耦控制及非线性

性控制的实验研究. 华东工业大学学报, 1995, 17(1): 43~48

[21] 王志新, 张华, 路甬祥等. 中空吹塑成型及其控制. 塑料科技, 1993(3)

[22] 王志新, 张华, 路甬祥等. 注塑机群控系统. 广西工学院学报, 1992(3)

[23] 张华, 王志新, 葛宜远等. 工控软件用于注塑机过程控制. 浙江大学学报流体传动及控制专辑, 1993

[24] 王志新, 张华, 葛宜远. 注塑机料筒温度工控机检测及控制系统的设计和实验研究. 轻工机械, 1994(4)

[25] 王志新, 张华. 注塑机料筒温度检测及实验研究. 塑料科技, 1995(2)

[26] 王志新, 张华, 黄全树. 塑料容器型坯吹胀变形计算机模拟系统设计. 塑料科技, 1996(1)

[27] 王志新, 张华, 黄全树. 吹塑型坯的计算机辅助设计及程序编制. 中国塑料, 1996, 10(1)

[28] [日] 铃木正康著. 模具内压测量技术及应用. 许发铤, 陈京生译. 模具工业, 1993(8): 55~59

[29] 李萍, 承民联, 陈枫. 注塑充模过程平均模腔压力的研究. 塑料科技, 1995(2): 34~38

[30] 吴根茂, 邱敏秀, 王庆丰等. 实用电液比例技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1993

[31] 侯友忠. 中型注塑机机电一体化技术的开发. 塑料工业, 1991(1): 24~28

[32] PATT 系列注塑机样本. 浙江省塑料机械总厂, 1992

[33] 潘云鹤. 智能 CAD 方法与模型. 北京: 科学出版社, 1997

[34] 孙增圻等. 控制系统的计算机辅助设计. 北京: 清华大学出版社, 1988

[35] 王永初. 解耦控制系统. 成都: 四川科学出版社, 1985

[36] 王志新, 张华, 葛宜远. 注塑机料筒温度工控机检测及控制系统的设计. 轻工机械, 1994(4): 14~18

[37] 王志新, 张华. 注塑机料筒温度检测及实验研究. 塑料科技, 1995(2): 39~42

[38] 王志新, 张华, 路甬祥. 注塑机料筒加温系统多变量解耦控制及非线性控制的实验研究. 华东工业大学学报, 1995, 17(1): 43~48

[39] 黄国美, 林昌明. E180CJ303 电脑控制全自动精密注塑机的控制系统. 塑料机械国际研讨会论文集, 1987, 上海: 1~13

[40] 应济, 陈子辰, 贾昱. 注塑机前模板的有限元集成分析. 现代塑料加工应用, 1995, 7(3): 55~58

[41] 赵长春. 工程液压系统智能 CAD 研究及其在塑料注射机领域的应用 (博士学位论文). 杭州: 浙江大学, 1993

[42] [美] J·B·戴姆. 注射模具与注射成型实用手册. 沈金堂译. 北京: 化学工业出版社, 1987

[43] Nadya Anscombe. Injection Molding – Winning the Space Race. Asian Plastics News, Oct., 1997: 18~22

[44] M·Geiss, Sesslach. Thermoforming machine with digital control of heating. Kunststoffe, 1991, 81(8)

[45] L·Billman, et al. Adaptive control of temperatures of plastics processing machines. Kunststoffe, 1991, 81(8)

[46] Shunsuke Matsuda, et al. Plastics lens by injection & compression molding. Japan Plastics Age, 1985(1)

[47] Greener J. General consequences of the packing phase in injection molding. Polymer Engineering and Science, 1986, 26(12)

[48] Gissing K, Knappe W. Optimum holding pressure profile during injection molding of thermoplastics. Kunststoffe, 1983, 73(5)

[49] Kamal·M·R, et al. Injection molding study. Polymer Engineering and Science, 1986, 12 Stillhard·B·J. Microprocessors control injection molding machine. Hydraulics & Pneumatics, 1986, 8

[50] D·A·FARA. Comprehensive strategies for sequential closed-loop pressure control throughout the injection molding cycle. ANTEC/99

[51] A·Matzke, et al. Microprocessor controlled injection molding machine modules for building CIM system. Kunststoffe German Plastics, 1987(8)

[52] O·Johansen, et al. Choosing the switching point when running in moulds for injection molding. Kunststoffe German Plastics, 1986(5)

[53] R·Ackermann, Losburg. Injection molding with active quality monitoring. Kunststoffe German Plastics, 1991, 8(15)

[54] L·Billman, et al. Adaptive control of temperature of plastics processing machines. Kunststoffe German Plastics, 1991, 81(8)

[55] E·GAUR. Knowledge based plastic application databases. ANTEC'90

[56] W·Ciszewski. Stuttgart. Modernizing injection molding operation, Kunststoffe, 1990, 80(9)

[57] Gissing K, Knappe W. Optimum holding pressure profile during injection molding of thermoplastics. Kunststoffe, 1983, 73(5)

[58] Wang Zhixin, Zhang Hua, Lu Yongxiang. Research for process control

of switching over from injection to holding and holding based on cavity pressure. In: Deng Yueming. Proc of IEEE ICIT. Piscataway, 1994. 514~518

[59] Wang Zhixin, Zhang Hua, Ge Yiyuan, et al. Multistage holding process control of injection molding machine based on cavity pressure and digital PID algorithm. In: Chen Zhaoneng. Proc of ISFP. Shanghai: SHANGHAI SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL LITERATURE PUBLISHING HOUSE, 1995. 611~614

[60] Wang Zhixin, Zhang Hua, Lu Yongxiang, et al. Process control and its realization for injection molding. In: Lu Yongxiang. NEW ACHIEVEMENTS IN FLUID POWER ENGINEERING. Beijing: International Academic Publishers, 1993. 555~560

[61] Zhang Hua, Wang Zhixin, Ge Yiyuan, et al. Expert system and its application in injection molding. In: Lu Yongxiang. NEW ACHIEVEMENTS IN FLUID POWER ENGINEERING. Beijing: International Academic Publishers, 1993. 561~563

[62] Wang Zhixin, Zhang Hua. Entity information extraction of geometry and research for general purpose interface program design. In: Xue Bingyuan. Proc of IWAMST. Shanghai: SHANGHAI SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL LITERATURE PUBLISHING HOUSE, 1996. 441~447

[63] Desoer, C·A, et al. Decoupling Liner Multi - Input Multi - Output Plants by Dynamic Output feedback. IEEE Trans., Autom., Control, AC - 31, 744~750(1986)

现代注塑机控制

—— 微机及电液控制技术与工程应用

XIANDAI ZHUSUJI KONGZHI

WEIJI JI DIANYE KONGZHI JISHU
YU GONGCHENG YINGYONG

ISBN 7-5019-3282-4



9 787501 932825 >

ISBN 7 - 5019 - 3282 - 4/TQ·252

定 价：16.00 元