

第一章 内燃机车电路图基本知识

§ 1. 看懂内燃机车电路图要解决的几个问题

当我们研究内燃机车电气设备的工作时，总要应用电路图。电路图的形式很多，有的比较简单，有的比较复杂。我们常用到的、也就是随机车发送的内燃机车电路图是比较复杂的。对于这样一种电路图，我们怎样才能理解它呢？概括起来说，要解决以下几个问题：

1. 这是一张什么性质的电路图？它由哪几部分组成？每个部分的主要任务是什么？
2. 在电路图中各种符号代表什么元件？这种元件起什么作用？
3. 电路图中各种元件间存在着什么关系？怎样互相配合工作？

在这三个问题中，第 1、2 两个问题是比较容易解决的。因为电气元件的符号已由各种标准加以规定，只要经过记忆和一段实践就可以解决；电路图的性质可按其用途加以确定；电路图的组成也可按其所完成的任务加以归并。上述各问题中，比较关键的是第三个问题，这要在了解每个电气元件作用的基础上，把它们协调起来，分清电路中谁是电源、谁是负载，电流在电路中的走向，以及电路通电后所引起的机、电等方面的效果，因此，对于理解一个电路图来说，解决第三个问题，就显得比较复杂和更为重要的了。

作为一个从事内燃机车电路方面的人员来说，首先应该看懂电路图，但是不能仅仅满足于看懂电路图。为此在解释以上三个问题的同时，还进行了必要的分析和比较，尤其是在第三个问题上。这样做的目的是使大家在掌握内燃机车电路工作原理的基础上，具有分析和评价电路的能力，经过一定实践之后，还可以判断电路故障之所在，从而做到自如地运用内燃机车，充分而合理地发挥内燃机车的潜力。

由于各种类型的内燃机车都有它自己的电路图，而电力传动内燃机车的电路图包括的内容较为全面，所以本书将主要针对电力传动内燃机车电路分析其工作原理，并结合东风₄型内燃机车电路加以具体说明；最后还以东方红〈3〉型内燃机车为例，对液力传动内燃机车电路作了概括的介绍。

东风₄型内燃机车成批生产以来，在电路方面曾作了多次改进，相应电路图也几经变化，所以讲解时，将以大连机车车辆工厂的图 DLJ6-05-001-7（主电路及辅助设备电路）和 DLJ6-05-002-7（控制电路和照明电路）为例，并简称为—7号电路图。对—7号电路图与以前各电路中有差别的部分也作必要的说明。—7号电路图是1977年7月制定的，适用于0177号以后各车。—7号电路图见附图1，此图已略加改制，图上坐标也与原图不同；原图元件目录另作附表1列出。

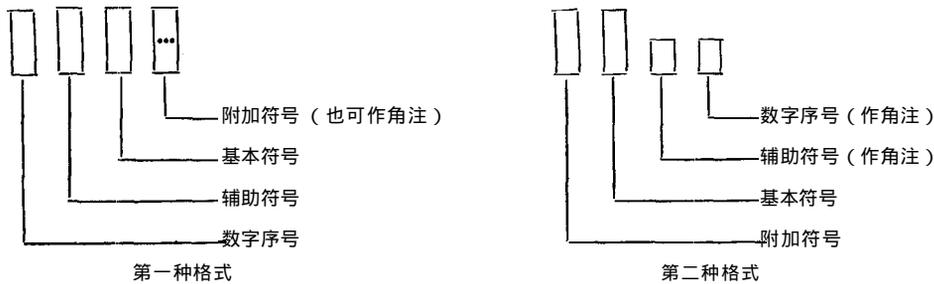
§ 2. 内燃机车电路图中所用元件的符号

一、文字符号

关于电工设备的文字符号编制方法已有GB315—64号国标《电工设备文字符号编制通则》，按此国标可在电工系统图上标明设备的名称，但不作为产品型号及命名。此《通则》

规定电工设备的文字符号原则上由基本符号（表明基本名称）、辅助符号（表明主要用途及特征）、数字序号（表明顺序号）和附加符号（表明附加特征）等四部分组成。符号中所用文字除国际通用者外均用汉语拼音字母，数字序号用阿拉伯数字；文字符号的字母用大写印刷体，作角注时用小写印刷体。有的部还根据 GB315—64 号国标的精神，制定了本部管辖范围内的专业文字符号标准，进一步细化。

根据 GB315—64 国标，文字符号的排列格式有以下两种：在电力工程图纸上基本采用第一种格式；沿用国际通用文字符号的，基本采用第二种格式。



我国各机车制造工厂在编制电工设备的文字符号时均已遵照上述标准，但由于所用元件名称尚未统一，编制时所取用的文字也不一样，所以各厂所制电路图的文字符号尚不一致。东风₄型内燃机车用主要电气元件名称与文字符号的对照如附表 2 所示。为了便于理解和今后看图时的方便起见，特作以下几点说明：

1. 同类元件间的区分

内燃机车上所用同类元件较多，为加以区分，则以同类元件的名称作基本符号，并用表示各自用途等方面的符号加以区别。例如接触器类，以 C 作基本符号；对于磁场削弱用接触器，以 XC 表示；在东风₄型内燃机车上有两个组合式磁场削弱接触器，再分别以 $1XC$ 和 $2XC$ 表示；而此组合式接触器各包括有一级削弱和二级削弱的两个部分，故又再添加角注 1 、 2 作附加符号。这样，对于 1 号磁场削弱接触器的一级削弱部分就以 $1XC_1$ 表示；它的二级削弱部分以 $1XC_2$ 表示；同理，对于 2 号磁场削弱接触器也可分别有 $2XC_1$ 和 $2XC_2$ 。与此相似的，用 $1HK_{1-}$ 和 $2HK_{1-}$ 分别表示 1 号和 2 号牵引—制动转换开关（简称工况转换开关）；此种开关也是一种组合式开关，它包括牵引和制动两部分，则可分别用 $1HK_{1-}$ （或 $2HK_{1-}$ ）和 $1HK_{2-}$ （或 $2HK_{2-}$ ）表示 1 号（或 2 号）工况转换开关的牵引部分和制动部分。

对于电阻已习惯沿用国际通用符号 R （英语字母）表示，对于不同用途及特征的电阻可加以辅助符号，并采用第二种格式表示，如第一组制动电阻用 $1R_b$ 表示。其他沿用国际通用符号的还有电容 C 、电压表 V 、电流表 A 、电感 L 等。

2. 直流电机各种励磁绕组的区分

由于直流电机励磁绕组与其电枢绕组间的联接方式对电机性能有很大影响，因而不同联接方式的励磁绕组应以不同的文字符号表示。在 JB1093—67 号一机部部标《电力和热电机车车辆直流牵引电机基本技术条件》中已提出专业用的文字符号，如表 1—1 所示。表中所指始端、末端是按电流流向决定的，即电流从始端流入绕组，从末端流出绕组。若在图中要表示出同一电机的两个励磁绕组的作用相同（同时使电机磁通增加或减少）时，则可将两个励磁绕组的始端画在电路图上的同一侧；若表示励磁作用相反时，则将始端画在异侧。

表 1—1

绕组名称	出线端标志		绕组名称	出线端标志	
	始端	末端		始端	末端
电枢绕组	S_1	S_2	补偿绕组	BC_1	BC_2
串励绕组	C_1	C_2	启动绕组	Q_1	Q_2
并励绕组	B_1	B_2	调整绕组	D_1	D_2
他励绕组	T_1	T_2	限流绕组	X_1	X_2
换向极绕组	H_1	H_2	差励绕组	CH_1	CH_2

3. 联接导线和接线柱的区分

电路中联接导线很多，一般导线就直接用阿拉伯数字号作为文字符号，但在编制线号时，常将导线号加以分类，以便查找。东风₄型内燃机车用线号分类如下：

- 1~239..... 高压电路用线
 240~1999..... 低压电路用线
 2001以后..... 与控制电源负端相通的负线

接线柱的文字符号用分式表示，分子部分表示接线柱的排数号，分母部分表示此排中该接线柱的顺序号。但在具体表示时，有两种形式：一种是安装在柜子（如电器柜、操纵台）内的；另一种是安装在接线盒内的。安装在柜子内的接线柱是成排布置、按排编号的，而每排中的接线柱又依次编号，如第 5 排中第 1 个接线柱就用分式“5/1”表示。东风₄型内燃机车是双司机室，则在前、后端操纵台的接线柱将会出现同样的文字符号，为区分之，对 I 端操纵台内的排数号前面再加以 1 字，II 端操纵台内的排数号再加以 2 字，即用“15/1”表示 I 端操纵台内的第 5 排中第 1 个接线柱；用“25/1”表示 II 端操纵台内的第 5 排中第 1 个接线柱。安装在动力室接线盒内的接线柱是先将接线盒编号，再将接线盒内的接线柱编号，如用“1H2/6”表示 1 号接线盒内的第 2 排中第 6 个接线柱。在东风₃型内燃机车上，接线盒内的接线柱不编排数号只编顺序号，则其分子中仅有接线盒号，分母表示接线柱顺序号，如“1H/3”表示 1 号接线盒内的第 3 个接线柱。

在编制接线柱号时也适当注意分类，东风₄型内燃机车接线柱号的分类情况如下：

- 1/1~20、2/1~2..... 高压电路用
 2/4~20、3/1~20、5/7~20..... 低压控制电路用
 4/1~9、20..... 辅助设备电路用
 5/1~4..... 控制电路电源正端
 5/5~6..... 照明电路电源正端
 6/1~17、4/10~15..... 照明电路用
 7/1~15..... 励磁电路和电压调整器电路用
 8/1~20..... 控制电源负端

以上就是有关文字符号要说明的几个问题。当我们在电路图上标注文字符号时，应遵循一个元件一个符号的原则。当某一元件有几个组成部分，每个部分又分布在电路图的不同位置时，也应用同一种文字符号去分头标注。

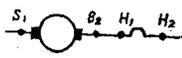
二、图形符号

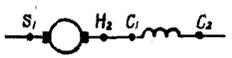
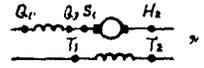
在电路图中有关电气元件的图形符号已由 GB312—64 号国标《电工系统图图形符号》

规定，有的部还在此国标的基础上制订出更详细的部标和有关专业标准。现根据有关标准，将内燃机车电路图所用的主要图形符号列于附表 3 内，并作如下几点说明：

1. 电机的图形符号

当用图形符号表示电机时，应反应出它最重要的结构组成。对于直流电机来说，主要结构组成部分是励磁绕组、电枢绕组和电刷等，所以常用电感线圈的一般图形符号  表示它的励磁绕组（或称主极绕组），再用文字符号表示它的性质，如串励绕组用  表示。

对于电枢绕组和电刷可用图形符号  表示，该图形符号形象地表现出电刷在换向器表面上滑行；若再加用文字符号，还可以表示出电枢绕组的始末端，如  表示始端在左，末端在右。在直流电机中，为了改善换向，还设有换向极。换向极绕组总是与电枢绕组串联，若也要表示它时，可用符号  表示，符号中的半圆就专门

用来表示换向极绕组，其常用的简化形式有  或 。若将电机的励磁绕组和转子两个部分的图形符号拼在一起，就可表示出整台直流电机了。如直流串励电机表示为 ，具有他励和串励（启动用）绕组的直流电机表示为  等等。

同理，也可用一定的图形符号表示交流电机。交流电机中的同步发电机由转子、定子和电刷、滑环等组成。转子上有磁极铁芯、励磁绕组、滑环等。为使磁极具有一定的极性，励磁绕组应通以直流电。目前内燃机车用同步牵引发电机是中速电机，采用凸出磁极式结构的转子则凸极式转子上的励磁绕组就用符号  表示，它意味着外电路经正、负电刷和滑环把直流电输送给励磁绕组，而磁极是凸起式的（用虚线表示），按 N、S 极性依次排列在转子表面。由于励磁绕组始末端颠倒对电机运行性能没有影响，故一般在电路图中也不标注。为了提高同步发电机担负不对称负载和扼制振荡的能力，常在其磁极表面装有阻尼绕组，它的结构与鼠笼式异步电机的转子绕组相似，这时的转子用符号  表示。同步发电机的定子有电枢铁芯、电枢绕组等。一般同步发电机的电枢绕组都是多相（如三相）的，其每相绕组可用电感线圈的一般符号  表示。对于三相星形连接的电枢绕组

用符号  表示；对于三相三角形连接的电枢绕组用符号  表示。如将以上两部分图形拼在一起时，就可表示出整台同步发电机了，如图 1-1 所示。图中定子绕组实行星形连接，并有中线 N；转子有阻尼绕组，若无阻尼绕组时，虚线圆内实线圆取消。

2. 接触器的图形符号

接触器是一种自动刀开关，用以实现强电电路的切换。一般接触器由驱动机构、触头和灭弧装置等三部分组成。当驱动机构是风动机构时，称电空接触器，它是用电空阀控制风缸

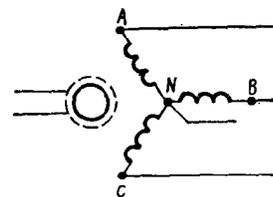


图 1-1 带有阻尼绕组的同步电机图形符号（定子星形连接）

的进排风，以使接触器闭合或断开；当驱动机构是电磁机构时，称电磁接触器，它是用电磁线圈控制驱动机构的动作，以使接触器闭合或断开。电空阀线圈和电磁线圈也可用符号  表示；根据铁道部 TB466—66《内燃、电力机车电气线路图图形符号》的规定，若要指出是电空阀或电磁阀线圈时，可用符号  表示。

接触器的触点有两种：一种是主触点，直接切换强电电路；一种是辅助触点或称联锁触点，用于控制电路，以便实行联锁控制。对于所有电器的触点来说，凡在电器无电或不受外力作用时，呈断开状态的触点称常开触点（或称动合触头）；呈闭合状态的触点称常闭触点（或称动断触点）。对于主触点来说，分别有常开主触点和常闭主触点；对于辅助触点来说，分别有常开辅助触点（简称正联锁）和常闭辅助触点（简称反联锁）。

接触器的常开触点以符号  表示，常闭触点以符号  表示。对于主触点来说，工作在大电流条件下，在断开瞬间能出现较大的电弧，易烧损触点的工作表面。所以，对于在带电状态下动作的主触点一般都加灭弧装置。加灭弧装置的常开主触点以符号  表示；常闭主触点以符号  表示。不加灭弧装置的主触点和辅助触头均用前述符号表示。

在内燃机车上，有些专用电器并非像普通电器那样是有电动作无电释放的，而都是通过给电使电器从一种位置转换到另一种位置，这种电器的常开和常闭触点就应另行定义，以其有明确的含义。属于这种电器的有牵引—制动转换开关、前进—后退转换开关、反向器等。对于牵引—制动转换开关来说，当其牵引电空阀有电使转换开关转到牵引位时，无论是牵引部分的触点还是制动部分的触点，凡是断开的触点统称为常开触点；凡是闭合的触点统称为常闭触点。当牵引电空阀失电，制动电空阀有电，使转换开关转到制动位时，上述常开触点闭合，常闭触点断开。对于前进—后退转换开关和反向器来说，当前进电空阀有电使电器转到前进位时，无论是前进部分的触点还是后退部分的触点，凡是断开的触点称为常开触点；凡是闭合的触点称为常闭触点；当前进电空阀失电，后退电空阀有电，使电器转到后退位时，上述常开触点闭合，常闭触点断开。按照 TB466—66号部标的规定，这些电器触点的图形符号与 GB312—64 规定的接触器触点符号相同。

3. 继电器的图形符号

继电器是根据某一输入量来切换控制电路的电器，它一般由驱动机构和触点两部分组成。

继电器的驱动机构决定于输入量的形式。在内燃机车上，按输入量的性质可将继电器分为电磁式继电器、温度继电器、压力继电器、液位式继电器和时间继电器等。其中电磁式继电器用的最多，它是利用继电器驱动机构中的电磁线圈有电而动作的，电磁线圈用符号  表示。内燃机车上的电磁式继电器种类很多，有电压继电器（以传递电压信号的变化，如空转继电器）、电流继电器（以传递电流信号的变化，如过电流继电器）和中间继电器（以放大信号的数目，实行多路控制）等。温度、压力、液位式继电器都是接受非电输入量的继电器，根据非电输入量的大小而使其驱动机构动作，使继电器起作用，当非电输入量不够大时，继电器处于释放状态。非电量的驱动机构在电路图中不予反映。时间继电器是在电磁式继电器上加以延时机构而制成的，用以达到延时控制的目的。延时时间的多少由电器的结构决定，多数情况下是可以调整的。

继电器的常开触点以符号  表示，常闭触点以符号  表示（位置

不可颠倒，否则含义相反)。对于时间继电器触点的图形符号是在一般继电器触点符号的基础上加以延时符号形成的，以“”表示延时闭合；以“”表示延时断开。

如  表示延时闭合的常开触点，它意味着继电器有电后此触点是延时闭合的，但在继电器失电后立即断开；又如  表示延时断开常闭触点，它意味着继电器有电后此触点是延时断开的，但在继电器失电后立即闭合。对于非电输入量继电器的触点符号已于附表 3 内，它是在开关的图形符号基础上再加以辅助符号形成的，而不是在一般继电器触点符号的基础上形成的。

4. 控制器的图形符号

控制器是一种大型手动电器，可以控制很多电路，而且随着控制器手柄位置的变化，改变电路的接通状况。在对控制器进行图示时，除画出它的全部触点外，还在触点图形符号的旁边列出触点闭合情况表。如东风₄型内燃机车用的司机控制器就是这种手动电器，它由两部分组成，其中主手柄（实为一手轮）控制 12 对触点（有时习惯称触指），用以对机车进行调速和控制；其中反向手柄控制 4 对触点，用以对机车进行方向和工况的变换。但在此机车上只用了 12 对触点，其中 1~4 号触点由反向手柄控制；5~12 号触点由主手柄控制。在附表 3 中仅列出 1~4 号触点及其闭合情况表，每个手柄的位置以垂直虚线表示，凡在此位置下闭合的触点，就在此垂直线与闭合触点同水平线位置上打以黑点“●”或小圆“○”，如附表 3 中，触点 2、3 在反向手柄于前进位时闭合，触点 1、3 在反向手柄于后退位时闭合。主手柄控制的 5~12 号触点闭合情况可见附图 1 的左侧。

5. 使用图形符号时应注意的问题

(1) 符号的大小，线条的粗细，可与标准规定的图形符号相同，也可按比例地放大或缩小，不按比例时，将会使图形符号的含义不明确；

(2) 表示电路的联接导线时，一般可将主电路和励磁电路的线条较其它部分画得粗一些；

(3) 按图面布置的需要，可将图形符号旋转 45° 或 90° 或 180°。绘制，但应连同文字符号一同旋转，否则也会造成图形符号含义的变化。例如继电器常开触点的图形符号旋转 180° 后就成为常闭触点的符号，若不加文字符号标注就难以明白它的本意了。

§ 3. 内燃机车电路图的种类与组成

一、电路图的种类

当用上述文字与图形符号将所用电气元件表示在图面上，再用相应的线条（代表联接导线）把它们联接起来时，就形成了电路图。我们对电路图的要求是：按有关技术要求确切表示电气系统的组成和状态；图面尽可能的简单与清楚。

绘制电路图的目的在于应用，由于应用目的和技术要求不同，电路图可以绘成以下几种形式：

1. 原理图

这种图用以研究电气系统的工作原理，它可以根据所研究的范围画出系统的全部或局部。只要能确切表示出电路的工作原理，这种图画得愈简单愈好。例如，我们研究东风₄型

内燃机车牵引发电机励磁系统的工作原理时，就可以画出图 1—2 所示的原理电路图，该图是整个机车电路图的一个局部，而且只画出了与系统工作原理有关的电机、电器和导线，比实用的机车电路图中相同部分要简单的多，但是，它已能说明系统的基本工作原理即：起动发电机 QD 经功率调节电阻 R_g 对直流测速发电机 CF 的他励绕组供电， CF 的电枢绕组又对交流励磁机 L 的励磁绕组供电，而 L 的电枢绕组再经励磁整流柜 $2ZL$ 对交流牵引发电机 F 的励磁绕组供电；当 CF 、 L 的转速和电压升高时，牵引发电机 F 得到更大的励磁电流，可以提高它的电压和功率；功调电阻 R_g 可以改变测速发电机 CF 的励磁电流，也就可以改变牵引发电机 F 的励磁电流和功率，从而可以实行恒功率调节。这些已经表现了整个励磁系统的概貌，显示出励磁系统的基本工作情况，而图面又不复杂，这对研究电路的工作原理来说是很方便的。

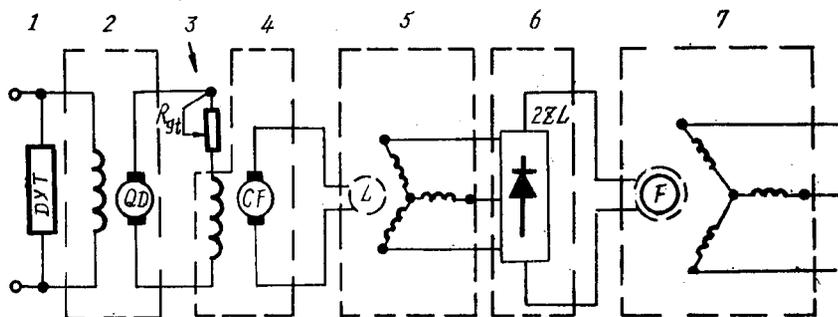


图 1—2 东风₄型内燃机车牵引发电机励磁系统原理图

1 —— 电压调整器； 2 —— 启动发电机； 3 —— 功调电阻； 4 —— 测速发电机； 5 —— 励磁机； 6 —— 励磁整流柜， 7 —— 牵引发电机。

2. 安装配线图

这种图用以对电气元件进行安装和配线，或对已制成的电气设备进行检查，以查找配线的正和误。在这种图中应表示出：电气元件的真实相对位置；组成元件的各个电气机构（如触点、线圈等）；所联导线的线号及去向。这些对安装配线来说都是必须的。

由于这种图要表示真实相对位置，若再将其联线的全部均予绘出时，必使图面线条交错复杂，难予辨认，而对配线来说又非必须，因此在绘制联线时，只象征性地画出一小段，上面注明线号及所连元件的文字符号即可。有的还在联线段上标有箭头，以显示电流流动方向。例如东风₄型内燃机车电器柜的安装配线图里，画出了安装面上所有元件的实际安装和配线情况，而对每一个元件来说，又画出它的全部电气机构。例如主接触器 $1C$ 位于电器柜的内右侧面（按原厂制配线图称为 E 向）的配线图上，布置在图面的下端，在制动接触器 ZC 和主接触 $2C$ 之间。图 1—3 中绘出了 $1C$ 的全部电气组成部分，并对每一个电气组成部分画出一段联线，注明线号及所连元件号，但未标箭头。根据这个图可以检查此元件配线的正和误，也可去进行元件的安装和配线。

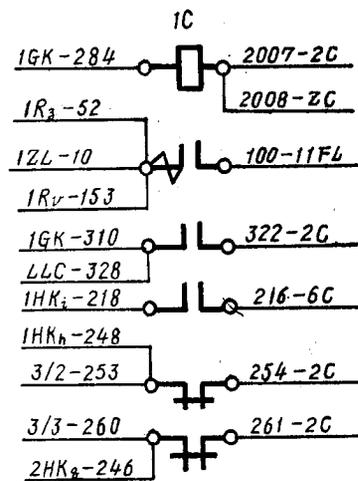


图 1—3 主接触器 $1C$ 的安装配线图

3. 原理配线图

这种图是以上两种图的结合，即可用于电路原理的研究，又可用于配线和检查；但此图不再表示元件的真实相对位置，故不能用于安装。

由于原理配线图的作用比较全面，它广为机车乘务、检修、试验研究人员所采用，因此随车出厂配备的机车电路图也就是这种图，有时称为实用电路图；我们一般所说的内燃机车电路图（如附图 1），也就是指这种图；本书讲解举例时所用的也是这种图。但是，有的液力传动内燃机车制造厂常按原理图形式绘制机车电路图。

绘制原理配线图的要求是：表示出全部电气元件及连线；标注出全部元件和导线的文字符号；所有元件及导线间的联接情况均按实际联接顺序绘出。为使图面清晰，图中不再表示元件的真实相对位置，元件及元件的各组成机构，按电路布置的需要，画在图面上的适当位置。

对于内燃机车（尤其是电力传动内燃机车）来说，由于所用元件众多，使它的原理配线图密密麻麻，十分庞杂，但是只要进行适当的归类，合理的布置，也可使图面比较有条理，做到杂而不乱，既易于识读，又易于配线和检查。

以上就是电路图的三种基本形式，无论哪一种形式，都有一个共同点，就是不表示元件的非电联系，在看图时只能结合元件的非电联系来理解电路图的含义。

二、内燃机车电路图的组成

原则上说，所有电气设备的电路都可分成主电路和辅助电路两大部分，主电路是指较强电流的电路。在主电路中，有较大部分的电能和其他形式的能量互相转换，用以完成电气设备的主要任务；辅助电路是指电流相对较弱的电路，用以保证主电路更好地完成任务。

内燃机车电路也不例外，也可分成主电路和辅助电路，但这样会使辅助电路包括的内容过多，显得臃肿，故常对辅助电路细化。因此，可以根据内燃机车的特点，将整个电路分成几个有机的组成部分。

对于电力传动内燃机车电路来说，一般可以分成以下几个组成部分：

主电路 是指牵引发电机与牵引电动机的电路，在整个电路中，这部分电路的工作电流最大，转换的能量最多。

励磁电路 指牵引发电机整个励磁系统的电路。由于励磁电路是整个电力传动内燃机车自动调节的中心环节，有重要的意义，所以单独列出。

其他电路 它包括辅助设备电路、机车控制电路、照明及仪表电路等等，都属于辅助电路范畴。

对于液力传动内燃机车电路来说，没有上述的那种主电路和励磁电路，它所包括的内容仅与上述其他电路中所包括的内容相似，即只有辅助设备电路、控制电路及照明仪表电路等，并且辅助设备电路已成为液力传动内燃机车上用电最多的电路，自然上升到主电路的地位，其余电路则属于辅助电路范畴。由此可见，主、辅电路的划分是相对的，它所包含的内容是因电气装置的不同而异的。

三、有关内燃机车电路图的几点说明

由于内燃机车电路的工作状态较多，如有电或无电状态；前进或后退状态；牵引或制动状态等等，因而，内燃机车电路图也只有指定的状态下才有明确的含义。

内燃机车电路图是在以下指定状态下绘成的：

（1）图中普通电器元件均为无电状态或未受外力作用状态，因此图中这些电器（如接触器、继电器等）的常开触点是断开的，常闭触点是闭合的；

（2）机车前进——后退转换开关（或反向器）处于前进位，因而图中此转换开关（或反向器）的常闭触点是闭合的，常开触点是断开的；

（3）机车牵引——制动转换开关处于牵引位，因而图中此转换开关的常闭触点是闭合的，常开触点是断开的；

（4）牵引电动机的故障开关对应于正常运转位，因而图中故障开关的常闭触点是闭合的，常开触点是断开的；

（5）柴油机转轴联锁对应于正常运转位，即盘车机构已经脱开，转轴联锁装置不受外力，其常闭触点是闭合的。

这样一来，所画电路图已处于前进、牵引状态，只要相应的接触器、继电器有电，接通的就是前进、牵引状态电路，机车即可牵引列车向前运行。

液力传动内燃机车电路比较简单，电路中各电器就按无电或不受外力状态绘出，各控制器和转换开关列出触点闭合情况表，按控制器各手柄位和转换开关所在位置去判断电路接通情况，使电路图也处于确定状态。

第二章 主 电 路

电力传动内燃机车的主电路就是牵引发电机和牵引电动机的电路。在此电路中，将机车柴油机的机械能转变为牵引发电机的电能，然后牵引发电机向牵引电动机供电，在牵引电动机中再将电能转变为机械能，驱动机车动轮转动，牵引列车前进。所以主电路的主要任务就是产生牵引力，实现列车的牵引，这也正是内燃机车的任务。

为了使主电路能更好的完成机车牵引的任务，它除了能使机车产生足够的牵引力外，还应满足作为一个传动装置的其他要求即：应使机车具有足够的速度变化范围；机车前进或后退都应有相同的牵引特性等。因此，电力传动内燃机车的主电路将由以下几部分组成：

1. 牵引发电机向牵引电动机的供电电路。
2. 机车前进与后退的转换电路。
3. 牵引电动机的磁场削弱电路。
4. 主电路的测量与保护电路。

§ 1. 主电路结构

一、牵引发电机向牵引电动机的供电电路

牵引发电机是通过相应的主接触器与牵引电动机连接起来的，当主接触器有电闭合时，牵引发电机与牵引电动机接通，牵引电动机因得电而拖动机车动轮转动，产生轮周牵引力。

牵引发电机与牵引电动机间的电路结构与电力传动装置的形式、牵引电动机间的连接方式密切相关。

1. 电力传动装置形式对电路结构的影响

根据内燃机车所用牵引发电机和牵引电动机的类型，可以把内燃机车电力传动装置分成三种形式：

（1）直流电力传动 即牵引发电机和牵引电动机均采用直流电机的传动形式。由于直流串励电动机的机械特性基本上符合内燃机车的牵引特性，这就很自然地被选作牵引电动机，因而牵引发电机也就采用直流发电机，形成直流（或称直-直流）电力传动，这是内燃机车首先采用的电力传动形式。

（2）交-直流电力传动 即用交流发电机（是同步发电机）作牵引发电机而仍用直流电动机作牵引电动机的传动形式。这是近十几年才开始采用的传动形式，并已为功率在3000马力以上的电力传动内燃机车所普遍采用。由于直流电机的造价高、用铜多、可靠性差，用交流电机取代直流电机的方向是对头的，但这种取代只有在一定的条件下才变为可能。从六十年代开始，半导体技术迅速发展，效率高、体积小的大功率硅整流装置的出现，使得有可能用交流发电机加整流装置去取代直流发电机。那么当时为什么仍采用直流牵引电动机呢？这是因为采用交流牵引电动机在变频调速技术上尚有不少困难。目前交-直流电力传动已成为大功率电力传动内燃机车普遍采用的传动形式。

(3) 交流电力传动 即牵引发电机和牵引电动机均采用交流电机的传动形式，这是近十年内才开始采用的新形式，它的技术、经济指标都比较高，已成为机车电力传动装置的发展方向，其使用规模也在扩大中。目前之所以能出现交流电力传动，主要是半导体技术的发展，制成了半导体式频率调节器，成功的解决了交流电动机变频调速问题，使得有可能采用交流的牵引电动机，从而全面取代直流牵引电机。

直流电力传动的主电路比较直观，直流牵引发电机通过主接触器向直流牵引电动机供电；交-直流电力传动的主电路多了一个中间整流环节，它先将同步牵引发电机输出的交流电变成直流电后，再供给直流牵引电动机；交流电力传动的主电路比较复杂，它有两种形式：一种是将同步牵引发电机输出的交流电通过变频调节直接对交流电动机（鼠笼式异步电动机或同步电动机）供电，实行所谓交-交流电力传动；另一种是将同步发电机输出的交流电先变成直流，然后通过变频、变压调节再向交流电动机（一般采用鼠笼式异步电动机）供电，由于它多了个中间直流环节，故称之为交-直-交流电力传动。目前已在内燃机车上采用的是交-直-交流电力传动，用的是鼠笼式异步牵引电动机，所以在其主电路中除了交流牵引发电机、交流牵引电动机外，还有硅整流器和逆变器（一种把直流电变成交流电的设备）等。

东风₄型内燃机车采用交-直流电力传动，其主电路的原理图如图 2—1 所示。当同步牵引发电机 F 工作时，其星形联接的三相定子绕组发出的三相交流电经由三相桥式整流电路组成的硅整流柜 $1ZL$ 后变成脉动很小的直流电，硅整流柜中二极管的共阴极端（图中上端）为正端，共阳极端（图中下端）为负端；硅整流柜输出的直流电再经各主接触器 $1C \sim 6C$ 后，对直流牵引电动机 $1D \sim 6D$ 供电。

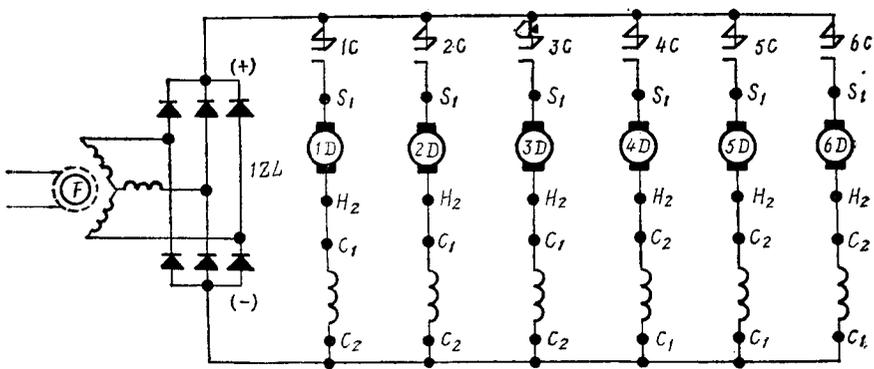


图 2—1 东风₄型内燃机车主电路原理图

今后主要分析的是原理配线图，即常用的内燃机车电路图，由于此电路图图面较大，说到某个元件时，一时难以找到，为此常对机车电路图加注坐标。附图 1 的东风₄型内燃机车电路图加注两个坐标，其纵坐标参数称行，横坐标参数称列，均以阿拉伯数字表示。今后在第一次提到某元件时，就在此元件文字符号后的括弧内加注两位坐标参数值，前面一位表示行参数，后面一位表示列参数，两位参数间用一字线分开，如 $F(7-19)$ 表示牵引发电机 F 绘于电路图中第 7 行第 19 列位置处。东风₄型内燃机车的主电路绘于附图 1 的第 1~20 行第 18~34 列（可简写为 1~20—18~34）范围内，牵引发电机 $F(7-19)$ 的三相定子绕组 A 、 B 、 C 、分别沿 09、08、07（图中所标线号再乘以 4 表示此导线实际由四根某种规格

的导线组成，是用四根细线当一根粗线使用）号线将交流电输送给整流柜 $1ZL$ （7—21）；在 $1ZL$ 的正端，分别沿 10、11、12、13、14、15 号各线接至主接触器 $1C\sim 6C$ 和牵引电动机 $1D\sim 6D$ ，然后经过各牵引电动机电路后再分别沿 21、20、19、18、17、16 号各线回到 $1ZL$ 的负端；当主接触器 $1C\sim 6C$ 闭合时，牵引电动机 $1D\sim 6D$ 得电。例如 $1D$ 的电流通路为： $1ZL$ 正端→10号线→主接触器 $1C$ →100号线→分路器 $11FL$ →40号线→牵引电动机 $1D$ 的电枢和换向绕组→牵引——制动转换开关 $1HK_{1-1}$ 的牵引常闭触点 $1HK_1$ （牵引工况时闭合）→前进——后退转换开关 $1HK_{q-1}$ 的前进常闭触点 $1HK_q$ （前进方向时闭合）→28号线→牵引电动机 $1D$ 的励磁绕组 C_1C_2 →22号线→前进常闭触点 $1HK_q$ →牵引常闭触点 $1HK_1$ →21号线→ $1ZL$ 负端。其余牵引电动机电流的通路与此相似，仅流过不同的主接触器和牵引电动机电路而已，可自行分析之。

2. 牵引电动机间连接方式对电路结构的影响

作为一般较大功率的内燃机车，牵引电动机一般有 $4\sim 6$ 台，它们之间可以全部采用并联，或者采用串并联混用的联接方式。如东风₄型内燃机车六台牵引电动机全部并联，东风₃型内燃机车六台牵引电动机采用两台串联成一条支路，三条支路再并联（简称两串三并）的方式。并联支路数多，使每条支路电动机功率所占机车总功率的比例减小，当某支路电动机发生空转等故障时，使机车牵引功率发生的变化相对较小，有利于提高机车的粘着性能，这对大功率内燃机车尤为重要；但并联支路数多，用的导线、接触器等也较多，这是它的缺点。东风₄型内燃机车是大功率机车，为了提高其粘着性能，所以各牵引电动机全部并联。

当内燃机车采用多台牵引电动机时，就有一个使各牵引电动机的转向同使机车前进或后退的问题，这就要求每个牵引电动机的电枢绕组与励磁绕组间按一定的顺序联接。如东风₄型内燃机车上的 $1D\sim 3D$ 安装在前转向架各动轴的后方（按机车前进方向而言）， $4D\sim 6D$ 安装在后转向架各动轴的前方，而且 $1D\sim 3D$ 和 $4D\sim 6D$ 的牵引小齿轮分别置于机车中心线的两侧，即两组牵引电动机的相对位置是相反的。为了同时使机车前进或后退，两个转向架上的电动机转向也应该相反，所以 $1D\sim 3D$ 的电枢绕组末端 H_2 与其励磁绕组的始端 C_1 相联时， $4D\sim 6D$ 的电枢绕组末端 H_2 应与其励磁绕组的末端 C_2 相联，即 $1D\sim 3D$ 与 $4D\sim 6D$ 电枢绕组与励磁绕组的联接顺序相反，以保证六个牵引电动机同时使机车前进或后退。

二、机车前进——后退转换电路

改变电力传动内燃机车的运行方向，也就是改变牵引电动机的转向。为了改变牵引电动机的转向，可在牵引电动机励磁绕组两端设方向转换开关（或反向器）的触点，当需要改变转向时，可使此转换开关（或反向器）动作，改变励磁绕组接入电路的始末端顺序，即可达到机车换向的目的。

东风₄型内燃机车共有两个方向转换开关 $1HK_{q-1}$ 、 $2HK_{q-1}$ ，它们分别控制前、后转向架上三台电动机的换向。当机车按前进方向运行时， $1HK_{q-1}$ 、 $2HK_{q-1}$ 上的牵引电空阀 $1HK_q$ 、 $2HK_q$ 有电，转换开关转至前进位，其所有常闭触点 1 、 $2HK_{q(1)}$ 闭合，所有常开触点 1 、 $2HK_{q(1)}$ 断开，这时牵引电动机电枢绕组与励磁绕组的联接顺序可从主电路图中看出来，如 $1D$ 的联接顺序为： $1D$ 的换向绕组末端 H_2 →34号线→ $1HK_{q-1}$ 常闭触点→ $1HK_q$ 常闭触点→28号线→励磁绕组 C_1C_2 →22号线→ $1HK_{q-1}$ 常闭触点→ $1HK_1$ 常闭触点，励磁电流的方向从 C_1 流向 C_2 ；又如 $4D$ 的联接顺序为： $4D$ 的电枢绕组末端 H_2 →37号线→ $2HK_{q-1}$ 常闭触点→ $2HK_q$ 常闭触点→31号线→励磁绕组 C_2C_1 →25号线→ $2HK_q$ 常闭触点→ $2HK_1$ 常闭触

点，励磁电流的方向从 C_2 流向 C_1 。当机车按后退方向运行时， $1,2HK_{q-k}$ 的后退电空阀 $1,2HK_k$ 有电，转换开关转至后退位，其所有常闭触头断开，所有常开触头闭合，改变了牵引电动机励磁绕组始末端接入电路的顺序。如 $1D$ 的联接顺序为： $1D$ 换向绕组末端 $H_2 \rightarrow 34$ 号线 $\rightarrow 1HK_{q-k}$ 常闭触点 $\rightarrow 1HK_k$ 常开触点（在后退位时，此触点闭合， $1HK_q$ 常闭触点断开） $\rightarrow 22$ 号线 \rightarrow 励磁绕组 $C_2C_1 \rightarrow 28$ 号线 $\rightarrow 1HK_k$ 常开触点 $\rightarrow 1HK_q$ 常闭触点，励磁电流从 C_2 流向 C_1 ，与前进方向时相反，牵引电动机 $1D$ 转向相反，使机车换向； $4D$ 的联接顺序为： $4D$ 换向绕组末端 $H_2 \rightarrow 37$ 号线 $\rightarrow 2HK_{q-k}$ 常闭触点 $\rightarrow 2HK_k$ 常开触点 $\rightarrow 25$ 号线 \rightarrow 励磁绕组 $C_1C_2 \rightarrow 31$ 号线 $\rightarrow 2HK_k$ 常开触点 $\rightarrow 2HK_q$ 常闭触点，励磁电流从 C_1 流向 C_2 ，也与前进方向时相反，实现了机车的换向。在我们分析其他支路中电动机的联接顺序时，可以发现： $2D$ 、 $3D$ 与 $1D$ 的联接顺序相同， $5D$ 、 $6D$ 与 $4D$ 的联接顺序相同，但 $1D \sim 3D$ 和 $4D \sim 6D$ 的联接顺序相反，这正是由它们的安装布置情况决定的。

三、牵引电动机的磁场削弱电路

牵引电动机得电后拖动机车运行，只要其发出的牵引力大于列车的阻力，牵引电动机的转速就可能不断的提高，机车不断加速。但是，对于直流牵引电动机来说，其转速的提高是以其电压的不断提高为条件的，由于牵引发电机的最高电压有一定的限制，所以直流牵引电动机的最大转速也将受到电压的限制。为了避免这种限制，所以直流牵引电动机采取了磁场削弱的措施，以保证机车有足够的速度变化范围。

磁场削弱的方法是在牵引电动机的励磁绕组两端并联分流电阻，使励磁绕组内的部分电流被分流，削弱了牵引电动机的磁场，故称磁场削弱，分流电阻就称为磁场削弱电阻。磁场削弱的原理电路如图 2—2 所示，磁场削弱电阻 R_x 并联在励磁绕组 C_1C_2 上。在未并联 R_x 时，流过励磁绕组的电流 $I_c = I_D$ ；当并联 R_x 后，流过励磁绕组的电流 $I_c = I_D - I_x$ 其中 I_x 是被分流的电流，流过磁场削弱电阻 R_x 。牵引电动机磁场被削弱的程度用磁场削弱系数 β 表示，它是励磁绕组内实际流过的电流 I_c 与电枢电流 I_D 的比值，以百分数表示，即

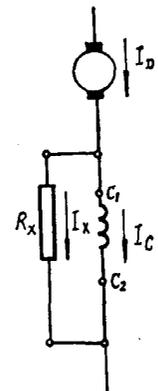


图 2—2 磁场削弱原理电路图

$$\beta = \frac{I_c}{I_D} \times 100\%$$

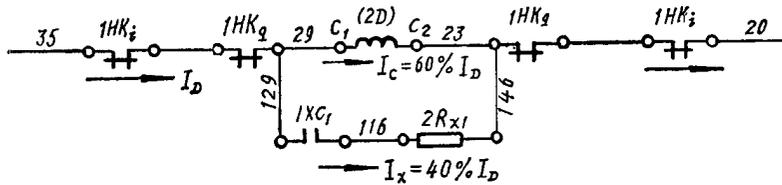
β 值愈小，表示磁场削弱愈深。在电压不变的情况下，磁场削弱得愈深，电动机的转速愈高。但是磁场削弱过深，对牵引电动机换向（整流）不利，换向火花等级将会提高，所以过深的磁场削弱也是不利的。

目前，牵引电动机是采用有级磁场削弱的，每个磁场削弱电阻通过相应的磁场削弱接触器控制它的接通与断开。当首次并入一个磁场削弱电阻时，对励磁电流进行第一次分流，称为一级磁场削弱，简称一级过渡（即由全磁场向一级削弱磁场过渡）；当再次并入第二个磁场削弱电阻时，对励磁电流进行第二次分流，称为二级磁场削弱，简称二级过渡。二级过渡后，两个磁场削弱电阻都被并入电路，励磁电流被分流的更多，磁场削弱系数 β 更小。取消磁场削弱的动作称为磁场恢复，简称返还，一般也有二级返还和一级返还，这是和过渡相对应的。

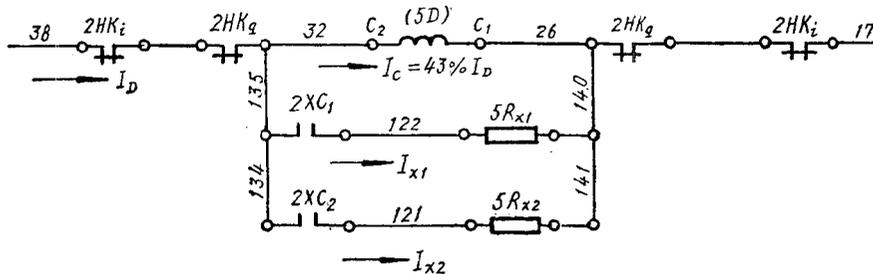
在进行磁场削弱时，将引起牵引电动机电流的增加，磁场削弱愈深，电流增加愈多。电流

变化过大，对牵引电动机和牵引发发电机的运行不利，故一级磁场削弱不宜过深。如果根据电机调速的要求而使总的磁场削弱较深（即要求的总磁场削弱系数 β 值较小）时，可进行分级削弱。在磁场削弱深度一定的条件下，削弱级数、愈多，每级削弱前、后牵引电动机和牵引发发电机电流变化值愈小，对电机运行愈有利；但削弱级数过多，用的电器和导线也愈多，电路结构过于复杂，故磁场削弱级数一般不超过两级。如果适当提高牵引发发电机的电压调节比（额定高电压与额定低电压的比值，通常以 K_u 表示），自然可提高牵引电动机转速，在不增加磁场削弱深度的条件下，有时只采用一级磁场削弱就可以保证机车具有足够的速度变化范围。

东风₄型内燃机车采用两级磁场削弱，磁场削弱电路示于附图1的15~17行23~33列范围内。当实行一级过渡时，一级磁场削弱接触器 $1XC_1$ （控制 $1D\sim 3D$ 的一级磁场削弱）和 $2XC_1$ （控制 $4D\sim 6D$ 的一级磁场削弱）动作，分别将六台牵引电动机的一级磁场削弱电阻 $1\sim 6R_{x1}$ 接入电路，实行一级磁场削弱。现以 $2D$ 电路为例，说明它的工作情况。当 $1XC_1$ 动作后， $1XC_1$ 的常开触点（15—25）闭合，将 $2R_{x1}$ （17—25）并入励磁绕组电路，这时励磁电流被分流的情况（以前进方向电路为例）为：



由于 $2R_{x1}$ 并入，有40%的电枢电流被分流（分流电流的比例决定于 $2R_{x1}$ 与励磁绕组电阻的比值），剩下的60%电枢电流流过励磁绕组，故一级磁场削弱系数 $\beta_1 = 60\%$ 。其余电机的一级磁场削弱电路工作情况相同， β_1 也为60%。看图时要注意的是 $1XC_1$ 控制 $1\sim 3R_{x1}$ 的接入， $2XC_1$ 控制 $4\sim 6R_{x1}$ 的接入。当实行二级过渡时，二级磁场削弱接触器 $1XC_2$ （控制 $1D\sim 3D$ 的二级磁场削弱）、 $2XC_2$ （控制 $4D\sim 6D$ 的二级磁场削弱）动作，分别把 $1\sim 6R_{x2}$ 接入电路，实行二级磁场削弱。例如 $5D$ 二级磁场削弱后的电路通路为：



由于一级过渡时， $2XC_1$ 常开触点（15—31）已闭合， $5R_{x1}$ 已接入，二级过渡时 $2XC_2$ 常开触点（15—31）也闭合， $5R_{x2}$ 又被接入，对励磁绕组进行更多的分流，使其励磁电流仅占电机电流 I_D 的43%，有57%的电机电流被 $5R_{x1}$ 和 $5R_{x2}$ 所共同分流（流过 $5R_{x1}$ 和 $5R_{x2}$ 的电流分配情况决定于它们之间电阻值之比），故二级磁场削弱系数 $\beta_2 = 43\%$ 。

机车在后退方向运行时的磁场削弱情况与前进方向时相同，仅流过励磁绕组和磁场削弱电阻的电流方向相反而已。

§ 2. 主电路的测量与保护电路

一、电压、电流的测量电路

为了监视主电路的工作，就应将其电压、电流值显示在操纵台上；有时还需要利用主电路的电压、电流信号去达到某种控制和保护的目。这些都需要对主电路的电压、电流值进行测量。

1. 电压的测量

测量电压时，首先应选用量程相当、电流类型（交流或直流）相同的电压表，其次再将电压表与所测电路的两端点并联。对于直流电路来说，还应注意表与电路联接的极性。

当测量高电压的直流电路时，为扩大直流电压表的量程，可用一个附加电阻 R_0 （有时称为倍率器）与电压表串联后，再并入被测电路。附加电阻 R_0 应由温度系数小的材料制成，电压表量程扩大的愈大，附加电阻 R_0 的阻值应愈高。当测量高电压的交流电路时，常用交流电压互感器来扩大电压表的量程。

东风₄型内燃机车是测量主电路的直流侧的电压，并将其显示在操纵台上，它的方法是在硅整流柜1ZL的直流侧并联电压表1V(10—22)。电压表1V共两个，每端司机室一个，每个电压表各串一个附加电阻1 R_0 和2 R_0 。（实际上是一盒组合电阻），以使DY 602型电压表量程扩展至1000伏。

2. 电流的测量

测量电流时，应首先选用量程相当、电流类型相同的电流表，其次应将电流表与被测电路串联。对直流电路来说，还应注意表与电路联接的极性。

当采用磁电式电流表以测量直流电路的大电流时，可配用分流器以扩大表的量程。分流器是一种温度系数小的低值电阻（约 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ 欧姆），常用锰铜制成。在测量电流时，先将分流器串入被测电路，然后再将电流表与分流器并联，所以流过电流表的电流仅是被测电流的一部分。分流器电阻愈小，流过电流表的电流愈小，同一个电流表可以测量更大的电流，即量程更为扩大。在测量交流电路的大电流时，常采用电流互感器来扩大表的量程。

东风₄型内燃机车是用电流互感器先测出牵引发电机定子绕组电路内的交流电流，然后再经过整流，用直流电流表显示其电流值，其电路示于附图1的1~4行16~20列。从原则上来说，测量三相交流电应该用三个电流互感器，但是牵引发电机三相定子绕组的负载电流是对称的（即大小相等，相位相差 120° 电角度），所以可用两个电流互感器实行V形联接，以反映出三相电流的变化来。两个电流互感器1LH（6—19）、2LH（9—19）可任意接在三相电路中的两相里（如A相和C相），1LH与2LH间尾端（图中的 K_2 端，打黑点端为1LH和2LH的同名端）对尾端相联接，形成V形联接，并以两个尾端联接点作为第三相的输出端，故1LH和2LH可以输出三相对称电流。此三相对称电流再经整流装置3ZL（3—19）后变成直流电，直接对直流电流表2A（2—17）供电。电流表2A有两个，每个司机室一个，整流装置3ZL输出端的电容C（2—19）作滤波电容，以减小电流表2A电路里的电流脉动。

在主电路里，牵引发电机的三相交流电经由三相桥式电路组成的整流柜 $1ZL$ 对牵引电动机电路供给直流电；在电流测量电路里，经 $1LH$ 、 $2LH$ 输出的三相交流电也经由三相桥式电路组成的整流装置 $3ZL$ 对电流表电路供给直流电。只要两个电路中交流侧电流间成固定的比例关系，则其直流侧电流间也必然成固定的比例关系。现东风₄型内燃机车采用 5000/5 的电流互感器，使交流侧每相电流间的固定比例为 1000:1，则直流侧输出电流间的固定比例也为 1000:1，即主电路中牵引发电机经 $1ZL$ 输出的直流电流为 1000 安时，电流表 $2A$ 电路中的直流电流为 1 安，若这时将电流表 $2A$ 的表面刻度标为 1000，则用电流表 $2A$ 可以直接读出牵引发电机输出的直流电流值了。

有时机车上还分别设置各并联（牵引电动机）支路的电流测量电路，它的方法是在各牵引电动机支路中串入分流器，再并联直流电流表，通过各支路电流表的读数来判断各支路的工作情况，有助于分析电路的故障。在东风₄型内燃机车上，六条并联的牵引电动机支路都设有电流测量电路，它是分别串入分流器 $11\sim 16FL$ （6—24~33），然后再并入电流表 $11A\sim 16A$ （6—24~34），以显示支路电流值。

在 $1D$ 和 $6D$ 支路里，与 $11FL$ 、 $16FL$ 还并有电流表 $1A$ ，它用于电阻制动工况，并安装在操纵台上。当上述的 $11\sim 16A$ 也安装在操纵台上时，电流表 $1A$ 可以取消。

二、主电路的保护电路

为防止主电路出现故障而造成的损害，机车上设有各种保护电路。机车主电路的保护电路一般有过电流保护、接地保护、空转保护电路等。

1. 过电流保护电路

当主电路短路或牵引电动机因换向恶化而发生环火时，将造成主电路电流过大，以至损坏设备，为防止之，设有过电流保护电路。过电流保护的一般措施是采用过电流继电器，当主电路电流达到危险值时，过电流继电器动作，采取必要的保护性措施。

东风₄型内燃机车的过电流保护电路比较简单，它就在电流测量电路的电流表 $2A$ 电路里接入过电流继电器 LJ 线圈（2—19），当主电路直流电流值达 6500 安时，流过 LJ 线圈的电流为 6.5 安， LJ 动作，实行以下保护性措施：使过电流信号灯变亮，切断牵引发电机的励磁，使牵引发电机停止发电，无载信号灯也变亮（有关信号灯电路的工作情况详见第五章）。这时司机可从过流、无载信号灯变亮、柴油机卸载等情况判断出主电路已发生过电流现象。

一般过电流继电器设有闭锁机构，即在过电流继电器有电动作后，即使失电，电器也不能自行恢复，常开触点不能断开。这是由于过电流是故障的表现，要求乘务人员在查找故障并排除后，才可人为地恢复过电流保护作用。

2. 接地保护电路

当主电路某高电位点接地（车体）时，会使车体出现高电位，这是很危险的；主电路正、负端同时有接地点时，将通过车体使主电路发生短路，这有害于牵引发电机等设备。所以，设置接地保护电路是必须的。

接地保护电路是由接地继电器等组成。保护电路的一端先人为地接地（车体），作为主电路有接地时的电位接收点；另一端接在主电路某个较低电位处，作为一固定电位比较点。当主电路的接地点与保护电路所接主电路某点间的电位差达一定值时，接地继电器动作，采取保护性措施。

东风₄型内燃机车接地保护电路如图 2—3 所示，它由接地继电器 DJ （13—19）、接地开关 DK （11—19）等组成。此保护电路所接的主电路的固定电位比较点是可选择的。在正常运转情况下，接地开关置于运转位， DK 端子 1、3 与 4 接通，接地电路的固定电位比较点接于同步牵引发电机定子绕组的中点 N 。在三相负载对称的条件下，星形联接的三相绕组中点的电位为零，是一个很好的固定电位比较点，无论主电路正端还是负端接地时，相对于中点 N 均有电位差，均可使接地继电器 DJ 动作。在牵引电动机有接地故障的情况下， DK 置于故障位， DK 的端子 1、3 与 2 接通，固定电位比较点接于主电路负端，只有主电路正端接地时，才可使 DJ 动作。现以正常运转工况为例，介绍接地保护电路中电流流通情况。当主电路正端某处 P （见图 2—3）接地时，则电流按如下电路流过接地继电器：接地点 P → 接地保护电路人为地接地点 → 179（见附图 1）→ DJ 线圈 → 178 → DK 触点 1、4 → 177 → 1/20 → 70 → 牵引发电机定子绕组 → 整流柜 $1ZL$ → 主电路正端 → 接地点 P ；当主电路负端某处 Q 接地时，则电流按如下电路流过接地继电器：接地点 Q → $1ZL$ → 牵引发电机定子绕组 → 70 → 177 → DK 触点 1、4 → 178 → DJ 线圈 → 179 → 接地保护电路人为地接地点 Q 接地点 Q 。在这两种情况下，流过 DJ 线圈的电流都是牵引发电机供给的，但是流过 DJ 线圈的电流方向相反。

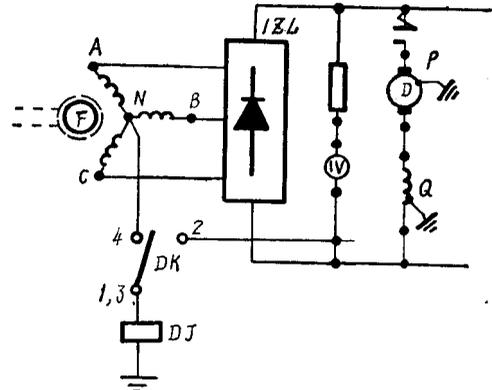


图 2—3 东风₄型内燃机车接地保护电路

东风₄型内燃机车用的 DJ 动作电流为 100 毫安，只有当主电路的接地点电位相对于中点 N 的电位差达一定值，使流过 DJ 的电流达 100 毫安时， DJ 才动作（否则，电流不够， DJ 不会动作）。 DJ 动作后，采取的保护性措施有：①使接地信号灯变亮；②切除牵引发电机励磁，使牵引发电机不发电，同时，无载信号灯变亮。司机可从接地、无载两信号灯变亮判断出主电路已发生接地现象。

接地继电器也带有闭锁机构，要求乘务员去查找接地点。当找到某牵引电动机有一点接地，且接地故障一时又难以排除时，可用牵引电动机的故障开关使故障电机的主接触器失电，切断故障牵引电动机的电路。但是这时仅切断牵引电动机与主电路正端的联接，牵引电动机仍与主电路负端接通，存在于故障电动机内的接地点自然也就与主电路负端接通，相当于主电路负端有接地点，一当人为恢复 DJ 而欲使机车重新投入运行时， DJ 又将动作。所以这时就不能再以中点 N 作固定电位比较点，应将 DK 置于故障位，改由主电路负端作固定电位比较点，尽管这时已有接地点，但由于接地点与固定电位比较点（主电路负端）电位基本相等， DJ 不会动作。这样处理的目的是使机车可以继续投入运行，以免造成机破事故，但这时司机应时刻注意，以免发生两点同时接地而引起的短路现象，防止主电路过流。

3. 空转保护电路

当机车某动轴的牵引力大于粘着牵引力时，动轮将发生滑动而使牵引电动机转速迅速上升；或因牵引电动机小齿轮松脱，牵引电动机因空载而使转速迅速上升，这就是牵引电动机的空转。由于串励电动机的空转转速是很大的，它可能导致电枢的损坏、动轮和钢轨的非常磨损，因此必须设置空转保护装置。

空转保护电路基本由空转保护电器和空转信号的检测两部分组成。从空转信号的检测来

看，有检测转速变化信号的，也有检测电压或电流变化信号的，它们都是利用空转时所出现的转速不平衡或电压、电流不平衡现象，产生一种控制信号，以使空转保护电路动作。

东风₄型内燃机车是检测电压信号来使空转保护电路动作的，它将并联的两台牵引电动机组成平衡电桥，其原理电路如图2—4(a)所示。电桥由牵引电动机1D和6D组成，其中两台电动机电枢内的反电势

E_1 和 E_6 作为比较电势分别接入电桥的两个桥臂；两台电机的励磁绕组作为固定比较电阻 R_{c1} 和 R_{c6} 分别接入电桥的另两个桥臂；电桥的两个端点a和b间就接入空转保护继电器KJ的线圈，KJ就是根据a、b两点间的电位差值而动作的，其等效电路如图2—4(b)所示。当电桥平衡时，各比较电势和电阻间成比例关系，即

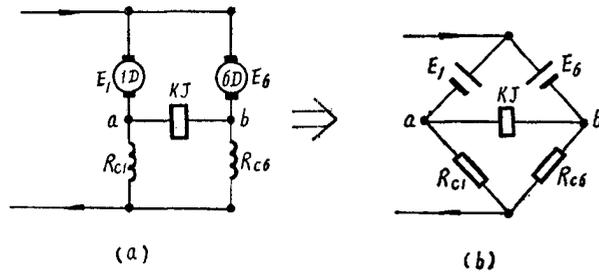


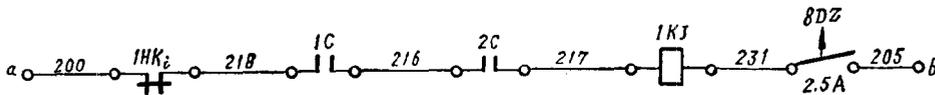
图2—4 空转保护原理电路

$$\frac{E_1}{R_{c1}} = \frac{E_6}{R_{c6}} \text{ 或 } \frac{E_1}{E_6} = \frac{R_{c1}}{R_{c6}}$$

由于两台牵引电动机励磁绕组电阻是相同的， $R_{c1} = R_{c6}$ ，欲满足以上比例关系也只有 $E_1 = E_6$ 。 E_1 和 E_6 是牵引电动机电枢内的反电势，它的数值与牵引电动机的电压和转速有关。由于两台牵引电动机都由牵引发电机供电，其电压是相同的，若两台电动机的转速也相等，则将使 $E_1 = E_6$ ，这正是机车正常运行情况。电桥平衡时，端点a与b电位相等，KJ线圈无电流流过，空转保护电路未起作用。当两台电动机的任一电机因空转而转速上升时，必使空转电机的反电势增加，使 $E_1 \neq E_6$ ，破坏了电桥平衡条件，电桥两个端点a和b的电位不等，将有电流流过KJ线圈。当 E_1 与 E_6 之差达到一定值时，流过KJ线圈中的电流也达到了KJ的动作值，空转保护电路起作用。

东风₄型内燃机车是将1D和6D、2D和3D、4D和5D各组成一个平衡电桥的，电机分组的原则是从利于空转信号的检测和缩短电路联线两个方面考虑而决定的。从利于空转信号检测角度来看，在机车前进时，第一轴最易空转，第六轴不易空转；在机车后退时，第六轴最易空转。所以将1D和6D组成平衡电桥，对空转的检测是最敏感的，它不会出现两轴同时空转而电桥平衡不被严重破坏的情况。2D~5D的空转条件基本相同，从缩短联线角度考虑，把2D和3D、4D和5D各分成一组。

东风₄型内燃机车空转保护电路画于主电路图内，六个电动机分三组，共有三个空转继电器1KJ(21—32)、2KJ(13—26)和3KJ(13—31)。其中1KJ的电路为：



电路的左端点a接在1D支路的电枢与励磁绕组间，右端点b接在6D的电枢与励磁绕组间，若1D发生空转， E_1 上升，使 $E_1 > E_6$ ，则a点电位低于b点电位（因1D和6D在主电路正端线上的电位相等， $E_1 > E_6$ 必将使a点电位低于b点电位），有电流从b点经1KJ线圈流向a点。当a、b两点间电位差达2伏，1KJ线圈内电流达0.5安时，1KJ即可动作。空转继

电器动作后，使空转信号灯变亮、显示空转信号，司机应采取必要措施，以终止空转。在东风₃型内燃机车上，空转继电器动作后，还自动削减牵引发电机励磁，以使空转自动消除。

在上述空转保护电路里的几个联锁触点及开关的作用如下：

(1) 转换开关的 $1HK$ 牵引用常闭触点在牵引工况时，此触点闭合，接通空转保护电路；在电阻制动工况时，主电路发生了变化，此电桥电路已不存在，则此触点断开，切断空转保护继电器电路；

(2) 主接触器 $1C$ 、 $6C$ 的常开联锁触点当 $1D$ 、 $6D$ 中任一电机发生故障而被切除时，电桥平衡条件自然被破坏，失去了空转保护作用，所以，随 $1D$ 或 $6D$ 的切除而使 $1C$ 或 $6C$ 失电，以此触点切断空转保护电路；

(3) 自动开关 $8DZ$ 为了防止由于 $1D$ 或 $6D$ 的空转程度很严重，使 a 、 b 两点间的电位差较大，流过 KJ 线圈的电流过甚，以致烧坏电器，所以设置了自动开关 $8DZ$ 。当流过空转保护电路的电流达 2.5安时， $8DZ$ 自动脱闸，切断保护电路。

$2KJ$ 、 $3KJ$ 的电路与 $1KJ$ 完全相同。

第三章 励磁电路

为了使牵引发发电机与机车柴油机的特性相适应，所以就应使牵引发发电机具有一定的外特性——常称之为理想外特性；为了使牵引发发电机具有理想外特性，所以就应对牵引发发电机的励磁电流进行适当的调节，这个任务是由励磁电路来完成的。

§ 1. 牵引发发电机的理想外特性

一、理想外特性曲线

机车上的牵引发发电机与柴油机相匹配，组成柴油机-发电机组。当柴油机在额定转速下工作时，发出额定功率（如16240 ZA型柴油机在1100转/分时的装车功率为3300马力），为充分利用柴油机的功率，牵引发发电机在此转速下工作时也应发出相同的功率（忽略发电机效率的影响），这就要求牵引发发电机具有恒功率外特性。无论是直流还是交-直流电力传动，牵引发发电机的输出功率都可用输出的直流电压 U_F 和直流电流 I_F 的乘积 $P_F=U_F \cdot I_F$ 来表示，若要使牵引发发电机的输出功率维持恒定，就要求 $P_F=U_F \cdot I_F = \text{常数}$ 。如果我们以 U_F 、 I_F 坐标图表示牵引发发电机的外特性时，按上述公式确定的特性将如图3-1中BCD曲线所示，它是一条等功率曲线，在数学上，是一条等边双曲线。

当牵引发发电机沿此恒功率外特性曲线工作时，随着电流 I_F 的减小，电压 U_F 不断上升，但就某一台发电机来说，由于受到各种因素的影响，其最高电压有一定的限制，当电压达到限制值时，即使电流再减小，电压也不能明显上升，这时牵引发发电机特性应如图3-1中BA线所示，此线称之为电压限制线。

同理，随着电压 U_F 的减小，电流 I_F 应不断地增大，但其最大电流也应有一定的限制，当电流达到限制值时，即使电压再减小，电流也不能明显地增大，这时牵引发发电机特性应如图3-1中DE线所示，此线称之为电流限制线。

这样一来，作为一个工作在一定转速条件下的牵引发发电机，就应具有如图3-1中ABCDE曲线所示的外特性，并称之为牵引发发电机的理想外特性。

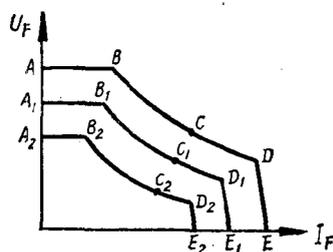


图 3-1 牵引发发电机的理想外特性

二、不同转速下牵引发发电机的理想外特性

我们常用改变柴油机功率的方法，来调节机车运行速度。在内燃机车上，柴油机功率与转速是一一对应的，改变柴油机功率也就是改变柴油机的转速。当柴油机转速改变时，牵引发发电机也应相对的具有不同的理想外特性曲线，如果以ABCDE代表柴油机在额定转速下的牵引发发电机理想外特性曲线，则当转速下降时，柴油机功率下降，牵引发发电机所维持的恒定功率也应随之下降，所以对应转速较低时的牵引发发电机理想外特性将如图3-1中曲线

$A_1B_1C_1D_1E_1$ 所示；转速愈低，理想特性曲线的位置也愈低。当柴油机转速被分成多少级时，牵引发电机也就对应有多少条理想外特性曲线。

三、获得理想特性曲线的基本方法

从目前已有的交流或直流发电机本身所具有的外特性（可称之为自然外特性）来看，都未具备上述要求的理想外特性，这就出现了一个特性调节的问题，而且中心是恒功率调节。

由前已知，在具有直流牵引电动机的电力传动装置中，牵引发电机的功率都可用 $P_F = U_F \cdot I_F$ 表示。欲使 $U_F \cdot I_F = \text{常数}$ ，只有随着 I_F 的变化调节 U_F ，或者随着 U_F 的变化调节 I_F 。由于 I_F 决定于负载——牵引电动机的工作状态，不是人为地可以调节的，所以只能随着 I_F 的变化调节 U_F ，使之满足 $U_F \cdot I_F = \text{常数}$ 的要求。

对于指定的发电机来说，其电压的变化主要决定于发电机的转速 n 和主磁极的磁通 ϕ 即 $U_F = C_e \cdot \phi \cdot n$ ， C_e 是与电机型式、结构有关的常数。当牵引发电机由柴油机带动时，发电机的转速决定于柴油机的转速，而且理想外特性是针对某一转速而言的，所以不能用改变转速 n 的方法来达到特性调节的目的，因而问题就归结到调节磁通 ϕ 的问题上了。对于一定的发电机来说，磁通 ϕ 决定于它的励磁电流，所以牵引发电机特性调节的实质是对其励磁电流进行调节。

对于直流牵引发电机来说，一般采用他励直流发电机，其转速、励磁电流不变时的自然外特性如图 3—2 中 $ABHK$ 所示，它与理想外特性相比，仅限压线部分相近，其余部分相差较大，所以我们就可利用其限压部分，而在发电机电流 I 大于 I_B 后，随发电机电流的增加，减小发电机的励磁电流，以使其电压下降，将自然外特性 BHK 改变成理想外特性 BCD 。当 $I > I_D$ 后，急骤减小励磁电流，以使出现限流特性 DE 。这样就可使他励直流发电机具有理想外特性 $ABCDE$ 。

对于同步牵引发电机来说，其转速 n 、励磁电流 I_{L1} 不变时的自然外特性如图 3—3 中 $ABKDE$ 所示，它与理想外特性曲线相比，限压、限流部分较为接近，但恒功率部分有差异，所以我们就可保持其限压、限流部分，而在电流 I_B 至 I_D 间，对同步发电机的励磁电流进行调节，以使同步发电机具有恒功率特性。

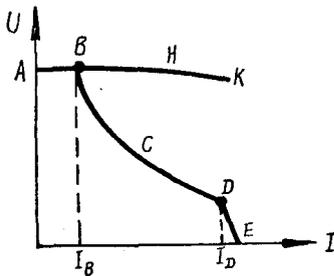


图 3—2 他励直流发电机自然外特性

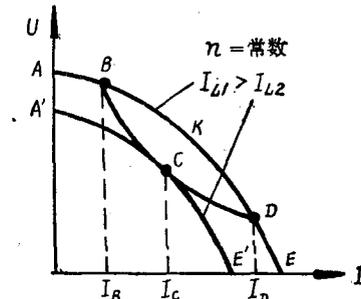


图 3—3 同步牵引发电机的自然外特性

当对同步牵引发电机实行恒功率调节时，应了解励磁电流随负载电流的变化规律。图 3—3 所示的自然外特性 $ABKDE$ 是在转速为 n 和励磁电流为 I_{L1} 条件下得到的。如果转速 n 不变而励磁电流由 I_{L1} 减小至 I_{L2} 时，其自然外特性曲线位置将向左下方移动，如 $A'CE'$ 所示。所以在同步发电机进行恒功率调节时，从 $I > I_B$ 开始，随 I 的增加，应逐步减小励磁电

流，以使自然外特性曲线 BK 部分改变成理想外特性曲线的 BC 部分；当 $I = I_C$ (C 是个切点) 时，励磁电流已达最小值 I_{L2} ；当 $I > I_C$ 时，随 I 的增加，反过来要逐步增大励磁电流，使自然外特性曲线的 KD 部分改变成理想外特性曲线的 CD 部分；当 $I = I_D$ 时，励磁电流又增至 I_{L1} 。而在 $I < I_B$ 和 $I > I_D$ 时，励磁电流维持 I_{L1} 值不变，以自然外特性代替理想外特性中的限压、限流线，这样也可使同步牵引发电机具有所需要的理想外特性曲线 $ABCDE$ 。

§ 2. 牵引发电机励磁系统基本概况

一、励磁系统基本组成

牵引发电机的励磁系统一般由牵引发电机的励磁电路和励磁机的励磁电路两部分组成。

励磁机是一个专门用以对牵引发电机励磁绕组供电的发电机，它可以用直流发电机，也可以用交流发电机。由于牵引发电机（直流或交流）都需要直流励磁，所以当用交流的励磁机时，还应配以整流装置，以输出直流电。

为了对励磁电流进行调节，在励磁系统中应设置励磁调节器，通过励磁调节器的调节，使牵引发电机具有理想外特性。励磁调节器可以设在牵引发电机本身的励磁电路里，用以直接调节牵引发电机的励磁电流；也可设在励磁机的励磁电路里，通过对励磁机励磁电流的调节间接达到牵引发电机励磁调节的目的。由于牵引发电机的励磁电流比较大（达几百安），目前大多数的励磁调节器都设在励磁机的励磁电路里，形成间接调节的励磁系统。在这种励磁系统中，牵引发电机本身的励磁电路比较简单，励磁机的励磁电路比较复杂，下面介绍它们的基本组成情况。

1. 牵引发电机的励磁电路

牵引发电机的励磁电路由励磁机的电枢绕组和牵引发电机的励磁绕组等组成，电路中，除了作为开关元件的励磁接触器外无电流调节元件，牵引发电机的励磁电流仅决定于励磁机的电压和电路中的电阻。

当励磁接触器动作时，励磁电路投入工作，励磁绕组得电。由于绕组电感的作用，在得电的瞬间，绕组内电流只能从零逐渐增至某一个稳定值（但过渡时间是很短的）；当电路断开时，又由于绕组电感的作用，也只能使绕组内电流从某一稳定值逐渐衰减到零，并在绕组两端产生操作过电压。过电压的大小与绕组断电时电路所具有的放电电阻有关，根据理论分析，绕组在断电瞬间的过电压值为：

$$U_g = -\frac{r_0 + r_L}{r_L} \cdot U_L^*$$

式中 U_L ——励磁绕组正常工作时的电压；

r_L ——励磁绕组电阻；

r_0 ——绕组放电电路的电阻。

若绕组断电时无放电电路，可认为电阻 r_0 很大，由此也将使绕组两端的过电压值很大，如此大的过电压将使接触器触点断开处空气电离，形成电弧，烧损触点，同时也可能击穿电路中的有关元件和绕组本身的绝缘，这是很有害的。为了减小操作过电压，一般都在绕组两端加上并联的放电电路，使之具有较小的放电电阻值 (r_0)，尽量减小过电压值。若能使 $r_0 \rightarrow 0$ ，则

* 关于此公式的推导见本章附注部分。

$U_g \rightarrow U_L$ ，过电压值最小。

由于牵引发电机励磁绕组电流比较大，在产生过电压的同时，绕组释放出的能量也比较大，所以更应注意绕组断电时能量的释放问题。

2. 励磁机的励磁电路

励磁机的励磁电路由励磁调节器和励磁机励磁绕组等组成。在转速不变的条件下，励磁机的电压决定于它的励磁电流，而励磁电流的大小又决定于励磁调节器的调节作用，因而关键问题是选择一种性能良好、工作可靠的励磁调节器，它应能够综合各种励磁调节信号，灵敏而准确的确定每一时刻励磁电流的大小，从而保证牵引发电机具有理想的外特性。影响励磁调节的基本信号有功率、限流、限压等，另外也包括电阻制动时的各种调节信号，使牵引发电机适应机车所能遇到的各种工况，保证机车各有关部件正常的工作。

二、现有内燃机车励磁系统基本概况

励磁系统的基本任务是使牵引发电机具有理想外特性，但用以实现励磁调节的具体方法和电路形式是很多的。

早期生产的电力传动内燃机车，鉴于当时的技术水平，都是采用直流励磁机和比较简单的励磁调节器（如碳阻调节器）；或者用一种具有特殊结构的励磁机，将励磁机和励磁调节器的作用合并在一台发电机上，如东风₃型内燃机车用的ZQL-8型励磁机那样。

近年来，随着技术水平的发展，尤其是半导体技术的发展和运用，大大改变了内燃机车的面貌，以致牵引发电机的励磁系统形式也趋于多样了。

首先，交流励磁机得到了采用，这是和出现了大功率半导体整流器分不开的。首批采用的是交流同步励磁机，如东风₄型内燃机车用的TQL-45型同步发电机，继而采用结构更为简单的感应子（或称定子）发电机，如ND₄型机车用的DXJ25AV型励磁机（东风₄型内燃机车也准备采用这种型式的发电机）。

其次，各种型式的半导体励磁调节器得到了采用。目前用到内燃机车上的半导体励磁调节器有两种类型：一种是可控硅（或称晶体闸流管）励磁调节器；一种是晶体管励磁调节器。可控硅励磁调节器又分两种形式：一种是可控硅整流器，它与交流电源相配，输出可调节的直流电；另一种是可控硅斩波器（或称直流断续器），它与直流电源相配，输出可调节的直流电。我国最初生产的东风₄型内燃机车采用了可控硅斩波器式励磁调节器，它设在励磁机的励磁电路里。在我国试制的燃气轮机车上，也曾试用过可控硅整流器，直接调节牵引发电机的励磁电流。晶体管励磁调节器是一种晶体管开关电路，根据励磁调节的要求，控制开关电路的输出。由于目前普遍采用的晶体管容量较小，这种调节器一般都设在励磁机的励磁电路里。

励磁放大器也是一种自动化元件，结构简单、工作可靠、热稳定性好，在内燃机车上也得到了应用，它可以直接作为励磁调节元件，组成磁放大器励磁调节器，如ND₄型内燃机车用的那样；也可以作为一种控制元件和其它半导体元件相配，组成半导体励磁调节器等等。

励磁系统的面貌已经成为内燃机车发展的一面橱窗，各国都在这方面作了许多工作。我国的内燃机车厂、段、科研机关、院校正在进行着一系列新的设计、研究、试验工作，以探讨新的励磁调节系统，不久将会取得良好的成果。整个励磁系统研究的中心问题是，保证柴油机稳定而经济的工作在恒功率状态；调节系统具有良好的动态特性和静态特性；整个系统具有严格的可靠性，以使内燃机车具有最好的性能。

§ 3. 东风₄型内燃机车牵引发电机的励磁电路

一、牵引发电机的励磁电路

牵引发电机的励磁电路示于附图 1 中 16~18 列范围内，它由牵引发电机 F 的励磁绕组 (7—18)、励磁接触器 LC 的常开主触点 (7—17)、励磁整流柜 $2ZL$ (8—16)、励磁机 L 的电枢绕组 (12—16) 等组成。当 LC 主触点闭合时，励磁机向牵引发电机励磁绕组供电，其电路为：励磁机 L 之电枢绕组 → 励磁整流柜 $2ZL$ → $2ZL$ 正端 → 695 号线 → LC 主触点 → 77 号线 → 牵引发电机 F 励磁绕组 → 78 号线 → $2ZL$ 负端 → L 之电枢绕组。

在励磁整流柜 $2ZL$ 中与各整流元件 $D_1 \sim D_6$ 并联的电阻、电容是硅元件的过电压保护电路，常称阻容保护。在主电路中的整流柜 $1ZL$ 也有类似的阻容保护，只不过在图中未予表示。

在一 6 号以前各电路图中，与牵引发电机励磁绕组并联有二极管和电阻，如图 3—4 (a) 所示，以作为绕组断电时的放电电路。当绕组断电时，过电压方向与原有电压方向相反，在此过电压的作用下，沿二极管、电阻电路放电，只要电阻 R 及二极管 D 的总电阻很小，过电压可以被控制在允许的范围内。电阻 R 的加入能使绕组能量加速衰减，不但可以减弱励磁接触器主触点上的电弧，甚至还可减弱主接触器主触点上的电弧 (因 LC 的迅速断弧，也保证 $1 \sim 6C$ 及早在无电状态下断开)。在一 7 号电路图上，放电电路已改为如图 3—4 (b) 所示的电路，这是由于励磁整流柜 $2ZL$ 中的二极管实质上已与 F 的励磁绕组并联，可以兼起放电电路的作用，而且现在用的 $2ZL$ 中的二极管容量有富余，也可以承受放电的任务，这就可以省去一个专用的续流二极管。另外将放电电阻 R_{if} 并联在 LC 的主触点上，使放电电流不经 LC 主触点而改经电阻 R_{if} ，以减弱触点的电弧。 R_{if} 的阻值应选取恰当： R_{if} 太小，相当于将 LC 主触点短路，使电路总是接通的，失去 LC 的开断作用； R_{if} 太大，使过电压值又太大。为兼顾两个方面的要求，取 R_{if} 为 50 姆欧。

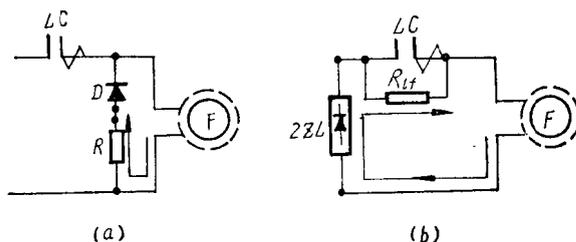


图 3—4 励磁绕组的放电电路

在一 6 号电路以前，励磁整流柜 $2ZL$ 设有快速熔断器以作过流保护，

在一 7 号电路上已被取消。取消的主要原因是励磁整流柜中二极管有较大容量；而励磁机又是同步发电机，其短路电流被限制在一定范围内，因此，即使发生过电流现象也不会对整流元件引起过大的损害。

二、励磁机的励磁电路

1. 电路介绍

励磁机的励磁电路示于附图 1 的 13~15 列上半部，现将牵引工况时的励磁电路部分摘录于图 3—5 中，图中几个主要元件的作用如下：

(1) 辅助发电机 QD (10—5) 作为一个电压值固定的辅助电源，电压为 110 伏。

(2) 励磁机的励磁绕组 L 它是本励磁电路的供电对象，在励磁绕组得电后，将使励磁机感应出电压，并可对牵引发发电机供电。励磁增强，电压升高，供电增加；励磁减弱，电压下降，供电减小。

励磁机也由柴油机驱动，其转速随柴油机转速变化。

(3) 测速发电机 CF (13—13) 是一个由柴油机驱动的他励直流发电机，当它的励磁电流和转速不变时，其电压也不变，对励磁机的励磁绕组

提供一定值的直流电流；当其励磁电流或转速发生变化时，其电压也相应变化，由它供给励磁机的励磁电流也随之变化，由此也使牵引发发电机的励磁电流发生变化。从这一点上看，好象牵引发发电机有两种励磁机，故有时称此测速发电机为副励磁机。

(4) 功率调节电阻 R_g , (6—12) 它是励磁调节电路中的重要元件之一，它接在测速发电机 CF 的励磁绕组电路里，利用 R_g 阻值的变化来调节 CF 的励磁电流，进而调节励磁机和牵引发发电机的励磁电流，使牵引发发电机具有理想外特性。

R_g 是一个整流子式可变电阻，由柴油机联合调节器里的功率伺服器（或称油马达）驱动，其工作原理如图 3—6 所示。图的左部画的是调速器部分，图的右部画的是功率伺服器、功率调节电阻及牵引发发电机励磁电路部分。图中的功率调节电阻 49 就是功调电阻 R_g ，它由功率伺服器 48 所带动。当柴油机负载功率发生变化时，通过柴油机的调速器去改变供油量，以适应功率的变化；在改变供油量的同时，也通过动力活塞 13、顶杆 47 去改变联合杠杆 41 的位置，拖动功调滑阀 37 移动，改变通向功率伺服器 48 的油路，使它开始转动，由此也带动功调电阻 49 的滑臂转动，改变功调电阻接入电路的电阻值，从而调节了牵引发发电机的励磁和功率。所以在图 3—6 所示的调节器中，把柴油机和牵引发发电机两方面的调节结合起来了，故称之为联合调节器。

为了便于说明功调电阻 R_g 与联合调节器间的工作关系，再将联合调节器内联合杠杆 41 的几种可能位置绘于图 3—7 中，此时的联合杠杆以 KM 表示，其 K 点位置反映柴油机供油量的大小，其 M 点位置反映柴油机转速的大小。当柴油机工作在额定工况时，它有额定的转速、供油量和功率，这时联合杠杆稳定在 K_2M_2 位置；当柴油机工作在最低转速工况时，它对应的有最小转速、供油量和功率，这时联合杠杆稳定在 K_1M_1 位置。如果柴油机工作在这两种工况之间时，联合杠杆的稳定位置也在这两种极端位置之间，如 KM 位置。功率滑阀与联合杠杆间的连接点 ϕ 称为悬挂点，从柴油机与牵引发发电机功率的平衡来看，尽管 KM 的位置有不同，但一当功率平衡后， KM 上的悬挂点 ϕ 在空间的平衡位置是不变的，因为只有这样才能将功调滑阀的油路阀口封闭（见图 3—6），功率伺服器才可固定不转，功调电阻 R_g 的阻值也就稳定不变，使牵引发发电机获得一定的励磁电流，柴油机-发电机组功率才能处于相对平衡状态。如果又出现某一种影响柴油机-发电机组间功率不平衡的因素（如牵引发发电机因电流变化而带来的功率变化，或者辅助设备消耗功率的变化而引起柴油机传给牵引发发电机功率变化等等）时，都可通过联合调节器的调节，使联合杠杆和悬挂点 ϕ 的位置发生变化，拖动功调滑阀，改变联合调节器内油路沟通情况，使功率伺服器转动，改变功调电阻

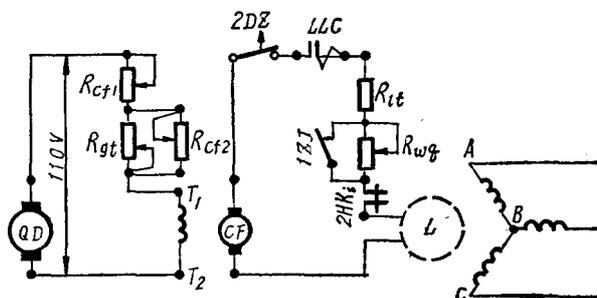


图 3—5 牵引工况时的励磁机励磁电路

柴油机转速及电磁阀动作顺序

档位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
转速	500	540	580	620	660	700	740	780	820	860	9000	940	980	1020	1060	1100
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

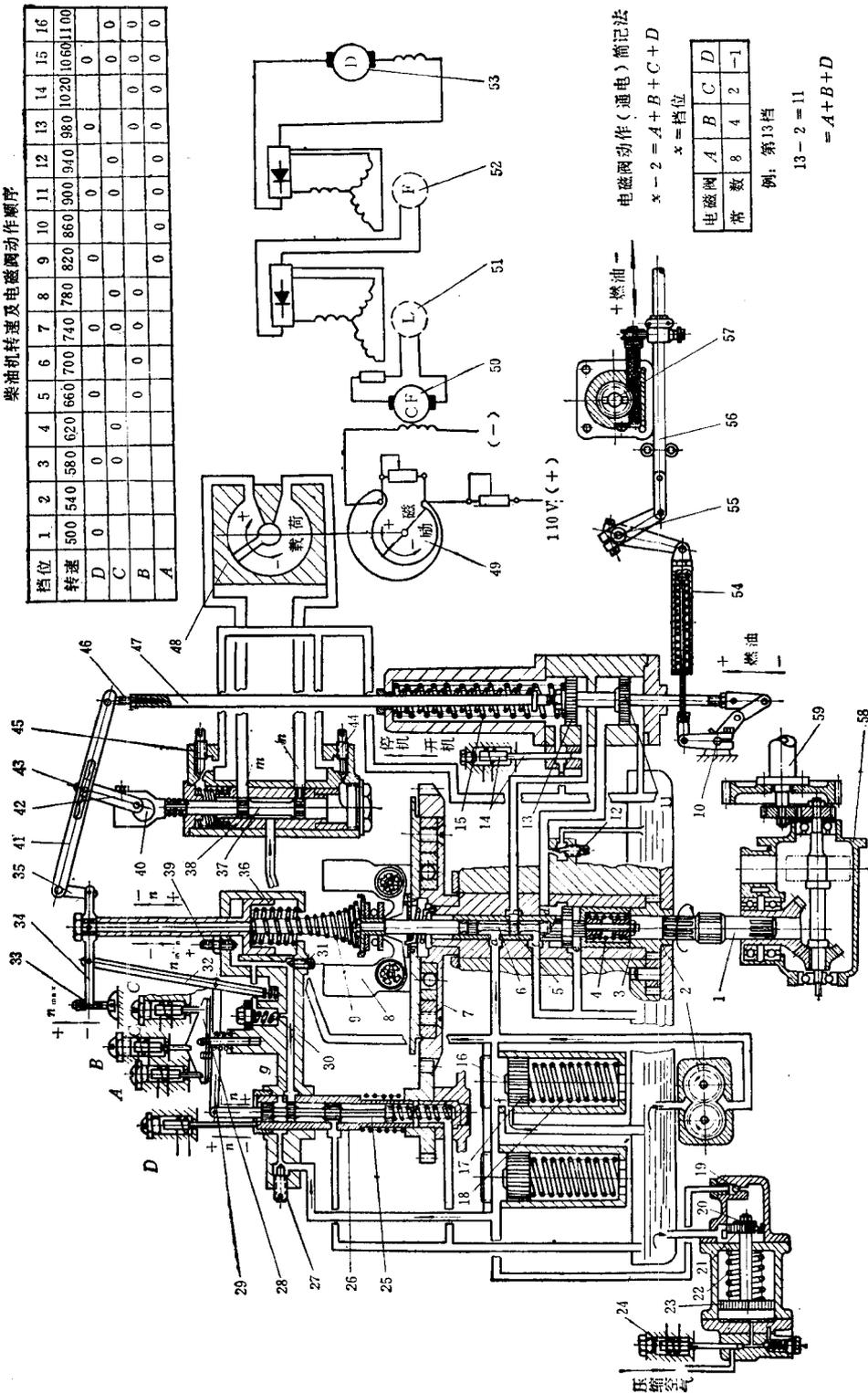


图 3-6 联合调节器工作原理图

1—传动轴；2—齿轮油泵；3—套速；4—补偿弹簧；5—滑阀；6—柱塞；7—梁盘；8—飞块；9—调速弹簧；10—控制机构传动轴；11—补偿活塞；12—补偿针阀；13—动力活塞；14—停车阀（电磁联锁）；15—动力活塞弹簧；16—恒压室；17—恒压活塞；18—恒压弹簧；19、20—单向球阀；21—油缸活塞；22—风缸活塞；23—风缸活塞弹簧；24—电空阀（加速启动）；25—配速滑阀；26—旋转套；27—升速针阀；28—配速板；29—浮动杆；30—单向球阀；31—降速针阀；32—复位拉杆；33—基准转速调节螺丝；34—复位拉杆；35—连杆；36—配速活塞；37—功调滑阀；38—功调滑阀套；39—最低转速调节螺丝；40—调节偏心；41—联合拉杆；42—连板；43—十字销；44—减载针阀；45—增载针阀；46—功率调节螺丝；47—顶杆；48—功率伺服器；49—功率调节电阻；50—测速发电机；51—励磁机；52—牵引发电机；53—牵引电动机；54—弹性连接杆；55—横轴；56—油缸调节杆；57—喷油泵；58—联合调节器传动轴；59—凸轮轴。

电磁阀动作（通电）简记法
 $x - 2 = A + B + C + D$
 $x =$ 档位

电磁阀	A	B	C	D
常数	8	4	2	-1

例：第13档

$$13 - 2 = 11$$

$$= A + B + D$$

R_{g1} 的阻值，从而改变牵引发发电机的励磁电流和功率，使柴油-发电机组间的功率重新达到平衡。功率平衡后，悬挂点 ϕ 又回到原平衡位置，但功调电阻 R_{g1} 的阻值已具有新的数值，励磁电路参数处于一种新的相对稳定状态，而牵引发发电机的功率不变。牵引发发电机就是这样靠功调滑阀——功率伺服器——功调电阻的不断变化来完成恒功率调节的。从自动调节原理来看，这是一种无差调节系统。

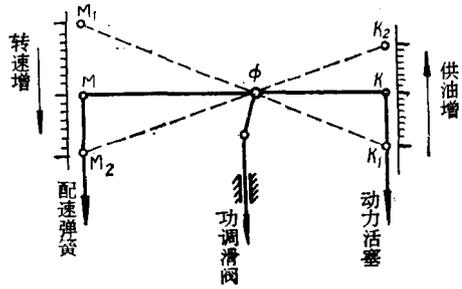


图 3-7 联合杠杆位置变化图

(5) 平稳起动电阻 R_{wq} (10—14) 用以使机车平稳的起动。在机车起动（主手柄提至 1 位）时，牵引电动机瞬时得到电流并产生牵引力，如果这时起动电流太大，将会引起冲动。为使机车起动不发生冲动，希望牵引电动机一开始得到的起动电流较小，为此将平稳起动电阻 R_{wq} 接入电路以减小励磁电流，使牵引发发电机电压较低，输出较小的起动电流；当机车起动后，再将 R_{wq} 短路，提高励磁电流，增加牵引发发电机输出功率，加速机车的运行。

(6 各调节电阻 电路中 R_{11} (9—14)、 R_{cf1} (2—13)、 R_{cf2} (5—14)) 等可调电阻是用以整定电路的工作参数的，一旦整定完毕，阻值便固定不动，并不参与励磁调节的作用。

当电路在工作时，电压（110伏）稳定的起动发电机 QD 经功调电阻 R_{g1} 对测速发电机他励绕组 T_1-T_2 供电 其电路为：QD 正端……→3/4→656→ R_{cf1} 、 R_{cf2} 、 R_{g1} →653→ T_1-T_2 →2060→8/9→QD 负端。CF 获得励磁电流后开始建立一定的电压。

测速发电机 CF 建压后开始对励磁机 L (14—16) 的励磁绕组供电，其电路为：CF 的 S_1 端（正端）→650→7/7→649→2DZ→626→LLC 主触头→628→励磁调节电阻 R_{11} →1ZJ 常开触点或 R_{wq} →635→637→2HK₁ 常闭触点→638→7/5→646→励磁机励磁绕组→648-7/6→CF 的 H_2 （负端）。励磁机因此而感应出电压，可对牵引发发电机的励磁绕组供电。

2. 电路工作原理

本励磁机的励磁电路是基于以下原理设置的：同步牵引发发电机的理想外特性是在励磁电流固定时的凸形自然外特性上“挖出”一条恒功率特性而得到的，所以在电路中先给某一固定的励磁电流值，以获得限流、限压特性；然后再根据发电机与柴油机功率不平衡的情况，加以辅助调节，适当的改变励磁电流，以获得恒功率特性。前项任务是由测速发电机 CF 完成，而后项任务就由功率调节电阻 R_{g1} 来完成。两者共同配合，使牵引发发电机具有理想的外特性。下面就介绍一下励磁调节的具体过程：

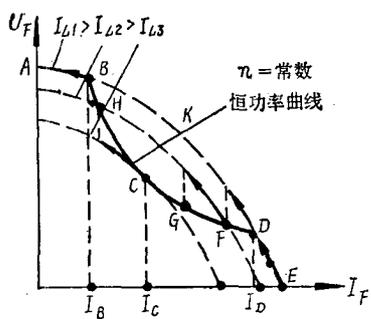


图 3-8 牵引发发电机特性调节

(1) 限流区段的调节过程

当柴油机转速一定时，通过 CF、L 使牵引发发电机获得一定的励磁电流 I_{L1} ，其所具有的自然外特性如图 3-8 中 ABKDE 曲线所示。

在机车起动时刻，牵引电动机转速等于零，对直流电来说，可以把这种状态的牵引电动机看作纯电阻负载。由于牵引电动机的电阻值很小，所以牵引发发电机输出的起动电流较大，其工况点也必然落在自然外特性上低电压大电流区段，如图中的 DE 段。随着机车的加速，牵引电动机转速提高，其反电势增加，牵引发发电机的电

流在减小，电压在上升，但只要能保持此时的励磁电流 I_{L1} 不变，就可使牵引发发电机沿其自然外特性区段工作，使之具有所需要的限流特性曲线 DE 。

当牵引发发电机在 DE 段工作时，其功率小于对应转速下给定的柴油机功率（以恒功率曲线 BCD 表示），使柴油机工作在“欠载”状态，机组转速将上升，这时通过联合调节器的作用，一方面减小供油量，使机组转速回降；另一方面也同时使悬挂点 ϕ 的位置下移，推动功调滑阀 37 下移，打开油路阀口（见图 3—6），使功率伺服器 48 向增载方向（按图 3—6 所示的顺时针方向，即有 + 号的方向）转动，由它带动功调电阻 R_{g1} 的滑臂也转动，以减小接入电路的 R_{g1} 阻值，增加 CF 的励磁电流，并通过 CF 、 L 的作用去增加牵引发发电机的励磁电流。但是从保持牵引发发电机有限流特性的角度来看，是不希望在这时增加励磁电流的，两者之间存在着矛盾。这个矛盾是这样解决的：通过适当的配置，一方面使此时功率伺服器已处于增载的极端位置，即使伺服器受到油压的作用也不会再转动；另一方面也使此时的功调电阻被滑臂全部短路（接入电路的阻值为零），已无法再减小电阻值了。在这样的配置条件下，尽管功调滑阀在下移，而功率伺服器却不转，牵引发发电机的励磁电流可以保持不变，保证牵引发发电机沿其自然外特性工作。

（2）恒功率区段的调节过程

当牵引发发电机沿励磁电流为 I_{L1} 时的自然外特性曲线工作到 D 点以上的工况时，牵引发发电机功率已超过给定的柴油机功率，使柴油机工作在“超载”状态，机组转速将下降，这时又将通过联合调节器的作用，一方面去增加供油量，以使机组转速的回升；另一方面也同时抬高悬挂点 ϕ 的位置，使功调滑阀上移，功率伺服器开始向减载方向转动（按图 3—6 所示为逆时针向，即有 - 号的方向），偏离增载极端位，由它带动的功调电阻 R_{g1} 的滑臂也反向转动，开始增加接入电路的 R_{g1} 电阻值，减小 CF 的励磁电流，也就减小了牵引发发电机的励磁电流，使其电压下降，直到工况点落到恒功率曲线 BCD 上后，联合调节器才进入相对稳定状态，悬挂点 ϕ 也回到平衡位，使牵引发发电机与柴油机处于新的平衡。这时牵引发发电机的工况点为 F ，对应的励磁电流为 I_{L2} ，它小于 I_{L1} 。

当机车继续加速，发电机电流再下降，则其首先沿励磁电流为 I_{L2} 时的自然外特性工作，又导致柴油机“超载”，机组转速又下降，联合调节器又将起作用，使牵引发发电机的工况点又落在恒功率曲线 BCD 上，如图中的 G 点。这种情况一直进行到恒功率工况点 C （它是 I_{L3} 的自然外特性曲线与恒功率特性曲线的切点），牵引发发电机的励磁电流减至恒功率工况时的最小值 I_{L3} 。若机车仍在加速，发电机仍先沿 I_{L3} 时的自然外特性工作，但这时牵引发发电机的功率已小于给定的柴油机功率值（因自然外特性曲线已在恒功率曲线之下），而使柴油机变为“欠载”状态，机组转速将上升，这时联合调节器将使功率伺服器变为向增载方向（顺时针向）转动，减小 R_{g1} 值，增加励磁电流，使电压上升，让牵引发发电机的稳定工况点仍然落在恒功率曲线 BCD 上，如图中的 H 点，这时的励磁电流已由 I_{L3} 增至 I_{L2} 。同理，牵引发发电机的工况也可由 H 点变化到 B 点，励磁电流由 I_{L2} 增至 I_{L1} 。

总之，在曲线 BCD 区段内，牵引发发电机的功率是恒定的，这是通过功调电阻 R_{g1} 阻值的不断变化，连续调节牵引发发电机的励磁电流而得到的。在 DC 区段内，随着牵引发发电机输出电流的减小，其励磁电流也在减小；在 CB 区段内，随着发电机输出电流的减小，其励磁电流却在增加。在 C 点，牵引发发电机的励磁电流最小；在 B 、 D 点，牵引发发电机的励磁电流最大且相等。

（3）限压区段的调节过程

当牵引发电机工作在外特性曲线的 B 点时，励磁电流已增至原有的最大值 I_{L1} ，这时功率伺服器也已转至增载的极端位置， R_{g1} 又被全部短路。所以，当牵引发电机工作在 BA 区段内时，尽管牵引发电机功率又小于该转速时的柴油机功率，联合调节器也不能再驱动功率伺服器去减小功调电阻 R_{g1} 的阻值，牵引发电机的励磁电流也保持不变，使其沿自然外特性 BA 段工作，具有限压特性。

由上述整个调节过程可以看出：东风₄型内燃机车用牵引发电机的理想外特性就是在联合调节器使功调电阻 R_{g1} 的阻值变（在恒功率区段内）与不变（在限流、限压区段内）的调节过程中实现的。

(4) 不同转速条件下理想外特性的调节过程

当改变柴油机的转速时， CF 、 L 、 F 的转速也随之改变，从而导致牵引发电机励磁电流的改变，以适应柴油机功率的改变，例如柴油机转速提高时， CF 、 L 、 F 的转速也提高，通过 CF 、 L 的作用，增加了牵引发电机的励磁电流，使牵引发电机的自然外特性曲线位置向右上方移动，对应的也有一条位置更高的理想外特性曲线（即图 3—8 中的 $ABCDE$ 曲线向图的右上方移动）。

在不同转速条件下，牵引发电机的恒功率调节都靠 R_{g1} 来实现，调节过程基本相同，只不过在较高转速时，牵引发电机恒功率调节时的最大励磁电流（如前述的 I_{L1} ）变大，但恒功率调节时励磁电流的变化范围（如前述的 I_{L1} 与 I_{L3} 的差值）将变小， R_{g1} 阻值的变化范围也变小。造成恒功率调节励磁电流变化范围减小的主要原因是，随着柴油机转速的增加，柴油机功率的增长速度相对快于牵引发电机励磁电流的增长速度，使恒功率调节时励磁电流的变化范围相对变窄了，这一点可以从图 3—9 中看出来。如果两者的增长速度相同时，恒功率值为 P 时的牵引发电机的最大励磁电流应为 I'_{L1} ，现在由于励磁增长速度慢，只能增长到 I_{L1} 值，这就压缩了恒功率区段的范围，导致励磁电流的变化范围相对变小，所以在东风₄型内燃机车上，在柴油机高转速时，牵引发电机励磁电流绝对值增加，而励磁电流的相对变化范围减小；在低转速时，牵引发电机励磁电流的绝对值减小，而励磁电流的相对变化范围增大。例如，在柴油机转速为 1100 转/分（司机控制器主手柄在 16 位）时，牵引发电机输出的直流恒功率（即主整流柜输出的功率）值为 2059 千瓦，其最大励磁电流为 200 安，最小励磁电流为 175 安，相对变化率为 12.5%；在柴油机转速为 940 转/分（主手柄在 12 位）时，牵引发电机输出功率为 1300 千瓦，最大励磁电流为 180 安，最小励磁电流为 140 安，相对变化率为 22%；在柴油机转速为 780 转/分（主手柄在 8 位）时，牵引发电机输出功率为 730 千瓦，最大励磁电流为 160 安，最小励磁电流为 110 安，相对变化率为 32%；等等。

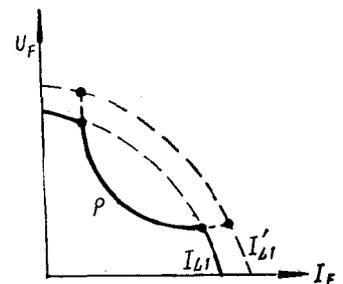


图 3—9 牵引发电机最大励磁电流改变时对恒功率调节范围的影响

3. 不同司机控制器主手柄位时，功调电阻工作情况的分析

(1) 柴油机的牵引特性

所谓柴油机的牵引特性是指机车柴油机在不同转速（即不同主手柄位）时功率的变化规律。例如，16240 ZA 型柴油机在目前情况下，当主手柄位于 16 位（1100 转/分）时功率为 3350 马力；主手柄位于 12 位（940 转/分）时，功率为 2156 马力；主手柄位于 8 位（780 转/分）

* 励磁电流的数值是随每个牵引发电机而异的，这里仅以其一例来说明问题，不能作为标准数据，下同。

时，功率为1275马力，等等。这种功率变化关系如图3—10中曲线PQN所示，该曲线为给定的柴油机牵引特性曲线。牵引特性是先由传动装置的功率变化规律提出的，经过柴油机核准之后才可确定下来。如果这条特性曲线的变化规律不合适，则可以通过改变联合调节器联合杠杆上悬挂点 ϕ 的位置来调节。当在保持主手柄16位功率不变的条件下（即图中P点位置不变），如悬挂点 ϕ 向动力活塞侧移动（向图3—7的右方移动），牵引特性曲线的陡度变平缓，如曲线PS所示，即低手柄位时的功率提高了；若悬挂点 ϕ 向配速弹簧侧移动（向左移动），牵引特性曲线的陡度变大，如曲线PN所示，即低手柄位时的功率减小了。因此，可以适当调节悬挂点 ϕ ，使牵引特性具有合适的位置。一般来说，在满足传动装置功率变化要求的条件下，此曲线的位置应接近经济功率线并远离喘振线。

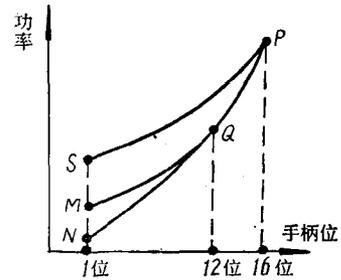


图3—10 柴油机的功率变化规律

但由联合调节器所调节得到的牵引特性并不能完全满足我们所希望的功率变化规律。例如，我们希望柴油机在主手柄于16位时，功率为3350马力，主手柄于12位时，功率为2156马力；主手柄于1位时，功率为300马力（因机车辅助功率消耗300马力），若将此功率变化规律也绘制在图3—10上时，将如曲线PQM所示，这与由联合调节器所调节得到的牵引特性PQNV比较，在低手柄位时是有偏差的。对现有不带功率校正机构的联合调节器来说，尚不能做到使它完全符合所希望的功率变化规律，因此只能使柴油机的牵引特性曲线通过所希望的两个工况点，即主手柄于16位时的P点和主手柄于12位时的Q点，其它位的功率变化情况只能由联合调节器的调节来决定了，这样一来，将使低手柄位时联合调节器中功调电阻的工作情况出现新的特点。

（2） R_g 的工作情况

甲、低手柄位时

根据上述情况选定的柴油机牵引特性曲线PQN在低手柄位时的功率是很低的，例如在1位时，要保持联合调节器处于平衡状态，即悬挂点 ϕ 回到平衡位置时的柴油机供油量极小，以致柴油机都不可能自行独立工作，更不用说去带动辅助设备和牵引发电机了。所以，当主手柄提到1位，牵引发电机负载一加到柴油机上，就会使柴油机所承受的功率大于由联合调节器处于平衡状态（悬挂点 ϕ 在平衡位置）时所调定的功率，使柴油机处于“超载”状态。根据联合调节器的特征，柴油机一“超载”，联合调节器要起作用，它一方面去增加供油量，使柴油机的功率升至M点，以适应负载的要求；另一方面抬高悬挂点 ϕ ，打开功率滑阀的油路，使功率伺服器向减载方向转动，增加接入励磁电路的功调电阻 R_g 阻值，以减小牵引发电机功率。前已说到，即使功调电阻 R_g 阻值无穷大而使牵引发电机功率变为零，仍不能使柴油机独立工作，也不能改变柴油机的“超载”状态，这时悬挂点 ϕ 也不能回到平衡位置，功调滑阀的油路不能关闭，功率伺服器将被推至减载极端位，功调电阻 R_g 将全部被接入电路，这就是联合调节器在1位时的相对稳定状态（在正常工作时，这时 R_g 应全部被短路）。 R_g 全部被接入电路后，使牵引发电机获得此手柄位时的最小励磁电流而且保持不变，牵引发电机表现出的是一条自然外特性，如图3—11中 $A_1K_1E_1$ 所示。

当主手柄提至2、3位时，柴油机功率也随着提高，但仍未改变其“超载”状态，悬挂点 ϕ 仍不能回到平衡位，功率伺服器仍在减载极端位， R_g 也全部被接入电路，牵引发电机

表现出来的仍是一条自然外特性，与 $A_1K_1E_1$ 相似，但因柴油机转速上升而使位置略高。

当主手柄提至 4 位时，由于配速弹簧被压缩而使悬挂点 ϕ 下降的距离已能回到平衡位置，也意味着给定的柴油机功率已有可能大于其负载功率，这时柴油机将改变其“超载”状态而出现“欠载”状态。在图 3—11 中，联合调节器悬挂点 ϕ 已回到平衡位时所调节得到的功率（即给定的柴油机功率）值以双曲线 $BHCGD$ 表示，而功率伺服器在减载极端位和 R_{g1} 全部被接入电路时的牵引发电机自然外特性如曲线 $A'HMG'E'$ 表示，这是主手柄提至 4 位时先有的两条曲线。在机车起动阶段，牵引发电机工作在大电流区段，由于给定的柴油机功率已可以大于牵引发电机的功率，柴油机由 1~3 位的“超载”状态改变为“欠载”状态，联合调节器的悬挂点 ϕ 也已转为低于平衡位置（原来是高于平衡位置），功率滑阀下移，使功率伺服器变为向增载方向转动（原在减载极端位），减小接入电路的 R_{g1} 阻值，以增加牵引发电机的励磁和功率，一直到功率伺服器转至增载极端位， R_{g1} 被全部短路，牵引发电机获得此主手柄位下的最大励磁电流，其自然外特性也由 $A'HMG'E'$ 过渡到 $ABKDE$ 。只要不改变柴油机的“欠载”状态，联合调节器的悬挂点 ϕ 也就不能回到平衡位置，功率伺服器仍被压在增载极端位， R_{g1} 被全部短路，励磁电流保持其最大值不变，牵引发电机沿其自然外特性 $ABKDE$ 工作。

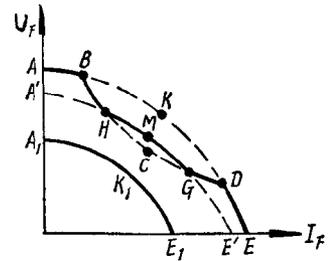


图 3—11 低手柄位时牵引发电机的工作特性

当牵引发电机电流小于 D 点电流时，发电机功率开始大于给定的柴油机功率，使柴油机由“欠载”变为“超载”，则通过联合调节器的调节，又使功率伺服器向减载方向转动，增加 R_{g1} 电阻值，以进行恒功率调节，使牵引发电机具有恒功率曲线，这和前面讲的 R_{g1} 工作情况相同。由于低手柄位时，牵引发电机恒功率调节时的励磁电流变化范围比较大，因此 R_{g1} 的变化量也比较大，所需要的 R_{g1} 阻值也比较大；在高手柄位时，恒功率调节时的励磁电流变化范围较小， R_{g1} 的变化量也较小， R_{g1} 的阻值也小一些。目前东风₄型内燃机车 R_{g1} 的阻值是根据中间主手柄位——8 位时的恒功率调节要求确定的，这对低手柄位来说， R_{g1} 阻值的变化量不够，而对高手柄位来说，变化量又有余。对主手柄于 4 位来说， R_{g1} 全部被接入电路后，并未使牵引发电机达到恒功率调节时所需要s的最小励磁电流值，因此也就不能调节出一条完整的恒功率曲线来，当达到工况点 G 时， R_{g1} 已被全部接入，励磁电流已不能再减小，这时牵引发电机只好按自然外特性 GMH 线工作。当达到工况点 H 之后， R_{g1} 开始逐步减小，励磁增加，又开始进行恒功率调节，使牵引发电机又出现一段恒功率特性。当达到 B 点时，柴油——发电机组功率平衡，功率伺服器已转到增载极端位， R_{g1} 被全部短路，使牵引发电机具有此主手柄位时的最大励磁电流。在 BA 区段内，牵引发电机的工作特性又是一条自然外特性。

总结主手柄于 4 位时牵引发电机的工作特性将如曲线 $ABHMGDE$ 所示，即有自然特性曲线部分，又有恒功率曲线部分； R_{g1} 既有全部被接入的情况（在 HMG 段），也有全部被短路的情况（在 DE 及 AB 段）。

主手柄于 5~7 位时的 R_{g1} 工作情况与主手柄于 4 位时的基本相似，不同的是随主手柄位的提高，为调节出牵引发电机恒功率特性所需要的励磁电流变化范围减小，在恒功率调节时出现的自然外特性区段变短，恒功率特性区段变长，到主手柄于 8 位时，已全部是恒功率

曲线。

乙、主手柄于 8 位以上时

由于 R_{g_t} 的阻值是根据主手柄于 8 位时的励磁调节要求确定的，所以主手柄于 8 位时的牵引发电机理想外特性已由限流、恒功率、限压三个部分组成。主手柄于 9 位以上时，牵引发电机的理想外特性与主手柄于 8 位时的完全相似，只不过励磁电流变化范围愈来愈小，不须将 R_{g_t} 全部接入就可调节出完整的恒功率曲线来；主手柄位置愈高， R_{g_t} 的富余量愈大；主手柄位置愈高，调节得到的理想外特性曲线位置也愈高。

(3) 测速发电机 CF 励磁电路中各电阻值的确定

在 CF 励磁电路中有三个可调电阻： R_{cf1} 、 R_{cf2} 、 R_{g_t} ，如图 3—5 所示。这三个电阻共同保证 CF 有必须的最小励磁电流和励磁电流变化范围，使牵引发电机无论是正常励磁还是故障励磁都具有合适的外特性。在这三个电阻中， R_{cf1} 、 R_{cf2} 一经整定就固定不动，励磁电流的变化仅靠 R_{g_t} 去完成。

根据图 3—5 所示励磁电路，CF 的励磁电流是由下式决定的：

$$I_{icf} = \frac{U_{FF}}{R_{cf1} + R_t + \frac{R_{cf2} \cdot R_{g_t}}{R_{cf2} + R_{g_t}}}$$

式中 U_{FF} ——辅助发电机电压， $U_{FF} = 110$ 伏；

R_t ——CF 励磁绕组电阻， $R_t = 32$ 欧姆。

由于 U_{FF} 、 R_t 是固定不变的，所以在任何情况下， I_{icf} 的大小将与 R_{cf1} 、 R_{cf2} 、 R_{g_t} 三个电阻的阻值有关，而这三个电阻又是根据不同方面的要求而设置的，当我们在根据励磁电流的要求而确定它们的电阻值时，除了考虑它们相互联系的一面，更主要的是考虑它们各自所去完成任务的一面。

下面就分别介绍这三个电阻阻值的确定方法：

(甲) R_{cf1} 阻值的确定

在励磁电路工作时，有时会出现 R_{g_t} 被全部短路的情况，这将造成 CF 励磁电流 I_{icf} 过大，使牵引发电机的励磁电流也过大，为此应在励磁电路中再串入一个电阻，这就是 R_{cf1} 。例如，牵引发电机在 1100 转/分时的最大励磁电流为 200 安，其对应的励磁机 L 最大励磁电流为 5.5 安，则要求 CF 的最大励磁电流为 0.55 安。计算时，就是根据这个励磁电流的要求，去确定 $R_{g_t} = 0$ 时的 R_{cf1} 阻值，一般选用 R_{cf1} 为 200 欧姆的可调电阻，将其部分地（约 160~170 欧姆）接入电路使用。

(乙) R_{cf2} 阻值的确定

与 R_{g_t} 并联的 R_{cf2} 是为联合调节器电气部分发生故障时，确定故障励磁电流而设的，并根据以下两方面的考虑来确定 R_{cf2} 的阻值：

1) 保证 CF 励磁电流不能太小

在故障励磁时，人为地断开 R_{g_t} 的滑臂联线，不进行恒功率调节，使牵引发电机按自然外特性工作。这时 R_{g_t} 全部接入电路，若 R_{cf2} 阻值太大的话，使 CF 励磁电流太小，以致起动电流不足。

CF 励磁电流太小，也就使牵引发电机的励磁电流太小，则低手柄位牵引发电机自然外特性位置很低，机车的起动电流太小。机车起动电流的大小决定于牵引发电机的外特性与牵引电动机电路的总电阻，如图 3—12 所示。牵引电动机电路的总电阻决定于牵引电动机

的电阻和主电路的联接方式。若每个牵引电动机的电阻为 R_D （包括电枢、励磁绕组及其连线），主电路中六个牵引电动机全部并联的话，则牵引电动机电路的总电阻为 $\Sigma R_D = R_D/6$ 。在起动工况下，牵引发发电机向牵引电动机电路供电，这时的牵引电动机可看作纯电阻负载，主电路中的电压与电流关系可用一条直线表示，如图中 OA 所示， OA 线的斜率由总阻值 ΣR_D 决定，总电阻愈大，斜率愈大。总电阻线 OA 与牵引发发电机自然外特性曲线的交点 A 即为牵引发发电机的起动工况点，此点对应的电流 I_{F0} 即为牵引发发电机的起动电流。当励磁电流减小时，牵引发发电机自然外特性曲线左移，起动电流减小。起动电流太小，会使机车起动牵引力不足，延误机车的起动。

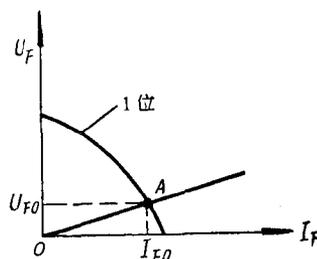


图 3—12 机车起动电流的确定

2) 保证 CF 励磁电流不能太大

牵引发发电机自然外特性是变功率特性，当 CF 的励磁电流变大时，牵引发发电机的自然外特性向右上方移，其最大功率值增加。如果主手柄于 16（转速最高）位时，牵引发发电机的最大功率值超过了柴油机的额定功率，将使柴油机“超载”，这是不允许的。为了避免这种现象，就应限制 CF 的最大励磁电流值，这就要求与 R_{g1} 并联的 R_{cf2} 电阻值不宜太小。

综合以上两方面的考虑，选取 R_{cf2} 为 1000 欧姆的可调电阻，使其部分地（约 600~700 欧姆）接入电路使用，使故障励磁时 CF 的励磁电流为 0.32 安。由于故障励磁时 R_{g1} 全部接入电路，所以 0.32 安也是 CF 进行正常工作时的最小励磁电流值（ CF 他励绕组的供电电压是不变的）。

（丙） R_{g1} 阻值的确定

应从以下两个方面来确定 R_{g1} 的阻值：

1) R_{g1} 应与 R_{cf1} 、 R_{cf2} 一齐确定 CF 励磁电流的最小值（ R_{g1} 全部接入时），所以上面确定的 CF 励磁电流最小值 0.32 安是与 R_{g1} 的阻值密切有关的。

2) R_{g1} 有时工作在全部短路工况，有时又工作在全部接入工况，所以它的阻值的大小也就是它的阻值的变化范围，由此也就决定了牵引发发电机恒功率调节时的励磁电流变化范围，所以， R_{g1} 的大小必须满足恒功率调节时励磁电流变化范围的要求。

由前已知， R_{g1} 的阻值是根据主手柄于 8 位时来确定的，结合 R_{cf1} 、 R_{cf2} 的阻值，选择 R_{g1} 的最大阻值为 190.8 欧姆，采用整流子式结构，制成可调式电阻，由功率伺服器驱动。

附注：

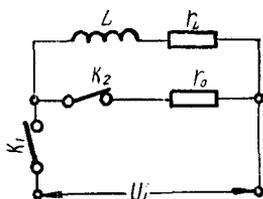


图 3—13 绕组放电电路

关于 $U_e = -\frac{r_0 + r_L}{r_L} U_L$ 的推导

发电机励磁绕组工作时的等效电路如图 3—13 所示，其绕组的电感为 L ，电阻为 r_L ，供电电压为 U_L 。当开关 K_1 闭合时，电源电压 U_L 对绕组供电；当绕组断电时， K_1 打开， K_2 闭合，接通放电电路。放电电路的总电阻为 r_0 。绕组放电时，由电磁感应作用而产生的瞬时电压 e 与瞬时刻放电电流 i 的关系为：

$$e = i (r_L + r_0)$$

因为绕组电势 e 与绕组本身的电感量 L 、绕组内电流的变化率 $\frac{di}{dt}$ 成正比，即 $e = -L \frac{di}{dt}$ ，所以：

$$-L \frac{di}{dt} = i(r_L + r_0)$$

或

$$\frac{di}{i} = -\frac{r_L + r_0}{L} dt$$

积分后，得

$$\ln i = -\frac{r_L + r_0}{L} t + C$$

或

$$i = e^{-\frac{r_L + r_0}{L} t + C} = e^{-\frac{r_L + r_0}{L} t} \cdot e^C$$

式中 C ——积分常数，它可按边界条件确定，当 $t = 0$ 时， $i_0 = \frac{U_L}{r_L}$ ，以此条件代入上式后，得

$$e^C = \frac{U_L}{r_L}, \text{ 则}$$

$$i = \frac{U_L}{r_L} e^{-\frac{r_L + r_0}{L} t}$$

由于绕组断电时其两端的过电压 U_g 与其感生电势 e 大小相等，方向相反，所以

$$\begin{aligned} U_g &= -e = L \cdot \frac{di}{dt} \\ &= L \cdot \frac{U_L}{r_L} \cdot \left(-\frac{r_L + r_0}{L} \right) \cdot e^{-\frac{r_L + r_0}{L} t} \\ &= -\frac{r_L + r_0}{r_L} \cdot U_L \cdot e^{-\frac{r_L + r_0}{L} t} \end{aligned}$$

在绕组放电瞬间， $t = 0$ ，此时绕组的过电压值为：

$$U_g = -\frac{r_L + r_0}{r_L} \cdot U_L$$

式中的负号表示绕组放电时产生的过电压与绕组原来所受电源电压方向相反。由上式可见，当放电电路电阻值 r_0 很大时，绕组产生的过电压值也是很大的。从理论上说，没有放电电路时，可认为 $r_0 \rightarrow \infty$ ，瞬间产生的过电压 $U_g \rightarrow \infty$ 。实际上，放电一开始时，在电路断开处（如触点处）因受较高电压而使空气电离，出现电弧，强制形成放电电路，自然具有一定的放电电阻 r_0 ，绕组过电压 U_g 也被限制在一定范围内。

随着时间的延续，绕组中产生的过电压按指数规律下降，下降的速度与放电电路的时间常数 $\tau = \frac{r_L + r_0}{L}$ 有关， τ 愈大，下降愈快，一般来说，经 $t = (3 \sim 4)\tau$ 后，可认为电压已衰减至零。实际上，由于很快的断弧，迫使绕组电压很快降至零。

第四章 辅助设备电路

对电力传动内燃机车来说，有了主电路，机车就可以走行；有了励磁电路，就可以充分利用柴油机功率。但从机车正常运行来说，还得配以一系列的辅助设备，其中用电的辅助设备就形成了辅助设备电路，它也是机车电路的一个部分。对液力传动内燃机车来说，也有辅助设备，而且与电力传动内燃机车辅助设备电路所包括的内容大致相似，仅具体形式有所不同。辅助设备电路一般由以下几部分组成：

1. 辅助发电机及其电压调整器电路。
2. 蓄电池组电路。
3. 空气压缩机、油泵、通风机电动机电路。
4. 预热锅炉电路等。

§ 1. 辅助发电机及其电压调整器电路

一、辅助发电机

辅助发电机是机车辅助及控制设备的电源，它的端电压应维持恒定，以使用电设备稳定地工作。辅助发电机是由机车柴油机带动的，当柴油机不工作时，辅助发电机不发电。但从机车整备及检查来说还需要用电，所以机车上还设置蓄电池组。因此，辅助发电机和蓄电池组共同成为机车上的辅助电源。为了协调这两个辅助电源的电流制，辅助发电机应输出直流电，这时，可以采用直流发电机；或者采用交流发电机，但应补充整流装置，以输出直流电。

辅助发电机的主要任务是向辅助及控制设备供电。但当机车柴油机实行电启动时，还需要有直流启动电动机，这时常利用直流电机的可逆性，使直流辅助发电机兼作启动电动机用，于是出现了启动——辅助发电机，简称启动发电机。我国的东风₄型、东方红型、北京型内燃机车采用的都是启动发电机；东风型、东风₂₃型内燃机车牵引发电机是直流电机，可以用来作启动柴油机的电动机，所以采用的辅助发电机不作启动电动机用；ND₄型内燃机车柴油机用空气启动，它采用的是交流感应子式辅助发电机，不作启动电动机用。

东风₄型内燃机车采用 ZQF-80 型启动发电机，它的容量是根据启动柴油机的工况决定的，较单作辅助发电机时为大。此启动发电机以符号 QD 表示，它有两种励磁绕组：一种是串励绕组，用于启动柴油机工况，故称启动绕组，以 Q_1Q_2 (9—5) 表示；另一种是他励绕组，用于辅助发电机工况，以 T_1T_2 (10—5) 表示。我国机车辅助发电机的额定端电压规定为 110 伏。

二、电压调整器

辅助发电机的转速是随柴油机的转速而变化的，为了维持它的端电压恒定，就必须随其转速的增高或降低来减小或增大它的励磁电流，这就要装一个励磁调节器，并称之为电压调

整器。

由于可作为励磁电流调节用的元件形式很多，所以电压调整器的形式也很多。随着半导体技术的发展，在国产内燃机车上都采用了半导体电压调整器，如东风₃型、东方红型等内燃机车用晶体管电压调整器；东风₄型、北京型等内燃机车用可控硅电压调整器；ND₄型内燃机车用磁放大器电压调整器等。它们的共同特点都是以辅助发电机的端电压作为励磁调节信号，当辅助发电机电压低于整定值（110伏）时，电压调整器使其励磁电流增大，以求电压上升；当辅助发电机电压高于整定值时，电压调整器使其励磁电流减小，以求电压下降。通过电压调整器灵敏地工作，使辅助发电机电压在任何条件下均能精确的维持在整定值不变。

三、东风₄型内燃机车—7a号以前各电路图的可控硅电压调整器

东风₄型内燃机车启动发电机作辅助发电机时需要的他励电流比较大，目前生产的普通晶体管容量不够，故采用可控硅电压调整器。可控硅电压调整器由可控硅斩波电路、触发电路及信号测量电路等三部分组成。其中可控硅斩波电路作为辅助发电机他励绕组 T_1-T_2 电路的调节开关；触发电路产生触发脉冲，用以触发可控硅的导通；信号测量电路用以测量辅助发电机电压的变化，及时发出励磁调节指令。自投产以来，可控硅电压调整器的主电路始终用可控硅斩波电路，但触发电路作了多次的改进。开始时，用的是由多谐振荡器等组成的触发电路，后又改为由间歇振荡器等组成的电路，目前又直接采用由稳压管组成的触发电路。总之电路是在逐步简化，以提高其工作的可靠性。在—5至—7a号电路图里采用的是由间歇振荡器（有时称它为逆变器）等组成的触发电路。由于本书未附—5至—7a等号电路图，故将其电压调整器电路连同机车的辅助设备电路一起绘于图4—1。附图1的一7号电路图与—7a图的主要差别也就在于电压调整器电路上，其他部分基本相同。

1. 可控硅斩波电路

可控硅斩波电路的形式较多，有一个可控硅的，也有两个可控硅的。一般为了使其输出有足够的调节范围，常采用由两个可控硅组成的斩波电路。东风₄型内燃机车用可控硅斩波电路如图4—1中18~19行9~11列范围所示（此图坐标参数与附图1略有差异），由主可控硅 KG_1 、副可控硅 KG_2 和换向电容 C_4 等组成，现将其简绘于图4—2中。图中的 BG ；用于触发主可控硅 KG_1 ，变压器 B 用于触发副可控硅 KG_2 及对换向电容 C_4 充电。主可控硅 KG_1 串联在励磁绕组 T_1T_2 电路里，可以看作是 T_1T_2 供电电路中的一个开关。 KG_1 导通，电源对 T_1T_2 供电； KG_1 截止时， T_1T_2 失电。可控硅斩波电路的工作过程如下：

（1）触发主可控硅 KG_1 导通，电源向辅助发电机他励绕组 T_1T_2 供电。

（2）变压器 B （14—11）是触发电路的一个组成部分，它的原边绕组 W_{1-2} 能出现交变的脉冲电势（脉冲电势的来源待后再述），假定它先出现一个正向脉冲电势（以2端为正，变压器 B 中各绕组打黑点端为同名端），由此在副边绕组 W_{5-6} 内产生一个感应电势（以5端为正），此电势经二极管 D_7 、电阻 R_8 对换向电容 C_4 充电，通过 W_{1-2} 与 W_{5-6} 间匝数比的调配，使 C_4 的最高电压要大于电源电压（110伏）；与此同时，在副边绕组 W_{6-7} 内也产生一个感应电势（以6端为正），此电势受到二极管 D_8 的阻止，不能对副可控硅 KG_2 施加触发脉冲，而且，二极管 D_8 还提供此电势的通路，防止 KG_2 承受反向触发脉冲。

（3）接着，变压器 B 的原边绕组 W_{1-2} 出现一个反向脉冲电势（以1端为正），则 B

的各副边绕组内感应电势也反向：绕组 W_{5-6} 内电势（以 6 端为正），受二极管 D_7 的阻断作用，不能形成电容 C_4 的放电电路；绕组 W_{6-7} 内电势方向（以 7 端为正）与二极管 D_5 导通方向一致，可以输出触发脉冲，副可控硅 KG_2 受热触发而导通。

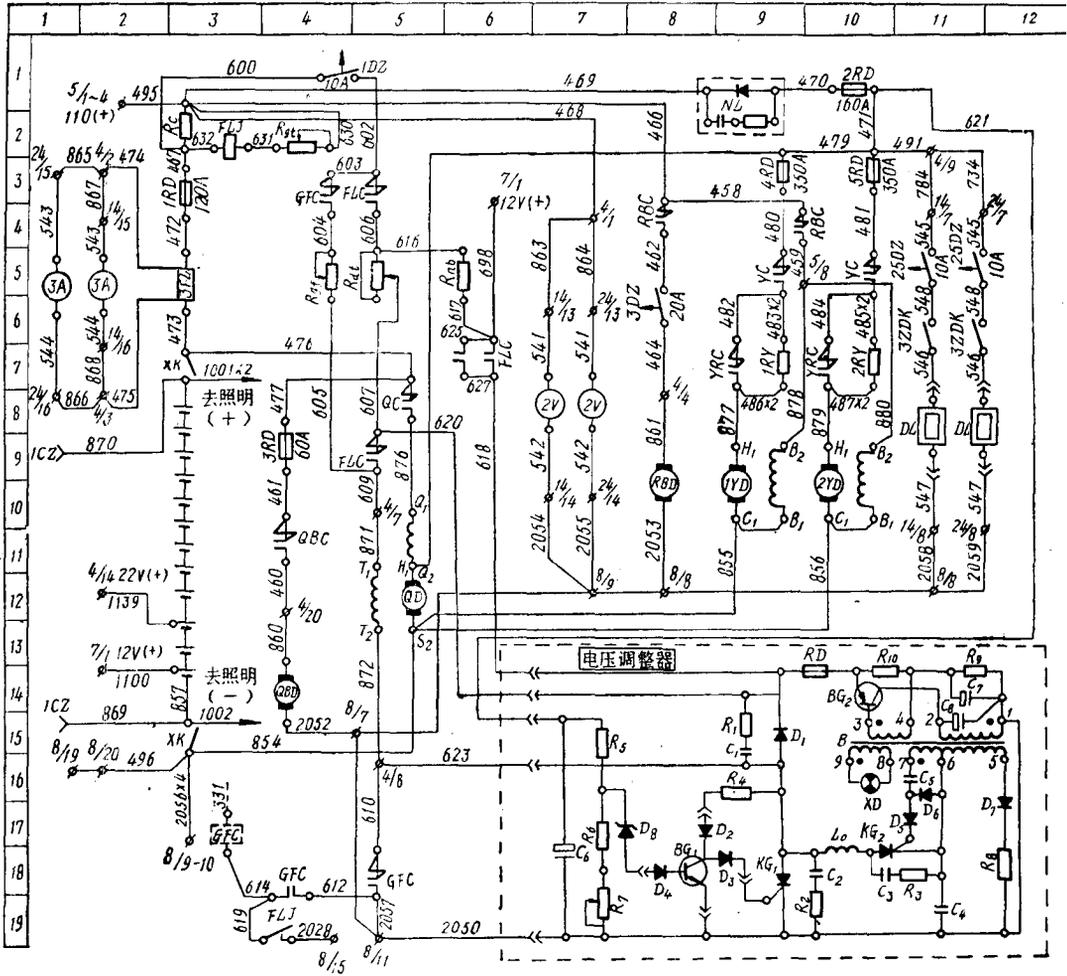


图 4-1 东风₄型内燃机车用 -- 5 至 - 7 a 电路图的电压调整器及辅助设备电路图

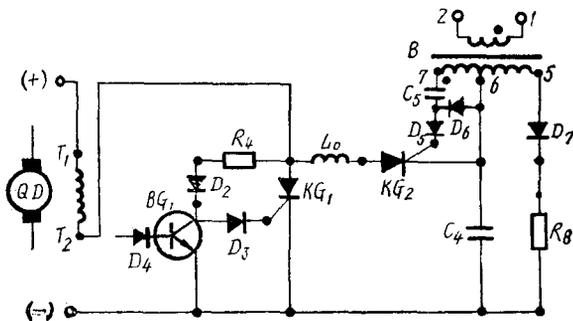


图 4-2 可控硅斩波器电路

副可控硅 KG_2 导通后，构成电容 C_4 沿 KG_1 、 KG_2 放电的电路，由于 C_4 电压大于电源电压，所以 KG_1 将承受反向阳极电压作用而被迫关断。这就是副可控硅 KG_2 的作用，由它形成了主可控硅 KG_1 的关断电路。

为了避免 C_4 沿 KG_1 、 KG_2 放电时使 KG_2 的电流上升率太大（电流上升率太大，会烧坏可控硅），在 KG_2 支路里串入限流电感 L_0 。

(4) KG_1 关断后， C_4 改经电源、他励绕组 T_1T_2 、限流电感 L_0 、 KG_2 继续放电。放电完毕后，又接着由电源对 C_4 反向充电。当反向充电完毕时，充电电流降到零，副可控硅 KG_2 因电流降至零而自然关断。上述过程之所以会这样进行下去，是由于电路中 C_4 放电、充电电路的时间常数很小，而变压器 B 的原边绕组 W_{1-2} 内出现正反向脉冲电势相隔时间相对较长（即脉冲频率较低），保证电容 C_4 有足够的时间完成上述放电过程。

(5) 在 KG_1 、 KG_2 均被关断之后，电源停止对他励绕组 T_1T_2 供电，他励绕组 T_1T_2 内电流可沿二极管 D_1 （15~9）续流。

(6) 当主可控硅 KG_1 关断后，他励绕组 T_1T_2 失电，辅助发电机电压下降。当电压低于 110 伏时，通过触发电路再次触发主可控硅 KG_1 导通，他励绕组 T_1T_2 又获得电流。若变压器 B 的原边绕组 W_{1-2} 再次出现一个正向脉冲电势，又可对换向电容 C_4 充电，为第二次关断主可控硅 KG_1 作好准备；随着 B 的 W_{1-2} 再出现一个反向电势，就可触发副可控硅 KG_2 导通，关断主可控硅 KG_1 。若变压器 B 的原边绕组 W_{1-2} 连续出现正反向脉冲电势，电路就可使 KG_1 不断地导通与关断，使斩波电路连续地、循环地工作下去。

从上述可控硅斩波电路的工作过程可以看出：主可控硅 KG_1 的导通决定于其本身触发电路触发脉冲的到来；而副可控硅 KG_2 的导通决定于变压器 B 内交变脉冲电势的到来，变压器 B 是按一定频率连续地出现交变脉冲电势的，由此也使副可控硅 KG_2 按一定频率导通，亦即能按一定频率去关断主可控硅 KG_1 。

当 KG_1 导通时，电源电压即刻加到他励绕组 T_1-T_2 上；当 KG_1 关断（认为 KG_2 也几乎同时关断）时，立刻切断电源，这样就使可控硅斩波器输出一个矩形波电压。当斩波器连续工作时，就可输出一连串的矩形波电压，如图 4—3 (a) 所示。矩形波电压的幅值为电源电压值，它的周期决定变压器 B 产生交变脉冲电势的周期，矩形波电压的宽度即为主可控硅 KG_1 导通的时间 τ ，此矩形波电压的平均值即为辅助发电机的平均励磁电压。改变 KG_1 导通时间 τ ，也就改变了励磁电压平均值。显然， τ 愈小，平均励磁电压也愈小； τ 愈大，平均励磁电压也愈大。

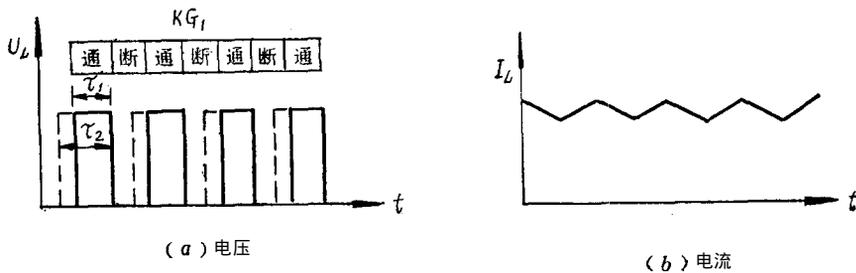


图 4—3 可控硅斩波器输出波形

由于励磁绕组电感引起的续流作用，使绕组内励磁电流波形不同于电压波形，趋于连续而平滑地变化，如图 4—3 (b) 所示，绕组电感愈大，波形愈平滑。对绕组 T_1T_2 来说，

KG_1 导通时间 τ 愈长，平均励磁电压愈大，平均励磁电流也愈大，其电流波形线位置也愈高；反之， τ 愈小，平均励磁电流也愈小。

2. 主可控硅触发电路

可控硅斩波电路里的主、副可控硅是分别设置触发电路的。主可控硅 KG_1 的触发电路由三极管 BG_1 、二极管 D_2 、 D_3 、 D_4 及电阻 R_4 组成（图 4—2 左部）。

三极管 BG_1 工作在开关状态。当 BG_1 截止时，其集电极-发射极间管压降加在 KG_1 的控制极上，对其施加触发电压，触发电流经电阻 R_4 、二极管 D_2 、 D_3 流至 KG_1 的控制极，触发主可控硅导通；当 BG_1 导通时，从电源来的触发电流经 BG_1 而旁路， KG_1 不受触发，但是 BG_1 的饱和管压降（约 0.3 伏）仍作用在 KG_1 的控制极上，为补偿之，在 KG_1 的控制极电路里加上二极管 D_3 ，由于它的管压降（约 0.7 伏）较大，避免了 KG_1 受到任何正向触发电压的作用，保证它不受触发。

触发 KG_1 的电流由 R_4 限制，以防过大。

二极管 D_2 、 D_4 是用来防止 BG_1 承受外电路的反向电压。

3. 副可控硅触发电路

实际上副可控硅的触发电路不仅为 KG_2 本身服务，而且还为斩波电路服务，它一方面要去触发 KG_2 导通；另一方面又去对换向电容 C_4 充电，为关断 KG_1 作准备。从可控硅斩波电路的工作分析已经看出，要保证电路的正常工作，触发电路中的变压器 B 要出现交替变化的正反向脉冲电势，这个任务就由间歇振荡器来完成。

东风₄型内燃机车用间歇振荡器电路由三极管 BG_2 、变压器绕组 W_{1-2} 、 W_{3-4} 和电阻 R_9 、 R_{10} 等组成（图 4—4）。这是一个自激式间歇振荡器，通电后发生振荡，在变压器 B 的原绕组 W_{1-2} 内出现交替变化的正反向脉冲电势。现将它的工作过程介绍如下：

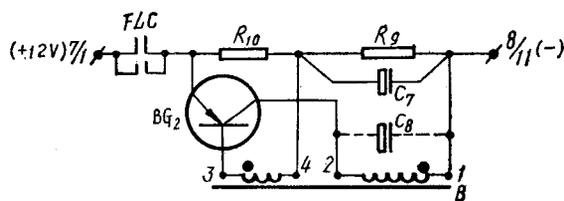


图 4—4 间歇振荡器电路

(1) 辅助发电机励磁接触器 FLC 有电后，其两个并联的常开辅助触点 FLC （用两个并联，是为了提高电路接通的可靠性与扩大触点容量）闭合，由 7/1 接线柱引来的 12 伏电压加在间歇振荡器上。12 伏电压被电阻 R_{10} 、 R_9 所分压， R_{10} 上的分压值约占总电压的 4%，即 $12 \text{ 伏} \times 4\% = 0.5 \text{ 伏}$ ，此电压即为 BG_2 的偏置电压，并使 BG_2 产生不大的偏置电流（基极电流）和放大 β 倍的集电极电流，先使 BG_2 工作在放大状态。

(2) BG_2 的集电极电流一旦流过变压器的原绕组 W_{1-2} ，将引起变压器铁芯磁通增加，使各绕组产生感生电势。在选择绕组的极性时，以图中各绕组的黑点端为同名端，所以，在 BG_2 导通的初期，随着集电极电流的渐增，使 W_{1-2} 内的感生电势以“2”端为正，“1”端为负，则 W_{3-4} 内的感生电势以“4”端为正，“3”端为负。 W_{3-4} 内的感生电势经电阻 R_{10} 加在 BG_2 的发射极——基极间，起正反馈作用，促使 BG_2 进一步导通，终于迅速进入饱和导通状态；虽然 BG_2 已进入饱和状态，但由于 W_{1-2} 内感生电势的阻滞作用，其集电极电流不能马上达到极大值。

与此同时， W_{3-4} 内的电势还对电容 C_7 充电， C_7 电压在升高。

(3) 随着 BG_2 集电极电流的逐渐增加，最终达到极大值，变压器铁芯磁通也停止增加，使各绕组内感生电势变为零，变压器的正反馈作用也消失，这将导致 BG_2 的基极电流开始减小，集电极电流也随之减小，使 BG_2 逐渐脱离饱和区。

由于 BG_2 集电极电流的减小，也使变压器铁芯磁通减小，这又引起各绕组产生反流感生电势： W_{1-2} 内感生电势以“1”端为正，“2”端为负； W_{3-4} 内的感生电势以“3”端为正，“4”端为负，此电势反过来又促使 BG_2 由导通变截止（也是一种正反馈作用），最终使 BG_2 处于截止状态。

在 BG_2 变截止的过程中，电容 C_7 上的电压起反偏置的作用，加速 BG_2 的截止过程。

(4) BG_2 截止后，电源的12伏电压仍加在 R_{10} 、 R_9 的分压电路上；当 C_7 电压降至 R_9 上分压电压值和 W_{1-2} 内反流感生电势衰减至零时，又使 BG_2 承受0.5伏的正向偏置电压， BG_2 又开始进入导通状态，进行第二次导通与截止的循环。如此不断重复工作下去，形成间歇振荡器连续地振荡。

由上述工作过程可以看出，间歇振荡器是一种利用变压器正反馈作用的脉冲发生器，具有间歇工作的特点，故称间歇振荡器。

间歇振荡器的频率与变压器的频率特性、电容 C_7 和 C_8 的大小有关。电容 C_8 在 W_{1-2} 出现反流感生电势时随之放电，这一方面增大了反流感生电势的宽度，以满足斩波电路对脉冲宽度的要求；另一方面也减慢了此电势的衰减时间，以增加振荡器的周期，使间歇振荡器的频率约150赫。

间歇振荡器正常工作时的耗电量约1.0~1.5安，只由蓄电池组的6个单节供电，这会造成各单节负载不均，为此在其余42个单节上并联电阻 R_{n6} ，使其放电电流也为1.0~1.5安，以求各单节负载均衡。

4. 信号测量电路

辅助发电机电压的信号测量电路由电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 、稳压管 D_7 等组成，该电路摘绘于图4-5中。当辅助发电机 QD 工作时，其电压 U_{FF} 加在电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 所组成的分压电路上，被分成 U_{ab} 、 U_{bc} 两部分。 U_{FF} 增加时， U_{ab} 、 U_{bc} 成比例的增加； U_{FF} 减小时， U_{ab} 、 U_{bc} 成比例的减小。当 $U_{FF}=110$ 伏时， U_{bc} 的电压值正好等于 D_7 的稳压值（击穿电压）；当 $U_{FF} \geq 110$ 伏时， D_7 被击穿，有电流从 b 点经 D_7 流向 d 点；当 $U_{FF} < 110$ 伏时， D_7 截止，无电流流向 d 点。因此 D_7 就作为一个固定比较电压， D_7 击穿与否可以作为 U_{FF} 大于或小于110伏的标志，并以此来作电压调节的信号。

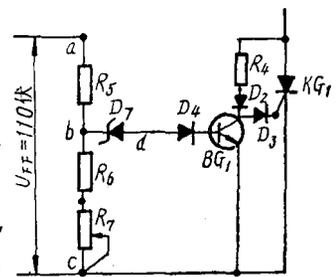


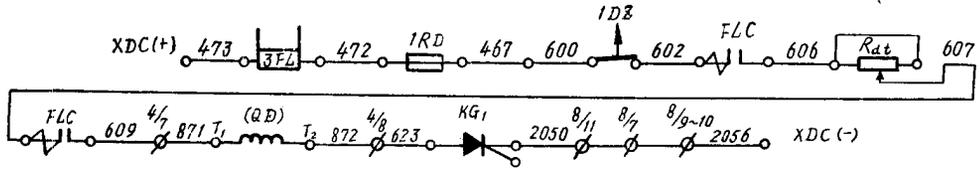
图4-5 电压信号测量电路

为了将上述测得的信号电压去控制可控硅斩波器的工作，就将此电压信号电路与主可控硅的触发电路联接起来： D_7 击穿，使 BG_1 导通，不触发 KG_1 ； D_7 不击穿，使 BG_1 截止， KG_1 受触发而导通。

触发电路里的二极管 D_4 仅起温度补偿作用，因二极管和稳压管具有相反的温度系数，两者配合使用，提高电路的热稳定性。

5. 恒电压调节过程

当机车柴油机起动以后，应使辅助发电机励磁接触器 FLC 有电， FLC 主触点 3—5、9—5) 闭合，接通辅助发电机他励绕组电路，其电路为：



自动开关1DZ在整备机车时已闭合，这时只要 KG_1 导通， T_1T_2 绕组就可以得电，辅助发电机开始发电。

在辅助发电机 QD 刚投入工作时，其电压 U_{FF} 肯定小于110伏，电压调整器信号测量电路内的稳压管 D_7 肯定未被击穿，无电流流过稳压管 D_7 ，也就使主可控硅 KG_1 触发电路里的三极管 BG_1 截止，对 KG_1 的控制极施加触发电压，触发 KG_1 导通，使绕组 T_1T_2 得电，因此 QD 电压 U_{FF} 迅速上升。当 $U_{FF} \geq 110$ 伏，稳压管 D_7 被击穿，三极管 BG_1 随之导通，停止对 KG_1 施加触发电压，则 KG_1 在 KG_2 导通后而被关断，停止向 T_1T_2 绕组供电，电压急骤下降。当 $U_{FF} < 110$ 伏时， KG_1 又被触发导通，又导致 $U_{FF} \geq 110$ 伏，接着又停止触发 KG_1 ， KG_1 被 KG_2 的导通而又关断，电压又下降。如此循环不已，使 QD 电压在110伏上下快速波动，其平均电压被稳定在110伏。

当辅助发电机在一定转速下工作时，电压稳定在110伏，电压调整器里的主可控硅 KG_1 有一定的导通时间 τ ，辅助发电机也获得一定的平均励磁电流。当转速提高时，电压仍保持在110伏，但 KG_1 的导通时间 τ 应减小，辅助发电机的平均励磁电流也减小；当转速减小时， τ 应增加，平均励磁电流应增大。通过励磁电流的调节，使辅助发电机在任何工况下的电压值保持不变。

由于启动发电机 QD 的他励绕组和启动绕组同绕在一个磁极铁芯上，在启动柴油机时，启动绕组有较大的电流冲击，通过电磁感应作用，将在他励绕组内感应出较高的电势，这会对电压调整器中的可控硅元件和他励绕组的续流二极管 D_1 等造成过电压，为避免之，在上述电路中加了两个 FLC 的主触点：其607与609号线间的主触点，用于隔离 T_1T_2 与 KG_1 、 D_1 间的联系，防止 KG_1 、 D_1 承受过电压；其602与606号线间的主触点，用于切断蓄电池组与电压调整器间的联系。

四、东风₄型内燃机车—7号电路图用可控硅电压调整器

前述可控硅电压调整器性能是良好的，但在实际应用中的可靠性较差，其主要原因是间歇振荡器有时停振，或因换向电容 C_4 充电不足而造成斩波电路失控。为此，大连机车厂又作了改进。改进后的机车电路图改为—7号（即附图1），在附图1中，电压调整器电路绘于14~19行7~12列范围内，现摘自图4-6中。比较两种电路后可以发现，现采用的电路中，取消了间歇振荡器，副可控硅 KG_2 （17—11）改用稳压管 D_8 （17—12）触发，换向电容 C_4 （16—10）改接在可控硅的共阳极端，并由电源直接充电等，作了较大的简化，以便提高电路的可靠性。现将此电压调整器电路原理介绍如下：

（1）假如 QD 的电压低于110伏，则 R_5 、 R_6 、 R_7 组成的分压电路不能使稳压管 D_7 （17—7）击穿， BG_1 （18—8）截止，主可控硅 KG_1 （17—9）受触发而导通。它一方面使蓄电池组开始对 QD 的他励绕组 T_1T_2 供电（其供电电路与图4-1相似）， QD 电压上升；另一方面又使 QD 经其正端 $H_1 \rightarrow 883 \rightarrow 479 \rightarrow 471 \rightarrow 621 \rightarrow R_8 \rightarrow C_4 \rightarrow KG_1 \rightarrow 2050 \rightarrow 8/11 \rightarrow 8/7 \rightarrow 8/9 \rightarrow 8/9-10$ （14—3） $\rightarrow 2056 \rightarrow 854 \rightarrow QD$ 负端 S_2 ，对电容 C_4 充电（右正左负），

直到 C_4 电压达 QD 电压时为止。

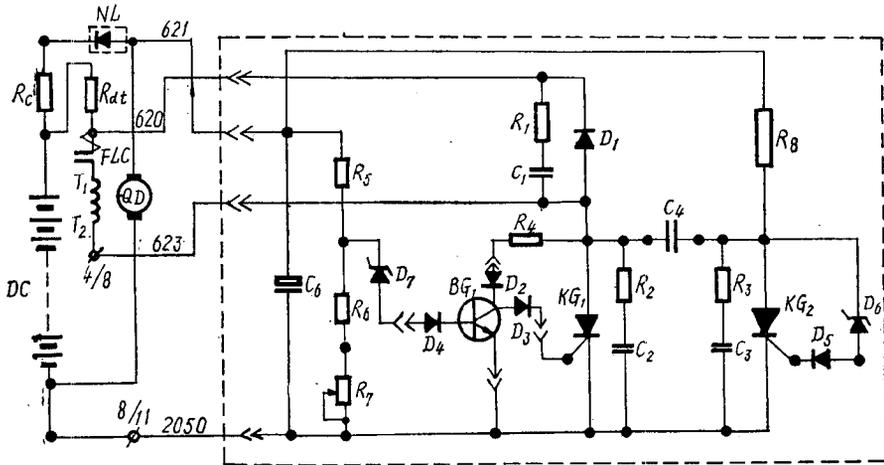


图 4-6 用可控硅电压调整器电路

(2) 只要 QD 有电压, 此电压就加在 R_8 、稳压管 D_9 、二极管 D_9 (17—11)、副可控硅 KG_2 的控制极和阴极等组成的电路上, 并有电流流过 KG_2 的控制极, 只不过在 QD 电压较低时, 稳压管 D_9 未被击穿, 漏过 D_9 的电流 (也就是 KG_2 的触发电流) 很小, 不足以触发 KG_2 导通。随着 QD 电压的上升, D_9 也愈接近被击穿状态。我们先假定, 在 QD 电压升至 110 伏时, D_9 被击穿, 流过 D_9 、 KG_2 控制极的触发电流足以使 KG_2 受触发而导通。 KG_2 导通后, 构成换向电容 C_4 的放电电路, KG_1 受到 C_4 上的反向阳极电压作用而被关断。

(3) KG_1 关断后, 蓄电池组仍可经 $T_1T_2 \rightarrow 4/8 \rightarrow 623 \rightarrow C_4 \rightarrow KG_2 \rightarrow$ 蓄电池组负端, 对 C_4 反向充电 (左正右负), 为关断 KG_2 作准备。 C_4 充电完毕后, 电路电流降至零, 也停止对 T_1T_2 供电。

在 C_4 停止充电后, QD 仍可经 $621 \rightarrow R_8 \rightarrow KG_2 \rightarrow QD$ 负端, 使 KG_2 有电流流过, 继续保持它的导通状态 (这一点与图 4-1 电路图中的不同)。

(4) T_1T_2 失电后, QD 电压下降, 当电压降低于 110 伏时, KG_1 又受触发而导通, T_1T_2 继续得电, QD 电压上升。

KG_1 导通后也形成 C_4 的放电电路, KG_2 受 C_4 的反向阳极电压作用而被关断。接着 QD 又经 R_8 、 KG_1 对 C_4 充电 (右正左负), 为关断 KG_1 作准备。

(5) 当 QD 电压再次升至 110 伏时, KG_2 又受触发而导通, 又将 KG_1 关断, 使 T_1T_2 失电, QD 电压又下降。如此不断重复工作下去, 使 QD 在电压调整器的调节之下, 将平均电压维持在 110 伏不变。

从以上的工作过程分析来看, 电压调整器中 KG_1 与 KG_2 是轮流导通的。 KG_1 导通, 对 T_1T_2 供电, KG_2 导通, 将 KG_1 关断, 停止对 T_1T_2 供电, 形成 QD 他励绕组的开关电路, 以调节 QD 电压不变。

但在实际调整电路参数时, 在 QD 电压升至 110 伏以前已使 D_9 被击穿, KG_2 因受有足够的触发电流而导通。 KG_2 的导通就会使 KG_1 关断, 但这时 KG_1 仍受有触发电压的作用 (因电压低于 110 伏时, BG_1 是截止的), 它反过来又会使 KG_2 关断。于是造成 KG_1 、 KG_2 作较高频率的轮流导通。由于 KG_1 导通时, C_4 的充电时间常数 (经 300 欧姆的电阻 R_8) 比 KG_2

导通时 C_1 的充电时间常数大，所以 KG_1 的导通时间大于 KG_2 的导通时间，电源仍能较多的对 $T_1 T_2$ 供电，使 QD 电压可以不断上升。当 QD 电压超过 110 伏时， BG_1 导通， KG_1 不再受到触发， KG_1 在 KG_2 导通后即被关断， $T_1 T_2$ 失电， QD 电压开始下降；当 QD 电压下降到低于 110 伏时， KG_1 又受到触发， KG_2 、 KG_1 又开始轮流导通并使电压再次上升。这样也可使电压维持在 110 伏。

如果个别电压调整器中的 KG_2 触发电流实在太大，以致在 QD 电压大大超过 110 伏时才可能受到足够的触发电流而导通，这时 QD 将会出现电压波动现象，这只要适当减小 R_8 的阻值或更换一个触发电流较小的 KG_2 即可解决。

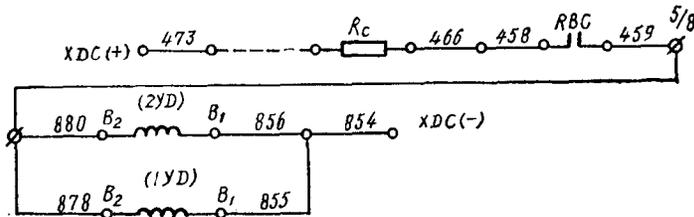
电压维持在 110 伏是由电位器 R_7 整定的。 R_7 滑臂上移，整定电压升高； R_7 滑臂下移，整定电压下降。在实物上，标示有旋转方向的符号，向线条变粗方向旋转电位器 R_7 时， QD 电压增大；向线条变细方向旋转电位器 R_7 时， QD 电压减小。

五、辅助发电机的固定发电工况

当电压调整器发生故障时，辅助发电机将失去正常励磁而不能正常工作。但从继续保证机车运行的角度来看，仍希望辅助发电机投入工作，故设辅助发电机固定发电工况。

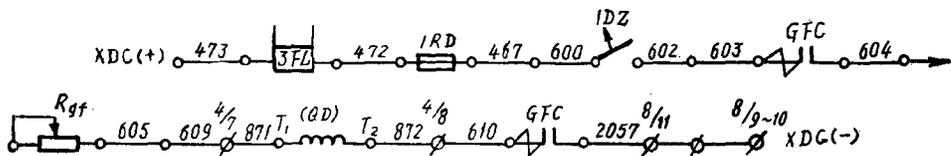
固定发电工况时， QD 具有固定的励磁电流，其电压将随主手柄位置的变化而变化。所以固定发电机时励磁电流的选择原则是，在最高主手柄位（16 位）时的辅助发电机的电压达 110 伏，而在最低主手柄位（1 位和 0 位）时的电压由电机本身的特性决定，目前一般可达 40~50 伏。

为了在低电压下能使空气压缩机电动机驱动空气压缩机工作，所以将空气压缩机电动机 $1YD$ 、 $2YD$ 改为他励，直接由蓄电池组对 $1YD$ 、 $2YD$ 的励磁绕组 $B_1 B_2$ （经过 RBC 常开触点）供电，其电路为：



尽管这时 $1YD$ 、 $2YD$ 的电枢电压较小，但其励磁电压较大（约 96 伏），磁场较强，仍可产生足够的转矩拖动空气压缩机工作，以保证机车的正常运行。

当电压调整器故障时，应使 FLC 失电，切除电压调整器；同时还应使固定发电接触器 GFC 有电，使其在 604、603 号线间（3—4）和 2057、610 号线间（19—5）的两个常开主触点闭合，将固定发电电阻 R_{gf} （5—4）接入辅助发电机 QD 的他励绕组 $T_1 T_2$ 电路，由蓄电池组供给固定值的励磁电流，其电路通路为：



如果欲在固定发电工况下对蓄电池组充电，只有将主手柄提至 16 位，以使辅助发电机电压高于蓄电池组电压。

辅助发电机工作时的电压用电压表 2V（共两个，每个司机室一个）显示。

§ 2. 蓄电池组电路

蓄电池组是机车辅助电源之一，以备辅助发电机不工作时（如停机或故障状态）向辅助设备与控制电路供电；另外目前多数内燃机车的柴油机都实行电启动，所以蓄电池组也是个启机电源，因此蓄电池组也是机车上必不可少的设备。

一、蓄电池组充电电路

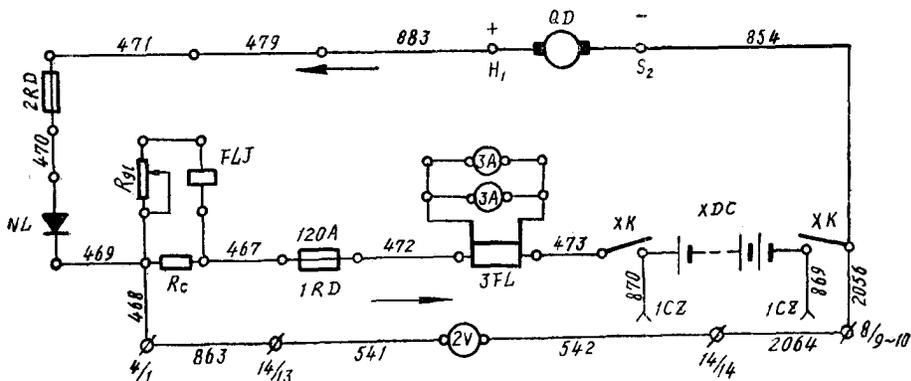
作为一个新蓄电池的初充电需要很长的时间，一般都是先充好电再装车使用。蓄电池组因使用后而消耗的电能由机车上的辅助发电机补充之。

机车用蓄电池组的总额定电压一般取为 96 伏，这是因为辅助电气系统和辅助发电机电压取 110 伏。当辅助发电机建压后，即直接向蓄电池组充电。蓄电池组亏损愈大（表现电压愈低），初始充电电流愈大（蓄电池组初充电电流一般为 60~70 安）。随着蓄电池组被充上了电，电压逐渐升高，充电电流逐渐减小。当蓄电池组电压也升至 110 伏时，电压平衡，充电电流为零。

当辅助发电机不工作时，电压为零，蓄电池组电压会高于辅助发电机，欲沿辅助发电机充电电路放电，这是不允许的，为此应在蓄电池组充电电路里加以逆向截流装置。目前都采用硅整流二极管作为逆向截流装置，因为它结构简单，又具有良好的反向阻断特性。

蓄电池组用以启动柴油机后，电能消耗较大，电压降低较多，若以 110 伏的电压向蓄电池组充电时，必然会引起较大的电流冲击，这对蓄电池组和辅助发电机均是不利的，因而应采取某种降压措施。为简便起见，就在充电电路里串以不大的充电电阻 R_c 。（约 0.12 欧姆左右），初充电时，电流很大，在此充电电阻上引起的电压降较大，使加在蓄电池组两端的电压减小，减弱了初充电电流值；当充满了电时，充电电流很小，在 R_c 上引起的电压降及电能损耗均较小，为简化电路起见， R_c 就接在充电电路里，充满了电后也不切除它。

一般机车都采用酸性铅蓄电池，每个单节 2 伏，48 节串联后额定电压为 96 伏。在东风₄型内燃机车上，由辅助发电机 QD 向蓄电池组充电，其充电电路（当 XK 合上时）为：



其充电电流方向如箭头所示。由于用二极管作充电逆流装置 NL ，只要辅助发电机电压高于蓄电池组电压，充电就会自动进行；若辅助发电机电压低于蓄电池组电压，充电就自动停止，蓄电池组电流也不会倒流。电路中的电流表 $3A$ 用以显示蓄电池组充放电电流。当表针所指读数为正时，表示蓄电池组充电；表针所指读数为负时，表示蓄电池组放电。每个司机室内安装一个电流表 $3A$ 。蓄电池组电压也可用电压表 $2V$ 表示，当辅助发电机工作后，电压较高， $2V$ 显示的是辅助发电机电压；当辅助发电机不工作时， $2V$ 显示的是蓄电池组电压。

当机车在库内停车时，可用车外充电机对蓄电池组充电，这时只要将充电机插销插入充电插座 $1CZ$ 即可。

二、充电过流保护

东风₄型内燃机车的蓄电池组充电还设有过流保护装置，以免辅助发电机因故障而电压过高或蓄电池组短路时引起充电电流过大而造成的伤害。过流保护电路和上面的充电电路一样，它由辅助发电机的过流继电器 FLJ 、过流电阻 R_{o1} 等组成，它们并联在充电电阻 R_c 上，以充电电阻两端的电压降作为过电流保护的信号。当充电电流达 100 安时， R_c 两端电压降达 12.2 伏，流过 FLJ 的电流达 0.5 安，使 FLJ 动作。

FLJ 动作后，其 2028 与 619 号线间的常开触点（ $19-3$ ）闭合，先使固定发电接触器 GFC 动作，继而使 FLC 断电（详见第五章），使辅助发电机进入固定发电工况；同时使固定发电信号灯变亮，告知司机已发生工况的变化。

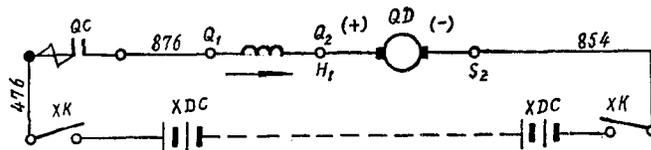
三、蓄电池组放电电路

1. 柴油机启动电机电路

柴油机需要较大的启动转矩，当用电启动时，启动电动机（均为串励）要消耗较大的启动电流，如东风₄型内燃机车的 $16240ZA$ 型柴油机用 $ZQF-80$ 型启动电动机，其启动电流达 1800 安；北京型内燃机车的 $12240Z$ 型柴油机用 $QF-46$ 型启动电动机，其启动电流达 1270 安；东风₃型内燃机车的 $10L207E$ 型柴油机，用 $ZQFR-1350$ 直流牵引发电机作启动电机，其启动电流达 2000 安（以上均用 $DG420$ 铅蓄电池组供电，电压为 96 伏）。所以启动电机是蓄电池组的最大负载。

柴油机启动电机电路的通断是由专用的启动接触器 QC 控制的，当 QC 主触头闭合时，电路接通，启动电动机得电而旋转，拖动柴油机启动；当 QC 主触头断开时，切断启动电机电路。

东风₄型内燃机车柴油机启动电机电路示于附图 1 的 $7 \sim 13$ 行 $3 \sim 5$ 列范围内，启机时用启动发电机 QD 的串励启动绕组 $Q_1 Q_2$ （ $9-5$ ），其电路为（当合上 XK 后）：



启动电流的流向如箭头所示。 QD 得电后，即可启动柴油机。

启机时，蓄电池组放电电流很大，原装的充放电电流表 $3A$ 量程不够，所以此电流表未

接在启动工况时的电路里，启动电流也就不予显示。

2. 其他放电电路

当柴油机停机时，还需要蓄电池组供电的电路有：

照明电路 用作机车停车时灯光照明用。

控制电路 用以进行各项电器动作试验。

信号灯电路 配合电器动作试验作各种信号显示。

启动机油泵、燃油泵电动机和预热锅炉电路 配合启动柴油机。

当辅助发电机工作后，这些电路改由辅助发电机供电。

至于电动机驱动的空气压缩机电路，由于耗电量较大，且机车柴油机停机时也无需空气压缩机工作，故不属蓄电池组的放电电路，而应由辅助发电机供电。例如在附图 1 中空气压缩机电动机 $1YD$ 、 $2YD$ 的电枢只能经 $QD(+)$ → 883 → $4RD$ 和 $5RD$ → YC 主触点得电；由于逆流二极管 $NL(1-9)$ 的阻断作用， XDC 无法经 469 对 $1YD$ 、 $2YD$ 的电枢供电。电炉也由辅助发电机供电。

以上这些电路将在以后有关部分再作详细介绍。

§ 3. 预热锅炉电路

预热锅炉用以预热柴油机的机油和冷却水，以适应启机的要求；当冬季停机时，也可用它来对柴油机保温，防止柴油机冻裂。

目前东风₄型内燃机车用的是手动控制预热锅炉，人为地闭合相应开关，预热过程就可自动进行。其电路示于附图 1 的 14~20 行 16~20 列范围内，现将此电路的工作情况介绍如下。

一、预热锅炉电源

此预热锅炉可以用两种电源：

1. 车内电源

车内电源就是蓄电池组，蓄电池组的正端经 473 → $3FL$ → 472 → $1RD$ → 467 → R_c → 495 → $5/1-4$ ，其中接线柱 $5/3$ 就作为预热锅炉电源的正端，再经 900 → Y_{11} → 901 → $1YK$ 端子“3”；蓄电池组的负端经 2056 → $8/9-10$ ，再由 $8/10$ 联至 $8/12$ 就作为预热锅炉电源的负端，再经 2067 → Y_{10} → 2068 → $1YK$ 的端子“7”，这就把车内电源引至开关 $1YK$ 。

2. 车外电源

车外电源是通用的 220 伏交流电。当用车外电源时，将预热锅炉插销 YZX 插于外电源插座上，交流电即流过单相自耦变压器 YB 的原绕组 $1-3$ 其副绕组 $1-2$ 输出 120 伏交流电，再经预热锅炉整流器 YZD 输出 108 伏直流电，然后经 906 号线接至预热锅炉开关 $1YK$ 的端子“1”作为电源正端；经 2066 号线接至开关 $1YK$ 的端子“5”作为电源的负端，也把车外电源引至开关 $1YK$ 。

设置车外电源可以节省蓄电池组电能的消耗。

二、预热锅炉电路工作情况

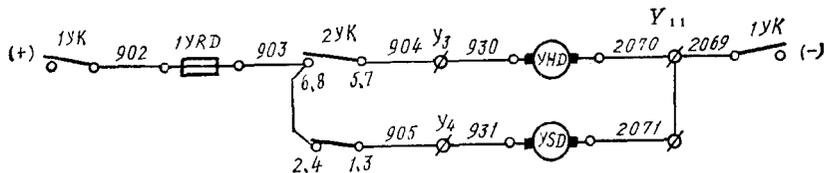
1. 选择电源

预热锅炉工作时，尽量采用车外电源，没有条件时，可采用车内电源，这应根据当时的

条件，将开关置于适当的位置。如果用车外电源时，应使1YK的端子“1”与“2、4”闭合，整流器YZD的正端与预热锅炉控制电路接通；1YK端子“5”与“6、8”闭合，YZD的负端与控制电路接通，再插上插销YZX后，就与外电源接通。

2 闭合开关2YK，使机油泵电动机YHD、水泵电动机YSD 得电

选好电源后即可使预热锅炉开始工作，这时应闭合开关2YK，同时使机油泵电动机YHD、水泵电动机YSD得电，其电路为：



YHD YSD 得电后驱使柴油机水系统内的机油和冷却水开始流经预热锅炉而循环。

3 闭合开关3YK，使通风机电动机YFD得电

闭合开关3YK，使YFD与电源接通，其电路可直接看附图1，电流从1YD正端子“2、4”→910→2YRD→911→3YK→912→Y₅→932→YFD→2072→2073→Y₁₂→1YK负端子“6、8”。YFD得电后即对预热锅炉鼓风，它首先把残存在炉膛内的燃气及油烟吹走，接着送入新鲜空气，供燃油燃烧。

4. 闭合开关4YK，使预热锅炉燃油泵电动机YRD得电

开关4YK闭合，接通YRD电路，YRD经1YK(+)→910→2YRD→911→915→4YK→913→YZJ常闭触点→914→Y₈→933→YRD→2073→Y₁₂→1YK(-)得电，驱动燃油泵向预热锅炉喷燃油。

与此同时，电流还经1YK(+)→...→YZJ常闭触点→914→Y₈→924→1R_{vz}→925→YLXD→...→1YK(-)使绿色信号灯YLXD亮，表示水温尚低，可以进行加热。

5. 按下点火器按钮YHA，使点火器YDH出现火花，点燃燃油，开始加热

按下按钮YHA后，使电子火炬发生器(图中未予示出)有电，点火器发出电火花，在炉膛内已准备好的燃油和空气遇火花而燃烧，开始对锅炉内循环的油和水进行加热。

6. 预热到一定程度即行停止加热

当冷却水温度达到80°C时，水温继电器YWJ动作，使YWJ常开触点闭合，接通中间继电器YZJ线圈电路，YZJ动作：926、2078线间的常开触点(23—18)闭合，使YZJ线圈电路自锁和红色信号灯YHXD亮，表示水温已高；其913、914线间的常闭触点断开，使燃油泵电动机YRD和绿色信号灯YLXD断电，停止供给燃油和加热，绿色信号灯灭。

由于信号灯电压是12伏的，电源是110伏的，所以在信号灯电路中分别加入降压电阻1R_{vz}和2R_{vz}。

当水温已高而使红色信号灯YHXD亮后，司机应切断预热锅炉电源和各个开关，解除YZJ的自锁和使各电动机失电，为下次预热锅炉的工作作好准备。如不切断电源，就不能使YZJ失电，也就不能使YRD有电，预热锅炉也就不能再次工作。

由于点火器容量关系，每次点火时间不得超过10秒，若连续点火2~3次不成，应查明原因后再行点火。

在实际应用中，若是对柴油机预热，按要求在其水温达20°C以上时，即可切除预热锅炉的工作；当在保温时，可待预热锅炉的水温继电器YWJ动作后，再切除它的工作。

第五章 控制电路

控制电路是用以对机车上各种设备进行控制的电路，它由以下几个部分组成：

1. 机车操纵电路 用以直接操纵机车的，它包括有柴油机启动、机车起动和机车调速控制电路等几个部分。
2. 辅助设备控制电路 用以操纵机车上的各种辅助设备。
3. 保护电路 用以保护机车、柴油机及其他设备安全工作。
4. 信号灯电路 用以显示机车当时的工作状态。

§ 1. 控制电路电源与信号灯电路

一、控制电路电源

控制电路由机车辅助电源供电。当辅助发电机未工作时，控制电路由蓄电池供电；当辅助发电机工作时，控制电路由辅助发电机供电。

东风₄型内燃机车控制电路如附图 1 的 35~65 列所示。控制电路电源的正接线柱为 5/1~4 它与蓄电池组间的电路为：蓄电池组正端→蓄电池开关 XK →473→3 FL →472→1 RD →467→ R_c →495→接线柱 5/1~4，以此作为控制电路电源正端。整个控制电路的所有负端联线均集中接在 8/14~19 各接线柱上，8/14~19 与 8/20 接线柱联接在一起，并与蓄电池组负端接通，所以就以 8/14~19 各接线柱作为控制电路电源负端。当辅助发电机向控制电路供电时，其电路为：辅助发电机 QD 的正端→883→479→471→2 RD →470→ NL 二极管→469→495→5/1~4，也以此作为控制电路电源正端；同样，各控制电路负端联线也接至 8/14~19 接线柱上，以此作为控制电路电源负端。而 8/14~19 经 8/20 后也与辅助发电机负端接通。

由上可以看出，东风₄型内燃机车两个辅助电源对控制电路供电时，均以 5/1~4 作为控制电路电源正端，8/14~20 作为控制电源负端。为简便计，今后研究其控制电路时，均以 5/1~4 作为电路始点，以 8/14~20 作为电路终点，不再引入 5/1 以前和 8/20 以后的电路部分了。

二、信号灯电路

1. 信号灯电路电源

信号灯电路一般都是低电压的，如 12 伏和 24 伏等，这是由信号灯参数决定的。这种低电压电源或取用蓄电池组的一部分，或用降压电阻配合，或用专门的逆变器以输出直流低电压，等等。

东风₄型内燃机车信号灯电路示于附图 1 的 4~19 行 56~63 列。由于该车有两个司机室，故设两套信号灯电路。左面一套用于 I 端司机室，右面一套用于 II 端司机室，两端的信号灯电路用联线束（是一束导线，用打剖面线的线条表示，是一种习惯画法）沟通。信号灯电路电压 12 伏，由蓄电池组的六个单节供电。

12 伏电源的正端是从蓄电池组上 1100 号（12—2）联线引出的，它接在电气柜内的接线

柱7/1上，再由7/1（15—55）引至信号灯电路；12伏电源的负端就是蓄电池组的负端。Ⅰ端司机室各信号灯电路的负端联线最后都经2102号（19—61）线接至Ⅰ端操纵台内接线柱15/1（24—61）上，Ⅱ端司机室各信号灯电路的负端联线最后都经2102（19—63）线接至Ⅱ端操纵台内接线柱25/1（24—63）上。Ⅰ端操纵台内的接线柱15/1再经2103号线接至电器柜内的8/14接线柱上；Ⅱ端的25/1再经2104号线也接至电器柜内的8/14接线柱上。8/14与8/15~20联在一起，再与蓄电池组负端接通。所以，今后就以7/1作为信号灯电路的始点，15/1和25/1作为信号灯电路的终点，不再引入电路的其余部分。

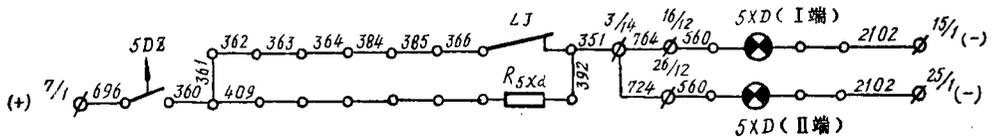
2. 信号灯电路的工作情况

信号灯的接通与否是用有关电器的触点来控制的。一般来说，信号灯工作在亮与灭的状态，但有的也可使信号灯工作在亮与微亮的状态，若灯灭了，则表示此电路或信号灯本身发生故障。

东风₄型内燃机车信号灯工作在亮与微亮状态，现以其主电路保护用信号灯电路为例，介绍此种电路的一般工作情况。

1. 过电流信号灯电路

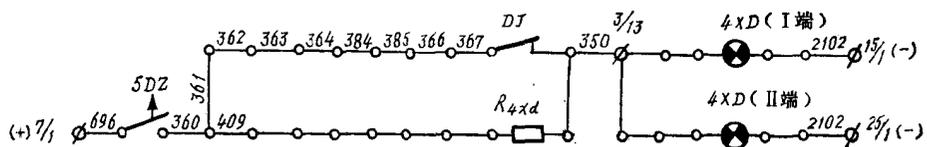
此电路示于附图1的9行56~63列，用红色信号灯5XD（9—60，Ⅰ端司机室内的；9—62，Ⅱ端司机室内的）显示，其电路为：



当过流继电器 LJ 未动作时，电源经降压电阻 R_{5xd} （9—57）对红色信号灯 $5XD$ 供电，使灯发出微亮；当 LJ 动作后，其常开触点（9—57）闭合，短路降压电阻 R_{5xd} ，信号灯 $5XD$ 变亮，显示主电路过流信号。

2. 接地信号灯电路

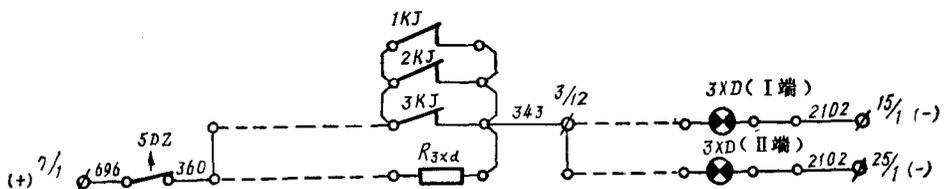
接地信号灯 $4XD$ （8—60，8—63）的电路为：



DJ 未动作时， $4XD$ 微亮； DJ 动作后， $4XD$ 变亮。

3. 空转信号灯电路

空转信号灯 $3XD$ （6—60，6—63）电路为：



即三个空转继电器控制同一个信号灯。当无空转现象时， $1 \sim 3KJ$ 无电， $3XD$ 微亮；当任一轴空转而使 $1 \sim 3KJ$ 之一动作时， $3XD$ 变亮。

至于其它信号灯电路的工作情况与上述电路完全相似。

在所有的信号灯中有红色与绿色两种。红色灯用于故障显示，如过流、接地、空转等；绿色灯用于正常工作显示，如过渡、电阻制动等。绿灯亮表示机车电路转入一个新的正常工作状态；红灯亮则表示电路状态不正常，尤应注意。

若信号灯工作在亮与灭状态，则可取消各降压电阻，有关电器动作后，电路接通，信号灯亮；有关电器未动作时，电路不通，信号灯灭。

§ 2. 柴油机启动控制电路

一、柴油机启动的条件及实现这些条件所设置的电路

要了解柴油机启动的控制电路，就应先了解柴油机启动所必须具备的条件，以及实现这些条件的方法，由这些条件和方法也就决定了启动电路所应包括的内容。

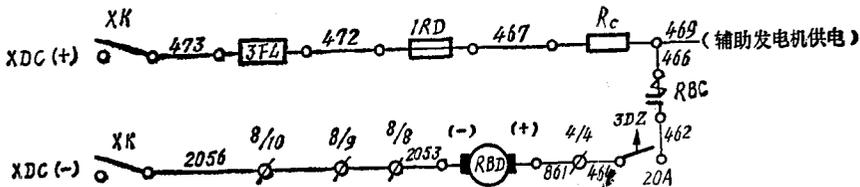
柴油机启动时所必须具备的条件及实现方法如下：

1. 有燃油喷入气缸

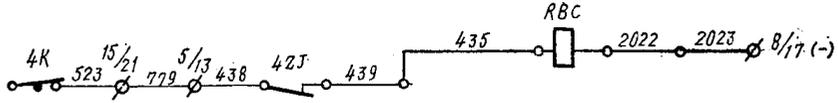
欲使柴油机启动而工作，须有燃油喷入气缸，但这牵涉到柴油机燃油系统中的许多环节：

首先应使燃油泵工作，把燃油输送到柴油机的喷油泵内，而将燃油输送至喷油泵是燃油泵的任务。而燃油泵一般是由电动机单独驱动的，这也就是说应首先使燃油泵电动机 RBD 有电， RBD 有电后，燃油泵就将燃油从油箱内抽出并送往喷油泵。

在东风₄型内燃机车电路图中，燃油泵电动机 RBD 的电路画在辅助设备电路里。在一6号电路图以前，车上有两个燃油泵，故有两个燃油泵电动机 $1 \sim 2RBD$ ，实际上一个燃油泵已可满足工作需要，从—7号电路开始改用一个，此电动机电路为：



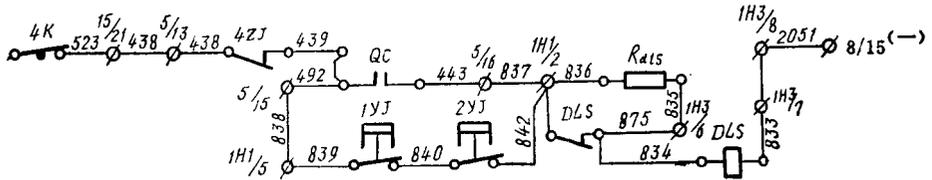
由图中可以看出， RBD 是否得电，决定于燃油泵接触器 RBC 是否有电。若 RBC 得电，其主触头闭合， RBD 有电而拖动燃油泵工作。所以，从控制电路来说，欲使燃油泵工作，就是如何使燃油泵接触器 RBC 有电而动作的问题，而 RBC 是否有电又是用专门设置的开关或按钮来控制的。东风₄型内燃机车设置专用的燃油泵开关 $4K$ ，它是琴键开关组中的一个，并带有锁闭机构，只有在解锁之后，才可按下此开关。开关 $4K$ 共有两个，分装两端司机室内。由于在任一司机室内操纵时都可达到同样的效果，所以下面将以 I 端司机室操作为例，介绍机车控制电路的组成情况。闭合 I 端司机室内的燃油泵开关 $4K$ （20—44），使 RBC 有电，燃油泵开始工作。 RBC 线圈（19—52）的电路为：



4K左端是与控制电路正端接线柱5/1~4接通的，4K闭合，RBC线圈即有电。

欲使喷油泵泵油，必先使喷油泵柱塞转至供油位，而柱塞的转动是由供油齿条及其拉杆控制的，而拉杆的运动又是由柴油机调速器控制的。在我国16240ZA型、10L207E型柴油机的调速器上均装有一种紧急停车电气装置，称之为电磁联锁DLS，在DLS有电后，关闭通向调速器动力活塞上方的油路，柴油机转起来后，调速器建立油压，就可推动动力活塞去拉动供油齿条。因此，欲使喷油泵可以泵油必须先使DLS有电。

在附图1上，DLS线圈电路示于20~21行44~51列范围内，其电路摘绘如下：



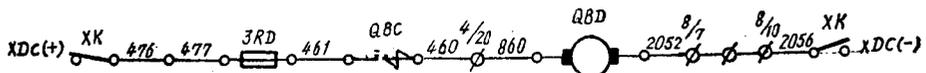
由电路可见，闭合4K仅使DLS线圈有得电的可能，若要真使DLS有电，还必须使QC常开触点闭合。由前已知，QC是启动接触器，QC有电后，一方面使启动电动机得电而拖动柴油机转动；另一方面也同时使DLS有电，喷油泵可以泵油。这就保证柴油机转起来就可以泵油，两者形成自然的配合。但在柴油机启动完毕后，QC失电，QC常开触点断开，为不使DLS失电，与QC常开触点并联有油压继电器1YJ和2YJ相串联的常开触点。当柴油机工作后，已建立必须的最低机油压力，1YJ、2YJ受油压作用而动作，1YJ、2YJ的常开触点闭合，代替QC常开触点，保证DLS继续有电。

DLS有电后，其本身电路中的DLS常闭触点断开，接入经济电阻R₄₁₅，减小DLS线圈中的电流，以免发热。在实际应用中，常由于DLS动、静铁芯间间隙过大使DLS线圈有较大的吸合电流，因此会使线圈发热烧损。所以即使有了经济电阻仍应注意DLS动、静铁芯间隙的调整。

2. 对柴油机预充必须的机油

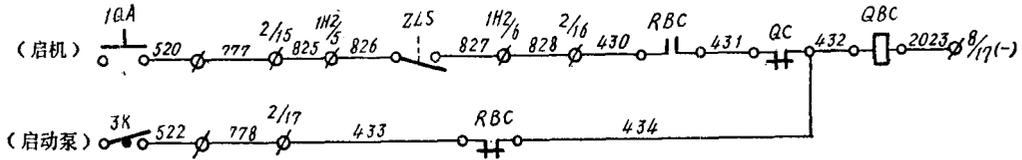
柴油机停车后，各运动摩擦面间的润滑油膜逐渐失去，当再次启动柴油机时，这些摩擦面必会先发生干摩擦，拉伤运动件表面。所以在启机前应先向柴油机预充机油。

预充机油的任务不能由柴油机本身的主机油泵担任，只能另行专设启动机油泵。启动机油泵一般也由电动机单独驱动，此电动机称为启动机油泵电动机QBD。QBD应由蓄电池组供电，东风₄型内燃机车的QBD电路画在辅助设备电路里，其电路为：



由电路可见， QBD 受启动机油泵接触器 QBC 控制。 QBC 有电， QBC 主触头闭合， QBD 才有电，驱动启动机油泵向柴油机充机油。

在机车上，除启机时使 QBD 投入工作外，还有在甩车时也应使 QBD 投入工作。甩车是先把柴油的示功阀打开，然后再拖动柴油机转几圈，把积存在气缸内的油水污物等从示功阀喷出去。因此 QBC 的电路设置应该考虑启机和甩车这两个方面的要求。东风₄机车的 QBC 电路示于附图1中18行4~54列范围内，现摘绘如下：



由电路可见， QBC 线圈受一个按钮 $1QA$ 和一个开关 $3K$ 控制。

① $1QA$ 是柴油机启动按钮，按下 $1QA$ 后应该完成的任务是充机油和拖动柴油机转起来两项，在此只画出前一项任务的电路部分。在启机时，盘车机构早应脱开，转轴联锁 ZLS 的常闭触点应该闭合；而且燃油泵已在工作的， RBC 常开触点已闭合。所以在按下 $1QA$ 后， QBC 线圈必然得电，使 QBD 投入工作，向柴油机充机油。

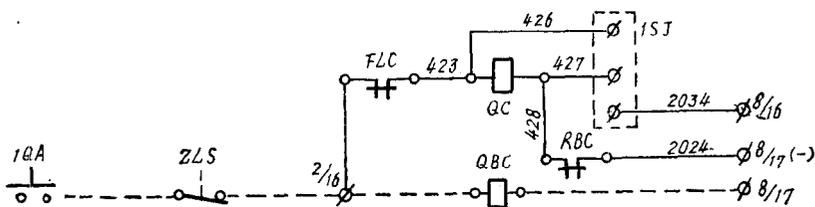
② $3K$ 称为启动泵开关，专用以控制 QBC 的，它用于甩车工况。甩车时，燃油泵是不工作的， RBC 常闭触点闭合，这时按下 $3K$ 必使 QBC 线圈有电， QBD 工作；一旦断开 $3K$ ， QBD 停止工作。

3. 拖动柴油机转起来

拖动柴油机转起来的任务是由启动电动机完成的。由前已知，启动电动机有电与否决定于启动接触器 QC 是否动作。

欲使柴油机转起来也有两种情况：一是为了启机，它应在 QBD 工作完毕之后，拖动柴油机转起来，这就可以完成启机的任务；二是为了甩车，直接使 QC 有电而拖柴油机转几圈。所以设置 QC 电路时也应考虑这两种情况。

东风₄型内燃机车 QC 线圈电路示于附图1的15~17行42~54列范围内，其电路为：



这个电路在 $2/16$ 接线柱以前部分是与 QBC 线圈电路公用的，在闭合 $1QA$ 按钮后， QBC 线圈即可得电，但要使 QC 线圈得电还必须满足以下两个条件即：

① FLC 常闭触点闭合 即辅助发电机不能发电，这从保证柴油机应在无载条件下启动的角度来看是容易理解的，也是应该的。

② 时间继电器 $1SJ$ 动作，接通 QC 线圈电路 东风₄型内燃机车用的时间继电器 $1SJ$ 、 $2SJ$ 都是半导体时间继电器，电路原理又完全相同，其电路示于附图1中23~27行15~19列

范围内，现摘录于图 5—1 中。图 5—1 中的“1”“2”“3”接线柱与控制电路图中 1SJ 的“1”“2”“3”接线柱相对应。此半导体时间继电器的工作原理如下：

从接线上来说，电源正端应接在“1”接线柱上，负端接在“3”接线柱上，而负载（如 QC 的线圈）的负端接在“2”接线柱上，在“2”“3”接线柱间的可控硅 3CT 就好比是一个无触点开关，由它控制负载有电与无电。

当电源接通时，电源会经电阻 R_6 、 R_1 、 R_4 和电位器 W 对电容 C_1 充电，随着时间的延续， C_1 电压在升高，也就使单结晶体管 BT 的发射极电压在升高。当 C_1 电压等于并大于单结晶体管的峰点电压时， BT 立即导通，在其电阻 R_3 上出现一个尖峰脉冲电压，此脉冲电压经二极管 D_1 加在可控硅 3CT 的控制极上，并使它导通。3CT 导通后，相当于把接线柱“2”和“3”间电路接通（开关闭合），负载即可得电，电流从电源正端 → 接线柱“1” → 负载 → 接线柱“2” → 3CT → 接线柱“3” → 电源负端。

电容 C_1 电压从零升至单结晶体管峰点电压所需要的时间即为半导体时间继电器延迟动作的时间，它决定于 C_1 电路的充电时间常数，即 $(R_6 + R_1 + R_4 + R_w)$ 和 C_1 的乘积。调整电位器 W 滑臂的位置，即可改变电路的时间常数，也就改变时间继电器延迟动作的时间，如增大电位器 W 接入电路的阻值，就增加电路的时间常数，增加了时间继电器的延时时间。

从单结晶体管 BT 的工作来说， C_1 达其峰点电压时， BT 导通； BT 导通后，电容 C_1 也沿 BT 第一基极 b_1 放电，电压下降；当 C_1 电压降至 BT 的谷点电压时， BT 截止。在 BT 截止之后，电源又对 C_1 充电，所以还会出现 BT 的连续导通——截止动作，这样 BT 就可以发出一连串的尖峰触发脉冲。但当可控硅 3CT 在受到第一个尖峰触发脉冲后即行导通，导通后可控硅本身的管压降很小，相当于把 C_1 的充电电路短路， C_1 电压再也达不到 BT 的峰值电压， BT 也就不会再导通了。

3CT 导通后再欲使它关断，只有切断电源。

电路中两个稳压管 D_w 串联是为提高稳压值，保证电路在一定的稳定电压下工作。当 BT 导通时，有较大电流流过 R_6 、 R_1 ，将引起较大的电压降落，这会使 BT 输出的尖峰脉冲幅值减小。在加稳压管以后，在 BT 导通使电流增加的同时，也使流过稳压管的电流减小，则流过电阻 R_1 的电流几乎不变，保持电路电压稳定，保证使输出的触发脉冲具有足够的幅值。

在 QC 线圈电路里引入 1ST 的目的在于使 QC 延时动作。当闭合 1QA 时，一方面接通 QBC 电路，使 QBC 立即动作；另一方面也同时把电源加到 QC 和 1SJ 电路上。但从动作程序上来说，QBD 应先工作，预充足够的机油，然后 QD 再工作，使柴油机转起来。从电路上看，1QA 闭合，电源已加到 1SJ 的“1”“3”接线柱上，即开始对 1SJ 电路中电容 C_1 充电，并使 QC 线圈受 1SJ 控制。一般来说，QBD 工作 40~60 秒即可认为预充机油已足够，所以在调整 1SJ 时，使其延时时间为 40~60 秒，在这段时间内，电容 C_1 电压达 BT 的峰点电压，1SJ 即可动作，使 QC 线圈有电，其主触点接通 QD 电路，拖动柴油机转起来。这就达到了 QBC (QBD) 先工作，经一段延时后，QC 也自动投入工作的程序要求了。

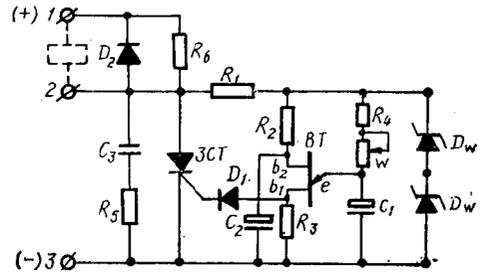


图 5—1 半导体时间继电器电路

柴油机被拖转后，气缸内空气受压缩而发热，当温度足够时，喷入气缸内的雾状燃油即行着火，柴油机开始工作。

至此，启动的必要条件已全部实现。

4. 其他辅助措施

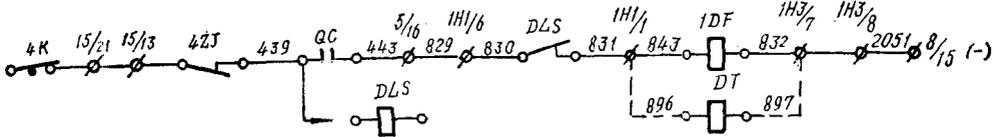
为改善启机质量，一般还采取加速启动和少冒黑烟的辅助性措施。

加速启动措施

所谓加速启动是指燃油应能迅速喷入气缸。由 *DLS* 电路可见，*DLS* 有电是在 *QC* 有电之后。*QC* 有电，柴油机已转起来，这时 *DLS* 也有电，开始向气缸喷油，若喷油动作迟缓，则就延长了启机的时间，蓄电池组能量消耗增多，这是不利的。造成喷油动作迟缓的主要原因是柴油机调速器内油压建立缓慢，不能迅速使动力活塞动作，拖动齿条拉杆将喷油泵柱塞拉到供油位。

在国产电力传动内燃机车柴油机上均装有液压式调速器。调速器内的油压要靠柴油机转动后带动的齿轮泵建立的，所以也只有在柴油机转起来后调速器才可起作用，尤其是在热机状态下启机，调速器液压系统用油（一般用航空机油）受热而变稀，用齿轮泵建压时间相对延长，延迟了喷油时间。为克服这个缺点，常在调速器内附设一个由空气推动的储油缸，再设一个电空阀，控制此油缸的动作。在启机时，同时使此电空阀有电，使空气推动储油缸，将储于油缸内的油迅速推入调速器的液压系统，即可达到迅速建压的目的。冷机时，液压油较浓，建压较快，即使无压缩空气推动储油缸也不会影响调速器的迅速建压，所以上述装置有时称之为热机启动加速器。

用于控制储油缸的电空阀称为加速电空阀，在东风₄型内燃机车上，加速电空阀为 *1DF* (20—50)。其电路为：



当 *4K* 闭合和 *QC* 有电后，同时使 *DLS* 和 *1DF* 有电，以采取加速启动措施。

启动限油措施

在启机时，柴油机转速很低，调速器内离心重块被配速弹簧向下压，通过调速器内部的作用力图对柴油机多喷油；而在低速情况下，燃油的雾化又不好，必然造成燃烧不良，黑烟很重，甚至燃油因雾化不好而从缸壁渗入曲轴箱造成机油稀释，致使润滑不良。所以启机时应采取相应的措施，限制供油量。

在东风₃型内燃机车上是采用减缸供油的办法作为启动限油措施。在东风₄型内燃机车上曾采用限油电磁铁以限制每泵供油量的办法作为启动限油措施，当启机时，限油电磁铁 *DT* 有电，使喷油泵齿条拉杆在启动时的最大位置不超过某一值，实行启动限油；当柴油机启动后，*DT* 失电，不影响齿条拉杆的正常工作。由于 *DT* 的有电情况与 *1DF* 相同，就把 *DT* 并联在 *1DF* 的两端。

但在实际运用中，常会因柴油机启动状态的变化，在 *DT* 有电后限制了供油量而使柴油机不能启动，故从—7号电路图起已予取消，拟作新的改进。

二、柴油机启动电路

1. 启机前的准备

机车整备状态应良好，各部分的燃油、冷却水、机油足够，各传动机构、联接件及电气设备状态应良好。

油、水、气管路各阀应处于正常运用位。

闭合蓄电池组闸刀及各个电路中兼作过流保护用的自动开关。

检查蓄电池组电压是否为96伏。电压太低，不宜启机，非常情况下可实行减缸启机（按发火顺序要求适当打开几个示功阀）

油水温度不得太低（16240ZA型柴油机不低于 20°C ，12V180ZL型柴油机不低于 40°C ），太小时实行预热。

⑥ 柴油机盘车机构在脱开位，ZLS常闭触点闭合。

⑦ 司机控制器主手柄在零位，反向手柄在中立位。

⑧ 用钥匙解锁。

2. 甩车

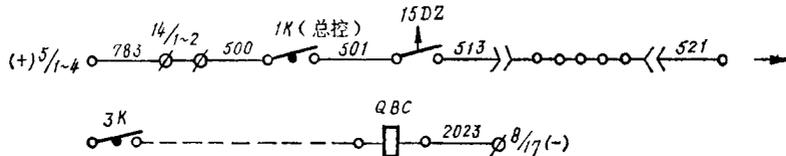
长期停留的柴油机会有一部分机油积存在气缸内，就是在使用中的柴油机也可能因气缸套、缸头发生裂纹而有部分水、油渗入气缸内，所以柴油机在停留较长时间（24小时以上）以后，均应进行甩车。对长期停用的柴油机，甩车前还应先盘车，然后再甩车。

甩车的一般步骤及电路工作情况如下：

打开示功阀（或称捡爆阀）。

充机油。

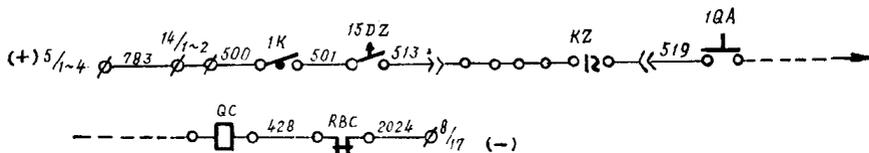
单行充机油只要使QBC有电、QBD转起来即可。东风₄型内燃机车QBC线圈电路与电源正接线柱5/1~4的关系为：



此电路的3K以后部分已经介绍过了，这里多引的一部分是电源正端电路，从5/1~4经机车总控制开关1K（1—36）、15DZ等接至启动泵开关3K上，所以一闭合3K，QBC线圈即可得电，使QBD有电而工作，向柴油机预充机油。经40~60秒后可认为充油已足，断开3K使QBC失电，QBD也停止工作。

拖动柴油机转几圈

甩车时，应先使QC有电，而QC线圈电路与电源正端的关系为：



由于甩车时 RBC 无电， RBC 常闭触点是闭合的；在主手柄零位时， KZ 的 12 号触点是闭合的，所以在按下启机按钮 $1QA$ 后，即可使 QC 线圈有电。 QC 动作后， QD 工作，在柴油机转几圈后，可认为油水污物已从示功阀喷出，松开 $1QA$ ，使 QD 停止工作。

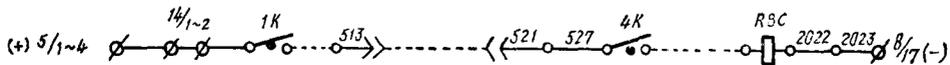
关闭示功阀，甩车完毕。

3. 启机

启机与甩车的主要不同是：启机要使 RBD 工作；不打开示功阀；按下 $1QA$ ，在预充机油后自行拖转柴油机；在认为柴油机已经爆发工作后再松开 $1QA$ 。

东风₄型内燃机车启机步骤及电路工作情况如下：

闭合燃油泵按钮 $4K$ ，使 RBC 有电。 RBC 的电路为：



RBC 有电动作后，其各触点使电路变化如下：

- (甲) RBC 主触点 (4—8) 闭合，使 RBD 工作，输送燃油；
- (乙) RBC 常开触点 (5—8) 闭合，接通空气压缩机电机 $1YD$ 、 $2YD$ 励磁电路；
- (丙) 430、431 号线间的 RBC 常开触点 (18—51) 闭合，为 QBC 线圈有电作准备；
- (丁) 447、448 号线间的 RBC 常开触点 (23—49) 闭合，为 FLC 线圈有电作准备，因为输送燃油就要使柴油机工作，也将使辅助发电机开始发电；
- (戊) 428、2024 号线间 RBC 常闭触点 (17—52) 断开，切断甩车电路，并使 QC 线圈受 $1SJ$ 控制；
- (己) 433、434 号线间 RBC 常闭触点 (19—51) 断开，切断由 $3K$ 控制 QBC 线圈的电路。

至此，从电路上已实现了燃油的输送，并为启机的其它电路作了必须的准备。当燃油压力表指示为 $1.5 \sim 2.5$ 公斤/厘米² 时，确认燃油输送正常。

② 闭合启动按钮 $1QA$ 后，先泵机油，后启机。

闭合 $1QA$ 后，电源同时向 QBC 、 QC 电路供电，同时也向 $1SJ$ 供电，但从电路动作的程序上来看，在按下 $1QA$ 后， QBC 线圈即行得电，开始泵机油；同时， $1SJ$ 也得电，在 $40 \sim 60$ 秒后， $1SJ$ 动作，并使 QC 线圈得电。 QC 动作后，其各触点使电路变化如下：

- (甲) QC 主触点 (7—5) 闭合， QD 得电并拖动柴油机旋转；
- (乙) 439、440 号线间 QC 常开触点 (20—47) 闭合，为接通 $1DF$ 电路作准备， QC 失电后切断 $1DF$ 电路；
- (丙) 441、443 号线间 QC 常开触点 (20—47) 闭合，接通电磁联锁 DLS 电路； DLS 有电动作后：

— 关闭通往调速器动力活塞上方的油路，使动力活塞受油压作用而拖动供油齿条拉杆；

— DLS 常闭触点 (21—50) 断开，接入经济电阻 R_{d1s} ；

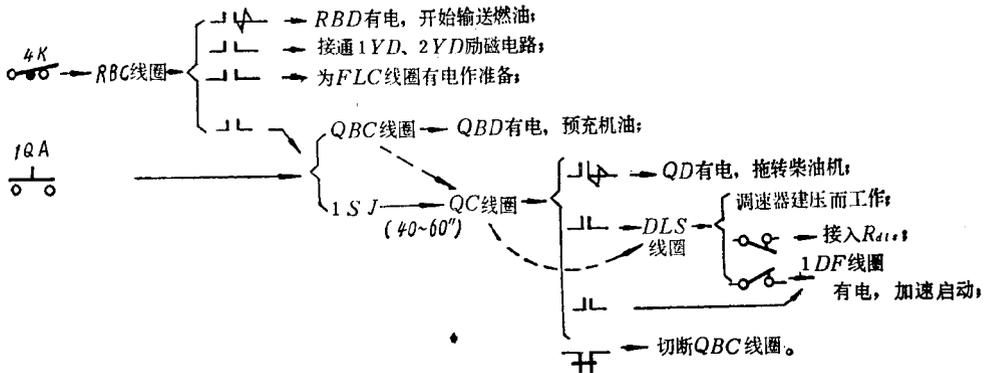
— DLS 常开触点 (20—49) 闭合，接通 $1DF$ 电路，实行加速启动；

(丁) QC 常闭触点 (18—51) 断开，切断 QBC 线圈电路，停止预充机油。

至此启机正进入最后阶段。当听到柴油机着火爆发声，可确认柴油机已经启动；当再看

到机油压力表在1.4公斤/厘米²以上时，可确认柴油机已建立必要的机油压力，润滑正常。这时可松开1QA，启机工作遂告完成。1QA松开后，QC失电，由于1YJ、2YJ已动作，1~2YJ常开触点保持DLS线圈继续有电，保证柴油机继续工作。

如果我们将东风₄型内燃机车启机电路的工作过程加以概括的话，可以看出电路的动作程序如下：



4K 闭合，燃油泵开始工作；再闭合1QA 先使QBC 有电，QBD 工作，延时40~60秒后QC 线圈有电，QD 工作；但与此同时DLS 线圈有电，调速器即配合动作，共同实现启机的任务。

4. 启机注意事项

启机操作时注意电路动作情况，闭合某一按钮，若相应电路未发生动作时，应及时查找原因，并排除故障。

② 若确认QC 动作而启动电动机不转时，应即松开启动按钮1QA，查明原因，排除故障。

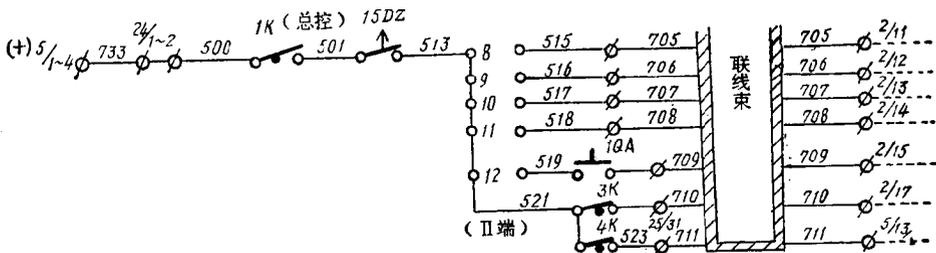
③ 在柴油机转动后的规定时间内（16240ZA 型柴油机为30~40秒，12V180ZL 型柴油机为3秒）内不爆发，应松开启动按钮，以免蓄电池组放电过多，查明原因后方可第二次启动；第二次启动应在第一次启动之后3~5 分钟后进行，以使蓄电池完成内部必要的化学反应。

连续启机一般不应超过三次。

5. II 端司机室操纵时的电路

当在II 端司机室操纵时，其程序及电路工作情况与I 端司机室操纵时是一样的，仅电源正端部分接线情况不同而使电路略有差异。

① 闭合II 端司机室总控制开关1K（2—36）和自动开关15DZ（2—37）后，使电源正端与II 端司机室内各控制开关和按钮接通，其电路为：



② 闭合燃油泵开关4K（20—39）也可使RBC 有电，这时，电流从5/1~4→1K（II

端) → …… → 4K → 523 → 25/21 → 711 (经联线束) → 711 → 5/13, 在 5/13 以后的电路, 与 I 端操纵 4K 时的电路完全相同, 都使 RBC 有电。由此可以看出, 在 II 端操纵时, 仅联线束前的电路有差异, 联线束后的电路完全相同, 即在两端司机室内操纵同样开关或按钮时, 可以达到同样效果。掌握这一点就很容易分析 II 端操纵时的控制电路了。所以今后介绍有两端司机室的机车控制电路时, 均以 I 端操纵为例, 不再重复 II 端操纵时的电路了。

§ 3. 机车起动控制电路

一、机车起动的条件及其所用电路

要使机车起动必须具备这样几个条件： 机车有确定的运行方向，前进或者后退； 牵引发电机获得励磁而发电； 牵引电动机得电而旋转，拖动机车起动。

1. 机车有确定的运行方向

(1) 反向手柄的几个位置

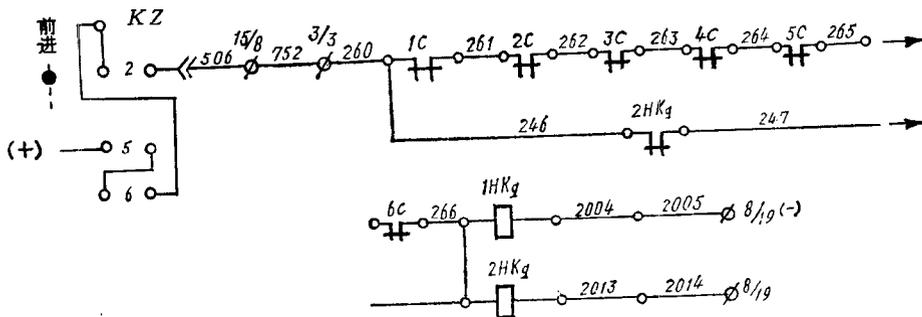
机车运行方向是由反向手柄控制的。司机控制器上的反向手柄共有五个位置，即：前进位，使机车处于前进运行方向；后退位，使机车处于后退运行方向；前制位，使机车在前进方向时进入能耗制动工况，对电力传动机车来说是电阻制动工况，对液力传动机车来说是液力制动工况；后制位，使机车在后退方向时进入能耗制动工况；0 位即中立位，切断以上四种工况时的电路。当反向手柄置于相应位置时，接通相应状态的电路，使机车按预定的工况运行。

机车电路状态的变换是由专门的电器控制的，而这些电器的动作又是由反向手柄所带动的触点控制的。反向手柄所带动的触点是司机控制器的一个组成部分，在电路图上，除表示出反向手柄的几个位置外，还应列出所带动触点的闭合情况表。在东风₄型内燃机车电路图上，由反向手柄带动触点及其闭合情况示于附图 1 的 6~7 行 36~41 列范围内，右面的一套为 I 端司机室操纵用，左面一套为 II 端司机室操纵用。反向手柄带动的触点为 1、2、3、4 号 其中 1、2 号用于前进——后退方向的变换；3、4 号用于牵引——制动工况的变换。

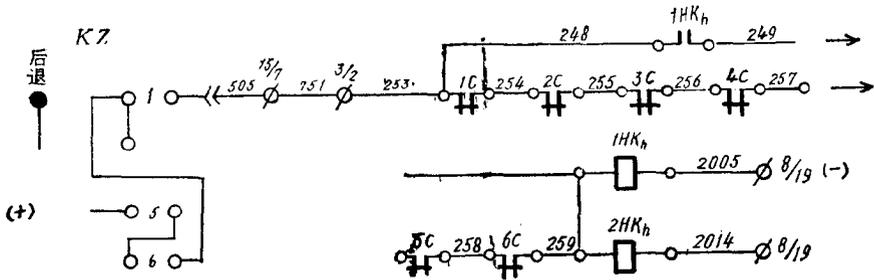
(2) 机车运行方向的控制

机车运行方向电路的变换是由反向器或方向转换开关实现的，而反向器或方向转换开关的动作是由对应电空阀控制的。当反向手柄置于“前进”位时，其前进电空阀有电，使此电器处于前进位；当反向器手柄置于“后退”位时，其后退电空阀有电，使此电器处于后退位。

东风₄型内燃机车用方向转换开关 1HK_{q-1}、2HK_{q-1} 实现机车前进——后退电路的转换。当反向手柄置于“前进”位时，准备好前进电空阀 1HK_q、2HK_q 线圈 (7—52) 电路，如附图 1 中 7 行 42~52 列所示，其电路为：



当反向手柄置于“后退”位时，准备好后退电空阀 $1HK_h$ 、 $2HK_h$ 线圈（6—52）电路如：



（甲）电路联锁问题

首先，方向转换开关 $1\sim 2HK_{q-h}$ 是无灭弧装置的，而且它的转换触头都接之于机车主电路内，所以必须使它在严格的无电状态下动作，为此它应和主接触器 $1\sim 6C$ 建立必要的联锁关系。在 $1\sim 6C$ 有电时， $1\sim 6C$ 常闭触点断开，不能使 $1\sim 2HK_{q-h}$ 动作。如果这时 $1\sim 2HK_{q-h}$ 处于前进位， $1\sim 2HK_{q-h}$ 常开触点断开，切断 $1\sim 2HK_h$ 线圈电路，不能使 $1\sim 2HK_{q-h}$ 由前进位转至后退位；反之，如果 $1\sim 2HK_{q-h}$ 处于后退位，则切断 $1\sim 2HK_q$ 线圈电路，不能使之由后退位转至前进位。在 $1\sim 6C$ 无电时， $1\sim 6C$ 常闭触点闭合，允许 $1\sim 2HK_{q-h}$ 动作。为了进一步建立 $1\sim 2HK_{q-h}$ 与 $1\sim 6C$ 、 LC 、 LLC 间的联锁关系，还使 $1\sim 2HK_{q(h)}$ 线圈电路受 KZ 的 5、6 号触点的控制，当主手柄提至 1 位时， KZ 的 5、6 号触点闭合，相继使 $1\sim 2HK_{q(h)}$ 、 $1\sim 6C$ 、 LC 、 LLC 有电，并按一定程序动作。

其次，为保证 $1\sim 2HK_{q-h}$ 同时动作，同时实行六台牵引电动机前进和后退电路的变换，应使 $1HK_{q(h)}$ 和 $2HK_{q(h)}$ 并联。 $1\sim 2HK_{q-h}$ 动作后， $1\sim 2HK_{q(h)}$ 线圈电路自锁，以使 $1\sim 2HK_{q-h}$ 牢靠的处于转换后的位置。

（乙）负线联接问题

在前述的许多控制电路里，为什么有些电器线圈的负端有两根联线呢？这是一个负线联接方法问题。从原则上说，每个电器线圈的负端都应有自己直达负接线柱 $8/14\sim 20$ 的联线，但这样做将会造成负端联线太多太长。由于各电器在电器柜内的实际位置是比较靠近的，这就有可能先用联线把各电器线圈的负端连接起来，然后再公用一根或二根负线接至负接线柱，这样可省一些线。如 $2HK_{q-h}$ 、 $2HK_{i-h}$ 转换开关的实际位置很靠近，就可以把它上面的 $2HK_q$ 、 $2HK_h$ 、 $2HK_i$ 、 $2HK_{i-h}$ 线圈负端先连起来，再在两端处的 $2HK_i$ 、 $2HK_h$ 线圈负端各引一根负线接至接线柱 $8/19$ ，即四个电空阀线圈分成一组，公用两根负线接至电源负端，如图 5—2 所示。用两根公用负线的好处是万一有一根断线，或者线圈间负端联线有一根断线，仍可保证电路正常工作，这就避免了东风₃型内燃机车电路中只有一根公用负线的缺点，因为一根公用负线一断，全组电器电路不通，有时还会窜入它组电路，造成电器动作紊乱。所以在东风₄型内燃机车上“负线一断，动作紊乱”的现象在东风₄型内燃机车上已不易出现，若也发生“动作紊乱”现象，则必然是两根公用负线全部断了，或者断线错乱搭接所致。

2. 牵引发电机获得励磁

欲使牵引发电机获得励磁，则必须使励磁接触器 LC 和励磁机励磁接触器 LLC 有电而动作，接通全部励磁电路。

欲使 LC 和 LLC 动作，则必须使它们的线圈有电。在设置 LC 、 LLC 线圈电路时应考虑到以下几个方面的问题：

(1) LC 、 LLC 线圈有电的目的是使牵引发电机发电，牵引发电机发电的目的是为向牵引电动机供电，使机车起动。因此， LC 、 LLC 和 $1\sim 6C$ 应在同一时期内动作，但对动作的程序有一定的要求：由于 $1\sim 6C$ 主触点工作电流比较大（可达1000安），所以希望它先吸合后释放，力争在无电条件下动作。

(2) LC 、 LLC 线圈有电，牵引发电机发电，即给柴油机加上负载。当柴油机或电路发生某种故障或出现不正常现象时，有时应首先使发电机停止发电，即柴油机卸载，然后再去排除故障。因此有关这方面的保护性触点应串联在 LC 、 LLC 线圈电路里。使柴油机卸载的主要因素有柴油机水温过高、高速运转时机油压力不足、主电路接地、主电路过流等。

(3) 机车前进或后退时都应使 LC 、 LLC 线圈得电，所以控制器的前进位触点与后退位触点均可使 LC 、 LLC 线圈有电。

(4) 当机车任一牵引电动机发生故障时，可以切除之，但仍应使 LC 、 LLC 线圈有电。

东风₄型内燃机车的 LC 、 LLC 线圈电路示于附图 1 的 8~13 行 42~52 列范围内，其电路为：

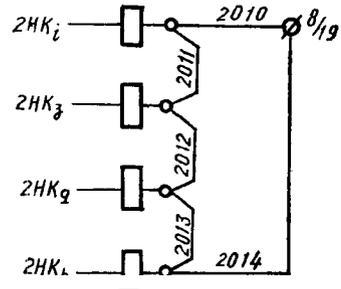
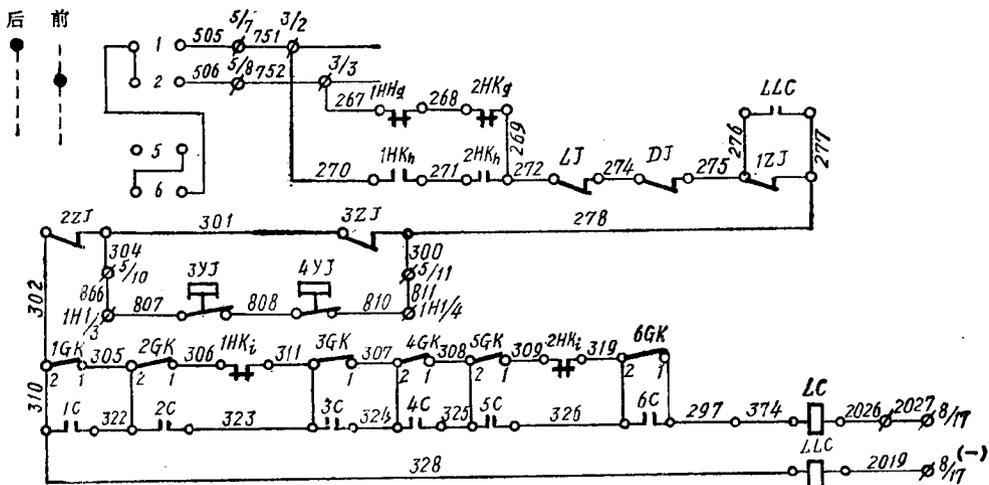


图 5-2 电器负载接线联接法



当反向手柄在前进位时， KZ 的 2 号触点、 $1\sim 2HK_i$ 常闭触点闭合，使 LC 、 LLC 线圈得电；当反向手柄在后退位时， KZ 的 1 号触点、 $1\sim 2HK_i$ 常开触点闭合，也可使 LC 、 LLC 线圈有电。电路中 LJ 、 DJ 常闭触点用作过流和接地保护， LJ 、 DJ 得电后，应切断励磁，这在前面已经提过； $2ZJ$ 、 $3ZJ$ 常闭触点用于柴油机的保护，待后面再讲。这里要讲的是 $1ZJ$

用于防止越位起车和故障牵引电动机切除后保持 LC 继续有电这两个问题。

(甲) 防止越位起车

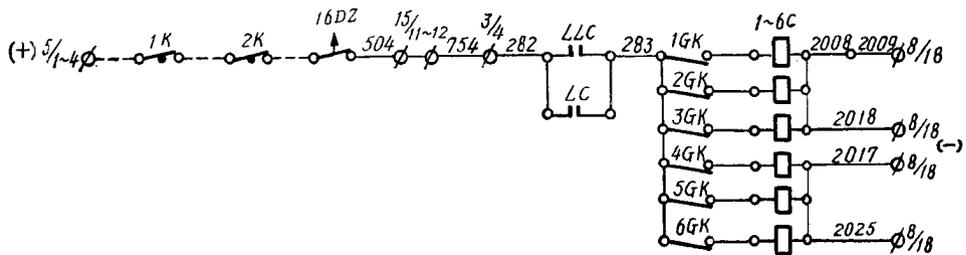
当机车在站内临时停车时，主手柄一般都不在 0 位，如东风₄型内燃机车在 5~8 位，东风₃型内燃机车在 3~5 位。若这时不慎闭合机车控制开关（东风₄型内燃机车控制开关为 $2K$ ），则即刻对 LC 、 LLC 线圈供电，造成柴油机突然加载、机车突然起动，这种现象称为越位起车，这是不允许的。现在东风₄型内燃机车电路中设中间继电器 $1ZJ$ （14—52），并受 KZ 的 7 号触点控制，此触点在 1 位时是断开的，在 2~16 位时是闭合的。在正常起车时，主手柄从 0 位提至 1 位， KZ 的 7 号触点断开， $1ZJ$ 线圈无电， $1ZJ$ 常闭触点闭合，接通 LC 、 LLC 电路；当在 2~16 位时， KZ 的 7 号触点闭合， $1ZJ$ 有电， $1ZJ$ 常闭触点断开，但由于 LLC 有电后形成自锁（用与 $1ZJ$ 常闭触点并联的 LLC 常开触点实现），继续保持 LC 、 LLC 有电。当机车在站内临时停车而主手柄不在 0 位时， LC 、 LLC 是无电的， $1ZJ$ 也无电，这时即使因误操作而闭合机控开关 $2K$ ，也不会使 LC 、 LLC 得电，防止了越位起车。如果在机车正常运行中因发生某种临时故障而自动切除了励磁，但由于 $1ZJ$ 的存在，即使临时故障消失， $1ZJ$ 仍无电，也不会发生类似越位起车的现象。要起车，则主手柄至少回到 1 位，这就属于正常起车的范畴了。

(乙) 故障牵引电动机切除后的励磁供给问题

为使 LC 在 1~6C 之后吸合，把 1~6C 常开辅助触点串接在 LC 线圈电路里，保证了动作程序的要求。但当牵引电动机因故障而切除时，其主接触器失电，又会切断 LC 电路。为保证 LC 仍可得电，则在每个主接触器常开辅助触点两端上并联有故障开关的常开触点，如电路中的 1~6GK 所示。当须切除某牵引电动机时，可将对应开关置于故障位，其常开触点闭合，代替其主接触器的常开辅助触点工作，保证 LC 线圈仍可得电。

3. 牵引电动机获得电流

由主电路已知，牵引发电机欲向牵引电动机供电，必须使其主接触器动作；欲使主接触器动作，必须使其电空阀线圈有电。东风₄型内燃机车主接触器电空阀 1~6C 线圈（9~11—52）电路示于附图 1 的 9~11 行 42~52 列，其电路为：



由此电路我们可以看出这样几个问题：

(甲) 1~6C 线圈同时得电和失电，保证 1~6D 工作是同步的。

(乙) 只有在 LC 、 LLC 全失电后，1~6C 才能失电，保证了 1~6C 最后释放；但从电路上看， LC 或 LLC 任一有电时均可使 1~6C 得电，而前面又讲过， LC 只能在 1~6C 有电动作后才可得电，这两者凑合在一起后的实际情况是： LLC 先有电，继而使 1~6C 有电，最后是 LC 有电，仍保证 1~6C 在无电状态下动作*。

* 这是理论上的说法，实际上由于延迟动作的时间很短，1~6C 释放时仍有电弧，但这样可使拉弧情况减弱。

(丙) 某牵引电动机故障时，转动对应故障开关，其常闭触点断开，使对应主接触器失电。但故障电机的切除应在断电状态下进行。

二、机车起动前的准备

1. 闭合接地开关。
2. 将牵引电动机故障开关置于正常运转位，若某电动机确已发生故障，则将此对应开关置于故障位，切除此故障电动机。
3. 确认风压、油、水温度、辅助发电机电压、充电电流及各仪表显示正常（16240ZA型柴油机允许加负载时的冷却水温大于 40°C ）。

将反向手柄置于前进或后退位。

闭合机车控制开关。

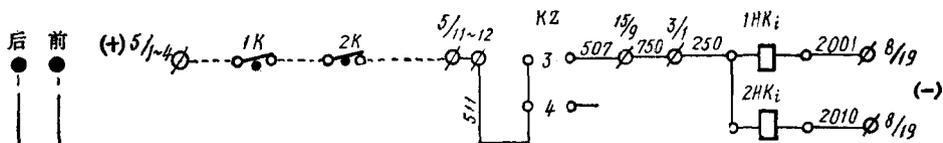
在完成以上准备工作后，确认信号、鸣笛，然后将主手柄从 0 位提至 1 位，机车即可起动。

三、机车起动控制电路

1. 按机车预定运行方向，将反向手柄置于前进位或后退位

无论反向手柄置于前进位还是后退位，这都是指牵引工况而言的。所以，在反向手柄置于前进或后退位后，首先应使机车牵引——制动转换开关处于牵引位，将机车电路联接成牵引状态；其次也应为方向转换开关处于前进或后退位准备好电路。

东风₄型内燃机车工况转换开关 $1HK_{1,2}$ 、 $2HK_{1,2}$ 的牵引电空阀 $1HK_{1,2}$ 、 $2HK_{1,2}$ 示于附图 1 中，其电路为：



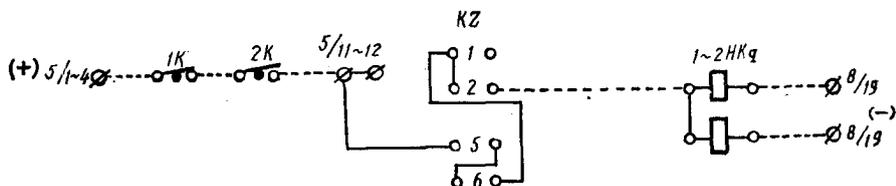
由于 $1K$ 、 $2K$ 已闭合，当反向手柄无论在前进还是后退位（只要是在牵引工况），均使 KZ 3 号触点闭合， $1\sim 2HK_{1,2}$ 线圈有电， $1\sim 2HK_{1,2}$ 转至牵引位，所有 $1\sim 2HK_{1,2}$ 常闭触点闭合，所有 $1\sim 2HK_{1,2}$ 常开触点断开，电路进入牵引状态。

由于 $1\sim 2HK_{1,2}$ 线圈电路还受 KZ 的 5、6 号触点控制，所以在主手柄于 0 位时， $1\sim 2HK_{1,2}$ 是不会动作的。

2. 主手柄提至 1 位

当主手柄从 0 位提至 1 位时，先使 $1\sim 2HK_{1,2}$ 动作，然后又依次使 LLC 、 $1\sim 6C$ 、 LC 动作，实现机车的起动。现以机车前进方向为例，介绍控制电路的工作情况。

(1) 前进位电空阀 $1\sim 2HK_{1,2}$ 线圈有电。其电路的主要部分前面已作介绍，现仅将其与 $5/1\sim 4$ 的联接情况简绘如下：



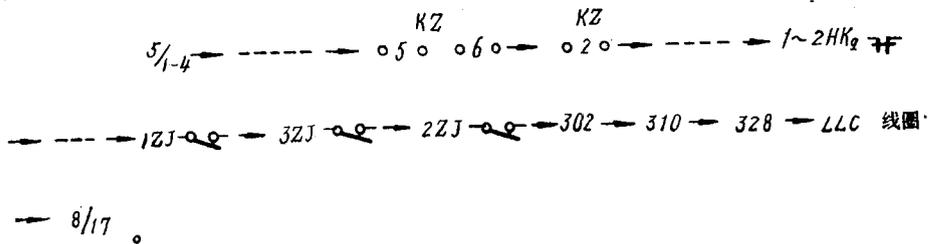
当主手柄从 0 位提至 1 位时， KZ 的 5、6 号触点闭合，对 $1\sim 2HK_q$ 线圈送电（ KZ 的 2 号触点在反向手柄置于前进位时已闭合），使 $1\sim 2HK_{q-a}$ 转至前进位，由此引起的电路变化有：

（甲） $1\sim 2HK_q$ 常闭主触点（主电路内）闭合，使牵引电动机的励磁绕组按前进方向接入电路。

（乙） $2HK_q$ 常闭触点（8—49）闭合，自锁 $1\sim 2HK_q$ 电路。

（丙） $1HK_q$ 、 $2HK_q$ 常闭触点（9—46）闭合，准备好 LC 线圈电路，同时使 LLC 线圈有电。

（2） $1\sim 2HK_{q-a}$ 动作后，即使 LLC 线圈有电，其电路为：



LLC 动作后引起电路变化如下：

（甲） LLC 主触点（10—13）闭合，接通励磁机的励磁电路，励磁机开始发电。

（乙） LLC 常开触点（9—50）闭合，接通 $1\sim 6C$ 线圈电路。

（3） $1\sim 6C$ 有电动作后，又引起电路变化如下：

（甲） $1\sim 6C$ 主触点（主电路内）闭合，接通 $1\sim 6D$ 的电路，由于 LC 未动作，牵引发电机尚未发电，故此时 $1\sim 6D$ 还未得电。

（乙）253、259 号线间的 $1\sim 6C$ 常闭触点（6—48）断开，切断 $1\sim 2HK_a$ 线圈电路。

（丙）260、266 号线间的 $1\sim 6C$ 常闭触点（6—48）断开，在前进方向时 $1\sim 2HK_q$ 线圈已自锁，它们已无法使 $1\sim 2HK_q$ 线圈断电，这些触点是用于后退方向时，使 $1\sim 2HK_q$ 线圈失电的。

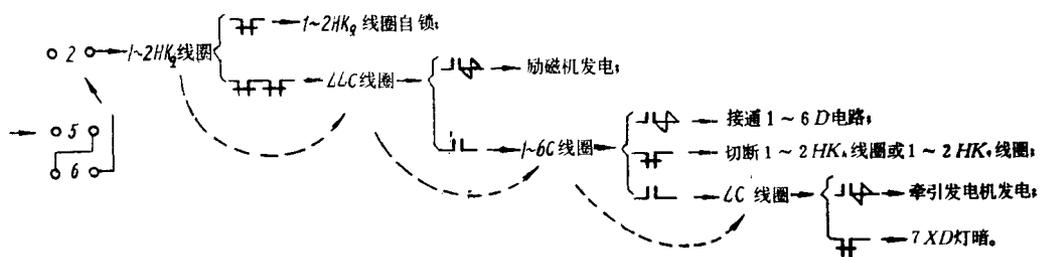
（丁）310、297 号线间 $1\sim 6C$ 常开触点（13—47）闭合，接通 LC 线圈电路。

（4） LC 动作后，引起电路变化如下：

（甲） LC 主触点（5—17）闭合，牵引发电机获得励磁而发电，并向牵引电动机供电， $1\sim 6D$ 得电而旋转，使机车开始起动。

（乙） LC 常闭触点（11—57）断开，使无载信号灯 $7XD$ （11—60）变暗，表示牵引发电机已开始发电，柴油机已经加载。在起车时， LLC 先是无电， LC 常闭触点闭合，所以信号灯 $7XD$ 得电而变亮，接着 LC 得电而使 LC 常闭触点断开， $7XD$ 变暗。因此， $7XD$ 由亮变暗可以作为起车电路工作正常的一种表现，俗称“红灯一闪亮”。

至此机车起动电路已全部动作完毕。若将上述电路动作加以概括的话，则可明显看出电路的动作程序为：



在机车起动瞬间，牵引电动机尚未转起来，可以看作电阻性负载，电机电流很大，所以提手柄后要求机车在10秒内应起动；手柄提升也不能过快，并应时刻注意主电路电流、电压表的显示，勿使电流超过允许值。东风₄型内燃机车最大起动电流为6000安。

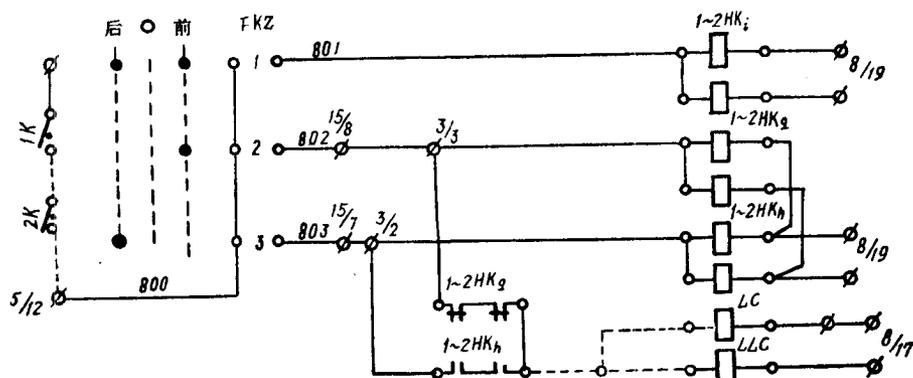
如果在起车过程中因电路故障而不能起车，则可根据各电器动作与否，去分析、寻找故障所在。

3. 机车后退时的起动电路

当机车欲后退运行时，则应将反向手柄置于后退位，使KZ的1、3号触点闭合，其中3号触点仍去接通1~2HK_q线圈电路，其情况与前进位时完全相同；KZ的1号触点去接通1~2HK_h线圈电路，为其得电作准备。当再将主手柄从0位提至1位时，也首先去接通1~2HK_h线圈电路（电路情况与1~2HK_q线圈相似）。1~2HK_h线圈有电后，1~2HK_{q-h}转至后退位，然后就依次按LLC→1~6C→LC顺序动作，从而实现机车起动。

四、单机调车电路

在东风₄型内燃机车上还设有辅助司机控制器FKZ，每个司机室一个，安放在操纵合靠近窗口侧处，以便单机调车用。I端司机室的FKZ示于附图1中(4—41)处，它的手柄有三个位置：前进、后退、中立。当主手柄在0位、反向手柄在中立位时，可以通过FKZ实行机车的前进和后退。FKZ所操纵的电路简画如下：



当FKZ手柄在前进位时，其1号触点闭合，使1~2HK_h线圈有电，1~2HK_{q-h}转至牵引位；2号触点闭合，使1~2HK_q线圈有电，1~2HK_{q-h}转至前进位，继而接通LLC、1~6C、LC电路，实现机车起动。当FKZ手柄在后退位时，其1号触点闭合，也先使1~2HK_h线圈有电，1~2HK_{q-h}转至牵引位；3号触点闭合，使1~2HK_h线圈有电，

1~2HK₀₋₁转至后退位，继而又使LLC、1~6C、LC有电，也实现了机车的起动。

无论是前进还是后退时，在单机调车工况下，柴油机只能工作在最低稳定转速500转/分（相当于主手柄在1位时的工况），无调节的可能。

五、严禁逆电运行

1. 机车正常工作时的逆电运行

从蒸汽机车转内燃机车的司机常会问这样一个问题：可以不可以象蒸汽机车“逆汽制动”那样实行内燃机车的“逆电制动”？答复是否定的，严禁逆电运行！

所谓逆电运行就是指机车在正常工作过程中，将反向手柄换向后再行提主手柄运行，实行这种操作的原意是想使牵引电动机反转，以产生反向牵引力，使机车迅速制动。这种愿望在实践中并未实现，反而带来很大的祸害。因为，反向手柄换向后，只是改变了牵引电动机励磁电流的方向。根据直流电机的可逆性原理，当电机转向不变时，仅改变其励磁电流方向，使电机由电动机状态改变成发电机状态。虽然这时牵引电动机的转矩方向确实相反（改由动轮拖动牵引电动机旋转），可以消耗一部分列车动能而起到一定的制动作用，但这种改变了方向的转矩并不能使牵引电动机的转向改变，牵引电动机保持其发电状态。这时，牵引发电机仍在发电，逆电运行时牵引电动机也变成了发电机，大家都在发电，而负载仅为所连导线而已，相当于负载处于短路状态，使牵引发电机和牵引电动机都输出很大电流！由于牵引电动机的单机容量相对较小，过载能力相对较弱，所以在逆电运行时首遭其害的就是牵引电动机，继而就轮到牵引发电机。在实际中，烧毁六台牵引电动机，牵引发电机遭到严重伤害的历史教训是有的，万万不可轻视！

2. 机车无动力回送时的逆电运行

为什么有的机车在无动力回送的过程中会把牵引电动机烧毁呢？这是一种巧合，但巧合之中也有理论根据，这也是逆电运行在作怪。因为机车在无动力回送时，主手柄在0位，反向手柄已回中立位，但反向电器（反向器或方向转换开关）所处位置是否与机车运行方向一致就很难说了。若机车无动力回送前最后一次运行方向是前进方向，其反向器处于前进位，当反向手柄由前进位回到中立位时，反向器并未动作，仍停留在前进位。当无动力回送机车按前进方向运行时，其反向器所在位置与运行方向一致；当无动力回送机车按后退方向运行时，则反向器所在位置与运行方向不一致，这就有发生逆电运行的可能，以致烧毁电机。

如果无动力回送机车牵引电动机的电刷并未拔除，则牵引电动机将因切割主极剩余磁通而发电。当由于某种原因而使两个并联的牵引电动机支路正端接通（例如，某东风₃型内燃机车主接触器动触头的软联线软而长，当因机车的摇晃而使相邻两接触器的软联线搭接）而形成回路时，两并联支路中牵引电动机因剩磁而建立的电压就可对形成的回路供电。尽管剩磁电压很小，但回路的电阻更小，使回路出现不小的电流值，这时可能出现两种情况：

① 反向器所在位置与机车运行方向一致

若反向器原来处于前进位，励磁绕组按前进状态接入电路，主极剩磁方向即为励磁电流从 C_1 流向 C_2 时所产生磁通的方向，如图5—3中虚线箭头所示。为了简化电路，在图5—3所示两并联支路中各画出一台牵引电动机，分别为1D和2D，剩磁电压分别为 E_1 和 E_2 。由于电路状态与机车运行方向一致，则剩磁电压的方向也与原牵引工况时的反电势方向一致，上正下负。当电路沟通时，剩磁电压对外供电。由于1D、2D特性上的差异， E_1 不会正好等于 E_2 ，假定 $E_1 > E_2$ ，则首先在回路中产生一定值的电流，电流流向如图中实线箭头所示。此电流

在 1D 励磁绕组中产生的磁通与其剩磁方向相反，减弱 1D 主极剩磁，使 E_1 减小；此电流在 2D 励磁绕组中产生的磁通与其剩磁方向一致，加强 2D 的主极剩磁，使 E_2 增大，这将使 $E_1 - E_2$ 减小，对外供电电流减小。当 E_1 下降 E_2 增大而使 $E_2 = E_1$ 时，回路中电流为零，电路处于平衡状态。所以，在反向器所在位置与机车运行方向一致时，即使偶尔出现主电路自成回路的情况，牵引电动机的发电状态将被扼制，不会对主电路中的电气设备造成损害。

反向器所在位置与机车运行方向相反

若反向器在前进位，而机车按后退方向运行时，则牵引电动机转向与前进情况相反，使电枢中的剩磁电压方向相反，上负下正，如图 5—4 所示。若两台电动机的剩磁电压仍以 E_1 和 E_2 表示，当 $E_1 > E_2$ 时，在回路中产生的电流方向如图中实线箭头所示，此电流在 1D 励磁绕组中产生的磁通与其剩磁方向相同，增强 1D 的主极磁通，使 E_1 增大；此电流在 2D 励磁绕组中产生的磁通与其剩磁方向相反，减弱 2D 的主极磁通，使 E_2 减小，这将进一步导致 $E_1 - E_2$ 差值的加大，回路电流上升，反过来又使 E_1 增强， E_2 减小，使回路电流继续上升，甚至最终 2D 的主极剩磁全部抵消，继而磁通改变方向， E_2 变为上正下负，使 $E_1 + E_2$ 对回路供电，回路电流恶性循环地增长下去，以致达到不允许的程度。这也是一种逆电运行工况，这种工况发展的结果是将回路中的电气设备烧坏。

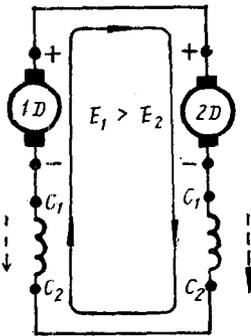


图 5—3 反向电器位置与机车方向一致时的电流通路

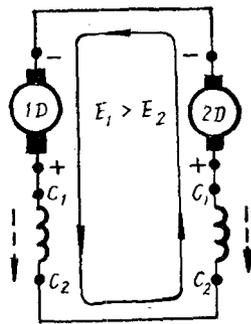


图 5—4 反向电器位置与机车运行方向不一致时的电流通路

由上述两种情况可见，即使机车在临时无动力回送时，也应使反向器处于与机车运行方向一致的位置（不一致时应搬撬到一致位置），即使在偶然条件下使并联牵引电动机支路间形成回路时，也不致造成事故，否则，偶然的巧合，将造成严重的后果。

§ 4. 机车调速控制电路

一、机车调速的方法

机车在线路上运行时，在不同情况下应该有不同的速度，因而就有个机车速度的调节问题。

机车速度的调节一般有两种方法：

1. 调节柴油机的转速

在内燃机车上，调节柴油机转速的实质是调节柴油机组的功率，以此来改变机车的运行速度。柴油机的转速是由司机控制器控制的，改变控制器主手柄的位置，即可改变柴油机的转速。当牵引一定重量的机车在运行时，提高主手柄位置，即可提高机车的功率和牵引力，就可达到提高机车速度的目的；反之，降低主手柄位置，就可以达到机车减速的目的。这是一种人为的调速方法。

2. 牵引电动机的磁场削弱

这是电力传动机车自动调速的一种方法。在这种机车上，当主手柄位置不变时，机车柴油-发电机组有一定的功率，这时机车本身具有的自动调速能力可以从两个方面来看：

(1) 由于直流串励牵引电动机本身固有的机械特性而具有的自动调速能力

直流串励电动机的机械特性如图 5—5 所示，它的转速 n 和转矩 M 均有较大的变化范围，且近似成反比关系，这种关系也就决定了转速愈高，转矩愈小，或转速愈低，转矩愈大。

直流牵引电动机就是串励电动机。当用这种电动机牵引机车时，遇到上坡而使机车阻力增加时，牵引电动机转速下降、电流增大，它将发出更大的转矩，以适应阻力的增加；而当机车进入平道而机车牵引力又大于列车阻力时，牵引电动机转速增加，电流减小，其转矩也就随着自动减小。机车之所以会随着坡道的变化而自动改变车速，是直流牵引电动机机械特性的具体表现。

尽管直流牵引电动机具备上述的自动调速能力，但这种能力还是有限的、还不足以使机车有足够宽的速度范围。

(2) 对牵引电动机采取磁场削弱措施，以扩大机车恒功率速度范围

在机车上，牵引电动机和牵引发电机是密切配合工作的。当机车牵引力大于阻力时，牵引电动机转速就增高；随着牵引电动机转速的增高，牵引电动机的电流在减小，由此也就决定了牵引发发电机的电流在减小；根据牵引发发电机的理想外特性（见图 5—6），其电流的减少必然引起电压的上升，反过来对提高牵引电动机的转速也是有利的。但是当牵引发发电机电压达到限压值时（如图 5—6 中的 B 点），牵引电动机的转速还不能使机车达到最高车速，若这时再想进一步提高车速，将引起牵引发发电机功率下降（因牵引发发电机沿图 5—6 中 BA 线工作）这也就不利于车速的提高了，这种现象称为牵引电动机转速的增高受到牵引发发电机电压的限制。为了避免这种限制，并扩大机车的恒功率速度范围，对具有直流牵引电动机的电力传动机车均采取了磁场削弱措施。

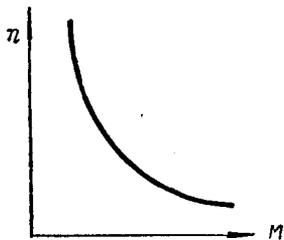


图 5—5 直流串励电动机机械特性

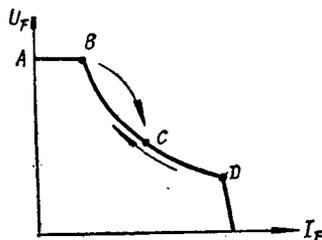


图 5—6 牵引电动机磁场削弱时牵引发发电机工况的变化

为什么实行磁场削弱能避免牵引发发电机电压的限制呢？因为牵引电动机磁场削弱时，在其励磁绕组上并联分流电阻，将使牵引电动机电枢电流增大，由此也引起牵引发发电机电流的增

加。由第三章励磁电路部分已经了解，为保证牵引发电机具有恒功率外特性，随着牵引发机电流的增大，必然通过励磁电路的调节，使牵引发电机的电压下降。由于磁场削弱动作是很迅速进行的，所以在牵引电动机实行磁场削弱时，牵引发电机由高电压工况（如图中的 B 点）自动地跳到低电压工况（如图中的 C 点），然后牵引发电机再从低电压工况点开始工作。若磁场削弱后的机车牵引力仍大于列车阻力，机车仍可加速，这时牵引发电机第二次沿其恒功率外特性工作，电流又在减小，电压又可上升，这就为牵引电动机转速的再升高创造了条件。如果牵引发电机又达到电压限制值而车速仍未达到所要求的最高速度时，还可以实行第二次磁场削弱，又引起牵引发电机工况发生第二次跳变，由高电压工况跳变到低电压工况，使牵引发电机可以第三次沿其恒功率外特性工作，允许机车继续加速。在我国电力传动机车上，一般经过两级磁场削弱，牵引电动机的最大转速已可使机车达到所要求的最大速度。

由上述情况可以看出，牵引电动机磁场削弱的结果，可以重复利用牵引发电机的外特性，给牵引电动机转速的持续升高创造了必要的条件，这也就避免了牵引发机电压对转速提高的限制，同时也扩大了机车在恒功率条件下的速度范围，这就是实行磁场削弱的目的。

那么磁场削弱后，机车牵引力能否发生变化呢？这要看磁场削弱前后机车的牵引功率和速度能否发生变化。由图 5—6 所示的牵引发电机外特性可知，牵引电动机磁场削弱前后牵引发电机的工况都是在恒功率曲线上，也就是说保持功率不变，若忽略电机效率的变化，则磁场削弱前后机车的牵引功率也就不变。另外，磁场削弱是在很短时间（1~2秒）内完成的，机车速度也来不及发生变化。由于机车牵引功率（马力） $=\frac{1}{270}$ 机车牵引力 F （公斤） \times 机车速度 V （公里/时），这样，就可用 $F_{前} \cdot V_{前}$ 代表磁场削弱前的牵引功率， $F_{后} \cdot V_{后}$ 代表磁场削弱后的牵引功率，则有

$$F_{前} \cdot V_{前} = F_{后} \cdot V_{后}$$

因为

$$V_{前} = V_{后}$$

所以

$$F_{前} = F_{后}$$

即磁场削弱前后机车的牵引力不能发生变化。

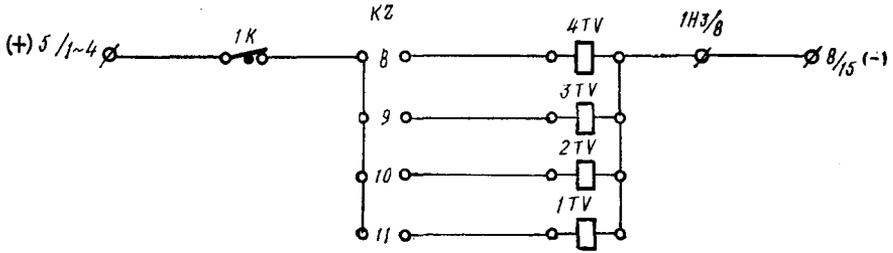
既然磁场削弱前后机车牵引力未发生变化，那么磁场削弱后机车速度为什么会逐步加快呢？这是因为磁场削弱都是在牵引力大于阻力，机车不断加速的过程中进行的。而磁场削弱后，机车牵引力未变，机车的牵引重量、线路坡道也不会发生突变，故仍能保持牵引力大于列车阻力的工作情况，机车自然继续加速。如果磁场削弱后，机车马上遇到明显的上坡道，使机车牵引力小于列车阻力，则速度不会再继续增加，反而会减速。所以磁场削弱后列车继续加速并非必然现象，而应该说是仍保持牵引力大于列车阻力的结果。

二、柴油机转速控制电路

柴油机可以实行有级调速，也可以无级调速。调速时，可以用电控的方式，也可以用气控的方式。目前，我国柴油机都实行电控有级调速，各种无级调速方案也在设计、试验中。当采用电控有级调速时，是用几个电空阀或电磁阀，使之按不同的组合情况得电，以对调速器中的配速弹簧产生有级的压缩力，使柴油机得到多级稳定的工作转速。目前，国产机车柴油机用四个电空阀（或电磁阀）以得到16级转速，相应的主控制器有17个手柄位（加一个零位）。改变主手柄位，使控制器触点有不同的接通情况，也就使调速电空（磁）阀有不同的得电情况，以求柴油机有不同的转速。

在东风₄型内燃机车上，柴油机调速用的四个电磁阀分别以 $1TV$ 、 $2TV$ 、 $3TV$ 、 $4TV$ 表

示，其电路绘于附图 1 的15~17行42~52列中，现简绘如下：



由上面电路可见，1~4TV 是经控制器 8、9、10、11号触点与电源正端接通的，只要闭合总控制开关1K，就可以用改变主手柄位置来使 1~4TV 轮流得电，即可调节柴油机的转速。由于机车停车时也有可能调节柴油机的转速，所以控制机车起动的开关2K不设在 1~4TV 电路里。1K 闭合 2K 不闭合，即使主手柄逐位提高，LC、LLC 也不能得电，但这时可以调节柴油机转速。这也说明了机车上除设总控制开关外，还要设机车控制开关的原因。

当主手柄不同位置时，控制器触点闭合情况、调速电磁阀有电情况及对应的柴油机转速和功率示于表 5—1 中。

表 5—1

主手柄位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
控 制 器 接 通 触 点 号	8	8		8		8		8		8		8		8		8	
				9	9			9	9			9	9			9	9
						10	10	10	10					10	10	10	10
										11	11	11	11	11	11	11	11
有 电 调 速 电 磁 阀	4TV	4TV		4TV		4TV		4TV		4TV		4TV		4TV		4TV	
				3TV	3TV			3TV	3TV			3TV	3TV			3TV	3TV
						2TV	2TV	2TV	2TV					2TV	2TV	2TV	2TV
										1TV							
柴油机转速 (转/分)	500	500	540	580	620	660	700	740	780	820	860	900	940	980	1020	1060	1100
柴油机功率 (马力)		360	380	480	595	740	906	1085	1275	1475	1685	1915	2156	2425	2715	3015	3350
备 注	水阻试验时，根据10、12、8位调整柴油机-发电机组功率，1位功率值作参考，其它位功率由联合调节器决定。																

由表 5—1 可见，主手柄从 0 位至 1 位，柴油机转速不变，但 0 位对应于柴油机空转，1 位对应于起车，柴油机加载。1 位以上，每位均改变调速器电磁阀得电情况，逐级进行调速，也就调节了牵引发电机与柴油机的功率。

三、磁场削弱的控制

1. 控制电路的输入信号

牵引电动机磁场削弱（即过渡）控制电路是根据一定的输入信号值而动作的。由前已知，牵引电动机之所以采取磁场削弱措施是由于牵引发电机特性变化范围不够，当其工况参数达到一定值而限制牵引电动机转速提高时，应使过渡控制电路动作。从确定牵引发电机任意条

件下的某工况点来说，需要电压 U_F 、电流 I_F 两个参数，所以作为过渡控制电路的输入量应同时取电压、电流两个信号。如果进一步从要求控制电路简单、各主手柄位时牵引发电机特性变化范围合适的角度来看，常选择牵引发机电压与电流的比值 $\frac{U_F}{I_F}$ 作为输入信号。根据 $\frac{U_F}{I_F}$ 参数动作的控制电路静特性是条直线，如图 5-7 中 OB 、 OC 所示，其中 OB 是电路的动作特性（过渡特性）， OC 是电路的释放特性（返还特性）。为了便于与牵引发电机特性比较，静特性直接画在牵引发电机的外特性图中。如果在最高主手柄位时，牵引发电机是在工况点 B 发出过渡信号的，则在其余主手柄位时的过渡工况点都落在 OB 上（在 OB 线上的各点不一定是限压的起始点）；若在最高主手柄位时牵引发电机是在工况点 C 发出返还信号的，则其余主手柄位时的返还工况点都落在直线 OC 上。东风₃型内燃机车和东风₄型内燃机车—4号电路以前各车所用过渡控制电路的特性基本如此。

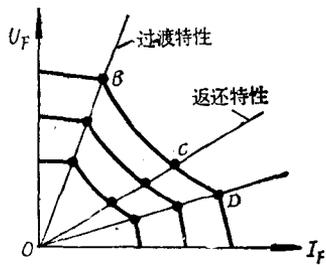


图 5-7 过渡控制电路的静特性

东风₄型内燃机车用—5号电路图以后，过渡控制电路的输入信号已改为机车速度信号。用机车速度信号能否代替牵引发电机的电压与电流比的信号呢？答复是可以的。

由电工学可知，直流电动机的端电压 U_D 、反电势 E_D 和电枢电流 I_D 存在如下关系：

$$U_D = E_D + I_D \Sigma R$$

式中 ΣR ——电动机电枢、励磁绕组电路的电阻。

$$E_D = C_e \phi n$$

其中 C_e ——与电动机结构有关的常数；

ϕ ——主极磁通；

n ——电动机转速。

代入上式得

$$U_D = C_e \phi n + I_D \Sigma R$$

$$n = \frac{U_D - I_D \Sigma R}{C_e \phi}$$

对串励直流电机而言，励磁电流与电枢电流 I_D 直接成正比例关系（包括磁场削弱时），而磁通 ϕ 是由励磁电流产生的，若不考虑磁路饱和的影响，即磁路的磁化曲线是线性的，则可以认为磁通 ϕ 与励磁电流成正比，也就与电枢电流 I_D 成正比，则有

$$\phi = C_\phi I_D$$

C_ϕ ——比例常数。再以此代入上式，则

$$n = \frac{U_D - I_D \Sigma R}{C_e C_\phi I_D}$$

由于 $I_D \cdot \Sigma R$ 与 U_D 相比是很小的，可以忽略不计，则

$$n = \frac{1}{C_e \cdot C_\phi} \cdot \frac{U_D}{I_D} = \frac{1}{C} \left(\frac{U_D}{I_D} \right)$$

即串励由动机的转速与其电压和电流的比值呈正比关系。

在主电路结构一定的条件下，牵引发电机的 $\frac{U_F}{I_F}$ 与牵引电动机的 $\frac{U_D}{I_D}$ 存在固定比例关系，如东风₄型内燃机车 $U_F = U_D$ ， $I_F = 6I_D$ ，所以 $\frac{U_D}{I_D} = 6 \left(\frac{U_F}{I_F} \right)$ ；机车速度与牵引电动

机转速也存在固定比例关系，设车速 $V = K n$ 。以此两式代入之，得

$$V = \frac{6K}{C} \left(\frac{U_F}{I_F} \right)。$$

同理，在牵引电动机进行一级磁场削弱后，励磁电流与电枢电流仍存在固定比例关系，即 $I_c = \beta_1 \cdot I_D$ ，则其磁通 ϕ 的比例关系改变为：

$$\phi = C_\phi \cdot \beta_1 \cdot I_D$$

所以

$$n = \frac{U_D - I_D \cdot \Sigma R}{C_e \phi} = \frac{U_D - I_D \cdot \Sigma R}{C_e C_\phi \beta_1 I_D} \approx \frac{U_D}{C_e C_\phi \beta_1 I_D} = \frac{1}{C_1 \cdot \beta_1} \left(\frac{U_D}{I_D} \right)。$$

也以牵引发电机参数和机车速度等关系代入后得

$$V = \frac{6K}{C \beta_1} \cdot \left(\frac{U_F}{I_F} \right)$$

由以上分析可以看出，无论牵引电动机在全磁场还是在一级磁场削弱，最后总可得出牵引发电机的电压与电流比 $\frac{U_F}{I_F}$ 与机车速度呈一定的比例关系。若全磁场时，牵引发电机达 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 后对应的车速为 V_1 ，则在一级磁场削弱后，牵引发电机再次达 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 值后对应的车速为 V_1 / β_1 。由于 β 值小于 1，所以一级削弱后，达到同样 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 值时的车速提高了。这样就可说明：用机车速度信号来取代 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)$ 作过渡控制的输入信号是可以的；②一级过渡后，达同样 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 值时的车速提高了，所以也可用车速信号作为二级过渡的控制信号。

不过这里要说明的是，上述分析是近似的，因为忽略了磁路非线性变化的影响。在实际应用中，牵引电动机励磁电流愈大时，上述取代所带来的误差也愈大。如将全磁场与一级磁场削弱两种情况加以比较，全磁场时的励磁电流较大，磁路更接近于饱和，这将使上面引用公式中的系数 C_ϕ 变小， $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 对应的车速 V_1 变大。例如按二级过渡车速为 60 公里 / 小时考虑的话，则按上述公式推论，在达同样 $\left(\frac{U_F}{I_F} \right)_1$ 比值时的一般过渡速度应为 $60 \times \beta_1 = 60 \times 0.6 = 36$ 公里 / 小时，但现车实际选用的一级过渡速度为 40 公里 / 小时，这就是考虑到这种因素的影响，人为地使过渡车速略有提高。

综上所述，用车速信号代替 $\frac{U_F}{I_F}$ 作过渡控制的输入信号是可以的，但过渡的合理速度值应根据按 $\frac{U_F}{I_F}$ 进行过渡计算时所确定的机车速度选取，这样既保证了牵引发电机工作特性得到充分的合理的应用，又使输入信号电路简化。

2. 过渡控制电路的动作顺序

当实行两级过渡时，应设两套过渡控制电路，分别用于一级过渡与返还和二级过渡与返还，根据输入信号值按时发出过渡与返还的信号，以实行过渡与返还的动作。从电路动作顺序上来说，应该先一级过渡后二级过渡，先二级返还后一级返还，这要从电路的联锁和动作参数的选择两个方面来考虑。

(1) 电路的联锁

若要两个电器在一个动作之后另一个再动作，常用的方法是在后一个动作的电器电路里加以先动作电器的常开触点即可，过渡控制电路也可用此方法。但在具体设置时有两种情

况：一种是东风₃型内燃机车采用的，联锁用触点设在过渡继电器线圈电路里，先使一级过渡继电器动作后才能使二级过渡继电器动作；另一种是东风₄型内燃机车采用的，联锁用触点设在磁场削弱接触器线圈电路里，先使一级磁场削弱接触器动作后才能使二级磁场削弱接触器动作。

(2) 动作参数的选择

既要一级过渡先动作，就应使控制电路的输入信号先达到一级过渡动作值，后达到二级过渡动作值。例如，当以 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)$ 作为输入信号时，则应使一级过渡的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I$ 先达到，二级过渡的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ 后达到，如图5-8所示，其一级过渡工况点P的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I$ 小于二级过渡工况点Q的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ ，所以随着机车加速， $U_F \uparrow$ 、 $I_F \downarrow$ ， $\left(\frac{U_F}{I_F}\right) \uparrow$ ，它总是先达到 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ 后达到 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I$ ，保证一级过渡控制电路先动作，二级过渡后动作。在选择动作参数时， $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I$ 与 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ 应有一定的差异，以免由于电路本身参数的误差而造成两级过渡同时动作。

一级过渡后，牵引发电机外特性被重复利用，当第二次达到 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I$ 值时，因一级过渡电路已动作，不会再引起什么新的变化，将直接越过而趋近于 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ 。当达 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}$ 时，二级过渡电路才能动作。

若动作参数已能保证过渡按程序动作，则电路释放时，也应使释放参数保证返还按程序动作，即二级返还参数 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}'$ 先达到（如图中E点），一级返还参数 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I'$ 后达到（如图中F点），且 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}' > \left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I'$ 。当返还时，机车降速， $U_F \downarrow$ 、 $I_F \uparrow$ ， $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)' \downarrow$ ，它总是先降至较大的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_{II}'$ ，后降至较小的 $\left(\frac{U_F}{I_F}\right)_I'$ 。

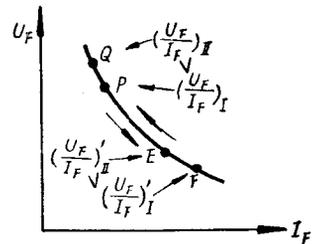


图5-8 过渡工况点的配置

当以机车速度作输入信号时，动作程序更易保证，因为一级过渡的车速总是小于二级过渡车速，且两级过渡间车速有较大的差异；二级返还的车速总是大于一级返还的车速，两级返还间的车速也有较大的差异。

四、东风₄型内燃机车自动过渡控制电路

1. 自动过渡控制电路

东风₄型内燃机车的自动过渡控制电路示于附图1中的21~27行2~12列范围内，它是由输入信号电路、晶体管开关电路和过渡继电器等组成。由于实行两级过渡，故上述电路有两套，右面的一套（由BG₁、₃、₅等组成）用于一级过渡和返还，左面的一套（由BG₂、₄、₆等组成）用于二级过渡和返还，但输入信号电路仅一套（由1CF等组成），是电路公用的。两级过渡自动控制电路原理是完全相同的，仅通过电路参数的调整而使电路的动作参数不同，以适应两级过渡的需要。现将一级过渡自动控制电路摘绘于图5-9。

(1) 输入信号电路

输入信号取机车的速度。机车上有一个电测速度表，它的附件是一个装在车轴上的测速发电机1CF（25—12），其电压与机车速度成正比，可以作为机车速度信号。由于测速发电机是交流电机，所以还需经整流、滤波之后变成直流电压 U_{1CF} ，以此作为两套自动过渡控制电路的输入信号电压。

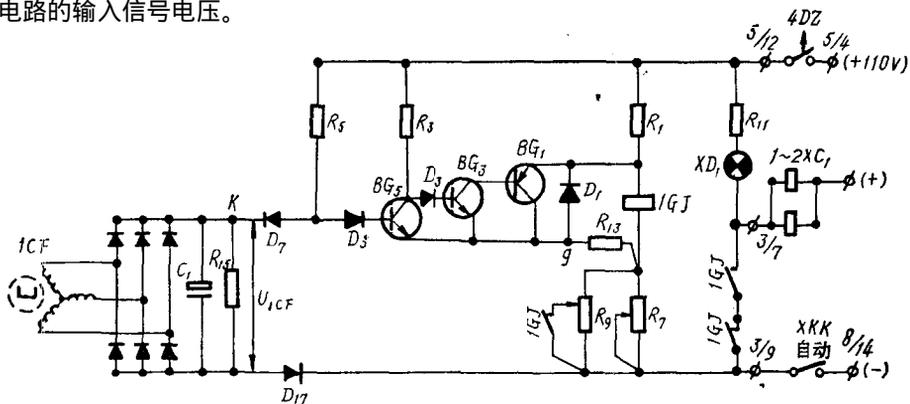


图 5—9 一级过渡自动控制电路

(2) 晶体管开关电路

一级过渡用晶体管开关电路由 BG_1 、 BG_3 、 BG_5 等组成。 BG_1 与过渡继电器1GJ（23—8）线圈并联（由于电阻 R_{13} 阻值很小，在分析原理时先予以略去），当 BG_1 导通时，1GJ线圈被短路，无电流流过，1GJ也不动作；当 BG_1 截止时，有电流流过1GJ线圈，1GJ有电而动作，由此再使一级磁场削弱接触器动作，实行一级过渡。因此控制电路的中心问题是何时能使 BG_1 由导通变截止。

BG_1 的工作状态是由 BG_5 控制的。当 BG_5 截止时，对 BG_3 施加正向偏置电压，由辅助电源供给的电流经 R_3 、 D_3 流过 BG_3 基极和发射极，使 BG_3 呈导通状态。 BG_3 的导通又使 BG_1 获得正向偏置电压，使 BG_1 导通；当 BG_5 导通时， BG_5 的饱和管压降将加在 BG_3 基极上，为此应在 BG_3 的基极电路里加上个二极管 D_3 ，补偿 BG_5 的饱和管压降，使 BG_3 受反向偏置而处于截止状态，由它再使 BG_1 处于截止状态。所以问题又转到何时使 BG_5 由截止变导通了。

BG_5 的截止与导通是由信号电压 U_{1CF} 、分压电路 R_1 、 R_7 、 R_9 和二二极管 D_7 、 D_5 等组成的电压比较电路控制的。当 BG_5 截止、 BG_1 导通时，辅助电源电压（+110伏）加至由 R_1 、 R_{13} （这时1GJ线圈可以认为与 R_{13} 并联）、 R_7 和 R_9 组成的分压电路上，使图5—9中分压点 g 具有一定的电位 U_g ；另一方面信号电压 U_{1CF} 加在二极管 D_7 的阴极端，使图中 K 点也具有一定的电位。如果忽略二极管 D_{17} 的管压降的话，可以认为信号电压 U_{1CF} 的负端与辅助电源负端电位相等，因此组成了上述两种电压的比较电路，即进行 K 点与 g 点电位的比较。只要电路不发生变化， g 点电位由辅助电源电压决定，它是不变的（因辅助电源电压稳定在110伏）；而 K 点电位却随 U_{1CF} 而变。在机车速度较小时，1CF的电压很低，也使信号电压 U_{1CF} 很低，使 K 点电位低于 g 点，这将使上述电压比较电路中的二极管 D_7 导通，辅助电源供给的电流经 $R_5 \rightarrow D_7 \rightarrow R_{15} \rightarrow D_{17} \rightarrow$ 电源负端； D_5 因承受反向阳极电压而截止，无电流流过 BG_5 ， BG_5 处于截止状态。随着机车速度的提高， U_{1CF} 在增加， K 点电位在提高，当达到一级过渡的车速时， U_{1CF} 的数值正好使 K 点电位略高于 g 点电位（东风₄型内燃机车此时的 U_{1CF} 约为8.5伏），使二极管 D_7 截止， D_5 导通，则电流改经 $R_5 \rightarrow D_5 \rightarrow BG_5 \rightarrow R_{13} \rightarrow R_7$ 、 $R_9 \rightarrow$ 电源负端， BG_5 因有基极电流而导通。这样就实现了 BG_5 由截止变导通的

转换。

BG_5 的导通必使 BG_3 、 BG_1 截止，为了加快三极管由导通变截止的翻转，电路中加入了反馈电阻 R_{13} 。当 BG_1 导通时， BG_1 的集电极电流较大，流过 R_{13} 上的电流也较大， R_{13} 上电压降较大，使 BG_5 的发射极电位较高；当 BG_5 由截止转导通时， BG_1 由导通转截止，集电极电流减小， R_{13} 上电压降也减小，使 BG_5 发射极电位下降，加速 BG_5 由截止变导通的翻转过程，也就加速 BG_1 的翻转过程。

BG_1 迅速的由导通转截止后， $1GJ$ 因线圈得电而动作，它一方面使一级磁场削弱接触器吸合，实行一级磁场削弱；另一方面使过渡控制电路中 R_9 上的常开触点闭合，短路 R_9 中的部分电阻，使电路进入更为稳定的状态（ BG_5 基极电流加大，进入更深的饱和导通状态， $1GJ$ 线圈流过更大的电流，更为可靠的吸合），避免电路发生振荡（或称铃状）现象。

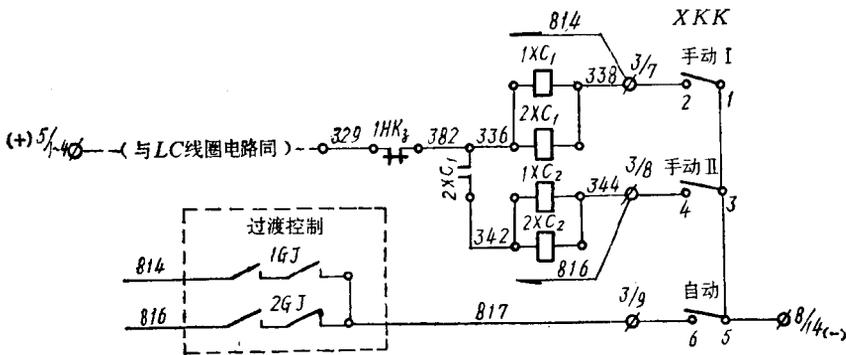
当机车由高速逐渐减速时， U_{1CF} 在下降，当达到一级过渡的车速时（如40公里/小时）， K 点又达到过渡时的电位值。但这时由于 R_9 电阻的减小， BG_1 的截止而使分压电路中 g 点电位比过渡时的小，所以 BG_5 不会由导通变截止和实行一级返还，只有 U_{1CF} 更低时，也即机车速度低于过渡速度时才能实行一级返还。低于的程度可通过 R_9 上滑臂点位置来调整，触点上移， R_9 被短路的电阻值增加，返还速度下降，东风₄型内燃机车一级返还车速在30公里/小时左右。返还时， K 点电位低于 g 点电位， D_5 截止使 BG_5 截止， BG_1 导通， $1GJ$ 因线圈失电而释放，实行一级返还动作。

一级返还后， BG_1 导通， R_{13} 也就与 $1GJ$ 线圈并联上，若 R_{13} 阻值太大，仍使 $1GJ$ 线圈流过较大的电流，以致可以吸合而动作。为避免 BG_1 导通后 $1GJ$ 得电，只能使 R_{13} 的阻值较小（约10欧姆）。

二级过渡自动控制电路原理与一级过渡的完全相同，它是用 BG_2 并联在 $2GJ$ 线圈上，用电压比较电路控制 BG_6 的导通与截止，从而去控制 $2GJ$ 的有电与无电，实行二级过渡与返还。二级过渡的车速约为60公里/小时，二级返还的车速约为45公里/小时。

2. 磁场削弱接触器电路

磁场削弱接触器 $1\sim 2XC_{1\sim 2}$ 的线圈电路主要部分示于附图1中的20~22行55~60列范围内，现简绘于下：



由电路上可见，磁场削弱接触器的控制有自动控制与手动控制两种工况。

(1) 自动工况

在司机操纵台上设磁场削弱控制开关 XKK 。当欲实行自动控制时，将开关 XKK 转至

自动位，其端子5、6（23—60）闭合，经817号线把1~2GJ的常开触点与电源负端接通，使1~2XC₁~₂线圈受1~2GJ触点的控制，同时闭合自动开关4DZ（21—12），使自动过渡控制电路投入工作。

当一级过渡自动控制电路动作而使1GJ有电时，其常开触点闭合，电流从5/1~4→1HK₂常闭触点→1~2XC₁线圈→1GJ常开触点→XKK自动位触点→8/14，使1~2XC₁线圈得电。

1~2XC₁有电动作后：

（甲）1~2XC₁主触点（主电路内）闭合，各牵引电动机实行一级过渡。

（乙）1XC₁常开触点（15—57）闭合，使绿色信号灯11XD变亮，显示已实行一级过渡。

（丙）2XC₁常开触点（21—55）闭合，接通1~2XC₂线圈电路，为二级过渡作准备。

当二级过渡自动控制电路动作而使2GJ有电时，接通了1~2XC₂线圈电路，其电流经5/1~4→1HK₂常闭触点→2XC₁常开触点→1~2XC₂线圈→2GJ常开触点→XKK自动位触点→8/14，使1~2XC₂线圈有电。

1~2XC₂有电动作后：

（甲）1~2XC₂主触点（主电路内）闭合，各牵引电动机实行二级过渡。

（乙）1XC₂常开触点（17—56）闭合，使绿色信号灯12XD变亮，显示已进行二级过渡。

当两级过渡的自动控制电路又各自恢复到初始状态时，相继使2GJ、1GJ失电，各磁场削弱接触器线圈也失电。由于电路中两个磁场削弱接触器线圈并联使用，使电路电感较大，加之1GJ、2GJ均为小型继电器，触点断开时的开距较小，为避免触点断开时产生较大电弧，故用两个触点串联，以增加电路断开时的触点开距，易于断弧。

（2）手动工况

当自动过渡控制电路发生故障时，可以实行手动过渡。这时应先用4DZ切断自动控制电路，并将XKK置于中立位，然后根据机车运行的速度进行一级过渡和二级过渡。

当货运机车运行速度达40公里/小时，将XKK置于手动I位，使1~2XC₁线圈有电，实行一级过渡；当机车速度达60公里/小时，将XKK置于手动II位，使1~2XC₂线圈有电，实行二级过渡。

当机车速度降至45公里/小时，将XKK反旋至手动I位，实行二级返还；当机车速度再降至30公里/小时，进而反旋至中立位，实行一级返还，牵引电动机又处于全磁场情况下工作。

3. 0218号机车启用的自动过渡控制电路

在上述自动过渡控制电路的使用过程中，有时发现它的工作稳定性欠佳，分析原因有二：①与过渡继电器线圈并联的晶体管BG₁、BG₃是锗管、漏电量较大，热稳定性差；②电路中晶体管并不严格工作在开关状态，尽管电路中有反馈作用，但作用不强烈，晶体管是逐渐由开至关或由关至开的。这些均导致过渡动作不稳定，发生或早或晚的现象。

1978年3月对原过渡控制电路作了改进，改进后的电路如图5—10所示，从0218号机车开始使用。改进后的电路原理与原电路基本相同，外部联接也保持不变（—7号电路图仍适用），但将原电路中的锗管晶体管BG₁、BG₂改为硅管，并在它们的基极电路里串入稳压

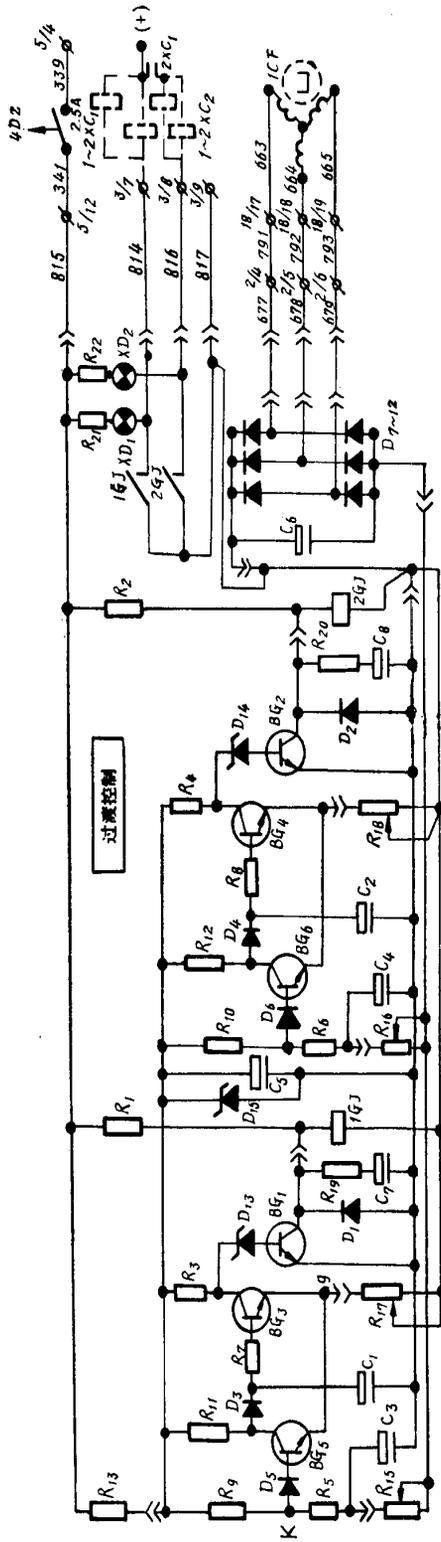


图 5-10 改进后的自动过速控制电路

管，同时还采取了一些稳压和抗干扰措施。现以一级过渡控制电路（它绘于图 5—10 的左侧）为例，介绍它的工作情况。

辅助电源仍经 5/4→4DZ 对自动过渡控制电路供电，其电压被电阻 R_{13} 、 R_9 、 R_5 、 R_{15} 分压，分压点 K 经二极管 D_5 对 BG_5 施加正向偏置电压；测速发电机 1CF 仍经整流后提供信号电压 U_{1CF} ，此电压经电位器 R_{17} 加在 BG_5 的发射极上，施加反向偏置电压。在车速很小时， U_{1CF} 很小， BG_5 的正偏置大于反偏置， BG_5 处于导通状态， BG_3 处于截止状态，稳压管 D_{13} 被击穿，使 BG_1 处于导通状态，1GJ 线圈无电。随着车速的增加， U_{1CF} 增大，使 BG_5 的反偏置增强，当达一定值时，可使 BG_5 的反偏置大于正偏置， BG_5 逐渐由导通变截止， BG_3 逐渐由截止变导通， BG_3 的管压降在逐渐减小。当 BG_3 的管压降足够小时，可使稳压管 D_{13} 由击穿变截止（这种转变是很快的）， BG_1 迅速的由导通变截止，1GJ 即刻得电，实行一级过渡。改变电位器 R_{17} 滑臂的位置即可改变 BG_5 的反偏置值，也就改变了一级过渡时的车速。

BG_5 由通变止、 BG_3 由止变通后， R_{17} 上的电压降增大， g 点电位升高（因电阻 R_3 阻值小于 R_{11} ， BG_3 导通时流过 R_{17} 的电流大），使 BG_5 的反偏置增强，进一步促使 BG_5 由通变止，电路状态迅速翻转。即使这时的车速已降至原过渡时的车速，也不能改变反偏置大于正偏置的状态， BG_5 也就不能由止变通，防止了振荡。只有车速进一步降低，使反偏置开始小于正偏置（正偏置电压是不变的）后， BG_5 才由止变通， BG_3 由止变通，实行一级返还。所以同级的返还车速小于过渡车速，这也正是我们所要求的。

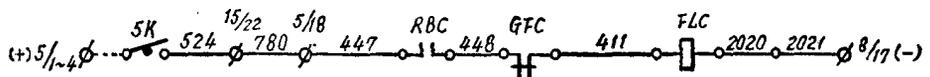
电路中电容 C_3 起滤波作用；电容 C_1 起抗干扰作用，若外界干扰信号侵入时，被 C_1 吸收； C_5 、 D_{15} 作滤波稳压用。

§ 5. 辅助设备的控制电路

一、辅助发电机控制电路

为使柴油机空载启动，应使它直接驱动的而为启动所不必须的一切设备处于空载状态，其中就有辅助发电机。辅助发电机空载运行的方法是用专门的励磁接触器去切断本身的励磁电路；或者是用起动接触器的常闭触点去切断励磁电路等。

在东风₄型内燃机车上，辅助发电机的励磁电路是专用一个励磁接触器 FLC 控制的。 FLC 线圈有电后，接通励磁电路，辅助发电机开始发电； FLC 线圈失电后，切断励磁，辅助发电机空转。 FLC 线圈电路示于附图 1 的 23 行 43~54 列，其电路为：



在柴油机启动前，不应闭合开关 $5K$ ；在柴油机启动后，闭合 $5K$ ，使辅助发电机发电。由于这时电路里的 RBC 常开触点已闭合；在辅助发电机励磁电路无故障时， GFC 无电， GFC 常闭触点也闭合。所以闭合开关 $5K$ 就可使 FLC 线圈有电（在 $5K$ 之前还有 $4K$ 可以控制电路的通断，既然柴油机已启动， $4K$ 自然早已闭合）。

FLC 动作后， FLC 主触点闭合，接通 QD 的励磁电路，开始发电。对于一 7a 以前各电路图，还有 FLC 常开触点闭合，接通电压调整器的触发电路之后，才能使辅助发电机开始

发电。

当励磁电路有故障时，可再闭合固定发电开关 $8K$ (24—60)，使 GFC 线圈 (24—56) 有电， GFC 动作：

(1) GFC 常闭触点 (23—50) 断开，切断 FLC 线圈电路。

(2) GFC 主触点 (3—4) 闭合，接入固定发电电阻 R_{gf} 。

(3) GFC 主触点 (18—5) 闭合，短路电压调整器，接通固定发电励磁电路，开始固定发电。

(4) GFC 常开触点 (14—56) 闭合，使固定发电信号灯 $10XD$ 变亮。

二、空气压缩机起动控制电路

机车空气压缩机可以用柴油机直接驱动（如东风₃型内燃机车），也可以用电动机单独驱动（如东风₄型内燃机车）。当直接驱动时，通过一套自动控制机构自动驱动空气压缩机转动与停止；当单独驱动时，则应设置专门的按钮或开关，控制空气压缩机电机的工作，而且，一当接通空气压缩机电动机电路后，它的工作情况将与机车空气制动系统中的压力有关。我国机车空气制动系统中总风缸的额定压力为 9 公斤/厘米²（最低不得低于 7.5 公斤/厘米²），当压力超过 9 公斤/厘米²时，空气压缩机将自动停止泵风；当压力低于 7.5 公斤/厘米²时，空气压缩机又将自动泵风。

东风₄型内燃机车的两台空气压缩机分别由两台直流电动机独立驱动，空气压缩机电动机的控制电路示于附图 1 的 24~26 行 43~54 列中，它有手动与自动两种控制工况，现分别介绍如下：

1. 自动控制电路

为了了解此电路，先把电路中有关元件作用介绍如下：

(1) YK (24—26) YK 是个压力开关，它检测空气制动系统中总风缸内的压力，当压力 ≥ 9 公斤/厘米²时， YK 动作， YK 常闭触点断开；当压力 ≤ 7.5 公斤/厘米²时， YK 释放， YK 常闭触点闭合。

(2) YC (24—52) 空气压缩机接触器，它闭合时，使空气压缩机电动机实行降压起动，即电动机枢电路中串入降压电阻 $1\sim 2R_y$ (6—9, 6—10)，以免电动机起动电流过大。

(3) YRC (26—52) 空气压缩机电动机降压电阻接触器，它闭合后，降压电阻被短路，电动机全压正常工作。

(4) $2SJ$ 时间继电器，用以延时短路降压电阻，以使电动机工作程序为：降压起动 延时 3 秒 → 全压工作。它也是半导体延时继电器，原理同 $1SJ$ 。

(5) R_{zj} 释放电阻，用以提供 YC 、 YRC 线圈断电时电磁能量的释放电路，以免瞬时过电压对 $2SJ$ 中电子元件有伤害作用；同时它也并联在 YC 常开触点上，减弱 YC 常开触点断开时的电弧。

这个电路的工作情况是这样的：

先闭合空气压缩机自动开关 $10K$ ，当总风缸压力 ≤ 7.5 公斤/厘米²时， YK 常闭触点闭合，使 YC 线圈有电，由此引起电路的变化为：

(1) YC 主触点 (5—9, 5—11) 闭合，空气压缩机电动机 ($1YD$ 、 $2YD$) 实行降压起动。

(2) YC 常开触点(10—56)闭合,使空气压缩机起动信号灯 $6XD$ 由微亮变亮,表示空气压缩机正在起动。

(3) YC 常开触点(24—51)闭合,接通 YRC 线圈、 $2SJ$ 电路。 $2SJ$ 得电后,延时3秒动作, $2SJ$ 的端子“2”与“3”接通,使 YRC 得电,由此又引起电路的变化为:

—— YRC 主触点(7—9, 7—10)闭合,短路降压电阻 $1\sim 2R_j$;

—— YRC 常闭触点(10—56)断开,信号灯 $6XD$ 由亮变灭,表示空气压缩机起动完毕,已正常工作。

当空气压力 ≥ 9 公斤/厘米²时, YK 常闭触点断开,切断 YC 、 YRC 线圈电路,空气压缩机停止转动,同时信号灯 $6XD$ 由灭变暗,表示空气压缩机已停止工作。当空气压力 ≤ 7.5 公斤/厘米²时,又将重复上述起动过程。空气压缩机就是在这种起动—工作—停止—起动—工作—停止的循环工况下工作的,以保证空气制动系统有足够的压缩空气。

2. 手动控制电路

当要实行手动控制时,先断开自动开关 $10K$,再按下手动按钮 $2QA$,直接使 YC 线圈得电,然后也通过 $2SJ$ 的控制自动使 YRC 线圈得电,使空气压缩机电动机仍按降压起动—全压工作程序动作。—当放开 $2QA$, YC 、 YRC 线圈失电,空气压缩机停止工作。因此司机可根据空气制动系统中总风缸的压力,适时按下按钮,以保持空气制动系统中正常的压力值正常。

三、电炉电路

电炉及其控制电路直接画在辅助设备电路中,当旋转设在操纵台上的转换开关 $3ZDK$ (6—11,共两个)至工作位时,便可接通电炉 DL (7—11,共两个)电路,电炉工作。

电炉也是每司机室一个,各用自己的 $3ZDK$ 控制。

§ 6. 柴油机保护电路

一、柴油机油压保护电路

为了保持柴油机(包括增压器)正常工作,必须保证它的机油有一定的压力,而且在不同的负荷条件下,所应保证的机油压力值还应不同。—当机油压力不足时,就采取相应的措施。

柴油机的机油压力是用专用的压力继电器检测的,一般机车柴油机设两种压力保护继电器:低负荷压力继电器和高负荷压力继电器。

低负荷压力继电器用于保护柴油机的低负荷运行(一般柴油机在 $1\sim 8$ 位算低负荷运行),当压力低于允许值(如东风₄型内燃机车最低机油压力为 $1.4\sim 1.6$ 公斤/厘米²)时,此压力继电器作用,柴油机停机。

高负荷压力继电器用于保护柴油机的高负荷运行(一般在 $9\sim 16$ 位算高负荷运行),当压力低于允许值(东风₄型内燃机车为 $2.4\sim 2.6$ 公斤/厘米²)时,此压力继电器起作用,使柴油机卸载,但不停机。

东风₄型内燃机车共有四个压力继电器,其中 $1YJ$ 与 $2YJ$ 用于柴油机与增压器的低负荷油压保护; $3YJ$ 与 $4YJ$ 用于柴油机与增压器的高负荷油压保护。油压继电器装在各自的机

油管道上，继电器的油缸与机油管路相通，其机油的变化直接反应到油压继电器上，当达到继电器整定的压力时，继电器动作。由起机控制电路已知， $1 \sim 2 YJ$ 的常开触点（21—48）接在 DLS 线圈的电路里。当柴油机在运行中，机油压力低于 $1.4 \sim 1.6$ 公斤/厘米²时， $1 \sim 2 YJ$ 常开触点断开，使 DLS 线圈断电，造成停机，实行了保护动作。 $3 \sim 4 YJ$ 常开触点（11—45，11—46）与 $3ZJ$ 常闭触点并联后，接在 LC 、 LLC 线圈的电路里，当主手柄在 $9 \sim 16$ 位时， $3ZJ$ 线圈（18—52）有电， $3ZJ$ 常闭触点断开， $3 \sim 4 YJ$ 常开触点接入电路，若此时机油压力低于 $2.4 \sim 2.6$ 公斤/厘米²时， $3 \sim 4 YJ$ 常开触点断开，使 LC 、 LLC 线圈失电，柴油机卸载，并使无载红色信号灯 $7XD$ 变亮，也实行了保护动作。所以在机车运行途中，若突然卸载或停机，而仅有无载信号灯显示时，即可从机油压力不足的方面去找原因。

二、柴油机水温保护电路

为了保证柴油机正常工作，柴油机冷却水温不应太高，为此设有水温继电器 WJ ，当水温超过允许值时，水温继电器动作，使柴油机卸载，实行水温保护。

东风₄型内燃机车柴油机的水温保护是用水温继电器 WJ （15—49）去控制中间继电器 $2ZJ$ （15—52）的，其电路示于附图1的15行42~54列中。当主手柄在2位以上时， KZ 的7号触点闭合，接入水温保护电路，一当水温超过 88°C ， WJ 常开触点闭合，使 $2ZJ$ 线圈得电。 $2ZJ$ 动作后：

（1） $2ZJ$ 常闭触点（10—45）断开，切断 LLC 、 LC 线圈电路，使柴油机卸载，无载信号灯 $7XD$ 变亮。

（2）414、415号线间 $2ZJ$ 常开触点（15—51）闭合，使 $2ZJ$ 自锁，只有主手柄回一位后才可使 $2ZJ$ 线圈失电。这就要求司机采取措施，降低水温，然后重新起车。

（3）348、369号线间 $2ZJ$ 常开触点（5—56）闭合使红色水温信号灯 $2XD$ 变亮。

待司机确认因水温高而卸载后，可断开机车控制按钮 $2K$ ，回主手柄至低位，空转降温（冷却风扇应旋转），若确认水温已降至 88°C 以下，可将主手柄回零，闭合机控 $2K$ ，主手柄提1位重新起车。当主手柄提至2位，水温红灯不亮也不卸载，说明确已降温，机车可进入正常运行状态。

三、柴油机曲轴箱防爆保护电路

柴油机在正常运行时，曲轴箱内的空气压力比较低，如10L207E型柴油机曲轴箱内的正常压力比大气压力低 $10 \sim 60$ 毫米水柱，16240ZA型柴油机曲轴箱略带微弱的正压力（不超过40毫米水柱）。当柴油机发生活塞裂纹或活塞环折断等故障时，会有大量燃气窜入曲轴箱，使曲轴箱内压力增高。若这时氧气足够，则曲轴箱内机油蒸汽和燃气会发生燃烧而爆炸，造成伤害事故。为此，柴油机应设防爆保护装置。

防爆保护的常用措施是用一个液位式继电器去检测曲轴箱的压力，当其压力达危险值时，液位式继电器动作，发出曲轴箱超压信号和采取必要的保护性措施。

东风₄型内燃机车防爆保护用液位继电器是一种U形管压力计，常称差示压力计，管内装有食盐水，管的一端通柴油机曲轴箱；另一端通大气，并在此端管口内装入两个互相绝缘的触针。当柴油机曲轴箱压力超过40毫米水柱时，把管内食盐水推向通大气的一侧，并使液面浸泡触针，使触针接通，保护电路起作用，用以发出超压信号。此差示压力计的两个触针即作为它的常开触点 $1CS$ 。此机车柴油机防爆保护电路示于附图1的22行43—54列中，用差示压

力计1CS (22—52) 去控制中间继电器4ZJ (22—52) , 由4ZJ去实现保护性动作。由电路可以看出: 在柴油机正常工作时, 4K是闭合的, 这时自然就把4ZJ线圈电路准备好, 一旦曲轴箱压力高于允许值, 1CS常开触点闭合, 使4ZJ线圈得电而动作。4ZJ动作后:

(1) 4ZJ常闭触点 (20—46) 断开, 切断DLS线圈电路和RBC线圈电路, 使柴油机停机。

(2) 445、2033号线间4ZJ常开触点 (22—52) 闭合, 4ZJ自锁, 欲使4ZJ线圈断电, 必须断开4K (或1K), 因为已经停机, 断开4K是自然的要求。

(3) 370、347号线间4ZJ常开触点 (4—56) 闭合, 使差示红色信号灯1XD亮。

司机在确认因差示压力计起作用而停机时 (其确认方法可从1XD变亮和差示压力计液面变化两方面鉴别之) 应妥善处置, 切勿急去打开曲轴箱盖排除超压燃气, 因燃气一经逸出, 遇氧后即行发生燃烧而爆炸, 造成严重人身事故。待排除故障后, 可重新闭合开关4K, 重新起机。

四、增压器防喘保护电路

增压柴油机有时会出现增压器喘振现象。根据目前对16240ZA型柴油机的试验, 当增压器压气机出口处的背压 (即柴油机进气管路内的压力) 较增压器涡轮进口处压力 (即柴油机排气管路内的压力) 高250毫米水银柱时, 将发生增压器喘振。所以就利用这个特征设置了东风4型内燃机车增压器防喘保护电路, 如附图1中25~27行46~50列范围所示。由附图1可见, 该电路是由差示压力计2CS (25—47)、放气阀1QF、2QF (26—49) 等组成。差示压力计2CS的原理结构如图5—11所示, 它与1CS的结构基本相似, 但管内装有水银, 并有三根触针。管的一端接在增压器压气机出口处, 反映压气机的背压; 另一端接增压器涡轮进口处, 反映柴油机排气压力, 并在此端管口内插入三个触针1、2、3, 作为2CS的两个常开触点 (1与2和1与3)。当压气机背压升高时, 管内水银被压向带触针的一端, 当液面高度差为210毫米水银柱时, 已接近发生喘振现象, 这时就使液面浸没触针1、2, 使之接通, 从电路来看, 就使1QF得电。1QF、2QF都是电磁阀, 安装在柴油机进气管上, 它一有电, 就把通路打开, 使进气管内的增压空气放掉, 2QF比1QF的放气量大。自1QF得电后, 就开始放气, 以避免背压升高, 防止喘振; 若背压还在升高, 使液面高度差达230毫米时, 又使触针1、3接通, 1QF、2QF同时得电, 更大量的放气, 这样就可以防止喘振现象发生。

在柴油机正常工作时, 2CS两管液面差最大仅为200毫米 (在16位时), 不会使防喘电路起作用。

电容 C_1 、 C_2 作用是协助触点灭弧。

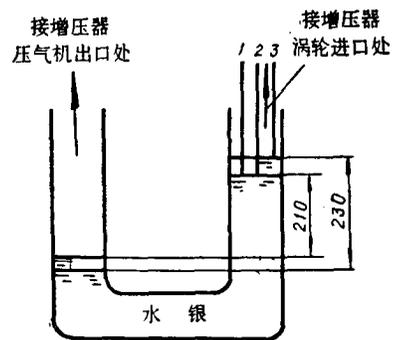


图 5—11 2CS结构原理图

第六章 电阻制动电路

在电力传动机车上，可以利用电机的可逆性原理，将牵引电动机（无论是交流还是直流）转变为发电机工况，用机车的动能反过来驱使牵引电动机发电，列车失去动能而减速。在内燃机车上，牵引电动机发出的电能只能消耗在制动电阻上（也有被局部用于列车取暖等方面），故称电阻制动，实质是一种能耗制动；在电力机车上，就有可能将发出的电能反馈给电网，故称再生制动，能量得到部分回收。

电阻制动时，牵引电动机的工作状态有了变化，相应的电路也应随之变化。现以直流牵引电动机为例，介绍电阻制动基本特性及其电路的工作原理。

§ 1. 电阻制动主电路及其保护

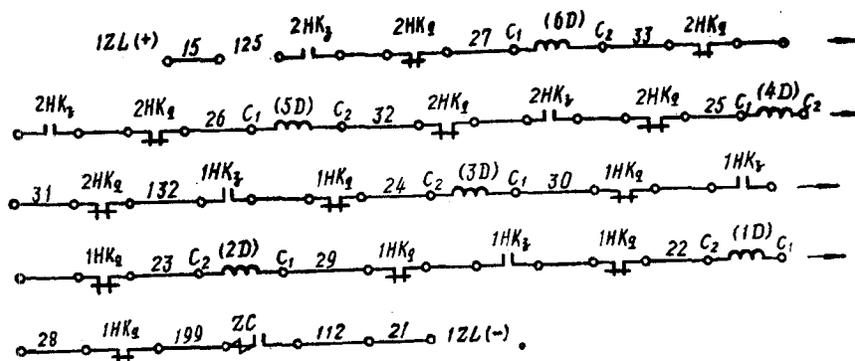
一、电阻制动的主电路

对电阻制动主电路的要求是使牵引电动机换接成发电机，并提供负载（制动电阻）电路，使牵引电动机得以发电。

1. 牵引电动机转变为他励发电机

从稳定制动特性和便于调节制动力来看，以采用他励发电机为好。为此应将牵引电动机的励磁绕组与其电枢绕组间的联接断开，改由他励电源对牵引电动机励磁绕组供电。对牵引电动机来说，牵引发电机即为现成的他励电源，所以一般就将全部牵引电动机的励磁绕组串联，由牵引发发电机供电。采用全部串联的目的是增加负载电阻值，使牵引发发电机在输出一定电流值的条件下，电压不致太低，以利调节和控制。

东风₄型内燃机车电阻制动时的主电路示于附图 1 的23~34 列中。在实行电阻制动时，制动接触器 ZC 动作，其 ZC 主触头（14—23）闭合，牵引—制动转换开关 1~2 HK₁₋₂ 转至制动位，全部 1~2 HK₁₋₂ 常开触点闭合，1~2 HK₁₋₂ 常闭触点断开，使电路由牵引工况转换至电阻制动工况，这时牵引发发电机对牵引电动机励磁绕组的供电电路（以前制为例，1~2 HK_{q-h} 仍在前进位）为：



牵引电动机励磁绕组有电后，被车轮拖转的电枢即可产生感生电势，对外供电，这时的外供电流称为制动电流（流过制动电阻的电流）。

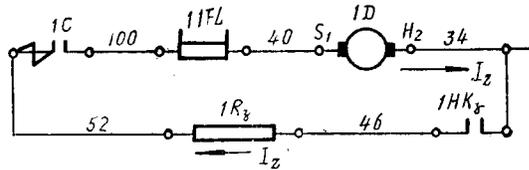
随着手柄位的提高，牵引发电机转速和电压也升高，牵引电动机的励磁电流在增加，使牵引电动机可以输出更大的制动电流，增加了电阻制动功率。

由于东风₄型内燃机车牵引电动机分路电流表也要显示制动电流值，为保持牵引和制动工况时流过电枢和分路电流表的电流方向不变，所以制动工况时的牵引电动机励磁电流方向与牵引工况时的相反。

2. 牵引电动机电枢与制动电阻接通

牵引电动机转变为他励发电机后，应对它提供负载电路，以消耗电能和产生制动力。牵引电动机的负载就是制动电阻 R_z ，在电阻 R_z 上，以热能的形式将电能消耗掉。

在东风₄型内燃机车上，一台牵引电动机向一组制动电阻供电，故制动电阻共六组，分别以 $1R_z \sim 6R_z$ 表示。每组制动电阻是由镍铬或铁铬铝带制成的，总阻值为 1 欧姆。在电阻制动时， $1 \sim 6C$ 仍应有电动作， $1 \sim 2HK_z$ 常开触点也已闭合，牵引电动机即开始向各制动电阻供电，如 $1D$ 的供电电路为：



电流从 $1D$ 电枢末端 H_2 流出，经制动电阻 $1R_z$ 后流回到首端 S_1 。其他电动机的电流通路相似。

为了在司机室内显示制动电流值，以使司机监视制动电路的工作情况，另加两块电流表 $1A$ （ $6-25$ ， $6-34$ ），分别与 $11A$ 、 $16A$ 并联，并安装在操纵台上（每端一块）。当电阻制动时， $1HK_z$ 常开触点（ $8-34$ ）、 $2HK_z$ 常开触点（ $8-24$ ）闭合，接通两个 $1A$ 的电路，使 $1A$ 有显示。

电阻制动时，主电路的变化已使原空转保护电路用电桥不存在，故应切断各空转保护继电器 $1 \sim 3KJ$ 的电路；而且电阻制动时的空转现象也是不严重的，可以不用保护。至于电阻制动时的前进——后退转换电路与牵引工况时完全相同，因为电阻制动也应该在前进和后退方向时同样实行。

二、电阻制动主电路的保护

1. 制动电阻的冷却

制动电阻有电流流过时将会发热，为加速热量逸散，提高制动功率，对制动电阻实行强迫通风冷却。

制动电阻一般装在柜子内，在柜内实行通风冷却。东风₄型内燃机车上六组制动电阻分成两柜，其中 $1 \sim 3R_z$ 装成一柜， $4 \sim 6R_z$ 装成另一柜。每柜内装有一个直流电动机通风机组，通风机电机取电于制动电阻，直接利用制动电流的一部分，这是比较合理的；而且制动电流愈大，制动电阻发热愈甚，而这时通风机电机得电也愈多，转速升高，通风效果加强，两者配合也较确当。因此尽量利用制动能量的方向是正确的，这即可增加制动功率，

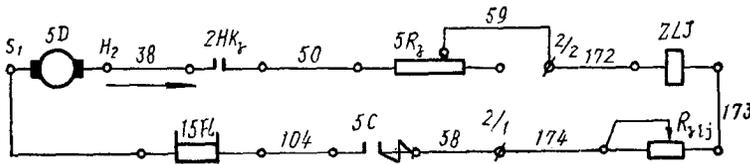
又可减少制动电阻上能量的消耗。

东风₄型内燃机车上的通风机电动机 $1RZD$ （5—24）、 $2RZD$ （7—31）分别取电于 $2R_2$ （5—25）、 $5R_2$ （7—31），一当 $2R_2$ 、 $5R_2$ 得电时，也使 $1\sim 2RZD$ 得电，开始对两个柜内的制动电阻进行通风冷却。若牵引电动机 $2D$ 、 $5D$ 发生故障时，只能停止实行电阻制动，不能象 $1D$ 、 $3D$ 、 $4D$ 、 $6D$ 那样可以切除它的工作，因为一切除 $2D$ 或 $5D$ ，即停止制动电阻的冷却，这是不允许的。

2. 制动过流保护

对于一定结构和通风能力的电阻柜来说，制动电阻的最高温度决定于制动电流的最大值。目前我国Cr20Ni80（镍铬合金）制动电阻的最高允许温度为 600°C ，按现有条件的电阻柜，其最大制动电流暂定为600安，为防止制动电流超过600安，设置制动过流保护继电器。

东风₄型内燃机车用制动过流继电器 ZLJ （6—30）和制动过流调节电阻 R_{y1j} （4—30）串联后接在制动电阻 $5R_2$ 的抽头上。当实行电阻制动时，在制动电流流过 $5R_2$ 的同时也使 ZLJ 线圈得电，其电路为：



电流是由 $5D$ 提供的。当制动电流达650安时，流过 ZLJ 线圈的电流达100毫安， ZLJ 动作：

（1） ZLJ 常闭触点（12—51）断开，切断 ZC 线圈（12—52）电路，停止实行电阻制动。

（2） ZLJ 常开触点（12—57）闭合，使制动过流信号灯 $8XD$ 变亮，显示过流信号。

这时司机应将主手柄回零位，检查电路工作情况。

§ 2. 电阻制动的励磁电路

一、对电阻制动励磁电路的要求

电阻制动时，机车上的一系列辅助设备如空气压缩机、辅助发电机等仍在工作，牵引电动机仍需要励磁和通风，所以柴油-发电机组不能停止工作。但由于牵引电动机励磁调节规律要适应电阻制动的要求，所以牵引发电机励磁电路也应作某些变化后才可投入工作。

电阻制动时，牵引发电机的励磁电路应该保证牵引电动机具有以下制动特性：

1. 牵引电动机励磁电流保持不变，以使制动力随机车速度的增加而增大

电阻制动时能产生制动力的原因是牵引电动机在发电机工况下需要驱动转矩 M ，而这转矩是车轮提供的，由此在轮缘上产生制动力 B 。驱动转矩 M 增加，轮周制动力 B 增加。

根据直流电机转矩公式 $M = C_M \phi I_a$ ，当励磁磁通 ϕ （对应一定的励磁电流）不变时，制动转矩 M 与制动电流 I_a 成正比。也就是说，在励磁电流不变时，随机车速度的增加，牵引电

动机转速增加，电压升高，在制动电阻值不变时其制动电流 I_z 必然增加，造成制动转矩 M 和机车制动力增加，这种制动特性在图 6—1 中以直线 OA 表示，即制动力 B 与车速 V 成正比。

这种制动特性有适应机车制动要求的一面：即随车速的增加，制动力在增加，以求减速；但也有不适应的一面：车速为零时制动力也为零，不能用电阻制动来使机车停止。因此在有电阻制动的机车上，空气制动系统还是必须的。

若要调节电阻制动力，可以改变牵引电动机的励磁电流，这时只要改变主手柄位即可。司机控制器主手柄位下降，牵引发机电电压下降，牵引电动机励磁电流减小，制动力 B 减小。在低手柄位时，励磁电流不变的电阻制动特性如图中直线 OA_1 、 OA_2 所示。

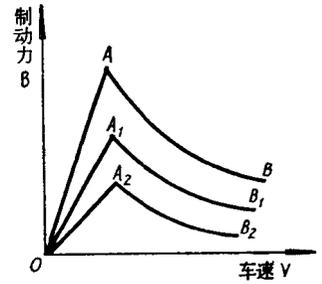


图 6—1 直流电机的电阻制动特性

2. 当制动电流达到最大允许值时，应实行恒功率制动

在励磁不变时，车速愈高，制动电流愈大。当制动电流达允许值（如 600 安）时，就应维持制动电流不变，实行恒流制动。由于制动电阻值不变，恒流制动也就是恒功率制动。恒功率制动特性在图 6—1 上用曲线 AB 表示，它是一条等边双曲线。由前已知，随车速的增加，若励磁电流不变，必然引起制动电流增加；现要保持制动电流不变，只有随车速的提高而减小励磁，这样才能实行恒功率制动。被恒定的制动电流愈小，制动功率愈小，曲线位置愈低，如曲线 A_1B_1 、 A_2B_2 所示。

二、实行电阻制动时的几种限制

1. 最大励磁电流的限制

牵引电动机的最大励磁电流决定于绕组的温升。电阻制动时，柴油机的负载很小，转速不宜太高，我国机车电阻制动时的最高主手柄位选为 12 位；当牵引电动机采用机械驱动式强迫通风时，电阻制动时的最大通风能力将比牵引工况时的弱，所以电阻制动时的最大励磁电流应比牵引工况时小。东风₄型内燃机车最大励磁电流暂定为 730 安（牵引工况时额定值为 800 安），也就是说，主手柄 12 位时的励磁电流为 730 安。若此时以图 6—2 中 OA 线代表最大励磁电流时的制动特性的话，则 1 位时的励磁电流最低，其制动特性将以线段 OP 表示。

2. 最大制动电流限制

最大制动电流受限于制动电阻和电机绕组的温升。目前最大制动电流暂选为 600 安，其对应的曲线如图 6—2 中 JK 所示。

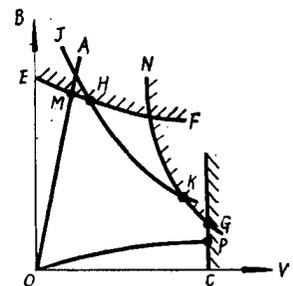


图 6—2 电阻制动特性范围

3. 牵引电动机换向火花限制

直流电机换向器表面出现火花是换向不良的表现，造成的原因是很复杂的。从电磁方面的原因来说，换向火花的大小与电枢电流、电机转速和磁场削弱情况密切相关。一般来说，电枢电流愈大、电机转速愈高、磁场削弱愈甚，换向火花愈大。在电阻制动时，最大换向火花等级常发生在大制动电流、高车速的情况下。因为，随车速的提高，在保持制动电流不变时，牵引电动机磁场在连续削弱中，促使换向条件恶化；而且车速提高，电动机转速增大，

换向更趋困难。在实验条件下，使换向火花不超过允许等级时的电阻制动特性如图 6—2 中 NKG 曲线所示，曲线以下火花变小，为允许运行区；曲线以上火花变大，为不允许运行区。这条曲线也可用理论计算的方法得到，它是在保持电抗电势 e_r （在数值上它是换向元件内自感电势与互感电势之和，常用近似公式计算，是一个标志换向条件的重要参数）为某一允许值时，制动电流与车速的变化关系。

4. 机车粘着条件的限制

当电阻制动力超过轮周粘着制动力时，车轮带不动牵引电动机，因而轮周与轨面发生滑动摩擦，这是不好的，因而应使最大制动力小于粘着制动力。粘着制动力如图 6—2 中曲线 EF 所示，它比粘着牵引力值为小。

5. 机车最大速度的限制

此限制线以 GC 表示。

综合以上各种限制，使允许的电阻制动工作范围如图 6—2 中 $OMHKGPO$ 线段包围的面积。

三、东风₄型内燃机车电阻制动的励磁电路

1. 电路简介

设置电阻制动励磁电路时应尽量利用原有牵引工况时的电路，但还应增加某些调节环节，以适应电阻制动的要求。

在东风₄型内燃机车上，牵引发电机本身的励磁电路在两种工况下相同，但在励磁机的励磁电路里加入制动励磁电阻 R_{zt} (11—14) 二极管 D_1 和 D_2 制动电流调节电阻 R_{zi} (6—30) 等，现将其摘绘于图 6—3。当实行电阻制动时，637、638 号线间的 $2HK_3$ 常闭触点 (13—14) 断开，将 R_{zt} 接入，减小励磁机的励磁电流（因为这时牵引发电机的电压很低，最高才 40~50 伏，应该减小励磁电流）；同时，660、661 号线间的 $1HK_3$ 常开触点 (7—15) 和 658、659 号线间的 $2HK_4$ 常开触点 (7—14) 闭合，引入 R_{zi} 产生的制动电流负反馈作用，以实行恒流制动调节。

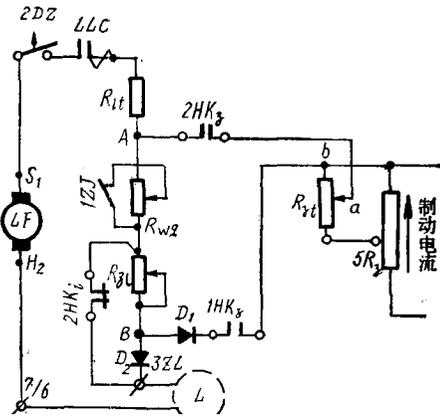


图 6—3 电阻制动时的励磁电路

2. 电路工作过程

(1) 电阻制动励磁电路投入工作后，测速发电机 CF 向励磁机 L 的励磁绕组供电，其电流通路为： CF 的 S_1 端 → 650 → 7/7 → 649 → 2DZ → 626 → LLC → 628 → R_{it} → 629 → R_{wz} （主手柄 2 位以上时，1ZJ 常开触点闭合， R_{wz} 被短路）→ 635 → R_{zt} → 636 → Z_6 → 3ZL 的 D_2 → Z_7 → 639 → 7/5 → 646 → L → 648 → 7/6 → 647 → CF 的 H_2 端。

(2) 励磁机获得励磁，也使牵引发电机获得励磁，牵引发电机开始对 $1D \sim 6D$ 的励磁绕组供电，牵引电动机开始发电，机车产生制动力。

(3) 随着车速的增加，机车制动电流也在增大。只要制动电流小于 600 安时，由 R_{zt} 上产生的制动电流信号电压并不能反馈到励磁机的励磁电路里来，这是因为这时在电阻 R_{zt} 上

a 、 b 两点的电压降 U_{ab} 小于励磁机励磁电路 A 、 B 两点间的电压降 U_{AB} ，在 $U_{ab} < U_{AB}$ 时， $3ZL$ 中的二极管 D_1 起阻断作用，励磁机励磁电流不会分流到 R_{z1} 分支电路中去，好象此分支电路断开一样，只要主手柄位不变，励磁机励磁电流也不变，牵引电动机的制动力随车速的增加而增加，即按前述的 OA 制动特性线工作。

(4) 当主手柄在 12 位的制动电流 $I_z = 600$ 安时， $U_{ab} = U_{AB}$ ，电路处于临界状态。一旦制动电流 $I_z > 600$ 安， $U_{ab} > U_{AB}$ ，使 $3ZL$ 中的 D_1 处于导通状态， R_{z1} 上的信号电压 U_{ab} 反馈到励磁电路中，从而对励磁电流产生影响； R_{z1} 上的部分电流分流至励磁电路（由于 $U_{ab} > U_{AB}$ ），使 U_{AB} 增大；由于 CF 的电压不变（因主手柄位未变）， U_{AB} 的增大必然导致励磁机励磁绕组两端的电压下降，使它的励磁电流减少。由此也导致牵引电动机励磁电流减少，阻止制动电流的增加，就是利用这种电流负反馈作用来保持制动电流基本不变，以实行前述 AB 曲线所示的恒功率制动。

改变电阻 R_{z1} 上滑臂点 a 的位置，可以调节被恒定的制动电流值 I_z 。

(5) 当主手柄位降低时， CF 电压下降， L 的励磁电流减小， U_{AB} 电压也减小，使负反馈起作用时的 U_{ab} 减小，则被恒定的制动电流值 I_z 变小。也就是说，在一定主手柄位下，在电阻制动励磁电路的控制下，对应有一条完整的电阻制动特性 OA_1B_1 （见图 6—1）；主手柄位提高，电阻制动特性曲线位置提高，如 OAB ；主手柄位降低，特性曲线位置降低，如 OA_2B_2 。但在所有的主手柄位下，电阻制动特性曲线不能超越图 6—2 所示的电阻制动特性范围。

(6) 如果在实行电流负反馈的励磁调节过程中，万一出现 U_{ab} 大于 CF 电压的情况，则会使 L 的励磁电流方向相反，尽管如此，同步励磁机仍可正常工作，但是这时的负反馈作用变成了正反馈作用； U_{ab} 愈大 $\rightarrow L$ 的励磁电流愈大 $\rightarrow L$ 的电压愈高 \rightarrow 牵引电动机励磁电流增加 \rightarrow 制动电流增加 $\rightarrow U_{ab}$ 更高，依此循环下去是不允许的，为此加有二极管 D_2 (12—15)，使之不会出现反向励磁电流。

在电阻制动时，柴油机总是工作在欠载状态，联合调节器的功率伺服马达处于增载极瑞位，功率调节电阻 R_g 全部短路（不再参加励磁调节作用），造成 CF 的励磁电流增大，为补偿之，在电阻制动时，641、642 号线间的 $2HK_2$ 常闭触点（2—13）断开，将电阻 R_{z1} （2—13）全部接入，以满足电阻制动时牵引发电机励磁电流减小的要求。

3. 电阻制动特性

东风₄型 0001 号货运机车的实际电阻制动特性如图 6—4 所示，在主手柄 12 位时的最大轮周制动力（特性曲线的顶点）约 21700 公斤，对应的车速为 35.4 公里/时，励磁电流为 647.5 安，制动电流为 516.5 安，轮周制动功率为 2850 马力。该车在恒功率制动区段内制动电流随车速的增加有所增长，当车速达 67.2 公里/时时制动电流达 606.2 安，励磁电流为 286.5 安，机车轮周制动力为 16720 公斤，制动功率达 4160 马力，超过了牵引功率，由此可见，电阻制动的潜力是很大的。

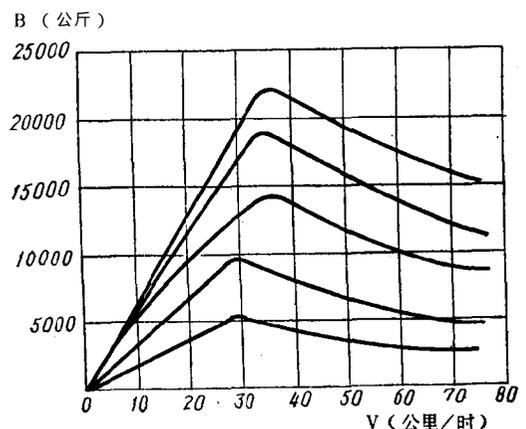


图 6—4 东风₄型 0001 号机车实际电阻制动特性

§ 3. 电阻制动的控制电路

一、实行电阻制动时的操作

当机车在运行中欲实行电阻制动时，按下列程序进行操作：

1. 主手柄逐步回至零位，使主电路、励磁电路失电，保证电路在无电状态下转换。
2. 反向手柄置于制动位（前制或后制），使牵引——制动转换开关转至制动位，完成电路由牵引状态至制动状态的转换。
3. 主手柄从零位提至 1 位，接通 LLC 、 $1\sim 6C$ 、 LC 、 ZC 电路，开始实行电阻制动。

主手柄位愈高，制动力相应增大。司机可根据当时机车运行情况，适当调节主手柄位，以使机车具有合适的运行速度。

二、东风₄型内燃机车电阻制动的控制电路

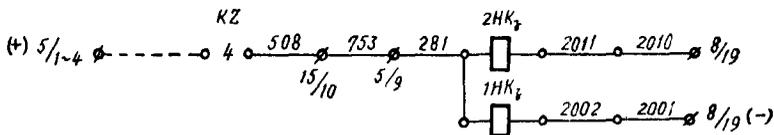
1. 主手柄回至零位时

主手柄回零位时，先使 LC 、 LLC 失电，后使 $1\sim 6C$ 失电，由此切断励磁电路和主电路。

2. 反向手柄置于制动位时

当反向手柄由牵引位转至制动位时，引起电路变化如下：

- (1) KZ 的 3 号触点断开，使牵引电空阀 $1\sim 2HK_1$ 失电。
- (2) KZ 的 4 号触点闭合，使制动电空阀 $1\sim 2HK_2$ (8—52) 得电，其电路为：



$1\sim 2HK_2$ 线圈得电后，使牵引——制动转换开关转至制动位，除引起前述的主电路、励磁电路进行变换外，还引起的电路变化有：

(甲) $1HK_2$ 常闭触点 (19—55) 断开，切断 $1\sim 2XC_{1\sim 2}$ 线圈电路，停止实行磁场削弱。

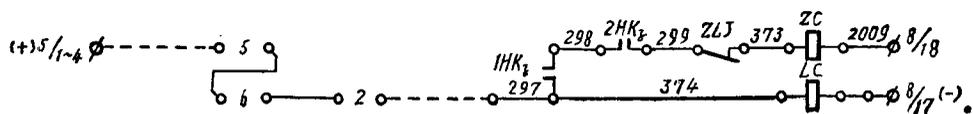
(乙) 200和218号线间 $1HK_2$ 常闭触点 (21—29)、219和201号线间 $1HK_2$ 常闭触点 (13—25)、203和220号线间 $2HK_2$ 常闭触点 (13—29) 断开，切断 $1\sim 3KJ$ 线圈电路，停止实行空转保护。

(丙) 306和311号线间 $1HK_2$ 常闭触点 (12—46)、309、319号线间 $2HK_2$ 常闭触点 (12—49) 断开，使 $2GK$ 、 $5GK$ 的常开触点失去作用，切除 $2D$ 或 $5D$ (通过 $2C$ 或 $5C$) 即会使 LC 、 ZC 失电，停止实行电阻制动。

(丁) $1HK_2$ 常开触点 (8—34)、 $2HK_2$ 常开触点 (8—24) 闭合，接入制动电流表 $1A$ ，显示制动电流值。

3. 主手柄从零位提至 1 位

主手柄从零位提至 1 位后，依次使 $LLC \rightarrow 1 \sim 6C \rightarrow ZC$ 、 LC 线圈有电， LLC 、 $1 \sim 6C$ 、 LC 线圈电路与牵引工况时相同，而 ZC 线圈电路（以前制为例）为：



由电路可见， ZC 与 LC 同时得电。 ZC 动作后：

（甲） ZC 主触点（14—23）闭合，接通各牵引电动机的励磁电路，牵引电动机开始发电并产生制动力，电阻制动开始；

（乙） ZC 常开触点（17—57）闭合，使绿色信号灯 $13XD$ 变亮，显示电阻制动信号。

提高主手柄位，即可提高电阻制动功率。

第七章 照明及仪表电路

照明电路用以对机车各部分进行照明，显示机车标志和点亮头灯等；仪表电路是用电测仪表显示所测读数。这些电路比较直观，故直接以东风₄型内燃机车为例，介绍电路的一般工作情况，其电路示于附图 1 的 68~86 列。

§ 1. 照明电路

一、照明电路电源

照明电路通过照明开关 ZMK (12—59、20—69) 直接接在蓄电池组的正负端，不受蓄电池组开关 XK 的控制。辅助发电机不工作时，照明电路由蓄电池组供电；辅助发电机工作后，在向蓄电池组充电的同时也向照明电路供电。

照明开关 ZMK 闭合后，蓄电池组对照明、仪表电路供电。蓄电池组正端经 $ZMK \rightarrow 1003 \rightarrow 5/5 \sim 6$ ；蓄电池组负端经 $ZMK \rightarrow 1004 \rightarrow 8/5 \sim 8/1$ 。由此形成照明电路的正负接线柱。

在使照明、仪表电路正式工作之前，应先闭合自动开关 $11 \sim 13DZ$ 和 $17 \sim 24DZ$ ，以实行有关电路的过电流保护。

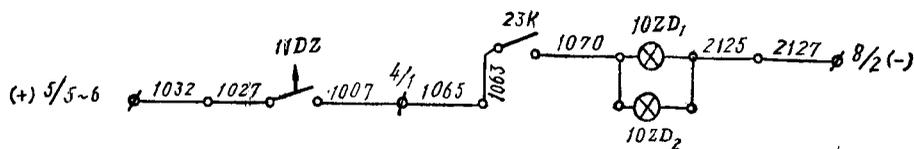
二、车体及车底灯电路

1. 车体内各照明灯电路

车体内照明灯计有冷却室灯、左车体灯、右车体灯、电器柜灯等，其电路示于附图 1 的 1~8 行 69~86 列范围内。

(1) 冷却室灯电路

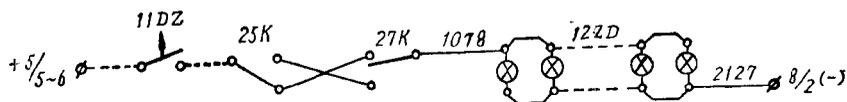
闭合冷却室内的开关 $23K$ (1—73)，使 $10ZD_1$ 、 $10ZD_2$ (1—76) 有电，其电路为：



灯亮，对冷却室进行照明。

(2) 左、右车体灯电路

车体内左右两侧走道上装有数个照明灯，灯用开关装在走道的两端，均可对照明灯进行控制。如闭合左走道前端的开关 $25K$ (2—73)，可使六盏左车体灯 $12ZD$ 亮，其电路为：



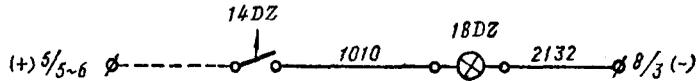
在所绘电路中，开关 $27K$ 于常闭位，闭合 $25K$ （常开位接通）使照明灯 $12ZD$ 有电；若 $27K$ 在常开位时，可将 $25K$ 置于常闭位，也可使照明灯有电。若在左走道的后端时，无论 $25K$ 在什么位置，也可用 $27K$ 对照明灯进行控制。

同理，用 $26K$ （4—73）或 $28K$ （4—79），也可对右车体灯进行控制，其电路见附图 1 的 4 行 68~86 列。

左、右车体灯电路中的插座以供另行接灯用。

（3）电器柜灯电路

闭合电器柜侧壁上的自动开关 $14DZ$ （8—70）可使柜内照明灯 $18ZD$ （8—80）点亮，其电路为：



2. 车底灯及型号灯电路

车底灯及型号灯电路示于附图 1 的 5~7 行 68~86 列范围内，可以用任一端司机室内的转换开关 $5ZDK$ （7—73，7—81）进行控制。 $5ZDK$ 共有四个位置：

（1）空位：全部切断电路；

（2）型号灯位：使 $5ZDK$ 的 1—2 号触点闭合，接通 I 端司机室左右窗下外侧车壁上的型号灯 $16ZD_1$ 、 $16ZD_2$ （7—75），用以显示本机车的型号。在电路图中，I 端型号灯 $16ZD_{1\sim 2}$ 画在左侧，II 端型号灯 $17ZD_{1\sim 2}$ （7—84）画在右侧。

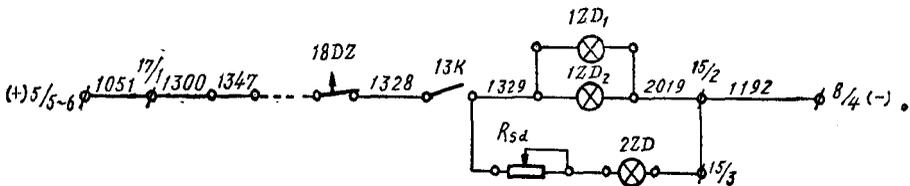
（3）车底灯位：使 $5ZDK$ 的 5—6 号触点闭合，接通车底下前后转向架的照明灯 $15ZD$ （前转向架用灯画在左侧，后转向架用灯画在右侧）。

（4）车底灯、型号灯位：同时使 $5ZDK$ 的 1—2、3—4 号触点闭合，同时接通车底灯及型号灯电路。

三、司机室内各照明用灯电路

1. 仪表灯电路

闭合 I 端操纵台上的开关 $13K$ （15—73），可使仪表照明用灯 $1ZD_1$ 、 $1ZD_2$ （15—75）点亮；同时也使速度表照明用灯 $2ZD$ （15—75）点亮，其电路为：



2. 电表灯

电表灯用 24 伏电源，闭合 I 端的开关 $14K$ （17—73）可使灯 $4ZD_1 \sim 4ZD_{10}$ 点亮，对十块电测仪表进行照明。

3. 点牌灯

点牌灯用以照明列车运行时刻表及司机记事，灯有活动灯罩，灯开关直接安装在灯座上。闭合 I 端开关 21K (16—74)，即使点牌灯 3ZD (16—76) 点亮。

4. 司机室灯

闭合 I 端开关 11K (18—73)，使司机室灯 5ZD (18—76) 亮。

在 II 端对以上各灯的控制方法相同。

、 前后头灯

目前机车用行车头灯多为汞氙灯，它具有发光效率高、射程远、寿命长等优点。

1. 汞氙灯的结构与组成

汞氙灯由两部分组成，一部分是灯泡，另一部分是激发器。

灯泡是由厚石英玻璃制成，内充 2—3 个大气压的氙气和一定量的汞（水银）珠。灯有两个电极，一个阳极（正极），短而粗；一个阴极（负极），细而长。目前灯具上灯泡的位置是阳极在下，阴极在上，不可接错极性，否则影响发光效率和寿命。

激发器用以将直流电变成高频高压电，使灯泡内氙气电离而导电，激发灯泡点燃发光（车用辅助电源电压太低，不能激发灯泡点燃）。灯泡点亮后亮度很大，直接近距离照射可伤害眼睛和皮肤，调整使用时应注意。

2. 汞氙灯工作原理

(1) 汞氙灯电路

汞氙灯电路如图 7—1 所示，它由机械式振子 M ，第一升压变压器 T_1 ，高频谐振电路 C_3 、 W_3 、 S ，第二升压变压器 T_2 ，及灯泡 L_p 等组成：

(甲) 机械式振子

机械式振子的结构原理如图 7—2 所示，它用了个带触点的簧片，平时簧片使触点 M 闭合，形成通路； W_5 是个电磁线圈，通电后产生吸力，可将簧片吸下，使触点 M 断开。

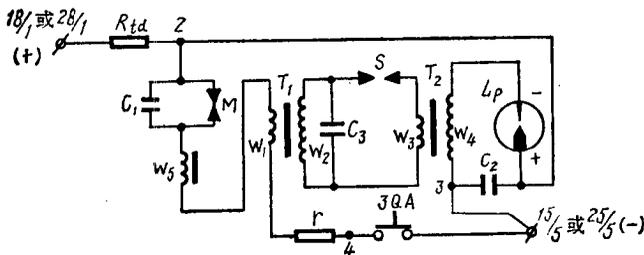


图 7—1 汞氙灯电路

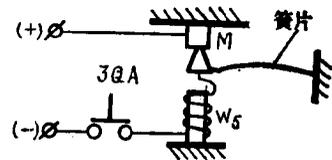


图 7—2 振子原理图

当闭合起动按钮 3QA 时，先使 W_5 得电，它产生吸力即把 M 断开， M 的断开又造成 W_5 失电； W_5 失电后即失去吸力，又造成 M 闭合，又使 W_5 得电； W_5 得电又使 M 断开。由此造成触点 M 处于不断振动中，故称之为振子。

造成 M 不断振动的目的在于使电路一通一断，使 T_1 的 W_1 （见图 7—1）在直流电源下产生交变脉冲电势。

闭合 $3QA$ ， M 振动并出现小火花，表示振子工作正常；若电路完好，而无火花，则可调整弹簧片的弹力，使 M 振动并有小火花出现。

(乙) 第一升压变压器 T_1

激发电源电压为110伏，这对点燃灯泡是远远不够的，先要用 T_1 升压， T_1 的变压比为110/4000使 W_2 内感应3~4千伏电压。

(丙) 高频振荡电路

由电容 C_3 、 W_3 组成了 LC 谐振电路。一当 W_2 产生电压后，即对 C_3 充电，接着 C_3 、 W_3 间形成高频振荡，其频率远远大于机械振子 M 的振动频率。 M 振动一次，对 C_3 充电一次，接着 C_3 、 W_3 出现持续的高频电磁振荡现象，振荡持续的时间，决定于电路的阻尼情况。

电路里 S 是个火花隙。在3~4千伏电压下， S 即被击穿。 S 击穿后参与导电，它一方面可起振荡的显示作用（有火花即表示在谐振中），另一方面也起个电阻作用，增强振荡的阻尼，以使 $3QA$ 一松开，即行停止振荡（即很快被阻尼停振）。

在调整时，保持 S 有恰当的间隙，以使出现火花。调正应在无电时进行，以防高压击伤。

(丁) 第二升压变压器 T_2 和灯泡 L_p

灯泡点燃电压约30~40千伏，故还用 T_2 进一步升压， T_2 变压比为1/10，这时在 T_2 之 W_4 内产生的是高频高压交流电，此交流电加在灯泡 L_p 上，保证可将 L_p 内氙气电离，并参与导电，氙气导电后加热汞珠，使汞珠蒸发，也参与导电并发光，灯泡点亮。

灯泡点亮后即行松开 $3QA$ ，以延长激发电器和灯泡的使用寿命。

(戊) 其它元件的作用

电容 C_2 是隔直电容，在激发灯泡时，加在 L_p 上的是高频交流电， C_2 相当于短路， W_4 的电压加在 L_p 上；激发停止后，直流电源加在 L_p 上，使 L_p 继续发光，这时 C_2 相当于断路，起隔直作用，防止电源正负极间短路；

电源 C_1 作旁路电容，协助 M 灭弧。当 M 断开时， W_5 、 W_1 有续流作用，将在 M 间拉弧，并联 C_1 后， M 断开的瞬间电流由 C_1 旁路，减弱 M 断开时的电弧，保护触点表面；

电阻 R 作限流电阻；

电阻 R_{1d} 作降压电阻。

3. 前后头灯 TD 的控制电路

前后头灯 TD 各有一个，分别由两司机室内转换开关 $4ZDK$ 控制。闭合 I 端司机室内的 $4ZDK$ （19—73，安装在操纵台上），使电源加到前头灯 TD （19—75）上，再闭合 I 端的起动按钮 $3QA$ （20—73，也安装在操纵台上）时，激发 TD ，灯亮后松开 $3QA$ 。附图1头灯 TD 电路中的端子 T_2 、 T_3 、 T_4 与图7—1中打黑点的接点2、3、4相对应。

五、标志灯电路

1. 标志灯的用途

按《铁路管理技术规程》第323条规定：“列车应根据其种类及运行的线路和方向，在头部和尾部分别显示不同的列车标志”。所以在内燃机车的前后头部左右两侧都设有显示列车标志的白色和红色标志灯。

2. 标志灯电路

东风₄型内燃机车各有白、红标志灯各四个，其中前左、后右白标志灯为 $6ZD$ ，前右、

后左为白标志灯为7ZD；前左、后右红标志灯为9ZD，前右、后左红标志灯为8ZD，如图7—3所示，即同符号灯采取对角布置。白标志灯有亮、暗、灭三种工况，可兼起行车照明用；红标志灯仅亮、灭两种工况。

标志灯电路示于图20~26行，各标志灯分别用开关控制，例如I端的白标志灯转换开关1ZDK（21—71）在“后左照灯亮”（20—68方框内的标注）位时，1ZDK的1—2号触点闭合，经1ZDK的1—2号触点→1353→18/3→1173→（联线束）→1173→6/14→1023→4R_{di}→……→7ZD（后左白标志灯）亮；又如15K（23—71）闭合时，经15K→1364→18/11→1181使8ZD（前右红色标志灯）亮，这也正如方框（23—68）内“前右红灯”所注。其它控制情况相同，只要根据列车运行需要，将相应开关置于适当位置，即可使各标志灯显示应有的灯光信号。

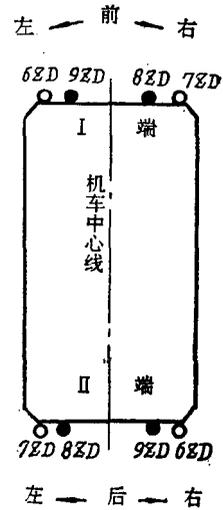


图7—3 标志灯在机车头部的布置

§ 2. 仪表电路

机车上装有温度表、压力表、速度表、转速表等数种电测仪表。

一、电测温度表

东风₄型内燃机车装有两种温度表1WB、2WB，分别用于测定柴油机冷却水温度和机油温度。每司机室内各装一套，全车共有四套电测温度表，它们同属一个类型，原理完全相同。

1. 电测温度表的组成

本车采用DY602-T型电测温度表，它由温度表本体WB、温度表发送器WBF（实际上是个感温元件）和电源附加装置DF三部分组成。DF用以对温度表WB提供稳定电压，WBF用以对WB提供被测介质温度变化的信号，温度表本体接受了温度变化的信号后显示出被测介质的温度。

2. 电测温度表电路

DY602-T型电测温度表电路如图7—4所示。

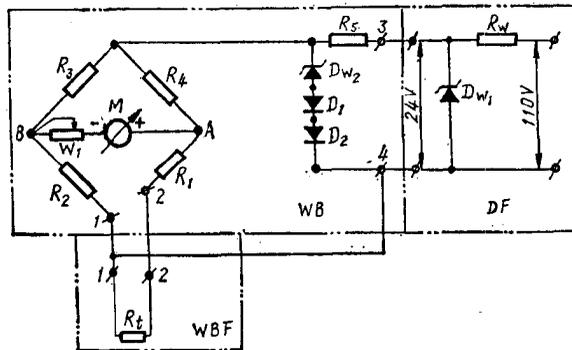


图7—4 电测温度表电路图

(1) DF 电路

在 DF 中,由电阻 R_w 、稳压管 D_w 组成稳压电路,使输入的110伏变成24伏。若车上有24伏稳压电源,此装置可以取消。

(2) WB 电路

WB 电路接 DF 电路之后,再经 R_s 、 D_w 进行稳压, D_1 、 D_2 对 D_w 实行温度补偿,提高电路的热稳定性。经再次稳压后的电压加在电桥电路上。电桥由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和电阻 R 组成,在电桥两端点 A 、 B 间接入表头 M 。当 WBF 内电阻 R_t 处于 0°C 的介质中时,使电桥处于平衡状态, A 、 B 两点电位相等,表头 M 内无电流流过,表针指示为零;当 WBF 中电阻 R_t 不处于 0°C 的介质中时,电桥平衡被破坏,有电流流过表头 M ,表针指示有读数。如电阻 R_t 处于 $t^\circ\text{C}>0^\circ\text{C}$ 介质中时,破坏了电桥平衡, A 点电位高于 B 点,使表头内有电流从 A 流向 B ,表头 M 指针指示为 $t^\circ\text{C}$ 。在实际工作中, R_t 所处介质总是大于 0°C 的,所以 WB 内电桥电路总是处于不平衡状态的,按其不平衡程度的大小,指示出对应的温度。

通过电位器 W_1 的调整,可以校正读数。

(3) WBF 电路

WBF 本身电路很简单,仅为一个电阻 R_t ,它用铂丝或铜丝绕成(东风₄型内燃机车用铂丝绕成),绝缘后装在保护套管内,再插入被测温度的介质中。当 R_t 受热而温度升高时, R_t 阻值增大;当温度降低时, R_t 电阻值减小。 R_t 阻值的变化,反映了介质温度的变化。在图7-4的电路中, R_t 即作为电桥 R_1 桥臂中的一部分,温度升高, R_t 电阻增加,必使电桥端点 A 电位升高,流过表头 M 的电流增大,表针指示读数增加,以显示升高了的温度。

3. 电测温度表控制电路

每司机室各有电测温度表两个,1 WB 和2 WB 。I端司机室内机油温度表1 WB 电路示于附图1的9~10行,闭合仪表开关12 K (10-73)后,接通本司机室所有电测仪表的电源。电源正端经5/5~6→17/1→17 DZ →12 K → DF_1 的正端,而 DF_1 的负端经2105线→15/2→8/4(-)。 DF_1 的输出加到1 WB (10-74)的接线柱“3”和“4”上,而1 WBF (10-77)发来的信号接入1 WB 的接线柱1和2上(电路中各部分的接线柱号与图7-4中相符)。

由此使1 WB 显示被测机油温度。

2 WB 电路与1 WB 相同,用以显示柴油机冷却水温度。

二、电测压力表

本车电测压力表为DY602-P型,其基本原理与DY602-T型相似。

1. DY602-P型电测压力表电路

DY602-P型电测压力表电路如图7-5所示,它也由压力表本体 YB 、电源附加装置 DF 和压力表发送器 YBF 三部分组成。其与图7-4相比有两点不同:一是用压力传感器代替温度传感器,用压力传感器内的杠杆系统改变电阻 R_v 的数值,以改变电桥不平衡的程度;另一点不同的是,电桥的负端点接在电阻 R_v 的滑臂3上,滑臂位置的改变,同时改变 R_1 、 R_2 桥臂内的电阻,以使电桥工作灵敏。

压力传感器是装在被测压力介质的管道上,介质压力直接作用到感力传感器上。当被测介质无压力时,传感未受到压力作用,使电桥处于平衡状态,表头 M 无电流流过,指针指向

零；当被测介质压力升高时，被测介质压缩传感器内的波纹膜片，推动芯杆向上移动，带动滑臂移动，减小 R_1 桥臂内的电阻，增加 R_2 桥臂内的电阻，电桥平衡被破坏，有电流流过表头 M ，表针指示值增大。现在表头上直接刻写压力读数，表针直接指示被测介质的压力值。

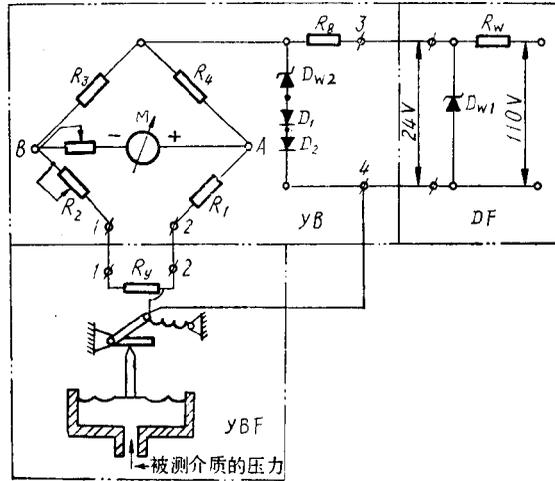


图 7—5 电测压力表电路

2. 电测压力表控制电路

电测压力表共有四个，每司机室内两个，用 $1YB$ 测柴油机机油压力，用 $2YB$ 测燃油压力。

$1YB$ 电路示于图 12~12 行范围内。12K 闭合后， DF_3 (13—74) 与电源接通， DE_3 的输出加在 $1YB$ (12—74) 的接线柱 3 和 4 上， $1YBF$ (12—76) 发来的压力信号加在 $1WB$ 的接线柱 1 和 2 上，同时 $1YBF$ 的 3 与 $1YB$ 的 4 接通。 $1YB$ 接受发送来的压力信号后即可显示压力值的读数，表示被测机油系统的压力值。

$2YB$ 的电路与 $1YB$ 相似，用以显示燃油的压力。

三、机车速度表

本车用 DJS-150 型速度表，用以显示机车速度和累计走行公里数。

机车速度表电路在一 7 电路图上未全部表示出来，现绘于图 7—6，它由电传感器和直流电压表两部分组成。传感器是个测速发电机，作为表的附件，用 $1CF$ 表示自动过渡控制电路中所需要的车速信号电压也是由它产生的，即两者共用一个测速发电机 $1CF$ 。当列车运行时， $1CF$ 发出电压信号，它经表中的三相桥式整流电路和电阻—电容滤波器电路后，再供电给电表表头 M 。机车速度愈高，整流滤波后的电压愈高，表头指示读数愈大。现表头

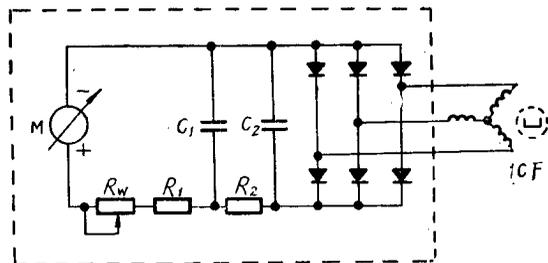


图 7—6 机车速度表电路

直接刻以速度值，以显示机车速度。

电位器 R_w 用以校正读数。

速度表中累计里程表部分图中未予示出，因为它是机械式计数器，直接通过棘轮驱动，与 $1CF$ 一起安装在车轴轴头上。

机车速度表共两个，每司机室各一个，两表各配一个测速发电机。前轴的测速发电机与过渡电路公用。

四、柴油机转速表

为了在司机室内显示柴油机转速，用 $DY602$ 型电测转速表，其电路如附图 1 中 17~22 行 13~15 列所示。它是用一个测速发电机 $2CF$ 对两个转速表 $1n$ （在 I 端司机室）和 $2n$ （在 II 端司机室）供电。转速表电路示于图 7-7，其基本原理与机车速度表相似，也将输送来的三相交流电经整流之后加在电压表表头上，表头刻以转速（转/分）值，直接显示柴油机的转速。柴油机转速愈高， $2CF$ 的电压也愈高（ $2CF$ 由柴油机凸轮轴带动），表头指示读数愈大。

与表头 M 并联的电容 C 起滤波作用，以使表针指示稳定。

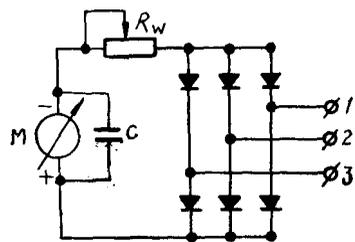


图 7-7 电测转速表

第八章 液力传动内燃机车电路

§ 1. 液力传动内燃机车电路的特征

一、电路图的组成

液力传动内燃机车与电力传动内燃机车本质上的差别在于主传动系统的不同，即柴油机至机车动轴间功率传递方式不同：一种是用液力的方式，组成以液力变扭器为中心的液力传动装置；另一种是用电力的方式，组成以牵引电机为中心的电力传动装置。作为内燃机车的电路图自然也就反映出这种差别：在液力传动内燃机车电路上没有以牵引发电机为中心的主电路和励磁电路；而其他电路都是为机车正常运行所必须的，与电力传动机车所包括的内容大致相似。

一般来说，液力传动内燃机车电路图由以下几部分组成：

(1) 辅助设备电路：即辅助发电机、蓄电池组及各驱动电动机电路，常用粗线条画出。

(2) 机车操纵电路。

(3) 保护及信号显示电路。

(4) 照明及仪表电路。

下面分析液力传动内燃机车电路原理时，不再按上列分类逐个介绍，而是按机车操作程序，把各个电路间连贯起来介绍，并着重分析与电力传动内燃机车电路的差异点。

二、电路图的类型

液力传动内燃机车电路图的类型不尽相同，有的采用原理配线图，有的按机床电路图的类型来绘制机车电路图。

从本质上来说，机床电路图是原理电路图，但考虑到实际配线的需要，对电路中的元件和导线作了适当的编号。这种电路图的基本特征是这样的：

(1) 绘出电气设备的全部电气元件，并标注出它的文字符号。

(2) 按电路原理绘制电路图，电气元件间尽量反映实际联接情况，但对等电位点间的联接情况可以不按实际情况绘出。

(3) 在编制电路图时的联线号时，原则上是一根联线用一个线号，但对等电位点上的所有联线可以用同一个线号标注。

例如，在一个接线点上引出二根或三根线时，这些线都是等电位的，可以用同一个线号标注；又如，有数个接线点通过导线联接起来后，这些接线点也是等电位点，这些接线点上的所有联线都用同一个线号表示。也就是说，在这种电路图上，有时一个线号可以代表数根导线，这是与原理配线图不同的地方。

(4) 在电路图上，接线端子一般不予绘出，但在配线时，可按实际需要附设接线端子，并在实物上编号，以便检查和配线。

这种类型的电路图可使图面清晰，突出电路的主要环节，但对电路图中等电位点间导线

的联线顺序，从电路图中是难以看出来的，因为实际配线时，等电位点间的联线是按电气元件安装的实际位置就近配线的。这只有在了解了配线的实际情况之后，才能知道全部实际电路的来龙去脉，一有故障即可找到故障点。由于这种配线方法有一定的灵活性，一张电路图可以有不同的配线方式，造成电气设备配线规律有差异，所以对于成批生产的产品来说，应力求配线规律统一，以利于使用和维修。

三、东方红〈3〉型液力传动内燃机车电路图概貌

尽管液力传动内燃机车电路图的类型有不同，但国产液力传动内燃机车的电路原理是基本相同的。东方红〈3〉型液力传动内燃机车是按原理电路图绘制机车电路的，下面就以此图为例，介绍液力传动内燃机车电路的基本原理。在具体分析电路之前，先对东方红〈3〉型内燃机车电路作一概括性介绍。

1. 电路图布局

东方红〈3〉型内燃机车是双机组机车，用的是12V180ZL型柴油机，1500转/分时的额定功率是1350马力，液力传动装置是SF2010型，由两个液力变扭器组成。机车功率为2700马力，双司机室，可以实行机车重联。

东方红〈3〉型内燃机车电路如附图2所示，此图与原厂制电路图在排列上稍有差别，全图按横向分成两张，各分成几个有机的组成部分；为了读图的方便，全图共分成83行，从上至下，由左而右依次排列（1~46行为附图2a，47~83行为附图2b）；若电路图中的一个有机组成部分在上下方向布置不开时，向右移开，其间同号带箭头的联线是衔接的。

图中所用元件的文字符号如附表4所示。

2. 电路图的组成

此电路图由以下几部分组成：

机车控制电路，包括柴油机启动、机车起动和调速控制电路等部分；机车辅助设备电路，包括启动发电机（1ZQF、2ZQF）及电压调整器（1DTQ、2DTQ）、空气压缩机电动机（ZD₁、ZD₂）、机油泵电动机（ZD₃、ZD₄）、燃油泵电动机（ZD₅、ZD₆）、预热锅炉控制箱（YRX）、外电源装置（WDY）等部分，其中主要电机电路用粗线绘出，表示是此机车的主电路；空气压缩机电动机的控制电路，用以对空气压缩机进行自动或手动控制；风扇控制电路，其中包括撒砂、风笛及机车超速保护电路；逆变器及其选择开关电路；电测仪表电路，用以显示柴油机机油和水的温度与压力；信号灯电路有两套，每个司机室一套；照明电路；柴油机转速表、机车速度表及车轮空转保护电路等。

3. 电路供电情况

（1）机车供电电源

机车供电电源是蓄电池组XDC和辅助发电机1ZQF、2ZQF。

本车用的是6Q-182型酸性铅蓄电池，共48个单节，96伏电压，10小时放电容量为182安时，比东风4型内燃机车用的DG-420型蓄电池（10小时放电容量为420安时）小，对连续启动两台12V180ZL型柴油机来说尚感容量不足，故用两组并联。蓄电池组正端经蓄电池组开关DCK→101→1FL→2FL→113，并以113号线作电路的正端线；蓄电池负端经开关DCK→102，并以102号线作为负端线。113、102号线各有许多根，但都是等电位线，故用113和102分头代表这些线群。

蓄电池组充放电电流由电流表1A（I端司机室）、2A（II端司机室）显示，电压由

1V (I 端)、2V (II 端) 显示。

由于东方红 < 3 > 型内燃机车两套柴油机-液力变速箱机组工作情况完全一样，可在任意一端司机室内进行操纵，所以下面介绍电路时，就以机组 I 为例，并在 I 端司机室内进行操作，仅对机组 II 和 II 端司机室操纵时有差异的地方加以必要的说明，其余就不再重复。

当机组 I 的启动发电机 1ZQF 作辅助发电机时，其电枢正端 $H_1 \rightarrow 219 \rightarrow$ 起动保护接触器 $1QBC_2$ 的常开主触点 $\rightarrow 135 \rightarrow RD_3 \rightarrow 125 \rightarrow$ 分压电阻 $1FY \rightarrow 117 \rightarrow$ 逆流装置用二极管 $1D_1$ 、 $1D_2 \rightarrow 217 \rightarrow 1QBC_1$ 常开主触点 $\rightarrow 113$ ，也依此作正端线；其电枢负端 $H_2 \rightarrow 102$ ，也作为负端线。

在 1ZQF 工作时，它的电压由电压调整器 1DTQ 调节，电压稳定在 110 伏。东方红 < 3 > 型内燃机车用的是 DTQ-1 型晶体管式电压调整器，它的工作原理请阅其他有关资料。车上用的 1DTQ 电压调整器是带有过流保护装置的，过电流信号从分压电阻 1FY 取出，当 1FY 上流过电流达 200 安时，1DTQ 内的过电流保护装置起作用，自动切断辅助发电机励磁。

机车供电电源经总控制开关 ZGK 对外电路供电，以 601 作总电源正线，600 作总电源负线。

(2) 机车操纵电路电源线

当闭合自动开关 ZDK_1 、 ZDK_2 后，总电源线 601、600 与操纵电路电源线 301 (正)、300 (负) 接通，可以对操纵电路供电。

前已提到，在附图 2 这种原理电路图里，同一线号的等电位线群是未反映出实际联接顺序的，如操纵电路的正电源线 301、负电源线 300 在附图 2 里是按原理要求绘出的，它的实际配线情况将如图 8-1 所示。由图 8-1 中可以看到，从 ZDK_1 引出的正端线 301 先接至 II 端司机室电器柜内的接线端子，进而接至 II 端和 I 端副操纵台内的接线端子，再由 I、II 端

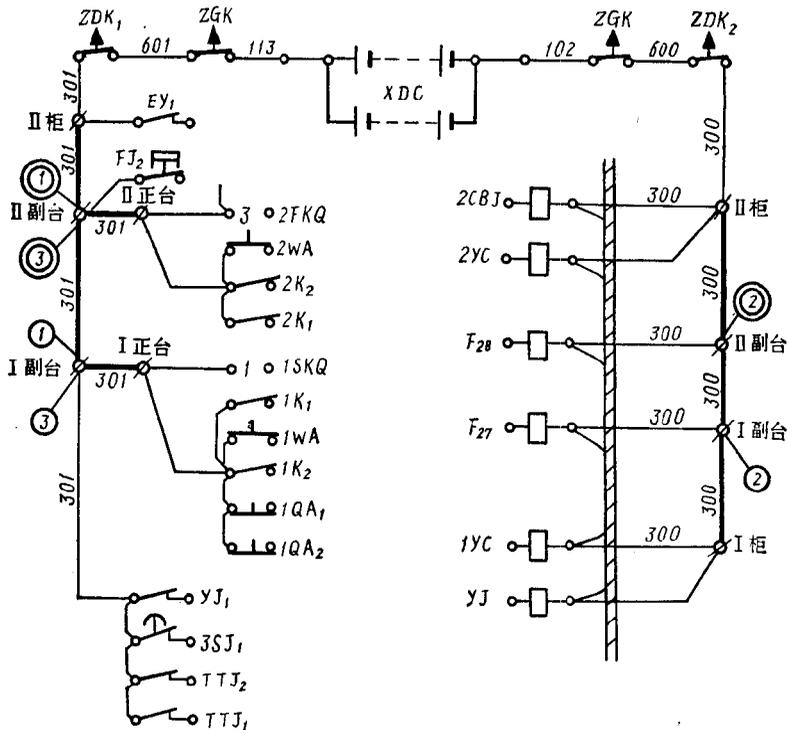


图 8-1 机车操纵电路正负电源线配线图

副操纵台向 I、II 端正操纵台和各分支电路联线，使各分支电路可以得电；各分支电路间的联接方法是按就近原则进行的。从 ZDK_2 引出的负端线 300，也先接至 II 端的电器柜，进而联接至 II 端副操纵台、I 端副操纵台和电器柜，再由 I、II 端的副操纵台和电器柜按就近的原则接至有关电器线圈的负端。控制电路中的所有电器线圈的负端先按就近原则彼此联接起来，再通过图示的几根联接线把所有电器的负端与电源负端接通。了解了配线情况之后，就可以掌握每条分支电路中电流的来龙去脉，有利于查找故障和检查。

(3) 其他电路的电源线

其他电路的电源正负端线都是通过相应的自动开关与总电源正、负端线 601、600 接通，以求得电，这与操纵电路得电的情况一样。这里仅对逆变器 NBQ 和逆变器选择开关 NXK 配合使用情况作一介绍。

自动开关 ZDK_7 、 ZDK_8 闭合后，逆变器正负电源线 701、700 与总电源线 601、600 接通，再通过插接器 CZ_5/CT_5 、 DZ_6/CT_6 和 CZ_7/CT_7 、 CZ_8/CT_8 与逆变器选择开关 NXK 接通。 NXK 有三个位置、8 对触点，当选用逆变器对仪表、信号灯电路供电时， NXK 置于 N 位，其 1、2、3、4 号触点闭合，逆变器经触点 1、2 和导线 703、704 对信号灯电路供电；再经触点 3、4 和导线 603、602 对电测仪表电路（61~64）供电。当逆变器发生故障时，可直接选用蓄电池组的 12 个单节对上述电路供电，这时应将 NXK 置于 X 位，其 5、6、7、8 号触点闭合，1、2、3、4 号触点断开，则蓄电池组中距负端第 12 个单节的正极引出的 991 号线 → ZDK_{25} → 993 → 5 号触点 → 703；蓄电池组负端线 102 → ZDK_{26} → 990 → 6 号触点 → 704。经 703、704 也可对信号灯电路供电。同时蓄电池组中的 12 个单节经触点 7、8 与 603、602 接通，也可对电测仪表电路供电。

4. 重联线

在附图 2 中绘出了机车的重联线。重联线用于机车重联，以使一个司机可以操纵两台以上的机车，增加列车牵引功率。在东方红 3 型内燃机车上，两端头部各有一个重联插座，再用一根专用的重联插销插入两台机车的重联插座内，两台机车的电路彼此沟通，可以实行重联操作。

重联插座内有多插座头，每个插座头连一根导线，均予编号，插座头号标注在一个圆圈内。对于 I 端重联插座内的插座头号用单线圆表示，如 1 号插座头表示为 ①；对于 II 端重联插座内的插座头号用双线圆表示，如 1 号插座头表示为 ②。重联插座内各插座头号直接绘于附图 2 的电路中，因为插座内各插座头本来就与机车电路沟通的。重联插座内各插座头编号及机车两端头部插座间的联线情况示于附图 2，例如两端的 1 号插座头用 301 号线联接起来，此 301 号线即为附图 2 电路中的 301 号线，也就是说两端的 1 号插座头与电路图中的 301 号接通；又如 I 端的 5 号插座头与 II 端的 6 号插座头连在一起并与电路图中的 501 号线接通，等等。

重联插销是一根两端带插销的电缆线，作为机车的一个附件，其两端插销内也有多个插销头，插销头也予编号。编号时，使对接的插销头与重联插座头同号。

在机车重联时，两个重联机车对接端头部的重联插座就用重联插销联接起来，使两车的电路沟通。例如，一台本务机车与重联机车重联时，使本务机车的 I 端头部与重联机车的 II 端（当然也可以是 I 端）头部对接，本务机车 I 端插座内的 1 号插座头（接 301 号线）经重联插销内的 1 号插销头与重联机车 II 端插座内的 1 号插座头（接重联机车 301 号线）接通，由此也将两车电路中的 301 号线接通。其他电路的沟通情况也与此相似，都可通过重联插销而彼此联接起来，以期实行重联操纵，多机同时运行。

东方红〈3 0型内燃机车重联时，启动柴油机的电路未彼此沟通，只能各车自行启机，然后进行重联运行。

§ 2. 柴油机启动电路

一、启机前的准备

1. 机车整备良好。
2. 闭合蓄电池组开关 DCK ，检查蓄电池组电压为 96 伏。
3. 闭合总控制开关 ZGK 和各自动开关 $ZDK_{1\sim 4}$ ，接通各电路的电源。
4. 两端司机室内司机控制器 1、2 SKQ 手柄置于 0 位，反向控制器 1、2 FKQ 手柄置于中立位。

在液力传动内燃机车电路图上，常习惯地将司机控制器分成两个部分，主手柄控制的部分称速度控制器，以 SKQ 表示；反向手柄控制的部分称反向控制器，以 FKQ 表示，其作用仍保持不变。

5. 将温度选择开关置于水温位，以显示柴油机冷却水温度，水温不足时应予预热。

在东方红〈3〉型内燃机车上用一个电测温度表表头配两个感温元件，可以分别显示柴油机冷却水温和机油油温，但这时要配一个温度选择开关。启机时要测知柴油机冷却水温，这时应将两个机组的温度选择开关 $1WZK$ 、 $2WZK$ 置于水温位（图中的 1 位），使表头 $1T_1$ 、 $2T_1$ 分别与水温表发送器 $1TS_1$ 、 $2TS$ 接通，显示机组 I、II 的柴油机冷却水温。对于 12V 180ZL 型柴油机来说，启机水温不应低于 40°C ，水温不足时，可用预热锅炉预热。

二、柴油机启动

12V180ZL 型柴油机无甩车工况，但对久停不用的柴油机启机时，应先打开缸头气塞，开动辅助机油泵，充填必要的机油，再行盘车，以免发生“水锤”现象。

考虑到蓄电池组的容量，机车上的两台柴油机应分别启机，一般要求先启动后机，再启动前机（启机控制电路联锁，两机也无法同时启机）。

启机步骤如下：

1. 闭合燃油泵开关，以使燃油泵工作。

由于东方红〈3 0型内燃机车有两个司机室和两套燃油泵电动机组，所以在电路图中有四个燃油泵开关，其中 $1K_1$ 、 $1K_2$ 设在 I 端司机室，分别控制 1 号和 2 号燃油泵机组； $2K_1$ 、 $2K_2$ 设在 II 端司机室，也分别控制 1 号和 2 号燃油泵机组。当在 I 端司机室操纵时，闭合 $1K_1$ ，使 1 号燃油泵接触器 $1RC$ 有电，其电流通路为：电源正线 $301 \rightarrow 1K_1 \rightarrow 565 \rightarrow 1RC$ 线圈 \rightarrow 电源负线 300 。 $1RC$ 共有三对触头，当 $1RC$ 有电动作后：

① $1RC_1$ 主触点闭合，使 1 号燃油泵电动机 ZD_5 有电，驱动燃油泵工作，对两台柴油机的喷油泵供油。

1 号燃油泵电动机 ZD_5 的电流通路为：

$$XDC (+) \rightarrow 113 \rightarrow ZDK_{20} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 193 \rightarrow 1RC_1 \rightarrow ZD_5 \text{ 电枢} \\ ZD_5 \text{ 励磁绕组} \end{array} \right\} \rightarrow 102 \rightarrow XDC (-)。$$

② $1RC$ 常开触点闭合，为机组 I 启动机油泵接触器 $1YC$ 有电作准备。

由于 $1YC$ 线圈要经过启动按钮 $1QA_1$ (或 $2QA_1$) 得电, 尽管电路中 $1RC_2$ 常开触点闭合, 在 $1QA_1$ (或 $2QA_1$) 未按下时 $1YC$ 也无法得电, 所以 $1RC_2$ 常开触点的闭合, 仅作 $1YC$ 有电的准备工作。

③ $1RC_3$ 常开触点闭合, 为机组 II 启动机油泵接触器 $2YC$ 有电作准备。

当闭合 $1K_2$ 时, 可使 2 号燃油泵电动机 ZD_6 得电工作, 其电路与 ZD_5 相似。实际上一台燃油泵工作后, 即可满足两台柴油机工作的需要, 不必同时启用两个燃油泵机组。

2. 闭合柴油机启动按钮, 先行预充机油, 后行启机。

① 闭合 I 端司机室机组 I 的柴油机启动按钮 $1QA_1$, 先使启动机油泵接触器 $1YC$ 有电。

在两端司机室内主手柄均置于 0 位时, $1SKQ$ 、 $2SKQ$ 的 6 号触点是闭合的; 由于 $1RC$ 已有电, $1RC_2$ 常开触点闭合; 由于水温已达 40°C , $1CWJ_3$ 常开触点也闭合。所以在闭合 $1QA_1$ 后, $1YC$ 即行得电, 其电路为: $301 (+) \rightarrow 1SKQ$ 的 6 号触点 $\rightarrow 335 \rightarrow 2SKQ$ 的 6 号触点 $\rightarrow 401 \rightarrow 1QA_1$ 常开触点 $\rightarrow 403 \rightarrow 1CWJ_3$ 常开触点 $\rightarrow 409 \rightarrow 1RC_2 \rightarrow 411 \rightarrow 1YC$ 线圈 $\rightarrow 300 (-)$ 。

② $1YC$ 动作后, 使机组 I 启动机油泵电动机 ZD_3 有电。

$1YC$ 动作后:

(甲) $1YC_1$ 主触点闭合, 使机油泵电动机 ZD_3 有电 (其电路与 ZD_5 相似), 开始对机组 I 柴油机充填机油。

(乙) $1YC_2$ 常闭触点断开, 切断机组 I 启动——辅助发电机 $1ZQF$ 的励磁绕组电路, 勿使其发电, 以减轻启机时的负荷。

当预充机油压力达 0.4 公斤/厘米² 时, 机组 I 柴油机机油道压力继电器 $1RYJ_2$ 动作, 使时间继电器 $1SJ$ 有电。

随着机油泵的工作, 柴油机机油道压力在提高, 当油压达 0.4 公斤/厘米² 时, $1RYJ_2$ 动作, 接通 $1SJ$ 线圈电路: $301 (+) \rightarrow 1QA_2$ 常闭触点 $\rightarrow 423 \rightarrow 2QA_2$ 常闭触点 $\rightarrow 425 \rightarrow 1RYJ_2$ 常开触点 $\rightarrow 1SJ$ 线圈 $\rightarrow 300 (-)$ 。由于这时 $1QA_2$ 、 $2QA_2$ 并未按下, $1QA_2$ 、 $2QA_2$ 常闭触点是闭合的, 所以在 $1RYJ_2$ 常开触点闭合后, 即可使 $1SJ$ 得电。

④ $1SJ$ 得电后, 延时 20 秒使柴油机 I 的启动接触器 $1QDC$ 、时间继电器 $2SJ$ 、 $3SJ$ 有电。

$1SJ$ 延时时间为 20 秒, 即 $12V180ZL$ 型柴油机预充机油 20 秒后已认为足够, 可开始启机。 $1SJ$ 动作后:

(甲) $1SJ_1$ 延时闭合常开触点闭合, 使 $1QDC$ 得电, 其电路为: $301 (+) \rightarrow 1SKQ$ 的 6 号触点 $\rightarrow 335 \rightarrow 2SKQ$ 的 6 号触点 $\rightarrow 401 \rightarrow 1QA_1$ 常开触点 $\rightarrow 403 \rightarrow 2SJ_1$ 延时断开常闭触点 $\rightarrow 405 \rightarrow 1SJ_1$ 延时闭合常开触点 $\rightarrow 407 \rightarrow 1QDC$ 线圈 $\rightarrow 300 (-)$ 。

(乙) $1SJ_2$ 延时闭合常开触点闭合, 但由于 $1QA_2$ 未按下, 柴油机 II 的启动接触器 $2QDC$ 不会得电, 但说明, $1SJ$ 也可用于柴油机 II 的启机。

(丙) $1SJ_3$ 延时闭合常开触点闭合, 可使 $2SJ$ 、 $3SJ$ 得电。

⑤ $1QDC$ 动作后, 开始启动柴油机 I。

$1QDC$ 有电动作后:

(甲) $1QDC_1$ 主触点 (31) 闭合, 使启动发电机 $1ZQF$ 的串励绕组与电路接通, 其电路为: $XDC (+) \rightarrow DCK \rightarrow 101 \rightarrow RD_1 \rightarrow 137 \rightarrow 1QDC_1$ 主触点 $\rightarrow 139 \rightarrow$ 串励绕组 $\rightarrow 1ZQF$ 的换向极绕组和电枢 $\rightarrow 102 \rightarrow DCK \rightarrow XDC (-)$ 。蓄电池组向 $1ZQF$ 供电, 拖动柴油机转

动起来，喷油泵也开始向气缸内喷油，柴油机将因气缸内燃油爆发而开始工作。

(乙) 1QDC₂常闭触点断开，切断1号空气压缩机起动继电器1DJ (28) 电路，启机时空气压缩机电动机不能得电，以免启机时加负荷。

⑥ 2SJ 有电延时 3 秒动作，切断启机电路。2SJ 动作后：

(甲) 2SJ₁ 延时断开常闭触点断开，切断上述的1QDC线圈电路，使1QDC释放，停止启机电路的工作。也就是说，12V180ZL 型柴油机在被拖转 3 秒钟时间内，喷入气缸的燃油已经燃绕，启机工作已经完成，故需切断启机电路，以免蓄电池无谓放电。所以在1QDC 有电 3 秒钟后，司机即可松开启动按钮1QA₁，启机已经完成，即使不松开1QA₁，启动电路也自行切断。

若在 3 秒内柴油机未能启动，即属故障，应寻找原因并予以排除。

(乙) 2SJ₂ 延时断开常闭触点断开，切断2QDC 电路。这说明2SJ 也可用于切断柴油机 II 的启动电路。

⑦ 3SJ 有电延时 5 秒动作。它只有一对延时闭合常开触点 3SJ₁，其闭合后接通起动保护触器 1ZQF 电路，使电流从 301 (+) → 3SJ₁ → CYJ₁ 常闭触点 → $\begin{matrix} 1QBC \\ 2QBC \end{matrix}$ 线圈 → 300 (-)，1QBC 因得电而动作：

(甲) 1QBC₁、1QBC₂ 主触点闭合，接通1ZQF 辅助发电机工况电路，为1ZQF 电枢对外供电提供通路。其电枢正端通路为：1ZQF 电枢正端 H₁ → 218 → 1QBC₂ → 135 → RD₃ → 125 → 1FY → 117 → 1D₁、1D₂ → 211 → 1QBC₁ → 正电源线 113；其电枢负端通路为 1ZQF 负端 H₂ → 负电源线 102。

在此电路中设了两个1QBC 的主触点，目的是用1QBC₁ 切断1ZQF 与电源正线间的联系，用1QBC₂ 切断1ZQF 的串励（启动）绕组与电压调整器 1DTQ 间的联系，防止启动柴油机时串励绕组产生的操作过电压对1DTQ 造成的损害。

(乙) 1QBC₃、1QBC₄ 常开触点闭合，接通1ZQF 的他励绕组电路，使他励绕组得电，1ZQF 开始发电。这里多用一个触点1QBC₃ 的目的是切断他励绕组与1DTQ 间的联系，防止启动柴油机时，因串励绕组通断电在他励绕组（这两个绕组绕在同一磁极上）内感生的电势对1DTQ 造成的损害。

在3SJ 有电后，也可使2QBC 有电而动作，接通2ZQF 电路。如果这时2ZQF 已在发电状态（因柴油机 II 已先启动），2QBC 的动作即使使2ZQF 对外供电，对机组 I 也无影响；如果这时2ZQF 未发电，2QBC 的动作也不能使2ZQF 发电；又由于 2ZQF 电路里有逆流二极管 2D₁、2D₂，所以也不会使蓄电池组电流向 2ZQF 倒灌。

⑧ 松开1QA₁，切断1YC 电路，停止启动机油泵电动机 ZD₃ 的工作，柴油机的润滑由柴油机本身的机油泵（常称主机油泵）维持，保持油压大于 0.4 公斤/厘米²，使1SJ 继续有1QDC 仍处于工作状态，维持1ZQF 对外供电电路通畅。

至此柴油机 I 启动完毕，总结上述启动过程，其启动程序为：闭合 1QA；先预充机油

20秒后 (1SJ) 拖动柴油机转动并启机 $\left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow{3\text{秒后 } (2SJ)} \text{停止拖动柴油机转动} \\ \xrightarrow{5\text{秒后 } (3SJ)} \text{1ZQF 开始发电 (1QBC)} \end{array} \right\} \rightarrow \text{松}$

开 1QA₁。启机完毕。

柴油机 II 的启动

柴油机 II 的启动用 1QA₂，其启动程序与柴油机 I 一样，1SJ、2SJ、3SJ 为两机共用。

在柴油机 I 启动后, $1SJ$ 、 $2SJ$ 、 $3SJ$ 已有电, 但在一下下柴油机 II 的启动按钮 $1QA_2$ 时, $1QA_2$ 的常闭触点断开, 使 $1SJ$ 、 $2SJ$ 、 $3SJ$ 相继失电, 为柴油机 II 的机油管道压力继电器触点 $2RYJ_2$ 常开触点控制 $1SJ$ 作好准备。在两台柴油机均启动之后, $1SJ$ 、 $2SJ$ 、 $3SJ$ 均保持有电状态, 使 $1\sim 2QBC$ 有电, $1\sim 2ZQF$ 开始对外供电。

三、柴油机停机

1. 紧急停机

在紧急情况下停机时, 可按下停机按钮 $1TA_1$ 或 $2TA_1$ (机组 I) 和 $1TA_2$ 或 $2TA_2$ (机组 II), 分别使两台柴油机的停机电空阀 F_{10} 和 F_{20} 有电, 控制用风进入调速器纵操风缸内的停车阀, 把供油齿条拉杆推至停油位, 柴油机 I 和 II 分别停机。

2. 正常停机

在正常情况下, 应使柴油机缓慢停机, 从满负荷降到空负荷不少于 30 秒, 空转运行使水温降到 65°C 以下, 这时才可停机。

正常停机的操作顺序是这样的: 停空气压缩机 \rightarrow 停发电 \rightarrow 停机 \rightarrow 停燃油泵。先停机后停燃油泵是乘务人员在实际工作中积累的一种经验。如果先停燃油泵而迫使柴油机停机, 则可能造成燃油管路发生抽空现象, 进入部分空气, 若再行起机, 将会造成喷油泵内充气而不能启机。在 $12V180ZL$ 型柴油机燃油管路中未设排气阀, 排除燃油管路中的空气是比较麻烦的, 所以要先停机后停燃油泵, 保证燃油管路内燃油充沛。

停止 $1\sim 2ZQF$ 发电可以这样操作: 同时按下 $1QA_1$ 、 $1QA_2$, 使 $1SJ$ 、 $2SJ$ 、 $3SJ$ 失电, $1\sim 2QBC$ 失电, $1\sim 2ZQF$ 停止发电。如果不先停止 $1\sim 2ZQF$ 发电, 靠柴油机停机后而自然停止发电, 这将可能损害电压调整器。因为电压调整器内流过晶体管的电流就是 $1\sim 2ZQF$ 的他励电流, 转速愈低, 励磁电流愈大。在停机过程中, 柴油机转速急骤下降, 而电压调整器为维持 $1\sim 2ZQF$ 电压不变, 就要急骤增大励磁电流, 以致超过允许值而烧坏晶体管。所以不停止发电就停机, 在操作程序上是不允许的。

在停止 $1\sim 2ZQF$ 发电后, 可再按下停机按钮 $1TA_1$ 、 $1TA_2$ (这时 $1QA_1$ 、 $1QA_2$ 勿松开), 即可停机。若在按下 $1TA_1$ 、 $1TA_2$ 时松开 $1QA_1$ 、 $1QA_2$, 又使 $1SJ$ 、 $2SJ$ 、 $3SJ$ 得电, $1\sim 2ZQF$ 又发电, 达不到先停发电后停机的要求。

停机后, 即可断开 $1K_1$ 、 $1K_2$, 停止燃油泵的工作。

§ 3. 机车换向电路

一、换向的方法

液力传动内燃机车运行方向的变换是利用机械式换向机构去改变液力变速箱内输出齿轮的啮合顺序, 在保证变速箱输入轴转向不变的条件下改变输出轴的转向, 以完成机车的换向。

在换向机构里有个换向风缸, 用两个电空阀分别控制换向风缸两侧的进风, 使风缸活塞可以往复移动, 促成机车前进 (或称方向 I) 与后退 (或称方向 II)。

当司机将反向控制器 FKQ 手柄 (即反向手柄) 置于前进位时, 其前进 (方向 I) 电空阀有电, 使换向风缸活塞被推至前进位, 机车按前进方向运行; 当反向手柄置于后退位时,

其后退（方向Ⅱ）电空阀有电，使换向风缸活塞被推至后退位，机车按后退方向运行。对于双机组的机车，两个机组是采用中心对称布置的，只有使两个机组的液力变速箱输出轴转向相反时才能同时使机车前进或后退，因此两个机组内的换向风缸活塞动作方向相反。

为了说明换向机构的动作过程，引用了东方红〈30型内燃机车液力传动装置控制原理图，其换向机构部分如图8—2所示，在图中，换向电空阀11共有3个，其中11a称为换向限制电空阀，用以控制换向机构用风的来路；11b称为方向Ⅰ（前进）电空阀，用以实行机车前进方向运行的控制；11c称为方向Ⅱ（后退）电空阀，用以实行机车后退方向运行的控制。

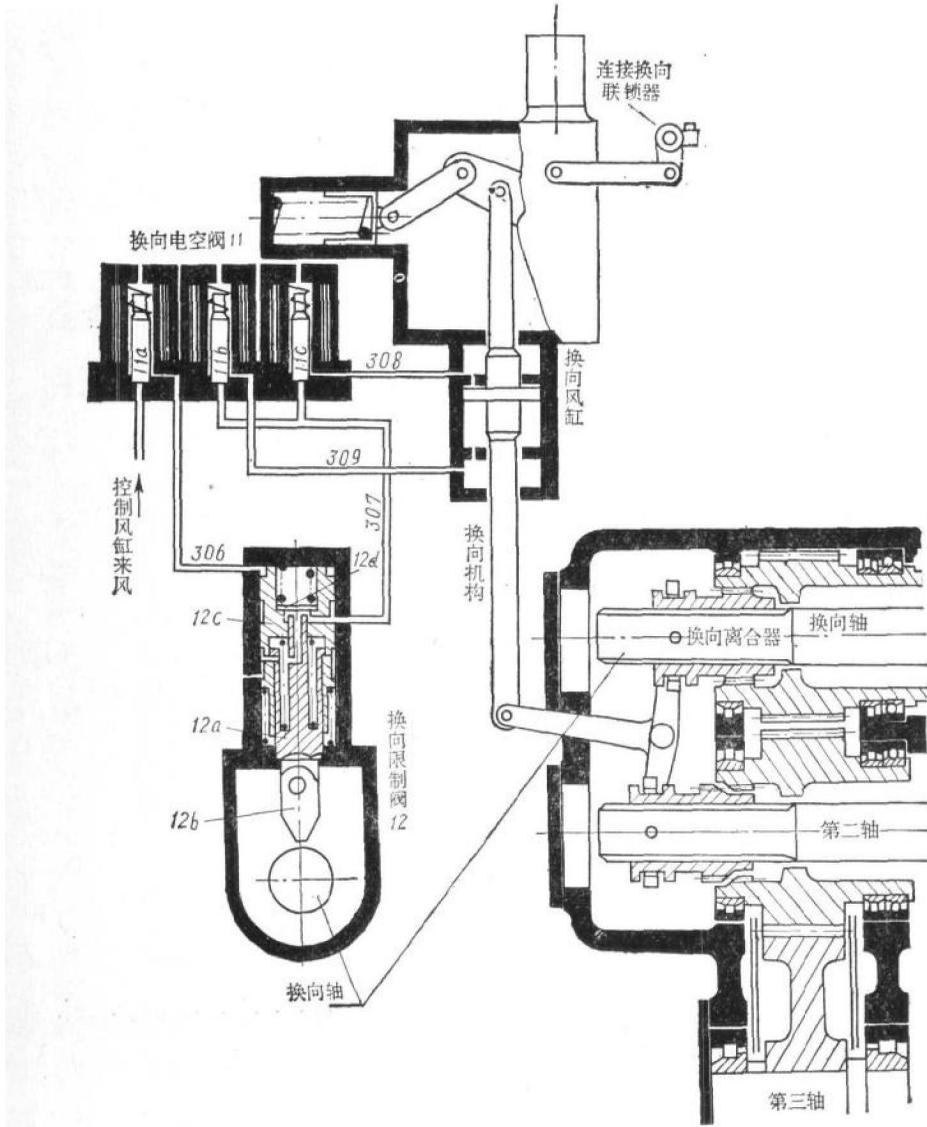


图8—2 换向机构工作原理图

换向限制电空阀11a有电时，开通控制风缸至换向限制阀12间的管路306，但306管能否与307管沟通，还决定于换向限制阀12的位置：当机车在运行中，换向轴（即变速箱内的换

向轴)在转动,当换向限制阀受306管来风的风压作用而下移时,触头12b将随换向轴的转动而歪斜,触头12b继续下移,滑阀12c和活塞12a都随之下移,阀板12d不能被活塞12a顶起,管路306和307不能沟通,控制用风也就不能再经电空阀11b或11c进入换向风缸去实行机车的换向,换向限制阀也由此而得名;当机车停车时,换向轴不转动,当换向限制阀受风压而使触头12b下移时,遇换向轴顶住而不歪斜,滑阀12c、活塞12a不再下移,阀板12d被顶起,开通风口使306与307沟通,控制风就可以沿管306进入管307,并进而经11b、11c去换向风缸,实行机车的换向。若这时方向I电空阀11b有电,控制风就进入换向风缸的I侧(图中下侧),活塞上移,机车前进;若这时方向II电空阀11c有电,控制风就进入换向风缸的II侧(上侧),活塞下移,机车后退。

如果上述方向I、方向II是对机组I而言的话,则机组II的方向I、方向II电空阀就应互换一下,11c为方向I电空阀,11b为方向II电空阀。当它们分别有电时,使机组II的换向机构动作方向与机组I相反,以使机车前进或后退。

二、与换向电路工作有关的几个电器

1. 机组选择开关

在双机组的液力传动内燃机车上设有机组选择开关JZK,它与电力传动内燃机车上的牵引电动机故障开关的意义相同。当某一机组发生故障不能再投入工作时,可将此机组的选择开关置于事故位,切断此机组的控制电路;当欲将某一机组投入工作时,可将此机组的选择开关置于运转位,接通此机组的控制电路。东方红<3型内燃机车上两个机组的选择开关分别为1JZK和2JZK,它们各有三个位置、七对触点,每个位置时触点的闭合情况示于附图2(a)的左下方,名为“关合表”,例如在运转位时,1~5号触点闭合,6、7号触点断开;在事故位时,1~5号触点断开,6、7号触点闭合。利用这些触点的断、合,改变控制电路的接通情况,使正常机组投入工作,故障机组脱离工作,而且即使在只用一个机组的情况下,也可使整个机车电路正常工作,保证机车可继续运行。

2. 换向联锁器

换向联锁器HLQ用以发出机车换向完成情况的信号,它装在液力变速箱的换向机构上,随换向机构的动作而动作。它有五种位置:前(Q)、后(H)、前顶(D₁)、后顶(D₂)和中立位。其中前和后分别表示机组已完成前进和后退的换向动作,即所谓换好向;其中前顶和后顶分别表示机组在前进和后退的换向动作中发生了齿顶齿现象,即未换好向;其中中立表示变速箱中换向齿轮脱离啮合,换向轴以前(按力矩传递方向而言)各轴不随机车动轴的转动而转动,即换向机构处于中立位。对于故障机组来说,除用机组选择开关切断它的控制电路外,还应使此机组的换向机构处于中立位,使此机组中液力变速箱各轴不会被机车动轴反过来拖转,真正切除它的工作。换向机构处于中立位是手动的,并用销子锁住。

换向联锁器是每机组一个,共两个,分别用1HLQ和2HLQ表示,各有四对触点,这些触点与机组选择开关1JZK、2JZK触点配合,去控制有关换向电路。

3. 换向保护继电器、重联继电器和他车换向继电器

(1) 换向保护继电器BHJ

换向完成与否的最终表现是换向保护电器BHJ是否得电。BHJ得电,表示换向已经完成;BHJ未得电,表示换向尚未完成。换向保护继电器的作用有二:一是起换向动作的保护作用;二是允许液力变扭器充油,以起动车。

(2) 重联继电器 LJ 和他车换向继电器 THJ

LJ 和 THJ 是用于机车重联工况的，它们均须通过重联线得电，如 LJ 须经重联线 4 得电， THJ 须经重联线 9 得电。

当机车不实行重联时，重联线间不接通， LJ 和 THJ 均无电， LJ_1 常闭触点闭合，可使 BHJ 得电。

当机车实行重联时，经过重联插销 3、4 使本车 LJ 电路的重联线 4 与本车的正电源线 301 接通〔通过 301 号线的重联线 3〕，则电流从 301 (+) → 重联线 3 → 重联插销 3—4 → 重联线 4 → 575 → LJ 线圈 → 300 (-)，使 LJ 得电， LJ_1 常闭触点断开， BHJ 不能再经 LJ_1 常闭触点得电。与此同时，还经重联插销 8、9 使本车的重联线 8 接至他车的重联线 9，对他车的他车换向继电器 THJ 供电；而他车的重联线 8 经重联插销 8、9 接至本车的重联线 9，反过来对本车的他车换向继电器 THJ 供电。经过以上重联线后，使他车的 THJ 受本车换向联锁器 1HLQ、2HLQ 触点的控制，而本车的 THJ 受他车换向联锁器 1HLQ、2HLQ 触点的控制（所以 THJ 称他车换向继电器，以表示他车换向完成的情况）。当重联的两机车均完成换向后，使两车的 THJ 得电， THJ_1 常开触点闭合，代替 LJ 常闭触点，也可使 BHJ 得电。只要两个重联机车中任一机车未换好向，两车的 BHJ 均不可能得电，机车也就无法起动。

三、换向电路的工作情况

换向电路包括方向 I 电空阀 F_{21} （机组 I）和 F_{22} （机组 II）、方向 II 电空阀 F_{23} 和 F_{24} 、换向限制阀 F_{25} 和 F_{26} 等。欲使这些电器得电和产生换向动作，须作必要的准备和将反向手柄置于前进或后退位。

1. 换向前的准备

(1) 空气压缩机开始泵风，使控制用风管路具有一定的空气压力，保证换向风缸等可以动作。

(2) 将机组选择开关 $1JZK$ 、 $2JZK$ 置于适当的位置。

2. 单机牵引时换向电路的工作情况

在完成以上准备工作之后，即可将 $1FKQ$ 的反向手柄置于适当位置。现以两机组选择开关 $1JZK$ 、 $2JZK$ 置于运转位，反向手柄置于前进位为例，介绍电路的工作情况。

在 $1FKQ$ 反向手柄置于前进位后，1、3 号触点闭合：

(1) 3 号触点闭合，使换向限制电空阀 F_{25} 、 F_{26} 有电

在换向保护继电器 BHJ 有电前，其常闭触点 BHJ_1 是闭合的；机组选择开关已置于运转位， $1JZK_4$ 、 $2JZK_4$ 也是闭合的。在 $1FKQ$ 的 3 号触点闭合后，即可使 F_{25} 、 F_{26}

电，其电路为：301 (+) → $1FKQ$ 的 3 号触点 → 569 → BHJ_1 → $\left\{ \begin{array}{l} 1JZK_4 \rightarrow 515 \rightarrow F_{25} \\ 2JZK_4 \rightarrow 517 \rightarrow F_{26} \end{array} \right\}$ → 300 (-)。电空阀 F_{25} 、 F_{26} 就是图 8—2 中的换向电空阀 $11a$ ，两个机组的电空阀 $11a$ 有电后，就把控制风引入各自的换向限制阀，在换向轴不转动的条件下，换向限制阀被压下，将管路 306 与 307 沟通，提供换向风缸的用风。

如果某机组选择开关置于事故位（如 $1JZK$ ），其对应的触点（如 $1JZK_4$ ）断开，使对应机组的换向限电空阀（如 F_{25} ）不能得电，切断此机组的控制风路，使其不能产生换向动作。

(2) 1号触点闭合,使方向 I 电空阀 F_{21} 、 F_{22} 有电。

1号触点闭合后,使方向 I 电空阀 F_{21} 、 F_{22} 得电,其电路为: 301(+) → 1FKQ 的号触点 → 501 → $\left\{ \begin{array}{l} 1JZK_2 \rightarrow 503 \rightarrow F_{21} \\ 2JZK_2 \rightarrow 505 \rightarrow F_{22} \end{array} \right\} \rightarrow 300(-)$ 。如果机组 I 的方向 I 电空阀 F_{21}

是图 8—2 中的换向电空阀 $11b$,则机组 II 的方向 I 电空阀 F_{22} 就应该是图 8—2 中的换向电空阀 $11c$ 。 F_{21} 、 F_{22} 得电后,控制风即可进入两机组换向风缸的方向 I 侧,推动风缸活塞移动(两机组的活塞移动方向相反),使机组 I、II 均按前进方向运行。

(3) 1号触点闭合,也使方向 I 继电器 YJ 有电。

方向 I 继电器用以控制与机车按方向 I (前进)方向运行有关的电路。 YJ 线圈与 F_{21} 、 F_{22} 并联,它与 F_{21} 、 F_{22} 同时得电。 YJ 得电动作后:

(甲) YJ_1 常开触点闭合,准备好机车换向保护继电器电路。

(乙) YJ_2 常开触点闭合,准备好方向 I 撒砂电空阀 F_{41} 电路,使砂撒在车轮运行的前方。

(4) 机车换向完成后,使换向保护继电器 BHJ 有电。

当控制风进入换向风缸后,活塞移动,拨动换向齿轮的啮合顺序,与此同时也带动换向联锁器动作。当两机组的齿轮啮合已进入前进方向顺序时,两个换向联锁器也转至前位,则 1、2HLQ 的 1 号触点闭合,使 BHJ 得电,其电路为: 301(+) → YJ_1 → 1HLQ 的 1 号触点(由于 1JZK 在运转位,1JZK₀ 是断开的) → 521 → 2HLQ 的 1 号触点(2JZK₀ 断开) → 523 → LJ_1 → 525 → BHJ 线圈 → 300(-)。 BHJ 得电动作后:

(甲) BHJ_1 常闭触点断开,切断 F_{25} 、 F_{26} 电路。从动作程序上来看, F_{25} 、 F_{26} 是先经 BHJ_1 得电的; F_{25} 、 F_{26} 和 F_{21} 、 F_{22} 得电后,实行换向动作;换向完成后,使 BHJ 得电;其反过来又使 F_{25} 、 F_{26} 失电。 F_{25} 、 F_{26} 失电,也就切断了换向风缸的风源,不能再产生换向动作,由此称 F_{25} 、 F_{26} 为换向限制电空阀(有的机车称为风源电空阀)。

(乙) BHJ_2 常开触点闭合,准备好变扭器充油电空阀 $F_{27\sim 32}$ 的电路。

(丙) BHJ_3 常闭触点断开,使机车换向红色信号灯 $1XD_{11}$ 灭,表示换向完成;在未换好向前, BHJ 无电, $1XD_{11}$ 总是亮着的。

3. 重联牵引时的换向电路工作情况

(1) 重联时两车电源接通情况

机车重联时,两车的正负电源线彼此沟通:本务机车的 301(+) → 本务机车重联线 1 → 重联插销 1—1 → 重联机车重联线 1 → 重联机车 301(+);本务机车的 300(-) → 本务机车重联线 2 → 重联插销 2—2 → 重联机车重联线 2 → 重联机车 300(-)。也就是通过重联线把两车的辅助电源并联起来,共同对两车的工作电路供电。

(2) 重联时 LJ 、 THJ 的得电情况

(甲) LJ 得电情况

本务机车 301(+) → 本务机车重联线 3 → 重联插销 3—4 → 本务机车重联线 4 → 本务机车 575 → 本务机车 LJ 线圈 → 本务机车 300(-);同理,重联机车的 LJ 线圈也由重联机车的电路供电。 LJ 得电后, LJ_1 常闭触点断开。

(乙) THJ 得电情况

本务机车 (+) → 本务机车 YJ_1 → 本务机车 519 → 本务机车 1HLQ → 本务机车 521 → 本务机车 2HLQ → 本务机车重联线 8 → 重联插销 8~9 → 重联机车重联线 9 → 重联机车 573—重

联机车 THJ 线圈 → 重联机车 300 → 重联线、重联插销 → 本务机车。

重联机车 301(+) → 重联机车 YJ_1 → 重联机车 519 → 重联机车 $1HLQ$ → 重联机车 521-
重联机车 $2HLQ$ → 重联机车重联线 8 → 重联插销 8~9 → 本务机车重联线 9 → 本务机车 573-
本务机车 THJ 线圈 → 本务机车 300 → 重联线、重联插销 → 重联机车 300(-)。

(3) 重联时 BHJ 的得电情况

本务机车 301(+) → 本务机车 YJ_1 → 本务机车 519 → 本务机车 $1HLQ$ → 本务机车 521-
本务机车 $2HLQ$ → 本务机车 THJ_1 → 本务机车 BHJ 线圈 → 本务机车 300(-)；

重联机车 301(+) → 重联机车 YJ_1 → 重联机车 519 → 重联机车 $1HLQ$ → 重联机车 521 →
重联机车 $2HLQ$ → 重联机车 THJ_1 → 重联机车 BHJ 线圈 → 重联机车 300(-)。

由于通过本务机车的 1、 $2HLQ$ 触点使补机 THJ 线圈得电，接通重联机车的 BHJ 线圈电路；而重联机车的 BHJ 线圈电流又必须经过补机的 1、 $2HLQ$ 触点。所以，重联机车的 BHJ 得电要同时受本务机车和重联机车的 1、 $2HLQ$ 触点的共同控制，即只有两车同时换好向后才可使重联机车的 BHJ 得电。同理，本务机车的 BHJ 也只有两车同时换好向后才可得电。两车 BHJ 同时得电后，同时把两车的起动电路准备好，并显示换向完成信号。

机车重联时，两车的换向限制电空阀、方向 I 和方向 II 电空阀、方向 I 和方向 II 继电器工作情况与单机牵引时的情况一样。

四、换向合齿控制电路

当机车换向发生齿顶齿现象时，换向不能完成，这时应设法使欲啮合的齿轮对有个相对转动，以求合齿。使齿轮对相对转动，有两种方法：一种是机械拨齿，即用棘轮机构盘车，使齿轮微微转动一个小角度，如北京型内燃机车采用的那样；另一种是液力驱动，使变扭器部分充油，驱动涡轮微微转动一个小角度，如东方红各型内燃机车采用的那样。

在东方红 3 0 型内燃机车上，合齿时的变扭器微量充油油路就利用变扭器手动换挡时的充油油路。有关变扭器充排油控制系统工作原理如图 8—3 所示，其手动 I 挡电空阀为 29，手动 II 挡电空阀为 30，当它们有电时，可以分别向起动变扭器（I 挡）、运转变扭器（II 挡）充油。

在附图 2 上，合齿控制电路是利用一个按钮（称微量充油按钮） $1WA$ （I 端司机室， $2WA$ 在 II 端司机室）和一个时间继电器 $4SJ$ 去控制机组 I、II 的 I 挡充油电空阀 F_{29} (22)、 F_{31} (22)，使变扭器微微充油，以求合齿。现以两个机组均发生齿顶齿情况为例，介绍合齿控制电路的工作情况。

当两个机组因发生齿顶齿现象而未完成换向时，换向联锁器 1、 $2HLQ$ 均处于齿顶齿位〔如处于前顶 (D_1) 位〕。1、 $2HLQ$ 的 1 号触点不闭合， BHJ 不能得电，换向红色信号灯 $1XD_{11}$ 亮；1、 $2HLQ$ 的 3 号触点闭合，准备好手动 I 挡充油电空阀 F_{29} (22)、 F_{31} (22) 电路，在按下 I 端的微量充油按钮 $1WA$ 后，即可使 F_{29} 、 F_{31} 得电，其电路为：
 $301(+)$ → $1WA$ → $4SJ_1$ 延时断开常闭触点 → $1HLQ$ 的 3 号触点 → 543 → F_{29} → $300(-)$ ；
同时还有 $301(+)$ → $1WA$ → $4SJ_1$ → 531 → $2HLQ$ 的 3 号触点 → 549 → F_{31} → $300(-)$ 。此 F_{29} 、 F_{31} 即为图 8—3 中的手动 I 挡电空阀 29，在它们得电后，使控制风进入各自的手操纵器风缸的上侧，将两个机组的控制阀 19 压下一段行程，开启阀口，使两个机组变速箱内的供油泵输出的工作油经管 103、控制阀 19 进入各自的起动变扭器，涡轮轴开始微微转动，带

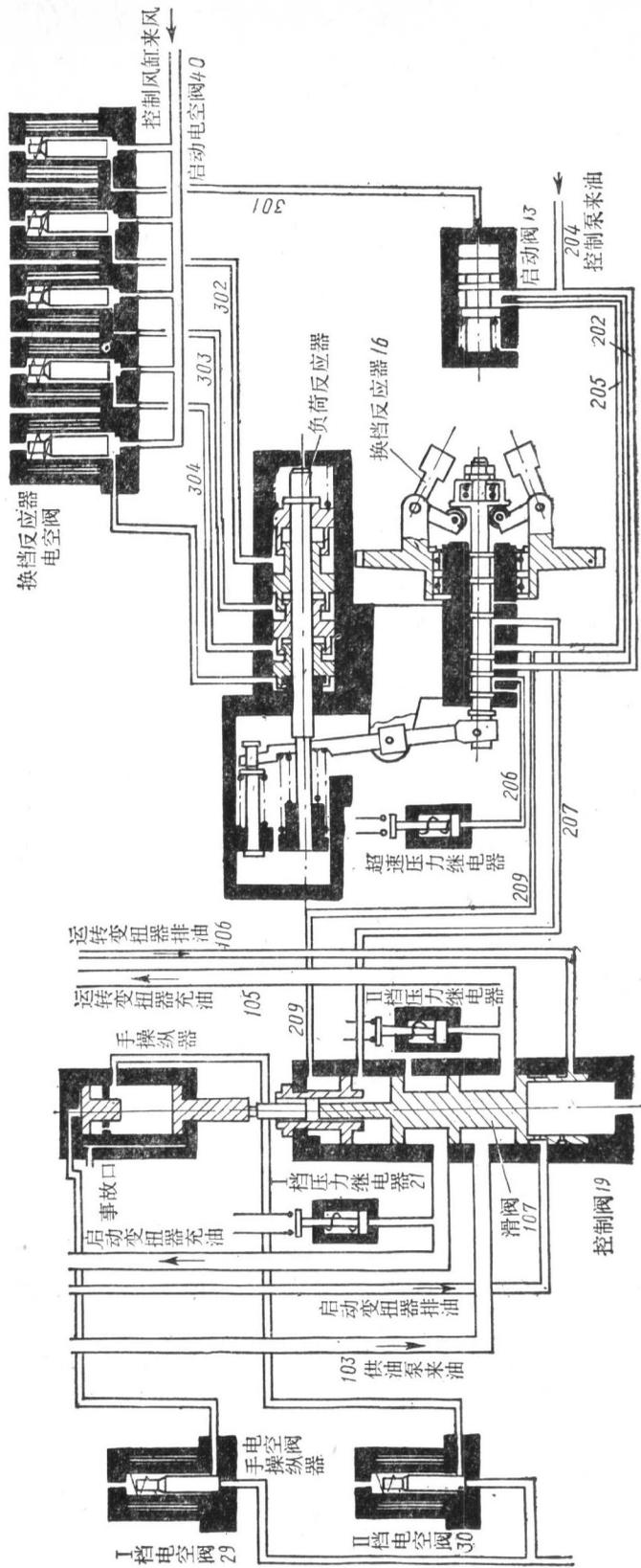


图 8-3 变扭器充排油系统工作原理图

动换向齿轮，使啮合齿间有个微小的相对转动，直至合齿时为止。在按下 $1WA$ 的同时，也使时间继电器 $4SJ$ 有电，其电路为： $301(+)$ → $1WA$ → 571 → $4SJ$ 线圈 → $300(-)$ ， $4SJ$ 得电后延时 3 秒动作，使 $4SJ_1$ 延时断开常闭触点断开，切断 I 挡充油电空阀 F_{29} 、 F_{31} 电路，控制风不再进入手操纵器，控制阀 19 在弹簧复原力的作用下升起，切断充油阀口，打开排油阀口，起动变扭器排油，停止合齿。所以，在按下 $1WA$ 后，若 3 秒内合齿成功，则 1、2 $HLLQ$ 转至前 (Q) 位，其 3 号触点断开，自动切断 F_{29} 、 F_{31} 电路，合齿停止，可以松开 $1WA$ ；若 3 秒内合齿不成，则到 3 秒时， $4SJ$ 有电，也切断 F_{29} 、 F_{31} 电路，合齿也只得停止。若要再行合齿，只能松开 $1WA$ 后再按下 $1WA$ ，实行第二次合齿动作。设 $4SJ$ 延时 3 秒的目的是勿使变扭器充油过多，防止合齿时发生断齿，或咬合过紧而使换向风缸活塞推不动。

合齿完成后，1、2 $HLLQ$ 转至前位，接通 BHJ ，换向红色信号灯 $1XD_{11}$ 灭，合齿动作完成。

§ 4. 机车起动电路

在液力传动内燃机车上，机车起动电路的一般工作程序是这样的：首先是使机组保护继电器得电，允许机组加载；其次是将液力变速箱换挡选择开关置于自动换挡位或手动换挡位；然后将主手柄从 0 位提至 1 位，接通变扭器充油电空阀电路，变扭器充油，机车开始起动。前两项是机车起动的准备工作，后一项是实行机车起动的操作。

一、机车起动前的准备

1. 使机组保护继电器得电

在液力传动内燃机车上，机组能否加载是由机组保护继电器（也有叫加载继电器）控制的，因此有关不允许机组加载的保护电器触点直接列入机组保护继电器电路。

机组保护电路中，两个机组各有一套保护继电器，每一套各有柴油机保护继电器 $1CBJ$ ($2CBJ$) 和变扭器保护继电器 $1BBJ$ ($2BBJ$)，所以机组 I 有 $1CBJ$ 、 $1BBJ$ 两个继电器，机组 II 有 $2CBJ$ 、 $2BBJ$ 两个继电器。在这些保护继电器电路（附图 2）里的保护性触点有：

(1) 列车管风压继电器 FJ_2 的常开触点：风压继电器 FJ_2 的风缸与列车管沟通，当列车管风压 ≥ 4 公斤/厘米² 时，使 FJ_2 常开触点闭合。

(2) 柴油机水温继电器的常闭触点 $1CWJ_1$ ($2CWJ_1$)：当柴油机水温 $< 90^\circ\text{C}$ 时， $1CWJ_1$ ($2CWJ_1$) 常闭触点闭合。

(3) 柴油机机油压力继电器的常开触点 $1RYJ_1$ ($2RYJ_1$)：当柴油机机油通道压力 ≥ 2 公斤/厘米² 时，此触点闭合。

(4) 变扭器工作油温继电器的常闭触点 $1BWJ_1$ ($2BWJ_1$)：当变扭器工作油温 $< 120^\circ\text{C}$ 时，此触点是闭合的。

当上述全部触点均闭合时，满足机车起动条件，即可使机组保护继电器得电，允许柴油机加载和机车起动。例如机组 I 的柴油机保护继电器 $1CBJ$ 有电后，其常开触点 $1CBJ_{1\sim 4}$ 闭合，准备好柴油机 I 的调速电空阀 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 电路，允许柴油机加载（提高转速）；机组 I 的变扭器保护继电器 $1BBJ$ 有电后，其常开触点 $1BBJ_{2\sim 4}$ 闭合，准备好自动换挡电空阀 F_{27} 、手动换挡电空阀 F_{29} 、 F_{30} 电路，允许机车起动和调速。

2. 换挡选择开关置于自动或手动位

液力变速箱采用液力换挡。换挡时，一个变扭器排油；另一个变扭器充油，从一个变扭器过渡到另一个变扭器工作。换挡可以自动进行，也可以手动进行，这需要用换挡选择开关控制。

东方红〈3 0型内燃机车共有两个换挡选择开关 $1HDK$ 、 $2HDK$ ，每个司机室一个，任一开关均可控制两个机组的换挡选择。换挡选择开关有四个位置，三对触点。当换挡选择开关置于不同位置时，其触点分别接通自动或手动换挡电空阀电路。如 I 端的 $1HDK$ 置于自动（ ZD ）位时，其 1 号触点闭合，准备好自动换挡电空阀 F_{27} 、 F_{28} 电路；当 $1HDK$ 置于手动 I 位时，其 2 号触点闭合，准备好手动 I 挡电空阀 F_{29} 、 F_{31} 电路；当 $1HDK$ 置于手动 II 位时，其 3 号触点闭合，准备好手动 II 挡电空阀 F_{30} 、 F_{32} 电路；当 $1HDK$ 置于中立位时，上述各触点全部断开，切断所有换挡电空阀电路，机车也不能起动。所以在起车前，应将换挡选择开关置于自动位或手动 I 位，不能置于中立位。

三、机车起动

准备工作完毕，即可将主手柄从 0 位提至 1 位，变扭器充油，机车开始起动。

当 I 端司机控制器 $1SKQ$ 主手柄从 0 位提至 1 位时，其 6 号触点断开，切断柴油机启动电路；其 1 号触点闭合，当换挡选择开关置于自动（ ZD ）位时，将接通自动换挡电空阀 F_{27} 、 F_{28} 电路，其电流通路为：301（+）→ $1SKQ$ 的 1 号触点→325→ BHJ_2 常开触点→ $1HDK$ 的 1 号触点→535→ $\left\{ \begin{array}{l} 1BBJ_2 \text{ 常开触点} \rightarrow 537 \rightarrow F_{27} \\ 2BBJ_2 \text{ 常开触点} \rightarrow 539 \rightarrow F_{28} \end{array} \right\}$ →300（-）。

自动换挡电空阀即为图 8—3 中的起动电空阀 40。当电空阀 40 有电后，控制风缸来的控制风进入 301 管，将起动阀 13 压至左侧，使控制泵来的控制油沿管 204、起动阀 13 进入 205、209 管，再将控制阀 19 中的滑阀压下一段行程（图示滑阀是运转变扭器充油位），使变速箱中供油泵来的工作油经管 103、控制阀 19 进入起动变扭器（合齿控制时的变扭器微充油即借用此油路），变扭器充满油后，使涡轮轴（即变速箱的二轴）输出较大转矩，开始拖动车起动。若起动牵引力不够，可提高柴油机转速，增大涡轮输出转矩，加速机车起动。由于涡轮在转速很低时，变扭器工作在低转速比（涡轮转速与泵轮转速之比）工况下，效率很低，易使工作油发热，所以，液力传动内燃机车在低于持续速度下长时间运行也是不允许的。

起动变扭器充油时，也使安装在充油管路上的 I 挡压力继电器 21 受油压作用而动作。在电路图上，I 挡压力继电器 21 的文字符号是 $1BYJ_1$ （机组 I）、 $2BYJ_1$ （机组 II），当充油压力 ≥ 1 公斤/厘米² 时，其常开触点闭合，分别接通 I 挡充油信号灯 $1XD_7$ 和 $1XD_{18}$ （此时 II 端司机室的信号灯 $2XD_7$ 和 $2XD_{18}$ 也显示），变扭器充油。如果信号灯电路有故障，不能显示变扭器充油时，则在可利用起动变扭器充油时柴油机突然加载，转速略有下降，引起柴油机转速表的波动作为变扭器充油的见证。

§ 5. 机车调速电路

一、柴油机调速电路

目前液力传动机车柴油机也用数个调速电空阀实行多级调速。东方红〈3 0型内燃机车柴油机用的是全制机械式调速器，用四个电空阀去控制由四个串联风缸组成的操纵风缸，使调速器弹簧有 16 级拉紧程度，以获得柴油机 16 级转速。

在附图 2 上, 柴油机 I 的调速电空阀是 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 , 柴油机 II 的是 F_5 、 F_6 、 F_7 、 F_8 , 随着 1SKQ (同样, 用 2SKQ 也可) 主手柄位的变化, 改变其 2、3、4、5 号触点的接通情况, 以改变 F_1 (F_5)、 F_2 (F_6)、 F_3 (F_7)、 F_4 (F_8) 的得电情况, 使 12V180ZL 型柴油机从 1 位的 800 转 / 分逐级升至 16 位的 1500 转 / 分。

当主手柄提至 9 位时, 柴油机进入高负载运行状态, 对于 12V180ZL 型柴油机来说, 要求水温不得低于 60°C , 为此设有水温继电器 $1CWJ_2$ ($2CWJ_2$), 它设在 9 位时得电的调速电空阀 F_4 (F_8) 电路里。当水温高于 60°C 时, $1CWJ_2$ ($2CWJ_2$) 常开触点闭合, 在主手柄提至 9 位时, 即可使 F_4 (F_8) 得电, 柴油机进入高负载运行状态。

二、液力变速箱换挡控制电路

液力变速箱换挡是在主手柄位不变时, 机车调速的一种方法, 它与电力传动机车上牵引电动机磁场削弱的作用相似。

机车起动后, 随着速度的提高, 起动变扭器的涡轮扭矩在下降, 变扭器效率呈抛物线规律变化, 当涡轮转速 (对应一定车速) 达一定值后, 涡轮扭矩太小, 变扭器效率太低, 再让起动变扭器工作下去是不适宜的, 为此要使起动变扭器排油, 运转变扭器充油, 这就是液力变速箱的换挡。由于运转变扭器的性能与起动变扭器的不同, 它在效率为最高值时的转速比 (常称之为计算转速比) 较大, 可在输出扭矩和效率较高的条件下有较高的涡轮转速, 以适应机车有较高车速的要求, 故称为运转变扭器。而起动变扭器计算转速比较小, 涡轮输出扭矩较大, 适宜于机车起动及低速运行的要求。

液力变速箱换挡有两种工况: 一种是自动工况, 变速箱换挡受液力传动装置本身具备的自动换挡控制系统控制, 按时自动换挡; 另一种是手动工况, 司机根据机车运行速度, 搬动换挡选择开关, 人为地实行换挡。

1. 自动换挡工况

当换挡选择开关 $1HDK$ 置于自动位时, 接通了自动换挡电空阀 F_{27} 、 F_{28} 的电路, 两机组的起动变扭器充油, 机车开始起动。至于何时从起动变扭器过渡到运转变扭器工作, 那是由传动装置的自动换挡系统控制的。由于现车使用的是液压—机械式换挡控制系统, 故在电路图中没有反映。

自动换挡系统的中心环节是换挡反应器 (图 8—3), 它由速度反应器和负荷反应器两部分组成。速度反应器反应机车的速度, 以确定换挡的速度值; 负荷反应器反应柴油机的负荷 (以转速体现之), 它用四个电空阀使负荷反应器内弹簧有 16 级压紧程度, 并使速度反应器的滑阀有 16 级预紧力。这种换挡反应器使得在不同的柴油机负荷 (转速) 下有不同的换挡速度, 这样做的目的是保证在任何柴油机负荷下换挡时, 两个变扭器的效率和涡轮扭矩有最佳的衔接 (有关换挡反应器的详细工作原理, 请参阅其他资料)。由于换挡反应器的四个电空阀与柴油机调速电空阀 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 的工作情况完全相同, 故在东方红 $\langle 3 \rangle$ 型内燃机车上就用 $F_{1\sim 4}$ 代替之, 即 $F_{1\sim 4}$ 的出风口分成两路, 一路去柴油机调速器, 一路去换挡反应器, 省去了四个电空阀。

东方红 $\langle 3 \rangle$ 型内燃机车在主要主手柄位下的换挡机车速度如表 8—1 所示。当机车达到各主手柄位的最佳换挡车速时, 速度反应器飞锤的离心力大于滑阀的预紧力, 滑阀发生一次跳跃式动作, 改变控制油路和控制阀 19 的位置, 使起动变扭器排油, 运转变扭器充油, 换挡过程自动进行。

表 8—1 所列数据是由起动变扭器过渡至运转变扭器时的车速，当由运转变扭器返回至起动变扭器工作时，也由换挡反应器控制。但由于换挡反应器本身返回系数（I 挡过渡到 II 挡车速与 II 挡返回 I 挡车速之比）的影响，使对应主手柄位时返回的车速略低。

表 8—1

主手柄位	6	8	10	12	14	16
柴油机转速（转/分）	1000	1100	1200	1300	1400	1500
换挡车速（公里/时）	48	52	57	62	64	71

各变扭器的充油情况可用信号灯显示。前已提及，当起动变扭器充油时，迫使 I 挡压力继电器动作，I 挡充油信号灯亮；同理，运转变扭器充油时，迫使 II 挡压力继电器 $1BYJ_2$ ($2BYJ_2$) 动作（动作油压 ≥ 1 公斤/厘米²），使 II 挡充油信号灯 $1XD_8$ 和 $1XD_{16}$ 亮。由于液力换挡时，一个变扭器逐渐脱离工作，另一个变扭器逐渐投入工作，两者交替进行，使柴油机负荷变化不大，转速无明显波动情况。

2. 手动换挡工况

当自动换挡系统发生故障时，可以实行手动换挡。在起车前，先将 $1HDK$ 置于手动 I 位，准备好 I 挡电空阀 F_{29} 、 F_{31} 电路（这时的自动换挡电空阀 F_{27} 、 F_{28} 电路已被 $1HDK$ 切断），当主手柄从 0 位提至 1 位时， F_{29} 、 F_{31} 得电，把控制风引至手操纵器风缸，将控制阀 19 压下一段行程，起动变扭器充油，机车起动。

随着机车速度的提高，司机可以根据表 8—1 所列数据，将换挡选择开关 $1HDK$ 由手动 I 位旋至手动 II 位，人为地发出换挡指令，这时使 II 挡电空阀 F_{30} （机组 I）、 F_{32} （机组 II）有电。这两个电空阀就是图 8—3 中的手操纵器 II 挡电空阀 30，它有电后，把控制阀 19 压到底（正如图示位置），使起动变扭器排油，运转变扭器充油。

手动挡换时，变扭器充油情况仍可由信号灯显示。

§ 6. 其他辅助设备电路

液力传动机车的主要辅助电气设备就是辅助发电机，这已在柴油机启动电路中说过了，其他的辅助设备电路还有：空气压缩机控制电路、风扇偶合器控制电路、预热锅炉控制电路。

一、空气压缩机控制电路

在东方红 $\langle 3 \text{ O} \rangle$ 型内燃机车上有两台空气压缩机，各由一台电动机 ZD_1 、 ZD_2 驱动，欲使它们得电工作，首先要求辅助发电机发电，电压达 110 伏后，使空气压缩机起动继电器 $1DJ$ 、 $2DJ$ 有电；继而闭合空气压缩机开关 $1K_4$ 、 $1K_6$ ，使 ZD_1 、 ZD_2 得电；在空气压缩机开关闭合后，空气压缩机电动机能否持续有电还受风压继电器 FJ_3 控制。

1 空气压缩机起动继电器 $1DJ$ 、 $2DJ$ 有电，准备好空气压缩机 I 接触器 $1FC$ 、空气压缩机 II 接触器 $3FC$ 电路

空气压缩机电动机 ZD_1 、 ZD_2 为 13 千瓦直流电动机，耗电较多，只能由辅助发电机供电，不能由蓄电池供电，为此只有在起动继电器 $1DJ$ 、 $2DJ$ 有电时，才可以起动空气压缩机电动机。 $1DJ$ 和 $2DJ$ 分别与 $1ZQF$ 和 $2ZQF$ 并联，其正端接在逆流二极管 $1D_{1\sim 2}$ 和 $2D_{1\sim 2}$

的共阳极端，使蓄电池组不能对 $1DJ$ 、 $2DJ$ 供电，只能由辅助发电机对各自的起动继电器供电，如 $1ZQF$ 经 117 号线对 $1DJ$ 供电； $2ZQF$ 经 143 号线对 $2DJ$ 供电（它们的负端都接在 300 号线上）。当 $1ZQF$ 、 $2ZQF$ 发电后， $1DJ$ 、 $2DJ$ 分别得电，准备好接触器 $1FC$ 、 $3FC$ 的电路。 $1DJ$ 、 $2DJ$ 各有两对常开触点，均设在接触器 $1FC$ 、 $3FC$ 的电路里，触点在电路里的接法应使任一继电器单独有电时，均可能使 $1FC$ 或 $3FC$ 单独得电，但不能使 $1FC$ 和 $3FC$ 同时得电；两个继电器同时有电时， $1FC$ 、 $3FC$ 可以同时得电，自然也可以单独得电。

2. 闭合空气压缩机开关，空气压缩机电动机实行二级运行

空气压缩机 I、II 分别受 $1K_4$ 、 $1K_5$ 控制。闭合 $1K_4$ ，使 $1FC$ 有电，其电路为，总电源正线 $601 \rightarrow ZDK_3 \rightarrow 231 \rightarrow FJ_3$ 常闭触点 $\rightarrow 233 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1DJ_1 \\ 2DJ_1 \rightarrow 241 \rightarrow 2DJ_2 \end{array} \right\} \rightarrow 235 \rightarrow 1K_4 \rightarrow 237 \rightarrow 1FC \rightarrow 230 \rightarrow ZDK_4 \rightarrow$ 总电源负线 600。 $1FC$ 有电动作后：

(1) 主触点 $1FC_1$ 闭合，接通电动机 ZD_1 电路。由于这时 $2FC$ 并未有电，使 ZD_1 电路里的 $2FC_1$ 主触点断开，起动电阻 $1QR$ 接入电路， ZD_1 实行降压起动。

(2) $1FC_2$ 常开触点闭合，使 $5SJ$ 线圈有电。 $5SJ$ 延时 3 秒后动作，其延时闭合常开触点 $5SJ_1$ 闭合，使 $2FC$ 线圈有电。 $2FC$ 有电动作后：

① $2FC_1$ 主触点闭合，短路起动电阻 $1QR$ ，使 ZD_1 全电压工作。

B. $2FC_2$ 常闭触点断开，切断无负荷电空阀 F_{30} 电路，空气压缩机开始泵风。当控制电路电源线 231、230 经 ZDK_3 、 ZDK_4 与总电源线 601、600 接通后， F_{30} 即行得电，使空气压缩机 I 的气缸通大气；在 $1FC$ 有而 $2FC$ 无电时，仍保持 F_{30} 有电，使空气压缩机 I 电动机 ZD_1 在无负荷条件下降压起动，以减小起动阻力矩和电流值；在 $1FC$ 有电 3 秒后 $2FC$ （通过 $5SJ$ ）有电，它一方面使空气压缩机 I 电动机全电压工作，另一方面也切断 F_{30} 电路，使空气压缩机 I 开始泵风。

空气压缩机 II 由 $1K_5$ 控制，其工作情况与空气压缩机 I 相同。

3. 空气压缩机的工作受风压继电器 FJ_3 （47）控制

空气压缩机开关闭合后，空气压缩机开始泵风，总风缸压力在上升，当压力升至 9 公斤/厘米² 时， FJ_3 常闭触点断开，切断 $1FC$ 、 $3FC$ 电路，电动机失电，空气压缩机停止工作；当总风缸压力低于 7.5 公斤/厘米² 时， FJ_3 常闭触点闭合，接通 $1FC$ 、 $3FC$ 电路，空气压缩机又自动投入工作。由于 FJ_3 的控制，使总风缸压力始终保持在 7.5~9 公斤/厘米² 范围内。

4. 只启动一个柴油机时的空气压缩机工作情况

在只启动一个柴油机时，只有一台辅助发电机在发电，这时也只允许一台空气压缩机投入工作（哪一台都可以），不允许两台空气压缩机同时工作，以免辅助发电机超负荷。

例如，只有 $1ZQF$ 在发电， $2ZQF$ 停止发电，这时 $1DJ$ 有电， $2DJ$ 失电。 $1DJ$ 有电，其 $1DJ_1$ 常开触点闭合，准备好 $1FC$ 、 $3FC$ 电路；其 $1DJ_2$ 常开触点虽亦闭合，但由于 $2DJ$ 无电，无法接通 $1FC$ 、 $3FC$ 电路。这时闭合 $1K_4$ （ $1K_4$ 右面的触点闭合），可使 $1FC$ 有电，空气压缩机 I 投入工作；这时若再闭合 $1K_5$ ，也无法使 $3FC$ 得电（因 $1K_4$ 在闭合位，其左面的触点是断开的）。若要使 $3FC$ 有电，只得将 $1K_4$ 断开（图中左侧触点闭合，右侧触点断开），II 端开关 ZK_4 自然应在断开位，则闭合 $1K_5$ 后即可使 $3FC$ 得电，其电路为： $231 (+) \rightarrow FJ_3 \rightarrow 1DJ_1 \rightarrow 235 \rightarrow 1K_4$ （左） $\rightarrow 2K_4$ （左） $\rightarrow 1K_5 \rightarrow 245 \rightarrow 3FC \rightarrow 230 (-)$ 。

3FC得电后，按一定程序使空气压缩机Ⅱ投入工作。由于3FC得电时，1K₄在断开位，所以1FC不能得电，不能使两台空气压缩机同时投入工作。

二、风扇偶合器控制电路

1. 冷却风扇的驱动方式

目前，内燃机车冷却风扇的驱动方式很多，有用万向轴直接驱动的，如东风₃型机车；也有用静液压泵—静液压马达驱动的，如东风₄型机车；而在液力传动内燃机车上，常用液力偶合器驱动。

风扇驱动用液力偶合器是由柴油机拖动的。当液力偶合器充油时，其涡轮驱动风扇转动，冷却系统实行冷却；当液力偶合器未充油时，偶合器涡轮停止转动，风扇也停止转动；有时还可以改变偶合器内工作油的充满程度，对风扇实行无级变速，以求自动调节风扇的冷却效果。

在东方红〈3〉型内燃机车上，首先采用了带有恒温调节作用的风扇偶合器控制系统，其原理如图8—4所示。其主要控制元件有温度调节阀23、风扇偶合器电空阀44(44a、44b)、水温继电器(图中未示出)和风扇偶合器4等。温度调节阀23由滑阀和恒温元件组成。滑阀是风扇偶合器充油的控制阀，当电空阀44有电时，控制风由管314或315进入温度调节阀，把滑阀推向右側，打开充油阀口，偶合器开始充油；随着偶合器工作油腔内工作油的不断充满，油腔压力不断提高，则其油压经管403反馈至温度调节阀，把滑阀推向左侧，以减小充油阀口面积。利用控制风压和反馈来的工作油腔压力间的平衡关系，使偶合器保持有一定的充油量，偶合器和风扇有一定的转速。恒温元件感受冷却水温，利用热胀冷缩原理推动滑阀。冷却水温升高，恒温元件膨胀，把滑阀向右側推一些，偶合器充油阀口面积也增大一些，偶合器充油也更多一些，加速风扇的转动，以求增强冷却效果，实行自动恒温调节作用。

为了简化控制系统的结构，在部分东方红〈3〉型内燃机车上取消了温度自动调节作用，改用一个作用阀(实为一个油路控制阀)取代温度调节阀，一当电空阀44有电时，控制风进入作用阀，打开充油阀口，偶合器充油，风扇全速工作；当电空阀失电时，无控制风进入作用阀，充油阀口关闭，风扇停止转动。

2. 风扇偶合器控制电路

无论东方红〈3〉型内燃机车采用哪种风扇偶合器控制系统，其控制电路都是相同的，其电路示于附图2。

为了对风扇偶合器的工作实行自动控制，每台柴油机设有三个水温继电器，其中1CWJ₄(机组Ⅱ是2CWJ₄)设在柴油机中冷水系统(增压空气和机油冷却)中，当水温达65℃时，1CWJ₄(2CWJ₄)动作，水温低于65℃时，1CWJ₄(2CWJ₄)释放；1CWJ₅(2CWJ₅)设在高温水系统(柴油机本身冷却)中，当水温达78℃时动作，水温低于73℃时释放；1CWJ₆(2CWJ₆)也设在高温水系统中，当水温达65℃时动作，低于65℃时释放。现以柴油机Ⅰ为例，介绍风扇偶合器控制电路的工作情况：

当柴油机高温(或称主循环)水系统水温大于65℃时，1CWJ₆常开触点闭合，使侧百叶窗电空阀F₃₅(此即图8—4中的电空阀45)有电，打开侧百叶窗，使散热器自然通风冷却；当水温低于65℃时，1CWJ₆常开触点断开，F₃₅失电，侧百叶窗关闭，对柴油机保温。

当柴油机高温水达78℃时，1CWJ₅常开触点闭合，使电空阀F₃₄、F₃₅同时得电，其

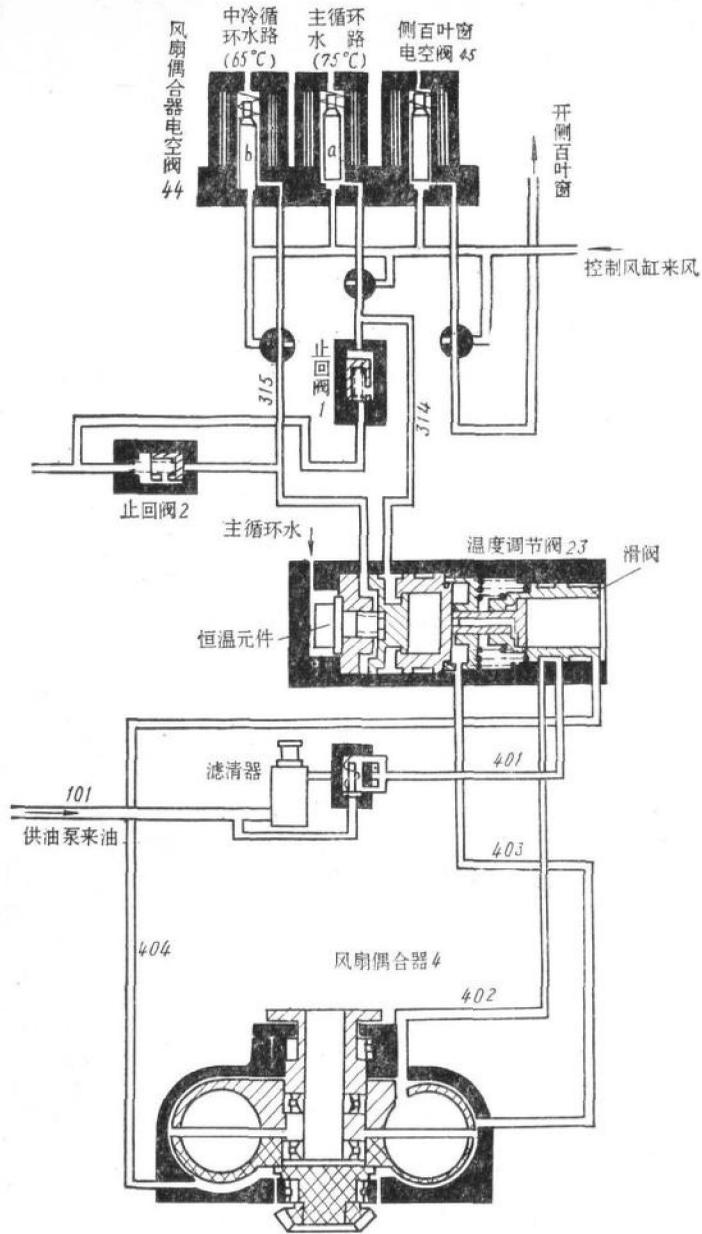


图 8-4 风扇耦合器自动恒温调节控制系统原理图

电路为, $261 (+) \rightarrow 1CWJ_5 \rightarrow 269 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_{34} \\ D_2 \rightarrow F_{35} \end{array} \right\} \rightarrow 260 (-)$ 。 F_{35} 得电后打开侧百叶窗; F_{34} (即图 8-4 中的电空阀 44a) 得电, 控制风打开温度调节阀 (或者是作用阀), 对耦合器充油, 风扇开始转动, 实行通风冷却。当水温低于 73°C 时, $1CWJ_5$ 常开触点断开, F_{34} 失电 (只有在水温低于 65°C 时, F_{35} 才能失电)。

当中冷水温大于 65°C 时, $1CWJ_4$ 常开触点闭合, 同时使 F_{33} 、 F_{35} (F_{35} 经 D_1) 得电。 F_{35} 打开侧百叶窗, F_{33} (即图 8-4 中的电空阀 44b) 使耦合器充油, 风扇转动, 开始冷却。当中冷水温低于 65°C 时, $1CWJ_4$ 常开触点断开, F_{33} 失电。

冷却风扇也可实行手动控制，不论风扇自动控制系统在何种状态，只要人为地闭合开关 $1K_8$ ，即可使电空阀 F_{34} 、 F_{35} 有电，打开侧百叶窗，偶合器也充油工作； $1K_8$ 断开时，风扇停止工作。

三、预热锅炉控制电路

1. 预热锅炉电源

东方红 $\langle 3 \rangle$ 型内燃机车上的预热锅炉可以由车外电源供电，也可由车内电源（蓄电池组）供电，这是由电源转换开关 $2ZHK$ （全车只有一个）控制的。 $2ZHK$ 有三对触点，分绘于外电源装置 WDY 的两侧。当欲用车外电源时，先将外电源装置 WDY （是一个整流变压器装置）的插座与交流 220 伏外电源接通，使外电源的 220 伏交流电变成 110 伏直流电；然后再将 $2ZHK$ 置于 W 位，使其 2 号触点闭合，可对预热锅炉控制箱 YRX 供电。当欲用车内电源时，将 $2ZHK$ 置于 J 位，使其 1、3 号（3 号在 WDY 的右侧）触点闭合，机车蓄电池组可对 YRX 供电。当欲同时切断这两种电源时，将 $2ZHK$ 置于 0 位，1、2、3 号触点全部断开。

另外，在机车上还有一个预热——充电转换开关 $1ZHK$ ，它有四对触点，三种位置：当 $1ZHK$ 置于 Y （预热）位时，1、3 号（3 号绘于 WDY 右侧）触点闭合，外电源对预热锅炉供电；当 $1ZHK$ 置于 D （充电）位时，2、4 号触点闭合，车外电源对蓄电池组充电；当 $1ZHK$ 置于 0 位时，切断两者与外电源间的联系。

如果将上述两个转换开关 $1ZHK$ 配合使用，可使机车出现以下几种供电情况：

(1) $1ZHK$ 置于 0 位， $2ZHK$ 置于 J 位：使机车蓄电池组对预热锅炉供电，其电路为： $113(+)$ → $2ZHK$ 的 1 号触点 → 61 → YRX → 60 → $2ZHK$ 的 3 号触点 → $102(-)$

(2) $1ZHK$ 置于 Y 位， $2ZHK$ 置于 W 位；使外电源对预热锅炉供电，其电路为： WDY → $11(+)$ → $2ZHK$ 的 2 号触点 → 13 → $1ZHK$ 的 1 号触点 → 61 → YRX → 60 → $1ZHK$ 的 3 号触点 → 12 → $10(-)$ → WDY 。

(3) $1ZHK$ 置于 D 位， $2ZHK$ 置于 W 位：使外电源对蓄电池组充电，其电路为： WDY → $11(+)$ → $2ZHK$ 的 2 号触点 → $1ZHK$ 的 2 号触点 → 113 → XDC → 102 → $1ZHK$ 的 4 号触点 → 12 → $10(-)$ → WDY 。

2. 预热锅炉控制电路

在附图 2 上并未绘出预热锅炉的控制电路，仅示意地画个 YRX 方框及电源正负线 61 、 60 。由于此车预热锅炉控制电路除有手动工况外，还有半自动工况，与东风 $\langle 4 \rangle$ 型内燃机车用的有所差别，故将其电路绘于图 8—5，该图所用电气元件符号、名称及规格如表 8—2 所示。现将电路工作原理介绍如下：

(1) 手动工况

按操作程序将电路简介如下：

将各自动开关 $1 \sim 6 ZDK$ 闭合，使各分支电路与正负电源线 $61(+)$ 、 $60(-)$ 接通。

② 闭合水泵 I、II 开关 $1HZ$ 、 $2HZ$ ，使水泵 I 电动机 $1ZLD$ 、水泵 II 电动机 $2ZLD$ 得电，使两台柴油机的冷却水经预热锅炉而循环，以待预热（每台柴油机单独预热也可以）。

③ 闭合通风机开关 $3HZ$ ，使鼓风机电动机 $3ZLD$ 得电，对预热锅炉炉膛鼓风。

④ 隔 20 秒后炉膛内充足新鲜空气，闭合燃油泵开关 $4HZ$ ，使燃油泵电动机 $4ZLD$ 得

电，向炉膛喷入雾化了的燃油。

预热锅炉用电气元件目录表

表 8—2

序号	符 号	名 称	数 量	型 号	规 格
1	1C、2C、3C	直流接触器	3	CZO-40/20	D、C110V
2	1SJ	时间继电器	1	ZSJ ₁ -20	D、C110V 20秒
3	2SJ	时间继电器	1	ZSJ ₁ -40	D、C110V 30秒
4	3SJ	时间继电器	1	ZSJ ₁ -10	D、C110V 3秒
5	4SJ	时间继电器	1	ZSJ ₁ -10	D、C110V 5秒
6	OJ ₁	中间继电器	1	DZ61-22	D、C110V
7	GJ	光敏继电器	1		D、C110V
8	1D、2D、3D	二极管	3	2CZ5	600V 5A
9	R ₀	光敏电阻	1	RG5A	
10	1WJ	温度继电器	1	WD-699	60℃
11	2WJ	温度继电器	1	WD-699	78℃
12	K	钮子开关	1	KN3-2-1	
13	QA、HA、FA	按钮	3	LA19-11	
14	HFQ	电子火炬发生器	1	DH301-110	
15	1HZ、2HZ	组合开关	2	HZ910-25/2	25A
16	3HZ、4HZ	组合开关	2	HZ910-10/2	10A
17	1ZDK、2ZDK	自动开关	2	DZ5B-25/60	30A
18	3ZDK	自动开关	1	DZ5B-25/60	25A
19	4ZDK	自动开关	1	DZ5B-25/60	20A
20	5ZDK、6ZDK	自动开关	2	DZ5B-25/60	10A
21	1XD、2XD	信号灯	2		8W
22	1ZLD、2ZLD	直流电动机	2	ZKB-1	0.8W, 3000转/分
23	3ZLD	直流电动机	1	11SZ59	0.4W, 3000转/分
24	4ZLD	直流电动机	1	S6611T/A	0.2W, 3000转/分

⑤ 按下点火按钮 HA，使电子火炬发生器 HFQ 得电，在火花隙 DFQ 处发生火花，点燃已准备好了的空气燃油混合物。

⑥ 如果点火成功，光敏电阻 R₀ 受光照而减小电阻值，使光敏继电器 GJ 动作，中间继电器 OJ 也动作 其 OJ₂ 常开触点闭合，信号灯 2XD 亮，显示预热开始，即可松开按钮 HA。

如果点火不成功，光敏继电器不动作，信号灯 2XD 也不亮，5 秒后也应松开 HA，以免火花隙因放电时间过长而烧损。

⑦ 当冷却水预热后达 60℃（柴油机保温时，水温达 78℃）时，预热完毕，即可停止预热锅炉的工作。

⑧ 预热锅炉的停止顺序为：先停燃油泵；30 秒后再停风机；最后停水泵。

(2) 半自动工况

所谓半自动工况，即为按一下起动按钮可以自动完成一个工作循环的工况，循环完成后过程即自行停止。

当预热锅炉按半自动工况工作时，先根据预热的目的将开关 K 搬于上方或下方，预热时搬于上方，对柴油机保温时搬于下方；然后按一下起动按钮 QA，预热过程自动进行。

按下 QA，水泵电动机接触器 1C（14）得电而动作：

——1C₁ 主触点闭合，使 1ZLD 得电，水泵 I 开始转动；

—— $1C_2$ 主触点闭合，使 $2ZLD$ 得电，水泵Ⅱ开始转动；

—— $1C_3$ 常开触点闭合，使通风机接触器 $2C$ 得电，其电路为： $61(+)$ → $5ZDK$ → 921 → $1C_3$ → 933 → $4SJ_1$ → 935 → K （假定在预热位， K 已合于上方）→ 937 → $1WJ$ 常闭触点（在水温低于 60°C 时闭合）→ 929 →二极管 $1D$ → $2SJ_1$ → 927 → $2C$ 线圈→ 920 → $6ZDK$ → $60(-)$ ；

—— $1C_4$ 常开触点闭合， $1C$ 自锁， QA 可以松开。

$2C$ 得电动作后，又引起电路变化如下：

—— $2C_1$ 主触点闭合， $3ZLD$ 有电，通风机开始转动；

—— $2C_2$ 常开触点闭合，它一方面经 923 、 $2SJ_1$ 、 927 使 $2C$ 自锁；另一方面又经 923 、 OJ_1 常闭触点、 925 使燃油泵延时起动继电器 $1SJ(5)$ 得电。

③ $1SJ$ 得电后，延时20秒动作：

—— $1SJ_1$ 延时闭合常开触点闭合，使 $3C$ 得电，其电路为： $61(+)$ → $1C_3$ 常开触点→……→ 929 → $1SJ_1$ → 931 → $3C$ 线圈→ $60(-)$ ；

—— $1SJ_2$ 延时闭合常开触点闭合，准备好延时点火时间继电器 $3SJ$ 电路。

④ $3C$ 得电后，引起的电路变化有：

—— $3C_1$ 主触点闭合，使 $4ZLD$ 得电，燃油泵开始工作，向炉膛喷油；

—— $3C_2$ 常开触点闭合， $3C$ 自锁；

—— $3C_3$ 常开触点闭合，使延时点火时间继电器 $3SJ$ 有电；

⑤ $3SJ$ 得电后，延时3秒动作：

—— $3SJ_1$ 延时闭合常开触点闭合，它一方面经 947 、 HA 常闭触点、 949 对 HFQ 供电， DFQ 处产生电火花；另一方面经 947 、 $2D$ 、 955 对点火时限时间继电器 $4SJ$ 供电。

⑥ 如果5秒钟内点火成功，光敏电阻 R_0 受光照而导通， GJ 动作， OJ 得电：

—— OJ_1 常闭触点断开，使 $1SJ$ 失电，继而使 $3SJ$ 失电，经 $3SJ_1$ 导致 HFQ 失电， DFQ 不再产生火花，同时还使 $4SJ$ 失电；

—— OJ_2 常开触点闭合，使 $2XD$ 亮。

⑦ 如果5秒内点火不成功， $4SJ$ 也不失电，则到5秒时 $4SJ$ 动作：

—— $4SJ_1$ 延时断开常闭触点断开，切断 $3C$ 电路，通过 $3C_1$ 主触点使 $4ZLD$ 失电，停止供燃油；通过 $3C_3$ 常开触点使 $3SJ$ 失电，继而使 HFQ 失电，停止点火；

—— $4SJ_2$ 延时闭合常开触点闭合，使故障信号灯 $1XD$ 亮，显示出故障；同时也使 $4SJ$ 自锁（经 $3D$ ）；

$1XD$ 亮后，乘务员应查找故障原因，排除后可按下释放按钮 FA ，使 $4SJ$ 失电，以便预热锅炉第二次投入工作。

⑧ 当冷却水预热到 60°C 时，水温继电器 $1WJ$ 动作，其常闭触点断开，切断 $3C$ 电路，停止供燃油；同时常开触点闭合，使水泵延时停止时间继电器 $2SJ$ 得电。 $2SJ$ 延时20秒后动作：

—— $2SJ_1$ 延时断开常闭触点断开，使 $2C$ 失电，风机停转；

—— $2SJ_2$ 延时断开常闭触点断开，使 $1C$ 失电，水泵停转。

至此预热循环完成。

当欲实行柴油机保温时，先将 K 搬于下方，切断 $1WJ$ 触点的控制，引入 $2WJ$ 触点的控制，当水温达 78°C 时， $2WJ$ 动作，停止预热，其电路的工作情况与预热时完全相同。

§ 7. 机车保护电路

一、机组保护电路

机组保护电路的作用前已提及，这里主要归纳一下保护电路的动作情况及信号显示（以机组 I 为例）。

1. 柴油机水温保护

当柴油机水温达 85°C 时，水温继电器 $1CWJ$ 常开触点闭合，使红色水温信号灯 $1XD_3$ 亮、电铃 $1DL$ 响（电铃得电均须经过各自的二极管，电铃 $1DL$ 为 I 端信号灯电路所公用），显示水温已高的信号。

当水温升至 90°C 时， $1CWJ$ 常闭触点断开，切断 $1CBJ$ 、 $1BBJ$ 电路，使柴油机卸载，转速回 0 位（800 转/分）。

2. 柴油机机油压力保护

当柴油机机油压力低于 2.5 公斤/厘米² 时，机油压力继电器 $1RYJ_3$ 常闭触点闭合，使红色信号灯 $1XD_5$ 亮，显示机油压力低的信号。

当机油压力低于 2 公斤/厘米² 时，机油压力继电器 $1RYJ_1$ 常开触点断开，使 $1CBJ$ 、 $1BBJ$ 失电。

在信号灯 $1XD_5$ 电路里，还设有机组选择开关的触点 $1JZK_5$ ，当机组 I 因故障而切除时，机油压力肯定小于 2.5 公斤/厘米²。 $1RYJ_3$ 闭合而使 $1XD_5$ 亮，误显示信号，现加入 $1JZK_5$ 后，切除此机组，也就切断 $1XD_5$ 电路，防止了误显示。

3. 柴油机机油温度保护

当柴油机机油温度达 95°C 时，机油温度继电器 $1RWJ_1$ 常开触点闭合，使信号灯 $1XD_2$ 亮、电铃 $1DL$ 响，司机应采取必要措施，以求降温。

4. 柴油机低水位保护

当冷却水不足而使膨胀水箱水位过低时，液位继电器 $1YWJ$ 常开触点闭合，使信号灯 $1XD_6$ 亮、电铃 $1DL$ 响。

5. 变扭器油温保护

当变扭器工作油温达 110°C 时，油温继电器 $1BWJ_2$ 常开触点闭合，使信号灯 $1XD_1$ 亮、电铃 $1DL$ 响，予以警告；当油温升至 120°C 时， $1BWJ_2$ 常闭触点断开，使 $1CBJ$ 、 $1BBJ$ 失电，柴油机卸载。

二、机车保护电路

1. 列车管风压保护

当列车管风压低于 3.5 公斤/厘米² 时，风压继电器 FJ_2 常开触点断开，使 $1CBJ$ 、 $1BBJ$ 失电。

此外，该车还将紧急制动与撒砂电路联系起来。撒砂电路里设有风压继电器的常闭触点 FJ_4 （I 端司机室）、 FJ_5 （II 端司机室）。在紧急制动时，列车管风压下降，当压力低于 1.5 公斤/厘米² 时， FJ_4 常闭触点闭合，自动接通撒砂电空阀 F_{41} （按方向 I 运行时）电路，电流从 $261(+)$ → FJ_4 → 279 → YJ_2 → 281 → F_{41} 。 F_{41} 有电后，在车轮运行的前方

撒砂；若机车按方向Ⅱ（后退）运行时，方向Ⅱ继电器 EJ 有电，则电流从 $261(+)$ → FJ_4 → 279 → EJ_2 → 283 → F_{42} ， F_{42} 有电后也在车轮运行的前方撒砂。在正常情况下，用脚踏开关 $1JTK_1$ 控制撒砂。与撒砂电空阀 F_{41} 、 F_{42} 并联的电阻、电容电路，用于电空阀断电时的放电。

2. 辅助发电机超压保护

当辅助发电机电压达 135 伏时，超压保护继电器 CYJ 动作：其 CYJ_1 常闭触点断开， $1QBC$ 、 $2QBC$ 失电，切断 $1ZQF$ 、 $2ZQF$ 的励磁电路，使之停止发电；其 CYJ_2 常开触点闭合，使发电机超压信号灯 $1XD_{21}$ 亮、电铃 $1DL$ 响。

CYJ 动作后，司机应检查原因，一般来说，系电压调整器故障所致，若一时无法排除，可切除故障机组（将电压调整器里的开关断开），停止其发电，然后按下超压复原按钮 FFA ，使 CYJ 失电， $1QBC$ 、 $2QBC$ 又可重新得电，正常机组仍可对外供电。

3. 车轮空转保护

液力传动内燃机车动轮实行成组驱动，粘着利用较好，只要谨慎操纵，一般不易出现车轮空转，故有的液力传动车不设定空转保护装置。

东方红 $\lt 3$ 型机车设有 LKB 型车轮空转保护装置，取车轮出现空转时具有的角加速度信号作为保护装置的動作信号。当角加速度达一定值时，LKB 动作，使信号灯亮，显示车轮已经空转。

LKB 的原理电路如图 8—6 所示，它由测速发电机 CSF 、整流装置 ZL 、极化继电器 J_a 、中间继电器 J_b 、电容 C 、稳压管 D_w 、电阻 R_1 、 R_2 等组成。测速发电机 CSF 是个交流发电机，装在车轮的轴端，每个转向架上装一个，对本转向架的 LKB 装置供电。车轮旋转时， CSF 发电，并对 LKB 的 1、2、3 号端子供电，经 ZL 整流后，对电阻 R_1 供电，同时也经电容 C 对极化继电器 J_a 供电。在机车正常运行时，机车正常加速， CSF 电压稳定上升，对电容 C 来说可以认为加上的是直流电压，流过电容 C 的电流很小，则流过极化继电器的电流也很小，不足以使其动作。此时 CSF 发出的电消耗在电阻 R_1 上。

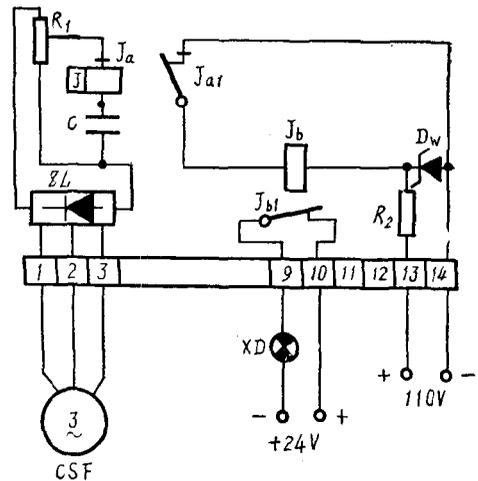


图 8—6 LKB 原理电路图

当车轮发生空转时，角加速度增大， CSF 电压会突然上升，可以认为这对电容 C 加上一个脉冲电压，流过 C 的电流较大，流过极化继电器线圈的电流也较大。极化继电器是一种反映信号极性的继电器，所谓信号的极性一般是指电流的方向而言。在此种继电器内有一永久磁铁，使衔铁（带动动触点的杆件）处于一定位置，当一定方向的电流流过继电器线圈时，衔铁克服永久磁铁吸力而定向动作，改变触点闭合情况。LKB 中用的是单向双位式极化继电器，只有在一定方向电流作用下，继电器才从一种位置变化到另一种位置（尽管 CSF 的转向可以改变，但经整流后电流方向不变，满足极化继电器的要求），定向电流消失后，继电器又恢复到原位。当车轮空转到一定程度时，按一定方向流过极化继电器的电流达足够数值，极化继电器 J_a 动作，其常开触点 J_{a1} 闭合；机车用 110 伏辅助电源接在 13、14 号端

子上，经稳压后对中间继电器 J_6 供电，当 J_{61} 闭合后， J_6 即可得电而动作，其常开触点 J_{61} 闭合，接通空转信号灯电路，发出空转信号。

改变电阻 R_1 上滑臂的位置，可以改变 LKB 的灵敏度，滑臂上移，使 LKB 动作时的加速度值减小，反之，增大（在实物上有箭头标示）。

在附图 2 上，LKB 装置中中间继电器的常开触点 J_{61} 就以 JKB_1 表示，分别有 $1LKB_1$ 、 $2LKB_1$ 。当 $1LKB$ 动作时（表示机组 I 转向架各动轮空转），其 $1LKB_1$ 常开触点闭合，使机组 I 车轮空转信号灯 $1XD_0$ 亮、电铃 $1DL$ 响；若 $2LKB$ 动作时， $2LKB_1$ 常开触点闭合，使机组 II 车轮空转信号灯 $1XD_{20}$ 亮、电铃 $1DL$ 响。

由于机车速度表也由装在车轴端的测速发电机供电，所以，哪一端车轮空转时，哪一端的机车速度表会发生急骤上升，由此也可判断空转有否发生。

4. 机车超速保护

在图 8—3 上，换挡用速度反应器 16 的飞锤转速是与机车速度成正比关系的，由此可以用来作机车超速保护输入信号。当机车达到超速保护值（东方红 3 型内燃机车 16 位时的超速保护值为 135 公里/时时，飞锤的离心力将滑阀推至右极端位，沟通超速压力继电器的油路，使之受油压作用而动作（动作油压 ≥ 1 公斤/厘米²），发出机车超速信号。

在附图 2 上，超速保护继电器为 SDJ 、超速压力继电器表示为 $1YCJ$ （机组 I）、 $2YCJ$ （机组 II）。当机车超速时， $1YCJ$ 或 $2YCJ$ 动作，其常开触点 $1YCJ$ 或 $2YCJ$ 闭合，使 SDJ 有电而动作。由于 $1YCJ$ 和 $2YCJ$ 常开触点是并联连接的，即使在切除一个机组的条件下，另一机组的超速压力继电器仍可起作用，也可使 SDJ 得电。 SDJ 动作后： SDJ_1 常开触点闭合，使列车减速电空阀 F_{45} 有电，列车管开始放风，实行列车制动（如果放风过多，风压低于 3.5 公斤/厘米²，还会使 FJ_2 动作）； SDJ_2 常开触点闭合，使机车超速信号灯 $1XD_{10}$ 亮、电铃 $1DL$ 响。

序号	符 号	名 称	数 量	型 号 及 规 格
主电路、励磁电路及辅助设备电路				
1	<i>F</i>	同步牵引发电机	1	TQFR-3000 2985kVA 438/613 V
2	1 <i>D</i> ~6 <i>D</i>	直流牵引电动机	6	ZQDR-410 410kW 550/770V
3	<i>L</i>	同步牵引励磁机	1	TQL-45 45kVA 105V
4	<i>QD</i>	启动发电机	1	ZQF-80 80kW 110V
5	<i>CF</i>	测速发电机	1	Z ₂ -12 0.6kW 110V
6	1~2 <i>YD</i>	直流电动机	2	22kW 110V
7	<i>QBD</i>	直流电动机	1	Z ₂ -41 45kW 96V
8	<i>RBD</i>	直流电动机	1	Z ₂ -12 0.6kW 110V
9	1~2 <i>RZD</i>	直流电动机	2	20kW 220V
10	1~2 <i>CF</i>	交流测速发电机	2	仪表附件
11	1 <i>ZL</i>	硅整流柜	1	GTF-4800A/770V
12	1~2 <i>LH</i>	电流互感器	2	LMZ0.5 5000A/5A
13	1~2 <i>HK</i> _工	转换开关(工况转换)	2	
14	1~2 <i>HK</i> _方	转换开关(方向转换)	2	
15	1~6 <i>C</i> , <i>ZC</i>	电空接触器	7	820A 1000V
16	1~2 <i>XC</i>	组合接触器	2	NGC 400A
17	<i>YC</i> , <i>YRC</i>	直流接触器	2	CZO-250/20 110V
18	<i>QC</i> , <i>LC</i>	直流接触器	2	CZO-400/10 110V
19	<i>QBC</i> , <i>RBC</i> , <i>FLC</i> , <i>GLC</i> , <i>LLC</i>	直流接触器	5	CZO-40/20 110V
20	1,2,25 <i>DZ</i>	自动开关	4	DZ5-25 10A
21	4,8~10 <i>DZ</i>	自动开关	4	DZ5-25 20A
22	3 <i>DZ</i>	自动开关	1	DZ5-25 25A
23	3 <i>ZDK</i>	万能转换开关	2 × 1	LW5-15-D 0081/2
24	<i>XK</i>	闸刀开关	1	ND400 110V 400A
25	<i>DK</i>	万能转换开关		LW5-15-D 0081/1
26	1~5 <i>ZJ</i>	通用继电器	5	NJT-II 110/32
27	<i>LJ</i>	继电器	1	NJD型(过流)
28	<i>DJ</i> , <i>ZLJ</i>	继电器	2	NJD-1型(接地, 制动过流)
29	1~3 <i>KJ</i>	空转继电器	3	NJK型(0.5A动作)
30	<i>FLJ</i>	电压继电器	1	NJK型
31	1~6 <i>R</i> ₁	制动电阻	6	1.00Ω 600A
32	1~6 <i>R</i> _{21~23}	磁场削弱电阻	12	
33	<i>R</i> _充	充电电阻	1	0.122Ω 100A
34	1~2 <i>R</i> ₁	电压表附加电阻	2 × 1	
35	1~2 <i>R</i> ₂	降压电阻	2	0.2Ω 100A
36	<i>R</i> _{Δ1}	管形电阻	1	ZG-11-200A 10Ω
37	<i>R</i> _{Δ2}	管形电阻	1	ZG-11-200A 50Ω
38	<i>R</i> _{Δ3}	管形电阻	1	ZG-11-200A 200Ω
39	<i>R</i> _{Δ4}	管形电阻	1	ZG-11-200A 20Ω
40	<i>R</i> _{Δ5}	管形电阻	2	ZG-11-200A 10Ω
41	<i>R</i> _{Δ6}	管形电阻	1	ZG-11-200A 200Ω
42	<i>R</i> _{Δ7}	管形电阻	1	ZG-11-200A 1kΩ
43	<i>R</i> _{Δ8}	管形电阻	1	ZG-11-200A 30Ω
44	<i>R</i> _{Δ9}	管形电阻	1	ZG-11-200A 100Ω
45	<i>R</i> _{Δ10}	管形电阻	1	ZG-11-200A 2.5kΩ
46	<i>R</i> _整	整流子电阻	1	190.8Ω

续上表

序号	符 号	名 称	数量	型 号 及 规 格
47	1~3RD	熔断器	3	RM ₁ 型200A 板后接线
48	4~5RD	熔断器	2	RM ₁ 型350A 板前接线
49	XDC	蓄电池组	1	DG-420-4 12箱48元件
50	NL	逆流装置	1	
51	3ZL	硅整流组	1	2CZ10/600V 8个
52	11~16FL	分流器	6	1000A 75mV
53	3FL	分流器	1	100A 75mV
54	1.11~16A	直流电流表	8	DY602-A 0-1000A
55	2A	直流电流表	2 × 1	DY602-A 0-8000A
56	3A	直流电流表	2 × 1	DY602-A ±100A
57	1~2n	柴油机转速表	2 × 1	DY602-n
58	1CZ	充电插座	1	
59	DL	电 炉	2 × 1	1kW 110V
60	1V	直流电压表	2 × 1	DY602-V 0-1000V
61	2V	直流电压表	2 × 1	DY602-V 0-150V
励 磁 整 流 柜				
62	D ₁ ~D ₆	二极管	6	2CZ 500A/600V
63	R ₁ ~R ₆	线绕电阻	6	RXYC 20W 39Ω
64	C ₁ ~C ₆	金属化纸介电容	6	CZJL-2 1μF 1000V
电 压 调 整 器				
65	KG ₁ ~KG ₂	可控硅	2	3CT 50A/700V
66	D ₁	二极管	1	2CZ 20A/400V
67	D ₂	二极管	1	2CP 27
68	D ₃ ~D ₆	二极管	4	2CP 22
69	D ₇	二极管	1	2CZ 5A/700V
70	D ₈	稳压管	1	2CW1
71	C ₁ ~C ₃	金属化纸介电容	3	CZJX630V 0.22 ± 10%
72	C ₄	金属化纸介电容	1	CJ40-2-630-2 ± 10%
73	C ₅	金属化纸介电容	1	CJ40-2-160-4 ± 10%
74	C ₆	电解电容	1	CDM-T-300-20-C ₁
75	C ₇	电解电容	1	CA-25V-47μF ± 20%
76	C ₈	电解电容	1	CA-25-15
77	R ₁ ~ ₃ , R ₆	金属膜电阻	4	RJ-2W 51Ω
78	R ₉	金属膜电阻	1	RJ-50W 300Ω
79	R ₇	电位器	1	WX3-43 (带锁紧) 3W39Ω
80	R ₁ ~ ₅	线绕电阻	2	RXYC40W 1K
81	R ₈	金属膜电阻	1	RJ-2W 510Ω
82	R ₁₀	金属膜电阻	1	RJ-2W 20Ω
83	BG ₁	三极管	1	3DK4B h _{FE} ≥ 40
84	BG ₂	三极管	1	3AD18D h _{FE} ≥ 25
85	RD	熔断器	1	3A 250V
86	XD	信号灯 (绿)	1	Q/XX 160-1
87	B	变压器	1	(自制)
88	L ₆	空芯电感	1	3μH
89	1CX	插接器	1	插头AT-20-J插座AZ-20-J

续上表

序号	符 号	名 称	数量	型 号 及 规 格
过 渡 控 制				
90	BG _{1~2}	三极管	2	3AD6C $h_{FE} \geq 40$
91	BG _{3~6}	三极管	4	3DK4B $h_{FE} \geq 40$
92	D _{1~3, 11~13, 17}	二极管	15	2CP22 (D ₁₇ 为2CP27)
93	C ₁	电解电容	1	CDX-1 100 μ F 25V
94	R _{1~3}	线绕电阻	2	RXYC 25W 800 Ω
95	R _{3~4}	金属膜电阻	2	RJ-2W 100k Ω
96	R _{5~9}	金属膜电阻	2	RJ-0.25W 560k Ω
97	R ₁₅	金属膜电阻	1	RJ-2W 7.5k Ω
98	R _{7~10}	电位器	4	WX-11 (带锁紧) 3W 300 Ω
99	R _{11~12}	线绕电阻	2	RXYC 25W 1k Ω
100	R _{13~14}	金属膜电阻	2	RJ-0.5W 10 Ω
101	1~2GJ	中间继电器	2	JJD8-3-33 24V
102	2CX	插接器	1	插头AT-20-J 插座AZ-20-J
103	XD _{1~2}	信号灯 (绿)	2	Q/XX 160-1
预 热 锅 炉				
104	YB	自耦变压器	1	3kVA 220/120V
105	YZD _{1~4}	二极管	4	2CZ50A/400V
106	1~2YRD	熔断器	2	RM ₁ 30A 250V
107	YHD	直流电动机	1	Z ₂ -12 0.6kW 110V
108	YSD	直流电动机	1	ZK13-1, 1kW 110V
109	YFD	直流电动机	1	11SZ59 0.4kW 110V
110	YRD	直流电动机	1	S6611J 0.2kW 110V
111	YHA	控制按钮 (红)	1	LA18-22
112	YDH	电子火炬发生器	1	直流DH-302-110
113	YWJ	温度调节器	1	WJ-1226B 60~100 $^{\circ}$ C
114	YHXD, YLHD	信号灯 (红、绿各一)	2	Q/XX 160-1
115	1~2R _{1~2}	线绕电阻	2	RXYC 10W2K
116	YZJ	通用继电器	1	NJT-II, 110/32
时 间 继 电 器				
117	3CT	可控硅	1	3CT 20A/700V
118	D ₁	二极管	1	2CP19
119	D ₂	二极管	1	2CZ 20A/700V
120	BT	单结晶体管	1	BT33F
121	DW	稳压管	2	2CW3
122	C ₁	钽电解电容	3	CA 25V/47 μ F (三并)
123	C ₂	钽电解电容	1	CA 25V/47 μ F
124	C ₃	电容器	1	CZJ2-0.22 μ F-160V
125	W	电位器	1	WS-0.5W (带锁紧) ^{60秒470K} _{3秒100K}
126	R ₁	金属膜电阻	1	RJ-2W 6.2k Ω -I
127	R ₂	金属膜电阻	1	RJ-0.5W 430 Ω -I
128	R ₃	金属膜电阻	1	RJ-0.5W 51 Ω -I
129	R ₄	金属膜电阻	1	RJ-0.5W 15k Ω -I
130	R ₅	金属膜电阻	1	RJ-2W 51 Ω -I
131	R ₆	线绕电阻	1	RXYC 20W 1K-I

续上表

序号	符 号	名 称	数量	型 号 及 规 格
控 制 及 照 明 电 路				
132	<i>DLS</i>	电磁连锁	1	
133	<i>WJ</i>	温度继电器	1	WJ1226B 60~100℃
134	1~2 <i>CS</i>	差示压力计	2	
135	<i>ZLS</i>	行程开关	1	LX3-11H
136	1~2 <i>YJ</i>	油压继电器	2	NJY 1.4~1.6kgf/cm ²
137	3~4 <i>YJ</i>	油压继电器	2	NJY 2.4~2.6kgf/cm ²
138	1 <i>DF</i>	电空阀	1	NVD3-96 96V
139	1~4 <i>TV</i>	电磁阀	4	
140	<i>KZ</i>	司机控制器	1	KZ-1
141	<i>FKZ</i>	辅助司机控制器	1	
142	<i>YK</i>	压力开关	1	5-16型 9kgf/cm ² 动作
143	1~6 <i>GK</i>	万能转换开关	6	LW5-15-D 0081/1
144	1~10 <i>K</i>	琴键开关	2 × 10	带机械闭锁
145	11~20 <i>K</i>	琴键开关	2 × 10	不带机械闭锁
146	21~23 <i>K</i> , 25~28 <i>K</i>	开 关	8	
147	<i>ZMK</i>	万能转换开关	1	LW5-15-D 0401/2
148	1~2 <i>ZDK</i>	万能转换开关	2 × 2	LW5-15-F 5501/2
149	4 <i>ZDK</i>	万能转换开关	2 × 1	LW5-15-D 0081/1
150	5 <i>ZDK</i> , <i>XKK</i>	万能转换开关	2 × 2	LW5-15-F 5506/2
151	<i>DFD</i>	直流电动机	1	S661 230W 110V
152	<i>RFD</i>	直流电动机	1	DYF-300
153	1~2 <i>SD</i>	直流顶式摇头风扇	2 × 2	DYF-300
154	1~3 <i>QA</i>	按钮开关	3	LA18-22 (二红一绿)
155	6, 15, 22 <i>DZ</i>	自动开关	5	D25-25 20A
156	5, 7, 11~14 <i>DZ</i> 16~21, 23, 24 <i>DZ</i>	自动开关	22 24	D25-25 10A
157	<i>R_{dt}</i>	管形电阻	1	ZG-11-150A 200Ω
158	<i>R_{sf}</i>	管形电阻	1	ZG-11-200A 600Ω
159	<i>R_{sd}</i>	管形电阻	1	ZG-11-25A 500Ω
160	1~4 <i>R_{sd1}</i>	管形电阻	4	ZG-11-200A 50Ω
161	1~4 <i>R_{sd2}</i>	管形电阻	4	ZG-11-200A 100Ω
162	<i>R_{1~14sd}</i>	金属膜电阻	14	2W 300Ω
163	1~2 <i>R_{sd}</i>	线绕电阻	2	25W 500Ω
164	<i>R_{ld}</i>	头灯降压电阻	1	6Ω 10A
165	1~2 <i>DD</i>	白炽灯 (接地检测)	2	8W 36V
166	1~14 <i>XD</i>	信号灯	2 × 14	12V 0.05A (红2×12, 绿2×2)
167	1~19 <i>ZD</i>	白炽灯	70	
168	<i>TD</i>	头灯	2 × 1	GS2-500型 110V
169	2 <i>CZ₁</i> , 3 <i>CZ_{1~2}</i>	墙上插座	3	二孔 250V 5A
170	4 <i>CZ_{1~2}</i>	车底插销	2	NXD型
171	1~2 <i>D₀</i>	二极管	2	2CZ 5A/300V
172	<i>DF_{1~4}</i>	电测仪表电源装置	4	
173	1~2 <i>WB</i>	电测温度表	2	DY602-T 0~150℃
174	1~2 <i>WBF</i>	电测温度表发送器	2	
175	1~2 <i>YB</i>	电测压力表	2	DY602-P 0~10 kgf/cm ²
176	1~2 <i>YBF</i>	电测压力表发送器	2	
177	1~2 <i>QF</i>	电磁阀	2	
178	<i>C_{1~2}</i>	金属化纸介电容	2	CZJ-L-2 630V 2μF

东风₄型内燃机车主要电气元件名称、符号对照表

附表 2

名 称	符 号	用 途	名 称	符 号	用 途
发 电 机	<i>F</i>		固定发电接触器	<i>GFC</i>	用于电压调整器故障时, 辅助发电机固定发电
牵引发电机	<i>F</i>		空气压缩机接触器	<i>YC</i>	
励磁机	<i>L</i>	对牵引发电机励磁的发电机	空气压缩机降压电阻接触器	<i>YRC</i>	实行降压启动后, 短路降压电阻用
测速发电机	<i>CF</i>	给励磁机励磁的发电机	继 电 器	<i>J</i>	
1号测速发电机	<i>1CF</i>	与机车速度表配套用, 兼作过渡输入信号	1号中间继电器	<i>1ZJ</i>	用于机车平稳启动和防止越位起车
2号测速发电机	<i>2CF</i>	与柴油机转速表配套用	2号中间继电器	<i>2ZJ</i>	用于柴油机水温保护
电 动 机	<i>D</i>		3号中间继电器	<i>3ZJ</i>	柴油机高负荷时, 机油压力保护
1~6号牵引电动机	<i>1~6D</i>	用以产生牵引力的电动机	4号中间继电器	<i>4ZJ</i>	柴油机防爆保护
1~2号空气压缩机电动机	<i>1~2YD</i>		过流继电器	<i>LJ</i>	牵引发电机过流保护
启动机油泵电动机	<i>QBD</i>	对柴油机预充机油	制动过流继电器	<i>ZLJ</i>	电阻制动时, 实行制动过流保护
燃油泵电动机	<i>RBD</i>	对柴油机供油管路输送燃油	辅助发电机过流继电器	<i>FLJ</i>	对蓄电池组充电时实行过流保护
1~2号制动电阻柜通风机电动机	<i>1~2RZD</i>		接地继电器	<i>DJ</i>	
预热锅炉燃油泵电动机	<i>YRD</i>		1~3号空转继电器	<i>1~3KJ</i>	
预热锅炉通风机电动机	<i>YFD</i>		一级过渡继电器	<i>1GJ</i>	
预热锅炉循环水泵电动机	<i>YSD</i>		二级过渡继电器	<i>2GJ</i>	
预热锅炉循环机油泵电动机	<i>YHD</i>		1~2号时间继电器	<i>1~2SJ</i>	
通风机电动机	<i>DFD</i>	车体内通风用	温度继电器	<i>WJ</i>	柴油机水温保护用
热风机电动机	<i>RFD</i>	司机室取暖用	1~2号压力继电器	<i>1~2YJ</i>	用于柴油机低负荷机油压力保护
1~2号风扇电动机	<i>1~2SD</i>	司机室通风	3~4号压力继电器	<i>3~4YJ</i>	用于柴油机高负荷机油压力保护
启动发电机	<i>QD</i>	作启动柴油机的电动机, 兼作辅助发电机用	1号差示压力计	<i>1CS</i>	用于柴油机防爆保护
接 触 器	<i>C</i>		2号差示压力计	<i>2CS</i>	用于柴油机防喘保护
1~6号主接触器	<i>1~6C</i>		电磁联锁	<i>DLS</i>	用于柴油机停机
制动接触器	<i>ZC</i>	电阻制动时用	转轴联锁	<i>ZLS</i>	用于与柴油机盘车机构联锁
1号磁场削弱接触器	<i>1XC</i>	用于1~3 <i>D</i> 的磁场削弱, 其中1 <i>XC</i> ₁ 用于一级削弱, 1 <i>XC</i> ₂ 用于二级削弱	电 阻	<i>R</i>	
2号磁场削弱接触器	<i>2XC</i>	用于4~6 <i>D</i> 的磁场削弱, 其中2 <i>XC</i> ₂ 用于一级削弱, 2 <i>XC</i> ₁ 用于二级削弱	1~6组制动电阻	<i>1~6R₁</i>	
启动接触器	<i>QC</i>	启动柴油机	1~6组磁场削弱电阻	<i>1~6R₂</i>	其中一级磁场削弱用为1~6 <i>R₂₁</i> ; 二级磁场削弱用为1~6 <i>R₂₂</i> 。
励磁接触器	<i>LC</i>	用于牵引发电机的励磁电路	1~2号电压表附加电阻	<i>1~2R₃</i>	
励磁机励磁接触器	<i>LLC</i>	用于励磁机的励磁电路	1~2号空气压缩机电阻	<i>1~2R₄</i>	用于降压启动
启动机油泵接触器	<i>QBC</i>	用于柴油机预充机油	充电电阻	<i>R₅</i>	
燃油泵接触器	<i>RBC</i>		电压调整器电阻	<i>R₆</i>	用于整定他励电流最大瞬时值
辅助发电机励磁接触器	<i>FLC</i>		固定发电电阻	<i>R₇</i>	辅助发电机固定励磁发电用
			制动励磁电阻	<i>R₈</i>	电阻制动时励磁电流整定
			功率调节电阻	<i>R₉</i>	用于牵引发电机恒功率调节

名 称	符 号	用 途	名 称	符 号	用 途
测速发电机1号励磁电阻	R_{c11}	测速发电机的励磁电流整定	其 它		
测速发电机2号励磁电阻	R_{c12}	测速发电机的励磁电流整定	蓄电池组	XDC	防止蓄电池组充电电路逆流
过流保护调节电阻	R_{o1}	蓄电池组充电过流保护动作值整定	逆流装置	NL	
平稳起动电阻	R_{wq}	牵引发电机励磁绕组放电用	1~3号启动按钮	$1\sim 3QA$	用于控制电路接地检查
放电电阻	R_{11}		信号灯	XD	
释放电阻	R_{11}	用于空气压缩机接触器线圈放电	头灯	TD	
控制器和开关			照明灯	ZD	
控制器	KZ		接地检查灯	DD	
辅助控制器	FKZ		预热锅炉红色信号灯	$YHXD$	
开关	K		预热锅炉绿色信号灯	$YLXD$	
蓄电池组开关	XK		插座	CZ	
接地开关	DK		插销	CX	
自动开关(或称自动脱扣开关)	DZ		导线	阿拉伯数字	
照明开关	ZMK		接线柱	分式	例: 第二二零一号线用2001表示 第十五号线用15表示, 等等。
照明灯转换开关	ZDK				例: 电器柜内第五排第二个接线柱为5/2, I端操纵台内第4排第一个接线柱为14/1, II端操纵台内第4排第一个接线柱为24/1, 动力室第一接线盒第3排第7个接线柱为1H3/7, 等等
1~2号牵引——制动转换开关(简称工况转换开关)	$1\sim 2HK_{1..}$	$1HK_{1..}$ 用于1D~3D换接; $2HK_{1..}$ 用于4D~6D换接。1~2 $HK_{1..}$ 中的牵引部分以1~2 $HK_{1..}$ 表示; 1~2 $HK_{1..}$ 中的制动部分用1~2 $HK_{1..}$ 表示。	温度表	WB	
1~2号前进——后退转换开关(简称方向转换开关)	$1\sim 2HK_{0..}$	$1HK_{0..}$ 用于1D~3D换接; $2HK_{0..}$ 用于4D~6D换接。1~2 $HK_{0..}$ 中的前进部分用1~2 $HK_{0..}$ 表示; 后退部分用1~2 $HK_{0..}$ 表示。	温度表发送器	WBF	
			电源附加装置	DF	
			压力表	YB	
			压力表发送器	YBF	

内燃机车电路图用主要图形符号表

附表 3

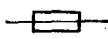
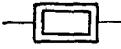
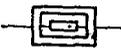
名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
基本符号		导线及电缆	
电流种类		母 线	
直流电	—	交叉导线	
交流电	~	互不连接	
正 极	+	互相连接	
负 极	-	导线的分支线	
交流电的相序		单分支	
A相 (第一相)	A	双分支	
B相 (第二相)	B	电感线圈、变压器	
C相 (第三相)	C	电感线圈、变压器绕组的一般符号	
中性线	N	注：图形符号中半圆的个数不作规定 可以用一个黑点表示绕组的首端	
绕组连接方式		电气连接	
星形连接的三相绕组		电气的连接点	● 或 ○
有中性点引出线的星形连接三相绕组		可拆卸的连接 (接线柱或端子)	φ
三角形连接的三相绕组		接机壳	
三相V形连接的两个绕组		接 地	
铁芯		导线、电缆、母线及其连接	
铁氧体芯		导线、电缆及母线	
注：线圈及变压器芯子		一般符号	
铁 芯			
铁氧体芯			
注：线段数不应少于三段		有铁芯的单相双绕组变压器	

名称	图形符号	名称	图形符号
有抽头并有铁芯的双绕组变压器		有滑环单相交流或直流励磁凸极式转子	
有铁芯的三绕组变压器		注：若转子上有起动或阻尼绕组时	
单级电流互感器		有换向器和电刷的转子	
旋转电机		换接装置	
旋转电机的绕组		开关和转换开关的触点	
换向绕组		常开触点	
补偿绕组		常闭触点	
交流电机定子绕组(每相)或直流电机励磁绕组		注：开关带闭锁机构时可打一黑点	
注：如果需将并励绕组与串励绕组区别，可用四个半圆表示并励绕组		不切断的触点	
电刷		自动开关的常开触点	
电刷在滑环上(电刷也可略去不画)		与工作机械联动的开关	
电刷在换向器上		常开触点	
定子		常闭触点	
定子绕组三相星形连接		继电器触点	
定子绕组三相三角形连接		常开触点	
转子		常闭触点	
无滑环鼠笼式转子		注：表示动触点的小圈可以涂黑	
无滑环永磁式转子			

名称	图形符号	名称	图形符号
带时限的继电器触点		常闭触点	
延时闭合常开触点		继电器、接触器、电空阀（电磁阀）线圈	
延时断开常开触点		一般符号	
延时闭合常闭触点		当需要指出继电器为单线圈时	
延时断开常闭触点		线圈的引出线允许绘于矩形的一侧	
继电器保持触点		当需要指出不同作用的线圈时，表示如下：	
常开触点		电流线圈	
常闭触点		电压线圈	
注：表示锁键的三角可以涂黑		过电流继电器线圈	
非电继电器（反应非电物理量的变化）触点		当需要指出是电空阀（电磁阀）线圈时**	
气压或液压式	常开触点 常闭触点	带时限的电磁继电器线圈	
液位式		缓吸线圈	
温度式		缓放线圈	
接触器的触点		双线圈继电器和接触器线圈	
常开触点		当线圈在电路图上分别画出时	
常闭触点			
注：主触点与辅助触点符号一致			
带灭弧装置的触点			
常开触点			

名称	图形符号	名称	图形符号
控制器或操作开关 本图形符号表示有五个位置、四对触点的控制器。右侧表示控制器的触点，常以阿拉伯数字编号；左侧表示触点的闭合表，表中垂直虚线表示控制器手柄（或手轮）的位置，每个位置注出文字或符号，0表示手柄在中间位置（中立位），虚线上打黑点或小圆圈者表示对应此位置下闭合，无黑点或小圆圈表示触点不接通。在简单的控制器或操作开关上，可将触点闭合表垂直重叠画在触点符号上。		插接器一般符号	
		插头	
		插座	
		按钮	
		带常开触点，能自动返回的按钮	
		带常闭触点，能自动返回的按钮	
		带闭锁装置的按钮	
电阻		半导体器件	
一般固定电阻		半导体二极管	
有抽头的固定电阻		P-N-P 型三极管	
变阻器（可调电阻）		N-P-N 型三极管	
一般符号		稳压管*	
可断开电路的		可控硅整流元件*	
不可断开电路的		单结晶体管*	
电位器一般符号		电气测量仪表	
电容器			
一般符号			
电解电容			
有极性的			
无极性的			

续上表

名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
指示式测量仪表的一般符号		电 铃	
注：圆内可注以文字符号，表示不同仪表，如安培表用“A”，伏特表用“V”等		照明灯	
检流计		头灯、聚光灯	
分流器		信号灯	
其 他		机械式振子*	
电 炉		熔断器	
一般符号		火花隙	
电阻炉		电磁铁	
蜂鸣器			

注：凡打*号者，并非 GB312—64 中的规定；

凡打**号者，为 TB466—66 《内燃、电力机车电气线路图图形符号》的规定。

东方红 3 >型内燃机车电路图用文字符号表

附表 4

序 号	符 号	名 称	数 量	型 号 及 规 格
1	$F_{1 \sim 8, 10 \sim 8}$	电空阀	28	NVD5, 110V 风口 $\phi 4$
2	$F_{9 \sim 10}$	无负荷起动电空阀	2	WQF, 110V 风口 $\phi 8$
3	$F_{41 \sim 44}$	风笛、撒砂电空阀	4	FSF, 110V 风口 $\phi 12$
4	F_{45}	制动电空阀	1	WQF, 110V 风口 $\phi 18$
5	1 ~ 2 CBJ	柴油机保护继电器	2	DZ61-40, 110V
6	1 ~ 2 BBJ	变扭器保护继电器	2	DZ61-40, 110V
7	YJ	机车方向 I 继电器	1	DZ61-40, 110V
8	EJ	机车方向 II 继电器	1	DZ61-40, 110V
9	CYJ	发电机超压继电器	1	
10	BHJ	本车换向继电器	1	DZ61-22, 110V
11	THJ	他车换向继电器	1	DZ61-22, 110V
12	LJ	机车重联继电器	1	DZ61-22, 110V
13	1 ~ 2 DJ	空压机起动继电器	2	DZ61-22, 110V
14	TTJ	他车停止继电器	1	DZ61-22, 110V
15	SDJ	机车超速继电器	1	DZ61-40, 110V
16	1SJ	时间继电器	1	ZSJ1-20, 110V
17	2SJ, 4 ~ 6 SJ	时间继电器	4	ZSJ1-10, 110V

续上表

序号	符 号	名 称	数 量	型 号 及 规 格
18	3SJ	时间继电器	1	ZSJ1-10, 110V
19	1~2 QDC	柴油机启动接触器	2	CZO-150/10, 110V
20	1~2 QBC	起动保护继电器	2	CZO-150/20, 110V
21	1~4 FC	空压机接触器	4	CZO-150/10, 110V
22	1~2 YC	机油泵接触器	2	CZO-40/20, 110V
23	1~2 RC	燃油泵接触器	2	CZO-40/20, 110V
24	FJ ₂	风压继电器	1	YQ-1 >4kgf/cm ² <3.5kgf/cm ²
25	FJ ₃	风压继电器	1	YQ-2 >9kgf/cm ² <7.5kgf/cm ²
26	FJ _{4~5}	风压继电器	1	YQ-3 >2kgf/cm ² <1.5kgf/cm ²
27	1~2 RYJ ₁	机油压力继电器	2	DP-10, 2kgf/cm ²
28	1~2 RYJ ₂	机油压力继电器	2	DP-10, 0.4kgf/cm ²
29	1~2 RYJ ₃	机油压力继电器	2	DP-10, 2.5kgf/cm ²
30	1~2 BYJ _{1~2}	变扭器油压继电器	4	DP-10, 1kgf/cm ²
31	1~2 YCJ	机车超速压力继电器	2	DP-10, 1kgf/cm ²
32	1~2 CWJ ₁	柴油机水温继电器	2	WJYK-11, 90℃
33	1~2 CWJ ₂	柴油机水温继电器	2	WJYK-11, 60℃
34	1~2 CWJ ₃	柴油机水温继电器	2	WJYK-11, 40℃
35	1~2 CWJ ₄	柴油机水温继电器	2	WJYK-11, >78℃ <73℃
36	1~2 CWJ _{5~6}	柴油机水温继电器	2	WJYK-11, 65℃
37	1~2 CWJ ₇	柴油机水温继电器	1	WJYK-11, 85℃
38	1~2 RWJ ₁	机油温度继电器	2	WJYK-11, 95℃
39	1~2 BWJ ₁	变扭器油温继电器	2	WJYK-11, 120℃
40	1~2 BWJ ₂	变扭器油温继电器	2	WJYK-11, 110℃
41	1~2 YWJ	液位继电器	2	JYF-01
42	ZGK	总控制开关	1	DZ10-50, 50A
43	DCK	蓄电池组开关	1	HDH-400/29, 400A
44	1ZHK	电源转换开关	1	HZ10-60/3, 60A
45	2ZHK	预热-充电转换开关	1	HZ10-60/3, 60A
46	1~2 ZDK	换挡选择开关	2	LW5
47	1~2 JZK	机组选择开关	2	LW5
48	1~2 WZK	温度选择开关	2	LW5
49	1~2 BK	标志灯开关	2	LW5
50	1~2 JTK _{1~2}	脚踏开关	4	JLXK1-111
51	1~2 K _{1~17}	琴键开关	34	110V, 15A
52	1~2 K ₁₈	控制柜开关	2	LS3-2, 220V, 3A
53	ZDK	自动开关	7	DZ5B-50/60, 25A
54	ZDK	自动开关	2	DZ5B-50/60, 20A
55	ZDK	自动开关	5	DZ5B-50/60, 15A
56	ZDK	自动开关	8	DZ5B-50/60, 3A
57	ZDK	自动开关	2	DZ5B-50/60, 30A
58	RD _{1~2}	熔断器	2	RTO-400Q/400
59	RD _{3~4}	熔断器	2	RTO-200Q/200
60	RD _{5~6}	熔断器	2	RTO-200Q/150
61	1~2 QA _{1~2}	起动按钮	4	LA19-11
62	1~2 TA _{1~2}	停止按钮	6	LA19-11
63	1~2 DA ₁	风笛按钮	2	LA19-11J
64	1~2 WA	微量充油按钮	2	LA19-11

续上表

序号	符 号	名 称	数 量	型 号 及 规 格
65	FFA	发电机超压复原按钮	1	LA19-11
66	1~2 HLQ	换向联锁器	2	HLQ
67	1~2 DTQ	电压调整器	2	DTQ-1
68	1~2 SKQ	机车速度控制器	2	KZ-1
69	1~2 FKQ	机车方向控制器	2	KZ-1
70	1~2 FL	电流表分流器	2	75mV, 250A
71	1~2 PS _{1~4}	压力表发送器	8	ZY1-17
72	1~2 TS _{1~4}	温度表发送器	8	WZB-260
73	1~2 R ₁	逆流二极管保护电阻	2	ZG-11-25, 25W, 50Ω
74	1~2 R ₂	磁场电阻	2	RXYC, 200W, 10Ω
75	1R _{1~7} , 2R _{1~8}	电 阻	7	RXYC, 10W, 180~620Ω
76	1~2 R ₃	头灯减光电阻	2	RYC, 200W, 10Ω
77	1~2 HR ₁	减光电阻	2	RC1-25, 25W, 10Ω
78	1~2 QR	空压机起电电阻	2	ZX1, 0.44Ω
79	1~2 FY	分压电阻	2	
80	1~2 HR ₂	减光电阻	2	RC1-25, 25W, 50Ω
81	1~2 C ₁	逆流二极管保护电容	2	CDM-T-C, 50μF, 300V
82	1C _{2~6} , 2C _{2~8}	单层金属膜电容	7	CZJD, 20μF, 50V
83	1~2 D _{1~2}	逆流二极管	4	2CZ 200A/600V
84	D _{1~4}	二极管	4	2CZ 5A/600V
85	D _{5~7} , 9~14, 19~18	二极管	12	2CZ 3A/400V
86	1~2 DLW	电 炉	2	1kW, 110V
87	1~2 DL	电 铃	2	8W, 24V
88	XDC	蓄电池组	16	6Q-182, 12V, 182Ah
89	1~2 A	电流表	2	DY602-A, 250-0-250A, 110V
90	1~2 V	电压表	2	DY602-V, 0~150V
91	1~2 T _{1~2}	电测温度表	4	DY602-T, 0~150℃
92	1~2 P _{1~2}	电测压力表	4	DY602-P, 0~10kgf/cm ²
93	1~2 n _{1~2}	电测转速表	4	DY602-n, 0~2000r.p.m
94	1~2 DJS	机车速度表	2	0~150公里/时
95	NXK	逆变器选择开关	1	LW5-10/4
96	1~2 ZQF	启动发电机	2	ZQF-23 23kW
97	ZD _{1~2}	空压机电动机	2	Z ₂ C-62 13kW
98	ZD _{3~4}	机油泵电动机	2	ZK13-2, 1kW
99	ZD _{5~6}	燃油泵电动机	2	13SZ05F/H1, 0.4kW
100	ZD _{7~8}	司机室暖风电动机	2	11SZ60/A100, 0.3kW
101	DFS _{1~4}	排风扇电动机	2	11SZ60/A100, 0.3kW
102	FS _{1~4}	司机室壁扇	2	ST30-1, φ300, 40W
103	NBQ	逆变器	1	GNQ-5A, 300W
104	YRX	预热锅炉控制箱	1	
105	WDY	外电源装置	1	
106	DH	对讲电话	1	
107	1~2 LKB	车轮空转保护装置	2	
108	1~2 XD _{1~21}	信号灯	38	HJ-5
109	JQD	机器间灯	12	40W, 110V
110	CXD	车下灯	3	40W, 110V
111	1~2 SD	司机室灯	4	40W, 110V
112	1~2 DPD	点牌灯	2	8W, 110V
113	1~2 BD _{1~3}	标志灯	6	15W, 110V
114	1~2 TD	头 灯	2	600W, 110V
115	1~2 KD	控制柜灯	2	8W, 110V
116	1~2 ZD ₁	仪表灯	16	
117	1~2 ZD ₂	风表灯	4	8W, 24V
118	CZ	插 座	8	