

NEIRANJICHE
DIANQI FENXI

内燃机车电器分析

上海铁道学院机车电传动教研组编

人 民 铁 道 出 版 社

2.33
6

内 容 提 要

本书对电器的作用、分类及内燃机车电器的工作特点作了介绍,并进一步对有触点电器中的一般问题作了理论分析。在介绍具体电器时,以我国新型大功率内燃机车为例,不仅从理论上阐明了它们的结构特点和作用原理,同时还对有关电器的技术参数,制造工艺,材质要求和电器调整作了介绍,有助于读者对电器工作较深入的了解。

本书可供从事内燃机车电器设计、制造、运用、维修的工程技术人员和大专院校师生学习参考,也适用于从事内燃机车电器检修的工人、乘务人员学习。

内燃机车电器分析

上海铁道学院机车电传动教研组编

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 9.75 字数: 245 千

1978年10月第1版 1978年10月第1次印刷

统一书号: 15043·5094 定价: 0.94 元

目 录

第一章 电器的一般概念	1
§ 1—1 电器的作用及分类.....	1
§ 1—2 内燃机车电器的工作特点.....	1
第二章 有触头电器的一般问题	3
§ 2—1 触头工作情况分析.....	3
§ 2—2 直流电弧的熄灭方法.....	6
§ 2—3 开断直流电路时的过电压及其减小措施.....	8
§ 2—4 触头的分类及材料.....	9
§ 2—5 直流电磁机构的基本结构.....	11
§ 2—6 磁势、气隙和电磁吸力.....	11
§ 2—7 吸力特性和反作用力特性.....	14
§ 2—8 电磁线圈.....	18
§ 2—9 电空传动机构（包括电空阀）.....	24
第三章 接触器	28
§ 3—1 接触器的特点及其在机车上的应用.....	28
§ 3—2 电空接触器.....	29
§ 3—3 组合式电空接触器（NGC型）.....	33
§ 3—4 电磁接触器.....	34
第四章 继电器	40
§ 4—1 继电器的工作特点及其在机车上的应用.....	40
§ 4—2 JT3型及NJT-110型电磁式继电器.....	40
§ 4—3 空转继电器（NJK型）.....	45
§ 4—4 接地继电器（NJD型）.....	50
§ 4—5 过渡继电器（NJG型）.....	54
§ 4—6 空气阻尼式时间继电器（JS7-2A型）.....	60
§ 4—7 温度继电器.....	62
§ 4—8 压力继电器.....	64
§ 4—9 液位继电器（JYF-01型）.....	68
第五章 组合电器	69
§ 5—1 NF-110型 反向器.....	69
§ 5—2 NHZ-110型制动转换器.....	72
§ 5—3 NWK型转换器.....	75
§ 5—4 司机控制器.....	76
第六章 半导体器件	84

§ 6—1 半导体二极管	84
§ 6—2 稳压管	87
§ 6—3 晶体三极管	88
§ 6—4 可控硅元件	93
§ 6—5 单结晶体管	98
第七章 晶体管电压调节器	101
§ 7—1 概述	101
§ 7—2 DTQ型晶体管电压调节器	101
§ 7—3 东风 ₄ 型内燃机车可控硅电压调节器	108
第八章 晶体管继电器	117
§ 8—1 晶体管时间继电器	117
§ 8—2 晶体管过渡继电器	122
§ 8—3 空转保护装置	126
§ 8—4 逆流装置	127
第九章 保护电器	128
§ 9—1 熔断器及快速熔断器	128
§ 9—2 自动开关及快速自动开关	133
第十章 机车用非电量电测仪表及汞氙灯	143
§ 10—1 通用式电测压力表	143
§ 10—2 通用式电测温度表	144
§ 10—3 DY602P型电测压力表	145
§ 10—4 DY602T型电测温度表	145
§ 10—5 机车速度表	146
§ 10—6 电测转速表	147
§ 10—7 汞氙灯及其触发装置	147
第十一章 电阻与变阻器	151

第一章 电器的一般概念

§ 1—1 电器的作用及分类

内燃机车上用的接触器、继电器、反向器、司机控制器、熔断器、电压调节器等等电气设备，称为电器装置，这些电器的作用是对柴油机、电力传动装置、液力传动装置以及其它辅助装置进行控制、调节、保护，以使这些机组或设备能正常和协调地工作，确保安全可靠地完成运输任务。

由于电器是为柴油机、牵引发电机以及牵引电动机服务的，因此，它是一些辅助用的电气设备。这些电器的作用大致上分为三种：

1. 控制作用：如司机控制器是由司机通过手柄来控制柴油机转速。又如过渡继电器用于自动地实现磁场削弱的控制。
2. 保护作用：如油压继电器、水温继电器、空转继电器、熔断器等。
3. 调节作用：如电压调节器，它能自动地调节启动辅助发电机的电压，使其维持在 110 ± 2 伏范围内。

电器分类方法很多，按其动作性质可分为自动电器和手动电器。司机控制器为手动电器，继电器、接触器、电压调节器等为自动电器。

本书将按照电器产品的名称进行叙述。

§ 1—2 内燃机车电器的工作特点

内燃机车电器的工作条件较差，这是由于机车工作条件的特殊性所决定的，主要有下列四个方面：

1. 要耐振动

内燃机车在运行时的各种振动，其中主要是车轮在通过钢轨接缝或道岔处产生的冲击、机车在启动和制动过程中产生的冲动、柴油机振动等都会影响电器的工作。为了减少或消除振动对电器工作的影响，在设计电器时，结构上必须予以考虑，例如，增加锁紧零件的数目；采用均衡装置等。

2. 要经受得起温度和湿度的急剧变化

内燃机车在运行中，电器所经受的温度和湿度变化极大。因此电器的金属表面一般都应镀锌、锡或其它保护层，防止金属零件氧化。对木材或吸湿性强的材料，必须用干性油漆、沥青等浸渍，以提高其绝缘能力和防腐性。电器线圈等发热部件，应按最高环境温度来考虑。

3. 安装地位挤，要求结构紧凑

由于机车本身受到机车限界尺寸的限制，要求电器外形尺寸小，在机车上安装紧凑，并便于检查、保养。为达此目的常常在机车上以组合电器代替几个个别电器。减小电器尺寸的另一有效方法是采用人工冷却，例如，在内燃机车上的制动电阻就采用强迫通风冷却，以减

小电阻尺寸。

4. 电压变化范围大

在内燃机车上，当柴油机未启动前，控制电路由蓄电池供电，电压为直流96伏；当柴油机启动以后，控制电路由启动辅助发电机供电，由于启动辅助发电机装有电压调节器，能保证启动辅助发电机电压在直流 110 ± 2 伏范围内，故在正常情况下，电压变化是不大的。在有些情况下，控制电源电压会低得多，例如，在东风型内燃机车中柴油机启动时，启动电流很大，致使蓄电池电压下降很多，因此，对于柴油机启动时已在工作的电器要作特别考虑，要求在较低电压下仍能可靠地工作。

在设计机车电器时，对电器耐振性能、电压变化范围以及对温度、湿度的适应能力有一定要求，这些要求是由“牵引电器产品一般技术条件”来规定的。

在内燃机车上，有相当一部分电器是采用一般工业通用电器，对这些电器必须作具体分析并经实践考验后，才能确定其在机车上应用是否合适。

第二章 有触头电器的一般问题

§ 2—1 触头工作情况分析

内燃机车上采用的电器，大部分是有触头的开关电器，例如：接触器、继电器、自动开关、组合开关等，其主要作用是接通或开断电路，在电器中执行这个任务的机构就是触头，为此对触头的工作，作一稍为详细的分析。

触头系统的工作可分四种工作情况，即触头处于断开状态；触头处于闭合状态；触头的闭合过程；触头的断开过程。

触头断开过程的主要问题是熄灭电弧和减小由于电弧产生的触头的电磨损；对于触头闭合过程来说，主要是减少由于触头碰撞而产生的机械振动，从而减少触头电磨损和避免触头的熔焊；触头处于闭合状态的主要问题是触头的发热，而触头发热是由于接触电阻所引起的，因此，必须设法减小接触电阻；触头处于断开状态，只要触头的断开距离足够，以保证电弧可靠熄灭就可以了。下面对上述四种情况进行说明。

一、触头处于断开状态

触头处于断开状态时，触头间要有足够的开距，开距的作用一方面保证电弧可靠熄灭，另一方面在触头间出现过电压时，不致使空气击穿而导电。

二、触头处于闭合状态

触头在闭合状态时，有持续电流或短时故障电流流过触头。由于触头间有接触电阻存在，因此，当有电流流过时，触头就要发热。过度发热一方面消耗了大量电能，更主要的是使触头氧化。通常铜质触头氧化后，接触电阻进一步加大，又使温度更进一步增高，这样就形成恶性循环。在有的电器中，触头温升过高，甚至引起触头弹簧退火，触头间压力不足，引起严重的故障。因此，必须把触头温度限制在一定限度内，使触头不致过度发热。

在触头间保持一定压力，是保证触头良好接触的一个很重要的条件。所以为了减小接触电阻，除采用较大尺寸外，还必须采用加大压力的方法。

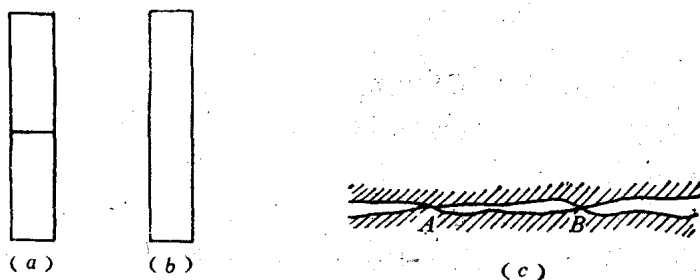


图 2—1 导体接触导电时工作原理图

(a) —— 两个导体接触导电示意图； (b) —— 整块导体导电示意图； (c) —— 两个导体接触面放大图。

当相同的电流流过两个接触的导体（图2—1a）和一个整块导体时（图2—1b），两者的材料、尺寸都相同。实际测量证明，前者的电阻大于后者，而前者大于后者的那部分欧姆数值就称为接触电阻。这是因为两个触头的接触表面，无论如何精细地加工，放大以后再观察，实际上总是可以发现有许多高低不平之处，如图2—1(c)所示。因此，两个触头接触时，实际接触面积总是比原来导体截面小很多，因此出现了较大的电阻。此外，接触表面总是存在着氧化层，通常氧化层的电阻比材料原来的电阻大，这也是出现接触电阻的另一个原因。

实践证明，如果加大触头接触的互压力 F （一般称为接触压力），那么，由于材料变形而使实际接触面积增加，接触电阻就会减小。

接触电阻 R_c 和接触压力 F 有以下关系：

$$R_c = \frac{K}{F^n} \quad (2-1)$$

式中 K ——和触头材料有关的常数；

n ——和接触方式有关的常数。

由上面关系可以看到，接触压力增大，接触电阻就减小，在通以同样大小电流时，触头的温升就会减低。接触压力不够常常是导致电器触头损坏的一个主要原因，必须予以充分重视。

此外，触头在工作中不可避免地有磨损，在有磨损的情况下为了使电器触头正常工作，触头间仍需保持一定压力，为此，触头必须要有一段超程行程（简称超程）。

所谓“超程”，就是在触头闭合时，假设把静触头拿去，动触头在触头弹簧作用下，再向前行进的那一段距离，如图2—2所示。由于“超程”的存在，触头有一些磨损后，仍能保持足够的接触压力和良好的接触状态。

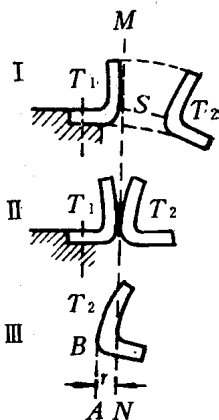


图2—2 指形触头
S——触头开距， r ——触头超程， T ——静触头， T_1 ——动触头。

三、触头的闭合过程

触头的闭合过程包括动、静触头相互接近，二者相互接触，这时，接触压力增加，接触电阻由大变小，最后到达一定的终压力值。

为了减小闭合过程中在触头上消耗的能量，希望闭合过程愈快愈好。因此，一般要求触头装设具有预压的触头弹簧，使触头在接近时，具有一定的闭合速度。触头弹簧的另一作用是可以帮助触头的研磨和减少闭合时触头的弹动。

如前所述，接触表面的氧化层是增加触头接触电阻的一个重要因素，特别是对铜触头和铜基合金（如铜钨、镉铜、铜铁等）触头尤为严重。

铜触头在室温下（20~30°C）放在空气中就开始氧化，但由于造成的氧化膜很薄，当触头压紧时，它便被破坏，故对接触电阻影响不大；但当铜触头处于较高温度下，氧化就大大加快。试验表明，铜触头在100°C的温度下停留约1小时，它的接触电阻将增加50倍。交替地加热与冷却更能助长氧化过程。

为了消除触头表面的氧化层，接触器在触头接触时常常采用图2—3所示结构。开始接近时，动、静触头在A点接触，最后滚到B点，B点是触头长期工作的区域。由于在动、静触头上A—B长度不一样，因此在两者接触过程中，不仅有相对滚动，而且有相对滑动存

在。这样触头在接触过程中，氧化膜就被自动擦掉，这个过程称为研磨过程。研磨过程的另一个作用，可以使触头烧损点 A 点，与触头经常接触点 B 点分开，这样可以使触头经常工作时接触状况良好。为了使触头动作时有研磨过程，在触头上必须设置触头弹簧，因而触头弹簧有时也称为研磨弹簧。

此外，触头在闭合过程中，由于触头之间的碰撞常常产生触头的机械振动，或者叫做弹动。弹动的结果，在触头间会有断续的电弧产生。在严重的情况下，由于触头经断续电弧的燃烧，将有局部熔化，触头闭合后，电弧消失，触头温度下降，熔化金属将凝固，使动、静触头熔焊在一起，造成电器不能分断的严重事故。这种情况在触头闭合大电流时更易于发生，必须予以充分注意。

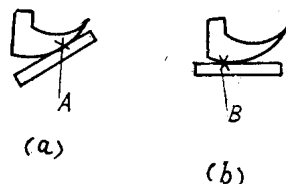


图 2—3 触头研磨过程图

(a) ——开始接触状态；

(b) ——最终闭合状态。

四、触头的断开过程

当切断有电流的电路时，触头之间一般都要出现电弧。电弧是气体放电的一种形式，也就是气体由绝缘状态转化为导电状态，此时，触头虽然分离，而电路仍不能断开，并且电弧有很高的温度，会使触头金属熔化，甚至使触头严重烧损而无法继续工作，因此，必须设法使电弧迅速熄灭。

通常气体是不导电的，在触头断开时，气体能导电是因为阴极在高温或高电场作用下，向气体发射带负电的电子，这一过程称为阴极发射。此外，在高温或高电场作用下，气体的中性分子会分成带负电的电子和带正电的正离子，这一过程称为气体的游离。阴极发射和气体游离统称为游离过程。游离的气体中有带电的质点——即带负电的电子和带正电的正离子，因而它就能导电而形成电弧。

试验证明，电弧中气体游离的程度和电弧温度有很大的关系，电弧温度愈高，则气体游离程度也愈强。气体在游离的同时，还存在着消游离过程。

消游离过程主要有二种形式，一种是复合，当异性的带电质点彼此接近时，由于两者之间存在着静电吸力，从而使它们相互结合在一起，中和电性而成为中性分子；另一种是扩散，即弧柱表面一层带电质点扩散到周围冷介质中去，使弧柱中带电质点减少。复合和扩散统称为消游离过程。复合和扩散过程也和温度有很大的关系。温度愈低，则电弧中复合和扩散过程进行得愈快，消游离作用也就愈为强烈。

在断开带有电流的触头时，电弧的发生和发展过程如下：当开断通有电流的线路时，最初是触头的接触压力逐渐减小，相应的接触电阻逐渐加大，这样触头的温度也就逐渐升高，在触头最终离开的一点上将产生高温。由于触头刚刚分离，线路电压加在触头间极小的空隙内，形成很高的电场。由于高温、高电场的作用，触头金属内部的电子便脱离金属表面向外发射。这些从阴极发射出来的电子，在电场力作用下，不断地往阳极方向飞快地运动，在运动过程中，不时地和气体分子碰撞，又使一些电子脱离原来原子或分子的束缚，变成自由电子和正离子，亦即产生碰撞游离。由于阴极不断发射电子，同时又不断地发生碰撞游离，这样，就有大量的电子由阴极飞奔阳极。与此同时，又有很多正离子，由阳极射向阴极，于是阴极和阳极的气隙中就有电流通过，从而使气体由绝缘状态变成了导电状态，这就是电弧的发生和发展的过程。

在游离过程的同时，还有消游离过程存在。当电子和正离子运动速度减小或者温度不太

高时，就加强了复合过程。弧柱表面和周围介质间温度差别大时，也加强了扩散过程。

在电弧发生过程中，由于游离、消游离同时存在，因此，电弧最后平衡在某一状态下，这时就成为一个稳定燃烧的电弧。当游离过程占优势时，电弧便会发生和扩大；反之，当消游离过程占优势时，电弧就趋于熄灭。

电弧是一种客观存在的物理现象。人们常常可以利用电弧来进行有益于人类的生产活动，例如弧光灯、电弧焊接、电弧炼钢炉等等都是应用电弧这样一种物理现象。在这种情况下，可以从应用电弧的角度——即怎样才能维持电弧稳定而可靠燃烧的角度来进行讨论。然而在开关电器中，电弧的产生对电器带来了破坏作用。在切断具有一定电流和电压的线路时，电弧又是不可避免地一定会发生，因此，在电器中是从怎样限制和迅速熄灭电弧这样一个角度来对电弧进行讨论的。

如前所述，游离和消游离作用是电弧现象中两个相互对立而又同时存在的现象。要使电弧熄灭就要人为地减少游离因素，增加消游离因素，减少气体中带电质点的数目，使之由导电状态转化为绝缘状态，最后导致电弧的熄灭。

所有的游离因素都和通过电弧的电流以及电弧两端施加的电压有关。一个电弧可以看做是电流流过一个特殊电阻，电弧电流和电压愈大，表示消耗在电弧中的功率也愈大，电弧温度也愈高，电弧中的游离过程也愈剧烈，因此减小电弧的电压和电流是有助于电弧熄灭的，如果触头间没有电压也不通以电流，那末显而易见也不会形成电弧了。

用各种各样办法冷却电弧，是减少游离因素、增加消游离因素的一个非常有效办法，这种方法在现有开关电器的熄弧装置中应用甚为广泛。

提高触头周围气体的压力，即增加气体密度，从而减小气体分子间距离，增加气体的导热性，亦有助于电弧的熄灭。

与此相反，如果把触头置于高度真空之中进行开断，由于真空中只有很少气体分子和原子，因此没有足够的带电质点，电弧也就难以维持了，真空开关就是在这个原理上制造的。

综上所述，在触头开断过程中，主要是尽快地、可靠地熄灭电弧。为此，除了在断开触头时要求有一定速度和保持触头间有一定开距外，对有的开关电器还必须要装熄弧装置，以便可靠地灭弧。

§ 2—2 直流电弧的熄灭方法

熄灭直流电弧的具体方法很多，以下仅对低压电器中常用的几种作简单的说明。

一、拉长电弧

简单地机械拉长电弧是古老的熄弧方法，电弧轴向长度增长以后，维持电弧稳定燃烧所需的电压值就会增加，电弧拉长后，当外加电压不足以维持电弧稳定燃烧时，电弧便熄灭。为了使电弧很快熄灭，必需有较大的开断速度。显然，这种方法只适用于低电压小电流的场合。

二、磁吹和窄缝灭弧

利用一个线圈（通常叫磁吹线圈）在电弧区域建立一个集中的较强的磁场，使电弧电流在这一磁场作用下，按左手定则产生一个横向电动力，电弧由于受到电动力的作用，产生很

快的运动。运动的结果电弧一方面被很快拉长，另一方面与周围空气不断接触而冷却，从而使其熄灭。

磁吹线圈一般都采用串联，即通过磁吹线圈的电流与电弧电流相同，这样，磁吹力大致上与电弧电流平方成正比。电流大时，电弧受到的磁吹力也愈大，冷却也强烈，电弧熄灭就快，电流小时，则磁吹力小，冷却差一些，灭弧效果也就差些。

为了加强弧区磁场，在线圈中设置铁芯，两端装有两块钢质夹板。这样加强了弧区的磁通量，使磁吹力大大增加，如图2—4所示。

通常在触头上侧装有灭弧角。有了灭弧角以后，可以引导电弧在横方向运动，从而保护触头的接触表面，不致于被电弧烧坏。

磁吹灭弧装置都带有灭弧罩，灭弧罩用陶土等耐电弧的绝缘材料制成。灭弧罩的内侧壁间距离叫做“缝”。“缝”的宽度大于电弧弧柱直径时，叫做“宽”缝；反之，弧柱直径等于或小于缝的宽度时，叫“窄”缝。灭弧罩的作用是：一方面限制电弧活动空间，避免电弧损伤其它物体；另一方面在电弧与灭弧罩内壁接触过程中，冷却电弧，增强消游离作用，迫使电弧熄灭。

从冷却电弧这一点来讲，窄缝比宽缝效果好得多，但电弧在窄缝中运动阻力较大。

为了得到较好的效果，必须再进一步加强磁吹力，亦即增加磁吹灭弧线圈的匝数。在磁吹力不太强的情况下，有时窄缝灭弧罩不一定会得到较好的灭弧效果。

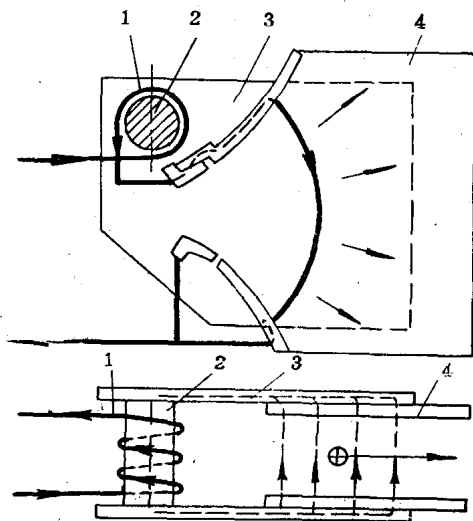


图2—4 灭弧装置原理示意图

1——线圈；2——铁芯；3——磁极；4——灭弧室。

三、栅片熄弧

在电弧发生以后，设法使电弧进入金属栅片中，这样一个长弧就被这些金属片分割成许多短弧。试验证明，无论电弧电流大小如何，不管采用什么材料作电极，为要维持一个稳定燃烧的直流电弧，必须在其阴极附近保持10~20伏的电压降。为了维持被金属片分割成每个短弧稳定燃烧，必须给它10~20伏电压。如果金属栅片足够多，使得所有短弧阴极压降之和大于线路电压时，则电弧就不能维持而熄灭。

采用金属栅片的另一优点是可以减小游离气体喷溅空间，故又称为去离子栅或灭焰栅。

实际上，在直流电弧中单用栅片熄弧应用甚少，它常常和其它方法一起应用，例如在CZ0-100/10直流电磁式接触器中，它和磁吹一起应用。

采用栅片灭弧的一个特出的优点是在电弧熄灭时，加在触头两端的电压几乎是恒定不变的（等于短弧数乘以10~20伏），因而可以把熄灭直流电弧时的过电压限制在一定数值以下。有些同步发电机灭磁开关中就采用这种熄弧装置。

在交流电弧中采用栅片熄弧有较大的效果，因此应用甚广，这将在以后自动开关中叙述。

§ 2—3 开断直流电路时的过电压及其减小措施

实践证明，开断直流电路时，通常要产生很大的过电压。过电压的数值大小与电路的电感以及触头之间电弧熄灭的快慢有关。电路的电感愈大，电弧熄灭得愈快，则过电压的数值也越大。

图 2—5 表示开断一个具有电感电路时的电流——电压变化波形图。由图中可以看出，最大电压值与电弧熄灭瞬间相对应。

太大的过电压会使绝缘击穿，损坏电气设备，因此，必须采取措施，把过电压限制在一定范围内。

过电压产生的主要原因乃是由于电感中电流变化很快而引起的。过电压大小与 $L \frac{di}{dt}$ 成正比(其中 L 表示电感, $\frac{di}{dt}$ 表示电流变化的速率)。为了减小过电压，通常采用图 2—6 所示的三种线路。在电感 L 二端分别并联电阻 r 、电容 C 与整流器 D 。这些并联分路接上以后，在开关打开电路时，可以大大减小电感中电流变化的速率(即 $\frac{di}{dt}$)，从而大大减小了过电压数值。

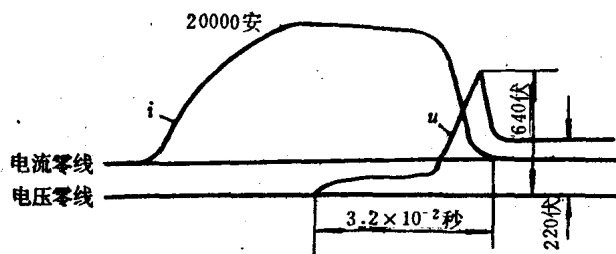


图 2—5 直流电路断开时的波形图

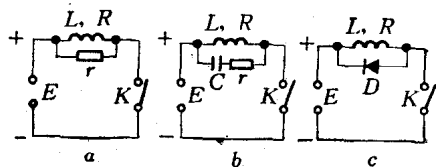


图 2—6 断开直流电感电路时，用并联分路方法，减少过电压的线路

- (a)——并联电阻减少过电压原理图，
- (b)——并联电阻电容减少过电压原理图，
- (c)——加续流二极管减少过电压原理图。

在东风型内燃机车上，牵引发电机励磁绕组具有较大的电感值，为了减小过电压，在励磁接触器 (LC) 触头两端并联电阻 R_{fd} ，如图 2—7 所示。在励磁接触器 (LC) 断开后，由于励磁绕组中的电流仍能通过电阻 R_{fd} 慢慢衰减，因此减小了接触器断开时的过电压。通常称这个电阻为“放电电阻”。显而易见，电阻 R_{fd} 的数值愈小，则励磁绕组中电流衰减愈慢，减小过电压的作用也愈强。由于放电电阻 R_{fd} 并非直接并联在牵引发电机励磁绕组两端，而是跨接在励磁接触器主触头的两端，这样，这个放电电阻不仅能使牵引发电机励磁绕组中电流变化减慢，而且，还会使励磁机电枢电路中电流变化减慢，由于后者也有一定的电感值，此对减小由于电枢电感引起的过电压也有好处。在这个电路中，放电电阻 R_{fd} 的数值不能选得太小，否则，在励磁接触器打开后，将仍有相当数量的电流通过放电电阻 R_{fd} 进入牵引发电机励磁绕组，使牵引发电机仍旧工作在励磁状态，那是不允许的。此外，在电阻 R_{fd} 上也将有较大的功率损耗。

在东风₄型内燃机车中,为了减小断开牵引发电机励磁电路而引起的过电压故采用如图 2—8 所示的线路,即在励磁绕组两端并联整流器 D_7 和电阻 R_8 。与只并联整流器比较,有了电阻 R_8 以后,触头断开时励磁绕组中仍可能会有些过电压,但是, R_8 的接入,使牵引发电机励磁绕组中电流衰减可以快一些,这有利于迅速切断励磁电流。

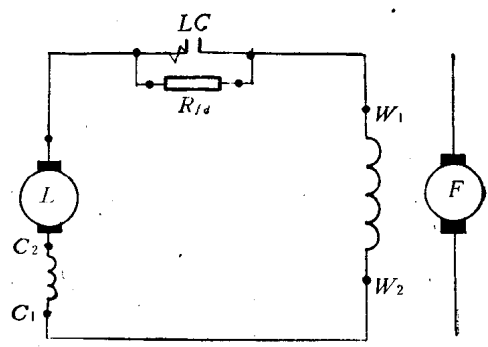


图 2—7 东风型内燃机车励磁电路原理图

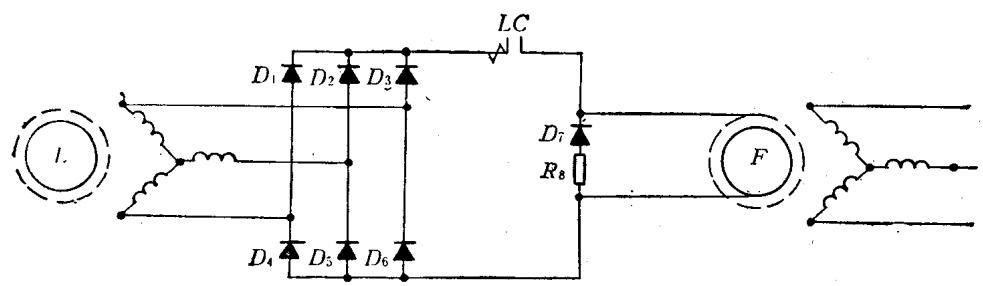


图 2—8 东风₄型内燃机车励磁电路原理图

§ 2—4 触头的分类及材料

一、触头的分类

触头属于可动的电接触,它允许接触面相互分离和移动。按触头工作情况,可分为有载分接和无载分接二种。前者在触头分断或接通过程中,允许触头中通有电流,如接触器、继电器、自动开关等;后者在触头分断或接通过程中,不允许触头中有电流通过,而在接通后允许触头中通有电流,如反向器、转换开关等。无载分接触头由于触头开断时无电弧,因而对触头的工作十分有利。按触头相互运动状态,可分为滑动接触和滚动接触,滚动接触比滑动接触的机械磨损小,传动力也大为减小。按触头接触面的基本形式可分为面接触、线接触和点接触三种形式。

曾经对各种接触面的接触电阻做过试验,试验结果如表 2—1 所示。由表中可以看到,只是在压力较小时,触头形式才对接触电阻有显著的影响。

表 2—1

接 触 形 式	接 触 压 力		
	9 公 斤	45 公 斤	90 公 斤
面接触25×25毫米	35 微 欧	5 微 欧	四个差不多
面接触75×75毫米	11 微 欧	4.8 微 欧	
线接触	5 微 欧	2 微 欧	
点接触	17 微 欧	8.5 微 欧	

面接触的接触电阻很不稳定,外界对接触面稍有一些破坏或者装配的不好,都会使接触电阻大大地增加。

线接触在同一压力的条件下,其接触电阻都比其它两种来得低。这是因为触头的压力强度和实际接触面得到适当配合的结果。面接触的接触点数虽较多,但压力强度小;点接触的压力强度高,但接触点数少,因此它们的接触电阻都比较大。线接触的接触电阻较小,故在实际中得到广泛采用。通常取线接触的曲率半径为50~120毫米时可使其接触电阻达最小值。

点接触适用于小电流及触头间压力不大的情况下。虽然在压力较大时,点接触也可得到较小的接触电阻,但由于散热条件差,用于大电流是不合适的。几乎所有控制电路的触头都为点接触。

二、触头的材料

对触头材料的要求是:导电性好、导热性好、耐电磨损能力强、不易熔焊、接触电阻稳定,有一定机械强度,加工方便,价格便宜等等。

触头的材料很多,这里主要对本书涉及的电器触头材料,作简单说明。

最常用的触头材料是铜和银,以及由铜或银为基本材料制成的铜基合金或银基合金。

铜的导电性能及导热性能都较好,价格也较便宜,是广泛应用的一种触头材料。铜的缺点是易于氧化。经过长时间工作后,氧化膜接触电阻的增加,使触头温度升高,而温升又使氧化膜继续增厚,这样恶性循环使触头的接触电阻和温升超过允许范围。为了保持铜触头能正常工作,触头之间一定要保持较大的压力,并且在触头闭合过程中一定要有研磨过程,以经常清除尚未增厚的氧化膜。

铜钨触头是一种粉末冶金(实际上由两种不相熔合的金属,以粉末冶炼法制成的密切结合的机械混合物),因此它具备铜及钨的特点。钨的加入可以大大提高触头的耐电磨损和抗熔焊的能力。由于钨导电性差,因此铜钨触头导电性较铜低,为此,触头间压力也要加大一些。铜钨触头的另一个缺点是机械加工困难。

铜镉触头的特点是耐电磨损能力大大增加。有人做过试验,在铜中加入1%的镉,其耐电磨损能力增加一倍,其它性质和铜相同。

银比铜有着更好的导电性和导热性,氧化后其氧化膜接触电阻稳定,因此对接触电阻几乎没有影响,触头间所需压力较小。银触头的缺点是耐电磨损能力以及抗熔焊性差,且价格贵,因此,纯银触头一般用在电流不是太大的场合。

银钨触头与铜钨触头相似,也是一种粉末冶金。它综合了银的导电性、导热性以及钨的耐磨性和抗熔焊性等优点,目前我国应用较为广泛,缺点是机械加工困难。

银氧化镉触头也是一种粉末冶金,它的特点是具有像银一样的良好的导电和导热性能。氧化后接触电阻稳定,它的耐电磨损能力和抗熔焊性能与铜钨相仿,几乎为纯银触头的4~8倍。氧化镉在600°C以上极易分解,由于镉的沸点低(770°C),在高温下易蒸发,在电弧作用区域产生大量镉蒸汽。汽态镉的体积比固态镉的体积大一万倍以上,在触头近旁瞬间有大量气体产生,起着吹弧的作用,有助于电弧的熄灭,这是银氧化镉触头的一个最显著的特点。此外,这种触头的加工性能较好。

§ 2—5 直流电磁机构的基本结构

电磁机构又称为电磁铁，它是把电能转变为机械能的一种机构。在内燃机车中，装有很多电磁式接触器、电磁式继电器、电磁联锁等等，它们都是以电磁铁作为传动机构的。

电磁机构的型式很多，但它们的基本组成部分和作用原理都相同。图 2—9 就是一个典型的直流电磁机构的结构简图。这种电磁机构称为拍合式电磁机构，它由铁芯、磁轭、衔铁以及套在铁芯上的线圈组成。铁芯、磁轭、线圈在装配时已固定在一起，而衔铁则可以沿支点 O 转动。在线圈中通以电流时，就会产生磁场。通常用磁力线或者磁通量（即通过某一截面积的磁力线数目）来表示磁场的强弱。在这个电磁机构中，大部分磁通通过铁芯、磁轭、衔铁、气隙，再回到铁芯中，形成一个闭合回路，如图 2—9 中虚线 Φ 所示。我们说铁芯、磁轭、衔铁以及气隙组成了电磁机构的磁路，由于线圈电流磁化的结果，在气隙中产生了磁通，对衔铁产生了电磁吸力。当线圈中电流达到某一确定数值时，气隙中磁通也达到某一数值，这个磁通产生的电磁吸力克服弹簧的拉力，使衔铁向铁芯方向转动，从而使线圈由电源吸取的电能量转化为衔铁转动的机械能。当线圈与电源断开，电流消失，衔铁就在拉力弹簧的作用下，返回原来的位置。这就是电磁机构工作的简单原理。

衔铁被吸引而运动称为电磁机构的动作或吸合；衔铁回到原来打开的位置称为电磁机构的返回或释放。

直流电磁机构的结构形式很多。上面所举出的拍合式电磁机构是直流电磁机构中应用最为广泛的一种。内燃机车上采用的 CZ0 系列直流接触器、JT3 型电磁式继电器等，其电磁机构均为拍合式结构。除此以外，螺管式电磁机构的应用也甚为广泛，其结构如图 2—10 所示。这种电磁机构的特点是它的空气隙处于线圈中间。图 2—10(a) 为转动式螺管电磁机构。在内燃机车上采用的 NJG、NJD、NJK 型继电器采用的就是这种结构型式。图 2—10(b) 为直动式螺管电磁机构，内燃机车功率调节器上的电磁联锁采用的是这种结构型式。

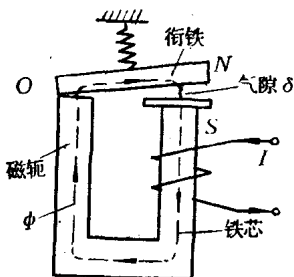


图 2—9 拍合式磁系统

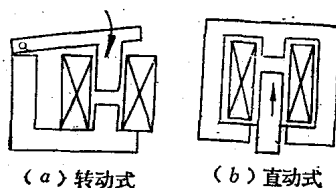


图 2—10 螺管式电磁机构

§ 2—6 磁势、气隙和电磁吸力

本节主要讨论线圈中的电流、通过气隙的磁通以及作用在衔铁上的吸力之间的关系。实践证明：

1. 作用在衔铁上的电磁吸力与通过气隙的磁通量大小有关。磁通愈多，吸力也愈大。在磁极表面磁通均匀分布的条件下，电磁吸力和磁通之间的关系可用下式进行计算：

$$F = \left(\frac{\Phi}{5000} \right)^2 \cdot \frac{1}{S} \text{ [公斤]} \quad (2-2)$$

式中 F ——作用在衔铁上的电磁吸力，其单位是公斤；

Φ ——通过气隙的磁通量，其单位是马克斯威尔，简称马；

S ——磁极表面面积，其单位为厘米²。

从上式可以看出，电磁吸力与通过气隙的磁通平方成正比，而与磁极表面积成反比。由于它是在假定磁极端面的磁通为均匀分布的条件下得出的，因此，适用于工作气隙较小时的情况。当电磁机构处在吸合位置或接近于吸合位置时，能较好地符合上述条件。

在气隙较大时，如果利用式（2-2）来进行计算，应在计算公式中添加一个系数，用以修正在大气隙时由于磁通分布不均匀而引起的误差。修正后的公式为

$$F = \left(\frac{\Phi}{5000} \right)^2 \cdot \frac{1}{S} \left(\frac{1}{1 + a\delta} \right) \text{ [公斤]} \quad (2-2a)$$

式中 a ——修正系数，一般约为 3 ~ 5。

δ ——气隙长度，它的单位为厘米。

2. 通过气隙的磁通是由线圈中的电流产生的。在气隙大小固定的情况下，通过线圈中电流愈大，线圈匝数愈多，则产生的磁通也愈多。换句话讲，磁通的大小与通过线圈的电流 I ，以及线圈的匝数 W 的乘积 IW 成正比。乘积 IW 在电工中叫做“磁势”，其单位为安培匝数，简称安匝。线圈磁势是在磁路中产生磁通的源泉，就象在电路中，电源电势是产生电流的源泉一样。

3. 磁通的大小除与磁势有关外，还与磁路的导磁性能有关。磁路的导磁性能通常用磁阻来表示。就象在电路中导电性能用电阻来表示那样。为什么要用铁磁材料来做铁芯、磁轭和衔铁呢？主要目的是希望增加电磁机构中磁路的导磁性能。因为铁是良导磁体，其磁阻较小。这和电路中用铜、铝等导电性能良好的材料作为导体有相似之处。

但是，在磁路中有一段是空气隙。气隙的导磁性能较差。换句话讲，气隙磁阻是比较大的。然而，为了使衔铁运动，在磁路中气隙又是不可避免的。因此，在电磁机构磁路中，其磁阻由两部分组成。一部分是铁磁材料，如铁芯、磁轭、衔铁等形成的磁阻；另一部分是气隙磁阻。这里应该指出，通常气隙磁阻是整个磁阻的主要部分。只有在衔铁完全吸合，气隙甚小时，铁芯、磁轭、衔铁等铁磁材料的磁阻才在总的磁阻中占相当的比重。

在电路中，通过电路的电流 I 与电源电势 E 成正比，与电阻 R 成反比。这个规律可以写成一个公式：

$$I = \frac{E}{R} \quad (2-3)$$

与此相似，在磁路中，通过磁路的磁通 Φ 与磁势 IW 成正比，与磁阻 R_M 成反比。这个规律也可以写成一个公式：

$$\Phi = \frac{IW}{R_M} \quad (2-4)$$

式中 R_M ——磁路总磁阻，它由两部分组成：

$$R_M = R_\delta + R_T$$

其中 R_δ 为气隙磁阻； R_T 为铁磁物质的磁阻。

现在，我们用式（2-2）和式（2-4）来进一步讨论图 2-9 所示拍合式电磁机构中磁势、气隙和电磁吸力三者之间的关系。

1. 气隙长度 δ 不变时, 电磁吸力 F 和磁势 IW 之间的关系。

当气隙长度 δ 不变时, 因为占磁路磁阻主要部分的气隙磁阻不变, 按式(2-4), 磁通 Φ 随着磁势 IW 的增加而增长。由电磁吸力公式(2-2)可知, 电磁吸力 F 与磁通 Φ 的平方成正比地增加, 这个关系可以用图2-11(a)所示曲线来表示。在相同的磁势 IW 下, 气隙愈大, 则电磁吸力愈小。

2. 磁势 IW 不变时, 电磁吸力和气隙长度 δ 之间的关系。

如前所述, 电磁机构是靠衔铁被吸引而产生机械动作的。在电磁机构衔铁运动过程中, 衔铁从原来释放位置运动到吸合位置, 或由吸合位置返回到释放位置, 其气隙长度 δ 是不断变化的。因此, 在一定的磁势 IW 下, 研究电磁吸力 F 和气隙长度 δ 之间的关系具有实际意义。

由前面分析可以知道, 气隙长度 δ 的大小, 对磁路磁阻的大小有着很大的影响。当线圈的磁势不变时, 气隙长度 δ 大, 气隙磁阻就大, 磁路的磁阻也大, 磁通小, 电磁吸力就小; 反之, 当气隙长度 δ 小时, 电磁吸力就大。在磁势不变的情况下, 电磁吸力 F 和气隙长度 δ 之间的关系如图2-11(b)中曲线所示。这个曲线通常称为电磁机构的吸力特性曲线。在同一电磁机构中, 如果磁势从 IW_1 增大到 IW_2 , 则在同样气隙下, 电磁吸力也增大, 因此, 吸力特性曲线向上移动。

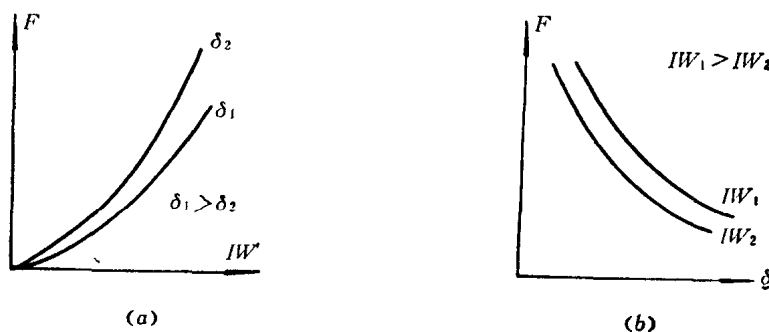


图2-11 电磁吸力 F 与励磁磁势及空气隙的关系曲线
(a)——气隙长度 δ 不变时, 磁势 IW 与电磁吸力 F 之间的关系;
(b)——磁势 IW 不变时, 气隙长度 δ 与电磁吸力 F 之间的关系。

其实, 吸力特性曲线可以由在不同气隙长度下得出的一簇磁势 IW 与电磁吸力 F 之间的关系曲线, 用作图法求出, 如图2-12所示。

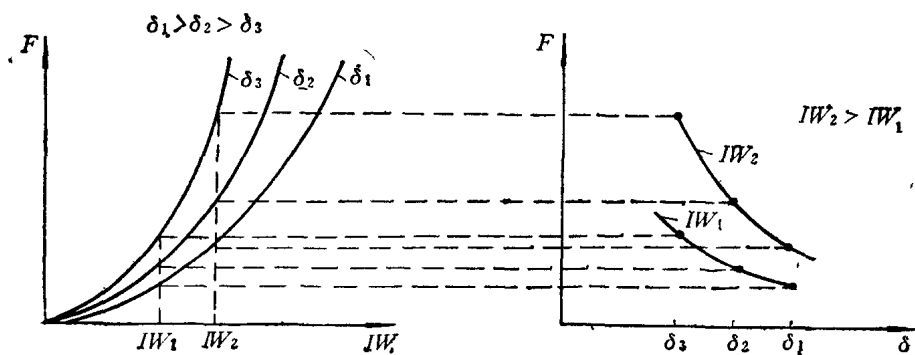


图2-12 吸力特性曲线图解法