

城市轨道交通职业教育系列教材——城市轨道交通车辆

城市轨道交通

车辆电气设备

主 编 ◎ 杨翠青 张伟华 赵柏阳

副主编 ◎ 王 甜 巩友飞 孙 钢

主 审 ◎ 刘国军



本书课件



视频资源

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通车辆电气设备 / 杨翠青, 张伟华, 赵柏阳主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2023.6
ISBN 978-7-5643-9316-8

I. ①城… II. ①杨… ②张… ③赵… III. ①城市铁路—铁路车辆—电气设备—教材 IV. ①U239.5

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 102233 号

Chengshi Guidao Jiaotong Cheliang Dianqi Shebei
城市轨道交通车辆电气设备

杨翠青 张伟华 赵柏阳/主编

责任编辑/黄淑文

封面设计/何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话: 028-87600564 028-87600533
网址: <http://www.xnjdcbs.com>
印刷: 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 18.25 字数 399 千
版次 2023 年 6 月第 1 版
印次 2023 年 6 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-9316-8
定价 55.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

随着我国城市化进程的加快，城市轨道交通以其大载客量、快捷、准时、环保等优点成为缓解日益严重的城市交通堵塞问题的最有效手段。城市轨道交通车辆电气技术日益成熟、安全可靠，并且形式多样、用途广泛。

编者依据教育部办公厅印发的关于《“十四五”职业教育规划教材建设实施方案》的通知及《高等职业学校专业教学标准》，通过对城市轨道交通行业岗位的充分调研、分析和整合，优化已经取得的教育教学成果，借鉴项目教学法、基于过程教学法等多种先进教学方法，将校企合作、工学结合教育理念深度融合在教学中，采用“互联网+”的信息化模式并结合高等职业教育的特点编写本书。

“城市轨道交通车辆电气设备”是服务于城市轨道交通车辆专业的核心课程，教学对象为三年制高职城市轨道交通车辆专业学生。本书在重点叙述基本专业知识的基础上，注重实际操作技能的培养，层次分明、通俗易懂、图文并茂，便于读者掌握和实际应用。

本课程的目标是培养具有城轨车辆驾驶、检修岗位所需的城轨车辆电气系统知识和专业技能的人才。本书主要内容包括城市轨道交通车辆电气控制系统的组成及原理、电气系统检查与故障分析等。

全书分5部分，系统地介绍了城市轨道交通车辆电气设备的相关知识，包括城市轨道交通车辆低压电器、牵引系统电器、辅助电源系统电器、空调系统电器和车门系统电器等内容。

本书由辽宁省交通高等专科学校杨翠青、成都工贸职业技术学院张伟华、辽宁铁道职业技术学院赵柏阳担任主编，成都工贸职业技术学院王甜、陕西铁路工程职业技术学院巩友飞和辽宁铁道职业技术学院孙钢担任副主编，辽宁省交通高等专科学校张程光、辽宁铁道职业技术学院刘畅、衣美玲、吴奇、陈君参与编写。具体分工为：项目一由赵柏阳编写；项目二由王甜编写；项目三由杨翠青编写；项目四由巩友飞编写；项目五由孙钢编写。杨翠青、张伟华负责编写教材提纲和全书的统稿工作。本教材由沈阳地铁集团有限公司刘国军担任主审。

本书不仅可以用作城市轨道交通大专院校、职业学校学生的教学参考用书，也可以作为城市轨道交通职工培训教材。

本书在编写过程中，得到了沈阳地铁、成都地铁、广州地铁等公司的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于我国城市轨道交通发展迅速，技术设备也在不断改进更新，书中资料和相关数据与现场车辆设备难免存在差异，再加上编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

2023年5月

目 录

项目一 城市轨道交通车辆低压电器	001
任务一 城市轨道交通车辆电器基础认知.....	004
任务二 接触器认知.....	027
任务三 继电器认知.....	041
任务四 主令电器认知.....	056
项目二 牵引系统电器认知	070
任务一 受电弓认知.....	075
任务二 避雷器认知.....	088
任务三 高速断路器的认知.....	092
任务四 牵引逆变器的认知.....	100
任务五 牵引电机的认知.....	108
任务六 制动电阻器的认知.....	125
任务七 接地装置的认知.....	130
项目三 城市轨道交通车辆辅助电源系统电器认知	137
任务一 城市轨道交通车辆辅助电源系统基础认知.....	142
任务二 辅助逆变器.....	150
任务三 蓄电池.....	157
任务四 照明系统.....	165

项目四 空调系统电器认知	179
任务一 城市轨道交通车辆空调系统整体认知	183
任务二 城市轨道交通车辆空调通风系统的基础知识	204
任务三 城市轨道交通车辆空调制冷系统	212
任务四 城市轨道交通车辆空调采暖系统	226
项目五 车门系统电器认知	242
任务一 车门系统基础认知	246
任务二 车门系统的结构、原理	251
任务三 客室侧门系统的操纵与信息显示	268
任务四 车门控制单元（EDCU）	277
参考文献	285

项目一 城市轨道交通车辆低压电器

项目描述

低压电器是城市轨道交通车辆最重要的组成部件。城市轨道交通车辆要在既安全又简便的操纵下获得不同工况下的良好运行性能，就需要一系列不同性能、不同作用、不同型号的电气设备可靠地工作。电器部件的工作贯穿于车辆的整个操纵过程。例如，对电路实行通、断控制，对电动机实行启动、制动、正转和反转控制，对用电设备进行过载、短路、过电压等故障的保护，在电路中传递、转换、放大电或非电的信号，自动检测电气设备的电压和电流值，以及控制车门开、关等，都需要用不同的电器来完成。

本项目主要介绍城市轨道交通车辆电器的基础理论，以及城市轨道交通车辆典型低压电器的作用、分类、结构以及使用维护等内容。相信通过本项目的学习后，同学们会对城市轨道交通车辆电器的认识提升到更高层次。

知识目标

1. 掌握电器的定义、分类、组成等基础理论知识。
2. 掌握接触器、继电器的用途、分类、基本组成。
3. 掌握各类接触器的结构及工作原理。
4. 了解接触器、继电器选用的原则。
5. 了解接触器、继电器检修维护的工作内容。
6. 掌握各类型继电器的结构及工作原理。
7. 掌握低压断路器的结构及工作原理。
8. 掌握司机控制器的结构及工作原理。
9. 掌握司机控制器的操作方法。
10. 了解司机控制器检查维修的工作内容。
11. 掌握各主令电器的用途和结构。

能力目标

1. 能识读典型低压电器的图形符号。
2. 能够运用所学知识进行接触器的选用与检修。
3. 能够运用所学知识进行继电器的选用与检修。
4. 能够完成司机控制器的操作。
5. 能够运用所学知识进行司机控制器的维护与检修。

素养目标

1. 树立民族自豪感和爱国情怀。
2. 培养安全责任意识 and 工匠精神。
3. 培养分析问题、解决问题的能力。
4. 培养严谨的工作态度。
5. 培养语言表达能力、数字技能和团队协作意识。

项目索引

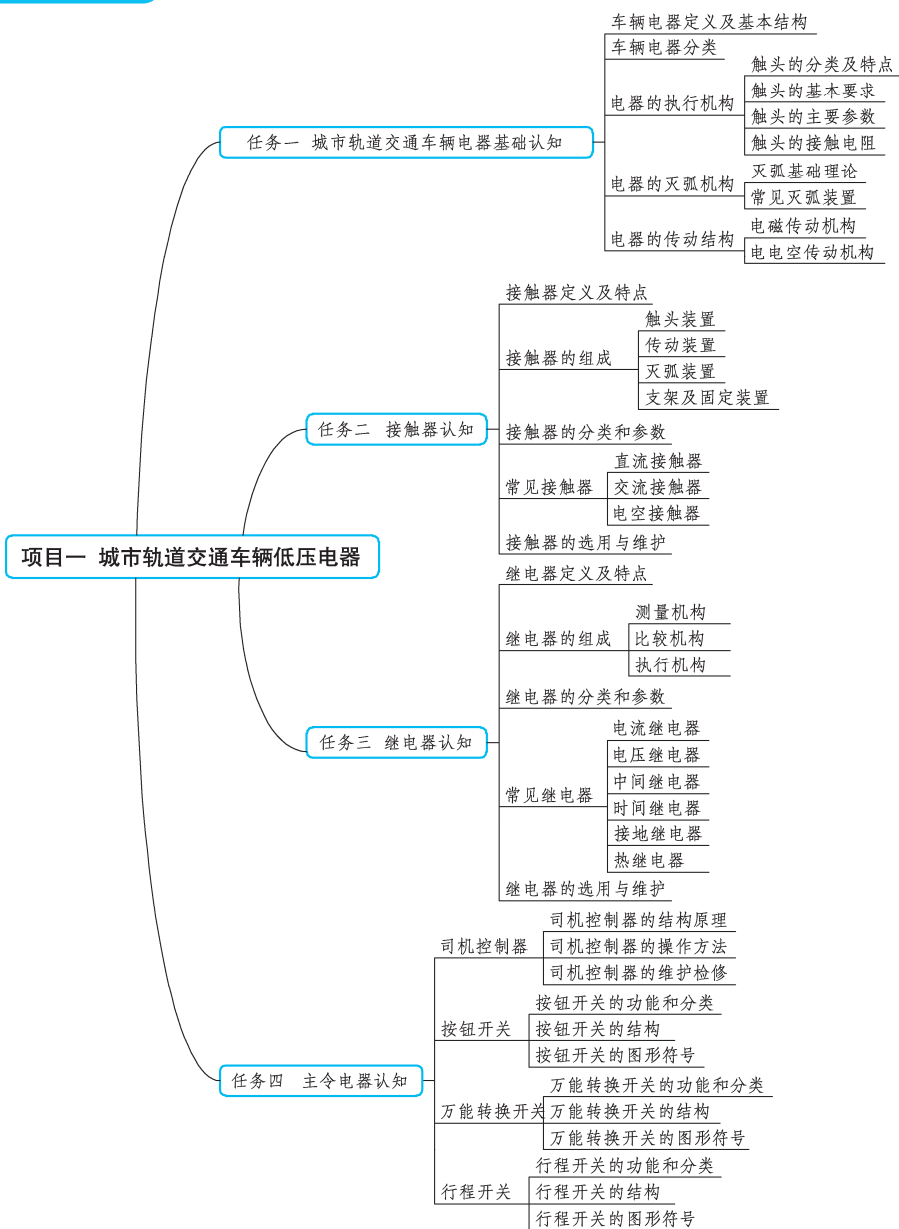


图 1-1 项目一索引

岗位达成目标

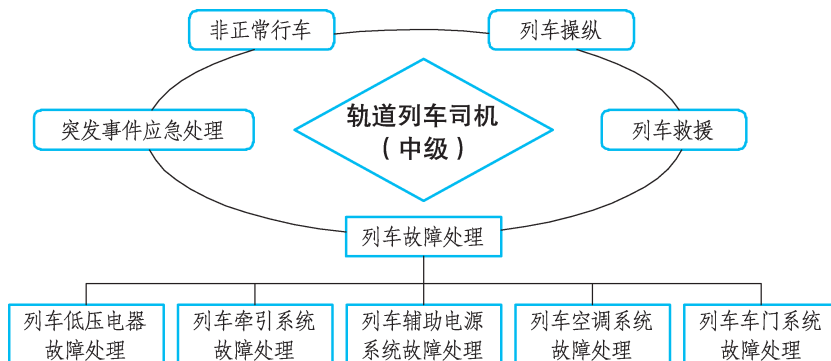


图 1-2 岗位达成目标

职业技能大赛达成目标

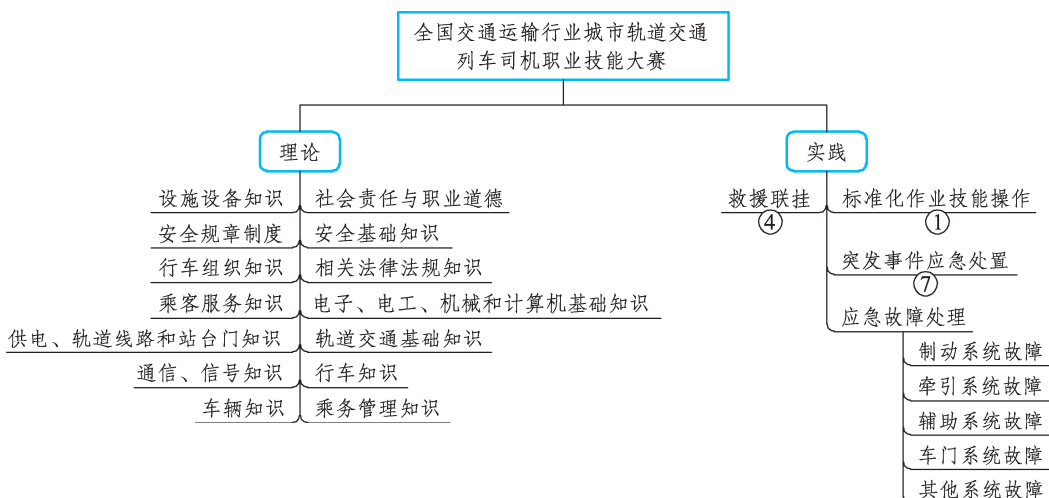


图 1-3 职业技能大赛达成目标

1 + X 证书达成目标

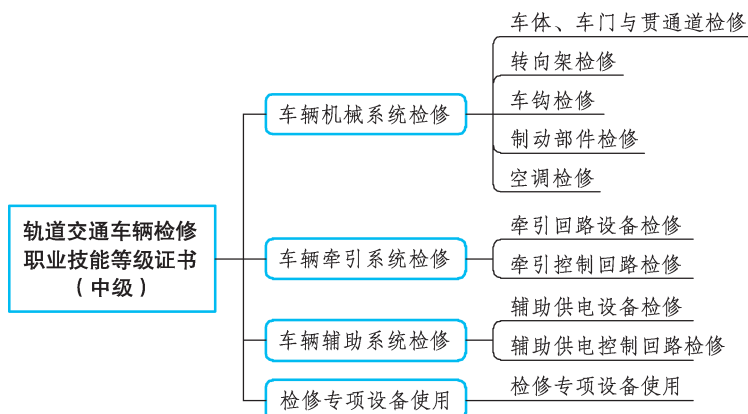


图 1-4 1 + X 证书达成目标

任务一 城市轨道交通车辆电器基础认知

任务导入

国内首条无人驾驶列车运行线——上海轨道交通 10 号线，如图 1-1-1 所示。



图 1-1-1 国内首条无人驾驶列车运行线——上海轨道交通 10 号线

上海轨道交通 10 号线是国内第一条以无人值守下的列车自动运行（Unattended Train Operation, UTO）模式为设计目标的全自动运行地铁线路，全长约 46 km。该线路于 2010 年 4 月 10 日以“有人驾驶模式”开通运营，2014 年 8 月 9 日进入有人值守下的列车自动运行模式（Driverless Train Operation, DTO），2016 年 12 月 30 日实现了国内首条驾驶室无人值守全自动运行列车的载客运营。

10 号线投用全自动运行系统后，已实现在无司机操作的情况下，每列车从早晨起车、检车出库、载客运行，直至运营结束后的列车回库、收车、洗车等全日自动化运营。采用自动运行模式的列车平均出入库时间可缩减 50%，每公里配员数减少约 10 人，平均旅行速度提高 12.6%。全自动运行的 6 年时间里，列车兑现率、正点率均在 99% 以上，实现了全自动运行线路运营可靠、减员增效的目标。

上海地铁充分积累 10 号线全自动运行宝贵经验，逐步形成一系列标准与规范，并向国内规划和在建的全自动运行线路分享，不断提升城市智能化建设和精细化管理能级，促进相关产业链向高端发展，大大推进了全国城市轨道交通全自动运行的发展进程。而上海轨道交通 10 号线能够在不同工况下安全、稳定地运行，就需要一系列不同性能、不同作用、不同型号的电气设备可靠地工作。电气设备的工作贯穿于车辆的整个行驶过程。例如，对电路实行通断控制，对电动机实行启动、制动、正转和反转控制，对用电设备进行过载、短路、过压等故障的保护，在电路中传递、转换、放大电或非电的信号，自动检测电气设备的电压和电流值，以及控制车门的开、关等，都需要用不同的电器来完成。本次任务我们来学习一下城市轨道交通车辆电器的基础理论。

学习任务

电器是应电能的运用而产生的。与其他形式的能相比,由于电能具有易转换和便于控制、调整、输送等优点,在生产、生活及一切科学领域中获得了广泛的应用。然而,电能从产生、输送到应用,并不是一个简单的过程,而是需要一系列的控制、调整、保护装置的作用才能很好地完成的过程。例如:对电力电路实行通、断;对电动机实行启动、停止、正转、反转控制;对用电设备进行超载、过压、短路、断相等故障的保护;在电路中传递、变换、放大电或非电的信号,从而达到自动检测和调节作用等。

电器的用途广泛、功能多样、工作原理各异,因此产品种类繁多。凡是根据外界特定信号,自动或手动地接通或断开电路,对电路或非电对象起开关、控制、保护与检测作用的电工设备,统称为电器。低压电器通常是指工作在交流 50 Hz、额定电压 1 000 V 以下或直流额定电压 1 200 V 以下的电器。

一、概 述

(一) 车辆电器的基本结构

车辆电器的种类繁多,由于它们的作用和条件不同,其外形、尺寸、质量以及结构都有较大差异,但基本结构主要包括以下 3 部分:

(1) 执行机构(触点系统)。

执行机构的主要任务是接收感应机构传来的信号并进行相应的动作,以实现变换、控制、保护、检测电路等功能。

(2) 灭弧机构。

灭弧机构主要任务是尽快熄灭电器触点在分断电路时产生的电弧,从而保护电器触点不受损伤,以延长电器的寿命。

(3) 感应机构(电磁机构)。

感应机构的主要任务是接收输入信号,如电压、电流、功率等电信号,也可以是压力、速度、温度等非电信号。

(二) 车辆电器的分类

电器产品种类繁多,应用十分广泛,由于其功能多样,工作原理各异,所以有多种不同的分类方法。为了方便地了解和记忆这些电器,可按下列方法进行分类。

1. 按电器所接入的电路分

(1) 主电路电器:接在动力回路中的电器,如受流器、高速断路器、避雷器等。

(2) 辅助电路电器:接在辅助回路(如辅助机组、空气压缩机、通风机等)中的电器,如交流电磁接触器等。

(3) 控制电路电器：用于控制和操作主、辅电路的电器，如驾驶人控制器、各种继电器及其相应的自动开关等。

2. 按电器的用途分

(1) 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、各种控制用继电器以及各种高低压隔离开关等。

(2) 保护电器：用于保护电路和用电设备的电器，如熔断器、热继电器、自动开关、过载继电器、接地继电器及避雷器等。

(3) 检测电器：用于监测各种电压、电流信号的电器，如传感器、互感器等。

(4) 受流器：用于在接触网或第三轨上受取电流的电器，如受电弓、集电靴等。

3. 按传动方式分

(1) 手动电器：如各种手动开关、按钮、驾驶人控制器等。

(2) 电空传动电器：靠压缩空气推动触点动作的电器，如电控阀、电空接触器等。

(3) 电磁传动电器：靠电磁铁带动触点动作的电器，如电磁接触器和电磁继电器等。

4. 按执行机构分

(1) 有触点电器：利用动、静触点的接触和分离来实现电路的通、断。

(2) 无触点电器：主要利用功率晶体管的开关效应，即导通或截止来控制电路的阻抗，以实现电路的通、断与保护。

5. 按电压高低和工艺特点分

(1) 高压开关电器：如高压断路器、隔离开关、电抗器、电压互感器、电流互感器等。

(2) 低压开关电器：如接触器、自动开关、熔断器、继电器和驾驶人控制器等。

(3) 自动电磁元件：如阀用电磁铁、电磁离合器、磁放大器、磁性逻辑组件、传感器等。

二、电器的执行机构

触点是电器的执行机构，用来直接接通或断开被控电路。

在电路中通过触点相互接触的地方称之为电接触。电接触用以使电流由一个导体流到另一个导体上，完成电路接通任务，因此又称为接触连接。触点是接触连接的一种形式。

(一) 触点的定义和特点

在有触点电器中，直接接通和断开电路的零件称之为触点。

触点是具有触点电器完成其职能的执行机构。触点是成对出现的，固定不动的叫静触点，可以活动的叫动触点。电路是依靠动触点的动作来实现接通和断开的。触点性能的好坏，将直接影响电器工作的可靠性，甚至会影响电动车辆的安全运行。

（二）触点的分类

触点的形状及接触形式多种多样，其具体分类方法如下。

1. 按触点的工作情况分

（1）有载开闭触点：触点的分断、闭合过程中允许有电流通过。

（2）无载开闭触点：触点的分断电路过程中不允许有电流通过，在接通后才允许有电流通过。因为无电分断不产生电弧，所以有利于触点的工作，可延长触点的使用寿命。

2. 按触点在电路中的用途分

（1）主触点：用来接通或断开主要工作电路，如地铁车辆的主电路和辅助电路。

（2）辅助触点：通常用在小电流的控制电路中，用以控制其他分支电路，实现地铁车辆所要求的某种电气联锁作用。辅助触点又称为联锁触点，有常开联锁触点和常闭联锁触点两种。

3. 按工作状态分

（1）常开触点：电器线圈无电时，触点处于断开状态；电器线圈有电时，触点处于闭合状态。

（2）常闭触点：电器线圈无电时，触点处于闭合状态；电器线圈有电时，触点处于断开状态。

4. 按结构形式分

（1）指形触点：形状像大拇指。

（2）桥式触点：形状像桥。

5. 按接触形式分

（1）点接触：点与点的接触或点与面的接触。适用于电流在 10 A 以下的场合，一般用于控制电路。

（2）线接触：适用于电流在几十安培至几百安培的场合。

（3）面接触：适用于电流较大的场合。

图 1-1-2 所示为触点的 3 种接触形式。

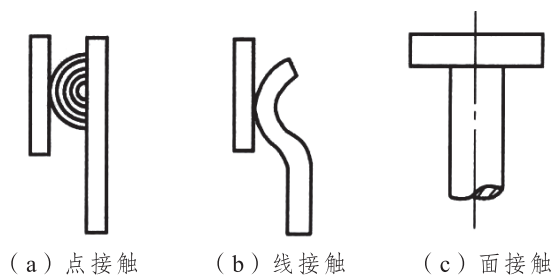


图 1-1-2 触点的接触形式

(三) 对触点的基本要求

根据触点的工作特点, 为确保电器可靠工作并有足够的使用寿命, 对触点必须有较高的要求。具体要求如下:

- (1) 动、静触点要可靠接触, 接触电阻要小。
- (2) 有足够的电动稳定性与热稳定性。电动稳定性是指当大电流通过电器时, 在其产生的电动力(载流导体处在磁场中会受力的作用, 载流导体间相互作用也会受到力的作用, 这种力就称为电动力)的作用下, 电器有关部件不产生损坏或永久变形的能力。热稳定性是指电器部件在一定时间内能承受短路电流的热作用而不发生热损坏的能力。
- (3) 导电性好。
- (4) 结构简单、紧凑, 动作灵敏准确。
- (5) 耐磨损。
- (6) 连续工作时, 不应超过规定的允许温升。

(四) 触点的主要参数

触点的参数主要有开距、超程、压力和研距。下面以线接触触点为例说明触点的主要参数。

1. 开距 s

触点处于断开位置时, 动、静触点之间的最小距离称为触点的开距, 如图 1-3 (a) 所示。

开距是触点的一个重要参数。它不仅要保证在分断正常电流时能很快灭弧, 而且要使触点间具有一定的绝缘能力, 经得起过电压的冲击。它不仅影响触点与灭弧系统的尺寸, 而且影响到电磁传动机构的尺寸。

2. 超程 r

触点的超程是指触点闭合后, 如果将静触点移出, 动触点能继续向前移动的一段距离, 如图 1-1-3 (b)(c) 所示。触点的超程用来保证触点有一定的压力, 并在允许磨损范围内仍然能可靠地工作。一般触点在磨损 1/3 或 1/2 之前仍能工作, 因此设计制造上必须要有一定的超程。

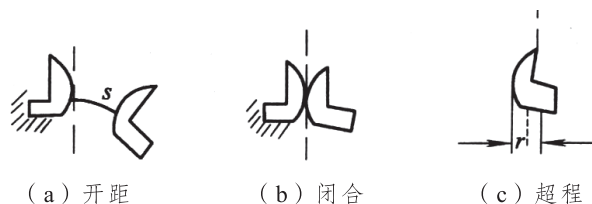


图 1-1-3 触点的开程及超距

3. 压力

触点压力是指两触点闭合后, 其接触处所具有的压力。触点压力主要是由触点弹

簧产生的。触点弹簧有一预压缩量，使得动触点和静触点刚开始接触瞬间就有互压力，称为触点的初压力。触点的初压力可以防止刚开始接触时的碰撞振动及电动斥力使两触点弹开。初压力的大小取决于触点弹簧预压缩量的大小。动触点与静触点接触终止时的压力称为终压力，其作用是使动、静触点实际接触面积增加，以减小接触电阻。

4. 研磨过程及研距

如图 1-1-4 所示，一般线接触触点的动、静触点开始接触时，其接触线在 a 点处。在触点闭合过程中，接触线逐渐移动，最后停在 b 点处，以导通工作电流。由于动触点上 ab 和静触点上 $a'b'$ 长度不一样，因此，在动、静触点接触过程中，不仅有相对滚动，而且有相对滑动，整个接触过程称为触点的研磨过程。由研磨所产生的距离称为研距。

研磨过程的作用是可以擦除触点表面的氧化层及脏污，减小接触电阻。通过研磨过程所产生的研距，可使正常工作的接触线与开始接触线错开，从而避免电弧烧损正常工作的接触线，保证正常工作接触线接触良好。

触点的开距、超程和压力在检修中都是必须进行检测的重要参数。在电器的使用和维修中常用这些参数来反映触点的工作情况及检验电器的工作状态。

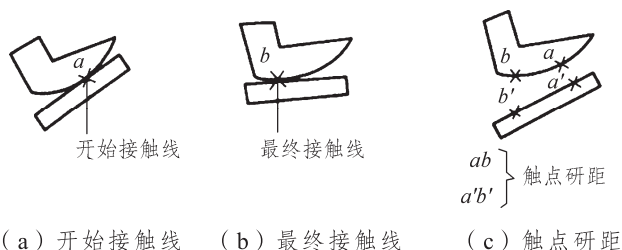


图 1-1-4 触点的研磨过程及研距

(五) 触点的工作情况

1. 触点的闭合过程

触点在闭合过程中会因碰撞而产生机械振动，这个过程需要解决的主要问题是减小机械振动，从而减小触点的磨损，避免触点熔焊。

2. 触点处于闭合状态

触点处于闭合状态时的主要任务是保证规定的电流能通过，且触点温升不超过允许值。此时需解决的主要问题是控制触点的发热，提高热稳定性和电动稳定性。触点的发热是由接触电阻引起的，所以应设法减小接触电阻。

3. 触点的分断过程

触点的分断过程是触点最复杂的工作过程。当触点分断电路时，一般会在触点

间产生电弧，这个过程需要解决的主要问题是熄灭电弧，减小由电弧而产生的触点电磨损。

4. 触点处于断开状态

触点处于断开状态时，必须有足够的开距，以保证可靠地熄灭电弧和分断电路。

(六) 触点的接触电阻

当动、静触点接触时，除两触点的电阻外，还在它们的接触处产生一个附加电阻，这个附加电阻就是接触电阻。接触电阻由收缩电阻和表面膜电阻组成。

1. 电阻的产生

1) 收缩电阻的产生

接触表面无论经过多么精细的加工处理，从微观角度分析，其表面总是凹凸不平的，接触面不是整个面积接触，而只有若干小的突起部分相接触，实际接触面积比视在面积小得多。当电流通过实际接触面时，电流只从接触点上通过，在这些接触点附近，迫使电流线发生收缩。这种由于接触面积骤然减小引起电流线收缩而产生的附加电阻称为收缩电阻，通常用 R_s 表示，如图 1-1-5 所示。

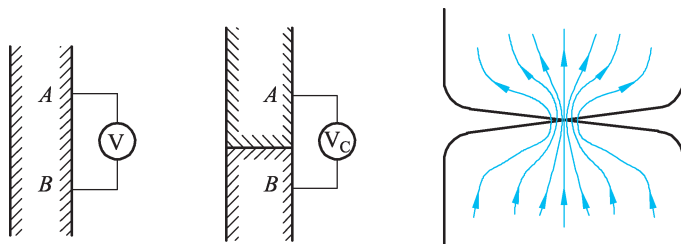


图 1-1-5 接触电阻

2) 膜电阻的产生

触点导体的接触表面因暴露在空气中而受到氧化作用，在接触处形成的氧化膜以及落在接触表面上的灰尘、污物或夹在接触面间的油膜、水膜等，都会使触点导电性下降。当接触面加以互压力后，有些接触点的氧化膜被挤掉，可以导通电流，而有些接触点的氧化薄膜仍存在。所以接触面有效导电面积更小，使有效电阻增加。这种由于氧化作用或脏污而产生的附加电阻称为膜电阻，通常用 R_m 表示。膜电阻还与薄膜的厚度有关，薄膜越厚，电阻越大。

由于收缩电阻和膜电阻是由接触体之间直接产生的电阻，故称为接触电阻。

2. 影响接触电阻的因素

通常人们希望得到低值且稳定的接触电阻，以保证触点的可靠工作。影响接触电阻的因素有接触压力、温度、化学腐蚀、触点表面情况和触点材料等。

1) 接触压力

加大压力可使接触电阻减小。当压力很小时，接触压力的微小变化都会使接触电

阻值产生很大的波动；但当压力达到一定值后，接触电阻受压力变化的影响甚微。这是因为在压力作用下，两表面接触处产生弹性变形，压力增大，变形增加，有效接触面积增加，收缩电阻减小。而当压力达到一定值后，收缩电阻几乎不变，这是因为材料的弹性变形是有一定限度的，因而接触面积的增加也是有限的，故接触电阻不可能完全消除。

2) 温度

接触点温度升高后，金属的电阻率会有所增加，但材料的硬度会有所降低，使得有效接触面积增大。前者使收缩电阻增大，后者使收缩电阻减小，互相补偿，所以接触电阻变化甚微。但是，当触点电流长期超过额定值时，温度升高，引起接触面氧化，接触电阻则急剧上升，发热加剧，形成恶性循环。为保证接触电阻稳定，电接触的长期工作允许温度规定得较低。

3) 化学腐蚀

单纯由化学作用引起的腐蚀称为化学腐蚀，如金属与干燥气体接触时，在金属表面生成相应的化合物，如氧化物、硫化物、氯化物等。

暴露在空气中的接触面（除铂和金外）都将会被氧化。空气中的铜触点在室温下（20~30℃）即开始氧化，但其氧化膜很薄，在触点彼此压紧的过程中就被破坏，故对接触电阻影响不大。而当温度高于70℃时，铜触点氧化加剧，氧化铜的导电性能很差，使膜电阻急剧增加。因此，铜触点的允许温升都是很低的。银被氧化后的导电能力与纯银差不多，所以银或镀银的触点工作很稳定。

为减少接触面的氧化，可以将触点表面镀锡或镀银，以获得较稳定的接触电阻。

采用不同的金属作为触点对时，由于金属接触处有电位差，当湿度大时，在触点对的接触处会发生电解作用，引起触点的化学腐蚀，使接触电阻增加。

常用金属材料的电化顺序是金（Au）、铂（Pt）、银（Ag）、铜（Cu）、氢（H）、锡（Sn）、镍（Ni）、镉（Cd）、铁（Fe）、铬（Cr）、锌（Zn）、铝（Al），规定氢的电化电位为0，在它后面的金属具有不同的负电位（如Al的电化电位为-1.34V），在它前面的金属具有不同的正电位（如Ag的电化电位为+8V）。选取触点对时，应选取电化顺序中位置靠近的金属，以减小电化电势，例如不宜采用铝和铜作为触点对。

4) 接触表面粗糙度

接触表面粗糙度对接触电阻有一定的影响。接触表面可以粗加工，也可以精加工，至于采用哪种方式加工更好，要根据负荷大小、接触形式和用途而定。

对于大、中功率电器，触点电流较大，其表面不要求精加工，最好用锉刀加工，重要的是平整。两个平整而较粗糙的平面接触在一起，接触点数目较多且稳定，并能有效地清除氧化膜。相反，精加工的表面，当装配稍有歪斜时，接触点的数目明显减小。

对于某些小功率电器，触点电流小到毫安以下，为了保证接触电阻小而稳定，则要求触点表面粗糙度小。粗糙度小的触点不易受污染也不易形成膜电阻。为达到这样低的粗糙度，往往采用机械、电或化学抛光等工艺。

5) 触点材料

触点材料的电阻系数大，则接触电阻大。触点材料抗压强度越小，在同样接触压力下得到的实际接触面积就越大，接触电阻就越小。因此在接触连接处，常用较软的金属覆盖在硬金属上，以获得较好的工作性能，如铜触点搪锡等。

银的电阻率小于铜，但银比铜贵，所以采用铜表面镀银的工艺。

铝在常温下几秒钟内就被氧化，氧化膜电阻较大。铝一般只用作固定连接，并常在其表面覆盖银、铜、锡等以减小接触电阻。

金、铂、铱等化学性能稳定，但价格昂贵，一般只用于小型电器的弱电流触点。

3. 减小接触电阻的方法

根据接触电阻的形成原因，减小接触电阻一般可采用下列方法：

(1) 增加接触点数目。为此，应选择适当的接触形式，用适当的方法加工接触表面，并在接触处施加一定的压力。

(2) 采用本身电阻系数小且不易氧化、膜电阻较小的材料作为接触导体，或作为接触面的覆盖层。

(3) 触点在开闭过程中应有研磨过程，以擦去氧化膜。

(七) 触点的振动

1. 产生振动的原因

触点从刚开始接触到完全闭合，是有一个过程的，这个过程称为触点的闭合过程。触点闭合过程中由于动静触点间的碰撞、衔铁和铁心的碰撞和电动斥力的作用，都可能引起触点的机械振动。

对于电磁传动的电器来说，在触点闭合过程中，衔铁会以一定速度冲向静铁心，磁系统同样会发生振动，以致触点又发生第二次振动，这种振动所引起的触点磨损常比上述触点碰撞引起的要大。在闭合过程中，通常是触点先接触，然后衔铁才完全闭合。因为触点刚接触时，回路中总具有一些电感，电流不是立即达到稳定值，而是当衔铁完全闭合时，电流才达到稳定值，如果此时由于衔铁振动而引起触点振动，则此时触点分断的电流就比较大，以致电磨损也增大，所以电磁铁所引起的触点振动更有害。

除上述原因外，在触点带电接通时，由于实际接触的只有几个点，在接触点处便产生电流的密集或弯曲，畸变的电流线相互作用便产生试图将触点分开的有害电力。在工作电流或短路电流较大的场合，电动斥力的作用尤为显著，这也是触点产生振动的原因。

在触点的振动过程中，若碰撞后触点不会分开，这样的振动不会产生电弧，因而称之为无害振动。若碰撞后触点分开，在触点间隙中会出现金属桥，造成触点磨损或熔焊，甚至产生电弧，严重影响触点寿命，由此产生的振动称为有害振动。

2. 减小振动的方法

振动次数越多，时间越长，则触点磨损越大。为了减少振动次数和减小振幅，延

长触点使用寿命，可采取以下措施：

- (1) 增大触点的初压力；
- (2) 增大触点弹簧的刚度；
- (3) 减小动触点的闭合速度；
- (4) 减小动触点系统的质量。

三、电弧及灭弧装置

(一) 电弧的特点及分类

电器在切断负载电流或短路电流时，只要加在动、静触点间的电压大于 $10 \sim 12 \text{ V}$ ，其间的电流大于 $80 \sim 100 \text{ mA}$ ，在动、静触点间就会出现电弧（耀眼的白光）。切断的电流越大，触点间出现的电弧就越强烈。电弧的产生是电器在切断或接通电路过程中不可避免的一种客观的物理现象。

电弧对电器具有一定的危害，如产生的高温足以融化触点、烧损绝缘材料或烧伤触点表面，使触点表面形成弧坑和尖刺。当电弧不能及时熄灭时，不仅使电路的切断时间延长，妨碍电路的正常分断，严重时还会烧坏电器部件及附近的电气设备，还会引起短路事故，甚至引起火灾。为了保证电器安全可靠工作，必须采用灭弧装置使电弧熄灭。

电弧的存在说明电路中有电流，只有当电弧熄灭，触点间隙成为绝缘介质时，电路才算断开。

电弧电流的主要特征如下。

(1) 电弧能量集中，温度极高，亮度很强。

(2) 电弧由阴极区、阳极区和弧柱区组成。阴极区和阳极区的电压称为极旁压降，处在大气中的铜触点上的电弧，其极旁压降为 $10 \sim 15 \text{ V}$ ；若为碳触点，其极旁压降为 $20 \sim 25 \text{ V}$ 。弧柱区的电压称为弧柱压降，弧柱处的温度最高达几千甚至上万摄氏度。弧柱周围温度较低，亮度明显减弱的部分叫弧焰。

(3) 电弧的气体放电是自持放电。维持电弧燃烧的电压很低，在大气中 1 cm 长的直流电弧的弧柱电压仅为 $15 \sim 30 \text{ V}$ 。

(4) 电弧是一束游离的气体。电弧质量很小，在气体的流动作用或电动力作用下，能迅速移动、伸长、弯曲和变形。

电弧按其外形分为长弧和短弧。长短之别取决于弧长与弧径之比。一般把弧长小于或等于弧径的电弧称为短弧，而弧长大大超过弧径的电弧称为长弧。对于只有几毫米的短弧，电压以极旁压降为主，而长弧电压则以弧柱压降为主。

(二) 电弧产生的物理过程

触点之间电弧燃烧的区域叫弧隙。触点断开后，当弧隙中有电弧燃烧时，电路仍然导通，说明此时触点弧隙的气体由绝缘状态变成了导电状态。气体为什么会呈现导电状态呢？这是由于原来为中性的气体分解为电子和离子，即气体被游离，此过程称

为气体的游离过程。气体游离出来的电子和离子在电场的作用下各自向对应的电极运动，便形成电流，使触点分断后电路并未切断。

弧隙中电子和离子的产生主要有以下几种形式。

1. 电子热发射

高温炽热的阴极表面会向空间发射电子。在电器的动、静触点分离时，触点间的接触压力减小，接触面积逐渐减小，接触电阻逐渐增大，使接触部位发热，导致阴极表面温度急剧升高而发射电子，形成了电子热发射。

热发射电子的多少与阴极表面温度及阴极的材料有关。阴极表面温度越高，则发射电子的数目就越多；阴极温度越低，则发射电子的数目就越少。

2. 强电场发射（阴极冷发射）

在动、静触点分离的瞬间，由于间隙很小，触点间的电场强度就非常大，使触点材料内部的电子在强电场作用下被拉出来，从而形成了强电场发射。

这种发射与阴极材料和阴极表面附近的电场强度有关。电场强度越高，则发射电子的数目越多；反之越少。

由此可见，阴极发射电子既有热作用引起的热发射电子，又有强电场作用下的冷发射电子，它们同时作用的结果是使阴极表面积累大量的电子。

3. 碰撞游离

从阴极表面发射出来的电子，在电场力的作用下向阳极高速运动，在运动过程中不断地与中性气体分子或原子发生碰撞。当高速运动的电子积聚足够大的动能时，使这些原子和分子最外层电子脱离原子核的束缚而成为自由电子，失掉电子的那些原子和分子成为正离子，即气体被游离，这一过程称为碰撞游离。新产生的电子将和原来的电子一起以极高的速度向阳极运动，当碰到其他中性气体质点后，将再次发生碰撞游离。这样连续不断地碰撞游离，使得气体介质中带电质点大量增加，在外加电场作用下，气体介质被击穿，形成电弧放电。

4. 热游离

弧隙间电弧燃烧，温度很高，弧柱中的气体分子在高温作用下产生剧烈热运动。动能很大的中性气体分子相互碰撞时，被游离而形成电子和正离子，这种现象称为热游离。弧柱导电就是靠热游离来维持的。

综上所述，电弧由碰撞游离产生，靠热游离维持。而阴极则借强电场或电子热发射提供传导电流的电子，因此，维持电弧稳定燃烧的电压就不需要太高。

在电弧的形成过程中，起主要作用的是热发射和碰撞游离；电弧形成后的维持过程中，起主要作用的是热游离。所以要使电弧熄灭，必须加强对电弧的冷却，这样既可以抑制游离过程，又可加强消游离作用，有利于电弧熄灭。

（三）电弧熄灭的物理过程

电弧中发生游离的同时，也存在着相反的过程，即消游离。若消游离作用始终

大于游离作用，则电弧电流减小，电弧熄灭。因此，要熄灭电弧，就必须加强消游离作用。

消游离过程主要包括复合和扩散两种形式。

1. 复 合

复合是带异性电荷的粒子相遇后中和，变成中性粒子的过程。由于弧柱中电子的运动速度很快，所以电子直接与正离子复合的概率很小。如果在游离过程中出现的电子和正离子接近时就互相吸引而形成中性粒子（速度较小时），这种复合称为直接复合。如果电子和正离子的运动速度较大时，它们不能直接复合，速度较高的电子撞击中性分子时，可能附在中性分子上，形成负离子。负离子的质量比电子大得多，因此运动速度会减慢，它在与正离子接近时，就可中和形成中性粒子，这一过程称为间接复合。

冷却电弧是加强复合作用的重要手段。此外，加入大量的新鲜气体分子，也可增强复合作用，如压缩空气吹弧。

2. 扩 散

扩散是电弧表面的带电粒子从电弧区转移到周围冷却介质中去的现象。电弧是一个电子和离子高度密集的空间，其温度很高。扩散的方向是从密度大、温度高的区域向密度低、温度低的区域。扩散出来的带电粒子因冷却而互相结合，形成中性粒子。电弧表面与周围介质的温度差越大，扩散作用就越强，越有利于电弧的熄灭。

从电弧产生和熄灭的物理过程可见，电弧中的游离和消游离作用是同时存在的。电弧的燃烧情况就取决于这两个方面。当游离作用占优势时，电弧就产生并扩大；当消游离作用占优势时，电弧就趋于熄灭；当游离作用与消游离作用相等时，电弧就稳定燃烧，弧隙间保留一定量的电子流，处于动态平衡状态。

可见，要使电弧熄灭，就必须增强消游离作用，而抑制游离作用。

（四）直流电弧及其熄灭

1. 直流电弧的伏安特性

电弧的伏安特性说明了电弧电压与电弧电流之间的关系，是电弧的重要特性之一。电弧的伏安特性实质上反映了电弧内的物理过程。

直流电弧的伏安特性是指当直流电弧稳定燃烧时，电弧两端电压与电弧中通过的电流的关系。

影响电弧伏安特性的因素主要有以下两个方面。

（1）电弧长度的影响（在相同冷却条件下）。当电弧长度改变时，其伏安特性也相应变化。在同一电流下，电弧的长度增加时，电弧单位长度的电阻不变，拉长后的总电阻增加，维持电弧燃烧所需要的电压增大。所以，在相同的冷却条件下，电弧越长，越易熄灭。

(2) 冷却条件的影响(在电弧长度相同的条件下)。电弧的伏安特性还与周围的介质温度和本身的冷却条件有关。在良好的冷却和通风条件下,电弧中的复合与扩散就会加强,使游离作用加强,弧隙间的带电粒子密度减小,弧电阻增加,维持电弧燃烧所需要的电压就提高。所以在电弧长度相同的条件下,冷却条件越好,电弧越易熄灭。

2. 直流电弧的熄灭

直流电弧最常见的熄灭方法是采用机械力使电弧拉长,再利用磁吹、气吹或电力等方法,使电弧拉长的同时迅速冷却,这样就加强了游离作用,从而使电弧熄灭。

(五) 交流电弧及其熄灭

1. 交流电弧的特性

在交流电路中,电流的瞬时值随时间变化,每个周期内有两次过零点。因此,电弧的温度、直径及电弧电压也会随时间变化,电弧的这种特性称为动特性。由于弧柱的受热升温 and 散热降温都有一个过程,跟不上电流的快速变化,所以电弧温度的变化总滞后于电流的变化,这种现象称为电弧的热惯性。

交流电弧在交流电流自然过零时将自动熄火,但在下半周随着电压的增高,电弧又会重燃。如果电流过零后,电弧不发生重燃,电弧就此熄灭。由于热惯性的作用,电弧电阻的变化总是滞后于电流的变化。

2. 交流电弧熄灭条件

交流电流过零后,电弧是否重燃取决于弧隙介质强度和弧隙电压的恢复过程。

1) 弧隙介质强度的恢复过程

能够承受外加电压而不致使弧隙击穿的电压称为弧隙介质强度。交流电弧过零熄灭后,由于外部条件的变化,弧隙内游离作用加强,使得原来的导电状态要向绝缘介质状态转变,这个转变过程就是介质强度恢复过程。这个过程的快慢与许多因素有关,如温度、散热情况等。在靠近两极的区域,由于金属材料的传热性好,所以此区域的温度要比弧柱区的温度低,故此处的介质强度恢复要比弧柱区快。因此,介质强度恢复快慢主要取决于开关电器灭弧装置的结构和灭弧介质的性质。

2) 弧隙电压的恢复过程

在交流电路中,电流过零后,弧隙电压从后峰值逐渐增长,直到恢复电源电压,这一过程中的弧隙电压称为恢复电压。触点两端电压从熄弧电压恢复到电源电压的过程称电压恢复过程。电压恢复过程与线路参数和负荷性质等有关。

3) 交流电弧熄灭的条件

在电弧电流过零时,电弧自然熄灭;电弧电流过零后,弧隙中同时存在两个作用相反的恢复过程,即弧隙间介质强度的恢复和电压的恢复。

如果弧隙介质强度在任何情况下都高于恢复电压,则电弧熄灭;反之,如果弧隙

恢复电压高于弧隙介质强度，则弧隙就会被击穿，电弧重燃。因此交流电弧的熄灭条件是：弧隙介质强度的恢复速度大于弧隙电压的恢复速度。

在交流电弧熄灭过程中，有以下两个方面的因素需要加以考虑：

(1) 交流电弧电流过零是最有利的灭弧时机，这时输入弧隙的功率趋近于零，如果此时电弧散失的功率大于由电源输入的功率，电弧就会熄灭。

(2) 对交流电弧的电路参数而言，电源电压越高，恢复电压峰值也越高，熄弧越困难。

(六) 常见的灭弧方法

通过前面的一系列理论分析，我们可以找出很多加速电弧熄灭的方法，如拉长电弧、降低温度、将长弧变为短弧、将电弧放置在特殊介质中、增大电弧周围气体介质的压力等。为了减少电弧对触点的烧损和限制电弧扩展出空间而采用的装置称为灭弧装置。

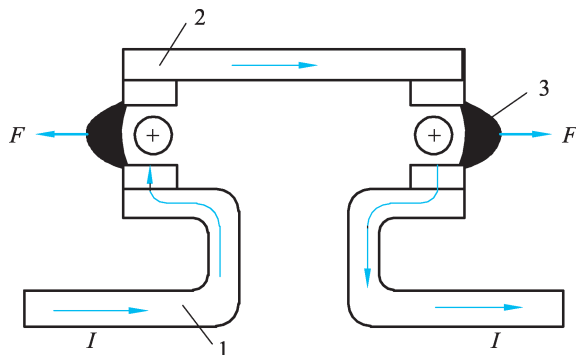
1. 机械力拉长

在电器触点分断过程中，电弧实际上就被不断地拉长，该长度即触点的开距。拉长电弧可以沿电弧的轴向（纵向）拉长，也可以沿垂直于电弧的轴向（横向）拉长。

2. 回路电动力拉长

载导体之间会产生电动力，如果把电弧看作是一根软导体，那么受到电动力作用，它就会发生变形，即被拉长。

图 1-1-6 所示的桥式双断点触点在一个回路中有两个产生电弧的间隙。当触点打开时，在断口中产生电弧，动、静触点在弧区内产生磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用而向外运动，迅速离开触点而熄灭。电弧的这种运动，一方面会使电弧本身被拉长，另一方面会使电弧穿越冷却介质时受到较强的冷却作用，这都有助于熄灭电弧。另外，两断口处的每一个电极近旁，在交流过零时都能出现 150~250 V 的介质绝缘强度，也有利于电弧的熄灭。这种结构主要用于小电流场合，如继电器触点、接触器的辅助触点等。



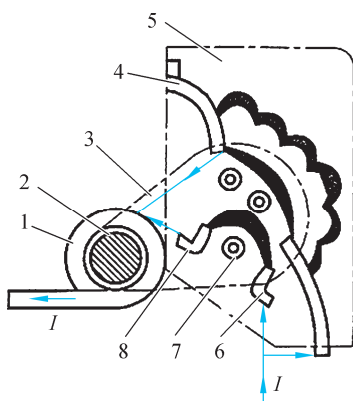
1—静触点；2—动触点；3—电弧。

图 1-1-6 桥式双断点电动力吹弧

3. 磁吹灭弧

当需要较大的电动力来拉长电弧时，可以让电弧在一个专门设置的磁场中受力的作用，这个产生专门熄弧磁场的装置，称为磁吹线圈。这种利用电磁场力来使电弧被拉长而熄灭的方法称为磁吹灭弧，所用的装置称为磁吹灭弧装置。直流电器一般采用磁吹灭弧装置。

磁吹灭弧装置的结构如图 1-1-7 所示，它主要由磁吹线圈、磁吹铁心、导磁夹板、导弧角及灭弧罩等组成。磁吹线圈与触点串联，电弧在磁吹线圈的作用下受力拉长，从触点间吹离，加速了冷却而熄灭。



1—磁吹线圈；2—磁吹铁心；3—导磁夹板；4—导弧角；5—灭弧罩；
6—动触点；7—磁场方向；8—静触点。

图 1-1-7 磁吹灭弧装置的结构

4. 灭弧罩

灭弧罩是用来拉长和冷却电弧，并将电弧限制在一定范围内燃烧和熄灭的装置。灭弧罩主要起着增强消游离因素，限制游离因素的作用，从而加速电弧的熄灭。灭弧罩都是装在分断大电流的电器触点上。

为了限制弧区扩展并加速冷却，通常采用耐弧陶土、石棉、水泥或耐弧塑料制造灭弧室。有些灭弧室还设有狭窄的纵缝，使电弧进入后与缝壁紧密接触，从而冷却。

1) 纵缝灭弧罩

纵缝多是下宽上窄，以减小电弧进入时的阻力。纵缝灭弧罩有纵向窄缝式、纵向宽缝式和纵向曲缝式 3 种。纵向窄缝的缝隙很窄，且入口处宽度是骤然变化的，所以，只有当电流比较大时才有效。纵向曲缝兼有逐渐拉长电弧的作用，故灭弧效果比较好。纵向窄缝式、纵向宽缝式和纵向曲缝式灭弧罩分别如图 1-1-8 ~ 图 1-1-10 所示。

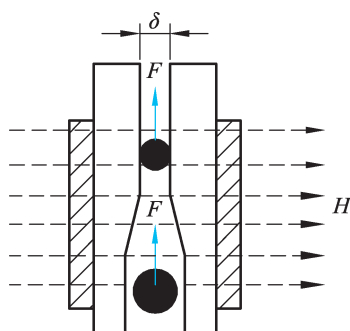


图 1-1-8 纵向窄缝式灭弧罩

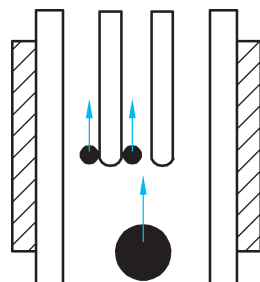


图 1-1-9 纵向宽缝式灭弧罩

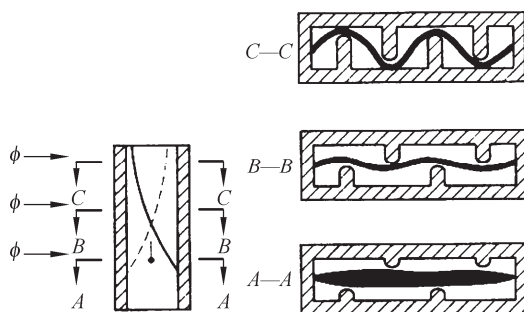


图 1-1-10 纵向曲缝式灭弧罩

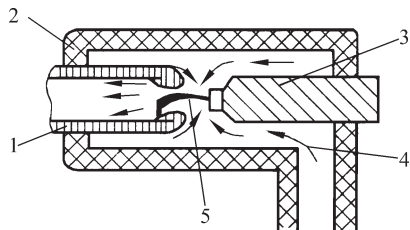
2) 横向栅片灭弧装置

横向栅片由磁性材料的金属片制成，它是利用短弧灭弧原理进行灭弧的。当电弧进入灭弧栅后，被分成若干短弧，横向金属栅利用交流电弧的近阴极效应或直流电弧的极旁压降来达到熄灭电弧的目的。

对于容量较大的交流电器，可采用灭弧栅灭弧，也可采用纵缝灭弧，如城市轨道交通车辆上的高速开关的灭弧罩就采用栅片灭弧装置。

3) 气吹灭弧装置

气吹灭弧是利用压缩空气来熄灭电弧的，如图 1-1-11 所示。压缩空气作用于电弧，可以很好地冷却电弧，提高电弧区的压力，很快带走残余的游离气体，所以有较高的灭弧能力。由于气吹灭弧的灭弧能力较强，故一般用于高压电器。



1—动触点；2—灭弧室瓷罩；3—静触点；
4—压缩空气；5—电弧。

图 1-1-11 气吹灭弧装置

4) 真空灭弧装置

真空灭弧装置是真空断路器的核心部分，外壳大多采用玻璃和陶瓷。在被抽成真空的玻璃或陶瓷容器内，装有静触点、动触点、电弧屏蔽罩、波纹管等。动、静触点连接导电杆，当动、静触点分离时，弧隙可以在几微秒之内由导电状态恢复到真空间隙的绝缘水平。因此，在真空中触点有很高的介质恢复速度、绝缘能力和分断电流能力。

在城市轨道交通车辆上，交流电器的灭弧方法主要采用金属灭弧栅灭弧、绝缘灭弧栅灭弧、吹弧灭弧和真空灭弧。

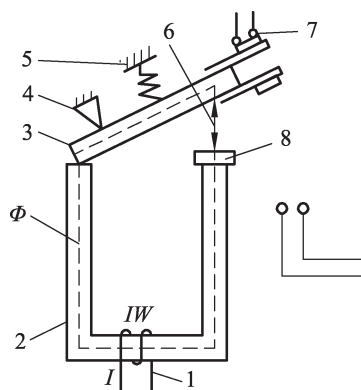
四、电器的传动装置

传动装置是有触点电器，是用来驱使电器运动部分按照一定要求进行动作的机构，可接收外界的信号，作出有规律的反应，使电器的执行部分（触头）动作，输出相应的指令，实现控制的目的。在城市轨道交通车辆电器中，主要采用电磁传动装置和电空传动装置。

（一）电磁传动机构

1. 电磁机构的组成

电磁机构是有触点电器的主要部件，主要由吸引线圈、铁心和衔铁组成，吸引线圈是电磁机构产生磁通的核心部件。吸合式电磁铁结构如图 1-1-12 所示。



1—线圈；2—铁心；3—衔铁；4—止挡；5—反力弹簧；6—工作气隙；7—常闭触点；8—常开触点。

图 1-1-12 吸合式电磁铁结构示意图

2. 电磁机构的工作原理

当线圈通入电流后，将产生磁场，磁通经过铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路。在铁心和衔铁端面上出现不同极性的磁极，彼此吸引，即产生的电磁吸力将衔铁吸向铁心。同时，衔铁还要受到复位弹簧的反作用力，只有当电磁吸力大于弹簧的拉力时，衔铁才能可靠地被铁心吸住。

3. 电磁机构的分类

虽然电磁机构的原理及基本组成相同，但由于具体用途不同，电磁机构也有不同的形式。

1) 按吸引线圈供电形式分

直流电磁机构：直流电使电磁力、主磁通不变化，故可将导磁部分做成整体。

交流电磁机构：交流电会引起电磁力和主磁通的变化，所以有涡流、磁滞损耗，故多用叠片式。

2) 按衔铁的运动方式分

直动式电磁机构：衔铁进行直线运动。

转动式电磁机构：衔铁进行旋转运动，图 1-12 所示的吸合式电磁铁就属于转动式电磁机构。

3) 按电磁机构的结构分

E 形或 U 形电磁机构和螺管形电磁机构。

图 1-1-13 所示为几种常见电磁机构的结构示意图。

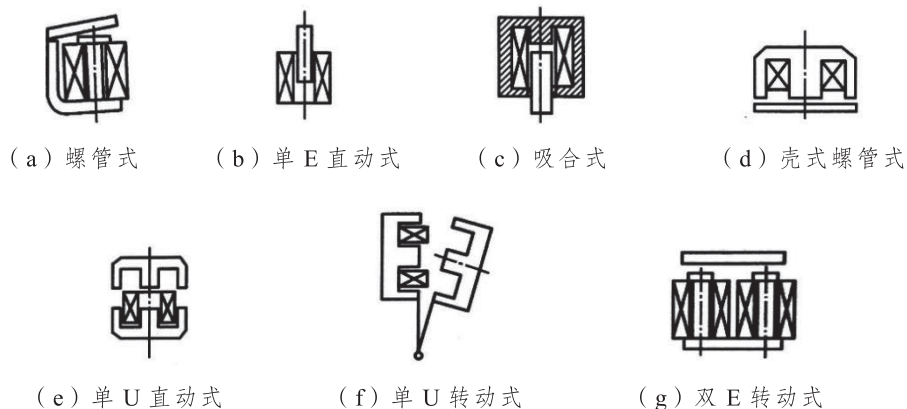


图 1-1-13 常见电磁机构的结构示意图

最常用的电磁机构有吸合式、E 形和螺管形电磁机构。

4. 直流电磁机构

直流电磁机构的特点是：电磁线圈中通直流电，产生恒定磁通，铁心中没有涡流和磁滞损耗，只有线圈本身的涡流损耗。所以，铁心采用整块钢或工业纯铁制造，线圈无骨架，且做成细长形，为了加工方便，套线圈的那部分铁心一般做成圆柱形。

电磁机构线圈通电后，产生电磁吸力。当电磁线圈磁势一定时，作用在衔铁（或动铁心）上的电磁吸力与工作气隙的关系，称为直流电磁机构的静吸力特性。当电磁式电器工作时，线圈磁势是一定的。电磁机构的衔铁由释放状态到吸合状态的过程或

由吸合状态到释放状态的过程中，作用在衔铁上的电磁吸力和工作气隙都在变化。为了使电磁机构能可靠吸合，必须保证电磁力大于反作用力。这种工作可靠性是对直流电磁机构最基本的要求。此外，如果电磁继电器作为保护、自动检测和自动控制用，还有更严格的要求。

5. 交流电磁机构

1) 交流电磁机构的特点

交流电磁机构的励磁线圈由交流电源供电，其励磁电压是按正弦规律变化的，所以气隙中的磁通也按正弦规律变化。

为了减少涡流和磁滞损耗，交流电磁机构的铁心、磁轭、底铁及衔铁均用薄的硅钢片冲压叠压后铆成。为了制造方便，静铁心及衔铁的截面为矩形，因此线圈也是矩形的。线圈有骨架，线圈与铁心之间的间隙也较大，以增加散热面积，利于线圈散热。

2) 分磁环的功能

交流电磁铁的静铁心在靠近工作气隙处装有分磁环，分磁环是一个用纯铜或黄铜制成的短路环。

交流电磁铁磁通是交变的，当磁通过零时，电磁铁的吸力为零，吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下被拉开。磁通过零后电磁吸力又增大，当吸力大于弹簧反力时，衔铁又吸合。这样反复动作，使衔铁产生强烈振动和噪声，甚至使铁心松散。因此交流电磁铁铁心端面上都装一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约 $2/3$ 面积。短路环把铁心中的磁通分成两个部分，即不穿过短路环的磁通 Φ_1 和穿过短路环的磁通 Φ_2 ，且 Φ_2 滞后于 Φ_1 。使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

(二) 电空传动机构

1. 电空传动机构的基本概念

电空传动机构是用压缩空气推动活塞（或传动薄膜）运动，以操纵电器触点的分合。电空传动机构由压缩空气驱动装置和电空阀（电磁阀）组成。空气驱动装置包括气缸、活塞等部件。压缩空气进入和排出气缸，是由电空阀控制的。电空阀相当于一个气路开关，控制电空阀即可控制气缸工作。它是用电路来控制气路的元件，由于电磁力的作用，电空阀使气路开通，压缩空气可以进到所控制的设备中，从而达到远距离控制气动器械的目的。

电空阀在轨道交通车辆中已成为比较重要的车辆电器，在制动系统中大量采用，车辆上的车门系统、空调系统也都是用电空阀控制的。车门系统中，电空阀负责控制进入车门驱动气缸压缩空气的多少，从而达到调节开门速度、关门速度以及开门缓冲和关门缓冲的目的。

2. 电空阀的结构及作用原理

电空阀类型较多，但其结构相似，均由电磁机构和气阀两部分构成，工作原理也基本相同。

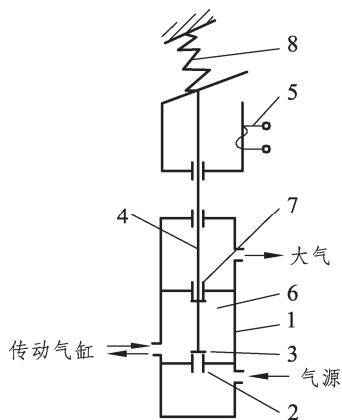
电磁机构由铁心座、磁轭、衔铁、线圈、接线座等组成。衔铁下压心杆将吸力作用到气阀部分。气阀部分由阀座、上阀门、下阀门、弹簧、阀杆等组成。下阀门控制传动气缸与压缩空气气源间的通路，上阀门控制传动气缸与大气间的通路。

按电磁铁的形式可将电空阀分为吸合式和螺管式；按作用原理又可分为开式和闭式。

闭式电空阀是线圈无电时压缩空气气源与传动气缸间被阻断的阀，如图 1-1-14 所示。当线圈未通电时，在弹簧及压缩空气的作用下，下阀门封闭，上阀门打开，压缩空气不能进入传动气缸，此时传动气缸与大气相通。当线圈通电后，在电磁吸力的作用下衔铁带动心杆下移，使上阀门封闭，下阀门打开，此时传动气缸与大气间的通路被截断，压缩空气进入传动气缸。

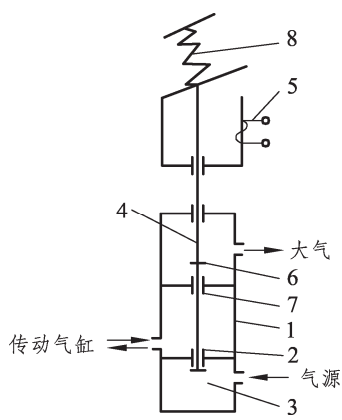
开式电空阀是线圈无电时压缩空气气源与传动气缸相通的阀。其电磁部分与闭式阀完全相同，仅气阀部分的作用与闭式阀相反，如图 1-1-15 所示。电空传动机构常用于大功率、高电压、大电流的场合。

电空阀是电空传动机构中的一个重要元件，在使用中要经常检查和维护。当电空阀在运行中发生故障时，应分清是电磁方面的原因，还是气阀方面的原因。电磁方面的故障常表现在衔铁不吸合，此时应检查衔铁动作是否灵活，是否有卡住现象，线圈是否断路，吸合电压是否正常等。气阀方面的故障经常表现为漏气，原因可能是有污垢、沙子等。



1—阀体；2—下阀门；3、6—阀块；4—阀杆；
5—电磁铁；7—上阀门；8—反力弹簧。

图 1-1-14 闭式电空阀示意图

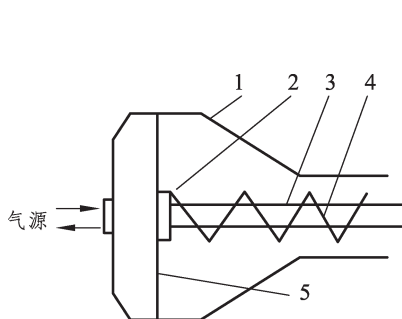


1—阀体；2—下阀门；3、6—阀块；4—阀杆；
5—电磁铁；7—上阀门；8—反力弹簧。

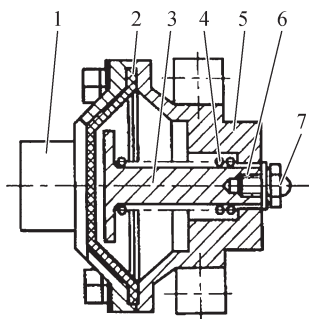
图 1-1-15 开式电空阀示意图

3. 薄膜传动装置

在城市轨道交通车辆上也使用薄膜传动装置，其原理结构如图 1-1-16 所示，实际结构如图 1-1-17 所示。



1—阀体；2—活塞；3—活塞杆；4—分断弹簧；
5—橡胶薄膜。



1—气缸盖；2—弹性薄膜；3—活塞杆；4—复原弹簧；
5—气缸座；6—衬套；7—杆头。

图 1-1-16 薄膜传动装置原理结构

图 1-1-17 薄膜传动装置实际结构

当压缩空气进入气孔时，压迫薄膜，克服弹簧张力，使活塞右移，带动触点动作。反之，触点在弹簧的作用下打开。

薄膜传动装置具有动作灵活、摩擦力和磨损较小、维修方便等特点。但活塞杆行程小，在低温条件下薄膜易开裂，需要经常更换。

知识拓展

一、触点的磨损

(一) 触点磨损的原因

通电流的触点在多次闭合与分断之后，它的接触表面会逐渐产生磨损和损坏，这种现象称为触点的磨损。触点磨损达到一定程度后（约为超程的一半），其工作性能便不能保证，此时，触点的寿命即宣告终结。经过规定的带电操作而达到触点寿命终结的操作次数，称为其电器寿命。继电器和接触器的寿命主要取决于触点的寿命。

触点的磨损分为机械磨损、化学磨损和电磨损。机械磨损是由于触点的研磨和机械撞击所致；化学磨损是由于氧化及电腐蚀等所致；电磨损主要发生在触点的闭合和分断过程中。在触点接通电流时产生的电磨损，主要是由于触点碰撞引起的振动所造成的；在触点分断电流时产生的电磨损，是由高温电弧所造成的。在 3 种磨损中，前两种磨损很小，约占全部磨损的 10%，后一种占 90%。

触点分断过程中，触点刚分离时，触点间的接触面积越来越小，接触电阻越来越大，触点表面的温度剧增，在一定的电参数下，足以使触点熔化，并且在最后的接触点形成液态金属桥。在电力的作用下，金属桥的移动致使触点磨损。随着触点的继续分离，金属桥最后被拉断，在一定的电参数下，触点间便产生了电弧。刚出现电弧时两触点间的缝隙很窄，电弧运动阻力很大，电弧在触点面上运动的速度很小，使触点继续熔化而产生电磨损。为了减小此过程的电磨损，应采用各种不同的灭弧装置，同时采用耐电磨损的触点材料。

（二）触点电磨损的形式

触点在分断与闭合电路过程中，在触点间隙中产生金属桥、电弧等现象，引起触点材料的金属转移、汽化，使触点材料损耗和变形，这种现象称为触点的电磨损。电磨损直接影响电器的寿命。

触点的电磨损有两种形式：液桥的形成和金属转移；电弧对触点的影响。

（三）减小触点电磨损的方法

减小触点电磨损，可以从减小触点在分断过程和闭合过程中的磨损两方面着手。

1. 减小触点分断过程中的磨损，即减小触点分断时的电弧

（1）选择合适的灭弧系统参数，如磁吹线圈的磁感应强度 B 。 B 值过小，吹弧电动力太小，电弧在触点上停留时间较长，触点电磨损增加； B 值过大，吹弧电动力过大，会把触点间熔化的金属液桥吹走，电磨损也增加，因此，应选择适当的 B 值。

（2）对于交流电器（如交流接触器）宜采用去离子栅灭弧系统，利用交流电流通过自然零点而熄弧，从而减小触点的电磨损。

（3）采用熄灭火花电路，以减小触点的电磨损。该方法是在弱电流触点电路中，在触点上并联电阻、电容，以熄灭触点上的火花。这种火花熄灭电路对分断小功率直流电路很有效。

（4）正确选用触点材料。例如，钨、钼的熔点和汽化点高，因此，钨、钼及其合金有良好的抗磨损性能；银、铜的熔点和汽化点低，其抗磨损性能较差。

2. 减小触点闭合过程中的磨损

触点闭合过程中的磨损主要由触点在闭合过程中的振动引起，所以，减小触点闭合过程中的电磨损，必须减小触点的机械振动。

二、触头的材料

触头所选用的材料对于减小触头接触电阻，降低触头温升，减小触头振动振幅，减少电磨损，提高电器寿命，提高电器工作可靠性都有很重要的意义。因此，合理选用触头材料，是改进电器性能的主要途径。

根据电器的工作情况以及各种电器的任务和使用条件的不同，人们对触头材料提出以下要求：

- （1）热特性：熔点要高，传热性能要好。
- （2）电特性：材料本身电阻系数要小，接触电阻要小，且在长期工作中能保持稳定，产生电弧的最小电流和最小电压要大。
- （3）机械特性：要有一定的强度，耐磨性好，有良好的加工性能。
- （4）化学特性：在常温下和高温下不易氧化，或者氧化物的电阻尽量小。
- （5）价格低廉。

城市轨道交通车辆电器中的触头材料，最常用的是铜和银，以及以铜或银为基本材料制成的铜基合金或银基合金。

触头材料一般分为3种，即纯金属、金属合金材料和粉末冶金（金属陶冶）材料。

用在电器上的纯金属材料主要是银、铜、钨和铂。银和铜既可以单独作为触头材料，也可以组成合金。钨则要与银和铜分别组成粉末冶金材料。铂是贵金属，虽然化学性能和接触电阻稳定，也不易生弧，但导电性和导热性差，硬度低，价格昂贵。所以，一般不采用铂作为触头材料，如果要用，也是以合金的形式出现，用于小功率继电器的触头。

常用的金属合金材料有银-铜和银-钨。由于纯金属本身性能的差异，将它们以不同的成分相配合，构成合金材料，可以使触头的性能大大改善。

粉末冶金材料是由两种或两种以上的彼此不相熔合的金属组成的机械混合物。其中一种金属有很高的导电性（如银、铜等），作为材料中的填料，称为导电相。另一种金属有很高的熔点和硬度（如钨、氧化钨等），在电弧的高温作用下不易变形和熔化，称为耐熔相。这类金属在触头材料中起着骨架的作用。这样，就保持了两种材料的优点，克服了各自的缺点，构成了比较理想的触头材料。常用的粉末冶金材料有银-氧化钨、银-氧化铜、银-钨、铜-钨和银-石墨等。

下面仅介绍城市轨道交通车辆上常用的两大类金属触头材料。

1. 纯铜、铜合金及其粉末冶金材料

纯铜的导电性能及导热性能都较好，价格也便宜，是一种广泛应用的触头材料。纯铜的缺点是易氧化。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材料，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磨损和抗熔焊的能力，因为钨的熔点高、硬度大、热传导性好、抗熔焊、耐弧性好。但由于钨的导电性差，因此铜-钨触头导电性较铜低。在实际应用中，一般的接触器采用纯铜作为触头材料，较为重要的接触器和大电压电器则采用铜合金或粉末冶金作为触头材料。例如，高压断路器和真空开关多采用铜-钨触头。

2. 纯银、银合金及其粉末冶金材料

纯银有很好的导电性及导热性，不易氧化，即使氧化，其导电性能仍然很好。因为其氧化后的氧化膜接触电阻稳定，对接触电阻几乎没有影响，所以触头间所需压力较小。纯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太大的场合。

对于银-铜合金材料，适当提高其含铜量，可提高其硬度和耐磨性。但是含铜量不宜过高，否则会像铜一样易氧化，接触电阻不稳定。银-铜合金的特点是熔点低，故一般不用作触头材料，而主要用作焊接触头的银焊料。