



职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通 车辆电气控制

华平 唐春林 编著



赠电子课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通车辆电气控制

华 平 唐春林 编著



机械工业出版社

本书突破传统的教材编写模式,以学生为中心、以工作过程为导向,将城市轨道交通专业相应岗位的工作过程分解为不同工序,将各工序必备的知识、技能统合成学习内容,融入了新型的教学方法、教学手段,进而综合形成各工序所对应的项目,每个项目按照学习目标、课题描述、学习任务、拓展任务的结构进行编写,每个项目之后设计了实践练习,以留给学员较大的思维空间和探索空间。

全书共分为五个项目,内容包括:城市轨道交通车辆电气控制系统构成,城市轨道交通车辆牵引传动系统,城市轨道交通车辆牵引与制动控制系统,城市轨道交通车辆辅助供电系统,城市轨道交通车辆车门控制系统。

本书可作为城市轨道交通车辆专业高等、中等职业教育教材,也可作为城市轨道交通管理及相关专业人员的培训教材,还可供城市轨道交通企业车辆驾驶及检修人员学习参考。

为方便教学,凡选用本书作为授课教材的教师均可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 以教师身份下载免费电子课件。

## 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆电气控制/华平,唐春林编著. —北京:机械工业出版社,2011

职业教育城市轨道交通专业规划教材

ISBN 978-7-111-34426-1

I. ①城… II. ①华… ②唐… III. ①城市铁路—铁路车辆—电气控制—职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第132346号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曹新宇 宋学敏 责任编辑:曹新宇 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2011年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·362千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34426-1

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

## 出版说明

目前我国正在经历着有史以来规模最大的城市轨道交通建设。城市轨道交通的高速发展，带来了城市轨道交通专业人才的巨大需求，巨大的城市轨道交通人才需求为职业教育城市轨道交通专业的发展带来了良好契机。目前国内开设城市轨道交通专业的院校正逐年增多，但是适合于职业教育的教材却很少，特别是专门为职业教育量身设计的、注重实际操作技能及管理技能的教材几乎没有。机械工业出版社根据教育部大力发展职业教育的要求，为促进职业教育城市轨道交通专业教学的交流与推广，推动职业教育城市轨道交通教材建设，培养符合企业实际需求的应用型、综合性人才，特组织国内开设城市轨道交通专业的优秀教师及院校编写此套教材。

为了做好教材的编写工作，机械工业出版社特别成立了由著名专家组成的教材编写委员会。这些专家对城市轨道交通专业教学作了深入细致的调查研究，对教材编写提出许多建设性意见，并慎重地对每一本教材一审再审，确保教材本身的高质量水平，并对教材的教学思想和方法的先进性、科学性严格把关。这套教材出版后，我们将根据各职业院校的教学计划，举办如何高效使用教材的教师培训，及时地将其推荐给各职业院校选用。希望职业院校师生在使用教材后及时反馈意见和建议，以利于我们能更好地为教学改革服务。

机械工业出版社



# 前 言

进入 21 世纪，我国把“发展城市轨道交通”列入国民经济第十个五年计划发展纲要，国务院办公厅发出《关于加强城市快速轨道交通建设管理的通知》，把发展轨道交通作为解决大城市交通拥堵，改善城市工作、生活与投资环境，促进城市可持续发展的途径与手段，并以政府行为与重大战略的形式提出来，给轨道交通带来了新的发展机遇。为了缓解城市日益严重的交通问题，地铁、轻轨等城市轨道交通设施开始在我国的大中城市兴建及扩建，目前已有四十多个城市在建和规划建设城市轨道交通。地铁、轻轨、城市快速铁路、电动车组等交通车辆的制造与大量运用，需要大批具有较扎实的理论基础、较强的实践能力及技术应用的技能型人才。为了满足社会、企业和学校大量的城市轨道交通专业人员的培养和培训，机械工业出版社策划并组织编写了职业教育城市轨道交通专业规划教材，《城市轨道交通车辆电气控制》就是其中之一。

本书突破传统的教材编写模式，以学生为中心、以工作过程为导向，将城市轨道交通专业相应岗位的工作过程分解为不同工序，将各工序必备的知识、技能统合成学习内容，融入了新型的教学方法、教学手段，进而综合形成各工序所对应的项目，每个项目按照学习目标、项目描述、学习任务、拓展任务的结构进行编写，每个项目之后设计了实践练习，留给学员较大的思维空间和探索空间，使学习者在学习的过程中自觉地获取知识和经验，逐渐构建自己的知识体系。全书共分为五个项目，项目一内容为城市轨道交通车辆电气控制系统构成，主要介绍城市轨道交通车辆电气控制系统组成及主要部件功能，延伸至城市轨道交通车辆运行工况与受力分析；项目二内容为城市轨道交通车辆牵引传动系统，详细分析了国内城市轨道交通车辆主流车型牵引传动系统的工作原理与工作方式，拓展任务讲述了常用电力电子器件类型、原理与应用以及电流电压变换电路；项目三内容为城市轨道交通车辆牵引与制动控制系统，具体分析了城市轨道交通车辆电气线路的控制逻辑，简要介绍了列车微机控制及故障检测与诊断系统知识；项目四内容为城市轨道交通车辆辅助供电系统，描述了城市轨道交通车辆辅助供电系统设备工作原理，具体分析了典型辅助电路的工作过程，拓展任务介绍了静止逆变器及其控制和辅助逆变器系统的维护；项目五内容为城市轨道交通车辆车门控制系统，全面介绍了城市轨道交通车辆车门系统的工作原理、控制逻辑、信息显示、操作程序，简要介绍了开、关门程序和软件以及屏蔽门知识。本书对广大学习者深入了解城市轨道交通车辆电气控制知识，了解城市轨道交通车辆电器设备、设施的运用、日常维护和检修具有较强的指导作用。

本书由唐春林和华平副教授完成编写。衷心感谢李晓村教授，在本书的编写过程中给予的支持与帮助。另外，本书参考了一些国内外发表的文章、资料，编者在此对他们表示诚挚的谢意。

由于编者学识水平所限，收集资料欠全面，书中难免有纰漏和不妥之处，恳请各位读者批评指正，盼赐教至 zzhprose@126.com，以期再版时修改。

编著者

职业教育城市轨道交通专业规划教材  
编写委员会

主任：李晓村

编委：（按姓氏笔画排序）

王大文	牛红霞	牛凯兰	边国兴	卢桂云	李力
华平	阳东	李建民	刘峥	李建国	连苏宁
张建国	周淑玉	杨瑞柱	徐坚	唐春林	秦菊枝
柴鹏飞	贾毓杰	韩增盛	裴瑞江		

# 目 录

出版说明	
前言	
项目一 城市轨道交通车辆电气控制系统构成	1
【学习目标】	1
【项目描述】	1
【学习任务】	2
任务一 城市轨道交通车辆电气控制系统基础	2
任务二 城市轨道交通车辆控制系统主要部件功能	5
【拓展任务】	21
任务 城市轨道交通车辆运行工况与受力分析	21
【实践练习】	29
项目二 城市轨道交通车辆牵引传动系统	30
【学习目标】	30
【项目描述】	30
【学习任务】	31
任务一 直流牵引传动系统	31
任务二 交流牵引传动系统	47
任务三 直线电动机牵引传动系统	70
【拓展任务】	78
任务一 常用电力电子器件类型、原理与应用	78
任务二 电流电压变换电路	92
【实践练习】	105
项目三 城市轨道交通车辆牵引与制动控制系统	107
【学习目标】	107
【项目描述】	107
【学习任务】	108
任务一 电动列车电气控制系统电路及其识读	108
任务二 电动列车激活控制	117
任务三 电动列车初始条件设置控制	123
任务四 电动列车牵引和制动控制	130
【拓展任务】	144
任务一 列车信息和诊断系统	144
任务二 列车微机控制系统	154
【实践练习】	168
项目四 城市轨道交通车辆辅助供电系统	169
【学习目标】	169
【项目描述】	169
【学习任务】	170
任务一 车辆辅助供电系统及供电电路	170
任务二 辅助供电系统电路分析	175
【拓展任务】	187
任务一 静止逆变器及其控制	187
任务二 城市轨道交通车辆辅助逆变器系统维护	190
【实践练习】	191
项目五 城市轨道交通车辆车门控制系统	192
【学习目标】	192
【项目描述】	192
【学习任务】	193
任务一 城市轨道交通车辆客室侧门的结构及原理	193
任务二 城市轨道交通车辆客室侧门的控制	203
任务三 城市轨道交通车辆车门的操纵	210
任务四 城市轨道交通车辆车门的信息显示	213
【拓展任务】	215
任务一 地铁车辆运行时的开、关门程序	215
任务二 地铁车门软件使用	217
任务三 屏蔽门系统	219
【实践练习】	221
附录 城市轨道交通车辆常用缩略语中英文对照表	223
参考文献	227

# 项目一 城市轨道交通车辆电气控制系统构成

本项目主要介绍城市轨道交通车辆电气控制系统的组成及功能，系统主要电气部件的结构原理、技术参数、功能作用。拓展任务分析了城市轨道交通车辆的运行工况及牵引力、制动力的形成。

## 【学习目标】

1. 熟悉城市轨道交通车辆电气控制原理。
2. 掌握城市轨道交通车辆电气控制系统的组成。
3. 会进行城市轨道交通车辆受力和列车运行工况分析。
4. 会分析牵引力和制动力的形成。
5. 了解空转和滑行的形成，会进行车辆空转和滑行的保护处理。
6. 掌握牵引动力装置的结构和工作原理。
7. 掌握城市轨道交通车辆电器的结构原理。

## 【项目描述】

城市轨道交通车辆作为一种便捷的交通工具，最根本的任务是承载旅客完成由甲地往乙地的运输任务。车辆运行的速度及其控制是城市轨道交通车辆完成运输任务的关键。城市轨道交通车辆的运行速度受多方面因素约束，如列车运行图、区间及车站信号、线路状况、列车上各功能设备的状态、乘客舒适度、行车安全性等。因此对城市轨道交通车辆控制就是根据这些约束条件进行综合处理并形成最终的结果，即列车应该以何种方式或何种速度运行，并将这个决策贯彻到车辆控制系统的每一个控制单元。

城市轨道交通车辆控制系统根据运营系统给出的命令对各功能子系统进行调控，并在各个功能级上(如牵引控制、制动控制等)保证列车运行要求的实现。其主要特征是控制，即控制策略和控制手段的实现。数学模型化的控制方法和传统的PID<sup>⊖</sup>调节在城市轨道交通车辆控制中已经取得了重要的成果，但是由于控制参数的多变性和离散性，以及系统的非线性和子系统结构的可变性，加大了PID调节的复杂性和困难程度。因此利用人工智能原理的各种控制方法，特别是在网络环境下的控制方法，也逐步应用于车辆控制系统中。

城市轨道交通车辆控制系统或是列车和外围系统的接口，都通过无线方式与地面连网，以满足整个运营系统调控和旅客信息服务的要求。因此城市轨道交通车辆需要提供一个良好的人机界面，使驾驶员能随时了解整个列车的运行状态和各主要单元部件的工作状态，以便在必要时进行人工干预。城市轨道交通电动列车驾驶员在操作时，只需发出一些简单的命令，而不必知道命令由谁来执行。城市轨道交通车辆需要带有系统操作软件和大容量存储器的高级控制机(微机控制系统)来作为控制核心，并选择传送信息量大且有实时性的网络(总

⊖ PID，即乘客导向系统。



线控制)来连接它们,以保证网络连接和实时响应。

在车辆控制系统中还需要直接面向现场完成 I/O 处理并能实现直接数字控制的智能化装置,将现场的各种实时过程变量实现数字化转换并将这些变量送往功能层的相应控制子系统。

可以这样说,城市轨道交通车辆上的各个设备,通过机械、电气、电磁、网络等联系,形成一个统一的整体,通过驾驶员操纵实现列车运行的控制,而对于装置有列车自动控制(ATC)系统的电动列车,还可实现城市轨道交通列车的列车自动驾驶ATO、列车自动保护ATP、列车自动监控ATS、列车通信控制TCC等全自动控制。城市轨道交通车辆电气控制系统主要由主牵引传动系统、牵引与制动控制系统、辅助供电系统和车门控制系统组成。

城市轨道交通车辆控制原理如图 1-1 所示,首先由接触网经受流器(受电弓)引流到车辆,然后经过车辆牵引传动控制系统将电流送入牵引电动机,牵引电动机驱动车辆运行,驾驶员通过操纵驾驶控制器改变牵引电动机的运行速度和运行方式,此时电流经过车辆轮对、钢轨(或回流装置)回到变电所,形成闭合回路。

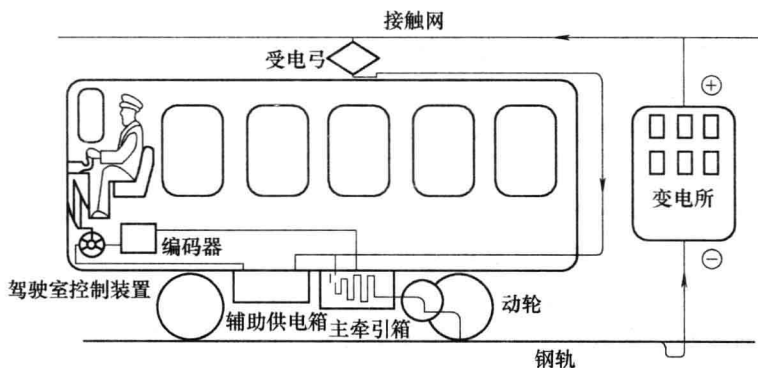


图 1-1 城市轨道交通车辆控制原理示意图

## 【学习任务】

### 任务一 城市轨道交通车辆电气控制系统基础

#### 一、城市轨道交通车辆电气控制系统概述

图 1-2 所示为城市轨道交通车辆电气控制系统的组成框图。

城市轨道交通车辆的主牵引传动系统(主电路系统)是列车牵引动力和电制动力得以实现的载体。

辅助供电系统为城市轨道交通车辆提供辅助供电,其主要为下列系统提供电源:为主传动系统提供通风冷却中压电源和控制通信低压电源;为制动系统的空气压缩机提供中压电源和控制通信低压电源;为全车提供客室正常照明、应急照明;为空调系统提供中压电源和控制通信低压电源;为列车的自动控制系统、通信及列车综合管理系统提供低压电源。

牵引/制动控制系统是列车实现牵引和制动控制相关功能的控制电路系统,通过电气、

器件的组合实现一定的逻辑功能。通过单元模块的控制程序运算，再经列车通信控制系统的实时响应，最终实现对列车的有效控制。

车门控制系统关系到城市轨道交通车辆的运营安全。车门是乘客乘降必须接触的车辆部件，关系到乘客的人身安全。因此城市轨道交通车辆中，将客室车门的状况直接与列车的运行状态相关联，通过列车信息显示系统，告知和提醒驾驶员与乘客车门的状况，从而保证行车的安全。图 1-3 为驾驶员驾驶城轨车辆。

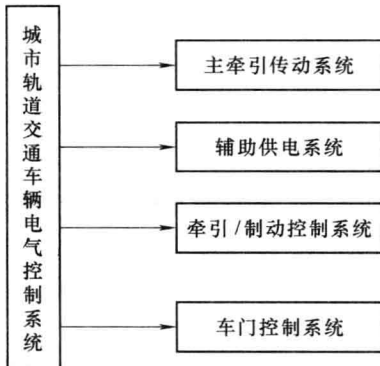


图 1-2 城市轨道交通车辆电气控制系统的组成框图

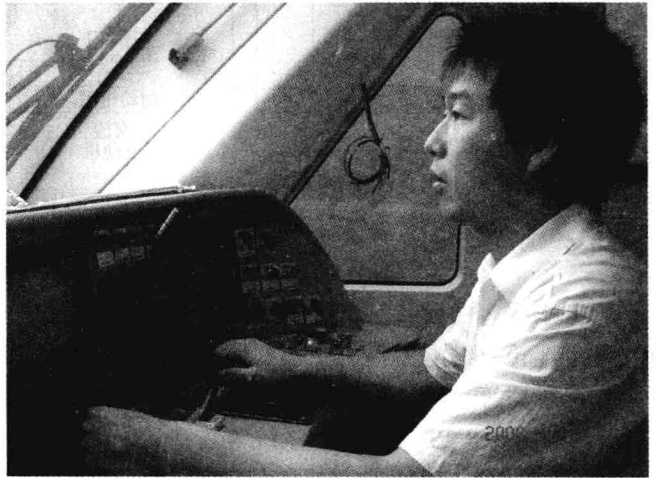


图 1-3 驾驶员驾驶城轨车辆

## 二、城市轨道交通车辆总体控制

在轨道交通运输中，采用电动机传动来满足车辆牵引的电气部分，称为电力牵引传动控制系统。它是以牵引电动机作为控制对象，通过控制系统对电动机的速度和牵引力进行调节，以满足车辆牵引和制动特性的要求。根据驱动电动机形式的不同，控制系统分为两大类，即采用直流牵引电动机的直流传动控制系统和采用交流牵引电动机的交流传动控制系统。

城市轨道交通车辆的控制实际上是对牵引电机的控制。利用电机的可逆性原理完成车辆牵引和电制动工况的控制。在牵引工况时，牵引电机用作电动机运行，城市轨道交通车辆通过受电弓将接触网的 DC1500V(DC750V)电能引入到车底架下部高压箱中，在高压箱中受高速断路器控制后，经牵引逆变器送入牵引电动机，使牵引电动机驱动车辆轮对从而牵引列车。在电制动工况时，牵引电机用作发电机运行，通过牵引电机将列车的动能转化成为电能，并经牵引逆变器、高速断路器、受电弓等将电能反馈给电网。如果电能不能回馈给电网，则通过牵引逆变器和制动电阻以热量的形式散发掉。图 1-4 为城市轨道交通车辆单元车辆的总体控制。

## 三、城市轨道交通车辆电气部件与设备

城市轨道交通车辆电气控制系统包括车辆上的各种电气部件、设备及其控制电路。城市轨道交通车辆内部设备包括：服务于乘客的车体内固定附属装置和服务于车辆运行的设备装

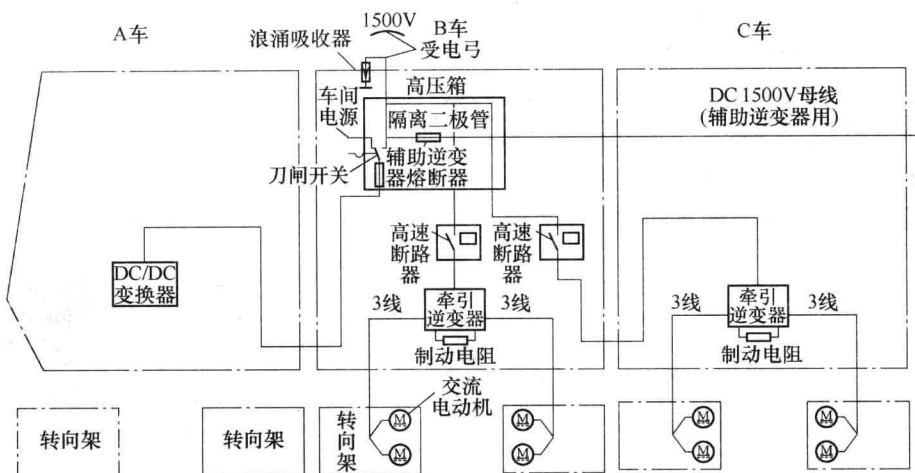


图 1-4 城市轨道交通车辆单元车辆的总体控制

置。服务于乘客的设备有：客室照明、通风、空调、座椅、扶手等；服务于车辆运行的设备有：蓄电池箱、继电器箱、主控制箱、电动空气压缩机组、总风缸、电源变压器、各种电气开关和接触器等。除此之外还有保证列车正常、舒适运行的其他系统，如列车诊断系统、列车自动控制系统(ATC)、通信系统等。

图 1-5 给出了庞巴迪公司与长春客车厂生产的地铁车辆的主要设备配置。在城市轨道交通电动列车中，动车和拖车通过车钩连接而成的一个相对固定的编组称为一个(动力)单元。一列车可以由一个或几个单元编组而成。图示列车为两单元六节编组，记为 ABCBA，B 为带受电弓的动车、C 为动车(分别记作  $M'$ 、 $M$ )，A 为带驾驶室的拖车(记作  $T_c$ )，亦称为 4M27 编组列车。PH 箱位于 B 车底架下部的牵引高压箱内，高速断路器位于 PH 箱的高压区内，与 B、C 车的逆变器箱相连接。PA 箱位于 C 车底架下部，主要由 C 车的逆变器和辅助逆变器组成。



图 1-5 地铁车辆的主要设备配置

列车的各车辆间电气设备靠密接式车钩实现机械、电气、气路的整体连接。其中每一节列车的两端(A 车驾驶端)装有全自动车钩，B 车通过半永久牵引杆与 A 车和 C 车连接，C 车之间通过半自动车钩连接。

## 任务二 城市轨道交通车辆控制系统主要部件功能

城市轨道交通车辆控制系统部件是用来对城市轨道交通车辆以及其他的牵引设备进行切换、检测、控制、保护和调节的电器及装置，称为牵引电器。牵引电器的工作条件和环境较为恶劣，长时间受振动干扰、受灰尘侵袭，工作环境温度和湿度变化范围大，工作电压和电流变化范围大，并且受安装位置和空间的限制。为有效利用空间、便于检修，电器外形呈平整的箱状，且宽度小，以便将电器尽可能成列布置。电器结构方面要便于更换触头、弹簧和其他易被磨损零件。在零件的机械与电气强度方面，要求在电器操作次数频繁时仍有较大的安全因数，同时必须保证有最大的可靠性。

牵引电器一般分为主电路电器、控制电路电器和辅助电路电器三大部分。

### 一、主电路电器

城市轨道交通车辆主电路电器主要包括受电弓、高速断路器、主接触器、线路滤波器、制动电阻器、平波电抗器、浪涌吸收器和接地装置。

#### (一) 受电弓

##### 1. 城市轨道交通车辆的供电与受流

因地铁和轻轨交通运输的速度要求不高，所以常采用直流供电。直流供电的电压制式较多，其发展趋向是 IEC 标准中的 DC600V、DC750V、DC1500V 三种，我国国家标准《地铁直流供电系统》中的规定采用 DC750V（波动范围 500 ~ 900V）和 DC1500V（波动范围 1000 ~ 1800V）两种。

我国常用的供电方式有接触网供电和接触轨供电两种形式。电动列车的受流方式依据供电方式的不同分为接触网受流和第三轨受流。接触网供电是指通过沿轨道线路上空架设的特殊输电线向行走在线路上的电动列车不间断地供应电能。电动列车利用顶部的受电弓与接触网滑动摩擦而获得电能。接触轨供电是指在列车行走的两条路轨以外，再加上带电的钢轨（一般使用钢铝复合轨）。带电钢轨设于两轨之间或其中一轨的外侧。列车受流器（集电装置也叫集电靴或取流靴）在带电轨上接触滑行取流。

通常城市轨道交通车辆在电网电压为 1500V 时多采用架空接触网形式，由安装在车辆顶部的受电弓集电。当电网电压为 750V 及以下时，较多由第三轨受电。例如北京地铁、天津轻轨，采用 DC750V 电压，第三轨供电方式；如上海、广州地铁大部分线路，采用 DC1500V 电压，高架接触网供电方式。

##### 2. 受电弓的结构组成

受电弓是城市轨道交通车辆的受流装置，安装在与车体几何中心点最近的车顶上部。当受电弓升起时，弓与网接触滑行，从接触网受取电流，通过车顶母线传送到车辆内部，供车辆设备使用。受电弓根据驱动动力分为气动弓和电动弓两类。气动弓使用较普遍，故本书以气动受电弓为例进行分析。

城市轨道交通车辆的受电弓为单臂、轻型结构。在 4M2T 编组的列车中，受电弓一般装于 B 车车顶；在 2M2T 编组的列车中，受电弓一般装于 A 车车顶。

单臂受电弓的结构组成如图 1-6 所示。基础框架 1 由方形的中空钢管、角钢及钢板的焊

接构件组成,通过支持绝缘子固定安装在车顶,作为框架4、轴承、下导杆的轴承滑轮、拉伸弹簧的悬挂及气压升弓传动装置的支撑和安装部分。框架包括下部支杆5和下部导杆6以及上部支杆7和上部导杆8,框架采用高强度冷拔无缝管制作。高度止挡2安装在下部导杆侧下方的基础框架上,用以限制受电弓的最大升弓高度不超过2050mm(从绝缘子的下部边缘测量起),保证受电弓垂向不产生位移。高度止挡的调整可通过受电弓两侧的两个螺栓及沉头螺母加以保证,最高位时两个螺栓同时与底架接触。弓头是弓与网相接触的部分,主要由集流头9、接触带10、转轴、端角11、弹簧盒组成。集流头为轻型钢结构,接触滑块共两对,为人工石墨材料,每对两条,总计四条碳滑块。端角是为了防止在接触网分叉处接触导线进入集流头底下而造成刮弓事故。弹簧盒的作用是为了保证弓头的垂向自由度。整个受电弓安装在4个绝缘子上。绝缘子由环脂充填树脂制成,通过M20的不锈钢螺母安装在车顶。升降弓装置12由传动风缸、拉伸弹簧及气路电磁阀组成。13是由软编织铜线制成的电流传送部件。14是保证降弓后稳定的吊钩闭锁器。

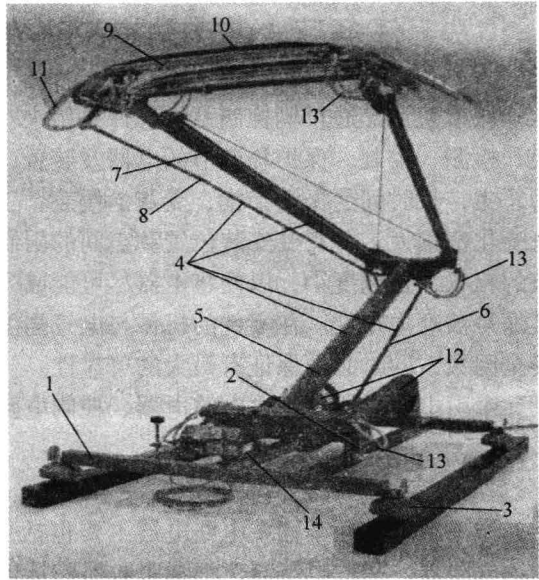


图 1-6 单臂受电弓的结构组成

- 1—基础框架 2—高度止挡 3—绝缘子 4—框架  
5—下部支杆 6—下部导杆 7—上部支杆 8—上部导杆  
9—集流头 10—接触带 11—端角 12—升降弓装置  
13—电流传送装置 14—吊钩闭锁器

### 3. 受电弓工作原理

受电弓靠滑动接触受流,是移动设备与固定供电装置之间的连接环节,其性能的优劣直接影响到城市轨道交通车辆工作的可靠性。对受电弓受流性能的基本要求是:集流头与接触网接触可靠、磨耗小;升降弓时对车顶设备不产生有害冲击;运行中受电弓动作轻巧,动态稳定性能好。为此,在接触导线高度允许变化的范围内,要求受电弓滑板对接触导线有一定的接触压力,且升降弓的过程应具有先快后慢的特点,即升弓时集流头离开基础框架要快,贴近接触导线要慢,以防止弹跳;降弓时,弓网脱离要快,落在基础框架上要慢,以防止拉弧及对车顶有害的机械冲击。

受电弓的提升依靠升弓弹簧完成,降弓是通过传动风缸内部的降弓弹簧来实现,其中压缩空气在传动风缸的充气及排气决定了受电弓的升与降。

(1) 升弓过程 在列车及驾驶控制台激活的情况下,按下副驾驶控制台受电弓升弓按钮,相应的升弓电路工作,升弓电磁阀得电动作,打开风源至传动风缸的通路,传动风缸充气,将内部的降弓弹簧压缩,在升弓弹簧的作用下克服自身重力升起。

风路系统:压缩空气经升弓电磁阀进入空气过滤器,经过滤器除水、除尘并净化,通过空气管路进入升弓节流阀。升弓节流阀调节压缩空气的流量,以确保受电弓的升弓速度。再经精密调压阀对压缩空气进行调节,以保证弓对网的工作压力。此压缩空气再经降弓节流阀后的安全阀,以保证工作压力不超过规定压力。最后压缩空气到达车顶开弓风缸。升弓风路

示意图如图 1-7 所示。

压缩空气经过空气管路和气动元件进入升弓风缸后，推动活塞动作，将压缩空气能量转化为气缸活塞的直线位移。驱动转臂将活塞直线位移转化成转臂的旋转运动，转臂带动下部导杆向上旋转，上部框架在导杆的作用下作逆转运动，使集流头升起。弓头上的集电装置在上框架导杆的作用下保持水平上升，以确保对接触网的良好接触。

当升弓初始时，降弓弹簧的压力最小，因此克服该力所需的风压较小，此时节流阀进出风压差最大，所以此时传动风缸的活塞杆左移较快。随着弓不断升起，降弓弹簧的压力不断增大，克服该力所需的风压也不断增大，而且此时节流阀口的风压差不断减小，所以活塞杆左移渐慢，升弓速度也渐慢，这样就避免出现升弓时弓对网过分冲击。可以通过改变节流阀口大小初步调整升弓时间。

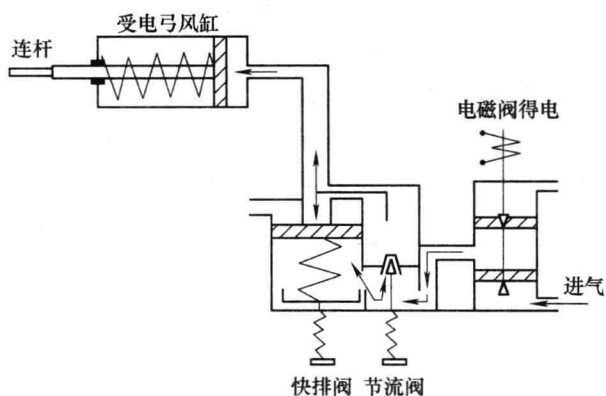


图 1-7 升弓风路示意图

(2) 降弓过程 在列车及驾驶控制台激活的情况下，按下副驾驶控制台受电弓降弓按钮，电磁阀失电复位，风源停止向传动风缸供风，同时将压缩空气排向大气，受电弓在降弓弹簧及自身重力的作用下降到最低位置。

降弓风路示意图如图 1-8 所示。降弓过程分为两个阶段，即先快后慢。降弓时，当电磁阀失电，传动风缸内的压缩空气经快排阀口排出，如图 1-8a 所示。随着传动风缸内压缩空气压力骤然下降，压力差不足以克服快排弹簧的作用，快排活塞上移，使快排阀口关闭。此时传动风缸内的残余风在节流阀口徐徐排出，如图 1-8b 所示。降弓初期弓网快速分离，可以避免降弓过程中产生电弧，灼伤接触滑块；接近车顶时速度变缓，可保证降落到落弓位时，不会对车顶产生过大冲击。通过改变节流阀口的大小，调节快排阀弹簧的压缩量，可以控制快排时间的长短，从而调整降弓时间。

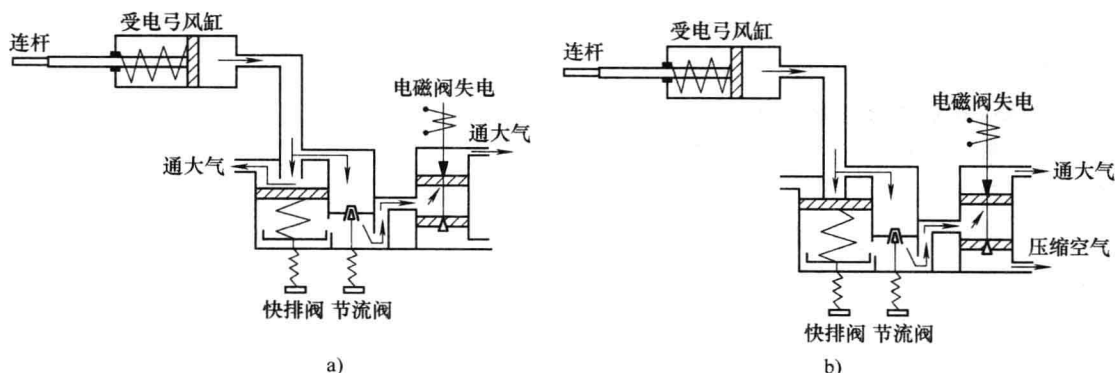


图 1-8 降弓风路示意图

a) 快速降弓风路 b) 缓慢降弓风路



(3) 紧急操作 当车辆有压缩空气, 但气压不足(低于  $3\text{bar}^{\ominus}$ )时, 受电弓也可以手动升弓。此时使用 B 车车厢设备柜中的脚踏泵, 同时手动或电动控制电磁阀开通风路, 人工踩压脚踏泵打风, 至风压足以升起受电弓为止。

#### 4. 受电弓主要技术参数

受电弓主要技术参数有电气参数、机械参数及几何尺寸参数。受电弓主要技术参数示例见表 1-1(适用场合:A 型车,网压 DC1500V,4M2T 编组)。

表 1-1 受电弓主要技术参数示例

额定电压/V	DC1500	带绝缘子的高度/mm	300(折叠高度 300+10)
电压范围/V	DC1000~1800	最小/大工作高度/mm	175(463)/1600(2190)
额定电流/A	DC1050	最大升起高度/mm	1700
最大起动电流(30s)/A	DC1600	碳滑板长度/mm	800(1050)
最大停车电流/A	DC460	弓头宽度/mm	1550
标准静接触压力/N	$120 \pm 10$	升/降弓时间/s	升弓 $\leq 8$ , 降弓 $\leq 7$
静压力调节范围/N	100~140	绝缘性能	交流 50Hz, 5.75kV 干 闪络电压 1min; 交流 50Hz, 4.75kV 湿 闪络电压 1min
滑板单向运动在工作高度 范围内压力差/N	不大于 10		
滑板在工作高度范围内同 一高度上, 升与降压力差/N	不大于 15	机械寿命	$15 \times 10^3$ 次
运行速度/(km/h)	$\leq 90$	受电弓总质量(绝缘子除 外)/kg	200
传动装置压力/kPa	额定 550, 最小 300, 最 大 800		

## (二) 高速断路器(HSCB)

HSCB 安装在含有受流装置车辆的底部高压箱内。对庞巴迪公司生产的 A 型车, 安装在 B 车的 PH 箱内。每辆动车配置一个, 正常状态下通、断车辆主电路(DC1500V 电路), 在车辆发生故障时执行保护指令, 切断动力电源。因此 HSCB 既是主电路的总电源开关, 也是总的保护开关。

### 1. HSCB 的主要性能指标

衡量断路器性能的主要指标有两个: 机械响应时间和分断能力。

(1) 机械响应时间 机械响应时间指从通过断路器的电流达到动作值, 到主触头打开的时间, 用  $T_m$  表示。机械响应时间( $T_m$ )是电流增长率( $di/dt$ )的函数, 如图 1-9 所示。

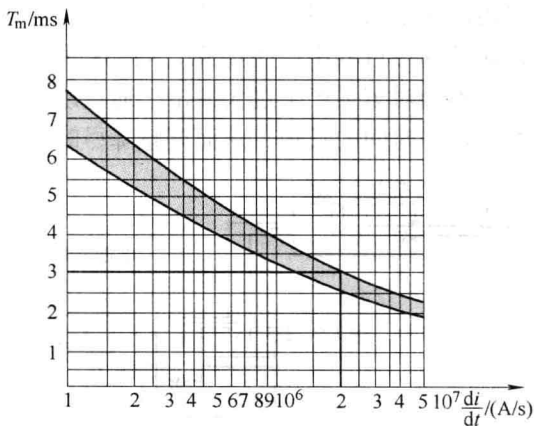


图 1-9 高速断路器机械响应时间与电流增长速率关系

$\ominus$  1bar=0.1MPa=1×10<sup>5</sup>Pa, 本书统一用 bar。

例如, 当  $di/dt = 2 \times 10^7 \text{ A/s}$  时, 机械响应时间为  $3 \text{ ms}$ 。显然电流增长率越大, 机械响应时间越短。

(2) 分断能力 分断能力可用图 1-10 所示的高速断路器开断过程的电流、电压波形说明。在相同的短路稳态电流情况下: 开断电压  $\hat{U}_d$  越高电流增长率  $di/dt$  越大, 则开断电流  $\hat{i}_d$  越大, 限制时间  $T_L$  越短, 总开断时间  $T_{\text{tot}}$  越短,  $I_d^2 \cdot t$  积分越大。

## 2. HSCB 的主要特点

1) 对地有很高的绝缘等级。由于断路器正常接在车辆的牵引主电路上, 电压高、电流大, 因此其绝缘结构应选取有很高绝缘等级的材料。

2) 分断能力强, 响应时间短。断路器既是电路的总电源开关也是总的保护开关。为有效可靠地保护其他用电设备, 断路器必须动作迅速、可靠, 并具有足够的断流容量。它的限流特性和高速切断能力能防止由于短路或过载而引起的用电设备毁坏。

3) 不受气候条件的影 响。断路器集成安装于箱中的主要优点是可以节省车下空间, 并且使 HSCB 与外界环境隔离。

4) 使用寿命长。

5) 易于维护。

## 3. HSCB 的结构

以上海地铁 1 号线地铁车辆用高速断路器为例进行结构与工作原理分析。上海地铁 1 号线使用的是 TSE1250-B-I 型高速开关, 安装在 B 车上。

TSE1250-B-I 型高速开关包括: 基架、短路快速跳闸装置 (KS)、过载跳闸装置 (S 型)、合闸装置和灭弧栅。图 1-11 所示为高速开关的结构外形。

高速开关主要构件有: 触头系统、灭弧机构、传动机构、自由脱扣机构、最大电流释入器、最小电压释入器和辅助开关。

1) 触头系统: 动、静触头采用双极串联形式, 触头的接触形式采用线接触, 接触面大、磨损较小、制造方便。触头制成单独零件, 便于更换。

2) 灭弧机构: 采用串封闭式导弧角。

3) 传动机构: 用来操纵主触头闭合。传动形式有手动传动和电磁机构传动。

4) 自由脱扣机构: 位于传动机构与主触头之间, 用来保证当电路发生短路时, 传动机构还能起作用, 高速开关能够可靠地开断电路。

5) 最大电流释入器: 即过载时通过拉杆作用于自由脱扣机构而开断; 短路时直接撞击锁钩开断电路。

6) 最小电压释入器: 通过电磁机构作用, 衔铁直接作用在锁钩上, 使锁钩释放, 主触

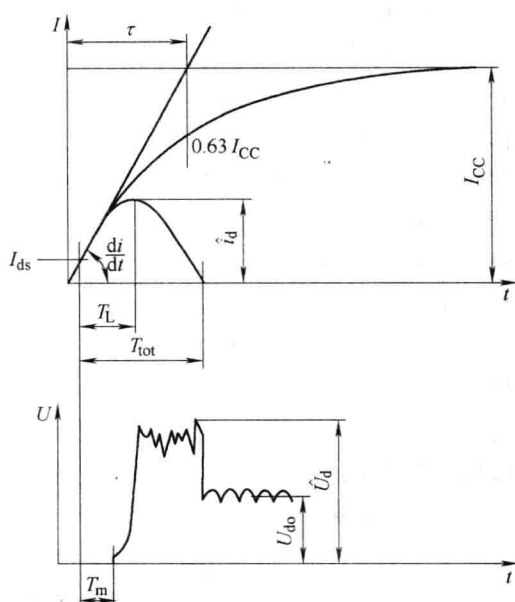


图 1-10 高速断路器开断过程的电流、电压波形  
 $\tau$ —短路时间常数  $I_{CC}$ —稳态短路电流  $I_{ds}$ —过电流动作  
 电流设定值  $di/dt$ —电流上升初始率  $\hat{i}_d$ —开断电流  
 $T_L$ —限制时间  $T_{\text{tot}}$ —总开断时间  $T_m$ —机械响应  
 时间  $\hat{U}_d$ —最大拉弧电压  $U_{do}$ —恢复电压

头在开断弹簧作用下开断电路。

7) 辅助开关: 用于联锁、指示、控制作用。

#### 4. HSCB 的工作原理

高速开关的通断由高速开关按钮控制。按下高速开关按钮, 列车控制线路工作, 断路器线圈得电工作, 带动机械锁位装置动作, 高速开关置“合”位并保持不变。分断时, 欠电压脱扣装置动作, 高速开关分断。高速开关每极有一个带有固定脱扣整定机构的短路快速跳闸“KS”。另外, 每设置一个过载跳闸“S”, 其跳闸值均可通过刻度盘来调整。

如图 1-12 所示, 当高速开关合上以后, 电流从上接线端 1→静触头 2→动触头 3→动触头臂 4→弹性连接板 5→下接线端 6, 产生过载跳闸(S)装置 7 的磁场。当电流值超过其整定值时, 该装置动作, 通过拉杆 8→释放锁件 9→转换机构 10, 转换轴转至

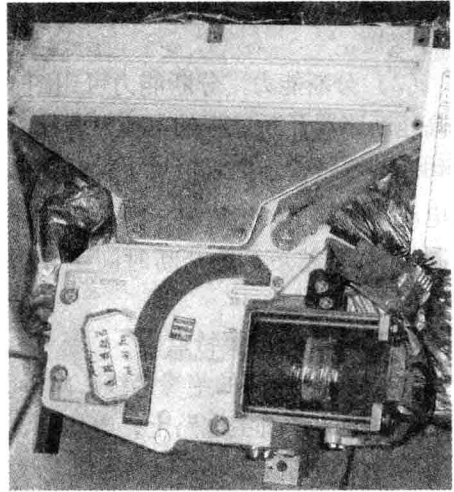


图 1-11 高速开关结构外形

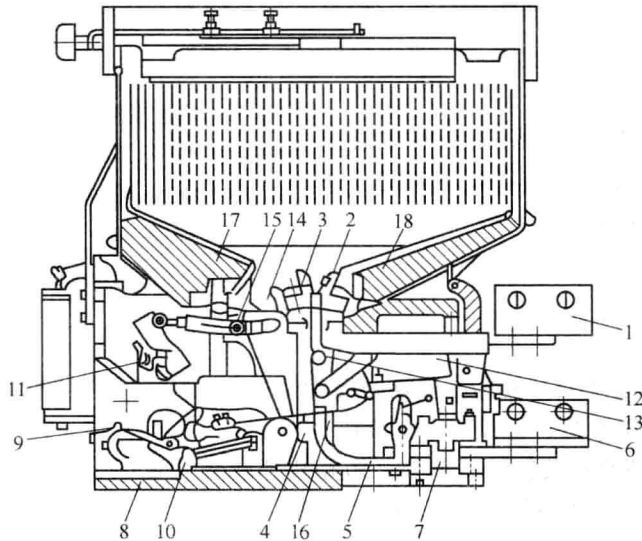


图 1-12 TSE1250-B-I 型高速开关结构原理

- 1—上接线端 2—静触头 3—动触头 4—动触头臂 5—弹性连接板 6—下接线端  
7—过载跳闸(S)装置 8—拉杆 9—释放锁件 10—转换机构 11—转换轴  
12—短路快速跳闸(KS)衔铁 13—撞击螺钉 14—转换杆  
15—滚轴 16—短路快速跳闸拉杆 17、18—灭弧板

“分”位, 同时带动动触头臂 4, 使触头分断。

在短路故障情况下, 过载跳闸系统动作慢。短路快速跳闸(KS)衔铁 12 首先动作, 通过撞击螺钉 13, 直接撞击动触头臂 4, 由转换杆 14 和滚轴 15 之间的专用压紧装置迫使动静触头快速分断。由于 KS 跳闸装置的作用, 操纵短路快速跳闸拉杆 16, 转换机构解锁, 转换轴 11 转为“分”位, 同时带动动触头臂 4。