



职业教育城市轨道交通专业规划教材

城市轨道交通

电工电子

于涛 主编



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

城市轨道交通电工电子

主 编 于 涛

副主编 居永梅

参 编 杨永奇 丁 楠 张利彪

田海燕 张在龙

主 审 仇海兵



机械工业出版社

本书从项目式教学的角度出发,对城市轨道交通系统中涉及的电工电子知识进行了全面的介绍。书中针对目前国内城市轨道交通设备使用的实际情况,从培养学生的实际操作能力入手,建立了十三个学习项目。本书内容包括城市轨道交通电工认知、直流电路认知、交流电路认知、磁路和变压器的应用、牵引电动机、低压电器与控制电路、半导体器件、继电器、整流器及其应用、晶体管放大电路、蓄电池、数字电路认知、安全用电等。

本书可作为城市轨道交通机电维修作业人员、车辆段(场)列检员和车辆维修作业人员的培训教材,也可作为车站站务员学习一般电工电子知识的普及教材,同时可作为高等及中等职业院校城市轨道交通及相关专业的教材和教学参考书,也可供从事城市轨道交通运营与机电维修的专业技术人员参考。

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 以教师身份免费注册下载电子课件。编辑热线:010-88379865。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通电工电子/于涛主编. —北京:机械工业出版社,2011.8
职业教育城市轨道交通专业规划教材
ISBN 978-7-111-34543-5

I. ①城… II. ①于… III. ①城市铁路—轨道交通—电工技术—职业教育—教材 ②城市铁路—轨道交通—电子技术—职业教育—教材
IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第121168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 责任编辑:曹新宇 王莉娜

版式设计:张世琴 责任校对:刘怡丹

封面设计:王伟光 责任印制:杨 曦

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2011年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.25印张·426千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34543-5

定价:34.00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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

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	华 平
阳 东	刘 峥	李 力	李建民	李建国	连苏宁
张建国	杨瑞柱	周淑玉	徐 坚	唐春林	秦菊枝
柴鹏飞	贾毓杰	韩增盛	裴瑞江		

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，带来了对城市轨道交通专业人才的巨大需求，这一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院校的优秀教师及院校编写了此套教材。

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，对教材编写提出了许多建设性意见，并慎重地对每一本教材一审再审，确保教材本身的高质量高水平，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。希望职业院校的师生在使用教材后及时反馈意见和建议，使我们能更好地为教学改革服务。

机械工业出版社

前 言

目前,我国城市轨道交通建设和运营都处于快速发展时期,已建成并开通城市轨道交通的有北京、上海、天津、广州、南京、武汉、长春、大连、重庆、成都、沈阳等十余个城市共三十多条线路,运营里程已经超过1 000公里,为形成城市轨道交通网络,这些城市仍在继续加紧建设城市轨道交通;在建或准备建设城市轨道交通的城市有杭州、哈尔滨、西安、苏州、无锡、宁波、青岛等。

世界上第一条地铁——伦敦地铁与电并无关系,但随着科学技术的不断进步与发展,电已经成为地铁能够快速、安全、准确、高效运行和提供良好运营服务的必要因素。地铁系统中牵引供电、车辆、通信信号、车站机电设备无一例外地和电工电子联系在一起。随着我国城市轨道交通的快速发展,迫切需要大量的城市轨道交通机电与车辆维修等专业技术人才,其中“城市轨道交通电工电子”是培养合格的城市轨道交通人才的必修课程之一,本书的出版也填补了城市轨道交通类课程的这一空白。

本书以项目形式编写,以和城市轨道交通各子系统中机电设备相关的电学知识和操作技能为主,对城市轨道交通电工电子进行了较详细、全面的描述,其内容包括城市轨道交通电工认知、直流电路认知、交流电路认知、磁路和变压器的应用、牵引电动机、低压电器与控制电路、半导体器件、继电器、整流器及其应用、晶体管放大电路、蓄电池、数字电路认知、安全用电十三个项目。

本书可作为城市轨道交通机电维修作业人员、车辆段(场)列检员和车辆维修作业人员的培训教材,也可作为车站站务员学习一般电工电子知识的普及教材,同时可作为高等及中等职业院校城市轨道交通及相关专业的教材和教学参考书,也可供从事城市轨道交通运营与机电维修的专业技术人员参考。

本书的编写工作分工如下:于涛编写项目一、项目三和项目四;居永梅编写项目二、项目六和项目八;田海燕编写项目五和项目七;张利彪编写项目九和项目十三;杨永奇编写项目十;丁楠编写项目十二;张在龙编写项目十一;于涛担任主编,负责设计全书的框架及编写思路;于涛和居永梅共同完成全书的统稿工作;仇海兵担任主审。

全书在编写和统稿过程中,得到了京港地铁运营有限公司的刘晓庆、成都地铁运营有限公司的张晨明和铁道第五设计研究院的孙青梅等技术骨干和专家的帮助,并对本书的编写思路和内容提出了许多中肯的意见,在此表示深深的谢意!

鉴于编写人员技术水平及实践经验的局限性,对各种问题分析和处理不免有不足之处,敬请读者反馈,以便今后修订和完善。我们真诚地期待广大读者和同行多提宝贵意见!

编 者

目 录

前言

项目一 城市轨道交通电工认知 1

【知识要点】	1
【项目任务】	1
【项目准备】	1
【相关理论知识】	1
一、城市轨道交通电气设备的组成	2
二、轨道线路与轨道电路	4
三、城市轨道交通车辆与车辆电气	6
四、城市轨道交通供电系统	9
五、城市轨道交通车站动力照明系统	15
【项目实施】	18
实训任务 认识轨道交通电气系统	18
【复习思考题】	19

项目二 直流电路认知..... 20

【知识要点】	20
【项目任务】	20
【项目准备】	20
【相关理论知识】	20
一、电路及其基本物理量	20
二、电阻、电容、电感	23
三、欧姆定律	32
四、电路中电位的计算	36
五、基尔霍夫定律	37
六、叠加定理和戴维南定理	39
【项目实施】	41
实训任务一 基本元件的认知与测量	41
实训任务二 测量基本电参数	44
【复习思考题】	46

项目三 交流电路认知..... 50

【知识要点】	50
【项目任务】	50
【项目准备】	50
【相关理论知识】	50
一、交流电的产生和基本概念	50
二、交流电的表示方法	52
三、纯电阻、纯电感、纯电容元件的交流	

电路	54
----------	----

四、 RLC 串联电路及其谐振现象	58
五、 RLC 并联电路及其谐振现象	60
六、功率因数的提高	61
七、三相交流电路	61
【项目实施】	65
实训任务 测量三相交流电压和电流	65
【拓展与提高】	67
【复习思考题】	70

项目四 磁路和变压器的应用 74

【知识要点】	74
【项目任务】	74
【项目准备】	74
【相关理论知识】	74
一、磁路	74
二、变压器的基本原理	78
【项目实施】	86
实训任务一 认识变压器	86
实训任务二 认识变压器铁心与绕组	86
实训任务三 测试小型单相变压器	87
【拓展与提高】	89
【复习思考题】	91

项目五 牵引电动机..... 93

【知识要点】	93
【项目任务】	93
【项目准备】	93
【相关理论知识】	93
一、三相异步电动机	93
二、直流电动机	103
【项目实施】	104
实训任务 检测电动机	104
【拓展与提高】	104
【复习思考题】	107

项目六 低压电器与控制电路..... 109

【知识要点】	109
【项目任务】	109
【项目准备】	109

【相关理论知识】	109	【项目准备】	164
一、几个常用的低压电器	110	【相关理论知识】	164
二、三相异步电动机的控制电路	119	一、整流电路	164
【项目实施】	128	二、整流变压器	167
实训任务一 电动机全压起动	128	三、整流堆	170
实训任务二 电动机正反转电路	129	四、晶闸管整流电路	171
【拓展与提高】	129	五、滤波电路	176
【复习思考题】	130	六、直流稳压电路	177
项目七 半导体器件	133	七、逆变器	179
【知识要点】	133	【项目实施】	184
【项目任务】	133	实训任务一 测试整流桥	184
【项目准备】	133	实训任务二 测试晶闸管	185
【相关理论知识】	133	【拓展与提高】	187
一、半导体与二极管	133	【复习思考题】	189
二、晶体管	138	项目十 晶体管放大电路	191
三、晶闸管	142	【知识要点】	191
四、门极关断晶闸管	145	【项目任务】	191
【项目实施】	147	【相关理论知识】	191
实训任务一 二极管好坏的判别和极性 判别	147	一、晶体管放大电路的认知	191
实训任务二 晶体管引脚和类型的判别	148	二、集成运算放大器的认知	197
实训任务三 使用万用表测试法和电珠 测试法	149	三、设计简单的晶体管放大 电路	201
【拓展与提高】	149	【项目实施】	202
【复习思考题】	152	实训任务 测量晶体管低频电压放大 电路	202
项目八 继电器	154	【拓展与提高】	204
【知识要点】	154	【复习思考题】	205
【项目任务】	154	项目十一 蓄电池	207
【项目准备】	154	【知识要点】	207
【相关理论知识】	154	【项目任务】	207
一、继电器及其继电特性	154	【项目准备】	207
二、继电器的触点形式	154	【相关理论知识】	207
三、继电器的种类及其工作原理	155	一、常用蓄电池的分类及工作 原理	207
四、继电器的选用	159	二、蓄电池的失效	216
【项目实施】	160	三、蓄电池的活化	217
实训任务一 认识继电器	160	四、镍镉蓄电池的调试	218
实训任务二 了解继电器的电气特性	161	五、城市轨道交通列车用蓄电池	219
【拓展与提高】	161	【项目实施】	220
【复习思考题】	163	实训任务一 检测镍镉蓄电池	220
项目九 整流器及其应用	164	实训任务二 蓄电池加注电解液	222
【知识要点】	164	【拓展与提高】	223
【项目任务】	164	【复习思考题】	224

项目十二 数字电路认知	225	项目十三 安全用电	246
【知识要点】	225	【知识要点】	246
【项目任务】	225	【项目任务】	246
【项目准备】	225	【项目准备】	246
【相关理论知识】	225	【相关理论知识】	246
一、数字电路概述	225	一、电流对人体的作用及安全电压的 认识	246
二、门电路	229	二、用电安全	253
三、触发器	236	【拓展与提高】	264
四、计数器	240	【复习思考题】	265
【项目实施】	243	参考文献	267
实训任务一 设计组合逻辑电路	243		
实训任务二 测试译码器的逻辑功能	243		
【复习思考题】	245		

项目一 城市轨道交通电工认知

【知识要点】

1. 城市轨道交通由电力系统代替蒸汽系统的原因；
2. 城市轨道交通电气系统的组成；
3. 轨道电路的分类与作用；
4. 城市轨道交通车辆电气的组成；
5. 城市轨道交通的供电方式及其优缺点；
6. 城市轨道交通的照明与低压配电系统负荷等级的划分。

【项目任务】

1. 了解城市轨道交通的运营特点及其采用电气化的原因；
2. 理解轨道及轨道电路的作用；
3. 掌握城市轨道交通车辆交流牵引系统的主要组成部分；
4. 掌握城市轨道交通集中供电方式的结构。

【项目准备】

本项目开始前，准备相应的轨道交通电气设备的图片、实物或实物模型。

【相关理论知识】

城市轨道交通包含了通常所说的地铁、轻轨、市郊铁路、独轨、有轨电车和磁浮系统等。“地铁”（Metro）一词已经由早期的“地下铁道”（underground railway）演变成城市轨道交通体系的一类。地铁系统是一种大容量的城市轨道交通运输系统，也是世界各国城市轨道交通的主要发展模式。按照我国的建设标准，地铁系统采用钢轨与钢制轮对导向，标准轨距为1435mm，主要在大城市地下空间修筑的隧道中运行，当条件允许时，也可穿出地面，在地上或高架桥上运行，如图1-1所示。



图 1-1 香港城市轨道交通地面运行系统

地铁的运量大,车体较宽(2.8~3.0m),一般单方向每小时的运量超过3万人,且地铁采用全封闭式,全线无平交道口,可以实现高密度发车,发车密度达30对/h,所以“地铁”已经脱离了中文的原意。“轻轨”(light rail transit)也不是中文表面上钢轨轻的意思,而是指与地铁相对应的一种交通系统,其运量相对较小,一般单方向客运量为1~3万人/h,车体的宽度相对较小,一般在2.6m以下。显然,从土建工程量来说,地铁的工程量要大些,而轻轨的工程量相对要小些,但这两种系统都可以采用高架线、地面线和地下线的方式。目前的独轨和磁浮交通系统则大都采用高架的方式,这两种交通系统也无平交道口,而有轨电车由于速度与运量较轻轨小,所以就可以采用平交道口的方式,因而造价更低、线路的走向也更加灵活方便。

城市轨道交通系统与其他公共交通工具相比的优点除了运量大之外,就是全天候、快捷、舒适、节能和环保。要实现这些目的,就必然要涉及土建系统的合理性、设备系统的先进性和可靠性。而无论是土建工程还是设备系统,都是随着社会整体工业水平的提高而发展的。最早的伦敦地铁采用的是蒸汽机车,随着电力机车的出现,伦敦地铁也实现了电气化,这也是世界上最早的第三轨供电的地铁系统。

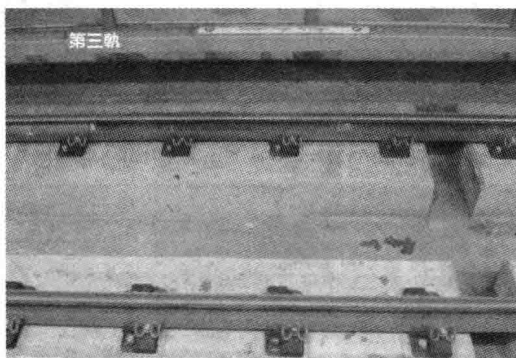
之所以由电力机车来替代蒸汽机车,主要有以下两方面原因:①蒸汽机车的排烟污染大;②蒸汽机车产生的噪声大。事实上,人们选择乘坐某种交通工具,除了要求速度快和便捷之外,对舒适性和其对周边环境的影响也提出了较高的要求。因此,从某种意义上来说,人类的需求促进了城市轨道交通电气化技术的发展。

一、城市轨道交通电气设备的组成

在城市轨道交通运输系统中,由各种电子元器件组成的电气设备无处不在,其中城市轨道交通电动列车车辆作为其运营设备的主体,是最重要且复杂的电气设备之一。正是因为电动列车车辆的产生、发展和演变,才形成了多种形式的城市轨道交通类型。

目前,就城市轨道交通中最为普遍的地铁与轻轨而言,除电动列车车辆系统之外,还必须包含以下设备系统:

1. 供电系统 供电系统由变电所、接触轨或接触网(见图1-2)、电力监控设备等组成。



a)



b)

图1-2 城市轨道交通供电系统的接触轨和接触网

a) 接触轨供电方式 b) 接触网供电方式

2. 通信系统 通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信系统包括车站的广播系统、闭路电视监控系统、乘客信息系统、信息查询系统（见图 1-3）、调度电话和轨旁电话等；无线通信系统主要包括车载电台、手持电台等。

3. 信号系统 信号系统主要由联锁装置和列车运行控制系统组成。

4. 防灾报警系统 目前，防灾报警系统主要是指火灾自动报警系统，由火灾报警控制器、火灾探测器以及火灾联动控制装置组成。如图 1-4 所示为火灾报警系统的控制装置。



图 1-3 北京地铁五号线乘客信息查询系统



图 1-4 火灾报警系统的控制装置

5. 自动售检票系统 自动售检票系统是最近 30 年出现的新的自动化电子技术，可以提高售检票的效率，大幅减少工作人员及其工作量。如图 1-5 所示为自动检票设备。

6. 环境控制系统 环境控制系统主要由通风系统和空调系统组成，它又与换气方式以及隧道和站台的分割关系有关，目前有三种环境控制系统：开式系统、闭式系统和屏蔽门系统。

7. 给排水及消防系统 给排水及消防系统实际上是完整地解决生活、生产、消防用水和排水问题的系统。



图 1-5 自动检票设备

除了这些设备系统之外，为了便于了解轨道交通的运行状态并及时处理各种突发事件，城市轨道交通通常要设置控制中心。控制中心可以一条线设置一个也可以多条线共设一个。与控制中心相类似的还有车辆段和综合列车检修基地，这是保证轨道交通正常运行的后勤基地，可以按线单独设置也可以多线共建。

上述设备有些是为了保证行车所必须设置的，如供电、信号、通信等系统；有的则是面向乘客的，如自动售检票、通风空调、防灾报警等系统；有的是既为车辆服务又为乘客服务的，如给排水及消防系统。显然，电气设备系统的技术水平主要取决于机电科学技术和电子科学技术的发展水平。

二、轨道线路与轨道电路

(一) 轨道线路的基础知识

轮轨系统是发明最早、应用最广泛的轨道交通系统，其轨道结构经历了许多变化。早期的轮轨关系是把槽状的车轮与槽状的路轨吻合在一起，如图 1-6 所示。1813 年，威廉·赫德利（William Hedley）设计出如图 1-7 所示平底钢轨的轮轨形状，光滑的车轮和光滑的铁轨无需槽沟就能充分地嵌接起来。

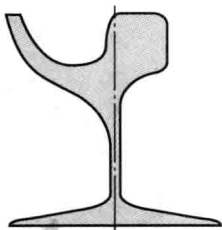


图 1-6 槽形钢轨

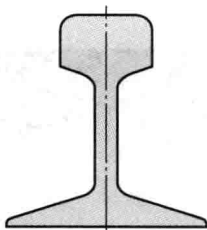


图 1-7 平底钢轨

现代轨道线路的结构可分为有碴轨道与无碴轨道两大类，其横断面如图 1-8 所示。

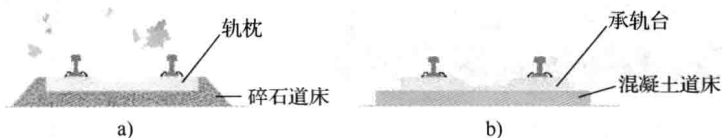


图 1-8 轨道线路的分类

a) 有碴轨道线路 b) 无碴轨道线路

城市轨道交通线路（见图 1-9）由道床、轨枕、扣件、钢轨和辅助设备（如防爬器、防爬撑、钢轨接头等）组成，如图 1-10 所示。



图 1-9 城市轨道交通线路

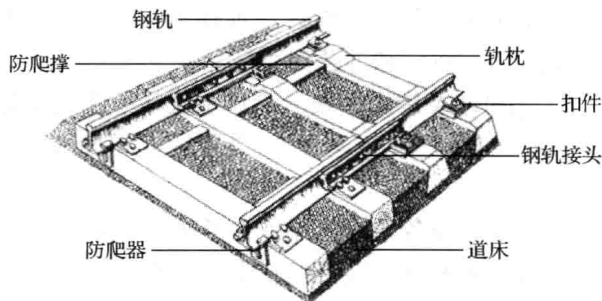


图 1-10 轨道交通线路的组成

轨道线路有以下几点功能：

1. 导向 引导轨道交通列车沿固定的路线行驶，这是各类轨道交通系统轨道结构共有的功能。轨道交通车辆没有类似于汽车的转向盘，其运行依靠轨道来导向。当列车在曲线段运行时，装配在车辆底部转向架上的车轮会冲击钢轨，固定的钢轨会迫使车轮朝钢轨延伸方

向转向,引导列车沿钢轨延伸方向行驶;当列车在直线段运行时,钢轨与车轮之间的契合关系在一定程度上限制了车辆的横向移动。

2. 减小荷载作用强度 列车的荷载通过车轮传递到钢轨, 然后通过轨枕、道碴等传递到道床。由于传递过程中力的作用面不断扩大, 因而传至道床面的压强大大减小, 使承载力有限的道床不会产生明显变形。钢轨受到的集中荷载一般会大于 60kN, 轨面压应力超过 40 000kPa, 而最后传递到道床面上的均布荷载强度一般不超过 100kPa。

3. 减振降噪 轨道结构中介于钢轨与轨枕之间的垫圈、有碴轨道结构的道碴等都具有一定的弹性, 这对减轻列车及轨道结构的振动有一定作用; 通过改善钢轨的平顺度、轨面平滑度等, 还可以降低轮轨摩擦引起的噪声。

（二）轨道电路

轨道电路是利用轨道的两条钢轨作为导体，两端加以机械绝缘或电气绝缘，接上送电和受电设备，使电流在轨道的一定范围内流通而构成的电气回路电路。

1. 轨道电路的组成 如图 1-11 所示,除钢轨外,轨道电路一般由钢轨绝缘、钢轨接续线、引接线、送电设备、受电设备等组成。各组成部分的作用如下:钢轨——传送电信息;钢轨绝缘——划分各轨道区段;轨端接续线——保持电信息延续;轨道继电器——反映轨道的状况。

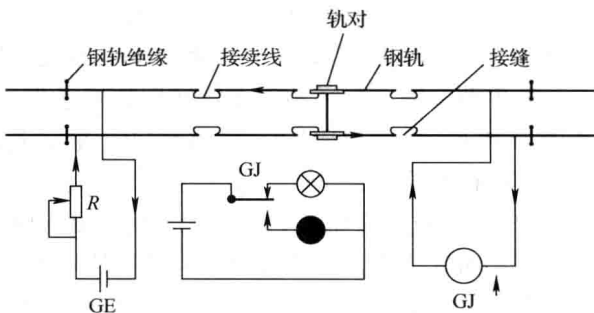


图 1-11 轨道电路的组成

GE—轨道电源 GJ—轨道继电器

2. 轨道电路的作用

- (1) 检查和监督股道是否被占用；
- (2) 检查和监督道岔区段有无机车车辆通过，锁闭被占用道岔区段的道岔；
- (3) 检查和监督轨道上的钢轨是否完好；
- (4) 传输不同的信息，使信号机根据所防护区段及前方邻近区段被占用情况的变化而变换显示。

3. 轨道电路的分类

- (1) 按动作电源分为直流轨道电路（已经淘汰）和交流轨道电路；
- (2) 按工作方式分为开路式和闭路式（广泛使用）；
- (3) 按所传送的电流特性分为连续式、脉冲式、频率电码式和数字编码式；
- (4) 按分割方式分为有绝缘轨道电路和无绝缘轨道电路（电气隔离式）；
- (5) 按所处的位置分为站内轨道电路和区间轨道电路；
- (6) 按轨道电路内有无岔道分为无岔轨道电路和道岔轨道电路；
- (7) 按适用的区段分为电化区段和非电化区段；
- (8) 按通道分为双轨条和单轨条。

4. 轨道电路的基本原理

- (1) 当轨道电路内的钢轨完整, 且没有列车占用时, 轨道继电器吸起, 表示轨道电路空闲;

(2) 当轨道电路被列车占用时, 电路被轮对分路, 由于轮对电阻远小于轨道继电器绕组的电阻, 流经轨道继电器的电流大大地减小, 轨道继电器落下, 表示轨道电路被占用。

三、城市轨道交通车辆与车辆电气

车辆是城市轨道交通系统直接运载旅客的子系统。通过车辆的运行, 能充分体现出城市轨道交通特有的快速、正点、安全、舒适和方便。目前, 我国应用最广泛的钢轮导轨系统采用标准轨距 1 435mm 的 4 轴车辆。城市轨道交通车辆按照有无动力装置, 可以分为带牵引装置的动车 (M 车, Motor) 和不带牵引装置的拖车 (T 车, Trailer)。按照车辆车体尺寸的大小, 车辆又可以分为 A 型车辆和 B 型车辆。

(一) A 型车辆和 B 型车辆的主要参数

1. A 型车辆 在《地铁车辆通用技术条件》(GB/T 7928—2003) 中规定, A 型车辆的长度为 22m, 宽度为 3.0m, 轴重 $\leq 16t$, 额定载客量为 325 人/辆。

2. B 型车辆 在《地铁车辆通用技术条件》(GB/T 7928—2003) 中规定, B 型车辆的长度为 19m, 宽度为 2.8m, 轴重 $\leq 14t$, 额定载客量为 215 人/辆。

按照标准给定的规格, 与 B 型车辆相比, A 型车辆在车辆长度上增加了 16%, 宽度上增加了 7%, 轴重上增加了 14%, 额定载客量增加了约 58%, 在相同时间间隔的情况下更适合于高峰小时客流断面大的线路, 但是显然增加了土建工程量, 增加了车辆的采购成本。由于 A 型车辆载客量较大, 因此一般采用 DC 1 500V 的供电电压, 受电形式采用受电弓受电。相比之下, B 型车辆在相同时间间隔下的高峰小时客流断面要小于 A 型车辆。因此, B 型车辆可以选择 DC 750V 或 DC 1 500V 的供电电压, 其受电方式可以在受电弓和受电靴中选择。由于车辆断面积的减小, 其所需要的土建工程量相比 A 型车辆要小一些, 车辆的采购成本也相对减少。

(二) 国内各城市地铁列车的编组及主要技术参数

在运营中, 列车编组可以采用多种形式, 如动车与拖车混合编组或者全动车编组。列车编组采用的形式, 应根据动力的分配与车下吊装设备重量的均衡性来确定。

无论轻轨列车还是地铁列车, 在编组方面都无严格的规定, 地铁车辆编组可以在 4~10 节范围内, 轻轨车辆编组为 2~4 节。我国现有城市轨道交通车辆一般有 4 辆编组、6 辆编组和 8 辆编组。北京、上海、广州、深圳的地铁车辆的编组情况即车辆主要技术参数见表 1-1。

表 1-1 我国几个主要城市地铁车辆的主要技术参数

技术参数		北京早期车辆	北京复八线	上海 1 号线	上海 2 号线	广州 1 号线	深圳 1 号线
列车编组		2~6 辆	6 辆(3 动 3 拖)	8 辆(4 动 4 拖)	6 辆(4 动 2 拖)	6 辆(4 动 2 拖)	6 辆(4 动 2 拖)
供电及受流方式		DC 750V (接触轨)	DC 750V (接触轨)	DC 1 500V (接触网)	DC 1 500V (接触网)	DC 1 500V (接触网)	DC 1 500V (接触网)
车辆轮廓尺寸/mm	长	19 520	19 520	24 140(拖车) 22 800(动车)	24 140(拖车) 22 800(动车)	24 390(拖车) 22 800(动车)	24 390(拖车) 22 800(动车)
	宽	2 650	2 800	3 000	3 000	3 000	3 100 (最大宽度)
	高	3 509~3 600	3 510	3 800	3 800	3 800	3 800 (不含排气口)

(续)

技术参数	北京早期车辆	北京复八线	上海1号线	上海2号线	广州1号线	深圳1号线
车辆定距/mm	12 600	12 600	1 860	1 860	1 860	约 1 920
每列额定载客量/人	360 ~ 1 080	1 440	1 860	1 860	1 860	约 1 920
转向架	有摇枕 轴距 2 100mm	无摇枕 轴距 2 200mm	无摇枕 轴距 2 500mm	无摇枕 轴距 2 500mm	无摇枕 轴距 2 500mm	无摇枕 轴距 2 500mm
空气压缩机	活塞式	2 级压缩活 塞式供风量 0.8m ³ /min	W230/180-2 供风量 1 450L/min	活塞式、2 级、 三缸供风量 0.92m ³ /min	活塞式、2 级、 三缸供风量 0.92m ³ /min	活塞式、2 级、 三缸供风量 0.92m ³ /min
空调与通风	机械通风	机械通风	空调	空调	空调	空调
牵引电动机	直流电动机	笼型异步电 动机 180kW	直流电动 机 207kW	笼型异步 电动机 190kW	笼型异步 电动机 190kW	笼型异步 电动机 220kW
最大运行速度/(km/h)	80	80	80	80	90	80
平均加速度/(m/s ²)	0.9	0.83	0.9	0.9(0 ~ 36km/h)	平均值 1.0(0 ~ 35km/h)	平均值 0.6(0 ~ 80km/h)
常用制动平均减速度/(m/s ²)		0.94	1.0	1.0	1.0	1.0
紧急制动平均减速度/(m/s ²)	1.2	1.2	1.3	≥1.2	1.2	1.2
减速度转化比	5.9	7.69	5.95		6.3	6.68

(三) 车辆电气

城市轨道交通车辆电气主要包括电气牵引系统、辅助供电系统和列车控制系统。

1. 车辆电气牵引系统 车辆电气牵引系统包括车辆上的高速断路器、受流器、牵引电动机及其控制电路，它是电传动车辆上高电压、大电流、大功率的动力电路。牵引系统的作用是：在牵引工况下，将变电所传递的电能量转变为车辆牵引所需的牵引力；在电制动工况时，将车辆的动能转化为电制动力，实现功率的转化和传递。

车辆电气牵引系统有直流电气牵引系统和交流电气牵引系统两种。直流电气牵引系统采用直流牵引电动机，其牵引控制方式已从凸轮变阻调速发展为斩波变阻调速。这种牵引系统控制简单方便，但由于城市轨道交通车辆频繁起动和制动，这两种控制方式使 20% 的车辆动能转化为电能消耗在电阻上，存在浪费电能的缺点，特别是在地下隧道会导致隧道升温，易产生不良后果。目前这种传动系统已趋于淘汰。采用直流牵引电动机变速的车辆如图 1-12 所示。



图 1-12 采用直流牵引电动机变速的车辆

交流电气牵引系统采用异步电动机和直线电动机两种形式。异步电动机采用微机控制的交流调频调压（Variable Voltage and Variable Frequency, VVVF）技术，主要由输入滤波器、三相逆变器、制动斩波线路和控制线路组成的牵引逆变器来控制异步电动机的电压及频率，实现牵引和电气制动。这种控制方式的优点是：无接点控制，运行可靠，过载能力强，粘着性能好，结构简单，重量轻，几乎无需保养和维修。这种传动控制方式被公认为是调速系统中性能最优越的，目前城市轨道交通车辆大都采用这种传动控制方式。

交流电气牵引系统主要由 MCM 牵引逆变器、ACM 辅助逆变器、受流器、高压箱和牵引电动机等组成。北京地铁某型号地铁列车交流牵引系统设备的分布如图 1-13 所示，图 1-14 所示为采用接触轨供电方式的车辆受流装置，图 1-15 所示为交流异步牵引电动机。

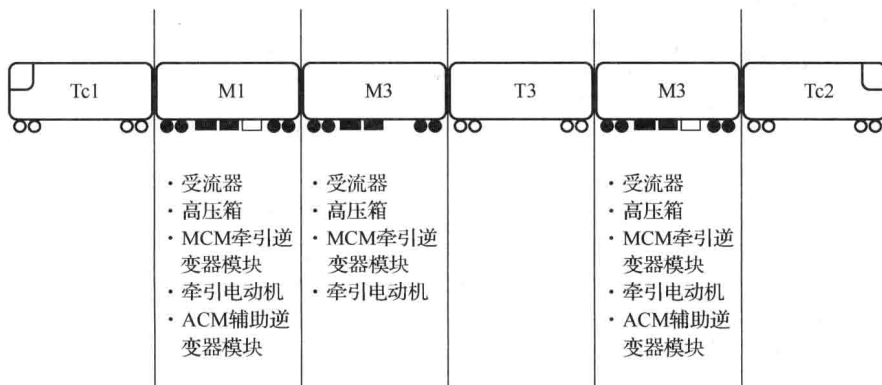


图 1-13 北京地铁某型号地铁列车交流牵引系统设备的分布图

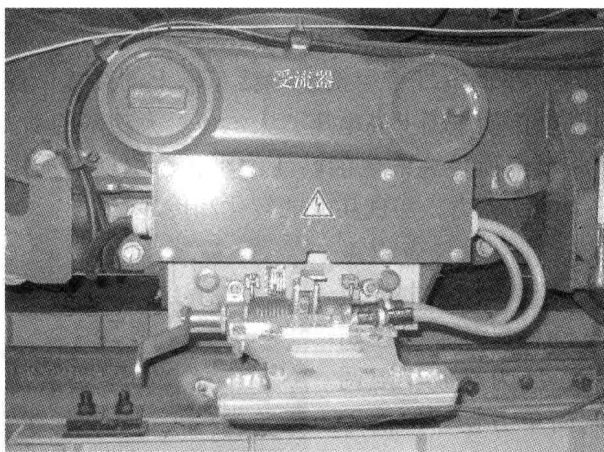


图 1-14 采用接触轨供电方式的车辆受流装置

2. 辅助供电系统 城市轨道交通车辆辅助供电系统为列车辅助设备提供电源。他的工作状态正常与否直接影响整列车的功能，特别是当数辆车发生辅助供电系统故障时，将引起列车运营能力的下降，导致整个运行线路中断。

辅助供电系统主要由辅助逆变器、蓄电池、中压（380V）总线、低压（110V）总线、所有控制器、断路器、继电器、接触器等组成。辅助供电系统的作用是：为车辆蓄电池充