城市轨道交通职业教育系列教材
“城市轨道交通车辆运用与检修”专业

城市轨道交通车辆控制

主　编　刘海梅　蔡海云
副主编　聂　辉

西南交通大学出版社
·成　都·

内容简介

本书是城市轨道交通职业教育系列教材之一。主要内容包括城市轨道交通车辆牵引系统、辅助供电系统、车辆照明系统、牵引制动控制电路、列车网络控制系统、车门控制系统、车载 ATP/ATO 系统及乘客信息系统。介绍了典型城市轨道交通车辆中电气系统内各类电路及原理，对理解和掌握城市轨道交通车辆电气系统有很大帮助。

本书可作为中高职业院校车辆专业的专业教材，还可供从事车辆运用与检修的专业技术人员阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

城市轨道交通车辆控制 / 刘海梅，蔡海云主编. —成都：西南交通大学出版社，2014.9

城市轨道交通职业教育系列教材

ISBN 978-7-5643-3416-1

Ⅰ. ①城… Ⅱ. ①刘… ②蔡… Ⅲ. ①城市铁路－铁路车辆－电气控制－高等职业教育－教材 Ⅳ. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 202711 号

城市轨道交通职业教育系列教材

城市轨道交通车辆控制

主编　刘海梅　蔡海云

责任编辑	金雪岩
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 （四川省成都市金牛区交大路 146 号）
发行部电话	028-87600564　028-87600533
邮政编码	610031
网　　址	http: //www.xnjdcbs.com
印　　刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印　　张	8.75
字　　数	214 千字
版　　次	2014 年 9 月第 1 版
印　　次	2014 年 9 月第 1 次
书　　号	ISBN 978-7-5643-3416-1
定　　价	19.80 元

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

城市轨道交通职业教育系列教材

《编写和评审委员会》

主　任　李永红

副主任　刘海梅

委　员　章　柯　廖慧琳　李忠国　蔡海云　辛小平

李金红　冯　骥　李　泷　胡　鹏

出 版 说 明

城市轨道交通诞生于19世纪中叶的英国伦敦，已经历了近150多年的发展历史。它技术成熟、安全可靠、形式多样、用途广泛，以其载客量大、快捷、准时、环保而成为解决日益严重的城市交通拥堵问题最有效的手段。

改革开放以来，随着经济的发展，我国内地城市化进程加快，城市交通问题已成为制约城市发展的重要因素。为此，国家确立了优先发展城市公共交通的城市发展战略。建立以大容量快速轨道交通为骨干、以公共交通为主体的综合交通体系，是解决城市交通拥堵问题，从而实现可持续发展的治本之策。

未来10年，我国内地将新建城市轨道交通线路60多条，新建线路里程近1700km；北京、上海、广州更是以每年新增线路30～50 km的速度在发展。

城市轨道交通迎来了最好的发展时机，为抓住这一历史机遇，内地许多城市纷纷开始轨道交通的规划和建设，北京、上海、广州等一线城市已经建成成熟便捷的城市轨道交通网络。目前，建设城市轨道交通的城市还在不断增加。

城市轨道交通的发展，急需大量德才兼备的各类人才。为了满足对人才特别是高、中级技能型人才培养的迫切需要，武汉铁路司机学校的教师在学校有关领导的组织下，编写了适合高、中级职业学校城市轨道交通类专业学习的系列规划教材。

这些教材具有以下特点：

突出职业教育特点。根据近几年城市轨道交通的发展及行业对人才的需求，编者在编写中将最新的技术资料收入其中，同时紧扣职业教育的特点，在讲述基本专业知识的基础上，突出了实际操作技能的培养。

内容简洁明了，文字通俗易懂，图文并茂。同时为配合教学的需要，每章配有适量的复习思考题。

专业特征明显。本系列规划教材涉及“城市轨道交通”的专业有：“城市轨道车辆运用与检修”、“城市轨道交通运营”和“城市轨道交通供电”。

目前已经出版的教材包括：

《城市轨道交通概论》（第一版）

《城市轨道交通概论》（第二版）

《城市轨道交通车辆电器》（第一版）

《城市轨道交通车辆电器》（第二版）

《城市轨道交通车辆电机》（第一版）

《城市轨道交通车辆电机》（第二版）

《城市轨道交通司机信号》

《城市轨道交通信号基础》（在《城市轨道交通司机信号》基础上修订改版）

《轨道交通运输心理学》

《城市轨道交通列车牵引与操纵》

《城市轨道交通车辆制动系统》

《城市轨道交通车辆控制》

《城市轨道交通车辆机械》

《城市轨道交通行车组织》

《城市轨道交通车辆检修设备》

《城市轨道交通车辆检修工艺》

《电气控制与 PLC 运用》

需要说明的是，由于城市轨道交通线路一般是永久性结构，建成后几乎无调整的可能，故各城市在线路开建前都会反复比较和修改方案。书中有关城市轨道交通规划与建设的资料和数据，可能与实际有出入，仅供参考。希望本系列规划教材能为我国职业教育的发展做出积极贡献。

有关教材的课件及相关资料可以在西南交通大学出版社网站下载，或联系出版社工作人员。

西南交通大学出版社

2014 年 6 月 6 日

前　言

城市公共交通交通工具不断革新，城市轨道交通、有轨电车新技术不断涌现，从 1890 年 12 月 18 日世界上第一条真正的电气化地铁诞生以来，城市轨道交通成为现代城市必不可少的重要交通工具，是维持城市居民工作、学习和生活正常秩序的重要保障。

城市轨道交通普遍采用电气化，由受流器接受来自接触网的电能，再在控制系统的指挥下，经主回路、牵引电机将电能转换为驱动列车所需机械能，并且在必要时使用车辆实施制动。为了不断提高城市轨道交通地铁轻轨车辆起动和制动性能，提高运行速度，在车辆的传动方式和控制上经历了几次革命，由早先的直流传动转型成现代的交流传动；控制上由逻辑电路发展到全微机控制，自动化程度大大提高。改善了车辆的运行性能，减少了车辆的运行的故障和提高了车辆运行的可靠性，同时也较大的减少了司机和检修工作人员的劳动强度。

城市轨道交通的牵引控制系统荟萃了电力电子、计算机检测与控制、电机与电器制造等多学科的先进技术，日益发展成具有智能化、模块化、轻量化、节能型、免维修等特点。

本书编写结合中高等职业教育的特点，为城市轨道交通车辆专业学生介绍了必须掌握的车辆电气系统专业知识。全书分九章，采用传统章节的形式，系统、循序渐进的方式介绍了车辆电气系统及控制，包括电气系统的概述、牵引系统的组成和原理、辅助供电系统的组成、设备及原理、车辆照明电路及控制、车门电路及控制、牵引制动控制电路、列车网络控制系统、车载 ATP/ATO 系统及控制、乘客信息系统的组成。本书为了达到更好的阐述效果，从多种车辆电气系统中分别采用了各类代表性电路，并加以说明，帮助读者更好地系统地理解整个车辆的电气系统，使司机和检修岗位方向的学习者打下良好的电气系统知识基础，同时对部分电路故障分析及处理也作了相应的介绍。

目前在城市轨道交通职业培训行业内，车辆电气系统知识专业性强，是学生学习的难点，介绍车辆电气系统、车辆控制类的系统教材很少，少量的教材中涉及部分内容，有些采用项目的方式介绍，对于系统理解和了解车辆电气系统存在局限性，为了填补空缺，故编写了本教材。由于时间、资料、水平有限，书中可能有一些不妥之处，敬请读者指正。

编　者

2014.7

目 录

第一章 城市轨道交通车辆电气系统概述 ……1
第一节 电气系统简介 ……1
第二节 电气系统的发展 ……5
课后练习题……8

第二章 牵引系统 ……错误!未定义书签。
第一节 牵引系统概述 ……错误!未定义书签。
第二节 牵引系统主回路 ……错误!未定义书签。
第三节 牵引系统的工作原理……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第三章 辅助供电系统 ……错误!未定义书签。
第一节 辅助供电系统概述 ……错误!未定义书签。
第二节 辅助逆变器……错误!未定义书签。
第三节 蓄电池充电器及蓄电池 ……错误!未定义书签。
第四节 高压供电回路……错误!未定义书签。
第五节 中压供电分配……错误!未定义书签。
第六节 扩展供电回路……错误!未定义书签。
第七节 低压供电分配……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第四章 城市轨道交通车辆照明系统 ……错误!未定义书签。
第一节 内部照明 ……错误!未定义书签。
第二节 外部照明 ……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第五章 牵引/制动控制电路……错误!未定义书签。
第一节 司机室激活控制电路……错误!未定义书签。
第二节 受电弓控制电路 ……错误!未定义书签。
第三节 高速断路器控制电路……错误!未定义书签。
第四节 列车方向控制电路 ……错误!未定义书签。
第五节 列车牵引/制动控制电路……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第六章　列车网络控制系统 ……**错误!未定义书签。**
第一节　列车网络控制系统简介 ……错误!未定义书签。
第二节　列车网络控制系统拓扑结构 ……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第七章　车门控制系统 ……**错误!未定义书签。**
第一节　车门控制系统的电气部件 ……错误!未定义书签。
第二节　车门控制原理……错误!未定义书签。
第三节　开关门控制电路 ……错误!未定义书签。
第四节　车门安全回路……错误!未定义书签。
第五节　非正常情况下车门的控制 ……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第八章　车载 ATP/ATO 系统 ……**错误!未定义书签。**
第一节　车载 ATP/ATO 系统概述 ……错误!未定义书签。
第二节　车载 ATP/ATO 系统的控制 ……错误!未定义书签。
第三节　车载 ATP/ATO 系统与车辆控制系统的关系 ……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

第九章　乘客信息系统 ……**错误!未定义书签。**
第一节　乘客信息系统概述 ……错误!未定义书签。
第二节　列车广播对讲系统 ……错误!未定义书签。
第三节　多媒体播放系统 ……错误!未定义书签。
第四节　视频监控系统……错误!未定义书签。
第五节　车载无线局域网及无线电系统……错误!未定义书签。
课后练习题……错误!未定义书签。

参考文献 ……**错误!未定义书签。**

第一章　城市轨道交通车辆电气系统概述

第一节　电气系统简介

城市轨道交通车辆电气系统是城市轨道交通车辆的重要组成部分，它为列车提供牵引力及电制动力，控制和监控列车完成正常的启动、运行和停车，同时对其他用电设备进行供电及控制，是列车安全运行的保障。城轨车辆电气系统还记录大量的运行数据，为列车保养提供重要依据。对于城市轨道交通车辆驾驶人员和检修人员等专业技术人员来说，要熟练掌握城市轨道交通车辆的运用与保养、电气故障的排除及电气设备的检测检修等，就必须掌握好车辆电气系统知识。

本书主要讲授城市轨道交通车辆电气系统方面的基础知识，为城轨地铁相关人员进一步学习电气系统知识打下基础。

一、城市轨道交通车辆电气系统的组成

城市轨道交通车辆电气系统主要由牵引系统、辅助供电系统、列车控制电路、列车网络控制系统组成。

（一）牵引系统

城市轨道交通车辆牵引系统的主要作用是完成列车牵引制动控制，将接触网提供的电能通过控制转换，供牵引电机使用，使牵引电机产生相应的牵引力或制动力，从而达到对列车进行控制的目的。

列车牵引系统根据牵引电机类型的不同分为直流传动牵引系统和交流传动牵引系统。直流传动牵引系统牵引电机采用直流电机，在早期的地铁车辆上广泛使用。交流传动牵引系统牵引电机采用三相交流异步鼠笼式电机。由于交流传动具有巨大的优越性，目前轨道交通车辆普遍采用以交流电机作为牵引电机的交流传动控制系统。本书主要介绍交流传动控制系统。

交流传动牵引系统（以下简称牵引系统）主要由受流装置、高速断路器、牵引逆变器（VVVF 逆变器）、牵引电机等组成。在牵引时，由受流装置将接触网提供的电引入车体，再由牵引逆变器将其转换成三相可调压调频的交流电供牵引电机使用；电制动时，牵引逆变器将牵引电机产生的交流电整流成直流回馈给电网实现再生制动，若无法实现再生制动，则将制动电能消耗在制动电阻上实现电阻制动。高速断路器实现对牵引主回路的短路、过载、过

电压、欠电压等保护作用。牵引系统组成框图如图 1-1 所示。

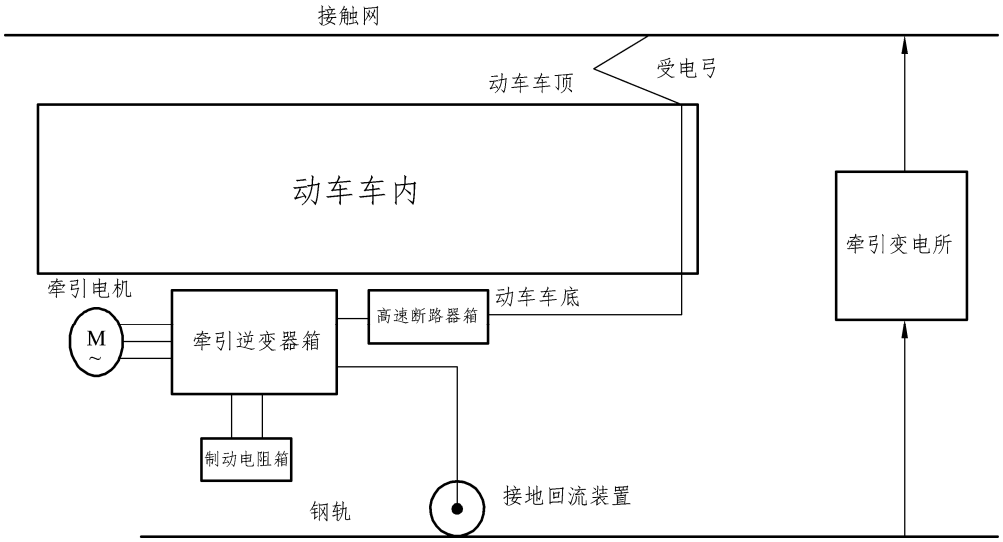

图 1-1　牵引系统组成框图

（二）辅助供电系统

辅助供电系统也称辅助电源系统，主要用来为除牵引系统之外的其他用电设备供电。辅助供电系统供电的车载设备主要有以下三类：

（1）AC380V（交流 380 伏）负载：空调装置、空气压缩机单元、牵引设备和辅助逆变器的通风冷却设备。

（2）AC220V（交流 220 伏）负载：客室正常照明、司机室方便插座、客室维修用方便插座等。

（3）DC110V（直流 110 伏）负载：控制电路及电子设备、通信系统、维护诊断系统、客室应急照明、电动车门驱动电机等。

除以上一些车载用电设备外，还有极少量 DC24V 设备和其他设备也由辅助供电系统供电。由辅助供电系统供电的车载设备如表 1-1 所示。

表 1-1　辅助供电系统的负载

AC380V 负载	空调装置、空气压缩机单元、通风冷却设备
AC220V 负载	客室正常照明、司机室、客室方便插座
DC110V 负载	控制电路及电子设备、通信系统、维护诊断系统、客室应急照明、电动车门驱动电机等

辅助供电系统作为一个为大部分车载电气设备供电的系统，主要由三个部分组成，即辅助逆变器（静止逆变器）、蓄电池充电器和蓄电池。辅助逆变器主要用来为交流负载供电。蓄电池充电器和蓄电池统称为低压电源，主要用来为直流负载供电。辅助供电系统的组成框图如图 1-2 所示。

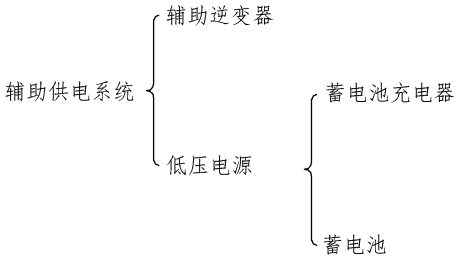

图 1-2　辅助供电系统的组成

（三）列车控制电路

城市轨道交通车辆电气系统控制电路主要有两种。一种是传统硬连线有触点的逻辑控制电路，通过一系列继电器、接触器的联锁触点等器件的“接通”和“断开”来传递控制信号，直接驱动相应的设备工作或显示，从而实现整车的控制。这种控制电路也称为继电器控制电路。另外一种是总线控制电路，将列车一部分控制和监测信号（如车门控制和监测信号、气制动控制和监测信号等）通过总线进行传输，并由列车控制系统各自模块将采集到的信号综合处理，实现对相应设备的控制和监测功能。

本书中介绍的控制电路主要指继电器控制电路。这是一种逻辑控制电路，属于直流低压小功率电路，它使用 DC110V 电源，通过操纵台上各种开关按钮及司机控制器等来实现对各电气设备的控制。继电器控制电路包括高速断路器控制电路、受电弓控制电路、照明控制电路、辅助逆变器控制电路、牵引/制动控制电路等。此类电路数量众多，且涉及大量继电器、开关按钮、指示灯、电磁阀等，是本课程学习的难点。

（四）列车网络控制系统

列车网络控制系统是城市轨道交通车辆电气系统的另外一种控制电路。它是随着微电子技术及分布式现场总线技术发展而逐渐发展起来的，在城市轨道交通车辆电气系统中发挥着越来越重要的作用。列车网络控制系统是一种总线控制的方法，总线控制是基于计算机技术的控制，利用列车通信网络实现对各车载微机单元的集散式控制、监测和管理。

二、城市轨道交通车辆电气系统的部件及设备

城市轨道交通车辆电气系统设备众多，分布广泛，在城市轨道交通车辆各个方面都发挥着重要的作用。

（1）城市轨道交通车辆电气系统的部件及设备按分布位置不同可分为车顶电气设备、车内电气设备和车底电气设备。

① 车顶电气设备主要有空调装置、受电弓、避雷器。部分地铁车辆车顶还安装有熔断器

箱，如南京地铁 1、2 号线和苏州地铁 1 号线所使用车辆。

② 车内电气设备包括司机室电气设备和客室电气设备。

a. 司机室电气设备包括操纵台上部和下部的所有电气设备、司机室空调、电热设备、照明设备以及司机室后面设备柜和电子柜中的所有设备。

b. 客室电气设备主要有客室照明装置、动态地图、LED 显示屏、LCD 显示屏、扬声器、摄像头、紧急对讲装置、客室控制柜和空调控制柜等。

c. 车底电气设备主要包括牵引系统相关设备（高速断路器、制动电阻、牵引逆变器等）、辅助系统相关设备（辅助逆变器及蓄电池充电器箱、蓄电池充电器）、制动系统控制设备、空气压缩机、高压分配装置（高压箱）以及低压箱等。具体分布情况如表 1-2 所示。

表 1-2　电气设备分布情况

车顶电气设备	空调装置、受电弓、避雷器	
车内电气设备	司机室电气设备	操纵台、电器电子柜中所有设备，司机室空调、电热、照明设备等
	客室电气设备	客室照明、动态地图、LED 显示屏、紧急对讲装置、客室控制柜和空调控制柜等
车底电气设备	牵引系统相关设备、辅助供电系统相关设备、空气压缩机、高压箱、低压箱等	

（2）城市轨道交通车辆电气系统的部件及设备按使用电能不同可分为高压设备（DC1500V 或 DC750V）、中压设备（AC380V 或 AC220V）以及低压设备（DC110V 或 DC24V）。

① 高压设备主要指牵引及高压供电系统相关设备，如受电弓、避雷器、高速断路器、牵引逆变器等。

② 中压设备主要指交流负载，如空气压缩机单元、空调装置、通风冷却装置、方便插座、客室正常照明等。

③ 低压设备主要指所有微机控制单元、控制电路以及电动车门驱动电机等。具体分类情况如表 1-3 所示。

表 1-3　不同电压电气设备分类情况

高压设备	受电弓、避雷器、高速断路器、牵引逆变器等
中压设备	空气压缩机单元、空调装置、通风冷却装置、客室正常照明
低压设备	所有微机控制单元、控制电路及电动车门驱动电机等

（3）城市轨道交通车辆电气系统的部件及设备按服务性质不同分为服务于车辆运行的设备、服务于乘客的设备和保证列车正常舒适运行的设备。

① 服务于乘客的设备有客室照明装置、通风装置、空调等。

② 服务于车辆运行的设备有蓄电池、牵引逆变器、辅助逆变器、空气压缩机、司机控制器等。

③ 保证列车正常舒适运行的设备有列车诊断系统、列车自动控制系统（ATC）、通信系统等。

第二节　电气系统的发展

一、牵引系统的发展

直流电气传动和交流电气传动于 19 世纪先后诞生，在 20 世纪的大部分年代里，鉴于直流传动具有调速容易的优点，一般可调速传动都采用直流传动。随着现代城市轨道交通车辆向轻量化和智能化方向迅速发展，直流传动系统的重量大、体积大、维修工作量大、限制电机向高速大容量方向发展等薄弱环节越来越明显，而交流传动系统和它形成鲜明对照，再加上电力电子技术和微电子技术的高速发展，使得交流传动系统，特别是电压型逆变器控制的交流传动系统，以其优良的性能逐渐占据主导地位。

牵引系统的发展主要经历了以下几个阶段，从最初的凸轮变阻传动控制系统到斩波调阻控制系统，再到斩波调压控制系统，最后到现在主流的交流变压变频控制系统。其中，凸轮变阻传动控制系统、斩波调阻控制系统和斩波调压控制系统都属于直流传动控制系统。根据直流电机调速的相关知识可知，直流电机调速主要通过调节电机两端电压来达到调速的目的，在调压调速的基础上配合弱磁调速。也就是说，要想调节直流电机的转速，必须改变直流电机的电压。凸轮变阻、斩波调阻和斩波调压即是三种不同的改变牵引电机电压的方式。交流传动牵引系统主要采用变压变频的控制技术。牵引系统的分类如图 1-3 所示。

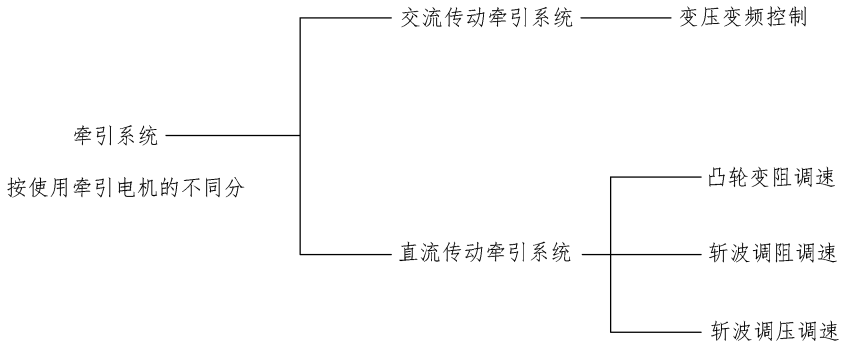

图 1-3　牵引系统的分类

（一）凸轮变阻控制系统

早期的城市轨道交通车辆的传动与控制系统主要采用直流凸轮变阻的方式，如早期北京地铁所使用车辆。凸轮变阻控制系统即利用变阻控制器来切换电阻，从而实现改变牵引电机电压，达到改变牵引电机转速的目的。凸轮变阻控制系统原理图如图 1-4 所示。

通过控制凸轮使接触器 K1、K2、K3、K4、K5 逐个闭合与断开，改变接入电阻阻值来调节牵引电机端电压和磁场削弱，从而实现对牵引电机的控制。

凸轮变阻控制方式在使用过程的缺陷日益凸显。凸轮变阻控制系统只能有级控制，不能实现无极平滑调速；凸轮机构结构复杂，触点多，控制电路复杂，频繁使用后故障率高；电

能损耗多，尤其在低速运行时，将有大量的电能消耗在电阻上。随着科技的进步，凸轮变阻控制方式逐渐被其他控制系统所取代。

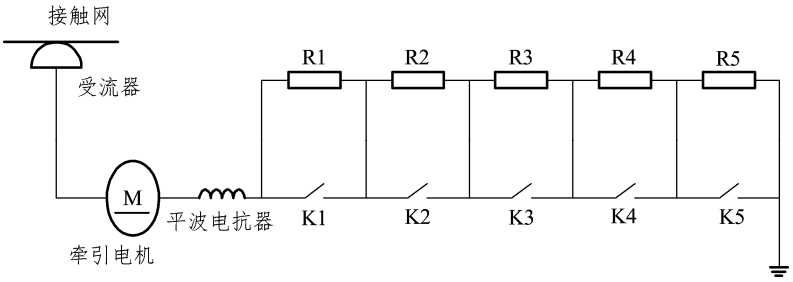

图 1-4　凸轮变阻控制系统原理图

（二）斩波调阻控制系统

随着半导体应用技术的发展，采用无触点的可控硅斩波器取代凸轮变阻机构，并实现无极平滑地调节电阻，不但调节平稳，在主回路中也减少了很多触头，从而减少了由此引起的故障次数及维修工作量。

斩波调阻控制系统中，斩波器与电阻并联，通过调节斩波器的占空比来实现对电阻的调节。连续调节斩波器的占空比，相应的接入主回路的电阻阻值也连续平滑地变化。斩波调阻装置即斩波器由晶闸管、二极管、均流电抗器、均压电阻和换流电容等部件组成。斩波调阻控制系统原理图如图 1-5 所示。

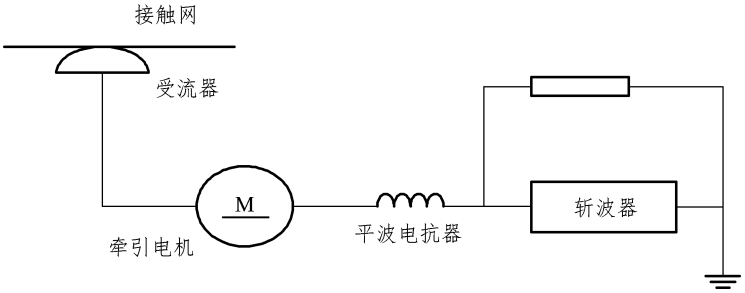

图 1-5　斩波调组控制系统原理图

虽然斩波调阻控制系统在凸轮变阻控制系统的基础上有了较大的提高，能够实现无极平滑调速，电路结构简单，但调速范围小，控制回路中能量损耗大，且不能实现再生制动。

（三）斩波调压控制系统

无论是凸轮变阻控制还是斩波调阻控制，控制回路都存在能量损耗大的缺点。随着可控制关断的半导体器件（GTO 和 GTR）的广泛应用，直流传动控制系统发展到斩波调压控制。斩波调压控制系统是直流传动控制系统的一种理想控制方式，能实现无极平滑调速，调速过程中能量损耗低，且能实现再生制动。

在斩波调压控制系统中，利用斩波电路将接触网提供的电能进行调节，不断调节斩波电路的输出电压来控制列车，输出电压可通过调节斩波器占空比来实现。斩波调压控制系统原理图如图 1-6 所示。

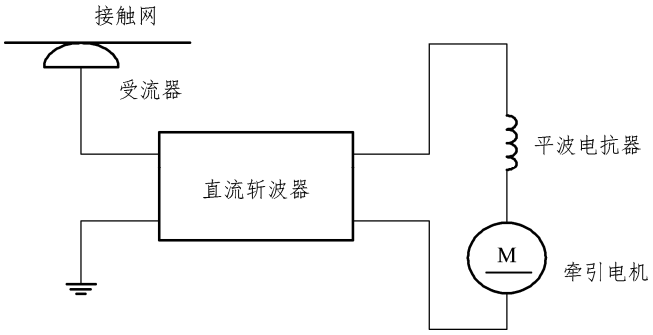

图 1-6　斩波调压控制系统原理图

（四）变压变频控制系统

直流牵引电机由于存在结构复杂、故障率高等缺点，逐渐被淘汰。现代城市轨道交通车辆基本上都采用交流电机作为牵引电机，采用变压变频的交流传动控制系统。变压变频控制系统利用逆变器将接触网提供的直流电转换成变压变频的交流电给牵引电机供电，通过调节逆变器输出交流电的电压和频率，可以达到控制牵引电机的目的。

二、辅助供电系统的发展

辅助供电系统（辅助电源系统）的主要作用是为列车辅助设备提供电源，即为除牵引系统设备之外的其他用电设备供电。早期的地铁、轻轨车辆的辅助设备主要有辅助控制系统、照明、广播系统等，主要采用发电机组作为辅助供电电源。随着地铁、轻轨车辆的不断更新，人们对乘车安全性、舒适性提出新的要求，地铁车辆辅助系统功能也日益增加。相比于早期的车辆，车辆辅助设备至少增加了以下几部分：ATP 系统、空调制冷系统、采暖系统、信息显示系统，由此也对车辆辅助电源的输出功率及可靠性提出了更高的要求。由于采用发电机组的辅助供电系统存在诸多不足，如体积庞大笨拙、工作效率较低、输出功率有限等，随着电力电子技术的发展及逆变器的问世，输出功率大、工作可靠、结构更轻更紧凑的静止逆变器逐渐取代发电机组。目前在国内已得到广泛应用的交流传动地铁车辆（如广州地铁、南京地铁、上海地铁、武汉地铁）都是采用静止逆变器的辅助供电系统。

采用静止逆变器的辅助供电系统主要由静止逆变器（辅助逆变器）、蓄电池充电器和蓄电池三部分组成。通常是接触网提供的直流电通过静止逆变器直接逆变成三相四线制的交流电输出，供列车上的交流负载使用，由蓄电池充电器将静止逆变器输出的交流电变换成 DC110V 和 DC24V 电输出，为直流负载供电。还有一种是由蓄电池充电器直接将接触网提供的直流电转换成 DC110V 和 DC24V 输出，蓄电池作为备用直流电源。采用静止逆变器的辅助供电系统

框图如图 1-7 所示。采用静止逆变器的辅助供电系统是目前最主流的辅助供电方式，将在本书第三章中重点讲解。

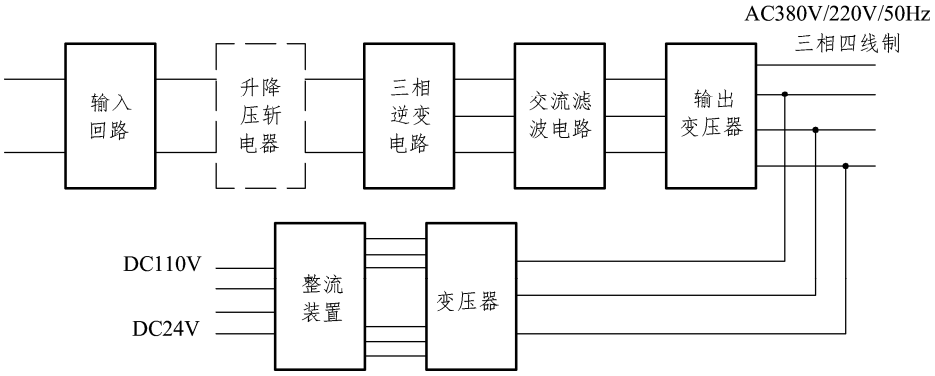

图 1-7　采用静止逆变器的辅助供电系统框图

三、列车控制系统的发展

列车控制系统的发展主要经历了由传统继电器控制电路到列车网络控制系统两个发展阶段。

传统继电器控制电路是一种有触点的控制电路，虽然复杂，但却是一种很成熟的控制方法。随着微电子技术及分布式现场总线技术的发展，列车网络控制系统在地铁车辆上得到了广泛的应用。但由于网络传输抗干扰性较差，输出过程可能出现遗漏和缺失，因此对一些非常关键器件的控制仍然沿用传统的继电器控制电路。由此可见，在列车网络控制系统得到广泛应用的同时，继电器控制电路在地铁车辆控制方面依然发挥着举足轻重的作用。本书分别在第五章、第六章具体讲解继电器控制电路和列车网络控制系统。

课后练习题

1. 电气系统主要由哪几部分组成？
2. 牵引系统的发展经历了哪几个阶段？
3. 辅助供电系统的发展经历了哪几个阶段？
4. 比较斩波调阻控制系统与斩波调压控制系统的优劣。
5. 现阶段使用较多的是哪一种辅助供电系统？此类辅助供电系统由哪几部分组成？
6. 列车控制系统主要由哪两种控制方式组成?简述各自的特点。