



职业教育城市轨道交通专业规划教材

# 城市轨道交通 供变电技术

徐亚辉 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

# 城市轨道交通供变电技术

主 编 徐亚辉  
副主编 冯 骥  
参 编 詹思阳  
主 审 章 柯 杨京山



机械工业出版社

本书从城市轨道交通供变电岗位人员的实际需求出发,以主所、牵降所的主要电气设备和电气接线为主线,分两个部分介绍了城市轨道交通的供变电技术:第一部分(第一章至第三章)主要介绍城市轨道交通电力牵引供电系统的制式和组成,以及变电所电气设备的原理、构造和技术参数;第二部分(第四章至第九章)主要介绍变电所的主接线图、控制和信号系统以及城市轨道交通供电的供配电系统。本书侧重于基本概念和基本原理的介绍,并注重体现城市轨道交通采用综合自动化系统和微机保护的变电所的新型设备和先进技术。

本书既可以作为职业院校相关专业的教科书和技能培训教材,也可作为轨道交通维护、运行等技术人员的学习参考书。

为方便教学,本书配有电子课件,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) 以教师身份免费注册下载。编辑咨询电话:010-88379865。

## 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供变电技术/徐亚辉主编. —北京:  
机械工业出版社, 2012. 9  
职业教育城市轨道交通专业规划教材  
ISBN 978-7-111-39883-7

I. ①城… II. ①徐… III. ①城市铁路—供电装置—  
职业教育—教材 IV. ①U239. 5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第228837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 关晓飞

版式设计:霍永明 责任校对:赵蕊

封面设计:马精明 责任印制:张楠

北京四季青印刷厂印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.75印张·312千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39883-7

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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

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，带来了对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、综合型人才，特组织国内开设城市轨道交通专业院校的优秀教师编写此套教材。

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、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。希望职业院校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。编辑邮箱 [cxyspring@126.com](mailto:cxyspring@126.com)，机工社轨道教材交流 QQ 群：73242168。

机械工业出版社

# 前 言

随着城市轨道交通建设的不断发展，先进技术与新型设备不断涌现。作为城市轨道交通供电系统重要组成部分的变电所，已经实现了监控自动化、远动化，运行管理智能化，性能检测及故障诊断的现代化。这对将来要从事城市轨道交通供电系统运行维护工作的广大学生在知识、技能上提出了更高要求。

编者通过对多个城市轨道交通供电系统的考察、学习，根据当前轨道交通供电系统实际设备的应用、供变电技术的发展，参阅了大量新设备的技术文献和生产厂商的技术资料，针对职业院校学生的特点编写了本书。本书重点介绍了当前广泛采用的设备及供变电技术，以目前普遍采用的型号为载体来讲解其原理及应用，摒弃了当前城市轨道交通供电中已不再使用的设备及供变电技术知识。

本书主要包括城市轨道交通变电所中的一、二次设备及其电气主接线、接地和过电压保护、城市轨道交通供电系统的电气监控等内容。

本书由徐亚辉任主编，冯骥任副主编，詹思阳参加编写。第一章至第四章由徐亚辉编写，第五章、第十章由詹思阳编写，第六章至第九章由冯骥编写。全书由章柯、杨京山担任主审。本书在编写过程中，得到了武汉铁路司机学校领导的支持，以及南京、重庆、武汉等地铁公司的大力帮助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不妥及错漏之处，恳请广大读者批评指正。若有好的建议请与我们联系。谢谢！

编 者

# 目 录

出版说明	
前言	
<b>第一章 城市轨道交通供电系统概述</b> .....	1
第一节 城市轨道交通供电系统的组成及功能	1
第二节 城市轨道交通供电系统的供电制式	10
<b>第二章 城市轨道交通的外部供电系统</b> .....	12
第一节 外部电源	12
第二节 主变电所	18
第三节 中压网络	23
<b>第三章 城市轨道交通变电所中的一次设备</b> .....	29
第一节 一次设备概述	29
第二节 变压器	30
第三节 整流机组	37
第四节 电弧	40
第五节 断路器	50
第六节 其他开关电器	66
第七节 断路器的操动机构	73
第八节 成套设备	83
<b>第四章 城市轨道交通供电变电所的电气主接线</b> .....	87
第一节 电气主接线的基本知识	87
第二节 主变电所的电气主接线	89
第三节 牵引变电所的主接线	91
第四节 降压变电所的电气主接线	98
<b>第五章 城市轨道交通供电系统的接地与过电压保护</b> .....	102
第一节 接地的基本概念及分类	102
第二节 综合接地和等电位联结	103
第三节 交流供电系统的接地	106
第四节 直流牵引供电系统的接地	110
第五节 接地装置及接地电阻的要求	111
第六节 过电压保护	115
<b>第六章 城市轨道交通供电变电所二次回路</b> .....	122
第一节 二次系统概述	122
第二节 二次接线图概述	124
第三节 展开式原理图	126
第四节 安装接线图	130
第五节 互感器的二次回路	138
<b>第七章 城市轨道交通变电所的高压开关控制、信号回路</b> .....	144
第一节 控制、信号回路概述	144
第二节 采用液压操动机构的断路器控制、信号回路	145
第三节 采用弹簧操动机构的断路器控制、信号回路	149
第四节 采用弹簧储能液压操动机构的断路器控制、信号回路	152
第五节 电动操动隔离开关的控制、信号回路	155
<b>第八章 城市轨道交通供电变电所的信号系统</b> .....	158
第一节 信号装置概述	158
第二节 变电所的新型信号系统	161
<b>第九章 城市轨道交通变电所的自用电力系统</b> .....	165
第一节 交流自用电力系统	165
第二节 直流自用电力系统	169
第三节 蓄电池概述	173
第四节 直流系统的绝缘监察和电压监察	178
<b>第十章 城市轨道交通供电系统的电力监控系统</b> .....	182
第一节 电力监控系统的功能与监控对象	182
第二节 电力监控系统的硬件构成	184
第三节 电力监控系统的软件构成	186
<b>附录</b> .....	189
附录 A 常用供电电气设备文字符号对照表	189
附录 B 电气设备常用图形符号大全	191
<b>参考文献</b> .....	197

# 第一章 城市轨道交通供电系统概述

## 【问题导入】

进入 21 世纪以来,随着我国经济的发展,城市交通问题日益突出,优先发展公共交通、大力发展城市轨道交通已成为诸多城市的必然选择。供电系统作为城市轨道交通系统的重要组成部分,直接影响着城市轨道交通的安全运营。城市轨道交通供电系统由哪些部分组成?它们有何功能呢?本章将回答这些问题。

## 【学习目标】

1. 了解城市轨道交通供电系统的组成及各组成部分的功能。
2. 了解杂散电流形成的原因及防护措施。
3. 理解城市轨道交通供电系统中为什么采用直流供电制式。

## 第一节 城市轨道交通供电系统的组成及功能

### 一、城市轨道交通供电系统的组成

城市轨道交通供电系统是城市电网的一个重要用户,按其功能的不同,它可以划分为外部电源供电系统、主变电所或电源开闭所供电系统、牵引供电系统、动力照明供电系统、杂散电流腐蚀防护系统、电力监控系统六个部分。其中,主变电所或电源开闭所供电系统又称为高压供电系统,牵引供电系统和动力照明供电系统又称为内部供电系统。图 1-1 是城市轨道交通供电系统的构成示意图。

#### 1. 外部电源供电系统

外部电源供电系统就是为城市轨道交通供电系统的主变电所或电源开闭所提供电能的外部城市电网电源供电系统。

#### 2. 主变电所或电源开闭所供电系统

主变电所的功能是接受城市电网输送的电能,再将接受的高压电(110kV 或 220kV)通过主变压器降压后向牵引变电所、降压变电所提供中压电源。主变电所适用于集中式供电。

电源开闭所的功能是接受城市电网提供的中压电(10kV 或 35kV),为牵引变电所、降压变电所转供中压电源。电源开闭所一般与车站牵引(或降压)变电所合建。电源开闭所适用于分散式供电。

#### 3. 牵引供电系统

牵引供电系统的功能是将交流中压经降压整流变成直流 1500V 或直流 750V 电压,为城

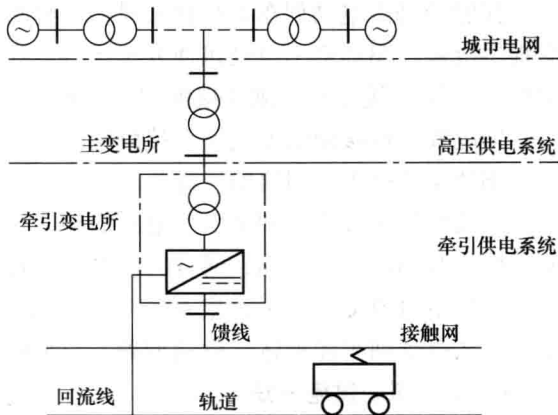


图 1-1 城市轨道交通供电系统的构成示意图

市轨道交通电动列车提供牵引供电。牵引供电系统包括牵引变电所与牵引网两个部分。图 1-2 为城市轨道交通牵引供电系统的结构示意图。

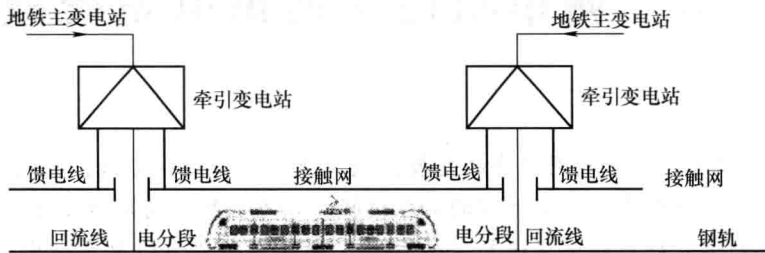


图 1-2 城市轨道交通牵引供电系统的结构示意图

(1) 牵引变电所 牵引变电所是牵引供电系统的核心。牵引变电所一般由进出线单元、变压变流单元及馈出单元构成，其主要功能是将中压环网的交流 35kV 或交流 10kV 的三相交流电经变压变流单元后转换为城市轨道交通电动列车所需要的直流电，并分配到上下行区间供电动列车牵引用。

牵引变电所可以按安设位置分为正线牵引变电所、车辆段或停车场牵引变电所。正线牵引变电所又分为车站牵引变电所和区间牵引变电所。牵引变电所还可按设备安装位置分为户内式变电所和户外式箱式变电所。一般地下线路采用户内式变电所，地面线路采用户外箱式牵引变电所。

城市轨道交通的牵引变电所时常与向车站、区间供电的降压变电所合并，形成牵引、降压混合变电所，简称牵混所。

(2) 牵引网 牵引网由馈电线、接触网、钢轨回路（包括大地）及回流线组成，它是轨道交通供电系统中向电动车组供电的直接环节。

接触网是沿电动列车走行轨架设的一种特殊供电线路，通过电动列车的受电器向电动列车提供电能，驱动牵引电动机使列车运行。在城市轨道交通中，接触网的主要形式有三种：柔性（弹性）接触网、刚性接触网和接触轨（也称第三轨）。

馈电线是连接牵引变电所和接触网的导线，它把牵引变电所提供的电能馈送给接触网。

钢轨是牵引供电回路的一部分，列车行走时，牵引电流经过钢轨流向回流线。

回流线是连接钢轨和牵引变电所的导线，它将钢轨回路上的电流导入牵引变电所。为了便于检修和缩小事故范围，通常利用电分段将接触网分成若干小的区段。

在城市轨道交通牵引供电系统中，电流从牵引变电所经馈电线、接触网输送给电动列车，再从电动列车经钢轨（轨道回路）、回流线流回牵引变电所。

#### 4. 动力照明供电系统

动力照明供电系统的功能是将交流中压电（35kV 或 10kV）降压变成交流 220V/380V 电压，为运营需要的各种机电设备提供电源。它包括降压变电所（站）、动力照明配电系统。图 1-3 为城市轨道交通动力照明供电系统的结构示意图。

降压变电所（站）的功能是将三相进线电压（交流 35kV 或交流 10kV）变为交流 220V/380V 电压。根据设置的位置不同，降压变电所可以分为车站降压变电所、车辆段或停车场降压变电所、控制中心降压变电所；根据主接线的形式不同，降压变电所又可分为一般降压所和



跟随式降压变电所（简称跟随所）；当降压变电所与牵引变电所合建时，就形成了牵引降压混合所。降压变电所主要给风机、水泵、照明、通信、信号、防火报警设备供电。

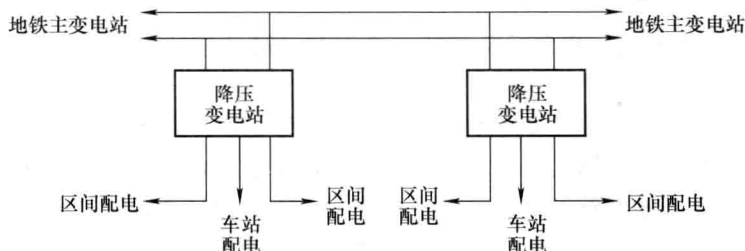


图 1-3 城市轨道交通动力照明供电系统的结构示意图

动力照明配电系统主要包括配电所（室）和配电线路，它仅起到对电能进行分配的作用。降压变电所通过配电所（室）将 220V/380V 交流电分别供给动力、照明设备，各配电所（室）对本车站及其两侧区间动力和照明等设备配电。配电线路是配电所（室）与用电设备之间的连接导线。

在动力照明供电系统中，一般每个车站设置一个降压变电所，也有几个车站合设一个的，还有将降压（动力）变压器附设在某个牵引变电所中构成一个牵引动力混合变电所的。

地铁车站及区间照明电源采用 380V/220V 三相五线制系统配电。正常时，工作照明、事故照明均由交流电源供电，当交流电源失电压时，事故照明自动切换成蓄电池供电，以确保事故期间必要的紧急照明。

车站设备负荷分为一类负荷、二类负荷和三类负荷。一类负荷包括风机、消防泵、主排水站、售检票机、防灾报警、通信信号、事故照明。二类负荷包括自动扶梯、普通风机、排污泵、工作照明。三类负荷包括空调、冷冻机、广告照明、维修电源。对于一、二类负荷，一般采用两路电源供电，当一台变压器故障解列时，另一台变压器可承担全部一、二类负荷用电。三类负荷只有一路电源，当一台变压器故障时，可根据运营需要自动切除。

### 5. 杂散电流腐蚀防护系统

在城市轨道交通中由于采用直流牵引供电，电流由牵引变电所的正极出发，经由接触网、电动列车、钢轨、回流线返回牵引变电所负极。由于钢轨与隧道或道床等结构之间的绝缘电阻不是无穷大，将不可避免地造成部分电流不从钢轨回流，而是通过沿线的道床钢筋、隧道、高架桥或建筑物的结构钢筋或土壤回流到牵引变电所（甚至不回流而散入大地），这一部分电流就是杂散电流，也叫迷流。图 1-4 所示为直流牵引地下杂散电流的示意图。

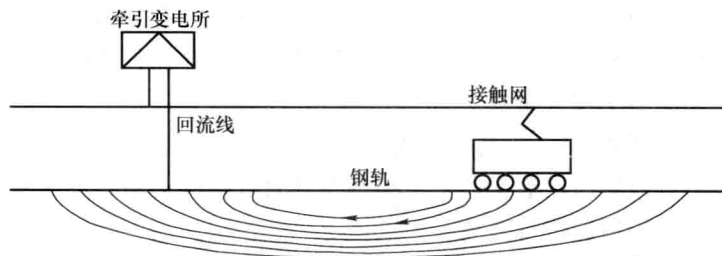


图 1-4 直流牵引地下杂散电流的示意图

城市轨道交通中的杂散电流是一种有害的电流，它不仅会对地铁中电气设备、设施的正常运行造成不同程度的影响，还会对隧道、道床的结构钢和附近的金属管线造成危害。这种危害主要表现在以下几个方面：

1) 若地下杂散电流流入电气接地装置，会引起过高的接地电位，使某些设备无法正常工作。

2) 若钢轨（走行轨）局部或整体对地的绝缘能力变差，则此钢轨（走行轨）对地的泄漏电流增大，地下杂散电流增大，这样就有可能引起牵引变电所的框架保护动作。框架保护动作会引起牵引变电所的断路器跳闸，造成全所失电，同时还会使相邻牵引变电所对应的馈线断路器发生联跳，从而造成较大范围的停电事故，影响地铁的正常运行。

3) 对城市轨道交通隧道、道床或其他建筑物的结构钢以及地下的金属管线（如电缆、金属管件等）造成电腐蚀。图 1-5 是城市轨道交通直流供电方式所形成的杂散电流及其腐蚀部位示意图。

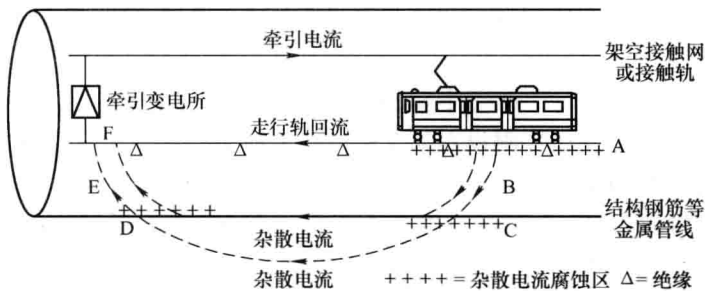


图 1-5 城市轨道交通杂散电流腐蚀原理图

杂散电流所经过的路径可等效地看成两个串联的电池。电流从金属管线的 D 点和走行轨 A 点流出，它们相当于电池的阳极；电流由道床土壤 B 点和钢轨 F 点流入，它们相当于电池的阴极。电池 1：A 钢轨（阳极区）→B 道床、土壤→C 金属管线（阴极区）；电池 2：D 金属管线（阳极区）→E 土壤、道床→F 钢轨（阴极区）。

当杂散电流由图 1-5 中的两个阳极区流出时，该部位的金属（Fe）便与其周围的物质发生失掉电子的电解反应，这个部位的金属（Fe）就会遭到腐蚀。

如果这种电腐蚀长期存在，将会严重损坏地铁附近的各种结构钢和地下金属管线，从而破坏结构钢的强度，缩短其使用寿命。

20 世纪 70 年代开始运行的北京轨道交通一期工程的主体结构中的钢筋已发现有严重的杂散电流腐蚀；北京轨道交通、天津轨道交通中，杂散电流已有隧道内水管腐蚀穿孔等现象出现；中国香港也曾因轨道交通杂散电流引起煤气管道腐蚀穿孔；英国曾发生过因为杂散电流腐蚀而发生的钢筋混凝土塌方事故。

杂散电流腐蚀防护系统的功能是减少因直流牵引供电引起的杂散电流并防止其对外扩散，尽量避免杂散电流对城市轨道交通主体结构及其附近结构钢筋、金属管线的电腐蚀，并对杂散电流及其腐蚀保护情况进行监测。

轨道交通是一种复杂的地下工程，其结构在施工完成后已定型，经若干年运营后，因杂散电流的腐蚀而对主体结构进行更换和翻新是十分困难的。所以，在轨道交通工程施工过程中就应该

做好杂散电流的防护工作，在轨道交通运营过程中也要加强杂散电流的监测，在有杂散电流腐蚀趋势发生时，可以采取积极有效的防治方法进行防护，使杂散电流量控制在允许的范围内。杂散电流的防护工程基本上采用“以防为主，以排为辅，防排结合，加强监测”的原则。

(1) 以防为主 控制所有可能的杂散电流泄漏途径，减少杂散电流进入轨道交通系统的主体结构、设备以及沿线附近相关设施的结构钢筋。具体实施时，由于涉及的专业多，各专业、各工种必须紧密配合，尤其在施工设计阶段更要考虑综合防治措施，尽量减少直流系统与其他建筑物的电气连接。

通过对杂散电流产生的原因及腐蚀过程的分析，可以知道提高走行轨对地绝缘电阻值以及保持牵引回流畅通是治理杂散电流泄漏的两种直接方法。

提高走行轨对地绝缘电阻值，目的就是让牵引电流尽可能多地沿走行轨流回牵引变电所的负极，而尽量减少其向外泄漏。回流轨与地之间的绝缘电阻要足够大，以控制和减小杂散电流产生的根源，隔离所有可能的杂散电流泄漏途径，这就是“防”。具体的措施是：

- 1) 合理设置牵引变电所，牵引变电所间距不宜过长。
- 2) 牵引网采用双边供电。
- 3) 加强走行轨对地绝缘。主要有在走行轨下设置绝缘垫、让走行轨对地保持一定间隙、合理设置道床排水沟、合理设置道床混凝土四种方法。
- 4) 降低走行轨的电阻值，保持牵引回流通路顺畅。
- 5) 重视日常运营维护。定期清扫线路；及时消除道床积水及积雪，保持道床清洁干燥；根据杂散电流监测系统的报警信息，及时处理线路异常现象。

(2) 以排为辅 对于新建的城市轨道交通工程，通过加强走行轨对地绝缘及保证牵引回流畅通，可以有效减少杂散电流产生，但随着运行时间的推移，走行轨对地绝缘水平会下降，杂散电流会超标，此时可考虑投入排流装置。因此，在工程建设时适当设置合理的杂散电流收集网及排流装置，以便在必要时将杂散电流引回牵引变电所的负极。

还可考虑设置杂散电流的收集系统。此收集系统主要是针对运营期间，当先期防护措施逐渐失效或由于渗水等因素造成杂散电流超标时而采取的应急防护措施。其目的在于收集由走行轨泄漏出的杂散电流，并通过收集网将杂散电流引导至牵引变电所的负极，防止杂散电流过多地流向主体结构钢筋和其他金属导体。具体做法就是在走行轨下混凝土整体道床内敷设网状钢筋，纵向连通，形成杂散电流的收集网，以建立一条低阻抗的杂散电流收集、排放通路。将隧道内区间及车站每个结构段的内表层结构钢筋通过焊接形成杂散电流综合监测网（也可作为杂散电流的辅助收集网）。

一般在正线牵引变电所内设置杂散电流排流柜，排流柜的一端通过电缆与牵引变电所负极柜相连接，另一端与收集网的排流端子相连接。排流柜能有效地防止杂散电流对高架现浇混凝土简支箱梁内钢筋、隧道内结构钢筋、整体道床结构钢筋以及沿线金属设备的电腐蚀破坏，同时可防止杂散电流向轨道交通外部泄漏，是保护轨道交通地下公共环境的有效方法。

负极柜的负母线与杂散电流防护收集网之间的杂散电流排流二极管支路是排流柜的主要工作电路。每个二极管支路由二极管、熔断器、分流器和变阻器串联组成，每个智能排流柜是为地铁（轻轨）减少杂散电流造成的金属结构电化学腐蚀而设计的专用设备。它采用极

性排流的原理，即只有当需排流的金属结构相对于钢轨的负母线电位为正时，才有电流通过，把轨道上泄漏到金属结构上的杂散电流直接排到钢轨的负母线上，从而减少杂散电流的腐蚀。排流柜主电路的核心元件为硅二极管，利用二极管正向导通反向截止的特性，实现了杂散电流的极性排流。除了主电路外，排流柜另配有保护和检测电路。检测电路由一单片机控制系统来控制，可以采集排流柜的工作电压、工作电流以及主回路的故障状态，实时检测排流柜的工作状态以及各个主器件的工作情况，在控制器面板上显示，并通过远程故障输出系统把故障的触点信号远传到控制室内，同时排流柜的控制系统配备有标准的 RS485 接口，可以与其他监控系统连接。

(3) 加强监测 设置杂散电流监测系统对杂散电流进行实时监测，一旦发现杂散电流过高则采取一定的对策来减轻其危害。

杂散电流监测系统由参考电极、道床收集网测试端子、隧道收集网测试端子、传感器、测试电缆及杂散电流综合测试装置构成。监测系统监测车站、区间内每个监测点的结构钢筋极化电位，从而判断结构钢筋的腐蚀状态，以便在杂散电流没有产生较大危害时采取相应的措施保障地铁系统的安全。

杂散电流的监测方式有集中式杂散电流监测、分散式杂散电流监测、分布式杂散电流监测三种。

1) 集中式杂散电流监测系统由参考电极、传感器、信号转接器、监测装置、微机管理系统组成。图 1-6 为集中式杂散电流监测系统的结构示意图。集中式杂散电流监测系统智能化程度较高，所测数据精确度也较高，但扩展性差。监测范围受通信距离的限制，最远只能达到 20km，根据目前地铁发展情况看，远远不能达到要求，并且在地铁线延伸时，无法进行系统的扩展。

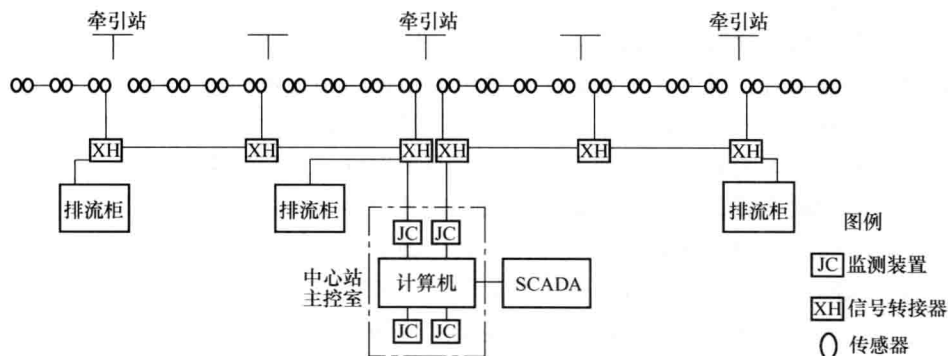


图 1-6 集中式杂散电流监测系统的结构示意图

2) 分散式杂散电流监测系统由参比电极、接线盒、信号测量电缆、测试箱、综合测试装置和微机管理系统组成，其结构示意图如图 1-7 所示。由于监测点测量导线的截面积不应小于  $2.5\text{mm}^2$ ，长度不宜超过 10m，因此利用该方法监测，轨道交通沿线必须敷设大量的电缆，这样不仅荷载增加（对高架区段），而且有碍美观，造成不必要的浪费。更值得引起重视的是，模拟量传输距离太长，远远超过规程规定的要求，有碍精确数据的采集，给杂散电流腐蚀防护系统的日常维护带来不便。

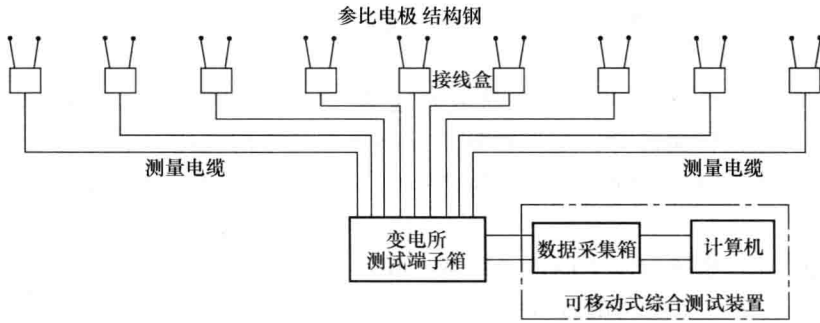


图 1-7 分散式杂散电流监测系统的结构示意图

3) 分布式杂散电流监测系统由传感器、监测装置、微机管理系统组成，其结构示意图如图 1-8 所示。

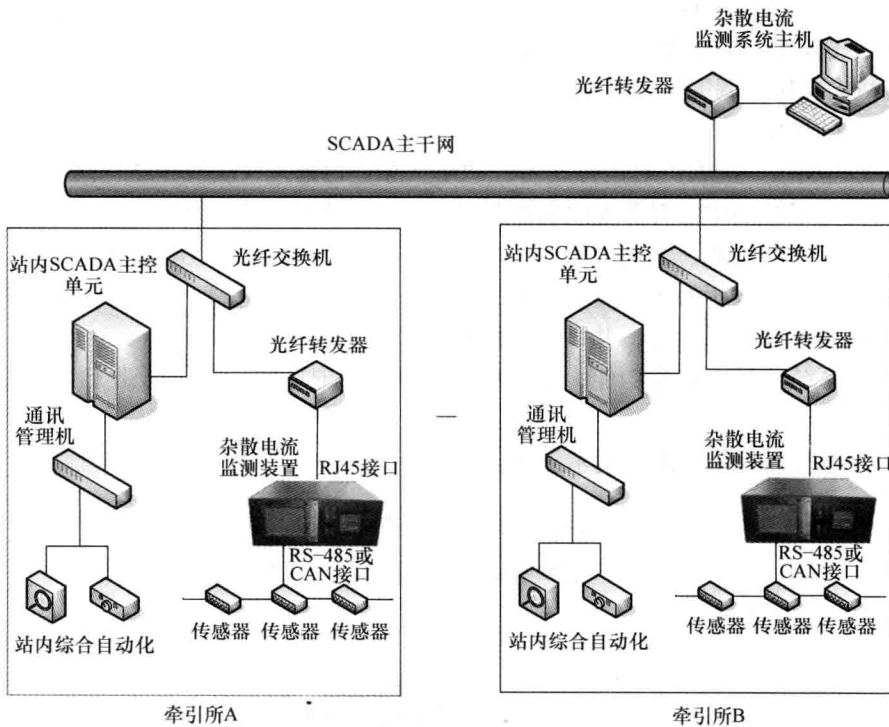


图 1-8 分布式杂散电流监测系统的结构示意图

分布式杂散电流监测系统采用按供电分区监测、集中管理的方案，即在每一个供电分区内设置一个子系统（包括传感器、监测装置和排流柜），每个子系统的监测装置接入牵引所的光纤交换机，借用 SCADA 系统（或通信系统）的通信通道，与设置在监控中心（或供电车间）的杂散电流监控主机通信。

杂散电流监测装置和 SCADA 系统的站内通信管理机处于相同的地位，均是在主干网上。监测装置和 SCADA 系统共享主干网的物理通信信道。监测装置和上位机之间的通信一般情况下在半点或整点时间发生，由于通信数据量并不大，因此不会影响 SCADA 系统的正常运行。

由于通信只发生在监测装置和上位机之间，故不会产生诸如病毒、受到攻击等安全问题。

## 6. 电力监控系统

电力监控系统又称电力 SCADA 系统或者运动系统，往往简称 SCADA 系统，是贯穿于整个供电系统的监视控制部分，是控制技术在电力系统中的应用。电力监控系统由控制中心、通信通道和被控制站系统组成，对全线路的变电所及沿线的供电设备实行集中监视、控制和测量。

典型的电力监控系统由以下四部分组成：位于控制中心的电力调度中心主站系统（即中央监控系统）、位于变电所的远程终端（RTU，即变电所综合自动化系统）、通信网络、位于供电维修基地的供电复示系统。

电力调度中心主站系统通过设置在变电所的 RTU 采集处理数据，并通过通信网络将信息传送至电力调度中心的电力监控系统服务器，从而实现电力系统的遥控、遥信、遥测功能。

遥控功能有以下三种操作方式：

- 1) 选点式操作，即单控。调度员可根据站名、开关号以及动作状态进行选择操作。
- 2) 选站式操作。调度员通过对所控站名、动作状态的选择，按系统的运行方式发出指令，进行停送电操作。
- 3) 选线式操作。调度员对运行线名、动作状态进行选择，实现全线停送电操作。

遥测功能是指控制中心对各变电所的量值遥测。遥测的主要参数包括进线、母线、馈线的电压、电流、有功电能、无功电能、有功功率、无功功率及主变压器温度等。

遥信功能是指变电所的各种实时信息，包括断路器开关的位置、保护信号和预告信号，通过通信网络传输到控制中心，并显示在模拟屏上。

电力监控系统还具有自检功能、显示功能、数据处理功能、打印功能、汉字功能、口令功能和培训功能。

图 1-9 为电力监控系统的结构示意图。

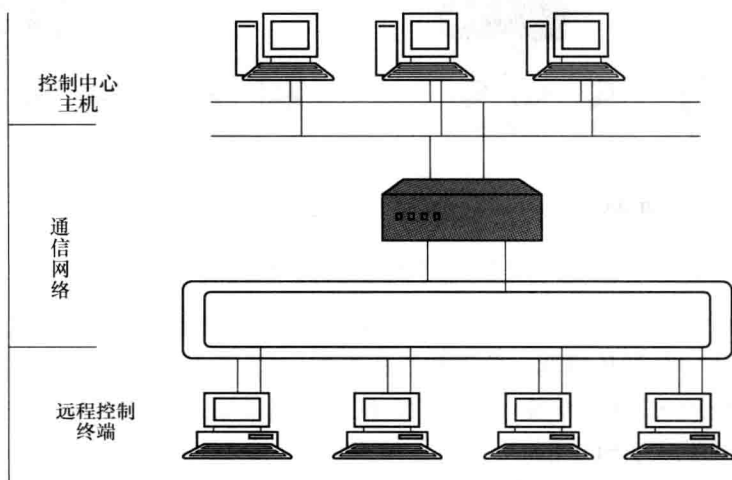


图 1-9 电力监控系统的结构示意图



## 二、城市轨道交通供电系统的功能

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通运营的动力源泉，它不但要为城市轨道交通的电动列车提供牵引供电，还要为城市轨道交通运营服务的其他设施提供电能。它应具备安全、可靠、调度方便、技术先进、功能齐全、经济合理的特点，还应具有以下功能。

### 1. 全方位的供电服务功能

城市轨道交通供电系统是为城市轨道交通运营服务的，其职责是保证所有电气用户能安全、可靠地用电。它不仅要为运送旅客的电动车辆供电，还要为保证旅客在旅行中有良好卫生环境和秩序的通风换气、空调设施、自动扶梯、自动售检票机、屏蔽门、排水泵、排污泵、通信信号、消防设施和各种照明设备供电。在城市轨道交通庞大的用电群体中，用电设备有不同的电压等级、不同的电压制式，既有固定的风机、水泵等设备，也有时刻变化着的电动列车，供电系统都要能满足这些不同用途的用电设备对电源的要求，使城市轨道交通系统中的每种设备都能发挥各自的功能和作用，保证城市轨道交通系统能够安全、可靠地运营。

### 2. 故障自救功能

无论供电系统如何构成，采用什么样的设备，安全、可靠地供电总是放在首位的。在系统中发生任何一种故障，系统本身都应该有备用措施（接触网故障除外）来保证城市轨道交通系统的正常运营。城市轨道交通供电系统的电源采用以双电源为主的原则，当一路电源故障时，另一路电源应能保证系统的正常供电。如城市轨道交通的变电所都采用双电源、双机组供电；动力照明的一、二级负荷都采用双电源、双回路供电；牵引网同一供电分区采用双边供电（双电源供电）方式，当一座牵引变电所因故障解列时，可以靠两个相邻变电所的过负荷能力对牵引网进行大双边供电，保证电动列车可以照常运行。这些都是系统故障自救功能的体现。

### 3. 自我保护功能

系统应有完善、协调的保护措施，供电系统的各级继电保护应相互配合和协调，当系统发生故障时，应该只切除故障部分的设备，从而缩小故障的范围。系统的各级保护应该满足可靠性、灵敏性、速动性、选择性的要求。对牵引供电系统而言，为了保证旅客的安全，保护的速动性是放在首位的，其保护的 principle 是“宁可误动作，也不可不动作”。误动作可以用自动重合闸校正，而不动作则很危险，因为直流电弧在不切断电源时可以长时间维持燃烧，从而对旅客安全产生严重威胁。城市轨道交通供电系统采用分散式供电的中压交流侧保护，应和城市电网的保护相配合和协调，因此其保护选择性会受到一定的制约。

### 4. 防误操作功能

系统中任何一个环节的操作都应有相应的联锁条件，不允许因误操作而导致发生故障。尤其是各种隔离开关或手车式开关的隔离触头，都不允许带负荷操作。防止误操作的联锁条件可以是机械的，也可以是电气的，还可以是电气设备本身所具备的或是在操作规程和程序上严格规定的。防止误操作，是使系统安全、可靠地运行所不可缺少的环节。

### 5. 方便灵活的调度功能

系统应能在控制中心进行集中控制、监视和测量，并应能根据运行需要，方便灵活地进行调度，变更运行方式，分配负荷潮流，使系统的运行更加经济合理。当系统发生故障而使

一路或两路电源退出运行时,为保证地铁列车的正常运行,电力调度可以对供电分区进行调度和调整,以达到安全可靠、经济运行的目的。

#### 6. 完善的控制、显示和计量功能

系统应能进行就地和距离控制,并可以分别进行操作转换,系统各环节的运行状态应有明确的显示,使运行人员一目了然。各种信号显示应明确,事故信号、预告信号应分别显示。各种电量的测量和电能的计量应准确,并便于运行人员查证和分析,牵引用电和动力照明用电应分别计量,以利于对用电指标进行考核与经济分析。在控制中心应能实现对整个供电系统进行控制、信号显示、各种量值的计量统计。

#### 7. 电磁兼容功能

城市轨道交通处于强电、弱电多个系统共存的电磁环境,为了使各种设备或系统在这个环境中能正常工作且不对该环境中其他设备、装置或系统构成不能承受的电磁干扰,各种电气和电子设备的系统内部以及和其他系统之间的电磁兼容就显得尤为重要。供电系统及其设备在城市轨道交通这个电磁环境中,首先是作为电磁干扰源存在的,同时也是敏感设备。在城市轨道交通电磁环境中,供电系统与其他设备、装置或系统应是电磁兼容的。在技术上应采取的措施,抑制干扰源,消除或减弱电磁耦合,提高敏感设备的抗干扰能力,使城市轨道交通的各系统电磁兼容,以保证城市轨道交通系统能安全可靠地运行。

## 第二节 城市轨道交通供电系统的供电制式

城市轨道交通供电系统的供电制式是指供电系统向电动车辆或电力机车供电所采用的方式,主要包括电流制式、电压等级和馈电方式。

城市轨道交通的牵引供电系统几乎毫无例外地都采用较低电压等级的直流供电制式。采用直流供电制式的原因主要有以下几点:

- 1) 由于直流制供电无电抗压降,因而比交流制供电的电压损失小。
- 2) 电网的供电范围(距离)、电动车辆的功率都不大,均不需太高的供电电压。
- 3) 城市轨道交通和地铁的供电线路都处在城市建筑群之间,供电电压不宜过高,以确保安全。
- 4) 直流制供电的对象,即早期使用的直流牵引电动机和近期采用的变频调速异步牵引电动机均具有良好的起动和调速特性,可充分满足电动车辆牵引特性的要求。

基于上述原因,世界各国城市轨道交通的供电电压均在550~1500V之间,其中间档级很多,这是由各种不同交通形式、不同发展历史时期造成的。现国际电工委员会拟定的电压标准为600V、750V、1500V三种,后两种电压为推荐值。我国国家标准亦规定为750V和1500V,不推荐600V电压等级。

我国北京地铁采用的是750V直流供电电压,上海地铁、广州地铁、深圳地铁等均采用的是1500V直流供电电压。究竟应选择哪种电压等级,这涉及供电系统的技术经济指标、供电质量、运输的客流密度、供电距离、车辆的选型等,必须根据各城市的具体条件和要求,通过综合技术论证后决定。

近年来,由于交流变频调速技术的发展,车辆的牵引电动机已逐步采用结构简单、运行可靠、价格低廉的笼型交流异步电动机替代原先的直流电动机。在城市轨道交通中采用交流



变频调速异步牵引电动机是一项新技术，也是牵引动力的发展方向，具有非常广阔的发展前景。通常采用的是“交—直—交（AC—DC—AC）”变频调速方式，尽管在电动车辆上采用的是交流异步电动机，但其接触网架线供电电压还是直流的。从供电的角度分析，仍然还可认为是属于直流供电制式的扩大运用范畴。

牵引网的馈电方式有架空接触网和接触轨两种方式。电压等级与馈电方式是牵引网供电制式的关键点，两者密切相关。对于一个具体的城市，电压等级与馈电方式的选择，应该结合起来，统一考虑。我国牵引网供电制式可以选择以下四种方式：直流 1500V 架空接触网、直流 1500V 接触轨、直流 750V 架空接触网、直流 750V 接触轨。我国北京地铁 1 号线一期工程、北京地铁 13 号线、天津地铁一期工程等都采用了直流 750 V 接触轨形式。上海地铁 1、2 号线，广州地铁 1 号线，南京地铁，深圳地铁一期工程等则采用了直流 1500V 架空接触网形式，长春轻轨采用了直流 750V 架空接触网形式，广州地铁 4 号线大学城段、深圳地铁 3 号线则采用了直流 1500V 接触轨形式。

#### 【习题训练】

1. 城市轨道交通供电系统由哪几部分组成？各组成部分有何作用？
2. 城市轨道交通供电系统有何功能？
3. 目前城市轨道交通供电系统采用何种供电制式？为什么？
4. 什么是杂散电流？杂散电流形成的根本原因是什么？如何防护？