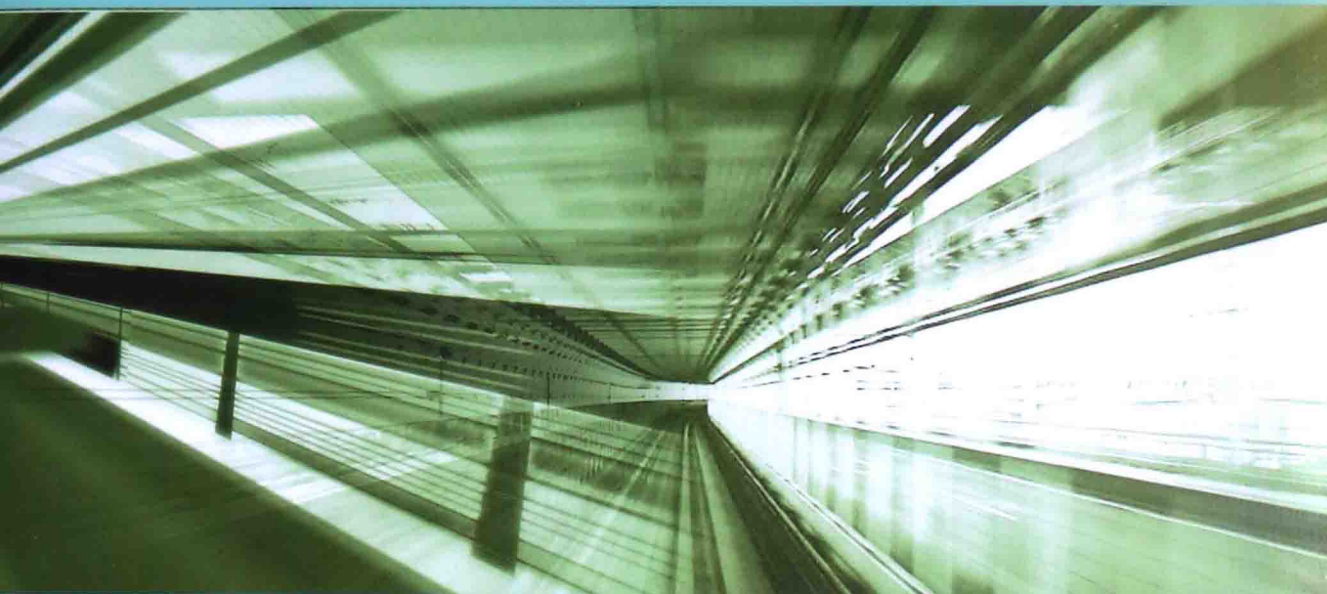




普通高等教育“十二五”规划教材



城市轨道交通 供电系统

李亚宁 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

城市轨道交通 供电系统

李亚宁 编
张友鹏 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书针对城市轨道交通供电系统的特点,对基础理论、常见设备、系统结构及运行等方面进行了全面介绍。本书共分十二章,主要内容包括外部电源、变电所常用设备、变电所主接线基本形式、主变电所、中压网络、牵引变电所、降压变电所、接触轨、杂散电流的腐蚀防护、变电所平面布置图和牵引供电计算等。

本书可作为普通高等工科院校城市轨道交通供电相关专业的教材,也可供高职高专院校相关专业师生和从事轨道交通供电工作的相关技术人员、管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通供电系统/李亚宁编. —北京:中国电力出版社, 2014. 10

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-6561-2

I. ①城… II. ①李… III. ①城市铁路—供电系统—高等教育—职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 230053 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 10 月第一版 2014 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10 印张 241 千字

定价 23.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

作为解决城市交通拥挤的有效途径，城市轨道交通得到了迅猛发展。供电系统作为城市轨道交通的重要组成部分，大量采用先进技术与新型设备，逐步实现监控自动化、远动化、运行管理智能化、性能检测及故障诊断现代化。因而对广大城市轨道交通供电系统运行维护人员，在知识上、技能上提出了更高的要求。

编者结合轨道交通供电系统的实际情况，以轨道交通供电系统新技术、新设备技术资料为依据，紧扣国家普通高等院校本科城市轨道交通供电系统教学大纲要求，结合目前高等人才培养模式和学生就业的需要，充分考虑普通高等院校学生的基础实际，在多年课程教学实践的基础上编写了本教材。

本书在内容编排上，注重理论与实践相结合，旨在拓展学生的实践能力。本书针对城市轨道交通供电系统的特点，对基础理论、常见设备、系统结构及运行等方面进行了全面介绍。本书共十二章，主要内容包括外部电源、变电所常用设备、变电所主接线基本形式、主变电所、中压网络、牵引变电所、降压变电所、接触轨、杂散电流的腐蚀防护、变电所平面布置图和牵引供电计算等。

本书由兰州交通大学李亚宁编写，兰州交通大学张友鹏教授主审。

限于编者水平和经验，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014年9月

目 录

前言	
1 概述	1
1.1 城市轨道交通概述	1
1.2 城市轨道交通的分类	4
1.3 供电系统功能	6
1.4 供电系统构成	8
1.5 牵引网供电制式	9
习题	10
2 外部电源	11
2.1 外部电源方案的形式	11
2.2 集中和分散两种供电方式的比较	13
2.3 电源外线的设计原则	15
2.4 谐波的分析及治理	16
习题	18
3 变电所的主要电气设备	19
3.1 变电所电气设备的分类	19
3.2 变压器与整流机组	20
3.3 高压开关设备	24
3.4 互感器	31
3.5 避雷装置	36
3.6 成套设备	39
习题	41
4 变电所的电气主接线	43
4.1 概述	43
4.2 电气主接线基本形式	46
习题	50
5 主变电所	51
5.1 所址选择	51
5.2 电气主接线	52
5.3 主变压器选择	57
5.4 主变压器中性点接地方式	59
习题	60
6 中压网络	61
6.1 中压网络的电压等级	61

6.2	电压等级与不同供电方式中压供电网络的关系	64
6.3	中压网络的构成	65
6.4	典型中压网络实例	72
6.5	供电系统的运行方式	75
	习题	78
7	牵引变电所	79
7.1	城市轨道交通牵引变电所概述	79
7.2	牵引变电所的设计原则	79
7.3	牵引变电所的设置	80
7.4	牵引变电所主接线及运行方式	82
	习题	90
8	降压变电所	91
8.1	概述	91
8.2	降压变电所设置	91
8.3	降压变电所主接线	94
8.4	降压变电所变压器的选择	101
8.5	变压器容量计算	102
8.6	短路电流的计算	109
	习题	113
9	接触轨	114
9.1	城市轨道交通牵引供电系统接触网的类型	114
9.2	接触轨	117
9.3	授流方式	118
	习题	119
10	杂散电流腐蚀防护	120
10.1	杂散电流的产生、腐蚀及危害	120
10.2	杂散电流分布的一般规律	124
10.3	杂散电流腐蚀防护措施	128
	习题	134
11	变电所平面布置图	136
11.1	变电所平面布置的总体要求	136
11.2	变电所设备布置	137
	习题	143
12	供电计算	144
12.1	牵引供电计算	144
12.2	短路电流的计算	148
	习题	152
	参考文献	153

1 概 述

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通运营的动力源泉,负责电能的供应与传输,提供牵引电动列车所需的电能及车站、区间、车辆段、控制中心等其他建筑物所需要的动力照明用电。供电系统应具有安全性和可靠性,以保障供电。本章在介绍城市轨道交通供电系统之前,先对城市轨道交通发展情况进行简单介绍。主要内容包括:城市轨道交通概述;城市轨道交通的分类;供电系统功能;供电系统构成;牵引网供电制式。

1.1 城市轨道交通概述

1.1.1 城市轨道交通的定义和特点

1. 城市轨道交通的定义

城市轨道交通是采用轨道结构进行承重和导向的车辆运输系统,依据城市交通规划的总体规则和要求,设置全封闭或部分封闭的专业轨道线路,以列车或单车形式运送相当规模客流量的公共交通方式。

2. 城市轨道交通的特点

城市轨道交通与城市道路交通相比,具有以下特点:

(1) 安全。城市轨道交通因为有运量大的特点,人们在设计、建设、管理及资金的投入等方面对城市轨道交通的安全特别重视。

(2) 快捷。城市轨道交通不受地面环境影响。

(3) 准时。城市轨道交通在其专用的轨道上行驶,一般都会正常准时运营。

(4) 舒适。城市轨道交通由于运行在不受其他交通工具干扰的线路上,城市轨道交通车辆具有较好的运行特性,车辆、车站等装有空调、引导装置、自动售票等直接为乘客服务的设备,城市轨道交通具有较好的乘车条件,其舒适性优于公共电车、公共汽车。

(5) 运量大。城市轨道交通的车厢空间大,一列地铁可载 2000 人以上。地铁单向最大高峰小时客流量达到 3 万~7 万人次,甚至达到 8 万人次。轻轨单向最大高峰小时客流量达到 1 万~3 万人次。

(6) 无污染(或少污染)。城市轨道交通由于采用电气牵引,与公共汽车相比不产生废气污染。由于城市轨道交通的发展,还能减少公共汽车的数量,进一步减少了汽车的废气污染。由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施,一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。因此,又称之为绿色交通。

(7) 占地少,不破坏地面景观。城市轨道交通的线路主要在地下,占用城市地面面积小,不会破坏地面景观。

1.1.2 城市轨道交通的发展

1. 国外城市轨道交通的发展

(1) 发展简史。

1863年,世界上第一条用蒸汽机车牵引的地下铁路线路在英国伦敦建成通车,当时还没有电车和电灯,至今已经有150多年。城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致分为以下几个阶段:

第一阶段为初步发展阶段(1863—1924年)。在这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快,有13个城市建立了地铁,还有许多城市建立了有轨电车。

第二阶段为停滞萎缩阶段(1924—1949年)。第二次世界大战的爆发和汽车工业的发展,私人汽车成为主流交通工具。而轨道交通因投资大,建设周期长,一度失宠,在这一阶段只有五个城市发展了城市地铁,有轨电车的发展停滞不前。城市轨道交通处于停滞和萎缩阶段。

第三阶段为再发展阶段(1949—1969年)。汽车工业发展的弊端使轨道交通重新得到重视,而且从欧美逐步扩展到日本、中国、韩国、巴西、伊朗、埃及等国,这期间有17个城市新建立了地铁。

第四阶段为高速发展阶段(1970年至今)。1970年以后,地铁发展更快。据2005年日本地下铁道协会统计,全世界有142个城市拥有城市轨道交通系统,其中112个城市拥有8227km地铁线路。排名前十的城市依次是巴黎、纽约、伦敦、首尔、莫斯科、东京、芝加哥、柏林、波士顿、旧金山。其中,巴黎、纽约、伦敦均在400km以上。截止到2007年底,我国上海城市轨道交通运营线路已有236km,跃居世界第七位。

(2) 城市轨道交通供电系统发展现状。国外城市轨道交通供电系统发展现状见表1-1。

表 1-1 国外主要城市轨道交通供电系统现状

序号	国家名称	城市名称	轨道交通供电系统概况
1	新加坡	新加坡	新加坡地铁于1987年建成通车,线路全长67km,全线有4座高压电站,电压为63kV/22kV,三路输入,故障时只要有一路供电,即可满足全部负荷用电。电压为22kV/557V两级,经整流后三轨额定电压为750V。采用目前处于世界最高水平的综合监控系统,该系统集成了自动列车控制、自动列车保护、设备监控等系统
2	日本	神户	日本神户地铁于1987年建成通车,线路全长22.7km,加上北神线7.5km与之贯通运行,共计30.2km。全线设变电所8个,从电力公司引入22~77kV交流高压电源,接触网供电电压为1500V
3	法国	巴黎	巴黎地铁于1900年建成通车,巴黎市中心线路总长为215km,共384座车站。巴黎地铁供电系统的发展,经历了两个阶段。20世纪50年代前为第一阶段,当时供电方式比较陈旧,采用分散供电方式,从市区供电系统引入10kV的中压电,再通过30多座牵引变电站,供给列车牵引用电和各种辅助用电,均为人工操作,工作繁重。第二阶段从20世纪50年代后开始,采用集中供电方式,共设6座高压变电站,由国家直接供电,国家电网的11座变电站供给63kV的双路电源,4座高压站供给255kV的双路进线电源,提高了供电可靠性 巴黎地铁的6座高压变电站分别将63kV和255kV降至15kV,每座高压变电站均为A、B互相独立的两部分组成,而且互为备用电源。在每座高压变电站还装有1765kW柴油发电机组和5.5kV/15kV的升压变压器,这些设备可在A、B两部分都发生故障的情况下,自动或遥控启动

续表

序号	国家名称	城市名称	轨道交通供电系统概况
4	意大利	米兰	米兰地铁于 1955 年开始修建, 1964 年开始启用, 现今运营中的线路共有 4 条, 分别是米兰地铁一号线 (M1 线)、米兰地铁二号线 (M2 线)、米兰地铁三号线 (M3 线) 和米兰地铁五号线 (M5 线), 全长 92km。主要电源来自米兰市政电力负责的 28 座地方 (23kV) 变电站, 米兰市运输部门负责变电站电压转换 (一线 750V, 二线和三线 1500V), 米兰市铁路线馈电通过高速开关的直流方式转换。在每座变电站安装 6000kW 额定输出。整个电力系统由电力中心 (QCE) 通过遥控监测系统控制
5	俄罗斯	莫斯科	莫斯科地铁 1931 年开始兴建, 1935 年 5 月开通, 目前已拥有 9 条运营线路 (即八线一环), 全长 277.9km。莫斯科地下铁道牵引供电全部采用直流 750V 接触轨下部授流。基本上每个车站都设有整流牵引变电站, 各整流牵引变电站分别从地方引入 10kV 电源, 在整流牵引站内由 10kV 干式变压器降压, 经三相全波整流 (硅整流器), 输出电压为 825V, 供牵引电机用电
6	加拿大	温哥华	加拿大温哥华市于 1982 年开始动工建造先进轻轨快速交通系统, 简称为 ALRT 系统, 1989 年全部建成。系统全长 29km, 该系统是目前世界上最长的一条全自动化快速轨道交通系统, 不仅具有先进的科学技术, 而且有严格的管理手段, 从而成为温哥华地区的客运交通骨干
7	墨西哥	墨西哥城	墨西哥城地铁的电源取自中央电力与照明股份有限公司, 供电的正常电压是 23kV。动力照明变电站: 在线路的每个终端设 2 座变电站, 一个是正常运行变电站, 另一个是“应急”变电站, 两座变电站由自动转换开关控制。整流变电站: 是向地铁列车的牵引系统供电, 每个整流变电站的整流能力为 4000kW, 设双套供电装置, 可自动切换以保证连续、安全供电。牵引网电压 750V, 电通过与该站相连接的导电轨传送, 走行轨和导向轨作为电流的回路。配电网: 23kV 网的配电系统采用的是三相三线制。自动转换开关由 3 个装置组合而成, 配电网各种设备的最大设计导电能力为 400A。电力控制中心: 设在中央控制大楼内, 可以对整流变电站及动力和照明开关进行遥控操作, 可查出这些设备上的故障及其位置, 并发出相应的信号。车站及区间的照明和动力: 每个站区建有 2 座变电站, 即第一变电站和第二变电站
8	日本	横滨	日本横滨轻轨新交通系统全长 10.6km (上下行双线)。全线供电系统采用了由中心调度所集中监控的方式, 各变电所、配电室都无人值守。在车辆段设有一座大的变电站, 用两路以 63kV 的高压引入东京电网电力, 然后用 7500kVA 变压器降压到 6.6kV, 用两路送到各变电所和配电室。这座变电站还设有一个 625kVA 的柴油发电机, 在非常紧急时由电力管理系统控制, 供给各站和运行中心调度所等地的重要负荷。接触网供电方式采用侧面三轨授电方式, 电压为直流 750V
9	日本	东京	东京地铁于 1927 年通车, 现有 13 条线路, 总长 292.6km, 共 274 座车站。牵引供电取自东京电网, 两路电源, 一路 22kV, 另一路 63kV。全线 51 座变电所, 在 600V 区段供电距离为 2km, 在 1500V 区段供电距离为 3.6km, 通过硅整流器变换成 D C600V 或 D C1500V, 馈至接触轨或架空接触网, 目前在所有线路上除 2 条线路是三轨授电方式外, 其余 5 条均是架空接触网式

续表

序号	国家名称	城市名称	轨道交通供电系统概况
10	匈牙利	布达佩斯	布达佩斯地铁始建于1896年,现在运营的线路总长30.8km。供电系统的特点:正常供电为一路进线,变电站采用多机组。另外设置二路备用电源进线,并通过2条电缆连接全线所有变电站。照明备用电源为蓄电池。牵引网电压采用DC750V,接触轨上部供电。地铁牵引整流站,绝大部分设于地下

2. 国内城市轨道交通发展

1908年上海第一条有轨电车线路建成,由静安寺行驶至外滩,全长6.04km,这是我国最早的城市公共交通。

由于历史原因,我国的城市轨道交通建设起步较晚,我国城市轨道交通始于北京地铁建设。北京地铁一期工程1965年开工,1969年建成通车。直到20世纪80年代,中国城市仅有北京地铁40km,天津地铁7.6km。之后在上海、广州、武汉、长春、大连、深圳、重庆、南京等城市有了城市轨道交通,杭州、沈阳、成都、哈尔滨、西安、厦门、苏州、青岛、东莞、宁波、佛山、石家庄、郑州、长沙、兰州等33个城市正在建设、筹建或规划中。

武汉、天津、大连等城市建成了连接市中心区的快速轻轨交通系统;长春、大连进行了有轨电车交通的现代化改造;重庆建成了我国第1条用于城市轨道交通的跨座式单轨交通系统;上海浦东龙阳路至浦东机场开通了磁悬浮高速线;广州和北京已建成或正在建设直线电机驱动的城轨车辆交通线路;北京机场内正在建设全自动化的新交通系统(APM)等。

进入20世纪90年代以来,我国城市轨道交通进入了一个快速发展期,建设规模之大是世界城市轨道交通发展史上少有的,凸显了后发之势。目前,我国的城市轨道交通进入了大规模建设的高峰时期。

进入21世纪以来,随着大城市交通问题的日益突出,大力发展城市轨道交通已成共识。城市轨道交通的建设也进入了新的高潮期,发展态势更为迅猛,全国48个百万人以上的大城市中已有30多个城市开展了城市轨道交通的建设和筹建工作,据有关课题组初步统计,近期规划建设55条线路,长约1700km,总投资达到6000多亿元,远期线网总长将超过3000km。

1.2 城市轨道交通的分类

城市轨道交通包括地铁、轻轨、独轨、城市铁路、城市有轨电车、新交通系统等。

(1) 地铁。地铁是一种大运量的轨道交通运输系统。单向高峰小时客运量为3万~7万人次。平均运营速度为30~40km/h,站间距离一般为1.0~1.8km,在市区外宜用2km。采用钢轮钢轨体系,标准轨距为1435mm。地铁主要在隧道中运行,也可穿出地面,在地上和高架桥上运行。地铁的特征是运量大,建设费用大,周期长,成本回收慢。图1-1和图1-2所示分别为东京地铁和哥本哈根地铁。



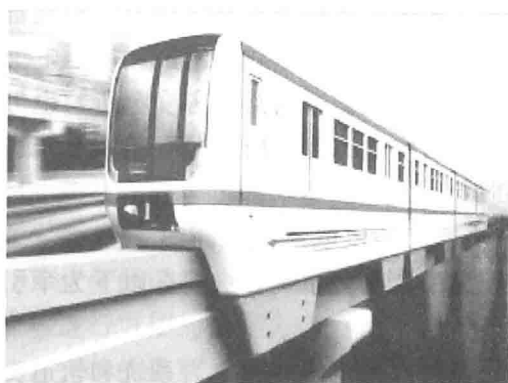
图 1-1 东京地铁



图 1-2 哥本哈根地铁

(2) 轻轨。轻轨是一种中运量的轨道交通运输系统。单向高峰小时客运量为 1 万~3 万人次。平均运营速度是 20~30km/h，站间距离一般为 1.0~1.6km。采用钢轮钢轨体系，标准轨距为 1435mm。主要在地面或高架桥上运行，也可在地下运行。

(3) 独轨。独轨交通也称独轨铁道，是指车辆在一根轨道上运行的一种轨道交通系统。通常分为跨座式和悬挂式两种，如图 1-3 所示。跨座式是车辆跨坐在轨道梁上行驶，悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶。



(a)



(b)

图 1-3 独轨交通

(a) 跨座式；(b) 悬挂式

独轨交通的优点是：①独轨铁路线路，占地小，可充分利用城市空间，适宜于在大城市的繁华中心区建线，对城市景观及日照影响小；②独轨线路构造较简单，建设费用低，为地铁的 1/3 左右；③能实现大坡度和小曲线半径运行，可绕行城市的建筑物。

独轨交通的缺点是能耗大、运能较小、道岔结构复杂、笨重等。

(4) 城市铁路。所谓城市铁路，指的是建在城市内部或内外结合部，线路设施与干线铁路基本相同，服务对象以城市公共交通客流，即短途、通勤旅客为主，而不是如干线铁路一样承担城际或省际的客货交流任务。通常把城市铁路分成两部分：

1) 市郊铁路：主要指把城市与郊区连接在一起的铁路，一般和干线铁路没有联络线，而且设备与干线铁路相同，线路大多控在地面，其运行特点接近干线铁路，只是服务对象



图 1-4 有轨电车

不同。

2) 城市快速铁路: 通常指运营在城市中心, 包括近郊城市化地区的轨道交通系统, 其线路采用电气化, 运行速度为 $40\sim 50\text{km/h}$, 与地面交通大多采用立体交叉。

市郊铁路是城市铁路的主要形式。

(5) 城市有轨电车。新型有轨电车是介于公共汽车与地铁间的一种低运量的轨道交通系统。有轨电车通常采用地面线, 有时有隔离的专用路基和轨道, 隧道或高架区间仅在交通拥挤的地带才被采用。

1.3 供电系统功能

1.3.1 供电系统概述

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通的动力能源, 一般包括牵引供电系统、动力照明供电系统和高压电源系统。牵引供电系统供给电动车辆运行的电能, 由牵引变电所和接触网组成。动力照明供电系统提供车站和区间各类照明, 扶梯、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源, 由降压变电所和动力照明配电线路组成。高压电源系统要视各城市情况而定, 它可以是城市市电直接供给城市轨道交通线路的各变电所, 也可以由城市高压供电线路集中供电给城市轨道交通线路, 然后由电源变电所再分配给城市轨道交通沿线各变电所, 还可以是这两种情况的综合。

图 1-5 所示为城市电网一次电力系统和城市轨道交通供电系统图。图 1-5 中, 虚线 1 以上为电网高电压电力系统, 虚线 1 和虚线 2 之间为中压电力系统, 虚线 2 以下为牵引供电系统。

城市轨道交通的供电电源一般取自城市电网, 通过城市电网一次电力系统和轨道交通供电系统实现输送或变换, 最后以适当的电压等级和一定的电流形式(直流或交流电)供给用电系统。

城市电网一次电力系统由国家电力部门建造与管理, 它包括发电厂、传输线和区域变电所。发电厂是发出电能的中心, 一般可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能核电厂等。发电厂的发电机发出的电能, 要先经过升压变压器升高电压, 然后以 110kV 、 220kV 或更高的电压, 通过三相传输线输送到区域变电所。在区域变电所中, 电能先经过降压变压器把 110kV 或 220kV 的高压降低等级(如 10kV 或 35kV), 再经过三相输电线输送给本区域内的牵引变电所和降压变电所, 并再降为城市轨道交通所需的电压等级(如 1500V 、 380V 等)。

在地铁供电系统中, 根据实际需要, 也可以专设高压主变电所。发电厂或区域变电所对城市轨道交通主变电所供电, 经主变电所降压后, 分别以不同的电压等级对牵引变电所和降压变电所供电。

1.3.2 系统总体功能

(1) 全方位的供电服务功能。系统应保证城市轨道交通所有电气用户安全可靠地用电。

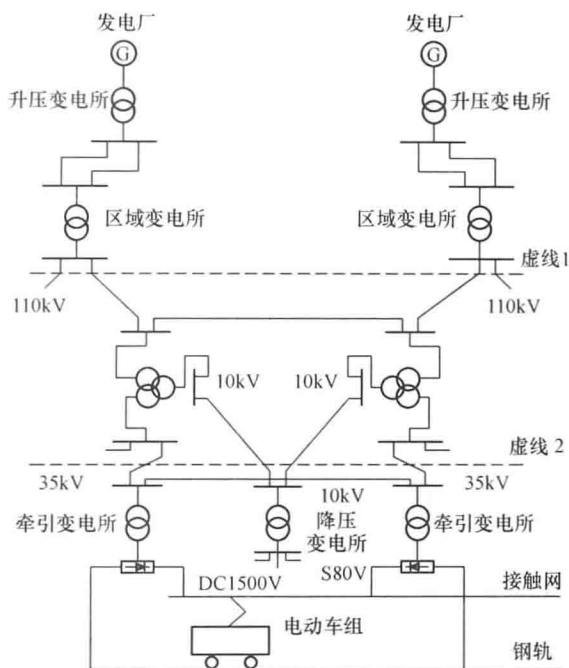


图 1-5 电力系统和城市轨道交通供电系统示意

(2) 故障自救功能。在供电系统中，当发生任意一种故障时，系统本身应有备用措施（接触网除外），保证城市轨道交通的正常运行。

(3) 自我保护功能。系统应有完整、协调的保护措施。当发生故障时，只切除故障设备，缩小故障范围。

(4) 防止误操作功能。系统任意环节的操作都应有相应的连锁条件，不允许因误操作而导致发生故障。

(5) 方便的调度功能。系统应能在控制中心进行远程控制、监视和测量，并根据运行需要，能够进行方便的调度。

(6) 完善的控制、显示、计量功能。系统各环节的运行状态应有明确的显示，各种电量的测量和电能的计量应准确无误。

(7) 电磁兼容功能。各种电气和电子设备的系统内部应具有电磁兼容功能。

1.3.3 系统基本要求

城市轨道交通供电系统应满足以下要求：

(1) 安全性。安全性是指城市轨道交通运营过程中的安全程度。

(2) 可靠性。可靠性是指城市轨道交通供电系统对机车和各种动力照明用电负荷的持续供电能力。

(3) 适用性。适用性是指城市轨道交通供电系统的建设应满足业主的建设目的和性能要求。

(4) 经济性。经济性是指城市轨道交通供电系统应从项目全生命周期的角度实现供电系统费用的经济合理。

(5) 先进性。先进性是指城市轨道交通供电系统应采用先进的设计理念、系统方案、设备、工艺、管理手段等。

备、工艺、管理手段等。

1.4 供电系统构成

1.4.1 按系统功能划分

按照功能的不同,城市轨道交通供电系统一般划分为以下几个部分:

(1) 外部电源。外部电源是指外部城市电网电源。

(2) 主变电所或电源开闭所。主变电所或电源开闭所是将来自城市电网的高压电源降成地铁使用的中压,供给牵引供电系统和动力照明系统。

(3) 牵引供电系统。牵引供电系统将来自主变电所的中压电源通过牵引中压网络分配给牵引变电所,并通过牵引变电所降压整流,变成供地铁车辆使用的直流电源。

(4) 动力照明供电系统。动力照明供电系统将来自主变电所的中压电源,通过动力照明中压网络分配给降压变电所,并通过降压变电所降压,变成供地铁动力照明等设备使用的低压电源。该电源通过低压配电系统供动力照明等设备使用。

部分工程动力照明中压网络与牵引中压网络共用一个中压网络,归于牵引供电系统,低压配电系统和动力照明系统相对独立。这里的动力照明配电系统主要指降压变电所及牵引降压混合变电所中的降压部分。

(5) 杂散电流腐蚀防护系统。杂散电流防护系统由杂散电流隔离系统、杂散电流排流系统、杂散电流监测系统几部分组成,其目的是减少杂散电流对土建结构钢筋和其他设备的腐蚀。

(6) 电力监控系统。电力监控系统是在控制中心,通过调度端(控制中心)、通道、执行端(RTU),对整个地铁供电系统的主要设备进行控制、监视和测量。

以上各部分的关系如图 1-6 所示。

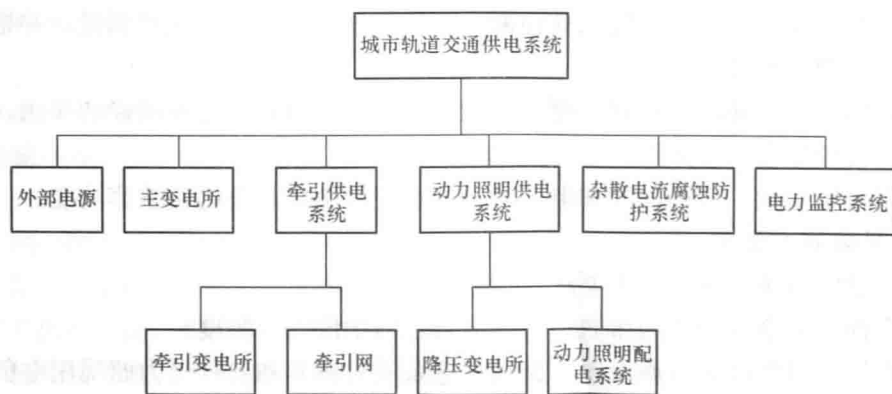


图 1-6 城市轨道交通供电系统组成

下面仅对牵引供电系统做简单介绍。

牵引供电系统的功能是将交流中压电压经降压整流变成 DC1500V 或 DC750V 电压,为电动列车提供牵引供电。它包括牵引变电所和牵引网。地铁牵引供电系统示意如图 1-7 所示。

(1) 牵引变电所。由于城市轨道交通电动车辆是以一定的速度沿区间运行的,供给一定

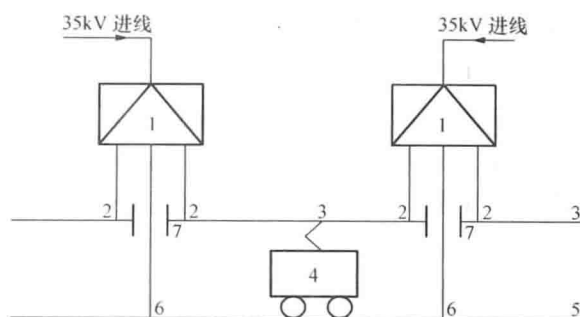


图 1-7 地铁牵引供电系统示意

1—牵引变电所；2—馈电线；3—接触网；4—电动列车；5—钢轨；6—回流线；7—电分段

区段内牵引电能的变电所称为牵引变电所。牵引变电所从城市轨道交通供电系统中的主变电所获得电能，经过降压和整流变成车辆所需要的直流电，承担着向电动列车提供直流牵引电能的功能。根据运行的需要，牵引变电所可以以双机组运行或单机组运行，并对牵引网实行双边供电或大双边供电。牵引供电系统中，一座或相隔的多座牵引变电所退出运行时，不应影响城市轨道交通的运输能力。

牵引变电所从主变电所获得电能，两路 35kV 进线接入牵引变压器。牵引变压器一般采用三线圈变压器，两个二次线圈和整流器组成多相整流，可以获得比较平滑的直流电，并可以降低交流正弦波形畸变和谐波干扰的问题。整流器输出的直流电正极（+）经直流快速断路器接到直流侧的正母线上，负极（-）经开关接到负母线上。接到正母线上的馈线经直流快速断路器将电能送到隔离开关后再送到接触网（轨）上。负母线经开关与回流线和走行轨接通。城市轨道交通电动车辆的受流器与接触网（轨）接触滑行时，即可获得直流电能。

(2) 牵引网。牵引网是接触网、馈电线、轨道和回流线的总称。主要功能是安全可靠地向列车提供电能，并满足对地绝缘的要求。接触网分为架空线式和接触轨式。架空接触网按悬挂形式的不同，可以分为柔性架空接触网和刚性架空接触网，可简称为柔性悬挂和刚性悬挂。接触轨，又称第三轨或简称三轨。接触轨系统是沿线路敷设的专为电动车辆授给电能的系统。该部分的详细介绍见第 9 章。

1.4.2 按设计任务划分

为便于设计任务的分割，城市轨道交通供电系统一般划分为以下几个部分：主变电所、全线系统、牵引变电所、降压变电所、接触网、电力监控系统、杂散电流腐蚀防护系统。

1.5 牵引网供电制式

1.5.1 牵引网供电制式概述

牵引网供电制式主要指电流制式、电压制式、馈电方式。

(1) 牵引网系统的电流制式。直流馈电相对于交流馈电而言，其电动车辆具有调速范围大、调速方便、易控制、启制动平稳、接触网简单、投资省、电压质量高等优点。目前，车辆无论采用直流牵引电动机、交流牵引电动机还是线性电动机驱动方式，基本上都采用直流制。

(2) 牵引网系统的电压制式。目前，世界上城市轨道交通中的直流牵引电压等级繁多，

如 600、700、750、900、1000、1500V 等。国家标准规定为 750、1500V 两种，其电压允许波动范围为 500~900V，1000~1800V。

(3) 牵引网系统供电方式。牵引网系统供电方式有架空接触网和接触轨两种方式。供电方式与电压等级的选择应结合起来，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。

我国牵引网的接触轨电压等级已由 750V 发展为 1500V，接触轨悬挂方式由上部接触向着下部接触发展过渡。同时在柔性架空接触网的基础上，刚性架空接触网在国内也得到了应用。

1.5.2 供电制式的选择原则

(1) 供电制式与客流量相适应。客流量是轨道交通设计的基础。应根据预测客流量大小，选择适用的电动客车类型和列车编组数量。一般大运量轨道交通系统采用 DC1500V 电压和架空接触网供电，中运量系统采用 DC750V 和接触轨供电方式。

(2) 供电安全可靠。轨道交通是城市交通的骨干，一旦牵引网发生故障造成列车停运，就会影响市民出行，引起城市交通混乱。因此，安全可靠是选择供电制式的最重要条件。

(3) 便于安装和事故抢修。选用的牵引网应便于施工安装和日常维修，一旦发生故障时应便于抢修，尽快恢复运营。

(4) 牵引网使用寿命长，维修工作量小。这是降低轨道交通运营成本的重要条件。

(5) 注重环境和景观效果。这是作为城市基础设施必须坚持的原则。

习 题

1-1 城市轨道交通的特点是什么？

1-2 城市轨道交通有哪些类型？各有什么特点？

1-3 城市轨道交通供电系统的功能及要求是什么？

1-4 城市轨道交通供电系统由哪些部分组成？各组成部分的作用是什么？

1-5 城市轨道交通供电制式的选择原则有哪些？

2 外部电源

城市轨道交通供电系统实际上由两大部分组成：一部分为外部电源，即城市电网；一部分为城市轨道交通内部供电系统，即通常所说的供电系统。内部供电系统包括主变电所、牵引供电系统、动力照明供电系统和电力监控系统。其中，牵引供电系统包括牵引变电所和牵引网两大部分，动力照明供电系统包括降压变电所与动力照明配电系统。

城市轨道交通作为城市电网的一个用户，一般都直接从城市电网取得电能，无需单独建设电厂；城市电网也把地铁看成一个重要用户。城市轨道交通通过城市电网一次电力系统和轨道交通供电系统实现输送或变换，最后以适当的电压等级和一定的电流形式（直流或交流电）供给用电系统。城市电网对城市轨道交通供电的电压等级有 110、66、10kV 等，究竟采用哪一种电压等级，由不同城市的电网构成和轨道交通的实际需要而定。

2.1 外部电源方案的形式

城市轨道交通线路的用电负荷呈线状分布，大量供电牵引整流机组的配电变压器沿轨道交通分散设置。这种负荷分布通常有三种外部电源方案的形式，即城市电网对城市轨道交通的供电方式有三种：集中式供电、分散式供电和混合式供电。

2.1.1 集中式供电

所谓集中式供电方案，是指在城市轨道交通沿线集中设置若干座轨道交通专用的高压变电所（即主变电所），每座主变电所由城市电网提供两路独立可靠的电源，再经主变电所降压后集中对轨道交通沿线的牵引变电所、降压变电所提供中压电源，如图 2-1 所示。

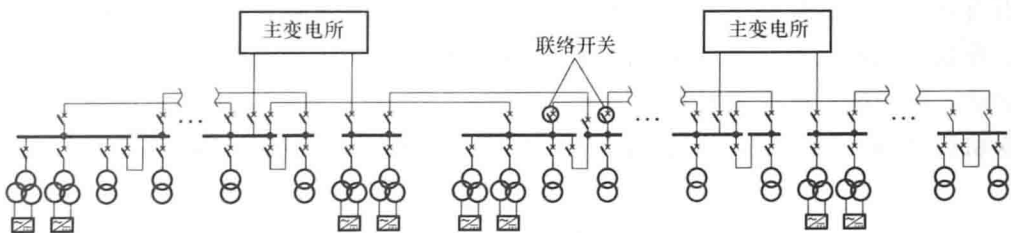


图 2-1 集中式供电示意

集中式供电方案的主要特点如下：

- (1) 在城市轨道交通沿线建设专用主变电所，集中为牵引变电所及降压变电所供电。
- (2) 城轨供电系统从城市电网引入高压电源，与城市电网接口比较少，每座主变电所直接从城市电网引入两路独立进线电源，外部电源电压等级一般为 110kV。
- (3) 城轨供电系统相对独立，自成系统，便于运营管理。

上海、广州、南京、香港、西安地铁等均为集中式供电方案。

2.1.2 分散式供电

所谓分散式供电方案，是指沿线分散引入城市中压电源直接（或通过电源开闭所间接）