



职业教育城市轨道交通专业规划教材

城市轨道交通

供电导论

李建民 等 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

城市轨道交通供电导论

李建民 等编著
李群湛 靳守杰 主审



机械工业出版社

本书针对城市轨道交通供电系统的特点,对基础理论知识、常见设备、系统结构、设备及系统运行等方面的内容进行了介绍,基本上反映了目前城市轨道交通供电系统的知识、技术和设备,主要内容包括:城市轨道交通供电系统概述,城市轨道交通供电系统高压电气设备,变压与整流,接地系统与过电压保护,城市轨道交通供电保护及测控系统,城市轨道交通供电系统结构及其运行,城市轨道交通接触网系统,城市轨道交通供电系统电力电缆。

本书可以作为职业院校城市轨道交通供电类专业学生的教材和教师的教学参考书,也可以作为从事轨道交通供电工作的相关技术人员和管理人员的普及读本,还可以作为城市轨道交通系统电力供电相关专业的培训教材。

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 免费注册下载电子课件,内含本书中的扩展阅读资料。编辑咨询电话 010-88379865。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供电导论/李建民等编著. —北京:机械工业出版社,2012.5
职业教育城市轨道交通专业规划教材
ISBN 978-7-111-38300-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 091726 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 张利萍

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.25 印张·1 插页·448 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38300-0

定价:39.00 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 封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

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，机工社轨道教材交流 QQ 群：73242168。

机械工业出版社

前 言

本书是为了适应快速发展的城市轨道交通对供电专业人才需求的形势而组织编写的，以“理论适度，注重实际，系统全面，有机整合，适当综合”为编写原则，以满足高职高专院校城市轨道交通专业（侧重于供电）的培养要求为目标，同时也可以作为本科学生、研究生理论结合实际参考用书。

本书针对城市轨道交通供电系统的特点，对基础理论知识、常见设备、系统结构、设备及系统运行等方面的内容进行了介绍，基本上反映了目前城市轨道交通供电系统的知识、技术和设备。

为使读者系统地学习城市轨道交通供电知识，全面了解城市轨道交通供电系统实际状况，本书编写时作了一些新的尝试。本书的最大特点是：系统、全面，有一定深度，但更强调广度；有一定的理论，但更强调实际应用。本书适用于100个教学学时，教师可以根据需要自由组合。与同类教材相比，本书在结构上和内容上也有所创新，进行了重新的有机组合。部分章节提供了相关的扩展阅读资料的电子版，采用此书作为教材的老师可以下载。

本书由李建民教授等人编著，李群湛教授、靳守杰高级工程师主审。其他参与编写的还有王成有、吉鹏霄、张志军。王成有编写了第五章的第二节、第三节；吉鹏霄编写了第四章中的第四节、第五节、第六节；张志军编写了第八章；其余的所有章节由李建民编写。

在编写本书的过程中，得到了多个勘测设计院集团、轨道研究院专家们的帮助和大力支持，也参阅了他们的一些设计资料。特别是李晓村教授，对本书的编写进行了前期的指导和定位；郑州市轨道交通有限公司总工程师夏景辉在编写的过程中，给予了中肯的建议；在前期准备阶段，我们在上海地铁、深圳地铁、重庆地铁进行了参观调研，得到了大力支持，在此一并深表感谢！

由于编者水平有限，书中疏漏在所难免，希望广大读者提出宝贵意见。

编著者

目 录

出版说明

前言

绪论 1

第一章 城市轨道交通供电系统概述 3

第一节 电力牵引制式 3

第二节 城市轨道交通供电系统 6

第二章 城市轨道交通供电系统高压

电气设备 14

第一节 断路器 14

第二节 负荷开关、隔离开关 27

第三节 熔断器 29

第四节 互感器 31

第五节 高压开关柜 34

第六节 防雷设备 47

第七节 电气设备的运行与操作 51

第三章 变压与整流 58

第一节 变压器基础知识 58

第二节 城市轨道交通供电系统干式 变压器 65

第三节 城市轨道交通牵引供电系统 整流器 70

第四节 城市轨道交通供电系统变压器和 整流器的技术要求 79

第五节 变压器的运行与维护 83

第四章 接地系统与过电压保护 90

第一节 电气接地 90

第二节 电力系统中性点运行方式 92

第三节 接地装置的电阻选择及维护 100

第四节 城市轨道交通供电系统的接地 原则及构成 102

第五节 过电压 105

第六节 城市轨道交通供电系统 防雷措施 108

第五章 城市轨道交通供电保护及

测控系统 115

第一节 继电保护的意義 115

第二节 电磁型继电器 118

第三节 变压器气体和差动保护 125

第四节 几种常用的继电保护 129

第五节 直流牵引供电系统的保护方式 135

第六节 城市轨道交通牵引供电系统继电 保护的配置 137

第七节 微机保护 142

第八节 综合自动化系统 150

第九节 钢轨电位限制装置 155

第十节 框架泄漏保护 158

第十一节 杂散电流的监测与防护 162

第六章 城市轨道交通供电系统 结构及其运行 172

第一节 城市轨道交通供电系统结构与 要求 172

第二节 电气主接线形式 175

第三节 中压环网系统结构及其运行 181

第四节 牵引供电系统结构及其运行 187

第五节 低压变配电系统结构及其运行 193

第六节 城市轨道交通供电系统谐波 197

第七节 交、直流自用电系统 204

第八节 变电所及其设备 206

第七章 城市轨道交通接触网系统 215

第一节 城市轨道交通接触网概述 215

第二节 柔性接触网馈电系统 221

第三节 刚性接触网馈电系统 233

第四节 接触轨馈电系统 245

第八章 城市轨道交通供电系统电力 电缆 254

第一节 城市轨道交通供电系统常用电力 电缆的特点 254

第二节 交联聚乙烯绝缘电力电缆 255

第三节 750V 或 1500V 直流电缆 261

第四节 电力电缆故障及检测 263

第五节 电力故障的探测 266

第六节 城市轨道交通供电系统常用电缆 技术要求 272

第七节 电缆的运行与维护 278

参考文献 283

绪 论

一、城市轨道交通的种类

城市轨道交通系统包括地下铁路、市郊铁路、轻轨交通、磁悬浮系统，是一个立体的交通体系，其共性是：电力牵引、通常采用封闭的专用线路、自动化控制水平高、运输能力强。

1. 地下铁路

地下铁路又称重型地铁，采用标准轨距 1435mm。最高速度为 80 ~ 100km/h，平均速度为 30 ~ 40km/h；馈电方式利用 DC 1500V 或 750V 电压，采用架空线刚性或者柔性接触网以及第三轨受电；行车间隔为 90 ~ 120s，行车密度高；断面客流为 4 ~ 8 万人/h，线路形态以隧道为主。

2. 市郊铁路

市郊铁路与普通铁路类似，只不过行车密度较大，自动化控制水平较高。它主要用来满足远郊卫星城市、旅游景区、大型住宅区的客流要求，用于拓展市内交通的服务区。其起动速度高于普通铁路，运行速度最高可达 100km/h，采用电动车组，站间距离从 5km 到几十千米不等。市郊铁路分为环城铁路和远郊铁路。

3. 轻轨交通

轻轨并非指轻型钢轨，而是一种电力驱动的城市轨道交通系统。它造价相对较低，约每千米 1 亿元，仅为地铁的 1/7 ~ 1/5，断面客流为 3 万 ~ 4 万人/h。一般采用全封闭专用线路形态，以保证车辆运行的安全和快速准时。它包括有轨电车、单轨交通系统和新交通系统，一般有地上高架和地面两种形式。

4. 磁悬浮系统

磁悬浮 magnetic levitation (缩写为 maglev) 是当今世界最新的地面交通运输技术，它彻底摆脱了轮轨关系的束缚，能量损耗小、噪声低。磁悬浮有两种形式：低速磁悬浮系统和高速磁悬浮系统。对距离为 1000km 以上的行程，可采用高速磁悬浮系统，低速磁悬浮系统适用于机场与城市之间、都市城区与卫星城市之间以及发达地区的城市群之间。

二、城市轨道交通的特点

城市轨道交通采用电力牵引和大运量集约化运输，无污染、能耗小，被誉为绿色交通；占地少，充分利用了城市的地下空间；运量大，断面客流每小时高达几万人（地铁 4 万 ~ 5 万人/h，轻轨 1 万 ~ 3 万人/h）；速度快，平均速度为 50km/h；舒适性好且候车时间少，安全准时。现代化地铁列车与车站均有空气调节装置，能使温度与湿度保持在最舒适的范围内；城市轨道交通可靠性强、相对封闭，受环境影响少，也不受其他交通的影响。

三、城市轨道交通的作用

城市发展过程中交通起着很重要的作用。轨道交通是现代化城市的主要资源之一，是现

代化城市框架的支撑。在城市发展中它不再是追随者，而是引导者，甚至在某种程度上引导着城市的发展方向。它不仅可以优化城市的结构，还可以调整城市的布局和功能，有利于文化中心、经济中心、政治中心、工业中心、生活中心科学地建设与形成。

城市轨道交通可以解决城市中心的交通拥堵问题，为进一步优化多种交通形式提供支持。它的带动效益明显、社会效益显著，可以增强城市的吸引力，增加就业岗位，同时促进相应专业技术的发展；它还会促进城市化进程，拉大城市框架，增强辐射力。当前以中心城市为热核、大力发展区域经济的模式，为城市轨道交通的发展提供了机遇。

第一章 城市轨道交通供电系统概述

第一节 电力牵引制式

一、电力牵引制式种类

1. 牵引制式概述

电力牵引制式是指牵引供电系统向电动车组或电力机车供电所提供的电流和电压的制式。目前电力牵引制式按电流分，有直流制式和交流制式；按相数分，有单相和三相。

早期直流制式有很多特点，一般采用串励直流电动机，它能满足重载时速度低、轻载时速度高的要求。但是这种电动机在起动的时候电流很大，为了限制电流，可采用串联大功率电阻的办法，同时也能起到降压降速的目的。这种方法容易实现，但在起动和调速的时候，引起的能量损耗太大，很不经济。

城市轨道交通牵引系统采用直流供电制式，现在的轨道交通牵引车辆多采用异步电动机，首先把接收到的直流电通过逆变设备，变换成交流电，而且电压和频率都可以调节，实现了通过改变频率调节电动机速度的方法，可以实现柔性起停，使车辆运行更平稳，效率更高。同时也可以通过调压来改变电动机的速度。这种技术称为VVVF调速技术。目前，城市轨道交通牵引车辆多采用这种技术。

交流制式应用也非常广泛，像一些欧洲国家多采用25Hz、6.5~11kV和 $16\frac{2}{3}$ Hz、12~15kV等频率较低的类型。我们国家采用50Hz、25kV的工频单相交流制。交流制式既保留了交流电可以升高供电电压的长处，又有串励直流电动机作为牵引电动机的优点。在电力机车上，常装设降压变压器和大功率整流设备，将高电压降压，然后整流成适合直流电动机要求的形式。电动机的调速，可以通过降压变压器的抽头或可控制整流装置的电压来得以实现。工频单相交流制多用在我国干线电气化铁道上。

不同的制式，电压大小也不一样。一般来说，采用交流制式，供电电压相对较高；采用直流制式，供电电压相对较低。交流制式的电压一般从几千伏到几十千伏；而直流制式的供电电压一般为600~3000V。不论是交流制式还是直流制式，目前都没有统一的国际标准，每个国家可根据自己的实际情况确定。在我国，交流制式采用唯一的50Hz、25kV的工频单相交流。而对于直流制式，也确定了两个标准，即1500V和750V，主要应用于城市轨道交通。城市轨道交通电压种类见表1-1。

表 1-1 城市轨道交通电压种类

电 压	最低允许电压	额 定 电 压	最 高 电 压
DC 600V	400V	600V	720V
DC 750V	500V	750V	900V

(续)

电 压	最低允许电压	额 定 电 压	最 高 电 压
DC 1500V	1000V	1500V	1800V
DC 3kV	2kV	3kV	3kV
AC 15kV, 16.7Hz	11kV	15kV	17.25kV
AC 25kV, 50Hz	17.5kV	25kV	27.5kV
AC 27.5kV, 50Hz	19kV	27.5kV	29kV

2. 馈电方式、牵引制式与受流方式

不同的牵引制式有不同的电压等级，无论电压等级如何，总是需要把电能馈送到机车上，而针对各种牵引制式，世界各国的电气工程师们研究出了不同的馈电方式。对于不同的馈电方式，受流设备（车辆）的受流方式也不一样。

目前，从世界范围内看，馈电方式共有架空式、第三轨、第四轨和三相系统四种。

车辆受流方式（设备）一般有受电弓和受电靴（又称集电靴）两种。受电弓又有不同的种类，有单弓和双弓等，大多数采用单弓。而对于单轨交通系统常常有三个受电弓，即两个负极受电弓（在轨道梁的两侧）和一个正极受电弓（在上部）。

由于三相系统结构复杂，而且目前几乎已经被淘汰或改造，也就说几乎不存在了。

(1) 架空式 架空式适合所有不同的牵引制式。无论直流或者交流，无论高压或者低压，架空式覆盖了从 250V ~ 50kV 所有的轨道交通形式。一般来说，电压越高，采用架空式的越多。

表 1-2 是架空式系统电压制式举例。

表 1-2 架空式系统电压制式举例

电压/V	电 流 形 式	国 家	电压/V	电 流 形 式	国 家	
250	DC	美国	6000	50Hz	德国	
500		很多国家采用	6250		英国	
525		瑞士	6300	25Hz	德国	
550		英国	6500		澳大利亚	
900		瑞士	6600	挪威		
1000		匈牙利	6600	50Hz	德国	
1100		阿根廷	8k	25Hz	德国	
		西班牙	10k		新西兰	
1200		古巴	11k	$16\frac{2}{3}$ Hz	瑞士	
		德国			50Hz	法国
		爱沙尼亚		$16\frac{2}{3}$ Hz		法国
1350		意大利	12k	25Hz, 60Hz	美国	
		瑞士	12.5k		德国	
2400		德国	20k	50Hz, 60Hz	法国	
3500		法国			日本	
5500		$16\frac{2}{3}$ Hz	德国	50k	50Hz, 60Hz	南非
						美国
6000		DC	俄罗斯			加拿大

(2) 第三轨 第三轨适用于直流牵引制式, 牵引电压相对较低。目前, 最高电压为 1500V。第三轨系统电压制式见表 1-3。

表 1-3 第三轨系统电压制式

电压/V	电流形式	类型	接触系统	国家(或城市)	电压/V	电流形式	类型	接触系统	国家(或城市)	
50	DC	通过走行轨供电		英国	800	DC	第三轨	下部接触	德国	
110		第三轨	上部接触		825			下部接触	俄罗斯	
160			上部接触		850			下部接触	朝鲜	
180		通过走行轨供电		德国	850			下部接触	法国	
200		第三轨	上部接触	英国				下部接触		
250			莫根架(第三轨)	美国	1000			DC	上部接触	美国
440			上部接触	英国	1200		DC	第三轨	侧面接触	英国
550			上部接触	阿根廷					侧面接触	德国
660			上部接触	英国	1500		DC	第三轨	侧面接触	法国
660		第三轨和第四轨系统								
700		第三轨	下部接触	美国	1500		DC	第三轨	下部接触	中国广州
				美国						

(3) 第四轨 第四轨适用于直流牵引制式, 牵引电压相对更低。由于该系统牵引网比较复杂, 目前新建线路几乎均不采用。只有伦敦地铁采用的这种系统, 如图 1-1 所示。一个上部接触第三轨安装在线路的一边, 提供 420V 的直流电源; 一个安装在两个走行轨中间的上部接触轨, 也就是第四轨, 提供 -210V 的直流电源, 它们联合向轨道车辆提供 630V 的直流电源。意大利的米兰 1 号线早期就采用这种模式(现在已经改为架空式)。



图 1-1 伦敦第四轨系统

(4) 三相系统 1902 ~ 1976 年在意大利, 曾经运行了多条三相牵引网供电的轨道线路。这一系统采用频率为 50/3Hz 的三相系统, 电压为 3600V; 上部悬挂两条输电接触线, 走行钢轨作为第三相导电路; 由单独的电厂供电。现在这一系统已被淘汰。

总之, 城市轨道交通牵引供电系统从供电制式上, 分为交流和直流两种制式, 以直流制式为主; 从馈送电能形式上分为第三轨和架空线两种; 从电压等级上分为多等级不同电压, 在 600 ~ 3000V 之间。电压制式的选择, 要根据实际情况, 进行经济和技术的比较研究。

二、目前国内发展概况

目前我国城市轨道交通供电系统馈电方式与牵引制式的组合共有四种: DC 1500V 架空式、DC 1500V 接触轨、DC 750V 架空式、DC 750V 接触轨。而架空式系统又分为柔性接触网和刚性接触网。直流接触轨也有上部、下部、侧面接触三种方式, 而以下部为佳。

我国自 1969 年建成北京第一条地下铁道之后, 已有更多的城市的城市轨道交通投入商业运营。国内城市轨道交通供电制式见表 1-4。

表 1-4 国内城市轨道交通供电制式

电压/V	电流	类型	接触系统	城市	建设时间(首次)
750	DC	第三轨	上部接触(正极)走行轨(负极)	北京	1969
			下部接触(正极)走行轨(负极)	武汉	2005
		架空式	柔性架空接触系统	长春	2002
1500		架空式	柔性架空接触系统	上海	1995
			刚性架空接触系统	广州地铁 2 号线	2003
		第三轨	下部接触(正极)走行轨(负极)	广州地铁 4 号线	2005

三、牵引制式选择原则

在选择城市轨道交通供电制式时应遵循以下原则:

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。应首先预测客流量大小, 选择适用的电动客车类型和列车编组数量。一般大运量的轨道交通系统采用 DC 1500V 和架空接触网馈电, 中运量的系统采用 DC 750V 和接触轨馈电方式。

2) 供电安全可靠。地下铁道是城市交通的主要组成部分, 其作用越来越重要, 一旦发生供电故障, 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、维护及事故抢修。选用的牵引网应便于施工安装和日常维修, 一旦发生牵引网故障, 应便于抢修, 能尽快恢复运营。

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

5) 城市轨道交通是城市的基础设施, 应注重环境和景观效果。

第二节 城市轨道交通供电系统

一、城市轨道交通供电系统概况

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通的能源补给线, 它的安全可靠运行应被放在第一位, 它对城市轨道交通的影响是全面的。一旦供电系统出现问题, 将会导致城市轨道交通的混乱和瘫痪。因此建立一个安全可靠的城市轨道交通供电系统是非常重要的。

1. 电源组成

城市轨道交通供电系统的电能来源于国家电网, 而国家电网的电能来源于各种发电厂。

2. 外部电源系统——城市电网

电力网简称电网, 由输电线路、配电线路和变电所组成。输电线路是向用户传输电能的通道, 一般来说其电压较高, 即采用高压传输, 其特点是线路较长, 覆盖区域广。配电线路是向用户分配电能的通道, 其电压相对较低, 也就是通常说的低压配电线路, 其特点是线路较短。由此可见, 不同的电网, 其电压等级也不一样。

我国规定的电网标称电压（或者说额定电压）为 3kV、6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV。高压又细分为中压（3~75kV）、高压（110~220kV）、超高压（330~750kV）、特高压（1000kV）。高压电器设备是指输配电系统中用于控制和保护的设备，对电力设备的安全可靠运行至关重要。

城市轨道交通供电系统从城市电网引入高压或中压电源，再将引入的外部电源进行电压转换或直接分配至轨道交通的牵引变电所或降压变电所，由牵引变电所和降压变电所分别为轨道交通运行主体的车辆和辅助用电设备（动力、照明负荷）供电。轨道交通从外部电源引入的形式上一般分为集中式供电、分散式供电和混合式供电三种模式。国内大部分采用集中式供电，一些城市采用分散式供电，部分线路采用混合式供电。

城市电网主要由 500kV、220kV、110kV、10kV 供电网络构成，一般从 220kV、110kV、10kV 系统接口引入。

(1) 集中式供电 指轨道交通从城市电网引入较高电压等级的电源（如 110kV、220kV），经主变电站进行电压转换，将外部电源降压（如 35kV 或 10kV）后，由主变电站集中向牵引变电所和降压变电所供电的外部电源引入模式。该模式引入电源电压等级高，电源点供电能力较强，引入电源点较少，有利于管理。

(2) 分散式供电 是相对于集中式供电而言的，是指轨道交通不设主变电站，由沿线城市变电站直接向牵引变电所和降压变电所提供中压（35kV 或 10kV）电源的供电模式。该模式是根据城市轨道交通供电的需要，在地铁沿线直接由城市电网引入多路电源，构成供电系统。这种供电方式一般从 10kV 电压等级处获得电能。分散式供电要保证每座牵引变电所和降压变电所均获得双路电源，这就要求城市轨道交通沿线有足够的电源引入点及备用容量。分散式供电要求城市电网资源充足，安全运营水平高，供电可靠。

当然，两种方式各有优缺点，轨道交通的外部电源方案应根据城市电网的具体构成情况，采用合适的供电方式。如北京采用分散式供电，上海、广州、南京、武汉、苏州、深圳等地则采用集中式供电。

(3) 混合式供电 混合式供电将前两种供电方式结合起来，一般以集中式供电为主，个别地段引入城市电网电源作为集中式供电的补充，使供电系统更加完善和可靠。北京地铁 1 号线和 2 号线、建设中的武汉轨道交通工程、青岛地铁南北线工程等即为混合式供电方案。这种模式充分发挥了前两种方式的优点，体现了城市一体化的特点。

3. 城市轨道交通供电系统构成

城市轨道交通供电系统的电源一般取自国家电力系统，即取自于所在城市电网，也就是说城市轨道交通供电系统是嫁接在城市电网上面的一个相对独立的子系统，它是一个特殊的大用户。城市轨道交通供电系统分为外部电源系统和内部电源系统。内部电源系统是城市轨道交通供电系统的主体，主要由以下部分构成：中压环网供电系统、牵引供电系统和低压变配电系统。城市轨道交通供电系统示意图如图 1-2 所示。

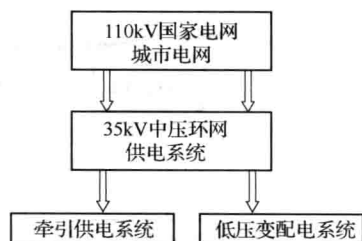


图 1-2 城市轨道交通供电系统示意图

(1) 中压环网供电系统 城市轨道交通电力能量直接取自城市或区域电网。城市电网或区域电网的结构对城市轨道交通供电系统起着决定性作用。

中压环网是连接城市或区域电网到供电系统的系统。该系统主要包括所有的主变电所和35kV系统线路环网。通过中压电缆，纵向把上级主变电所和下级牵引变电所、降压变电所连接起来，横向把全线的各个牵引变电所、降压变电所连接起来，便形成了中压环网供电系统。中压环网供电系统不是供电系统中独立的子系统，但是它却是供电系统的核心内容。它涉及到外部电源方案、主变电所的位置及数量、牵引变电所及降压变电所的位置与数量、牵引变电所与降压变电所的主接线形式等。

(2) 牵引供电系统 它是城市轨道交通供电系统的核心，负责向轨道交通车辆提供电能，其主要作用是降压、整流和传输电能。该系统主要包括牵引变电所、馈电线、接触网（或者接触轨）等。牵引变电所是牵引供电系统的核心，它的主要作用是生产出满足要求的电能；馈电线则负责把合格的电能输送到轨道沿线的接触网上；而接触网则负责把电能不间断地输送到运行的车辆设备上（主要指受电弓、接触轨等）。

(3) 低压变配电系统 它负责向信号设备、照明、通风、排水、制冷设备馈送电能，其主要作用是降压、分配和传输电能。该系统主要包括降压变电所、多路馈线等。

城市轨道交通供电属于一级供电负荷，一旦中断，将打乱运输计划和机车车辆运行图，影响城市轨道交通的环控系统、照明系统等的运行，会造成很大的社会影响。因而，建设一个安全、灵活、经济、可靠的城市轨道交通供电系统，对城市轨道交通有着极为重要的意义。

二、城市轨道交通供电系统结构

1. 根据变电所供电接线方式划分

(1) 环网供电 主变电所向沿线的所有牵引变电所和降压变电所供电。为了增加可靠性，采用双回路输电线路。当一个主变电所出现故障时，供电区域内沿线的牵引变电所和降压变电所仍能正常工作。采用这种方式，既能满足可靠性的要求，也能满足管理和运营的要求。环网供电又分为双环网供电和单环网供电。双环网供电又称为链式网（又称双环网），其接线示意图如图1-3所示。目前，城市轨道交通供电系统多采用这种方式。

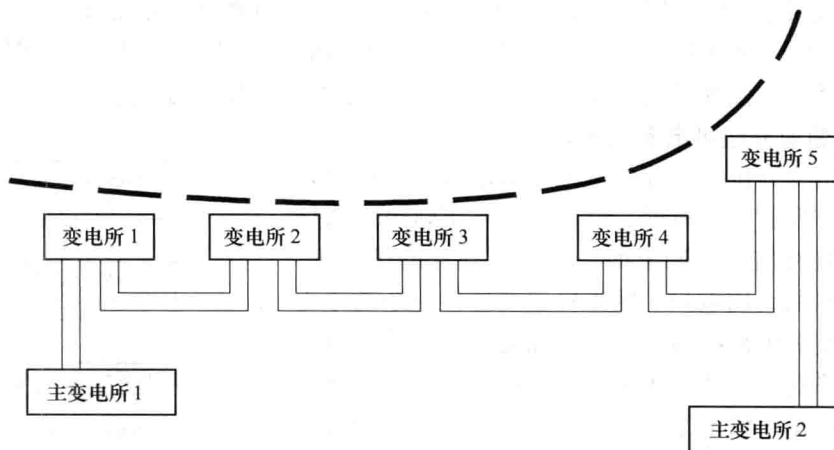


图1-3 双环网供电接线示意图

(2) 单边供电 当轨道线路沿线附近只有一侧有电源时,常采用单边供电。为了增加可靠性,也可采用双路输电线路。单边供电的可靠性较差。一旦主变电所出现故障,沿线就必然断电,造成整个线路无法运行。一般在线路的末端或者特殊场所,采用这种供电方式。单边供电接线示意图如图 1-4 所示。

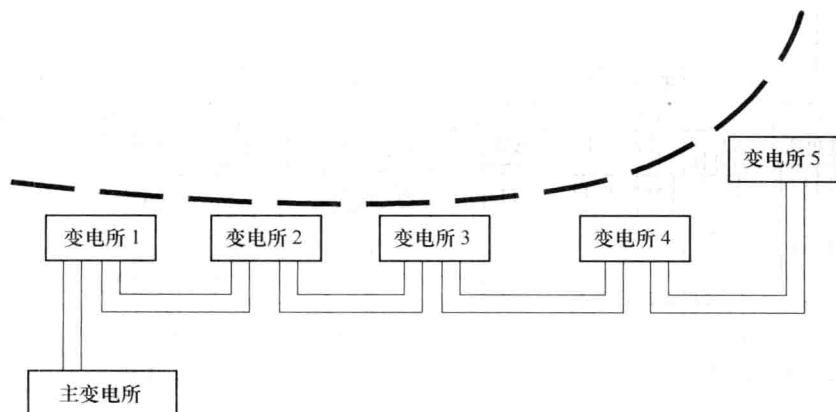


图 1-4 单边供电接线示意图

(3) 辐射型供电 辐射型供电接线示意图如图 1-5 所示。当每个牵引变电所和降压变电所到主变电所距离差不多一样时,常采用辐射型供电。为了增加可靠性,也可采用双路输电线路。但是只要主变电所出现故障,沿线就必然断电,也会造成部分线路无法运行。这种方式现在又称为辐射网。这种方式又分为单回路辐射网和双回路辐射网。实际应用中,单回路辐射网几乎不采用。

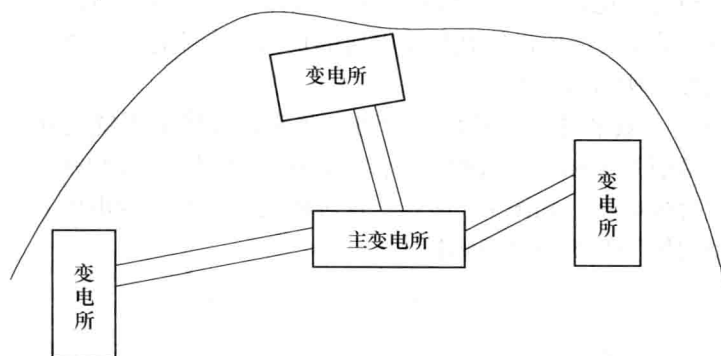


图 1-5 辐射型供电接线示意图

总之,为了增加系统的可靠性,不致用户供电中断,一般采用三种方式:一是采用双电源或多电源,双边供电采用的就是这种方式;二是采用双回路输电线路,防止因输电线路故障而引起用户的供电中断,双回路线路一般用于一些重要的负荷,但其附近的电源只有一个,为了增加其可靠性,可增加一条输电线路,对于一些不太重要的负荷,为减少投资,一般采用单回路输电线路;三是在变配电所采用双变压器,这种方式,我们将在以后的章节中讲解。

2. 根据变电所结构形式划分

城市轨道交通供电系统从 110kV 或者 220kV 系统获取电能,一般采取供电分区方式向

它的下一级负荷供电，中压环网电压等级为交流 35kV 和 10kV，有时只有 35kV 环网。这一系统由于低压变配电系统和牵引供电系统相互关系的不同，又分了许多模式。

(1) 独立模式 城市轨道交通供电系统独立模式如图 1-6 所示。在这种模式下，牵引变电所和降压变电所分别设置，并分别向各自的负荷供电，两者相对独立，相互影响较小。

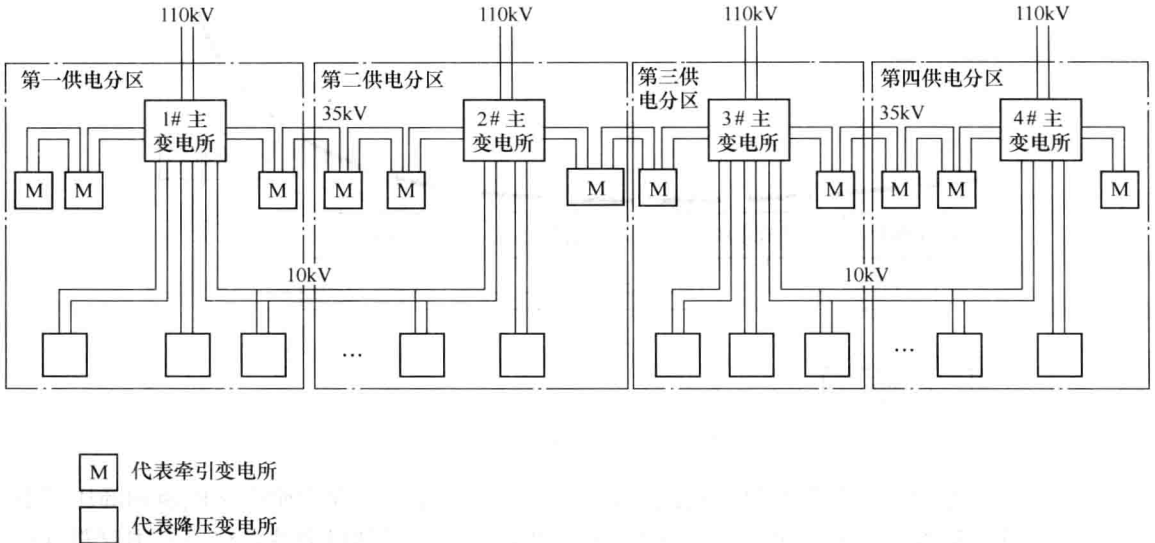


图 1-6 城市轨道交通供电系统独立模式

从图 1-6 中可以看出，主变电所输出 10kV 线路向降压变电所供电一般采用双 T 形接线，在供电的末端采用单边供电；主变电所输出 35kV 线路向牵引变电所供电采用双边或单边方式。T 形接线的特点是主变电所供给其他变电所的负荷不会流过本变电所，也就是说本变电所运行不会对其他变电所造成影响。

(2) 联合模式 一般来说，牵引系统和动力照明信号供电系统是相互分开的，根据实际情况，也可以把牵引系统和动力照明信号供电系统融合到一个变电所，形成一体化混合结构，即牵引降压混合变电所，如图 1-7 所示。这种模式中，牵引变电所和降压变电所合二为一，牵引系统和动力照明系统相互影响较大。

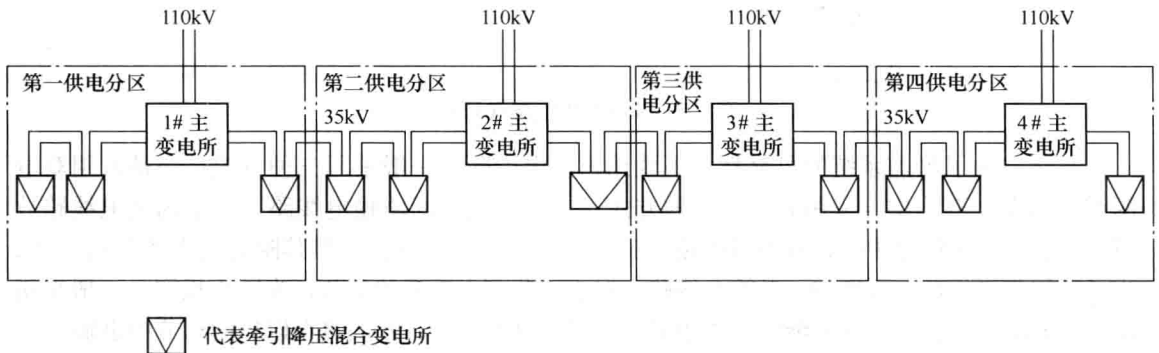


图 1-7 城市轨道交通供电系统联合模式 1

这一模式中，少了 10kV 系统，直接由牵引降压混合变电所把 35kV 电压降到 380V，为车站设备及沿线设备提供电源，目前采用这一模式的较多。

实际情况下，一般根据车站之间距离的远近，设置若干降压变电所（满足负荷的要求）。同时，也可以在牵引降压混合变电所的基础上增加跟随所，即在原来的基础上再增加两台动力变压器，即形成如图 1-8 所示的变通结构。

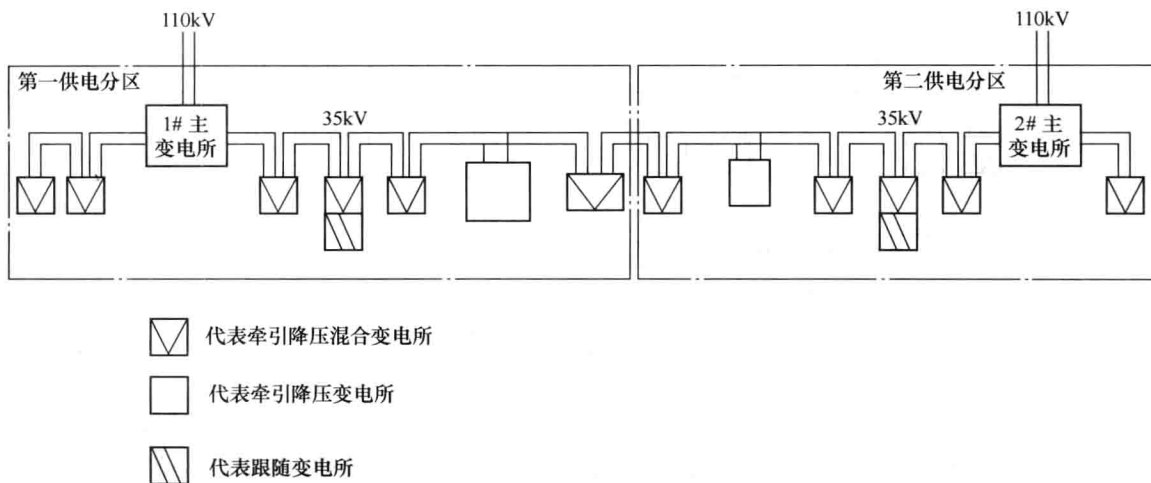


图 1-8 城市轨道交通供电系统联合模式 2

3. 根据外部电源方式划分

中压环网供电系统的作用是接受城市电网的电能，然后再合理科学地把电能馈送给各变电所。根据接收电能的不同方式，外部电源系统分为集中式供电、分散式供电和混合式供电。

(1) 集中式供电 集中式供电示意图如图 1-9 所示。整个城市轨道交通供电系统的电能都是通过 110/35kV 系统的两个主变电所获得的，比较集中，和城市电源接口较少。它可以通过联络开关实现电源备用。目前，这种方式在我国采用较多，特别是对于电力电源比较紧缺的城市，为保证城市轨道交通供电系统的可靠供电，这种模式的优越性就比较明显。

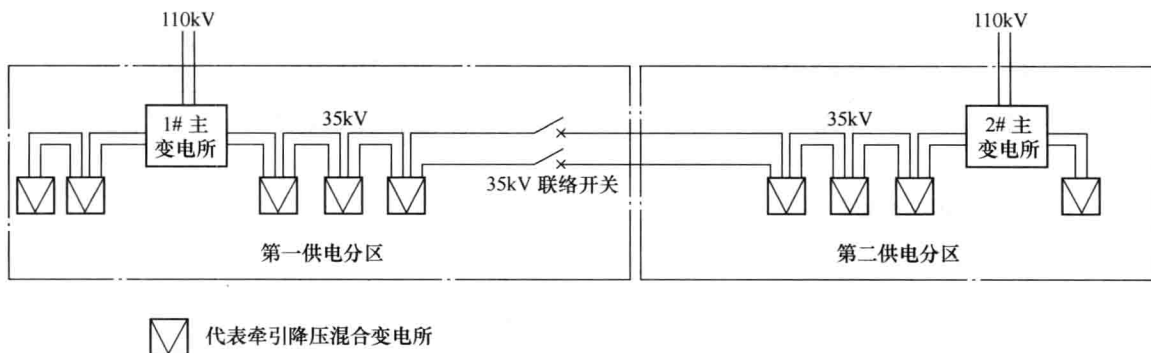


图 1-9 集中式供电示意图

(2) 分散式供电 由于目前 35kV 电网趋于淘汰，因此这一模式主要从 10kV 系统获得