

城市轨道交通 供电系统

主 编 陈 龙 朱晓晨

非 外 借

中国建材工业出版社

城市轨道交通供电系统

主 编 陈 龙 朱晓晨

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供电系统/陈龙,朱晓晨主编.——北京:中国建材工业出版社,2017.9
ISBN 978-7-5160-1983-2

I. ①城… II. ①陈… ②朱… III. ①城市轨道交通—供电系统 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第192631号

城市轨道交通供电系统

陈龙 朱晓晨 主编

出版发行:中国建材工业出版社

地址:北京市海淀区三里河路1号

邮编:100044

经销:全国各地新华书店

印刷:三河市金轩印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:10.5

字数:242千字

版次:2017年9月第1版

印次:2017年9月第1次

定价:49.00元

本社网址: www.jccbs.com

本社微信公众号: zjcgycbs

本书如出现印装质量问题,由我社市场营销部负责调换。电话:01056280140

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: ztxcgs@126.com



前言

轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现，起着越来越重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们，只有采用大客运量的城市轨道交通系统，才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。目前，大力发展城市轨道交通已成共识。我国城市轨道交通事业正面临着前所未有的良好发展环境和难得的发展机遇。初步统计，国内目前已有十几座城市正在建造快速轨道交通工程，另外还有相当数量的大中城市，正在着手不同类型轨道交通建设的前期筹备工作，预计在未来中国城市发展中，轨道交通的建设速度将会不断加快。

城市轨道交通通常以电能为动力，电能的供应和传输是城轨交通安全、可靠运行的重要保证。所以供电系统是城市轨道交通的大动脉，是基础能源设施。没有供电系统优质稳定的供电，就不可能有城市轨道交通的正常运行。因此，编写本教材的目的，就是想让读者对城市轨道交通的供电系统有一个全面的了解。为地铁培养了解地铁主要供用电设备及其运行情况，具备电器和主要设备的操作技能，具备运行维护管理和分析处理故障的能力的应用型专门人员。

本书从城市轨道交通供电系统的构成入手，全面介绍了城市轨道交通供电系统的各个子系统。全书共分七个学习项目：项目一，概述了城市轨道交通供电系统的功能、组成、发展以及杂散电流的认知和防护；项目二，主要介绍外部供电系统对城市轨道交通供电的电源电压等级和供电方式，以及主变电所的构成和中压网络的电压等级和构成形式；项目三，主要介绍牵引变电所中主要电气设备的作用、构造、工作原理和规格型号等；项目四，主要介绍变电所电气主接线的基本形式以及城市轨道交通主变电所、牵引变电所和降压变电所的电气主

编者

接线,控制、信号回路接线;项目五,主要介绍接触网的作用、特点、类型,架空接触网和第三轨的结构组成及各组成部分的作用等,还对接触网的运行和检修规程、制度作了简要介绍;项目六,主要介绍电力监控系统的结构、功能、以及通信原理;项目七,选编了部分供电系统的运行安全管理制度。由于时间紧迫,且限于编者水平,书中谬误和不妥之处在所难免,真诚希望读者和专家给予批评指正。



目录

项目一 城市轨道交通供电系统概述 001

任务一 城市轨道交通概述 002

任务二 城轨供电系统的设计原则与主要技术标准 009

任务三 城轨供电系统的功能和主要运行方式 010

任务四 城轨供电系统的组成 013

任务五 城轨供电系统的发展 017

任务六 城轨供电系统的杂散电流认知与防护 020

项目二 外部供电系统 024

任务一 电源概述 025

任务二 外部供电方式 032

任务三 主变电所 037

任务四 中压供电网络 040

项目三 牵引变电所的主要电气设备 045

任务一 牵引变电所概述 046

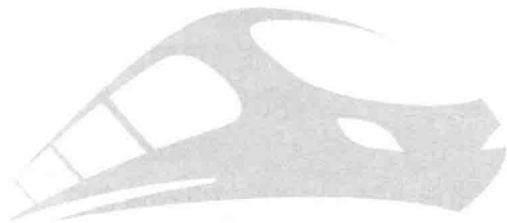
任务二 变换设备 047

任务三 高压开关控制设备 058

任务四 保护设备 069

任务五 成套设备 072

项目四	变电所的电气接线	077
任务一	电气主接线形式	078
任务二	变电所电气主接线	082
任务三	牵引变电所的控制、信号电路	093
项目五	接触网	100
任务一	接触网概述	101
任务二	架空接触网	103
任务三	第三轨式接触网	115
任务四	接触网的运行管理与检修	118
项目六	电力监控系统	127
任务一	电力监控系统概述	128
任务二	电力监控系统的结构	130
任务三	数据通信	133
项目七	城轨供电系统的安全管理制度	139
任务一	概述	140
任务二	供变电所安全管理	141
任务三	接触网作业安全	146
任务四	远动系统安全管理	151
任务五	工务、电务维修作业安全	152
	参考文献	161



项目一

城市轨道交通供电系统概述

知识目标

1. 了解城市轨道交通的定义、特点及类型；
2. 了解城轨供电系统的设计原则与主要技术标准；
3. 理解城轨供电系统的功能和主要运行方式；
4. 理解城市轨道交通供电系统制式的发展历程及应用现状；
5. 掌握城市轨道交通供电系统的组成及各组成部分的作用；
6. 重点掌握杂散电流形成的原因及防护措施。

能力目标

1. 能区分各种类型的城市轨道交通系统的特点；
2. 能画出城市轨道交通供电系统的构成图；

3. 能复述城市轨道交通供电系统采用直流供电制式的原因；

4. 能复述城市轨道交通供电系统中杂散电流产生的原因和防护措施。

问题导入

随着世界经济的快速发展，轨道交通受到普遍重视并迎来新的契机，高速铁路、城市轨道交通迅猛发展。到2020年，我国将新建12 000 km的高速电气化铁道客运专线。包括高速磁悬浮在内的已建和在建的城市轨道交通系统中，无一例外均是采用电力牵引传动方式。供电系统是城市轨道交通的动力源泉。没有供电系统的可靠安全供电，就不可能有城市轨道交通的正常运行。那么城市轨道交通供电系统有哪些组成部分？各部分的作用是什么？城市轨道交通供电系统又经历了怎样的发展历程呢？



一、城市轨道交通的定义和特点

轨道交通是一种独立的有轨交通系统，能够按照设计的能力正常运行，与其他交通工具互不干扰，具有强大的运输能力、较高的服务水平、显著的资源环境效益。轨道交通的应用首先表现在经济发达的城市中，并且在城市应用中有150多年的历史，于是人们也习惯地把轨道交通称之为城市轨道交通。其实，根据轨道交通的特性，从广义上讲，车辆运行在导轨上的交通都应称之为轨道交通。但是，在轨道交通发展的历史进程中，人们又把铁路运输称为大铁路，与轨道交通区别开来。因此，我们现在所说的轨道交通不包括大铁路。如图1-1所示为1863年伦敦地铁通车。



图1-1 1863年伦敦地铁通车

城市轨道交通为采用轨道结构进行承重和导向的车辆运输系统，依据城市交通总体规划的要求，设置全封闭或部分封闭的专用轨道线路，以列车或单车形式，运送相当规模客流量的公共交通方式。在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中，城市轨道交通被定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通之总称”。

城市轨道交通是城市公共交通的骨干，符合可持续发展的原则，特别适应于大中城市。它的特点主要有：

1. 时间准

城市轨道交通由于在专用行车道上运行，不受其他交通工具干扰，不产生线路堵塞现象并且不受气候影响，是全天候的交通工具，列车能按运行图运行，具有可信赖的准时性。

2. 速度快

与常规公共交通相比，城市轨道交通由于运行在专用行车道上，不受其他交通

工具干扰,车辆有较高的运行速度,有较高的启、制动加速度,多数采用高站台,列车停站时间短,上下车迅速方便,而且换乘方便,从而可以使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。

3. 舒适度高

与常规公共交通相比,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。

4. 安全性好

城市轨道交通由于运行在专用轨道上,没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并且有先进的通讯信号设备,极少发生交通事故。

5. 运力强

城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多而具有较大的运输能力。据文献统计,地下铁道每公里线路年客运量可达100万人次以上,最高达到1200万人次,如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。

6. 占地省

大城市地面拥挤、土地费用昂贵。城市轨道交通由于充分利用了地下和地上空间的开发,不占用地面街道,能有效缓解由于汽车大量发展而造成的道路拥挤、堵塞,有利于城市空间合理利用,特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,提高了土地利用价值,并能改善城市景观。

7. 污染小

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。

但是,城市轨道交通也存在建设投资大、路网结构不易调整、运营成本高、技术条件要求高等缺点。



二、城市轨道交通的类型

目前各国对于城市轨道交通的划分尚未有统一的标准,造成城市轨道交通的类型也不是很明确。我们可以根据基本技术特征的不同,认为城市轨道交通(简称城轨)主要包括:地铁系统、轻轨系统、有轨电车、单轨系统、市郊铁路、磁浮系统。此外,随着交通系统的发展而出现了一些新交通系统:自动导向轨道系统、市域快速轨道系统等。

1. 地铁系统

地铁是由电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在全封闭的地下隧道内,或根据城市的具体条件,运行在地面或高架线路上的大运量(高峰小时单向运输能力在3

万人次以上)快速轨道交通系统。世界范围内地铁的地下部分约占70%，地面和高架部分约占30%，有的地铁系统甚至全部采用高架形式，只有部分城市地铁系统完全在地下。如图1-2所示为上海轨道交通3号线。



图1-2 上海轨道交通3号线

上海的3号线和北京的13号线都是地面或高架线路形式，但由于它的技术制式如车辆、信号、通信、线路都和其他地铁线路一致，故也把上海3号线、北京13号线称为地铁系列的线路。也有人怕混淆地铁概念，又把这类线路笼统叫做城市轨道交通。

据统计，目前世界上已有40多个国家和地区的127座城市都建造了地铁，线路总长度超过了7 000公里。我国地铁建设事业起步较晚，国内地铁建设以大城市与省会城市为主。目前，我国除了已经拥有地铁的北京、上海、广州、深圳、香港和台北等大城市，正在建设或已获得批复建设地铁的城市还有重庆、苏州、杭州、无锡、哈尔滨、乌鲁木齐、澳门等23个，据我国各城市地铁交通发展规划图显示，至2016年，我国已新建地铁交通线路89条，总建设里程为2 500 km，投资规模达99 373亿元。

地铁具有以下特征：

- (1) 全部或大部分线路建于地面以下。
- (2) 建设费用大、周期长，成本回收慢。
- (3) 行车密度大，速度高。
- (4) 客运量大，一般在高峰时单向客运量为3~7万人次/h。
- (5) 地铁列车的编组数决定于客运量和站台的长度，一般为2~8辆。
- (6) 地铁车辆的消声减振和防火均有严格要求，既安全，又舒适。
- (7) 供电的制式主要有直流750 V或1 500 V架空线受电弓及第三轨集电靴受电。

2. 轻轨系统

轻轨交通是指以有轨电车为基础发展起来的电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在专用车道上的中运量(高峰小时单向运输能力在1~3万人次)的城市轨道交通系统。轻轨的涵义是就车辆对轨道施加的荷载而言，轻轨车辆与地铁车辆相比相对较轻。轻轨交通的运量介于地铁和常规公交之间，它可以根据城市的特点和具体情况，采用地下、地面及高架相结合的形式进行建设，具有很大的灵活性和适应性。如图1-3所示为沈阳轻轨。



图1-3 沈阳轻轨

轻轨是在老式的地面有轨电车的基础上发展起来的，在西欧、北美等地已经成为城市公共交通投资的主流。近年来，随着中国城市化步伐的加快，我国重庆、上海、北京等城市纷纷兴建城市轻轨。

轻轨与一般的铁路相比，具有以下特征：

(1) 线路可以为地面、地下和高架混合型，一般与地面道路完全隔离，采用半封闭或全封闭专用车道。

(2) 建设费较少，每公里线路造价仅为地铁的 $1/5\sim 1/2$ 。

(3) 中等运量，每小时单向运输能力一般为2万~4万人次，介于地铁和公共汽车之间。

(4) 轻轨车辆有单节4轴车、双节单铰6轴车和3节双铰8轴车等。

(5) 对车辆和线路的消声和减振有较高要求。

(6) 供电制式以直流750 V架空线（或第三轨）供电为主，也有部分采用直流1500 V和直流600 V供电。

3. 有轨电车

有轨电车是最早发展的城市轨道交通之一，一般在城市中心穿街走巷运行，具有上下车方便的特点，通常为单节。

早期有轨电车一般采用直流电机驱动，单向小时运能在5 000人次左右，速度在 $10\sim 20$ km/h。由于运能、挤占道路、噪声等问题，后来一些城市相继拆除，规模缩小。如图1-4所示为早期有轨电车。

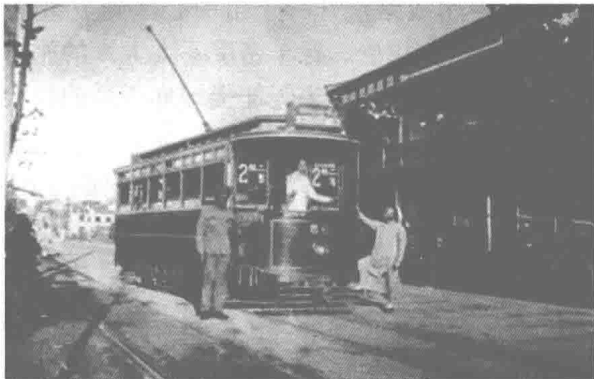


图1-4 早期有轨电车

与早期有轨电车相比,当今的有轨电车是高科技的结晶,使用先进的牵引、制动设备。它一般为两节车厢编组,可容纳180人至190人,是普通单节公交车的两倍。新型有轨电车平均时速20公里,比城市中公交车平均时速快30%;同时,有轨电车普遍使用长钢轨,基本没有接头,行驶中车轮与钢轨的摩擦噪声较低。

从20世纪70年代开始,采用线路隔离、自动化信号调度、开发高性能车辆等措施对传统有轨电车进行改造,使其在速度、能耗、噪声、运载能力等方面得到很大提高。

2006年底,天津滨海新区开通了法国引进的胶轮电车Transport,是中国大陆境内第一个使用胶轮电车的案例。如图1-5所示为天津胶轮电车。

2009年,上海浦东新区张江地区也开通了胶轮有轨电车。如图1-6所示为上海胶轮有轨电车。



图1-5 天津胶轮电车



图1-6 上海胶轮有轨电车

4. 单轨系统

单轨系统是一种车辆与特制轨道梁组合成一体运行的中运量轨道运输系统,其轨道梁不仅是车辆的承重结构,还是车辆运行的导向轨道。单轨系统的类型主要有两种:一种是车辆跨骑在单片梁上运行的方式,称之为跨座式单轨系统;另一种是车辆悬挂在单根梁上运行的方式,称之为悬挂式单轨系统。

单轨系统适用于单向高峰小时最大断面客流量1~3万人次的交通走廊。其占地面积很少,与其他交通方式完全隔离,运行安全可靠,建设适应性较强。中国正式作为城市交通用途的单轨交通已于2005年6月18日在重庆正式建成运营,型式为跨座式单轨。如图1-7所示为重庆跨座式单轨。

5. 市郊铁路

利用干线铁路或修建专用线路,开行于市中心区到卫星城镇、卫星城镇到卫星城镇间(站距较大、停车次数较少、行车密度不太大)的旅客列车,叫做市郊铁路。它主要用于通勤、通学、旅游、赶集等加强城郊联系的社会、经济活动。如图1-8所示为北京市郊铁路S2线。

市郊铁路通常和干线铁路相连,或者就是干线铁路的一部分。但它又不同于干线铁路,属于城市公共交通范畴,主要满足市域范围内的出行需求。市郊铁路也不同于地铁,与地铁相比具有站距长、车速高、运能大,以及投资省、造价低等优点,列车编组多、车体大,大部分线路可铺设在地上(高架或地面方式),设站相对减少,车站结构较简单,建设费用较低;与干线铁路技术标准相兼容,可实现两者的功能衔接与设备共享。



图1-7 重庆跨座式单轨

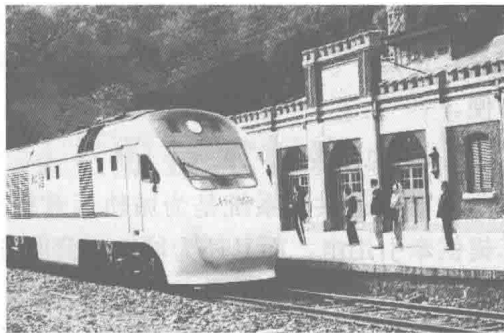


图1-8 北京市郊铁路S2线

6. 磁浮系统

磁悬浮列车是一种现代高科技轨道交通工具，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。磁浮交通有常导和超导两种类型。常导式磁浮线路能使车辆浮起10毫米~15毫米的高度，运行速度较低，用感应线性电机来驱动。超导式磁浮线路能使车辆浮起100毫米以上，速度较高，用同步线性电机来驱动，技术难度较大。我国第一辆磁悬浮列车（购自德国）于2003年1月开始在上海磁浮线运行。2016年5月，中国首条具有完全自主知识产权的中低速磁悬浮商业运营示范线——长沙磁浮快线开通试运营。该线路也是世界上最长的中低速磁浮运营线。如图1-9所示为长沙磁浮快线。



图1-9 长沙磁浮快线



三、城市轨道交通系统的组成

城市轨道交通系统除了线路工程外，主要由车辆、供电系统、通信系统、信号系统、通风空调与采暖系统、给排水与消防系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统、自动售检票系统、自助扶梯和电梯、屏蔽门（安全门）系统组成。

1. 车辆

城市轨道交通的车辆是用来搭载乘客、在固定导轨上行驶的运输工具，按有无动力可分为两大类：拖车（T），本身无动力牵引装置；动车（M），本身带有动力牵引装置。在运营时城轨列车一般采用动拖结合、固定编组的电动列车组形式。

城轨车辆不仅要有较强的载客能力、良好的动力性能、可靠的安全性能，保证运行安全、正点、快速；同时又要有良好的乘客服务设施，使乘客感到舒适、文明、方便。

2. 供电系统

城市轨道交通供电系统是为城轨运营提供所需电能的系统，它不仅为城轨电动列车提供牵引用电，而且还为城轨运营服务的其他设施提供电能，如照明、通风、空调、给排水、通信、信号、防灾报警、自动扶梯等。在城市轨道交通运营中，供电一旦中断，不仅会造成城市轨道交通运营瘫痪，还有可能危及旅客生命安全，造成财产损失。因此，高度安全、可靠而又经济合理的供电系统是城市轨道交通正常运营的重要条件和保证。

城市轨道交通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、一定的电流形式（直流或交流电）供给用电设备。

3. 通信系统

城市轨道交通的通信系统是指挥列车运行、公务联络和传递各种信息的重要手段，是保证列车安全、快速、高效运行不可缺少的综合通信系统。城轨通信系统主要包括：传输系统、公务电话系统、专用电话系统、无线集群通信系统、闭路电视监控系统（CCTV）、有线广播系统（PA）、时钟系统、电源及接地系统、乘客导乘信息系统（PIS）、办公室自动化（OA）等子系统。通信系统的服务范围涵盖了控制中心、车站、车辆段、停车场、地面线路、高架线路、地下隧道与列车。城轨通信系统要求高、可靠、易扩充、组网灵活、独立采用通信网络，并能与公共通信系统联网。

4. 信号系统

城市轨道交通信号系统是保证列车运行安全，实现行车指挥和列车运行现代化，提高运输效率的关键系统设备。通常由列车自动控制系统（Automatic Train Control, ATC）组成，ATC系统包括三个子系统：

列车自动监控系统（Automatic Train Supervision, ATS）；

列车自动防护子系统（Automatic Train Protection, ATP）；

列车自动运行系统（Automatic Train Operation, ATO）。

三个子系统通过信息交换网络构成闭环系统，实现地面控制与车上控制结合、现地控制与中央控制结合，构成一个以安全设备为基础，集行车指挥、运行调整以及列车驾驶自动化等功能为一体的列车自动控制系统。

5. 其他

通风空调与采暖系统、给排水与消防系统、火灾自动报警系统、环境与设备监控系统、自动售检票系统、自动扶梯和电梯、屏蔽门（安全门）等系统设施，在保证乘客有一个安全、舒适的候车环境的同时，更保证乘客能够可靠、便捷地乘坐列车。



任务二

城轨供电系统的设计原则与主要技术标准



一、城轨供电系统的主要设计原则

- (1) 供电系统设计应满足安全、可靠、灵活、经济等要求。
- (2) 供电系统设计时应根据线路走向、站位分布和沿线电力系统供电电源分布情况以及线网规划等，合理确定变电所分布方案。
- (3) 根据轨道交通线路对供电可靠性的要求，每座主变电站必需由地区变电所提供两回独立供电线路，以保证供电可靠性和供电质量。
- (4) 牵引变电所设两台整流机组，两台整流机组以并联运行构成等效24脉波整流方式向牵引网供电，以减少注入系统的谐波。
- (5) 牵引变电所安装容量除应满足正常运行方式高峰小时负荷要求外，还应满足当任一牵引变电所解列时，相邻牵引变电所通过大双边供电承担高峰小时负荷的能力。
整流机组负荷特性应符合下列要求：
100%额定负荷——连续；
150%额定负荷——2小时；
300%额定负荷——1分钟。
- (6) 为节省变电所面积及设备投资，在设牵引变电所的车站，降压变电所与牵引变电所合建为牵引降压混合变电所。
- (7) 中压供电网络的每分区应有两路互为备用的电力电缆贯通回路。中压供电网络分区原则为：运行时应保证轨道交通供电系统的功率传输途径最短。
- (8) 中压供电网络电力电缆截面应满足其中一路故障时，另一路担负整个分区高峰小时牵引负荷和全部照明负荷用电的要求。
- (9) 牵引供电系统采用直流1 500 V架空接触网供电。接触网最高电压不得高于1 800 V，最低电压不得低于1 000 V。
- (10) 无功补偿暂按就地分散补偿的原则，在降压变电所0.4 kV侧设置自动投切无功补偿装置，使供电系统总功率因数不低于0.9。
- (11) 在满足技术水平要求下，尽量采用国产设备。



二、城轨供电系统的主要技术标准

- (1) 《地铁设计规范》(GB 50157—2013)

- (2) 《城市轨道交通直流牵引供电系统》(GB 10411—2005)
- (3) 《干式电力变压器》(IEC 60726)
- (4) 《半导体变流器》(IEC 60146)
- (5) 《半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分:基本要求规范》(GB 3859.1—2013)
- (6) 《半导体变流器 通用要求和电网交换变流器 第1-2部分:应用导则》(GB 3859.2—2013)
- (7) 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2008)
- (8) 《高压电缆选择导则》(IEC 1059)
- (9) 《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)
- (10) 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)
- (11) 《35 kV~110 kV变电站设计规范》(GB 50059—2011)
- (12) 《20 kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)
- (13) 《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)
- (14) 《电能质量公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)
- (15) 《电能质量供电电压允许偏差》(GB/T 12325—2008)
- (16) 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)
- (17) 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》(GB/T 50064—2014)
- (18) 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)
- (19) 《交流电气装置接地设计规范》(GB 50065—2011)
- (20) 《工业机械电气图用图形符号》(GB/T 24340—2009)
- (21) 《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》(CJJ 49—1992)
- (22) 《Railway applications-Fixed installations-Protective provisions relating to electrical safety and earthing》(EN 50122—1—1998) 铁路设施.固定设备:电气安全和接地的防护设备
- (23) 《Railway applications-Fixed installations-Protective provisions against the effects of stray currents caused by D.Sc. traction systems》(EN 50122—2—1999) 铁路设施.固定设备:直流牵引系统引起的杂散电流效应保护措施



任务三

城轨供电系统的功能和主要运行方式

目前世界各国的城轨交通都采用电力牵引,电能的供应和传输是城轨安全、