

城市轨道交通 供电系统技术

CHENGSHIGUIDAOJIAOTONGGONGDIANXITONGJISHU

上海科学普及出版社



王靖满 编 著
黄书明

城市轨道交通 供电系统技术

CHENGSHIGUIDAOJIAOTONGGONGDIANXITONGJISHU

上海科学普及出版社



图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供电系统技术 / 王靖满, 黄书明编著.

—上海: 上海科学普及出版社, 2011. 9

ISBN 978-7-5427-5013-6

I. ①城… II. ①王… ②黄… III. ①城市铁路
—供电系统—基本知识 IV. ①U239. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 137769 号

责任编辑 陈爱梅
统 筹 理 应
封面设计 徐绍凯

城市轨道交通供电系统技术

王靖满 黄书明 编著

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 上海欧阳印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 28.5 字数 693 000

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5427-5013-6 定价: 60.00 元

前 言

随着大、中型城市交通问题的日益突出,优先发展公共交通,大力发展城市轨道交通已成为城市交通发展的必然趋势。目前,我国城市轨道交通建设已进入到大规模、高速度发展阶段:1995年至2008年底,我国建有轨道交通的城市,从2个(北京、天津)增加到10个,投资以每年数百亿元的规模建设。到2009年底,已有10个城市开通了31条城市轨道交通线,运营里程达到835.5公里。2009年12月,国务院又批复了22个城市的地铁建设规划,到2015年前后将新建87条城市轨道交通线,总里程将达到2495公里,总投资9886亿元。

上海、北京、广州、南京、天津、深圳、重庆等大城市已进入轨道交通网络化统筹、网络化规划、网络化建设、网络化运营阶段;更多的城市正在建设或规划筹建城市轨道交通工程。供电系统是城市轨道交通工程中重要机电设备系统之一,它担负着为电动列车和各种运营设备提供电能的重要任务。在城市轨道交通的运营中,供电中断不仅会造成城市轨道交通运输的瘫痪,还将造成财产的损失,甚至危及乘客生命安全。因此供电系统的技术水平涉及到轨道交通系统的安全,是可靠运营的重要保证和前提。

为了提高轨道交通供电系统设计、建设、运营的工作水平,并指导实质性工作,编写一套适用于城市轨道交通供电系统的技术专著是非常必要和及时的,以满足当前不断增长的轨道交通系统的需要,紧跟城市建设步伐。在萌生该想法后,本人邀请长期从事供配电技术与电气设备应用研究的西门子中压开关技术(无锡)有限公司职能中心经理黄书明共同参与此书的编著。

本着总结过去,面对现实,展看未来的原则;结合工程实际,对多年来城市轨道交通供电系统设计经验以及研究完成的成果进行总结和提升,编著成这本技术专著与业内同仁共享资源。本专著以国内城市轨道交通供电系统最常用的技术标准为基础(包括标准设计),针对技术专题进行计算和分析,并论述过程和结论。以上海市轨道交通供电系统的设计内容为例进行重点分析,包含供电系统的所有专业,从理论与实践的两方面为相关技术人员提供系统性技术专著。本专著能够指导落实具体工程的设计、建设与运营管理,为技术的先进性、系统性和协调性提供了保障。本书可供城市轨道交通工程供电的设计、建设施工以及运营的专业技术人员参考,并可作为大专院校、科研单位、设备制造厂家等专业人员参考用书。鉴于技术水平及实践的局限性,本书内容如有不妥之处,敬请原谅并赐教,不胜感谢。

王绪满

2011年元月于上海

目 录

第 1 章 供电系统构成及功能划分

1.1	供电系统构成	(1)
1.2	供电系统按功能划分	(1)
1.2.1	外部电源功能	(1)
1.2.2	主变电所或电源开闭所功能	(1)
1.2.3	中压供电网络功能	(1)
1.2.4	牵引供电系统功能	(1)
1.2.5	动力照明供电系统功能	(2)
1.2.6	杂散电流腐蚀防护系统的功能	(2)
1.2.7	电力监控与数据采集(SCADA)功能	(2)
1.2.8	过电压防护及综合接地系统功能	(2)
1.3	供电系统按设计专业划分	(2)
1.3.1	供电计算(系统)专业	(2)
1.3.2	主变电所专业	(3)
1.3.3	牵引变电所专业	(3)
1.3.4	降压变电所专业	(3)
1.3.5	接触网专业	(4)
1.3.6	动力照明专业	(4)
1.3.7	杂散电流腐蚀防护专业	(4)
1.3.8	电力监控与数据采集与能量监测系统专业	(4)
1.3.9	供电车间专业	(4)

第 2 章 主要技术标准与设计原则

2.1	主要技术标准	(6)
2.2	主要设计原则	(8)

第3章 供电系统各专业之间及与其他相关专业之间接口界面及细则

3.1 概述	(13)
3.2 专业代码	(15)
3.3 供电系统内部各专业之间设计接口界面及细则	(16)
3.4 供电系统各专业与系统外部相关专业设计接口界面及细则	(24)

第4章 供电计算专业

4.1 专业概述	(30)
4.2 外部电源及主变电所	(31)
4.2.1 外部电源方案形式	(31)
4.2.2 外部电源方案比选	(33)
4.2.3 外部电源及主变电所资源共享	(33)
4.2.4 谐波分析及治理	(38)
4.2.5 无功功率补偿	(39)
4.3 中压网络构成及供电方案	(40)
4.3.1 中压网络的电压等级	(40)
4.3.2 中压网络构成形式	(41)
4.3.3 中压网络电缆	(43)
4.3.4 电能质量	(44)
4.4 牵引变电所分布	(45)
4.5 降压变电所分布	(47)
4.6 主变电所分布	(48)
4.7 供电系统运行方式	(48)
4.7.1 供电系统正常运行方式	(48)
4.7.2 供电系统故障运行方式	(49)
4.8 供电系统的主要参数计算	(50)
4.8.1 牵引供电计算	(50)
4.8.2 配电变压器容量计算	(58)
4.8.3 主变压器容量计算	(60)
4.8.4 接地变压器容量计算	(62)
4.8.5 潮流计算与分析	(63)
4.8.6 交流系统短路计算	(73)
4.8.7 直流系统短路计算	(78)
4.8.8 谐波计算	(91)
4.8.9 需用电功率及年用电量	(100)
4.9 主要设计图纸	(100)

第5章 主变电所专业

5.1	所址选择	(103)
5.1.1	变电所选址的意义	(103)
5.1.2	变电所选址的基本要求	(103)
5.2	电气主接线	(104)
5.2.1	电气主接线基本要求	(104)
5.2.2	高压侧接线形式	(104)
5.2.3	几种接线形式比较	(105)
5.2.4	中压侧接线形式	(105)
5.2.5	设计实例	(106)
5.3	主变电所的设备布置	(106)
5.3.1	主变电所总体布置要求	(106)
5.3.2	主变电所设备布置基本要求	(107)
5.3.3	主变电所设备布置实例	(108)
5.4	控制保护和自动装置	(109)
5.4.1	二次回路的设计基本要求	(109)
5.4.2	控制、保护、测量	(110)
5.4.3	继电保护配置及整定计算实例	(112)
5.5	交、直流自用电系统	(124)
5.5.1	交流自用电系统	(124)
5.5.2	直流自用电系统	(124)
5.5.3	事故照明系统	(124)
5.6	主要设计图纸	(125)

第6章 牵引变电所专业

6.1	牵引变电所位置确定的基本要求	(155)
6.2	牵引变电所电气主接线	(155)
6.2.1	电气主接线基本要求	(155)
6.2.2	中压主接线形式	(155)
6.2.3	直流主接线形式	(156)
6.2.4	设计实例	(158)
6.3	牵引变电所的设备布置	(160)
6.3.1	牵引变电所总体布置要求	(160)
6.3.2	牵引变电所设备布置基本要求	(162)
6.3.3	牵引变电所设备布置实例	(164)
6.4	牵引变电所的控制保护及自动装置	(166)
6.4.1	二次回路的设计基本要求	(166)

6.4.2	控制、保护及测量	(166)
6.4.3	自动装置	(192)
6.4.4	保护配置及整定计算实例	(193)
6.5	交、直流自用电系统	(205)
6.5.1	交流自用电系统	(205)
6.5.2	直流自用电系统	(205)
6.6	主要设计图纸	(205)

第7章 降压变电所专业

7.1	降压变电所位置确定	(228)
7.2	降压变电所电气主接线	(228)
7.2.1	电气主接线基本要求	(228)
7.2.2	中压主接线形式	(228)
7.2.3	0.4kV 配电系统主接线形式	(228)
7.2.4	设计实例	(229)
7.3	降压变电所的设备布置	(230)
7.3.1	降压变电所总体布置要求	(230)
7.3.2	降压变电所设备布置基本要求	(230)
7.3.3	降压变电所设备布置设计实例	(230)
7.4	变电所的控制保护及自动装置	(231)
7.4.1	二次回路的设计基本要求	(231)
7.4.2	控制、保护、测量	(231)
7.4.3	自动装置	(233)
7.5	交、直流自用电系统	(233)
7.5.1	交流自用电系统	(233)
7.5.2	直流自用电系统	(233)
7.6	主要设计图纸	(233)

第8章 接触网专业

8.1	专业概述	(248)
8.1.1	柔性架空接触网	(249)
8.1.2	刚性架空接触网	(249)
8.2	设计范围和主要设计原则	(249)
8.2.1	设计范围	(249)
8.2.2	主要设计原则	(249)
8.3	柔性架空接触网	(257)
8.3.1	装配设计	(257)
8.3.2	平面设计	(263)

8.3.3	柔性架空接触网零部件及设备材料的选型	(265)
8.4	刚性架空接触网	(268)
8.4.1	装配设计	(269)
8.4.2	平面设计	(269)
8.4.3	安装配合	(271)
8.4.4	刚性架空接触网零部件及设备材料的选型	(271)
8.4.5	刚性悬挂与柔性悬挂的过渡	(272)
8.5	主要设计图纸	(274)
第9章 动力照明专业		
9.1	车站动力照明配电方式	(278)
9.1.1	负荷等级划分和供电电源	(278)
9.1.2	动力配电	(279)
9.1.3	照明配电	(280)
9.2	车站动力照明的控制方式	(282)
9.2.1	动力控制	(282)
9.2.2	照明控制	(283)
9.3	区间动力照明	(284)
9.3.1	动力配电及控制	(284)
9.3.2	照明配电及控制	(285)
9.3.3	施工注意事项	(286)
9.4	电线、电缆敷设方法	(286)
9.5	UPS 电源综合系统	(288)
9.6	防雷与接地	(289)
9.7	主要设计图纸	(290)
第10章 电力监控与数据采集(SCADA)专业		
10.1	专业概述	(300)
10.2	系统构成	(300)
10.2.1	主站监控系统	(301)
10.2.2	子站系统	(301)
10.2.3	系统通道	(301)
10.2.4	复示系统	(302)
10.3	系统主要功能	(302)
10.3.1	系统监控基本内容	(302)
10.3.2	主站监控系统功能	(304)
10.3.3	子站系统功能	(308)
10.3.4	复示系统功能	(309)

10.3.5	系统技术指标	310
10.4	能量监测系统	310
10.4.1	能量监测管理系统组成	310
10.4.2	能量监测功能要求	311
10.5	主要设计图纸	311

第 11 章 杂散电流腐蚀防护专业

11.1	专业概述	314
11.2	杂散电流的产生、腐蚀机理及危害	315
11.2.1	杂散电流产生的原因	315
11.2.2	杂散电流的腐蚀机理	316
11.2.3	杂散电流产生的危害	317
11.3	杂散电流腐蚀防护措施对相关专业的要求	319
11.3.1	对牵引供电系统的要求	319
11.3.2	对轨道系统的要求	319
11.3.3	道床屏蔽网(收集网)的要求	320
11.3.4	地下主体结构防护	320
11.3.5	高架桥主体结构防护	321
11.3.6	绝缘防护措施要求	321
11.3.7	车辆段(停车场)内设施的防护要求	322
11.3.8	接地系统要求	323
11.3.9	运营管理要求	323
11.4	杂散电流排流网截面计算	323
11.4.1	杂散电流排流网截面计算方法	323
11.4.2	杂散电流排流网截面实例计算	324
11.4.3	杂散电流排流网的钢筋数计算	325
11.5	杂散电流的计算和分析	325
11.5.1	杂散电流的相关参数计算	325
11.5.2	杂散电流相关参数分析	328
11.6	杂散电流监测系统	328
11.6.1	杂散电流监测内容	328
11.6.2	杂散电流监测方案	330
11.6.3	杂散电流监测点设置原则	331
11.6.4	杂散电流防护系统主要设备功能和布置	331
11.6.5	杂散电流防护监测系统纳入 SCADA 系统	333
11.6.6	杂散电流防护监测系统纳入能耗检测系统	335
11.7	主要设计图纸	335

第 12 章 供电车间专业

12.1	概述	(340)
12.2	主要设计原则	(340)
12.3	管理机构	(341)
12.4	检修设备配备及要求	(341)
12.5	机构主要职责	(342)
12.6	定员	(342)
12.7	基础设施及房屋配备	(342)

第 13 章 节能环保措施

13.1	节能环保设计	(343)
13.2	选用高效低耗电气设备	(344)

第 14 章 主要设备选择原则及技术要求

14.1	主要设备选型原则	(346)
14.2	主要设备技术要求	(348)
14.2.1	110kV GIS	(348)
14.2.2	互感器	(351)
14.2.3	主变压器	(356)
14.2.4	干式变压器	(364)
14.2.5	35kV 中性点接地电阻成套装置(接地变与中性点电阻器) ..	(366)
14.2.6	35kV 气体绝缘开关柜(GIS)	(368)
14.2.7	0.4kV 开关柜	(369)
14.2.8	电力监控与数据采集系统	(378)
14.2.9	牵引整流变压器	(378)
14.2.10	整流器	(379)
14.2.11	1500V 直流开关柜	(381)
14.2.12	交流屏	(385)
14.2.13	直流屏	(387)
14.2.14	杂散电流防护系统设备	(390)
14.2.15	电力电缆、控制电缆与通讯光缆	(395)

第 15 章 过电压保护与绝缘配合

15.1	过电压保护及综合接地总体要求	(405)
15.2	接地	(406)
15.2.1	接地的分类	(406)
15.2.2	系统工作接地的分类	(407)

15.2.3	综合接地系统	(408)
15.3	过电压保护与绝缘配合	(410)
15.3.1	过电压概述	(410)
15.3.2	轨道交通供电系统中常用的过电压保护措施	(417)
第 16 章	专题讨论	
16.1	供电系统继电保护的合理配置和整定	(425)
16.2	再生制动能量吸收方案分析	(427)
16.3	框架泄露保护装置可靠性的提高	(434)
16.4	接触网刚性悬挂注意的问题	(435)
16.5	车辆段(停车场)钢轨接地方案	(436)
参考文献	(439)

第 1 章 供电系统构成及功能划分

1.1 供电系统构成

城市轨道交通供电系统通常由以下几部分组成:外部电源、主变电所或电源开闭所、中压供电网络、牵引供电系统、动力照明供电系统、杂散电流腐蚀防护系统、电力监控与数据采集(SCADA)系统、能量监测管理系统、过电压防护及综合接地系统组成。

1.2 供电系统按功能划分

1.2.1 外部电源功能

轨道交通供电系统的外部电源就是为供电系统的主变电所或电源开闭所供电的城市电力系统的高压系统。

1.2.2 主变电所或电源开闭所功能

通过主变电所或电源开闭所将来自于城市电力系统的高压电源(110kV、66kV、35kV)降压或配电为轨道交通系统使用的中压(35kV、10kV)交流电,并通过中压供电网络,向牵引供电系统和动力照明供电系统供电。

1.2.3 中压供电网络功能

中压供电网络的功能是(用联络电缆和差动保护光缆)将纵向上级的主变电所和下级的变电所连接起来以及横向把全线的各个变电所连接起来,向牵引供电系统和动力照明供电系统供电。

1.2.4 牵引供电系统功能

将来自于主变电所(或电源开闭所)的 35kV(10kV)电源,通过中压网络分配给牵引变电所,并通过降压整流,变成轨道交通列车使用的直流 1500V(750V)电源,再通过牵引网



(由馈电线、接触网、上网电缆、钢轨电路及回流网等构成)不间断地供给轨道交通列车电能,以保证列车安全、可靠、快速地运行。

1.2.5 动力照明供电系统功能

将来自于主变电所或电源开闭所的 35kV(10kV)电源,通过中压网络分配给降压变电所,通过降压,变成车站、区间动力照明等设备使用的低压 380/220V 电源,再通过低压配电系统供给动力照明等设备使用,以保证车站设备和照明系统的正常运行。

1.2.6 杂散电流腐蚀防护系统的功能

杂散电流腐蚀防护系统的功能是防止直流牵引供电系统引起的杂散电流扩散,尽可能避免杂散电流对城市轨道交通本身及其附近结构钢筋、金属管线的电腐蚀,并对杂散电流及其腐蚀防护状况进行监测。

1.2.7 电力监控与数据采集(SCADA)功能

通过电力调度中心调度端、通信通道、子站,对整个轨道交通供电系统的主变电所、牵引变电所、降压变电所、接触网、杂散电流腐蚀防护系统等主要供电设施的运行状态进行实时监视、控制、数据采集及处理,实现供电设备的自动化调度管理,以保证设备的正常运行。能量监测系统对各线路车站、各设备的用电能量进行数据采集,集中统计、比较、分析,实现网络化管理。

1.2.8 过电压防护及综合接地系统功能

供电系统在运行过程中会遭受暂态过电压、操作过电压、雷电过电压的侵袭,使设备绝缘直接破坏或不断劣化,最终引发事故。供电系统应根据轨道交通沿线的气候情况和系统特点设置完善的防护措施。

综合接地装置由人工接地体和自然接地体组成,接地电阻应小于 0.5Ω ,接触电位差和跨步电位差应符合 DL/T621《交流电气装置的接地》规程相应要求,确保人身安全和设备安全。

1.3 供电系统按设计专业划分

轨道交通供电系统按设计专业划分:供电计算(系统)、主变电所、牵引变电所、降压变电所、牵引网、杂散电流腐蚀防护、电力监控与数据采集、供电车间(通常由牵引变电所专业兼)、动力照明系统。动力照明系统设备属于车站建筑的附属设备,通常由车站工点设计单位负责,而不由供电系统设计单位负责。为了明确供电系统各设计专业的界面,以下对专业设计范围细化但不限于。

1.3.1 供电计算(系统)专业

供电计算(系统)专业设计内容包括但不限于:供电系统方案构成及技术标准、电源资

源共享、牵引供电系统仿真、系统潮流计算与分析、功率平衡、无功补偿、电压波动、系统短路计算、谐波计算与分析、再生能量吸收计算、需用电功率及年用电量计算、系统防雷与接地、过电压保护措施、系统运行方式、系统继电保护整定计算、主变电所分布与变压器容量计算、接地变压器容量计算、牵引变电所分布与整流机组容量计算、牵引网系统载流量计算、直流正馈线、负馈线电缆选型、中压供电网络构成、电缆及附件选型、电缆敷设路径、电缆支架结构、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。设计阶段分为工程可行性研究报告、初步设计、设备采购招标、施工图设计、施工招标、变更设计及施工配合、竣工验收等阶段的设计工作、总体工作配合等,以下各专业类同。

1.3.2 主变电所专业

主变电所专业设计内容包括但不限于:主变电所选址、电气主接线、运行方式、主变压器选择、中性点接地方式、无功补偿和滤波、设备选择、设备布置、设备开孔图、基础预埋件图、接地布置图、设备安装图、110kV、35kV 交流开关柜排列图、保护和信号配置图、各主要开关设备的保护和控制逻辑图、综合自动化系统图、二次原理接线图和端子排图、二次电缆清册、所内自用电系统图、继电保护整定计算、电缆敷设路径、电缆支架结构、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.3 牵引变电所专业

牵引变电所专业设计内容包括但不限于:主接线、运行方式、变电所综合自动化、所内交直流系统、继电保护整定计算、换乘车站资源共享方案、变电所位置、生产房屋及平面布置图、设备开孔图、基础预埋件图、设备调查和选型、设备安装图、35kV 交流开关柜排列图、DC1500V 开关柜排列图、保护和信号配置图、变电所综合自动化系统图、设备的保护和控制逻辑图、二次原理接线图和端子排图、二次电缆清册、电缆及附件选型、电缆敷设路径、电缆支持结构、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.4 降压变电所专业

降压变电所专业设计内容包括但不限于:主接线、运行方式、负荷计算、配电变压器容量选择、变电所综合自动化、所内交直流系统、继电保护整定计算、换乘车站资源共享方案、变电所位置、生产房屋及平面布置图、设备开孔图、基础预埋件图、设备调查和选型、设备安装图、35kV 交流开关柜排列图、0.4kV 开关柜排列图、保护和信号配置图、变电所综合自动化系统图、设备的保护和控制逻辑图、二次原理接线图和端子排图、二次电缆清册、电缆及附件选型、电缆敷设路径、电缆支持结构、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。



1.3.5 接触网专业

接触网专业设计内容包括但不限于:牵引网构成、设备调查和选型、直流供电分段确定、牵引网平面布置、接触网悬挂方式、零件安装、支持结构与基础、附加导线、防雷与接地、隔离开关等设备安装、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.6 动力照明专业

动力照明专业设计内容包括但不限于:负荷分类及供电原则、动力配电原则、车站用电量要求、动力设备控制、保护及启动方式、动力设备选择与布置、动力设备供电、保护接地、照度标准、光源选择、照明负荷容量、照明配电及控制方式、应急照明及配电、插座设置、弱电UPS电源综合系统的设置及控制逻辑图、设备调查和选型、电缆及附件选型、电缆敷设路径、电缆支持结构、节能措施、环控负荷计算、照明负荷计算、动力分层系统图、照明分层系统图、环控系统配置图、应急电源系统图、照明配电总箱系统图、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.7 杂散电流腐蚀防护专业

杂散电流腐蚀防护专业设计内容包括但不限于:杂散电流腐蚀防护方案及防护措施、杂散电流监测方案、接地系统方案、杂散电流腐蚀防护对相关专业的要求、设备调查和选型、参比电极、测量端子、排流柜、传感器、传输信号电缆、数据处理单元、设备平面布置、负(均)回流系统布置、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.8 电力监控与数据采集与能量监测系统专业

电力监控与数据采集专业设计内容包括但不限于:设备调查和选型、控制中心内的主站监控系统构成、变电所综合自动化构成、复示系统设置点及方案、传输系统的构成、监控对象概述表、数据传输通道电缆(光缆)路径图、隔离开关监控原理图、程控表以及变电所维护计算机功能、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。如果采用综合监控系统,电力监控与数据采集系统将被集成到综合监控系统中,作为综合监控系统的一部分而统一设计。

能量监测系统主要设计内容包括但不限于:设备调查和选型、车站级系统构成、线路级系统功能、车站级系统构成图、线路级系统构成示意图、智能表计设置、数据传输通道电缆(光缆)路径图、概预算(含主要设备表、工程数量表、单价分析及汇总表)等方面的分析、方案比较,与相关专业的接口设计以及配合土建设计等。

1.3.9 供电车间专业

供电车间专业设计内容包括但不限于(如不设供电车间专业,由牵引变电所专业兼):