

Design Principle and Application of
Power System for Urban Rail Transit

城市轨道交通供电系统

设计原理与应用

于松伟 杨兴山 韩连祥 张 巍·编著



西南交通大学出版社

城市轨道交通供电系统 设计原理与应用

于松伟 杨兴山 韩连祥 张巍 编著



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 提 要

本书是在作者总结以往数十年城市轨道交通供电系统设计经验的基础上,系统地阐述了城市轨道交通供电系统的设计理论、设计方法、设计实践。全书共分 19 章,从基础知识、系统功能、系统构成、系统方案、计算方法、设备选型、设备布置、节能措施等进行了全面介绍,最后还列举了国内外工程设计应用实例。

本书具有城市轨道交通供电系统的设计指南作用,适用于城市轨道交通工程供电系统的设计人员,对城市轨道交通建设与运营管理部门的工程技术人员,也是一本很好的参考书。也可供大专院校、科研单位、施工单位、设备制造厂家等专业人员参考。

本书为四川省“十一五”重点图书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通供电系统设计原理与应用 / 于松伟等编著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2008.6
ISBN 978-7-81104-850-6

I. 城… II. 于… III. 城市铁路—供电—电力系统—系统设计 IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 081605 号

城市轨道交通供电系统设计原理与应用

于松伟 杨兴山 韩连祥 张 巍 编著

*

责任编辑 高平 万方

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 32.5

字数: 811 千字 印数: 1—3 000 册

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-850-6

定价: 68.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

序

很高兴看到这本书！因为它满足了目前我国城市轨道交通建设的应时之需。

当前我国高度重视节能降耗问题。2008年4月1日起施行的《中华人民共和国节约能源法》明确规定：节约资源是我国的基本国策。国家实施节约与开发并举、把节约放在首位的能源发展战略。“十一五”期间，我国单位国内生产总值能源消耗要降低20%左右，主要污染物排放要减少10%。

城市轨道交通工程，是电力驱动的车辆运输系统，它具有运量大、耗能少、快捷、准时、污染轻、占地少等特点，它对缓解城市交通拥堵、改善城市居民出行、节约能源、减少污染物排放量，具有重要作用。城市轨道交通符合城市可持续发展的战略要求。

目前，大力发展城市轨道交通已成共识。我国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要明确指出：优先发展公共交通，有条件的大城市 and 城市群地区要把轨道交通作为优先领域，超前规划，适时建设。最近，国务院下发的“节能减排综合性工作方案的通知”提出：优先发展城市公共交通，加快城市快速公交和轨道交通的建设。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。北京、上海、广州等特大城市的轨道交通已步入了网络化时代。

城市轨道交通供电系统，是城轨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，也是城市电网的用电大户。城轨供电系统的可靠性与安全性，直接影响到城轨交通的安全运营与服务水平；城轨供电方案的科学性及设备选型的合理性，也直接影响到城轨交通的节能效果。

北京城建设计研究总院的电气工程师们，结合工程实际，对多年来的城市轨道交通供电系统设计经验及研究成果进行了全面总结、系统提升，并编著成书与业内共享。这在城轨供电设计指导参考书比较缺乏的情况下，无疑是一件好事。它将有助于进一步提高我国城轨供电系统的技术水平和经济效益，促进我国城市轨道交通事业又好又快的发展，这对建设资源节约型、安全便捷型、环境友好型、技术创新型的城市轨道交通具有重要现实意义。

中国工程院院士



2008年春节前夕于北京

前 言

进入 21 世纪以来,随着我国大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选择。目前,我国城市轨道交通建设已进入了大规模高速发展期,国内现有 30 多个城市正在建设或规划筹建城市轨道交通工程,北京、上海、广州等特大城市正在逐步形成城市轨道交通网络。

城市轨道交通供电系统,负责为电动列车提供牵引电源和为各种运营设备提供动力照明电源,同时也是城市电网的重大用户。因而,城轨供电系统对城市轨道交通的安全运营、节能降耗具有直接影响。

设计工作是城市轨道交通工程建设的龙头。设计效率影响工程工期,设计质量影响工程质量、工程投资、运营费用。城市轨道交通牵引供电系统,与铁路牵引供电系统相比,有其自身的特点,一般采用直流牵引供电制式。与交流牵引供电相比,直流牵引供电具有多电源多回路多参数的特点;另外,中压网络、牵引整流机组、接触轨、杂散电流腐蚀防护、直流牵引供电计算、直流短路计算与分析、直流牵引供电回路时间常数等,都是城市轨道交通供电系统所特有的,而这方面的基础教材、专业书籍、设计手册等都比较缺乏。长期以来,城轨供电设计基本上是在言传身教、手把手作坊式的设计培训模式中进行的,这样不能满足目前城轨又好又快的建设需求。近几年刚刚投入到城轨供电系统的广大设计人员,急需得到系统性专业化的设计参考资料。为此,有必要就城轨供电系统设计原理及应用,编写一本具有工程实用价值的书籍。

北京城建设计研究总院是我国第一家从事地铁设计与研究的单位,先后完成了国内外 20 多条城轨线路的供电系统设计,积累了丰富的设计经验,并拥有许多科研成果。在目前城轨设计书籍匮乏的情况下,北京城建设计研究总院的电气工程师们在总结几十年来的国内外城市轨道交通供电系统设计经验的基础上,系统地阐述城市轨道交通供电系统的理论知识、设计原则、系统方案、计算方法、保护配置、设备选型原则等,编著成这本《城市轨道交通供电系统设计原理与应用》,与业内共享。

本书的编写突出了以下特点:

(1) 对城轨供电系统的可靠性与安全性要求进行了全面分析,并落实到设计原理、技术方案、设备选型之中;

(2) 基于工程实际,对以往设计经验进行了总结、凝练、提升,并吸纳了当今城轨供电技术的科技创新成果;

(3) 主要技术原则遵从《地铁设计规范》(GB50157—2003)等国家和行业的标准、规范;同时对国家标准规范中没有明确的内容,实事求是地对目前实际做法进行了简单介绍;

(4) 着力强化了城市轨道交通供电系统的技术特点,对中压网络、直流牵引供电系统、直流牵引变电所等重点内容进行了详细论述;

(5) 提出了城轨供电系统的节能设计措施。

全书共分 19 章。具体内容如下：城市轨道交通供电系统概论；外部电源；主变电所；中压网络；牵引变电所；降压变电所；控制、保护、信号、测量；变电所自用电及应急照明电源；接触轨；架空接触网；杂散电流腐蚀防护；电力监控系统；接地与过电压保护；电缆选择及敷设；主要设备选择；变电所设备平面布置；供电计算与分析；节能设计；设计应用实例。

本书由于松伟、杨兴山、韩连祥、张巍等 14 位执笔人共同编著。各章节执笔人如下：于松伟执笔第 1 章、第 2 章 (2.1、2.2、2.3、2.4、2.7 节)、第 3 章、第 19.3 节；杨兴山执笔第 2 章 (2.5、2.6 节)、第 4 章、第 5 章、第 6 章；韩连祥执笔第 8 章、第 13 章、第 15 章；张巍执笔第 18 章、第 19.2 节；陈德胜执笔第 7 章 (7.6 节以外部分)、第 19.1 节；周菁执笔第 9.3 节、第 9.4 节、第 9.6 节；赵颖红执笔第 9.1 节、第 9.2 节、第 9.5 节、第 9.7 节；王云执笔第 10 章；梁玉娟执笔第 11 章；袁志宏执笔第 12 章、第 7.6 节；孙名刚执笔第 14 章、第 19.4 节；傅宝文执笔第 16 章；李华执笔第 17 章；包童执笔第 19.5 节。于松伟负责总策划并统稿。

中国工程院施仲衡院士百忙中为本书作序，这是对城市轨道交通供电系统设计工作的极大关注和作者的殷切勉励。编写过程中，还得到中国工程院钱清泉院士的教导与鼓励。宋敏华、李国庆、廖国才、杨秀仁等总院领导就图书定位、编写原则、技术路线、专业接口等进行了总体指导。包国兴、黄德胜、宋文义、宋琨、李嘉、王颖等业内专家审阅了本书，并提出了宝贵的修改意见；尤其是黄德胜同志先后两次仔细地审核了本书全部内容，这为提升本书技术质量起到了重要作用。沈景炎、沈子钧两位资深专家对作者设计工作的教诲，也增加了作者的写作勇气；冯爱军女士、任静女士在作者利用行业与总院技术资源方面提供了支持。樊建辉在本书编写过程中，做了大量的文字处理工作；另外，王绍勇、王凯建、张剑涛、张维等也参与了部分文字处理工作。张巍、梁玉娟为编写组做了大量的协助组织工作。北京城建顺捷电子图文公司为本书编写提供了便捷服务。西南交通大学出版社为本书出版提供了鼎力支持。

在此，对所有编著人员、审稿人员、指导者、支持者一并表示深深的感谢！

最后作者由衷地感谢被誉为“中国地铁的摇篮”的北京城建设计研究总院有限责任公司及其全体同事们。尤其要感谢总院的老一辈专家们，是他们创造并积累了丰厚的地铁供电设计经验，并无私地教授了我们中青年设计人员。总院是我们编著者技术成长的沃土、事业发展的平台，正是总院积极向上的学术氛围、博大精深的技术资源，才造就了本书。可以说，本书是北京城建设计研究总院老中青三代电气工程师们集体智慧的创作。同时行业发展的激励及业内专家的指导，也促进了本书编写工作。本书编写过程中的主要参考文献，以目录的形式附在书末。在此，对其作者或单位表示衷心的感谢！

由于编写人员水平有限，编写时间又短，本书难免会有各种不当之处甚至也会有错误。敬请广大读者批评指正！我们希望本书的出版在业内能够起到“抛砖引玉”的作用。

作 者

2008 年元月于北京

目 录

1 城市轨道交通供电系统概论	1
1.1 城市轨道交通工程概论	1
1.1.1 世界城市轨道交通发展	1
1.1.2 国内城市轨道交通发展	2
1.1.3 城市轨道交通分类	3
1.1.4 城市轨道交通工程建设	4
1.2 供电系统的功能	10
1.2.1 系统的总体功能	10
1.2.2 系统的基本要求	11
1.3 供电系统的构成	13
1.3.1 按系统功能划分	13
1.3.2 按设计任务划分	14
1.3.3 按采购单元划分	15
1.4 城轨供电技术的发展	15
1.4.1 牵引网供电制式	15
1.4.2 中压网络	16
1.4.3 控制、保护、自动化装置	17
1.4.4 基础设备	17
1.4.5 供电设备国产化	18
2 外部电源	19
2.1 概 述	19
2.2 外部电源方案的形式	20
2.2.1 集中式供电	20
2.2.2 分散式供电	20
2.2.3 混合式供电	21
2.3 外部电源方案的比选	21
2.3.1 工程条件	22
2.3.2 工程方案	22
2.3.3 工程投资	23
2.3.4 运营管理	23

2.4	电源外线的设计原则	24
2.4.1	外部电源的电压等级	24
2.4.2	电源外线的一般设计原则	25
2.5	谐波分析及治理	25
2.5.1	谐波的概念	25
2.5.2	谐波的危害	27
2.5.3	谐波的计算	27
2.5.4	谐波的治理	30
2.6	无功功率补偿	32
2.6.1	无功功率的来源与危害	32
2.6.2	无功功率补偿方式	33
2.6.3	无功功率补偿装置	34
2.6.4	常用无功功率补偿方案	35
2.6.5	避免产生过补偿	37
2.7	关于供电系统资源共享研究	38
2.7.1	供电系统资源共享的研究必要性	38
2.7.2	供电系统资源共享的研究内容	39
2.7.3	外部电源共享的研究原则	40
3	主变电所	42
3.1	概述	42
3.2	所址选择	42
3.2.1	所址选择的基本原则	43
3.2.2	根据负荷特点确定主变电所沿线路布置	43
3.2.3	根据电压损失要求确定主变电所数量	43
3.2.4	根据城市规划要求确定主变电所位置	43
3.2.5	根据所处城市位置确定主变电所结构形式	44
3.3	电气主接线	45
3.3.1	线路-变压器组接线	45
3.3.2	内桥形接线	45
3.3.3	外桥形接线	46
3.3.4	中压侧主接线形式	46
3.4	主变压器选择	47
3.4.1	主变压器台数的确定	47
3.4.2	主变压器容量的确定	47
3.4.3	主变压器形式的选择	49
3.4.4	主变压器阻抗的选择	49

3.4.5	主变压器电压调整方式的选择	49
3.4.6	主变压器的冷却方式	50
3.5	主变压器中性点接地方式	50
3.5.1	确定中性点接地方式的原则	50
3.5.2	主变压器中性点接地方式	50
3.6	共享主变电所的问题与建议	51
3.6.1	主变电所资源共享存在的问题	51
3.6.2	主变电所资源共享的实施建议	51
4	中压网络	53
4.1	概 述	53
4.2	中压网络的电压等级	53
4.2.1	国内城市轨道交通中压网络现状	54
4.2.2	不同电压等级供电能力分析	54
4.2.3	不同电压等级的中压网络的特点	56
4.3	中压网络的构成形式	57
4.3.1	中压网络的构成原则	57
4.3.2	中压网络的构成形式	57
4.3.3	新型的中压网络	60
4.3.4	中压网络的几个关系	62
4.4	供电系统运行方式	63
4.4.1	电源变电所运行方式	63
4.4.2	放射式中压网络运行方式	65
4.4.3	单环网中压网络运行方式	67
4.4.4	双环网中压网络运行方式	68
4.5	潮流分析	69
4.5.1	潮流分析的内容	69
4.5.2	潮流分析的方法	69
5	牵引变电所	75
5.1	概 述	75
5.2	牵引变电所设置	76
5.2.1	布 点	76
5.2.2	选 址	80
5.3	牵引变电所主接线	83
5.3.1	中压主接线	83
5.3.2	直流主接线	86

6	降压变电所	94
6.1	概述	94
6.2	降压变电所设置	94
6.2.1	布点	95
6.2.2	选址	96
6.3	降压变电所主接线	96
6.3.1	中压主接线	97
6.3.2	低压主接线	99
7	控制、保护、信号、测量	107
7.1	概述	107
7.2	控制与联锁	108
7.2.1	控制方式	108
7.2.2	电气设备的控制与联锁	111
7.2.3	电气设备间的控制与联锁	113
7.2.4	系统运行控制与联锁	119
7.3	保护设置	125
7.3.1	主要保护形式介绍	126
7.3.2	高压系统保护设置	135
7.3.3	中压系统保护设置	136
7.3.4	直流系统保护设置	139
7.3.5	低压系统保护设置	141
7.3.6	保护用电流互感器的选择	142
7.4	信号设置	145
7.4.1	电气设备的信号设置	145
7.4.2	变电所综控屏的信号显示	146
7.4.3	控制中心的信号显示	146
7.5	测量与计量	146
7.5.1	测量性表计	146
7.5.2	计量性表计	148
7.5.3	电流互感器和电压互感器的选择	150
7.6	变电所综合自动化系统	152
7.6.1	变电所综合自动化系统的功能	153
7.6.2	变电所综合自动化系统的配置方案	155
7.6.3	系统硬件配置	157
7.6.4	系统接口	158
8	变电所自用电及应急照明电源	160
8.1	概述	160

8.2 变电所自用电	161
8.2.1 主变电所	161
8.2.2 牵引变电所	163
8.2.3 降压变电所	165
8.2.4 交、直流电源屏	166
8.3 应急照明电源	167
8.3.1 典型应急照明电源装置	168
8.3.2 应急照明电源方案	170
8.4 变电所自用电与应急照明电源的整合	171
8.4.1 整合特点	171
8.4.2 接线方案	172
8.4.3 车站蓄电池电源整合	173
9 接触轨	174
9.1 概 述	174
9.2 授流方式	174
9.2.1 上部授流	174
9.2.2 下部授流	175
9.2.3 侧部授流	176
9.3 电压等级	176
9.3.1 电压等级	176
9.3.2 不同电压等级接触轨技术参数	176
9.3.3 不同电压等级接触轨防护措施	177
9.4 接触轨材料	178
9.4.1 JU-52 型低碳钢接触轨	178
9.4.2 钢铝复合接触轨	179
9.4.3 钢铝复合接触轨与低碳钢接触轨的比较	182
9.5 零部件设计	183
9.5.1 接触轨支架、支座	183
9.5.2 绝缘子	184
9.5.3 防护罩	185
9.5.4 防护罩支架	186
9.5.5 防护罩支撑卡	186
9.6 接触轨布置及供电分区	187
9.6.1 正线接触轨布置	187
9.6.2 车辆段接触轨布置及供电分区	187
9.6.3 接触轨安装位置	188

9.6.4	接触轨支架(绝缘子)间距	189
9.6.5	锚段长度的确定	190
9.6.6	接触轨制造长度的确定	190
9.6.7	电分段的确定	191
9.6.8	道岔区接触轨的布置	193
9.6.9	回流、均流电缆	194
9.7	相关专业配合	194
9.7.1	限 界	194
9.7.2	线 路	195
9.7.3	轨 道	195
9.7.4	车 辆	195
9.7.5	信 号	195
9.7.6	土 建	195
10	架空接触网	196
10.1	概 述	196
10.2	柔性架空接触网	197
10.2.1	装配形式	197
10.2.2	主要技术数据	201
10.2.3	平面设计	203
10.2.4	相关专业配合	206
10.2.5	零部件及材料选型	207
10.3	刚性架空接触网	212
10.3.1	装配形式	212
10.3.2	技术参数	213
10.3.3	平面布置	213
10.3.4	安装配合	214
10.3.5	零部件及设备材料选型	215
10.3.6	关于刚性悬挂与柔性悬挂的过渡	216
10.4	架空接触网相关计算	217
10.4.1	计算条件	217
10.4.2	荷载计算	218
10.4.3	架空接触网跨距计算	220
10.4.4	架空接触网锚段长度计算	220
10.4.5	架空接触网安装曲线计算	221
11	杂散电流腐蚀防护	225
11.1	概 述	225

11.2 杂散电流的产生、腐蚀机理及危害	226
11.2.1 杂散电流的产生	226
11.2.2 杂散电流的腐蚀机理	226
11.2.3 杂散电流的危害	228
11.2.4 杂散电流分布的一般规律	228
11.3 杂散电流腐蚀防护措施和监测手段	233
11.3.1 杂散电流腐蚀防护措施	233
11.3.2 杂散电流腐蚀防护的监测手段	239
11.4 对相关专业的要求	241
11.4.1 对牵引供电专业的要求	241
11.4.2 对轨道专业的要求	241
11.4.3 对主体结构的要求	242
11.4.4 对各种电缆及金属管线的要求	242
11.4.5 对运营管理的要求	242
11.5 收集网截面计算	242
12 电力监控系统	244
12.1 概 述	244
12.2 一般要求	245
12.3 系统构成	245
12.3.1 采用分立系统建设模式时的系统构成	245
12.3.2 采用综合监控系统建设模式时的系统构成	246
12.4 监控对象	247
12.4.1 66~110 kV 设备	247
12.4.2 主变压器	249
12.4.3 10~35 kV 设备	249
12.4.4 直流 750 V 或直流 1 500 V 设备	251
12.4.5 400 V 设备	252
12.4.6 配电变压器	253
12.4.7 交直流电源屏	254
12.4.8 排流柜	254
12.4.9 轨道电位限制装置	254
12.5 技术指标	255
12.5.1 控制中心主站系统技术指标	255
12.5.2 变电所综合自动化系统技术指标	255
12.6 中央监控系统	256
12.6.1 中央监控系统的功能	256

12.6.2	中央监控系统网络配置方案	267
12.6.3	中央监控系统硬件配置方案	268
12.6.4	系统软件配置方案	269
12.6.5	系统机房及调度大厅设备安装及布置原则	269
12.6.6	系统电源及接地	270
12.7	供电复示系统	270
12.7.1	系统功能	270
12.7.2	系统构成	271
12.7.3	通道方案	271
12.8	通道	272
12.8.1	电力监控系统独立设置时的通道要求	272
12.8.2	电力监控系统集成于综合监控系统时的通道要求	272
12.9	电力监控系统与综合监控系统的关系及接口	272
12.9.1	系统间硬件关系及接口分界	272
12.9.2	系统间软件关系	273
12.9.3	电力监控系统与综合监控系统关系综述	273
12.9.4	电力监控系统设计内容	274
13	接地与过电压保护	275
13.1	概述	275
13.2	接地	276
13.2.1	接地的分类	276
13.2.2	综合接地和等电位联结	277
13.2.3	交流供电系统的接地	279
13.2.4	直流牵引供电系统的接地	283
13.2.5	接地装置及接地电阻要求	284
13.3	过电压保护	289
13.3.1	过电压的分类	289
13.3.2	电气设备的绝缘配合	292
13.3.3	过电压的保护	293
13.3.4	接地与过电压保护方案	295
13.3.5	钢轨电位限制装置方案	296
14	电缆选择及敷设	299
14.1	概述	299
14.2	电力电缆选择	299
14.2.1	电力电缆类型选择	300
14.2.2	电力电缆截面选择	304

14.2.3	电缆附件的选择与配置	310
14.3	控制电缆选择	312
14.3.1	控制电缆要求	312
14.3.2	控制电缆的金属屏蔽	312
14.3.3	控制电缆的接线要求	312
14.3.4	控制电缆芯数和根数的选择	313
14.3.5	控制电缆截面的选择	313
14.4	电缆敷设	315
14.4.1	电缆敷设一般要求	315
14.4.2	城市轨道交通电缆敷设	316
14.4.3	电缆的支持与固定	321
15	主要设备选择	324
15.1	概 述	324
15.2	设备的分类、功能和型式	325
15.2.1	设备分类	325
15.2.2	设备的功能和型式	325
15.3	设备的技术发展	330
15.3.1	高压 GIS 设备	330
15.3.2	中压开关设备	331
15.3.3	低压开关设备	333
15.3.4	直流开关设备	335
15.3.5	微机保护装置	336
15.3.6	牵引整流机组	336
15.3.7	主变压器	340
15.3.8	配电变压器	340
15.4	主要技术参数	342
15.4.1	交流开关设备的正常使用条件	343
15.4.2	交流开关设备的额定值	344
15.4.3	直流开关设备的主要技术参数	346
15.4.4	微机综合保护装置的主要技术参数	347
15.4.5	牵引整流机组的主要技术参数	348
15.4.6	配电变压器的主要技术参数	349
15.4.7	设备参数示例	351
16	变电所设备平面布置	357
16.1	概 述	357
16.2	变电所的主要设备	357
16.3	变电所总体布置	358

16.3.1	主变电所的总体布置	358
16.3.2	牵引降压混合变电所的总体布置	359
16.3.3	降压变电所的总体布置	363
16.4	变电所设备布置	364
16.4.1	主变电所的设备布置	365
16.4.2	牵引降压混合变电所的设备布置	366
16.4.3	降压变电所的设备布置	371
16.5	孔洞预留及基础预埋	373
16.5.1	变压器设备的孔洞预留和基础预埋	373
16.5.2	开关设备的孔洞预留和基础预埋	374
16.5.3	直流设备的绝缘安装	375
16.5.4	设备荷载	376
16.6	对相关专业的要求	377
17	供电计算与分析	380
17.1	概述	380
17.2	牵引供电计算	380
17.2.1	计算方法简介	381
17.2.2	运行图法	381
17.2.3	平均运量法	386
17.2.4	牵引整流机组容量计算的说明	391
17.2.5	牵引网电压损失计算的说明	392
17.2.6	走行轨对地电位计算的说明	393
17.3	配电变压器容量计算	394
17.3.1	计算意义	394
17.3.2	计算内容	394
17.3.3	计算方法	394
17.3.4	计算示例	395
17.4	交流系统短路计算	396
17.4.1	计算意义	396
17.4.2	计算内容	397
17.4.3	计算方法	397
17.4.4	计算示例	400
17.5	直流系统短路计算	402
17.5.1	计算意义	403
17.5.2	计算内容	403
17.5.3	计算方法	403

17.5.4 计算示例	413
17.6 继电保护整定计算	415
17.6.1 计算意义	415
17.6.2 计算内容	415
17.6.3 计算方法	416
17.7 蓄电池容量计算	428
17.7.1 计算意义	428
17.7.2 计算方法	428
17.7.3 计算示例	428
17.8 系统电气参数选择	431
17.8.1 牵引整流机组参数	431
17.8.2 直流牵引供电回路时间常数	435
17.8.3 直流快速开关分断能力	437
18 节能设计	440
18.1 概 述	440
18.2 供电系统能耗分析	441
18.2.1 用电分析	441
18.2.2 能耗计算	441
18.2.3 单位能耗	442
18.2.4 容量指标	443
18.3 供电系统设计与节能	445
18.3.1 系统设计与节能	445
18.3.2 设备选择与节能	449
18.3.3 列车再生制动能量利用	450
18.3.4 国内车辆再生制动能量吸收装置应用	454
18.4 其他节能措施简介	456
18.4.1 线 路	456
18.4.2 行 车	457
18.4.3 车 辆	457
18.4.4 通风空调系统	458
18.4.5 给排水系统	458
18.4.6 自动扶梯	458
18.4.7 信号系统	458
18.4.8 自动售检票系统	459
18.4.9 BAS 系统	459
18.4.10 轨 道	459