

城市轨道交通系列教程



BIANDIAN SHEBEI WEIHU

变电设备维护

主 编 王晓博
副主编 靳志方
主 审 薛小强



重庆大学出版社



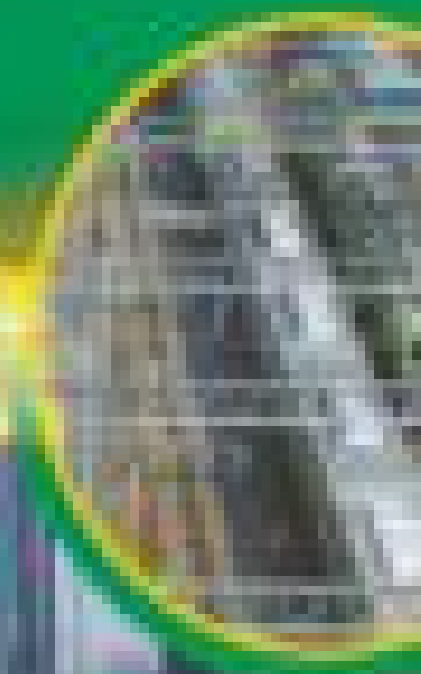
中国电力出版社

变电设备维护

主编 王德明

副主编 李庆华

编委 李庆华



变电设备维护

主 编 王晓博
副主编 靳志方
主 审 薛小强

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

变电设备维护 / 王晓博主编. -- 重庆 : 重庆大学出版社, 2021.5
ISBN 978-7-5689-2737-6

I. ①变… II. ①王… III. ①地下铁道—变电—电气设备—维修 IV. ①U231.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 140545 号

变电设备维护

主 编 王晓博

副主编 靳志方

主 审 薛小强

策划编辑:周 立

责任编辑:文 鹏 版式设计:周 立

责任校对:关德强 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆俊蒲印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:8.75 字数:215 千

2021 年 5 月第 1 版 2021 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5689-2737-6 定价:42.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

编审委员会

(排名不分先后)

主任

刘峻峰

副主任

曹双胜 岳海袁媛

刘军 卢剑鸿

成员

丁杰	王治根
王晓博	元铭
田威毅	付向炜
刘凯	刘炜
刘煜	毛晓燕
田建德	祁国俊
纪红波	李乐
李芙蓉	李武斌
杨珂	张小宏
陈建萍	陈晓
尚志坚	单华军
赵跟党	禹建伟
侯晶晶	黄小林
梅婧君	梁明晖
廖军生	薛小强

城市轨道交通凭借快捷、准时、舒适、运量等优势,日益成为城市现代化建设进程中重要的公益性基础设施项目。城市轨道交通系统设备先进、结构复杂,高新技术广泛应用,要保障这样一个庞大系统的安全和高效,必须依靠与之相匹配的高素质员工。因此,培养一批责任心强、业务过硬、技艺精湛的能工巧匠,才能确保安全运营生产,提升工作效率,提高非正常情况下的应急处置水平。岗位技能培训是人才培养的重要途径,是提高企业核心竞争力的重要手段,而岗位技能培训的过程和结果需要相应的培训教材作为技术支撑。

近年来,城市轨道牵引供电系统工程采用了较多新技术和新设备,为适应轨道交通对掌握新技术的变电检修专业人才的急切需求、教育改革的发展要求,参照相关国家职业标准的要求,我们组织编写了本书。本书在内容方面力求全面、完整,在注重实操技能培养的基础上,尽可能将理论问题讲解清楚,并在文字表达上言简意赅。

本书主编王晓博,副主编靳志方,参与编写的有:饶棋、付春燕、马永刚、张光耀、姜笑鸾、马江艳、张龙、程刚、罗振、朱雪莲、张静、赵建太、杨浩浩,主审薛小强,参与审核李锋、赵垒、杜琳、王兆力、葛永平、王利刚、李晴、张家瑜。由于时间仓促,编写人员经验不足,本书难免在内容与层次方面有不当之处,敬请批评指正,提出宝贵意见和建议。

编者

2021年1月

项目 1 城市轨道交通供电系统概述	1
1.1 供电系统的组成	1
1.1.1 供电系统的组成形式	1
1.1.2 供电系统的分类	1
1.2 变电中压系统的组成	2
1.2.1 内部电源系统	2
1.2.2 中压交流环网系统	2
1.2.3 变电所分类及运行方式	4
1.2.4 直流牵引供电系统	8
1.3 电力监控系统组成形式	8
复习题	9
 项目 2 变电专业理论知识及实操技能	10
2.1 初级工理论知识及实操技能	10
2.1.1 专业知识	10
2.1.2 专业技能	39
复习题	50
2.2 中级工理论知识及实操技能	50
2.2.1 专业知识	50
2.2.2 专业技能	55
复习题	80
2.3 高级工理论知识及实操技能	81
2.3.1 专业理论及技能知识	81
2.3.2 变电设备预防性试验	82
2.3.3 电力电缆	87
2.3.4 故障分析和应急处理	91
复习题	92

项目 3 电力监控理论知识及实操技能	94
3.1 初级工理论知识及实操技能	94
3.1.1 理论知识	94
3.1.2 实操技能	95
3.2 中级工理论知识及实操技能	95
3.2.1 理论知识	95
3.2.2 实操技能	96
3.3 高级工理论知识及实操技能	98
3.3.1 理论知识	98
3.3.2 实操技能	99
复习题	101
项目 4 常用测量仪表、安全工器具的使用及维护	102
4.1 常用测量仪表的使用及维护	102
4.1.1 数字万用表	102
4.1.2 钳型电流表	105
4.1.3 绝缘电阻表	106
4.1.4 游标卡尺	107
4.1.5 MicroScanner ² 电缆检测仪	108
4.1.6 光功率仪及光纤测试工具	109
4.1.7 网线测试仪	111
4.2 常用安全工器具使用及维护	112
4.2.1 验电器	112
4.2.2 接地线	113
4.2.3 常用安全工具的试验标准	114
项目 5 变电典型故障案例	115
5.1 变电设备系统典型故障案例	115
5.1.1 某牵混所 106B 框架保护跳闸信号故障分析	115
5.1.2 某跟随所 801F 跳闸分析故障概况	116
5.1.3 某降压所 1 号动力变故障报告	117
5.1.4 故障确认及处理	119
5.1.5 变压器试验	119
5.1.6 某牵混所 101 A、某主站 3515 断路器跳闸故障分析报告	120
5.1.7 某牵混所 211、212 开关跳闸故障处理分析报告	121

5.1.8	某牵混所直流馈线 2111 上网隔离开关故障事件的通报	123
5.1.9	某主所 35 kV 3511 开关差动跳闸故障分析报告	124
5.2	电力监控系统典型故障案例	126
5.2.1	35 kV 通信中断故障分析报告	126
5.2.2	某牵混所 2131 隔离开关不可远控故障分析报告	127
5.2.3	某牵混所直流开关逆流保护跳闸故障分析报告	128

项目1 城市轨道交通供电系统概述

1.1 供电系统的组成

1.1.1 供电系统的组成形式

城市轨道交通供电系统是城市轨道交通的能源补给线,它的安全可靠性应被放在第一位。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)、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。

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。

1.1.2 供电系统的分类

轨道交通从外部电源引入的形式,一般分为集中式、分散式和混合式三种模式。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 500 kV、220 kV、110 kV、10 kV 供电网络构成,一般从 220 kV、110 kV、10 kV 系统接口引入。

1) 集中式供电

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 110 kV、220 kV),经主变电站进行电压转换,将外部电源降压(如 35 kV 或 10 kV)后,由主变电站集中向牵引

变电所和降压变电所供电。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

分散式供电是相对于集中式供电而言的,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(30 kV 或 10 kV)电源。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 10 kV 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、西安、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、武汉轨道交通工程、青岛地铁南北线工程等采用混合式供电方案。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。

1.2 变电中压系统的组成

1.2.1 内部电源系统

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,主要由三部分组成:中压环网供电系统、牵引供电系统和低压变配电系统。

1.2.2 中压交流环网系统

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。该系统从上一级电源进线开始到各变电所进线之前的所有电气设备及线路,其核心是主变电站,此外就是负责向牵引系统和低压变配电系统供电的输电线路。

中压环网是连接城市或区域电网到供配电系统的系统。该系统主要包括所有的主变电站和 30 kV 系统线路环网。通过中压电缆,纵向把上级主变电站和下级牵引变电所、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

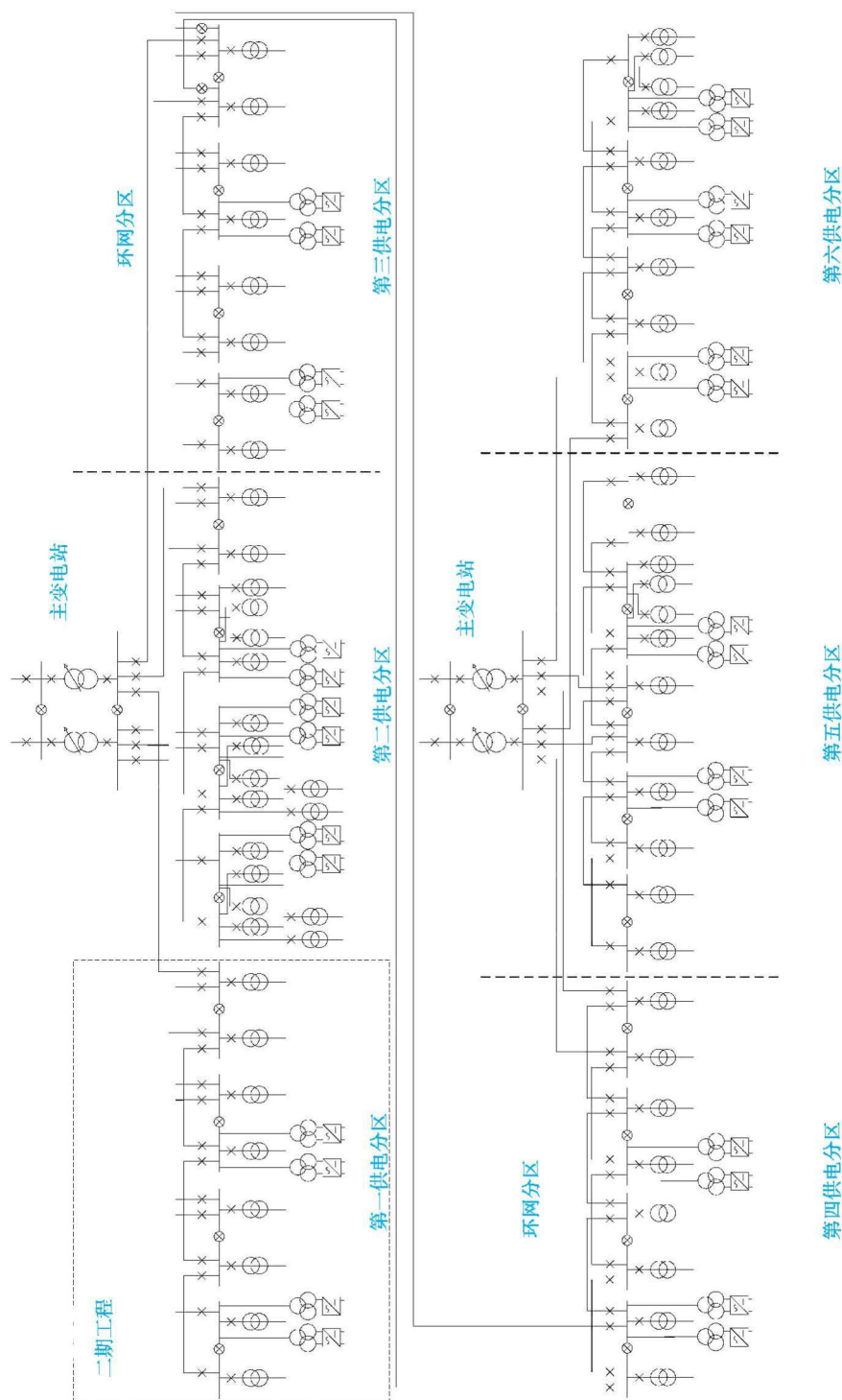


图1.1 某地铁环网电缆示意图

核心部分。它涉及外部电源方案,主变电站的位置及数量,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

牵引供电系统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(接触轨)上;而接触网(接触轨)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、集电靴等)。

3) 低压变配电系统

低压变配电系统负责向信号、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,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。因此,建设安全、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。

1.2.3 变电所分类及运行方式

城市轨道交通中压交流环网系统变电所分为主变电站、牵引混合变电所和降压变电所。

1) 主变电站

(1) 主变电站的作用

主变电站的作用是将城市电网的高压(110 kV 或 220 kV)电能降压后以相应的电压(30 kV 或 10 kV)分别供给牵引变电所和降压变电所。为保证供电的可靠性,一般设置两座或两座以上主变电站,主变电站由两路独立的电源进线供电,内部设置两台相同的主变压器。根据牵引负荷容量和动力负荷容量的大小不同,主变压器可采用三相三绕组的有载调压变压器,也可用双绕组的变压器。采用两台相同的主变压器可以使 30 kV 电压和 10 kV 电压来自不同变压器。采用有载调压变压器,能够在电源进线电压波动时,维持二次电压在正常值范围内。

(2) 主变压器容量选择

容量选择原则如下:一是在正常运行方式时,满足该主变电站供电区域牵引负荷和动力照明一、二、三级负荷的要求;二是满足远期高峰小时负荷需求;三是满足经济运行要求。因此要综合考虑,进行经济和技术比较,从而选择合适的容量。

(3) 接线方式

每座主变电站一般采用两种接线形式。采用线路-变压器组接线形式时,当某一回电缆故障或者一台主变压器故障时,30 kV 母线分段开关自动投入,由另一台主变压器供全部一、二级负荷用电需要。内桥形接线方式比线路-变压器组接线方式多一内桥断路器。当一回 110 kV 电源电缆出现故障时,可以通过调度作业,实现一路电源两台主变压器运行,保持正常供电,但需要增加进线电缆容量。

线路-变压器组接线形式比内桥形接线方式结构简单,投资和运营维护工作量小,但其可靠性稍低,但是随着城市电网的发展,110 kV 电源供电可靠性已很高,同时轨道交通的主变电也可相互备用,线路-变压器组接线形式已完全可以满足轨道交通的可靠性要求,因此线路-变压器组接线形式被普遍接受。

(4) 运行方式

地铁每座主变电站分别从城市电网引入两路相互独立的 110 kV 电源进线,站内有两台主变压器。正常运行时,两台主变压器分列运行,共同负担所供电分区和全站的负荷,30 kV 母联断路器断开,110 kV 电源及 30 kV 侧分别设置各自投装置。

①当电源为两回主供时。

正常运行:110 kV、30 kV 母联断路器断开,两台主变压器分列运行。

检修、故障运行:当一回 110 kV 进线电源检修(或故障)时,通过倒闸操作(或备自投装置),将检修(或故障)回路进线断路器分闸,合上母联断路器,实现由另一回电源向两台主变压器供电。当一台主变压器检修(或故障)退出运行时,30 kV 母联断路器合闸,由另一台主变压器向本站所供电分区和本站的一、二级负荷供电。

②当电源为一回主供时。

110 kV 母联断路器合闸,30 kV 母联断路器断开,两台主变压器分列运行。当一台主变压器检修(故障)时,备自投装置合上 30 kV 母联断路器,由另一台主变压器向本站所供电分区和本站的一、二级负荷供电。

2) 牵引降压混合变电所

牵引降压混合变电所 30 kV 侧采用单母线分段接线方式,两段母线间通过母线联络断路器互联。每段母线设置一路进线电源,并根据供电系统的要求在部分变电所的每段 30 kV 母线设一路出线,向相邻车站变电所供电;每座牵引降压混合变电所(含牵引变电所)设两台整流机组,均接于同一段母线上。每台整流变压器通过断路器与 30 kV 母线连接;直流 1 500 V 母线为单母线接线;每座牵引降压混合变电所(含牵引变电所)一般馈出 4 回直流 1 500 V 电源,分别接至上下行接触网上,与相邻牵引变电所构成双边供电;牵引降压混合变电所两台 35/0.4 kV 动力变压器分别接在两段 30 kV 母线上,分别负责本变电所内相应的动力、照明等负荷。

全线只考虑一个牵引降压混合变电所(含牵引变电所)出现故障的情况。当一个牵引变电所出现故障时,相邻牵引变电所采用越区供电方式承担故障变电所供电范围的供电。整流机组设计容量在远期高峰小时可过负荷 50% 运行,整流机组负荷等级应符合 IEC-146, VI 级,即:100% I_n , 连续运行;150% I_n , 2 h;300% I_n , 1 min 连续运行。

3) 降压变电所

降压变电所 35 kV 侧采用单母线分段接线方式,两段母线间通过母线联络断路器互联。每段母线设置一路进线电源,并根据供电系统的要求在部分变电所的每段 35 kV 母线设一路出线,向相邻车站变电所供电。

各车站均设置降压变电所。规模较大的车站,可在车站一端设置一个降压变电所,另一端设置一个跟随式降压变电所,分别为半个车站及半个区间供电。如果车站规模较小,可在车站重负荷端或负荷中心处设一个降压变电所。

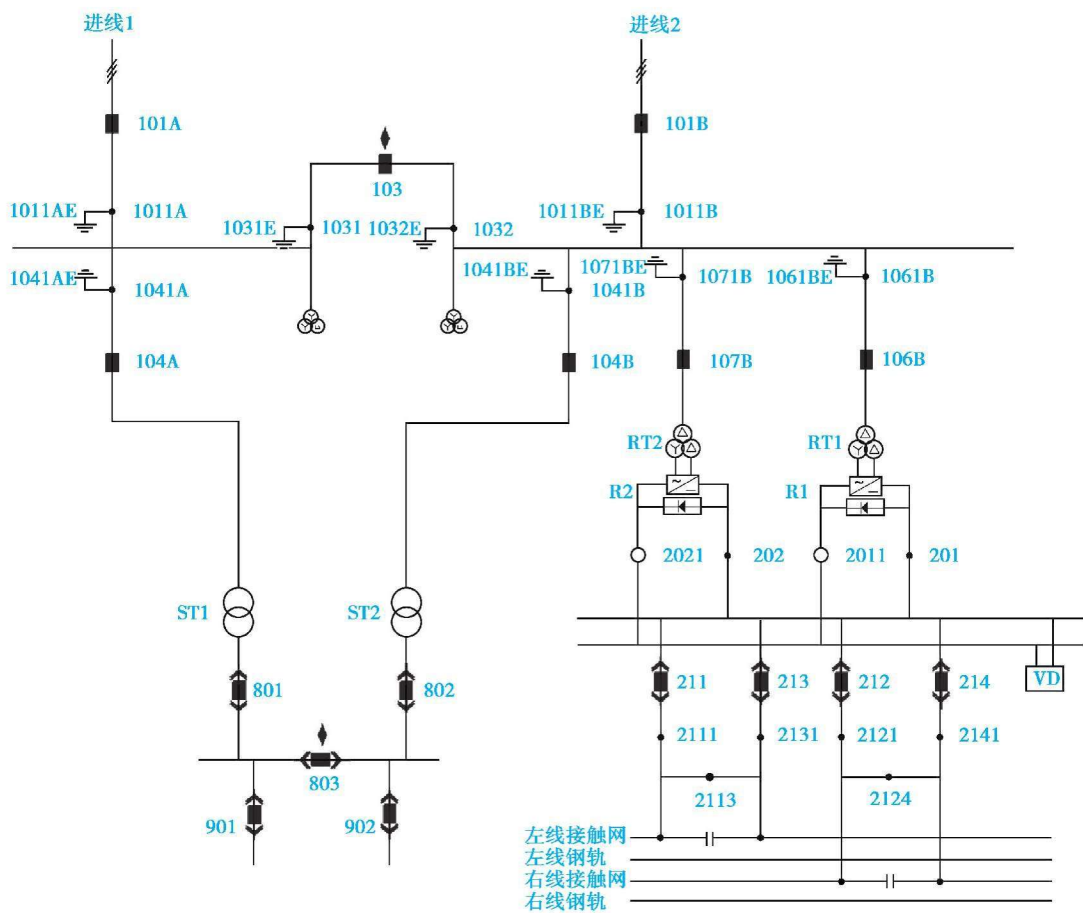


图 1.3 某牵引降压混合所主接线示意图

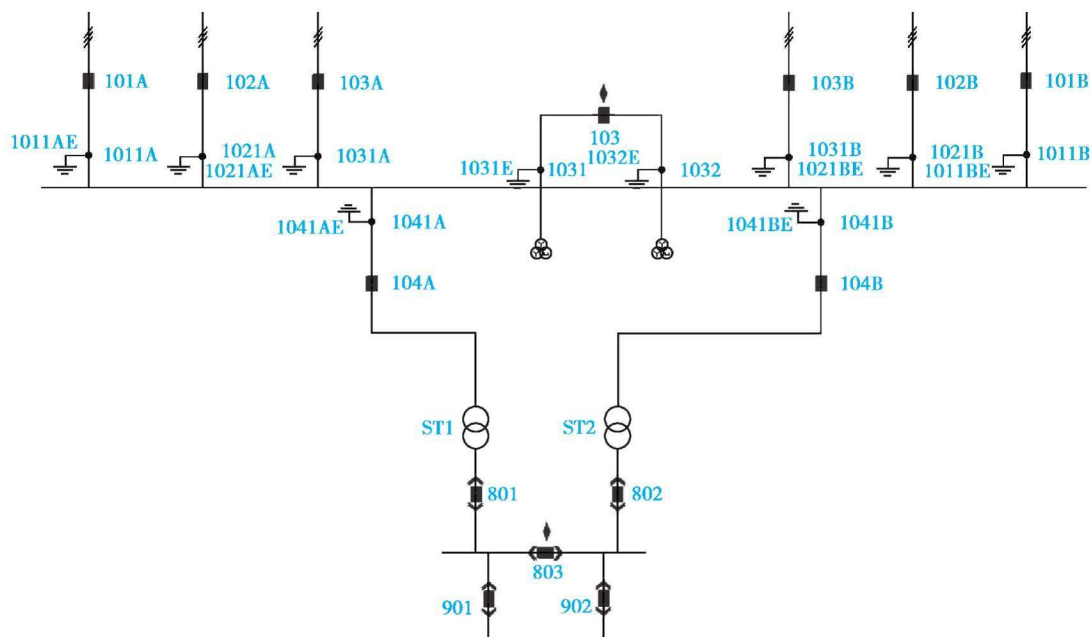


图 1.4 某降压所主接线示意图

跟随式降压变电所内不设 30 kV 开关柜,电源由本站降压变电所中两段 30 kV 母线分别引入,所内仅设 35/0.4 kV 动力变压器及 0.4 kV 开关柜,区间式跟随所降压变电所内设有负荷开关柜。

1.2.4 直流牵引供电系统

1) 牵引供电系统的组成与要求

牵引供电系统包括从上一级电源进线开始到接触线之间的所有电气设备及线路,其核心是牵引变电所,包括进线回路和馈出线回路。

城市轨道交通牵引供电系统牵引变电所采用 24 脉波整流变压器,要求两台 12 脉波整流机组一次侧输入电源具有严格的一致性,如将两套整流机组分接不同的母线,电源的一致性得不到保证,电源相位差和电压差使整流机组低压输出端电压相位角相差 15° 的要求得不到保证,并且使两套整流机组出力不均,严重时甚至使一套整流机组受损。

2) 牵引供电系统的运行方式

牵引变电所向接触网供电方式有两种,即单边供电和双边供电。城市轨道交通接触网在每个牵引变电所由电分段进行电气隔离,分成两个供电分区,每个供电分区也称为一个供电臂,若列车只从所在供电臂上的一个牵引变电所获得电能,这种方式称为单边供电,如车辆段、停车场内等的供电方式。若一个供电臂同时从相邻的两个牵引变电所获得电能,则称为双边供电,如正线的供电方式。若正线一牵引变电所因故障退出运行时,合上越区隔离开关,通过越区隔离开关由故障所相邻的两个牵引变电所为两个供电臂越区供电,则称为大双边供电。

牵引供电系统正常运行方式下,正线接触网由相邻牵引变电所双边供电,车辆段牵引变电所向车辆段接触网供电,停车场牵引变电所向停车场接触网供电。

一般情况下,正线任一牵引变电所解列,由正线左右相邻牵引变电所“大双边”供电。

由于规划的原因以及建设次序的问题,一些牵引变电所会出现单边供电,对于任意牵引变电所解列,都可以得到邻近的牵引变电所的支持,实现不间断供电。

当牵引变电所一台整流机组出现故障时,另一台整流机组在初、近期负荷允许的情况下可以继续运行,但供电质量会有所下降。

1.3 电力监控系统组成形式

电力监控系统是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统,对变电所现场运行的供电设备进行监视和控制,以实现数据采集、设备控制、测量、参数调节及各类信号报警等功能,使控制中心实时掌握各个变电所设备的运行情况,并直接对供电设备进行操作。电力监控系统直接关系到行车安全,是地铁系统中重要的控制系统。

电力监控系统一般采用集中管理、分散布置的模式,分层、分布式系统结构。系统设备由控制信号盘(包括总控单元、液晶显示器)、分散式或集中组屏式测控/保护单元等智