

城市轨道交通职业教育系列教材——城轨供电技术

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG ZHIYE JIAOYU XILIE JIAOCAI
CHENGGUI GONGDIAN JISHU

城市轨道交通 接触网

主 编 ○ 张桂林

副主编 ○ 苗 斌

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
JIECHUWANG



西南交通大学出版社

内容简介

本书主要介绍了城市轨道交通接触网的组成、类型和供电方式，城轨接触网主要设备与结构，城轨接触网基本设计计算和工程施工，城轨接触网运行规程等内容，充分展示了当前国内外城轨接触网最新的发展趋势：新技术的研发、新设备的应用以及城轨接触网所具有的区别于国家电气化铁路接触网的特点等。

本书讲解详尽、图文并茂，内容安排循序渐进，不仅可以作为城市轨道交通大专院校、职业学校相关专业的学生教学用书，也可以作为相关技术岗位专业维修人员、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通接触网 / 张桂林主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.2

城市轨道交通职业教育系列教材. 城轨供电技术
ISBN 978-7-5643-4183-1

I. ①城... II. ①张... III. ①城市铁路 - 接触网 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 192016 号

城市轨道交通职业教育系列教材——城轨供电技术

城市轨道交通接触网

张桂林 主编

责任编辑 李芳芳
特邀编辑 王晓刚 李玉光
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸 185 mm× 260 mm
印 张 26
字 数 649 千
版 次 2016 年 2 月第 1 版
印 次 2016 年 2 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-4183-1
定 价 52.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

出版说明

城市轨道交通凭借快捷、准时、舒适、运量大、能耗低、污染小、占地少等优点，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。城市轨道交通涉及面广、综合性很强，其发展状况已被当成一个城市综合实力和现代化程度的重要评判指标。由此，城市轨道交通建设正在我国兴起一个新的浪潮，社会对城市轨道交通专业人才的需求巨大，给城市轨道交通类专业的职业教育发展带来了良好契机。

西南交通大学出版社与国内诸多交通院校一直保持友好往来，并整合它们在轨道交通领域的尖端科技优势和人才集成优势，致力于为国家轨道交通教育事业做出贡献，形成了以“轨道交通”为核心的出版特色，在教育界、学界都拥有良好的口碑和较高的品牌知名度。

本套丛书从满足快速增长的城市轨道交通专业实用型人才培养需求出发，从校企结合教学直接面向岗位需求这一特点出发，精心组织国内相关专业优秀教育工作者或优秀教育工作者，分“运营管理”“工程技术”“车辆”“控制”“供电技术”五大类系统地呈现城市轨道交通教育课程全景。在编写时，力求体现如下特点：

◎ 适用性

理论知识够用即可，在讲述专业知识的基础上，突出实际操作技能的训练，注重岗位关键能力的培养。

◎ 专业性

图书的顶层设计从国家高职高专专业目录规范出发，内容编排紧密结合岗位应用实际，体现专业性和主流设备前沿特征，体现教学实际需求。同时，在编写或修改时，尽可能地让一线用人单位参与进来，根据生产现场实际提出建议。

◎ 生动性

在架构设计和版式设计上，力求简洁生动，图文并茂；努力体现二维码技术等移动互联网时代元素在图书中的应用，尽可能把生产实际和研究成果，用立体生动的形式予以表达，便于读者理解掌握。

这套书可作为高等职业院校、中等职业学校城市轨道交通相关专业的教学用书，也可作为城市轨道交通企业新职工的培训教材。有关教材的课件资料等，可以联系我社使用。

联系电话：028-87600533

邮箱：swjtucbsfx@163.com

西南交通大学出版社

二〇一五年八月

前 言

随着我国经济社会的高速发展、城市化进程的日益加快，人们越来越认识到城市轨道交通对解决现代城市交通拥堵困扰、改善群众出行条件、引导和优化城市区域布局、促进节能减排、推动国民经济发展的的重要性。进入 21 世纪以来，我国各大城市的轨道交通如雨后春笋般迅速发展起来，进入了或即将进入一个前所未有的大发展时期，迎来了我国城市轨道交通千载难逢的超常规发展的契机。

城市轨道交通具有运能大、能耗低、污染少、速度快、安全准点等优点，深受人民群众的欢迎。随着国民经济和社会的高速发展，城市轨道交通建设进入了快速发展期，目前已经有 10 多个城市的轨道交通都相继建成和投运，而且都已规划城市轨道交通网络的建设，加上已批准建设的城市，在建城市轨道交通运营线路网络总长达 1 000 余千米。

接触网是城市轨道交通的重要行车设备，其特点是高空高压，点多线长，无备用，维修保养复杂、难度大，其状态好坏直接影响城市轨道交通的正常运营，进而影响到社会生产、人民生活和社会安定。接触网工是城市轨道交通设备检修的主要工种，对从业人员的职业教育、岗前培训、岗位培训以及技能考核，是城市轨道交通职业教育的重要组成部分。为了开展职业技术教育，适应我国城市轨道交通快速发展及当前日益壮大的轨道交通接触网设备维修队伍的迫切需要，我们组织编写了《城市轨道交通接触网》。

◎ 本书的主要特点

本书中各部分前后贯通、有机衔接、图文并茂，既互相联系，又保持相对的独立，对城市轨道交通接触网专业的重要设备、重要参数、重要性能和特点做了较全面的阐述。

◎ 本书的主要内容

本书全面介绍了城市轨道交通接触网技术，章节是按照不同接触网的不同设备进行组织的，主要内容如下：

第一章主要介绍了城轨接触网的相关知识及接触网的类型、组成、供电方式等。

第二章详细介绍了城轨接触网的设备和结构等。

第三章介绍了城轨接触网设计计算的基本项目、原理。

第四章讲解了城轨接触网施工基础知识。

附录部分介绍了与城轨接触网运行、检修相关的规程和规章，供学习时参考。

◎ 本书读者对象

城轨接触网运营、检修工作的专业维修人员；

城轨接触网工程设计、施工的工程技术人员；

大、中专院校相关专业的学生和教师；

城轨交通其他相关专业领域的从业人员。

◎ 本书编者

本书由郑州铁路职业技术学院张桂林任主编，西安铁路职业技术学院苗斌任副主编。张桂林负责全书的统稿工作，广州地铁公司供电部肖伟强负责审定。参加本书编写的还有吉鹏霄、刘雨欣、陈乐瑞、索娜、郭丽娜、张家祥等同志。

编写过程中参考了部分文献与资料，在此向所参考的文献与资料的编（著）者表示衷心感谢！

现代城市轨道交通是快速发展的行业，由于时间仓促，作者水平有限，书中难免有欠妥之处，敬请广大读者（特别是从事城轨接触网设计、施工和维修工作的生产一线人员）提出宝贵意见和建议。读者也可以通过邮箱 chskypei@aliyun.com 和编者共同探讨本书相关的技术问题。

编 者

2016 年 1 月

目 录

第一章 城轨接触网基本知识	1
第一节 城市轨道交通牵引供电系统	1
第二节 接触网相关知识	6
第三节 接触网的类型	20
第四节 接触网的组成	23
第五节 供电方式	26
第二章 城轨接触网设备与结构	29
第一节 导体：线索、汇流排及接触轨	29
第二节 接触网悬挂	50
第三节 支撑、支持装置	68
第四节 绝缘器件	99
第五节 定位装置	109
第六节 接触网的锚段和锚段关节	130
第七节 补偿装置及安装曲线	140
第八节 中心锚结	161
第九节 吊 弦	172
第十节 线 岔	180
第十一节 软横跨与硬横跨	186
第十二节 接触网电分段	199
第十三节 开关与电连接	209
第十四节 电 缆	217
第十五节 接地与防雷	231
第十六节 杂散电流及其处理	238
第三章 城轨接触网设计计算	248
第一节 气象条件及计算负载的确定	248
第二节 简单悬挂负载计算	254
第三节 链形悬挂负载计算	266
第四节 跨距及接触线风偏移的确定	275
第五节 腕臂支柱负载计算	281
第六节 接触网动态性能	289

第四章 城轨接触网工程施工	295
第一节 接触网施工测量与定位	295
第二节 接触网基础工程	300
第三节 柔性接触网安装	314
第四节 刚性接触网安装	334
第五节 接触轨安装	348
第六节 接触网设备验收及开通	362
附录 城轨接触网相关规程（供参考）	367
附录一 架空接触网安全工作规程	367
附录二 接触轨安全工作规程	372
附录三 柔性接触网运行检修规程	376
附录四 刚性接触网运行检修规程	394
附录五 接触轨（第三轨）运行检修规程	399
参考文献	408

第一章 城轨接触网基本知识

第一节 城市轨道交通牵引供电系统

城市轨道交通供电系统是为城市轨道交通运营提供电能的系统，它不仅为城市轨道交通电动列车提供牵引用电，还可为城市轨道交通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。在城市轨道交通的运营中，供电一旦中断不仅会造成城市轨道交通的瘫痪，而且会危及乘客生命安全，造成财产的损失。因此，高度安全、可靠而又经济合理的电力供给是城市轨道交通正常运营的重要保证和前提。

一、城市轨道交通供电系统

城市轨道交通供电系统的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城市轨道交通供电系统实现输送或变换，然后以适当的电压等级供给城市轨道交通各类用电设备。

城市轨道交通供电系统一般包括外部电源、主变电所（或电源开闭所）、牵引供电系统、动力照明供电系统、电力监控系统。其中，牵引供电系统包括牵引变电所和牵引网，动力照明供电系统包括降压变电所和动力照明配电系统。

城市轨道交通系统是一个重要的用电负荷。按规定应为一级负荷，即应由两路电源供电，当任何一路电源发生故障中断供电时，另一路应能保证城市轨道交通重要负荷的全部用电需要。在城市轨道交通供电系统中牵引用电负荷为一级负荷，而动力照明等用电负荷根据它们的实际情况可分为一级、二级或三级负荷。城市轨道交通的外部电源供电方案，应根据线网规划和城市电网的具体情况进行规划设计，而不应局限在某一条线路上。根据实际情况不同可分为集中供电方式、分散供电方式和混合供电方式。

集中供电方式是指在线路的适中站位，根据总容量要求设主变电所，由发电厂或城市电网区域变电所以高压（如 110 kV）向主变电所供电，经降压并在沿线结合牵引变电所、降压变电所进线形成 35（33）kV 或 10 kV 中压环网，由环网供沿线设置的牵引变电所经降压整流为直流电（如 750 V 或 1500 V），从而对电动列车供电；各车站机电设备则由降压变电所降压为 380/220 V 对动力、照明等供电。这种供电方式的中压网络的电压等级应根据用电容量、供电距离、城市电网现状及发展规划等因素，经技术经济综合比较后确定。为了便于城市轨道交通供电系统的统一管理，提高自身供电的可靠性和灵活性，城市轨道交通供电系统目前较多地采用集中供电方式。

分散供电方式是指不设主变电所,而直接由城市电网区域变电所的 35(33)kV 或 10 kV 中压输电线直接向城市轨道交通沿线设置的牵引变电所、降压变电所供电并形成环网。采用这种方式的环境必须是城市电网比较发达,在有关车站附近有符合可靠性要求的供电电源。其中压网络的电压等级应与城市电网相一致。在这种方式下,可设置电源开闭所,并可与车站变电所合建。

混合供电方式,顾名思义就是以上两种方式的混合,即指一条轨道交通线路,一部分采用集中供电,另一部分采用分散供电。

二、中压交流环网系统

城市轨道交通的中压交流环网系统可采用牵引与动力照明相对独立的网络形式,也可采用牵引与动力照明混合的网络形式。对于牵引与动力照明相对独立的网络,牵引供电网络与动力照明网络的电压等级可以相同,也可以不同。供电系统中的中压网络应按列车运行的远期通过能力设计,对互为备用线路,一路退出运行时,另一路应能承担其一、二级负荷的供电,线路末端电压损失不宜超过 5%。

一个运行可靠、调度灵活的环网供电系统,一般须满足以下设计原则和技术条件:

(1) 供电系统应满足经济、可靠、接线简单、运行灵活的要求。

(2) 供电系统(含牵引供电)容量按远期高峰小时负荷设计,根据路网规划的设计可预留一定裕度。

(3) 供电系统按一级负荷设计,即平时由两路互为备用的独立电源供电,实现不间断供电。

(4) 环网设备容量应满足远期最大高峰小时负荷的要求,并满足当一个主变电所发生故障时(不含中压母线故障),另一个主变电所能承担全线牵引负荷及全线动力照明一、二级负荷的供电。

(5) 电缆载流量也应满足最大高峰小时负荷的要求,同时当主变电所正常运行,环网中一条电缆故障时,应能保证城市轨道交通正常运行。此时可不考虑主变电所和环网电缆同时故障的情况,但考虑当主变电所与一个牵引变电所同时故障时,供电系统能正常供电(三级负荷除外)。

如图 1.1.1 所示为某城市轨道交通工程采用集中供电方式时的中压环网系统示意图。

三、变电所及其运行方式

1. 变电所的分类及要求

变电所是城轨交通供电系统的重要组成部分,一般是在城轨交通沿线设置,其数量、容量及其在线路上的分布应在综合考虑的基础上计算确定。城轨交通的变电所可以建在地下,也可以建在地面,地下变电所不占用地面空间,但土建造价高;地面变电所占用地面空间大,但土建造价低。城轨交通的变电所(尤其是地下变电所)在防火方面有一定的要求,其防火措施主要应从结构和建筑材料及变电所电气设备本身的不燃性等方面来考虑;同时应装设自动消防报警系统装置、防火门、防火墙等隔离设施和有效的灭火系统。

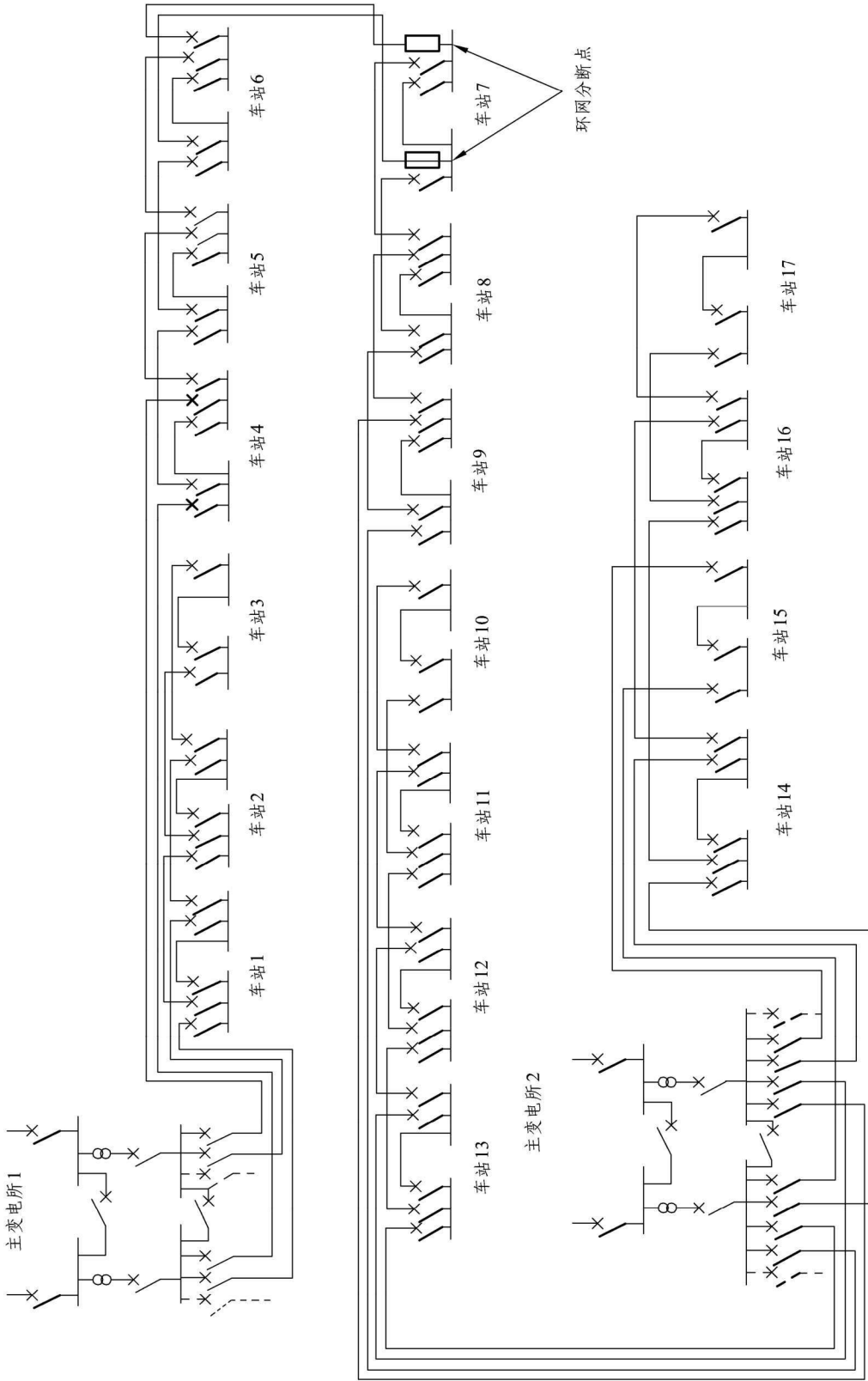


图 1.1.1 集中供电方式的中压环网供电示意图

城轨交通供电系统中一般设置三类变电所,即主变电所(分散供电方式,为电源开闭所)、降压变电所及牵引降压混合变电所。主变电所是指当采用集中供电方式时,接受城市电网 35 kV 及以上电压等级的电源,经其降压后以中压供给牵引变电所和降压变电所的一种城轨交通变电所。降压变电所从主变电所(电源开闭所)获得电能并降压变成低压交流电。牵引变电所从主变电所(电源开闭所)获得电能,经过降压和整流变成电动列车牵引所需要的直流电。在有牵引变电所和降压变电所的站点,为方便运行管理,降低工程造价,可合并建成一座牵引及降压混合变电所。当由其他变电所引入中压电源而独立设置降压变电所时,可称为跟随式降压变电所。

降压变电所一次侧母线及低压母线宜采用单母线分段接线,牵引变电所一次侧母线宜采用备用电源自投的单母线接线,直流侧宜采用单母线接线。

主变压器的数量和容量宜根据近、远期负荷计算确定,分期实施,并在一台主变压器退出运行时,其他变压器能负担供电范围内的一、二级负荷。

牵引整流机组的数量和容量宜根据近、远期计算负荷比较确定,并在其中一座牵引变电所退出运行时,相邻的两座牵引变电所应能分担其供电分区的牵引负荷。

配电变压器的容量选择应满足当一台配电变压器退出运行时,另一台配电变压器能负担供电范围内远期的一、二级负荷。变电所的继电保护装置应针对不同电压等级输电网络及各种变电所不同的接线形式分别考虑。继电保护装置应满足选择性、灵敏性及速动性的要求。变电所的继电保护配置及自动装置的设计应符合供电系统的要求,同时兼顾系统内相关继电保护之间和自动装置之间的配合。当今,随着技术的发展,继电保护装置及自动装置均可采用微型设备。对于中压环网系统的电缆,为排除相间短路和单相接地故障,一般在进出线开关柜设导引线(或光纤)纵联差动保护、过电流保护、零序电流保护;而对于变电所内的各种电气设备,根据不同类型的设备均需考虑不同的保护配置。

2. 变电所的运行方式

(1) 主变电所的运行方式。某主变电所的电气主接线图如图 1.1.2 所示。该主变电所 110 kV 电源采用内桥接线,即 110 kV 分段母线采用桥断路器。正常运行时,桥断路器断开,故障或维修时切换接通,两台主变压器只从一路电源进线得到供电。33 kV 侧设分段母线联络断路器,正常时,母线联络断路器断开,两台主变压器分列运行,共同负担全站的全部负荷;当一路 110 kV 电源或一台主变压器故障跳闸退出运行时,33 kV 母线联络断路器自动合闸,由另一台主变压器向本站供电区域的一、二级负荷供电。这种互为备用的设计大大提高了供电系统的可靠性。

(2) 牵引降压混合变电所的运行方式。某牵引降压混合变电所的电气主接线如图 1.1.3 所示。33 kV 侧和 0.4 kV 侧均为单母线分段接线。牵引降压混合变电所按其所需容量设置两组牵引整流机组并列运行。当其中一套机组因故退出运行时,另一套机组在具备运行条件时不应退出运行。该运行条件是指牵引整流机组过负荷满足要求,谐波含量满足要求,不影响故障机组的检修。如果这些条件能满足,那么一套牵引整流机组维持运行既可保持列车运行,还可降低能耗,降低轨电位,减少杂散电流的影响。该变电所降压部分的运行方式同降压变电所。

(3) 降压变电所的运行方式。某降压变电所的电气主接线如图 1.1.3 所示。33 kV 侧为单

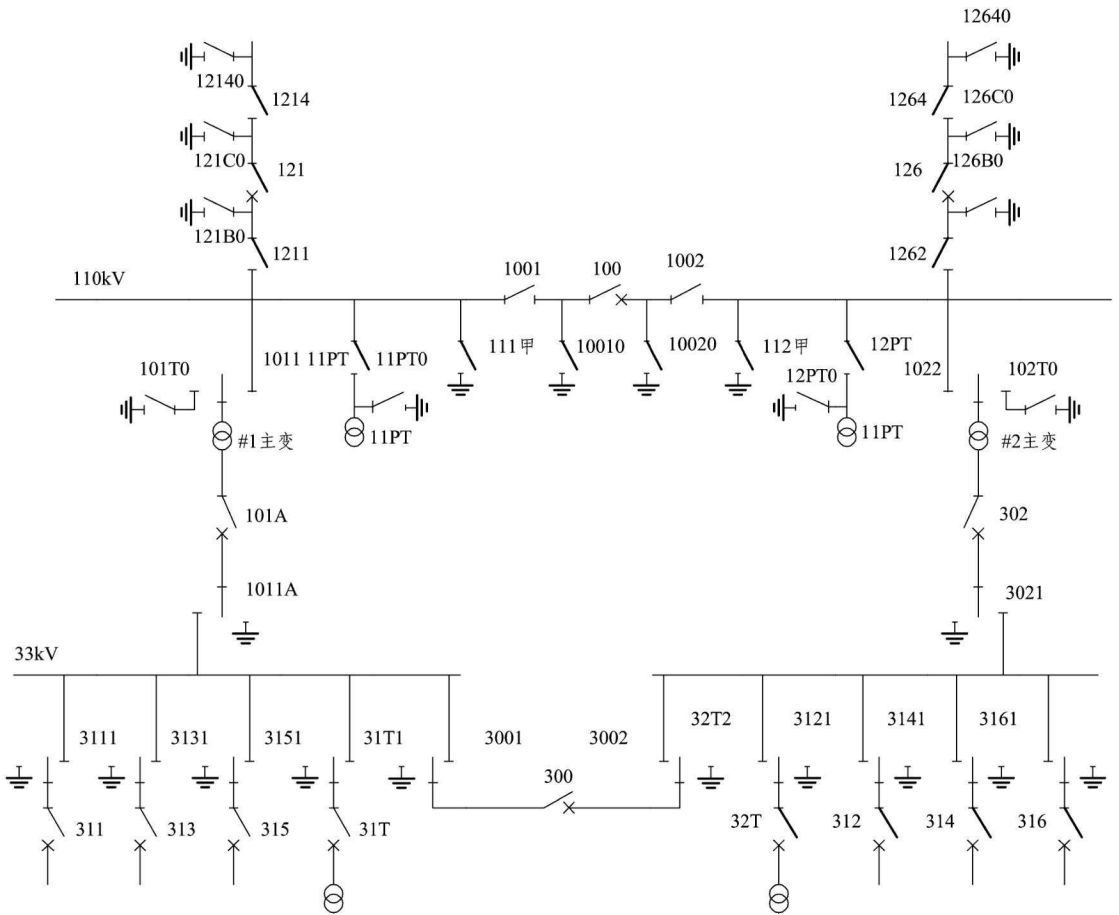


图 1.1.2 某主变电所的电气主接线图

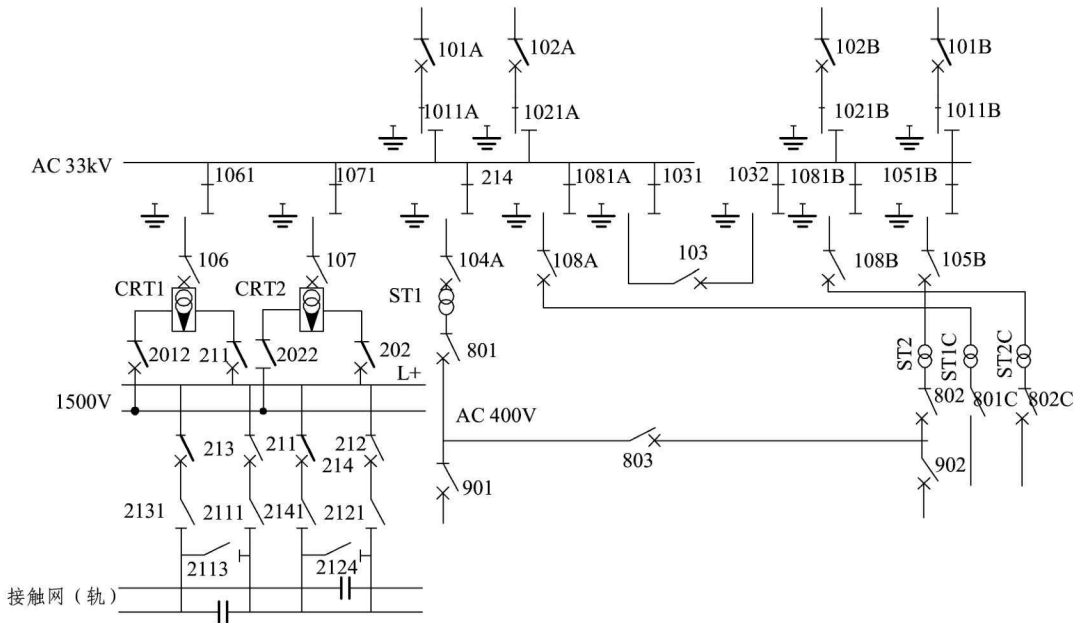


图 1.1.3 某牵引降压混合变电所的电气主接线图

母线分段接线，而 0.4 kV 侧除跟随式降压变电所外均为单母线分段接线。每个降压变电所、跟随式降压变电所均设两台动力变压器，分别负责向本变电所所在半个车站及半个区间内的动力照明负荷供电。正常运行时两台动力变压器分别运行，同时供电，当任一台动力变压器因故障退出运行时，通过联络开关由另一备用动力变压器负担全所一、二级动力照明负荷。

第二节 接触网相关知识

轨道交通电动列车的电能源自牵引供电装置，牵引供电装置主要由牵引变电所和接触网组成。我们可以用一个简单的类比来说明电动列车、牵引变电所和接触网之间的关系，牵引变电所相当于电源，接触网相当于输电线路，电动列车就是负载，只是此处的负载——电动列车是高速移动的。

一、牵引供电系统

城轨交通牵引供电系统由牵引变电所（或牵引降压混合变电所）和接触网系统构成，共同完成向城轨交通列车输送电能的任务。在城轨交通牵引供电系统中，电能从牵引变电所经馈电线、接触网输送给电动列车，再从电动列车经走行钢轨（或称轨道回路）回流线流回牵引变电所。从牵引供电系统的组成看，接触网是实现向电动列车供电的重要环节，是直接影响电动列车安全运行的重要环节。除此之外，牵引变电所、馈电线、电动列车、钢轨回路同样起着重要作用。

牵引变电所的功能是将主变电站输送过来的交流电经降压整流为直流电源后通过接触网传送供给电动列车。

整流机组是牵引变电所的重要设备，它包括整流变开关、整流变压器、整流器、正负极闸刀。每座牵引变电所中设置两套整流机组，通过整流机组获得电动列车牵引所需的直流电压。直流母线为单母线接线形式，两套整流器组可以并列向同一直流母线供电。每座牵引站都有四路直流（1 500 V 或 750 V）的馈出线（车辆段一般为五路）。每路馈出线都通过直流高速开关，经接触网隔离开关，使用电缆将直流电能输送至接触网。

1. 整流变压器

每座牵引变电所设置两台整流变压器，一般采用环氧树脂浇制工艺制成的干式变压器。整流变压器保护方式主要采用过流保护和温度保护，电压调整方法主要采用五档分接头无载调压方式。

2. 整流器

整流器是将交流电能转换成直流电能的重要设备。整流器的主要元件是硅整流二极管快速熔断器，其中硅整流二极管是实现电能形式转换的主要元件。整流器中采用了平板式大功

率整流二极管,整流器柜为独立式金属柜。整流器柜中整流二极管的个数根据设计容量而定。一般需考虑选用合适的二极管并考虑整流器母排的电抗,应使整流器每一臂并联二极管的电流不平衡度满足当任一臂并联的二极管有一个损坏时仍能保证整流器的过负荷要求和承受短路电流的要求,即仍能正常运行。

整流器的保护有过电压保护、过电流保护和温度保护。

3. 直流高速开关

直流高速开关一般采用单极手车式框架结构,上半部分是一台单极式直流开关,开关的合闸采用串激直流电机驱动,利用高速电机的离心力,带动合闸机构,使开关的合闸时间大为减少;对于开关的跳闸采用两种不同的跳闸形式,当故障电流产生达到保护的整定值,保护装置的储能电路放电驱动快速托口线圈使开关迅速跳闸,当出现其他形式的跳闸信号时,则采用失压线圈失电带动机构跳闸。开关分断时的电弧通过 78 片灭弧栅组成的灭弧罩将电弧电压进行分割,以降低灭弧栅间电压值达到迅速灭弧的目的。直流高速开关具有结构紧凑、互换性好的特点;采用灭弧栅分割电弧,分断性能好,负载能力大;配置 PLC 控制,具有智能化程度高、保护可靠等优点。

4. 自动重合闸

在直流馈线断路器柜中设置有自动重合闸功能,应对瞬时性和永久性故障,通过线路测试回路,计算线路残余电抗来判别故障性质,决定是否进行自动重合闸,保护接触网和牵引变电所内设备免受短路电流破坏。

正常操作断路器合闸时,对线路进行多次测试(一般设定为 3 次),通过电流和电压的测量,计算线路残余电抗。线路正常则允许合闸;当线路存在持续性故障时,则闭锁合闸。

当接触网发生故障时,断路器分闸,启动线路测试,并根据测试结果判别故障性质,如果故障是瞬时性的,自动重合闸将使断路器重新合闸;如果故障是永久性的,直流断路器不进行重合闸,框架保护不启动线路测试及重合闸。

二、牵引回流系统

牵引回流系统由走行轨、扼流变压器(也称阻抗棒)、负回流电缆和均流电缆等构成。如果是场站,则还有单向导通装置。列车电流流入走行轨后将通过负回流电缆回流至牵引变电所负母线。负回流电缆一般采用截面为 150 mm^2 的直流铜芯软电缆,引至回流电缆转换箱,然后用截面为 400 mm^2 的直流铜芯软电缆引至牵引变电所负母线。

1. 牵引回流的接线方式与轨道电路的关系

钢轨不仅是回流系统的一部分,同时也是轨道电路的一部分。车辆运行时的检测和控制可通过轨道电路实现。如果将回流电缆直接与钢轨连接,就会破坏轨道电路,将一部分轨道信号旁路掉,造成车辆控制故障,影响正常运行。所以牵引回流的接线方式不仅要保证回流电流的畅通,还要保证轨道信号不被旁路掉。为了防止不同电路间的相互干扰,在城市轨道

交通电气化区段应对信号轨道电路作特殊安排：

(1) 采用不同电流制或不同电流频率。对于直流电气化铁道，信号轨道电路可采用交流电源。

(2) 在两根钢轨之间设置均流线和扼流变压器。牵引回流通过扼流变压器及中点连线可在钢轨中顺利流通。由于牵引回流在扼流变压器上下两部分产生的磁势是互相抵消的，因此，轨道中的牵引回流不会影响信号轨道电路的正常工作。

(3) 牵引回流的引出线，包括将轨道牵引回流引回牵引变电所的回流线，必须在信号扼流变压器中点连接。

2. 牵引回流系统各元件在回流中的作用

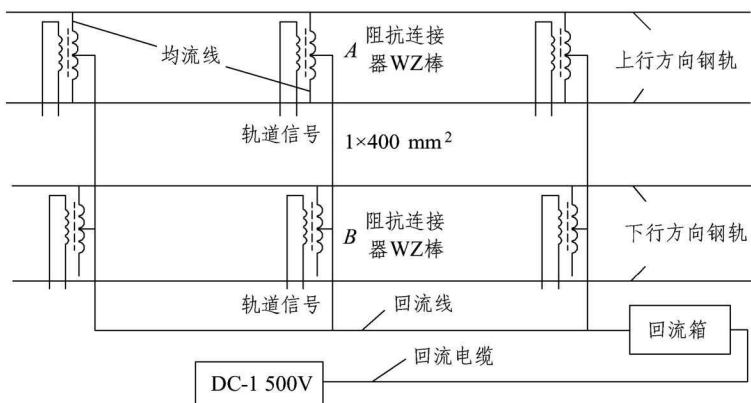
- 钢轨：作为回流电流的载体。
- 扼流变压器：阻止流经轨道上的高频信号被旁路掉，确保直流电路回流畅通。
- 均流线：均衡两根钢轨之间的电位和电流，确保轨道信号不被干扰。
- 回流线：从扼流变压器的中点引出，与回流箱连接，作为回流电流的载体。
- 回流箱：与各个回流线连接，并与回流电缆转接。
- 回流电缆：将回流电流引入牵引站整流器负极。

3. 轨道电路

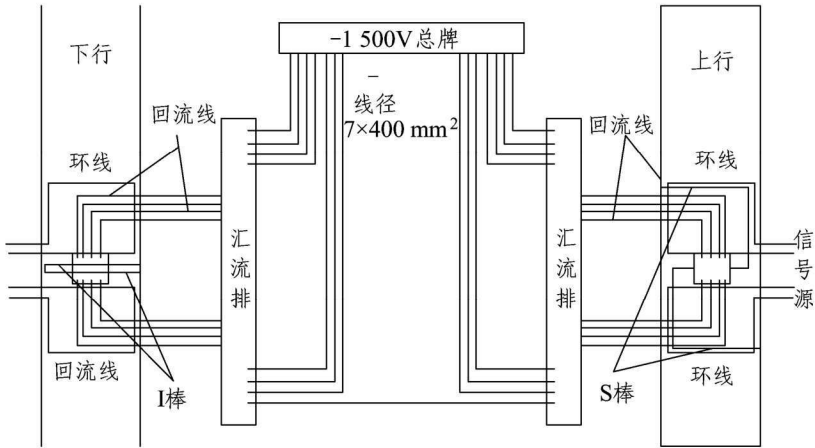
以一段轨道线路的钢轨为导体构成的电路，用于自动、连续检测这段线路是否被机车车辆占用，也用于控制信号装置或转辙装置，是保证行车安全的设备，这样的电路被称为轨道电路，它利用轨道作为区间信号自动控制的电路。轨道电路又是信号联锁的室外重要设备，它能监督检查某一固定区段内的线路（包括站线）是否有列车运行、调车作业或车辆占用的情况，并能显示该区段内的钢轨是否完整。

4. 回流方式

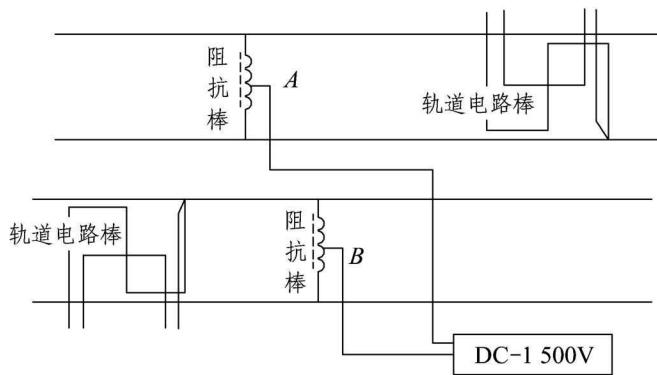
有三种可行的牵引回流方式，如图 1.2.1 所示。



(a) 第一种牵引回流方式



(b) 第二种牵引回流方式



(c) 第三种牵引回流方式

图 1.2.1 牵引回流方式示意图

第一种牵引回流方式是把牵引回流线和轨道电路棒线连接在一起，并且上、下行两条线路也相互连接在一起，这既干扰了该线路的轨道电路，也干扰了相邻线路的轨道电路，由于WZ棒使用的是铁心，当钢轨的牵引电流不平衡时，非常容易造成磁饱和。

第二种的牵引回流方式在布线方式上和第一种类似，也是从轨道电路棒线中间引出牵引回流线，并且也是上、下行连接在一起。单纯从回流方式看，第二种也非常容易出现钢轨的牵引不平衡电流影响轨道电路正常工作的故障。但由于第二种的轨道电路采用环线（非铁磁耦合）将轨道电路信号耦合至钢轨的方式传输信息，环线的介质是空气，所以不会造成磁饱和，只有牵引不平衡电流的交流部分才会对轨道电路产生影响。

第三种牵引供电回流接线方式最大的优点是将牵引回流点与轨道电路分开，以便减小牵引不平衡干扰轨道电路信息传输的机会。但由于它的轨道电路采用注入式，将信号传输至钢轨，所以无法避免牵引不平衡电流造成轨道电路耦合单元磁饱和的可能性。此种方式下专设有隔交走直特性的阻抗棒构成牵引回流通道，即上、下行的信号电流不再通过阻抗棒而产生相互串扰，牵引电流可以通过阻抗棒电缆连接回到牵引变电站负极。这样的设置减少牵引回流对轨道电路信息传输系统的干扰，也降低了上、下行串扰的可能性，所以第三种回流方式轨道电路的故障率相对第一、二种牵引回流方式都低。

三、钢轨电位限制装置

在直流牵引系统中，由于操作电流和短路电流的存在，可能会引起回流回路和大地间产生超出安全许可的接触电压。在此情况下，就需要在回流回路与大地间装配一套钢轨电位限制装置，以限制运行轨的电位，避免超出安全许可的接触电压的发生。《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009)规定：“在正常运营条件下，正线回流轨与地间的电压不应超过 DC 90 V，车辆基地回流轨与地间的电压不应超过 DC 60 V；当瞬时超过时应有可靠的安全保护措施”。

(一) 钢轨电位限制装置元件

钢轨电位限制装置主要包括复用开关(由晶闸管元件和直流接触器组成)、多级电压测量元件、控制及测试逻辑模块等功能元件。当发生超出安全许可的接触电压时，钢轨电位限制装置就将钢轨与大地短接，从而保证人员和设施的安全。如图 1.2.2 所示为西门子 SITRAS[®] SCD - T 钢轨电位限制装置

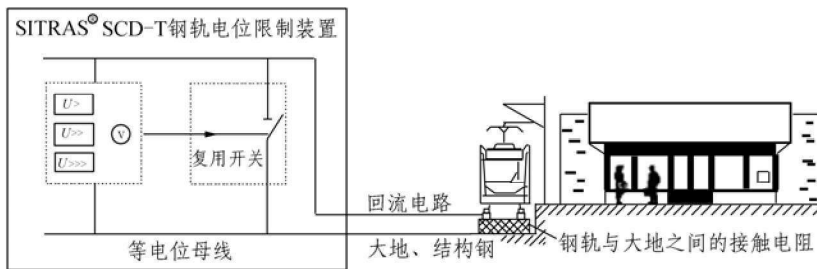


图 1.2.2 SITRAS[®] SCD - T 钢轨电位限制装置

(二) 钢轨电位限制装置电气控制原理

钢轨电位限制装置的复用开关由直流接触器和晶闸管模块组成，它可以将钢轨与大地通过等电位母线短接。

如图 1.2.3 所示，在正常情况下，直流接触器的触头是断开的，同时晶闸管处于截止状态。钢轨与大地之间的电压由电压表检测并显示，而由电压测量元件 $U>$ 、 $U>>$ 、 $U<$ 和晶闸管模块来判断电压并执行相应动作。 $U>$ 为一段电压保护， $U>>$ 为二段电压保护， $U>>>$ 为三段电压保护， $U<$ 为低电压保护。

1. 测量元件测得电压小于 $U>$

走行钢轨与等电位母线间的电压值小于 $U>$ 设定值，在这种情况下直流接触器是开断的，即主触头断开。

2. 测量元件测得电压大于或等于 $U>$

测得的电压值大于或等于电压测量元件 $U>$ 的阈值，经过一段设定的延时后，该装置将