

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（第二版）

张桂林 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 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. —2 版. —成都:西南交通大学出版社, 2021.6  
ISBN 978-7-5643-7903-2

I. ①城… II. ①张… III. ①城市轨道交通—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(2020)第 256090 号

---

### Chengshi Guidao Jiaotong Jiechuwang (Dierban)

城市轨道交通接触网(第二版)

张桂林 主编

责任编辑 梁志敏

封面设计 曹天擎

---

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 成都中永印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 24

字数 596 千

版次 2016 年 2 月第 1 版 2021 年 6 月第 2 版

印次 2021 年 6 月第 3 次

书号 ISBN 978-7-5643-7903-2

定价 55.00 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高校，分“运营管理”“工程技术”“车辆”“控制”“供电技术”五大类系统地为学生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



## 第二版前言

接触网是城市轨道交通系统的重要组成部分，担负着向地铁列车提供动力的重要作用，接触网设备的状态好坏直接影响轨道交通运营的质量。接触网没有备用、工作环境恶劣，且高电压大电流、维修保养复杂，只能通过大量接触网系统维护人员的辛勤工作保证轨道交通运营的供电安全和可靠，这就需要他们具备接触网设备维护技能并且精通安全作业流程，具有灵活的接触网故障应变能力、良好的职业道德和敬业精神。

本书是为满足我国城市轨道交通蓬勃发展对接触网系统维护人才的需要，根据高等职业院校“城市轨道交通接触网”课程标准并结合我国城市轨道交通现代化建设和发展的需要，由西南交通大学出版社组织编写的。由于本书的结构安排和内容选择适当，因而深受广大读者欢迎。自《城市轨道交通接触网》第一版出版以来，随着我国国民经济的发展，轨道交通科学技术的不断创新和进步，管理水平的全面提升，以及新标准、新技术、新工艺、新装备的采用，需要对本书进行再次编撰，使其与时俱进、长盛不衰。

新版《城市轨道交通接触网》保持了原书的基本构架，同时针对“高等职业教育应以服务为宗旨，以就业为导向，面向培养生产、建设、管理、服务一线需要的‘下得去、留得住、用得上’、实践能力强、具有良好职业道德的高技能人才”的培养目标，在内容上按照城市轨道交通接触网现场工作的实际做了修改和完善，不仅使读者能学习到城市轨道交通接触网的基本知识，还能使读者开阔眼界和思路，了解我国城市轨道交通接触网的现状与未来，认识安全与效率的密切关系。

由于本书的内容涉及面广（介绍了城市轨道交通接触网三种主要形式：接触轨、架空刚性接触网和柔性接触网，接触网的设计计算应用及接触网建设安装等），在编写时，无论文字或插图均力求简明扼要，突出主要内容，努力做到图文并茂。本书为高等职业院校城市轨道交通供配电技术专业学习接触网知识的基础教程，同时也可作为广大城市轨道交通现场人员学习接触网基本知识、轨道交通企业新职工培训的主要教程。

本书第二版的编写修订由郑州铁路职业技术学院张桂林任主编，刘光辉、吉鹏霄任副主编，张桂林负责全书的统稿工作、郑州市轨道交通有限公司冯锐负责全书的审稿工作。参加本书第二版修订工作的有张桂林（第二章第一～三节、第三章第一节），索娜、吉鹏霄（第一章第一～四节、第二章第四～五节），郭丽娜（第二章第六～十节），潘秋萍（第一章第五节、第二章第十一～十五节），梁晨（第三章第二～四节、第四章第一～三节），刘光辉（第四章第四～七节），广州地铁集团有限公司肖伟强（附录一、二、五），郑州市轨道交通有限公司冯锐（附录三、四）。

本书编写修订中，参考了许多专家的研究成果和有关文献资料，在此谨向各位专家作者表示衷心的感谢。西南交通大学出版社有关专业编辑在编写修订工作中给予了大力帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，时间紧迫，书中难免出现不妥之处，恳请广大读者给予批评、指正。

编 者

2021年3月

# 第一版前言

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。参加本书编写工作的有张桂林（第二章第一～二节、第十二节、第十六节，第三章～第四章及附录）、苗斌（第二章第八～十一节）、索娜（第一章）、刘雨欣（第二章第三节）、张家祥（第二章第四～五节）、郭丽娜（第二章第六～七节）和吉鹏霄（第二章第十三～十五节）。

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](mailto: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 城市轨道交通接触网概述 .....  | 1         |
| 第一节 城市轨道交通供电系统 .....   | 1         |
| 第二节 接触网相关知识 .....      | 6         |
| 第三节 接触网的类型 .....       | 14        |
| 第四节 接触网的组成 .....       | 18        |
| 第五节 供电方式 .....         | 22        |
| 第二章 城轨接触网设备与结构 .....   | 错误!未定义书签。 |
| 第一节 线索、汇流排及接触轨 .....   | 错误!未定义书签。 |
| 第二节 接触网悬挂 .....        | 错误!未定义书签。 |
| 第三节 支柱和基础 .....        | 错误!未定义书签。 |
| 第四节 绝缘 .....           | 错误!未定义书签。 |
| 第五节 定位装置 .....         | 错误!未定义书签。 |
| 第六节 接触网的锚段和锚段关节 .....  | 错误!未定义书签。 |
| 第七节 补偿装置及安装曲线 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 第八节 中心锚结 .....         | 错误!未定义书签。 |
| 第九节 吊 弦 .....          | 156       |
| 第十节 线 岔 .....          | 错误!未定义书签。 |
| 第十一节 软横跨与硬横跨 .....     | 错误!未定义书签。 |
| 第十二节 接触网电分段 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 第十三节 开关与电连接 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 第十四节 电 缆 .....         | 错误!未定义书签。 |
| 第十五节 接地与防雷 .....       | 错误!未定义书签。 |
| 第三章 城轨接触网设计计算 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 第一节 接触网课程设计 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 第二节 气象条件及计算负载的确定 ..... | 错误!未定义书签。 |
| 第三节 接触网设计计算 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 第四节 接触网动态性能 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 第四章 城轨接触网工程施工 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 第一节 工程预概算和施工准备 .....   | 错误!未定义书签。 |
| 第二节 接触网施工测量与定位 .....   | 错误!未定义书签。 |

|      |                      |           |
|------|----------------------|-----------|
| 第三节  | 接触网基础工程 .....        | 错误!未定义书签。 |
| 第四节  | 架空柔性接触网安装工程 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 第五节  | 架空刚性接触网安装工程 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 第六节  | 接触轨安装工程 .....        | 错误!未定义书签。 |
| 第七节  | 接触网设备验收及开通 .....     | 错误!未定义书签。 |
| 附录   | 城轨接触网相关规程（供参考） ..... | 错误!未定义书签。 |
| 附录一  | 架空接触网安全工作规程 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 附录二  | 接触轨安全工作规程 .....      | 错误!未定义书签。 |
| 附录三  | 柔性接触网运行检修规程 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 附录四  | 刚性接触网运行检修规程 .....    | 错误!未定义书签。 |
| 附录五  | 接触轨（第三轨）运行检修规程 ..... | 错误!未定义书签。 |
| 参考文献 | .....                | 错误!未定义书签。 |

# 第一章 城市轨道交通接触网概述

## 第一节 城市轨道交通供电系统

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。

城市轨道交通系统按规定应为一二级负荷，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，根据线网规划和城市电网的具体情况不同，分为集中供电方式、分散供电方式和混合供电方式。为了便于城市轨道交通供电系统的统一管理，提高供电的可靠性和灵活性，城市轨道交通供电系统目前较多采用集中供电方式。

城市轨道交通供电系统中一般设置三类变电所，即主变电所（分散式供电方式为电源开闭所）、降压变电所和牵引降压混合变电所。主变电所是指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市轨道交通变电所；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控降压变电所时，可称为跟随式降压变电所。

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。

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机型设备。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。

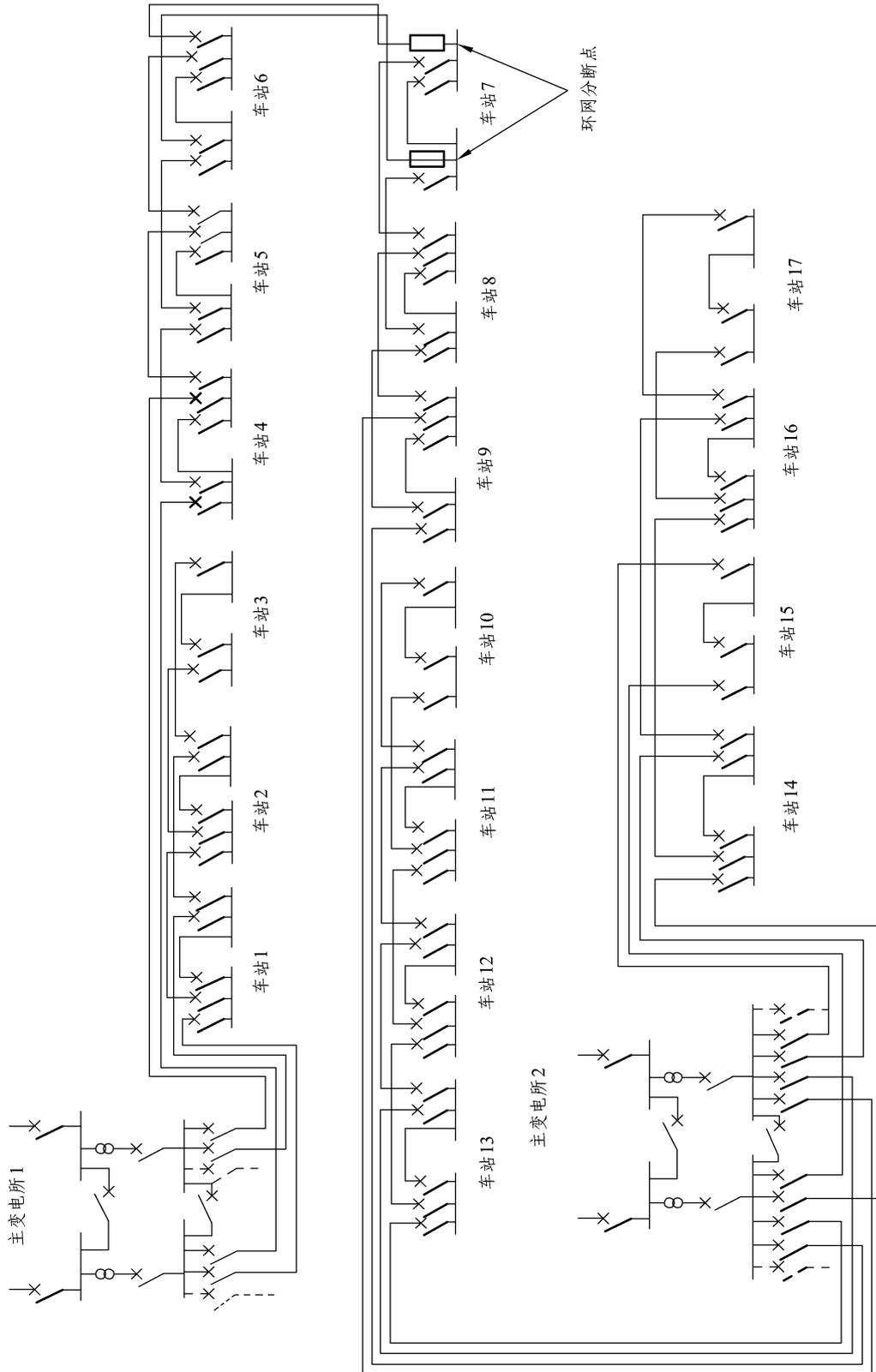


图 1.1.1 集中供电方式的中压环网供电示意图

## 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

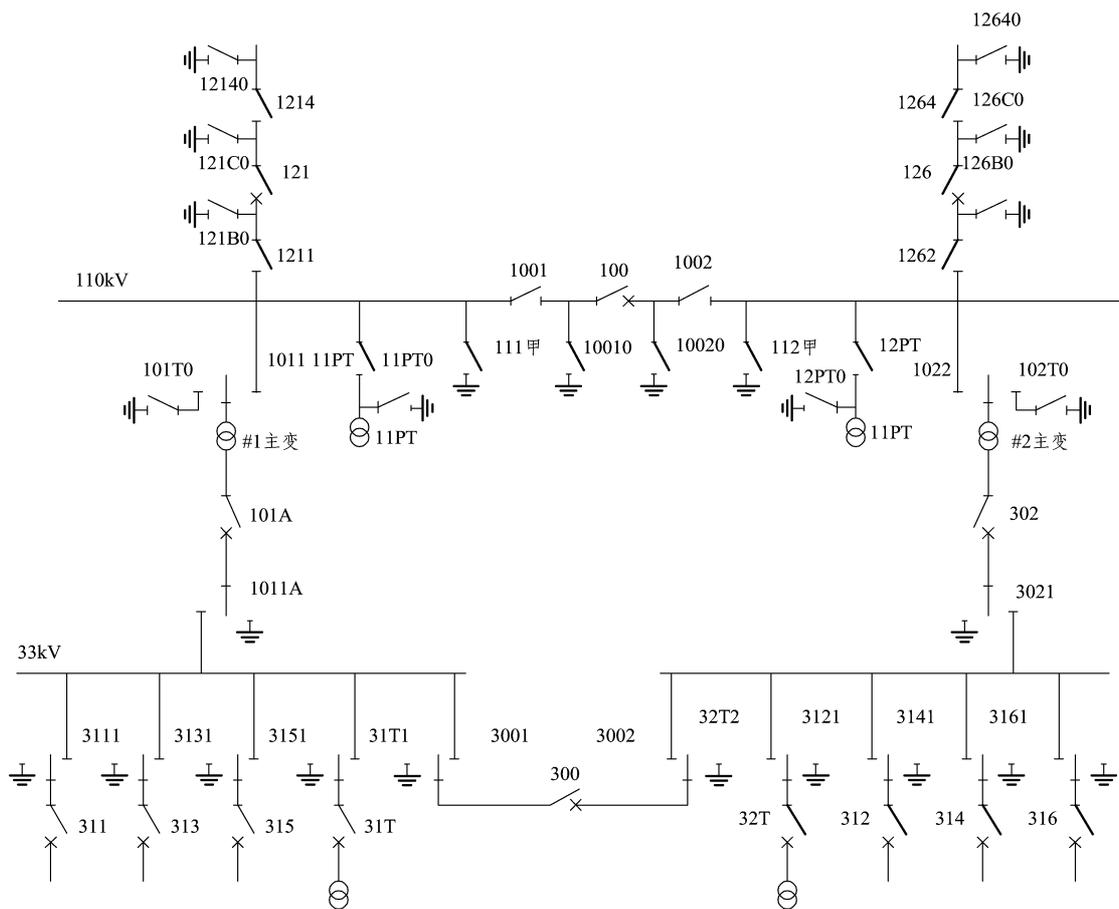


图 1.1.2 某主变电所的电气主接线图



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。

## 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 的直流铜芯软电缆引至牵引变电所负母线。

牵引回流系统各元件在回流中的作用：

- （1）钢轨：作为回流电流的载体。
- （2）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。
- （3）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。
- （4）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。
- （5）回流箱：与各个回流线连接，并与回流电缆转接。
- （6）回流电缆：将回流电流引入牵引站整流器负极。

## 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”。

## 四、单向导通装置

地铁系统的钢轨不但起到列车导轨的作用，同时还担当回流轨使列车牵引电流回流至牵引变电所的负极。在负回流电流沿钢轨的传输过程中，由于钢轨与地之间有泄漏电阻，总有少部分牵引电流负回流泄漏至地下，因此，在车场、车辆段、隧道、高架桥等特殊地段的轨道上需设置绝缘接头，其目的是尽量减少杂散电流并缩小杂散电流影响的范围，从而减小杂散电流对结构钢筋的腐蚀。在采用绝缘接头的钢轨部位，有电动列车运行时，为

了保证回流电流的正常流动，必须采用单向导通装置，其接于地铁轨道设置的绝缘结处，用于连接绝缘接头两端的钢轨，使钢轨中电流只流通一个方向，而在另一个方向截止，有效防止钢轨电流因部分钢轨绝缘水平较差而增加整个地铁杂散电流泄漏的数量。一般在正线与停车场线路走行轨之间、停车场各电化库的库内线路与库外线路走行轨之间安装单向导通装置。

## 五. 受流装置

从架空接触网或接触轨将电能引入城轨列车的装置，称为受流装置。受流装置有多种形式，采用最多的是受电弓和集电靴。如图 1.2.1 所示。



(a) 受电弓



(b) 集电靴

图 1.2.1 受流装置

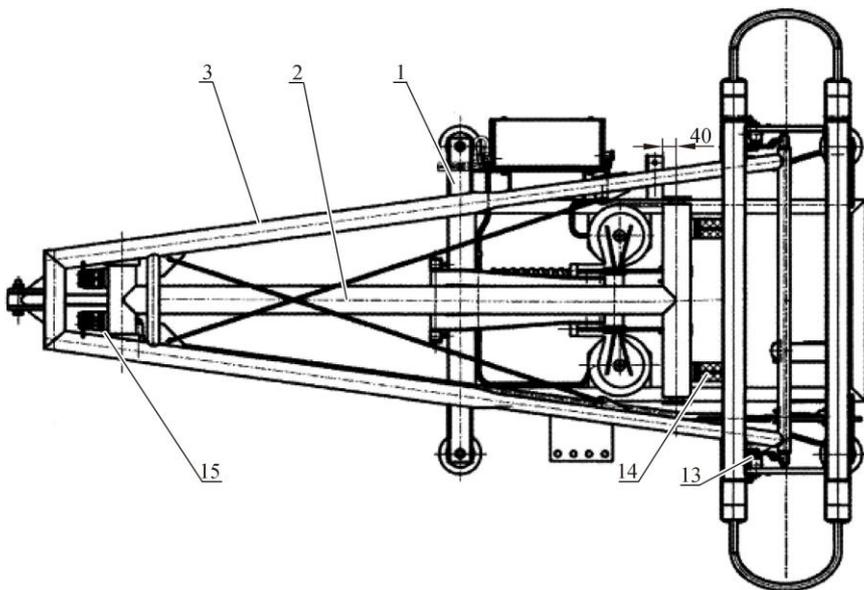
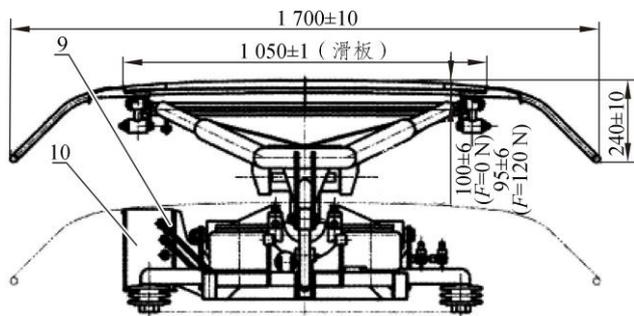
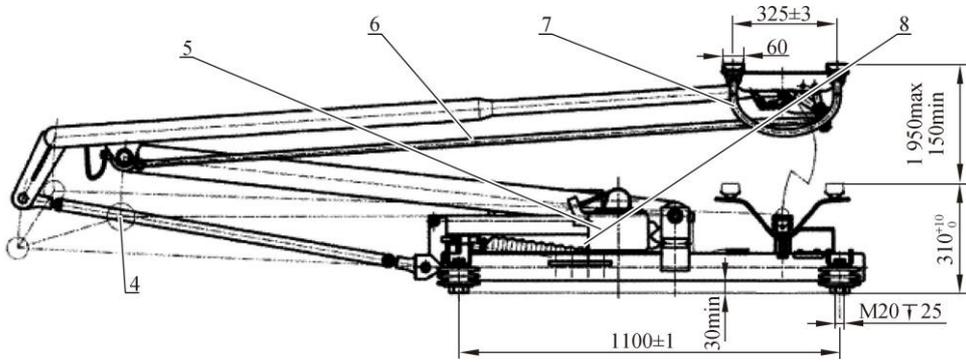
### 1. 受电弓

这里以 TSG18G1 型受电弓为例介绍城市轨道交通受电弓。TSG18G1 型受电弓是一种通过空气回路控制升、降动作的铰接式机械构件。受电弓从接触网上集取电流，并传送到车辆电气系统。此受电弓主要应用于城轨车辆，通过支持绝缘子安装于车顶，并通过弓头上的碳滑板与接触网接触。在“工作”位置上，受电弓在车顶的部分都处于带电状态，仅在对车顶的机械接口和气路接口处是电气绝缘的。

TSG18G1 型受电弓为单臂式受电弓，由框架、气囊升弓装置和弓头等结构组成，具有占用车顶空间小，质量轻，弓头归算质量小的特点。其中，弓头归算质量小有益于受流和适应更高的运行速度。TSG18G1 型受电弓外形如图 1.2.2 所示。

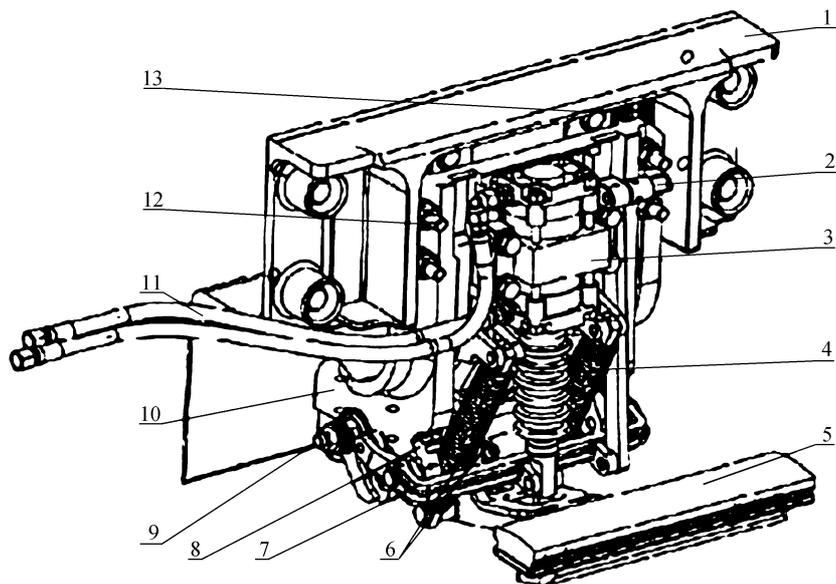
受流装置与接触网直接摩擦接触受流的是滑板，按照材质主要材料分类有纯金属滑板（铜、钢）、粉末冶金滑板、碳滑板和浸金属碳等。根据接触网线材材质的不同应选用不同材质的滑板。碳滑板适用于铜及铜合金接触线，纯金属滑板（铜、钢）、粉末冶金滑板、和浸金属碳则适用于低碳钢和钢铝复合接触轨等。滑板材料和接触网线材的匹配，可以改善和减小

磨耗，提高受流质量。





更换新的碳滑板后须对受流器臂轴高度等进行测量检查，如有超限，需进行调整。



1—绝缘底座；2—手动回退装置；3—气动升降装置；4—拉簧压力系统；5—碳滑板；6—受流器止挡；7—回退柄；8—硬止动件；9—臂轴；10—机架；11—气管；12—调整螺栓；13—调整齿板。

图 1.2.4 集电靴系统

采用接触轨供电的地铁车辆每辆车的两侧均配置有集电靴。如图 1.2.5 所示，列车编组形式是 A-B-B-A 的 4 辆车，每辆车两侧各有两支集电靴，整车共 8 支。

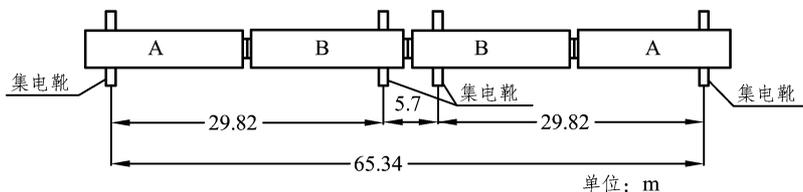


图 1.2.5 车辆受流器配置

### 3. 受电弓与集电靴的技术性能比较

受电弓与集电靴的技术性能比较如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 受电弓与集电靴的技术性能比较

| 项目      | DC 1 500 V 受电弓  | 集电靴<br>(DC 1 500 V 接触轨) | 集电靴<br>(DC 750 V 接触轨) |
|---------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| 牵引变电所间距 | 间距较大，一般为 3~4 km | 间距较大，一般为 3~4 km         | 间距较小，一般约 2 km         |
| 牵引网的能耗  | 低               | 比 1 500 V 受电弓高 5% 左右    |                       |

| 项目          | DC 1 500 V 受电弓 | 集电靴<br>(DC 1 500 V 接触轨) | 集电靴<br>(DC 750 V 接触轨) |
|-------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| 牵引变电<br>所能耗 | 低              |                         | 比 1 500 V 受流高 20%左右   |

续表

| 项目          | DC 1 500 V 受电弓                   | 集电靴<br>(DC 1 500 V 接触轨)   | 集电靴<br>(DC 750 V 接触轨)          |
|-------------|----------------------------------|---|--------------------------------|
| 杂散电流<br>的影响 | 牵引电流小, 杂散电流影响小                   | 牵引电流小, 杂散电流影响小  | 牵引电流大, 杂散电流影响大                 |
| 速度等级        | 大于 120 km/h                      | 一般为 80 km/h, 最高不超过<br>100 km/h                                    | 一般为 80 km/h, 最高不超过<br>100 km/h |
| 可靠性         | 可靠性好                             | 可靠性一般   | 可靠性一般                          |
| 可维护性        | 好                                | 随着运营时间增长, 易受污染, 维护工作量和事故率有不同程度的增加                                 |                                |
| 断电区         | 无断电区                             | 有断电区  | 有断电区                           |
| 安全性         | 安全性好                             | 安全性差, 车站、车场、隧道内检修不便, 接触轨易受杂物影响, 绝缘子积垢受潮, 地面和高架区段在雨雾等恶劣天气出现故障可能性较大 |                                |
| 磨损量<br>和污染  | 一列列车一般只有两个受电<br>弓同时工作, 磨损量小, 污染少 | 一列普通编组的列车一般有 8 个以上的集电靴同时工<br>作。磨损量大, 产生较多的金属粉尘, 污染大               |                                |

## 六、影响接触网的基本参数

架设接触网是为电动列车获取电能服务的, 接触网的很多技术参数(如接触线高度、拉出值、坡度等)与车辆及其受流装置的技术标准和状态直接相关, 而接触网和受流装置的技术标准和状态又都会受轨道线路的影响。

当采用顶部架空接触网授电时, 建筑限界高度是按受电弓工作高度和接触网系统结构高度计算确定的; 当采用侧向接触网或接触轨授电时, 建筑限界高度是按设备限界高度加不小于 200 mm 的安全间隙计算确定的。

例如: 柔性接触网中要根据线路需要来决定腕臂采用哪种装配形式, 要求腕臂既有足够的机械强度, 结构尽量简单、轻巧, 易于施工安装、维修更换, 还要满足一定的技术要求, 包括腕臂跨越线路股道的数目、接触悬挂的结构高度、接触线高度、支柱侧面限界和支柱所在位置(即支柱设在直线上还是设在曲线区段, 是在曲线内侧还是在曲线外侧)等因素。腕臂跨越股道数目越多, 接触悬挂结构高度越高, 支柱侧面限界越大, 则腕臂就应长大些。在曲线上, 腕臂还要根据受力状况决定应配合拉杆或压管使用。

### 1. 接触线高度

架空接触网中接触线高度是接触线悬挂点高度的简称,是指接触线无弛度时定位点处(或悬挂点处)接触线距轨面的垂直高度,一般用  $H$  表示。接触线的最高高度,是根据受电弓的最大工作高度确定的。而最低高度的确定,则是考虑了带电体对接地体之间的空气绝缘距离确定的。城轨车辆 A 型车受电弓工作高度 3 980~5 800 mm,受电弓车的落弓高度一般  $\leq 3 810$  mm。考虑到接触线可能出现负弛度、保证受电弓接触线间工作压力以及保证架空接触网设备和车辆应满足的最小净空尺寸的需要,我国地铁设计规范(GB 50157—2013)规定:地上线路接触线距轨面的高度宜为 4 600 mm,困难地段不应低于 4 400 mm;车辆基地的地上线路接触线距轨面高度宜为 5 000 mm。隧道内接触线距轨面的高度不应小于 4 040 mm。

### 2. 侧面限界

架空接触网中侧面限界是指支柱内缘与邻近铁路轨顶连线的线路中心线的水平距离,一般用  $C_x$  表示。《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009)中规定“轨行区土建工程和机电设备的设置应符合相应的限界要求。列车(车辆)在各种运行状态下,不应发生列车(车辆)与列车(车辆)、列车(车辆)与轨行区内任何固定的或可移动物体之间的接触”。接触网是沿铁路架设的,采用支柱支持接触网时,为了确保行车安全,要求接触网支柱及其他电气装置的建筑不得侵入车辆走行限界。为了安全起见,支柱侧面限界的设计取值比建筑接近限界规定值要大,城轨中接触网支柱侧面限界一般不得小于 2 300 mm。

采用接触轨受电时同样要考虑侧向限界问题。例如:某电气配件厂提供的接触轨防护罩内缘至接触轨中心线宽度为 86 mm,如图 1.2.6 所示。设受流器车辆限界(设备限界)和接触轨防护罩之间的安全间隙为 20 mm,则可得接触轨中心线到线路中心线水平距离  $A$  为

$$A = 1\,365 + 20 + 86 = 1\,471 \text{ (mm)} \quad (1.2.1)$$

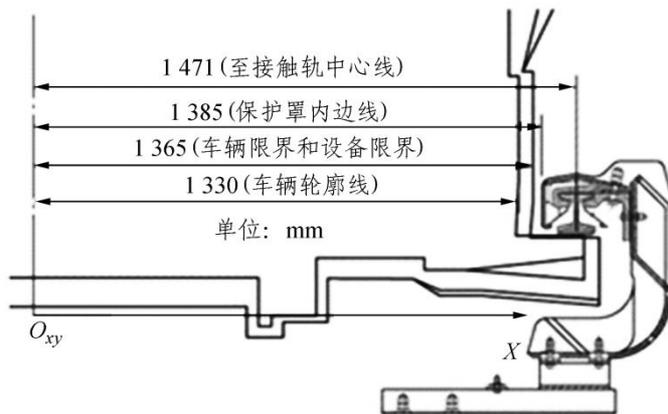


图 1.2.6 接触轨和车辆限界和设备限界的關系

### 3. 结构高度

结构高度是指链形悬挂接触网悬挂点处承力索和接触线的垂直距离,用符号  $h$  表示。链型悬挂的结构高度可以用下式表示:

$$h = F_0 + C_{\min} \quad (1.2.2)$$

式中  $h$ ——结构高度, mm;

$F_0$ ——接触线无弛度时承力索弛度, mm;

$C_{\min}$ ——最短吊弦长度, mm。

确定一个技术、经济都合理的结构高度, 一般应考虑几个方面的因素:

- (1) 最短吊弦长度不要过小, 在极限温度下, 其顺线路方向的偏角不超过  $30^\circ$ 。
- (2) 在条件许可下, 尽可能减少支柱高度。
- (3) 选择适当的悬挂类型, 全补偿比半补偿要求较低的结构高度。
- (4) 考虑适当的调整范围。
- (5) 便于调整和维修。

城轨交通中由于净空有限, 全补偿简单链型悬挂接触网的结构高度一般取值较小。例如: 设计中地面区间正线和试车线结构高度一般为  $1\ 000 \sim 1\ 200$  mm, 地面车站结构高度一般为  $500$  mm, 矩形隧道结构高度一般取  $270$  mm, 圆形隧道结构高度一般取  $235$  mm, 马蹄形隧道结构高度一般取  $267.5$  mm (不同的隧道形式是由于采取了不同的施工方法: 圆形隧道采用的是盾构法施工, 矩形隧道采用的是明挖法施工, 马蹄形隧道采用的是矿山法暗挖施工)。当采用弹性补偿简单悬挂时吊索座处至接触线的吊索高度一般为  $400$  mm。

### 第三节 接触网的类型

接触网为沿线路敷设专为电动车辆供给电能的设备。由于接触网是一种既无备用又易损耗的供电装置, 还受环境和气候条件的影响, 一旦发生故障中断牵引供电, 将影响电动列车正常运行。因此, 接触网应满足以下基本要求:

- (1) 在恶劣的气候条件下机械结构具有良好稳定性。
- (2) 设备及零件具有足够的耐磨性和抗腐蚀能力。
- (3) 设备结构简单, 零部件互换性强; 便于维护、抢修。
- (4) 接触网距走行轨轨面的高度应恒定。

总的来说, 要求接触网无论在何种条件下, 都能给电动列车提供符合要求的电能, 并在符合上述要求的情况下, 尽可能地节省投资、结构合理、维修简便、便于新技术的应用。

按接触网的结构形式分, 接触网可分为架空接触网和接触轨两种基本形式。城市轨道交通中  $750$  V 电压级多采用接触轨,  $1\ 500$  V 电压级多采用架空接触网。但小运量的城市轻轨也有采用  $750$  V 架空接触网的线路, 同时也有采用  $1\ 500$  V 接触轨的线路。

根据接触悬挂结构和形式的不同, 架空接触网又可分为柔性架空接触网和刚性架空接触网两种形式。

#### 一、柔性架空接触网

柔性接触网适用于地下线、地面线及高架线。城市轨道交通是一种大容量的载客交通工

具，且大部分在地下隧道中，其行车密度高、载客量大，因此，要求具有很高的可靠性和安全性。接触网是城市轨道交通的关键供电设备，专门给电客车供电，必须满足这一要求。由于地下隧道净空较小，因此，同时要求接触网的结构在满足需要的前提下尽量简单。

由于上述要求，城市轨道交通柔性接触网形成了结构紧凑、跨距较小，工作电压相对较低、电流大，接触网线索较多、结构较复杂，坡度变化较大和曲线半径较小等特点。

在城市轨道交通中，柔性架空接触网正线一般采用全补偿链形接触悬挂，且多采用单承力索、双接触线式或双承力索、双接触线式全补偿链形接触悬挂（见图 1.3.1），外加 3~4 根辅助馈电线组成；也有采用简单接触悬挂的，车辆段一般采用简单接触悬挂。如广州城市轨道交通 1 号线采用单承力索、双接触线式全补偿链形接触悬挂，上海城市轨道交通 1 号线和香港地铁采用了带弹性支座式的简单接触悬挂。这两种柔性悬挂形式距隧道内拱顶悬挂高度均小于 350 mm。



图 1.3.1 双承力索、双接触线式全补偿链形接触悬挂

柔性架空接触网主要由支柱与基础（隧道为支撑部件）、支持装置、定位装置和接触悬挂及附加导线等几部分组成。

## 二、刚性接触网

刚性接触网是和柔性接触网相对应的一种接触悬挂方式。所谓刚性悬挂就是要考虑整个悬挂导体的刚度，一般采用具有相应刚度的导体轨或具有相应刚度的汇流排与接触线组成。刚性悬挂接触网，适用于地下线路，因其自身所具有的优点，已逐渐被广泛应用到实际工程中，如日本、韩国的地铁等，我国广州、南京、郑州等城市的地铁也已采用。刚性接触网的最大优点是结构简单、占用空间小、载流量大、不易产生断线、寿命长、电阻低，接触网压降小等，因此，适用于地下线路。

作为刚性悬挂主要构件的汇流排使用较多的结构形式有 T 型、 $\Pi$ 型和 Y 型等，日本多使用 T 型汇流排，欧洲多使用  $\Pi$ 型汇流排，如图 1.3.2 所示。T 型结构 1961 年首先在日本的日比谷线开始应用，而  $\Pi$ 型结构形式则于 1983 年在法国的 RATPA 线开始采用，西班牙近年来使用了 Y 型汇流排。目前世界上形成了以日本为代表的 T 型结构及以瑞士和法国为代表的  $\Pi$ 型结构两大流派。两种结构形式相比，因 T 型结构刚性较小、绝缘子支撑跨距较小、自重较大、造价较高，一般认为  $\Pi$ 型结构优于 T 型结构。

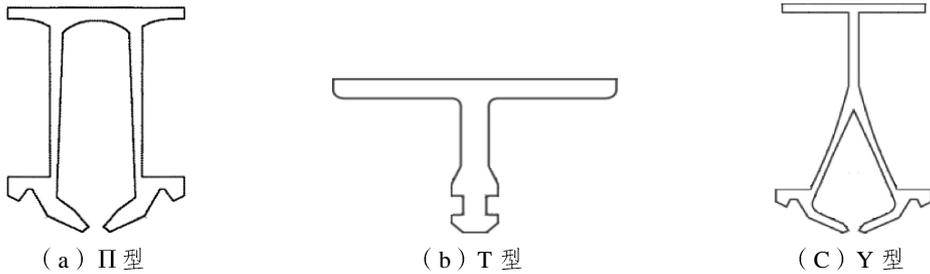


图 1.3.2 汇流排结构

刚性接触网与柔性接触网相比较，其以汇流排代替承力索，直接或通过线夹将接触线夹持住，构成刚性悬挂。刚性接触网主要由汇流排、接触线、膨胀元件、接头、中心锚结、支持和定位装置等组成。

### 三、接触轨

接触轨，又称第三轨或简称三轨。接触轨是沿线路敷设专为电动车辆提供电能的系统。接触轨接触网适用于地下线、地面线及高架线，最早出现在英国伦敦地铁，从 19 世纪 80 年代开始，接触轨开始广泛应用于城市轨道交通。接触轨供电方式在国内最早的应用是 1969 年建成并试运营的北京地铁 1 号线，其接触轨系统采用直流 825 V 的电压等级，以后随着牵引变电所设备的改造而成为直流 750 V，安装方式为上部接触授流方式，材质为低碳钢。

世界各国地铁除法国巴黎、马来西亚个别线路为第四轨回流外，其余皆采用走行轨回流。利用走行轨回流的优点是工程简单、可靠，缺点是在结构中产生杂散电流，需专门加以防护。采用第四轨回流的优点是回流轨绝缘安装，不会产生杂散电流，无须防护，缺点是需专门敷设回流用的接触轨，工程造价较高。

随着我国地铁建设事业的蓬勃发展，天津、武汉、广州等城市也相继建设采用接触轨技术的地铁线路，接触轨技术也不断得到发展：安装方式由上部接触受流为主发展成为上部接触受流与下部接触受流方式并存，并有向下部接触受流方式发展的趋势；接触轨由低碳钢材料发展成为钢铝复合材料，绝缘支座除采用传统的电瓷外，还开发出了环氧树脂材料、硅橡胶材料等，防护罩由木板材料发展成玻璃钢材料；电压等级方面，广州地铁开发出了直流 1 500 V 电压等级的接触轨系统。正线接触轨一般布置在车辆行车方向的左侧，在道岔区等个别地段布置在车辆行车方向的右侧。

牵引网的标称电压常用的有两种：直流 750 V，允许电压波动范围 500 ~ 900 V；直流 1 500 V，允许电压波动范围 1000 ~ 1 800 V。我国国家标准和国际电工技术委员会（IEC）对牵引网电压制式的规定是一致的。

接触轨系统由两部分组成：正极供电网和负极回流网。正极供电网由接触轨、汇流排终端、中间接头、膨胀接头、绝缘支架或绝缘子、绝缘防护罩、中心锚结、隔离开关、电缆等组成；负极回流网由回流轨、有关电气设备及电缆等组成。

#### 四、接触轨与架空接触网的比较

无论架空接触网还是接触轨，都因其不同的特点而应用于具有不同需求的城市轨道交通线路，都是可行的牵引接触网形式，在各自的应用领域中仍不断发展进步，不存在孰优孰劣的问题。各种接触网形式的特点比较如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 各种接触网形式的特点比较

| 比较项目       | 接触轨             | 刚性架空接触网         | 柔性架空接触网                                      |
|------------|-----------------|-----------------|--|
| 结构         | 简单              | 简单              | 较复杂  |
| 受流质量       | 较好              | 较好              | 好  |
| 正线允许行车速度   | $\leq 130$ km/h | $\leq 140$ km/h | 简单悬挂 $\leq 140$ km/h<br>链形悬挂 $\leq 350$ km/h |
| 可靠性        | 高               | 高               | 较高(存在断线隐患)                                   |
| 耐磨性        | 高               | 一般              | 一般   |
| 安装精度要求     | 高               | 高               | 一般   |
| 维护保养工作量    | 较少              | 较少              | 较大   |
| 人身安全性      | 采取措施后有保障        | 较高              | 较高   |
| 对地面景观的影响   | 无影响             | 无影响             | 有影响  |
| 受恶劣气候条件的影响 | 小               | 小               | 较大   |
| 对隧道净空的要求   | 无特别要求           | 相对柔性接触网稍小       | 相对较大   |

柔性架空接触网需要架设支柱,支持悬挂接触网要安装腕臂或横跨,横跨由金属桁架或横向承力索、上下部定位绳组成。在城市中间密布支架和电线网,影响市容,有碍观瞻。当然通过巧妙的规划设计可以减少不利影响。

刚性架空接触网一般只应用于地铁隧道,不仅可减少隧道净空,而且其汇流排载流面积大,无张力架设,不会发生断线事故,即使发生故障,故障范围也很小,减少了维修工作量。

接触轨受流时接触轨位置低,没有明显的高大部件(如立柱、横向承力索、金属桁架等),城市景观好,对电磁污染较易采取防护措施。这也是国内外某些城市交通采用接触轨受电方式的原因之一。钢铝复合接触轨用作接触轨,电压级可增至 1 500 V,改善了接触轨受流形式的技术性能,扩大了接触轨受流方式的应用范围和前景。

在安全性方面,封闭运行的城市轨道交通采用架空式接触网或接触轨都能完全保证安全,但在发生事故疏散乘客时架空式接触网将给人更多的安全感。

牵引网制式的选择应结合车辆受电要求、牵引负荷容量、列车运行最高速度及城市特点等因素综合分析确定。

## 第四节 接触网的组成

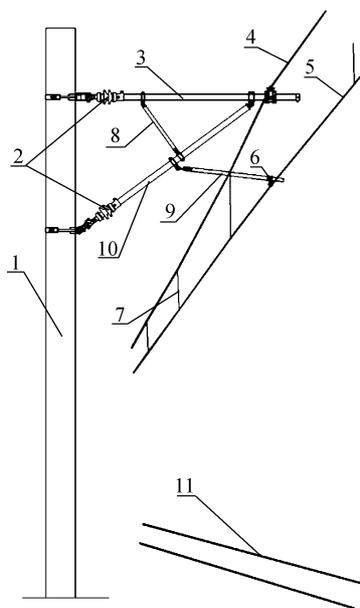
架空接触网结构上是由多个锚段构成的,锚段是接触网中相对独立的机械分段。锚段和锚段间通过锚段关节(刚性接触网也可用膨胀关节)进行过渡,在锚段的中部设置中心锚结,锚段的两端设置下锚固定装置。在机车行进中连续的供电实际上受电弓是在不同的锚段间切换过渡的。

接触轨式接触网结构上则是由多段相互间存在断口的接触轨构成的,每一段均是接触轨

式接触网中相对独立的机械分段，主要结构包括接触轨和支持接触轨的绝缘支座等。

## 一、架空柔性接触网的结构

在学习接触网装配结构时，一般习惯将架空柔性接触网分为接触悬挂、支持装置、定位装置、支柱与基础四大组成部分，如图 1.4.1 所示。



1—支柱；2—棒式绝缘子；3—平腕臂；4—承力索；5—接触线；6—支持器，定位线夹；7—吊弦；8—腕臂支撑；9—定位管；10—单耳腕臂；11—钢轨。

图 1.4.1 架空柔性接触网的组成

### 1. 接触悬挂

接触悬挂包括接触线、吊弦、承力索和补偿器及连接零件。接触悬挂通过支持装置架设在支柱上，其作用是将从牵引变电所获得的电能输送给电动列车。电动列车运行时，受电弓顶部的滑板紧贴接触线摩擦滑行得到电能（简称“取流”）。为了保证滑板的良好取流，接触悬挂应达到下列要求：

(1) 接触悬挂的弹性应尽量均匀。

接触悬挂弹性是指接触悬挂在受电弓抬升力作用下所具有的抬高性能，常用  $\eta$  表示，单位为 mm/N。接触悬挂弹性可用下式计算：

$$\eta = \frac{\Delta h}{Q} \quad (1.4.1)$$

式中  $Q$ ——受电弓抬升力，N；

$\Delta h$ ——单位抬升力作用下接触线的升高量，mm。

衡量弹性好坏的标准有：弹性的大小，它取决于接触线索张力；弹性均匀程度，它取

决于悬挂结构、悬挂类型和某些附在接触线上的集中负载的集中程度等。当接触线本身不平直或者在接触线的某一位置存在着较大的集中负载，接触线将出现硬点，影响接触网受流质量。

(2) 接触线对轨面的高度应尽量相等，限制接触线坡度。

接触线坡度是指架空接触网中一个跨距两端的支柱悬挂处，接触线距轨面高度差与跨距值的千分比。

$$i = \frac{H_A - H_B}{1000 \times l} \times 1000\% \quad (1.4.2)$$

式中  $H_A$ 、 $H_B$ ——跨距两端的接触线距轨面高度，mm；

$i$ ——接触线坡度；

$l$ ——跨距，m。

接触线坡度对机车运行速度有很大影响，坡度选择不当，会产生离线、起弧等不正常情况。出入段线悬挂点处接触线距两轨面连线的高度从 4 040 mm 过渡到 5 000 mm。在此接触线高度发生变化过程中，接触线的坡度应根据机车行驶速度确定，满足《地铁设计规范》(GB 50157—2003) 要求。

当柔性接触线高度变化时，其最大坡度及变化率的有关规定如表 1.4.1 所示。当刚性接触网不同悬挂点接触线底面距轨面连线的距离发生变化时，必须保证接触线坡度变化不大于 1‰。

表 1.4.1 柔性接触网接触线最大坡度及坡度变化率

| 列车速度/(km/h) | 接触线最大坡度/‰ | 接触线最大坡度变化率/‰ |
|-------------|-----------|--------------|
| 10          | 40        | 20           |
| 30          | 20        | 10           |
| 60          | 10        | 5            |
| 90          | 6         | 3            |
| 110         | 5         | 2            |

(3) 接触悬挂在受电弓压力及风力作用下应有良好的稳定性，即电动列车运行取流时，接触线不发生剧烈的上、下振动。在风力作用下不发生过大的横向摆动，这就要求接触线有足够的张力，并能适应气候的变化。

(4) 接触悬挂的结构及零部件应力要求轻巧、简单、可靠，做到标准化，以便检修和互换，缩短施工及运行维护时间；具有一定的抗腐蚀能力和耐磨性，以延长使用年限。另外，要结合国情尽量节省有色金属及钢材，降低造价。

## 2. 支持装置

支持装置是接触网中支持接触悬挂，并将其机械负荷传给支柱固定的部分。支持装置包括腕臂、平腕臂、棒式绝缘子（或水平拉杆、悬式绝缘子串）及接触悬挂的悬吊零件。根据

接触网所在区间、站场和大型建筑物需要的不同，支持装置表现为不同的形式，例如：腕臂结构（图 1.4.1 中所示为区间腕臂装配形式）、软横跨和硬横跨结构（多股道站场使用）、隧道和桥梁等其他大型建筑物上的特殊支持结构。

### 3. 定位装置

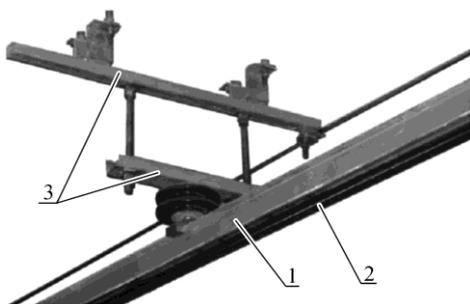
定位装置包括定位管、定位器、定位线夹及其连接零件，其作用是固定接触线的横向位置，使接触线水平定位在受电弓滑板运行轨迹范围内，保证接触线与受电弓不脱离，使受电弓磨损均匀，同时将接触线的水平负荷传给支柱。

### 4. 支柱与基础

支柱与基础用以承受接触悬挂、支持和定位装置的全部负荷，并将接触悬挂固定在规定的位置和高度上。我国接触网中主要采用预应力钢筋混凝土支柱和钢柱。基础用来承载支柱负荷，即将支柱固定在地下用钢筋混凝土制成的基础上，由基础承受支柱传给的全部负荷，并保证支柱的稳定性。预应力钢筋混凝土支柱可不设单独的基础，支柱的一部分直接埋入地下，起到基础的作用。

## 二. 刚性接触网的结构

刚性接触网主要由汇流排、接触线、膨胀元件、接头、中心锚结、支持和定位装置等组成。架空刚性接触悬挂一般通过门型架、绝缘横撑等结构直接安装于隧道顶或隧道壁上（见图 1.4.2），也有少量安装于地面支柱或倒立柱上的情况（见图 1.4.3）。



1—汇流排；2—接触线；3—支持定位装置。

图 1.4.2 刚性悬挂隧道门型架安装

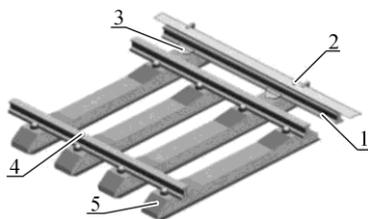


图 1.4.3 刚性悬挂倒立柱腕臂安装

## 三. 接触轨的结构

接触轨功用与架空接触网一样，通过它将电能输送给电动车组。不同点在于：接触轨是沿着走行轨布置、敷设在走行轨旁的钢轨，电动车组由伸出的集电靴与之接触而接受电能。接触轨系统主要由接触轨、绝缘支座、端部弯头、膨胀接头、防护罩、中间接头、中心锚结、

电连接和接地线等组成，如图 1.4.4 所示。



1—接触轨；2—防护罩；3—绝缘体；4—走行轨；5—轨枕。

图 1.4.4 接触轨的结构

## 第五节 供电方式

牵引变电所将从主变电所得到的电能降压和整流，变成电动列车牵引所需要的直流电，再经馈电线将电能送到接触网上，因此，接触网是向电动列车供电的特殊输电线路。

### 一、基本牵引回路

在城市轨道交通牵引供电系统中，牵引供电回路以以下顺序形成回路：牵引变电所正极母线→馈电线→接触网→电动列车→回流轨（或地回流电缆、第四轨）→牵引变电所负极母线。由馈电线、接触网、轨道回路及回流线组成的供电网络称为牵引网，如图 1.5.1 所示。牵引供电系统由牵引变电所和牵引网组成，其中牵引变电所和接触网是牵引供电系统的主要组成部分。接触网按其结构可分为架空式和接触轨式，按其悬挂方式又可分为柔性（弹性）接触网和刚性接触网。习惯上，由于接触轨式是沿线路敷设的与轨道平行的附加轨，故又称第三轨；只有采用架空方式时，才称为“接触网”。

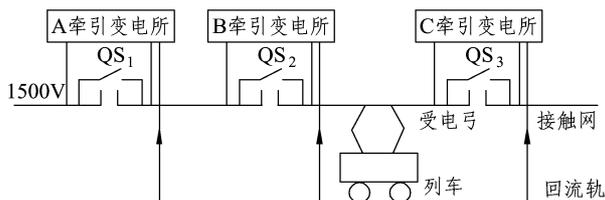


图 1.5.1 牵引供电回路

城市轨道交通牵引供电系统各部分功能简述如下：

牵引变电所：供给城市轨道交通一定区域内牵引电能的变电所。

接触网（或接触轨）：经过电动列车的受电器向电动列车供给电能的导电网（有接触轨方式和架空接触网两种方式）。

馈电线：从牵引变电所向接触网输送牵引电能的导线。

回流轨（或回流电缆、第四轨）：用以供牵引电流返回牵引变电所的导线。

电分段：为便于检修和缩小事故范围，将接触网分成若干段称为电分段。

轨道：列车行走时，利用走行轨作为牵引电流回流的电路。在采用跨座式单轨电动车组时，需沿线路专门敷设单独的回流线。

## 二、接触网的供电方式

城市轨道交通中牵引变电所向接触网供电的方式有两种，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附近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。如果接触网供电臂只从其一侧的牵引变电所获得电能，则这种供电方式称为单边供电；如果供电臂同时从其两侧相邻的两个牵引变电所获得电能，则称为双边供电。通常情况下，车辆段内接触网常采用单边供电方式，正线接触网则采用双边供电方式。

在采用双边供电方式时，当某一牵引变电所因故障退出运行时，该段接触网就成为单边供电。正线上任何牵引变电所因故障退出运行时，可由该所两侧相邻的牵引变电所越区供电，此时亦称大双边供电。在越区供电方式下，供电末端的接触网电压较低，电能损耗较大，因此，要视具体情况适当减少同时处在该分区的列车数目，直流馈线保护整定时需考虑大双边供电方式下的灵敏度。因此，越区供电只是为避免中断城市轨道交通的临时性措施，是短时采用的一种运行方式。

图 1.5.1 中，正常运行方式下，列车从 B 和 C 两个牵引变电所以双边供电方式获得电能；当 B 牵引变电所因故障退出运行时，保持隔离开关  $QS_2$  断开状态，则该区段牵引变电所向接触网供电的方式转变为单边供电，列车仅能从 C 牵引变电所获取电能；如合上  $QS_2$ ，则列车以大双边供电方式从 A 和 C 两个牵引变电所获得电能。

当城市轨道交通接触网发生短路时，短路点的短路电流太大，会对地铁车辆的主保护造成危害，进而威胁旅客的安全，所以不允许纽结式供电，即不允许由 3 个以上（含 3 个）的牵引变电所向同一个电分段牵引网供电。