

第一章 城市轨道交通牵引供电系统概述

【学习目标】

1. 了解供电系统的组成；
2. 了解牵引所常见供电方式；
3. 了解变电所接线及其运行方式。

【知识要求与技能要求】

1. 了解车辆、轨道及线路等相关知识；
2. 掌握接触网常见组成、类型及特点。

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所需电能的系统，它不仅为电动列车提供牵引用电，还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，最后以适当的电压等级、一定的电流形式（直流或交流电）供给列车通风、空调、照明、通信、信号、自动售检票、屏蔽门、给排水、防灾报警、电梯、电动扶梯及监控系统等用电设备，详见图 1-1。

城市轨道交通供电系统，一般包括外部电源、主变电所（或是电源开闭所）、牵引供电系统、动力照明供电系统、电力监控系统。其中牵引变电系统的功能是将主变电站输送过来的交流电经降压、整流成为直流电源，再通过接触网提供给电动列车。

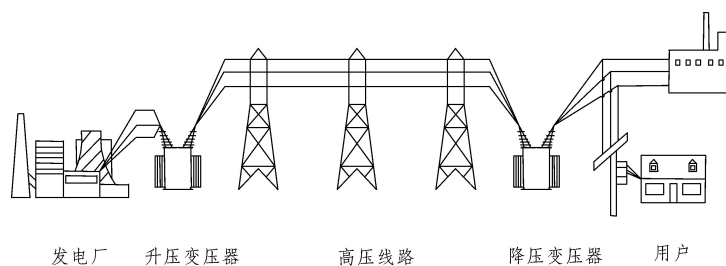


图 1-1 供电系统发电-用电示意图

（一）城轨外部线路供电方式

根据实际情况不同，城轨外部线路供电方式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位置，根据总容量要求设主变电所，由发电厂和城市电网区域变电所以高压（如 110 kV）向主变电所供电，经降压并联在牵引变电所、降压变电所，形成 35 kV 或 10 kV 中压环网。

分散供电方式是指不用主变电所，而直接由城市电网变电所的 35 kV 和 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。

混合供电方式就是以上两种方式的混合机制，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）牵引供电系统

城市轨道交通电动列车供电多采用直流电，通常有 DC 750 V、DC 1500 V 等供电电压。牵引供电回路是由牵引变电站、馈电线、接触网、电动列车、钢轨回路、牵引变电站等组成的闭合回路，而由接触网、馈电线、轨道和回流线组成的供电网络总称为牵引网。钢轨除了作为走行轨外，还兼作直流供电系统的负极。从牵引供电系统的组成看，接触网是向电动列车供电的重要组成部分，是直接影响电动列车安全运行的重要环节。因此，必须使接触网始终处于良好的工作状态，安全可靠地向电动列车供电。

牵引变电所通过接触网向电动列车供电，接触网在每个牵引变电所附近断开，分成两个供电区段。每个牵引变电所仅对其两侧的区段供电。供电距离越长，牵引电流在接触网上的电压降就越大，使末端电压过低及接触网上的电能损耗过大；供电距离过短，牵引变电所数目增多，前期投入增加。

（三）牵引所供电方式

供电距离以及接触线截面等与接触网供电方式有关，而牵引变电所向接触网供电的方式一般有单边供电和双边供电两种，故障情况下亦可采用大双边供电及越区供电等方式。

1. 单边供电

每个供电区段也称为一个供电臂，如果电动列车只从所在供电臂上的一个牵引变电所获得电能，这种供电方式则称为单边供电。

单边供电时，若有故障，影响范围小，牵引变电所内的保护也较简单，但电动列车所需牵引电流全部由一边流过牵引网。因此，牵引网电压降和电能损耗大。

2. 双边供电

如果一个供电臂同时从相邻两个牵引变电所获得电源，每个接触网区段均由两个牵引变电所并联供电，则称为双边供电。双边供电时，牵引电流按比例由两边流过牵引网，牵引网电压降和电能损耗相对小，但有故障时，影响范围也较大，保护比较复杂。

正常双边供电时，牵引变电所馈线开关内设置双边联跳保护装置。一旦接触网发生短路故障，靠近短路故障点的牵引变电所保护动作，馈线开关迅速跳闸，与此同时联动跳开另一侧牵引变电所的相应馈线开关，及时切除故障。

3. 越区供电

当某一牵引变电所有故障时，该故障所退出运行，通过闭合故障牵引变电所所处接触网的联络隔离闸刀，实施越区供电，在越区供电方式下运行，供电区域扩大，牵引变电所的负荷增大，线路损耗增大，因此要适当减少在该供电区段同时段运行的电动列车数量。越区供电只是在牵引变电所故障情况下运行的一种特殊方式。

越区供电时，此供电臂也由两个牵引变电所供电，可称为大双边供电，此时两座牵引变电所的馈线开关仍有联跳功能。

二、变电所分类及其运行方式

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进行计算确定。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。城市轨道交通的变电所（尤其是地下变电所）在防火方面有较严格的要求，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。

（一）变电所分类

（1）主变电所：将供电局供给的 110 kV 三相交流电降压为牵引供电系统和变配电系统所需要的电压 35 kV 三相交流电，通过 35 kV 的环网向牵引供电系统和变配电系统供电。

（2）牵引降压混合变电所：从 35 kV 的环网取电，并能通过两套牵引整流机组经降压整流为 1 500 V 的直流电供给接触网。同时，通过两台动力变将 35 kV 三相交流电降为 400 V 的三相交流电，负责车站和相邻半个区间的供电。

（3）降压变电所：从 35 kV 的环网取电，通过两台动力变将 35 kV 三相交流电降为 400 V 的三相交流电，负责车站和相邻半个区间的供电。

（4）跟随所：主要设在车站电力负荷相对较大而集中的地方，从本车站的变电所 35 kV 分段母线分别引两路馈线，经跟随所的 35/0.4 kV 动力变压器和低压配电柜为下级用户供电。

（二）变电所的运行方式

1. 主变电所的运行方式

主变电所典型电气主接线图如图 1-2 所示。

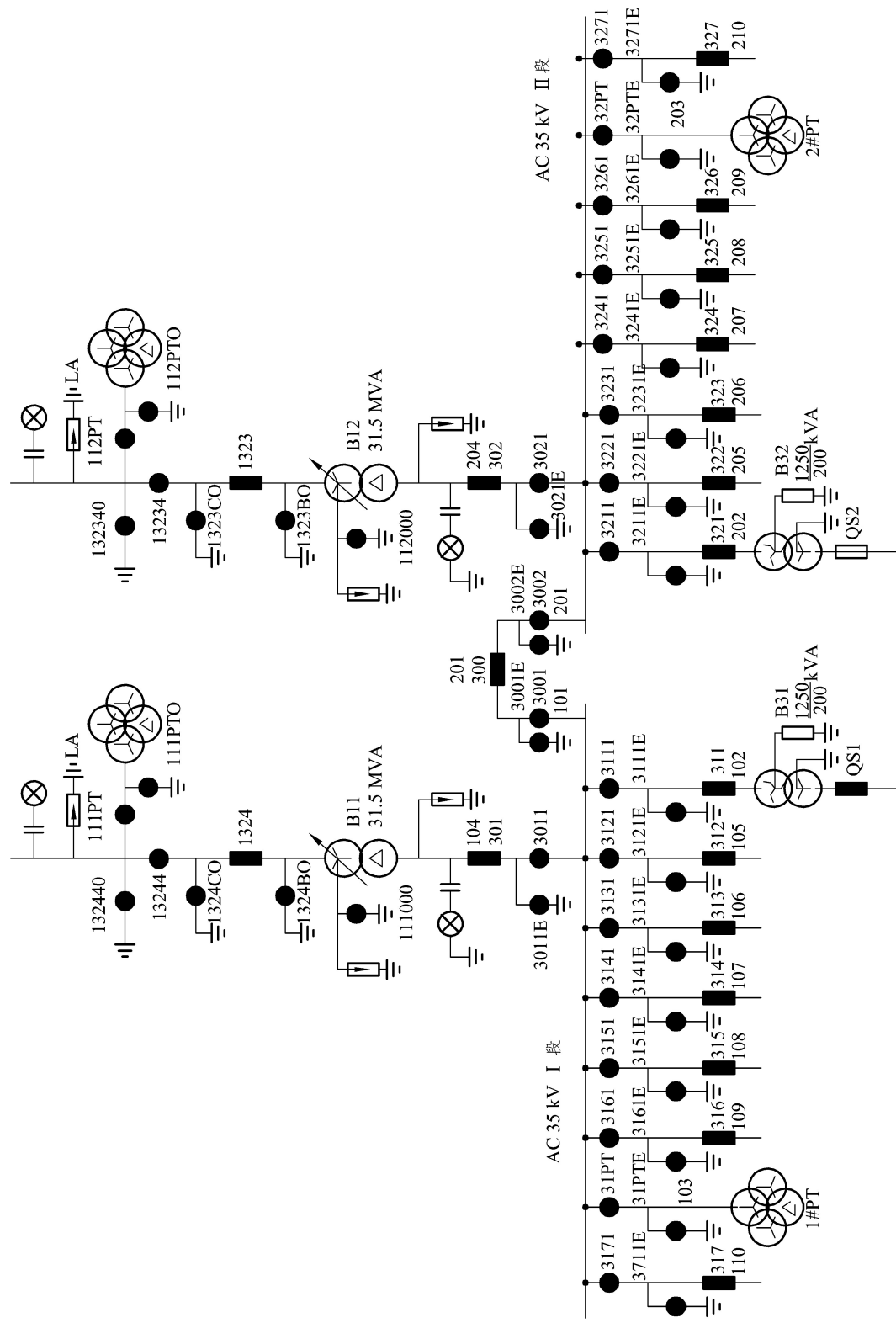


图 1-2 主变电所典型电气主接线图

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；35 kV 侧设分段母线联络断路器，正常情况下，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，35 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

牵引降压混合变电所典型电气主接线如图 1-3 所示，35 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即可保持列车运行，还可以降低能耗、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与降压变电所一致。

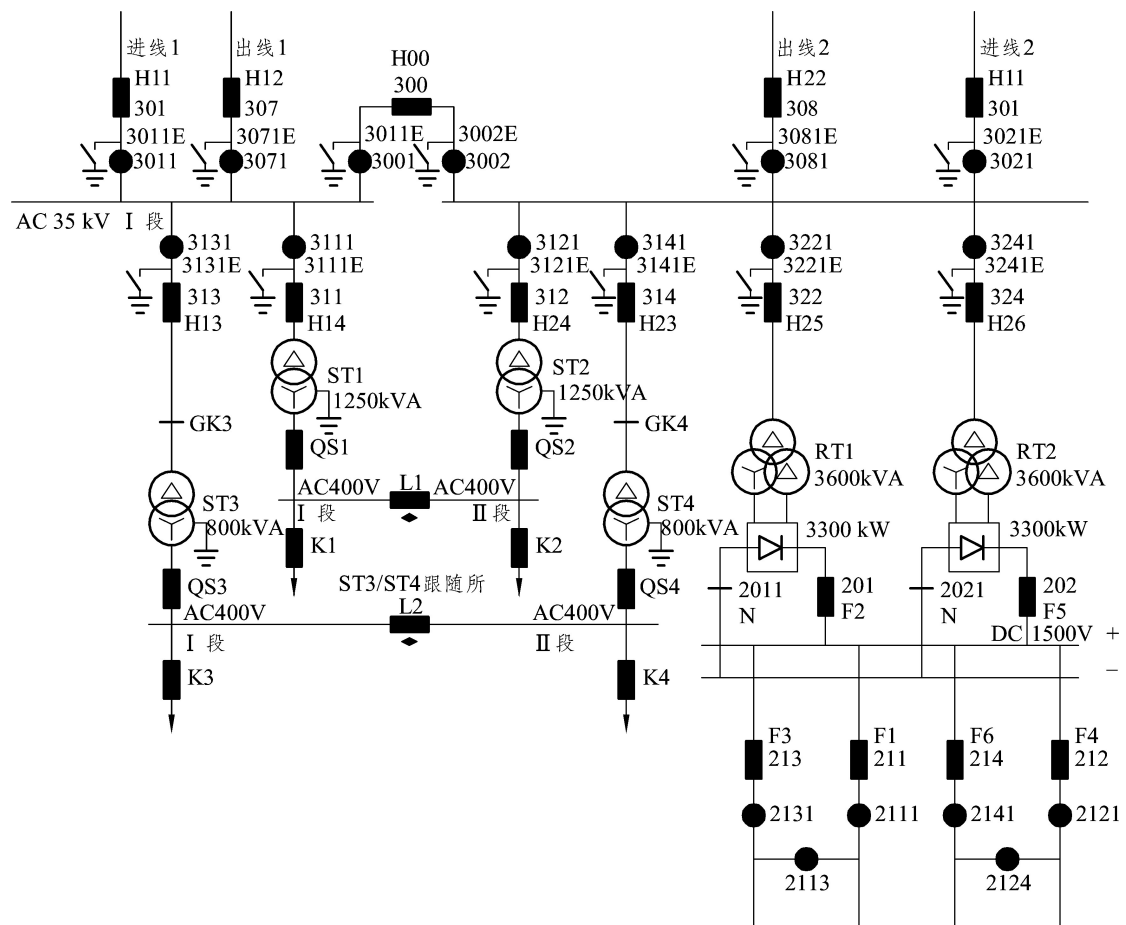


图 1-3 牵引降压混合变电所典型电气主接线图

3. 降压变电所的运行方式

35 kV 侧为单母线分段接线，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的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 接触网基础知识

由于接触网是一种既无备用又易损耗的供电装置，且同时受环境和气候条件的影响，一旦发生故障将中断牵引供电，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) 接触网距离走行轨轨面的高度应该恒定。

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，便于新技术的运用。

一、接触网的类型

接触网按结构形式划分，可以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 电压等级多采用接触轨，1500 V 电压等级多采用架空接触网，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 1500 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具有结构紧凑、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型接触悬挂，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型接触悬挂。这两种柔性悬挂形式距隧道内拱顶悬挂高度均小于 350 mm。

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，如图 1-4 所示。



图 1-4 柔性架空接触网

（二）刚性架空接触网

刚性接触网是和柔性接触网相对应的一种接触悬挂方式。所谓刚性接触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电轨或具有相应刚度的汇流排与接触线组

成。刚性接触网最大的优点是结构简单、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。

架空刚性接触网结构简单，主要由汇流排、支撑装置、绝缘子、接触线（单根）及架空地线组成，如图 1-5 所示。



图 1-5 刚性架空接触网

（三）接触轨

随着地铁和城轨交通事业的发展，面对接触轨大电流、轻型化的要求，钢铝复合接触轨以传输电流大、重量轻、安装方便得到广泛应用。

接触网轨由接触轨、接触轨终端、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，如图 1-6 所示。