

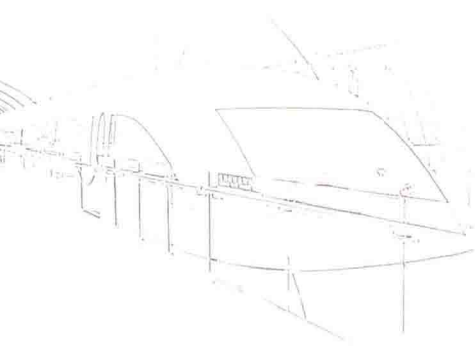


“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 城市轨道交通 牵引供电系统

武永红 主 编

王玉璞 田 瑞 副主编



免费下载

配课件

[www.ccpres.com.cn](http://www.ccpres.com.cn)



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

# 单元一 城市轨道交通牵引供电系统概述

城市轨道交通(简称“城轨”)牵引供电系统是城市轨道交通运营的动力能源,为城市轨道交通机车牵引、动力、照明、通信、信号等各种设备提供不间断电能,是城市轨道交通运营的重要前提,在城市轨道交通系统中具有不可动摇的基础地位。

## 【知识目标】

1. 了解城轨牵引供电系统的组成,熟悉供电系统的主要功能;
2. 了解城轨供电系统的典型特征,掌握直流供电的优缺点;
3. 了解城轨供电系统主要电气设备的功能,掌握主要电气设备在系统中发挥的作用。

## 【能力目标】

1. 能够分析供电系统各组成部分之间的关联关系;
2. 能够独立认识、分析直流供电的独特性;
3. 能够独立辨识变压器、断路器、隔离开关、互感器,能够指出变压器、断路器、隔离开关、互感器在供电系统的地位。

## 【素质目标】

1. 培养学生团队合作与安全意识,一定的沟通交流意识;
2. 培养学生自我学习与信息化学习的意识。

## 课题一 城市轨道交通牵引供电系统的组成与功能

城轨供电系统是城市电网的一个重要组成部分。该系统通过从城市电网取电,经过供电系统对电能进行变换和输送,以适应轨道交通车辆和其他相关用电设备运行的电能形式,并进行电能供给。

城轨供电系统一般分为牵引供电电源系统、牵引供电系统和动力照明供电系统三大组成部分。

此外,按照供电电能形式的不同,城轨牵引供电系统可分为交流和直流两大部分。

## 一、牵引供电电源系统的组成与功能

牵引供电电源系统由城市电力公司变电所和城市轨道交通电源变电所及配电线路组成。

城市轨道交通的电源来自电力公司的区域变电站,电压为 10kV。自区域变电站经城市轨道交通电源变电站和输电线路分配给牵引变电所,保证各牵引变电所都有两路以上专用牵引电源。

如图 1-1 所示,虚线以上为城市供电公司供电部分;虚线以下为城市轨道交通供电系统内部电源部分。

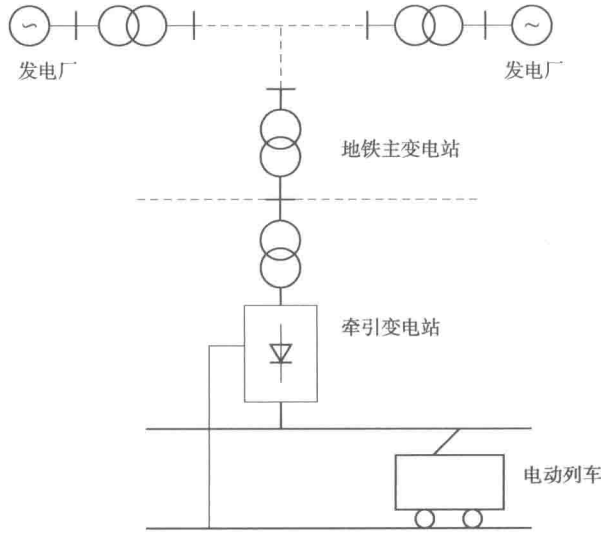


图 1-1 城市轨道交通供电系统

## 二、牵引供电系统的组成与功能

牵引供电系统(图 1-2)由变电所、馈电线、接触轨(接触网)、走行轨、回流线等组成。它为城市轨道交通车辆运行提供牵引电能和其他辅助设备的动力电能。在电动列车采用再生制动时,还可将再生电能反馈到电力系统。

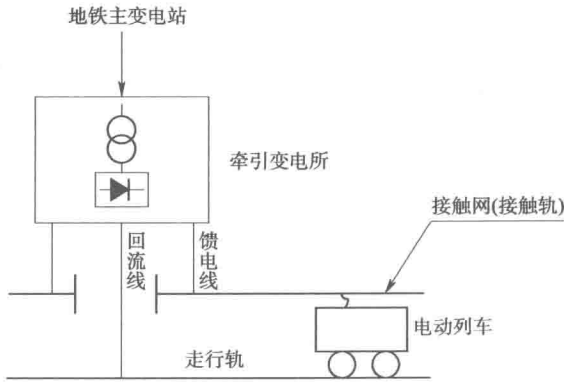


图 1-2 城市轨道交通牵引供电系统

系统运行时,变电所将降压整流变成直流 1500V 或 750V 电压的电能,经馈电线传输至接触轨(接触网),通过轨道车辆的集电靴(受电弓)输送给轨道电动列车,为城轨列车提供牵引供电,然后从电动列车再经走行轨、回流线返回变电所,从而完成牵引供电任务。

其中,接触网有架空接触网(直流 1500V)和接触轨(直流 1500V 或 750V)两种悬挂方式。

#### 1. 变电所

按照实现功能的不同,城市轨道交通变电所分为电源站、牵引站、降压站(跟随站)、牵引降压混合站和电源牵引降压混合站。

#### 2. 馈电线

从牵引变电所向接触轨(接触网)输送直流电能的导线称为馈电线。

#### 3. 接触轨(接触网)

接触轨俗称“三轨”,用金属轨条制成,沿线路与走行轨平行敷设,是用于向电动列车供给电能的刚性导体。通常接触轨供电电压为直流 1500V 或 750V。

接触网位于电动列车上部,架空装设,经电动列车受电弓向列车供电。通常架空接触网供电电压为直流 1500V。

#### 4. 回流线

用以供牵引电流返回变电所的导线称为回流线。

### 三、动力照明供电系统组成与功能

动力照明供电系统由降压变电所、动力照明配电线路及用户所组成。它主要用于向各车站、区间、车辆厂等处所的照明、扶梯、风机、水泵、冷冻机组等设备提供电源和通信、信号、防灾报警、综合系统、人防工程等设备提供电源。通常将三相电源经降压变电所降压,采用 380V 三相交流供电方式。

## 课题二 城市轨道交通牵引供电系统的特征

城市轨道交通牵引供电系统涉及城市供电与轨道交通两大行业,既具有城市供电的专业属性和电力系统的规律及要求,又有轨道交通的行业属性,因此,与一般的供电系统又不完全一致。城轨牵引供电系统具有如下特征。

### 一、可靠性要求高

供电可靠性是根据用电负荷的性质和突然中断其供电在政治或经济上造成损失或影响的程度,对用电设备提出不允许中断供电的要求。按照供电可靠性的要求,用电负荷分为三级。

#### 1. 一级负荷

突然停电将造成人身伤亡或在经济上造成重大损失,或在政治上造成重大不良影响的负荷。

#### 2. 二级负荷

突然停电将在经济上造成较大损失或在政治上造成不良影响的负荷。

### 3. 三级负荷

不属于一级和二级,供电紧张时,可拉闸限电的负荷。

城轨牵引供电系统属于一级重要负荷。城轨各牵引变电所除了配备两路进线电源外,另外还要配置两路联络电源,以降低牵引变电所停电的概率,降低城轨系统停运的风险;车站除两路 400V 电源外,还配置由相邻站供电的事故电源,提高故障应急处理的能力,减轻危害。

## 二、直流牵引供电

我国城轨牵引供电系统普遍采用直流牵引供电形式,主要包括直流 1500V 和 750V 两个电压等级。

由于直流牵引供电具有调速范围大、调速方便、易于控制,车辆起动、制动平稳,牵引接触网简单,投资省,电压质量高等诸多优点,而交流供电调速范围小、调速困难等不足,直流牵引供电形式在城轨交通供电行业被广泛采用。

但是,直流牵引供电也存在牵引变电所设备复杂、直流电气保护困难、运行费用增加等不足,此外,还有电网谐波、电腐蚀、电磁干扰等较难解决的危害。所以,城轨牵引供电系统安全运行的要求比一般供电系统要高很多。

## 课题三 城市轨道交通牵引供电系统主要电气设备

城轨牵引供电系统担负着向电动列车供电的重要任务,是城轨系统的动力之源。牵引供电系统的电气设备在系统的变电、供电过程中发挥着重要作用。城轨牵引供电系统电气设备主要包括牵引变压器、牵引整流柜、高压开关设备、互感器等。

### 一、牵引变压器

牵引变压器是牵引供电系统中的主要核心设备之一,在供电系统中发挥着电压变换、电能传送的重要作用。按照城轨牵引供电系统形式和供电环境等因素的不同,常用的牵引变压器主要包括三相油浸式电力变压器和三相干式变压器两大类。

#### 1. 三相油浸式电力变压器

油浸式电力变压器的铁芯和绕组浸在绝缘变压器油中,依靠变压器油的自然循环实现变压器的冷却、绝缘。油浸式电力变压器如图 1-3 所示。

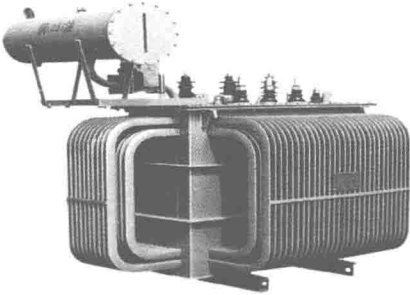


图 1-3 三相油浸式电力变压器

油浸式变压器的结构主要包括铁芯、绕组、油箱、油枕、绝缘套管、呼吸器、分接开关、气体继电器、温度计等,如图 1-4 所示。

#### (1) 铁芯

铁芯的作用包括导通磁路和支撑绕组。铁芯通常采用小于 0.35mm 厚、导磁系数高的冷轧晶粒取向硅钢片构成。

## (2) 绕组

绕组和铁芯都是变压器的核心元件。绕组构成变压器的电路,它是变压器电输入和输出的电气回路。绕组通常由铜或铝导线绕制而成,套在铁芯上。

## (3) 油箱和冷却装置

油浸式变压器的绕组及铁芯都装在充满变压器油的油箱中,油箱用钢板焊成,通常都与冷却装置(散热器)做成一体。变压器油既是绝缘介质,又是冷却介质。

## (4) 油枕

油枕又称储油柜,它与变压器油箱连通,主要用于调节油箱油量,防止变压器油过速氧化,上部有注油孔。

## (5) 呼吸器

为了保证油枕内上部的空气是干燥的,油枕下部装有呼吸器,呼吸器内装有干燥器(硅胶)。油枕内的绝缘油通过呼吸器与大气连通,干燥剂可以吸收空气中的水分和杂质,保持变压器内部绕组的良好绝缘性能。

## (6) 绝缘套管

变压器绕组引出线借助绝缘套管与外电路连接,并与接地的油箱绝缘。绝缘套管一般都装设于变压器的上部。

## (7) 分接开关

为了保证变压器二次侧电压,变压器会装设分接开关。分接开关通过改变高压绕组抽头,增加或减少绕组匝数来改变电压比,以达到稳定二次侧电压的目的。

## (8) 气体继电器

气体继电器(瓦斯继电器)是变压器内部故障的主要保护装置。气体继电器装设于油枕与油箱的连接管上,当变压器内部故障时,油箱内气体推动气体继电器动作,发出信号或保护跳闸。

## (9) 防爆装置

防爆装置包括防爆管和压力释放装置两种,装设于变压器顶盖上。当变压器内部严重故障时,油分解产生大量气体,油箱内部压力增大,防爆装置将压力和油释放,防止油箱内压力剧增造成爆炸危险。

## (10) 温度计

温度计用于监视变压器运行温度,发出信号。温度计指示的是变压器上层油温。

## 2. 三相干式变压器

干式变压器就是指铁芯和绕组不浸在绝缘油中,依靠空气对流进行冷却的变压器,如图 1-5 所示。

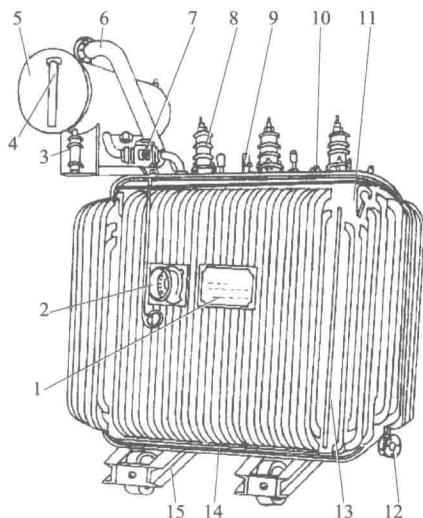


图 1-4 三相油浸式电力变压器的结构

1-铭牌;2-温度计;3-呼吸器;4-油位计;5-油枕;6-防爆管;7-气体继电器;8-高压套管;9-低压套管;10-分接开关;11-油箱;12-放油阀;13-散热器;14-接地端;15-轮式小车

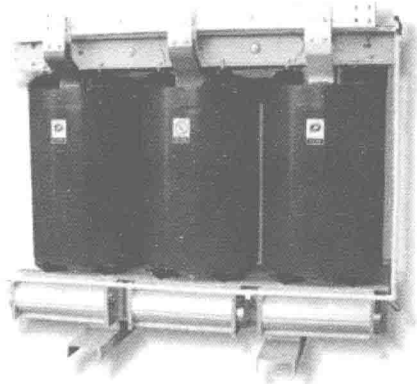


图 1-5 三相干式变压器

干式变压器相对于油浸式变压器,结构简单了许多。城轨牵引供电系统大量采用干式变压器用作牵引变压器。

## 二、牵引整流柜

整流柜的作用是将交流电变成直流电供给电动列车运行使用。为了降低直流电的脉动量,通常采用 24 脉波整流。

牵引变电所通常设置两台牵引变压器,单台牵引变压器的两组低压绕组之间相位差  $30^\circ$ ,引入整流柜,整流柜内有两个三相桥式整流电路并联组成 12 脉波整流,通过并列运行的两套整流柜形成等效 24 脉波整流。

## 三、高压开关设备

高压开关设备主要作用是:正常运行时,接通或切断电路,保证电力设备或线路投入或退出运行;发生故障时,将故障部分从电网快速切除,保证系统中无故障部分的正常运行及设备、运行维修人员的安全。高压开关设备通常包括高压断路器、高压隔离开关等。

### 1. 高压断路器

高压断路器是牵引供电系统中重要的开关设备,配有专门熄灭电弧的装置。高压断路器的作用:当系统正常供电工作时,可以接通或开断负载电流(控制作用);当系统供电故障情况时,通过继电保护装置发出信号,控制断路器动作,切除故障电路部分,保证无故障部分的正常运行。

常用的断路器主要有油断路器、空气断路器、真空断路器、SF6 断路器、磁吹断路器等类型。目前,城轨牵引变电所 10kV 部分主要采用真空断路器(图 1-6)。

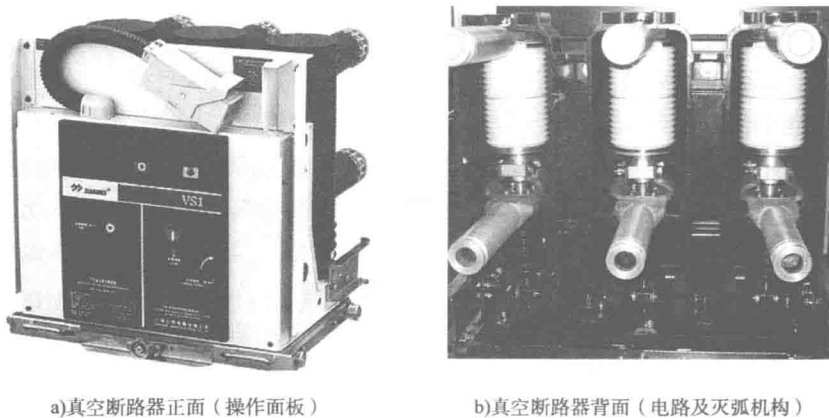


图 1-6 真空断路器

真空断路器利用真空的高介电强度来熄灭电弧,故称为真空断路器。它具有灭弧速度快、寿命长、检修周期长、体积小等优点。

真空断路器结构主要包括真空灭弧机构(图 1-6b)、操作机构(图 1-6a)等。通过操作机构控制断路器触头在真空灭弧室动作,从而达到熄灭电弧,实现分、合闸的目的。真空断路器结构如图 1-7 所示。

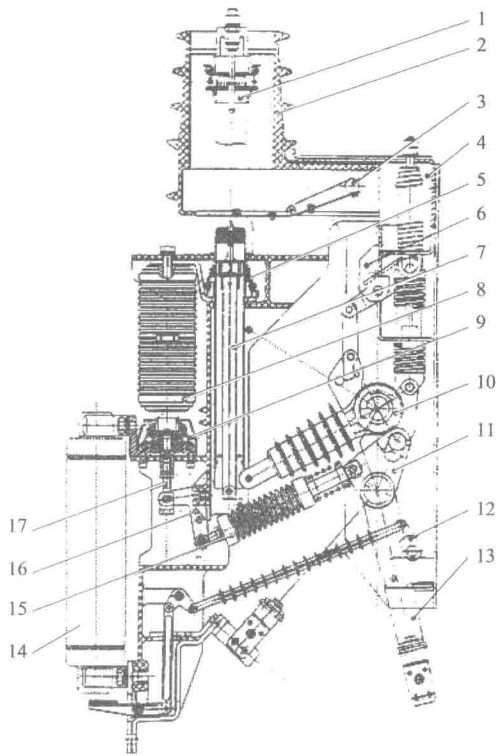


图 1-7 真空断路器结构

1-隔离开关上触头座;2-绝缘支持架;3-金属活门;4-金属框架;5-隔离开关下触头座;6-弹簧操作机构;7-隔离开关导电筒;8-真空灭弧室;9-真空灭弧室下出线座;10-隔离开关扣臂;11-真空负荷开关驱动部分;12-脱扣部分;13-接地开关;14-熔断器;15-推杆;16-拐臂;17-导杆

## 2. 高压隔离开关

高压隔离开关(图 1-8)也是牵引供电系统中重要的开关设备,没有专门的熄灭电弧装置,需与高压断路器配套使用,不能单独切断负荷电流和故障电流。断路器处于断开状态时,隔离开关才可以进行操作。

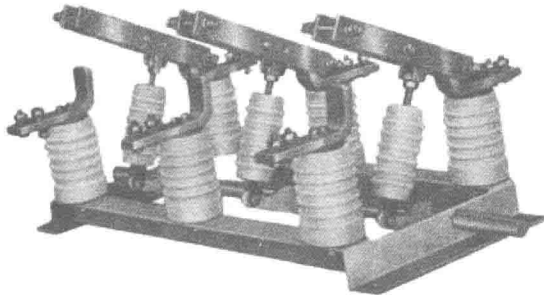


图 1-8 10kV 高压隔离开关

隔离开关主要功能:一是隔离开关断开时,触头间形成明显断开点,保证高压电器及装置在检修工作时的安全,起隔离电压的作用;二是接通和开断小电流电路。

由于隔离开关没有灭弧装置,不能开断负荷和故障电流,因此,为了保证供电操作安全,通常将隔离开关与断路器联锁,以防误操作。使用断路器和隔离开关等高压开关设备改变



变电所运行状态的操作,通常称为倒闸操作。

#### 四、互感器

牵引供电系统的运行需要掌握系统中的电压、电流等参数,但系统中的高电压、大电流无法直接测量,因此需要电压互感器将高电压降成低电压,电流互感器将大电流变成小电流进行测量。

互感器的功能主要是将高电压或大电流按比例变换成标准低电压(100V)或标准小电流(5A或1A,均指额定值),以便实现测量仪表、保护设备及自动控制设备的标准化、小型化。同时,互感器还可用来隔离高电压系统,以保证人身和设备的安全。

##### 1. 电流互感器(TA)

电流互感器(图1-9)的结构较为简单,由相互绝缘的一次绕组、二次绕组、铁芯以及构架、壳体、接线端等组成。

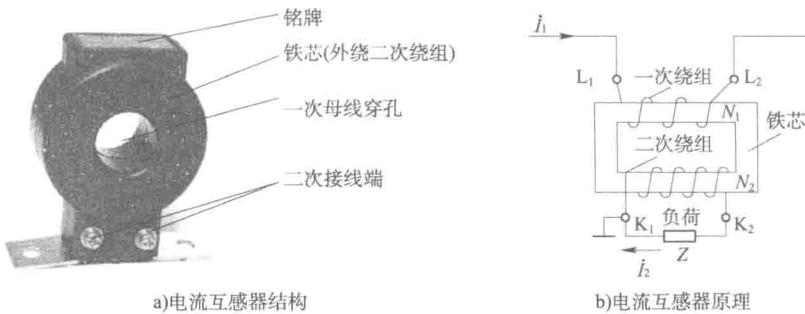


图1-9 电流互感器

电流互感器工作原理与变压器基本相同。 $K = I_1/I_2 = N_2/N_1$ , 电流互感器的电流与匝数成反比。一次绕组的匝数( $N_1$ )较少,二次绕组的匝数( $N_2$ )较多。一次绕组直接串联于电源线路中,一次负荷电流( $I_1$ )通过一次绕组时,产生的交变磁通感应产生按比例减小的二次电流( $I_2$ ),从而实现大电流变小电流,供测量仪表适用。

##### 2. 电压互感器(TV)

电压互感器(图1-10)变换电压主要是用来给测量仪表和继电保护装置供电,从而测量电压。电压互感器的容量很小,一般都只有几伏安、几十伏安。

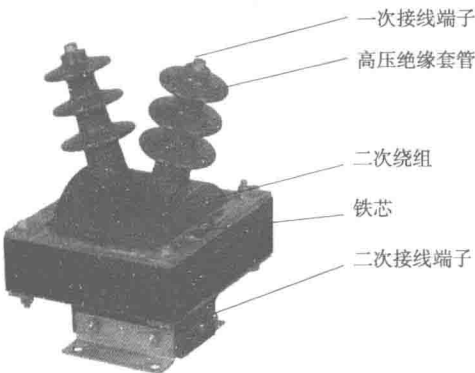


图1-10 电压互感器结构

电压互感器的基本结构和变压器相似,它也有两个绕组,一次绕组和二次绕组都装在或绕在铁芯上。两个绕组之间以及绕组与铁芯之间都有绝缘,使两个绕组之间以及绕组与铁芯之间都有电气隔离。电压互感器在运行时,一次绕组  $N_1$  并联接在线路或母线上,二次绕组  $N_2$  并联接仪表或继电器。因此,在测量高压线路上的电压时,尽管一次电压很高,但二次却是低压的,可以确保操作人员和仪表的安全。



## 单元思考题

1. 城轨供电系统由几大部分组成,各有什么作用?
2. 城轨牵引供电系统由哪几部分组成,各有什么作用?
3. 城轨供电系统有什么特征?
4. 城轨牵引供电为什么采用直流供电?
5. 变压器在城轨供电系统中有什么作用?
6. 大中型城市的城轨牵引供电系统为什么大量采用干式变压器?
7. 断路器按照灭弧介质划分,有几种类型? 城轨供电 10kV 系统主要采用哪种?
8. 什么是倒闸操作?
9. TA、TV 如何连接在供电系统中,其二次侧标准值是多少?

## 单元二 城市轨道交通牵引供电系统的电源系统

### 【知识目标】

1. 了解电力系统的组成；
2. 熟悉电力系统中性点的运行方式；
3. 了解电气主接线的基本形式及应用场所；
4. 掌握城轨变电所的电气主接线形式；
5. 掌握城轨变电所电气主接线结构特点及相关设备状态；
6. 掌握城轨变配电所的种类,掌握各类变配电所的特点及作用；
7. 掌握城轨变配电所 10kV 系统调度的编号原则；
8. 掌握城轨变配电所 10kV 系统的正常运行方式,及正常运行时的开关状态；
9. 掌握城轨变配电所 10kV 系统的非正常运行方式和应急运行方式。

### 【能力目标】

1. 能够分析城轨供电系统的组成及各部分的作用；
2. 具备分析不同中性点运行方式下故障特征的能力；
3. 能够正确判断电气主接线形式,并了解其使用特点；
4. 能够正确分析城轨变电所电气主接线形式；
5. 能够正确说出城轨变电所相关设备的工作状态；
6. 能够根据主接线图区分各类城轨变配电所；
7. 能够标出 10kV 系统的调度号；
8. 能够根据 10kV 系统的主接线图,描述正常运行方式下的开关状态,并进行倒闸操作；
9. 能够根据 10kV 系统的主接线图,描述非正常运行方式下和应急运行方式下的开关状态,并进行倒闸操作。

### 【素质目标】

1. 具有一定的团队合作意识,具有一定的信息检索意识；
2. 认识电气主接线过程中,培养学生举一反三、比较分析的学习能力；
3. 对变电所电气主接线学习中,提高学生安全、合作、遵章守纪的意识；
4. 课堂讨论和学习成果展示中,锻炼学生的语言表达能力和创新意识；
5. 培养学生的思维能力、识图能力及实操能力。

# 课题一 城市轨道交通牵引供电系统的供电电源

城轨牵引供电系统是城轨系统的动力能源系统,负责城轨交通运营的电力供应。城轨牵引供电系统只是电力系统中具有用户属性的一个终端子系统,并不具备发电运营的能力,其电能取自于城市电网,属于电力系统的一部分,即城市电网是城轨牵引供电系统的供电电源。

## 任务一 认识电力系统的组成

用电力网将发电厂的电气设备(指发电机和变配电设备)与电能用户联结起来的整体,称为电力系统。电力系统包括发电、输电、变电、配电和用电等环节。

电力系统主要由发电厂、电力网、变电站(所)及用户(电力负荷)组成,如图 2-1 所示。

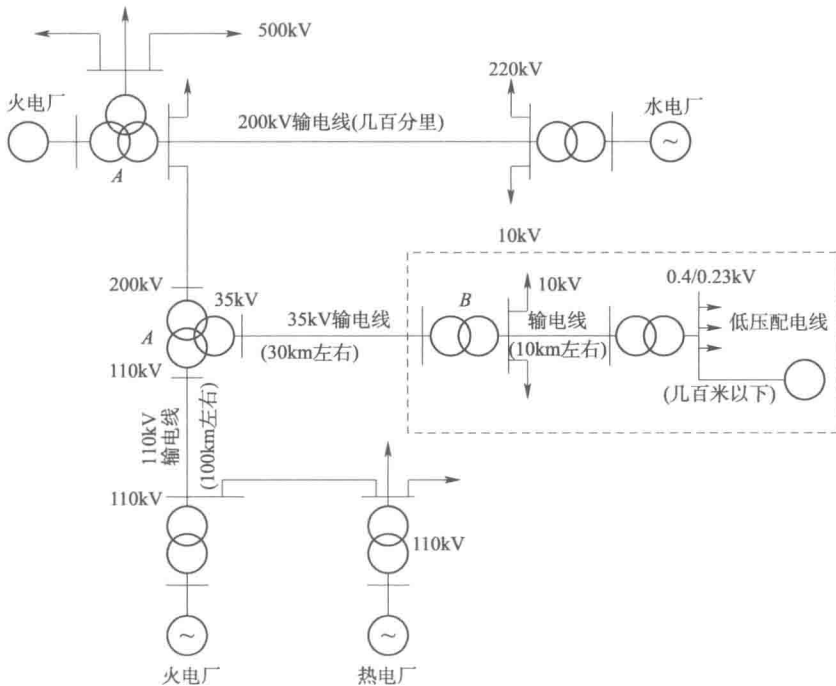


图 2-1 电力系统

### 一、发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。

发电厂按其所利用的能源不同,分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。目前主要以火力发电为主。

### 二、电力网

为了充分利用动力资源,减少燃料运输,降低发电成本,通常在燃料资源充足的地区建造火力发电厂,在水力资源丰富的地区建造水电站。但是,电能的用户(工厂、企业或大居民

区)往往远离这些地方,因而必须采用高压输电线进行远距离输电。此外,为了保证系统的可靠性和经济性,也需要将发电厂连接起来组成系统。

电力网是输电和配电设备及线路的组合,其作用是将电能从发电厂输送和分配到电能用户。

按作用的不同,电力网可分为输电网和配电网。输电网是由发电厂的升压变电站、输电线以及连接这些线路的变电站组成,输电网中电压等级最高、重要性最强的输电线路和变电所共同构成了电力系统的主网络,具有骨架支撑作用,又称为网架,输电网的主要作用是电力输送;配电网是由配电线路和配电所组成,承接输电网分配的电力到配电所向用户供电。配电网的电压因用户的需要而定。通常配电网又分为高压配电网(110kV及以上)、中压配电网(35kV、10kV、6kV、3kV)及低压配电网(220V、380V)。各级电网划分不是绝对不变的,随着电力网的发展,各级电压在电网中的作用亦在发生变化。

按本身结构方式的不同,电力网又可分为开式电力网和闭式电力网。凡是用户只能从单方向得到电能的电力网称为开式电力网;凡是用户可以从两个及两个以上方向同时得到电能的电力网称为闭式电力网。

配电线路通常组成环网。用户的电源可从两条线路上得到,每个配电用户处装设三个环网开关,两个接在两端线路上,另一个接用户变压器。若将三个环网开关和配电变压器放在一个箱子中,即构成箱式变电站。其进出线都采用电缆,安装和检修方便,外形美观。大、中城市为了用电可靠,往往在城区周围接成环形输配电网。

### 三、变电站(所)

变电站(所)主要由电力变压器和配电装置组成,是改变电压和分配电能的场所。将电压升高的变电站称为升压变电站;将电压降低的变电站称为降压变电站(降压站);只起电能分配作用的称为配电所。

变电站(所)的主要作用是变换电压。为了把电力从能源集中的地区输送到距离较远的用电集中地区,减少输送过程中的电能损耗,需要将电压升高,采用高压输电的方式,经电力线路将电能输送到用电地区,再经过数次降压后供给用户使用,因此变电站(所)必不可少。此外,变电站(所)还有集中、分配、控制电能流向和调整电压的作用。

按照不同的分类标准,变电站(所)可分为以下几类:

#### 1. 按构造形式分类

变电站(所)按构造形式不同,可分为室外、室内、地下和箱式等多种。

##### (1) 室外式

除了仪表、继电器、直流电源及配电开关柜等设备安装在室内外,变压器、断路器等主要设备均安置在室外。这种变电站(所)占地面积大、建筑面积小。

##### (2) 室内式

主要电气设备均置于室内,占地面积小、建筑面积大,用于城市居民密集和土地狭窄地区或海岸、盐湖、化工厂及其他空气污秽地区。

##### (3) 地下变电所

在人口和工业高度集中的大城市,建筑物密集。为将电力输送到城市中心,常采用地下变电所,其地面上为建筑物、道路广场、公园等。

#### (4)箱式变电所

一般用在环网供电的配电线路的配电点,它可以标准化生产、工厂装配,安装简单,操作、维修也很方便。

#### 2. 按在系统中作用分类

按在系统中作用不同,变电站(所)可分为枢纽(区域)变电站、地区(地方)变电站和用户(终端)变电所。

枢纽变电站是系统中的重要变电站。这种变电站有两个以上电源的汇集、分配和交换,穿越功率大,形成电力交换中心,但并不向用户直接供电,只是高压向中压供电,通常采用自耦三绕组变压器。

地区变电站供给一个地区的用电。这种变电所多属于受电变电站,没有或很少有穿越功率,通常采用三绕组变压器,即高压受电、中压转供电、低压配电,接线方式则根据其用电负荷性质和供电范围而定。

用户变电所是从系统中接入高压电源,将其转换成低压电能后供给用户。这种变电所接线简单,供电范围小,通常采用双绕组变压器。

#### 3. 按变电站(所)规模分类

变电站(所)的规模一般用电压等级、变压器容量和出线回路数来表示。电压等级通常用变压器高压侧额定电压来表示,如35kV、110kV、220kV、330kV、500kV变电站;变压器容量则用几台变压器和每台变压器的额定容量来表示,主变压器的总容量就是该变电所的容量;各级电压出线回路数,通常指由各级电压母线向外馈出线路的回数。

此外,还可以按值班方式分为有人值班和无人值班变电所。

### 四、电力负荷

电力负荷有两个含义:一是指用电设备或用电单位(用户);二是指用电设备或用户所消耗的电功率或电流。这里所讲的电力负荷,是指前者。

电力负荷根据其对供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度,分为三级(参见单元一的课题二)。城轨牵引供电属于一级重要负荷,不得随意停电。

## 任务二 学习电力系统的电能质量

电力系统中的所有电气设备,都是在一定的电压和频率下工作的。电气设备的额定频率和额定电压是其正常工作且能获得最佳经济效果的频率和电压。频率和电压是衡量电能质量的两个基本参数。

### 一、电压

电压质量是按照国家标准或规范对电力系统电压的偏差、波动和波形的一种质量评估。理想的供电电压应该是幅值恒为额定值的三相对称正弦电压。由于电力系统存在阻抗、用电负荷的变化和用电负荷的性质(如冲击性负荷、非线性负荷)等因素,实际供电电压无论是在幅值、波形,还是三相对称性上,都与理想电压之间存在偏差。一定程度上,提高电能质量主要就是提高电压质量。

## 1. 电压偏差

电压偏差是指电网实际电压与额定电压之差,通常以其对额定电压的百分值来表示。

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

实际电压偏高或偏低对用电设备的良好运行都有影响。以照明白炽灯为例,电压升高,则光效高,但寿命减少;电压降低,则光效严重下降。

在电力系统正常状况下,客户受电端的供电电压允许偏差为:

(1)35kV 及以上电压供电的,电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定值的 10%。

(2)10kV 及以下三相供电的,为额定值的  $\pm 7\%$ 。

(3)220V 单相供电的,为额定值的  $+7\% \sim -10\%$ ;在电力系统非正常状况下,客户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定值的  $\pm 10\%$ 。

## 2. 电压波动

电压波动是指电网电压的幅值(或有效值)的快速变动。电压波动值以用户公共供电点的相邻最大与最小电压方均根值之差对电网额定电压的百分值来表示;电压波动的频率用单位时间内电压波动(变化)的次数来表示。由电压波动引起的灯光闪烁对人眼、脑产生的刺激效应称为电压闪变。当大容量冲击性负荷运行时,剧烈变化的负荷电流将引起线路压降的变化,从而导致电网发生电压波动。电压波动不仅引起灯光闪烁,还会使电动机转速脉动、电子仪器工作失常等。

## 3. 高次谐波

当电网电压波形发生非正弦畸变时,电压中出现高次谐波。高次谐波的产生,除电力系统自身背景谐波外,在用户方面主要是由大功率变流设备等非线性用电设备引起。高次谐波的存在,将导致电力系统能耗增大、电气设备尤其是静电电容器过流及绝缘老化加快,并会干扰自动化装置和通信设施的正常工作。

## 4. 三相电压不对称

三相电压不对称指三个相电压在幅值和相位关系上存在偏差。三相不对称主要由系统运行参数不对称、三相用电负荷不对称等因素引起。供电系统的不对称运行,对用电设备及供配电系统都有危害;低压系统的不对称运行还会导致中性点偏移,从而危及人身和设备安全。

## 二、频率

频率是正弦交流电的三个基本要素之一,是供电电能质量的一个重要参数。我国规定电力系统标称频率(俗称工频)为 50Hz,国际上标称频率有 50Hz 和 60Hz 两种。由电力系统供电的交流用电设备的工作频率应与电力系统标准频率相一致。

当电能供需不平衡时,系统频率便会偏离其标称值。频率偏差不仅影响用电设备的工作状态、产品的产量和质量,更重要的是影响到电力系统的稳定运行。

用户供电系统的电压频率是由电力系统保证的。我国国标规定,电力系统正常频率偏差允许值为  $\pm 0.2\text{Hz}$ 。当系统容量较小时,偏差值可以放宽到  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。频率的调整,主要依靠发电厂调节发电机的转速。

随着社会的发展和技术的进步,一部分电机类的用电设备逐步采用非工频的电压频率

工作,如变频器在交流电机调速上的应用提高了交流电机调速的灵活性,节能降耗。

### 三、可靠性

供电可靠性是指供电系统持续供电的能力,是考核供电系统电能质量的重要指标。

供电可靠性主要通过供电可靠率、用户平均停电时间、用户平均停电次数、系统停电等效小时数等加以衡量。

$$\text{供电可靠率} = (1 - \text{用户平均停电时间} / \text{统计期间时间}) \times 100\%$$

目前,我国供电可靠率在一般城市地区都达到了 99.9% 以上,用户年平均停电时间小于 3.5h;重要城市中心地区供电可靠率达到了 99.99% 以上,用户年平均停电时间小于 53min。

## 任务三 学习电力系统中性点的运行方式

电力系统中性点是指三相电力系统星形接线的变压器的中性点。电力系统中性点的运行方式对系统的设备选择、稳定运行、故障判断和处理以及继电保护都有重要影响。

电力系统中性点按接地方式不同,分为中性点不接地、中性点经消弧线圈接地、中性点经低电阻接地、中性点直接接地等方式。前两种称为小电流接地系统,后两种称为大电流接地系统。大、小电流接地系统之间的运行特性差别很大。

### 一、中性点不接地的电力系统的运行

三相交流系统的相间及相与地间都存在着分布电容。此处只考虑相与地间的分布电容,用集中电容  $C$  来表示,如图 2-2 所示。

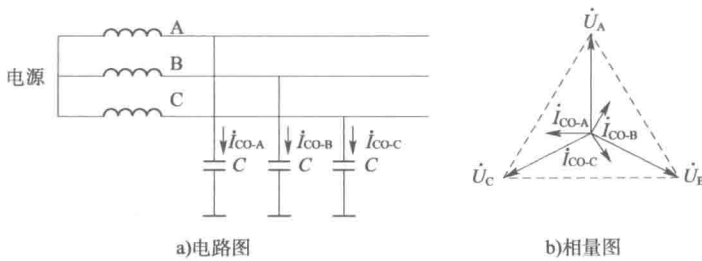


图 2-2 中性点不接地的电力系统

系统正常运行时,三相电压  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  是对称的,三相对地电容电流  $\dot{I}_{CO}$  也是平衡的。因此三相电容电流相量和为零,没有电流在大地中流过。每相对地的电压就是相电压。

当系统发生单相接地故障时,例如 C 相接地,如图 2-3a) 所示。这时 C 相对地电压为零,而 A 相的对地电压  $\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$ , B 相对地电压  $\dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$ ,如图 2-3b) 所示。

由此可见,C 相接地时,完好的 A、B 两相对地电压都由原来的相电压升高到了线电压,即升高为原对地电压的  $\sqrt{3}$  倍。而线电压是不变的,这就是人们通常所说的“一低、二高、三不变”。

C 相接地时,系统的接地电流(电容电流)  $\dot{I}_C$  应为 A、B 两相对地电容电流之和,  $\dot{I}_C = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB})$ 。  $\dot{I}_C$  在相位上正好较 C 相电压  $\dot{U}_C$  超前  $90^\circ$ 。



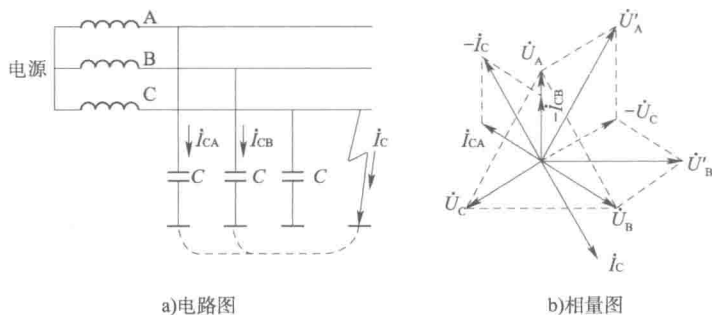


图 2-3 中性点不接地系统单相接地

由于  $I_c = \sqrt{3}I_{cA}$ , 而  $I_{cA} = U'_A/X_C = \sqrt{3}U_A/X_C = \sqrt{3}I_{C0}$ , 因此  $I_c = 3I_{C0}$ 。说明中性点不接地系统中单相接地电容电流为系统正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。

由于线路对地的分布电容  $C$  不好计算, 因此  $I_{C0}$  和  $I_c$  也不好根据  $C$  来确定。工程上一般采用经验公式来计算其单相接地电容电流。此经验公式的数值方程为:

$$I_c = \frac{U_N (I_{oh} + 35I_{cab})}{350}$$

式中:  $I_c$ ——系统的单相接地电容电流(A);

$U_N$ ——系统的额定电压(kV);

$l_{oh}$ ——同一电压  $U_N$  的具有电联系的架空线路总长度(km);

$l_{cab}$ ——同一电压  $U_N$  的具有电联系的电缆线路总长度(km)。

虽然中性点不接地方式有绝缘水平高等缺点, 但由于它具有跳闸次数少这一重要优点, 因此普遍被用于接地电容电流不大的系统中。对电缆线路构成的 3 ~ 10kV 系统, 接地电容电流应不大于 30A。

当中性点不接地的电力系统中发生一相接地时, 系统的三相线电压无论相位和量值均未发生变化, 因此系统中的所有设备仍可照常运行。但是, 如果另一相又发生接地故障, 则形成两相接地短路, 将产生很大的短路电流, 损坏线路及其设备。因此, 我国有关规程规定: 中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时, 可允许暂时继续运行 2h。但必须同时通过系统中装设的单相接地保护或绝缘监察装置发出报警信号或指示, 以提醒运行值班人员注意, 采取措施, 查找和消除接地故障。

在寻找故障点时, 可以将供电线路逐条进行断电试验, 在试验时, 要考虑各部分之间的功率平衡、继电保护配合等因素。要先检查变电站内的设备有无故障(如互感器、避雷器、电缆头有无击穿), 瓷质部分有无损坏和放电闪络, 设备上有无落物、小动物或外力破坏现象, 有无断线接地等。在确定变电站内没有问题的前提下, 采用瞬停拉线检查法, 将故障所在母线上的各条供电线路逐条进行断电试验。在断电试验时, 可先对绝缘性能较差、防雷性能较弱、线路较长、分支线路较多、负荷较轻或不重要的线路进行断电。如线路装有重合闸, 可用重合闸查找接地。在试验中, 故障点所在线路断开时, 绝缘监视仪表均恢复正常, 由此可断定接地故障线路。对于不重要的线路, 也可将该线路通知停电, 进行检修; 对于重要的线路, 可以转移负荷或启用备用线路供电, 然后对故障线路进行检修, 并对其他线路恢复正常供电。

所有寻找接地的的工作, 都要戴橡胶绝缘手套, 穿绝缘靴, 避免触及接地的金属。若接地故障危及人身及设备的安全, 应立即将故障线路拉闸停电。在经过 2h 后, 如接地故障尚未