



目

录

第一章 城市轨道交通变配电系统概述	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 城轨供电系统基本组成与运行方式	10
第三节 交流中压环网系统	14
第四节 直流牵引供电系统	16
第五节 低压供电系统	18
第六节 电力监控系统	19
第七节 变电所主接线	21
第八节 变电所设备布置	25
复习题	28
第二章 变配电系统的运行及管理	29
第一节 岗位职责	29
第二节 运行管理的有关规程和制度	34
第三节 变电设备的日常巡视	53
第四节 供电设备的倒闸操作	80
第五节 城市轨道交通供电事故处理	96
复习题	107
第三章 变配电设备检修组织	108
第一节 变电检修原则及要求	108
第二节 电气设备试验	111
第三节 保证电气安全工作的措施	116
复习题	131
第四章 变配电设备检修	132
第一节 变压器	132
第二节 GIS 组合电器	171
第三节 C-GIS 高压开关设备	182
第四节 直流开关设备	190
第五节 电力监控设备	201
第六节 整流器装置	206
第七节 低压开关设备	215



第八节 电力电缆	227
第九节 杂散电流防护	238
第十节 避雷器与接地系统	243
复习题	250
第五章 继电保护	251
第一节 继电保护概述	251
第二节 交流系统保护	256
第三节 直流系统保护	261
第四节 低压系统保护	271
第五节 微机保护校验	274
第六节 继电保护故障类型	278
第七节 常见二次回路故障处理的基本思路	282
复习题	286
第六章 供电设备施工组织	287
第一节 施工准备	287
第二节 施工作业	289
第三节 施工验收	293
复习题	315
参考文献	316

第一章 城市轨道交通变配电系统概述



培训目标

通过本章的学习,掌握城市轨道交通供电系统的组成和运行方式,其中重点掌握主变电所、中压环网与牵引供电系统的组成和运行方式,熟悉电力监控系统和低压动力照明供电系统,了解城市轨道交通变电所的类型和设备布置情况。

城市轨道交通供电系统是轨道交通各系统的动力能源和心脏,它主要包括电源系统、牵引供电系统、动力照明供电系统、电力监控系统。它的主要功能在于向轨道交通车辆和各机电设备系统提供安全和可靠的电力供应,满足各级供电网络在正常、事故和灾害情况下的控制、测量、监视、计量和调整的功能、安全操作联锁功能和故障保护功能。

(1)电源系统将来自于城市电网的高压电源降压为地铁使用的中压、或者是将城市电网的中压电源引入地铁,通过中压环网供电网络分配给牵引供电系统和动力照明供电系统。

(2)牵引供电系统将引自于主变电所或者是地方电网的中压电源,通过牵引变电所降压整流,变成适合地铁车辆使用的直流电源,通过接触网和回流网供给地铁车辆使用。

(3)动力照明供电系统将中压电源通过降压变电所降压,变成 AC 380/220 V 的低压电源,供给风机、空调、灯具等动力照明设备使用。

(4)电力监控系统(SCADA)在地铁控制中心,通过调度端、通道和执行端对整个地铁供电系统的主要设备进行控制、监视和测量。

城市轨道交通供电系统是整个电力系统的一部分,而且是末端部分,对于国家电网来说,我们是他的用户。我们有必要先了解一下整个电力系统的组成和特点。

第一节 电力系统概述

电力系统是由发电厂、输配电线路、变电所和用电单位组成的整体。在同一瞬间,发电厂将发出的电能通过输配电线路、变电所,输送到用电单位,供给工农业生产和人民生活使用。因此,掌握电力系统基本知识和电力生产的特点,是对电工作业的基本要求。

一、电力系统及其组成

轨道交通需要的电力能源以及我们日常生活用电的电能都是由发电厂生产的。发电厂将自然界蕴藏的一次能源,如水力、煤炭、石油、天然气、风力、热能、太阳能和核





能等,转换为电能。

以煤、石油、天然气等作为燃料,燃料燃烧时的化学能转换为热能,然后借助汽轮机等热力机械将热能变为机械能,并由汽轮机带动发电机将机械能变为电能,这种发电厂称火力发电厂,图 1-1 是火力发电厂生产过程示意图。火力发电厂若既发电又供热则称热电厂。利用江河所蕴藏的水力资源来发电,称水力发电厂。水力发电厂往往需要修建拦河大坝等水工建筑物以形成集中的水位落差,并依靠大坝形成具有一定容积的水库以调节河水流量,由大坝维持在高水位的水经压力水管进入螺旋形蜗壳推动水轮机转子旋转,将水能变为机械能,水轮机转子再带动发电机转子旋转发电,将机械能变成电能,图 1-2 是水力发电厂生产过程示意图。

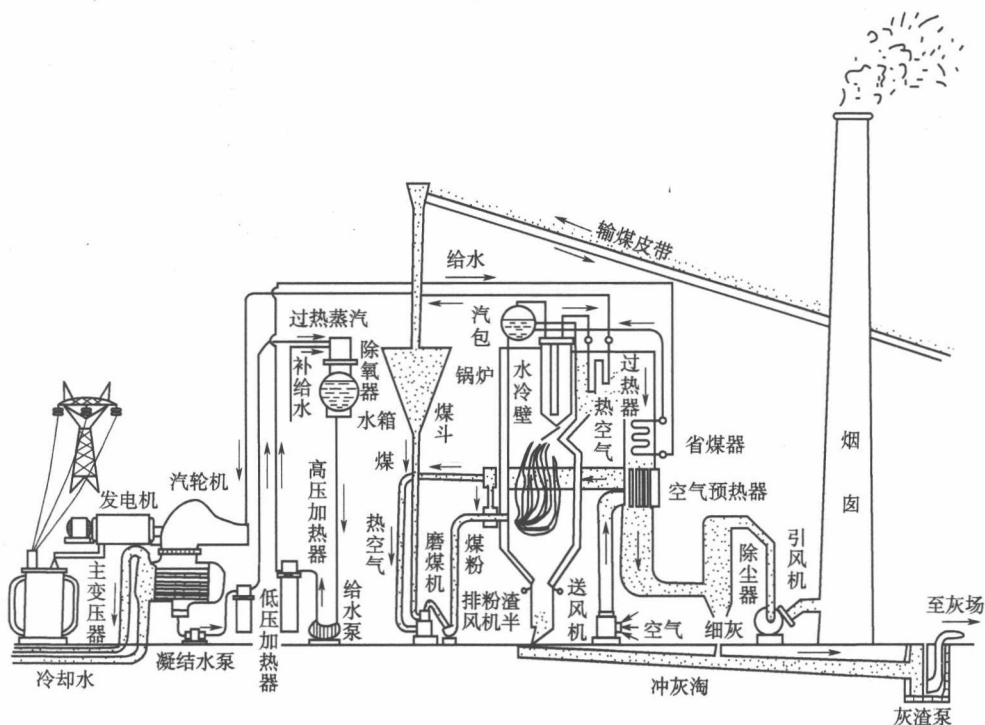


图 1-1 火力发电厂生产过程示意图

核能发电厂的基本原理是:核燃料在反应堆内产生核裂变,释放出大量热能,由冷却剂(水或气体)带出,在蒸发器中将水加热为蒸汽,然后像一般火力发电厂一样,用高温高压蒸汽推动汽轮机,再带动发电机发电。

除火电厂、水电厂、核电厂外还有地热电站、风力电站、潮汐电站等等。发电厂大多建在能源产地及交通运输方便、冷却水源充足、火电厂出灰方便、环境保护符合要求、电气出线方便、地质地理条件符合要求的地方,而这些地方往往离用电负荷中心距离较远,如煤炭、石油、天然气往往在盛产的矿区,水力资源集中在河流落差较大的山区。而用电负荷中心往往集中在城市和工业中心,它们之间相距较远,为了减少网络损耗,所以必须建设升压变电所、高压、超高压输电线路,将电能从发电厂远距离输送到负荷中心。很高电压的电能不能直接使用,又必须建设降压变电所,配电线路,将降低到用电设备使用电压的电能送到用电设备。图 1-3 是从发电厂到用户的供电过程示意图。

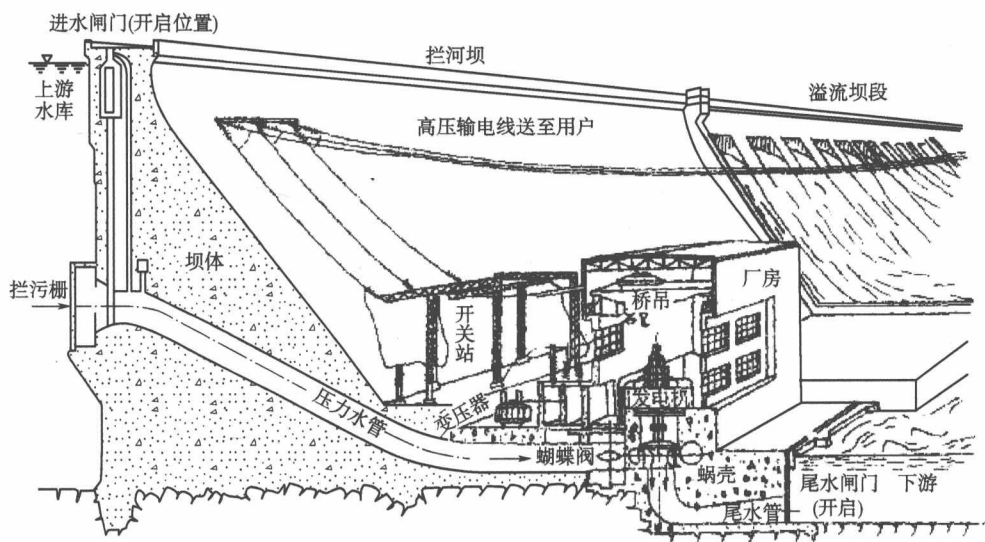


图 1-2 水力发电厂生产过程示意图

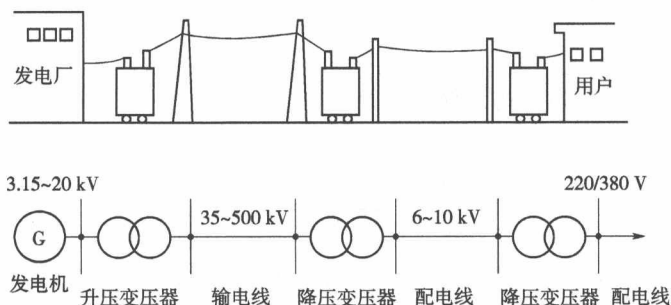


图 1-3 从发电厂到用户的供电过程示意图

为了提高供电可靠性、经济性,合理利用动力资源,充分发挥水力发电厂作用,以及减少总装机容量和备用容量,现在都是将各种类型的发电厂、变电所通过输电线路连接成一个系统。这种由各级电压的电力线路,将各种发电厂、变电所和电力用户联系起来集发电、输电、配电和用电为一体,称电力系统,即从发电厂发电机开始一直到用电设备为止,这一整体称为电力系统。图 1-4 是电力系统的示意图。

大型电力系统主要有下列技术经济优点:

1. 提高供电可靠性

大型电力系统提高了电力系统的稳定性。同时,由于采取了环网、双环网等结构,当系统中某局部设备故障或者某部分线路需要检修时,可以通过变更电力网的运行方式,实现对用户的连续供电,对用户供电的可靠程度也相应提高了。

2. 减少系统的备用容量

地区电网互联形成电力系统后,各地区电网可以实现备用容量的相互支持,为保证电力系统安全运行所必需的备用机组可以减少。

3. 减少系统的峰谷差

大型电力系统通过合理地分配负荷,降低系统的高峰负荷,调整峰谷曲线,提高运行经济性。

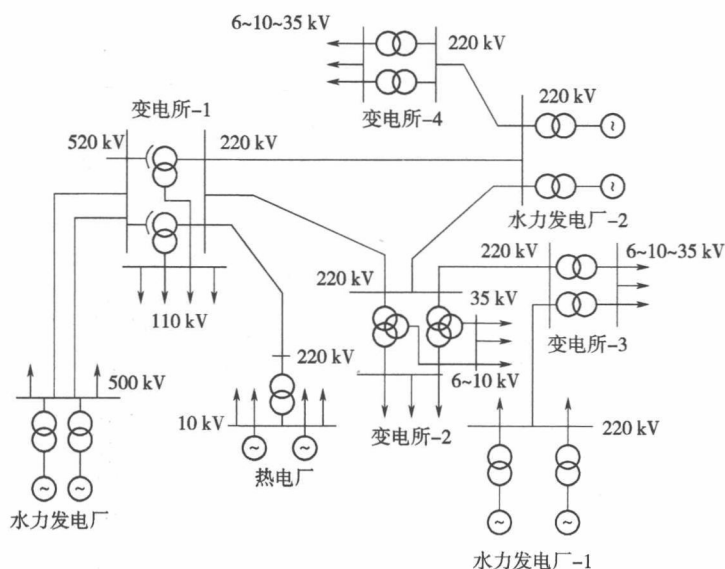


图 1-4 电力系统示意图

4. 提高供电质量

大型电力系统具有强大的调频和调压能力,以及较大的抵御谐波的能力,从而可以有效提高电能质量。

5. 有效利用水力等一次动力资源的作用

大型电力系统能够更好地利用大型动力资源,特别是能充分发挥水力发电厂的作用。电力系统中的各级电压线路及其联系的各级变、配电所的组成部分叫做电力网,或称电网。

电网按其在电力系统中的作用不同,分为输电网和配电网。输电网是以高压甚至超高电压将发电厂、变电所或变电所之间连接起来的送电网络,所以又称为电力网中的主网架。输电网中又分为交流高压输电网(一般指 220 kV 电网)、交流超高压输电网(一般指 330 kV、500 kV、750 kV 电网)、交流特高压输电网(一般指 1 000 kV 及以上电压电网)。另外还有直流输电,一般直流 ± 500 kV 及以下称为高压直流输电;直流 ± 800 kV 称为特高压直流输电。直接将电能送到用户的网络称为配电网。配电网的电压根据用户负荷情况和供电要求而定,配电网中又分为高压配电网(一般指 35 kV、110 kV 及以上电压)、中压配电网(一般指 20 kV、10 kV、6 kV、3 kV 电压)及低压配电网(220 V、400 V)。

二、电力生产的特点

1. 同时性

电能的生产、输送、分配以及转换为其他形态能量的过程,是同时进行的。电能不能大量储存。电力系统中瞬间生产的电力,必须等于同一瞬间使用的电力。

电力生产具有发电、供电、用电在同一时间内完成的特点,决定了发电、供电、用电必须时刻保持平衡,发、供电随用电的瞬时增减而增减。由于具有这个特点,电力系统

必须时刻考虑到用户的需要,不仅要搞好发电工作,而且要搞好供电和用电工作,这也是国民经济的需要。

2. 集中性

电力生产是高度集中的、统一的。在一个电网里不论有多少个发电厂、供电公司,都必须接受电网的统一调度,并依据统一质量标准、统一管理办法,在电力技术业务上受电网的统一指挥和领导,电能由电网统一分配和销售,电网设备的启动、检修、停运、发电量和电力的增减都由电网来决定。

3. 适用性

电能使用最方便,适用性最广泛。发电厂、电网经一次投资建成之后,就随时可以运行,电能不受或很少受时间、地点、空间、气温、风雨、场地的限制,与其他能源相比是最清洁、无污染、对人类环境无害的能源。

4. 先行性

(1)工农业生产的提高,需要依靠不断提高机械化和电气化水平来实现,使电能的需要量大大增加;

(2)出现许多规模大、耗电多的工业部门,如电气冶炼、电化学等,电能的需要量大增加;

(3)农业、交通运输业等,随着新技术推广、将广泛应用电能使电能的需要量大大增加;

(4)人民生活、文化水平不断提高,使居民用电量日益增加。

为此,装机容量、电网容量、发电量增长速度应快于工业总产值的增长。

三、负荷曲线

负荷曲线是反映负荷随时间变化规律的曲线。它以横坐标表示时间,以纵坐标表示负荷值。电力负荷曲线表示出在某一时间段内该地区电力、电量的使用情况。是安排发电计划、检修计划、基建计划和做好电力规划工作的重要参考依据。曲线所包含的面积代表这一段时间内的用电量。

图 1-5 是电力系统的典型日有功负荷曲线。图中, $P_{\max}$ 为日最大负荷,俗称“峰”; $P_{\min}$ 为日最小负荷,俗称“谷”。很显然峰谷差越大,用电就越不合理,造成用电高峰时缺电,用电低谷时要关停发电机。所以要“削峰填谷”,在用电量不变的情况下,调整负荷,做到合理用电。

四、用电负荷

用电负荷是用户在某一时刻对电力系统所需求的功率。

为了更好地保证用户供电,通常根据用户的重要程度和对供电可靠性的要求,将电力负荷分为三类。

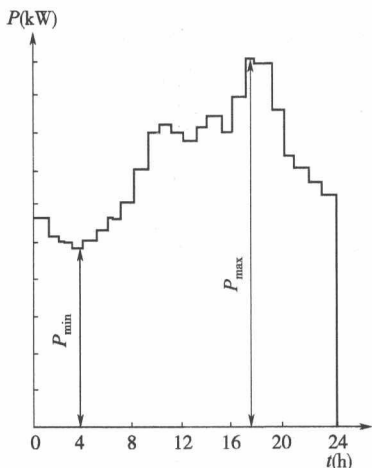


图 1-5 电力系统的典型日有功负荷曲线



1. 一类负荷

凡属于下列情况之一的用电负荷称为一类用电负荷。

(1) 中断供电时将造成人身伤亡。

(2) 中断供电时将在经济上造成重大损失,例如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。

(3) 中断供电时将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作,例如重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。

在一类用电负荷中,当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷时,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,称为特别重要的负荷。

一类负荷由两个独立电源供电,当一个电源发生故障时,另一个电源不应同时受到损坏。

一类负荷中的特别重要负荷,除由两个独立电源供电外,还应增设应急电源,并不得将其他负荷接入应急供电系统。应急电源有下列几种:

① 独立于正常电源的发电机组,即与电网在电气上独立的电源,例如柴油发电机组等。

② 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路。

③ 蓄电池组。

2. 二类负荷

凡属于下列情况之一的用电负荷称为二类负荷。

(1) 中断供电时将在经济上造成较大损失,例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等。

(2) 中断供电将影响重要用电单位的正常工作,例如交通枢纽等用电单位中的重要电力负荷,以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要公共场所秩序混乱等。

二类负荷由两个电源供电,这两路电源不要求一定要独立。

3. 三类负荷

凡不属于一类和二类负荷的用电负荷称为三类负荷。三类负荷一般由一路电源供电。

五、电能质量

供电质量指电能质量与供电可靠性。电能质量包括电压、频率和波形的质量。

1. 电压

电压质量包含电压允许偏差、电压允许波动与闪变等内容。

(1) 供电电压允许偏差

在某一时段内,电压幅值缓慢变化而偏离额定值的程度,以电压实际值和电压额定值之差 ΔU 与电压额定值 U_N 之比的百分数 $\Delta U\%$ 来表示,即

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

电压质量对各类电气设备(包括用电设备)的安全、经济运行有直接的影响。因为电气设备都是按在额定电压条件下运行而设计制造的,当其端电压偏离额定电压时,电气设备的性能就要受到影响。就照明负荷来说,当电压降低时,白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降;当电压上升时,白炽灯的寿命将大为缩短。对电力负荷中大量使用的异步电动机而言,因为异步电动机的转矩与端电压的平方成正比,如果电压降低过多,电动机可能停转,或不能启动,定子、转子电流都显著增大,导致电动机的温度上升,甚至烧坏电动机;反之,当电压过高时,会使电气绝缘老化过程加快、设备寿命缩短等。此外,电视、广播、传真、雷达等电子设备对电压质量的要求更高,电压过高或过低都将使特性严重改变而影响正常运行。

如上所述,不仅各种用电负荷的工作情况均与电压的变化有着极其密切的关系。而且,电压的过高、过低也给电力系统本身造成很大威胁。故在运行中必须规定电压的允许偏移范围,也就是电压的质量标准,一般用电设备的电压偏移保持在此规定范围内,就不会影响用电设备工作。我国 GB 12325—2008《电能质量供电电压允许偏差》规定供电企业供到用户受电端的供电电压允许偏差如下:

- ① 35 kV 及以上电压供电的,电压正、负偏差绝对值之和不超过额定电压 10%;
- ② 10 kV 及以下三相供电的,电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$;
- ③ 低压照明用户供电电压允许偏差为额定电压的 $+7\% \sim -10\%$ 。对电压有特殊要求的用户,供电电压允许偏差由供用电协议确定。

(2) 电压允许波动和闪变

① 电压允许波动。在某一个时段内,电压急剧变化而偏离额定值的现象,称为电压波动。电压变化的速率大于 1% 的,即为电压急剧变化。电压波动程度以电压在急剧变化过程中相继出现的电压最大值 $U_{\max}$ 和最小值 $U_{\min}$ 之差与额定电压之比的百分数 $\Delta U\%$ 来表示。

电压波动是由于负荷急剧变动的冲击性负荷所引起的。负荷急剧变动,使电网的电压损耗相应变动,从而使公共供电点的电压出现波动现象。例如电动机的启动、电焊机的工作、特别是大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的工作,均会引起电网电压的波动,电压波动可影响电动机的正常启动,甚至使电动机无法启动;对同步电动机还可引起其转子振动;可使电子设备、计算机和自控设备无法正常工作;还可使照明灯发生明显的闪烁,严重影响视觉,使人无法正常生产、工作和学习。

② 电压闪变。周期性电压急剧波动引起灯光闪烁,光通量急剧波动,而造成人眼视觉不舒适的现象,称为闪变。要尽量设法减少电压闪变现象。

(3) 为了保证电压质量合乎标准,往往需要装设必要的无功补偿装置和采取一定的调压措施。用户供配电系统常用的电压调整措施有:

① 正确选择变压器的变比和电压分接头。用户用的电力变压器一般为无载调压型,其高压绕组(一次绕组)有 $(1 \pm 2 \times 2.5\%)U_n$ 的电压分接头,当用电设备电压偏低时,可将变压器电压分接头放在较低挡。

对调压要求高的情况,可选用有载调压变压器,使变压器的电压分接头在带负荷情况下实时调整,以保证电压稳定。



②降低系统阻抗。供配电系统中的电压损耗在输送功率确定后,其数值与各元件的阻抗成正比,所以减少供配电系统的变压级数和增大供配电线路的导线截面,是减小电压损耗的有效方法,线路中各元件电压损耗减少,就可提高末端用电设备的供电电压。

③使三相负荷平衡。三相负荷假如不平衡,会使有的相负荷过大,有的相负荷过小,负荷过大的相,电压损耗大大增加,这样使末端用电设备端电压太低,影响用电安全。

④采取补偿无功功率措施。系统功率因数太低,会使系统无功损耗增大。同时使线路中各元件的电压损耗也增加,导致末端用电设备端电压太低,影响安全可靠用电。提高功率因数的方法有两种:在供电系统设计时要正确选择设备,防止出现“大马拉小车”等不合理现象,即提高自然功率因数;运行中可在工厂变配电所的母线上或用电设备附近装设并联电容器,用其来补偿电感性负载过大的感性电流,减小无功损耗,提高功率因数,提高末端用电电压。

电网电压偏低可能有两方面原因:一是系统中过多的无功功率传送,引起系统中电压损耗增加,电压下降;二是供电距离太长,线路导线截面太小,变压级数太多,造成电压损耗增大,引起电压下降。对于前者应采用无功补偿设备(例如:投入并联电容器或增加并联电容器数量)解决;对于后者可采用调整变压器分接头、降低线路阻抗等方法解决。

⑤合理改变供电系统运行方式。例如由两台变压器并联运行的工厂,当负荷轻时可改为一台变压器运行。此外,合理调整对用电设备的供电方式等也能起到改善电压的作用。

2. 频率

电网中发电机发出的正弦交流电每秒钟交变的次数,称为频率,或叫供电频率。供电频率偏差是以实际频率和额定频率之差与额定频率之比的百分数表示,即

$$\Delta f\% = \frac{f - f_N}{f_N} \times 100\%$$

电力系统频率偏离额定值(我国技术标准规定为 50 Hz)过大将严重影响电力用户的正常工作。对电动机而言,频率降低将使其转速降低,导致电动机功率的降低,将影响所带动转动机械的出力,并影响电动机的寿命;反之,频率增高将使电动机的转速上升,增加功率消耗,特别是某些对转速要求较严格的工业部门(如纺织、造纸等),频率的偏差将大大影响产品质量,甚至产生废品。另外,频率偏差对发电厂本身将造成更为严重的影响。例如,对锅炉的给水泵和风机之类的离心式机械,当频率降低时其出力将急剧下降,从而迫使锅炉的出力大大减小,甚至紧急停炉,这样就势必进一步减少系统电源的出力,导致系统频率进一步下降。另外,在低频情况下运行时,容易引起汽轮机叶片的振动,缩短汽轮机叶片的寿命;严重时会使叶片断裂。此外,系统频率的变化还将影响到电子钟的正确使用和计算机、自动控制装置等电子设备的准确工作等。因此,频率的过高过低不仅给用户造成危害,而且对发电厂、电力系统本身也造成严重的不良后果。

频率是电能质量的重要指标之一,我国电力采用交流 50 Hz 频率,俗称“工频”。

根据《供电营业规则》规定:在电力系统正常状态下供电频率的允许偏差为:电网装机容量在 3 000 MW 及以上的为 ± 0.2 Hz;电网装机容量在 3 000 MW 以下的为 ± 0.5 Hz;在电力系统非正常状态下,供电频率允许偏差可超过 ± 1.0 Hz。在并联运行的同一电力系统中,不论装机容量的大小,任一瞬间的频率在全系统都是一致的。

为了保证频率偏差不超过规定值,必须维持电力系统的有功功率平衡,采取相应的调频措施。

3. 波形

日常用的交流电是正弦交流电,正弦交流电的波形要求是严格的正弦波(包括电压和电流)。当电源波形不是严格正弦波时,它就有很多的高次谐波成分,谐波对电气设备的危害很大,可使变压器的铁芯损耗明显增加,从而使变压器出现过热,增加能耗,而且使其绝缘介质老化加速,缩短使用寿命。谐波还能使变压器噪声增大。谐波电流通过交流电动机,不仅会使电动机的铁芯损耗明显增加,绝缘介质老化加速,缩短使用寿命,而且还会使电动机转子发生振动现象,严重影响机械加工的产品质量。谐波电压加在电容器两端时,由于电容器对谐波的阻抗很小,电容器很容易发生过电流发热导致绝缘击穿甚至造成烧毁。此外,谐波电流可使电力线路的电能损耗和电压损耗增加,使计量电能的感应式电度表计量不准确;可使电力系统发生电压谐振,从而在线路上引起过电压,有可能击穿线路的绝缘;还可能造成系统的继电保护和自动装置发生误动作或拒动作,使计算机失控,电子设备误触发,电子元件测试无法进行;并可对附近的通信设备和通信线路产生信号干扰等。

电网谐波的产生,主要在于电力系统中存在各种非线性元件。因此,即使电力系统中电源的电压为正弦波,但由于非线性元件存在,结果在电网中总有谐波电流或电压存在。产生谐波的元件很多,如荧光灯和高压汞灯等气体放电灯、异步电动机、电焊机、变压器和感应电炉等,都要产生谐波电流或电压。最为严重的是大型的晶闸管变流设备和大型电弧炉,它们产生的谐波电流最为突出,是造成电网谐波的主要因素。

保证交流电波形是正弦波,必须遵守以下要求:

(1)要求发电机发出符合标准的正弦波形电压(这在发电机、变压器等设计制造时已考虑,并采取了相应的措施)。

(2)要求在电能输送和分配过程中,不应使波形发生畸变。

(3)还应注意消除电力系统中可能出现的其他谐波源(如晶闸管整流装置、电弧炉等)的影响。

控制各类非线性用电设备所产生的谐波引起电网电压正弦波形畸变,常采用下列措施:

(1)各类大功率非线性用电设备由容量较大的电网供电。

(2)对于大功率静止整流设备可采取下列方法:

①增加整流变压器二次侧的相数和增加整流器的整流脉冲数。

②采用多台相数相同的整流装置,使整流变压器的二次侧有适当的相角差。

③按谐波次数装设分流滤波器。

④选用高压绕组三角形接线,低压绕组星形接线的三相配电变压器。

⑤装设静止无功补偿装置,吸收冲击负荷的动态谐波电流。



第二节 城轨供电系统基本组成与运行方式

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,它不仅为城市轨道交通电动列车提供牵引用电,而且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,而且还会危及乘客的生命安全和造成财产损失。因此,高度安全、可靠并且经济合理的电力供给是城市轨道交通正常运营的前提和重要保证。

一、城市轨道交通供电系统的组成

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的各类用电设备。

城市轨道交通供电系统一般包括电源系统(主变电所或电源开闭所)、牵引供电系统、动力照明供电系统和电力监控系统。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。

在我国,用电负荷根据重要程度可分为一级负荷、二级负荷和三级负荷,其中一级负荷应由两路独立电源供电,当任何一路电源发生故障中断供电时,另一路应能保证继续供电。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供电公司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。根据实际情况的不同,外部电源方案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当站位,根据总容量的要求设置主变电所,由发电厂或城市电网区域变电所以高压(常见的如 110 kV)向主变电所供电,经主变电所降压成中压(常见的如 35 kV 或 10 kV)向各车站变电所供电,结合各车站变电所进线形成中压环网,再由环网供沿线设置的牵引变电所,并降压整流为直流电(如 750 V 或 1 500 V),从而对电动列车供电。另外,各车站机电设备用电需由降压变电所降压为 AC 380/220 V。为了便于城市轨道交通供电系统的统一管理,城市轨道交通供电系统目前较多地采用集中供电方式。这种供电方式的中压网络电压等级的确定,需要考虑用电容量、供电距离、城市当地电网现状及发展规划等因素。

分散供电方式是指不设置主变电所,而直接由城市电网区域变电所的 35 kV 或 10 kV 中压供电线路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。采用这种供电方式的前提是城市电网比较发达,并且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。分散供电方式可设置电源开闭所,并可与车站变电所合建。

混合供电方式,是以上两种方式的混合,即轨道交通线路的一部分采用集中供电方式,另一部分采用分散供电方式,但一般以集中供电方式为主、分散供电方式作为补充。

二、变电所及其运行方式

1. 变电所的分类

变电所是城市轨道交通供电系统的重要组成部分,一般在城市轨道交通沿线设置,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。城市轨道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面积,但土建造价高;地面变电所占地面积大,但土建造价低。城市轨道交通的变电所(尤其是地下变电所)在防火方面都有一定的要求,其防火措施主要应从结构和建筑材料以及变电所电气设备本身的不燃性等方面来考虑。变电所应装设自动消防报警装置、防火门和防火墙等隔离设施和有效的灭火系统。

城市轨道交通供电系统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、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城市轨道交通牵引变电所和降压变电所。主变电所选址时要考虑其供电的半径,一般一条地铁线路需要 2~3 座主变电所。

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,供给地铁动力照明等设备使用。当由其他变电所引入中压电源而独立设置降压变电所时,称为跟随式降压变电所。

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所需要的直流电。在既有牵引变电所又有降压变电所的站点,为了方便运行管理,降低工程造价,可将二者合并建成一座牵引及降压混合变电所,简称牵混所。由于每个车站都需要降压变电所,所以一般没有单独的牵引变电所。

2. 变电所的运行方式

(1)主变电所。主变电所电源侧(如 110 kV)通常采用单元接线或桥型接线,两路电源同时供电,互为备用。负荷侧(如 35 kV)通常采用单母线分段形式,设置分段母线联络断路器,正常运行时,分段断路器断开,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 母线分段断路器自动合闸,由另一台主变压器向本所供电区域的一、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)降压变电所。降压变电所高压侧为单母线分段,而除跟随式降压变电所外,0.4 kV 侧也为单母线分段。每个降压变电所或跟随式降压变电所均设两台动力变压器,分别负责向各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,当其中一台动力变压器因故障退出运行时,通过分段开关由另一台动力变压器负担全所一、二级动力照明负荷。

(3)牵引降压混合变电所。牵混所与降压变电所的主要差别就在于多了一套牵引供电设备。某牵引降压混合变电所的电气主接线如图 1-6 所示,35 kV 侧和 0.4 kV 均为单母线分段,和降压变电所没有差别。牵引部分有两台整流机组,接在同一段 35 kV 母线上,整流后的直流经正负极母线分配出去,正负极母线也没有分段。可以说,牵混所中的牵引部分其高压侧和直流侧均采用单母线接线形式。正常运行

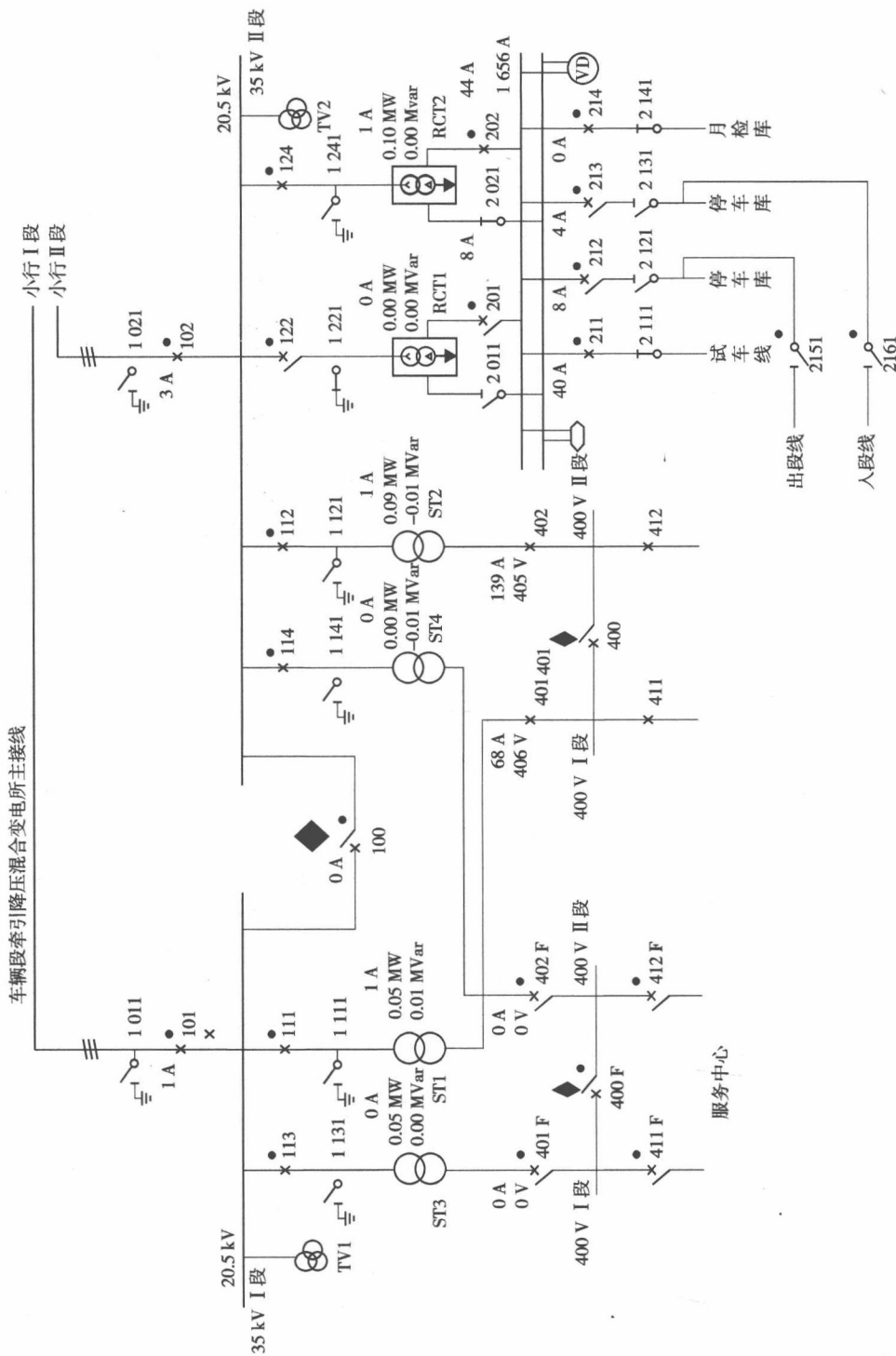


图1-6 牵引降压混合变电所电气主接线图

时,这两组牵引整流机组并列工作,当其中一套机组因故障退出运行时,另一套机组在满足过负荷要求、谐波含量要求和不影响故障机组的检修情况下可继续运行。这样既可保持列车运行,还可降低能耗、轨电位,减少杂散电流的影响。

三、变电所的主要设备

变电所要求使用技术先进、安全性及可靠性高的电气设备;地下变电所的电气设备应体积小、质量轻以及防爆、阻燃、防潮、耐腐蚀性好;检修、维护方便;主要开关设备必须具备电动操作功能,以保证集中控制要求;还要具有可通信的接口。

下面简单介绍变电所的主要设备。

(1)变压器。变压器是一种传送和变换电能的静止变换器。地铁的主变压器一般为油浸双线圈有载调压变压器,动力变压器一般为环氧树脂浇注的双绕组干式变压器,整流变压器一般为环氧树脂浇注的三绕组干式变压器。

(2)断路器。断路器是一种能对电路进行控制和保护的高压电器。它有熄灭电弧的能力,可以切断负载电流和短路电流。地铁的 110 kV 断路器一般为六氟化硫(SF_6)断路器,35 kV 断路器一般为真空断路器,直流断路器和交流低压断路器为空气断路器。

(3)隔离开关。隔离开关是一种没有熄弧装置的高压电器,不能切断负载电流和短路电流。它在无负载电流时接通和断开电路,断开时能起到隔离电源的作用,为运行、操作和检修提供了方便。

(4)母线。母线是一种汇总和分配电能的导电线。在室外用软母线(钢芯铝绞线居多),室内用硬母线(铝排或铜排)。在三相交流系统中:A 相——黄色;B 相——绿色;C 相——红色。在直流系统中:正极——红色;负极——蓝色;地线——黑色或黄绿双色。

(5)熔断器。熔断器是一种过负荷和短路电流导致熔体发热熔断的保护电器。任何一种熔断器在电流超过其最大熔断电流时都会熔断,其熔断时间随电流增大而缩短。熔断器一般用来保护电力线路、小容量变压器和电压互感器等电气设备。

(6)电压互感器(PT 或 TV)。电压互感器是在电气测量、控制和保护回路中使用的变压器。电压互感器一次侧并联在高压回路上,二次侧额定电压一般为 100 V,并串联在二次侧的电压表可间接指示一次电压值,二次电压也可在控制和保护回路中作为电源或电压信号使用。

(7)电流互感器(CT 或 TA)。它是在电气测量、控制和保护回路中使用的变流器。电流互感器一次线圈串联在高压回路中,二次线圈额定电流一般为 5 A 或 1 A,串联在二次线圈回路中的电流表可间接指示一次电流值,二次电流也可在控制和保护回路中作为电源或电流信号使用。

(8)避雷器。它是防止从线路侵入的雷电波和操作过电压损坏电气绝缘的保护电器。常用的有保护间隙(角型、管型、阀型)及氧化锌避雷器。

(9)金属封闭开关设备(开关柜)。制造厂根据用户对高压一次接线的要求,将断路器、负荷开关、熔断器、隔离开关、接地开关、避雷器、互感器以及控制、测量、保护等装置和内部连接件、绝缘支撑件和辅助件固定连接后,安装在一个或几个接地金属封闭外壳内的成套配电装置,即开关柜。按照开关柜内部绝缘介质的不同,一般分为以大气绝缘和以 SF_6 气体为绝缘介质的开关柜。按电压等级又可划分为 3.6~40.5 kV (即中压)和 72.5 kV 及以上(即高压)两大类。



(10)整流器。整流器是与整流变压器组合成整流机组的电流变换器。交流中压电源经整流变压器降压后供给整流器,变为一定电压等级的直流电。牵引用整流器一般是由大功率的硅整流元件组成,一般采用自冷式的整流器柜,两台12脉波的整流器并列运行构成24脉波的直流波形。

(11)继电保护装置。在电力系统出现故障或处于不正常工作状态时,能使断路器跳闸发出报警信号的自动装置称为继电保护装置。它的任务是在系统出现故障时,使靠近故障点的断路器跳闸,切除故障部分,恢复系统的其他部分正常运行;在系统处于不正常工作状态如过负荷时,发出报警信号,提醒值班员注意和处理。继电保护装置与自动装置配合,可进一步实现电力系统自动化。

第三节 交流中压环网系统

一、环网系统概述

地铁的外部电源,也即主变电所的高压系统,受地方供电系统控制,对于地铁而言是不可控因素。当高压系统发生故障时,中压环网系统的可靠性就成了地铁供电的关键因素。

交流中压环网系统有两大属性:一是电压等级,二是构成形式。交流中压环网系统不是供电系统中独立的子系统,但它却是城轨供电系统设计的核心内容。它涉及外部电源方案、主变电所的位置及数量、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等。

地铁的牵引供电和动力照明等用电是通过中压环网系统来先降压后供电的,地铁供电系统在获得电源之后,需要通过城市电网一次电力系统和地铁供电系统实现传输和变换,降压变压器提供适当电压等级的电能给地铁各类设备。通过中压电缆,纵向把上级主变电所和下级牵引变电所、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,便形成了中压供电网络。

根据网络功能的不同,把为牵引变电所供电的中压供电网络,称为牵引网络;同样,把为降压变电所供电的中压供电网络称为动力照明网络。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,对于互为备用线路,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,一般要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,以实现不间断供电。

