

对电荷特性的持续研究和相应成果的应用,已经与人们的生产和生活息息相关。由之而生的电能因具有便于输送、分配、使用和控制等优点,故被广泛应用于现代工农业、交通运输、科学技术、国防建设及人民生活中,成为不可或缺的二次能源。随之产生的电力工业的发展水平成为衡量一个国家综合国力和现代化水平的重要标志之一。

1831年,法拉第发现了电磁感应定律,促进了发电机和电动机的发明,从而开始了电能的生产和使用。当时所采用的是低压直流电,主要供给照明用电,供电范围很小。1882年,法国首先实现了1 000 V以上的直流输电,虽然输送功率只有1.5 kW,但传输距离可达60 km,形成了世界上第一个完整的电力系统(包含发电、输电和用电部分)。同年,爱迪生在美国纽约建成了世界上第一个中心电站,装有6台蒸汽式直流发电机,通过地下电缆将110 V的直流电输送至曼哈顿中心,供给59个照明用户用电。随着生产力的发展,对传输功率和输电距离提出了更高的要求,特别是为了提高输电效率,需要采用更高的输电电压,以减少线路流过的电流,从而降低线路电阻中的损耗。但是,从用电设备来说,为了安全又不得不采用较低的电压,而直流输电却不能适应这种要求。因此,1891年,在制造出三相变压器和三相异步电动机的基础上,德国工程师奥斯卡·冯·密勒首次实现了三相交流输电系统,它采用95 V、230 kV·A的水轮发电机,经变压器升压至15 200 V,将功率传送到178 km以外的法兰克福,然后用两台变压器降压至112 V,分别供给照明和一台异步电动机驱动75 kW的水泵,从而形成了现代电力系统的雏形。从此,三相交流电力系统得到了迅速发展,而且逐步在同步发电机之间进行并列运行,在输、配电过程中采用多个电压等级,经过100多年的发展,形成电压越来越高、容量和规模越来越大的区域性、地区性、全国性甚至跨国性的电力系统。

我国具有丰富的水能资源,可开发利用的水能蕴藏量约为402 000 MW,居世界首位。我国建设了世界上容量最大的电站——三峡水电站(32×700 MW);建成了输送距离最长、输送功率最大的直流输电工程——三峡至上海输电工程,输送功率300万千瓦,线路全长1 100 km;建成了首条750 kV超高压输电线路——西北750 kV输变电示范工程;建设了首条1 000 kV高压输电线路——晋东南经南阳至荆门特高压交流试验示范工程;等等。截止到2014年,我国发电装机总容量已达到13.6亿千瓦,全口径发电量达5.5万亿千瓦时,均稳居世界第一。目前,我国的电力工业已经开始进入大电网,大机组,超高压,交、直流输电,电网调度自动化,状态检修等新技术发展的新阶段,一些世界级水平的先进的高新技术也已在我国的电力系统中得到广泛应用,我国的电力工业在技术上正迈向世界前列。

电力系统的出现,使高效、无污染、使用方便、易于调控的电能得到广泛应用,推动了社会生产各个领域的变化,开创了电力时代,发生了第二次技术革命。电力系统的规模和技术

水准已成为衡量一个国家经济发展水平的重要标志。

为了有效地实现电力系统的功能,需要在各个环节和不同层次设置相应的信息与控制系统,以便对电能的生产和运输过程进行测量、调节、控制、保护和调度,确保用户获得安全、经济和优质的电能。

## 第一节 电力系统网络构成单元及特点

### 一、电力系统的组成

在生产和生活领域,人们广泛地使用着电能。这主要是因为与其他形式的能源相比,电能既易于由其他形式的能源转换而来,又易于转换成其他形式的能源。电能在生产、输送、分配、转换、控制及使用等方面突显诸多优点。

图 1-1(a)所示为电力系统的组成,图 1-1(b)所示为动力系统的组成。

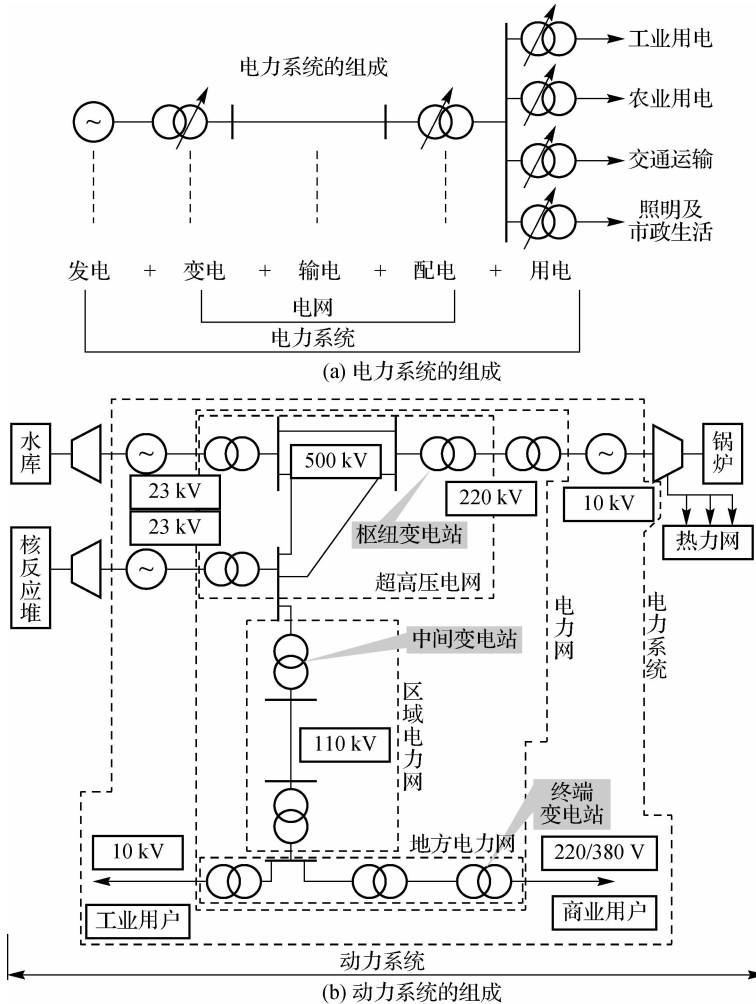


图 1-1 电力系统和动力系统的组成

## 1. 电力系统

电力系统是除锅炉、汽轮机或水轮机以外的由发电、输电、变电、配电、用电设备及相应的辅助系统组成的电能生产、输送、分配与使用的系统。它由发电机、变压器、电力线路和用电设备组成,也可描述为电力系统是由电源、电力网和用户组成的整体。

## 2. 电力网

电力网是电力系统中输送与分配电能的部分,主要由输电、变电、配电设备及相应的辅助系统组成,它是联系发电与用电的统一整体。目前,我国的电力网有以下几种分类方式。

(1)按电压等级(kV)电力网可划分为 0.38 kV、3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 和 750 kV 等电网。目前,在我国甘肃省有 750 kV 的线路在运行,另外还有 $\pm 500$  kV 和 $\pm 800$  kV 的直流线路。习惯上称 10 kV 以下线路为配电线路,35 kV 和 60 kV 线路为中压线路,110 kV 和 220 kV 线路为高压线路,330~750 kV 线路为超高压线路,750 kV 以上线路为特高压线路。

(2)按区域电力网可分为跨区域电网、区域性电网、配电网和供电电网。

①跨区域电网:此类电网主要从大型电源点超距离向远方供电,如三峡的 750 kV 电网、俄罗斯至中国的 1 100 kV 电网(将建)及部分 500 kV 电网等。

②区域性电网:在大区域内进行电力调配,如华东地区、东北地区的 220 kV、部分 500 kV 电网和西北地区的 330 kV 电网等。

③配电网:在局部区域内进行电力调度的电网,如省级电网、地区级电网等。

④供电电网:向各用户提供电源的电网,如各城市供电电网、农用供电电网等。

## 3. 动力系统

动力系统是动力部分和电力系统组成的整体,即电力系统加上热动力装置、水动力装置及其他能源动力装置构成的系统。

## 4. 电源的构成

自然界中存在许多一次能源,也称为天然能源,是指从自然界取得未经改变或转变而直接利用的能源,如原煤、原油、天然气、水能、风能、太阳能、海洋能、潮汐能、地热能和天然铀矿等。一次能源又分为可再生能源和不可再生能源,前者指能够重复产生的天然能源,后者则用一点少一点,如各类化石燃料、核燃料等。将一次能源转化为电能的过程称为发电,发电一般在发电厂完成。依照一次能源的形式不同,可以把发电厂分为以下几种。

(1)火力发电厂。火力发电厂简称火电厂,是以煤炭、石油、天然气等为一次能源的发电厂,分为凝汽式电厂和热电厂。其中,热电厂除发电外还向用户提供热能。

(2)水力发电厂。水力发电厂是以水为一次能源的发电厂,利用水的势能发电,既经济又环保。

(3)核能发电厂。核能发电厂是利用原子核能进行发电的电厂,即利用原子的核裂变或核聚变反应所释放的能量产生电能的电厂。它与火力发电极其相似,只是以核反应堆及蒸汽发生器来代替火力发电的锅炉,以核裂变成能代替矿物燃料的化学能。目前,商业运转中的核能发电厂都是利用核裂变反应而发电的。



动画  
火力发电厂



动画  
水力发电



视频  
我国首台核能  
发电机



动画  
风力发电机内部结构



视频  
太阳能发电厂掠影



动画  
地热发电

(4)风力发电厂。风力发电厂是把风的动能转化为电能的电厂。风能作为一种清洁的可再生能源,越来越受到世界各国的重视。其蕴量巨大,全球的风能比地球上可开发利用的水能总量还要大10倍。

(5)太阳能发电厂。太阳能发电厂是把太阳能转化为电能的电厂。太阳能发电有两大类型:一类是太阳光发电(亦称太阳能光发电),另一类是太阳热发电(亦称太阳能热发电)。

太阳能光发电是将太阳能直接转变成电能的一种发电方式,它包括光伏发电、光化学发电、光感应发电和光生物发电4种形式;太阳能热发电是先将太阳能转化为热能,再将热能转化成电能。

此外,还有潮汐发电厂和地热发电厂等。发电厂和用电负荷中心往往相距几十、几百甚至几千公里,这就需要建设电力线路作为输送电能的通道,将发电厂的电能输送到负荷中心,这其中需要设立变电所彼此连接。安装变压器及测量、保护与控制设备的地方称为变电所。升高电压的地方称为升压变电所,降低电压的地方称为降压变电所。通常把电能的生产、输送、分配和使用的各个环节组成的统一体称为电力系统。电力系统包括发电厂中的电器部分,各级变电所,输电、配电线路,各种类型的用电电器及相应的通信设施、安全设施、继电保护设备和调度设备等。

## 5. 负荷

把电力用户从系统所取用的功率称为负荷。

## 二、电力系统的特点

电力系统的生产、输送、分配和消费的各个环节组成的统一体与其他工业系统相比,其运行具有以下特点。

### 1. 电能不能大量存储

电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的。在电力系统中,发电厂在任何时刻发出的功率必须等于该时刻用电设备所需的功率和输送、分配环节中的功率损失之和。

### 2. 电力系统中的暂态过程很短

由于电力系统中存在大量的电容和电感等储能元件(包含导体和设备的等值电容和电感),当系统发生故障或运行状态发生变化时,会产生从一种运行状态到另一种运行状态的过渡过程。电能以光速传播,过渡过程也将按光速波及其他部分。因此,设备正常运行的调整和操作及故障的切除必须采用继电保护装置和其他自动装置快速、可靠地完成。

### 3. 电能质量的要求严格

电能质量的定义比较简明的说法就是关系到供电、用电系统及其设备正常工作(运行)的电压、电流的各种指标偏离规定范围的程度,也可以说是导致用户设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率偏差。通常用3个指标来反映电能的质量,即频率、电压和波形。《电能质量 供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)中规定:35 kV及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过标称电压的10%;20 kV及以下三相供电电压偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ ;220 V单相供电电压偏差为标称电压的7%~10%。《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)中规定:6~220 kV各级公用电网电压(相电压)总谐波畸变率是0.38 kV为5.0%,

6~10 kV 为 4.0%,35~66 kV 为 3.0%,110 kV 为 2.0%。

#### 4. 电能与国民经济各部门、国防和日常生活之间的关系都很密切

如果对用户的供电突然中断会带来严重的后果,如精密机床突然断电会损坏机床或产生废品;火箭发射突然断电会发生爆炸;等等。

### 三、电力系统的基本要求

基于上述电力系统的特点,对电力系统运行提出了以下几点基本要求。

#### 1. 保证供电的可靠性

电力系统应该满足用户的连续不间断的用电需要,供电的中断不仅使生产停顿、生活紊乱,而且危害到人身和设备的安全,造成十分严重的后果。因此,为了满足供电系统的供电可靠性,要求电力系统至少具备 10%~15%的备用容量。

#### 2. 保证良好的电能质量

衡量电能质量的指标是频率、电压和波形,三者的变化不能超过容许的范围。电能质量合格,用电设备工作时才具有最佳的技术经济效果;反之,则对用电设备的运行产生影响,对电力系统本身也造成危害。因此,要求供电系统应确保对用户供电的电能质量。

#### 3. 保证供电的安全性

供电系统的安全性是供、用电双方的目标。为了达到这一目标,就需要供、用电双方共同加强运行管理,做好技术管理工作,同时保证系统本身设备的安全,电源容量应充足,电网结构应合理。

#### 4. 保证供电的经济性

在电力系统运行中,要尽可能地降低发电、变电和输配电过程中的能量损耗,最大限度地降低电能成本。

#### 5. 保证与环境的协调性

在现实生活中,环境问题日益受到关注。火电厂因燃煤产生的各种污染物(氧化硫、氧化氮及细粒灰尘等)的排放量将受到严格限制,并要求进行脱硫脱硝,确保大气干净,这都是对电力系统的新要求。

#### 6. 电力网运行调度的灵活性

对于一个庞大的电力系统和电力网,必须做到运行方式灵活、调度管理先进。只有这样,才能使系统安全、可靠地运行,只有调度灵活,才能对系统局部故障进行及时检修,从而保证系统安全、可靠、经济和合理地运行。

## 第二节 电力系统的额定频率和额定电压

### 一、电力系统的额定频率

电力系统中发电机发出的正弦交流电每秒交变的次数称为频率。额定频率就是国家

规定的频率数值,体现出技术性和经济性的最优值。我国电力系统的标称频率规定为 50 Hz,电气设备都是按照此标准频率来设计制造的。在实际系统中,频率往往出现偏差,这是容许的,但不能过大。《电能质量 电力系统频率偏差》(GB/T 15945—2008)中规定:电力系统正常运行条件下频率偏差限值为 $\pm 0.2$  Hz,当系统容量较小时,偏差限值可放宽到 $\pm 0.5$  Hz。

## 二、电力系统的额定电压

额定电压是国家权威部门根据国情和技术经济条件综合比较而确定的标准电压。通常电气设备在此电压下能正常工作且能获得最佳技术性能和经济效果,该电压通常是指线电压,在电气设备铭牌上标出。

电网电压是有等级的,电网的额定电压等级是根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性及电气设备的制造水平等因素,经全面分析论证,由国家统一制定和颁布的。

我国相关国家标准规定我国电力系统的电压等级(括号内为设备最高电压)有 220/380 (230/400)V、3(3.5)kV、10(11.5)kV、35(40.5)kV、63(69)kV、110(126)kV、220(252)kV、330(363)kV、500(550)kV 和 750 kV。随着标准化的要求越来越高,3 kV、6 kV、20 kV 和 66 kV 很少使用。供电系统以 10 kV 和 35 kV 为主。输配电系统以 110 kV 以上为主。发电机过去有 6 kV 和 10 kV 两种,现在以 10 kV 为主,低压用户均为 380/220 V。

## 三、额定电压的分类

为了进行标准化、系列化生产及实现设备的互换,世界各国都制定了标准的额定电压。我国制定的标准额定电压依据电压的高低可分为以下三类。

### 1. 第一类额定电压

第一类额定电压是指 100 V 以下的额定电压,见表 1-1。第一类额定电压主要用于安全、照明、蓄电池及开关设备的直流操作电源等。其中,交流 36 V 只作为潮湿环境的局部照明及其他特殊电力负荷使用。

表 1-1 第一类额定电压

单位:V

直 流	交 流	
	三 相	单 相
6		6
12		12
24		24
	36	36
48		

### 2. 第二类额定电压

第二类额定电压是指 100~1 000 V 的额定电压,见表 1-2。这类电压数量最多、应用最广,如低压电动机、工业与民用电气设备和照明电器等都采用此类电压,表中括号内的电压只适用于矿井下或其他安全条件要求较高的地方。

表 1-2 第二类额定电压

单位:V

用电设备			发电机		变压器			
直 流	三相交流		直 流	三相交流	单 相		三 相	
	线 电 压	相 电 压			一 次 绕 组	二 次 绕 组	一 次 绕 组	二 次 绕 组
110			115					
	(127)			(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
	380	220	400	400			380	400
440								

### 3. 第三类额定电压

第三类额定电压是指 1 000 V 及以上的电压等级,见表 1-3。电力系统的发、供、输、配、用电都采用这些电压等级。

表 1-3 第三类额定电压

单位:V

用电设备	线路平均额定电压	交流发电机	变 压 器	
			一 次 绕 组	二 次 绕 组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
		13.8	13.8	
		15.75	15.75	
		18	18	
35	37		35	38.5
(60)	(6)3		(60)	(66)
110	115		110	121
220	230		220	242
(330)	(345)		(330)	(363)
500	525		500	550
750	787		750	825

注 1:表中所列均为线电压。

注 2:括号内的电压仅用于特殊地区。

注 3:水轮发电机容许用非标准额定电压。

综上所述,在同一个电压级别下,各种设备的额定电压并不完全相等。

## 四、电力系统元件的额定电压

电力系统元件是指电力系统中运行的发电机、变压器、电力线路和用电设备等的统称,通常又可称为电气设备。电气设备的额定电压是电气产品最重要的技术数据之一,特

别是高压电气设备的长期连续工作电压,是国家根据国民经济发展的需要,考虑经济技术的合理性及机电制造业水平等因素,按照长期正常工作时产生最大经济效果所规定的系列等级电压。为了使各种相互连接的电气设备都能运行在较为有利的电压下,各电气设备的额定电压之间有一个相互配合的问题,即它们额定电压的规定不尽相同,主要分以下几种。

### 1. 发电机的额定电压

由于电力网存在电压损失,用电设备的工作电压也存在着与自身特性有关的偏移,因而它们允许的偏移范围一般不超出 $\pm 5\%$ ,即电力网首端母线上的电压比额定电压高 $5\%$ 。因此,发电机的额定电压应等于母线电压,也就是线路首端的电压。它应当比线路的额定电压高出 $5\%$ ,以满足系统电压质量的要求。因此,如果设线路的额定电压为 $U_N$ ,那么发电机的额定电压 $U_{GN}$ 可表示为

$$U_{GN} = 1.05U_N$$

式中, $U_{GN}$ 为发电机的额定电压,V或kV; $U_N$ 为线路的额定电压,V或kV。

### 2. 电力网及用电设备的额定电压

发电机和电力网在运行中供电给用电设备,由于输电线路具有电压损失,因而线路首端电压将高于其末端电压,沿线路各处分布的负荷将受到不同的电压。用电设备的额定电压不可能按照变化的线路电压制造,而必须按照标准规定进行标准化生产。因此,它只能力求接近于实际工作电压。通常,将输电线路首端电压和末端电压的算术平均值定义为电力网的额定电压,即作为该电力网上连接的所有用电设备的额定电压,用电设备的额定电压与所在电力网的额定电压相等。

### 3. 变压器的额定电压

变压器额定电压的规定相比其他设备要复杂。变压器的额定电压应与发电机和电力网的额定电压定义法则都要相适应。依据变压器在电力系统中传输功率的方向,规定变压器接受功率一侧的绕组为一次绕组,输出功率一侧的绕组为二次绕组。一次绕组的作用相当于用电设备,其额定电压与电网系统的额定电压相同;与发电机直接相连时,其电压则与发电机的额定电压相同。二次绕组的作用相当于电源设备,其额定电压应比电网系统高 $5\%$ ,考虑变压器内部的电压损耗( $5\%$ ),实际规定为比线路高出 $10\%$ 。但如果变压器的短路阻抗小于 $7.5\%$ 或直接(通过短距离线路)与用户连接,其额定电压应比电网系统高 $5\%$ 。为了适应电力系统运行调节(调压)的需要,在变压器的高压绕组侧制造有分接抽头。分接抽头电压用百分数表示,即与主抽头电压的差值为主抽头电压的百分之几。同一电压级别的变压器分为升压变压器和降压变压器,即使它们的分接抽头百分值相同,分接抽头的额定电压也不同。图 1-2 所示为用线电压表示的 SF120000/220 $\pm 2 \times 2.5\%$ 型变压器的抽头额定电压。对于 $+5\%$ 抽头,升压变压器为 $242 \times 1.05 = 254.1$  kV,降压变压器则为 $220 \times 1.05 = 231$  kV。其他抽头的计算原理与此相同。

**【例 1-1】** 图 1-3 所示为一个简单的电力系统,线路的额定电压已知,试确定图中各变压器的变比及其他元件的额定电压。

解:(1)发电机 G 与 10 kV 的母线相连,其电压应该高于线路电压 $5\%$ ,故其额定电压为 10.5 kV。



视频  
变压器的工作  
原理



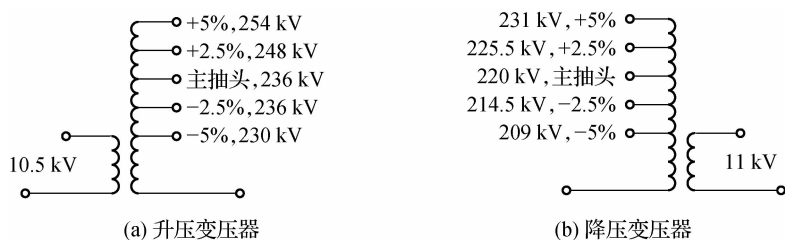


图 1-2 用线电压表示的 SF120000/220±2×2.5%型变压器的抽头额定电压

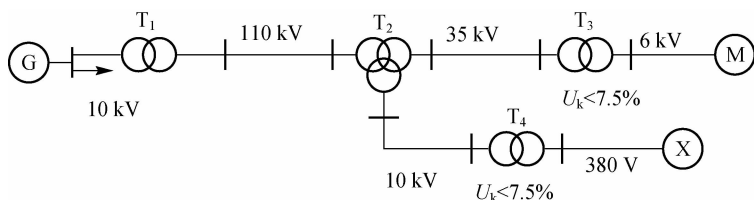


图 1-3 例 1-1 图

(2) 变压器  $T_1$  与发电机直接相连, 其一次电压与发电机相等, 故为 10.5 kV; 该变压器的二次绕组与 110 kV 线路相连, 二次绕组作为电源端, 其额定电压应高于线路 10%, 二次绕组的额定电压均为 121 kV, 所以变压器  $T_1$  的变比为 121/10.5 kV。

(3) 变压器  $T_2$  的一次绕组与 110 kV 线路相连, 作为接受电能的用电设备, 其额定电压应该与线路的额定电压相等, 故为 110 kV; 该变压器的二次绕组与 10 kV 和 35 kV 线路相连, 二次绕组作为电源端, 其额定电压应该高于线路 10%, 二次绕组的额定电压分别为 11 kV 和 38.5 kV, 所以变压器  $T_2$  的变比为 110/38.5/11 kV。

(4) 变压器  $T_3$  的一次绕组与 35 kV 线路相连, 作为接受电能的用电设备, 其额定电压应该与线路的额定电压相等, 故为 35 kV; 该变压器的二次绕组与 6 kV 线路相连, 其短路阻抗  $U_k < 7.5\%$ , 二次绕组作为电源端, 其额定电压应该高于线路 5%, 二次绕组的额定电压为 6.3 kV, 所以变压器  $T_3$  的变比为 35/6.3 kV。

(5) 变压器  $T_4$  的一次绕组与 10 kV 线路相连, 作为接受电能的用电设备, 其额定电压应与线路的额定电压相等, 故为 10 kV; 该变压器的二次绕组与 380 V 线路相连, 其短路阻抗  $U_k < 7.5\%$ , 二次绕组作为电源端, 其额定电压应该高于线路 5%, 二次绕组的额定电压为 0.4 kV, 所以变压器  $T_4$  的变比为 10/0.4 kV。

(6) 电动机 M 与 6 kV 的母线相连, 其电压应等于线路电压, 故其额定电压为 6 kV。

### 第三节 电力线路

电力线路是电力系统的重要组成部分, 担负着输送和分配电能的任务。从电源向电力负荷中心输送电能的线路称为输电线路。为减少电能输送过程中的损耗, 根据输送距离和输送容量的大小, 输电线路采用不同的电压等级。目前, 我国采用的电压等级有 35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV 和 500 kV 等。在我国, 通常



视频  
电力线路展示

称 35~220 kV 的线路为高压输电线路,330~500 kV 的线路为超高压输电线路,750 kV 以上的线路为特高压输电线路。此外,担负分配电能任务的线路称为配电线路。我国配电线路的电压等级有 380 V/220 V、6 kV、10 kV,其中,把 1 kV 以下的线路称为低压配电线路,1~10 kV 线路称为高压配电线路。

电力线路按其结构可分为架空线路和电缆线路两类。架空线路将导线架设在杆塔上,导线暴露于空气中。其优点是结构简单,架设方便,投资少,传输容量大,电压高,散热条件好,维护方便。缺点是当网络复杂和集中时,不易架设,无法跨越大江大海架设,在城市人口稠密区架设既不安全,也不美观,运行条件差,易受环境条件,如冰、风、雨、雪、温度、化学腐蚀和雷电等的影响,故障率高,运行可靠性差。同时,因电压高而产生的电晕会对无线电信号产生干扰等。电缆线路是将电缆敷设于地下或水底。其优点是不易受周围环境和污染的影响,送电可靠性高,线间绝缘距离短,占地少,无干扰电波,在地下敷设时,不占地面空间,既安全可靠,又不易暴露目标。其缺点是成本高,一次性投资费用较大,电缆线路不易变动与分支,电缆故障测寻和维修困难。

### 一、架空线路

架空线路是用绝缘子将输电导线固定在直立于地面的杆塔上用以传输电能的输电线路。它的主要技术参数包括电压等级、导线截面和线路长度等。这些参数主要是根据电力系统的供需关系,通过规划设计来选择确定的,代表着架空线路的供电能力。架空线路主要由导线、架空地线(避雷线)、绝缘子串、杆塔和接地装置等组成。另外,还有相关的辅件,如横担、金具和拉线等,其结构示意图如图 1-4 所示。

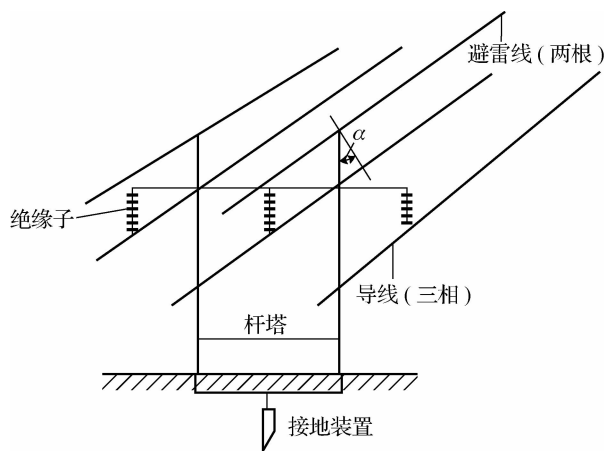


图 1-4 架空线路结构示意图

图中所示导线由导电良好的金属制成,有足够粗的横截面(保持适当的通流密度)和较大的曲率半径(减小电晕放电)。超高压输电则多采用分裂导线。避雷线设置在输电导线的上方,用于保护线路免遭雷击。重要的输电线路通常用两根避雷线。绝缘子串由单个悬式(棒式)绝缘子串接而成,需满足绝缘强度和机械强度的要求,每串绝缘子个数由输电电压等级决定。杆塔多由钢材或钢筋混凝土制成,是架空输电线路的主要支撑结构。架空输电线路在设计时要考虑它受到的气温变化、强风暴侵袭、雷闪、雨淋、结冰、洪水和湿雾等各种自

然条件的影响,还要考虑电磁环境干扰问题。架空输电线路所经路径还要有足够的地面宽度和净空走廊。其组成部分如下。

### 1. 导线

导线用于传输电流和输送电能,是架空线路的主要组成部分。导线通过绝缘子架设在杆塔上,除承受着自身的质量和经常受风、雨和雪等外力作用外,还要承受空气中化学杂质的侵蚀。因此,导线必须具备良好的导电性能、足够的机械强度及耐腐蚀性能,并应尽可能质量轻、价格低。

导线的材料采用铜或铝等金属,在输电线路中多采用钢芯铝绞线,其特点是机械强度大、质量轻。

(1)铜导线。铜导线具有良好的导电性能和足够的机械强度,并且有很强的抗腐蚀能力,新架设的铜导线架空线路运行一段时间,在其表面上形成很薄的氧化层,可防止导线进一步受腐蚀。但因我国铜矿资源不足,故铜导线造价高,除特殊要求外,一般不采用铜导线。

(2)铝导线。其型号可表示为 LJ,其导电性能和机械强度仅次于铜导线。铝的导电率为铜的 60%左右。因此,铝导线要得到与铜导线相同的导电能力,其横截面应约为铜导线的 1.6 倍。铝导线的质量轻,在同一电阻值下,约为铜导线质量的 50%,铝导线极易氧化,氧化后的薄膜能防止进一步腐蚀。铝导线的抗腐蚀能力较差,而且机械强度小,但价格相对低一些,并且资源丰富,所以在 10 kV 及以下的配电线路中广泛使用。

(3)钢芯铝绞线。其型号可表示为 LGJ,它是一种复合导线。钢芯铝绞线是由机械强度高的钢导线和导电性能好的铝导线组合而成的,其导线外部为铝导线,因为趋肤效应,导线的电流几乎全部由铝导线传输,导线的内部是钢导线,导线上所承受的力作用主要由钢导线承担。复合导线集这两种导线的优点满足了架空线路的要求,广泛应用于高压输电线路中。各种型号的钢芯铝绞线参数见附录一,其结构和实物如图 1-5 所示。

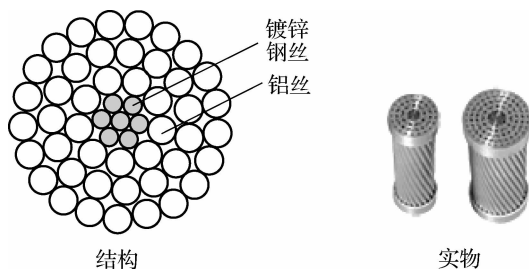


图 1-5 钢芯铝绞线的结构和实物图

### 2. 绝缘子和金具

(1)绝缘子。绝缘子俗称瓷瓶,用于固定导线,并使带电导线之间及导线与大地之间保持绝缘。绝缘子在运行中应能承受导线垂直方向的荷重和水平方向的拉力。同时,绝缘子还经受着日晒、雨淋、气候变化、化学物质的腐蚀和大气变化(温度)的影响。因此,绝缘子既要有良好的绝缘电气性能,又要有足够的机械强度,还要能承受温度等的骤变作用。好的绝缘子对线路的安全运行十分重要。



图片  
导线



图片  
绝缘子和金具

绝缘子种类繁多,按材料的不同可分为瓷质绝缘子、钢化玻璃绝缘子和硅橡胶合成绝缘子等。按其结构形状的不同可分为陶瓷横担绝缘子、悬式绝缘子、针式绝缘子和棒式绝缘子,如图 1-6 所示。

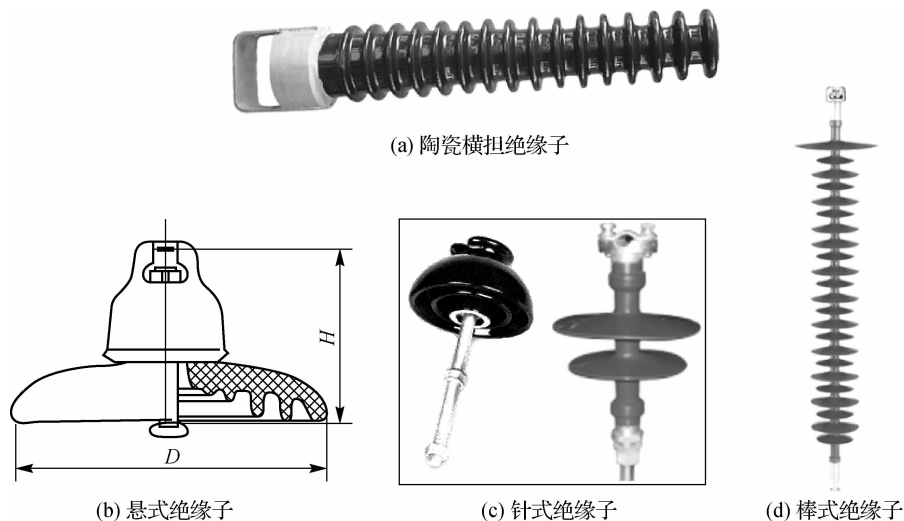


图 1-6 架空线路用绝缘子

①陶瓷横担绝缘子。陶瓷横担具有良好的电气性能,同时起到绝缘子的作用,即具备绝缘和横担的双重作用,又能节省大量木材和钢材,降低线路造价。横担在导线断线时能够转动,避免事故扩大。陶瓷横担表面经雨水冲洗后,污垢减少,可以减少线路维护工作量等,但其机械抗弯强度低,目前广泛应用于 6~35 kV 线路中。

②悬式绝缘子。悬式绝缘子包括悬式钢化玻璃绝缘子和悬式陶瓷绝缘子。通常将它们组装成绝缘子串使用,在直线杆塔上组合成悬垂串,在耐张杆塔上组合成耐张串。绝缘子串中绝缘子的个数取决于线路电压等级的高低,耐张串中绝缘子的个数比相同电压等级线路的悬垂串中绝缘子个数多 1~2 个。此类绝缘子主要用于 35 kV 及以上的线路中。

③针式绝缘子。针式绝缘子的特点是制造简易、价格低廉,但耐雷水平不高,易闪络。针式绝缘子主要用于 35 kV 以下线路中的直线杆塔和小转角杆塔上。针式绝缘子按使用电压可分为高压针式绝缘子和低压针式绝缘子两种;按针脚的长度可分为长脚和短脚两种,长脚针式绝缘子用于木横担,短脚针式绝缘子用于铁横担。

④棒式绝缘子。棒式绝缘子是用环氧玻璃钢等硬质材料做成的一体型绝缘子,具有质量轻、体积小、运输和安装方便的优点,可以替代悬式绝缘子串。常用于 10 kV 及以下电力线路上的终端耐张及转角杆塔上和电气化铁路接触网中。

(2)金具。线路金具是用于连接导线,安装在横担和绝缘子以及拉线和杆上的其他电力设施的金属辅助元件。在架空输电线路中起着支持、固定、接续保护导线和避雷线的作用,且能使接线坚固。金具种类很多,按照金具的性能及用途可分为线夹、连接金具、保护金具和拉线金具等几大类。部分金具如图 1-7 所示。



图 1-7 部分金具

### 3. 杆塔、横担、拉线和杆塔基础

(1) 杆塔。杆塔用于支持导线和避雷线及其附件,并使导线、避雷线、杆塔之间,以及导线和地面及交叉跨越物或其他建筑物之间保持一定的安全距离的支持物。杆塔应具有足够的机械强度和耐用、价廉、便于运输和架设等特点。杆塔的类型与线路的额定电压、导线及其安装方式、回路数、线路所经过的自然条件、线路的重要性有关。

杆塔的类型很多,可按以下方法分类。

① 杆塔按使用材料的不同可分为铁塔、钢筋混凝土杆塔(水泥杆)和木杆 3 种。木杆目前除林区外已基本不用;铁塔主要用于超高压、大跨越段的线路及某些受力较大的耐张、转角杆塔上。钢筋混凝土杆塔不仅可以节省大量钢材,而且机械强度较高,目前应用较广泛。

② 杆塔按导线在杆塔上的布置方式不同,对于单回线常采用三角形、上字形和水平排列方式,对于双回线常采用伞形、倒伞形、鼓形和干字形排列方式,如图 1-8 所示。

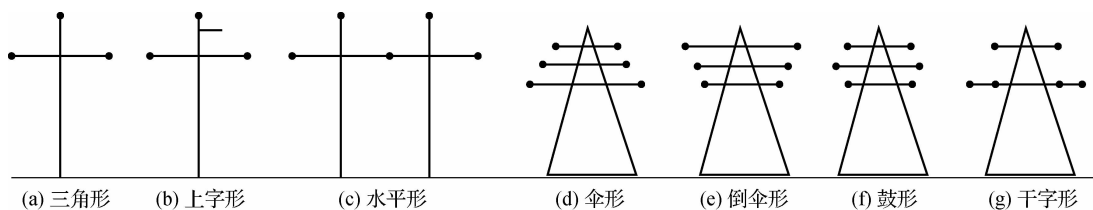


图 1-8 杆塔上导线的几种排列方式

③ 杆塔按用途不同可分为直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔、终端杆塔和特种杆塔 5 种。

• 直线杆塔。直线杆塔又称为中间杆塔,用于线路直线中间部分,在平坦地区,这种杆

塔占总数的 80% 左右。直线杆塔的导线用线夹和悬式绝缘子串挂在横担上或用针式绝缘子固定在横担上,它只承受导线和避雷线的自重、冰重和风压,不承受顺线路方向的水平张力,故其强度要求低,造价也便宜。直线杆塔上导线与绝缘子相互垂直。

• 耐张杆塔。耐张杆塔又称为承力杆塔或锚杆。与直线杆塔相比,其导线要用耐张线夹和耐张绝缘子串固定在杆塔上,耐张绝缘子串的位置几乎与地面平行,它除了承受导线和避雷线的自重、冰重和风压外,还要承受顺线路方向的水平张力。因此,耐张杆塔强度较大,结构较复杂,造价相对也较高。在线路较长时,应每隔 3~5 km 设置一基耐张杆塔,以便把断线故障的影响范围限制在耐张段内。耐张杆塔将线路分隔成若干耐张段,便于线路的施工和检修。一个耐张段内一般有若干直线杆塔,如图 1-9 所示。耐张杆塔上的绝缘子串和导线在同一曲线上,两侧导线用引流线(跳线)连接。

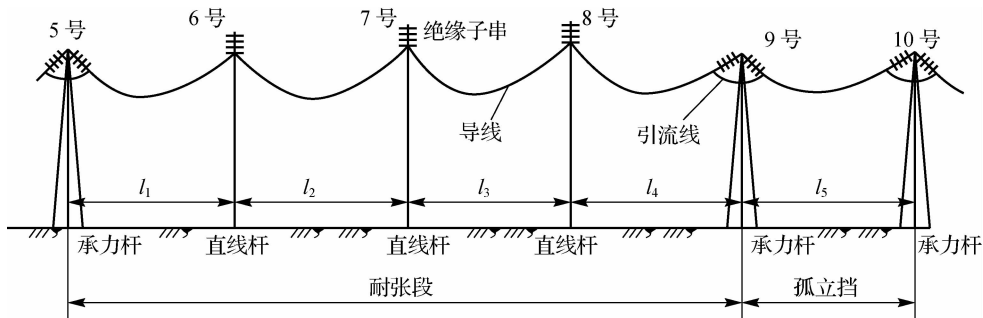


图 1-9 线路耐张杆塔连接示意图

• 转角杆塔。转角杆塔设置在线路的转角处,主要用于承受两侧导线所产生的角度合力(不平衡拉力)。转角杆塔可以做成耐张型也可做成直线型。转角杆塔的类型则根据转角的角度和导线横截面的大小确定。

• 终端杆塔。终端杆塔是耐张杆塔的一种,用于线路的首端和终端,承受导线、避雷线的单方向拉力和质量,机械强度要求较大。

• 特种杆塔。特种杆塔是线路有一些特殊需要时才采用的杆塔,主要有跨越杆塔和换位杆塔。当线路需要跨越铁路、道路、桥梁、河流、湖泊、山谷及其他交叉跨越处时,需采用跨越杆塔,要求其有较高的高度和机械强度;换位杆塔用于在一定长度内实现三相导线在空间的轮流换位,使三相导线的电气参数均衡。导线换位的结构如图 1-10 所示。相关标准规定,在中性点直接接地的电力网中,当长度超过 100 km 时,为了使各相电感和电容相等,减少对邻近平行通信线路的干扰,平衡不对称电流,应设置换位杆塔,换位循环长度不宜大于 200 km。换位循环是指在一定长度内有二次换位,而三相导线都分别处于 3 个不同位置。另外,当两个变电站之间的相位不同时,连接线路也需要换位。

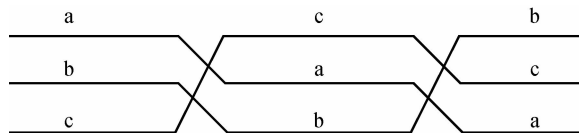


图 1-10 导线换位的结构

(2)横担。横担安装在电杆的上部,用于安装绝缘子和固定导线。常用的横担有铁横担、木横担和陶瓷横担等。铁横担用角钢制成,因其坚固耐用而被广泛使用。木横担易加工,价

格低廉,具有良好的防雷性能,但易腐蚀,维修费用较高,近年来逐渐被铁横担和陶瓷横担取代。

(3)拉线。拉线用于平衡电杆各方面的作用力,并抵抗风力,防止电杆倾倒,拉线多采用多股铁拉线绞成或由钢绞线制成,埋入地下。拉线底盘采用预制混凝土拉线盘,木杆拉线中间装设拉线绝缘子,以免雷击时通过拉线对地放电。导线与拉线之间必须保持安全距离。

(4)杆塔基础。杆塔基础是将杆塔固定在地面上,以保证杆塔不发生倾斜、倒塌和下沉等的设施。例如,钢筋混凝土电杆若直接埋入土中,由于电杆横截面积小,则在一般土壤中电杆都会下沉。此时,为防止电杆下沉,往往在电杆底部垫一块面积较大的钢筋混凝土制板,即底盘,底盘就是防止电杆下沉的基础。杆塔基础根据地形、地质和施工条件的不同,所采用的类型也不同。

#### 4. 避雷线

避雷线架设在杆塔顶部,并在每基杆塔上均通过接地线与接地体相连。其作用为:保护架空导线,降低雷击概率,提高线路耐雷水平,减少线路雷击跳闸次数,从而提高线路运行的安全性和可靠性,保证连续供电。根据线路的重要性及线路通过地区的雷电活动情况,每条线路可在杆塔上架设一条或两条避雷线。

避雷线一般采用镀锌钢绞线。镀锌钢绞线采用镀锌高碳钢丝同心绞合而成,具有一定的防腐蚀能力,机械强度较高。其型号表示方法为“GJ-数字”,其中 GJ 表示钢绞线,数字表示其标称横截面( $\text{mm}^2$ )。线路上常用的镀锌钢绞线有 GJ-35、GJ-50、GJ-100 和 GJ-120 等,在超高压或大跨越线路中,也有用 GJ-135 和 GJ-500 型号的。

## 二、电力电缆线路

电力电缆线路主要由电缆本体、电缆中间接头和电缆终端头等组成。与架空线路相同,电力电缆线路也用于输送电能。电力电缆线路一般敷设在地下或水下,也有架空敷设的电力电缆线路。

电力电缆线路的主要优点为:不受自然气象条件(雷电、风雨、盐雾污秽等)的干扰,不占地面走廊,同一地下通道可容纳多回线路,安全可靠、避免触电。电力电缆线路的缺点为:同样的导线横截面,输送电流比架空线路小,投资建设费用比率成倍增大,并随着电压增高而增大,事故修复时间长。

### 1. 电力电缆的构造

电力电缆最基本的结构有导体、绝缘层及外护层。根据要求可再增加一些结构,如屏蔽层、内护层或铠装层等,为了使电缆有圆整性,再辅加一些填充材料。电力电缆结构示意图如图 1-11 所示。

(1)导体(导电线芯)。导体的作用是传导电流和输送电能,是电力电缆的主要组成部分。其材料有铜、铝、铜包钢和铝包钢等,现在主要采用铜和铝,铜的导电性能比铝好;其结构有单股实心和多股绞线之分,通常用多

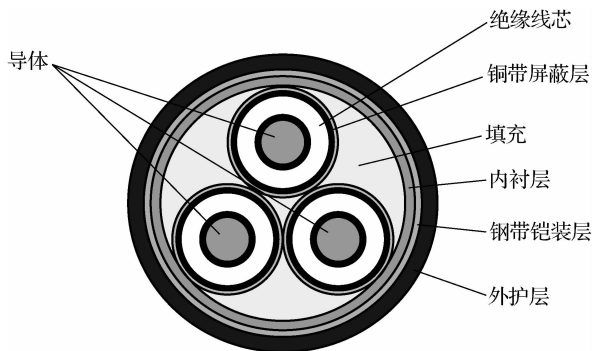


图 1-11 电力电缆结构示意图



视频  
电缆制造

股铜或铝绞线,以增加电缆的柔性,便于弯曲。根据电缆中导体线芯的数量不同,电缆可分为单芯电缆、三芯电缆和四芯电缆等。

(2)耐火层。只有耐火型电缆有耐火层结构。其作用是在火灾中使电缆能经受一定时间,给逃生多一些用电时间。现在耐火层使用的材料主要是云母带。因云母带的云母片耐高温,且又有绝缘作用,在火灾中能保护导体继续工作一定时间。

(3)绝缘层。绝缘层包覆在导体外,其作用是隔绝导体,承受相应的电压,防止电流泄漏。绝缘层使用的绝缘材料有多种,如聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)、交联聚乙烯(XLPE)、橡胶(丁腈橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶、乙丙橡胶等)、氟塑料、尼龙和绝缘纸等。这些材料最主要的性能就是绝缘性能好,其他性能要求根据电缆使用要求各有不同,有的要求介电系数小,以减少损耗,有的要求有阻燃性能或能耐高温,有的要求电缆在燃烧时不会或少产生浓烟和有害气体,有的要求能耐油、耐腐蚀,有的则要求柔软。

(4)屏蔽层。屏蔽层在绝缘层外,外护层内,其作用是限制电场和电磁干扰。对于不同类型的电缆,屏蔽材料也不一样,主要有铜丝编织,铜丝缠绕,铝丝(铝合金丝)编织,铜带、铝箔、铝(钢)塑带、钢带等绕包或纵包等。

(5)填充层。填充层的作用主要是让电缆圆整,结构稳定,有些电缆的填充物还起到阻水、耐火等作用。其主要材料有聚丙烯绳、玻璃纤维绳、石棉绳和橡皮等,种类很多,但一个主要的性能要求是非吸湿性材料,且不能导电。

(6)内护层。内护层的作用是保护绝缘线芯不被铠装层或屏蔽层损伤。内护层有挤包、绕包和纵包等几种形式。要求高的内护层采用挤包形式,要求低的内护层采用绕包或纵包形式。现在绕包用的材料也有多种。例如,钢带铠装的内护层,有采用PVC带绕包的,也有采用聚丙烯带(很薄,表面做成颗粒凸起来增加厚度)绕包的。

(7)铠装层。铠装层的作用是保护电缆不被外力损伤。最常见的是钢带铠装和钢丝铠装,还有铝带铠装、不锈钢带铠装等。钢带铠装的主要作用是抗压,钢丝铠装的主要作用是抗拉。根据电缆的大小,铠装用的钢带厚度不同,这在各电缆标准中都有规定。

(8)外护层。外护层是在电缆最外层起保护作用的部件,主要有3种类型,即塑料类、橡皮类和金属类。其中,塑料类最常用的是聚氯乙烯塑料和聚乙烯塑料。根据电缆特性外护层还可分为阻燃型、低烟低卤型、低烟无卤型等。

以上介绍的是一般电力电缆的基本结构,有些品种的电缆结构更简单,只有导体和绝缘层,有些电缆没有铠装层或屏蔽层,所以根据结构的不同及所用材料的不同产生出各种型号

## 2. 电力电缆的附件

电力电缆的附件是连接电缆与输配电线路及相关配电装置的产品,一般指电缆线路中各种电缆的中间接头及终端接头,它与电缆一起构成电力输送网络。电力电缆附件主要是依据电缆结构的特性,既能恢复电缆的性能,又保证电缆长度的延长及终端的连接。按其用途一般分为终端接头和中间接头,其终端接头分为户内终端和户外终端,一般情况下,户外终端是指露天电缆接头,户内终端是指室内连接电缆和电气设备的接头;中间连接分为直通式和绝缘式两种。中低压电缆附件目前使用得比较多的产品种类主要有热缩附件、预制式附件和冷缩附件。



## 第四节 电力系统中性点的接地方式

### 一、电力系统的中性点及其接地方式

电力系统的中性点是指系统中的变压器或发电机的三相绕组为星形联结方式的公共连接点。因该公共连接点在系统正常对称运行时其电位接近于零,故称为中性点。中性点的运行方式是指中性点的接地方式,即与大地的连接关系。

中性点接地方式的选择直接影响系统设备绝缘水平、系统过电压水平、人身和设备安全、继电保护方式与自动装置的配置、系统的运行可靠性和通信干扰等多方面的综合性的技术经济问题,在选择接地方式时必须进行具体分析,慎重研究。

我国电力系统常用的中性点接地方式有 4 种,即中性点直接接地、中性点对地绝缘(不接地)、中性点经消弧线圈接地和中性点经电阻接地。这 4 种接地方式可归纳为中性点有效接地方式和中性点非有效接地方式两大类。其中,中性点有效接地方式(大电流接地方式)一般指中性点直接接地或经小电阻接地方式;中性点非有效接地方式(小电流接地方式)包括中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经高阻接地方式。在我国的电力系统中,110 kV 及以上电压等级的电网一般都采用中性点直接接地方式,而 35 kV 及以下系统依据情况分别采用中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经电阻接地方式。

### 二、几种常用中性点接地方式的特点

#### 1. 中性点直接接地方式的特点

中性点直接接地方式,即将中性点直接接入大地,其电路图如图 1-12 所示。

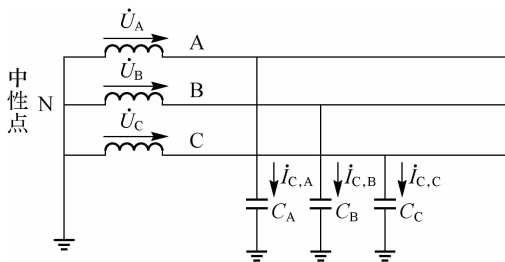


图 1-12 中性点直接接地方式电路图

中性点直接接地系统在运行中由于中性点电位固定为地电位,发生单相接地故障时,非故障相的工频电压升高不超过 1.4 倍的运行相电压,暂态过电压水平也相对较低。继电保护装置能迅速断开故障线路,设备承受过电压的时间很短,使电网中设备的绝缘水平降低,从而使电网的造价降低。中性点直接接地系统产生的接地电流大,故对通信系统的干扰影响也大。当电力线路与通信线路平行走向时,由于耦合产生感应电压,会对通信造成干扰。

中性点直接接地系统在运行中若发生单相接地故障,其接地点还会产生较大的跨步电压和接触电压。此时,如果工作人员误登杆或误碰带电导体,那么容易发生触电伤害事故。



视频  
未接地事故

因此,应加强安全教育,正确配置继电保护及采取严格的安全措施,避免事故的发生。

### 2. 中性点不接地方式的特点

中性点不接地方式即中性点对地绝缘。该系统结构简单,运行方便,不需要任何附加设备,投资省。该接地方式在系统正常对称运行时中性点电位接近于零,其电路图如图 1-13(a)所示。

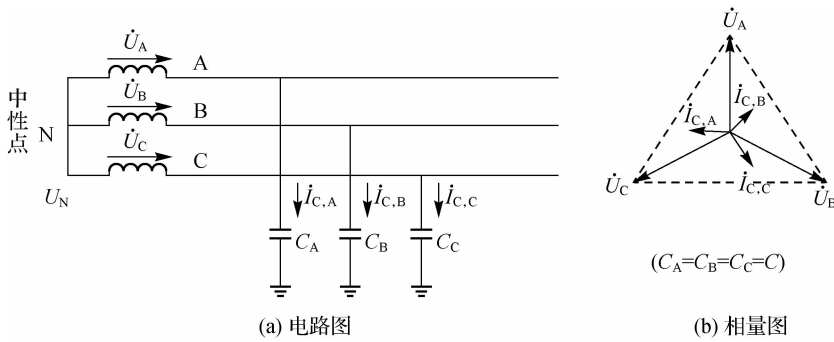


图 1-13 中性点不接地方式电路图和相量图

在正常运行时,三相对称平衡,设每相对地电容分别为  $C_A$ 、 $C_B$ 、 $C_C$ ,令  $C_A = C_B = C_C = C$ ,每相对地电压分别为  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ ,且相互对称,三相对地电容电流  $\dot{I}_{C,A}$ 、 $\dot{I}_{C,B}$ 、 $\dot{I}_{C,C}$ 也是对称的。此时,  $\dot{I}_{C,A} = \dot{I}_{C,B} = \dot{I}_{C,C} = \frac{U_X}{X_C}$ ,但  $\dot{I}_{C,A} + \dot{I}_{C,B} + \dot{I}_{C,C} = 0$ ,大地中没有电流流过,而中性点 N 对地电压则为  $\dot{U}_N = 0$ 。其相量图如图 1-13(b)所示。

在运行中若发生单相接地故障,设 C 相接地,如图 1-14(a)所示。

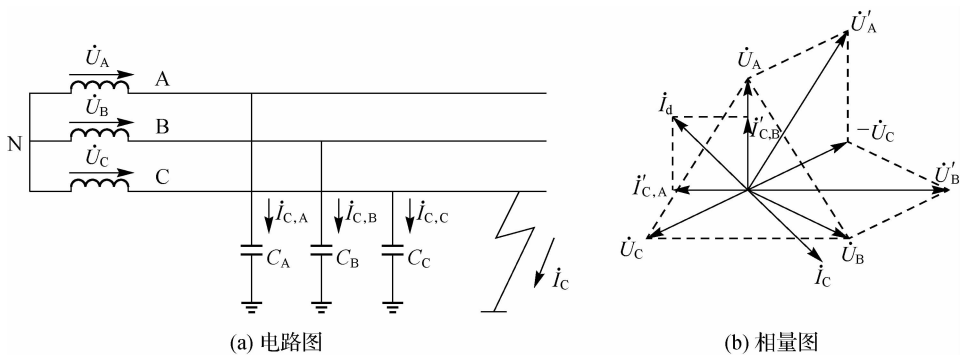


图 1-14 单相接地时的电路图和相量图

此时,三相对称系统平衡被破坏,三相电压关系可表示为

$$\begin{aligned}\dot{U}'_C &= \dot{U}_C + (-\dot{U}_C) = 0 \\ \dot{U}'_A &= \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC} \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}\end{aligned}$$

即 C 相电压  $\dot{U}'_C = 0$ ,非故障相 A、B 对地电压则升高为对称时的  $\sqrt{3}$  倍,变为线电压,但线电压未发生改变,其相量图如图 1-14(b)所示。

此时,  $\dot{I}_{C,A} + \dot{I}_{C,B} + \dot{I}_{C,C} \neq 0$ , 电流关系可表示为(设  $I_{C0} = \frac{U_X}{X_C}$ )

$$\dot{I}_C = -(\dot{I}'_{C,A} + \dot{I}'_{C,B})$$

$$I_{C,A} = \dot{U}'_A / X_C = \sqrt{3}U_A / X_C = \sqrt{3}I_{C0}$$

$$I_C = \sqrt{3}I_{C,A} = 3I_{C0}$$

其流过故障点的电流仅为电网对地的电容电流, 其值很小, 所以称为小电流接地系统。现行规程规定, 对于不接地系统, 发生单相接地故障时, 容许带故障运行 2 h, 但须装设绝缘监控装置, 以便及时发现单相接地故障, 迅速处理, 以免故障发展为两相短路而造成停电事故。

### 3. 中性点经消弧线圈接地

在电力系统中, 尽管现行规程规定, 对于不接地系统, 发生单相接地故障时, 可以容许带故障运行 2 h。但是, 当单相接地故障电流较大时, 电弧无法熄灭而产生持续性电弧, 威胁设备绝缘, 极易造成两相甚至三相短路, 危害电力系统。为了防止此类事故发生, 电力行业标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997) 规定: 对于 3~10 kV 架空线路构成的系统和所有 35 kV、66 kV 电网, 当单相接地故障电流大于 10 A 时, 中性点应装设消弧线圈, 对于 3~10 kV 电缆线路构成的系统, 当单相接地故障电流大于 30 A 时, 中性点应装设消弧线圈。因此, 系统中往往在中性点接入消弧线圈, 即中性点须经消弧线圈接地, 其电路图和相量图如图 1-15 所示。



知识  
消弧线圈

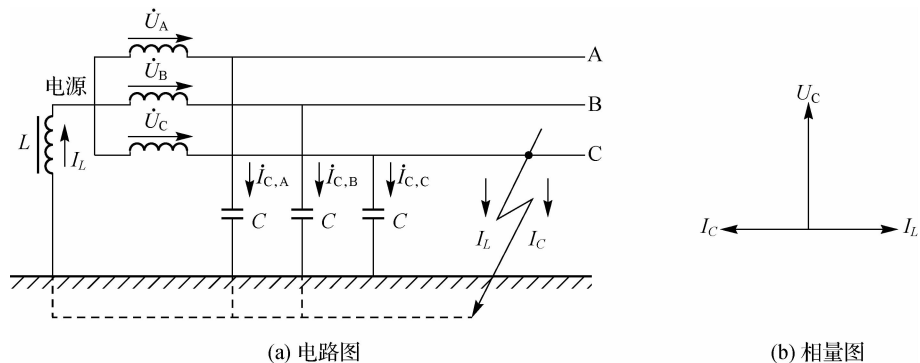


图 1-15 中性点经消弧线圈接地时的电路图和相量图

(1) 系统正常运行时的状态。

中性点对地电压为零, 即  $U_N = 0$ 。

消弧线圈中无电流, 即  $I_L = 0$ 。

流过地中的电容电流为零, 即  $I_C = 0$ 。

此时, 消弧线圈不起作用。

(2) 单相接地故障时的状态。

中性点对地电压升高为相电压, 即  $\dot{U}_N = -\dot{U}_C$ 。

消弧线圈中出现感性电流  $\dot{I}_L$ , 即与  $\dot{I}_C$  相差  $180^\circ$ 。

流过接地点电流为零, 即  $\dot{I}_L + \dot{I}_C$ 。

此时, 依据  $\dot{I}_L$  与  $\dot{I}_C$  的大小关系可体现出以下几种补偿方式。

①全补偿。 $\dot{I}_L = \dot{I}_C$ , 电流谐振回路恰好在谐振点工作。此时, 电容电流与电感电流大小相等, 方向相反, 彼此完全抵消, 残流中仅含有有功分量, 不仅其值最小, 且其相位与零序性质的中性点位移电压的相位相同。但是, 电力系统不采用这种补偿方式, 其不足之处是系统因不对称形成串联谐振过电压, 危及系统绝缘。

②欠补偿。 $\dot{I}_L < \dot{I}_C$ , 电流谐振回路在欠补偿状态下工作。此时, 残流中不仅含有有功分量, 而且含有容性无功电流分量, 其值较前明显增大, 同时残流相位先于零序性质的中性点位移电压的相位。电力系统极少采用这种补偿方式, 其不足之处是系统易发展成为全补偿方式, 切除线路或者频率下降而引起谐振, 危及系统绝缘。

③过补偿。 $\dot{I}_L > \dot{I}_C$ , 电流谐振回路在过补偿状态下工作。此时, 残流中主要为感性无功电流分量, 其值同样明显增大, 其相位滞后于零序性质的中性点位移电压的相位。电力系统大多采用这种补偿方式, 但电感电流数值不能过大(不大于 10 A)。

## 第五节 电力系统的接线方式

电力系统的接线方式对保证系统的安全、稳定、可靠及优质、经济地向用户供电具有非常重要的作用。电力系统的接线主要包括发电厂的主接线、变电所的主接线及电力网的接线。下面只对电力网的接线做简要介绍, 发电厂和变电所的主接线读者可以查阅相关资料。

电力网的接线用于表示电力网中各主要元件相互连接关系的接线方式, 通常按照供电的可靠性分为无备用接线和有备用接线两类接线方式。

在无备用接线的网络中, 每个负荷只能靠一条线路取得电能。单回路放射式、干线式、链式和树枝式网络即属于此类, 如图 1-16 所示。其优点是结构简单, 经济, 运行方便; 缺点是供电可靠性差, 任意一段线路发生故障或检修时, 都要中断部分用户的供电。在干线式和树枝式网络中, 当线路较长时, 线路末端的电压往往较低。

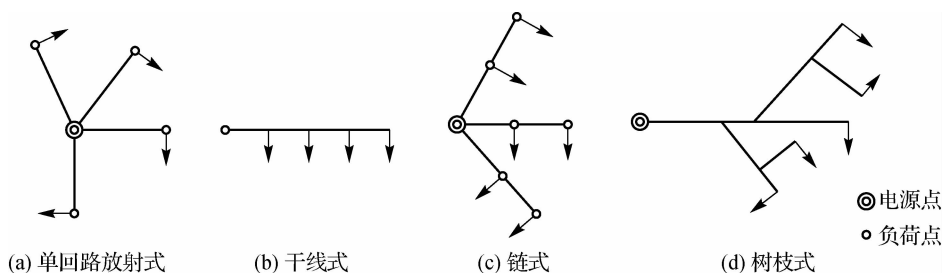


图 1-16 无备用接线形式

每个负荷都只能沿唯一的路径取得电能的网络称为开式网络, 无备用接线网络可归于这类网络。

在有备用接线的网络中, 用户能从两个或两个以上方向获得电能。双回路放射式、双回路干线式、环式、两端供电式和多端供电式网络即属于此类, 如图 1-17 所示。

对于双回路单电源网络, 如图 1-17(a)、图 1-17(b)所示, 这类接线同样具有简单和运行方便的特点, 而且供电可靠性和电压质量都有明显提高, 其缺点是设备费用增加很多。

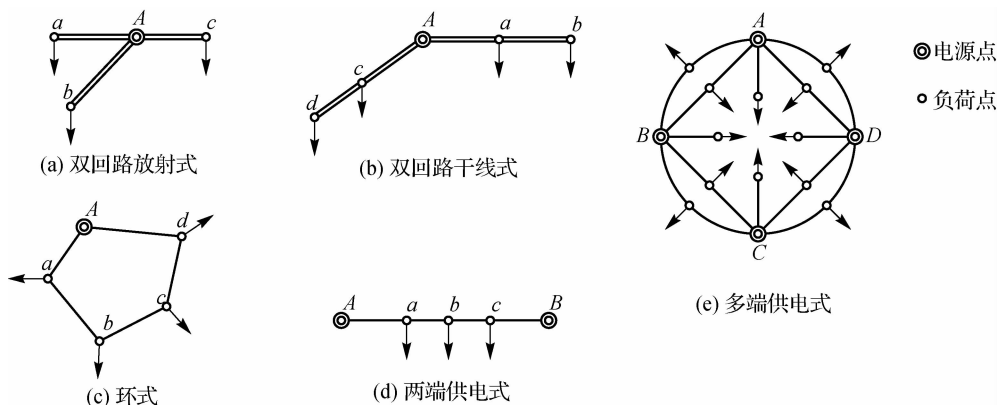


图 1-17 有备用接线形式

对于环形网络(含有多电源),如图 1-17(c)、图 1-17(e)所示,这类网络的供电可靠性高,比较经济;其缺点是运行调度比较复杂。在单电源环网[见图 1-17(c)]中,当线路  $ab$  故障而开环时,正常线路可能过负荷,且开环末端点的电压明显降低。

对于两端供电网络,如图 1-17(d)所示,其供电可靠性相当于两个电源的环形网络。

有备用接线网络的每个负荷点都可以由两条及两条以上电源线路取得电能,具有这种接线特点的网络又称为闭式网络。

电力系统中各部分电力网担负着不同的职能,所以对其接线方式的要求也不相同。电力网按其职能的不同可分为输电网络和配电网。

输电网络的主要任务是将大容量发电厂的电能可靠而又经济地输送到负荷集中地区。通常由电力系统中电压等级最高的一级或两级电力线路组成,系统中的区域发电厂经升压站和枢纽变电所通过输电网络相互连接。输电网络接线应有足够的可靠性,满足电力系统稳定性要求,实现系统的经济调度,应具有对运行方式变更和系统发展的适应性。

用于连接远离负荷中心地区的大型发电厂的输电干线和向缺乏电源的负荷集中地区供电的输电干线,常采用双回路或多回路。位于负荷中心地区的大型发电厂和枢纽变电所一般通过环形网络相互连接。

输电网络的电压等级应与系统的规模(容量和供电范围)相适应。表 1-4 列出了各种电压等级的单回线架空线路的输送功率和输送距离的适宜范围。

表 1-4 各级电压架空线路的输送能力

额定电压/kV	输送容量/MVA	输送距离/km	额定电压/kV	输送容量/MVA	输送距离/km
3	0.1~1.0	1~3	110	10~50	50~150
6	0.1~1.2	4~15	220	100~500	100~300
10	0.2~2.0	6~20	330	200~800	200~600
35	2~10	20~50	500	1 000~1 500	150~850
60	3.5~30	30~100	750	2 000~2 500	500 以上

配电网的任务是分配电能。配电线路的额定电压一般为 0.4~35 kV,部分负荷密度较大的城市采用 110 kV 甚至 220 kV。配电网的电源点是发电厂或变电所相应电压等级

的母线,负荷点则是低一级的变电所或直接为用电设备。配电网络采用哪一类接线主要取决于负荷的性质。无备用接线只适合于向第三类负荷供电,对于第一级和第二级负荷占较大比重的用户,应该由有备用网络供电。实际电力系统的配电网络较复杂,往往由各种不同接线方式的网络组成。在选择接线方式时,必须考虑的主要因素是满足用户对供电可靠性和电压质量的要求,运行要灵活、方便,应有更优的经济指标。一般要对多种可能的接线方案进行技术经济比较后才能确定。



### 课后思考题

- (1)电力系统中性点有哪些接地方式?各具有什么特点?
- (2)简述电力系统、电力网和动力系统的联系与区别。
- (3)电力系统运行的特点和要求分别是什么?
- (4)电力变压器的主要作用是什么?
- (5)我国的电压等级有哪些?简述对用电设备、发电机和变压器额定电压的规定。
- (6)电能质量最主要的两个指标是什么?
- (7)电力系统中性点的接地方式有哪些?各有什么特点?各用于什么样的电压等级?
- (8)消弧线圈的工作原理是什么?补偿方式有哪些?电力系统一般采用哪种补偿方式?为什么?
- (9)电力系统的接线方式有哪些?各自的优、缺点有哪些?