

第一章 概 述

第一节 电 力 系 统

发电厂是把各种天然能源（如燃料的化学能、水能、核能等）转换成电能的工厂。由于电能生产是一种能量形态的转换，大型发电厂一般建设在能源所在地，如水能资源集中在河流落差较大的山丘地区，热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区。而大城市、大工业中心等用电单位则往往与动力资源所在地相距较远。也就是说，蕴藏动力资源的地区与电能用户之间往往隔有一定距离，为此就必须架设输电线路将电能送往负荷中心。

要实现大容量、远距离输送电能，还必须有变电站。在电源侧，升压变电站将发电机发出的电能升压成高压、超高压，送电网；在负荷侧，变电站将高压电经过降压变压器降压，再经过配电装置，给各类用户供电。

电力系统示意图如图 1-1 所示，当把一个个地理上分散、孤立运行的发电厂通过输电线路、变电站等相互连接形成一个“电”的网络以供给用户电能时，就形成了现代的电力系统。换句话说，这种由发电机、变电站及电力用户通过输配电线路连接起来的整体，称为电力系统。在电力系统的基础上，加上发电机的原动机（如汽轮机、水轮机等）、原动机的动力部分（如热力锅炉、水库、原子能反应堆等）以及配套设施（如用热设备）等则称为动力系统。

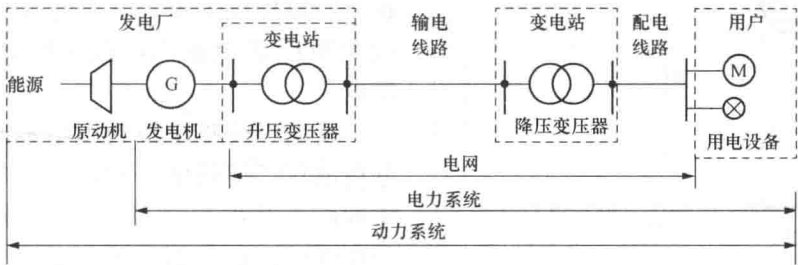


图 1-1 电力系统示意图

去除电源后的电力系统常称为电网，它是由各电压等级的输配电线路、升压和降压变电站及其所属的电力设备所组成的整体。

根据供电容量、供电范围以及电压等级的不同，电网可分为地方电力网、区域电力网和超高压远距离输电网等三种类型。

- （1）地方电力网是指电压为 10、35kV，输电距离为几十公里以内的电力网，主要是城市、工矿区、农村等的配电网；
- （2）区域电力网主要是 110、220kV 级的电网，供电范围广、输电线路长、输送功率大；
- （3）超高压远距离输电网主要由电压为 330~1000kV 的远距离输电线路所组成，它担

负着将远区发电厂的电能送往负荷中心的任务,同时还往往联系几个区域电力网以形成跨省(区)、全国,甚至国与国之间的联合电力系统。

根据在电力系统中的作用不同,电力网可分为输电网和配电网。

(1) 输电网是通过高压、超高压输电线将发电厂与变电站、变电站与变电站连接起来,完成电能传输的电力网络,是电力网中的主网架,电压等级通常是 110kV 以上;

(2) 配电网是从输电网或地区发电厂接受电能,通过配电设施(配电线路、配电站、配电变压器等)就地或逐级分配电能给用户的电力网,电压等级通常是 110kV 及以下。

根据电压等级不同,配电网又可分为高压配电网(35~110kV)、中压配电网(6~20kV)和低压配电网(220/380V);根据地域服务对象的不同,配电网可分为城市配电网和农村配电网;根据配电线路类型不同,配电网可分为架空配电网和电缆配电网。

第二节 发 电 厂

发电厂是电力系统的中心环节,为了便于了解电能生产和电力系统的运行状态,下面对发电厂的类型做一些简单介绍。

发电厂按能源利用方式不同,可以分为火力发电厂、水力发电厂、核电厂、风力发电厂、太阳能发电厂和其他类型发电厂。

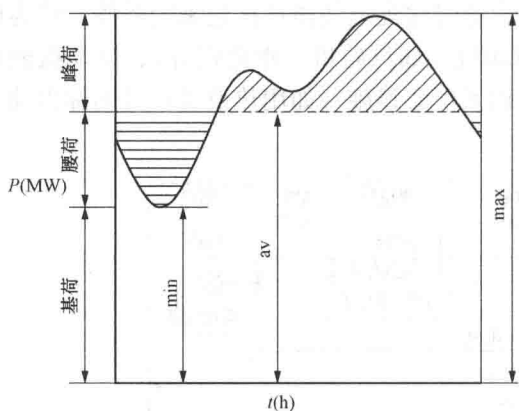


图 1-2 日负荷曲线

发电厂按在系统中的地位和作用不同,可以分为主力电厂、地区电厂和企业自备电厂。主力电厂多为大型水电厂或凝汽式火电厂,担负主要供电任务;地区电厂和企业自备电厂属中小型电厂,多建在负荷中心附近或大型厂矿企业内,直接给该地区或该厂供电。

发电厂按照设备利用率不同,可以分为基荷电厂、腰荷电厂和峰荷电厂。基荷电厂年利用小时数在 5000h 以上;腰荷电厂又称调频电厂,其年利用小时数在 3000~5000h 之间;峰荷电厂又称调峰电厂,其年利用小

时数不到 3000h,它与日负荷曲线的对应关系如图 1-2 所示。

一、火力发电厂

以煤炭、石油或天然气为燃料的发电厂称为火力发电厂。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机,也有少数电厂采用柴油机和燃气轮机作为原动机。

1. 火力发电厂(简称火电厂)的构成和原理

根据火力发电的生产流程,其基本组成部分包括燃烧系统、汽水系统(燃气轮机发电和柴油机发电无此系统)、电气系统、控制系统。

(1) 燃烧系统。火电厂燃烧系统流程示意图如图 1-3 所示,主要由锅炉的燃烧室(即炉膛)、送风装置、送煤(或油、天然气)装置、灰渣排放装置等组成。其作用是完成燃料的燃烧过程,将燃料所含能量以热能形式释放出来,用于加热锅炉里的水。它的主要流程有

烟气流程、通风流程、排灰出渣流程等。对燃烧系统的基本要求是尽量做到完全燃烧,使锅炉效率不小于 90%;排灰符合标准规定。

(2) 汽水系统。火电厂汽水系统流程示意图如图 1-4 所示,主要由给水泵、循环泵、给水加热器、凝汽器、除氧器、水冷壁及管道系统等组成。其作用是利用燃料的燃烧使水变成高温高压蒸汽,以推动汽轮机做功,并使汽水进行循环。它的主要流程有汽水流程、补给水流程、冷却水流程等。对汽水系统的基本要求是汽水损失尽量少;尽可能利用抽汽加热凝结水,提高给水温度。

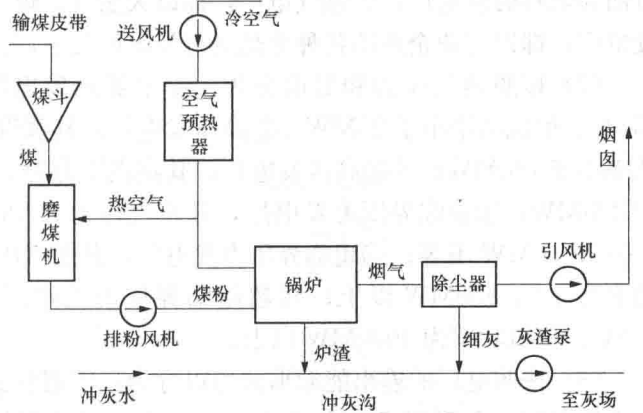


图 1-3 火电厂燃烧系统流程示意图

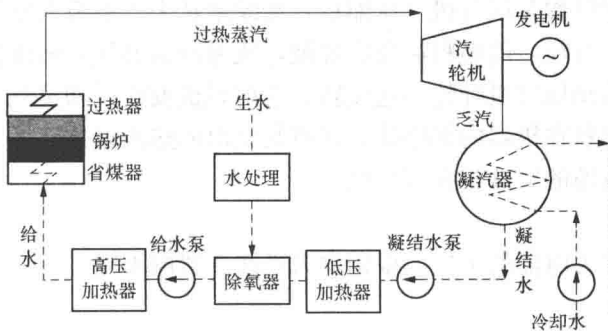


图 1-4 火电厂汽水系统流程示意图

(3) 电气系统。发电厂电气系统流程如图 1-5 所示,主要由汽轮发电机、主变压器、配电设备、开关设备、发电机引出线、厂用电接线、厂用变压器和电抗器、厂用电动机、保安电源、蓄电池直流系统及通信设备、照明设备等组成。其作用是保证按电能质量要求向负荷或电力系统供电。主要流程包括变配电流程、厂用电流程。对电气系统的基本要求是供电安全、可靠;调度灵

活;具有良好的调整和操作功能,保证供电质量;能迅速切除故障,避免事故扩大。

(4) 控制系统。它主要由锅炉及其辅机控制系统、汽轮机及其辅机控制系统、发电机及电工设备控制系统、附属设备控制系统组成。其作用是对火电厂各生产环节实行自动化的调节、控制,以协调各部分的工况,使整个火电厂安全、合理、经济运行,降低劳动强度,提高生产率,遇有故障时能迅速、正确处理,以避免酿成事故。控制系统主要

工作流程包括汽轮机的自动启停控制流程、自动升速控制流程、锅炉的燃烧控制流程、灭火保护系统控制流程、热工测控流程、自动切除电气故障流程、排灰除渣自动化流程等。

2. 火力发电厂的类型

火力发电厂常见分类方法如下。

(1) 按照燃料分为:①燃煤发电厂,即以煤炭作为燃料的发电厂;②燃油发电厂,即以

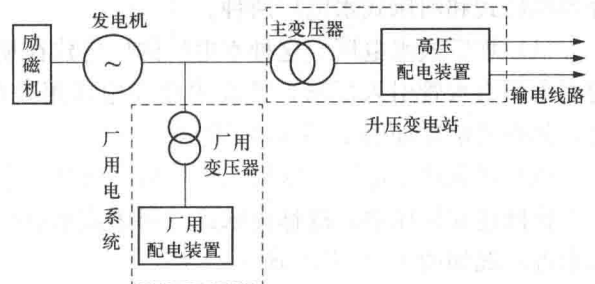


图 1-5 发电厂电气系统流程

石油为燃料的发电厂；③燃气电厂，即以天然气、煤气等可燃气体为燃料的发电厂；④余热发电厂，即以工业企业的各种余热进行发电的发电厂。

(2) 按照蒸汽压力和温度分为：①中低压发电厂，其蒸汽压力为 3.92MPa、温度为 450℃、单机功率小于 25MW；②高压发电厂，其蒸汽压力为 9.9MPa、温度为 540℃、单机功率小于 100MW；③超高压发电厂，其蒸汽压力为 13.83MPa、温度为 540℃、单机功率小于 200MW；④亚临界压力发电厂，其蒸汽压力为 16.77MPa、温度为 540℃、单机功率为 300~1000MW 不等；⑤超临界压力发电厂，其蒸汽压力为 22.11MPa、温度为 550℃、单机功率为 600、800MW 以上；⑥超超临界压力发电厂，其蒸汽压力为 26.25MPa、温度为 600℃、单机功率为 1000MW 以上。

(3) 按照电厂的输出能源形式可以分为：①凝汽式火电厂（通常称为火电厂），其锅炉产生的蒸汽，全部用于发电机发电，由于大量的热量被循环水带走，其效率只有 30%~40%；②热电厂，除发电外，其部分做过功的蒸汽，在中间段被抽出来供给附近用户的暖气或热水，总效率可高达 60%~70%。

(4) 火力发电厂按照原动机的不同分为：①凝汽式汽轮发电厂；②燃气轮机发电厂，燃气轮机以连续流动的气体为工质，其工作过程是压气机（压缩机）连续地从大气中吸入空气并将其压缩；压缩后的空气进入燃烧室，与喷入的燃料混合后燃烧，成为高温燃气，随即流入燃气涡轮中膨胀做功，推动涡轮叶轮带动压气机叶轮一起旋转；③内燃机发电厂和蒸汽—燃气轮机发电厂，内燃机是一种通过使燃料在机器内部燃烧，并将其放出的热能直接转换为动力的热力发动机，常见的有作为自备电源的柴油机和汽油机。

二、水力发电厂

水力发电厂是把水的势能和动能转变为电能的工厂。根据水力枢纽布置的不同，水力发电厂可分为堤坝式、引水式等。

1. 堤坝式水电厂

在河床上游修建拦河坝，将水积蓄起来，形成水库，抬高上游水位形成发电水头，利用坝的上、下游水位落差进行发电，这种水电厂称为堤坝式水电厂。通常，这类水电厂又可细分为坝后式和河床式水电厂两种。

(1) 坝后式水电厂。这种水电厂的厂房建在坝的后面，全部水头压力由坝体承受，水库的水由压力水管引入厂房，推动水轮发电机组发电。坝后式水电厂适合于高、中水头的场合，其布置情况如图 1-6 (a) 所示。

(2) 河床式水电厂。这种水电厂的厂房和挡水堤坝连成一体，厂房也起挡水作用，由于厂房就修建在河床中，故称河床式。河床式水电厂的水头一般较低，大都在 20~30m 以下，其布置情况如图 1-6 (b) 所示。

2. 引水式水电厂

引水式水电厂建筑在山区水流湍急的河道上或河床坡度较陡的地段，由引水渠道提供水头，且一般不需要修筑堤坝，只修低堰即可，如图 1-6 (c) 所示。

3. 抽水蓄能电厂

抽水蓄能电厂是一种特殊形式的水力发电厂，由高落差的上、下游水库和水轮机—发电机—抽水机的可逆机组构成，其布置情况如图 1-6 (d) 所示。抽水蓄能电厂可以实现对电能的变相存储，当系统处于低负荷运行时，电厂利用系统富余的电力将下游水库的水抽到上

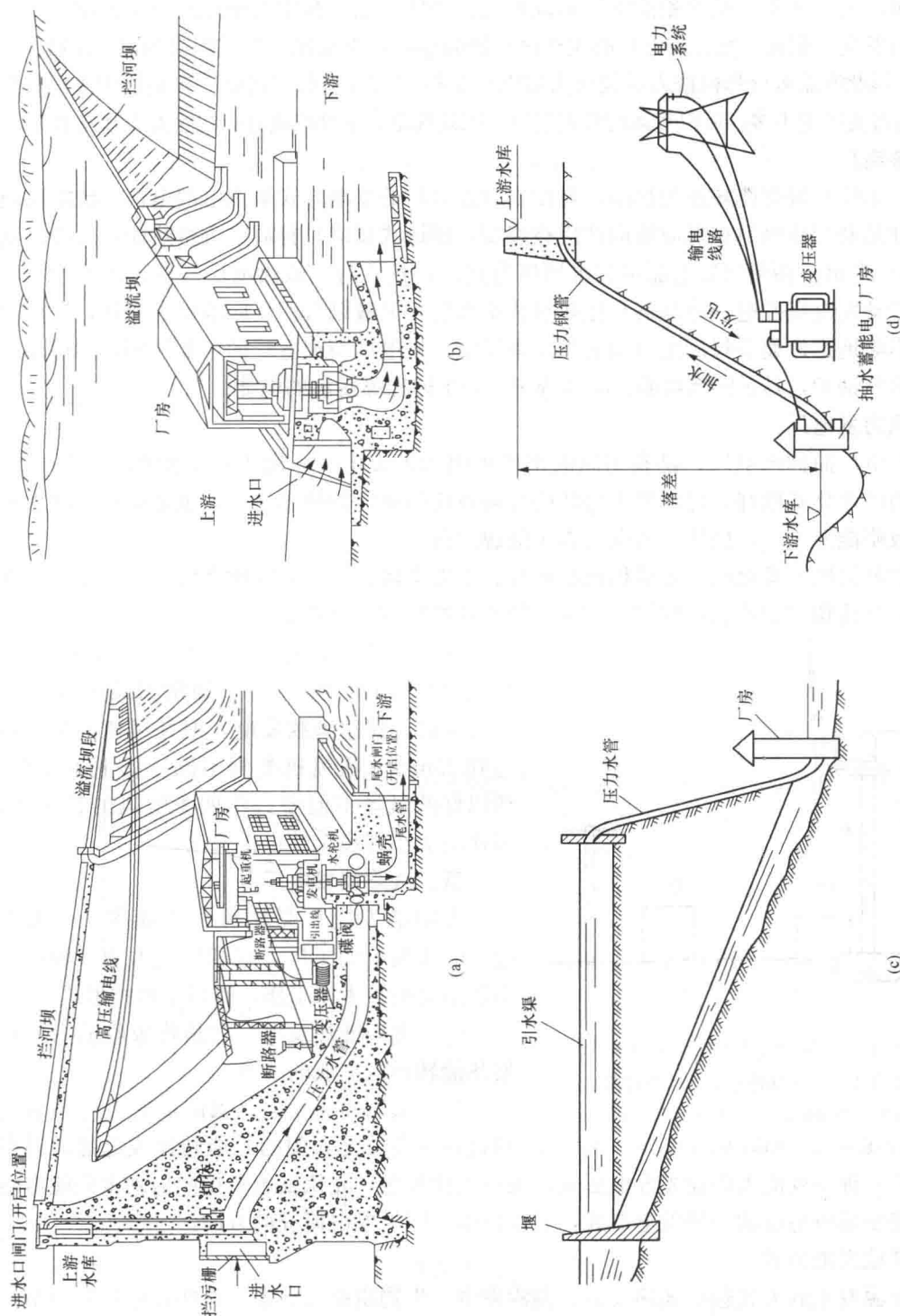


图 1-6 水电厂的类型
(a)坝后式水电厂；(b)河床式水电厂；(c)引床式水电厂；(d)抽水蓄能电厂

游水库中,将电能转换为水的势能储存,此时机组按电动机—水泵方式工作;待电力系统处于高负荷、电力不足时,上游水库放水发电,将水的势能释放转换为电能,此时机组按水轮机—发电机的方式工作。抽水蓄能电厂可以调频、调峰、填谷和作为系统的备用容量。

与火力发电厂相比,水力发电厂的生产过程较简单,易于实现生产过程自动化,检修工作量也较少,因此所需运行和检修人员较火力发电厂少得多。由于水力发电厂在运行中不消耗燃料,其他运行支出也不多,所以年运行费用很少,因此凡是有条件的地方,均应大力开发水电。

三、核电厂

核电厂是将核裂变能转换为热能,再按火力发电厂的发电方式来发电的电厂。核能发电的基本原理是利用核燃料在反应堆内产生核裂变(即链式反应)释放出大量热能,由冷却剂(水或气体)带出,在蒸汽发生器中将水加热为蒸汽,然后与一般火电厂一样,用蒸汽推动汽轮机再带动发电机发电。冷却剂在把热量传给水后,又被泵打回反应堆里去吸热,这样反复循环,不断地把核裂变释放的热能引导出来发电。核电厂与火电厂的主要区别是用核反应堆代替了蒸汽锅炉,1kg核燃料铀235约等于2700t标准煤发出的电能。

四、风力发电厂

风力发电厂简称风电厂,是利用风能来产生电力的发电厂,属于再生能源发电厂的一种。风能的产业化基础好,是世界上公认的可商业化的新能源技术之一,也是最有可能大规模发展的战略能源之一,位居非水电可再生能源之首。

一般常见的风力发电机主要结构包括叶片、主发电机、塔架,除此之外,还具备自动迎风转向、叶片旋角控制及监控保护等部分。风力发电原理示意图如图1-7所示。

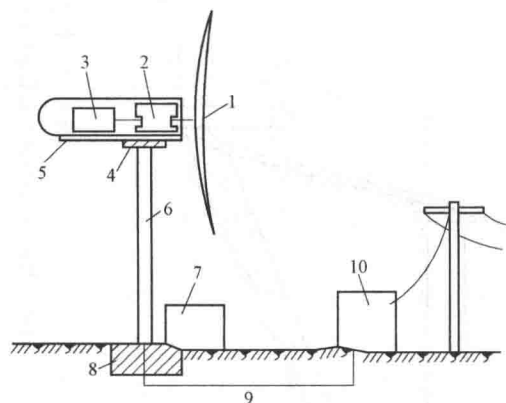


图 1-7 风力发电原理示意图

1—风力机;2—升速齿轮箱;3—发电机;

4—可变向驱动装置;5—底板;6—塔架;

7—控制和保护装置;8—基础;9—电缆;10—配电装置

光伏电池是一种主要的太阳能光伏发电形式,也叫光伏发电。光伏发电是把照射到太阳能电池上的光直接变换成电能的一种发电形式,它是目前太阳能发电研究的方向。

六、其他发电方式

其他能源发电的方式包括地热发电、潮汐发电、生物质能发电等。这些发电厂的容量一般不大,是电力系统的一种补充。

正常运转时的风速必须大于2~4m/s(依发电机不同而有所差异),通常当风速达10~16m/s时,即达满载发电,但是风速太强,即达到25m/s(依风机类别不同)以上也不行。所以好的风场不但要一年四季吹风的日子多,风速的大小和稳定性也很关键。

五、太阳能发电厂

太阳能发电厂是用可再生能源——太阳能——来发电的工厂,它利用把太阳能转换为电能的光电技术来工作,有以下两种形式:

(1) 太阳能热发电。它是将吸收的太阳辐射热能转换成电能的装置。

(2) 太阳能光发电。太阳能光发电不通过热过程而直接将太阳的光能转换成电能,其中

第三节 变 电 站

变电站是联系发电厂和用户的中间环节，起着变压和分配电能的作用。从发电厂送出的电能一般经过升压后才能远距离输送，再经过多次降压后才能供用户使用，所以电力系统中变电站的数量多于发电厂的数量。据统计，系统中变压器的容量一般是发电机容量的 7~10 倍。图 1-8 为某变电站一次系统接线图，图中接有大、中容量的水电厂和火电厂，水电厂通过 500kV 的超高压输电线路接至枢纽变电站，经此变电站和系统的 220、110kV 电网相联系，系统的 220kV 电网构成环形网络，这样可以提高供电的可靠性。

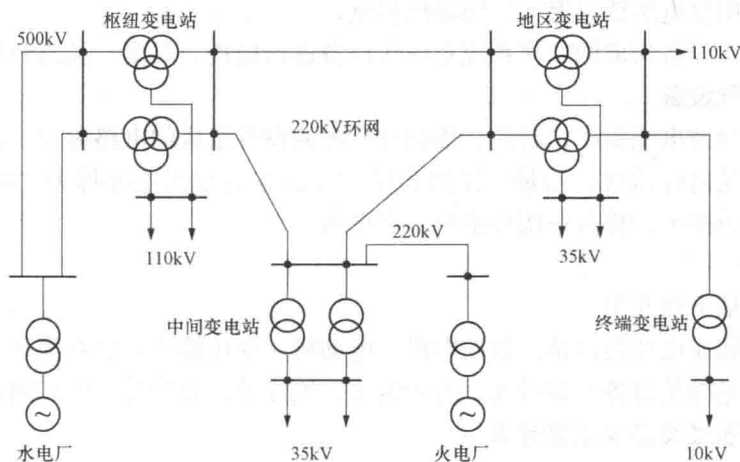


图 1-8 某变电站一次系统接线图

根据其在电力系统中的地位和供电范围的不同，系统中的变电站通常分成以下几类：

(1) 枢纽变电站。这类变电站位于电力系统的枢纽点，它连接电力系统高压和中压的几个部分，连接着电力系统的多个大电厂和大区域，电压等级常为 330~1000kV 等。枢纽变电站在系统中的地位非常重要，若枢纽变电站发生事故出现全站停电时，将导致系统解列，甚至可能出现全系统崩溃的灾难。

(2) 中间变电站。高压侧与枢纽变电站连接，以穿越功率为主，在系统中起交换功率的作用或使高压长距离输电线路分段的变电站，称为中间变电站。它一般汇集 2~3 个电源，电压等级多为 220kV，除交换功率外，还可以为所在地区用户供电或接入一些中小型电厂。因此，这样的变电站主要起中间环节的作用，并因此称作中间变电站，有时又称穿越变电站。当中间变电站全站停电时，将引起区域网络解列，影响较大。

(3) 地区变电站。这类变电站的高压侧电压一般为 110~220kV，低压侧一般为 10~110kV，其主要任务是对地区用户供电，所以它是一个地区或城市的主要变电站。全站停电后，仅使该地区或该城市中断供电，影响面较小。

(4) 终端变电站。终端变电站位于配电线路的终端，接近负荷处，高压侧为 10~110kV 引入线，经降压后直接向用户供电。这类变电站若全站停电，影响更小，只是用户受到损失。其中，企业变电站是大、中型企业的专用变电站。

变电站还有很多分类方式，如升压变电站、降压变电站、联络变电站等。

开关站是一个常用的概念,它是指有开关设备(通常还包括母线),但没有电力变压器的配电站。一般来说,开关站电压等级在 10kV 及以上,作用是将电网来的电能分配给几个或者更多的变电站,或者在发电厂用于汇集多台发动机的电能,统一升压后送往系统。

第四节 发电厂变电站电气部分

发电厂变电站的电气部分总体构成如图 1-5 所示,其主要作用如下:

- (1) 通过与原动机同轴的发电机,将机械能转换为电能;
- (2) 通过变压器和配电装置等将电能汇集、变换并配送至电力传输网络;
- (3) 通过厂用供电系统,保证厂用辅机供电;
- (4) 通过二次设备构成的二次系统对一次设备进行监视、测量、控制和保护。

一、主要电气设备

通常把直接参与电能生产、转换、传输和分配的设备组成的电路称为一次回路或一次系统;把对一次系统进行监视、测量、控制和保护的设备组成的电路称为二次回路或二次系统。对应的电气设备分别称为一次设备和二次设备。

1. 一次设备

一次设备包括下列几类。

- (1) 生产与转换电能类设备。如发电机、电动机、变压器等,这些都是最主要的设备。
- (2) 导电与绝缘类设备。如母线、电力电缆、绝缘子、套管等。它们按设计要求,将有关电器设备电气连接及绝缘支撑起来。
- (3) 接通或断开电路类设备。如断路器、隔离开关、空气断路器、接触器、熔断器等。它们的作用是在正常运行或事故时,将电路闭合或断开,以满足控制和保护的要求。
- (4) 过电压防护与保护类设备。如防御过电压的避雷器、避雷针、接地网及集中接地极、接地开关等。它们的作用是在正常运行或过电压时,保证电力设备的安全和保护工作人员的安全。
- (5) 限制与补偿类设备。如限制短路电流的电抗器,无功补偿电容器、无功补偿电抗器等,它们的作用是遏制某些电气技术指标在局部地区的过高或过低现象。
- (6) 互感器。它主要指电压互感器和电流互感器,它们将一次电路中的电压和电流降至较低的值,供给控制和保护装置使用。互感器是二次系统与一次系统之间的联系纽带。

2. 二次设备

二次设备的任务是对一次设备进行测量、控制、监视和保护等,虽然它们不直接参与电能的生产过程,但对保证一次设备的正常有序工作,起着十分重要的作用。

- (1) 测量仪表及信号设备。如电压表、电流表、功率表、功率因数表等,它们用于测量和监视一次电路中的运行参数值,信号设备给出信号或显示运行状态标志。
- (2) 继电保护及自动装置。它们用以迅速反应电气故障或不正常运行情况,并根据要求进行切除故障、发生信号或做相应的调节。
- (3) 操作及控制设备。操作设备一般都带有操作把手、按钮等,作用于开关设备,实现对电路的闭合或断开操作;控制设备实现对如有功率、无功功率、变比等电气参数的调整。
- (4) 直流设备。如直流发电机组、蓄电池、整流装置等,它们供给保护、操作、信号以

及事故照明装置等二次设备的直流用电。

二、电气设备的额定参数

用以表明电气设备在一定条件下能长期工作的最佳运行工况的特征量叫作额定参数, 各类电气设备的主要额定参数有额定电压、额定电流和额定容量等。

1. 额定电压

额定电压就是用电气设备正常工作时的电压。它是按长期正常工作时具有最佳的技术性能和最大经济效益所规定的电压, 也就是说, 在额定电压工作时, 电气设备具有最佳技术状态和最大经济效益。

为使电气设备实现生产的标准化和系列化、设计和选型的标准化、电器的互相连接和更换、备件的生产和维修等, 目前, 我国规定的交流系统标称电压主要有 0.4、3、6、10、20、35、66、110、220、330、500、750、1000kV 等。

通常把 1kV 及以下称为低压、1~220kV 称为高压、330~750kV 称为超高压、1000kV 及以上称为特高压。我国国家电网公司的规范性文件中也把 1~20kV 的电压称为中压。

2. 额定电流

电气设备的额定电流是指在一定的额定环境温度下, 允许长期连续通过设备的最大电流, 并且此时设备的绝缘和载流部分被长期加热的最高温度不超过所规定的允许值。电气设备长期工作电流不应超过它的额定电流。

标准电流值是采用的 R10 系列, 标准电流等级规定为 1、1.25、1.6、2、2.5、3.15、4、5、6.3、8 及其 10^n 倍 (n 为整数), 小于 1A 的也遵从上述原则。

电流等级因具体设备的用途或性能不同而有些差异。国内认为, R10 系列中的 1.6、3.15、6.3、8 替换为 1.5、3、6、7.5 及其 10^n 倍 (n 取正整数) 可能更合理, 并有应用。

3. 额定容量

发电机、变压器、电动机是用于转换或传递功率的, 所以都相应规定了额定容量, 其规定条件与额定电流相同。

在变压器名牌上规定的容量就是额定容量, 它是指分接开关位于主分接时额定空载电压、额定电流与相应系数的乘积。对三相变压器而言

$$\text{额定容量} = \sqrt{3} \times \text{额定空载线电压} \times \text{额定线电流}$$

额定容量一般以 kVA 或 MVA 表示。额定容量是在规定的整个正常使用寿命期间, 如 30 年, 所能连续输出最大容量。而实际输出容量为有负载时的电压 (感性负载时, 电压小于额定空载电压)、额定电流与相应系数的乘积。

发电机的原动机只能提供有功功率, 所以一般以有功功率 (kW) 表示, 当用视在功率 (kVA) 表示时, 需表明额定功率因数。

$$\text{视在功率 } S_N (\text{kVA}): S_N = \sqrt{3} U_N I_N$$

$$\text{有功功率 } P_N (\text{kW}): P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N$$

$$\text{无功功率 } Q_N (\text{kvar}): Q_N = \sqrt{3} U_N I_N \sin \varphi_N$$

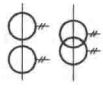
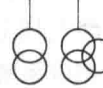
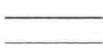
三、电气接线

各种电气设备必须根据工作的要求和它们的作用, 依照一定顺序连接起来而构成供电流、能量或信号流通的电路。在发电厂变电站内, 一次设备通过导体连接起来, 实现预期生

产流程的电路就是一次系统或电气主接线或电气主系统。相应的，二次设备连接成的电路就是二次系统或二次回路。

用国家规定的图形和文字符号将电气主接线和二次回路绘制成的电路图，分别称为电气主接线图和电气二次接线图，电气主接线图常用电力设备的图形及文字符号见表 1-1。因为电气一次系统是三相对称的，通常将电气主接线图画成单线图的形式，即用一条线代表三相电路，图 1-9 为某火电厂的电气主接线，图中开关设备位置为正常状态（断路器、隔离开关在断开位置）。电气主接线图能说明电能的输送和分配关系，表征各种运行方式，所以它是运行操作过程中切换电路的依据。

表 1-1 电气主接线图常用电力设备的图形及文字符号

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
交流发电机		G	电动机		M
双绕组变压器		T	三绕组自耦变压器		T
三绕组变压器		T	调相机		G
隔离开关		QS	断路器		QF
熔断器		FU	消弧线圈		L
单、双铁芯双 次级绕组电流互 感器		TA	双绕组、三绕 组电压互感器		TV
普通电抗器		L	分裂电抗器		L
负荷开关		QF	避雷器		F
接触器的主动 合、主动断触头		K	火花间隙		F
母线、导线和 电缆		W	电容器		C
电缆终端头		WC	接地		E

第二章 绝缘、导电与电力设备选择原理

第一节 绝缘与绝缘子

绝缘和按照一定要求组成的绝缘系统（绝缘结构）是支撑高电压设备的基础，电力设备只有具有可靠的绝缘结构，才能够可靠地工作。良好的绝缘可以有效地避免短路和危及人身安全，是保证电力设备与输电线路安全运行和防止发生触电事故的最基本、最可靠的手段。

一、绝缘

所谓绝缘就是用绝缘物质阻止导电元件之间的电传导，也就是用不导电的物质将带电体隔离或包裹起来，使之与不同电位的其他物体之间不相接触、不相关联，从而保持各自的不同电位。

不导电的物质就是绝缘介质，理想的绝缘介质是完全不导电的。然而给介质施加高压后其内部及表面仍会有微小的泄漏电流流过。正常工作状态下电压在一定范围内变化，泄漏电流大致与电压成正比；升高电压到某一值后，泄漏电流开始随电压非线性地增加，这是介质发生了局部放电现象；电压进一步升高电压至某一临界值后，泄漏电流将急剧增大，介质变为导体，即发生了绝缘击穿现象。

固体、液体类绝缘介质被击穿以后，将不可逆地完全丧失电气绝缘性能；而气体类绝缘介质被击穿后，一旦去掉外界因素（强电场）后，不论其击穿次数如何，即可自行快速恢复其固有的绝缘性能，前者称为非自恢复绝缘，后者称为自恢复绝缘。可见，绝缘又可分为非自恢复绝缘和自恢复绝缘两类。非自恢复绝缘在放电后其绝缘性能不能自行恢复，击穿后绝缘将毁坏而彻底失效，由固体电介质、液体电介质构成的设备内部绝缘通常是非自恢复绝缘；自恢复绝缘在放电或击穿后，其绝缘性能可以自行恢复，由气体间隙和与空气相接触的设备外绝缘，通常都是自恢复绝缘。

内绝缘是指设备内部的固体、液体和气体绝缘部分，设备外部大气条件对内绝缘基本没有影响。但材料的老化、高温、连续加热以及受潮等因素对内绝缘的绝缘强度有不利的影响。

外绝缘是指直接与大气相接触的电力设备的各种不同形式的绝缘，包括空气间隙及设备固体绝缘的外露表面。外绝缘长期在大气环境下运行，除了承受电气、机械各种应力外，还承受风、雨、雪、雾、雷电和温度变化等自然条件的影响，还受到表面污秽和外力损坏等影响。电力设备的外绝缘主要有两种方式，即空气间隙和绝缘子（包括套管）。

空气间隙是良好的绝缘体。输电线路的相与地、相与相、相与中性点及对低电压绕组端子之间一般都采用空气间隙进行外绝缘，正因为空气间隙的绝缘，当人离开带电设备一定的距离后，就不会触电。

二、绝缘子

绝缘子是用于支撑导电元件并使其绝缘的器件，它通常安装在不同电位的导体之间或导体与地电位构件之间，能够耐受工作电压和机械应力。常见绝缘子的外形及结构如图 2-1

所示。

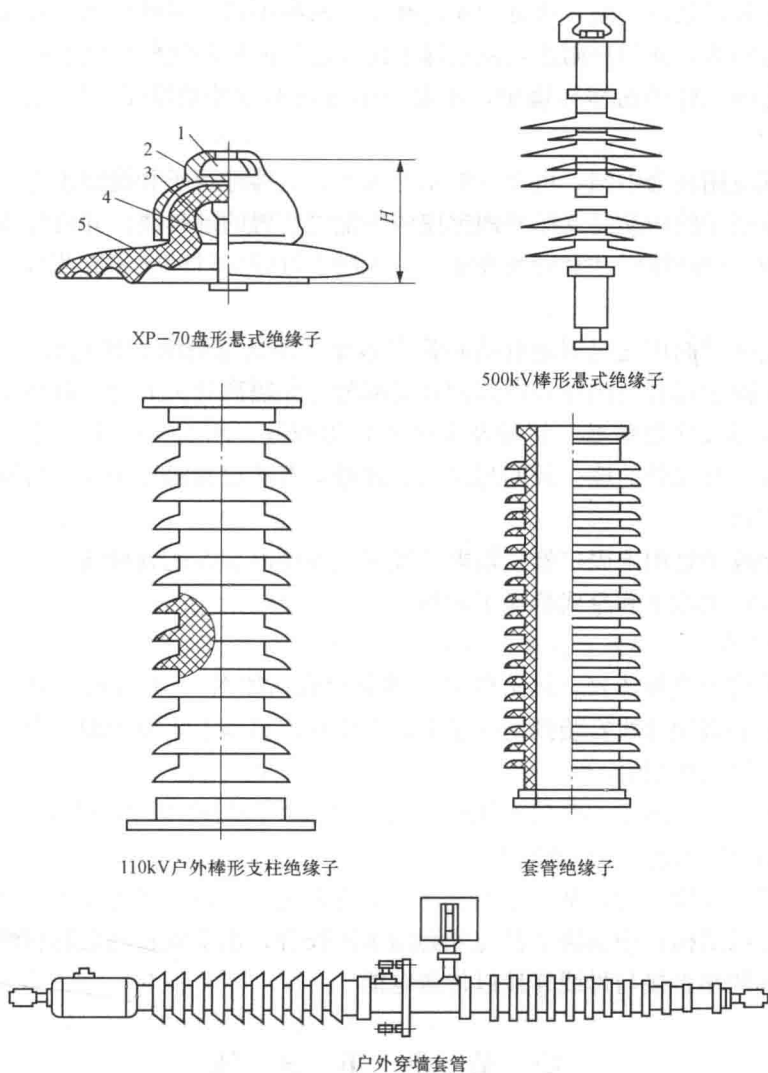


图 2-1 常见绝缘子的外形及结构

1—锁紧销；2—钢帽；3—胶合剂；4—钢脚；5—伞裙

1. 绝缘子的作用

绝缘子在电力系统中起着两个基本作用：一是在机械上支撑和固定裸载流导体；二是在电气上使裸载流导体与地绝缘，或使装置中处于不同电位的裸载流导体之间绝缘。

这两个作用必须同时得到保证，即绝缘子必须具有足够的机械强度和绝缘强度，并能在恶劣环境（高温、潮湿、多尘埃、污秽等）下安全运行。绝缘子不应该由于环境和负荷条件发生变化导致的各种机电应力而失效，否则绝缘子就不会发挥绝缘作用，引发短路或损坏电力设备。

2. 绝缘子的类型

绝缘子根据结构不同，可分为支柱式、悬式、防污型和套管型绝缘子。

绝缘子根据材料不同,可分为陶瓷绝缘子、玻璃绝缘子、合成绝缘子、半导体绝缘子。

绝缘子根据装设地点不同,可分为屋内和屋外两种形式。屋外绝缘子有较大的伞裙,用以增长表面爬电距离,并阻断雨水,使绝缘子能在恶劣的屋外气候环境中可靠地工作。在多尘埃、盐雾和化蚀气体的污秽环境中,还需使用防污型屋外绝缘子。屋内绝缘子无伞裙结构,也无防污型。

绝缘子根据应用场合不同,可分为电站绝缘子、电器绝缘子和线路绝缘子。

(1) 电站绝缘子的用途是支撑和固定屋内外配电装置的硬母线,并使母线与地绝缘。电站绝缘子又分为支柱绝缘子和套管绝缘子,后者用于母线穿过墙壁和天花板,以及从屋内向屋外引出之处。

(2) 电器绝缘子的用途是固定电器的载流部分,分支柱绝缘子和套管绝缘子两种类型。支柱绝缘子用于固定没有封闭外壳电器的载流部分,如隔离开关的动、静触头等。套管绝缘子一般用在高压母线穿过墙壁、楼板及配电装置隔板处,用它支撑固定母线,保持对地绝缘,同时保持穿过母线处的墙、板的封闭性。此外,有些电器绝缘子还有特殊的形状,如柱状、牵引杆等形状。

(3) 线路绝缘子是用来固定架空输电导线和屋外配电装置的软母线,并使它们与接地部分绝缘,分为针式绝缘子和悬式绝缘子两种。

3. 绝缘子的结构

各类绝缘子均由绝缘体和金属附件两大部分构成,如图 2-1 所示。为了将绝缘子固定在接地的支架上和将硬母线安装到绝缘子上,需要在绝缘体上牢固地胶结金属配件,即金属附件,其主要起固定作用。

电站绝缘子与支架固定的金属附件称为底座或法兰,与母线连接的金附件称为顶帽。底座和顶帽均做镀锌处理,以防锈蚀。

套管绝缘子(穿墙套管)基本上由瓷套,中部金属法兰盘及导电体等三部分组成。瓷套采用纯瓷空心绝缘结构;中部法兰盘与瓷套用水泥胶合,用来安置固定套管绝缘子;瓷套内设置导电体,其两端直接与母线连接以传送电能。

第二节 常 用 导 体

发电厂变电站中常用的导体可以分为硬导体和软导线两类。根据截面形状的不同,硬导体又可以分为矩形导体、槽形导体、管形导体;软导线有钢芯铝绞线、组合导线、分裂导线和扩径导线等多种。

外部包覆着绝缘介质的导体是绝缘导体,没有包覆绝缘介质的导体就是裸导体。

根据结构形式的不同,导体可以分为母线、导线和电力电缆。将发电机、变压器等大型电力设备与各种配电装置连接的导体称为母线,它起着汇集、分配和传送电能的作用;导线和电力电缆主要用来远距离传送电能。

一、导线

常用电力架空线采用裸导线,根据不同的要求有圆形单股导线、普通绞线(裸绞线)、钢芯铝绞线和特种导线等几类。

(1) 单股导线。此类导线主要有铝包钢线、钢包钢线、镀锌低碳钢线、硬铜圆单股线

(特殊环境使用)等4种。其线径细、强度高、载流容量小,常用于小容量配电线路或通信架空线,硬铜圆单线因价格昂贵仅用于特殊环境中。

(2) 普通绞线。此类导线主要有铝绞线、铝合金绞线、铝包钢丝绞线、镀锌钢绞线、硬铜丝绞线等5种。一般铝绞线用于小跨距的配电线路。铝合金绞线常用于一般输配电线路。铝包钢丝绞线主要用于重冰区或大跨距导线、通信或避雷线等。

(3) 组合绞线。此类导线是用两种单股线(即导电金属单股线和高强度金属单股线)绞制而成,如钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线、钢芯铝包钢绞线等。此类导线是电网中应用最为广泛的导体,具有抗拉强度高、价格低等优点。钢芯铝绞线的截面图如图2-2所示。

(4) 特种导线。此类导线是指防电晕的扩径型钢芯铝绞线、高强度大跨距导线及自阻尼导线等。此类导线的特点是截面大,抗拉强度高,适用于重冰区超高压架空线路。

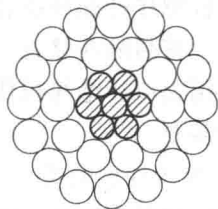


图 2-2 钢芯铝绞线的截面图

二、母线

在发电厂和变电站的各级电压配电装置中,将发电机、变压器等大型电力设备与各种电器设备连接的导体称为母线。

母线的作用是汇集、分配和传送电能。狭义地讲,母线指主接线中的主母线;广义地讲,母线还包括:①电气主接线的主母线和设备之间的连接线;②厂用电部分的厂用母线;③电气二次系统中直流系统的直流母线;④二次部分的小母线等。

母线根据使用的材料不同,可分为铜母线、铝母线、铝合金母线和钢母线。铜母线导电率高、耐腐蚀,主要用在易腐蚀的地区(如化工厂附近或沿海地区等);铝母线质轻、价廉,但机械强度较小,用在屋内和屋外配电装置中;铝合金母线机械强度大,广泛用在屋内和屋外配电装置中;钢母线的机械强度大,但导电性差,仅用在高压小容量电路(如电压互感器回路以及小容量厂用、站用变压器的高压侧)以及接地装置回路中。

母线根据外形和结构形式的不同,可分为敞露母线和封闭母线。

(一) 敞露母线

根据敞露母线的截面形状的不同,它可以分为以下几类:

(1) 矩形截面母线。常用在35kV及以下,持续工作电流在4000A及以下的屋内配电装置中。

(2) 槽形截面母线。常用在35kV及以下,持续工作电流在4000~8000A的配电装置中。优点:电流分布均匀,集肤效应小、冷却条件好、金属材料的利用率高、机械强度高。

(3) 管形截面母线。常用在110kV及以上,持续工作电流在8000A以上的配电装置中。优点:集肤效应小,电晕放电电压高,机械强度高,散热条件好。

(4) 绞线圆形软母线。钢芯铝绞线由多股铝线绕单股或多股钢线的外层构成,一般用于35kV及以上屋外配电装置中。组合导线由多根铝绞线固定在套环上组合而成,用于发电机与屋内配电装置或屋外主变压器之间的连接。

(二) 封闭母线

封闭母线是用外壳将导体连同其绝缘介质一起封闭起来的母线。用于单机容量在200MW以上的大型发电机组、发电机与变压器之间的连接线以及厂用电源和电压互感器等分支线。

1. 封闭母线的结构

(1) 载流导体。它一般用铝制成, 采用空心结构以减小集肤效应。截面形状有矩形、槽形和管形, 当电流很大时可采用水内冷圆管母线。

(2) 支柱绝缘子。它采用多棱边式结构以加长漏电距离, 每个支撑点可采用 1~4 个绝缘子支撑。一般采用 3 个绝缘子支撑的结构, 具有受力好、安装检修方便、可采用轻型绝缘子等优点。

(3) 保护外壳。它由 5~8mm 的铝板制成矩形或圆管形, 在外壳上设置检修与观察孔。

(4) 伸缩补偿装置。在一定长度范围内设置焊接的伸缩补偿装置; 在与设备连接处适当部位设置螺栓伸缩补偿装置。

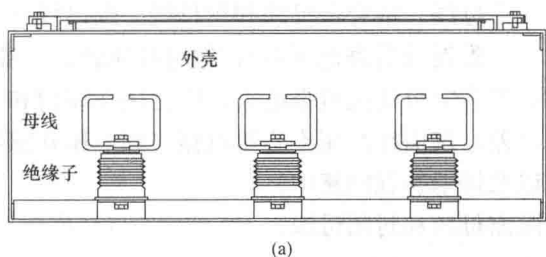
(5) 密封隔断装置。封闭母线靠近发电机端及主变压器接线端和厂用高压变压器接线端, 采用大口径绝缘板作为密封隔断装置, 并用橡胶圈密封, 以保证区内的密封维持微正压运行的需要。

2. 封闭母线的类型

(1) 按外壳材料封闭母线可分为塑料外壳母线和金属外壳母线。

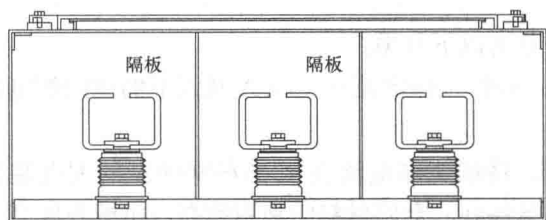
(2) 按外壳与母线间的结构形式封闭母线可分为:

1) 共箱封闭母线。如图 2-3 (a) 所示, 三相母线设在没有相间隔板的公共外壳内, 外壳为矩形, 母线截面为槽形, 导体和外壳之间通过绝缘子支撑和绝缘。只能防止绝缘子免受污染和外物所造成的母线短路, 而不能消除发生相间短路的可能性。



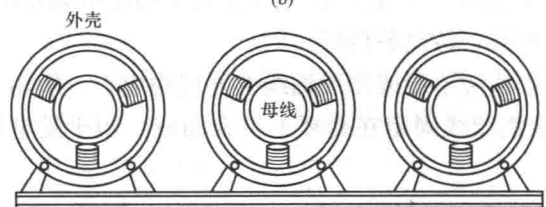
(a)

2) 隔相封闭母线。如图 2-3 (b) 所示, 三相母线设在相间有金属 (或绝缘) 隔板的金属外壳之内, 外壳为矩形, 母线截面为槽形, 导体和外壳之间通过绝缘子支撑和绝缘。可防止相间短路, 在一定程度上减少母线电动力和周围钢构的发热, 但是仍然可能发生因单相接地而烧穿相间隔板造成相间短路。



(b)

3) 离相封闭式母线。如图 2-3 (c) 所示, 每相导体分别用单独的铝制圆形外壳封闭, 外壳为圆形, 母线截面为圆形, 导体和外壳之间通过绝缘子支撑和绝缘。



(c)

图 2-3 封闭母线的结构

(a) 共箱封闭母线; (b) 隔相封闭母线; (c) 离相封闭母线

3. 封闭母线的特点

母线封闭于外壳中, 不受自然环境和外物的影响, 能防止相间短路, 同时外壳多点接地, 保证了操作人员接触外壳的安全; 母线附近钢构中的损耗和发热显著减小; 由于外壳环流和涡流的屏蔽作用, 短路时母线之间的电动力大为减小。

(三) 绝缘母线

绝缘母线就是在原敞露母线的外表面

直接包裹绝缘介质,实现母线全绝缘,取消支柱绝缘子的支撑,直接架在钢架结构上,在电流小于 2500A 的线路中得到电力设计部门的广泛认同,并且在实际工程中已有不少应用。

绝缘母线由导体、环氧树脂渍纸绝缘、地屏、端屏、端部法兰和接线端子构成。中心是导体,导电体的表面是绝缘屏蔽层,屏蔽层的表面是接地保护层。最适用于紧凑型变电站、地下变电站及地铁用变电站,占地面积减少,运行可靠。

三、电力电缆

电力电缆是由外包绝缘层和保护层的一根或多根相互绝缘且用来传输大功率电能的导线。它可以通过几十安至几千安的大电流,耐受高达 500kV 以上的高电压。

1. 电力电缆的类型

(1) 按电压等级分:低压电缆(1kV 及以下);中压电缆(3、6、10、35kV);高压电缆(60kV 及以上)。

(2) 按特殊需求分:输送大容量电能的电缆、阻燃电缆和光纤复合电缆等。

(3) 按电缆绝缘材料和结构分:油浸纸绝缘电缆、聚氯乙烯绝缘电缆(简称塑力电缆)、交联聚乙烯绝缘电缆(简称交联电缆)、橡皮绝缘电缆、高压充油电缆和 SF₆ 气体绝缘电缆。

2. 电力电缆的结构

电力电缆的结构如图 2-4 所示,不同产品的结构不尽相同。从内到外,电缆结构大致可描述为电缆线芯→绝缘层→内护层→外护层→铠装形式。

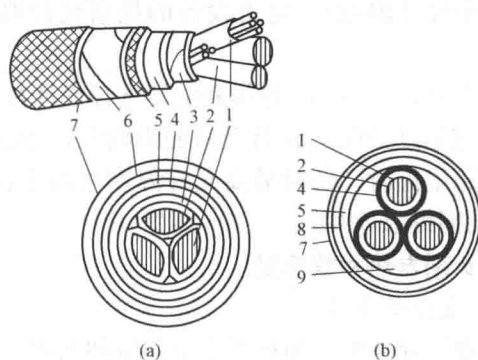


图 2-4 电力电缆的结构

(a) 三相统包层; (b) 分相铅包层

1—线芯; 2—相绝缘; 3—纸绝缘; 4—铅包皮; 5—麻衬;
6—钢带铠甲; 7—麻被; 8—钢丝铠甲; 9—填充物

(1) 电缆线芯。它的作用是传导电流,通常由多股铜绞线或铝绞线制成。根据导体的芯数,可分为单芯、双芯、三芯和四芯电缆;根据线芯截面标准化为 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、625、800mm²。

(2) 绝缘层。它的作用是使各导体之间及导体与包皮之间相互绝缘。

(3) 保护层。它的作用是保护导体和绝缘层,防止外力损伤、水分侵入和绝缘油外流。分内保护层和外保护层。内保护层由铝、铅或塑料制成,外保护层由内衬层和外被层组成。

第三节 电流流过导体时的热效应

一、概述

正常运行时,流过导体和电器上的电流将产生损耗。这些损耗包括:①电流作用下,导体自身电阻产生的电阻损耗;②电压作用下,绝缘材料中的介质损耗;③电磁场作用下,导体周围的金属构件中产生的涡流和磁滞损耗。这些损耗都将转化为热能使导体和电器的温度