

177160

高等学校教材

//////////////////// 专 科 适 用 //////////////////////

发电厂电气设备及运行

北京电力高等专科学校 宗士杰

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为火电厂集控运行专业教材，主要包括：电力系统基础知识、高低压开关电器、电气主接线、厂用电、配电装置及运行、短路电流计算、电气设备选择、电力网的基本计算、电力系统运行、发电厂的二次接线、继电保护和自动安全装置等。全书共十三章，每章后设有习题，供读者参考选用。

本书系高等专科学校集控运行专业教材，也可供电力工程有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂电气设备及运行/宗士杰编.-北京：中国电力出版社，1997

高等学校教材 专科适用

ISBN 7-80125-303-5

I. 发… II. 宗… III. 发电厂-电气设备-运行-高等学校-教材 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 01752 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1997 年 10 月第一版 1997 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28 印张 635 千字

印数 0001—2860 册 定价 25.60 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

本书是为火电厂集控运行专业编写的教材。本书编写提纲经原能源部电力高等专科学校委员会发电教学组审定。在编写过程中，力求概念清楚、突出重点、深入浅出，以适合高等专科学校教学的要求。书中各章附有复习题与习题，供参考选用。

本书第一章至第八章、第十二、十三章由宗士杰副教授编写；第九章由张志刚讲师编写；第十、十一章由李秋田副教授编写。全书由宗士杰统稿并担任主编。

本书由郑仁贤高级工程师主审，并提出许多宝贵的意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1997年1月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 我国电力工业发展简介	1
第二节 发电厂的类型	1
第二章 电力系统基础知识	6
第一节 电力系统概述	6
第二节 发电厂电气设备概述	9
第三节 额定电压和额定电流	12
第四节 电力系统中性点运行方式	14
第五节 接地装置	24
习题	29
第三章 电气设备	30
第一节 开关电器中的电弧	30
第二节 低压电器	34
第三节 绝缘子和母线	45
第四节 高压熔断器	57
第五节 隔离开关	58
第六节 高压断路器	62
第七节 互感器	84
习题	96
第四章 发电厂和变电所的电气主接线	98
第一节 单母线接线	98
第二节 双母线接线	103
第三节 桥形接线	108
第四节 发电厂的电气主接线	110
第五节 变电所的电气主接线	113
习题	114
第五章 发电厂的厂用电	115
第一节 概述	115
第二节 厂用电接线	120
第三节 电动机起动和自起动电压校验	124
第四节 发电厂厂用电接线实例	127
习题	133
第六章 配电装置及其运行	135

第一节	概述	135
第二节	大气过电压及保护措施	140
第三节	发电机引出线装置	148
第四节	屋外配电装置	156
第五节	成套配电装置	162
习题		165
第七章	电力系统短路	166
第一节	短路的一般概念	166
第二节	标幺值	169
第三节	计算电路和等值电路的化简	171
第四节	由无限大容量电力系统供电电路内短路	177
第五节	由发电机供电电路内的短路	183
第六节	不对称短路	187
习题		208
第八章	电器选择	212
第一节	短路电流的电动力和发热	212
第二节	电器选择	220
习题		230
第九章	发电厂二次回路	232
第一节	发电厂的控制方式与二次回路的概念	232
第二节	发电厂和变电所的测量监察系统与闪光装置	238
第三节	高压断路器控制与信号	246
第四节	隔离开关操作闭锁与厂用电动机联锁回路	253
第五节	中央信号回路	259
第六节	同期回路	265
第七节	操作电源	276
第八节	蓄电池组直流系统的运行	282
习题		285
第十章	大容量发电机变压器组继电保护装置	287
第一节	概述	287
第二节	反应相间短路故障的纵差保护	292
第三节	同步发电机定子绕组匝间短路保护	302
第四节	反应相间短路故障的后备保护及过负荷保护	306
第五节	同步发电机的定子绕组单相接地保护	319
第六节	同步发电机的失磁保护	326
第七节	同步发电机的励磁回路接地保护	328
第八节	变压器的零序保护	331
第九节	变压器的过激磁保护	334
第十节	变压器的气体保护	335
第十一节	其它异常运行保护概论	337

第十二节 大容量发电机—变压器组继电保护装置的配置	340
第十三节 厂用电系统继电保护	343
习题	349
第十一章 发电厂电气部分的安全自动装置	351
第一节 发电厂电气部分安全自动装置的任务	351
第二节 同步发电机的自动并列	352
第三节 同步发电机的自动调节励磁系统	359
第四节 厂用备用电源自动投入装置	374
习题	380
第十二章 电力网的基本计算	381
第一节 电力线路的结构	381
第二节 电力网的等值电路和参数	384
第三节 开式电力网的功率分布和电压计算	391
习题	402
第十三章 电力系统运行分析	404
第一节 电力系统有功功率平衡与调整	404
第二节 电力系统无功功率平衡与调整	410
第三节 电力系统的静态稳定性	417
第四节 电力系统的暂态稳定性	424
第五节 电力系统振荡与失步	429
习题	433
附录 电网的常用参数	434

第一章 绪 论

第一节 我国电力工业发展简介

在现代工业、农业和国民经济的各个部门中，电能已成为不可缺少的能源。电能具有以下优点：首先，电能可方便地转换为其他形式的能量，例如工厂中的电动机，可以将电能转换为机械能，用于带动各种机械；其次，电能便于输送，电能经高压输电线路可输送到远方，供给分散的用户；此外，随着现代工业的发展，计算机普遍得到应用，各个行业对自动化水平提出更高要求，用电进行控制容易实现自动化。电力工业必须坚决贯彻“安全第一”的方针，保证安全发电、输电、供电，向用户提供可靠的电能。电力工业在国民经济中占有十分重要的地位，电力必须先行才能满足工农业生产发展需要。

我国具有丰富的能源资源。全国水能资源的蕴藏量为 6.8 亿 kW（其中可开发利用的约为 3.7 亿 kW），居世界首位。此外，煤、石油、天然气等资源也很丰富。这些优越的自然条件为我国电力工业的发展提供了良好的物质基础。但是，旧中国的电力工业极端落后，发电厂大部分集中在东北和沿海的几个大城市。旧中国全国装机容量仅 185 万 kW，年发电量 43 亿 kW·h；110kV 及以上电压等级的电力系统仅在东北三省有两个，总容量为 12 万 kW；电力设备陈旧、效率低、类型庞杂，各个系统的频率也不统一。

新中国成立以后，我国电力工业发展很快，在许多地区建设了大型发电厂和电力系统，采用了新的设备和技术，改变了我国电力工业极端落后的面貌。到 1994 年底全国总装机容量已达到 19989 万 kW；年发电量达到 9278 亿 kW·h，居世界第三位；东北、华北、华东、华中四大电网的总装机容量都超过 2000 万 kW，而且以 500kV 交流输电线路为骨干的网架正在形成与完善；葛洲坝至上海的跨大区 ±500kV 直流输电线路正式投产；舟山 110kV 直流海底电缆投入运行；秦山和大亚湾两座压水堆核电厂已并网发电；单机容量为 900MW 的发电机组也并网成功；……。电力工业虽然取得了很大的成绩，但技术水平与先进国家相比还有相当大的差距，总体技术水平不高，电力供应仍感不足。今后必须加快发展电力工业，使我国跨入世界电力先进国家行列，满足国民经济发展的需要。

第二节 发电厂的类型

发电厂是把各种天然能源（如煤炭、石油、天然气、水力等）转换成电能的工厂。煤炭、天然气、水力等随着自然界演化而生成的动力资源是能量的直接供应者，称为一次能源。电能是由一次能源转换而成的能源，称为二次能源。发电厂是电能生产的核心，它担负着将一次能源转换成电能的任务。根据发电厂所使用的一次能源不同，可将发电厂分为以下几种类型：①燃烧煤、石油或天然气发电的火力发电厂；②利用水的动能和势能的水

力发电厂；③利用核能发电的原子能发电厂；……。目前我国发电厂中，火力发电仍是主要的发电方式。

一、火力发电厂

火力发电厂又简称为火电厂。根据火电厂所使用一次能源形式的不同，可分为燃烧煤、燃烧石油和天然气的电厂。从目前我国能源实际构成情况出发，为了发挥各种能源资源的最佳经济效益，我国火电厂仍然是以燃煤电厂为主（约占70%），燃油电厂一般作为调峰电厂或临时移动电站。火电厂又可分为凝汽式电厂和热电厂两种。

凝汽式电厂是单一生产电能的火电厂，仅向用户提供电能。一般情况下，在煤矿附近建设大容量的凝汽式电厂，用高电压输电线路将电能输送到远方用户，比把凝汽式电厂建在城市或用户附近，从远方运送煤要经济合理得多。因此，我国在各个煤炭基地及其附近，建设了许多大容量凝汽式电厂，一般称为坑口电厂，也称为区域性电厂。

以燃煤电厂为例，凝汽式火电厂生产过程示意图如图1-1所示。

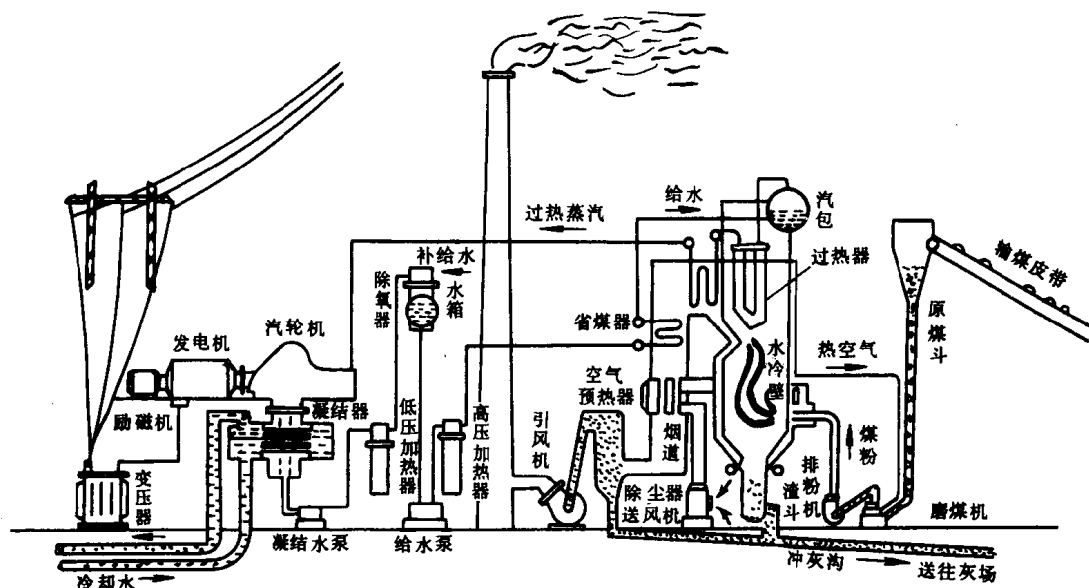


图 1-1 凝汽式火电厂生产过程示意图

原煤经输煤皮带送进原煤斗，从原煤斗落入磨煤机中被磨成很细的煤粉，煤粉由排粉机抽出，随同热空气送入锅炉的燃烧室燃烧。燃煤放出的热量一部分被燃烧室四周的水冷壁吸收加热炉水，还有一部分热量用于加热燃烧室顶部和烟道入口处过热器中的蒸汽，余下的热量则被烟气携带穿过省煤器、空气预热器，逐渐传递给省煤器中的水和空气预热器中的空气。烟气经过除尘器的净化处理后，由吸风机导入烟囱排入大气。燃煤时生成的灰渣和由除尘器收集下来的细灰，用水冲进灰沟送往灰场。燃烧用的助燃空气，经送风机送入空气预热器中加热，加热后的空气一部分送入磨煤机作为干燥和运送煤粉的介质，其他大部分送入燃烧室助燃。水和蒸汽是把热能转化为机械能的重要工质。净化后的给水先送进省煤器预热，再进入汽包经下降管到水冷壁管中吸收燃烧室的热能蒸发成蒸汽。蒸汽通过过热器时再次被加热，变为高温高压的过热蒸汽。过热蒸汽经主蒸汽管道进入汽轮机做

功，推动汽轮机转子转动将热能转变为机械能。做完功的蒸汽在凝结器中被冷却凝结成水。凝结水又由凝结水泵送到低压加热器加热后，经除氧器去氧，加热器加热，再用水泵重新送入省煤器预热，然后作为工质继续循环使用。凝结器需要的冷却水由循环水泵送入，冷却水在凝结器中吸热之后，流回冷水塔散热，可重复使用。汽轮机转动带动发电机转子旋转，在发电机内将机械能转换成电能。电能经变压器升高电压后送入电网。凝汽式火电厂由于做过功的蒸汽仍含有热量，这些热量基本上被循环水带走，变成热损失，因而凝汽式火电厂效率不高，仅达 30%~40% 左右。

热电厂是既生产电能，又向用户供给热能。供给热能用户的热能（包括蒸汽和热水）是利用汽轮机中段的调整抽气，热能用户需要的蒸汽由汽轮机中段抽出直接供给；热能用户需要的热水是利用抽汽经加热器进行热交换而成的。抽汽在加热中释放热量后凝结成水后由回水泵送回除氧器供锅炉使用。热电厂中由于利用了汽轮机的一部分抽汽，使得进入凝汽器的排汽量减少，从而也减少了被循环水带走的热量。因此，热电厂的热电联合生产效率可达 60%~70%。因为供给热力用户的蒸汽和热水不能输送太远，否则会使其压力和温度降低过多，不能满足用户的要求，所以热电厂必须建设在用户附近。

二、水力发电厂

水力发电厂又简称为水电厂。为了充分利用水能，针对河流自然条件建造适合于河流自然特点的水工建筑物，以便得到尽可能多的能量。根据集中落差方式的不同，水电厂分为堤坝式、引水式和混合式三类。堤坝式水电厂是用拦河筑坝方式建成水库以维持高水位。堤坝式水电厂按厂房建筑特点又分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂单独建筑大坝，坝身高，水位也高，厂房建在坝后不承受水的压力，如图 1-2 所示。坝后式水电厂我国建设较多，如三门峡、刘家峡、丹江口水电厂。河床式水电厂适用于河床平缓的地区，由于河床水位落差小，将厂房和水坝建筑在一起，厂房也构成了拦河大坝的一个组成部分，如葛洲坝水电厂。

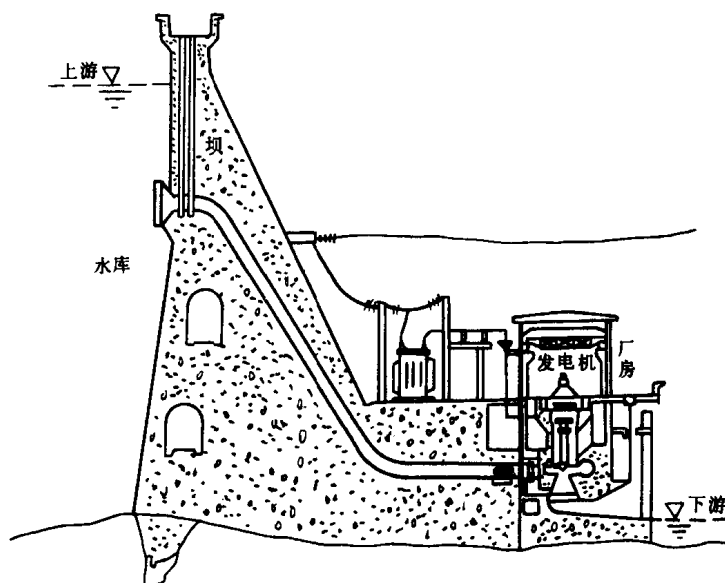


图 1-2 堤坝式水电厂示意图

水力发电厂的生产过程比火电厂简单，易于实现全盘自动化；水力发电厂不消耗燃料，发电成本比火力发电厂低得多，并且没有环境污染；水力发电机组起动迅速，在电力系统发生事故时能及时并网发挥后备作用。但是，水力发电厂投资大、建设工期长、运行受水文和气象等自然条件的影响。

三、核电厂

核电厂是采用核能发电的电厂，它是大有发展前途的一种新能源。核能的获得有两种途径。一是用带有一定能量的中子撞击重金属元素的核（如铀、钚的核），该原子核吸收中子之后变为具有激发能的复合核。当激发能使复合核中的静电斥力大于核引力时，原子核就发生分裂。此时要放出裂变能，产生2~3个新中子，并放射出射线。如果产生的新中子至少有一个再能引起其他原子核也发生裂变，裂变就持续进行，而形成链式反应，裂变过程中放出的裂变能是可利用的核能。另一种是使不同的轻元素的原子核进行聚合，形成一个新原子核。在聚合过程中要放出聚合能，例如氘、氚聚合会放出能量。目前用于发电的仅为第一种，第二种正处在研究之中。

反应堆是核电厂的核心部分，它是一个可以被控制的核变装置，反应堆中以铀-235为燃料，用减速后的低中子（热中子）撞击原子核产生裂变时，称为热中子反应堆。反应堆中以铀-238或铀-239为燃料，用裂变产生的高速高能中子引起原子核裂变时，则称为快中子反应堆（增殖堆）。利用快中子反应堆能节省大量核燃料，效率比热中子反应堆高100倍。目前世界上普遍采用的是热中子反应堆。核裂变时产生的是快速、高能中子，为了使其变为慢中子需要慢化剂将它减速，根据采用慢化剂的不同，热核反应堆又可分为多种形式，使用最多的有两种：一种是利用高压水做慢化剂和冷却剂的压水堆，另一种是利用沸腾水做慢化和冷却剂的沸水堆。

压水堆核电厂示意图如图1-3(a)所示。沸水堆核电厂示意图如图1-3(b)所示。

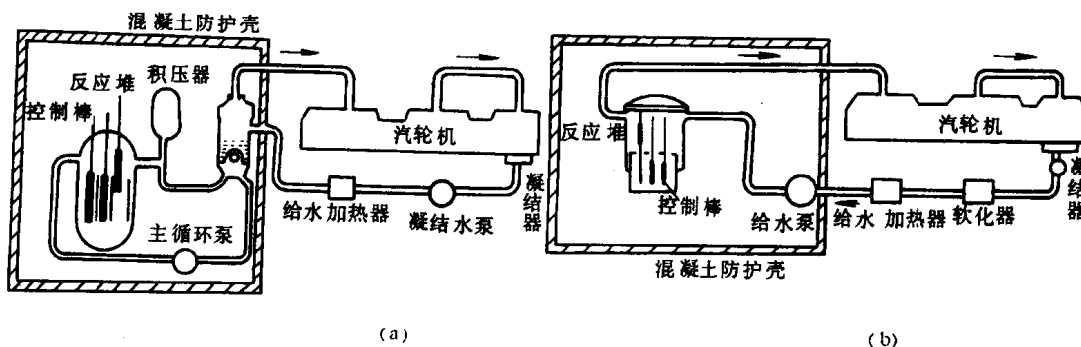


图 1-3 核电厂示意图

(a) 压水堆核电厂；(b) 沸水堆核电厂

核电厂的基建费用虽然高于一般火电厂，但其燃料费要比火电厂低得多，而两者的运行费用不相上下。因此，核电厂发电成本比火电厂普遍低15%~50%。核电厂所需的燃料数量远远低于燃煤电厂，以1000MW压水堆核电厂为例，它每年只需要1t铀-235，而1000MW燃煤电厂每年则需要300万t原煤。鉴于世界上的有机能源有限，核电厂的发展是很快的，到1985年核电厂的发电量约占全世界发电总量的25%。目前我国大亚湾和秦山

核电厂均已并网发电。

四、其他方式发电

利用其他一次能源发电的，还有风力发电、潮汐发电、地热发电、太阳能发电等等。由于我国地域广阔，各种能源资源都很丰富，所以各种发电方式都会有极其广阔的发展前景。

第二章 电力系统基础知识

第一节 电力系统概述

一、电力系统的组成

随着生产和科学技术的发展,电能已成为工业、农业、国防和交通等部门不可缺少的动力,成为改善和提高人们物质文化生活的重要因素,一个国家电力工业的发展水平,往往是反映其国民经济发达程度的重要标志之一。

生产和科学技术的进步,使得发电机单机容量不断增大,发电厂的规模不断扩大,同时要求输送的电功率也相应地增多,输送距离增大,并且对可靠性提出了更高的要求。于是逐步地将一个个孤立发电厂、变电所连接起来,形成强大的电力系统。

使用电能的单位,通常称为电力用户。电力用户一般分为工业用户、农业用户、公用事业用户和居民户等。农业用户一般用电分散,耗电量少,耗电量与农业生产季节有关,平时对供电可靠性要求低;工业用户大多数用电集中,耗电量大,对供电可靠性要求高;公用事业和居民用电面广,形式多种多样,而且与广大人民生活息息相关,随着人民生活水平的不断提高,公用事业和居民用电量也日益增加,要求供电可靠性愈来愈高。

现代化大型火力发电厂,多数建设在能源产地(如煤炭、石油生产基地),以便减少发电厂所需燃料的巨额运输费用;现代化大型水电厂,必须建设在水利资源丰富的山区。然而,电力用户则集中在大城市、工业中心、矿山和农业发达地区。因此,发电厂与用户之间往往相距几百公里,甚至于上千公里。为向用户供电,就需要专门的电力线路传输电能,电力线路又称为输电线路。在输电过程中,为了满足用户对经济供电与安全供电的要求,就得采用多种电压等级的方式输送电能。电力系统中电压的升高与降低,是通过电力变压器完成的。安装电力变压器和控制设备以及保护设备等装置的整体称为变电所。用于升高输送电能电压的变电所,称为升压变电所;反之,则称为降压变电所。

变电所和不同电压等级输电线路通称为电力网。由各发电厂中的发电机、各种变电所、输电线路和电力用户组成的整体,称为电力系统。电力系统再增加上火力发电厂的热力部分、水力发电厂的水力部分以及热力网和热力用户通常称为动力系统。

在电力系统中,由于各种电气设备大都是三相设备,它们的参数是对称的,所以可将三相电力系统用单线图来表示。用单线图表示的动力系统、电力系统及电力网,如图 2-1 所示。火电厂 A 建立在能源基地,水电厂 C 建立在水力资源丰富的山区。电厂 A、C 生产的电能经输电线路送至变电所 D、F。热电厂 B 建立在距用户较近的地方,它生产的电能经变压器升压后,与变电所 E 联系,热电厂除发电外,还由热力网向热力用户供热。

变电所 D、E、F 和 G 之间的输电线路连成环形电网,这样, D、E、F、G 变电所中的任何一个变电所都可以从两个方面获得电能,从而提高供电系统的可靠性。变电所 G 将

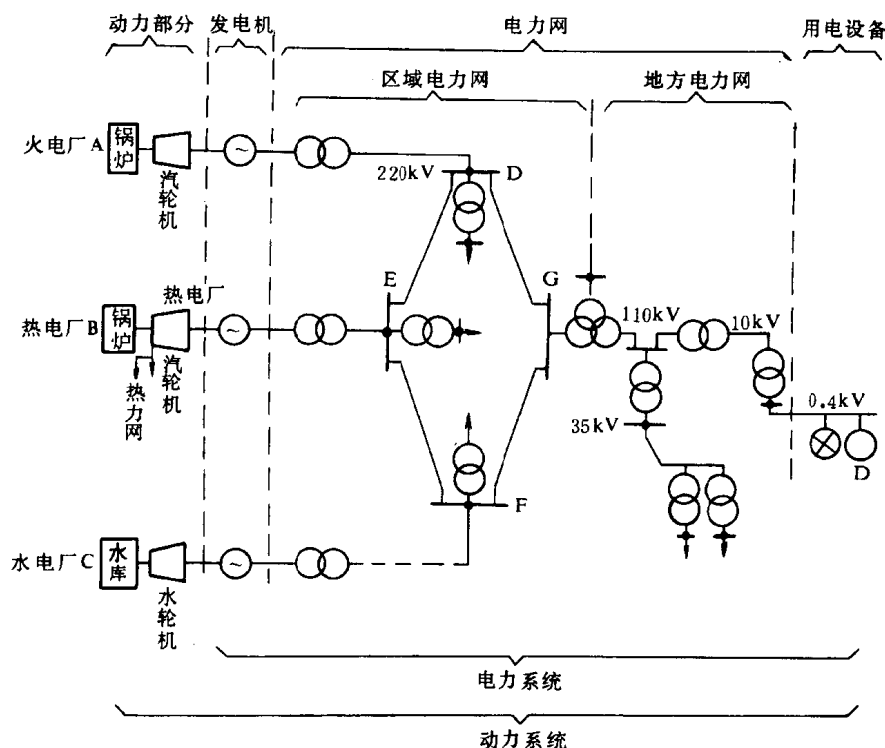


图 2-1 动力系统示意图

220kV 电压降至 110kV 向较小范围的小容量用户变电所供电。从研究和计算方面考虑，将电力网分为地方网、区域网和远距离输电网三类。一般额定电压在 110kV 以下的电力网，多供给地方负荷，称为地方网；额定电压在 110kV 以上的电力网，多供给区域性变电所，称为区域网；额定电压在 220kV 以上，线路长度超过 300km 的输电线路称为远距离输电。按照电力网的接线方式不同可分为开式网、两端供电网和复杂电网等几种，如图 2-2 所示。开式网的主要优点是接线简单、经济、运行方便，主要缺点是可靠性差，它适用于向三类负荷或二类负荷供电。两端供电网和复杂电网的主要优点是供电可靠，运行方式灵活，主要缺点是投资大、运行操作和继电保护装置复杂，它适用于对一、二类负荷供电。

电力系统随着电力工业的发展，逐渐地扩大，这是因为电力系统在技术与经济上具有下述几方面的优越性：

- (1) 提高了供电的可靠性和电能质量；
- (2) 减少总备用容量的比重，提高设备利用率；
- (3) 可以采用高效率的大容量机组，提高经济效益；
- (4) 可以减少系统的负荷峰谷差值；
- (5) 充分利用水电厂的水能资源。

二、电力系统运行特点

电能的生产、输送、分配和使用与其他工业部门产品相比具有下列明显的特点。

1. 电能不能大量储存

电能的生产、输送、分配和使用，可以说是在同一时刻完成的。发电厂在任何时刻生

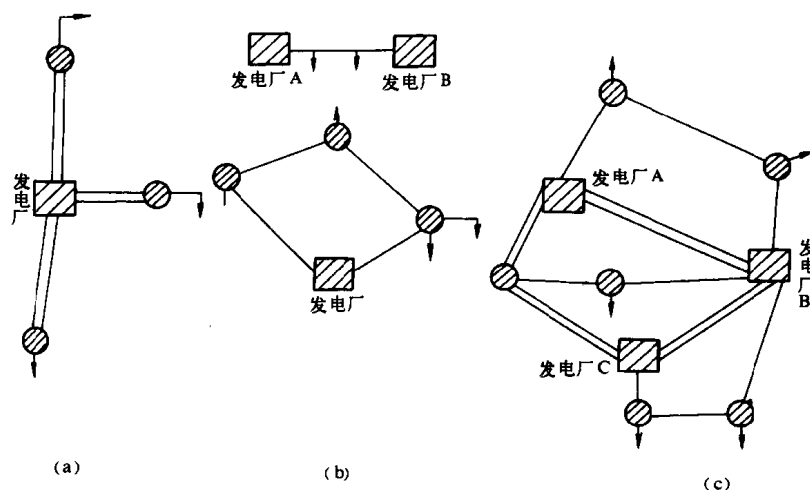


图 2-2 电力网的接线

(a) 开式网；(b) 两端供电网；(c) 复杂电网

产的电能恰好等于该时刻用户所消耗的电能，即电力系统中的功率，在每时、每刻都必须保持平衡。

2. 暂态过程非常迅速

电能是以电磁波速度 (300km/ms) 传送的，电力系统中任何一处的变化，都会迅速影响到其他部分的工作。在电力系统中，由于运行情况改变或发生事故而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的。因此，要求电力系统中必须采用自动化程度高、动作快、工作可靠的继电保护与自动装置等设备。

3. 电力生产和国民经济各部门之间的关系密切

由于电能具有传输距离远，使用方便，控制灵活等优点，目前已成为国民经济的各个部门的主要动力，随着人民生活水平的提高，生活用电也日益增加。电能供应不足或突然停电都将给国民经济各部门造成巨大损失，给人民生活带来极大不方便。

三、对电力系统的基本要求

1. 保证供电可靠

中断向用户供电，会使生产停顿、生活混乱、甚至于危及人身和设备的安全，会给国民经济造成极大损失。停电给国民经济造成的损失，远远超出电力系统因少售电所造成的电费损失。一般认为，由于停电而引起国民经济损失的平均值，约为电价的 $30\sim 40$ 倍，例如一台 10 万 kW 机组事故停电 1h ，国民经济损失值为 25.5 万元左右。为此，电力系统运行的首要任务是对用户保证安全可靠地连续供电。

2. 保证电能质量

电能质量是以电压、频率和波形等三个技术指标衡量的。

(1) 电压。电压质量对各类用电设备的安全经济运行有着直接的影响。用电设备是按额定电压设计的，实际供电电压过高或过低都会使用电设备的运行技术、经济指标下降，影

响正常工作，甚至损坏电动机和其他用电设备。为此，一般规定供电电压偏移，不应超过额定电压值的 $\pm 5\%$ 。

(2) 频率。频率的变化同样会影响发电机组和用电设备的正常运行。频率降低会使电动机出力减小、转速降低，直接影响其寿命；反之，频率升高会使电动机出力增加，经济性降低。显然，频率的变化对电动机转速要求严格的工业部门产品的质量有影响，例如造成纺织品、纸张等发生毛疵和薄厚不匀的质量问题。频率的变化还会影响电钟的准确度和自动装置等电子设备的准确性。频率偏差对发电厂本身的影响更严重，频率降低会引起厂用机械中的给水泵、循环水泵和风机等设备减少出力，降低效率，使发电厂有功出力减少，进一步造成系统频率的降低。此外，在低频率运行会引起汽轮机低压级叶片因振动过大而损伤或断落事故。为此，电力系统运行中应保持频率在其容许的变动范围之内运行。

目前世界各国对频率变化的容许偏差规定不一致。我国工频交流电的额定频率为50Hz，其容许偏差为 $\pm (0.2 \sim 0.5)$ Hz；为了控制频率的累积误差，容许频率变化使电钟在24h内与标准时间误差不大于1min（对于大容量系统不大于30s）。为此，要求电力系统在运行中应保持频率在其容许的变动范围之内运行。

(3) 波形。通常要求电力系统的供电电压（或电流）的波形为正弦波。为此，要求发电机发出符合标准的正弦电压波。但是，在电能输送过程中波形会产生畸变（如变压器的铁芯饱和会导致波形畸变），另外，随着电子技术和自动化的发展以及接入电力系统的整流设备不断增多，也将引起谐波比重增大。因此，电力系统在运行中应严格遵守有关规定，采取必要的措施消除谐波的不利影响，维持波形的质量。

3. 提高电力系统运行经济性

节约能源是当今世界上普遍关注的一个大问题。电能生产的规模很大，消耗能源很多。在电能生产、输送过程中应尽力节约、减少损耗，同时降低成本也成为电力部门的一项重要任务。为提高经济效益，就要采用高效、节能的大容量的发电机组；降低发电过程中的能源消耗；合理发展电力系统，减少电能输送、分配过程中的损耗；电力系统选用最经济运行方式，合理分配各电厂的负荷，使发电机组处于最经济状态下运行。

第二节 发电厂电气设备概述

电能具有生产与消费同时进行的特点，需要发电厂和变电所时刻根据负荷变化，及时地进行必要的调整及操作。为满足上述要求，在发电厂、变电所中装设了大量的电气设备，其主要电气设备可分为以下几种。

(1) 一次设备。直接生产和输配电能的设备称为一次设备。电能由发电机发出，经过一系列的一次设备直接送到用电器，从而完成电能的生产与使用的全过程。一次设备主要包括发电机、变压器、断路器、隔离开关、限流电抗器、母线、电缆和互感器等。

(2) 二次设备。对一次设备的工作进行监察、测量、控制和保护的辅助设备，称为二次设备。二次设备主要包括仪表、信号、继电器和自动控制设备等。

(3) 电气主接线。在发电厂和变电所中，为了适应各种运行方式的需要，将各种电气

设备根据要求，按着一定次序连接成为固定的电路。一次设备所连成的电路，称为一次电路或电气主接线。

使用国家规定的图形符号按工作顺序，详细地表示出一次电路中各种电器设备之间实际连接的图纸，称为一次接线图或主接线图。常用电气设备的图形符号参见表 2-1。主接线图通常画为单线图形式，如图 2-3 所示。在三相交流电路图中，只绘制出一相电气设备连接情况的电路图称为单线图。由于三相交流电路中，三相的设备绝大部分是按照三相对称方式连接的，所以单线图能够简单、清晰、明了地表示出电气设备的实际连接情况。为此，单线图是一次电路图通常使用的图纸。

表 2-1 常用电气设备的图形符号

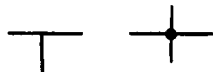
设备名称	图形符号	设备名称	图形符号	
交流发电机		断路器		
交流电动机		隔离开关		
直流发电机		接 触 器	在非动作位置 触点断开	
直流电动机			在非动作位置 触点闭合	
双绕组变压器		避雷器		
三绕组变压器		火花间隙		
自耦变压器		熔断器		
电抗器		电缆终端头		
分裂电抗器		接 地		
电流互感器		导线的连接		

图 2-3 是某发电厂的电气主接线图。电能从发电机 1G、2G 送到 10kV 母线，再经母线将一部分电能通过隔离开关、断路器、限流电抗器和电力电缆送到用户；另一部分电能通过主变压器 1T、2T 送至 110kV 母线，由高压输电线路送向远距离用户。

在各种电压等级的配电装置中，为满足正常运行和检修以及故障等不同运行方式的需要，安装了断路器、隔离开关、限流电抗器、……各种电气设备。各种电气设备的主要作用如下。

(1) 断路器 (QF)。断路器是用在高压电路正常或故障状态下，接通与断开电路的专用电器。断路器的触头部分装有特殊的灭弧装置。灭弧装置能迅速地熄灭在切断电路过程中触头间的电弧，使电路可靠迅速地断开。电力系统运行中，如果系统发生故障，则由继电保护装置动作，自动断开断路器，使故障点与系统正常部分断开，以保持电力系统的正常部分继续运行。

(2) 隔离开关 (QS)。隔离开关的触头部分没有特殊的灭弧装置，它不能可靠地熄灭在切断电路过程中触头间所产生的电弧。隔离开关主要起隔离电压和切换电路的作用。隔离开关一般应与断路器串联接入电路，在经常的操作中是用断路器切断电路之后，再拉开隔离开关，使隔离开关起隔离电压作用；只有在特别规定的回路电流很小（如电压互感器回路等）时，才允许用隔离开关拉合电路。

(3) 限流电抗器 (L)。限流电抗器实质上是大容量的空芯电感线圈。由于它具有很大的电抗值，将它串入供电线路之中，当线路侧发生短路故障时，由于总电抗的增大，所以能使短路电流受到限制，并保持母线具有较高的残压。例如图 2-3 中 S2 点发生短路故障，由于电抗器 L 的作用，使得 10kV 母线具有较高电压，从而减轻对非故障线路正常供电的影响。

(4) 母线。母线起着汇集和分配电能的作用。例如在图 2-3 所示主接线图中，发电机 1G、2G 发出的电能汇集于 10kV 母线 W1 或 W2，再经母线送往变压器 1T、2T 和各馈电线路。

在主电路中，任意一条进线或出线支路，主要由断路器、隔离开关和连接线构成。例如电缆线路 L1 是由母线侧隔离开关 (QS1) 和相应的连接线构成。当该线路断路器 QF1 需要停电检修时，运行人员首先要拉开断路器 QF1，再拉开线路侧隔离开关 QS3，最后拉开母线侧隔离开关 QS1 (或 QS2)，使断路器处于不带电状态。然后在已停电的断路器 QF1 两侧接入三相短路接地线并做好其他有关安全措施。随后便可以进行断路器 QF1 的检修工作。如果电缆线路 L1 线路侧 S2 点发生相间短路故障，发电机要向短路点 S2 供很大的短路电流 (可达数千安或数万安)，这时，电缆线路 L1 的继电保护装置动作，自动跳开断路器 QF1，使短路故障点 S2 与系统正常部分隔离，保证除电缆线路 L1 的之外的其它部分正常

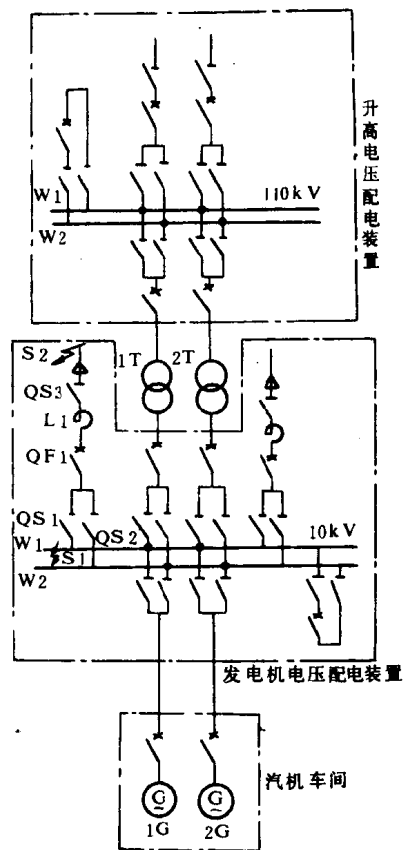


图 2-3 火电厂电气主接线图