

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



FADIANCHANG DIANQISHEBEI
JI YUNXING

发电厂电气设备 及运行

(第二版)

宗士杰 黄 梅 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



FADIANCHANG DIANQISHEBEI
JI YUNXING

发电厂电气设备 及运行

(第二版)

宗士杰 黄 梅 编
盛四清 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分十三章，主要内容包括电力系统基础知识、电力网的基本计算、电力系统短路、电力系统运行分析、电气设备、发电厂和变电所的电气主接线、发电厂用电、配电装置及其运行、电器选择、二次回路、发电机—变压器组继电保护和发电厂自动装置等。每章后附有习题，供读者参考选用。本书在编写中，力求概念清楚、重点突出、深入浅出、计算公式简洁实用、紧密联系电力生产实际，以适应学校教学与工程技术人员学习的需要。

本书可作为本专科能源动力类、电气信息类专业的教学用书，也可供工程技术人员学习与参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂电气设备及运行/宗士杰，黄梅编. —2版. 北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-7360-7

I. 发… II. ①宗…②黄… III. 发电厂—电气设备—运行—高等学校—教材 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 082089 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

1997 年 10 月第一版

2008 年 9 月第二版 2008 年 9 月北京第九次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.25 印张 639 千字

定价 42.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书自1997年出版以来,受到相关专业学校师生与工程技术人员的欢迎,曾经数次重印。近10年来,随着科技进步、新的技术成果不断涌现,发电厂新的设备和装置逐渐投入运行。为此,本书再版时增加了技术上较成熟的新设备和新装置等内容。本书在编写中,力求概念清楚、重点突出、深入浅出、计算公式简洁实用、紧密联系电力生产实际,以适应学校教学与工程技术人员学习的需要。书中各章附有习题,供参考选用。

本书第一~十一章由宗士杰教授编写;第十二、十三章由黄梅研究员编写。全书由宗士杰统稿。

本书由盛四清教授主审,并提出不少宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有一些错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 我国电力工业简介	1
第二节 发电厂的类型	2
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	11
第四节 电力系统中性点接地方式	13
第五节 接地装置	24
习题	28
第三章 电网的基本计算	30
第一节 电力线路的结构	30
第二节 电力网的等值电路和参数	33
第三节 开式电力网功率分布和电压计算	40
习题	50
第四章 电力系统短路	52
第一节 短路的一般概念	52
第二节 标么值	54
第三节 计算电路和等值电路的化简	56
第四节 由无限大容量电力系统供电电路内短路	62
第五节 由发电机供电电路内的短路	67
第六节 不对称短路	70
习题	89
第五章 电力系统运行分析	92
第一节 电力系统有功功率平衡与调整	92
第二节 电力系统无功功率平衡与调整	97
第三节 电力系统的静态稳定性	104
第四节 电力系统的暂态稳定性	110
第五节 电力系统振荡与失步	115
习题	118
第六章 电气设备	120
第一节 开关电器中的电弧	120
第二节 低压电器	123

第三节	绝缘子和母线	134
第四节	高压熔断器	145
第五节	隔离开关	146
第六节	高压断路器	151
第七节	互感器	172
	习题	183
第七章	发电厂和变电所的电气主接线	185
第一节	单母线接线	185
第二节	双母线接线	189
第三节	无母线接线	193
第四节	发电厂的电气主接线	196
第五节	变电所的电气主接线	198
	习题	199
第八章	发电厂厂用电	201
第一节	概述	201
第二节	厂用电接线	206
第三节	电动机起动和自启动电压校验	209
第四节	发电厂厂用电接线实例	212
	习题	218
第九章	配电装置及其运行	219
第一节	概述	219
第二节	屋内配电装置	223
第三节	屋外配电装置	226
第四节	成套配电装置	231
第五节	发电机引出线装置	235
第六节	大气过电压及保护措施	242
	习题	251
第十章	电器选择	252
第一节	短路电流的电动力和发热	252
第二节	电器选择	259
	习题	268
第十一章	二次回路	270
第一节	二次回路基本概念	270
第二节	操作电源	272
第三节	发电厂和变电所测量监察系统	278
第四节	高压断路器的控制与信号	285
第五节	隔离开关控制与闭锁	295
第六节	中央信号系统	301
第七节	同期系统	305

习题	315
第十二章 发电机—变压器组继电保护	317
第一节 继电保护概述	317
第二节 微机型继电保护概述	321
第三节 发电机—变压器组故障、异常运行状态及其保护	325
第四节 纵差动保护	328
第五节 发电机定子绕组匝间短路保护	337
第六节 发电机定子绕组单相接地保护	340
第七节 发电机负序电流保护	344
第八节 发电机失磁保护	347
第九节 发电机励磁回路保护	350
第十节 发电机失步保护和逆功率保护	351
第十一节 变压器气体保护（瓦斯保护）	353
第十二节 相间短路的后备保护	354
第十三节 变压器零序保护	357
第十四节 发电机、变压器异常运行及其他保护	359
第十五节 发电机—变压器保护配置举例	362
第十六节 厂用电系统继电保护	365
习题	370
第十三章 发电厂自动装置	373
第一节 自动装置的作用和类型	373
第二节 厂用备用电源自动投入装置	373
第三节 发电机自动准同期并列装置	378
第四节 发电机励磁自动调节装置	387
习题	400
附录 电力网的常用参数	402
参考文献	409

第一章 绪 论

第一节 我国电力工业简介

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,用于推动各种机械;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,计算机得到普遍应用,各个行业对自动化水平提出了更高要求,用电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,电力必须满足生产和生活发展的需要。

我国具有较丰富的能源资源。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、天然气等资源也有一定储量。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。

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。改革开放以来,我国电力工业得到全面、快速的发展。我国装机容量连续超过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯、日本,从 1996 年开始就稳居世界第二位,基本上扭转了长期困扰我国经济发展和人民生活的电力严重短缺局面,实现了电力供需基本平衡并略有裕量,且在电力工业发展的水平上也有了全面的提高。特别是在电力结构上,不断调整优化,技术装备水平不断提高,使我国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、超高压、自动化、信息化,水电、火电、核电、新能源发电全面发展的新时期。电网建设极大加强,电力调度水平不断提高,西电东送、南北互供、全国联网的格局已基本形成。电力科技水平得到提高,电力环境保护得以加强。环境排放控制、生态保护日益加强,使电力发展的经济效益、社会效益与环境效益渐趋统一。电力管理水平和服务水平不断得到提高,电力发展的战略规划管理、生产运行管理、电力市场营销管理以及电力企业信息管理、优质服务水平等普遍得到提高。进一步扩大了对外开放,积极实施国际化战略,在利用外资、引进设备、引进技术、实施走出去战略方面都取得了巨大的成就。此外,还不断提高电力职工队伍素质,不断深化电力企业改革,推动企业重组改造,加强法制建设,走上法制化管理的轨道,不断加强电力企业的精神文明建设和企业文化建设。

到 2006 年底,全国总装机容量已达到 6.22 亿 kW(其中火力发电占 77.82%;水力发电占 20.67%;核电占 1.10%;风力发电占 0.30%;生物质能发电等其他发电占 0.11%);年发电量达到 28344 亿 kW·h;发电煤耗达 364g/kW·h;发电设备年利用小时数为 5221h;线路损耗降到 7.08%;国产 1000MW 超临界机组投入运行;以 500kV 交流输电线路为骨干的网架日趋完善;三峡—上海等多条±500kV 直流输电工程投入运行;750kV 交流高压线路投入使用;1000kV 交流特高压试验工程开工建设;华东、华中、华北、东北、西北、西南、南方等大区电网运行安全、稳定,并实现了非同步跨大区联网;全国户通电率

达到 99% 以上……随着我国经济发展,预计到 2010 年末全国总装机容量将达到 8.52 亿 kW,到 2015 年末全国总装机容量将达到 11.2 亿 kW,到 2020 年末全国总装机容量将达到 13.3 亿 kW。我国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,今后必须不断发展电力工业,使我国电力工业的科技水平与世界先进水平日渐接近,尽早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,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利用水的动能或势能发电的水力发电厂;③利用核能发电的核电厂;④利用风能发电的风力发电厂;⑤利用生物质能发电的发电厂……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、燃烧石油或天然气的电厂。从目前我国能源实际构成情况出发,为了发挥各种资源的最佳经济效益,我国火电厂仍然是以燃煤电厂为主,燃油电厂一般作为临时移动电站。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。一般认为,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,凝汽式电厂生产过程示意图如图 1-1 所示。

原煤经输煤皮带送进原煤斗,从原煤斗落入磨煤机被磨成很细的煤粉,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,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。烟气经过除尘器等设备的净化处理后,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,经送风机吸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

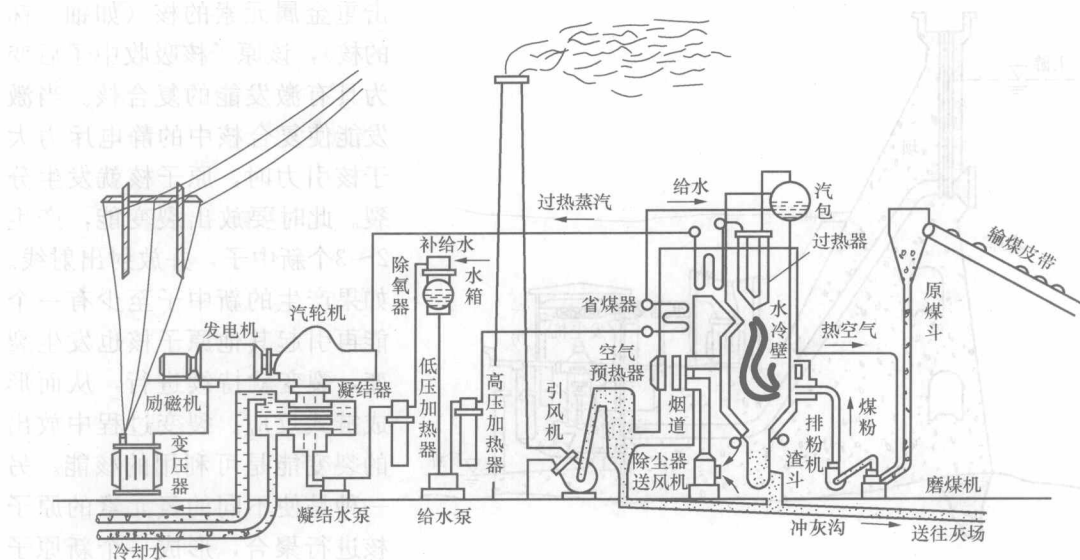


图 1-1 凝汽式电厂生产过程示意图

能。电能经变压器升高电压后送入电网。凝汽式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，因而凝汽式电厂效率不高，仅达 30%~40% 左右。

热电厂既生产电能，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汽，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。抽汽在加热器中凝结成水后由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热力用户附近。

二、水力发电厂

水力发电厂简称为水电厂。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，如三峡、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。

水电厂的生产过程比火电厂简单，易于实现全盘自动化；水电厂不消耗燃料，发电成本比火电厂低得多，并且没有环境污染；水力发电机组启动迅速，在电力系统发生事故能及时并网发挥后备作用。但是，水电厂投资大、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。核能的获得有两种途径：一是用带有一定能量的中子撞

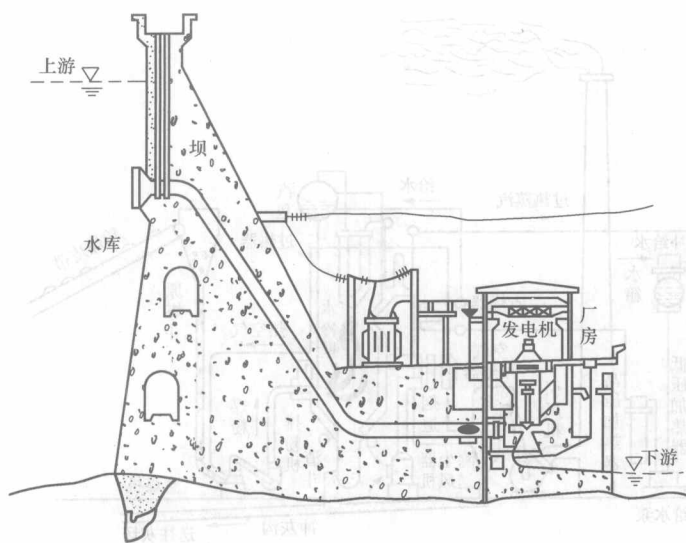


图 1-2 坝后式水电厂示意图

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，需要用慢化剂将它减速，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。

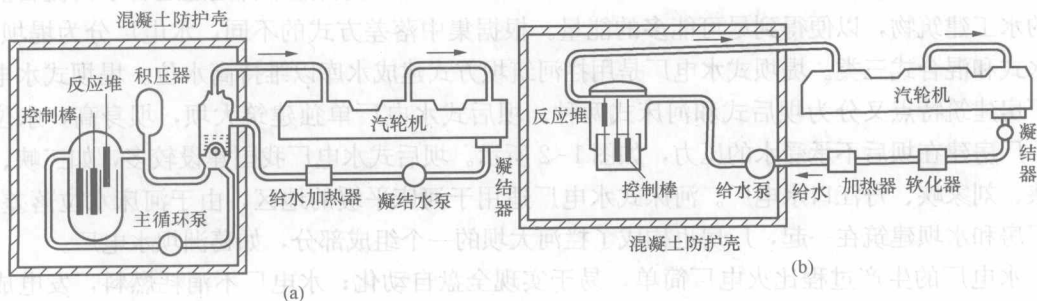


图 1-3 核电厂示意图

(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,它一年只需要 1t 铀-235,而 1000MW 燃煤电厂一年则需要 300 万 t 原煤。鉴于世界上的有机能源有限,核电厂的发展很快。目前我国已有大亚湾核电厂、秦山核电厂、岭澳核电厂和田湾核电厂投入运行。

四、其他方式发电

利用其他能源发电的,有风力发电、生物质能发电、潮汐发电、地热发电、太阳能发电等。从国民经济可持续发展角度考虑,应充分发挥我国地域广阔的特点,因地制宜地发展各种绿色能源、可再生资源等,上述的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。电力用户一般可分为工业用户、农业用户、公用事业用户和居民户等。以种植为主的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;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,对供电可靠性要求也越来越高。

现代化大型火电厂,多数建设在能源产地(如煤炭、石油生产基地),以便减少火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,为了满足不同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。

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建在能源基地,水电厂C建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。

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电厂的热力部分、水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。电力系统中的变电所和不同电压等级的输电线路通常称为电力网。

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。一般电压在110kV以下的电力网,多供给地方负荷,称为地方网;电压在110kV以上的电力网,多供给区域性变电所,称为区域网;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

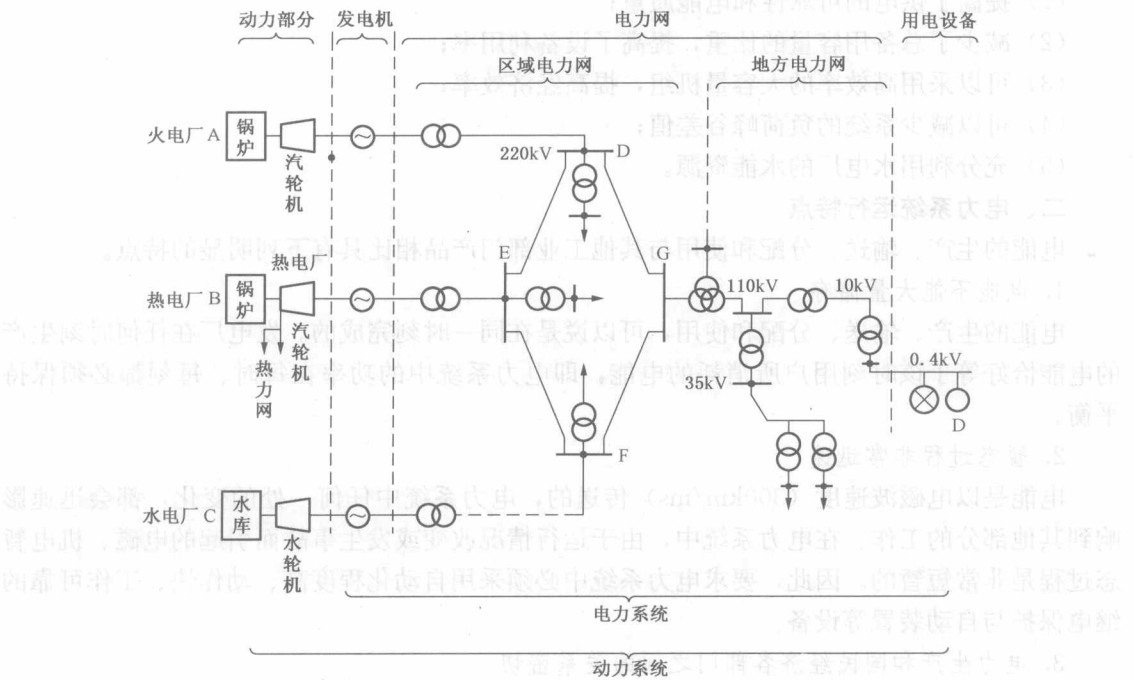


图 2-1 动力系统、电力系统及电力网示意图

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，主要缺点是单向供电，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。

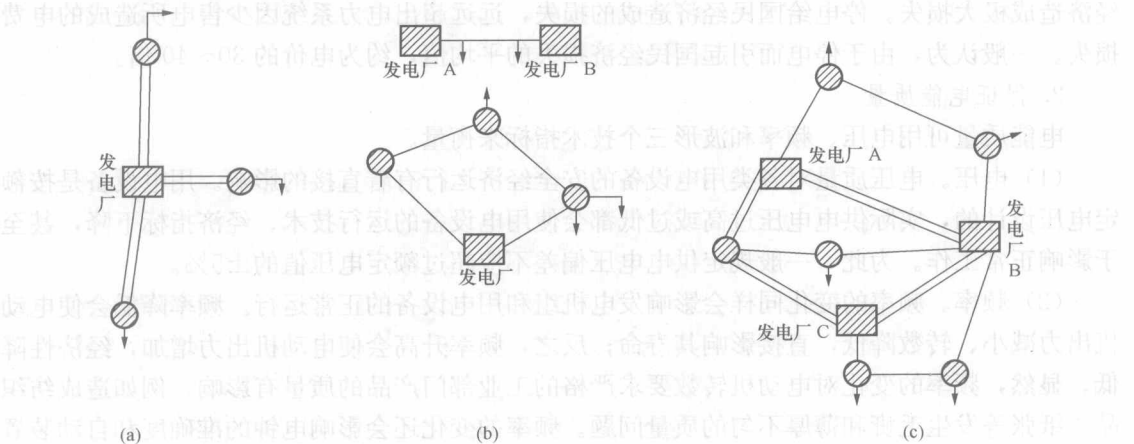


图 2-2 电力网的接线

(a) 开式网；(b) 两端供电网；(c) 复杂电网

电力系统随着电力工业的发展逐渐地扩大，这是因为大型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) 减少了总备用容量的比重, 提高了设备利用率;
- (3) 可以采用高效率的大容量机组, 提高经济效率;
- (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

电能具有使用方便、控制灵活等优点, 目前电能已成为国民经济各个部门的主要动力, 随着人们生活水平的提高, 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。

2. 保证电能质量

电能质量可用电压、频率和波形三个技术指标来衡量。

(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, 甚至于影响正常工作。为此, 一般规定供电电压偏差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、转数降低, 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数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 $\pm(0.2\sim0.5)$ Hz; 为了控制频率的累积误差, 允许标准时钟误差为 30~40s (对于大容量系统为方便用 30s)。

(3) 波形。通常要求电力系统的供电电压的波形为正弦波。为此, 要求发电机发出符合标准的正弦波电压。但是, 在电能输送过程中会产生畸变(如变压器的铁芯饱和、整流设备不断增多及电子与自动化设备的接入都会导致波形畸变), 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, 将各次谐波电压控制在允许的限值内, 以保证电压的质量。

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、减少消耗。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、节能的大容量发电机组, 降低发电过程中的能源消耗, 尽量减少对环境的污染; 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的运行方式, 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、输送与使用的全过程。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, 按照一定次序连接成为固定连接的电路。一次设备所连成的电路, 称为一次电路或电气主接线。

使用国家标准规定的图形符号按工作顺序, 表示出一次电路中各种电气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。在三相交流接线图中, 只绘制出一相电气设备连接情况的接线图称为单线图。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, 单线图是一次接线图通常使用的图纸。

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	

续表

设备名称	图形符号	设备名称	图形符号
直流发电机		接触器	
直流电动机		在非动作位置触点断开	
双绕组变压器		在非动作位置触点闭合	
三绕组变压器		避雷器	
自耦变压器		火花间隙	
电抗器		熔断器	
分裂电抗器		电缆终端头	
电流互感器		接地	
		导线的连接	

图 2-3 所示为某发电厂的电气主接线图。电能从发电机 G1、G2 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 T1、T2 送至 110kV 母线，由高压输电线路送向远距离用户。

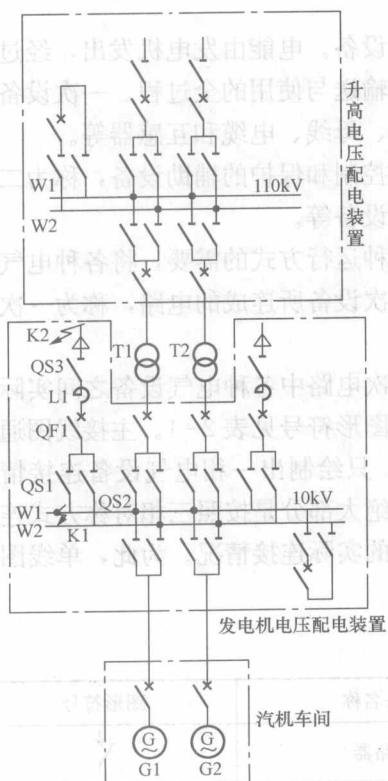


图 2-3 火电厂电气主接线图

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。隔离开关常常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，再拉开隔离开关，使隔离开关起隔离电压作用；只有在回路电流很小（如电压互感器回路）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