

热电联产机组技术丛书



电气设备与运行

潘贞存 张卫星 李光友 编著
慕志恒 审阅



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



热电联产机组

电气设备与运行

潘贞存 张卫星 李光友 编著
慕志恒 审阅



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《热电联产机组技术丛书》中的《电气设备与运行》分册。

本书主要讲述了热电联产机组电气设备的基本原理和运行技术,包括发电机、变压器、互感器、电气主接线、继电保护、开关电器、二次系统、过电压与绝缘等。本书既注重基本概念、基本理论的讲述,又强调实际操作技能的介绍;既有传统的理论和方法,也有近几年出现的新技术和成果。

本书可供热电联产从业技术人员和管理人员阅读,也可以作为电力工程专业师生及设计、施工、研究人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备与运行/潘贞存,张卫星,李光友编著. —北京:中国电力出版社,2007

(热电联产机组技术丛书)

ISBN 978-7-5083-5817-8

I. 电… II. ①潘…②张…③李… III. 热电厂-电气设备-运行 IV. TM621.7

·中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 088757 号

中国电力出版社出版、发行

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

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.5 印张 323 千字

印数 0001—4000 册 定价 26.00 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

热电联产机组技术丛书

编 委 会

主 编 孙奉仲

副主编 黄新元 张洪禹 张居民 马传利 高玉军

江心光 秦箴林 蔡新春 陈美涛 黄胜利

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁兴武 马思乐 王乃华 史月涛 史永春

任子芳 刘伟亮 李光友 李树海 杨祥良

宋 伟 张卫星 张开菊 张 明 陈莲芳

姬广勤 高 明 盖永光 程世庆 潘贞存

前言

提高能源的利用效率,合理利用能源是关系到国民经济发展、建设节约型社会、实施循环经济的重要问题,不仅影响到生态环境和人类的生存,也是从事能源研究的学者和工程技术人员重点研究的课题。热电联产和集中供热就是可以达到上述目的的重要技术规划和措施之一。热电联产,已经问世一百多年,我国发展热电联产也走过了半个多世纪的路程。由于热电联产对于节能和环境保护意义重大,尤其是在 21 世纪的今天,世界各国非常重视。1997 年制定的《中国 21 世纪议程》和《中华人民共和国节约能源法》、2000 年制定的《中华人民共和国大气污染防治法》等法规,都明确鼓励发展热电联产。2000 年原国家计划委员会、经济贸易委员会、建设部、环境保护总局联合下发的《关于发展热电联产的规定》,是指导我国热电联产发展的纲领性文件。国家发展和改革委员会 2004 年颁布的《节能中长期专项规划》中,明确把热电联产列入 10 项重点工程。《规划》指出:在严寒地区、寒冷地区的中小城市和东南沿海工业园区的建筑物密集、有合理热负荷需求的地方将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组;在工业企业(石化、化工、造纸、纺织和印染等用热量大的工业企业)中将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组;分布式电热(冷)联产的示范和推广;对设备老化、技术陈旧的热电厂进行技术改造;以秸秆和垃圾等废弃物建设热电联产供热项目的示范;对热电联产项目给予技术、经济政策等配套措施;到 2010 年城市集中供热普及率由 2002 年的 27% 提高到 40%,新增供暖热电联产机组 40GW,形成年节能能力 3500 万 t 标准煤。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中也把能源的综合利用放在了首要位置。在与热电联产技术有关的部分,指出应重点突破基于化石能源的微小型燃气轮机及新型热力循环等终端的能源转换技术、储能技术、热电冷系统综合技术,形成基于可再生能源和化石能源互补、微小型燃气轮机与燃料电池混合的分布式终端能源供给系统。

到 2003 年底,全国已建成 6MW 及以上供热机组 2121 台,总装机容量达到 43.7GW。预计到 2020 年,中国热电联产机组容量将达到 200GW,年节约 2 亿 t 标准煤,减少 SO_2 排放 400 万 t 以上,减少 NO_x 排放 130 万 t,减少 CO_2 排放 718 亿 t。热电联产将为能源节约、环境保护、经济和社会发展做出重大贡献。

《热电联产机组技术丛书》的出版,是应时之作,是应需之作。该套丛书由七个分册组成,包括《热电联产技术与管理》、《热力网与供热》、《锅炉设备与运行》、《汽轮机设备与运行》、《电气设备与运行》、《化学水处理设备与运行》和《热工过程监控与保护》。内容涉及到热电联产机组的最新技术、管理知识;涉及到热力网的运行与管理维护,国内外的发展与政策,环境保护与节约能源,热电联产生产工艺中具体过程和设备的工作原理、基本结构、

工作过程、运行分析、事故处理、最新进展等；涉及到供热的可靠性分析；涉及到供热的分户计量；涉及到代表最新技术发展趋势的热力设备和热工过程的计算机控制技术等。可以说，热电联产的每一个重要环节均涉及到了。其中，不少内容是第一次出现在科技专著上。丛书主要面向热电联产的运行、检修、管理人员，从设备的结构、原理到运行以及事故处理，从系统组成到管理控制，从运行监督到经济性分析、可靠性分析等，既有传统的热力设备理论基础，又有现代科学技术的融入，兼顾到了各个层面，还介绍了具体的运行实例和事故实例。

该套丛书既体现了系统性、专业性、权威性，又体现了实用性。

随着我国对节约能源和环境保护的重视，热电联产事业将会得到更快的发展，热电联产技术水平也会获得快速提升，一批大容量、高参数的热电联产机组也将逐步建成投产。该套丛书的出版，将对发展热电联产，提高热电联产企业运行、检修技术和管理水平，具有重要意义！

丛书编委会

编者的话

本书是《热电联产机组技术丛书》之一。本分册主要讲述热电联产机组电气设备的原理与运行技术。近几年来,随着国家能源政策的调整和竞争性电力市场机制的引入,各地纷纷上马了许多热电联产机组,包括兼顾发电和供热的热电厂、余热废汽综合利用的企业自备电厂、煤矸石电厂、垃圾电厂和植物秸秆电厂等。这些电厂在结构、原理、设备、运行和管理等方面都与大型凝汽式电厂有很大的不同,有许多自身的特点,为适应热电联产机组电气设备运行的需要,提高电气设备运行的水平,特编写了本书。

本书的编写过程中注意由浅入深、循序渐进;既注重基本概念、基本理论的叙述和描写,又强调实际操作技能的介绍;既有传统的理论和方法,也有近几年出现的新兴技术和成果。

本书由潘贞存、张卫星、李光友编著,由慕志恒教授审阅,他对本书提出了许多宝贵的意见,在此表示深深的感谢。郑罡、宋明慧、马姗姗、曾煜晓、杨珊珊、张庆雷、刘震、高广玲、马琳琳、丛伟、高湛军等老师和同学参与了本书的收资、调研、部分内容编写和绘图等工作,在此表示衷心感谢。

限于作者的水平和掌握的资料,书中疏漏与不足之处在所难免,诚请广大读者批评指正。

编者

2007年12月

Contents

目 录

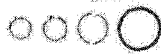
前言	
编者的话	
第一章 概述	1
第一节 发电厂的基本形式	1
第二节 发电厂电气设备简述	4
第三节 电力系统的基本概念	7
第二章 同步发电机的原理与运行技术	12
第一节 同步发电机的原理、结构及额定值	12
第二节 同步发电机的励磁与励磁调节系统	14
第三节 同步发电机的同期系统与并列操作	18
第四节 同步发电机的无功功率调节	22
第五节 同步发电机的有功功率调节	26
第六节 同步发电机的解列与停机操作	29
第七节 发电机运行异常现象及事故处理	30
第三章 电力变压器的原理与运行技术	37
第一节 变压器的原理、结构及冷却方式	37
第二节 三相变压器的接线组别	43
第三节 变压器的允许运行方式	45
第四节 变压器的额定参数与负荷能力	49
第五节 变压器的操作和并列运行	54
第六节 变压器的异常状态与事故处理	57
第七节 自耦、三绕组及分裂变压器简介	61
第四章 电压、电流互感器	64
第一节 概述	64
第二节 电磁式电压互感器	65
第三节 电磁式电流互感器	69
第四节 电子式互感器简介	74
第五章 开关电器	77
第一节 电弧产生和熄灭的原理	77
第二节 高压断路器	79

第三节	隔离开关	88
第四节	高压熔断器	91
第五节	高压成套设备	94
第六节	低压开关电气设备	98
第六章	发电厂的电气主接线	104
第一节	概述	104
第二节	单母线接线	105
第三节	双母线接线	107
第四节	无母线接线	109
第五节	发电厂的电气主接线	111
第六节	电气设备的倒闸操作	112
第七章	厂用电系统	116
第一节	概述	116
第二节	厂用供电电源及引接方式	117
第三节	厂用电接线的基本形式	118
第八章	发电厂中的过电压与绝缘技术	121
第一节	过电压产生的原因及其危害	121
第二节	大气过电压的防护	123
第三节	内部过电压的防护	129
第九章	发电厂的二次系统	133
第一节	概述	133
第二节	互感器二次回路接线	135
第三节	断路器的控制回路	139
第四节	信号系统	147
第五节	发电厂电气系统的微机监视与控制	153
第十章	发电厂的继电保护技术	158
第一节	概述	158
第二节	发电机保护	160
第三节	电力变压器保护	170
第四节	输配电线路的继电保护	179
第五节	电动机保护	193
第六节	小电流接地系统的单相接地选线保护	197



概 述

第一章



第一节 发电厂的基本形式

发电厂是“生产”电能的工厂，它将煤炭、石油、天然气、水、核等天然能源（称为一次能源）转换为电能（称为二次能源）。按输入能源形式及转换过程的不同，可将发电厂的形式分为下列四类：

（1）火力发电厂。又分为凝汽式电厂和热力化电厂，后者除发电外还兼供热。此类电厂在燃料燃烧后，其化学能转换为热能、机械能等中间形式，最终转换为电能。

（2）原子能电站。原子能电站使用的燃料为核燃料，因此又称为核电站，其能量最后转换为热能、机械能、电能等，因此原子能电站可视为一种特殊的火力发电厂。

（3）水电站与抽水蓄能电站。其原始能量为水的势能，普通水电站仅由水的势能单向转换为电能，即只能发电。抽水蓄能电站还可在电力系统负荷低谷区将下库尾水抽至上库，即实现电能向水的势能的逆变换，起到了蓄积能量的作用，实质上相当于一个容量特大的“蓄电池”。

（4）其他型式电站。它包括一些小容量的电站：风力电站，太阳能电站，地热电站和潮汐电站。此类电站目前在电力系统中所占比例还比较小，但随着煤炭、石油、天然气等不可再生燃料资源的逐年消耗，它们所占的比例会逐年增加。

一、火力发电厂

在我国，目前此类电站的装机容量占电力系统总的发电装机容量的大部分。它所使用的燃料有3种：①固体燃料（例如煤炭）；②液体燃料（例如原油、重油等）；③气体燃料（例如天然气）。不对外供热的称为凝汽式电站，对外供热的称为热力化电站（常简称为热电站或热电厂）。

图1-1所示为凝汽式电站的生产过程（汽水循环及电气接线）。图中给出了一个独立单元的主体设备：锅炉、汽轮机、发电机和升压变压器。其中汽轮机由高、低压两段组成、采用了中间再热形式。每一个单元仅在电气部分高压或中压母线上实现横向联络。

凝汽式电站的装机容量通常都比较大，多以煤作为燃料，为了减少煤的远距离运输，在其他建站条件允许的情况下，应尽可能将电站建在煤矿附近。为确保电源结构合理布局，也必须有一定数量的凝汽式电站建在运输条件较好的负荷中心附近。

煤在锅炉中燃烧，释放出的热量将锅炉水冷壁中的水转化为为蒸

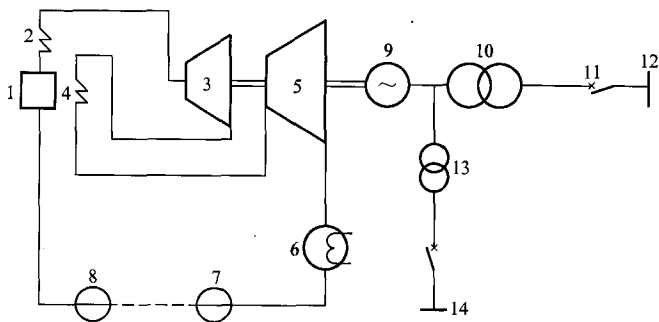


图1-1 凝汽式火力发电厂生产过程的示意图

- 1—锅炉；2—蒸汽过热器；3—汽轮机高压段；4—中间蒸汽过热器；
5—汽轮机低压段；6—凝汽器；7—凝结水泵；8—给水泵；
9—发电机；10—主变压器；11—断路器；12—高压母线；
13—厂用变压器；14—厂用电母线

汽,再经过蒸汽过热器加热,把蒸汽变为高温高压的蒸汽,通过管道送入汽轮机,推动汽轮机旋转,将蒸汽的热能转化为转子的机械能,汽轮机带动发电机旋转,将汽轮机转子的机械能转化为电能。再通过升压变压器送入电网。送入汽轮机的蒸汽在做功后,一部分通过中间抽汽回到锅炉加温、加压后重新送入汽轮机做功,另一部分则从汽轮机尾部流入冷凝器,由管道外部的冷却水对其降温冷却,凝结为水,凝结后的水经凝结水泵、给水泵重新打回到锅炉,如此形成循环。由于在循环过程中会有水汽流失,所以要有必要的补给水。

按照热力循环的要求,汽轮机尾部出来的蒸汽必须在凝汽器中降温、凝结为水,以保证汽轮机排汽压力,提高汽轮机的效率。这样就不可避免的有大量的热能损失于循环冷却水中。计及自身厂用电消耗,凝汽式电站的一般效率不超过32%~40%。

凝汽式电厂的机动性较差,它从准备启动到机组带满负载约需3~6h。同时,汽轮机有最低运行负载限制(由汽轮机的结构及燃料类型决定)。因此,一般汽轮发电机组均应在额定负载或其附近运行,其负载曲线较为平坦。

利用煤、石油、天然气等有机燃料的火力电站,要向大气排放硫和碳的氧化物,这些气体聚集于上层空间产生温室效应使地面变暖,造成世界海洋平面升高,淹没近海大陆,长此下去将造成严重的后果。因此必须限制有机燃料的燃烧,并将节约能源的重要意义提高到维护生态环境的高度。

热力化电厂又称为热电联产电厂,或热电厂、热电站。它与凝汽式电站的差别是:除了对外供电外,还要利用在汽轮机中作功后的蒸汽,对近区工业企业及城市供热,以满足其生产、采暖、热水供应的需要。此种热、电联合供应方式较之于热、电分别独立供应方式更为经济。

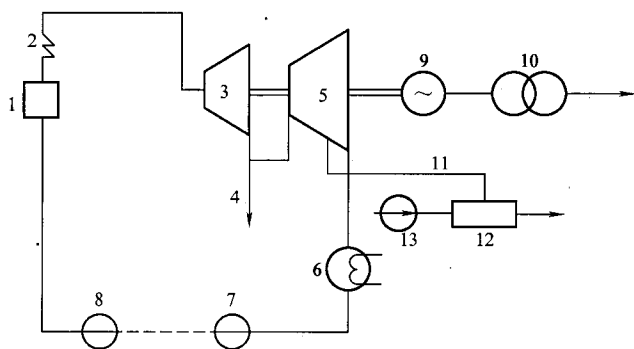


图 1-2 热力化电厂生产过程的示意图

- 1—锅炉；2—蒸汽过热器；3—汽轮机高压段；4—生产抽汽；
5—汽轮机低压段；6—凝汽器；7—凝结水泵；8—给水泵；
9—发电机；10—主变压器；11—供热抽汽；
12—蒸汽加热器；13—供热泵

应根据用户的热负荷容量及参数,选择热电站的安装容量及型式。一般情况下,往往选择具有1级或2级抽汽的汽轮机(如图1-2所示),它可以独立地调节供热量与发电量以适应变化的热负荷要求。当热量要求很大或较为恒定的情况下,可以采用背压式汽轮机,发电后的全部蒸汽均用于对外供热,因此电站中没有凝汽器,其发电量取决于供热量。由于减少或完全没有凝汽器中的热损耗,因此热电站有很高的经济效益。

热力化电厂应与凝汽式电站、水电站及其他电站联合运行,以适应冬、夏两季峰、谷热负荷的要求。但由于热力负荷的供热半径相对较小,热负荷的容量一般也不会太大,所以热力化电站的单机容量不会太大、一个厂内的装机数目也不会太多,即装机容量较小,因而通常是经过较低电压等级的线路(例如110kV及以下电压)与电力系统连接。

二、原子能电站

原子能电站是利用核反应能量(即使用核燃料)的热电站、其生产过程如图1-3所示。

一般使用的核燃料为 U-235 的同位素,核燃料在核反应堆中裂变而释放出热量,然后由传热工质(通常为水)吸收其热量而加以利用。

铀核裂变时生成高能量的快中子,在铀的含量不高的情况下,由快中子的作用不能使链式反应得到发展,因此应将快中子减速为慢中子,通常使用的减速剂为水、重水或石墨。

由于原子能电站生产工艺上的要求,目前此类电站的调节性较差,因此在电力系统中承担变化缓慢的基础负荷。

由于原子能电站不燃烧有机燃料,因此此不向大气排放硫的氧化物以及碳酸气,

从而降低了可能导致全球气候变化的环境污染,但核废料的处理也要十分慎重,否则可能会造成严重的放射性污染。

发展原子能电站是我国电力工业的前景之一。一些国家原子能电站生产的电能已超过总电量的一半,其中法国大约为 75%。

极少数原子能电站的事故教训提醒设计者,必须进一步提高原子能电站的安全性,不应将其建立在人口稠密地区和地震活动地区。尽管如此,从人类生态环境和能源战略的角度考虑,原子能电站仍应为电站发展的方向。

三、水力发电厂

利用河流的水位能来发电的方式称为水力发电。其发电出力与水的流量及落差成正比,与煤、油、气等资源不同,水属于可再生能源,在条件允许的情况下,应大力发展水电。

水力发电厂是利用河流、水库所蕴藏的水位能来发电的。在水力发电厂中,具有一定压力和流速的水流冲动水轮机,使水的位能、动能转换为机械能,再由水轮机带动发电机将机械能转换为电能。

水力发电厂可分为堤坝式、引水式等。

1) 堤坝式水力发电厂。堤坝式水力发电厂是在河床上游修建拦河坝,将水积蓄起来,抬高上游水位,形成发电水头。此种水电厂又可分为坝后式和河床式两种:①坝后式水力发电厂是将厂房修建在坝的后面,水头压力全部由坝体承受,水库的水由压力水管引入厂房,冲动水轮发电机组发电;②河床式水力发电厂是将厂房修建在河床上,厂房和挡水堤坝连成一体,厂房也起挡水作用。

2) 引水式水力发电厂。此种水电厂是修建在山区水流湍急的河道上或河床坡度较陡的地方,由引水渠道形成水头,一般不需修坝或只需修低堰。

3) 抽水蓄能电厂设有上下两座水库,用压力隧洞或压力水管相连。当电力系统处于深夜、节假日等负荷低谷时,利用多余电能,从下水库抽水至上水库蓄能;当电力系统负荷高峰到来时,从上水库放水至下水库发电,起到调峰作用。

水力发电厂的生产过程比火力发电厂简单,所需的运行维护人员较少,易于实现全盘自

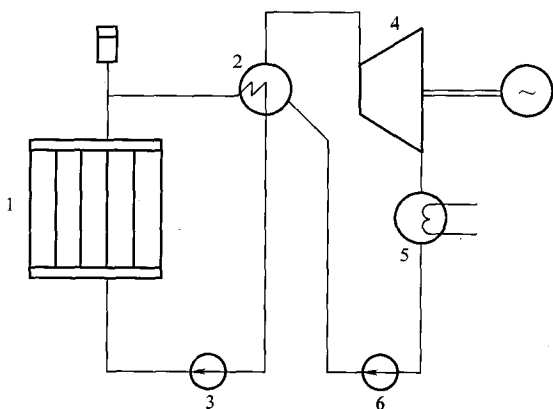


图 1-3 原子能电站生产过程的示意图

1—核反应堆; 2—蒸汽锅; 3—循环泵;
4—汽轮机; 5—凝汽器; 6—给水泵

动化；水力发电厂不消耗燃料，电能成本比火力发电厂低得多，并且没有环境污染；水力发电机组的效率较高，承受变动负荷的性能较好，在系统中的运行方式较为灵活；水力发电机组启动迅速，在系统发生事故时能及时有效地发挥其后备作用。但是，水力发电厂相对于火力发电厂而言，建设投资大、工期长、占用劳动力多；水力发电厂的运行方式受气象、水文等自然条件的影响，有丰水期、枯水期之别，发电出力不如火力发电厂稳定；建设大型水库时也可能对自然环境和生态环境造成破坏。

四、其他发电方式

除了上述的火力、核能和水力发电方式以外，世界各国正在试验研究各种新的发电方式，有些已得到广泛应用，目的是为了充分利用自然界的各种能源，提高发电的效率或是为了满足各种特殊用途。以下仅作一些简单的原理性介绍。

(1) 风力发电。风能是一种天然可再生能源，风力推动风车旋转，带动发电机发电。适用于海岛、沿海、高山、草原等风力资源丰富，用电规模较小的场合。为了节省不可再生的煤炭、石油等燃料，减轻环境污染，国家正在制定相关政策，大量发展可再生能源的利用，风力发电有望得到较快的发展。

(2) 太阳能发电。一种方法是将太阳光聚集到一个容器上加热水或低沸点液体产生蒸汽来发电，另一种方法是用光电池直接发电。

(3) 地热发电。利用地下喷出的热水（或汽水混合物）经过减低压力后产生蒸汽或经过热交换使低沸点液体产生蒸汽来发电。

(4) 磁流体发电。利用高温导电流体高速通过强磁场来发电。

(5) 潮汐能发电。利用某些河道、海湾出海口涨潮和落潮时的水位差来发电。

第二节 发电厂电气设备简述

一、主要电气设备

发电厂的主要任务就是生产电能，并把所生产的电能通过输变电网送向用户。为实现电能的生产和传输，需要完成以下几个方面的工作：①根据系统要求，启动或停止发电机组，改变运行方式，调整其运行参数；②对电路进行必要的切换；③不断监视主要设备的工作；④周期性地检查和维护主要设备；⑤迅速消除发生的故障。根据上述工作要求，发电厂内常装设以下电气设备。

1. 一次设备

直接与发供电电路相连接的承受高电压、大电流电气设备，称为一次设备。它主要有以下几种。

(1) 发电机。发电机是发电厂中最重要的电气设备。它在原动机（汽轮机、水轮机等）的带动下高速旋转，切割磁力线，产生电能。发电厂中的发电机，绝大多数都是同步发电机，即以基本恒定的速度旋转。为了建立必要的磁场，同步发电机必须配备专门的励磁机或励磁系统。

(2) 电力变压器。电力变压器属于电能传变设备，它将发电机产生的电能经电压变换后传递到另一个电压等级。在发电厂中，主变压器一般为升压变压器，即将发电机输出的较低电压等级的电能变换为较高电压等级的电能（电能量并不改变），以便于远距离传输。

(3) 高压母线。母线又称为汇流排, 它将同一电厂中多台发电机产生的电能(或经变压器变换以后的电能)汇集在一起, 然后根据需要分配给各条输电线路或用电设备。这种汇流后再分配的方式, 可以提高供电的可靠性和灵活性。

(4) 输配电线路。一般把电压等级较高、距离较长、将大量电能输送至远方的电网而不是直接输送给用电负荷的线路, 称为输电线路。而将电压等级较低、距离相对较近、直接送至用电负荷的线路称为配电线路。在我国, 220kV 及以上电压等级的线路称作输电线路, 66kV 及以下的线路都称作配电线路。而 110kV 线路有时称为输电线路, 有时又称为配电线路, 但随着电力系统的发展, 越来越多的情况下称为配电线路。输配电线路是将电能从发电厂传送到用电负荷处的载体。

(5) 开关电器。断路器、隔离开关及熔断器等统称为开关设备, 用来接通或断开发电机、变压器、输电线路等高电压、大电流的电气设备。断路器、隔离开关、熔断器的结构不同, 它们在电路中所起的作用也不同。

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, 能迅速地熄灭在通、断电路过程中触头间的电弧, 使电路可靠迅速地接通或断开。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。

隔离开关的触头部分没有灭弧装置, 它不能熄灭在通、断电路过程中触头间所产生的大容量电弧。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, 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。

熔断器只用在电压等级较低、电流较小的场合, 用来自动地切断短路电流, 以保护其他设备免受短路故障的影响。

(6) 限流电抗器。限流电抗器实质上是大容量的电感线圈。由于它具有较大的电抗值, 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, 从而减轻对故障设备的损坏和对非故障线路正常供电的影响。

(7) 避雷器。电力设备在遭受雷击或进行开关操作时, 可能会出现过电压, 将对电气设备的绝缘产生威胁。避雷器能够限制过电压的大小, 确保其他设备安全。避雷器实际是一个大容量的非线性电阻, 当运行电压低于其放电电压时, 它呈现为很大的阻抗, 泄漏电流很小, 而当电压高于其放电电压时, 其阻抗值迅速减小, 产生较大放电电流, 从而降低电压, 保护系统不受过电压的危害。

(8) 消弧线圈。消弧线圈是接在三相系统的中性点与大地之间的电感线圈, 用于在系统出现单相接地故障时, 产生电感性电流, 以补偿和抵消供电网络自身的电容性电流, 从而起到减小或消除接地点的接地电流、自动熄灭电弧、消除弧光过电压的作用。

(9) 互感器。包括电压互感器和电流互感器两种。电压互感器将上述各种一次电气设备上的高电压成比例地变换成低电压信号, 以便使用低压的仪器仪表对高电压进行监视和测量; 电流互感器将一次电气设备中的大电流成比例地变换成小电流信号, 以便使用小量程的表计来检测一次回路中的大电流。

2. 二次设备

对一次设备的工作进行监视、测量、控制和保护的辅助设备，称为二次设备。它主要有以下几种。

(1) 测量电路运行参数的各种仪表。如电流表、电压表、功率因数表、电能表、频率表等。

(2) 用以反映一次电气设备及电力系统的不正常工作状态和故障状态，并在这些状态下动作于报警的各种信号装置和动作于跳闸的继电保护装置。

(3) 操作电器的设备以及自动、远动装置。如操作开关、同期装置、自动调压装置、自动调频装置、遥测、遥信、遥控装置等。

(4) 为直流操作、保护、监测设备供电，事故照明用电的直流电源设备。如直流发电机组、整流装置、蓄电池组等。

二、电气接线及电气接线图

表 1-1

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	主动合触点断开
直流电动机			主动断触点闭合
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	

由一次设备相互连接,即发电机、变压器、母线、电力线、电抗器、用电设备等按一定接线方式连接而成的电气回路,称为一次回路或电气主接线。

使用国家规定的图形符号,详细地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参见表 1-1。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,所以主接线图通常画为单线图形式,它能够简单、清晰、明了地表示出电气设备的实际连接情况。单线图是一次电路图通常使用的图纸,只有在个别情况下必须同时绘出三相时,才用三线图来表示。

由二次设备相互连接而成的电气回路,称为二次回路或电气二次接线。用规定的图形、符号描述二次接线的图纸,称为二次接线图或二次回路图。

第三节 电力系统的基本概念

一、电力系统的概念

在电力工业发展的初期,发电厂都是建立在电能用户的附近,并且都是孤立运行的,即每个发电厂带一定数量的负荷,不同的发电厂之间、由不同发电厂供电的用电设备之间没有联系。这种孤立运行的电厂和电网存在很多问题,安全性、稳定性、可靠性、灵活性和经济性都很差,无法满足经济发展对电力工业的要求。随着输电技术的发展,在地域上相距一定距离的发电厂和电力网逐步联系起来并联运行,就形成了联合向电能用户供电的电力系统。由于这种并联运行的电力系统具有一系列优点,所以得到了较快的发展,其规模不断扩大,从一个地区内的几个电厂互联,逐步发展成区域之间的互联,进一步发展为全国互联甚至国际间互联。图 1-4 所示为一典型电力系统的示意图。

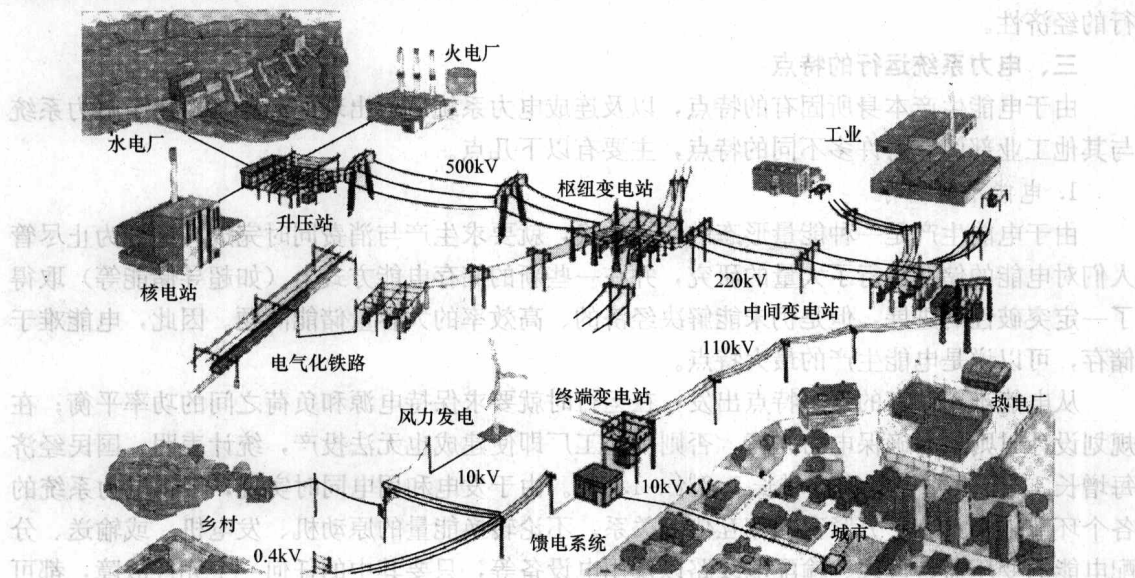


图 1-4 电力系统构成的示意图

二、并网运行的优越性

电力系统并网运行在技术上和经济上,都有十分明显的优越性,主要体现在以下几个

方面:

1. 减少系统中的总装机容量

由于负荷特性、地理位置等的不同,电力系统中各用电部门的最大负荷并不是同时出现的,因此联网后系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时的最大负荷的总和,从而,相应地可减少系统中的总装机容量。

2. 合理利用动力资源,充分发挥水力发电厂作用

如果不形成电力系统,很多能源就难以得到充分利用。例如,水力发电厂的出力决定于河流的来水情况,但水流情况却是多变的,很难与电力负荷相适应,往往枯水季节出力不足,而在丰水季节却要弃水。当水力发电厂联入电力系统以后,则它的运行情况就可以与火电厂相互配合调剂。在丰水季节,可以让水力发电厂尽量多发电以减少火力发电厂的出力、节省燃料;而在枯水季节则让水力发电厂担负尖峰负荷,火力发电厂则担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源,又提高了火力发电厂的运行效率,降低了煤耗。

3. 提高供电的可靠性

通常,孤立运行的发电厂,必须单独装设一定的备用容量,以防止机组检修或事故时中断对用户的供电。但当连成电力系统后,则随着系统容量的增大,不仅可以减少备用机组的台数与容量,提高设备的利用率,而且不同发电厂之间在电厂或线路事故时还可以相互支援,因而提高了供电可靠性。

4. 提高运行的经济性

除了前述可以充分利用动力资源外,在电力系统中还可以通过在各发电厂之间合理地分配负荷,使得整个系统的电能成本降低。另外,随着系统容量的增大,使得有可能采用单台容量较大的大型发电机组,从而降低了单位千瓦造价和运行损耗。这些因素都提高了系统运行的经济性。

三、电力系统运行的特点

由于电能生产本身所固有的特点,以及连成电力系统后所出现的问题,决定了电力系统与其他工业部门有着许多不同的特点,主要有以下几点。

1. 电能不易储存

由于电能生产是一种能量形态的快速转换,就要求生产与消费同时完成。迄今为止尽管人们对电能的储存进行了大量的研究,并在一些新的储存电能方式上(如超导储能等)取得了一定突破性的进展,但是仍未能解决经济的、高效率的大容量储能问题。因此,电能难于储存,可以说是电能生产的最大特点。

从电能难于储存的这个特点出发,在运行时就要求保持电源和负荷之间的功率平衡;在规划设计时则要求确保电力先行,否则其他工厂即使建成也无法投产,统计表明,国民经济每增长1%,要求电能生产增长1.3%~1.5%。由于发电和用电同时实现,使得电力系统的各个环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。不论转换能量的原动机、发电机,或输送、分配电能的变压器、母线、输电线路以及用电设备等,只要其中的任何一个元件故障,都可能会影响到整个电力系统的正常工作。

2. 电能生产与国民经济各部门有着极为密切的关系

现代工业、农业、交通运输业等都广泛用电作为动力来进行生产,在人民的日常生活中也广泛使用各种电器用具。随着现代化的进展,各部门中电气化的程度将愈来愈高。因而,