

高等学校教材

现代发电厂概论

文 锋 马振兴 主编

中国电力出版社

前 言

本书是根据高等学校电力类教学大纲的要求，为热能动力和电力系统及其自动化专业编写的实习教材。根据专业教学基本要求和近几年来生产实习实际安排，电厂实习已由两次改为一次。为使学生能在短暂的生产实习期间，切实对发电厂生产过程和主要生产设备的结构、工作原理及性能参数等有一个系统全面的了解，并为后续课程的学习提供必要的感性认识和基础知识。因此，本书以具体设备为对象，简明扼要、突出重点地予以介绍，而避开系统的理论分析。本书每章后附有复习思考题，便于读者结合实物进行自学。

本书在编写过程中得到黄台发电厂、邹县发电厂、山东电力科学研究院、山东电力工程咨询院及山东电力集团公司等有关单位的大力支持，并提供了大量参考资料和有益的建议，在此表示衷心感谢。

由于时间仓促和编者知识和业务水平所限，书中错误和不妥之处请读者批评指正。

编 者

1999年6月

EAAG169

目 录

前 言

第一章 电力生产概述	1
第一节 电能和电力工业	1
第二节 电能生产过程	2
第三节 新能源发电简介	6
第四节 火电厂基本生产过程	13
复习思考题	16
第二章 火电厂燃料及其加工	17
第一节 燃料概述	17
第二节 燃料输送	21
第三节 煤粉制备	26
复习思考题	38
第三章 锅炉及其辅助设备	39
第一节 电厂锅炉概述	39
第二节 锅炉的热平衡	42
第三节 锅炉本体结构	45
第四节 自然循环锅炉和强制流动锅炉	57
第五节 锅炉的主要辅助设备	63
复习思考题	70
第四章 汽轮机及其辅助设备	71
第一节 汽轮机概述	71
第二节 汽轮机本体	74
第三节 汽轮机的热力系统及其辅助设备	85
第四节 汽轮机的调速系统及保护装置	96
复习思考题	104
第五章 火力发电厂其他生产系统	106
第一节 冷却水供水系统	106
第二节 除灰系统	109
第三节 热工测量仪表	116
第四节 电厂水处理	128
复习思考题	132
第六章 同步发电机	133
第一节 同步发电机概述	133
第二节 300MW 汽轮发电机的构造	136
第三节 发电机的冷却	141

第四节 汽轮发电机的励磁系统	144
第五节 发电机的运行与控制	147
复习思考题	149
第七章 电力变压器	150
第一节 变压器概述	150
第二节 变压器的结构	152
第三节 变压器的运行和管理	157
第四节 其他型式变压器简介	159
复习思考题	160
第八章 发电厂变配电装置	161
第一节 电气主接线	161
第二节 高压开关设备	168
第三节 高压配电装置	178
第四节 厂用电系统	181
第五节 防雷与接地	182
复习思考题	185
第九章 发电厂的电气控制	186
第一节 电气二次系统概述	186
第二节 互感器	192
第三节 断路器及隔离开关的控制	193
第四节 信号系统	196
第五节 测量及监察系统	198
第六节 操作电源	202
第七节 继电保护与自动装置	205
复习思考题	209
第十章 单元机组集控运行	210
第一节 单元机组的启停	210
第二节 单元机组的运行调整	217
第三节 单元机组的控制调节	223
第四节 单元机组的局部顺序控制	229
第五节 炉膛安全监控系统	233
第六节 火电厂计算机监控系统应用分析	239
复习思考题	242
第十一章 发电厂经济与管理简介	244
第一节 发电厂的技术经济指标	244
第二节 电能质量与生产管理	245
第三节 发电厂安全运行与经济管理	249
复习思考题	252
附录 1 生产实习大纲	253
附录 2 电业安全工作规程 (摘要)	256

第一章 电力生产概述

在现代社会的生产和人们的日常生活中,电能已被广泛应用于各个领域,尽管自然界中有各种形式的能源,但电能已成为最方便、最实用的一种。可以想象,如果没有了电能,现代文明社会将不复存在。

第一节 电能和电力工业

自然界中能源可分为两类:一次能源和二次能源。所谓“一次能源”,是指自然界中现成存在的可直接利用的能源,如煤、石油、天然气、风、水、太阳、地热、原子核等能源;所谓“二次能源”,是指由一次能源加工转换成的能源,如电能、燃油(汽油、柴油等)、氢能、火药等。本书仅对电能进行讨论。

一、电能的特点

电能与其他形式的能源相比,其特点是:

(1) 便于生产和输送。生产电能的一次能源广泛,可由煤、石油、核能、风能、水能等多种能源转换而成,并便于大规模生产。电能运送简单,便于远距离传输和分配。

(2) 便于转换和控制。电能可方便地转换成其他形式的能,如机械能、热能、光能、声能、化学能及粒子的动能等,同时使用方便,易于实现有效而精确的控制,被称为“最方便的能源”。

(3) 效率高。它可取代其他形式的能源,如用电动机代替柴油机,用电气机车代替蒸汽机车,用电炉代替其他加热炉等,可提高效率20%~50%,被称为“节能的能源”。

(4) 无气体和噪声污染。如用电瓶车代替汽车、柴油车、蒸汽车等,成为“无公害车”,称为“无污染的能源”。

二、电力工业及其发展

1752年7月,美国印刷工人杰明·富兰克林(1706—1790),冒着生命危险,在一个雷雨交加的荒野上,利用风筝将闪电引到地面,点燃了酒精,破除了人们对“天火”的迷信,打开了近代电学研究的大门。此后,经库仑、法拉第、麦克斯韦尔、爱迪生等许多科学家的努力,终于使“若神若鬼”的电成为人类驯服的动力。

1882年,美国发明家爱迪生在纽约建立了世界上第一个发电厂,通过三线直流220/110V输电线向不同用户的400盏83W白炽灯供电,这是世界上最早的电力系统。同年,法国科学家德普勒进行高电压长距离输电试验,用1500~2000V电压,通过57km电话线路,从米斯巴赫煤矿将电送到慕尼黑,点亮了国际博览会上的电灯。

1882年,英国工程师立德尔在上海建立了中国第一个电气公司,安装了100V直流发电机。

1885年,韦斯汀豪斯公司安装了第一个试验交流系统。

1890年,美国的第一条单相输电线投入运行,把水力发电厂(简称水电厂)的电力送到20km以外的城镇用户。

1891年,在德国劳芬电厂安装了世界第一台三相交流发电机,建成第一条三相交流输电线路。

据统计,从1920年以来,世界上发电设备容量和年发电量一直以大约10年增加1倍的速度发展。电压等级,从110kV、330kV、500kV甚至750kV以上的超高压电力网已取得运行经验。现在世界上出现了跨越几千公里、贯穿几个国家的巨大电力系统。

我国的动力资源非常丰富,水力资源居世界第一位,而煤、石油、天然气、地热等资源也十分丰富。但是,直到解放前夕,全国发电机装机容量仅1849MW,年发电量43亿kW·h,居世界第25位,人均年占有发电量仅为9.1kW·h。解放后,我国电力工业发展迅速,至1998年底在近半个世纪的时间里装机容量已达2.7亿kW,是建国时的146倍,年发电量达11600亿kW·h,居世界第2位,人均年占有发电量为966kW·h,增长了一百多倍。

近50年来我国发电装机容量和年发电量的发展情况如表1-1所示。

表 1-1 我国发电装机容量和年发电量发展情况

时间(年)	总装机容量(MW)	年发电量(亿kW·h)	时间(年)	总装机容量(MW)	年发电量(亿kW·h)
1949	1849	43.1	1990	137890	6213.2
1960	11918	594.2	1992	166532	7542
1970	23770	1158.6	1998	270000	11600
1980	65869	3006.3			

第二节 电能生产过程

电能生产过程实质上是电能的生产、输配和耗用的过程,又常分为发电、输电、变电、配电和用电五个环节。这五个环节连续同时进行,即构成了完整的电力生产过程。

一、电力系统的构成

电力系统是由发电厂、电力网和电力负荷三部分组成的。发电厂是电力系统的中心环节,它是将其他形式的能源转换为电能的一种工厂。火力发电厂(简称火电厂)由锅炉、汽轮机和发电机构成;水力发电厂由水库、水轮机、发电机构成。电力网是由输(配)线路和变电所组成。电力负荷就是电力用户。

近20年来,我国电力工业取得了快速发展,已建成了多个以300MW和600MW大型机组为主力的现代发电厂和以500kV超高压输电线路为主的跨省大型电力系统,全国性的大电力系统正在规划建设中。构成大电力系统在技术上和经济上有很大的优越性,主要是:①可以充分开发边远地区的动力资源,将电能远距离送往负荷中心;②使不同地区间的电能互相调剂,发电机组互为备用;③有效地进行水电、火电的调配,更合理的利用能源,取得更好的社会、经济效益;④能充分利用地域和时差的不同进行补偿调节,发挥错峰效益;

⑤大电网能承受更大的冲击负荷，保持系统的稳定运行。

二、常规发电厂简介

发电厂是将各种一次能源转变成电能的工厂。按一次能源的不同发电厂可分为火力发电厂（以煤、石油和天然气为燃料）、水力发电厂（以水的位能作动力）、原子（核）能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、潮汐发电厂等。目前我国以火力发电厂为主，其发电量占全国总发电量的70%以上，多处大型水力发电厂正在加紧建设中，核电厂的建设也已取得了重大成绩。下面仅对在国民经济中占重要地位的火电厂和水电厂的基本状况进行概略地介绍。

（一）火力发电厂

以煤、石油或天然气作为燃料的发电厂统称为火电厂。

1. 火电厂的分类

（1）按燃料分类：①燃煤发电厂，即以煤作为燃料的发电厂；②燃油发电厂，即以石油（实际是提取汽油、煤油、柴油后的渣油）为燃料的发电厂；③燃气发电厂，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，即用工业企业的各种余热进行发电的发电厂。此外还有利用垃圾及工业废料作燃料的发电厂。

（2）按原动机分类：凝汽式汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂和蒸汽—燃气轮机发电厂等。

（3）按供出能源分类：①凝汽式发电厂，即只向外供应电能的电厂；②热电厂，即同时向外供应电能和热能的电厂。

（4）按发电厂总装机容量的多少分类：①小容量发电厂，其装机总容量在100MW以下的发电厂；②中容量发电厂，其装机总容量在100~250MW范围内的发电厂；③大中容量发电厂，其装机总容量在250~600MW范围内的发电厂；④大容量发电厂，其装机总容量在600~1000MW范围内的发电厂；⑤特大容量发电厂，其装机容量在1000MW及以上的发电厂。

（5）按蒸汽压力和温度分类：①中低压发电厂，其蒸汽压力在3.92MPa（40kgf/cm²）、温度为450℃的发电厂，单机功率小于25MW；②高压发电厂，其蒸汽压力一般为9.9MPa（101kgf/cm²）、温度为540℃的发电厂，单机功率小于100MW；③超高压发电厂，其蒸汽压力一般为13.83MPa（141kgf/cm²）、温度为540/540℃的发电厂，单机功率小于20MW；④亚临界压力发电厂，其蒸汽压力一般为16.77MPa（171kgf/cm²）、温度为540/540℃的发电厂，单机功率为300MW直至1000MW不等；⑤超临界压力发电厂，其蒸汽压力大于22.11MPa（225.6kgf/cm²）、温度为550/550℃的发电厂，机组功率为600MW及以上，目前尚处于试验阶段。

（6）按供电范围分类：①区域性发电厂，在电网内运行，承担一定区域性供电的大中型发电厂；②孤立发电厂，是不并入电网内，单独运行的发电厂；③自备发电厂，由大型企业自己建造，主要供本单位用电的发电厂（一般也与电网相连）。

2. 火电厂的生产流程及特点

火电厂的种类虽很多，但从能量转换的观点分析，其生产过程却是基本相同的，其基

本生产流程为：

燃料燃烧的热能 $\xrightarrow{\text{锅炉}}$ 高温高压水蒸气 $\xrightarrow{\text{汽轮机}}$ 机械能 $\xrightarrow{\text{发电机}}$ 电能 $\xrightarrow{\text{变压器}}$ 电力系统。

与水电站和其他类型的电厂相比，火电厂有如下特点：

(1) 火电厂布局灵活，装机容量的大小可按需要决定。

(2) 火电厂建造工期短，一般为水电站的一半甚至更短。一次性建造投资少，仅为水电站的一半左右。

(3) 火电厂耗煤量大，目前发电用煤约占全国煤炭总产量的 25% 左右，加上运煤费用和大量用水，其生产成本比水力发电要高出 3~4 倍。

(4) 火电厂动力设备繁多，发电机组控制操作复杂，厂用电量和运行人员都多于水电站，运行费用高。

(5) 汽轮机开、停机过程时间长，耗资大，不宜作为调峰电源用。

(6) 火电厂对空气和环境的污染大。

(二) 水力发电厂

水力发电厂是利用自然界的江河湖泊的水所蕴藏的能量（位能）转换成电能的发电厂。因为水的能量与其流量和落差（水头）成正比，所以利用水能发电的关键是集中大量的水和造成大的水位落差。我国是世界上水资源最丰富的国家，蕴藏量为 6.8 亿 kW。正在建设中的长江三峡水电站，位于葛洲坝水电站上游约 40km 处，总库容为 393 亿 m^3 ，设计装机容量为 $26 \times 70 \text{ 万 kW} = 1820 \text{ 万 kW}$ ，比目前世界上最大的依泰普水电站（位于南美洲巴西边界的巴拉那河中游，总库容 290 亿 m^3 ，装机容量为 $18 \times 70 \text{ 万 kW} = 1260 \text{ 万 kW}$ ）还要大。

1. 水电站的类型

水电站按取得水头的方式不同可分为堤坝式、引水式和混合式；按运行方式不同可分为无调节、有调节和抽水蓄能式。

(1) 堤坝式水电站。在河流中落差较大的适宜地段拦河建坝，形成水库，以提高坝前后的水头。由于水电站厂房的位置不同，又分为坝后式和河床式两种型式。

1) 坝后式水电站。厂房建在坝的后面，水流经坝体内的水轮机管道引入厂房的水轮发电机发电。这种水电站有库容，可按计划调节，更科学、合理的利用水能。其上游水压由坝体承受，适用于水头较高的坝后式水电站。图 1-1 为坝后式水电站示意图。这是我国最常见的水电厂型式，葛洲坝和三峡电站都属于此类。

2) 河床式水电站。水电站的厂房代替一部分坝体，直接承受上游水的压力，水流由上游进入厂房，转动水轮发电机后泄入下游。这种电站无库容，也不需要专门的水轮机管道，又称经流式水电站，一般建于中、下游平原河段。

(2) 引水式水电站。引水式水电站是将坡降较小的弯曲弧形河段用直线形引水管道将落差集中引入厂房中的水轮发电机发电，其尾水泄入河的下游。这种水电站的特点是具有较长的引水道，如广西红水河天生桥二级水电站，引入渠道长达 9555m，设计水头 176m。河床式水电站和引入式水电站多是无调节的。

(3) 抽水蓄能式水电站。抽水蓄能式水电站有高位和低位两个水库，安装既可抽水又

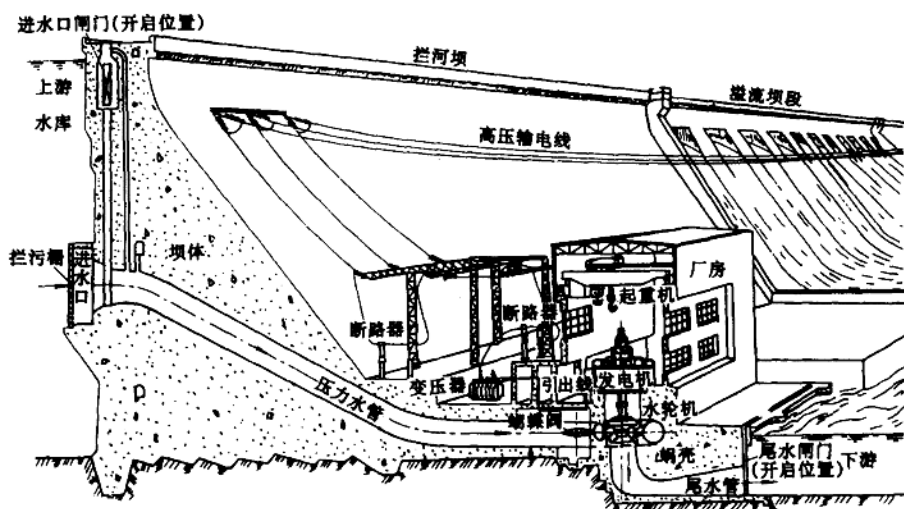


图 1-1 坝后式水电站示意图

能发电的可逆式两用机组。在高峰负荷时，机组作为水轮机—发电机组，将高位水库的水放下来通过机组发电，对电力系统供电；当低峰负荷（如深夜不用电）时，可逆机组则作为电动机—水泵机组，用系统的电能将低位水库的水抽入高位水库蓄能；在系统缺电时（枯水期或用电高峰时），高位水库的水再用来发电。近年来，国外电力行业很重视抽水蓄能电站的建设，我国在建的广州抽水蓄能电站，装机容量为 $4 \times 300\text{MW}$ ；山东泰安抽水蓄能发电站计划装机容量为 $4 \times 200\text{MW}$ 。

2. 水力发电的生产流程及特点

水力发电的方式很多，但其基本生产流程是相同的，即拦河建坝集中落差的水能

水轮机 → 机械能 → 发电机 → 电能 → 变压器 → 电力系统。

水力发电的主要特点是：

(1) 发电成本低、效率高。水能是再生性能源，不像火电厂的煤和石油。因不用燃料，也省去了开采、运输、加工等多个环节，运行人员少（是同容量火电厂的 20%~25%），厂用电率低，发电成本仅是同容量火电厂的 1/10 或更低。

(2) 可综合利用水资源。除发电外，还有防洪、灌溉、航运、供水、养殖及旅游等多方面综合效益，并且可以因地制宜，将一条河流分为若干河段，分别修建水利枢纽，实行梯级开发。

(3) 运行灵活。由于水电站设备简单，机组启动快（水电机组从静止状态到满负荷运行只需 4~5min，紧急情况可只用 1min，而火电机组则需要数小时），运行操作灵活，易于实现自动化。水电站适合于承担系统的调峰、调频和事故备用（容量）的任务。

(4) 水能可储蓄和调节。电能的生产是发、输、用同时完成的，不能大量储存，而水资源则可借助水库进行调节和储蓄，而且可建造抽水蓄能发电站，扩大利用水的能源。

(5) 水力发电不污染环境。水力发电不产生烟气和废渣，不会造成环境污染。相反，大水库可调节空气的温度和湿度，改善自然生态，往往成为旅游和疗养胜地。

(6) 水电站建设投资大、工期长。修建水电站的施工工程量大，需修建拦河大坝，改建道路，而且常常淹没土地，移民搬迁及远距离输电等，工程量、工期和投资都远比火电厂大。

(7) 水电站建设受自然条件限制。水电站的建设和生产都受河流的地形、水量及季节气象条件限制，因此发电量也受到水文气象条件的制约。

第三节 新能源发电简介

能源是国民经济发展的动力，是人类生存的重要物质基础。能源的开发和利用程度（广度和深度）是衡量一个国家科学技术、生产水平的主要标志之一。随着世界经济的发展，各国对能源的需用量增长很快，进入 20 世纪以来，平均每 30 年增加一倍，而近 20 年又以每 10 年增加一倍的速度增长。为解决能源紧张的局面，必须多样化开发能源，下面就以可行的新能源发电方式进行简单介绍。

一、原子能发电

原子能是指原子核裂变所释放出的巨大核能，可分为两种：一种是重金属元素如铀、钚等的原子核发生裂变放出巨大能量，称为裂变反应。另一种是轻元素，如氢的同位素氘和氚等的原子核聚合成较重的原子核，如氦放出巨大的能量，称为聚变反应。原子能发电厂即核电厂主要是指核裂变式，即利用铀 235 被中子轰击发生原子核裂变放出的能量作为热源，由水或气体作为冷却剂带出热能，在蒸汽发生器中把水加热变为蒸汽，推动汽轮发电机做功发出电能。压水堆型原子能发电方式示意图如图 1-2 所示。

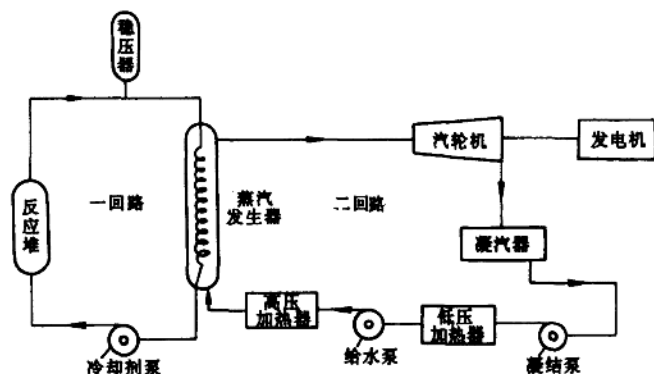


图 1-2 压水堆型原子能发电方式示意图

1. 核电厂结构分析

核电厂同火电厂相比，除燃料系统外，其汽水系统、电气系统均大致相同。

核反应堆相当于火电厂的锅炉炉体，主要由核原料、减速剂、冷却系统、控制调节系统、危急保安系统和防护屏蔽层等组成。图 1-2 所示即为美俄等国家常用的轻水型压力堆核

锅炉发电厂示意图。我国第一座 30 万 kW 核电厂—秦山核电厂也属于这种类型。

核电厂的主要特点是：没有送风、吸风设备和煤粉制备及输送装置，烟囱低而小；汽轮机参数比火电厂机组低得多。但是热污染较为严重，用水量大，对安全可靠和防护措施的要求极为严格。

2. 核电厂的特点及发展概况

核电厂在近 20 年来得到很快的发展，压水堆、沸水堆、重水堆等技术已经成熟，尽管一次性建造的投资大，但发电成本低（为燃煤电厂的 60% 左右）且无烟尘污染。放射性方面，由于处理十分严格，对人类无影响。

核能储量远比化学能大，1kg 的 U_{235} 裂变释放的能量，相当于 2700t 标准煤完全燃烧所放出的热量，所以大大减少了燃料的运输工作量。

核电厂的反应堆进行核裂变时不需要空气助燃，因此电厂可设在地下、水下、山洞等地方。

目前，世界上已有 23 个国家和地区的 205 座核电厂已投入运行，其发电量占总发电量的近 20%，最大机组容量为 130 万 kW。预计到 2000 年，世界核电厂的总容量将达到 15 亿 kW 左右，约占总发电量的 35%。我国核电厂建设起步虽较晚，但发展很快，秦山核电厂 310MW 发电机组已于 1991 年并网发电；在建的秦山二期为 2×600 MW。大亚湾核电厂 2×900 MW 机组于 1994 年并网运行，在建的 2×1000 MW 机组正在建设中。

二、地热能发电

地热是指地球内部蕴藏的热能。地球是一个巨大的热库，据估计，世界石油总能量为煤的 3%，目前人们能利用的核能（核燃料），仅为煤的 15%，而地热能（即地下热水、地热蒸汽和地下热岩石的热能）总量约为煤的 1.7 亿倍，在地下 3km 内，可供开采的地热能就相当于几万亿吨煤。

地热蒸汽发电的原理和设备与火力发电厂基本相同。对地下的干蒸汽（不含水分）可直接送入汽轮发电机发电；对地下的汽水混合物，可采用两种方法获得足以使汽轮机作功的地热蒸汽。

（1）减压扩容法。此方法是使地下热水转变为低压蒸汽供汽轮机作功，其流程如图 1-3 所示。地下热水经过除气器后，进入一级扩容器进行减压扩容，产生一次蒸汽（约占地下热水量的 10%），送入汽轮机作功，余下的 90% 的热水再进入二级扩容器，进行二次减压扩容，产生二次蒸汽，也送入汽轮机的中间压力仓推动汽轮机带动发电机发电。减压扩容法构成了两级扩容地热发电系统。

（2）低沸点工质法。此方法是用地下热水通过预热器和蒸发器，对低沸点又易于凝结的工质（如氟里昂、异丁烷等）加热，建立热力循环，使变为气态的工质推动汽轮发电机发电。其流程如图 1-4 所示。

由图 1-4 可见，热水和工质各自构成独立系统，称之为双流系统，此处工质是双回路的，所以又称两级双流地热发电系统。

地热发电不消耗燃料，不需锅炉燃烧、除灰等系统，因此无粉尘污染，设备利用率高，发电成本低，系统构成简单，运行管理方便。但容量和效率都较低，单位容量投资大，且

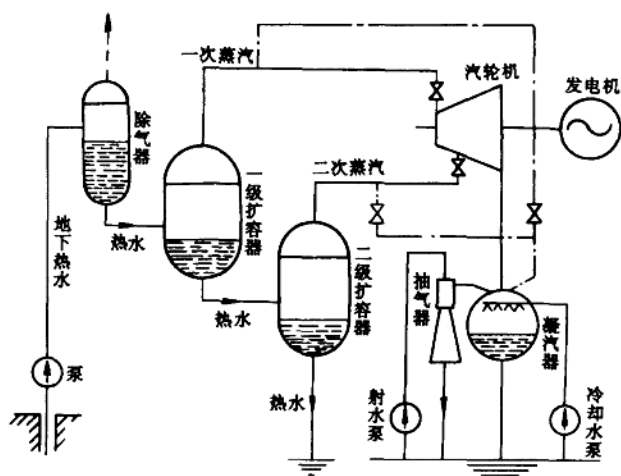


图 1-3 两级扩容地热发电系统（减压扩容法）

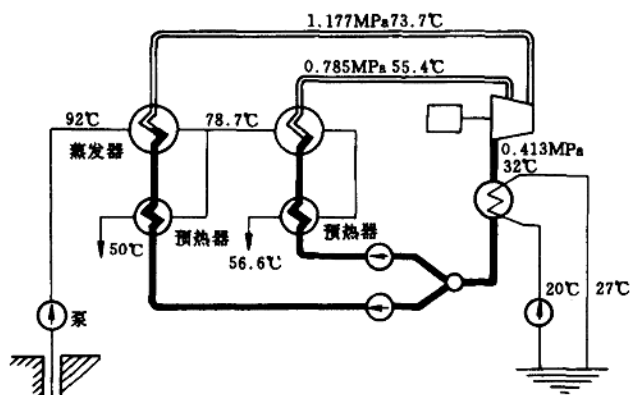


图 1-4 两级双流地热发电系统（低沸点工质法）

需依赖地井的井址及规模。地下热水和蒸汽中含有硫化氢、氨等有害物质，应返灌回地下。

1904 年意大利在拉德瑞罗火山地区建造了世界上第一座地热电厂（容量为 500kW），引起了人们的重视，并在近三十年来取得了较大的发展。目前，美国盖伊赛尔地区地热电厂装机容量已达 50 万 kW，意大利、新西兰、墨西哥、日本等国对地热发电都比较重视。我国已于 1970 年建成了用减压扩容法发电的第一座地热电厂，1977 年又建成了地下蒸汽发电厂。1988 年 2 月，在西藏地区打成了第一口超 200°C 的地热井，将进一步推动我国地热发电厂的建设。

三、太阳能发电

太阳能是比水资源更可靠的取用不尽的能源，特别是在少雨地区，太阳能的开发利用

具有重要意义。据资料报导,太阳光每一秒钟辐射到地球上的能量约为 500 万 t 标准煤的热量,相当于 1.85t 铀 235 发生核裂变所放出的热量。每年辐射到地球的能量相当于 87 万亿 t 标准煤的能量,目前全世界一年消耗的热能不到太阳一年辐射到地球能量的万分之一。所以科学利用太阳能的前途是无限的。

太阳能发电可分为利用太阳热能发电和利用太阳光能发电两大类:①太阳热能发电是将太阳热能集中起来加热介质(水),将水蒸气推动汽轮发电机发电。如美国加州巴斯托 1 万 kW 太阳能电站,前苏联克里米亚 5000kW 电站。②太阳光能发电是将太阳光能直接分配给高效光电池,产生直流电并经逆变后送到用户,如美国南加州沙漠中 1000kW 的电站。以下主要对太阳热能发电进行简单介绍。

太阳热能发电站可分为集中型和分散型两种,下面分别说明。

1. 集中型太阳能发电站

图 1-5 所示为集中型塔式太阳能电站示意图。

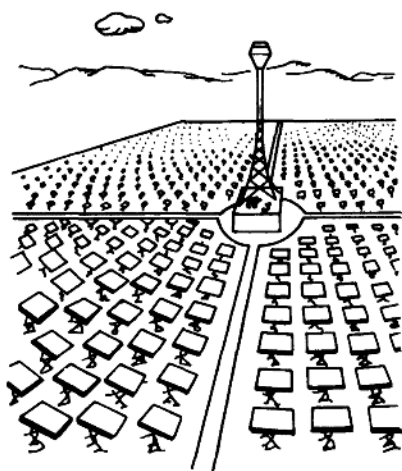


图 1-5 塔式太阳能电站示意图

由图 1-5 可见,在电站的地面上整齐地布设大量的定日镜(即反射镜)阵列,在阵列的中央建一高塔,塔顶设置吸热器(即锅炉),从定日镜反射来的太阳光热聚集到吸热器上,使吸热器内的介质(水)受热变成蒸汽,经管道送到地面上的汽轮发电机组发电,其热力系统流程如图 1-6 所示。

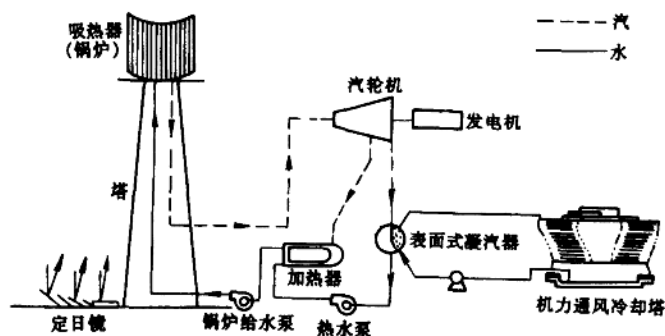


图 1-6 塔式太阳能电站热力系统流程图

2. 分散型太阳能发电站

图 1-7 所示为分散型太阳能发电站热力系统示意图。其集热装置是以一个镜体配一个吸热器组成一个独立单元,根据发电参数的需要,串、并若干个单元组成电站的集热装置。

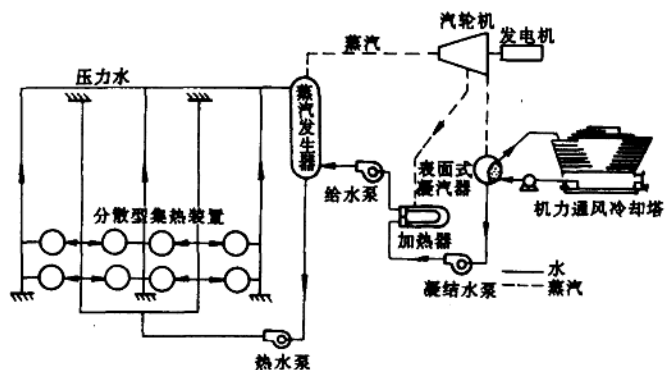


图 1-7 分散型太阳能发电站热力系统示意图

太阳能电站的缺点是占地面积大，造价高，受天气和纬度的影响大，需庞大的蓄能设备，所以要大量发展有一定难度。

四、风力发电

风力发电是以自然界的风为动力，驱动发电机发电。风力发电要求风速大而稳定，我国内蒙、西北和沿海地区的风能资源丰富，已有不少中、小型风力发电站在运行。德国、荷兰、丹麦、英国、美国等国家风力发电比较发达。英国已开发 6000km² 的风力密集地区，采用风力发电达到英国 20% 的电力需要。美国已有近 2000 万台风力发电机组，总装机容量达 1400MW 以上。近年来，不少国家已采用风能与太阳能混合发电装置。

风力发电装置如图 1-8 所示。由图 1-8 可见，风力发电装置主要由叶片、升速装置、发

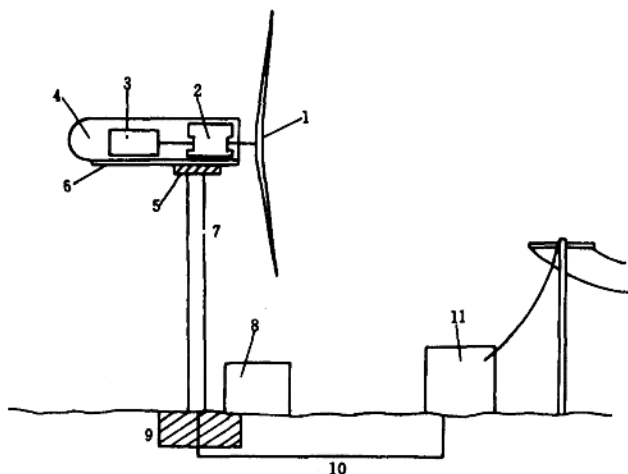


图 1-8 风力发电装置

- 1—叶片；2—升速装置；3—发电机；4—感受元件、控制装置、防雷保护等；5—改变方向的驱动装置；6—底板和外罩；7—支撑铁塔；8—控制和保护装置；9—土建基础；10—电力电缆；11—变压器和开关等

电机、控制装置、调速系统和支撑铁塔等组成。叶片的方向与风向垂直,转速为 $40\sim 50\text{r/min}$;升速装置一般用齿轮、链条和皮带等构成,控制装置包括定向、启动和停机装置。

五、潮汐发电

潮汐发电是利用海水潮汐涨落时海水水位的升降落差推动水轮发电机组发电。由于太阳和月亮对地球表面不同位置的引力不平衡,使海水形成有规律升降的潮汐现象,海水有规律的运动形成大量的动能和势能,称为潮汐能。世界上的潮汐能约为(每年)30亿kW,经济可用的约为6400万kW,折算成标准煤(每年)约为0.64亿t。我国海岸线长达14000km,可开发利用的有500多处,可装机容量约2800万kW,年发电量可达700亿kW·h。目前,世界上最大的潮汐发电厂是法国朗斯潮汐电厂,其装机容量为24万kW,年发电量为5.44亿kW·h。

潮汐发电厂的基本结构形式有如下三种:

1. 单库单向发电厂

图1-9所示为单库单向潮汐发电厂的结构形式,由图可见,电厂只有一道堤坝,构成一个水库,水轮机组单向(由左向右)通水发电。这种电厂构造简单,投资省,但只有在落潮时才能发电。

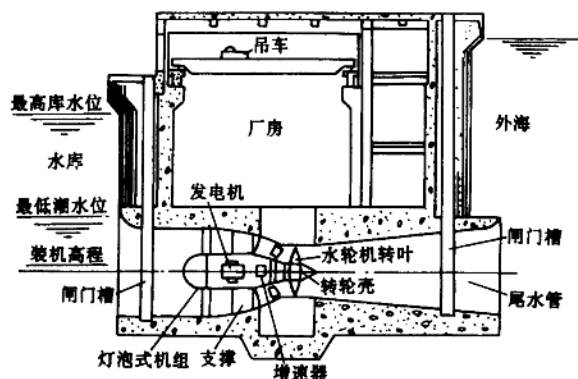


图 1-9 单库单向潮汐发电厂

2. 单库双向发电厂

图1-10所示为单库双向潮汐发电厂的结构形式。

由图1-10可见,当涨潮到一定高度时,打开进水闸A(此时闸C、D、E、F均关闭),引进潮水经水轮发电机组发电,并经尾水门B进入水库;当涨潮停止时,迅速打开闸E、F,使水库充满水后即关闭,保持水位最高状态;当退潮并达到一定水位差时,打开水库中控制闸C和控制闸D,使水库的水经水轮发电机发电。这样就实现了涨潮及落潮均能发电。

3. 双库单向发电厂

将水库拦截为二,分为上水库和下水库,水轮发电机组置于两水库之间的隔坝内。上

水库涨潮时进水，以尽量保持高水位（下水库不进水）；下水库在落潮时放水（入海），这样，可使上水库水位总比下水库水位高，因此可以全天进行发电。

六、燃气轮机发电

燃气轮机的工作原理与汽轮机相似，不同的是工质不是蒸汽，而是高温高压气体，其基本循环示意图如图 1-11 所示。

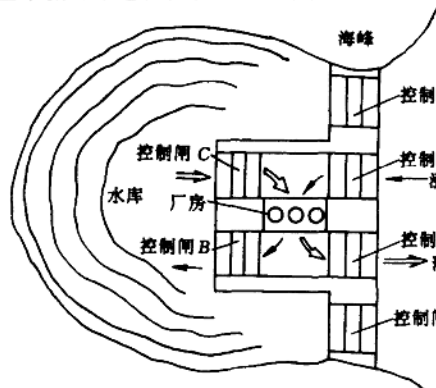


图 1-10 单库双向潮汐发电厂

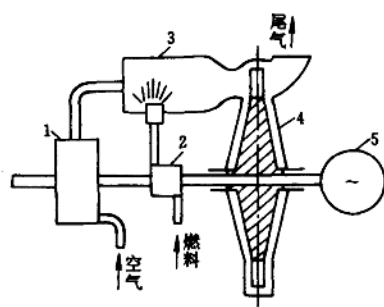


图 1-11 燃气轮机基本循环示意图

1—空气压缩机；2—燃料泵；3—燃烧室；
4—燃气轮机；5—发电机

空气经压缩机输入燃烧室，燃料（油或液化天然气）经燃料泵打入燃烧室，在燃烧室燃烧产生高温高压的气体，进入燃气轮机中膨胀做功，推动燃气轮机旋转，带动发电机发电。

燃气轮机转速较高，运转平稳，因无锅炉设备，不需水或仅需少量的水，所以机体紧凑，单机容量较大，启动快，热效率为 16%~33%，略低于汽轮机（30%~40%）。燃气轮发电机一般用于缺水地区和电网调峰。

为使燃气轮机的热效率提高，已采用燃气—蒸汽联合循环发电系统，如图 1-12 所示。由图可见，燃气轮机排出的高温燃气导入蒸汽锅炉充分利用，其综合效率可达 40%~60%。这是一种有效节能措施，是改造旧有蒸汽发电厂的可行办法。美国比维尔电厂有总容量 60 万 kW 联合循环发电装置，其中包括 6 台 7.5 万 kW 燃气轮机组和一台 15 万 kW 汽轮发电机

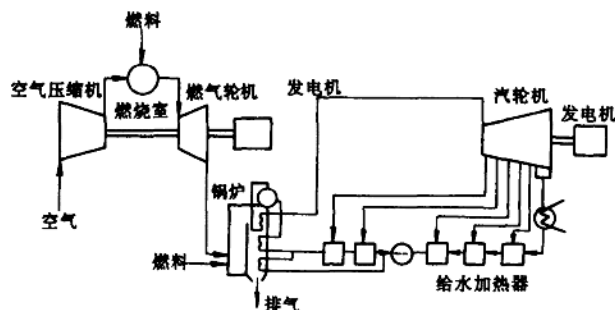


图 1-12 燃气—蒸汽联合循环发电系统

组，以油为燃料。日本新泻电厂有两套 109 万 kW 联合循环发电装置，净热效率为 43%，以液化天然气为燃料。

第四节 火电厂基本生产过程

我国火力发电厂所使用的燃料主要是煤，且主力电厂是凝汽式发电厂。下面就以煤粉炉、凝汽式火电厂为例，介绍火力发电厂的基本生产过程。

火力发电厂的生产过程概括地说是把燃料（煤）中含有的化学能转变为电能的过程。整个生产过程可分为三个阶段：①燃料的化学能在锅炉中转变为热能，加热锅炉中的水使之变为蒸汽，称为燃烧系统；②锅炉产生的蒸汽进入汽轮机，推动汽轮机旋转，将热能转变为机械能，称为汽水系统；③由汽轮机旋转的机械能带动发电机发电，把机械能变为电能，称为电气系统。整个电能生产过程如图 1-13 所示。

一、燃烧系统

燃烧系统由输煤、磨煤、燃烧、风烟、灰渣等环节组成，其流程如图 1-14 所示。

(1) 运煤。电厂的用煤量是很大的，一座装机容量 4×30 万 kW 的现代火力发电厂，煤耗率按 $360\text{g/kW} \cdot \text{h}$ 计，每天需用标准煤（每千克煤产生 7000 卡热量） $360(\text{g}) \times 120 \text{万}(\text{kW}) \times 24(\text{h}) = 10368\text{t}$ 。因为电厂燃煤多用劣质煤，且中、小汽轮发电机组的煤耗率在 $400 \sim 500\text{g/kW} \cdot \text{h}$ 左右，所以用煤量会更大。据统计，我国用于发电的煤约占总产量的 $1/4$ ，主要靠铁路运输，约占铁路全部运输量的 40%。为保证电厂安全生产，一般要求电厂贮备十天以上的用煤量。

(2) 磨煤。用火车或汽车、轮船等将煤运至电厂的储煤场后，经初步筛选处理，用输煤皮带送到锅炉间的原煤仓。煤从原煤仓落入煤斗，由给煤机送入磨煤机磨成煤粉，并经空气预热器来的一次风烘干并带至粗粉分离器。在粗粉分离器中将不合格的粗粉分离返回磨煤机再行磨制，合格的细煤粉被一次风带入旋风分离器，使煤粉与空气分离后进入煤粉仓。

(3) 锅炉与燃烧。煤粉由可调节的给粉机按锅炉需要送入一次风管，同时由旋风分离器送来的气体（含有约 10% 左右未能分离出的细煤粉），由排粉风机提高压头后作为一次风将进入一次风管的煤粉经喷燃器喷入炉膛内燃烧。

目前我国新建电厂以 300MW 及以上机组为主。300MW 机组的锅炉蒸发量为 1000t/h （亚临界压力），采用强制循环的汽包炉；600MW 机组的锅炉为 2000t/h 的直流锅炉。在锅炉的四壁上，均匀分布着 4 支或 8 支喷燃器，将煤粉（或燃油、天然气）喷入炉膛，火焰呈旋转状燃烧上升，又称为悬浮燃烧炉。在炉的顶端，有贮水、贮汽的汽包，内有汽水分离装置，炉膛内壁有彼此紧密排列的水冷壁管，炉膛内的高温火焰将水冷壁管内的水加热成汽水混合物上升进入汽包，而炉外下降管则将汽包中的低温水靠自重下降至水连箱与炉内水冷壁管接通，靠炉外冷水下降而炉内水冷壁管中热水自然上升的锅炉叫自然循环汽包炉，而当压力高到 $16.66 \sim 17.64\text{MPa}$ 时，水、汽重度差变小，必须在循环回路中加装循环泵，即称为强制循环锅炉。当压力超过 18.62MPa 时，应采用直流锅炉。

(4) 风烟系统。送风机将冷风送到空气预热器加热，加热后的气体一部分经磨煤机、排