



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

电力生产基础知识

DIANLI SHENGCHAN JICHU ZHISHI

孙文杰 主 编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

电力生产基础知识

DIANLI SHENGCHAN JICHU ZHISHI

主 编 孙文杰
编 写 何 方 张 雷
主 审 李 晗



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分五章，主要介绍了火力发电和水力发电的基本生产过程，生产和输送电能所需的锅炉设备及系统、汽轮机设备及系统、电气设备及系统、单元机组运行及管理等内容，并对原子能发电、风力发电、太阳能发电等新能源发电技术进行了概述。本书知识全面、文字简练；系统性强、结构紧凑、内容安排合理；紧跟现代电力发展技术，符合现场实际，满足学生对发电设备、输电设备认识学习的需要。

本书可作为电力类、动力类、非电专业学习电力生产过程及其设备的教材，也可作为电力技术类电厂热能动力装置、火电厂集控运行、发电厂及电力系统等专业认识实习的参考用书，还可作为电网员工和火力发电厂管理人员的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力生产基础知识/孙文杰主编. —北京: 中国电力出版社, 2011.7

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5123-1927-1

I. ①电… II. ①孙… III. ①电力工业—高等职业教育—教材 IV. ①TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 146598 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 200 千字

定价 15.00 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

在高职高专电力技术类学校中，为了满足非电力类、动力类专业学生学习电力生产过程的需要，均开设“电力生产知识”课程。自高职高专进行教学改革以来，该课程课时不断减少，但要求不断提高。面对这些新特点，迫切需要一本知识全面、内容简炼、系统性强、符合高职高专教育特点、用途又较为广泛的介绍电力生产知识的教材。

本书结合 21 世纪初电力发展的新格局，体现了超临界/超超临界参数、超大容量火力发电机组的特点，并涵盖了水力发电、原子能发电、风力发电、太阳能发电的基本生产过程，增添了一些现代电力的新知识、新数据；在图形选择上，充分体现专业要求，便于学习和理解，保证所学内容的系统性、完整性和有用性。

本书由西安电力高等专科学校组织编写，其中孙文杰编写第一、三、四章，何方编写第二章，张雷编写第五章。孙文杰任主编，并负责全书的统稿工作。

西北电力设计院高级工程师李晗担任主审，并对本书进行了认真的审阅，提出了很多宝贵意见和建议，在此表示诚挚的感谢。

在编写过程中，参考了兄弟院校和企业的大量文献、资料，并得到有关科研院所、学校老师的大力支持，特别是大唐灞桥热电厂的陈遂林，大唐韩城第二发电有限责任公司的段东平、王辉等给予了大量帮助，在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2011 年 6 月于西安

目 录

前言

第一章 电力生产概述	1
第一节 电能与电力工业	1
第二节 常规能源发电	4
第三节 新能源发电	10
第二章 锅炉设备及系统	16
第一节 燃料	16
第二节 锅炉本体	25
第三节 锅炉辅助系统及设备	39
第四节 锅炉热平衡	44
第三章 汽轮机设备及系统	46
第一节 汽轮机的基本工作原理	46
第二节 汽轮机本体结构	51
第三节 汽轮机调节	61
第四节 热力系统及辅助设备	66
第四章 电气设备及系统	77
第一节 同步发电机	77
第二节 电力变压器	86
第三节 变配电设备	90
第四节 电力输送	98
第五章 单元机组运行及管理	103
第一节 单元机组的热状态	103
第二节 单元机组的启停	107
第三节 单元机组运行维护与事故处理	115
第四节 火电厂生产管理	123
参考文献	127

第一章 电力生产概述

电能自被发明时起，就开始引起人们的重视，给人们生活带来方便，尤其是在现代化社会的生产和生活中，电能已经渗透到各个领域，并对各个领域的正常运转起着决定性的作用。电能的广泛应用，促进了社会文明的进步。

第一节 电能与电力工业

在大自然中，能源可以分为两类，即一次能源和二次能源。一次能源是指自然界中现成存在的、可以直接利用的能源，如煤、石油、天然气、水能、风能、太阳能、核能、地热能、海洋能、潮汐能、生物质能等。一次能源又可以分为可再生能源和不可再生能源，前者指能够重复产生和利用的天然能源，如太阳能、风能、水能、生物质能等；后者指利用后数量逐渐减少且不能再生的能源，如煤、石油、天然气、核能等。二次能源是指由一次能源加工转换而成的能源，如常见的汽油、柴油、重油、煤气、蒸汽、焦炭、酒精等。而电能不包含在一次能源里，它必须由其他形式的能量转换而来，所以电能属于二次能源。

一、电能的特点

电能是指由一次能源转换成的电以各种形式做功的能力，它可分为直流电能和交流电能，它们之间可以相互转换。电能与其他形式的能源相比，其特点如下：

(1) 便于生产和输送。生产电能的一次能源广泛（如煤、石油、风能、水能、核能等），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、磁能、化学能等。电能使用方便，易于实现有效而精确的控制，可以称为“最方便的能源”。

(3) 转换效率高。电能可以取代其他形式的能源，如电动机取代柴油机，电气机车取代蒸汽机车，电炉取代其他加热炉等，效率可以提高 20%~50%，可以称为“最节能的能源”。

(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，可以称为“最清洁的能源”。

二、电力工业

电力工业是指对电力生产全过程进行统一调度、统一管理、统一指挥的工业部门或企业所组成的整体，包括电力生产企业和电力的输送、分配与销售企业。

电力生产企业是把一次能源转换成电能的企业，如发电厂。目前我国发电厂大多归属于五大发电集团，即中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司、中国国电集团公司、中国电力投资集团公司。此外，还有国有大型企业的自备电厂及国内专门以发展核电为目标的核工业集团公司和中国广东核电集团有限公司等。

电力的输送、分配与销售企业是将发电厂发出的电能进行远距离输送、分配，最后销售给用户的企业，如国家电网公司、中国南方电网有限责任公司、各省省电力公司及供电局。

1. 电力工业发展简史

1752年7月,美国印刷工人本杰明·富兰克林冒着生命危险,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、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220V/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,法国科学家德善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110V直流发电机。

1885年,美国西屋电气公司(Westinghouse Corporation)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路投入运行,把水力发电厂的电力输送到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。

电力工业的发展改变了人们生活和生产面貌,促进了经济的高速发展。电力的广泛应用,电力需求的不断增大,促进了电力工业和电力技术进一步向高电压、大机组、大电网方面迅速发展。

1960年,美国制成了500MW汽轮发电机组,1972年,美国将瑞士BBC公司制造的1300MW双轴汽轮发电机组投入运行。

1982年,前苏联1200MW单轴汽轮发电机组在科斯特罗姆火电厂投入运行。20世纪90年代,俄罗斯建成了世界上最大的火力发电厂——苏尔古特第二发电厂,6台机组总容量为4800MW。

据统计,从1992年以来,世界上发电设备容量和年发电量以大约每10年增加1倍的速度发展。

在高压输电方面,1954年,瑞典建成了第一条380kV交流输电线路;1964年,美国建成了第一条500kV交流输电线路;1965年,前苏联建成了500kV直流输电线路;1989年,前苏联建成了一条世界上最高电压为1150kV、长1900km的交流输电线路。现在,世界上已经出现了跨越几千公里、贯穿几个国家的巨大电力系统。

2. 我国电力工业发展概况

1879年,外商在上海安装了1台10马力的发电机,开始了我国发电的局面。

1882年,上海创建第一个12kW发电厂。从此时起至1949年的67年中,全国总装机容量仅有1850MW,年发电量只有43亿kW·h,与世界发达国家的差距非常大。新中国成立后,特别是近三十多年来,我国电力工业取得了快速发展。

(1) 发电机组容量不断扩大。建成了若干座单机容量为300、600MW的亚临界、超临界参数的火力发电厂,尤其是近十年,单机容量为1000MW的超超临界参数的现代化火力发电厂得到了迅速的发展。

(2) 电站装机容量不断提高。2003年底,我国电站装机总容量为3.845亿kW;2009

年底，我国电站装机总容量为 8.6 亿 kW；截至 2010 年底，我国电站装机总容量已达 9.6 亿 kW。

(3) 电力网向特高电压、智能化发展。±800kV 特高压直流输电线路，750、1000kV 特高压交流输电线路，在全国各个电网初具规模且快速发展，已经开始为我国经济发展发挥重要作用，充分体现了特高压在技术上和经济上的优越性，主要表现在：① 可以充分开发边远地区的动力资源，将电能远距离送至负荷中心；② 使不同地区间的电能相互调剂，发电机组互为备用；③ 有效地进行水电、火电的调配，更合理地利用能源，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 大电网能够承受更大的冲击负荷，保持系统的稳定运行。

我国第一条 1000kV 特高压交流输电线路（晋东南—南阳—荆门）于 2008 年 12 月开始试运行，全长 654km。

三、电力系统

电能的生产过程实质上是电能的生产、输配和耗用的过程，这个过程通常分为发电、输电、变电、配电和用电五个环节，这五个环节连续同时运行，构成了完整的电力生产过程。其中任意一个环节配合不好，都不能保证电力系统的安全、经济运行。

电力系统是由发电厂、电力网和电力负荷三部分组成的整体。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，工厂内有许多设备和管道，它们之间互相协调、安全运行，完成能量的连续转换。电力网是由输（配）电线路和变电所组成，它是电源与电力用户的纽带。电力负荷就是电力用户，根据对供电可靠性的要求，可以分为一级用户、二级用户和三级用户。一级用户指的是中断供电将造成人员伤亡、在政治上和经济上造成重大损失、将影响具有重大政治和经济意义用电单位正常工作的用户；二级用户指的是中断供电将在政治上和经济上造成重大损失、将影响重要单位正常工作的用户；其余为三级用户。

电力系统加上各类型发电厂中的热力部分、水力部分、核反应堆部分等的动力装置称为动力系统。图 1-1 所示为动力系统、电力系统和电力网之间关系示意。

额定电压是根据国民经济发展的需要、技术经济合理性及电机、电器制造因素等所规定的电气设备标准的电压等级，是一种标准电压，是电气设备设计时所依据的电压值。在这一电压下工作时，电气设备的技术经济性能能够达到最佳值。

我国规定的额定电压按电压高低及使用范围可分为以下三类：

第一类额定电压是指 100V 及其以下的额定电压，主要用于安全动力、照明、蓄电池及其他特殊设备。

第二类额定电压是指 100~1000V 之间的额定电压，主要用于电动机、工业、民用、照明、普通电器、动力及控制设备等。

第三类额定电压是指 1000V 及其以上的电压等级，电力系统的发电、供电、输电、配电、用电都采用该电压等级。

根据 GB 156—2007《标准电压》中规定的电力系统电压有 220V/380V、380V/660V、3、6、10、20、35、66、110、220、330、500、750、1000kV 等，在有两个数值的标准电压中，较低的数值是相电压，较高的数值是线电压，只有一个数值的是线电压；高压直流输电系统的系统标称电压有 ±500、±800kV。

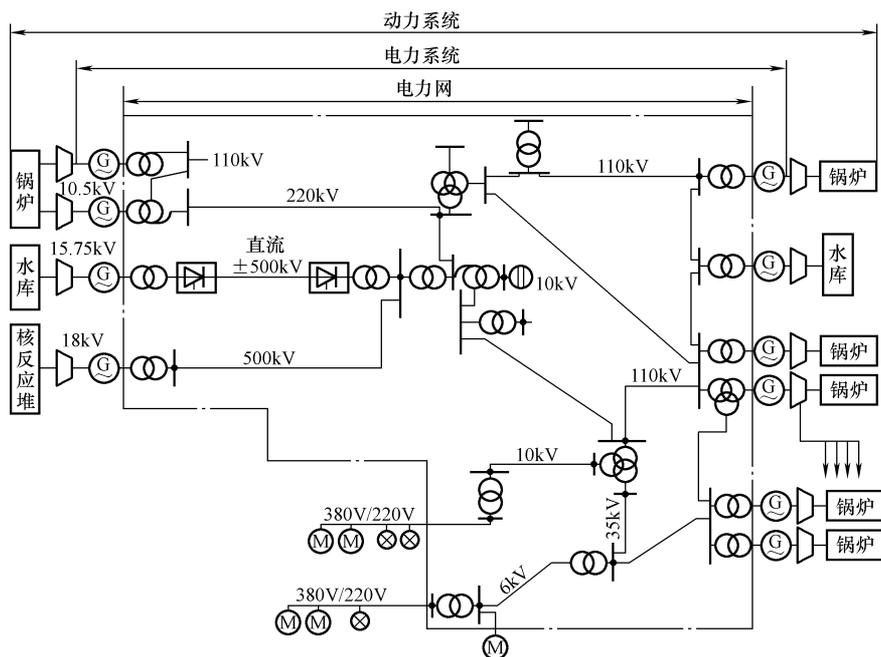


图 1-1 动力系统、电力系统与电力网之间关系示意

220V 为单相交流，其余均为三相交流值。330、750kV 电压等级只在西北电力系统中采用，63kV 电压等级只在东北电力系统中采用。

一般城市对中、小企业的供电可采用 10kV 电压等级的配电网，对大、中企业的供电可采用 35~110kV 电压等级的配电网，大、中型企业内部可采用 10kV 电压等级的配电网。35、110kV 电压等级适用于中距离输电；220~500kV 电压等级适用于远距离大容量的输电。大、中容量的电动机可采用 3、6kV 和 10kV 的额定电压等级；小容量的电动机可采用 380V/220V 的电压等级；照明及其他单相负载在 380V/220V 三相四线制供电网络的相电压上。直流 220、110V 电压等级，广泛使用在发电厂、变电站的控制、信号及自动装置回路中。

第二节 常规能源发电

发电厂是将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、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂和潮汐发电厂等。

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，以葛洲坝、三峡为代表的大型水电厂已经建成，核电建设正在加快发展，原计划到 2020 年末核电装机容量将占全国总装机容量的 20%，但受日本大地震的影响，核电建设进度有所放缓，保证各种情况下的核电安全是核电建设的重中之重。

一、火力发电厂

以煤、石油、天然气等作为燃料的发电厂称为火力发电厂，简称火电厂。

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）作为燃料的发电厂；③ 燃气发电厂，即以天然气、煤气等可燃气体作为燃料的发电厂；④ 余热发电厂，即用工业企业在生产过程中产生的各种余热进行发电的发电厂。此外，还有利用垃圾、工业废料及秸秆作为燃料的发电厂。

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

(3) 按供出能源分类：① 凝汽式发电厂，即只向外供应电能的发电厂；② 热电厂，即不仅向外供应电能，同时又供应热能的发电厂。

(4) 按发电厂装机容量分类：① 小容量发电厂，即装机总容量小于 100MW 的发电厂；② 中容量发电厂，即装机总容量在 100~250MW 范围内的发电厂；③ 大中容量发电厂，即装机总容量在 250~600MW 范围内的发电厂；④ 大容量发电厂，即装机总容量在 600~1000MW 范围内的发电厂；⑤ 特大容量发电厂，即装机总容量在 1000MW 及以上的发电厂。

(5) 按蒸汽参数分类：① 低压发电厂；② 中压发电厂；③ 高压发电厂；④ 超高压发电厂；⑤ 亚临界压力发电厂；⑥ 超临界压力发电厂；⑦ 超超临界压力发电厂。

(6) 按供电范围分类：① 区域性发电厂，即将所发出的电能通过电网输送到某一区域内供用户使用的发电厂；② 孤立发电厂，即不并入电网而单独运行的发电厂；③ 自备发电厂，即由大型企业自己建设，主要供本单位用电的发电厂，该电厂在特定时候可以向电网输电。

2. 火力发电厂的生产过程

图 1-2 所示为凝汽式火力发电厂生产过程示意。该生产过程就是把燃料中含有的化学能转变为电能的过程。整个生产过程可以分为三个阶段：① 燃料的化学能在锅炉中转变为热能，并将其内部的水加热变为蒸汽；② 锅炉产生的蒸汽进入汽轮机膨胀做功，推动汽轮机旋转，将热能转变为旋转的机械能；③ 旋转的汽轮机带动发电机转动发电，把机械能变为电能，升压后送入电网。所以锅炉、汽轮机和发电机为火力发电厂的三大主机。

凝汽式火力发电厂的基本生产过程包括燃料的制备、蒸汽的产生、热能与机械能的转换、乏汽的冷却和电能的生产与输送。

(1) 燃料的制备。燃煤通过运煤皮带输送到制粉系统的原煤斗中，再经过给煤机送入磨煤机进行磨制，煤粉颗粒在风的携带下进入粗粉分离器和细粉分离器进行分离，若采用中间储仓式制粉系统，分离后的煤粉储存在煤粉仓中；若采用直吹式制粉系统，则经粗粉分离器分离后的煤粉直接进入炉膛。

(2) 蒸汽的产生。煤粉仓中的煤粉（中间储仓式制粉系统）经给粉机、喷燃器送入炉膛进行燃烧，将燃料的化学能转变为热能，加热锅炉水冷壁内的水产生蒸汽，该蒸汽再经过热器加热到一定品质后满足汽轮机对蒸汽参数的需求。

燃料燃烧后的灰渣通过灰斗进入除灰设备，而携带细小颗粒灰分的烟气，则通过烟道与受热面进行换热，经除尘器除尘后与灰渣一起送到灰场，净化后的烟气通过烟囱排到大气。

(3) 热能与机械能的转换。锅炉产生的蒸汽经新蒸汽管道送到汽轮机内进行膨胀做功，推动汽轮机旋转，将热能转变成为机械能，做完功后的蒸汽从汽轮机排汽口排出，称为乏汽。

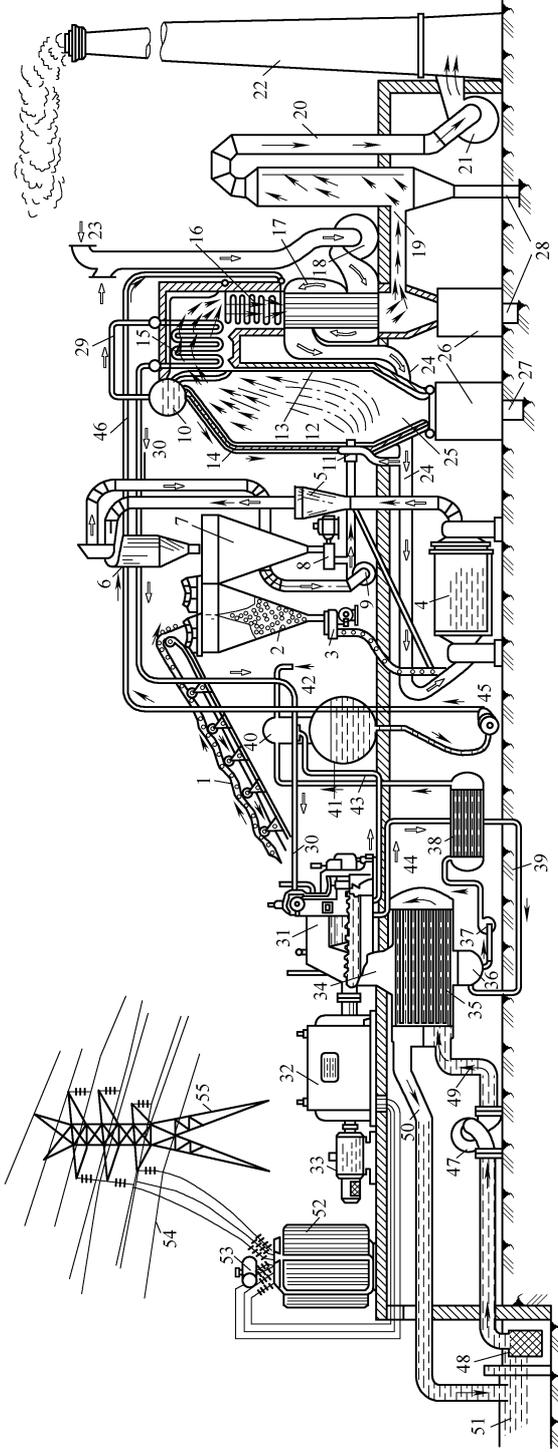


图 1-2 凝汽式火力发电厂生产过程示意

- 1—运煤皮带；2—原煤仓；3—圆盘给煤机；4—钢球磨煤机；5—粗粉分离器；6—细粉分离器；7—煤粉仓；8—给粉机；9—排粉机；10—汽包；11—燃烧器；12—炉膛；13—水冷壁；14—下降管；15—过热器；16—省煤器；17—空气预热器；18—送风机；19—除尘器；20—烟道；21—引风机；22—烟囱；23—送风机的吸风口；24—热风道；25—冷灰斗；26—除灰设备；27—冲渣沟；28—冲灰沟；29—饱和蒸汽管；30—主蒸汽管；31—汽轮机；32—发电机；33—励磁机；34—乏汽口；35—凝汽器；36—热井；37—凝结水泵；38—低压加热器；39—低压加热器疏水管；40—除氧器；41—给水箱；42—化学补充水入口；43—汽轮机第一级抽汽；44—汽轮机第二级抽汽；45—给水泵；46—给水管；47—循环水泵；48—吸水滤网；49—冷却水进水管；50—冷却水出水管；51—江河或冷却设备；52—主变压器；53—油枕；54—高压输电线；55—铁塔

(4) 乏汽的冷却。乏汽进入凝汽器内，由冷却塔过来的冷却水经循环水泵送入凝汽器的冷却水管内，与管壁外的乏汽进行热量交换，将乏汽冷却成水，再经凝结水泵、加热器、除氧器、给水泵送入锅炉。吸收热量后的冷却水送到冷却塔冷却后继续循环。

(5) 电能的生产与输送。汽轮机带动发电机转动产生电能，由变压器升压后经高压配电装置、输电线路送入电网。

3. 火力发电厂的基本生产流程

根据前面对火力发电厂基本生产过程的描述，其基本生产流程表示如下：

燃料的化学能 $\xrightarrow{\text{锅炉}}$ 蒸汽的热能 $\xrightarrow{\text{汽轮机}}$ 机械能 $\xrightarrow{\text{发电机}}$ 电能 $\xrightarrow{\text{变压器}}$ 电网

二、水力发电厂

利用自然界江河湖泊的水所蕴藏的能量来转化为电能的发电厂称为水力发电厂。因为水的能量与其流量和落差成正比，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。

(一) 水力发电厂的类型

水力发电厂按照取得水头的方式不同，可以分为堤坝式水电厂、引水式水电厂和混合式水电厂；按运行方式不同，可分为无调节、有调节式，抽水蓄能式及潮汐式。其中堤坝式水电厂较多。

1. 堤坝式水电厂

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。由于水电厂厂房的位置不同，可以分为坝后式和河床式两种。

(1) 坝后式水电厂。图 1-3 所示为坝后式水电厂示意，厂房建在坝的后面，水历经坝体内的导流洞引入厂房的水轮发电机发电。这种水电厂有库容，可按计划调节，更科学、合理地利用水能。其上游水压由坝体承受，适用于水头较高的水电厂。我国的葛洲坝和三峡水电厂都属于此类。

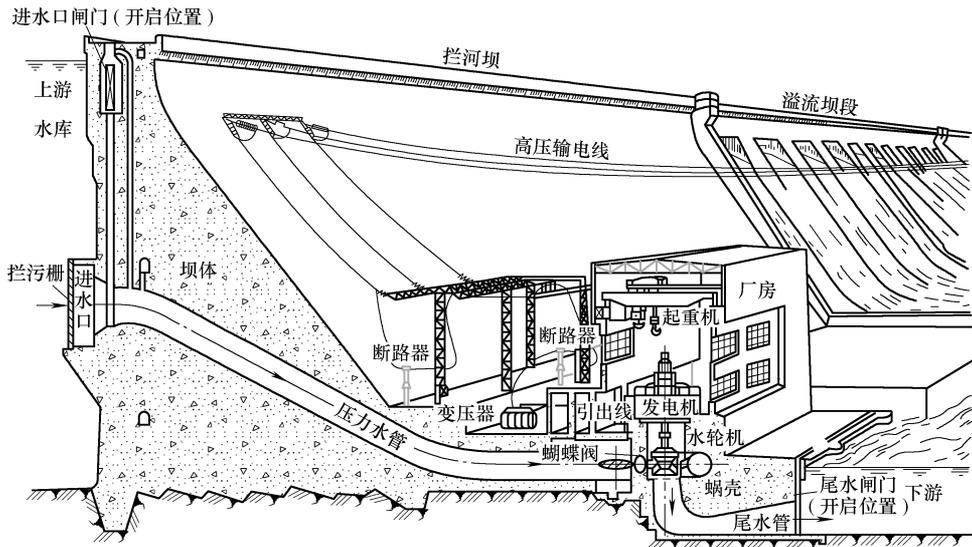


图 1-3 坝后式水电厂示意

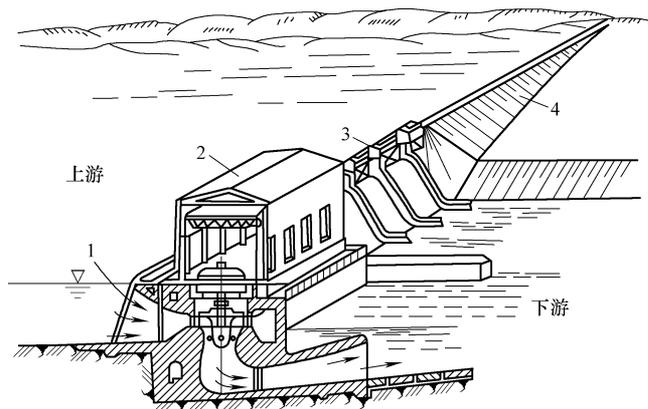


图 1-4 河床式水电站示意

1—进水口；2—厂房；3—溢流坝；4—拦河坝

所示为引水式水电站示意。这种水电站的特点是具有较长的引水管道，如广西红水河天生桥二级水电站的引水渠道长达 9555m，设计水头 176m。河床式水电站和引水式水电站多是无调节的。

(2) 河床式水电站。图 1-4 所示为河床式水电站示意，用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，转动水轮机后泄入下游。这种电站无库容，也不需要专门的导流洞。

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的水轮发电机发电，其尾水泄入河的下游，图 1-5

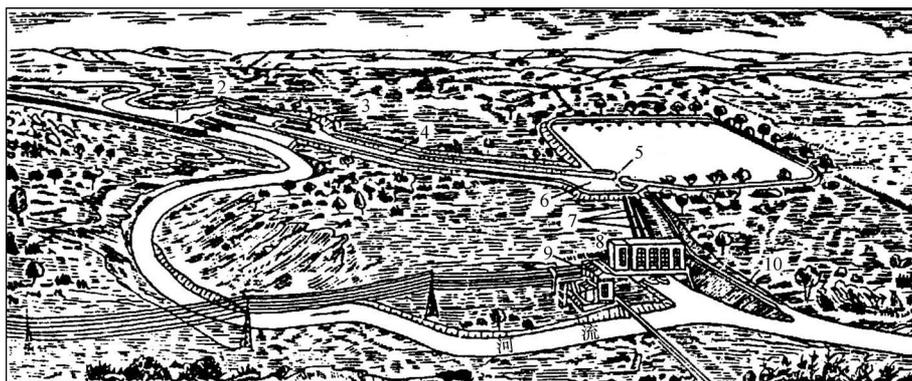


图 1-5 引水式水电站示意

1—坝或闸；2—开敞式进水口；3—泥沙池；4—引水渠道；5—日调节池；
6—压力前池；7—压力水管；8—厂房；9—变电站；10—溢流道

3. 无调节、有调节式水电站

对天然径流过程不做任何人为的改变，电厂发电量只能按天然径流量的多少进行发电的水电站称为无调节水电站，也称为径流式水电站。

对日内来水量进行调节以适应发电要求的水电站，称为日调节水电站。

对年内来水量进行调节以适应发电要求的水电站，称为年调节水电站。年调节水电站的库容较大。

对多年内来水量进行调节以适应发电要求的水电站，称为多年调节水电站。多年调节水电站具有相当大的库容。

4. 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，向电

网供电；在低峰负荷时，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。我国已经建成的该类电厂有广州抽水蓄能电厂（ $4 \times 300\text{MW}$ ）和山东泰安抽水蓄能电厂（ $4 \times 200\text{MW}$ ）。

5. 潮汐式水电厂

潮汐式水电厂是在海湾修坝形成水库，利用涨潮和落潮所形成的水位差进行发电，如图 1-6 所示。

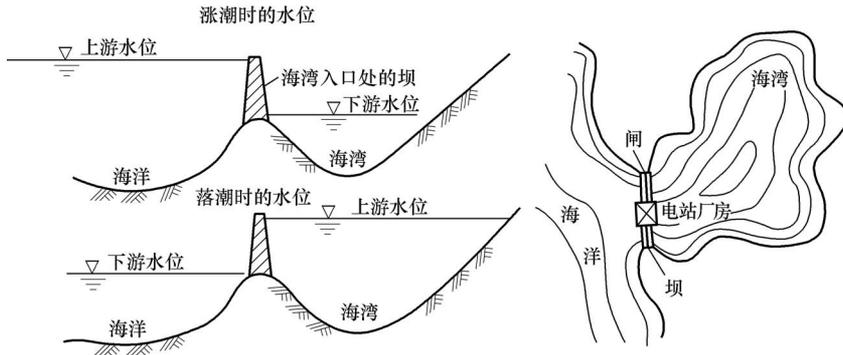


图 1-6 潮汐水电厂示意

(二) 水力发电厂的基本生产流程

水力发电厂的方式很多，但其基本生产流程是相同的，即

水能（包括位能、动能） $\xrightarrow{\text{水轮机}}$ 机械能 $\xrightarrow{\text{发电机}}$ 电能 $\xrightarrow{\text{变压器}}$ 电网

(三) 水力发电厂的特点

水力发电厂的主要特点如下：

(1) 发电成本低、效率高。水能是可再生能源，在发电过程中省去了很多环节，例如开采、运输、加工等。运行人员少，厂用电率低，发电成本是同容量火电厂的十分之一或更低。

(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段，分别修建水利枢纽，实行梯级开发。

(3) 运行灵活。由于水电厂设备简单，机组启动快（水电机组从静止状态到满负荷运行只需 4~5min，而火电机组则需数小时），运行操作灵活，易于实现自动化。水电厂适合承担系统的调峰、调频和事故备用的任务。

(4) 水能可储存和调节。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存，而且可建造抽水蓄能发电厂，扩大利用水的能源。

(5) 水电厂投资大、工期长。修建水电厂的施工工程量大，需修建拦河大坝，改造道路，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。

(6) 水电厂建设受自然条件限制。水电厂的建设生产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。

(7) 水力发电对生态环境的负作用。水力发电不产生烟气和废渣，不会造成环境污染，但会造成泥沙淤积、淹没良田，建设大坝可能影响鱼类的生活和繁衍，库区周围地下水位升

高会对其边缘的果树、作物生长产生不良影响。大型水电厂建设可能影响流域气候，导致干旱、洪水或诱发地震。

第三节 新能源发电

能源是社会和经济发展的基础，是人类生活和生产的要素。随着社会的进步和科学技术的发展，能源的需求也在不断扩大，而且增长很快，尤其是一些不能再生利用的一次能源越来越少，导致能源供应出现紧张局面。为了缓解能源矛盾，全世界都在积极开发新的能源，如核能、风能、太阳能、潮汐能以及生物质能等。核能是被公认的唯一现实的可大规模替代常规能源的既清洁又经济的现代能源。

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的过程，称为裂变反应；另一种是由一些轻元素（如氢的同位素氘、氚等）的原子聚合成较重的原子核时放出巨大能量的过程，如氦放出的巨大能量，称为聚变反应。原子能发电厂即核电厂，就是利用核能生产电能的电厂，主要采用裂变反应，即利用 ^{235}U 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，推动汽轮发电机组做功发出电能。

核能不仅单位能量大，而且资源丰富。地球上蕴藏的铀矿和钍矿资源相当于有机燃料的几十倍，运输和储存方便。核电厂具有污染小、发电成本低等优点。如果进一步实现受控核聚变，并在海水中提取氘加以利用，会从根本上解决能源供应的矛盾。一座 1000MW 的核电站，每年需 30t 核燃料，同样规模的火电厂每年需 300 万 t 煤。

核能在人类生产和生活中应用的主要形式是核电。从 1954 年前苏联建成第一座核电厂以来，核能发电得到很大发展。法国核电站的发电量已占到该国总发电量的 80%。至 2010 年，我国已建成投入运行的核电机组装机容量为 10 820MW，在建的核电机组 26 台，装机容量为 29 140MW，预计到 2020 年，核电机组总装机容量将达到 80 000MW。

第一代核电厂是早期的原型堆电厂，即 1950~1960 年前期开发的轻水堆核电厂；第二代核电厂是 1960 年后期到 1990 年前期在第一代核电站基础上开发建设的大型商用核电厂；第三代是指先进的轻水堆核电厂，即 1990 年后期到 2010 年开始运行的核电站，第三代核电站采用标准化、最佳化设计和安全性更高的非能动安全系统；第四代正在开发试用，主要特征是经济性高（与天然气火力发电站相当）、安全性好、废物产生量小，并能防止核扩散。若核反应堆的类型不同，则核电厂的系统和设备也不同。

图 1-7 所示为第二代的沸水堆核电厂的流程图。它只有一个回路，在压力容器中产生的饱和蒸汽经分离器分离后直接进入汽轮机做功。

图 1-8 所示为第二代的压水堆核电厂的流程，是目前世界上商业反应堆的主流。该电厂主要由压水反应堆、反应堆冷却剂系统（简称一回路）、蒸汽和动力转换系统（又称二回路）、循环水系统、发电机和输配电系统及其辅助系统组成。通常将一回路及核岛辅助系统、专设安全设施和厂房称为核岛。二回路及其辅助系统和厂房与常规火电厂的系统及设备相似，称为常规岛。电厂的其他部分，统称配套设施。实质上，从生产的角度讲，核岛利用核能生产蒸汽，常规岛用蒸汽生产电能。

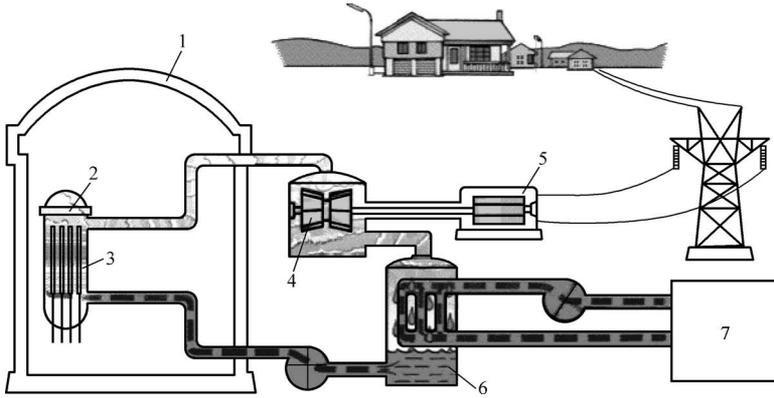


图 1-7 沸水堆核电站原理

- 1—核反应堆；2—压力容器；3—控制棒；4—汽轮机；5—发电机；
6—凝汽器；7—冷却器河水、海水或冷却塔

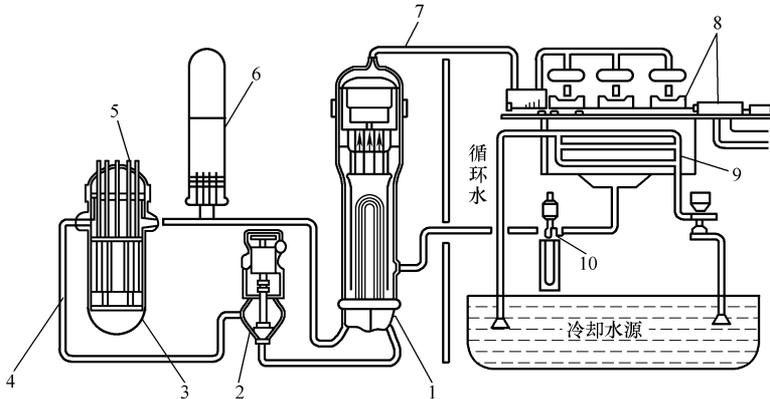


图 1-8 压水堆核电站的流程

- 1—蒸汽发生器；2—主冷却剂泵；3—反应堆；4—一回路系统；5—控制棒及驱动机构；
6—稳压器；7—二回路系统；8—汽轮发电机组；9—凝汽器；10—给水泵

1. 核反应堆

核反应堆是一个装有核燃料，通过维持和控制核裂变链式反应，从而实现核能与热能转换的装置。核反应堆是核电站的关键设备——心脏，链式裂变反应在其中进行，如图 1-9 所示。

核反应堆由堆芯、冷却系统（冷却剂）、慢化系统（慢化剂）、反射层、控制与保护系统（控制棒和安全棒）、屏蔽系统（外壳）和辐射监测系统等组成。

2. 控制棒

控制棒位于核燃料组件中，通过吸收中子的多少控制着链式反应的速度和反应的开始、终止以及紧急停堆（此时，控制棒材料大量吸收热中子，使链式反应无法维持而中止）。控制棒组合成棒束，均匀分布在核燃料组件中，通过专门驱动机构调节控制棒插入燃料组件的深度，以控制反应速度。

3. 冷却剂

压水堆以水作为冷却剂。水在主泵的推动下流过一回路组件，从堆芯吸收了裂变产生的热能后流出反应堆，进入蒸汽发生器传给二回路中的工质产生高温高压蒸汽。冷却剂是唯一既在堆心中工作又在堆外工作的一种反应堆成分，这就要求冷却剂在高温和高中子通量场中工作必

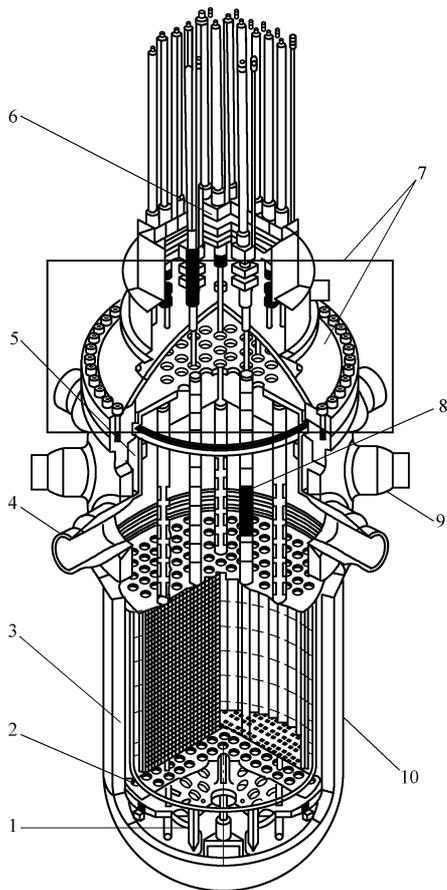


图 1-9 核反应堆结构

1—支撑组件；2—堆芯下栅隔板；3—堆芯上栅隔板；4—出口接管；5—堆芯吊篮；6—控制棒驱动机构；7—安全壳上部；8—控制棒导管；9—进口接管；10—安全壳下部

须是稳定的。

4. 安全壳

图 1-10 所示为安全壳的结构示意。它位于反应堆外侧，是一个壁厚近 1m 的钢筋混凝土建筑物，内表面有 6mm 的钢衬安全壳，用来防止中子、射线及热辐射进入环境。

5. 核电站的安全措施

核电站的安全是最非常重要的，其安全措施最为严密，除了要抵抗高烈度地震外，还应采取其他措施。

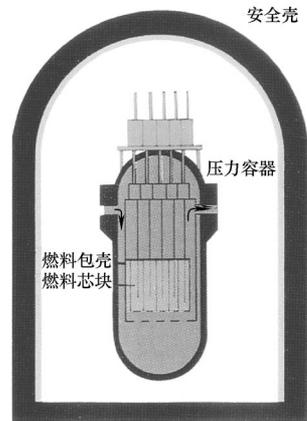


图 1-10 安全壳的结构示意

(1) 设计方面的安全措施。四重屏障防止放射性物质外逸（燃料包壳、坚固的压力容器和密闭的回路系统、安全壳）、多重保护（控制棒的自动落入、高浓度的硼酸水自动喷入堆内）、发生自然灾害时安全停运核电厂。

(2) 纵深防御措施：① 要求在设计、建造、运行中采取各种有效措施，反应堆应具有内在的安全特性，设备必须高质量和可检查，系统必须有冗余度，因而任一部件失效也不会影响其正常运行；② 要求核电厂设置可靠的安全保护系统，并在事故发生时，尽量减少对该系统的损坏并保护运行人员和居民不受到伤害；③ 要求在发生某些假想事故而一些保护系统又同时失效时，必须有专设安全设施投入工作。

(3) 核电厂废物处理。对废燃料棒和泄漏的水必须进行处理，避免对环境造成危害。

我国已经在浙江秦山、广东大亚湾、广东岭澳、江苏田湾等地建成并成功运营核电厂，机组容量有 300、600、900MW 和 1000MW，对保护环境和推动我国经济发展起到了促进作用。