



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

发电厂认识实习

王海瑛 杨淑红 孙为民 主编
郭朝令 副主编



中国电力出版社

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



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

发电厂认识实习

主 编 孙为民
副主编 王海瑛 杨淑红 郭朝令
编 写 孙保仁
主 审 齐 强



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书是根据高职高专电力技术类专业“发电厂认识实习”课程教学大纲编写的。全书共分八章,主要讲述火力发电厂的基本概念及锅炉、汽轮机、发电机等主要设备及系统,对水力发电厂、核能发电厂等内容也作了简要介绍。内容编排以培养学生职业能力为依据,紧密结合现场实际,追随新知识、新技术在现场的应用情况,知识全面,详略得当。

本书可作为电力技术类专业的学历教育教材,也可作为相关电力、动力类专业的岗前培训教材,亦可供相关科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂认识实习/孙为民主编. —北京:中国电力出版社,2009
普通高等教育实验实训规划教材. 电力技术类
ISBN 978-7-5083-8838-0

I. 发… II. 孙… III. 发电厂-实习-高等学校:技术学校-教材 IV. TM62-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 073164 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 358 千字

定价 25.00 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

本书是根据高职高专电力技术类专业“发电厂认识实习”课程教学大纲编写的。全书共分八章,以培养学生职业能力为依据,紧密结合现场实际,追随新知识、新技术在现场的应用情况,主要讲述火力发电厂的基本概念及锅炉、汽轮机、发电机等主要设备及系统,对水力发电厂、核能发电厂等内容也作了简要介绍。

目前,我国发电厂的类型非常多,设备结构复杂。为使学生能较快地理解设备并能够在未来的工作中具有较强的分析问题和解决问题的能力,在内容的叙述上,尽量做到层次清晰,由浅入深,循序渐进,并力求保证学科的系统性、完整性,同时又适当减低理论的难度,充分体现职业教育的性质、任务和培养目标;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色。本书可作为高等教育的教学用书,也可作为动力、电力类专业岗前培训教材。

本书第一章和第七章由保定电力职业技术学院王海瑛编写;第二章和第六章由郑州电力高等专科学校郭朝令编写;第三章由山西电力职业技术学院的杨淑红编写;第四章和第八章由郑州电力高等专科学校孙为民编写;第五章由登封市电业局孙保仁编写。全书由孙为民担任主编并负责统稿工作。

本书由西安电力高等专科学校齐强教授担任主审,齐强老师提出的许多宝贵意见使编者受益匪浅。同时,在编写过程中参考了有关兄弟院校和企业的诸多文献、资料,并得到有关老师和专家的热情帮助,特别是河南华润电力首阳山有限公司的关红只、河南华润焦作热电有限公司的李子文的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年4月

目 录

前言

第一章 火力发电厂的生产概况	1
第一节 火力发电厂的基本生产过程	1
第二节 火力发电厂的参数、容量及分类	4
第三节 蒸汽动力循环及热电联产	8
第二章 火力发电厂煤粉锅炉设备	17
第一节 煤粉锅炉的组成及工作过程	17
第二节 煤粉锅炉的分类、技术规范及型号	18
第三节 煤粉锅炉本体设备	21
第四节 锅炉制粉系统及设备	35
第五节 煤粉锅炉通风设备	45
第三章 火力发电厂循环流化床锅炉	47
第一节 循环流化床锅炉概述	47
第二节 循环流化床锅炉的燃烧设备	50
第三节 循环流化床锅炉的辅助设备与系统	60
第四节 循环流化床锅炉主要污染物的排放控制	68
第四章 火力发电厂汽轮机设备	73
第一节 汽轮机的一般概念	73
第二节 汽轮机本体结构	76
第三节 汽轮机调节、保安及油系统	90
第四节 汽轮机的凝汽设备及系统	96
第五节 给水回热加热设备及系统	100
第六节 主、再热蒸汽系统和旁路系统	105
第七节 发电厂原则性热力系统与全面性热力系统	107
第五章 电气系统主要设备	111
第一节 概述	111
第二节 汽轮发电机	115
第三节 发电厂及变电站电气主要设备	123
第四节 电气主接线及厂用电	132
第六章 火力发电厂辅助生产系统	140
第一节 输煤系统	140
第二节 冷却水供水系统	151
第三节 火力发电厂水处理系统及设备	154
第四节 除渣及除灰系统	165

第五节 热工测量仪表	173
第六节 锅炉烟气污染物排放控制设备	189
第七章 水力发电厂简介	200
第一节 水能利用和水电厂基本类型	200
第二节 水电厂水轮机设备	205
第三节 水轮机工作原理及其运行调节	210
第四节 水电厂主要经济指标	215
第八章 核能发电厂简介	217
第一节 概述	217
第二节 核电厂的工作原理	219
第三节 压水堆核电厂简介	224
参考文献	229

第一章 火力发电厂的生产概况

第一节 火力发电厂的基本生产过程

在我国,发电量比例最高的是火力发电厂,火电设备容量占总装机容量的 75% 左右。2007 年底,全国发电设备容量达到 71 822 万 kW,其中水电、火电、核电和风电分别为 14 823、55 607、885、420 万 kW,占总装机容量的比重分别为 20.6%、77.4%、1.2% 和 0.6%。截至 2008 年底,我国发电设备装机容量达到 79 253 万 kW,同比增长 10.34%。其中,水电 17 152 万 kW,约占总容量 21.64%,同比增长 15.68%;火电 60 132 万 kW,约占总容量 75.87%,同比增长 8.15%;水、火电占总容量的比例同比分别上升 1.00 个百分点和下降 1.55 个百分点;风电并网总容量 894 万 kW,同比增长 111.48%。

火力发电厂是指利用煤、石油或天然气等作为燃料生产电能的工厂,简称火电厂。我国的火电厂以燃煤为主,过去曾建过一批燃油电厂,当前尽量压缩燃油电厂,新建电厂全部为燃煤电厂。

火电厂的生产过程是基本相同的,其实质是一个能量转换的过程。首先燃料在锅炉中燃烧,将水加热成蒸汽,燃料的化学能转变成蒸汽的热能;接着在汽轮机中高温高压的蒸汽冲动汽轮机转子,蒸汽的热能转变为转子高速旋转的机械能;最后在发电机中将机械能转换为电能;通过主变压器升压后,经升压站和输电线路送入电网,再由电网调度中心统一分配给电力用户。由于锅炉、汽轮机和发电机三大设备分别完成了能量形式的三次转换,所以锅炉、汽轮机和发电机又称为火电厂的三大主机。

图 1-1 是以煤为燃料的火电厂生产过程示意,下面结合图 1-1 介绍火电厂的生产过程。

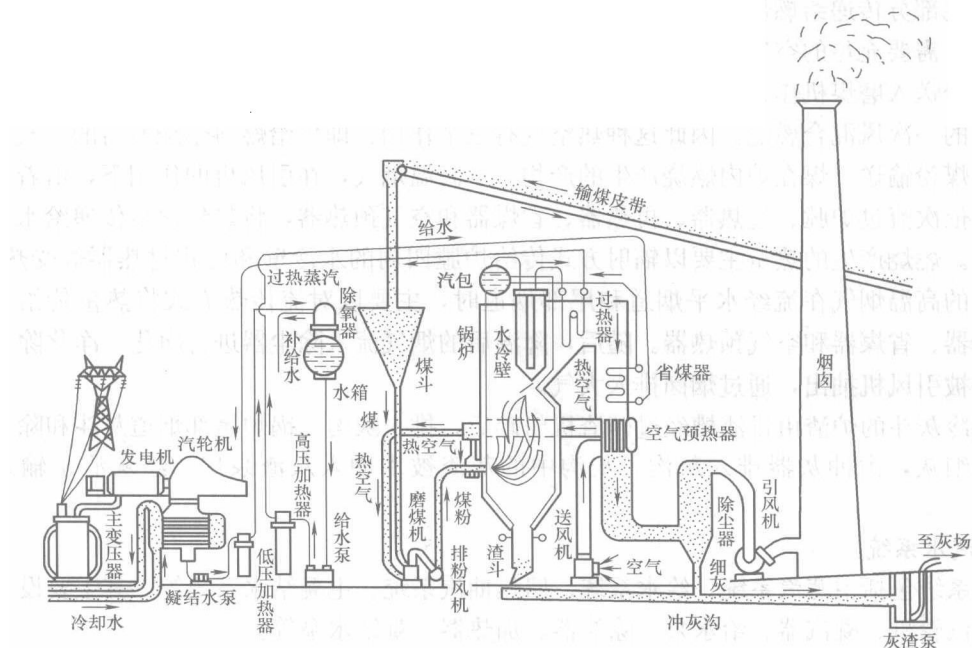


图 1-1 火电厂生产过程示意

一、燃料运输

燃料运输是火电厂的辅助生产系统，其过程是：煤利用运输工具（火车、汽车、轮船等）运入电厂的储煤场进行储存。使用时，再利用扒煤机等煤场设备把煤送上输煤皮带，经转运、碎煤到锅炉的原煤斗（或原煤仓）。

二、制粉系统

制粉系统是指将原煤磨制成粉，然后送入锅炉炉膛进行悬浮燃烧所需的设备和连接管道的组合。为适应不同煤种、不同类型磨煤机、不同负荷特性的锅炉，制粉系统的繁简程度和连接方式不同。常用的制粉系统有直吹式和中间储仓式两大类。在直吹式系统中，磨煤机磨制的煤粉全部直接送入炉膛内燃烧；储仓式系统中磨好的煤粉先储存在煤粉仓中，再根据锅炉负荷的要求，从煤粉仓经给粉机送入炉内燃烧。制粉系统的主要任务是对原煤进行磨制、干燥与输送。对储仓式系统来说，还有煤粉的储存与调剂任务。在制粉系统中，把输送煤粉经燃烧器进入炉膛并满足挥发分燃烧需要的空气，称为一次风；把从热风道直接引来经燃烧器二次风口进入炉膛起助燃和扰动作用的空气，称为二次风。

图 1-1 所示的直吹式制粉系统，其工作过程是：厂外来煤由输煤皮带送到锅炉房的原煤斗中，原煤斗中的煤通过给煤机均匀地送入磨煤机，由空气预热器来的热风作为干燥剂也送入磨煤机，对煤进行干燥，并携带磨制的煤粉通过排粉风机将煤粉经燃烧器送入炉膛进行燃烧。

三、燃烧系统

燃烧系统的任务是供给锅炉所需的燃料及空气，并保证燃料在炉膛内进行良好燃烧，同时将燃料燃烧时放出的热量传递给锅炉各受热面，使受热面内部的水、汽温度压力提高，成为高能蒸汽。

燃烧系统的工作过程是：燃烧器将合格的煤粉混以适量的热空气喷入炉膛进行燃烧，燃烧后的热能部分传递给燃烧室的水冷壁，水冷壁内部的水吸收热量后变成蒸汽。煤粉在炉膛内燃烧时，需要充足的空气，冷空气由送风机送来，先在空气预热器内预热，被加热成热空气，一部分送入磨煤机作为干燥剂和输粉介质，另一部分作为二次风经燃烧器喷入炉膛，和携带煤粉的一次风混合燃烧。因此这种热空气有三个作用：即供给燃料燃烧所需的氧气、煤的干燥和煤粉输送。煤在炉内燃烧产生的产物——高温烟气，在引风机的作用下，沿着锅炉本体烟道依次流过炉膛、过热器、再热器、省煤器和空气预热器，将热量逐步传递给水、蒸汽和空气。燃烧产生的热量主要以辐射方式传给炉膛四周的水冷壁和屏式过热器等受热面；燃烧生成的高温烟气在流经水平烟道和尾部烟道时，主要以对流传热方式将热量传给过热器、再热器、省煤器和空气预热器。随后，降温后的烟气流入除尘器进行净化，净化除尘后的烟气则被引风机抽出，通过烟囱排入大气。

锅炉冷灰斗的炉渣由排渣槽经过碎渣机粉碎后，排入灰沟。锅炉尾部烟道灰斗和除尘器灰斗中的细灰，由冲灰器排入灰沟。灰沟中的灰渣被水冲入灰渣泵房，经灰渣泵输送到灰场。

四、汽水系统

汽水系统包括主蒸汽系统、给水系统、回热抽汽系统、主凝结水系统等，其主要设备包括锅炉、汽轮机、凝汽器、给水泵、除氧器、加热器、凝结水泵等。

锅炉的给水先进入省煤器，利用烟气的余热加热后，送入汽包，经炉墙外侧的下降管流

入下联箱，而后进入由许多水管组成的水冷壁。水在水冷壁中主要吸收炉膛内燃烧火焰的辐射热量，被加热直到汽化，形成汽水混合物，汽水混合物沿水冷壁上升进入汽包，并在汽包内经汽水分离装置将汽水分离，分离后的水又进入下降管，回到下联箱，继续循环流动，再进入水冷壁继续吸热；而分离出的饱和蒸汽则经过热器继续吸热成为过热蒸汽，然后送入汽轮机做功。

锅炉产生的新蒸汽进入汽轮机后逐级进行膨胀，一般是过热蒸汽首先进入汽轮机高压缸膨胀做功，其排汽送入再热器，经再加热后，送回汽轮机中低压缸继续膨胀做功，蒸汽的热能就转换成汽流的动能；高速汽流作用于汽轮机的动叶片上，推动了叶轮连同整个转子旋转，汽流的动能于是被转换成汽轮机轴上的机械能。汽轮机带动发电机，利用切割磁力线感应原理，将机械能转换为电能。

在汽轮机中做完功的蒸汽排入凝汽器，在凝汽器中放热而凝结成水，再经除盐装置、凝结水泵打入低压加热器、除氧器，经除氧加热后，经给水泵升压流经高压加热器、省煤器后送入锅炉汽包，使水重新在锅炉受热面吸收热量变成高温高压的蒸汽。

循环冷却水由循环水泵送入凝汽器，吸收汽轮机排汽的凝结放热量后，被送入冷水塔，通过淋水装置形成许多小水滴自上淋下，与从冷水塔下部进入向上流动的冷空气对流换热，经冷却降温后，进入储水池，再由循环水泵打入凝汽器中循环使用。

五、电气系统

火电厂的电气系统包括发电机、主变压器、高压配电装置等。

发电厂电气系统示意如图 1-2 所示。

发电机发出的电能一部分由主变压器升高电压后，经高压配电装置和输电线路向外供电，另一部分由厂用变压器降低电压，并经厂用配电装置和电缆供发电厂内部各种辅助机械及照明等使用，这部分称为厂用电。厂用电一般占总发电量的 5%~10%。

发电机输出端电压一般为 6~20kV，为便于长距离输送和减少电能在线路上的损失，必须通过主变压器升压后接入母线。与母线连接的所有线路都要装设断路器和隔离开关等设备。断路器用来接通或断开电路，在保护装置控制下，可自动切断故障电路。隔离开关用来隔离电路，保证检修时的安全。

为了提高发电厂供电的可靠性和经济性，合理使用资源，将发电厂、变电站、输电线路和用户连成一个发电、变电、输电、配电、用电的整体，称为电力系统。电力系统中

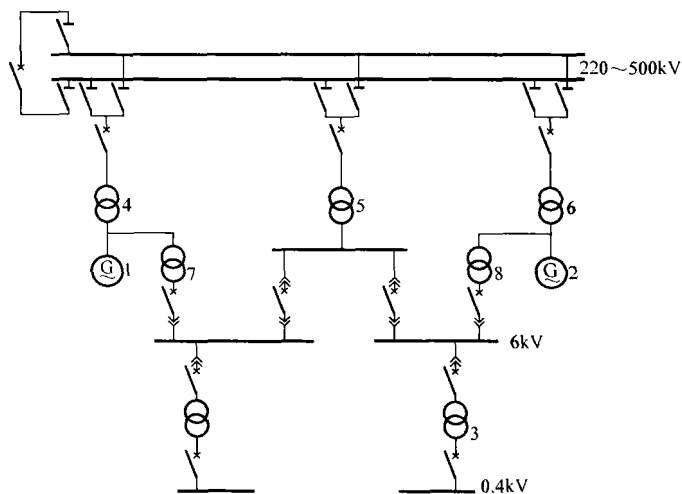


图 1-2 发电厂电气系统示意

1—1 号发电机；2—2 号发电机；3—低压厂用变压器；4—1 号主变压器；
5—启动备用变压器；6—2 号主变压器；7—1 号高压
厂用变压器；8—2 号高压厂用变压器

由各种电压等级的输电线路和变电所组成的部分，称为电力网。

由上可见，火电厂的生产过程就其能量转换来说，可以分为两大部分，即从燃料的化学能转变为机械能的部分和从机械能转变为电能的部分。前者称为发电厂的热力部分，后者称为发电厂的电气部分。

第二节 火力发电厂的参数、容量及分类

一、火力发电厂的参数和容量

近代蒸汽动力发电厂均以水蒸气朗肯循环为理论基础，因此火力发电厂的蒸汽参数一般指循环的初始压力和初始温度，即汽轮机进口的蒸汽压力（汽压）和温度（汽温）。在国际单位制中，蒸汽压力的单位是帕（Pa）、千帕（kPa）、兆帕（MPa），汽温的单位是摄氏度（℃）。蒸汽参数关系到电厂的热经济性、安全可靠程度和总造价，电厂的热经济性不仅与循环热效率有关，还与生产过程各设备的效率相关，其中汽轮机的效率又与蒸汽参数有较大关联。

发电厂容量的单位是千瓦（kW）。一般蒸汽参数较低的电厂容量较小，蒸汽参数较高的电厂容量也较大。小型凝汽式火力发电厂的蒸汽参数一般都较低，即单机容量在 3000kW 以下的机组多采用低压低温的蒸汽，单机容量 6000kW 或 12 000kW 的机组采用中温中压的蒸汽，小型电厂总装机容量通常在 10MW 以下。对于供热式发电厂采用背压式或抽汽式汽轮机时，其参数与容量的配合关系可高一级，例如：1500kW 和 3000kW 的供热机组，由于汽耗量比同容量凝汽式大，就采用了中温中压参数。

蒸汽参数高，特别是初压力高，入口蒸汽容积流量减少，汽轮机高压部分部分进汽，充满程度不好，流动损失增大，使汽轮机效率下降，特别是当汽轮机功率小，蒸汽容积流量偏小时，效率下降愈甚，甚至超过了因采用较高蒸汽参数而带来的循环热效率的提高而带来的效益。所以较高的蒸汽参数总是与较大的机组功率联系在一起的，即使使蒸汽参数提高的诸多因素中，机组容量的影响是重要的因素之一。

蒸汽参数选定涉及因素很多，往往这些因素也因时因地而异，所以必须通过全面的技术经济论证才能确定。对于不同国家，甚至不同生产厂家，由于具体条件不同（其中包括经验累积、习惯等），所采用的蒸汽参数系列也会有一定差异，表 1-1、表 1-2 分别给出国际电工委员会（IEC）推荐的蒸汽参数和中国火电厂采用的蒸汽参数系列。

表 1-1 IEC 推荐的蒸汽参数

主蒸汽压力（kPa）	3200	4100	6200	8000	10 300	12 400	16 200	18 000	24 100
主蒸汽温度（℃）	435	455	485	510 或 538	538 或 565				
再热蒸汽温度（℃）	--	—	—	—	538 或 565				

表 1-2 中国火电厂采用的蒸汽参数系列

设备参数 等级	锅炉出口		汽轮机进汽		机组额定功率 (MW)
	压力 [MPa (ata)]	温度 (℃)	压力 [MPa (ata)]	温度 (℃)	
次中参数	2.55 (26)	400	2.35 (24)	390	0.75, 1.5, 3
中参数	3.92 (40)	450	3.43 (35)	435	6, 12, 25

续表

设备参数 等级	锅炉出口		汽轮机进汽		机组额定功率 (MW)
	压力 [MPa (ata)]	温度 (℃)	压力 [MPa (ata)]	温度 (℃)	
高参数	9.9 (101)	540	8.83 (90)	535	50, 100
超高参数	13.83 (141)	540/540	12.75 (130)	535/535	200
		540/540	13.24 (135)	535/535	125
亚临界参数	16.77 (171)	540/540	16.18 (165)	535/535	300
	18.27 (186.4)	540/540	16.67 (170)	537/537	300, 600
超临界参数	25.4	571/569	24.2	538/566 566/566	600
超超临界	27.46	605/603	26.25	600/600	1000

二、发电厂的类型

1. 按产品分

电厂可分为发电厂和热电厂两种，发电厂只生产电能，在汽轮机做完功的蒸汽，排入凝汽器凝结成水，所以又称为凝汽式电厂。热电厂既生产电能又对外供热，供热是利用汽轮机较高压力的排汽或可调节抽汽送给热用户。

2. 按使用的能源分

(1) 火力发电厂。以煤、油、天然气为燃料的电厂称为火力发电厂，简称火电厂。按照我国的能源政策，火电厂要以燃煤为主，并且优先使用劣质煤，除国家批准的燃油电厂外，严格控制电厂使用燃油。

(2) 水力发电厂。以水能作为动力发电的电厂为水力发电厂。其生产过程是由拦河坝维持的高水位的水，经压力水管进入水轮机推动转子旋转，将水能转变成机械能，水轮机带动发电机旋转，从而使机械能转变为电能，在水轮机中做完功的水流经尾水管排入下游，其生产流程如图 1-3 所示。

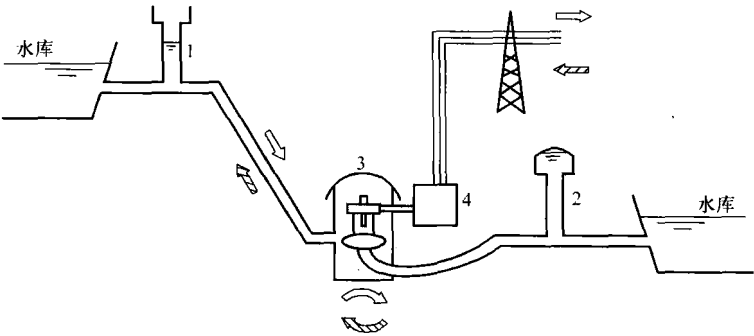


图 1-3 水力发电厂与抽水蓄能电厂示意
1、2—调压井；3—水电站；4—变压器

与火力发电相比较，水力发电具有发电成本低、效率高、环境污染小、启停快、事故应变能力等优点，但需要修筑大坝，投资大，工期长。我国的水力资源丰富，从长远利益看，发展水电将取得很好的综合效益。因此，国家把开发水力资源放在重要的位置。

(3) 原子能发电厂。将原子核裂变释放出的能量转变成电能的电厂为原子能发电厂，简称核电站。原子能发电厂由两部分组成，一部分是利用核能产生蒸汽的核岛，它包括核反应堆和一回路系统。核燃料在反应堆中进行链式裂变产生热能，一回路中的冷却水，吸收裂变产生的热能后流出反应堆，进入蒸汽发生器将热量传给二回路中的水，使之变成蒸汽；另一

部分是利用蒸汽的热能转换成电能的常规岛，它包括汽轮发电机组及其系统，与火电厂中的汽轮发电机组大同小异。图 1-4 所示为压水堆核电站的简要流程。

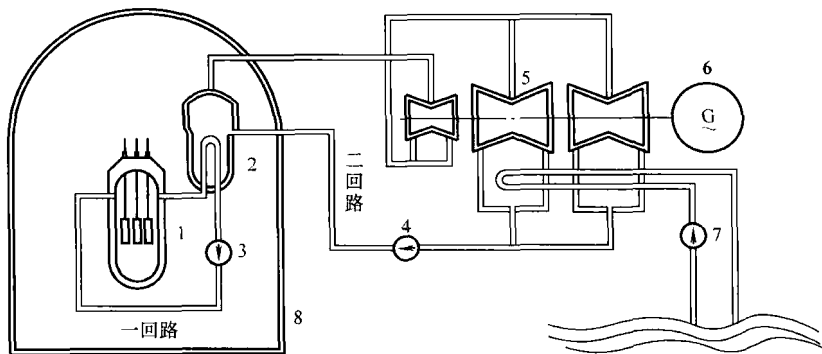


图 1-4 压水堆核电站简要流程

1—反应堆压力容器；2—蒸汽发生器；3—主冷却泵；4—给水泵；
5—汽轮机；6—发电机；7—循环泵；8—安全壳

原子能发电比火力发电有许多优越性，其燃料能量高度密集、避免燃料的繁重运输、运行费用低、无大气污染等，但基建投资大。在能源短缺的今天，原子能发电将会得到更大的发展。

3. 其他类型的发电厂

(1) 燃气—蒸汽轮机发电厂。利用燃气—蒸汽联合循环动力装置，能充分利用燃气轮机的余热发电，因此热效率高，净效率可达 43.2%。利用深层煤炭地下气化技术，结合燃气—蒸汽联合循环发电，不仅能提高发电效率，而且避免深井煤炭的开采，有利于煤的脱硫，其综合效益将是非常显著的。当利用工业企业排放出的废气，如煤气、石化厂的火炬气、高炉烟气作为燃气轮机的能源时，燃气—蒸汽轮机发电厂还可减轻公害。

(2) 抽水蓄能电厂。将电力系统负荷处于低谷时多余的电能转换为水的势能，如图 1-3 反向所示，在电力系统负荷处于高峰时又将水的势能转换为电能的电厂，称为抽水蓄能电厂或称抽水蓄能电站。这种水电站因有两次水的势能与电能之间的转换，所以存在一定的能量损失。但随着电力负荷的急剧增长，特别是对有大型核电站带基本负荷的电力系统，抽水蓄能电厂在电力系统调峰、调频中的作用更为显著，因而发展较快。

(3) 太阳能发电厂。利用太阳能发电的电厂称为太阳能发电厂。太阳能发电有两种基本方法：一种是将太阳光聚集到一个容器上，加热水或其他低沸点液体产生蒸汽，带动汽轮发电机组发电；另一种是用光电池直接发电。

(4) 地热发电厂。利用地下热水（蒸汽或汽水混合物），经过扩容器降压产生蒸汽，或通过热交换器使低沸点液体产生蒸汽，通过汽轮发电机组发电。

(5) 风力发电厂。利用高速流动的空气（即风力），驱动风车转动，从而带动发电机发电的电厂，称为风力发电厂。

(6) 垃圾电厂。将燃烧垃圾生成的热能转换成电能，既环保又节能。

此外，还有利用潮汐能、海洋能、磁流体等发电的电厂。

热力发电厂主要包括火力发电厂、原子能发电厂、太阳能发电厂和地热发电厂等。应用最为广泛的是火力发电厂。

三、火力发电厂的分类

火力发电厂的分类方法很多,本书仅介绍几种常用的分类方法。

1. 按照生产的能量和产品的性质分

(1) 凝汽式发电厂。只对外供应电能,将在汽轮机中做完功的蒸汽排入凝汽器凝结成水,再送往锅炉循环使用,这种发电厂称为凝汽式发电厂。

(2) 供热式发电厂。它不仅可以供给用户电能,还利用在汽轮机中做过功的抽汽或排汽向热用户供热,其能量利用效果较好,热效率高。这种既生产电能又对外供热的电厂又称为热电厂。

(3) 综合利用发电厂。不仅可生产电能和热能,还可把燃煤与灰渣综合利用,生产其他副产品。例如煤在燃烧前,先炼煤焦油,作化工原料。而灰渣又可制作水泥、保温材料和建筑材料等。

2. 按供电规模分类

(1) 区域性发电厂(联网发电厂)。许多电厂联结成一个区域性的电力系统(简称电网),发电厂发出的电力,不是直接送往用户,而是先送入电网,然后再由电网分送到各用户。其特点是容量大、并连在一个共同电力网运行,利用高电压通过输电线路可将大量电能输送并分配给较远处的用户。该类型电厂常建在燃料基地或接近水源的地方。

(2) 地方性发电厂(孤立发电厂)。与电网无联系,这种发电厂多建在用户附近,生产出的电能直接供给附近地区所需的电能和热能。因输电距离短,输电量也较小,故多不用高压电网分配电力。

(3) 城市发电厂。供给城市各工业企业,居民所需的电能和热能。

(4) 企业发电厂。厂矿企业专用的电厂,又称“工业自备电厂”。

(5) 城乡发电厂。因地制宜,利用当地能源,供应城乡所需电能和热能。

(6) 列车电站及船舶电站。把成套的发电设备装置在特制的火车车厢或船舶上,属于机动性电站,用于基本建设工地或经常流动性的单位。

3. 按原动机的类型分类

(1) 汽轮机发电厂。以汽轮机为原动机,容量从几百千瓦到百万千瓦不等,可采用高温高压蒸汽,热效率较高,工作可靠性和运行的自动化程度较高。乏汽凝结水干净,利用汽轮机中间抽汽较方便,可兼供热。

(2) 内燃机发电厂。采用内燃机作为原动机,其结构紧凑,热效率较高,可以快速启动,不需要很多的运行人员。其缺点是燃料价格高,机组容量不能太大。可用于缺水地区,石油产地或作电厂备用装置。

(3) 燃气轮机发电厂。用燃气轮机作为原动机,构造比较紧凑,热效率较高,冷却水需要量少,管理简便。

4. 按燃用的一次能源分类

(1) 燃煤发电厂。以煤为燃料的发电厂。根据我国的能源政策,应优先采用劣质煤来发电。

(2) 燃油发电厂。以石油及其加工副产品为燃料的发电厂。除国家批准的燃油发电厂外,应严格控制发电厂内使用燃油。

(3) 燃气发电厂。以各种可燃气作为燃料的发电厂。在产天然气地区可充分燃用天然气进行发电。当企业有副产品煤气时,也可用煤气为燃料来发电。

(4) 工业废热发电厂(余热发电)。利用工业企业排放的废热或其他废料(可燃物),采用余热锅炉进行发电的电厂称为工业废热发电厂。

(5) 生物质发电厂。生物质发电主要是利用农业、林业和工业废弃物为原料,也可以将城市垃圾作为原料,采取直接燃烧或气化的方式发电。我国目前主要以秸秆发电,沼气发电与生物质气化发电为主,虽然在实际应用过程中仍存在不少问题,但生物质能发电行业有着广阔的发展前景。

5. 按发电厂总容量分

(1) 小容量发电厂。装机总容量在 100MW 以下。

(2) 中容量发电厂。装机总容量 100~250MW。

(3) 大中容量发电厂。装机总容量 250~600MW。

(4) 大容量发电厂。装机总容量 600~1000MW。

(5) 特大容量发电厂。装机总容量 1000MW 及以上。

容量的大、中、小也是相对的,随着火力发电厂装机容量的不断增加,划分也会变化。

6. 按主蒸汽参数分类

(1) 低压发电厂:主蒸汽参数为 1.4MPa/350℃,适用于 3.0MW 及以下汽轮机,10~20t/h 锅炉。

(2) 中压发电厂:主蒸汽参数为 3.9MPa/450℃,适用于 6~50MW 汽轮机,35~220t/h 锅炉。

(3) 高压发电厂:主蒸汽参数为 9.8MPa/540℃,适用于 25~100MW 汽轮机,120~410t/h 锅炉。

(4) 超高压发电厂:主蒸汽参数为 13.7MPa/540℃ (555℃),适用于 125~200MW 汽轮机,400~670t/h 锅炉。

(5) 亚临界压力发电厂:主蒸汽参数为 16.7MPa/540℃ (555℃),适用于 300~600MW 汽轮机,1000~2050t/h 锅炉。

(6) 超临界压力发电厂:现在常规的超临界压力机组采用的主蒸汽参数为 24.1MPa, 538℃/566℃,适用于 600~1000MW 汽轮机。

(7) 超超临界压力发电厂:超超临界压力机组一般采用二次再热,其参数为 31.0MPa、566℃/566℃/566℃;或 31.0MPa、593℃/593℃/593℃,或 34.5MPa、649℃/593℃/593℃,适用于 1000MW 及以上汽轮机。

火力发电厂的分类除以上的介绍外,还可以按电厂位置特点分为坑口(路口、港口)发电厂、负荷中心发电厂;按电厂承担电网负荷的性质分为基本负荷发电厂、中间负荷(腰荷)发电厂和调峰发电厂;按机炉组合分为非单元机组发电厂和单元机组发电厂等。这里不再一一赘述。

第三节 蒸汽动力循环及热电联产

一、蒸汽动力循环

1. 朗肯循环

当代蒸汽动力装置是在朗肯循环的基础上逐步改进而来的。朗肯循环是蒸汽动力装置的

基本循环，是学习其他蒸汽动力循环的基础。

如图 1-5 所示为朗肯循环装置示意。由图 1-5 可知，朗肯循环装置主要由锅炉、汽轮机、凝汽器和给水泵组成。工质在上述四个热力设备中的工作过程是：水首先在锅炉（包括省煤器、水冷壁和过热器）定压吸热变成过热蒸汽，过热蒸汽经管道送入汽轮机内绝热膨胀做功，使汽轮机转动并带动发电机发电。汽轮机中做完功的蒸汽（叫乏汽）排入凝汽器，把热量放给循环水（也叫冷却水）而定压凝结成饱和水（称为凝结水），凝结水经给水泵绝热压缩升压后（这时的水叫给水）再次送入锅炉加热，从而完成循环。

虽然朗肯循环是蒸汽动力装置的基本循环，但朗肯循环的热效率一般小于 40%，数值较低。而冷源损失较大是朗肯循环热效率较低的原因之一。此外，在朗肯循环中，为了降低放热平均温度，排汽压力较低，这同时又造成给水温度太低，使循环的吸热平均温度降低，因而使得朗肯循环热效率较低。所以，减小冷源损失，提高给水温度，可以提高朗肯循环热效率，为此，需对朗肯循环做适当改进。

2. 回热循环

为了蒸汽动力装置的效率，人们常常将在汽轮机中做了部分功的蒸汽从汽轮机中抽出来，用以加热进入锅炉前的给水。这样不仅避免了抽汽的冷源损失，锅炉的给水温度也同时提高了。而所谓回热，就是利用汽轮机抽汽加热给水的方法。在朗肯循环基础上，采用给水回热的循环，叫做给水回热循环，简称回热循环。

火力发电厂大多采用多级抽汽回热。现仅以一级抽汽回热循环为例加以说明。

图 1-6 为一级抽汽的回热循环装置系统示意。

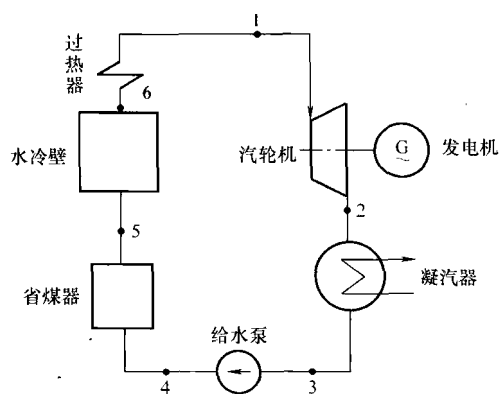


图 1-5 朗肯循环装置示意

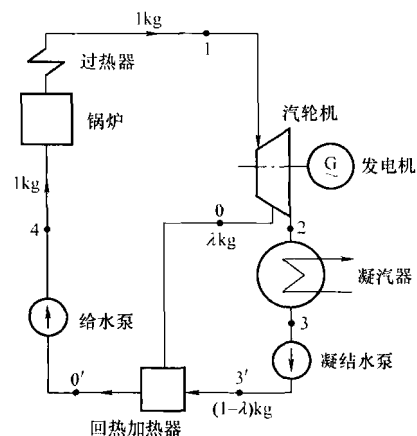


图 1-6 一级抽汽回热循环装置示意

与朗肯循环相比，具有一级抽汽的回热循环增加了一个回热加热器和一台凝结水泵以及相应的抽汽管道。其装置系统图与朗肯循环的区别有两方面：一是有工质流量的变化；二是有热力过程的差异。

假设 1kg 压力为 p_1 、温度为 t_1 的过热蒸汽进入汽轮机绝热膨胀做功，至汽轮机某个中间压力 p_0 时抽出 αkg 蒸汽（称之为抽汽）送入回热加热器定压放热以加热给水， αkg 抽汽定压凝结成 p_0 压力下的饱和水。汽轮机中剩下的 $(1-\alpha)\text{kg}$ 蒸汽继续绝热膨胀做功至排汽压力 p_2 ，然后 $(1-\alpha)\text{kg}$ 乏汽被送入凝汽器，定压凝结成 p_2 压力下的饱和水，再经凝结水泵绝热压缩升压至 p_0 压力后，进入回热加热器定压（ p_0 ）吸收 αkg 抽汽放出的热量，并在

这里与 α kg 抽汽凝结成的水汇合成 1kg 压力为 p_0 的饱和水，再经给水泵绝热压缩升压至 p_1 压力后重新进入锅炉，完成一个循环。显然，给水回热循环将给水温度由朗肯循环中 p_2 压力下的饱和温度 t_{s2} 提高到了 p_0 压力下的饱和温度 t_{s0} ，从而改善了吸热过程，同时也减小了冷源损失。

3. 再热循环

对朗肯循环的分析中我们知道，提高蒸汽的初压、初温可提高循环热效率。但提高蒸汽的初压会引起排汽干度的下降，虽然同时提高初温可以适当降低乏汽湿度，但初温的提高又受到金属材料耐热强度的限制。在初温不允许继续提高的情况下，为了能继续提高初压，以提高循环热效率，且不使汽轮机排汽干度过低，人们在朗肯循环的基础上引入了蒸汽中间再过热的办法。

所谓蒸汽中间再过热，是指将在汽轮机高压缸内膨胀到某一中间压力的蒸汽，全部送回锅炉再热器定压加热至初温后再送回汽轮机低压缸继续膨胀做功的过程，简称为再热。在朗肯循环基础上，采用了蒸汽中间再过热的循环叫再热循环。

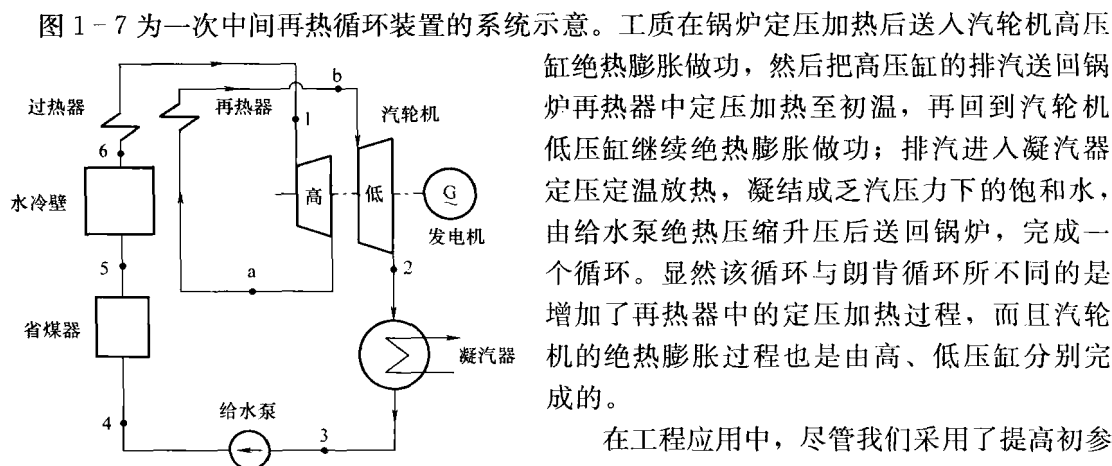


图 1-7 一次中间再热循环装置的系统示意

在工程应用中，尽管我们采用了提高初参数 p_1 、 t_1 ，降低终参数 p_2 以及在朗肯循环的基础上采用回热、再热等一系列措施来提高循环热效率，但实际循环的热效率仍低于 50%。其主要原因是冷源损失太大使得实际循环热效率较低。且冷源损失的数值虽然较大，但因排汽压力太低，对应的排汽温度也太低而无法加以利用。而另一方面，印染、纺织、造纸、化工等工业需要利用低压蒸汽，人们的日常生活中也需要采暖和供给热水。如果适当地提高凝汽式机组的排汽压力，使排汽温度具有较高的数值，则排汽的热量就可以直接或间接地用于工业和生活了。这样就兼顾了供热和发电的需要。从理论上讲，蒸汽排出的热量可以全部或部分地被利用，从而提高了热能利用率，提高了电厂的经济效益，节约了能源，这种既供电又供热的循环，称为热电合供循环，既供电又供热的发电厂称为热电厂。本节将对这种热电联产的发电厂进行详尽的介绍。

二、热电分产与热电联产

1. 热电分产

热电分产是指电能和供热用的热能分别生产，这是一种传统生产供应方式，即以凝汽式电厂生产电能对外供电；用工业锅炉、采暖锅炉或民用炉灶生产热能对用户供热。他们的能量生产特点和热力系统如图 1-8 (a) 所示。对于图 1-8 (b) 所示的系统，尽管供热用的

热能和发电用的热能来自于同一个热源（锅炉），但由于没有做到热能的梯级合理利用，也属于热电分产。

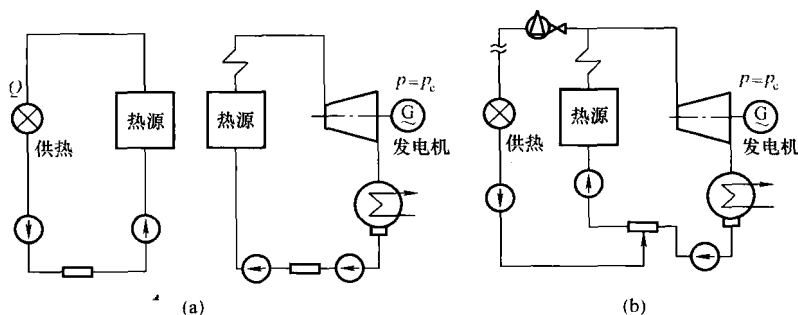


图 1-8 热电分产的热力系统

(a) 供热、发电相互独立；(b) 使用同一热源的热电分产

采用热电分产对一次能源的使用极不合理：一方面热功转换过程必然产生的低位热能没有得到利用而白白浪费掉；另一方面分别供应的低位热能却使能量大幅度无效贬值，大材小用。

图 1-9 为热电分产系统的能流图，图中表示了在分别产生电能和热能过程中输入能量和输出能量之间的关系。为了和热电联产比较，两个系统中均输出相同的电能，假设为 35 个单位，也输出同样的热能，均设为 50 个单位。在热电分产系统中，发电产生的损失很大，加上输电网的损失，高达 86 个单位，因此需要燃料输入为 121 个单位。在分别产生热量的过程中，锅炉损失为大约 9 个单位，所以需要输入燃料 59 个单位。两者分产需要输入的热量为 180 个单位，这样总的能量效率约为 47%。

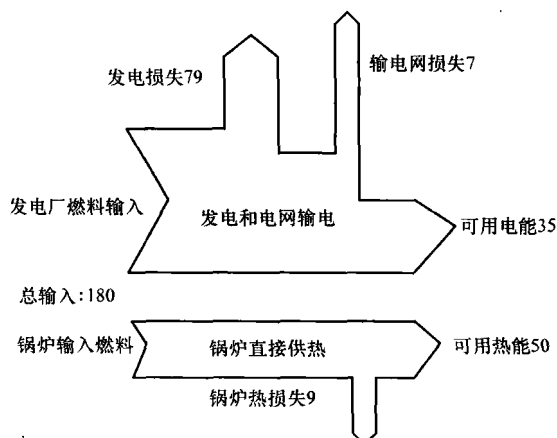


图 1-9 热电分产的能流图

2. 热电联产

热电联产循环又称为热电联合循环。

热电联产循环的产生和应用是基于现代蒸汽动力装置循环，即使采用了提高蒸汽的初参数、降低排汽的终参数以及改进循环的组成（如采取再热循环和回热循环等措施），其循环的热效率仍低于 50%，其余 50% 以上的热量主要通过凝汽器的冷却水（又称为循环水）带到大气环境中去了。冷却水带走的这部分热量数值很大，但温度很低，即品质很差。

按热力学观点，任何热力循环在低温热源（冷源）的温度下放出的热量，就是该循环不能用来做出技术功的那部分能量，常称为能量损失或废热。但是，技术功和废热所代表的能量，只有品位上的差别而没有原则上的不同。在人类的多样活动领域中，这部分废热是可以直接作为低品位的能量加以利用的。由此可见，若能合理地按质用能，综合用能，就能达到充分利用能量、节约能源的目的。作为集中供热主要形式的热电联产就符合这一