



电力工业学校教材

火电厂热力辅助设备及系统

孙玉民主编

中国电力企业联合会教育培训部

电力工业学校教材

火电厂热力辅助设备及系统

孙玉民 主编

内 容 提 要

本书主要讲述火电厂生产过程的基本原理；定性地分析提高火电厂热经济性的根本途径；高参数、大容量机组热力辅助设备的结构、工作原理和实际热力系统的连接方式。对火电厂的辅助生产系统和设备、热力辅助设备的选择及在主厂房内的布置作了较详细介绍。

本书作为电力工业学校电厂热力设备安装与检修专业的教材，也可作为电厂热动类专业教学用书，亦适合于火电厂工人、技术人员学习和参考。

前 言

为能编写出适应生产发展实际需要、质量较高、具有突出的电力职业技术教育特色的第三轮电力中等专业学校教材，我部制定了《1989~1993年电力中专学校教材建设规划》。本规划是按照原水利电力部1988年2月颁发的水利电力类全日制中等专业学校教学计划与教学大纲的要求，根据1989年3月在郑州召开的电力中专教材建设工作会议讨论的《关于电力中等专业学校、技工学校教材建设的几点意见》的精神，在各专业教研会提出的编写出版教材选题、协商遴选编审者的基础上，又经1990年3月初在长沙召开的教材建设规划定稿会议审定后编制而成的。

第三轮教材是按照1989~1993年电力学校教材建设规划组织编写的。教材建设规划中所列选题，按照性质分为正式出版教材、校际内部交流教材、教学辅助教材、翻译教材和音像教材等5种。包括电力工程类、热动力类、管理类共约120门教材。其中内部交流教材计30多门。校际内部交流教材亦属于教学计划中设置的课程用书，是各校均应使用的。只因尚不具备出版条件，暂以校际内部交流教材形式印制，做为一种试用的教科书，待条件成熟后，再转为正式出版教材。

本书加强了基本理论和基本知识的阐述；以300MW机组为主，重点讲述热力辅助设备的结构、工作原理和实际热力系统连接方式；及时反映了高参数大容量电厂新设备、新技术的应用；并对600MW机组的有关设备和热力系统作了介绍。精选教材内容，加强了针对性和实用性，避免繁杂的公式推导，文字力求通俗易懂。

本书由山东省电力学校孙玉民主编，并分工编写绪论和第三章；其中，李勤道编写第一、二、五章；张效胜编写第四、六章。本书由重庆电力学校吕麟学主审。

在编写过程中，得到西安电力学校田金玉、孔昭升，山东省电力学校张柱、郭光洪等同志，山东邹县发电厂、黄台发电厂、华鲁发电厂，山东省电力设计院、山东省电力试验研究所等单位的大力支持，在此一并致谢。

由于水平所限，书中缺点、错误难免，恳请有关老师和读者批评指正。

编 者

1993. 2

绪 论

一、电力工业在国民经济中的地位和作用

电能是由一次能源转换而成的优质二次能源，与其它形式能源相比有着明显的优点

(1) 电能可以大规模地集中生产，并通过高压输电线进行远距离输送，且能量损失较小；
(2) 电能易于转换成其它种形式的能，例如机械能、光能、热能、化学能、电磁波等，并且损耗小，转换效率高；

(3) 电能可以实现许多种特殊的工艺过程，如电焊、高频电流表面淬火、静电喷漆、金属的电火花加工等；

(4) 电能可以较方便的实现工业企业自动化，便于自动控制和远距离操作等。从而提高劳动生产率和改善劳动条件。

因此，电能被广泛应用于国民经济各部门。党的十二大提出到本世纪末要达到全国工农业年总产值翻两番，人民生活达到小康水平的宏伟目标。实现这一宏伟目标，必须高速发展电力工业，因电力工业是国民经济发展的基础工业；电力是实现工业、农业、交通运输，国防现代化的主要动力；是实现中华民族精神文明、物质文明的重要条件。电力工业的发展速度及总发电量、占国家总能源的比重的多少，已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志。实现电气化是我国一项基本政策。

电力工业是国民经济的先行工业，其发展速度必须高于国民经济的发展速度。我国今后10年国民经济发展计划预计：工农业年总产值增长率为6%，电力的增长率为7%，则其弹性系数为1.16。这是必要的，也是可能的。

热力发电厂的任务是将一次能源（煤炭、石油、天然气、地热、工业废热、核能等）转换成电能。

二、我国电力工业发展成就

新中国成立以来，我国电力工业有了很大发展。从1949~1992年，全国装机容量从1850MW增加到160000MW，增长了86倍；发电量从 $43 \times 10^8 \text{KW} \cdot \text{h}$ 增加到 $7400 \times 10^8 \text{KW} \cdot \text{h}$ ，增长了172倍；年设备利用小时数在5500h以上；单机容量不断增大，运行水平不断提高，全国供电标准煤耗430g。特别是改革开放以来，由于实行了多渠道集资办电的政策，电力工业更是取得了突飞猛进的发展。仅“七五”期间（1986~1990）全国新增装机50837MW，发电量211TW·h，年平均增长率分别达到9.6%和8.6%。这一时期电力工业的发展速度和规模，在我国历史上是空前的，在世界上也是少有的。目前我国装机容量和发电量均居世界第四位，进入电力大国的行列。旧中国的发电设备完全依赖进口，现我国已能自行设计制造亚临界参数单机容量为300MW和600MW的成套火力发电设备，并出口其他国家。已建成一大批大型火电厂，1980年全国火电200MW及以上机组只有34台，占火电装机总容量的15.7%，1991年已达194台，占火电总容量的41.5%。目前最大火电机组容量为600MW，最

大水电机组容量为 320MW。我国已形成东北、华北、华东、华中、西北、西南、华南等 7 个跨省区域性电网。其中东北、华北、华东、华中 4 个电网装机容量超过 20000MW，基本上建成了 500KV 超高压输电网架。在独立省网中，山东装机容量已超过 10000MW，与 7 个跨省电网一起，形成全国八大电网。500KV 高压直流输电线路于 1990 年建成投运，将华中、华东两大电网互联，形成交直流混合电网。长江三峡水电工程正在建设之中，总装机 17680MW，建成后将把华中、华东、西南几大电网联接在一起。大亚湾核电站 900MW 核电机组已建成投入运行。

上述表明，我国电力工业的发展已进入八大电网、大机组、超高压、交直流联网的新阶段。

三、电力工业的发展方针

我国电力工业虽然取得了很大成就，但是原来物质基础薄弱，人口众多，能源短缺，与工业发达国家相比还有较大差距。发电量、用电量的人均水平，在世界各国中还处于落后的地位。为此，加快电力工业的发展速度，提高电力工业的技术水平是今后的主要任务。

我国电力工业的发展方针是：能源开发要以电力为中心，水火并举，煤电为基础，大力发展水电，适当发展核电，开发与节约并重，推广热电联产，提高能源利用率，降低消耗，减轻环境污染。

我国既是一个能源短缺的国家，又是一个能源消耗的大国，发展电力工业应把节约能源降低消耗放到重要位置。从“八五”开始，新建电厂都应尽可能使用单机容量在 300MW 及以上的亚临界和超临界参数机组，对于总容量为 20000MW 的电网，中低压水机组应尽可能地予以淘汰。严禁在大电网供电区域内建设 25MW 及以下凝汽式机组。今后要把建设大型矿口电厂和港口电厂作为电厂建设的重点，变输煤为输电，尤其对低热值褐煤要就地建设电厂，以提高用于发电的一次能源的比重。积极发展热电联产和集中供热，凡供热总容量在 10~20t/h 以上，并有稳定热负荷，年利用小时在 4000h 以上的企业和单位，要尽可能安排热电联产。对于现有的凝冷式小机组，小锅炉供热系统，有条件的应改造为热电联产或逐步予以淘汰。

加快水电开发，缓解煤电供应紧张，减轻环境污染，是我国能源工业发展的基本政策之一。我国水电可能开发容量为 378000MW，目前开发仅约占 9%。今后要在加快黄河上游、长江干支流、红水河流域及澜沧江等大型水电开发的同时，在水流资源条件好的地区积极兴建中小型水电站，对原有水电站进行改建、扩建和更新改造。预测到本世纪末，我国水电开发利用由现在的 9% 提高到 18% 左右。

发展核电是我国今后解决能源问题的重要措施，因此必须把核电建设摆在重要位置上。本世纪内集中力量研制和建设 600MW 级压水堆核电厂，掌握制造技术，基本实现自主设计，解决好安全性、可靠性和经济性，争取实现国产化、标准化、批量化。为下一个世纪加快发展核电打下基础。

大力发展大电网，以减少电网的备网容量，提高供电可靠性；装大容量机组，以降低造价，加快电力建设速度；可利用时差减少电网尖峰负荷；可实行水电之间的经济调度。要加强城市和农村电网的改造，以降低线损，提高供电的可靠性和经济性。

此外，根据当地能源的具体条件，因地制宜，发展风力、地热、太阳能、潮汐和工业废热发电等。预计到 2000 年，这些新能源的开发利用可占我国能源总需要的 4%。

我国能源供应紧张，而能源利用率又极低，仅为 25.6%，工业发达国家为 40%。如到本世纪末，我国能源利用率提高到 40%，相当于增产 4.5×10^8 t 标准煤，可见节能潜力之大。我国的能源政策是“开发和节约并重，近期把节能放在优先地位”，节能是发展国民经济的一项长期的战略任务。

四、本课程的任务和作用

本课程为“电厂热力设备安装与检修”专业课之一，是一门与电厂生产实际紧密相联、综合性强的专业课程。以高参数大容量火电厂整体为研究对象，用热功转换理论知识定性分析其热经济性。重点讲述 300MW 机组的热力辅助设备的构造、工作原理和实际热力系统的应用，对 600MW 机组有关设备和热力系统作简要介绍。

学好本课程对今后从事电力工业实际工作，特别是对火电厂的安装与检修有着极其重要的意义。

目 录

前言	
绪论	(1)
第一章 发电厂的生产过程	(1)
1—1 发电厂及其分类	(1)
1—2 火电厂的生产过程	(3)
第二章 火电厂的热经济性	(11)
2—1 火电厂的各种热损失和效率	(11)
2—2 提高火电厂热经济性的途径	(13)
2—3 火电厂的主要经济指标	(23)
第三章 火电厂的热力系统及辅助设备	(27)
3—1 主蒸汽系统	(27)
3—2 汽轮机旁路系统及设备	(32)
3—3 给水回热系统及设备	(42)
3—4 主凝结水系统	(58)
3—5 除氧给水系统	(62)
3—6 锅炉连续排污利用系统	(75)
3—7 汽轮机本体疏水系统	(76)
3—8 工业冷却水系统	(79)
3—9 辅助蒸汽系统	(82)
3—10 典型机组的热力系统	(85)
第四章 火电厂辅助生产系统及设备	(93)
4—1 燃料运输系统	(93)
4—2 火电厂的除尘	(103)
4—3 火电厂的除灰	(109)
4—4 火电厂的供水	(117)
第五章 火电厂汽水管道	(122)
5—1 管道的技术规范	(122)
5—2 管道的结构	(124)
5—3 管道的阀门	(135)
5—4 管道的技术计算	(145)
5—5 火电厂管道布置的基本原则	(149)
第六章 火电厂热力设备的选择和布置	(152)
6—1 火电厂的厂址选择及主厂房布置	(152)
6—2 火电厂热力设备的选择	(155)
6—3 火电厂热力设备的布置	(159)

第一章 发电厂的生产过程

1—1 发电厂及其分类

一、发电厂的概念

人类在日常生产和生活中，使用着各种形式的能量，如电能、机械能、热能、光能、化学能等，其中应用最广泛的能量应首推电能。电能是一种容易控制，便于使用，易于转换为其它形式的能量。电能是便于大规模集中生产及远距离输送的优质能源。

电能是由各种自然能源转换而来的。目前用来转换为电能的自然能源主要有：燃料（煤、石油等）的化学能、水流的势能、原子核裂变能（原子能或核能）、太阳的辐射能、地热能以及风能等。

利用各种自然能源进行电能转换的工厂称为发电厂。按照所利用自然能源的不同，发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂（水电站）、原子能发电厂（核电站）、太阳能发电厂、地热发电厂（地热电站）以及风力发电厂等。

目前，世界电力生产构成中，广泛而大量采用的是火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂等，其中火电约占 60%、水电约占 20%、核电约占 20%。

二、发电厂的分类

（一）火力发电厂及其分类

火力发电厂简称火电厂，是利用煤、石油、天然气作为燃料进行电能转换的工厂。锅炉、汽轮机及发电机是火电厂的三大主机，电能的生产就是在它们中完成的。现代火电厂发展的特点是机组采用高参数、大容量，实行蒸汽中间再热、单元制，带基本负荷以及机、炉、电集中控制等，其系统日益复杂、技术高度密集、自动化水平越来越高。目前，我国发电总装机容量中，火电约占 80%以上。根据我国煤碳资源较丰富的实际情况，国家制订了火电厂以燃煤发电为主的能源政策。因此，全国火电厂中燃煤发电的又占 80%以上。

火电厂分类方法很多，下面仅介绍常用的几种。

1. 按火电厂供电和供热的特点分

- （1）凝汽式电厂 只生产电能的火电厂。
- （2）热电厂 既生产电能，又利用汽轮机抽汽或排汽向用户供热的火电厂。

2. 按蒸汽初参数分

- （1）中低压火电厂 汽轮机进汽压力低于 5.98MPa 的火电厂。
- （2）高压火电厂 汽轮机进汽压力于 5.98~9.81MPa 范围内的火电厂。
- （3）超高压火电厂 汽轮机进汽压力于 9.91~13.73MPa 范围内的火电厂。
- （4）亚临界压力火电厂 汽轮机进汽压力于 13.83~22.07MPa 范围内的火电厂。
- （5）超临界压力火电厂 汽轮机进汽压力高于 22.07MPa 的火电厂。

3. 按服务规模分

(1) 系统(网)内电厂 这种火电厂生产出的电能先送至电网,经过电网再分送到各类用户中去。

(2) 孤立电厂 这种火电厂多建于用户附近,生产出电能直接供给用户,与电网无联系。

(3) 自备电厂 这种火电厂专门供给个别工业企业、矿山、森林等所需要的电能和热能。

(4) 列车电站和船舶电站 把成套发电设备装在特制的火车箱内或轮船上,于铁路沿线或江河海洋上流动发电。

(二) 其它类型发电厂

1. 水力发电厂(水电站)

水力发电厂是将水能转变为电能的工厂,其容量大小取决于上下游的水位差和水流量的大小。因此,水力发电厂往往需要修建拦河大坝等水工建筑,以形成集中的水位差和具有一定容积的、可供调节的水库。

水力发电厂生产过程如图 1-1 所示。由拦河坝维持的高水位的水,经压力水管进入水轮机的螺旋形蜗壳推动转子旋转,将水能转换成机械能,水轮机带动发电机旋转,使机械能转换成电能,在水轮机中做完功后的水流经尾水管排入下游。

水力发电与火力发电相比较,具有发电成本低、效率高、环境污染小、易于自动化、启停快、事故应变能力等优点,但需要庞大的水工建筑、投资大、工期长。从长远利益来看,发展水电必然是水力资源丰富国家的一项基本国策。

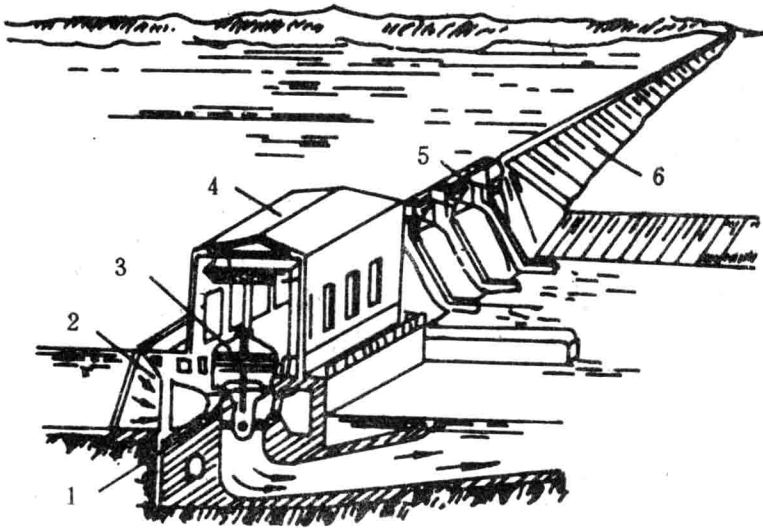


图 1-1 水力发电厂示意图

1—水轮机; 2—取水口; 3—发电机; 4—厂房; 5—溢流坝; 6—拦河坝

我国河历年径流量达二万七千多亿立方米,主要大江大河发源于青藏高原,上下游形成数千米的落差,水力资源约为 5 亿八千万千瓦,居世界首位,虽有葛洲坝、刘家峡、龙羊峡等一批水电站投入运行,但其开发量仍不超过可开发总量的 9.2%。为此,国家制订了把开发

水力资源放在优先地位的方针。

2. 原子能发电厂（核电站）

所谓原子能，是指重核裂变和轻核聚合时释放出的巨大核能量。目前，作为电能源的原子能，主要指核裂变能。它是人们在近代物理的研究中发现的新能源。但利用原子能发电，直到本世纪五十年代才开始。

产生原子核裂变的物质称为核燃料。目前核燃料主要有铀 235 (U^{235})。原子能发电厂绝大多数是利用铀 235 被中子轰击发生原子核裂变放出能量作为热源的，一千克铀裂变释放出的能量相当于 2700 吨标准煤完全燃烧所放出的热量。

原子核裂变过程和核能变为热能的过程都是在反应堆中完成的。反应堆相当于火电厂的锅炉，这是原子能发电厂与火电厂的主要不同之处。反应堆主要由活性区（存放核燃料与中子减速剂）、反射层（包围活性层以减少中子泄漏）、冷却系统（传送核能到载热质）、调节系统（调节核裂变强度）、防护层（防止核辐射以保护工作人员）组成。

原子能发电厂由核岛和常规岛两部分组成，核岛是指核反应堆及其系统，其作用是把核能转变为蒸汽的热能；常规岛是指汽轮发电机及其系统，其作用是将蒸汽的热能转变为汽轮机转子的机械能，以及将机械能转变为电能。图 1-2 为美、俄等国家常见的轻水型压水堆核电站热力系统示意图，我国第一座 300MW 核电站也属这种类型。有两个回路，在一回路中，高压水通过堆芯将放热元件冷却，在不沸腾状态下，将热量送入蒸汽发生器，并传给二回路水，使水汽化成蒸汽，推动汽轮发电机。二回路中的汽水自成一循环系统，一回路中的水既作为载热质又作为减速剂。

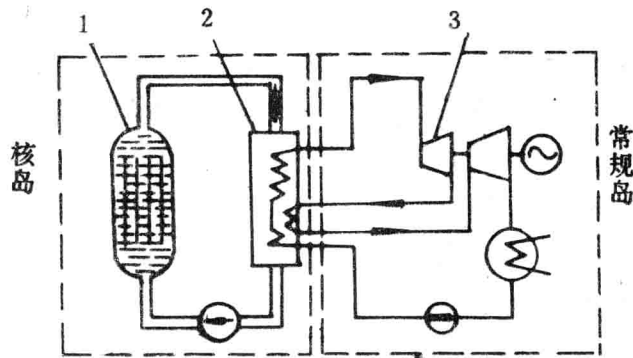


图 1-2 压水堆核电站热力系统

1—核反应堆；2—蒸汽发生器；3—汽轮机

原子能发电比火力发电有许多优越性：燃料能量高度密集，避免燃料的繁重运输，运行费用低，发电成本一般比火电低，无大气污染等，但问题是基建费用高。在能源短缺的今天，原子能发电正日益得到广泛应用。

1-2 火电厂的生产过程

一、火电厂的能量转换过程

火电厂的能量转换过程如图 1-3 所示。燃料在炉膛内燃烧。产生热能加热炉水，使炉水生成高温高压蒸汽，即将燃料化学能转变为热能；高温高压蒸汽被送入汽轮机，冲动汽轮机转子转动，即将热能转换为机械能；汽轮机转子带动发电机转子转动，即将机械能转变为电能。

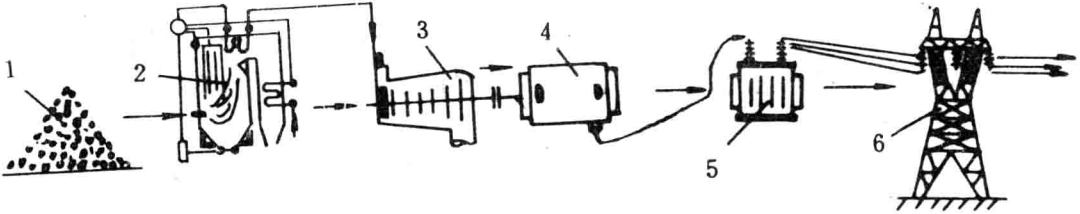
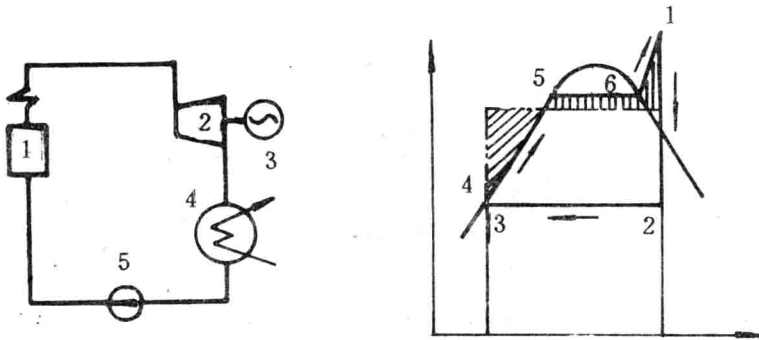


图 1-3 火电厂能量转换过程示意图

1—煤（燃料）；2—锅炉；3—汽轮机；4—发电机；5—升压变压器；6—输电铁塔

发电机发出来的电，通过升压变压器将电压升高，最后经升压站和输电线路送入电网，由电网调度中心统一分配给用户。

上述能量的转换必须通过循环才能实现。现代火电厂的基本循环是朗肯循环，如图 1-4 所示。其工作过程是：水在锅炉中被定压加热、汽化和过热（4-5-6-1 过程）；过热蒸汽在汽轮机中等熵膨胀做功（1-2 过程）；排汽在凝汽器中定压凝结放热（2-3 过程）；凝结水在水泵中等熵压缩（3-4 过程）后进入锅炉。



1-4 朗肯循环

(a) 朗肯循环热力系统图；(b) 朗肯循环 T-S 图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—水泵

在朗肯循环的基础上，采用多级给水回热加热、蒸汽中间再热等，形成了现代火电厂的复杂的热力循环及其系统。

二、火电厂的生产流程

图 1-5 为火电厂的生产流程示意图。

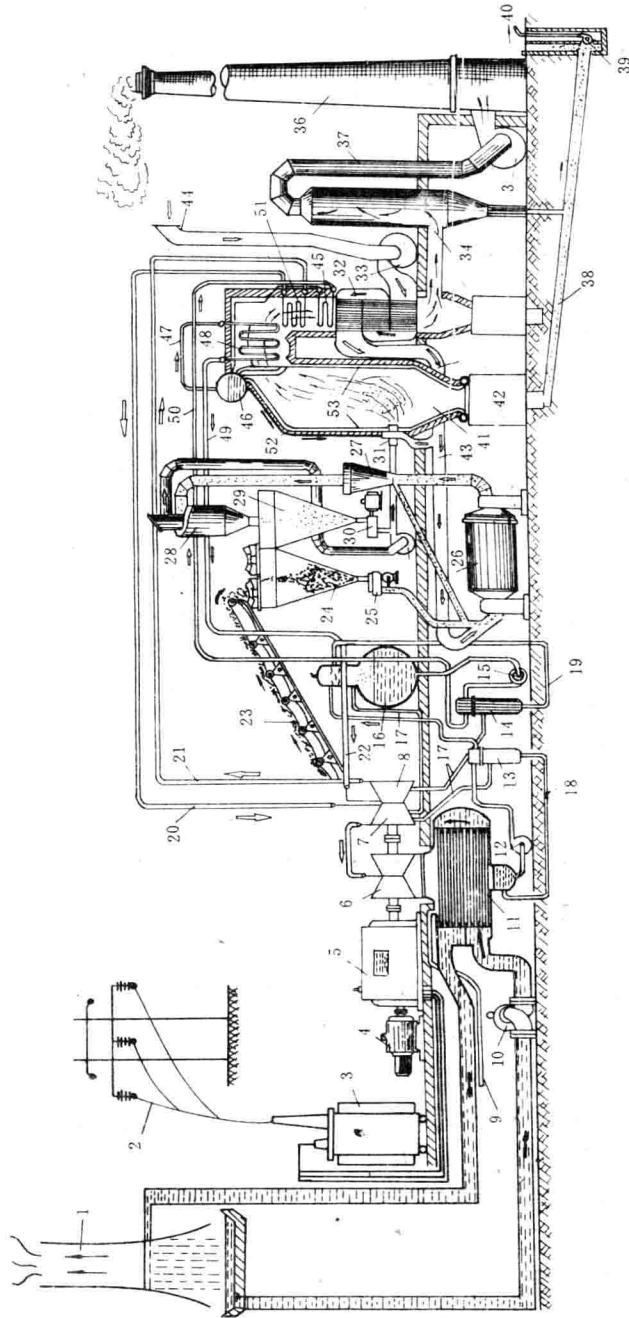


图 1-5 火电厂生产流程示意图

- 1-冷水塔; 2-输电线; 3-变压器; 4-励磁机; 5-发电机; 6-低压缸; 7-中压缸; 8-高压缸; 9-化学补充水;
 10-循环水泵; 11-凝汽器; 12-凝结水泵; 13-低压加热器; 14-高压加热器; 15-给水泵; 16-除氧器;
 17-抽汽; 18-低压加热器疏水管; 19-高压加热器疏水管; 20-再热热段; 21-再热冷段; 22、49-主蒸汽管;
 23-运煤皮带; 24-原煤斗; 25-给煤机; 26-钢球磨煤机; 27-粗粉分离器; 28-细粉分离器; 29-煤粉仓;
 30-给粉机; 31-喷燃器; 32-空气预热器; 33-送风机; 34-除尘器; 35-引风机; 36-烟囱; 37-烟道;
 38-灰沟; 39-灰渣泵; 40-至灰场; 41-灰斗; 42-除灰设备; 43-热风道; 44-吸风机; 45-省煤器;
 46-汽包; 47-饱和蒸汽管; 48-过热器; 50-给水管; 51-再热器; 52-下降管; 53-水冷壁

煤是火电厂的食粮。火电厂输煤任务相当繁重。

煤可由水路（驳船运输）、陆路（火车或大型卡车运输）或其它方式（坑口电厂带式输送机运输等）不断地运往电厂。其选择取决于电厂的地理位置、电厂的容量以及距煤矿的远近等因素。

厂外来煤由输煤皮带经筛碎装置送至主厂房煤仓间的原煤斗，暂时用不着的，输送到储煤场。储煤场的煤在需要时可运转去煤仓间。

原煤斗中的煤经过给煤机均匀地送入磨煤机中磨制，送风机把冷空气送进空气预热器加热成热空气后，一部分作为二次风经燃烧器喷入炉膛，另一部分作为干燥剂送入磨煤机对煤进行干燥，同时携带着磨成的煤粉离开磨煤机进入粗粉分离器。粗粉分离器把不合格的过粗煤粉分离出来，经回粉管又返回到磨煤机重新磨制，合格的煤粉被干燥剂带入细粉分离器，在这里将90%以上的煤粉从干燥剂中分离出来。煤粉通过切换挡板直接送入细粉分离器下面的煤粉仓，或者利用螺旋输粉机（绞龙）运到其它锅炉的煤粉仓中，再根据锅炉燃烧的需要由给粉机均匀地把煤粉送进一次风管。从细粉分离器出来的干燥剂带着未分离掉的少量煤粉被排粉机直接送入一次风管，并携带着由给粉机送来的煤粉通过燃烧器喷入炉膛燃烧。

煤粉与空气混合物在炉膛内燃烧放热，将热量以辐射方式传给炉膛四周的水冷壁及前、后屏过热器等受热面；燃烧生成的高温烟气主要以对流传热方式把热量传递给水平烟道中的过热器、尾部烟道中的再热器、省煤器、空气预热器；在传热过程中，烟气温度不断降低，经除尘器除去飞灰后，由引风机送进烟囱，排入大气。

锅炉下部排出的灰渣和除尘器下部排出的细灰，用水冲入灰渣泵房，经灰渣泵排至除灰场，

锅炉给水由给水泵送入省煤器，吸收尾部烟道中烟气的热量后进入汽包，汽包内的水经炉墙外的下降管到水冷壁，吸收炉内高温烟气的热量。使部分水蒸发，形成汽水混合物向上流回汽包，汽包内部的汽水分离装置将水与汽分离开，水回到下部水空间，而饱和蒸汽则进入过热器，继续吸收烟气的热量成为合格的过热蒸汽。

过热蒸汽进入汽轮机高压缸膨胀做功。高压缸排汽经再热冷段进入再热器，吸热升温后经再热热段进入汽轮机中低压缸，继续膨胀做功，直至凝汽器。

汽轮机排汽进入凝汽器凝结放热变成水，凝结水由凝结水泵经由低压加热器送入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热，进一步提高温度后回到锅炉。

循环水泵将循环水打入凝汽器，吸收汽轮机排汽热量后进入冷水塔，通过淋水装置淋成无数小水滴，逐渐下落，并与由水塔下方进入向上方流动的冷空气对流换热，降温后进入塔底集水池，再由循环水泵打入凝汽器继续使用。

化学补充水补入凝汽器。

汽机带动发电机转动，在发电机定子中感应出交流电，经变压器、高压配电装置、输电线路等，输向用户。

三、化学水处理

在汽水循环中，难免有一些汽水损失，为保证锅炉有足够的给水量，必须不断地补充给水。锅炉给水品质的要求很高，为此，补给水都需经过化学除盐处理，并要符合一定的水质

标准。400t/h 和 1000t/h 的锅炉给水品质标准见表 1-1。

表 1-1 锅炉给水品质标准

项 目 标 准	炉 型	
	SG-400-140	SG-1000-170
总硬度	2 μ g 当量/kg	~0
总含盐量	≤ 1 mg/kg	< 0.05 mg/kg
SiO ₂ 含量	≤ 0.02 mg/kg	< 0.02 mg/kg
O ₂ 含量	≤ 0.01 mg/kg	< 0.007 mg/kg
Fe 含量	0.02mg/kg	< 0.01 mg/kg
Cu 含量	0.01mg/kg	< 0.005 mg/kg
pH 值	8.5~9	8.5~9

天然水中含有很多杂质，如粘土、砂子、水藻、植物遗体等悬浮物；硅、铁、铝的化合物、有机物等胶体；Ca⁺⁺、Mg⁺⁺、Na⁺、SO₄⁻、SiO₃⁻、HCO₃⁻、Cl⁻等以离子形式存在的溶解盐类。CO₂、SO₂、O₂ 等溶解气体，这样的水必须通过一系列处理，才能作为锅炉补给水。

现代大容量火电厂对锅炉补给水的处理都采用化学除盐，其系统如图 1-6 所示。

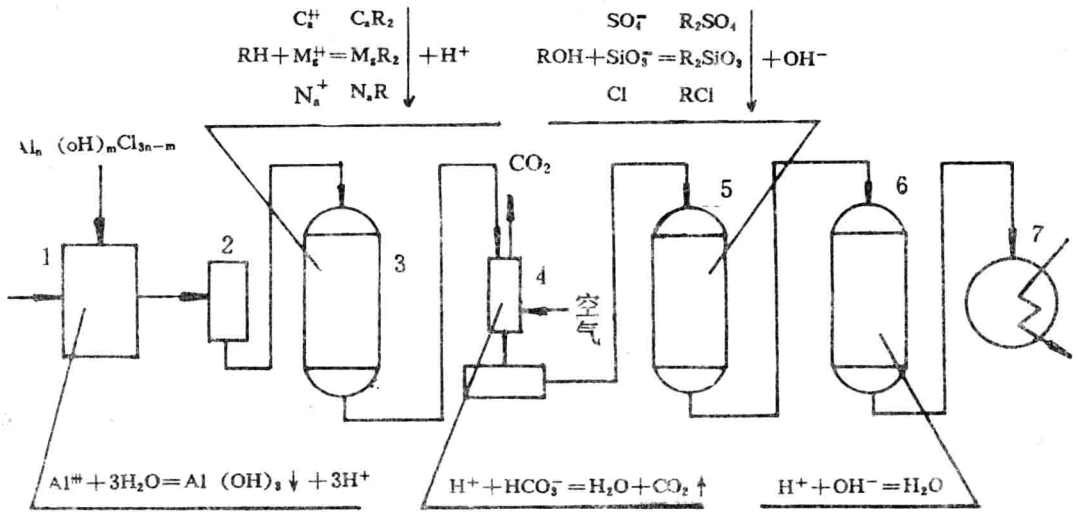


图 1-6 一级复床加混合床除盐系统示意图

1—澄清池；2—过滤器；3—阳树脂交换器；4—除碳器；5—阴树脂交换器；6—混床；7—凝汽器

(一) 水的预处理

必须对含有较多悬浮物和胶体的天然水进行予处理。先把适量的混凝剂（一般采用碱式氯化铝 Aln(OH)mCl3n-m）加入水中，混凝剂发生水解生成带正电荷的胶体，与原水中带负电荷的胶体发生吸附、电中和等作用，形成絮状物。絮状物和悬浮物一起沉降，从而除去水中的悬浮物和胶体；再通过过滤处理，除去水中残留的少量细小悬浮颗粒杂质，使原水变得清澈透明。

(二) 水的化学除盐

清水先通过 H 型阳树脂交换器除去水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 等硬、软离子，出水呈酸性，重碳酸根 HCO_3^- 生成 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ， CO_2 用除碳器除去；再送入阴树脂交换器，除去水中 SO_4^{2-} 、 SiO_3^{2-} 、 Cl^- 等阴离子，置换出的 OH^- 与 H^+ 生成水，从而得到含盐量较低的除盐水，这称为一级复床除盐。为提高补给水品质，可将一级除盐水通过混合床，除去水中剩余的阳、阴离子，最终得到纯度很高的除盐水。

化学除盐水通过补水箱补入凝汽器。

四、电气系统

电气系统主要由发电机、变压器、母线、断路器、隔离开关以及控制、测量、信号系统等组成。其作用是把机械能转变为电能，并以不同等级的电压把电能送给用户。

电气系统如图 1-7 所示。发电机发出的电能除发电厂自用一部分外，由主变压器升压后接到母线上，通过母线将电能分配给各条线路（送电线路），向用户供电。母线上的出线都要连接断路器、隔离开关等设备，然后向外输送电力。火电厂自用电部分称为厂用电，如给水泵、磨煤机、送、引风机等转动设备耗电及普通的照明用电等，一般占发电量的 5~10%。

三相交流发电机原理如图 1-8 所示，主要由定子、转子等组成。在定子铁芯上开有槽，槽内安装绕组（导体），转子装有磁极和励磁绕组。转子与汽轮机同轴旋转，它实际上是一个电磁铁，当励磁绕组通以直流电后，即建立磁场。转子转动时，定子导体由于与此磁场有相对运动而感生交流电势，从而发出了电。

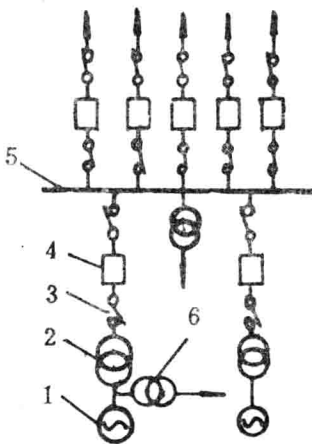


图 1-7 电气系统示意图

1—发电机；2—主变压器；3—开关；
4—断路器；5—母线；6—厂用变压器

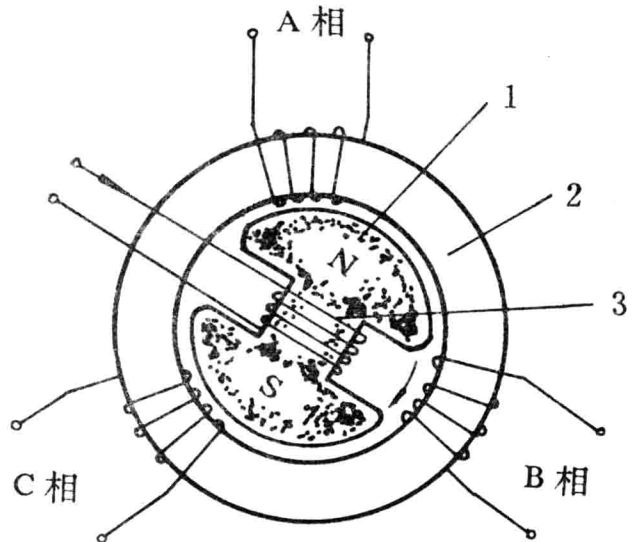


图 1-8 三相交流发电机原理图

1—转子；2—定子；3—励磁绕组

发电机在运行中，总有些能量损失，其大部分转化为热量，使发电机的温度升高，从而限制了发电机的发电能力。因此，发电机在运行中必须进行冷却，其方法有三种，即空气冷却、氢气冷却、水冷却。水冷却是较先进的冷却方法，它是将发电机转子和定子的导线做成

空心的导线，使水通过导线进行冷却。

发电机发出的电压一般只有6~20KV,为了便于长距离输送和减少电能在线路上的损失,就必须通过升压变压器将电压升高,减小电流。当然,电力送至用电区,必须经降压变压器将电压降低后分配给用户。

断路器的功用是接通或断开电路。在保护装置的控制下,断路器可自动地切断故障电路。隔离开关用来隔离电路,保证检修时的安全。

控制、测量、信号系统由各种监察测量仪表(电压表、电流表、频率表等)、控制及信号装置、各种继电保护装置等组成。

为了安全经济地发供电,把多个发电厂、变电所、输电线路和用户联在一起,组成一个发、供、用的整体,称为电力系统。

五、火电厂热力生产过程自动化

大容量高参数集控机组和电子技术的飞速发展,促使火电厂热力生产过程的自动化。在热力设备及其系统上,装设各种监测仪表和自动控制装置,协助运行人员,使复杂的热力生产过程实现操作、调节及保护等方面的自动化,能够确保火电厂安全经济运行,提高劳动生产率,减轻运行人员的劳动强度。

火电厂热力生产过程自动化主要包括以下几个方面:

(1) 自动检测 自动检测的参数主要是温度、压力、流量、液位、煤量、转速、汽水品质、烟气成份、电压、频率等,它们通过指示仪表、记录仪表、积算仪表等显示于集控室。大型机组则进一步采用巡回检测技术。

(2) 工艺讯号(光、声) 工艺讯号是指在某些被监视的运行参数偏离规定范围时,或者出现某些异常情况时,所发出的灯光和音响信号。它作为自动检测的补充,通常有两类:一类是当生产过程出现异常情况时,用来唤起运行人员注意,如参数越限时的自动报警信号、设备发生故障而停机时的事故信号等;另一类是远方操作时的检查信号和不同地点的操作人员之间的联络信号。

(3) 自动调节 利用仪表和设备自动地维持生产过程在规定的工况下运行,如锅炉水位自动调节、燃烧过程自动调节、蒸汽温度自动调节等。在生产过程中,不可避免地经常受到各种因素的干扰,使运行工况偏离规定工况。这时就要靠自动调节系统进行调节,使生产过程回到规定的工况。目前我国火电厂常用的自动调节设备以电动单元组合仪表(DDZ-Ⅱ型)为主。

(4) 远方操作 利用辅助能源进行开、关动作(如电动阀或气动阀)并把控制各项操作的指挥信号集中到控制盘上。

(5) 自动操作(程序控制)有计划有步骤地对生产过程进行一系列操作。通常用于生产过程中某些经常性的工作循环(如烟道吹灰、锅炉定期排污、煤粉制备、补给水化学处理等)和主、辅机的自动启停等。在火电厂生产过程自动化中,程序控制将很快占据重要的地位,联合电子计算机,可进一步实现整个机组和整个火电厂的综合自动化。

(6) 自动保护 在发生事故时,自动保护装置立即动作,以保护设备安全,或把事故区域与其它部分隔离开来,以防事故进一步扩大。自动保护是保障设备安全的最后把关措施,一般不易轻易动作,但在动作时必须迅速可靠。