

发电厂热力系统及辅助设备

北京电力技工学校 叶之奎 主编

水利电力出版社

(京)新登字 115号

内 容 提 要

本书共分三篇。第一篇为水力学、泵与风机。介绍水力学基础知识、如液体的主要物理性质、水静力学、水动力学、水力阻力与损失及简单计算等。泵与风机着重讲述离心式泵与风机的基本工作原理、结构和性能曲线,对电厂常用的轴流式和其它型式泵与风机也作了简介。第二篇为火力发电厂的热力系统,在火力发电厂热力系统及管道部分重点讲解热力系统及连接的主要辅助设备,并对加热器、除氧器等辅助设备的结构原理进行了阐述。第三篇为火电厂辅助生产系统及管道,较全面讲述火力发电厂辅助生产系统的燃料运输、除尘、除灰、供水、发电机的冷却、连接热力系统的管道和主厂房布置等。为便于学生复习,每章都附有复习思考题。

本书可供从事发电厂电力安装、检修的工人和技术人员学习参考。也可作为技工学校火力发电厂热动类安装与检修专业的教材和电力职业技术培训的教材。

发电厂热力系统及辅助设备

北京电力技工学校 叶之奎 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

四季青印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.5印张 443千字 2插页

1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数 00001—12690册

ISBN 7-120-01778-0/TK·271

定价 10.50元

前 言

本书是根据中国电力企业联合会教育培训部《1989~1993年电力技工学校教材建设规划》及1988年3月原水利电力部教育司制定的水利电力技工学校教学计划和教学大纲而编写的。在编写过程中，热动类教学研究会曾对编写提纲进行过认真讨论，并提出了许多建设性意见。

本书适用于火力发电厂汽轮机、锅炉安装与检修专业学生作为课本。该书由北京电力技工学校叶之奎同志编写绪论、第一、二、九、十一章，天津电力技工学校程克宽同志编写第五、六、八、十章，长春电力技术学校陈国军同志编写第三、四、七章，并由叶之奎同志任主编。

本书由华东电力技工学校康德同志主审。

由于时间仓促，加上编者水平有限，书中一定有许多疏漏不足和错误，恳请读者批评和指正。

编者

1991年12月

目 录

前言

绪论 1

第一篇 水力学及泵、风机

第一章 水力学基础	10
第一节 水力学研究的对象和液体的基本特征	10
第二节 液体的主要物理性质	11
第三节 水静力学	17
第四节 水动力学	32
第五节 水力阻力和损失	58
复习思考题	76
第二章 泵与风机	84
第一节 泵与风机的工作原理和性能参数	85
第二节 离心式泵与风机的结构	98
第三节 轴流式泵与风机	110
第四节 火力发电厂常用泵	113
第五节 火力发电厂常用风机	125
复习思考题	128

第二篇 火力发电厂热力系统

第三章 给水回热加热系统	131
第一节 给水回热加热及其热经济性	131
第二节 影响回热过程热经济性的因素	136
第三节 回热加热器	139
第四节 给水回热加热系统	147
第五节 加热器的疏水装置	151
复习思考题	153
第四章 给水除氧系统	155
第一节 给水除氧原理	155
第二节 除氧器的构造	157
第三节 除氧器的热力系统及连接	163
复习思考题	166
第五章 蒸汽的中间再热及热电厂供热系统	167
第一节 蒸汽的中间再热	167
第二节 再热机组的旁路系统	170

第三节 热电联合能量生产概述·····	176
第四节 热电厂的供热系统·····	178
复习思考题·····	181
第六章 发电厂的汽水损失及其补充·····	182
第一节 发电厂的汽水损失及补充·····	182
第二节 锅炉连续排污利用系统简介·····	185
第三节 化学水处理系统·····	187
第四节 水处理设备·····	190
复习思考题·····	192
第七章 发电厂的原则性热力系统·····	193
第一节 原则性热力系统的组成·····	193
第二节 发电厂原则性热力系统举例·····	195
复习思考题·····	203
第八章 发电厂的全面性热力系统·····	204
第一节 全面性热力系统概述·····	204
第二节 主蒸汽管道系统·····	204
第三节 主给水管道系统·····	207
第四节 回热加热器管道系统·····	214
第五节 发电厂的疏放水系统·····	217
第六节 发电厂全面性热力系统举例·····	219
复习思考题·····	222

第三篇 火力发电厂辅助生产系统及管道

第九章 发电厂辅助生产系统·····	224
第一节 燃料运输系统·····	224
第二节 火力发电厂的除尘·····	238
第三节 火力发电厂的除灰·····	243
第四节 火力发电厂的供水·····	247
第五节 发电机的冷却系统·····	254
复习思考题·····	261
第十章 发电厂的管道·····	263
第一节 管道的材料与规范·····	263
第二节 管道的技术计算·····	268
第三节 管道的阀门及应用·····	274
第四节 管道安装概述·····	284
复习思考题·····	293
第十一章 火力发电厂主厂房和主要设备布置·····	295
第一节 火力发电厂主厂房的布置·····	295
第二节 主厂房内主要设备布置型式·····	298
复习思考题·····	305

绪 论

一、电力在国民经济中的地位、作用和重要意义

电力是国民经济发展的原动力，是实现工业、农业、交通运输业、国防的现代化和实现科学技术现代化的重要条件，也是提高与改善人民物质文化生活的重要保证。电力工业的发展水平在一定程度上标志着一个国家的工业化程度、国民经济发展的水平和科学技术的进步，因而电力工业是先行工业，是国民经济的基础。

电力的应用非常广泛。从工业到农业，从城市到农村，从生产到生活，各行各业都离不开电。电对现代化工业生产的发展速度和人类物质生活水平的日益提高，起到了难以估量的巨大作用。由于电力和电子技术的发展，人类必将从先进的工业化时代进入到高科技、电气化的新时代。

电能是优质的二次能源，它是由一次能源（煤炭、石油、水力、风力、地热能、潮汐能、天然气、太阳能和核能等）转化而来的。经过输送，电能将很方便地转换成其它形式的能，供给不同的用户使用。

电能应用如此广泛，是因其有以下优点：

(1) 电能可以方便地进行能量转换。一次能源（例如：煤炭、石油、水力、太阳能、地热能、核能等）通过原动机和发电机可以转换成电能，电能又可以通过电动机或电气设备转换成机械能、热能、光能和化学能等。

(2) 大规模集中生产的电能可以灵活地分散使用，是比较理想的动力源。电能集中在发电厂中大规模生产后（即经过一系列的大规模能量转换），在线损很小的情况下，通过高压输电线路远距离输送到1000 km以外的地区，灵活方便地分配给电网或分散的用户使用。

(3) 电能可实现许多特殊工艺加工。例如，电焊工艺、电化学、高频淬火、金属电火花加工等。

(4) 电能能够充分利用地区性动力资源，解决地区条件对工业的限制，使工业布局更趋于合理。如有的地区蕴藏着极为丰富的风力、水力、潮汐、沼气、地热、天然气或煤炭等一次能源，有的地区日照长，太阳能亦可利用，又如工业集中地区的工业废热等，均可在转变成电能后，再输送到利于工业发展或居民集中地区，使工业布局更为合理，促进经济发展和人民生活水准的提高。

(5) 电能易于实现工业生产的自动化，为自动控制、远距离操纵，为提高劳动生产率和改善劳动环境创造有利条件。

世界各国对电力工业的发展非常重视，电力生产日益扩大，电力技术不断提高，电能被应用于生产和生活各个领域，对促进社会生产力、提高人类生活水平，都有极其重要的作用和意义。电气化已成为一个国家生产、科技进步和生活现代化水平的重要标志。

二、电力生产的特点与基本要求

(1) 电能无法储存是电力生产的特点之一。电厂发电机发出的电能与用户电气设备所消耗的电能时刻保持平衡。发电机的运行情况必须随着系统用户负荷的变化而改变，而且与用户负荷相适应。根据外界用户需要随时调整发电量，在任何时候、任何条件下，都应是总供给满足用户的总需求，多供多发，少供少发，不供停发。这就是对电能在数量上的要求。

(2) 发电厂输出的电能参数(质量)必须严格符合用户要求，即电力系统的频率和电压应保持在容许范围内变动，例如频率在 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ 、电压符合规定。若供电质量降低，就会使电气设备不能正常运行，甚至影响了生产或损坏了电气设备。尤其是电网容量越来越大，在机组容量大、参数高的情况下，保证机组在稳定工况下运行是十分重要的，只有这样才能保证电能的质量。

(3) 发电厂的电力生产必须保证连续不间断地进行，保证安全可靠。在电力生产中任何一点小的事故可能酿成大的灾祸，引起重大设备和人身事故，造成巨大经济损失。事故停电不仅会造成电力设备的损坏，电力部门无受益，而且在电能的利用上产生的间接损失更大。所以电力生产必须做到安全。

(4) 电力生产要求运行经济，厉行增产节约。电力生产是一个多环节的复杂的生产过程。一次能源的消耗量大，利用率又低，增产节约的潜力很大。例如：一个容量为1000MW的大型电站〔发电煤耗按 $396\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 〕计，24小时(一天)要消耗9500~10000t煤，若发电煤耗降低 $1\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，按1987年底全国发电量(4960亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$)计算，全国一年就可以节约发电用煤50万t。如果全国送电线路损失和厂用电能降低1%，则全国一年就可节省近50亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电能，相当于一个1000MW容量的大电厂一年的发电量(设备年利用小时数按5000h/a计)。所以电力生产必须做到经济运行，对设备进行技术监督，防止跑冒滴漏，提高设备出力，节约煤电，千方百计降低成本。

三、我国电力工业发展概况

我国电力工业已有百年历史。解放前的旧中国，电力工业十分落后，发展缓慢，发电设备全部从外国进口。自1882年英国在我国上海建立第一座发电厂开始，至1949年新中国成立的近70年间，全国装机总容量仅有1850MW(其中火力发电容量为1690MW)。发电设备除在1947年杨树浦发电厂投入一台蒸汽压力为8.44MPa(即 $86.1\text{kgf}/\text{cm}^2$)、温度为 496°C 、容量为15MW的背压式机组外，其余多是中小容量和中低参数机组，绝大多数是小容量和低参数机组。全国仅有几条154kV输电线路和一条220kV输电线路，且电网布局极不合理，大部分电厂都集中在东北地区和沿海少数几个大城市。在发电量方面，当时全国发电总量仅有43亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，占世界第25位。供电质量很差，发电设备的年利用小时数常在3000h/a以下，电网和单机容量也很小，运行技术水平很低，大多数发电厂的标准煤耗竟达 $1200\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 以上。设备陈旧庞杂，年久失修，劳动条件极端恶劣，事故频繁，电能使用规格极不一致，这就是我国解放前电力工业的局面。

1949年新中国成立以后，在党和政府的领导下，国民经济迅速恢复和发展，电力工业得到新生，电力生产规模由小到大，从城市发展到乡村，从全部依赖外国到依靠自己的力

量进行设计、制造、施工、运行、管理，建立起具有一定规模的电力工业体系。党和政府对电力工业十分重视，为高速发展我国电力事业开辟了广阔的道路。

从1949年到1990年底的41年间，电力工业的发展的速度是惊人的。到1990年底，全国发电量达到6213亿kW·h，居世界第四位，41年增长了144倍多，年平均增长率达13%；全国发电设备总装机容量到1990年底已达到137890MW，居世界第四位，为1949年的77倍；单机最大运行功率由53MW（抚顺）增加到600MW，增长十倍。上述数字表明，我国电力生产发展和增长速度是很快的。在“六五”期间安装的机组容量多为100MW、125MW、200MW、300MW，并已成为主力机组。“七五”期间开始引进设备和引进技术制造的600MW汽轮发电机组已陆续投产。

据1990年统计，我国发电标准煤耗已降到398g/(kW·h)，供电标准煤耗已降为427g/(kW·h)，厂用电率为6.54%，线损率为8.06%。

这些主要发电经济指标与发达国家相比，仍有一定差距。

四、发电厂的任务、分类和容量

利用天然能源（一般是一次能源，如煤炭、水能、风能、核能等）转变为电能的工厂称为发电厂。利用煤炭、石油、天然气、沼气做为燃料燃烧后释放出来的热能，再经一系列能量转换而成为电能的工厂叫做火力发电厂；利用水能发电的工厂称水电厂；利用核能发电的工厂称为核电厂。总之，发电厂是根据一次能源的不同来分类的。

将其它形式的能转换成电能供给用户合格（电压、频率）的电力就是发电厂的任务。热电厂不仅要供给用户合格质量的电能，而且要供给用户合格参数与足够数量的热能。

（一）发电厂的分类

发电厂的类型很多，分类方式不尽相同，现将常见的几种分类方法叙述如下：

1. 按所利用的一次能源分

（1）火力发电厂 是热力发电厂中的一种，它主要是利用煤炭、石油、天然气等燃料燃烧，将燃料的化学能先转换为热能、再转换成机械能，最后变成电能的。我国以煤炭为原料来发电是当前主要方式。与水电厂、核电厂相比，火力发电厂投资省，见效快，建设周期短，可靠近煤矿坑口或靠近负荷中心、大城市建设。

（2）水力发电厂 利用水位的高低落差释放出的巨大能量，推动水轮机转动来带动发电机发出电能的电厂称为水电厂。我国水力资源十分丰富，要积极开发水力资源，建造水力发电厂。水力发电厂的缺点是投资大，建设周期长，但水电厂生产的电能成本低，不需要交通运输工具运送原料和煤炭。

（3）核电站（厂） 利用原子核反应堆产生的巨大原子能，使工质水加热成蒸汽推动原动机带动发电机发电，这类电厂称为核电厂。它适于建在其它能源资源不足、工业集中、需要电能又很大的地区。核电厂耗资大，技术要求高，对废料的处理要求严格。核电站对大气环境没有粉尘污染。

（4）太阳能发电厂 有两种方式。一是将太阳光聚集后的热能传递给水，水变成蒸汽推动汽轮发电机发电的电厂称为太阳能发电厂。太阳是一个巨大的能源，太阳能的利用对光学技术要求高，受气候、季节等条件限制。虽然投资大，但不需要煤炭等其它燃料，电

厂投产后受益大。另一种方式是利用太阳能电池发电。这种发电方式是光电直接转换，不需要汽轮发电机和其它机械设备。

(5) 地热发电厂 利用地下的热水经扩容后，变成蒸汽推动汽轮发电机发电的电厂。我国广东、河北、湖南、山东、西藏等地有较丰富的地热资源，适合建造地热电厂。

(6) 风力发电厂 利用风力推动原动机旋转，带动发电机发电的电厂。这类电厂的发电技术复杂，要求高，目前我国正在风力资源丰富地区努力发展风力发电。

2. 按产品性质分

(1) 凝汽式发电厂 只供给用户合格质量的电力。

(2) 热电厂 它除了供给用户合格的电力，还供给用户所需参数的蒸汽或热水。

(3) 综合利用发电厂 除热电联合供应用户外，还将电厂排出的废料灰渣等作为原料加以利用，如利用灰渣制造建筑材料等。

3. 按发电服务范围分

(1) 系统中发电厂 这种发电厂发出的电能直接向电网供电，然后用户再从电网引下来使用。

(2) 孤立电厂 这类电厂建在用户附近，向用户直接供电，与电网没有关联。电厂停电就要影响该地区用电。

(3) 自备电厂 某企业、矿山或重要部门为保证本部门安全生产和工作建造的电厂。在外界电源中断、停电或供电不足时，自备电厂将发电、供电，保证本企业不受外界供电的影响，使本部门用电不会中断，安全可靠。

(4) 列车电站和船舶电站 这是将发电厂整套设备安装在列车或船舶上，利用这种交通工具运送发电设备到所需要的地方去发电。列车电站、船舶电站就是一座活动的发电厂，它可以到边远地区或遥远的岛屿，也可到第一次开发建设还没有动力电源的地方去供电。

(二) 发电厂容量

发电厂容量用该发电厂主要发电机组的总功率来表示。在谈论某电厂的容量有多大时，就是指该电厂所有发电机单机功率的总和。例如，某发电厂最终装有4台功率为200MW的汽轮发电机组，就说该发电厂的容量为800MW。电功率的单位是瓦〔特〕(W)，所以发电机的功率也采用瓦〔特〕。实用时，瓦〔特〕这个单位太小，就用千瓦(kW)或兆瓦(MW)为单位。

发电厂的容量代表了该电厂的规模和等级。

(三) 发电厂主要设备的容量

火力发电厂的主要设备包括锅炉、汽轮机和发电机，合称发电厂三大主力设备。其大小用容量来表示。

锅炉容量一般用额定产汽量来表示，是指该锅炉每小时连续最大生产蒸汽的吨数，也叫锅炉额定出力，其单位用吨/小时(t/h)表示。

汽轮机和发电机的容量一般叫功率。汽轮机和发电机一样，它们的容量是指汽轮机和发电机的设计功率，也叫额定功率或出力，其单位用兆瓦(MW)表示。

(四) 发电厂的效率

发电厂的效率是指发电厂输出的电能占供给锅炉总热能的百分数。发电厂的效率是考虑了锅炉、汽轮机凝汽器、发电机的损失后的有用能量与加入锅炉总热量之比。一般凝汽式发电厂的效率只有32%~35%左右，运行管理不善时可能还要低一些。目前先进国家的发电厂效率正向40%的目标努力。热电联合生产发电厂的效率相差较大。我国当前热电厂的平均热效率已达78%~86%左右。电厂效率的高低与技术水平、机组容量大小、管理的完善程度、自然条件和热能的利用等情况有关。对于火力发电厂来说，蒸汽参数越高、容量越大，电厂热效率就越高。这就是当前火力发电厂采用大容量、高参数热力设备的重要原因之一。

五、火力发电厂生产过程

现以燃煤电厂为例，介绍电力生产过程。

(一) 燃料运输

燃料运输也称厂外燃料运输，它属于发电厂辅助生产系统。燃料运输过程是：燃煤利用运输工具（陆路用火车、汽车、燃煤管道等，水路用船舶）先运至厂区的储煤场进行储存。使用时，再利用扒煤机或圆盘式给煤机等煤场设备把煤送上输煤传送带，经转运、碎煤到原煤斗（或原煤仓）。

(二) 制粉系统

制粉系统包括原煤斗（仓）、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机、一次风机和二次风机等设备及其管道。

制粉系统的任务是将原煤干燥，磨成一定细度的煤粉，送入炉膛进行燃烧。

制粉的任务是将经过磁性金属分离、初步破碎、筛分后的原煤进行干燥和磨细，以获得合格质量的煤粉。

其具体过程如图0-1所示。由（皮带运来的原煤或由原煤斗（仓）1的原煤落入给煤机2，然后均匀地送入磨煤机3。送风机将冷却空气送至空气预热器被炉内排出的热烟气加热成热风，其中一部分热风作为二次风由喷燃器喷进炉膛；另一部分作为主要热风通过管道进入磨煤机对原煤进行干燥，再由磨煤机磨制成煤粉，煤粉便通过热风带出磨煤机，经过粗粉分离器，不合格的粗煤粉回到磨煤机重复加工。粒度合格的煤粉继续由热风带入旋风分离器（也称细粉分离器），大部分煤粉与热风分离，煤粉落入煤粉仓，或经过螺旋输粉机供给其它运行的锅炉，而煤粉仓的煤粉通过给粉机按照锅炉燃烧的需要均匀地落入一次风管后进入锅炉。由旋风分离器出来的热风仍带有10%左右的煤粉，经排粉机提高风压后与一次风管内落下的煤粉（由给粉机分配的煤粉）一起经喷燃器共同进入炉膛燃烧。）

(三) 燃烧系统

燃烧系统包括燃烧室、喷燃器和空气预热器等设备。

燃烧系统的任务是供给锅炉所需的燃料及空气在炉膛内进行良好的燃烧，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。

燃烧系统各设备的工作过程：喷燃器将合格的煤粉混以适量的空气喷入炉膛合理燃

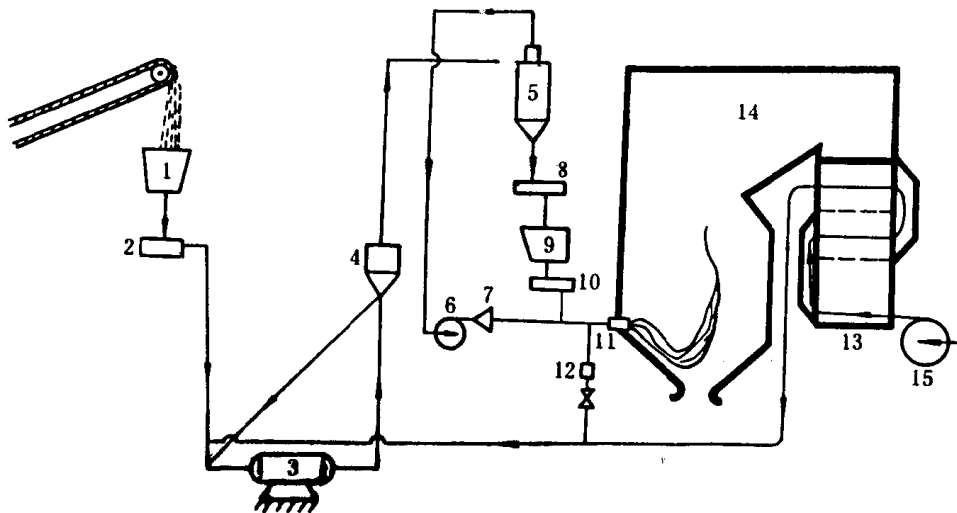


图 0-1 制粉系统示意图

1—原煤斗(仓); 2—给煤机; 3—磨煤机; 4—粗粉分离器; 5—细粉分离器; 6—排粉机;
7—一次风箱; 8—螺旋式输粉机; 9—煤粉仓; 10—给粉机; 11—喷燃器; 12—二次风箱; 13—
空气预热器; 14—炉膛; 15—送风机

烧。燃烧后的热能传递给燃烧室的水冷壁上。水冷壁内部的水吸收热量后变成蒸汽，具有较高热能的蒸汽就有作功的本领，以供汽轮机运转。煤粉在炉膛内燃烧时，需要充足的空气，这种空气是经过烟道内的空气预热器预热后进入炉膛的，目的是利用烟气余热提高燃烧效率。这种热空气有三个作用，即供给燃料燃烧、煤的干燥和输送煤粉。图0-1所示的喷燃器11、炉膛14、空气预热器13、送风机15等设备及其管道组成燃烧系统。

(四) 汽水系统

火力发电厂电力生产过程中，汽水系统包括主蒸汽管道系统、主给水管道系统、回热抽汽管道系统、主凝结水管道系统、疏放水系统和补水系统等，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，如图0-2所示。

锅炉的给水先进入锅炉尾部的省煤器，利用烟气的余热加热后进入汽包，再从下降管经炉墙外侧流入下联箱，而后进入由许多水管组成的水冷壁。水在水冷壁内吸收炉膛内热量，水本身继续被加热直到汽化，汽水混合物沿水冷壁再次进入汽包，经汽水分离器使汽和水分离。分离后的水又进入下降管，继续吸热；而分离出的饱和蒸汽再经过热器继续吸热成为过热蒸汽。高压过热蒸汽经主蒸汽管道引到汽轮机，推动汽轮机转子，使汽轮机高速旋转并带动发电机发出电能。)

上述电力生产过程的能量转换过程是：燃料在炉膛内燃烧，燃料的化学能转换成热能，热能被水吸收后变成饱和蒸汽和过热蒸汽（在锅炉中进行）；高能量的过热蒸汽吹动汽轮机转动，将蒸汽的热能转换成汽轮机旋转机械能；汽轮机带动发电机转动，机械能再通过发电机转换成电能，最后输送给用户。

(五) 电气系统

火力发电厂电气系统包括：发电机、主变压器、高压配电装置，如图0-3所示。电气系统

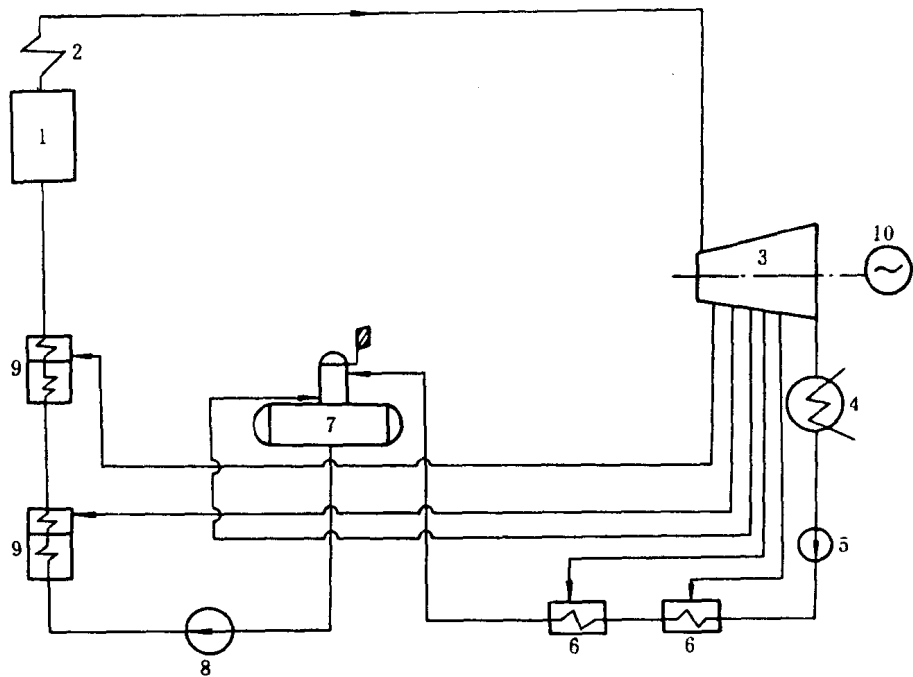


图 0-2 火力发电厂主要汽水系统

1—锅炉；2—过热器；3—汽轮机；4—凝汽器；5—凝结水泵；6—低压加热器；7—除氧器；8—给水泵；9—高压加热器；10—发电机

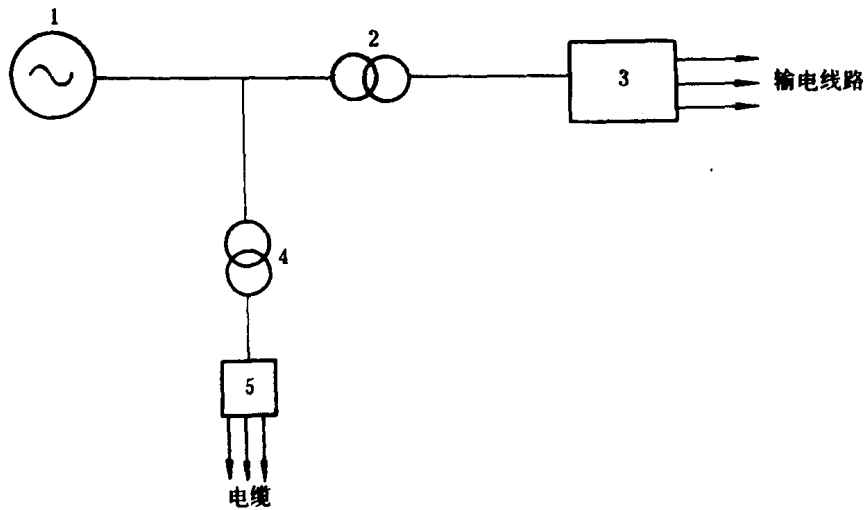


图 0-3 电气系统

1—发电机；2—主变压器；3—高压配电装置；4—厂用变压器；5—厂用配电装置

中，一路是把发电机产生的电能经主变压器使电压升高，再经高压配电装置和升压站将电能输出；另一路是经厂用变压器通过厂用配电装置由电缆送给电厂的各用电设备。

发电厂电力生产过程和主要设备的系统详见图 0-4。

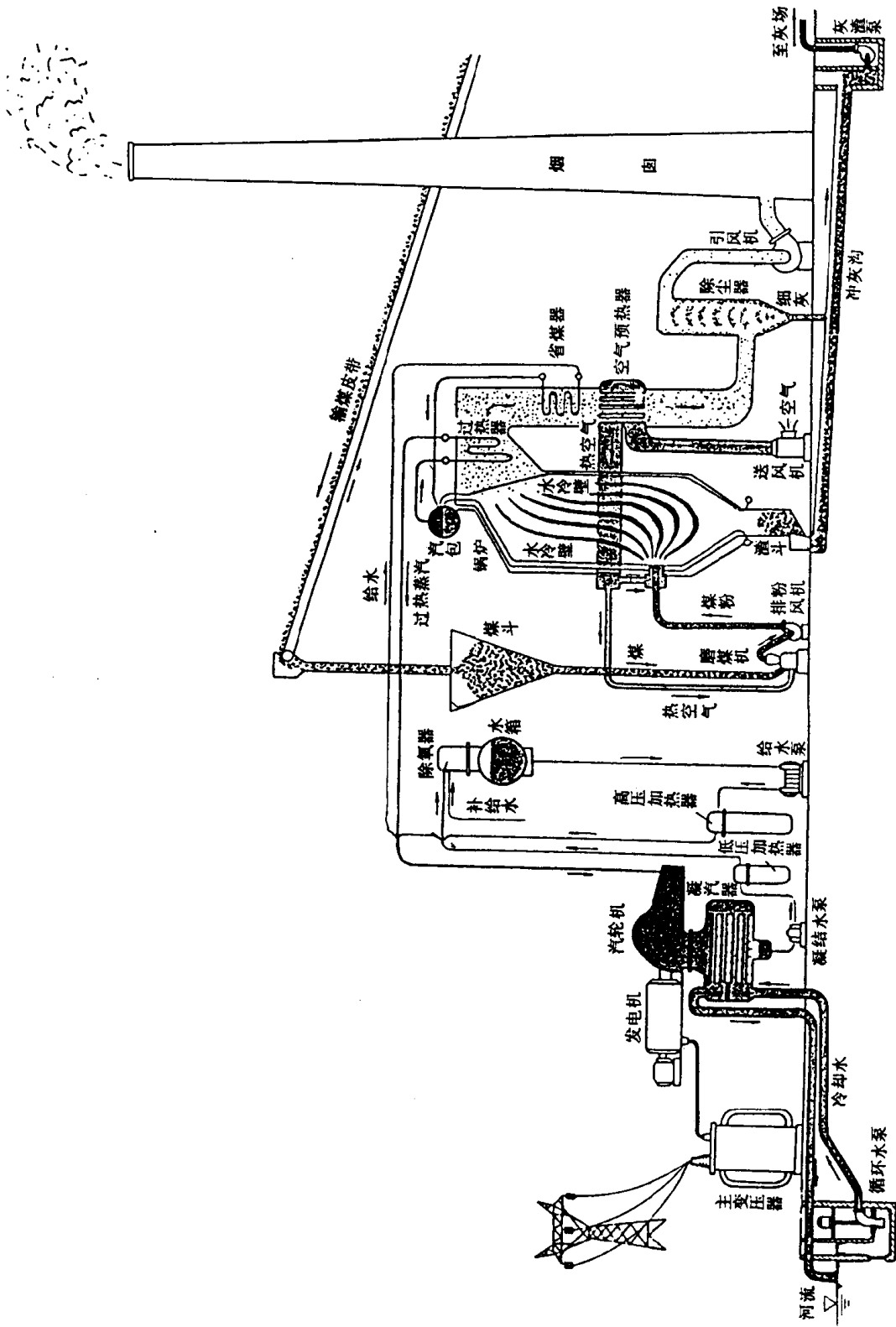


图 0-4 发电厂电力生产过程和主要设备示意图

六、本课程的任务和要求

本课程共分三篇：第一篇为水力学、泵与风机；第二篇为火力发电厂的热力系统；第三篇是火力发电厂辅助生产系统及管道。

第一篇的水力学部分介绍流体力学方面水等液体的基本理论知识，通过例题掌握解决水力学问题的要领，为学好热动专业课打下初步基础。泵与风机是热动专业常用的附属机械，熟悉它们的作用、性能、结构、原理，是安装检修这些设备必不可少的专业基础知识。

学习火力发电厂热力系统一篇，要求初步了解凝汽式、中间再热式、热电联产等类发电厂的热力系统及热经济性。应着重掌握系统联接、设备结构和作用。

第三篇中，通过管道一章的学习，要求懂得管道规范、材料、简单计算与选用。本书讲授了管道的热补偿、支吊架、附件等的型式、作用、学习时，对补偿方法，对管道冷拉、蠕胀测点的装设、弯管等内容，应联系有关课程加深理解。辅助生产系统一章介绍了各辅助系统所属范围，应重点掌握系统的意义、作用和有关设备的结构、工作原理。例如，对燃料运输的内容要求明确运输方式、运输设备、受卸装置等，对除尘、除灰部分则应掌握其工作原理及特点；在供水一节内只要求懂得供水方式的特点与应用；对发电机冷却方式应重点掌握氢冷却方式及密封油系统的设备结构及原理，而对水冷与空冷技术仅有一般了解即可。本篇最后对火力发电厂主厂房和主要设备的布置也作了简要介绍。

通过本课程学习，要求学生理论联系实际、学好专业课，为参加电力生产建设掌握必要的理论知识。

第一篇 水力学及泵、风机

第一章 水力学基础

第一节 水力学研究的对象和液体的基本特征

一、水力学研究的对象

自然界的物质分为三态：即固态、液态和气态。形成的物体有固体、液体和气体。

研究固体平衡和机械运动规律的学科称为刚体力学。研究流体（包括液体和气体）平衡和机械运动规律的学科称为流体力学。当研究的流体主要对象是水时，又可称为水力学。水力学研究的对象就是研究液体水的平衡与机械运动的规律，以及这些规律在生产实践中的应用。

而以研究气体运动基本规律的学科则称为空气动力学。

刚体力学、流体力学和空气动力学统称为应用力学。研究物质三种状态下的机械运动时，除气体还要考虑热运动规律外，其它两种物态的机械运动都服从牛顿三个基本运动定律，这是它们的共同性质。

刚体力学和空气动力学不是本课程的任务，水力学则是本章研究的主要内容。

虽然水力学是研究流体运动规律的学科，但是流体力学和水力学除了研究的基本原则相同外，它们尚有差别。流体力学研究的对象是液体质点的运动，而水力学则着重研究整体流路（总流、水股平均流速、平均阻力等方面）。水力学在处理液体运动时要比流体力学简单些和粗糙些，但它能满足工程上的需要，易于解决实际问题。在研究问题时抓住主要因素，忽略次要因素，使问题变得简单化。由于流体力学提出的问题较严格，故解决的问题有较为普遍意义。近代科学的不断发展，流体力学与水力学二者的区分在逐渐消失。

水力学分为两个基本内容：即水静力学和水动力学。

二、液体的基本特性

自然界中的一切物体均由物质组成，物质是由分子构成。由于物质的分子结构不同，就形成了不同的物体。物体存在的形式一般分为三种：即固体、液体和气体。

固体的分子排列最紧密，分子间的距离很小，吸引力很大，抵抗变形的能力也大，抗外力作用能力很强。所以固体有一定的体积，有一定的形状，有抗拉、抗剪切、抗压的能力。

液体的分子排列较松散，分子间距离与固体比较显著增大，分子间吸引力要小，分子运动能量也较气体为小，分子不能自由从液体内部逸出。所以液体有一定的体积，但没有一定的形状，抵抗变形能力很小，故易流动，其形状随容器而异，能形成自由表面。

气体的分子间排列最疏松，分子间距离很大且较自由，分子间的吸引力很小很小，分

子能自由飞行，这就形成了气体的特征，即气体没有固定的体积，更没有一定的形状，气体能充满整个容器，气体的形状就是容器的形状，它没有自由面。所以，液体和气体几乎不能承受一点拉力和剪力，甚至在很微小的一点拉力和剪力作用下，就很容易产生变形或流动。

由此可知，固体和液体能承受一定压力，很不容易被压缩变形，而气体则最容易被压缩。

三、液体的连续性和均匀性的概念

当研究液体规律时，不考虑分子之间的间隙，把液体的无数小质点看成是连续的，各质点间的密度是均匀的，这种假设既简化了研究问题的复杂性，又可以利用某些研究手段，找出能满足工程上需要的液体运动的规律。所以，“液体具有连续性、密度是均匀”的假定为水力学的研究工作提供了方便。事实上，液体分子之间是有间隙的、不是连续的、密度也是不均匀的。只是在研究液体的运动规律时，由于液体的分子间隙很小，而在体积很小的空间又聚有众多的分子，例如在温度为 15°C 、大气压强为 101.3kPa 的情况下， 1cm^3 的体积内的空气就含有 2.7×10^{19} 个分子。由此可见，分子的间隙是微不足道的。所以，假定液体是连续的，这是可能的。在客观上，根据这种假定发现的液体运动规律，能够满足工程上的需要。所以，这种假定又是允许的。但要注意，在一定的范围内，例如，在研究分子运动理论时和液体流道突然变化等情况下，这种假定又是不允许的。

第二节 液体的主要物理性质

前面讲过液体的基本特性，是易变形和易流动。例如，水在江河中的流动，水从自来水管中流出。日常生活中和工程上见到液体流动的现象很多。

大家知道，固体具有抗拉、抗压、抗剪切的能力。要想把固体拉断、压碎和剪断，就必须给以足够大的外力作用。而要把液体拉开，几乎不用费什么力气。说明液体几乎不能抗拉。液体抗拉和抗剪切的能力很微小，即使受到极其微小的剪切作用，也会产生连续不断的变形。因此，液体的易流动、易变形正是这种抗拉、抗剪能力极小的结果。利用这个特性，把液体作为工作介质进行热力循环，就是液体流动性的最重要的实际应用。此外，研究液体运动规律时，还假定液体是连续的和均匀的。这都是为了研究液体运动规律方便而规定的。

除了解液体的特性之外，对液体的主要物理性质也必须认识清楚。

一、液体的密度

一切物体都是由物质组成的。该物体含有物质的多少称为质量^①。物体受地球引力的大小就称为物体受有重力。在物理学中，物体的质量是物体惯性大小的量度。物体惯性愈大、质量就愈大；惯性小，质量亦小。反之，物体质量愈大、惯性亦大；质量小，惯性亦小。

液体和其它物体一样，也具有质量。对于均质液体，单位体积内所具有的质量称为液体的密度。其表达公式为：

① 在人民生活 and 贸易中，质量习惯称为重量。表示力的概念时，应称为重力。

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;

M ——液体的质量, kg ;

V ——液体的体积, m^3 。

宇宙间各种物体相互都有吸引力, 地球和地球上的物体也相互存在引力。通常把地球对物体的引力称为物体的重力。根据物理学可知, 物体的重力 G 等于物体质量 M 和重力加速度 g 的乘积, 即:

$$G = Mg \quad (1-2)$$

式中 G ——物体的重力, N ;

M ——物体的质量, kg ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

g 值的大小, 随地球纬度而变。地球上不同地点的 g 值是不一样的, 以地球两极的数值最大。在北纬 45° 海平面精确测量物体的重力加速度值 $g = 9.80655 \text{m}/\text{s}^2$, 一般取 $g = 9.81 \text{m}/\text{s}^2$ 。

液体的密度主要随液体的种类而不同。液体和气体的密度差异较大。同一种流体的密度随温度与压强的变化而改变。这是因为温度不同时, 流体体积发生变化的缘故。在通常情况下, 液体受压强和温度影响不大时, 也可以把密度看成一个常数。还必须指出, 密度的大小取决于流体的质量, 同一种流体在外界压强和温度不变时, 密度不会变化。然而, 同一种物体受的重力则随物体在地球上所处的位置而变化。常见流体的密度见表 1-1。

表 1-1 常见流体密度

流体名称		密度 (kg/m^3)	温度 ($^\circ\text{C}$)	流体名称		密度 (kg/m^3)	温度 ($^\circ\text{C}$)
液	汽油	680~740	15~20	气	空气	1.2928	0
	乙醚	740	0		二氧化碳	1.9768	0
	纯乙醇	790	15~18		氧气	1.4290	0
	甲醇	810	4		一氧化碳	1.2500	0
	煤油	800~850	15		氮气	1.2505	0
	重油	900~950	15		氢气	0.0899	0
	蒸馏水	1000	4		氯气	3.2200	0
	海水	1020~1030	15		乙炔	1.1709	0
体	甘油	1260	0	体	氨气	0.7714	0
	水	13590	0		甲烷	0.7168	0
	银	13590	0		乙烷	1.2610	0
	苯	873	60		二氧化硫	2.9263	0

【例 1-1】 在标准大气压力(即温度为 0°C 时, 海平面上的大气压强值 $p_a = 101.325 \text{kPa}$) 下, 0°C 时空气与水银的密度分别为 $\rho_{\text{空气}} = 1.2928 \text{kg}/\text{m}^3$ 及 $\rho_{\text{Hg}} = 13590 \text{kg}/\text{m}^3$, 又知 4°C 时蒸馏水的密度 $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 。请分别求出 6m^3 体积的空气、水银和蒸馏水的质量。

解 根据公式 (1-1) $\rho = \frac{M}{V}$, 所以 $M = \rho V$, 计算: