

北京广播电视大学电力分校教材

电力生产概论

汪新才 金 琅 编
石永海 刘钟声



北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书为适应电力工业部门成人高等教育发展的需要,为大专层次的电力企业管理、经济管理、物资、基建等专业而编写的。

本书紧密结合电力工业生产实际,系统地阐述了电力工业的发电、变电、输电、供用电等主要生产环节。着重讲述火力(水力)发电厂的基本生产过程。对电力网、火力(水力)发电厂主要设备的基本结构、工作原理、性能特点、安全运行生产知识均有扼要的介绍。对新能源发电方式和当前国内外电力工业生产技术的发展情况也作了简要的介绍。

本书根据成人高等教育的特点,贯彻了少而精的原则。内容由浅入深,简明易懂,每一章后附有思考题和练习题,便于自学和复习。

电 力 生 产 概 论

汪新才 金 琅 编
石永海 刘钟声

北京科学技术出版社出版发行
(北京西直门南顺城街12号)

北京昌平百善印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 15.875印张 396千字
1991年1月第一版 1991年1月第一次印刷
印数1—5000册

ISBN 7-5304-0791-0/T·161 定价:7.80元

前 言

本教材是根据能源部全国成人高等教育委员会三村建设部指示和能源部系统职工大学管理类专业协作组的要求,为大专层次的电力企业管理、物资、基建、政工、行政专业和经济类、文科类的各专业以及需要开设《电力生产概论》课程的有关专业而编写的。同时是北京电大电力分校经济管理专业课系列教材之一。也是从事水利电力企业管理和发电厂、变电所、输配电以及供用电等部门高、中级工程技术人员的重要培训教材和参考书。

本教材共分六篇,火力发电厂、水力发电厂、发电厂及变电站电气设备、电力线路、电力系统生产管理和新能源发电方式。

本教材的特点是紧密结合电力工业生产实际,系统精练地阐述了电力工业的发电、变电、输电、供用电主要生产环节。着重讲述火力(水力)发电厂基本生产过程。对电力网、火力(水力)发电厂主要生产设备的基本结构、工作原理,性能特点,运行生产知识均有扼要的叙述。并且对新能源发电方式和当前国内外电力工业生产技术的发展情况有简要介绍,本书内容具有系统性、实用性、知识性。重点突出,注重基本概念。教材中针对成人高等教育特点,始终贯彻少而精的原则,注重由浅入深、简明易懂,在每一章后面附有思考题和练习,便于自学、复习。学习本教材,可以用比较短的时间,进一步全面而系统认识电力工业生产特点,掌握一定的电力工业基本生产理论,了解自身工作与电力工业生产的关系,能进一步摸索,掌握其规律性和重要性,帮助和指导自己的工作。

参加本教材编写的有,华中电业联合职工大学高级工程师金 琅;华北电力学院北京研究生部教授石永海,西北电业职工大学副教授刘钟声;华北电业联合职工大学高级工程师汪新才。汪新才为主编。主审是能源部全国成人高教委秘书长、副教授邓耀群。

在编写过程中,曾得到华中电业联合职工大学张锡忠校长、华北电业联合职工大学傅德先、郭秉昌副校长和河北电力职工大学李广源校长的指教和帮助。在编写和出版过程中华北电业联合职大的陈长顺、彭玉忠、阎坤定、潘振华、和石景山发电总厂谢荣松等同志给予极大的帮助。借此一并表示衷心地感谢。

由于编者才疏学浅,编写时间又较仓促,不当与谬误之处在所难免,恳盼读者批评指正。

编 者

1990年5月

目 录

前言

绪论	(1)
----	-------

第一篇 火力发电厂	(5)
-----------	-------

第一章 火力发电厂概述	(5)
-------------	-------

第一节 火力发电厂的分类	(5)
--------------	-------

第二节 火力发电厂基本生产过程	(6)
-----------------	-------

第二章 火力发电厂的燃料	(10)
--------------	--------

第一节 燃料概述	(10)
----------	--------

第二节 煤炭的运输	(15)
-----------	--------

第三节 火力发电厂输煤系统	(16)
---------------	--------

第三章 锅炉及其辅助设备	(19)
--------------	--------

第一节 电厂锅炉概述	(19)
------------	--------

第二节 锅炉的热平衡	(22)
------------	--------

第三节 锅炉本体结构	(24)
------------	--------

第四节 自然循环锅炉和强制循环锅炉	(30)
-------------------	--------

第五节 锅炉的主要辅助设备	(34)
---------------	--------

第四章 汽轮机及其辅助设备	(39)
---------------	--------

第一节 汽轮机概述	(39)
-----------	--------

第二节 汽轮机本体结构	(42)
-------------	--------

第三节 汽轮机的调速、保护及油系统	(46)
-------------------	--------

第四节 汽轮机的辅助设备	(51)
--------------	--------

第五章 汽轮发电机	(56)
-----------	--------

第一节 汽轮发电机概述	(56)
-------------	--------

第二节 汽轮发电机基本结构	(58)
---------------	--------

第三节 汽轮发电机冷却方式和励磁方式	(61)
--------------------	--------

第六章 火力发电厂其它生产系统	(64)
-----------------	--------

第一节 冷却水供水系统	(64)
-------------	--------

第二节 除灰系统	(66)
----------	--------

第三节 热工测量及自动控制	(68)
---------------	--------

第四节 电厂化学	(72)
----------	--------

第七章 火力发电厂的运行及管理	(76)
-----------------	--------

第一节 火力发电机组的启动	(76)
---------------	--------

第二节 火力发电厂的经济运行	(79)
----------------	--------

第三节 火力发电厂生产管理方式	(82)
-----------------	--------

第四节 火力发电机组模拟培训装置简介	(84)
--------------------	--------

第二篇 发电厂及变电所的电气设备

第八章 变压器	(88)
---------	--------

第一节 概述	(88)
--------	--------

第二节 变压器的分类和型号	(89)
---------------	--------

第三节 变压器的结构	(90)
------------	--------

第四节 变压器的基本工作原理	(92)
----------------	--------

第五节 变压器的运行管理	(93)
--------------	--------

第九章 异步电动机	(96)
-----------	--------

第一节 概述	(96)
--------	--------

第二节 电动机的铭牌参数	(96)
--------------	--------

第三节 异步电动机的构造	(97)
--------------	--------

第四节 异步电动机工作原理	(98)
---------------	--------

第五节 电动机的选择与运行	(100)
---------------	---------

第十章 高压开关电器	(102)
------------	---------

第一节 概述	(102)
--------	---------

第二节 电弧的概念	(102)
-----------	---------

第三节 高压断路器	(103)
-----------	---------

第四节 隔离开关	(111)
----------	---------

第五节 电压互感器和电流互感器	(112)
-----------------	---------

第六节 熔断器	(116)
---------	---------

第七节 其它电气开关	(119)
------------	---------

第十一章 电气主接线和自用电	(120)
----------------	---------

第一节 电气主接线	(120)
-----------	---------

第二节 自用电	(124)
---------	---------

第三篇 电力线路

第十二章 电力网概述	(127)
------------	---------

第一节 电力网分类	(127)
-----------	---------

第二节 电力网的额定电压	(128)
--------------	---------

第三节 电力网接线方式	(129)
-------------	---------

第十三章 电力线路结构	(130)	第三节 水电厂安全运行	(192)
第一节 概 述	(130)	第四节 梯级水电厂运行	(194)
第二节 导 线	(131)	第五篇 新能源发电	(197)
第三节 杆 塔	(134)	第十九章 新能源发电方式	(197)
第四节 绝缘子和金具	(136)	第一节 其它热力发电	(198)
第五节 基 础	(139)	第二节 其它水能发电	(204)
第十四章 接地与防雷	(139)	第三节 其它能发电	(206)
第一节 防雷保护	(139)	第六篇 电力系统生产管理	(211)
第二节 接地装置	(142)	第廿章 电力系统概述	(211)
第三节 电力系统中性点运行方式	(145)	第一节 电力系统组成及类别	(211)
第四篇 水力发电厂	(150)	第二节 大电力系统优越性	(212)
第十五章 水力发电	(150)	第廿一章 电力系统用电管理	(214)
第一节 概 述	(150)	第一节 用电分类	(214)
第二节 水力发电厂基本生产过程	(151)	第二节 电 价	(215)
第三节 水电厂的分类	(153)	第三节 用电管理	(219)
第十六章 水电厂水工建筑物	(158)	第四节 国外电业的营业管理与电价制度	(223)
第一节 水利枢纽	(158)	第廿二章 电力系统安全稳定运行	(225)
第二节 水工建筑物	(159)	第一节 电能质量	(225)
第三节 水库及水库调度	(165)	第二节 电力系统可靠性	(228)
第四节 水工建筑物观测与维护	(170)	第三节 电力系统生产运行评价指标	(231)
第十七章 水轮发电机组	(171)	第二十三章 电力系统调度与经济管理	(234)
第一节 水轮机	(171)	第一节 概述	(234)
第二节 水轮发电机组	(176)	第二节 电力系统调度管理	(235)
第三节 抽水蓄能机	(178)	第三节 电力系统经济调度	(236)
第四节 调速系统及附属设备	(179)	第四节 电力系统通讯	(240)
第五节 水电厂油、水、风系统	(182)	第五节 电力系统运动化、自动化技术	(242)
第六节 水电厂电气设备概述	(184)	第六节 继电保护和自动控制	(243)
第七节 水轮发电机效率	(184)	第七节 电气测量仪表	(247)
第十八章 水电厂经济运行	(187)		
第一节 概 述	(187)		
第二节 水电厂厂内经济运行方式	(189)		

绪 论

一、电力工业在国民经济中的地位

电力工业的发展水平是衡量一个国家国民经济发达的重要标志。国民经济每增长1%，就要求电力工业增长1%以上。

电能是一种输送、使用方便，容易高效地转换为其他形式能量（如热能、光能、机械能等）的能源。电力是一种清洁、安全的能源。它是整个社会的各种活动所必需的基本能源，它已渗透到国民的所有活动领域之中。所以，电力不仅是国民经济的先行工业和基础工业，而且是广大人民生活中必需依赖的公用事业。因此，电力工业对于加快我国四个现代化建设，占有十分重要的中心地位。

发展电力工业，必须从我国的实际出发，采取有力措施，继续贯彻党和政府早已制定的必须开发和节约并重的方针，坚持能源工业的发展必须以电力为中心，煤炭为基础，积极开发石油和天然气，大力发展水电，积极发展核电，多建坑口电厂。还应更多注重发展电力科学技术，用先进科学技术武装广大电力工作者加速改造现有设备，大力提高运行管理水平，广泛筹集建设资金，合理调整电价。加快农村能源及电气化建设，大力节电、节油、节煤，提高能源利用率，尽快把电力工业搞上去。

二、电力工业的基本特征

电能是一种无形的优质的二次能源，它的生产、流通、分配和消费，是在统一电力系统中瞬间同时完成的。任何时刻，电力的生产、输送，分配和使用，在功率和能量上，必须严格保持平衡，并需要有一定备用发电生产能力和一次发电能源。这就是说明电力工业有它固有的客观规律和自身特征。

1. 电能的生产不容许间断。它的发电、输电、变电、供电、用电生产过程都必须同时完成。
2. 电能的生产固有特点，决定了电能不能大量地、廉价地存贮。发多少电，消耗多少电。
3. 生产电能的质量优劣，影响面特别广泛，它与国民经济各个部门和人民生活密切相关，因此，它必须向社会保证充足、可靠、合格、廉价地供电。
4. 电力工业是技术密集性和装置性的产业，它要求自动化程度高。如电力系统及其设备，它的电磁的和机电的变化过程（俗称过渡过程或暂态过程）非常迅速。因此，必须配有专门的自动装置；而且它的发、供、配、用电的设备必须在一个统一的电力系统中紧密，有

机协调配合,才能完成这一任务。

5. 电力工业是一个能量转换型行业。它不仅生产电能,又要消耗大量一次能源。据不完全统计,目前,全国电力工业生产水平,如果采用按经济分配电力负荷仅一项技术措施,每年可节省煤炭约500万吨。因此,必须要大力提高电力生产运行的经济性,最大限度地降低电能成本。

6. 电力工业是区域独占性行业。在同一供电地区,不允许重复设置电力设备,出现多家经营、多头供电。

同时,电力工业各部门是十分协调的有机整体,各发电厂、变电所,供电部门的内部电力设备都是十分密切,有机联系的,牵一发而动全身。因此,牢固树立电力系统安全稳定的观念,清晰全面了解电力生产的发、变、配、供、用电各个生产环节的特点及全部工作过程十分重要。

三、我国电力工业发展基本概况

建国以来,我国电力工业生产日新月异,迅猛发展。到1989年底全国年发电量已达5800亿千瓦小时,40年增加127倍。由世界第25位,跃居世界第四位。全国人均发电量近500千瓦小时,增加近50倍。现在每3天的发电量就超过1949年全年的发电量。

自1882年我国第一座发电厂——上海乍浦路电厂投产以来,我国电力工业已有百余年的历史。解放前我国电力工业发展速度极其缓慢,到1949年,全国装机容量仅增加到184万千瓦,居世界第21位,其年总发电量仅达43亿千瓦小时,全国人均发电量不足10千瓦小时,发电设备大多是中小容量和中低压参数机组,电网分布极不合理。

建国40年的努力,我国已进入大机组,大电厂、大电网、高参数,高电压、高度自动化的时代,这标志着我国电力工业的发展已接近世界先进水平。在火电厂中广泛采用的是超高压、中间再热的12.5和20万千瓦机组以及亚临界参数的30万千瓦机组。引进美国GE公司和西屋公司制造技术,国内生产的30万千瓦机组和60万千瓦机组,已分别在山东石横电厂和安徽平圩电厂投入运行。引进苏联80万千瓦超临界参数大机组,不久在辽宁沈阳绥中发电厂投产。

我国发电装机容量持续以每年11.2%的高速度增长,发电设备容量达到1.35亿千瓦。全国20万千瓦及以上火电机组占火电装机容量的比重已近40%,全国拥有100万千瓦以上的电厂达16座。我国电力建设年安装能力从200~300万千瓦提高到1000万千瓦左右。大型火电机组建设同期缩短3~9个月。我国自己开发的20万和30万千瓦大型供热机组为大、中城市的集中供热提供了良好手段。有效地减少了污染,节约了能源。

到1989年底,已建成110千伏及以上电压等级输电线路17.5万公里。其中,220千伏线路61,296公里;330千伏线路2787公里;500千伏线路公里。已形成200万千瓦以上容量的电网12个,其中超1600万千瓦,年发电量超过850亿千瓦·时的跨省电网4个,即华东、华中、东北和华北电网。随着葛上±500千伏直流工程的投产,华东和华中电网已联成全国最大的跨区域电网。1989年12月,在武汉建成了世界独一无二的500千伏及以上电压等级的超高压和特高压输变电技术试验研究所。成为亚洲最大的高压试验基地。

以煤炭为基地,以电力为中心,已成为我国发展能源工业的重要战略思想,提高煤炭的

利用效率成为电力生产的中心任务之一。通过不断的技术改造和技术革新，我国电力工业的技术经济指标有了很大改善。1949年我国供电标准煤耗为1130克/千瓦·时，线损率为22.35%，到1988年6000千瓦以上电厂供电标准煤耗降低到431克/千瓦·时，线损率为8.18%。

由于掌握了在大流量、高水头等复杂水文、地质条件下各种类型水电站的勘探、设计、施工、运行技术，我国已在30多条河流上建成大、中型水电厂108座，其中坝高百米以上大坝有30余座。全国水电机组装机已达3400万千瓦，发电量1171亿千瓦·时，发挥了利用丰富水能资源和防洪、防凌、灌溉、养殖、航运等综合效益。

科学技术促进农村电气化，40多年农村用电增长了8765倍，乡和村的通电率分别达到了94%和85%。

电力系统的形成和扩大、互联，是电力发展的客观规律，也是国家工业的一项重要技术政策和现代化重要标志之一。我国大电网管理已具有90年代世界先进水平，实现了电网安全自动监视、潮流监视、电网出力、负荷监视、电网异常和事故追忆记录 and 全汉字化电网调度监控自动化。

但是，由于我国持续的长期性缺电，使供用电矛盾十分尖锐。多年来，发电设备利用小时数高达6000小时以上‘发电设备经常不能按期检修，电网经常处于无备用容量的状态下运行。加上固定资产折旧率、大修折旧率长期偏低，电力行业缺乏维持简单再生产的能力，不少设备带病运行。在设计制造发电设备方面也存在着等效可用系数低。如国产20万千瓦机组的等效可用系数为75.1%，而日本25万千瓦机组等效可用系数为88.9%。新机组投产后，长期不稳定、长期不能满发，并且事故多，大修间隔时间短，重要部件投运率低，汽机质量问题多、汽机热耗高，调节性能差、厂用电率高，系统配套性差，给电力生产留下不少隐患。因此，加快电力工业的步伐，提高电力工业的科学技术水平，是摆在电力工作者面前的光荣而艰巨的任务。

目前，能源部正采取一系列措施，开展电力生产企业“安全、文明生产创水平达标”活动，通过有效工作，我国电力工业生产的水平、管理水平和设备健康水平一定可以跃上一个新高度。

思 考 题

1. 我国电力工业在国民经济中作用是什么？
2. 电力工业有哪些特点？
3. 目前我国电力工业基本情况怎样？

第一篇 火力发电厂

第一章 火力发电厂概述

第一节 火力发电厂的分类

生产电能的工厂叫发电厂，其中利用煤、油和天然气等燃料发电的电厂叫火力发电厂。1986年火力发电厂装机容量占当年全国总装机容量的70.6%，年发电量占全国总发电量的79%。其中燃煤发电厂所发电量占85.91%，燃油发电厂占13.6%，燃天然气发电厂占1.03%。在今后的发展中，火力发电仍将占很大比重，其中，燃煤火电厂所占比重还将增大，燃油火电厂所占比重将逐渐减小。

一、火力发电厂的类型

火力发电厂通常按蒸汽压力、产品性质来分类，还可以按使用燃料、电厂总容量等多种方式分类。主要的分类方式有：

1. 按蒸汽压力等级分

中低压发电厂 蒸汽压力在3.82MPa (39kgf/cm^2) 以下。

高压发电厂 蒸汽压力一般为9.8MPa (100kgf/cm^2)。

超高压发电厂 蒸汽压力一般为13.72MPa (140kgf/cm^2)。

亚临界压力发电厂 蒸汽压力一般为16.66MPa (170kgf/cm^2)。

超临界压力发电厂 蒸汽压力大于22.11MPa (225.65kgf/cm^2)。

2. 按产品性质分

凝汽式发电厂 只向外供应电能。

热电厂 同时向外供应电能和热能。

综合利用发电厂 除向外供应电能和热能外，还同时生产其它产品的发电厂。

3. 按使用燃料分

燃煤发电厂 以煤作为燃料的发电厂。

燃油发电厂 以石油及其加工副产品为燃料的发电厂。

燃气发电厂 以各种可燃气体作为燃料的发电厂。

余热发电厂 用工业企业的各种余热进行发电的发电厂。

日本等国家还有利用垃圾及工业废料作燃料的发电厂。

4. 按服务规模分

区域性发电厂 在电网内运行，并向一定范围提供电能的发电厂。

孤立发电厂 不在网内，单独运行的发电厂。

自备发电厂 各企业单位建造、主要供自身用电的发电厂。

5. 按发电厂总容量分

小容量发电厂 装机总容量在100MW以下。

中容量发电厂 装机总容量在100MW~250MW以下。

大中容量发电厂 装机总容量250MW~600MW以下。

大容量发电厂 装机总容量600MW~1000MW以下。

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。

二、对火力发电厂的基本要求

1. 必须安全可靠地连续供电

电能作为优质、方便的二次能源被各个部门所使用，而电能的特点是它在无法大量储存，发电、供电和用电随时都处于动态平衡之中，它们是同时进行的。若发电厂的生产中断，势必破坏了发电、供电和用电的平衡，就要影响国民经济的各个部门，影响工农业生产和人民群众的日常生活，严重时将导致电力系统的瓦解，人身设备事故，其后果是十分严重的。因此火力发电厂首要的是安全可靠地连续运行，按照电力系统的需要，在发电厂额定容量范围内供应电能。

2. 力求经济运行

一般来讲，火力发电厂是盈利的企业，但这并不能讲发电厂就无经济效益的问题。火力发电厂所耗用的燃料（煤或是油等）数量是相当大的，火力发电厂本身耗用的电量也是很大的，火力发电厂的建设投资费用也很大（数千万元至十几亿元）。因此火力发电厂应力求经济运行，尽可能节约燃料的消耗，减少厂用电的数量，提高发电厂的经济效益。

3. 搞好环境保护

火力发电厂对环境的影响很大，主要包括烟囱排除的烟气中的粉尘，二氧化硫及各种有害气体，火力发电厂排放的灰渣和污水等的污染。特别是燃煤电厂大量排放的灰渣，都严重破坏大自然的生态平衡，影响人民身体健康，危害子孙万代。这一问题早期并未引起足够的重视，一些老电厂已吃够了苦头。现在火力发电厂已广泛采用高效电除尘器，加高烟囱，综合利用灰渣等办法来减少对大自然的危害，并收到一定的效果。这方面的工作今后应该进一步加强。

此外，发电厂应根据自身的情况，不断提高设备的自动化程度，提高劳动生产率 and 安全运行水平。在新建发电厂时还应考虑其便于施工、便于运行、检修和扩建。

第二节 火力发电厂基本生产过程

我国火力发电厂所使用的燃料主要是煤。我们就以燃煤火力发电厂为例，介绍火力发电厂的基本生产过程。

由于各火力发电厂所用锅炉、汽轮机的结构不同，燃料、水源等条件的差别，所用生产系统的差异等原因，各火力发电厂的生产过程会有所区别。但是，对于燃煤火力发电厂来说，其基本的生产转换流程可简化如下：

煤 $\xrightarrow{\text{经制粉后}}$ 锅炉 $\xrightarrow{\text{煤燃烧加热水}}$ 蒸汽 $\xrightarrow{\text{经管道}}$ 汽轮机
送 入 产 生 输 入

蒸汽作功使其旋转 → 汽轮机发电 → 电能
带 动 产生

从能量转换的角度来看,各燃煤火力发电厂的生产过程又都是一样的。煤在锅炉内燃烧时,煤的化学能通过火焰、烟气逐渐传递给在锅炉各部分受热面里流动的水和蒸汽,在这一过程中,能量没有发生形式的变化,而只是由一种介质传递给另一种介质。生成的蒸汽进入汽轮机后逐次膨胀加速,蒸汽的部分热能转变为蒸汽的动能,气流作用于汽轮机转子的叶片上,推动转子旋转,于是蒸汽的动能又被转换成汽轮机的机械能。汽轮机带动发电机转动,其机械能便由发电机转换成电能。

图1-1为凝汽式发电厂的生产过程示意图。从图中可见,整个电力生产过程是一个有机整体,这个整体又有许多相互关连得十分紧密的系统有机组合而成。其中主要的生产系统可以划分为燃烧系统、汽水系统和电气系统。

一、燃烧系统

燃烧系统的任务是使煤在锅炉炉膛内充分地燃烧,加热在锅炉各部分受热面内流动的水和蒸汽,将煤的化学能转变为热能,使蒸汽达到额定的压力和温度。简化的燃煤系统流程如图1-2所示,经火车或轮船运入发电厂贮煤场的煤,由皮带运输机送到锅炉房内的原煤仓。煤从原煤仓落入给煤机,由给煤机送入磨煤机,在磨煤机中磨制成煤粉,同时经空气预热器预热的部分空气也送了磨煤机,用于干燥煤和输送煤粉。经磨煤机磨制的煤粉,经粗粉分离器将部分不合格的粗粉分离返回磨煤机,然后空气将煤粉送入旋风分离器,在其中空气和煤粉得以分离,分离出的细粉进入煤粉仓。再由可调节的给粉机按锅炉需要送入一次风管,再由一次风经喷燃器喷入炉膛内燃烧。而旋风分离器中空气(含有10%左右的极细煤粉),由排粉风机提高压头后作为一次风使用,也可经专门的喷燃器喷口送入炉内燃烧(作为三次风用)。

在这个系统中,冷空气由送风机在锅炉房内抽吸后,经空气预热器,空气在其中吸收排烟的热量,提高温度成为热空气,热空气一部分送入磨煤机,一部分送入锅炉供燃烧用。煤燃烧时的一部分产物——高温烟气(流经过热器、省煤器、空气预热器、将热量释放),流入除尘器进行除尘,除尘后的烟气由引风机抽吸,经烟囱排入大气。煤燃烧时的另一部分产物——灰渣由锅炉炉膛内落下,同除尘器收集下来的灰,都用水经冲渣沟和冲灰沟冲往灰渣泵房,然后用灰渣泵经冲灰管道送至灰场。

燃烧系统包括了输煤、制粉、通风、除灰渣等系统及锅炉的燃烧部分。要求燃烧系统能使煤粉完全燃烧,使锅炉效率达90%,而且排放至大气的烟尘符合全国环保要求。

二、汽水系统

汽水系统的任务是让蒸汽和水往复不断地在锅炉、汽轮机及其相关连的设备中循环,以完成由煤的化学能到蒸汽的热能到汽轮机的机械能到发电机产生的电能的转化。简化汽水系统流程如图1-3所示。由锅炉产生的过热蒸汽沿主蒸汽管进入汽轮机,蒸汽在汽轮机内作功,推动汽轮机转子高速旋转,从而获得机械能,汽轮机带动发电机旋转产生电能。在汽轮机内作功后的排气排入凝汽器,经凝汽器将热量传给大量的冷却水,并冷却凝结成水(称为凝结水),汇集在凝汽器的热水井中,由凝结水泵打走,经低压加热器加热,在除氧器中除氧并继续加热。由除氧器出来的水称为给水,经给水泵升压,高压加热器加热,沿给水管送入锅炉。

由于汽水循环过程中总难免有汽、水的损失,为了维持汽水循环的正常进行,需补充必

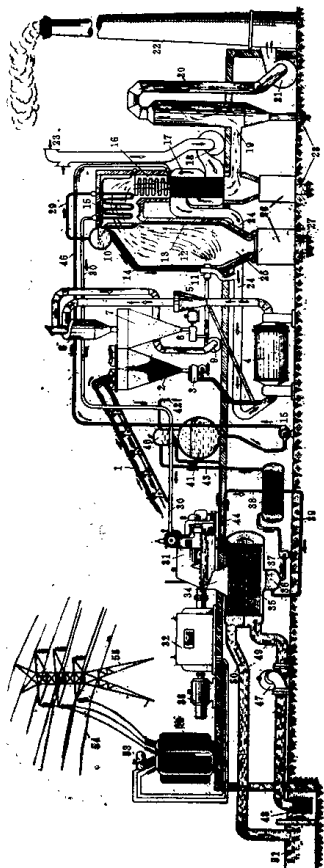


图1-1 蒸汽式发电厂生产过程示意图

1—输送带；2—原煤仓；3—圆盘给煤机；4—筒球磨煤机；5—粗粉分离器；6—旋风分离器；7—煤粉仓；8—给粉机；9—排粉机；10—汽包；11—喷雾干燥器；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—除尘设备；27—冲渣沟；28—冲灰沟；29—饱和蒸汽管；30—主管蒸汽管；31—汽轮机；32—发电机；33—励磁机；34—排汽口；35—凝汽器；36—热水井；37—凝结水泵；38—低压加热器；39—低压加热器；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—冷却水源；52—主变压器；53—油枕；54—高压输电线；55—铁塔。

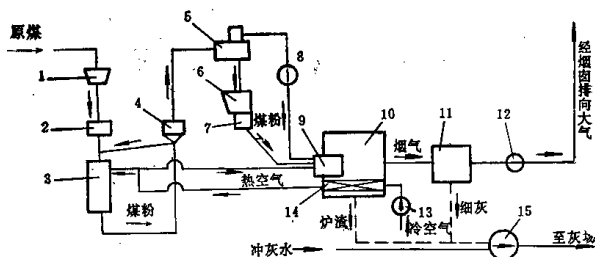


图1-2 燃烧系统流程

1—原煤仓；2—给煤机；3—磨煤机；4—粗粉分离器；5—旋风分离器；6—煤粉仓；7—给粉机；8—排粉机；9—喷燃器；10—锅炉；11—除尘器；12—引风机；13—送风机；14—空气预热器；15—灰渣泵。

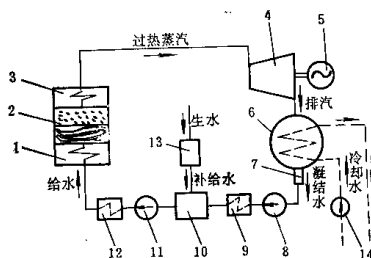


图1-3 汽水系统流程

1—省煤器；2—锅炉；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—热水井；8—凝结水泵；9—低压加热器；10—除氧器；11—给水泵；12—高压加热器；13—水处理设备；14—循环水泵

要的合格的水。中、小型锅炉都是将生水经水处理设备处理后，成为合格的软水补进除氧器（或凝汽器中）。这是发电厂的补水系统。

为了将排汽在凝汽器中冷凝成水，需要大量的冷却水来带走热量。为此，由循环水泵抽取大量的冷却水送入凝汽器的水侧，吸热后的热水再排入江河（或是经冷水塔冷却后再用）。这就是发电厂的冷却水系统。

火力发电厂的汽水系统包括了由锅炉、汽轮机及其相关设备组成的汽水循环及补水系统冷却水系统等。

三、电气系统

电气系统的任务是把机械能转变为电能，将产生的电能向外输出，同时供发电厂自身使用。电气系统如图1-4所示。

由汽轮机带动发电机发出的电能供两部分使用。一小部分由厂用变压器降压后经厂用配

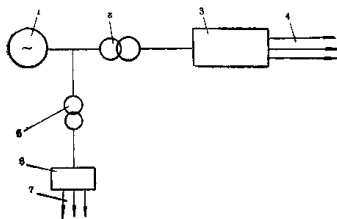


图1-4 电气系统简图

1—发电机；2—主变压器；3—高压配电装置；4—输电线路；5—厂用变压器；6—厂用配电装置；7—厂用电电缆

电设备予以分配，作为发电厂生产过程中各种设备的电源和生产上的照明之用，这部分称为厂用电系统。其余大部分电能，须由主变压器升高电压后经高压配电装置输入系统，向外供电，这样可以减少电能输送过程中的损失。

思 考 题

1. 火力发电厂有哪些类型？如何划分的？
2. 对火力发电厂有何基本要求？
3. 火力发电厂的基本生产过程是怎样的？
4. 燃烧系统起什么作用？其系统流程是怎样的？
5. 汽水系统起什么作用？其系统流程是怎样的？

第二章 火力发电厂的燃料

第一节 燃料概述

我国火力发电厂使用的燃料主要是煤，其次是油，气体燃料仅占很小比例。1986年火力发电量中，燃煤比重占85.91%，燃油比重占13.06%，燃天然气等占1.03%，预计到本世纪末，火力发电所用燃料仍以煤为主。

一、燃料成分及发热量

1. 成分

无论煤、油或气体燃料，它们都是复杂的碳氧化合物的组合体，其主要成分是：碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、挥发性硫（S）等元素以及灰分（A）和水分（W）。通常从实用观点对固体和液体燃料用这种元素组成来表示成分，称之为元素分析成分。对于固体燃料，还可以用灰分、固定碳、挥发分和水分表示其组成的成份，称为工业分析成分。

它们二者间的关系如图2—1所示。

燃料成分中，碳、氢和硫都是可以燃烧的，特别是碳，其含量往往占固体燃料重量的50%~70%，它是基本的可燃成分，它们燃烧时放出大量的热量。但硫燃烧产物二氧化硫不仅对锅炉的金属受热面有腐蚀作用，而且还会污染环境，所以硫是燃料中的有害成份。氧、氮是不能燃烧的，它们存在于燃料中，使燃料中可燃元素所占比例相对减少，相应地降低了燃料的发热量。

灰分是燃料中矿物杂质在燃烧过程中，经分解、化合等反应后剩下的残渣。灰分不仅使燃料的发热量降低，灰分还容易造成锅炉受热面的积灰、结渣、高温或低温腐蚀以及受热面磨损等一系列问题，直接影响锅炉的安全经济运行。煤中灰分增多，会使着火、燃烧困难，影响燃烧效率。所以灰分也是燃料中的有害成分。

水分是燃料中不可燃烧的部分。煤中包含较多的水分时，不仅使发热量降低，还使炉内燃烧温度降低，造成着火困难和燃烧不完全，会造成锅炉排烟热损失增加，同时还可能加剧锅炉尾部受热面的低温腐蚀和堵灰。

挥发分对于煤等固体燃料而言，是将煤等固体燃料加热到一定温度时，所释放出的气态物质（主要是 CO_2 ， CO ， H_2 ， C_mH_2 等）称为挥发分。它并不是煤中固有的物质，而是在特定条件下，燃料受热分解的产物。挥发分高的煤，容易着火燃烧。挥发分是煤碳分类的重要指标之一。

2. 成分分析

固体燃料和液体燃料的元素成分通常采用质量百分数来表示：

$$\text{C} + \text{H} + \text{O} + \text{N} + \text{S} + \text{A} + \text{W} = 100\%$$

式中 C、H、O、N、S、A、W——分别表示燃料中碳、氢、氧、氮、硫（可燃硫）、灰分和水分的百分数。

由于燃料中灰分和水分的百分数常随开采、运输、贮存及气候条件的变化而变化。所以同一燃料的各种成分的百分数也是变化的，通常采用四种基础作为成分总量的计算基数。

（1）应用基（用上角标Y表示）它是锅炉燃料的实际应用成分，以包括全部水分和灰分在内的燃料成分总量作计算基数，在热平衡计算中采用应用基。

$$\text{C}^Y + \text{H}^Y + \text{O}^Y + \text{N}^Y + \text{S}^Y + \text{A}^Y + \text{W}^Y = 100\%$$

（2）分析基（用上角标f表示）以空气风干后的燃料成分总量作为计算基数。

$$\text{C}^f + \text{H}^f + \text{O}^f + \text{N}^f + \text{S}^f + \text{A}^f + \text{W}^f = 100\%$$

（3）干燥基（用上角标g表示）以干燥的，除了全部水分的燃料成分总量作为计算基数。燃料中水分变化时，干燥基不受影响。因此灰分最好用于干燥基表示。

$$\text{C}^g + \text{H}^g + \text{O}^g + \text{N}^g + \text{S}^g + \text{A}^g = 100\%$$

（4）可燃基（用上角标r表示）以无水无灰的燃料成分总量作计算基数。燃料中水分、灰分变化时，可燃基不受影响。因此用可燃基表示燃料成分是比较合理的。

$$\text{C}^r + \text{H}^r + \text{O}^r + \text{N}^r + \text{S}^r = 100\%$$

3. 发热量

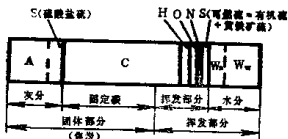


图2-1元素分析和工业分析关系示意图

1Kg固体或液体燃料或标准状态下 1m^3 气体燃料，完全燃烧时放出的热量称为发热量。

燃料的发热量有高位发热量 Q_{GW} 和低位发热量 Q_{DW} 之分。当计入燃料燃烧后水蒸汽凝结成水放出来的汽化潜热时，发热量称为燃料的高位发热量；不计入这部分热量时，发热量称为燃料的低位发热量。常用的应用基高位发热量用符号 Q_{GW}^{y} 表示，应用基低位发热量用符号 Q_{DW}^{y} 表示。两者之间的关系为：

$$Q_{\text{GW}}^{\text{y}} - Q_{\text{DW}}^{\text{y}} = 25.1 (9H^{\text{y}} - W^{\text{y}}) \quad \text{kJ/kg}$$

不同燃料的发热量相差很大，为了便于比较发电煤耗率和锅炉效率等指标，将发热量不同的燃料折算成具有同一发热量的“标准燃料”。标准燃料的低位发热量统一规定为 29308 kJ/kg （即7000千卡/千克）。

二、燃料的种类

1. 煤炭的分类

煤的分类方法很多，经多年的系统测试、分析和研究，于1986年10月颁布试行了现行的中国煤炭分类（国家标准GB5751—86），将动力用煤炭分为无烟煤，烟煤和褐煤。煤炭分类总表如表2—1，中国煤炭分类简表如表2—2。

表2-1 煤炭分类总表

类 别	符 号	数 码	分 类 指 标	
			挥发分 V^{y} (%)	透光率 PM (%)
无 烟 煤	WY	01, 02, 03	≤ 10	
烟 煤	YM	11, 12, 13, 14, 15, 16 21, 22, 23, 24, 25, 26 31, 32, 33, 34, 35, 36 41, 42, 43, 44, 45, 46	>10.0	
褐 煤	HM	51, 52	>37.0	≤ 50

注：1. $V^{\text{y}} > 37$ ，再用透光率 PM 来区分烟煤和褐煤。

2. 各类煤用两位数字表示。十位数系按煤的挥发分组；烟煤为1~4，褐煤为5；个位数：无烟煤类为1~3，表示煤化程度；烟煤类为1~6，表示粘结性；褐煤类为1~2，表示煤化程度。

(1) 无烟煤

碳化程度最深，含碳量最高，一般 $C^{\text{y}} > 50\%$ ，最高可达95%。灰分不高，一般 $A^{\text{y}} = 6\% \sim 25\%$ ，水分很低， $W^{\text{y}} = 1\% \sim 5\%$ 。无烟煤发热量高，一般 $Q_{\text{DW}}^{\text{y}} = 25000 \sim 32500 \text{ kJ/kg}$ （5971~7762kcal/kg），挥发分含量最低，且挥发分的析出温度高，因而着火困难，燃尽也不容易。燃烧时没有烟，火焰较短呈青蓝色。无烟煤的表面有明亮的黑色光泽，机械强度高，储藏时稳定，不易自燃。

(2) 烟煤

碳化程度低于无烟煤，含碳量 $C^{\text{y}} = 40\% \sim 50\%$ ，少数可达75%。一般灰分高， $A^{\text{y}} = 7\% \sim 30\%$ ，水分适中 $W^{\text{y}} = 3\% \sim 18\%$ 。烟煤发热量也相当高， $Q_{\text{DW}}^{\text{y}} = 20000 \sim 30000 \text{ kJ/kg}$ （4777~7165kcal/kg）。烟煤的挥发分含量变化范围很大， V^{y} 由10%~40%。由于挥发分不同，燃烧特性也有所不同，挥发分含量 $V^{\text{y}} > 20\%$ 的烟煤，其着火、燃烧均较容易。烟煤是目前火力发电厂中，燃用得最多的煤种，考虑挥发分的不同，锅炉及其辅助系统的设计要求也不