



普通高等教育“十二五”规划教材

环境及化学类专业 火电厂实习教程

主编 齐立强 曾芳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

环境及化学类专业 火电厂实习教程

主编 齐立强 曾芳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

该书主要内容包括：火电厂生产过程及其产生的环境问题、火电厂生产主要设备及系统（锅炉、汽轮机）、火电厂化学水处理系统、火电厂除灰系统、火电厂脱硫脱硝系统。本书将生产实习及毕业实习的内容融合到一起，使学生在对火电厂的生产过程全面熟悉的基础上，重点对水处理、除灰、脱硫脱硝等环境方面的系统及知识深入学习。

本书可供电气工程系、动力系，以及环境类专业学生阅读。

图书在版编目（C I P）数据

环境及化学类专业火电厂实习教程 / 齐立强, 曾芳
主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2011.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9031-1

I. ①环… II. ①齐… ②曾… III. ①火电厂—环境保护—实习—高等学校—教材②火电厂—电厂化学—实习—高等学校—教材 IV. ①TM621-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第198344号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 环境及化学类专业火电厂实习教程
作 者	主编 齐立强 曾芳
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14印张 332千字
版 次	2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	29.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

火力发电厂实习是部分高等学校环境及化学类专业在教学过程中必须进行的一个重要实践环节，包括环境和化学类专业的学生进入专业核心课程学习阶段的生产实习及专业课结束后的毕业实习。通过实习，使学生熟悉火力发电厂的生产过程，并对火力发电厂主、辅设备的结构与工作原理有初步了解，增加对发电设备和系统以及除尘、输灰、脱硫脱氮及化学水处理设备和系统的感性认识，为后续课程的学习和毕业后从事专业技术工作奠定基础，同时培养学生的实践能力，激发学生学习的积极性和主动性，巩固专业思想，培养劳动纪律和集体荣誉感。

本书主要内容为火力发电厂生产过程及其相关环境及化学问题的处理系统及设备。作为环境类专业的学生，对火电厂生产过程的了解是非常必要的，进而深入了解在火电厂生产过程中所产生的环境问题以及相关的处理方法及系统。因此，本书将生产实习及毕业实习的内容融合到一起，使学生在对火电厂的生产过程全面熟悉的基础上，重点对水处理、除灰、脱硫脱硝等环境方面的知识深入学习。

本书第一章～第五章由齐立强老师编写，第六章和第七章由曾芳老师编写。

限于编者的水平，缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2011年5月

目 录

前言

第一章 火电厂生产过程概述	1
第一节 火电厂基本生产过程	1
第二节 火电厂生产过程中的环境问题	6
思考题	8
第二章 火电厂煤粉锅炉设备	9
第一节 煤粉锅炉的工作过程及分类	9
第二节 煤粉锅炉本体设备	13
第三节 锅炉制粉系统及设备	22
第四节 锅炉的启停及运行调整	31
思考题	38
第三章 火电厂汽轮机设备	40
第一节 汽轮机的一般概念	40
第二节 汽轮机本体结构	43
第三节 汽轮机调节、保护及油系统	56
第四节 汽轮机的热力系统及辅助设备	61
第五节 汽轮机的启停及运行调整	71
思考题	85
第四章 汽轮发电机设备	86
第一节 汽轮发电机的工作原理	86
第二节 发电机的结构	87
第三节 发电机的励磁系统	90
第四节 汽轮发电机冷却方式简介	92
思考题	93
第五章 火电厂除尘及输灰系统	94
第一节 除尘器分类和性能指标	94
第二节 电除尘器系统	95
第三节 气力除灰系统的特点和分类	111

第四节	气力除灰设备	112
第五节	气力除灰系统及控制	126
第六节	气力输灰系统的运行和常见故障分析	136
思考题		142
第六章	火电厂脱硫脱氮系统	143
第一节	脱硫脱氮技术概述	143
第二节	火电厂湿法脱硫系统与设备	150
第三节	火电厂湿法脱硫系统的运行管理	160
第四节	火电厂脱氮系统与设备	167
思考题		177
第七章	化学水处理系统	178
第一节	化学水处理概述	178
第二节	水的预处理系统及设备	182
第三节	锅炉补给水处理系统及设备	189
第四节	汽轮机组凝结水精处理系统	197
第五节	冷却水处理系统	204
第六节	电厂废水处理及回用系统	210
思考题		215
参考文献		216

第一章 火电厂生产过程概述

第一节 火电厂基本生产过程

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，新建火电厂基本上全部为燃煤电厂。按发电方式，可分为汽轮机发电、燃气轮机发电、内燃机发电和燃气—蒸汽联合循环发电。按是否供热，分为发电厂和热电厂，热电厂既供热又供电，又称为“热电联产”。

发电厂有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及其他能源发电厂。2000~2010年我国发电厂装机容量、发电量及其组成见表 1-1。

表 1-1 我国发电厂装机容量、发电量及其组成

年份	装 机 容 量				发 电 量			
	总量 (亿 kW)	火电 (%)	水电 (%)	核电及其他 (%)	总量 (亿 kW·h)	火电 (%)	水电 (%)	核电及其他 (%)
2000	3.19	74.4	24.85	0.71	13685	80.96	17.76	1.22
2003	3.91	74.03	24.24	1.63	19052	82.88	14.77	2.30
2005	5.0841	75.61	22.92	1.47	25002.6	81.89	15.88	2.24
2008	7.5293	74.87	21.64	2.49	34334	80.95	16.41	2.64
2010	9.6219	73.4	22.2	4.4	41413	80.3	15.99	3.71

我国电力工业在电源建设、电网建设和电源结构建设等方面都取得了令世人瞩目的成就，已经开始步入“大电厂”、“大电网”、“高电压”、“高自动化”的新阶段。从电力结构看，目前火电在我国现有电力结构中占据绝对的优势，占全国总发电量的比重达到 80% 以上。

一、火电厂生产过程

各类火电厂的生产过程基本相同，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，高温高压的蒸汽在汽轮机中冲动汽轮机转子，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。

图 1-1 为燃煤发电厂的生产过程示意图。原煤一般用火车运到电厂的储煤场，将锅炉用煤由储煤场通过运煤皮带送往碎煤机，预先经过破碎处理，而后由皮带运输机送入锅炉房的原煤仓（亦称煤斗）。从原煤仓内落下的煤，由圆盘给煤机送入钢球磨煤机，在其

中磨成煤粉，同时送入热空气来干燥和输送煤粉。煤粉空气混合物先经粗粉分离器除去部分不合格的粗粉，再进入旋风分离器，细粉被分离出来并送进煤粉仓备用。

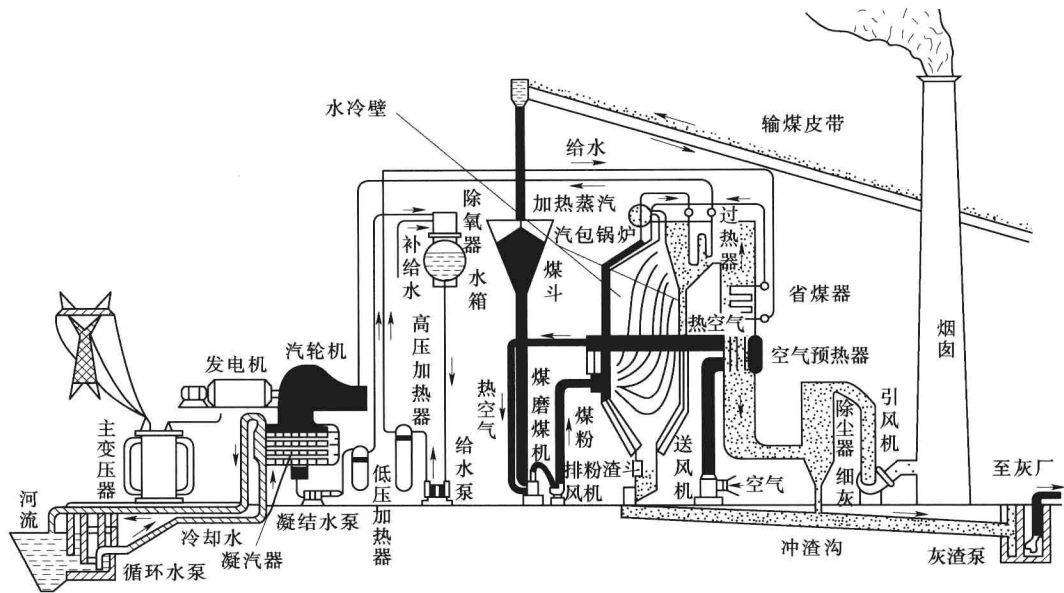


图 1-1 燃煤发电厂的生产过程示意图

锅炉运行时，煤粉由给粉风机送入输粉管，而旋风分离器中的空气则由排粉风机抽出，两者在输粉管内混合后，通过喷燃器，喷入锅炉炉膛内燃烧。

燃料燃烧所需要的空气由送风机压入空气预热器中加热，预热后的空气，一部分经过风道被送入磨煤机作为原煤干燥及输送煤粉之用，而后由排粉机送入炉膛，其余大部分直接引至喷燃器进入炉膛。

燃烧生成的高温烟气，在引风机的吸引作用下，先是沿着锅炉本体的倒 U 形烟道依次经过炉膛、过热器、省煤器和空气预热器，同时逐步将其热能传递给工质及空气，变成低温的烟气进入除尘器进行净化，净化除尘后的烟气被引风机抽出，经烟囱排入大气。燃料燃烧时从炉膛内落下的灰渣，从尾部烟道内落入空气预热器下面的灰斗中的飞灰，以及除尘器收集下来的飞灰，利用排渣系统及输灰系统等将其排到厂外。

锅炉的给水，先在省煤器中被预热到接近饱和温度，然后引入锅炉顶部汽包的空间内。锅炉水由于本身的重量沿着炉膛外的下降管往下流动，经下联箱进入铺设在炉膛四周的水冷壁（上升管），在其中吸热汽化，形成的汽水混合物上升到汽包内并使汽水分离。水不断在下降管、水冷壁及汽包内循环，不断汽化，形成的饱和蒸汽汇集在汽包上部，将它导入过热器，使之继续受热变为过热蒸汽。由过热器中出来的过热蒸汽也称为新蒸汽或主蒸汽，沿管道进入汽轮机。主蒸汽在汽轮机中膨胀做功完毕后，乏汽排入凝汽器，并在这里冷却凝结成水，称为主凝结水。

汇集在凝汽器热井中的主凝结水，通过凝结水泵压入低压加热器，预热后再进入除氧器，在其中继续加热并除掉溶解于水中的各种气体（主要是氧气）。除过氧的主凝结水和

化学补充水汇集于给水箱中，成为锅炉的给水，经给水泵升压后，送往高压加热器，再沿给水管路送入锅炉的省煤器。

由于机炉等热力设备对其水质要求都很高，汽水循环过程中所损失掉的工质，一般都用化学除盐过滤器等水处理设备处理过的高质量软化水进行补充。

为使乏汽在凝汽器内冷却凝结，还必须借助于循环水泵将冷却水（又称循环水）升压，并使其沿着冷却水进水管进入凝汽器。从凝汽器中出来的具有一定温升的冷却水则沿排水管路流回河道。这就形成了汽轮机的冷却水系统。但在缺水地区或距河道较远的电厂，则需设有冷却水塔或配水池等庞大的循环水冷却设备，以便实现闭式供水。

发电机由汽轮机带动，所发出的交流电，一部分用于本厂的磨煤机、送风机、引风机以及各种电动水泵等设备，成为厂用电。其余大部分电能均通过变压器（又称主变压器）升高电压后送入电力系统。

各类火电厂由于所用锅炉、汽轮机等设备形式不同，它们的生产设备和过程也有某些差异，但从能量转化角度来看其电能生产过程是相同的，都是由燃料燃烧开始，燃料在炉膛内燃烧时，它的化学能首先变为烟气的热能，当烟气在锅炉的炉膛及其后面的烟道中流过时，它的热能就逐渐传递给锅炉各部分，受热面内流动的水、蒸汽和空气，在这些传热过程中，显然作为热量的形态并未发生变化，而只是热能从一种介质传递给另一种介质。锅炉产生的主蒸汽进入汽轮机后逐级膨胀加速，蒸汽的部分热能转变为蒸汽的动能，高速气流作用于汽轮机转子叶片上，推动叶轮同整个转子旋转，于是蒸汽的动能又被转换为汽轮机轴上的机械能。汽轮机通过靠背轮带动发电机转动，汽轮机轴上的机械能便由发电机转换成电能。

上述能量转换的各个环节是相互紧密配合的，不能脱节。鉴于电能无法大量储存的特点，生产与消费必须同时进行。因此发电厂的各生产环节都严格协调，统一管理，应具有高的安全性、可靠性和机动性。

二、火电厂的主要生产系统

火力发电厂一般由三大主要设备——锅炉、汽轮机、发电机，以及相应辅助设备组成，它们通过管道或线路相连构成生产主系统，即燃烧系统、汽水系统和电气系统。

1. 燃烧系统

燃烧系统的主要任务是利用煤的燃烧，将水变成蒸汽，把化学能转换为热能。燃烧系统还包括许多子系统，如燃料制备和输送系统、烟气系统、通风系统、除灰系统等。其燃烧系统流程如图 1-2 所示。

2. 汽水系统

汽水系统又称热力系统，其主要任务是产生蒸汽推动汽轮机做功，把热能转换为机械能。热力发电厂的汽水系统还包括中间抽汽供应热用户的汽水网络。凝汽式火电厂的汽水系统流程如图 1-3 所示。它包括由锅炉、汽轮机、凝汽器、给水泵等组成的汽水循环系统、冷却系统和水处理系统等。

3. 电气系统

电气系统的主要任务是汽轮机带动发电机完成机械能转换为电能，并且合理地实现发电、输电、配电、供电和用电。发电机发出的电能大部分由主变压器把电压升高，经过高

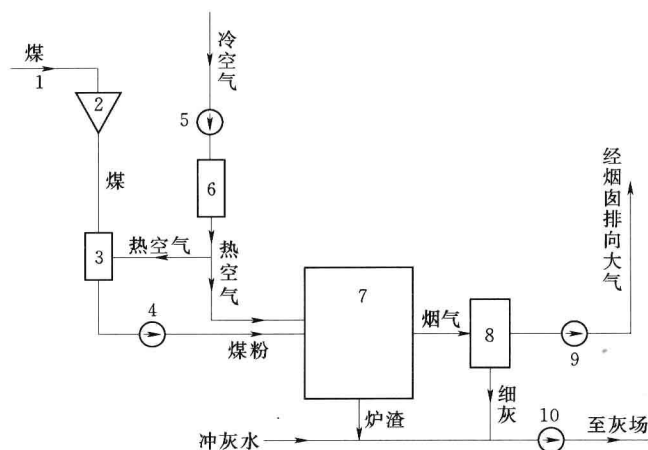


图 1-2 燃烧系统流程图

- 1—输煤皮带；2—煤斗；3—磨煤机；4—排粉机；5—送风机；6—空气预热器；
7—锅炉；8—除尘器；9—引风机；10—灰渣泵

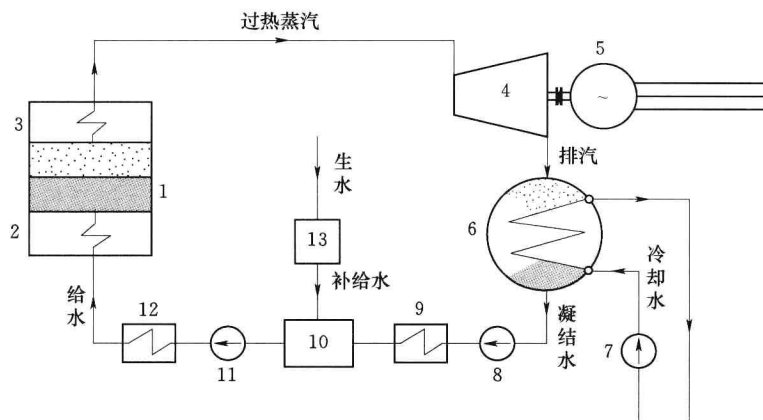


图 1-3 汽水系统流程图

- 1—锅炉；2—省煤器；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—循环系统；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

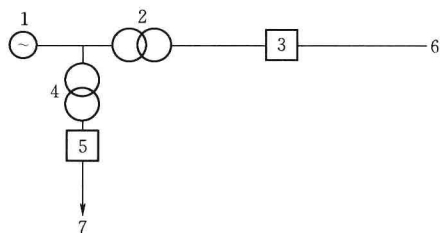


图 1-4 电气系统示意图

- 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；6—高
压输电线路；7—低压电缆馈线

压配电装置和高压输电线路向外供电；其发出电能的一小部分作为本厂自用，称作厂用电。

电气系统简单示意图如图 1-4 所示。

由此可见，火力发电厂主要由炉、机、电三大部分组成，构成相应的各自系统，并相互配合保证主机安全生产，完成发电任务。

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类

(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）。许多电厂连接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。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. 按发电厂总容量分类

(1) 小容量发电厂。装机总容量在 100MW 以下。

(2) 中容量发电厂。装机总容量为 100~250MW。

(3) 大中容量发电厂。装机总容量为 250~600MW。

(4) 大容量发电厂。装机总容量为 600~1000MW。

(5) 特大容量发电厂。装机总容量为 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 3MW 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 31MPa/566℃（566℃/566℃）；或 31MPa/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。

第二节 火电厂生产过程中的环境问题

一、电力生产对环境保护的影响

随着国民经济的快速发展和产业界的优化调整，我国工业自动化程度和电气化程度不

断提高，服务业和居民用电需求增长迅速，促进了以煤电为主的火力发电装机容量和发电量的快速增长，为国民经济的发展作出了巨大贡献，但同时电力行业特别是火电厂成为污染源大户，对环境造成了很大影响。如火电厂运行中向大气排放的硫氧化物、氮氧化物、烟尘，排出的废水、灰渣和产生的噪声等。

我国近几年废气中主要污染物排放量见表 1-2。

表 1-2

我国近几年废气中主要污染物排放量

单位：万 t

年 份	二氧化硫排放量			烟尘排放量			工业粉尘排放量
	合计	工业	生活	合计	工业	生活	
2005	2549.3	2168.4	380.9	1182.5	948.9	233.6	911.2
2006	2588.8	2234.8	354.0	1088.8	864.5	224.3	808.4
2007	2468.1	2140.0	328.1	986.6	771.1	215.5	698.7
2008	2321.2	1991.3	329.9	901.6	670.7	230.9	584.9

在我国的电力构成中，煤电为主的结构在相当时期内难以改变，燃煤所带来的环境污染必然给电力工业的发展带来巨大压力，电力企业排放的某些污染物对环境的影响还不能被完全、有效地控制，需要给予足够的重视和长期的努力。

二、能源问题和电力环境保护

（一）能源分类

能源从不同角度有多种多样的分类，如一次能源和二次能源，常规能源与新能源，可再生能源和不可再生能源，等等。通常，一次能源是指从自然界直接得到的，而不改变其基本形态的能源；二次能源是指经过加工，转换成另一种形态的能源。常规能源是指当前被广泛利用的一次能源，新能源是指目前未被广泛应用，而正在积极研究以便推广利用的一次能源；可再生能源是能够不断得到补充的一次能源，不可再生能源是必须经地质年代才能形成而短期内无法再生的一次能源，但它们又是人类目前主要利用的能源。

煤、石油和天然气均是目前地球经济发展的基础能源，但都是不可再生的化石燃料。除化石燃料外，还有许多可再生的非化石燃料能源，如核能、太阳能、水能、地热能、海洋能等。太阳能是最重要的可再生能源。

（二）能源利用对环境的影响

任何一种能源的开发和利用都给环境造成了一定的影响，主要有以下几个方面。

1. 大气污染

一次能源利用过程中，产生大量的 CO、SO₂、NO₂、烟尘、重金属及多种芳烃化合物，造成了严重的污染，不仅导致对生态的破坏，而且损害人体健康。

2. 大气中的 CO₂ 的积累

大气中的 CO₂ 按体积计算，预计本世纪中期至末期，其温室效应将对全球许多国家的经济、社会产生严重影响。

3. 酸雨

酸雨也是一个全球的重大区域性問題。SO₂、NO_x 等污染物通过大气传输，在一定条件下形成大面积酸雨，改变酸雨覆盖区的土壤性质，危害农作物和森林生态系统，改变湖

泊水库的酸度，破坏水生生态系统，腐蚀材料，造成重大经济损失。酸雨还导致地区气候改变，造成难以估量的后果。

4. 核废料问题

发展核能技术，尽管在反应堆方面已有了安全保障，但在世界范围内的民用核能计划的实施，已产生了上千吨的核废料。这些核废料的最终处理问题并没有完全解决，在数百万年里仍将保持有强的放射性。

(三) 我国电力环境保护技术措施和对策

一次能源转换为电力的比重，特别是煤炭转换为电力的比重已成为衡量一个国家经济发展水平、能源使用效率的高低和环境保护好坏的重要标志。目前，我国的电量约有80%是由火电提供的，尤其是由燃煤电厂提供的。因此，我国电力环保主要是燃煤电厂的环保问题。

(1) 烟尘控制。目前燃煤电厂烟尘污染已得到有效控制，随着环保标准的日益严格，需要进一步提高除尘效率。

(2) 二氧化硫控制。通过引进和采用多种脱硫技术，采用低硫煤等措施，使二氧化硫排放量的增长得到遏制。

(3) 氮氧化物控制。我国在引进大容量燃煤发电机组的同时，就引进了锅炉低 NO_x 燃烧器的制造技术，结合我国煤质、制粉系统特点，在大型火电机组上开发了低 NO_x 燃烧系统。尾气控制一般采用选择性催化还原和选择性非催化还原工艺。

(4) 废水控制。电厂最大的废水排放量是冲灰水，主要采取浓浆输灰、灰渣分排、储灰场排水回用等措施，使冲灰新鲜水用量及废水外排量大幅度下降。目前，大部分燃煤电厂首选气力除灰方式，大大减少了废水排放。

(5) 灰渣利用和污染控制。在大力进行综合利用的同时，对新灰场和服役期满灰场都采取了必要的防污染措施，采用调湿灰碾压技术和灰场防渗技术的灰场增多，不断扩大综合利用范围，增加利用量。

思 考 题

1. 简述火电厂生产的实质过程及其基本手段。
2. 火电厂的主要生产系统有哪些？
3. 火电厂的分类方法有哪些？
4. 能源可分为哪几类？
5. 能源的利用对环境有何影响？

第二章 火电厂煤粉锅炉设备

锅炉是火力发电厂的三大主机之一，其作用是利用燃料在炉膛内燃烧释放的热能加热锅炉给水，生产足够数量的、达到规定参数和品质的过热蒸汽，推动汽轮机旋转做功，进而带动发电机发电输出电能。煤粉锅炉是以 $10\sim 100\mu\text{m}$ 细小颗粒的煤粉为燃料的锅炉，由于细小颗粒煤粉具有着火容易、燃尽度高的优势，因此，煤粉锅炉具有燃烧效率高、燃料适应性较强、便于大型化等方面的优点。现代高参数、大容量火力发电机组大多采用煤粉锅炉作为其主设备。

第一节 煤粉锅炉的工作过程及分类

一、煤粉锅炉工作过程

锅炉是一个庞大而复杂的设备，它由锅炉本体及辅助设备组成。锅炉本体是锅炉的主要组成部分，由“锅”及“炉”两大部分组成。所谓“锅”是指将水变成蒸汽的那部分设备所组成的汽水系统，包括：水的预热受热面——省煤器；水的蒸发受热面——水冷壁；蒸汽的过热受热面——过热器及对汽轮机高压缸排汽进行再加热的受热面——再热器。锅炉汽水系统的主要任务是将水加热、蒸发并过热成为具有一定压力、温度的过热蒸汽。所谓“炉”是指由炉膛、燃烧器、烟风道以及空气预热器等所组成的燃烧系统。其主要任务是使燃料燃烧放热，产生高温烟气，并将其传递给锅炉的各个受热面。锅炉的辅助设备与锅炉本体共同完成锅炉的生产任务，主要包括煤粉制备设备、通风设备（送风机、引风机、烟囱等）、除尘设备及脱硫装置等。图 2-1 为火力发电厂自然循环煤粉锅炉的基本组成和工作过程示意。

由煤仓落下的原煤经给煤机送入磨煤机磨制成煤粉。在煤粉磨制过程中需要热空气对煤进行加热和干燥。送风机将冷空气送入锅炉尾部的空气预热器被烟气加热。从空气预热器出来的热空气一部分经排粉风机送入磨煤机中，对煤进行加热和干燥，同时这部分热空气也是输送煤粉的介质。从磨煤机排出的煤粉和空气的混合物经煤粉燃烧器进入炉膛燃烧。由空气预热器来的另一部分热空气直接经燃烧器进入炉膛参与燃烧反应。

锅炉的炉膛具有较大的空间，煤粉在此空间内进行悬浮燃烧。煤粉燃烧放出热量，燃烧火焰中心具有 1500°C 或更高的温度。炉膛周围布置大量水冷壁管，炉膛上部布置有顶棚过热器及屏式过热器等受热面。水冷壁和顶棚过热器等是炉膛的辐射受热面，其受热面管内分别有水和蒸汽流过，既能吸收炉膛的辐射热，使火焰温度降低，又能保护炉墙不致被烧坏。为了防止熔化的灰渣凝结在烟道内的受热面上，烟气向上流动到达炉膛上部出口处时，其温度要低于煤灰的熔点。高温烟气经炉膛上部出口离开炉膛进入水平烟道，然后再向下流动进入垂直烟道。在锅炉本体的烟道内布置有过热器、再热器、省煤器和空气预

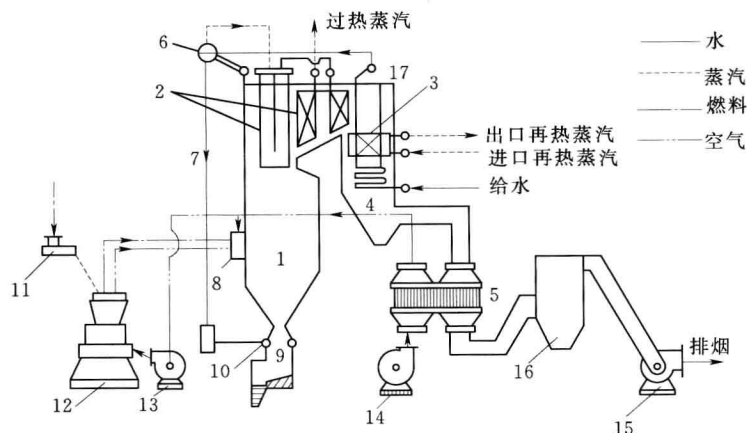


图 2-1 煤粉锅炉及辅助设备示意

- 1—炉膛及水冷壁；2—过热器；3—再热器；4—省煤器；5—空气预热器；6—汽包；7—下降管；
8—燃烧器；9—排渣装置；10—水冷壁下联箱；11—给煤机；12—磨煤机；13—排粉机；
14—送风机；15—引风机；16—除尘器；17—省煤器出口联箱

热器等受热面。烟气在流过这些受热面时以对流换热为主的方式将热量传递给工质，这些受热面称为对流受热面。过热器和再热器主要布置于烟气温度较高的区域，称为高温受热面。而省煤器和空气预热器布置在烟气温度较低的尾部烟道中，故称为低温受热面或尾部受热面。烟气流经一系列对流受热面时，不断放出热量而逐渐冷却下来，离开空气预热器的烟气（即锅炉排烟）温度已相当低，通常在 $110\sim 160^{\circ}\text{C}$ 之间。

由于煤中含有灰分，煤粉燃烧所生成的较大灰粒沉降于炉膛底部的冷灰斗中，逐渐冷却和凝固，并落入排渣装置，形成固态排渣。大量较细的灰粒随烟气一起离开锅炉。为了防止环境污染，锅炉排烟首先流经除尘器，使绝大部分飞灰被捕捉下来。最后，只有少量细微灰粒随烟气通过引风机由烟囱排入大气。

送入锅炉的水称为给水。由送入的给水到送出的过热蒸汽，中间要经过一系列加热过程。首先把给水加热到饱和温度，其次是饱和水的蒸发，最后是饱和蒸汽的过热。给水经省煤器加热后进入汽包锅炉的汽包，经下降管引入水冷壁下联箱再分配给各水冷壁管。水在水冷壁中继续吸收炉内高温烟气的辐射热达到饱和状态，并使部分水蒸发变成饱和蒸汽。水冷壁又称为锅炉的蒸发受热面。汽水混合物向上流动并进入汽包。在汽包中通过汽水分离装置进行汽水分离，分离出来的饱和蒸汽进入过热器吸热变成过热蒸汽。由过热器出来的过热蒸汽通过主蒸汽管道进入汽轮机做功。为了提高锅炉—汽轮机组的循环效率，对高压机组大都采用蒸汽再热，即在汽轮机高压缸做完部分功的过热蒸汽被送回锅炉进行再加热。这种对过热蒸汽进行再加热的锅炉设备叫做再热器。

二、煤粉锅炉分类

1. 按蒸汽参数分类

- (1) 中压锅炉。压力为 3.82MPa ，温度为 450°C 。
- (2) 高压锅炉。压力为 $6\sim 10\text{MPa}$ ，常用压力为 9.8MPa ，温度为 540°C 。

(3) 超高压锅炉。压力为 $10 \sim 14\text{MPa}$ ，常用压力为 13.72MPa ，温度为 555°C 或 540°C 。

(4) 亚临界压力锅炉。压力为 $14 \sim 22.2\text{MPa}$ ，常用压力为 16.66MPa ，温度为 555°C 。

(5) 超临界压力锅炉。压力大于 22.2MPa ，温度为 $550 \sim 570^\circ\text{C}$ 。

2. 按排渣方式分类

(1) 固态排渣锅炉。燃料燃烧生成的灰渣自炉膛下部呈固态排出。

(2) 液态排渣锅炉。燃料燃烧生成的灰渣自炉膛下部呈液态排出。

3. 按锅炉蒸发受热面内工质流动的方式分类

(1) 自然循环锅炉，如图 2-2 (a) 所示。自然循环锅炉由汽包、下降管和水冷壁（或上升管）组成蒸发受热面工质的循环回路，蒸发受热面内的工质，依靠下降管中的水和水冷壁中的汽水混合物密度差产生的压力差进行循环流动。

(2) 强制循环锅炉，如图 2-2 (b) 所示。强制循环锅炉在蒸发受热面工质循环回路的下降管上装有循环泵，工质的流动除依靠水与汽水混合物的密度差外，主要依靠循环泵的压头。

(3) 控制循环锅炉，如图 2-2 (c) 所示。控制循环锅炉是在强制循环锅炉的上升管入口处加装不同直径的节流圈，以调整工质在各上升管中的流量分配，防止发生循环停滞或倒流等故障。

(4) 直流锅炉，如图 2-2 (d) 所示。直流锅炉是没有蒸发受热面循环回路的锅炉，工质依靠给水泵的压头，按顺序一次性通过加热、蒸发和过热等受热面变为合格的过热蒸汽。

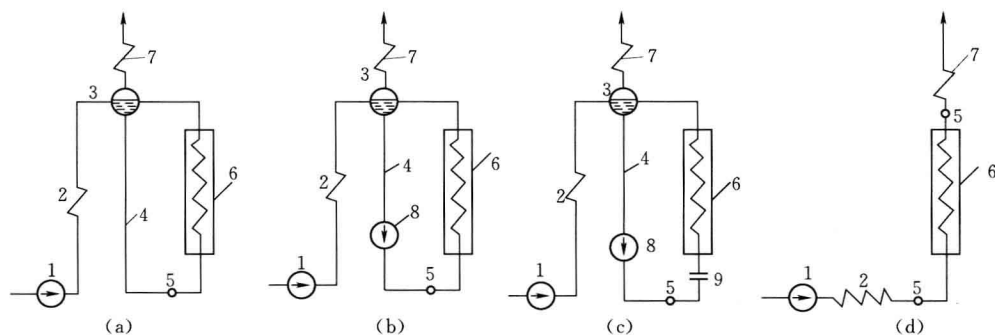


图 2-2 锅炉蒸发受热面内工质流动的几种类型

(a) 自然循环锅炉；(b) 强制循环锅炉；(c) 控制循环锅炉；(d) 直流锅炉
1—给水泵；2—省煤器；3—汽包；4—下降管；5—下联箱；6—蒸发受热面；
7—过热器；8—循环泵；9—节流圈

(5) 复合循环锅炉。它具有循环回路和再循环泵，同时具有切换阀门，低负荷时按再循环方式运行，高负荷时切换为直流方式运行。也可在全部负荷下以较低的循环倍率进行循环，这种锅炉称作低倍率循环锅炉。

三、锅炉的技术规范

锅炉的技术规范是用来说明锅炉基本工作特性的参数指标，包括锅炉容量、蒸汽参数、给水温度、排烟温度及锅炉热效率等。