

普通高等教育“十三五”规划教材

环境类专业 燃煤电厂实习教程

主编 齐立强 刘凤 李晶欣 曾芳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

环境类专业 燃煤电厂实习教程

主编 齐立强 刘凤 李晶欣 曾芳



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本教材共分7章,主要讲述燃煤电厂生产过程及其产生的环境问题、现场实习安全问题,燃煤电厂锅炉、汽轮机、发电机等主要设备及系统,燃煤电厂除尘输灰系统及设备,燃煤电厂脱硫脱硝系统及运行,燃煤电厂水处理系统。内容编排以培养学生能力为目标,紧密结合电厂实际,跟踪新知识、新技术在现场的应用情况,知识全面,详略得当,使学生在对燃煤电厂的生产过程全面了解的基础上,重点加强除尘输灰、脱硫脱硝、化学水处理等环境方面知识的学习。

本教材可作为电力环境类专业的学历教育教材,也可供相关电力、动力类专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

环境类专业燃煤电厂实习教程 / 齐立强等主编. --
北京:中国水利水电出版社, 2018.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-6767-2

I. ①环… II. ①齐… III. ①燃煤发电厂—环境管理
—实习—高等学校—教材 IV. ①X322-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第197578号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 环境类专业燃煤电厂实习教程 HUANJINGLEI ZHUANYE RANMEI DIANCHANG SHIXI JIAOCHENG
作 者	主编 齐立强 刘凤 李晶欣 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 (营销中心)
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	北京合众伟业印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.25印张 480千字
版 次	2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	49.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

全日制环境类专业本科生的生产实习及毕业实习等实践教学是本科教育的重要环节。学生通过理论课程的学习，具备了一定的基础知识，实践环节的教学，可进一步完善学生的知识体系，巩固对理论知识的理解。燃煤电厂实习是部分高等学校环境类专业在教学过程中必须进行的一个重要实践环节。通过实习，学生能够熟悉燃煤电厂的生产过程，并对燃煤电厂主、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、脱硫脱硝及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，实习能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。

本教材的主要内容为燃煤电厂生产过程及其相关环境和化学问题的处理系统及设备。作为环境类专业的学生，不仅要了解燃煤电厂的生产过程，还要深入了解在燃煤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，本教材将生产实习及毕业实习的内容融合到一起，使学生在对燃煤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进行深入学习。

本教材第一、三、四、五章由华北电力大学（保定）齐立强教授编写，第二章由刘凤老师编写，第六章由曾芳老师编写，第七章由李晶欣老师编写。

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

2018年5月

目 录

前言

第一章 燃煤电厂生产过程	1
第一节 燃煤电厂生产过程概述	1
第二节 燃煤电厂生产过程中的环境问题	6
第三节 燃煤电厂现场实习概述	8
思考题	9
第二章 燃煤电厂煤粉锅炉设备	10
第一节 煤粉锅炉的工作过程及分类	10
第二节 煤粉锅炉本体设备	16
第三节 锅炉制粉系统及设备	28
第四节 锅炉的启停及运行调整	37
思考题	45
第三章 燃煤电厂汽轮机设备	46
第一节 汽轮机的一般概念	46
第二节 汽轮机级的工作原理	49
第三节 汽轮机本体结构	62
第四节 汽轮机调节、保护及供油系统	74
第五节 汽轮机的热力系统及辅助设备	80
第六节 汽轮机的启停及运行调整	90
思考题	104
第四章 汽轮发电机	105
第一节 汽轮发电机的工作原理	105
第二节 发电机的结构	106
第三节 发电机的励磁方式	109
第四节 汽轮发电机冷却方式	111
思考题	112

第五章 燃煤电厂除尘及输灰系统.....	113
第一节 除尘器分类和性能指标	113
第二节 电除尘器系统	114
第三节 低低温电除尘技术	130
第四节 湿式电除尘技术	136
第五节 气力除灰系统的特点及分类	144
第六节 气力除灰设备	145
第七节 气力除灰系统及控制	158
第八节 气力输灰系统的运行和常见故障分析	168
思考题	174
第六章 燃煤电厂脱硫脱硝系统.....	176
第一节 脱硫脱硝技术概述	176
第二节 燃煤电厂湿法脱硫系统与设备	187
第三节 燃煤电厂湿法脱硫系统的启停及运行调整	202
第四节 燃煤电厂脱硝系统与设备	212
第五节 燃煤电厂脱硝系统的启停及运行调整	226
思考题	233
第七章 燃煤电厂水处理系统.....	234
第一节 概述	234
第二节 水的预处理系统及设备	238
第三节 水的预脱盐系统及设备	250
第四节 锅炉补给水处理系统及设备	265
第五节 汽轮机组凝结水精处理系统	272
第六节 冷却水处理系统	279
第七节 电厂废水处理及回用系统	295
思考题	315
参考文献	316

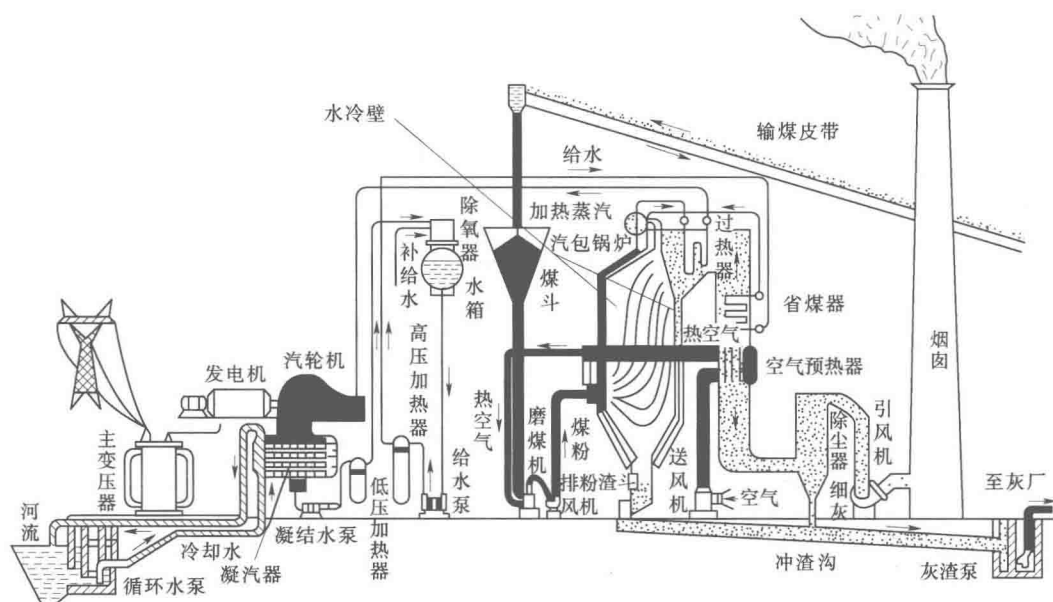


图 1-1 燃煤电厂生产过程示意图

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。

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。

煤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。

各类燃煤电厂由于所用锅炉、汽轮机等设备的形式不同，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，都是由煤燃烧开始，煤在炉膛内燃烧时，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，作为热量的形态并未发生变化，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、燃煤电厂的生产主系统

燃煤电厂一般由三大主要设备——锅炉、汽轮机、发电机，以及相应的辅助设备组成，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、通风系统和除灰系统等。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。凝汽式燃煤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通过汽轮机带动发电机完成机械能转换为电能，并且合理地发电、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。

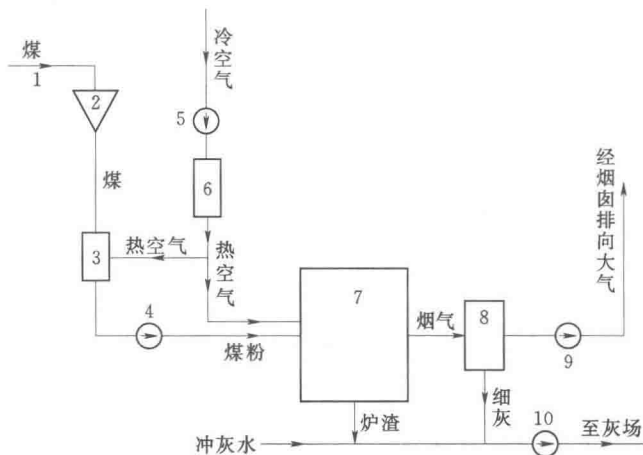


图 1-2 燃烧系统流程图

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

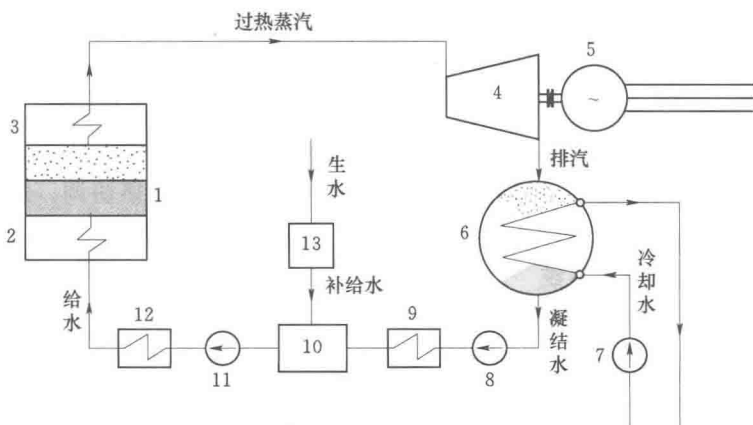


图 1-3 汽水系统流程图

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

电气系统示意图如图 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，它们各自构成相应的系统，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，本教程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。它不仅可以向用户供电，还利用在汽轮机中做过功的抽汽或排汽向用户供热，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）。这种发电厂与电网无联系，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，容量从几百千瓦到几百万千瓦不等，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。以各种可燃气体作为燃料的发电厂。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。

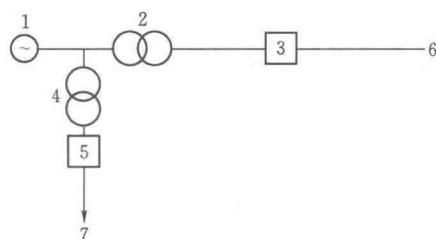


图 1-4 电气系统示意图

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

(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,划分标准也会变化。

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,还可以按发电厂的位置特点分为坑口(路口、港口)发电厂、负荷中心发电厂;按发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 燃煤电厂生产过程中的环境问题

一、电力生产对环境的影响

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，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燃煤电厂成为污染源大户，如燃煤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对环境造成了很大影响。

我国近年废气中主要污染物排放量见表 1-2。

表 1-2 我国近年废气中主要污染物排放量 单位：万 t

项目 年份	SO ₂			烟尘			NO _x		
	合计	工业	生活	合计	工业	生活	合计	工业	机动车
2011	2217.9	2017.2	200.4	1278.8	1100.9	114.8	2404.3	1729.7	637.6
2012	2117.6	1911.7	205.7	1234.3	1029.3	142.7	2337.8	1658.1	640.0
2013	2043.9	1835.2	208.5	1278.1	1094.6	123.9	2227.4	1545.6	640.6
2014	1974.4	1740.4	233.9	1740.8	1456.1	227.1	2078.0	1404.8	627.8
2015	1859.1	1556.7	296.9	1538.0	1232.6	249.7	1851.9	1180.9	585.9

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、我国燃煤电厂环境保护的措施和对策

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，我国的发电量有 70% 以上是由火电提供的，尤其是燃煤电厂提供 60% 以上。因此，我国电力环保的问题主要是燃煤电厂的环保问题。

(1) 烟尘的控制。目前燃煤电厂的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) SO₂ 的控制。通过引进和采用多种脱硫技术，采用低硫煤等措施，使 SO₂ 的排放量的增长得到遏制。

(3) NO_x 的控制。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，结合我国煤质和制粉系统的特点，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。电厂最大排放量的废水是冲灰水，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。

三、燃煤电厂烟气超低排放

近年来，随着火电装机容量不断增长，排放污染物的总量增加对大气环境造成了很大压力。《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011) 已于 2014 年 7 月 1 日起正式实

施,该标准堪称史上最严格的大气污染物排放标准。对重点控制地区的燃煤机组污染物排放要求大幅提高:烟尘浓度不大于 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$; SO_2 浓度不大于 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$; NO_x 浓度不大于 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$; 汞及其化合物不大于 $0.03\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。新建机组必须根据新标准进行设计和建设,通过使用新办法和新工艺全面降低污染物的排放水平;已投产机组因原设计标准较低以及实际燃用煤质变差等原因,烟尘排放水平普遍达不到新标准的要求。

与此同时,2014年9月12日,国家发展和改革委员会、环境保护部、国家能源局联合发布的“关于印发《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》的通知”中要求,稳步推进东部地区现役30万kW及以上公用燃煤发电机组和有条件的30万kW以下公用燃煤发电机组实施大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值的环保改造。燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值,即:在基准氧含量6%的条件下,烟尘、 SO_2 、 NO_x 排放浓度分别不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

燃煤机组排放达到或基本达到燃气轮机组标准排放限值被业内称为超低排放。基于上述要求,我国燃煤电厂超低排放已经势在必行。

第三节 燃煤电厂现场实习概述

一、现场实习的目的

现场实习是本科环境类专业重要的教学实践性环节,包括认识实习、生产实习和毕业实习等。它是在完成了基础课、学科基础课和学科专业课后,必须进行的实践教学环节。通过现场实习,使学生能建立对专业知识的感性认识,为专业课学习、专业课程设计和毕业设计奠定了认识基础。通过现场实习,使学生能建立起对整个电厂的初步认识,了解电力生产的基本工艺流程及其对经济发展的重要性;初步了解电厂的主要发电设备、主要辅助设备和系统,了解这些设备和系统的主要结构、作用,为后续课程的学习创造有利条件;了解电厂的主要设备、管道及主厂房的布置特点,了解主要设备和管道的安装检修工艺;提高阅读工程图纸和工程技术资料的能力;培养学生理论联系实际、独立观察客观事物、独立分析问题和解决问题的能力。

二、现场实习安全知识

1. 燃煤发电厂的安全特点

燃煤发电厂是利用煤在锅炉炉膛内燃烧,生产出高温高压蒸汽,用蒸汽冲动汽轮机旋转,并带动发电机旋转发电。发电厂发电的原理很简单,但生产过程非常复杂。从安全角度讲,燃煤发电厂有以下几个特点。

(1) 发电厂自动化程度高,各种控制开关和事故按钮多,很容易发生误触和误动事故。

(2) 高压电气设备多,许多设备带电部分裸露在外,容易发生触电事故。

(3) 锅炉和汽轮机房内压力容器、高温高压管道多,可能发生容器、管道爆破或泄漏,造成人员烧、烫伤事故。

(4) 发电厂设备多层布置,生产人员经常在不同高度层面交叉作业,容易造成物件下落或高处坠落的人身伤害事故。

(5) 许多专业使用易燃易爆物质,如点火用油、煤粉、氢气等,都容易发生着火爆炸事故。

(6) 各种旋转和移动机械多,容易造成机械伤害事故。

2. 发电厂着装的安全要求

(1) 衣服。衣服不应有可能被转动的机器绞住的部分;入厂后必须穿着工作服,衣服和袖口必须扣好;禁止戴围巾和穿长衣服;禁止使用尼龙、化纤或棉和化纤混纺的衣料制作的衣物,以防遇火燃烧加重烧伤程度;禁止穿裙子、短裤。

(2) 安全帽。在以下区域必须戴安全帽:需要戴安全帽的地方;设有安全帽标识符的地方;可能发生高空坠物的区域;空中作业区域;高压区域;辫子、长发必须盘在工作帽内。

(3) 鞋。进入生产现场禁止穿拖鞋、凉鞋、高跟鞋及掌钉鞋。

3. 行为安全规范

应在规定的安全通道、梯子、平台、楼梯及安全走廊范围内行走,不准乱走捷径,攀爬斜梁、管道和构件等无安全保障的设备,不准穿越设有路障的区域。爬梯时必须逐一检查爬梯是否牢固,上下爬梯必须抓牢扶手,不准两手同时抓一个扶手,双手不能都拿东西。

进入现场后,不乱动现场设备,不乱按现场设备按钮,不乱动现场电气开关。禁止在起重机吊着重物下停留或通过;禁止在栏杆上、管道上、安全罩上或运行中设备的轴承上行走和坐立;应尽可能避免靠近并长时间停留在可能会被烫伤的地方。

三、电厂实习的主要内容

燃煤发电厂是利用煤的化学能产出电能的工厂,即燃料的化学能→蒸汽的热能→机械能→电能。在锅炉中,燃料的化学能转变为蒸汽的热能;在汽轮机中,蒸汽的热能转变为转子旋转的机械能;在发电机中,机械能转变为电能。锅炉、汽轮机和发电机是燃煤电厂中的主要设备,也称三大主机。此外,对生产过程中所产生的水、气、渣等也需要相应的辅机对其进行处理。

环境类专业燃煤电厂现场实习主要针对主机设备、除尘输灰、脱硫脱硝及电厂水处理等几个环节进行。因此,本教材将从以上几个方面内容进行阐述。

思 考 题

1. 简述燃煤电厂生产的实质过程及其基本手段。
2. 燃煤电厂的主要生产系统有哪些?
3. 燃煤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?
6. 超低排放的定义及具体排放限值?
7. 发电厂对着装有哪些要求?

第二章 燃煤电厂煤粉锅炉设备

锅炉是燃煤发电厂的三大主机中最基本的能量转换设备，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，生产足够数量的和一定质量（汽温、汽压）、且具有满足要求的洁净度的过热蒸汽，推动汽轮机做功，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、大容量燃煤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、煤粉锅炉的工作过程

电厂锅炉一般先把原煤磨制成煤粉，然后送入锅炉燃烧放热并产生过热蒸汽。在锅炉中实现煤的化学能转化为蒸汽热能时，共进行 4 个相互关联的工作过程，即煤粉制备过程、燃烧过程、通风过程和过热蒸汽的生产过程。煤粉制备过程的任务是将初步破碎后送入锅炉房的原煤磨制成符合锅炉燃烧要求的细小煤粉颗粒，供锅炉燃烧。燃烧过程的任务是使燃料燃烧放出热量，产生高温火焰和烟气。为了使燃烧过程稳定持续地进行，必须连续提供燃烧需要的助燃氧气和将燃烧产生的烟气即时引出锅炉，这就是锅炉的通风过程。过热蒸汽生产过程的主要任务是通过各换热设备将高温火焰和烟气的热量传递给锅炉内的工质。

锅炉是一个庞大而复杂的设备，它由锅炉本体和锅炉的辅助设备组成。锅炉本体主要包括炉膛、燃烧器、布置有受热面的烟道、汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、空气预热器以及联箱等；锅炉的辅助设备主要包括送风机、引风机、给煤机、磨煤机、排粉机、除尘器及烟囱等。其中锅炉本体是锅炉的主要组成部分，由“锅”及“炉”两大部分组成。“锅”泛指汽水系统，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。“炉”泛指燃烧系统，包括炉膛、燃烧器、烟风道以及空气预热器等，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。以图 2-1 所示的煤粉锅炉及辅助设备为例，将锅炉的工作过程概括为燃烧系统和汽水系统，并对其工作过程进行介绍。

1. 燃烧系统

由煤仓落下的原煤经给煤机 11 送入磨煤机 12 磨制成煤粉。在煤粉磨制过程中需要热

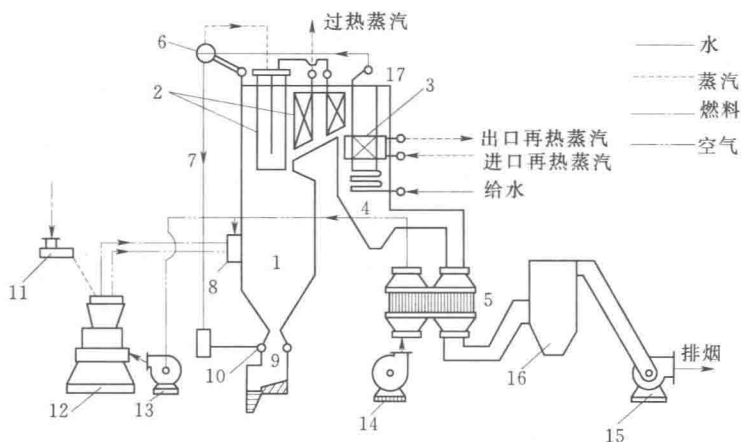


图 2-1 煤粉锅炉及辅助设备示意图

- 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—排粉风机；
14—送风机；15—引风机；16—除尘器；17—省煤器出口联箱

空气对煤进行加热和干燥。冷空气由送风机 14 送入锅炉尾部的空气预热器 5 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 13 送入磨煤机中，对煤进行加热和干燥，一部分作为输送煤粉的介质。从磨煤机排出的煤粉和空气的混合物经煤粉燃烧器 8 进入炉膛 1 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，燃烧火焰中心温度为 1500°C 或更高。炉膛周围布置着大量的水冷壁管，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，又能保护炉墙使其不致被烧坏。为了防止熔化的灰渣凝结在烟道内的受热面上，烟气向上流动至炉膛上部出口处时，其温度应低于煤灰的熔点。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 2、再热器 3、省煤器 4 和空气预热器 5 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 16，将绝大部分飞灰捕捉下来。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。

2. 汽水系统

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