



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

# 热力发电厂 设备与运行实习

张庆国 程新华 编 著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



## 普通高等教育实验实训规划教材

- |                     |            |
|---------------------|------------|
| 金工技能实训              | 张瑞东        |
| 电厂认识实习              | 孙为民        |
| 单元机组运行实训            | 谌 莉        |
| 发电厂仿真机实习            | 焦海锋        |
| 热力设备装配与检修           | 刘继申        |
| <b>热力发电厂设备与运行实习</b> | <b>张庆国</b> |
| 300MW火电机组仿真运行       | 杨成民        |
| 供热通风与空调工程实验实训       | 李东雄        |
| 供热通风空调制冷综合技能实训      | 郝瑞宏        |
| 热工理论基础实验            | 姜昌伟        |
| 汽轮机实验技术             | 饶洪德        |
| 锅炉实验技术              | 鄢晓忠        |
| 热工检测与控制技术实验         | 易异勋        |
| 流体力学及泵与风机实验指导书      | 吕玉坤        |
| 热力设备安装与检修实训         | 孟广波        |

ISBN 978-7-5083-7519-9



9 787508 375199 >

定价：15.00 元



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

# 热力发电厂 设备与运行实习

编 著 张庆国 程新华  
主 审 屈卫东



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

全书分设备实习和运行实习两篇。设备实习篇包括：锅炉设备、汽轮机设备、汽轮发电机设备和辅助生产系统。运行实习篇主要介绍了热力发电厂运行方面的知识，主要内容包括：机组的启动和停运、机组的运行和调整、火力发电厂的运行管理和事故处理。为了加深学生对所学知识的理解，每章后均附有思考题。

本书可作为高职高专电力技术类电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业的认识实习和毕业或顶岗运行实习用书，也可作为电厂生产人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

热力发电厂设备与运行实习/张庆国,程新华编著.

北京:中国电力出版社,2009

普通高等教育实验实训规划教材.电力技术类

ISBN 978-7-5083-7519-9

I. 热… II. ①张…②程… III. 热电厂—生产设备—实习—高等学校—教材 IV. TM621-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 041833 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 196 千字  
定价 15.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

热力发电厂认识实习和顶岗实习是电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业的必修课程。认识实习是在专业核心课开始学习之前进行的电厂认知性学习环节,是对电厂的生产概况和主、辅设备及其系统建立感性认识的学习阶段;顶岗实习是促进学生把所学专业知 识应用于电厂实际的重要实践性学习环节,是理论联系实际、为以后走上工作岗位奠定基础的重要实习实训过程。本书是根据电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业认识和顶岗实习大纲的要求,把认识实习和毕业顶岗运行实习内容编写在一起的实习实训类教材,可满足电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业完成现场实习实训的要求。

鉴于热力发电厂及其机组的多样性,本书尽量兼顾了各类机组的设备和运行知识,内容通俗易懂,紧密联系生产实际,突出热力发电厂设备和运行的特点,也充分考虑到了两种实习的难度和要求的不同。实习中可结合所实习机组特点,有选择地制订学习内容。本书分设备(认识)实习和运行(顶岗)实习两篇。设备实习篇包括:锅炉设备、汽轮机设备、汽轮发电机设备和辅助生产系统;运行实习篇主要介绍了热力发电厂运行方面的知识,主要内容包 括:机组的启动和停运、机组的运行和调整、火力发电厂的运行管理和事故处理。

本书由山东电力研究院张庆国和程新华编写,其中张庆国编写绪论、第五~八章,程新华编写第一~四章,张庆国对全书进行统稿。

本书由郑州电力高等专科学校副教授屈卫东主审,主审老师对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中得到了相关单位的大力支持和帮助,在此深表感谢。

由于编者水平所限,书中难免出现疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年4月

## 目 录

前言	1
绪论	1
思考题	8
<b>第一篇 设备（认识）实习</b>	
<b>第一章 锅炉设备</b>	9
第一节 电厂锅炉概述	9
第二节 电厂锅炉燃料及燃烧系统	14
第三节 汽水系统	28
第四节 锅炉辅助设备及主要附件	32
思考题	34
<b>第二章 汽轮机设备</b>	36
第一节 汽轮机概述	36
第二节 汽轮机本体结构	38
第三节 汽轮机的调速、保护及油系统	45
第四节 汽轮机的热力系统及辅助设备	48
思考题	52
<b>第三章 汽轮发电机设备</b>	53
第一节 汽轮发电机的工作原理	53
第二节 汽轮发电机的结构	53
第三节 汽轮发电机的励磁设备	56
第四节 汽轮发电机的冷却方式	56
思考题	57
<b>第四章 辅助生产系统</b>	58
第一节 供水系统	58
第二节 输煤系统	59
第三节 除灰系统	61
第四节 水处理系统	63
第五节 仪表和控制	65
思考题	65

## 第二篇 运行（顶岗）实习

第五章 机组的启动和停运 .....	67
第一节 机组的启停方式 .....	67
第二节 锅炉的启动和停运 .....	71
第三节 汽轮机的启动和停运 .....	83
思考题 .....	92
第六章 机组的运行和调整 .....	93
第一节 锅炉的运行调整 .....	93
第二节 汽轮机的运行调整 .....	102
第三节 单元机组调峰 .....	108
思考题 .....	112
第七章 火力发电厂的运行管理 .....	113
第一节 运行管理 .....	113
第二节 水务管理 .....	115
第三节 油务管理 .....	116
思考题 .....	117
第八章 火力发电厂的事故处理 .....	118
思考题 .....	120
附录 A 设备（认识）实习教学大纲 .....	121
附录 B 运行（顶岗）实习教学大纲 .....	123
参考文献 .....	125

## 绪 论

### [实习目的]

认识实习是使学生熟悉热力发电厂的生产过程,并对热力发电厂主、辅设备的结构与工作原理和热力系统有初步了解,增加对热力发电设备和系统的感性认识。顶岗实习是巩固所学的理论知识,使之和生产现场知识相融合,掌握电厂热力设备的运行方式,熟悉热力发电厂的生产组织和管理状况。

### [实习内容]

#### 一、电力生产概况

在当今社会生产和人们日常生活中,电能已被广泛应用于各个领域,成为最方便、最实用的一种能源。可以想象,如果没有了电能,现代文明社会将不复存在。

##### 1. 电能的特点

自然界中的能源分为一次能源和二次能源,一次能源是指自然界存在的可直接利用的能源,如煤、石油、天然气、风、水、太阳、地热、原子能等能源;二次能源是指由一次能源加工转换成的能源,如电能、燃油、氢能、火药等。

电能和其他形式的能源相比,其主要特点如下:

(1) 便于生产和输送。生产电能的一次能源广泛,可由煤、石油、核能、风能、水能、太阳能、地热能等多种能源转换而成,并便于大规模生产。电能运送简单,便于远距离传输和分配。

(2) 便于转换和控制。电能可方便地转换成机械能、光能、热能、声能等,由于便于使用,因此被称为“最方便的能源”。

(3) 替代其他能源效率高。例如,用电动机代替柴油机,可节能50%左右;用电气机车代替蒸汽机车,可节能20%左右,因此被称为“节能的能源”。

(4) 在使用上无气体和噪声污染。如用电瓶车代替汽车、柴油车等成为“无公害车”,被称为“无污染的能源”。

##### 2. 电能生产过程

电能生产过程实质上是电能的生产、输配和耗用的过程,又常分为发电、输电、变电、配电和用电五个环节。这五个环节连续同时进行,即构成了完整的电力生产过程。

电力系统是由发电厂、电力网和电力负荷三部分组成的。发电厂是电力系统的中心环节,它是将自然能源转换为电能的一种工厂。用于发电的一次能源主要有:煤炭、石油、天然气、水力及原子能等,应用这些能源发电的电厂分别称为热力发电厂(又称火力发电厂)、水力发电厂和核电厂。此外,还有太阳能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂等。

电力网是由输、配电线路和变电站组成,电力负荷就是电力用户。将发电厂发出的电能输送到各用电负荷中心的线路称为输电线路,将负荷中心的电能输送到用户的线路称配电线路。

电能输送和分配的过程中,电流在导线中流过会产生电压降落和功率损耗。减小电压降落,可以提高电能质量;减少功率损耗,可以提高设备利用率和供电经济性。在线路输送功率不变的情况下,提高电压才能做到上述各点。因此,随着电力工业的发展,世界各国都



在不断提高输电线路的电压，大力发展超高压远距离输电。电力输送过程中，首先将电能用很高的电压通过输电线路送到负荷中心变电站（所），经过降压和控制后，被配电线路送到电力用户。现阶段我国输电线路电压为 500、220、110kV 等几个等级，配电线路电压主要为 35、10 及 0.4kV 等。

电压的升高或降低是通过变压器完成的。安装变压器及其测量、保护与控制设备的地方称为变电站，用于升高电压的称升压变电站，用于降低电压的称为降压变电站。使用电能的单位称电力用户。电力用户的类型很多，主要分为工业用电、农业用电与生活用电等。工业用电集中，用电量大，设备利用率高，对供电可靠性要求高；农业用电分散，用电量小，平时对供电可靠性要求较低；生活用电面广，形式多样，随着生产的发展和水平的提高，用电量越来越大，对供电可靠性的要求也越来越高。

从发电厂产出电能，经过变电、输电、配电，最后销售给用户使用，就是电力生产的全过程。

### 3. 我国电力的发展概况

我国电力的使用开始于 1879 年，上海安装了 1 台 10 马力的发电机。从 1882 年上海创建第一个 12kW 发电厂起，至 1949 年的 67 年中，全国装机总容量仅有 185 万 kW，年发电量只有 43 亿 kW·h。中华人民共和国成立后，特别是近十几年来，我国电力工业发展迅速（见图 0-1）。1987 年我国发电装机容量突破 1 亿 kW；1995 年 3 月突破 2 亿 kW；2000 年 4 月突破 3 亿 kW；2004 年突破 4.4 亿 kW；2005 年突破 5.1 亿 kW；2006 年突破 6.2 亿 kW。

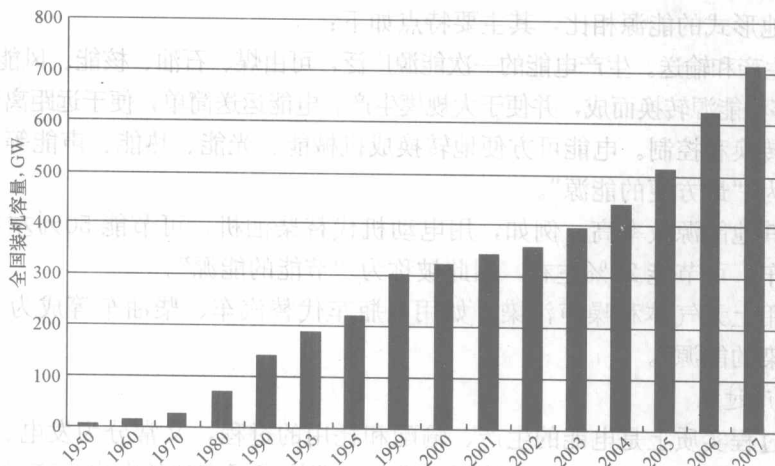


图 0-1 我国电力装机总容量发展情况

截至 2007 年底，我国发电装机容量达到 7.13 亿 kW，居世界第二位，其中，水电 1.45 亿 kW，火电 5.54 亿 kW，核电 885 万 kW，风力发电 403 万 kW。

2007 年，全国百万千瓦超超临界压力火电机组数量达到 7 台，机组大容量时代已经到来；全国火电厂烟气脱硫装置投运容量超过 2.7 亿 kW；全国 600MW 及以上电厂供电标准煤耗率 357g/(kW·h)，发电标准煤耗率为 334g/(kW·h)。

电力工业的发展，必须按照科学发展观的要求，探索出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少的新型电力工业发展道路，从而为构建和谐社会作出更大贡献。

新世纪电力发展的主要制约因素就是资源的约束和环境的制约。为实现可持续发展，建

设社会主义和谐社会,我们必须围绕“节能、提效、节约水资源、节约建设占地”的要求,依靠技术创新、管理创新、加强电力统一规划等手段,来解决可持续发展中的一系列难题。为实现上述目标,需要积极推广开发超临界和超超临界参数燃煤发电技术、新型洁净煤发电技术、锅炉微油或无油点火技术、火电厂水的零排放技术、高效脱硫脱硝技术,推广高参数、大容量、高效率、低污染环保型发电新技术,发展热电联产提高能源转换效率,推广应用节能新技术、大电网互联技术、超高压和特高压输电技术等一批先进技术。

目前,电力行业保持持续、快速、健康发展态势,基本保证了全国电力的供需平衡,同时电力工业步入科学发展轨道,结构调整取得阶段性成果,节能减排成效明显。随着国家“科技兴国”战略的实施以及加快振兴装备制造业的若干意见的进一步贯彻落实,作为技术密集型行业,电力工业积极围绕环保、节能、设备改造、装备技术升级,广泛采用新技术、新设备、新工艺,积极应用超临界和超超临界参数机组、空冷、整体煤气化联合循环(IGCC)、秸秆发电、海水淡化、锅炉微油点火、等离子点火、大容量循环流化床锅炉、辅机变频等先进技术,取得了设备升级和技术进步的重要阶段性成果。

#### 4. 火力发电厂分类

以煤、石油或天然气作为燃料的发电厂统称为火(热)力发电厂。火力发电厂中,煤、石油或天然气等燃料,在锅炉内燃烧,产生具有高温、高压的蒸汽,再由蒸汽冲动汽轮机,最后由汽轮机带动发电机发电。火力发电厂的主要分类见表0-1。

分 类	形 式	简 要 说 明
按电厂性质	区域电厂	地区性的主要发电厂
	自备电厂	企业单位的自备电厂
	热电厂	同时供热和供电的电厂
按使用要求	基本负荷电厂	承担电力网中基本电力负荷
	尖峰负荷电厂	承担电力网中尖峰电力负荷
	紧急备用电厂	经常处于停用状态,当运行的电厂因事故停运时立即投入
按所使用的燃料	联网电厂	接入大电网联合供电
	燃煤电厂	以煤为燃料的电厂
	燃油电厂	以油为燃料的电厂
	燃气电厂	以天然气或企业副产品煤气为燃料的电厂
	生物质燃料电厂	以生物质如甘蔗渣、木屑、树皮、生物秸秆等可再生能源为燃料的电厂
按蒸汽参数	垃圾电厂	以城市垃圾为燃料的电厂
	低压电厂	蒸汽压力在 1.5MPa 以下
	中压电厂	蒸汽压力在 3.4MPa 左右
	高压电厂	蒸汽压力在 9.0MPa 左右
	超高压电厂	蒸汽压力在 12.0~14.0MPa 之间
	亚临界压力电厂	蒸汽压力在 16.0~22.1MPa 之间
	超临界压力电厂	蒸汽压力在 24.0~28.0MPa 之间
超超临界压力电厂	蒸汽压力在 28MPa 以上	

续表

分 类	形 式	简 要 说 明
按原动机	汽轮机发电厂	有凝汽式、背压式和抽汽式
	内燃机发电厂	有柴油机、汽油机和煤气机
	燃气轮机发电厂	通常与蒸汽轮机组成燃气—蒸汽联合循环发电厂，是一种高效、低污染发电技术
按冷却方式	水冷型电厂	采用直流供水或循环供水方式
	空冷型电厂	采用空冷系统冷却方式
按供电方式	孤立电厂	不与电力网连接而独立供电
	联网电厂	接入大电力网联合供电

我国火力发电厂主要设备产品系列如表 0-2 所示。

表 0-2

我国电站设备产品系列

机组容量 (MW)	配套锅炉			配套汽轮机		首台投运 时间(年)
	蒸发量(t/h)	汽温(°C)	汽压(MPa)	汽温(°C)	汽压(MPa)	
6	35	450	3.82	435	3.43	1955
12	75	450	3.82	435	3.43	1956
25	130	450	3.82	435	3.43	1957
50	220	540	9.8	535	8.83	1958
100	410	540	9.8	535	8.83	1968
125	420	540/540	13.7	535/535	13.2	1969
200	670	540/540	13.7	535/535	12.7	1971
300	1025	540/540	18.2	537/537	16.7	1990
600	2008	540/540	18.2	538/538	16.7	1989
1000	2950	605/603	27.56	600/600	26.25	2006

### 5. 火力发电厂的基本生产过程

我国火力发电厂所使用的燃料主要是煤。火力发电厂按其功用可分为凝汽式电厂和热电厂(又分为背压式和抽汽式)两类,凝汽式电厂仅向用户供应电能;热电厂除供给用户电能外,还利用汽轮机中做过功的蒸汽向用户供热,即所谓的“热电联产”。火力发电厂主力电厂是凝汽式发电厂。下面就以煤粉炉凝汽式火电厂为例(火电厂外景见图 0-2),介绍火力发电厂的基本生产过程。

火力发电厂的生产过程概括地说是把燃料(煤)中含有的化学能转变为电能的过程。整个生产过程可分为三个阶段:①燃料化学能在锅炉中转变为热能,加热锅炉中的水使之变为蒸汽;②锅炉产生的蒸汽进入汽轮机,推动汽轮机旋转,将热能转变为机械能;③由汽轮机旋转的机械能带动发电机发电,把机械能变为电能。从能量转换的角度分析,其基本生产流程为:

燃料燃烧的热能  $\xrightarrow{\text{锅炉}}$  高温高压水蒸气  $\xrightarrow{\text{汽轮机}}$  机械能  $\xrightarrow{\text{发电机}}$  电能  $\xrightarrow{\text{变压器}}$  电力网

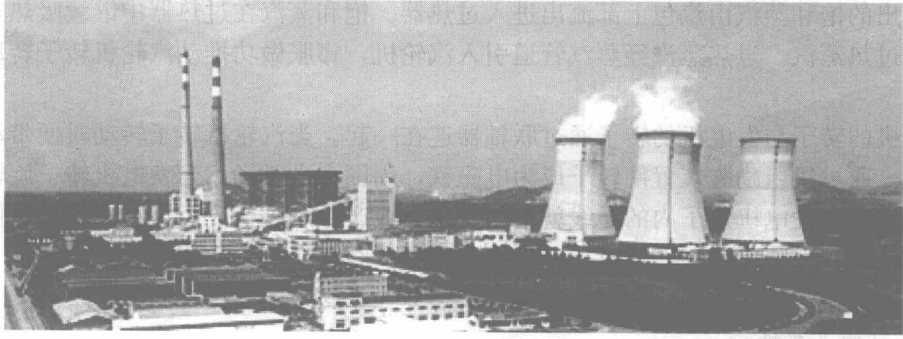


图 0-2 火力发电厂外景

整个电能生产过程如图 0-3 所示。

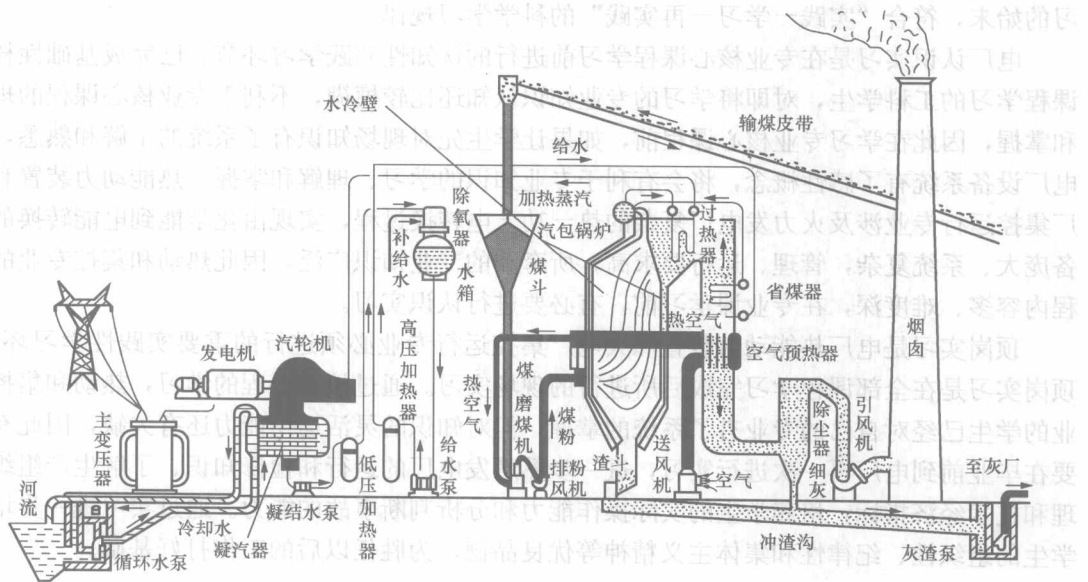


图 0-3 火力发电厂生产过程示意

燃煤用输煤皮带从煤场运至煤斗中。对于煤粉锅炉来讲，煤斗中的原煤要先送至磨煤机内磨成煤粉。煤粉由热空气携带经排粉风机送入锅炉的炉膛内燃烧。煤粉燃烧后形成的热烟气沿锅炉的水平烟道和尾部烟道流动，放出热量，最后进入除尘器，将燃烧后的煤灰分离出来。洁净的烟气在引风机的作用下通过烟囱排入大气。助燃冷空气由送风机送入装在尾部烟道上的空气预热器，吸收热烟气热量而变为热空气，使进入锅炉的空气温度提高，易于煤粉的着火和燃烧，同时也可以降低排烟温度，提高热能的利用率。从空气预热器排出的热空气一部分去磨煤机干燥和输送煤粉，另一部分直接送入炉膛助燃。燃煤燃尽的灰渣落入炉膛下面的渣斗内，与从除尘器分离出的细灰一起用水冲至灰浆泵房内，再由灰浆泵送至灰场。

除氧器内的水经给水泵升压后，通过高压加热器送入锅炉省煤器。在省煤器内，水吸收热烟气热量升温，然后进入锅炉顶部的汽包内。在锅炉炉膛四周密布着水管，称为水冷壁。水冷壁管的上下两端均通过联箱与汽包连通，汽包内的水经由水冷壁不断循环，吸收煤粉燃烧过程中放出的热量。水在水冷壁中受热变为汽水混合物而进入汽包，在汽包内进行汽水分离。

离,分离出的饱和蒸汽由汽包上部流出进入过热器。饱和蒸汽在过热器中继续吸热,成为高温高压的过热蒸汽。过热蒸汽经蒸汽管道引入汽轮机,膨胀做功推动汽轮机转子转动,形成机械能。

汽轮机的转子与发电机的转子通过联轴器连在一起。当汽轮机转子转动时便带动发电机转子转动。通过机组励磁装置使转子成为电磁铁,周围产生磁场。当发电机转子旋转时,磁场也是旋转的,发电机定子内的导线就会切割磁力线产生感应电流。这样,发电机使机械能转变为了电能。电能经变压器将电压升压后,由输电线路送至电力用户。

## 二、电厂认识实习和顶岗实习在热动和集控专业学习中的重要性

### 1. 实习的必要性

电厂认识实习和顶岗实习是电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业学习过程中的两个重要实践学习环节,这两个现场实习和专业核心课程学习紧密结合,贯穿于专业核心课程学习的始末,符合“实践—学习—再实践”的科学学习规律。

电厂认识实习是在专业核心课程学习前进行的认知性实践学习环节。已完成基础性核心课程学习的工科学生,对即将学习的专业知识认知还比较模糊,不利于专业核心课程的理解和掌握,因此在学习专业核心课程前,如果让学生先对现场知识有了系统的了解和熟悉,对电厂设备系统有了感性概念,将会有利于专业知识的学习、理解和掌握。热能动力装置和电厂集控运行专业涉及火力发电厂复杂的热—功—电转换过程,实现由化学能到电能转换的设备庞大、系统复杂,管理、运行要求高,所牵涉的专业知识广泛,因此热动和集控专业的课程内容多、难度深,在专业课学习前,有必要进行认识实习。

顶岗实习是电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业必须进行的重要实践性学习环节。顶岗实习是在全部课程学习完成后所进行的现场实习。通过核心课程的学习,热动和集控专业的学生已经对自己的专业有了系统的掌握,但对知识的灵活运用能力还有欠缺,因此有必要在毕业前到电厂再一次进行实习,进一步熟悉发电厂的运行和检修知识、了解生产组织管理和技术经济指标,培养学生的实际操作能力和分析判断事故的能力。通过实习进一步培养学生的组织性、纪律性和集体主义精神等优良品德,为胜任以后的工作打好基础。

### 2. 实习的目的

认识实习是电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业进入专业核心课程学习阶段的首次实习,通过实习,使学生熟悉火力发电厂的生产过程,初步了解火力发电厂的主、辅设备的结构、工作原理及热力系统;初步了解电厂的生产组织管理以及电厂设备安装或检修的方法;培养理论联系实际的学习方法和对客观事物的观察及分析能力,以增加对火力发电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。

顶岗实习是电厂热能动力装置和火电厂集控运行专业在所有课程学习结束后进行的电厂实习,通过实习,巩固所学的理论知识,使理论和生产现场的知识相融合,加深对发电机组主要设备结构、系统组成及工作原理的理解,让学生获得实际生产技术和知识,树立电厂安全经济运行的意识,培养学生独立思考、分析问题和解决问题的能力,掌握所实习机组的原则性热力系统图、主要设备及系统的构成和工作原理、辅助系统的组成和运行特点,并掌握实习机组的主要设备与系统的起停操作和正常运行的监视、调节方法,掌握主要故障的处理方法,熟悉控制系统的组成、基本原理和特点,熟悉实习电厂的生产组织和技术

经济管理体系等。通过运行实习,加深学生对现场需求的了解,使学生热爱劳动,并培养学生严格遵守安全规程、劳动纪律、规章制度的习惯和认真、踏实的工作作风。

### 3. 实习的基本内容

(1) 认识实习的基本内容。通过电厂安全生产教育,掌握《电业安全工作规程》(以下简称《安规》),强化人身和发电设备安全的意识。

了解全厂平面布置(包括煤、灰、水、电等系统的概况)以及各生产车间之间的相互联系。

通过实习熟悉:①锅炉本体及其辅助设备的作用、结构和基本工作原理,包括锅炉的作用、原理、分类情况;②锅炉汽水系统,包括汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、省煤器;③燃烧系统,包括制粉系统(或碎煤系统)、炉膛、燃烧器(或循环流化床锅炉的燃烧系统)、空气预热器;④锅炉的辅机包括磨煤机(或碎煤机)、给煤机、风机、除尘器、脱硫装置、脱硝装置;⑤锅炉的重要附件。

熟悉:①汽轮机本体及其辅助设备的作用、结构和基本工作原理,包括汽轮机的工作原理和类型;②汽轮机本体的结构,包括静止部分(汽缸、喷嘴和隔板、轴承、汽封)、转动部分(大轴、叶轮、叶片、联轴器、盘车装置);③汽轮机的调节保安系统,包括调节系统、保护系统;④汽轮机的供油系统;⑤汽轮机的辅助设备,包括凝汽器、回热加热器、除氧器、给水泵。

熟悉汽轮发电机的工作原理、结构、励磁设备和冷却方式等。

熟悉电厂的辅助生产系统,包括:供水系统、输煤系统、除灰系统、水处理系统、仪表和控制系统。

了解机组安装或维修的组织管理情况,了解机组维修的进度计划、施工方法及主要的技术要求和措施。

(2) 顶岗实习的基本内容。熟悉实习电厂的设备及系统的运行特性及机组原则性热力系统,掌握以下主要系统的组成和运行特点:①锅炉主蒸汽系统、再热蒸汽系统、主给水系统、烟风系统、制粉(或碎煤)系统、燃烧系统及汽包、炉底加热等辅助系统;②汽轮机主、再热蒸汽及旁路系统、抽气系统、汽封系统、滑销系统、润滑油、顶轴油和EH油等油系统、凝结水及给水系统以及辅助蒸汽、疏水、循环水等辅助系统;③发电机及电气设备;④热工控制系统。

掌握锅炉的启动、停运及其运行调整和汽轮机的启动、停机及其运行维护等。熟悉机组的安全经济运行和生产组织管理等知识。

### 三、实习方式与安排

实习方式应根据现场条件和电厂负责人员共同确定,主要采用现场教学、课堂教学、多媒体课件和看录像、模型等多种方式相结合的模式进行实习。实习前由校方和厂方进行联系、协商,结合教学与生产的进度,落实实习有关事项。实习领导小组由厂方和校方共同组成,学生在工厂班组中由班组长领导工作和学习;指导教师对学生全面负责。进入生产现场前首先由电厂相关部门对实习师生进行安全教育,通过安全教育并考试合格后才能进入生产现场。为加强实习效果,实习中要请实习单位工程技术人员作专题报告,重点应介绍实习机组的系统、结构、性能特点、运行特点、典型事故以及在生产上对专业人员的要求。指导教师应及时检查实习进展情况,经常了解实习动态,随时解决出现的问题以保证实习顺利

进行。

学生根据实习的内容及笔记，及时整理出包括实习机组主要系统图及主要设备结构、工作原理及运行等在内的实习报告。实习成绩由现场实习表现、实习报告、实习考试（口试或笔试）综合评定。

认识实习时间建议为2周，现场教学2天，教学内容包括实习动员、实习任务布置、看设备录像和由电厂技术人员进行安全教育、电厂热力设备及系统培训等，跟班实习10天。

顶岗实习时间建议为6个月，内容包括明确实习内容、由现场技术人员进行安全教育和电厂热力设备及系统和运行、检修规程学习等。

#### 四、实习中遵循的安全原则

电力生产的方针是：安全第一、预防为主。凡从事发、供电的电业职工必须学习《安规》，并定期考试合格。新参加工作的人员和调动到新岗位的人员，在开始工作前必须学习《安规》有关部分，并且应考试合格。实习人员等必须经过厂、车间和班组三级安全教育，经《安规》考试合格后方可进入生产现场参加指定的实习工作，但不得独立工作。

电力生产现场系统复杂、设备庞大，有许多高温高压设备、各种转动机械及各类电气设备和线路，工作环境复杂，对安全规定不熟悉的人员如果进入生产现场，会对自身、他人或设备系统、电力生产等带来重大安全隐患，甚至会带来人身或设备危险、运行事故等，因此实习人员在进入生产现场前，必须接受安全知识教育。实习人员必须掌握《安规》热力和机械部分中的总责部分，熟悉工作票制度，并了解各类设备的运行和维护中的安全事项和各类设备检修的安全事项等。实习人员取得入厂实习资格后，由电厂相关人员和实习带队教师按分班情况带入实习车间和班组，以后按车间和班组安排的时间进行交接班，随班实习。按照实习大纲要求，通过现场学习，完成实习任务。

实习人员进入现场一定要遵循《安规》中关于着装、工作现场、电气、防火和急救等的有关规定，并遵从厂、车间和班组等的规章制度。实习期间不得单独在生产现场行动，注意远离危险场合，并严禁乱动现场设备、设施，严禁攀爬带电设备和触动现场开关和按钮等。

### 思考题

0-1 简述电能生产的过程。

0-2 结合所实习机组，简述火力发电厂的基本生产过程。

0-3 熟悉实习的要求和内容，根据实习安排，制定实习、学习计划。

0-4 了解所实习电厂的概况、生产组织和管理等知识。

0-5 了解实习电厂的装机容量，熟悉锅炉、汽轮机和发电机等主要设备的情况。

0-6 学习《安规》，了解电厂安全生产知识。

# 第一篇 设备 (认识) 实习

## 第一章 锅炉 设备

### 第一节 电厂 锅炉 概述

#### [实习目的]

熟悉锅炉的工作过程、主要性能参数和类型。

#### [实习内容]

#### 一、锅炉设备的工作过程

锅炉设备是火力发电厂中的主要热力设备之一。它的任务是使燃料通过燃烧将化学能转变成热能，并以此热能加热锅炉给水，使其成为一定数量和质量蒸汽。

目前，我国电厂锅炉所用燃料主要是煤。现代大型电厂锅炉一般先将煤磨制成煤粉，然后送入锅炉燃烧放热并产生过热蒸汽。

图 1-1 是一台煤粉锅炉主要设备的示意。以下按该示意图说明电厂锅炉的构成及工作过程。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。

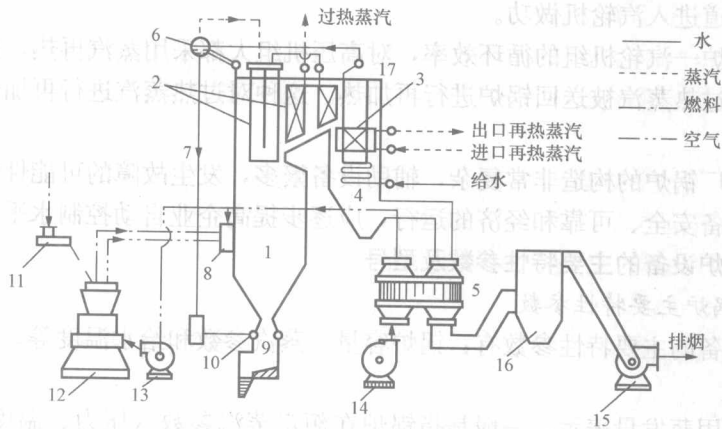


图 1-1 煤粉锅炉及辅助设备示意

- 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



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 $1500^{\circ}\text{C}$ 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流动一起离开锅炉。为了防止环境污染,锅炉的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。

现代大型电厂锅炉的构造非常复杂,辅助设备繁多,发生故障的可能性较大。因此,为保证电厂锅炉设备安全、可靠和经济的运行,应逐步提高企业自动控制水平。

## 二、电厂锅炉设备的主要特性参数及型号

### (一) 电厂锅炉主要特性参数

表征锅炉设备的主要特性参数有:锅炉容量、蒸汽参数和给水温度等。

#### 1. 锅炉容量

锅炉的容量用蒸发量表示,一般是指锅炉在额定蒸汽参数(压力、温度)、额定给水温度和使用设计燃料时,每小时的最大连续蒸发量,常用符号 $D_{\text{额}}$ 表示,单位为 $\text{t/h}$ 。习惯上,电厂锅炉容量也用与之配套的汽轮发电机组的电功率来表示,如 $300\text{MW}$ 锅炉。

#### 2. 蒸汽参数

锅炉的蒸汽参数是指锅炉出口处的蒸汽温度和蒸汽压力。蒸汽温度常用符号 $t$ 表示,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 或 $\text{K}$ ;蒸汽压力常用符号 $p$ 表示,单位为 $\text{MPa}$ 。锅炉设计时所规定的蒸汽温度和压