

火电生产类学徒工初级工培训教材

锅 炉 设 备

(试 用 本)

43

水利电力出版社

178037

TM621-43

1254

学徒工初级工培训教材

锅 炉 设 备

(试 用 本)

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是根据部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求而编写的。全书共分十一章，扼要叙述了国产大中型锅炉的本体、辅助设备和主要附件的结构及其工作原理，燃料和燃烧原理，以及锅炉热平衡等方面的知识。书中附有必要插图，各章备有复习思考题，可以帮助读者学习掌握本书的基本内容。

本书可供具有初中毕业文化程度的学徒工，初级工培训使用，也可供有关技术工人自学时参考。

火电生产类学徒工初级工培训教材

锅 炉 设 备

(试用本)

水利电力出版社出版、发行

(现中国电力出版社)

(北京三里河路6号)

民族印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 7.625 印张 168 千字

1983 年 10 月第一版 1995 年 7 月北京第九次印刷

印数 124951—132000 册

ISBN 7-120-00162-0/TK·25

定价 7.50 元

前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平，使技工培训工作逐步走向正规化、系统化，我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分，注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性，力求密切联系生产实际，深入浅出，突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本，其中基础课11本，专业课12本，委托山西省电力工业局组织编写，并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《锅炉设备》系专业课教材之一，由山西省电力学校涂仲光编写，孙升福审稿，并请有关发电厂的同志进行了审定。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，现以试用本出版，内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见，以提高再版的质量。

水利电力部

1983年4月

目 录

前 言

第一章 锅炉设备概述	1
第一节 电厂锅炉的作用、组成及工作过程	1
第二节 锅炉设备的基本特性	4
第三节 锅炉的分类及型号	5
第二章 燃料、燃烧及锅炉热平衡	8
第一节 锅炉燃料	8
第二节 燃料燃烧的基本知识	22
第三节 锅炉机组的热平衡及热效率	32
第三章 制粉系统	42
第一节 煤粉的特性	42
第二节 煤粉制造设备及其系统	45
第四章 煤粉炉	70
第一节 固态排渣煤粉炉	70
第二节 液态排渣煤粉炉	83
第五章 燃油炉及其它锅炉	86
第一节 燃油炉	86
第二节 旋风炉	102
第三节 沸腾炉	103
第六章 蒸发设备及水循环	107
第一节 蒸发设备的组成及工作过程	107
第二节 蒸发设备的部件	108
第三节 蒸发设备的自然循环	118

第四节 蒸汽净化及汽包内部装置	125
第五节 强制循环锅炉	135
第七章 过热器与再热器	142
第一节 过热器	142
第二节 再热器	155
第三节 汽温调节设备	158
第八章 省煤器和空气预热器	167
第一节 省煤器	167
第二节 空气预热器	173
第三节 尾部受热面的布置	180
第四节 尾部受热面的磨损与低温腐蚀	181
第九章 锅炉构架、炉墙及附件	187
第一节 锅炉构架	187
第二节 炉墙	191
第三节 锅炉阀门	193
第四节 水位计和膨胀指示器	206
第五节 锅炉的吹灰装置	209
第十章 锅炉通风设备	212
第一节 锅炉通风的一般概念	212
第二节 自然通风	213
第三节 机械通风	214
第十一章 除尘及除灰设备	224
第一节 除尘器	224
第二节 除灰设备	230
附表 常见应废除的计量单位及其与法定计量单位 的换算	238

第一章 锅炉设备概述

第一节 电厂锅炉的作用、组成及工作过程

一、电厂锅炉的作用及地位

火力发电厂的生产过程是把燃料的化学能转变为电能。整个生产过程具有三个阶段：第一阶段是在锅炉中将燃料的化学能转变为热能；第二阶段是在汽轮机中将热能转变为机械能；第三阶段是通过发电机把机械能转变为电能。由此可知，这个生产过程主要是由发电厂的三大设备即锅炉、汽轮机和发电机来实现的。

锅炉是火力发电厂的三大主要设备之一。锅炉的作用是使燃料燃烧放热，并将水变成具有一定压力和温度的蒸汽。锅炉在火力发电厂中相当重要。从安全性方面来看：如果锅炉在运行中发生故障，必将直接影响发电，甚至造成发电厂停电事故。从经济性方面来看：锅炉运行好坏，对节约燃料，降低发电成本影响很大。因此，要提高发电厂安全经济性，就必须提高锅炉安全经济性。

从事火力发电厂锅炉工作的人员，应认识到自己工作的重要性，树立高度的工作责任感，努力学习专业理论，不断提高技术水平，搞好本职工作，保证安全经济发电，为四化建设做出应有的贡献。

二、电厂锅炉设备的组成及工作过程

现代火力发电厂的锅炉是一个庞大而又复杂的设备，它

是由锅炉本体及一系列辅助设备和附件所组成，如图 1-1 所示。

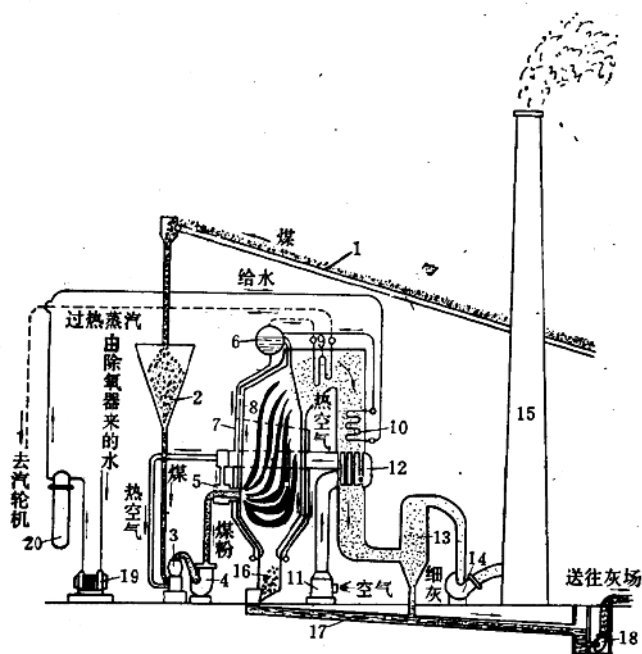


图 1-1 电厂锅炉设备简图（煤粉炉）

1—输煤皮带；2—煤斗；3—磨煤机；4—排粉风机；5—燃烧器；6—汽包；7—下降管；8—水冷壁；9—过热器；10—省煤器；11—送风机；12—空气预热器；13—除尘器；14—引风机；15—烟囱；16—灰渣室；17—冲灰沟；18—灰渣泵；19—给水泵；20—高压加热器

锅炉本体是锅炉设备的主要部分，它由“锅”和“炉”两大部分组成。

“锅”包括省煤器和汽包、下降管、水冷壁等组成的蒸

发设备，以及过热器等组成的汽水系统。它的任务是使水吸热蒸发，最后变成具有一定参数的过热蒸汽。其过程是：锅炉的给水由给水泵升压送至锅炉的省煤器，在省煤器中吸收烟气的热量，使水的温度升高甚至达到汽包工作压力下的沸点；然后进入锅炉汽包，与其中原有的炉水混合，再由下降管（不受热）至炉内水冷壁；水在水冷壁中继续吸收高温烟气的热量，使部分水蒸发，形成汽水混合物向上流入汽包；经汽包内部的汽水分离装置，汽水混合物中的水绝大部分被分离出来，获得较干和较清洁的饱和蒸汽；饱和蒸汽进入锅炉的过热器，再进一步吸热成为具有一定压力和温度的过热蒸汽，供汽轮机用汽。

“炉”包括炉膛、烟道、燃烧器及空气预热器等组成的燃烧系统。它的任务是使燃料燃烧放热，产生高温的火焰和烟气。其工作过程是：送风机将空气送入空气预热器中吸收烟气的热量，使其变成具有一定温度的热空气；热空气分成两股，一股送给制粉系统用以干燥原煤和输送煤粉，称为一次风，另一股直接送往燃烧器，以保证煤粉迅速着火与燃烧，称为二次风；煤粉与热空气经燃烧器喷入炉膛燃烧放热，生成高温火焰和烟气；烟气在炉膛和烟道中流动时，依次将热量传递给水冷壁、过热器、省煤器和空气预热器等设备，烟气自身的温度也就逐渐降低到排烟温度，最后由引风机送入烟囱，排入大气。

煤粉燃烧以后的灰渣，绝大部分为细灰（称之为飞灰）随烟气流经锅炉的各受热面以后，由除尘器加以收集，以减少由烟囱排出的飞灰对环境的污染并减轻引风机的磨损。一小部分较大的灰渣则落入灰渣室。灰渣室的炉渣和除尘器收集的细灰可以综合利用或落入冲灰沟，经灰渣泵排至灰场。

由此可知，锅炉的工作过程可以看成是燃料在炉膛内燃烧放热生成高温烟气，通过热交换将热量不断地由烟气传给水和蒸汽的过程。

锅炉本体以外的给水泵、送风机、引风机、烟囱、除灰设备、除尘设备、制粉设备、输煤设备以及热工仪表自动装置（用于监视和调节锅炉的热工参数）均属于锅炉辅助设备。

为了保证锅炉安全经济运行，锅炉还装有安全阀、水位计、水位报警器、膨胀指示器及吹灰器等附件。

第二节 锅炉设备的基本特性

锅炉设备的基本特性主要是指容量、蒸汽参数和热效率以及金属耗率和耗电率。

一、锅炉容量 一般是指锅炉每小时的连续蒸发量，又称为额定容量或额定蒸发量。常用符号 D 表示，单位为吨/时。例如十万千瓦汽轮发电机组配用的锅炉容量为410吨/时。

二、蒸汽参数 一般是指过热器出口处的蒸汽压力和温度。蒸汽压力用符号 P 表示，单位为公斤/厘米²；蒸汽温度用符号 t 表示，单位为℃。例如十万千瓦汽轮发电机组配用的高压锅炉，其蒸汽压力为100公斤/厘米²（表压力），蒸汽温度为540℃。

三、锅炉热效率 锅炉热效率是指水和蒸汽吸收的全部热量占燃料在炉内完全燃烧所产生的热量的百分率，用符号 η_{gr} 表示。这是一个能说明锅炉运行热经济性的指标，将在第二章中专门予以分析讨论。目前，电厂锅炉的热效率达90%

以上。

四、锅炉的金属耗率及耗电率 金属耗率是指锅炉每吨蒸发量所耗用的金属材料的重量(吨),例如十二万五千千瓦汽轮发电机组配用的400吨/时锅炉的金属总重量为1132吨,其金属耗率为2.83(吨钢/吨汽)。耗电率则为生产一吨蒸汽所耗用的电量(千瓦·时/吨汽),锅炉耗电量主要是磨煤机、送风机、引风机、排粉风机和给水泵等各种辅助机械设备所消耗的电能。

锅炉不仅要求热效率高,而且也要求金属材料耗量低,运行时耗电量少,但是这三方面常是相互制约的。因此,衡量锅炉总的经济性应从这三方面综合考虑,切忌片面性。

第三节 锅炉的分类及型号

一、锅炉的分类

锅炉根据其工作条件、工作方式和结构型式不同,可有多重划分方式,现简要介绍如下:

- 1.按锅炉容量分 有小型、中型、大型锅炉。
- 2.按压力分 有低压、中压、高压、超高压、亚临界压力和超临界压力锅炉等。
- 3.按燃用燃料分 有燃煤炉、燃油炉、燃气炉等。
- 4.按燃烧方式分 有层燃炉、室燃炉(煤粉炉、燃油炉等)、旋风炉、沸腾炉等。
- 5.按水循环特性分 有自然循环汽包锅炉、强制循环汽包锅炉、直流锅炉、复合循环锅炉等。
- 6.按煤粉炉的排渣方式分 有固态排渣煤粉炉、液态排渣煤粉炉。

上述各种分类分别说明某一方面的特征。为了全面的说明某一台锅炉的特征，常同时指明其容量、蒸汽压力、水循环特性以及燃料特性等。例如某台锅炉为410吨/时高压自然循环固态排渣煤粉炉。

二、国产锅炉的型号

锅炉型号反映了锅炉的某些基本特征。我国锅炉目前采用三组或四组字码表示其型号。

一般中、高压锅炉采用三组字码。例如HG-410/100-1型锅炉；型号中第一组字码是锅炉制造厂名称的汉语拼音缩写，HG表示哈尔滨锅炉厂（SG表示上海锅炉厂，WG表示武汉锅炉厂，DG表示东方锅炉厂，BG表示北京锅炉厂）；型号中第二组字码为一分数，分子表示锅炉容量（吨/时），分母表示过热蒸汽压力（公斤/厘米²，表压）；型号中第三组字码表示产品的设计序号，同一锅炉容量和蒸汽参数的锅炉其序号可能不同，序号数字小的是先设计的，序号数字大的是后设计的，不同设计序号可以反映在结构上的某些差别或改进。例如HG-410/100-1型与HG-410/100-2型锅炉的主要区别是1型为固态排渣，空气预热器为管式，采用两段分段蒸发等；2型为液态排渣，空气预热器为回转式，采用无分段蒸发等。因此，前述HG-410/100-1型锅炉即表示哈尔滨锅炉厂制造，容量为410吨/时，过热蒸汽压力为100公斤/厘米²（表压），第一次设计制造的锅炉。

超高压以上的锅炉均装有中间再热器，故采用四组字码表示，即在上述型号的二、三组字码间又加了一组字码，也写成分数形式，其分子表示过热蒸汽温度，分母表示再热蒸汽温度。例如SG-400/140-555/555-1型锅炉即表示上海锅炉厂制造，容量400吨/时，过热蒸汽压力140公斤/厘米²，

过热蒸汽温度555℃，再热蒸汽温度555℃，第一次设计的锅炉。

我国锅炉生产系列的容量和参数如表1-1。

表 1-1 我国高压以上锅炉生产系列

蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压力 (公斤/厘米 ² , 表压)	过热蒸汽温度 (°C)	配汽轮发电机容量 (千瓦)
220	190(高压)	540	50000
410	190(高压)	540	100000
400	140(超高压)	555/555	125000
670	140(超高压)	540/540	200000
1000	170(亚临界压力)	555/555	300000

复 习 思 考 题

1. 火力发电厂的生产过程需经历哪几个阶段?
2. 锅炉在发电厂中的作用和地位是什么?
3. 锅炉本体是由哪些主要设备组成? 锅炉的主要辅助设备及其附件都有哪些? 锅炉设备是怎样进行工作的?
4. 何谓锅炉容量、蒸汽参数、锅炉热效率、金属耗率及电耗率?
5. 我国锅炉型号中的各组字码都表示什么意义? 写出你厂锅炉型号并说明其含义。

第二章 燃料、燃烧及锅炉热平衡

第一节 锅 炉 燃 料

燃料是指用来燃烧以取得热量的物质。

燃料是锅炉的粮食。锅炉工作的安全性、经济性均与燃料的性质有密切的关系。所以，了解燃料的组成、性质及分类对指导锅炉运行、检修及设计有很大的意义。

燃料按其物态可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料；按获得方法可分为天然燃料和人工燃料。主要燃料列于表2-1中。

表 2-1 燃 料 的 分 类

按获得方法分 按物态分	天然燃料	人 工 燃 料
固体燃料	木柴、煤、页岩	木炭、焦炭、煤粉等
液体燃料	石 油	汽油、煤油、柴油、重油、渣油等
气体燃料	天然气	高炉煤气、发生炉煤气、炼焦炉煤气、地下气化煤气等

上述燃料都是有机化合物，所以也称之为有机燃料，其用途不仅可以燃烧发热，同时也是冶金、化学、医药等工业的原料。例如，从煤、天然气、石油等燃料中可以制成染料、医药、化肥、塑料、人造橡胶、有机溶剂等多种化学产

品。为了使燃料做到物尽其用，一物多用，根据我国的能源政策，电力工业部门在选用燃料时应充分注意以下几点：

1. 尽可能不占用其它工业部门所必需的优质燃料。例如，炼焦用煤、机车用煤、国防、交通、民航等部门所需的石油产品以及宜做为化工、医药等方面原料的燃料。所以火力发电厂应当多用煤，少用油，不用原油，特别要多用劣质煤。所谓劣质煤，是指水分、灰分或硫分含量较多，发热量较低，在其它方面没有多大经济价值的煤。

2. 尽可能采用当地燃料。就地利用资源，向外输送电力，以减少运输负担，也可以促进各地区天然资源的发展。

3. 提高燃料的使用经济效果，节约能源。为此应尽可能提高电厂的经济性，并应对燃料及其燃烧后的产物进行综合利用。

4. 应尽量减少燃料燃烧产物对环境的污染。

由于煤是电厂的主要燃料，所以本节重点介绍煤的组成及性质。

一、煤

(一) 煤的组成成分及性质

要讨论煤的燃烧，首先要了解煤的组成成分。煤的成分分析有元素分析和工业分析两种。

1. 煤的元素分析

煤中的化学元素可达三十多种。一般把燃料中不可燃烧的矿物质成分统称为灰分。这样煤的元素分析成分包括七项：碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)、水分(W)和灰分(A)。其中碳、氢、硫是可燃成分，其余都是不可燃的。这些成分呈复杂的化合物存在于煤中。煤的各种成分的性质如下：

(1) 碳(C)

碳是煤中的主要可燃元素，其含量一般为40~85%。一公斤纯碳完全燃烧生成二氧化碳 CO_2 ，能放出约7850千卡热量。一公斤纯碳不完全燃烧生成一氧化碳 CO ，只能放出2214千卡热量。碳的燃烧特点是：不易着火，燃烧缓慢，火苗短。所以，一般含碳量越多的煤，在炉内着火和燃烧越困难。

(2) 氢(H)

氢是煤中发热量最高的元素，其含量约为3~6%。一公斤氢完全燃烧能放出34180千卡热量，同时生成水 H_2O 。但由于水还会吸热蒸发成水蒸汽，随烟气一起由烟囱排出，不能被利用，所以在锅炉中一公斤氢燃烧后实际能被利用的热量约为28780千卡。氢的燃烧特点是：极易着火，燃烧迅速，火苗长。因此，煤中氢的含量越多，越容易着火燃烧。

(3) 氧(O)

氧是煤中杂质。它的存在会使煤中的可燃元素含量相对减少。

(4) 氮(N)

氮也是煤中杂质，但其含量很少，一般仅有0.5~1.5%。

(5) 硫(S)

煤中的硫由有机硫(S_{yf})、黄铁矿中的硫(S_{it})和硫酸盐中的硫(S_{ly})三部分组成。前两种硫可以燃烧放热统称为可燃硫(S_R)，后一种硫不能燃烧而并入灰分中。一公斤可燃硫完全燃烧能放出2160千卡热量，同时生成二氧化硫 SO_2 。

硫虽能燃烧放出一些热量，但其燃烧产物是二氧化硫 SO_2 或三氧化硫 SO_3 气体，这种气体和水蒸汽结合在一起生

成亚硫酸或硫酸蒸汽，当烟气流经低温受热面时，硫酸蒸汽便在其上凝结成酸液，腐蚀锅炉受热面。此外，含有 SO_2 和 SO_3 的烟气对人和动植物都是有害的。因此煤中的硫是有害元素，当煤的含硫量在1.5%以上时，应当采取适当的措施以防止锅炉受热面腐蚀和大气的污染。

(6) 水分(W)

水分也是煤中杂质。煤中水分由表面水分和固有水分组成。表面水分也叫外在水分(W_{wz})，它是因雨露冰雪或在开采过程进入煤中的，依靠自然干燥可以除掉；固有水分也叫内在水分(W_{nz})，靠自然干燥不能除掉，必须把煤加热到102~105℃，并保持两小时后，才能除掉。

水分对锅炉工作的危害是：水分的存在会使煤中可燃元素的含量相对减少，而且当煤燃烧时，煤中的水在蒸发过程中还要吸收汽化热，所以水分会使煤的实际发热量降低；水分大的煤着火困难，燃烧过程延长，使锅炉炉温降低，增加不完全燃烧热损失和排烟热损失；水分存在会使燃烧生成的烟气体积增大，造成排烟热损失增加及引风机电耗增加；水分大还会给制粉系统的运行带来困难；此外，还会引起低温受热面的积灰和腐蚀。

(7) 灰分(A)

煤中的各种矿物质，在煤燃烧后形成灰分。灰分是煤中的主要杂质，它对锅炉工作的危害是：煤中灰分含量越大，则煤的发热量越低；灰分会阻碍可燃质与氧接触，影响燃尽；灰分易使受热面积灰、结渣，不仅影响传热，甚至妨碍锅炉正常工作；烟气中的飞灰还会引起设备的磨损，降低锅炉使用寿命；排除灰渣要带走一部分热量，造成热损失；随烟排出的飞灰会污染环境，为了减轻污染，就需要装设除尘设备，