



技工学校教材

锅炉设备及运行

重庆电力技工学校 主编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书的主要内容有：燃料、燃烧计算及热平衡、制粉系统、燃烧基本原理、自然循环原理、锅炉各主要设备的结构、直流炉的基本工作原理以及锅炉运行的基本知识等。

本书是技工学校电厂热动力设备运行与检修专业的专业课本教材，也可作为火力发电厂锅炉工人的培训教材和自学丛书。

技工学校教材

锅炉设备及运行

重庆电力技工学校主编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 21.25印张 481千字 1插页

1982年12月第一版 1982年12月北京第一次印刷

印数00001—24120册 定价1.75元

书号15036·4359

前 言

本书是技工学校电厂热能动力设备运行与检修专业的专业课教材。

全书分为锅炉结构原理和锅炉运行两篇，共十八章。内容以介绍国产高参数、大容量自然循环煤粉锅炉为主，着重阐述发电厂锅炉的结构和工作原理，以及锅炉的运行调节和启停的基本方法。对燃料、燃烧计算和热平衡等也作了必要的介绍。

本书由重庆电力技工学校曾纬西主编。由徐州电力技工学校王敬义（第十三至十八章），重庆电力技工学校刘良伦（第二、三章）、陈云鹏（第四章）、盛志麟（第五章）参编。

本书由大连电力技术学校李文艺主审。参加审稿的还有湖北省电业技工学校陈建中、河南省电力技工学校车宝庆、天津电力技工学校王玉琴、大连电力技术学校于临桔、牡丹江电力技术学校彭超、湖州电力技工学校周起霞、苏州电力技工学校殷宛坤和北京热电总厂俞国绥。

限于我们的水平，书中难免存在不妥或错误之处，欢迎读者指正。

编 者

1982年5月

目 录

前 言

绪 论	1
§ 0-1 电站锅炉的作用	1
§ 0-2 锅炉的组成及工作过程	3
§ 0-3 锅炉的主要特性参数	6
§ 0-4 锅炉的分类和型号	7
§ 0-5 电站锅炉的发展概况	8

第一篇 锅炉结构及原理

第一章 燃料	10
§ 1-1 概述	10
§ 1-2 煤	11
§ 1-3 燃油	20
§ 1-4 燃气	23
第二章 燃烧计算	23
§ 2-1 燃烧的化学反应	23
§ 2-2 燃烧的空气需要量	25
§ 2-3 烟气的组成及容积计算	26
§ 2-4 根据烟气分析数据计算过剩空气系数	30
§ 2-5 烟气焓的计算	32
第三章 锅炉热平衡	34
§ 3-1 概述及热平衡方程	34
§ 3-2 锅炉的输入热量	35
§ 3-3 机械不完全燃烧热损失	36
§ 3-4 化学不完全燃烧热损失	38
§ 3-5 排烟热损失	39
§ 3-6 散热损失	41
§ 3-7 炉渣物理热损失	42
§ 3-8 有效利用热、热效率及燃料消耗量	42
§ 3-9 热平衡计算实例	45
第四章 制粉系统	48
§ 4-1 概述	48
§ 4-2 煤粉的性质与品质	49
§ 4-3 磨煤机	52

§ 4-4 制粉系统·····	61
§ 4-5 制粉系统的其它部件·····	68
第五章 燃烧原理及燃烧设备 ·····	77
§ 5-1 燃料燃烧概述·····	78
§ 5-2 典型燃烧方式·····	80
§ 5-3 煤粉的燃烧过程及燃烧设备·····	81
§ 5-4 油的燃烧过程及燃烧设备·····	97
第六章 蒸发设备及自然水循环 ·····	106
§ 6-1 蒸发设备·····	106
§ 6-2 自然水循环的基本原理·····	120
§ 6-3 自然水循环的安全问题·····	125
第七章 蒸汽的净化 ·····	129
§ 7-1 概述·····	129
§ 7-2 蒸汽中杂质的来源·····	129
§ 7-3 提高蒸汽品质的途径·····	134
§ 7-4 汽包内部装置举例·····	145
第八章 过热器、再热器及调温设备 ·····	147
§ 8-1 概述·····	147
§ 8-2 过热器的结构·····	149
§ 8-3 再热器的结构及特点·····	156
§ 8-4 过热器与再热器的热偏差·····	160
§ 8-5 汽温调节设备·····	165
§ 8-6 过热器、再热器系统举例·····	174
第九章 省煤器与空气预热器 ·····	179
§ 9-1 省煤器·····	179
§ 9-2 空气预热器·····	185
§ 9-3 尾部受热面的布置·····	198
第十章 锅炉的构架、炉墙及附件 ·····	199
§ 10-1 锅炉构架·····	199
§ 10-2 锅炉炉墙·····	202
§ 10-3 锅炉附件·····	205
第十一章 强制循环锅炉的基本结构及工作原理 ·····	215
§ 11-1 概述·····	215
§ 11-2 直流锅炉·····	216
§ 11-3 多次强制循环锅炉简介·····	231
§ 11-4 复合循环锅炉简介·····	232
第十二章 典型锅炉介绍 ·····	235
§ 12-1 典型锅炉介绍·····	235
§ 12-2 现代电站锅炉的发展趋势·····	254

第二篇 锅 炉 运 行

第十三章 锅炉运行参数的调节	257
§ 13-1 概述	257
§ 13-2 汽压的控制和调节	257
§ 13-3 汽温的控制和调节	261
§ 13-4 汽包水位的控制和调节	266
§ 13-5 锅炉工况变动对参数调节的影响	269
第十四章 锅炉的燃烧调节	273
§ 14-1 概述	273
§ 14-2 燃料量与风量的调节	274
§ 14-3 喷燃器的调节和运行方式	278
§ 14-4 制粉系统的运行	281
§ 14-5 不同煤种的燃烧调节	285
第十五章 锅炉的启动和停炉	286
§ 15-1 概述	286
§ 15-2 单元制锅炉的启动	286
§ 15-3 母管制锅炉的启动	296
§ 15-4 锅炉停炉及停炉后的保养	298
第十六章 直流锅炉的运行简述	302
§ 16-1 直流锅炉的参数调节	302
§ 16-2 直流锅炉的启动	305
§ 16-3 直流锅炉的停炉	310
第十七章 锅炉的结渣、积灰、磨损和腐蚀	311
§ 17-1 锅炉的结渣	311
§ 17-2 受热面的积灰	313
§ 17-3 受热面的磨损	315
§ 17-4 受热面烟气侧的腐蚀	318
§ 17-5 液态排渣炉的析铁	322
第十八章 锅炉的事故	324
§ 18-1 水位事故	324
§ 18-2 燃烧事故	325
§ 18-3 汽水管损坏事故	327
§ 18-4 锅炉负荷骤减	329
§ 18-5 厂用电中断事故	330
§ 18-6 送、吸风机的故障	330
§ 18-7 制粉系统的故障	331

绪 论

§ 0-1 电 站 锅 炉 的 作 用

锅炉是利用燃料燃烧所放出的热量加热工质生产具有一定压力和温度的蒸汽的设备，也称为蒸汽锅炉。蒸汽锅炉按其用途的不同分为电站锅炉和工业锅炉。电站锅炉是指电力工业中专门用于生产电能的发电厂锅炉；用于国民经济其它工业部门的锅炉，常称为工业锅炉。

发电方式因所利用能源的不同，有火力发电、水力发电、地热发电、风力发电、太阳能发电以及原子能发电等多种。目前，世界上大多数国家包括我国在内，主要采用火力发电。火力发电厂是利用煤、石油和天然气等燃料的化学能来生产电能的发电厂。

锅炉在火力发电厂中的地位和作用，可以通过火力发电厂的生产过程来了解，如图 0-1 所示。燃料送入锅炉 1 中燃烧，产生的热量将水加热蒸发成饱和蒸汽，经进一步加热后使之成为具有一定压力和温度的过热蒸汽；过热蒸汽通过管道送至汽轮机 2 中膨胀做功，高速汽流冲动汽轮机的转子并带动发电机 3 的转子一起旋转，利用导体切割磁力线产生感应电流的原理而发出电能。蒸汽在汽轮机中作完功以后排入凝汽器 4，在其中被由循环水泵 11 送来的冷却水冷却而凝结成水；凝结水经凝结水泵 5 升压后流经低压加热器 6 加热再送至除氧器 7；在除氧器中利用从汽轮机（通过抽汽管 10）抽出的蒸汽再加热，提高水温并除去水中的氧（防止腐蚀金属），然后由给水泵 8 再升压并经过高压加热器 9 进一步提高水温后送回锅炉，再重复上述循环过程。在这一过程中蒸汽和水总会有一些损失，故需要补给一些经过化学处理的水或蒸馏水，补给水通常送入除氧器中。

火力发电厂的生产过程是一个能量转换的过程。这个能量转换过程是通过火力发电厂的三大主要设备即锅炉、汽轮机和发电机来实现的，亦即：在锅炉中，将燃料的化学能转换为蒸汽的热能；在汽轮机中，将蒸汽的热能转换为汽轮机转子的旋转机械能；在发电机中，将机械能转换为电能。

由上可知，锅炉是火力发电厂能量转换过程的首要环节，它在完成从燃料的化学能到蒸汽的热能的转换过程中，生产并根据需要供给汽轮机以相应数量和规定质量（汽压、汽温等）的过热蒸汽。

由于火力发电厂的能量转换过程是连续进行的，因而运行中锅炉设备一旦发生故障，必将影响到整个电能生产的正常进行；此外，由于锅炉运行耗用大量燃料，因而它工作的好坏对整个电厂的经济性关系极大。可见，锅炉在火力发电厂生产过程中占有十分重要的地位。

电能生产的一个特点是电能一般不能储存，发电厂的发电量要随着外界负荷的改变而变化，因而发电厂锅炉所产生的蒸汽量也必须根据外界的需要而经常变化，以保证及时输送相应数量和规定质量的蒸汽给汽轮机，满足用户的用电需要。

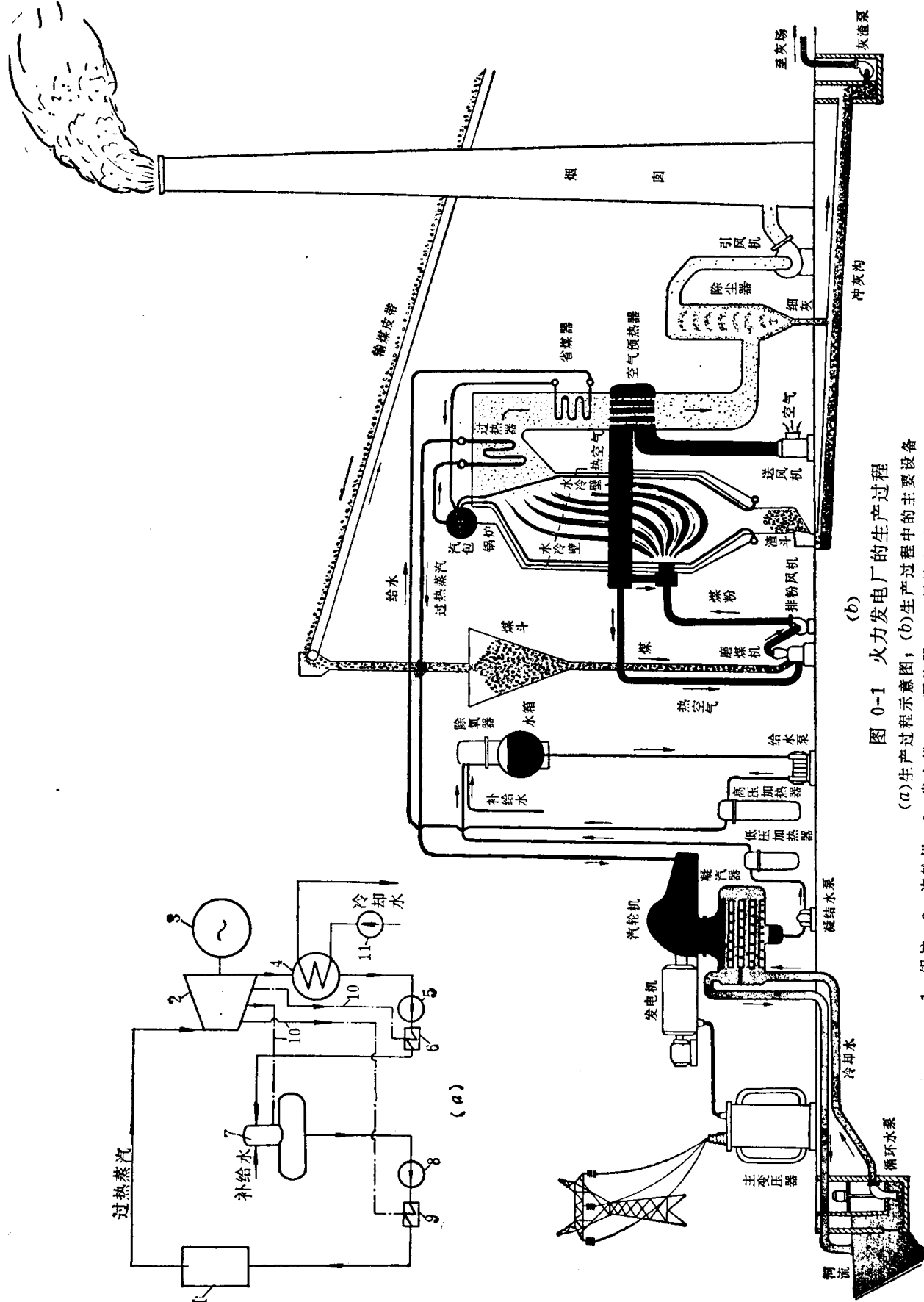


图 0-1 火力发电厂的生产过程

(a) 生产过程示意图; (b) 生产过程中的主要设备

1—锅炉, 2—汽轮机, 3—发电机, 4—凝汽器, 5—凝结水泵, 6—低压加热器, 7—除氧器, 8—给水泵, 9—高压加热器, 10—汽轮机抽汽管, 11—循环水泵

此外，电站锅炉与工业锅炉比较，它还具有如下明显的特点：

(1) 电站锅炉容量较大。目前国产电站锅炉的蒸汽产量一般在220~670吨/时，最大已达1000吨/时。而工业锅炉的蒸汽产量目前一般在30吨/时以下。

(2) 电站锅炉蒸汽参数(汽压、汽温)较高，并且都是采用过热蒸汽。我国电站锅炉的蒸汽压力目前多为100~170公斤/厘米²，蒸汽温度都在450℃以上，大多采用540℃或555℃(还有高达570℃的)。而工业锅炉的蒸汽压力目前一般在25公斤/厘米²以下(常用13公斤/厘米²和8公斤/厘米²)，蒸汽温度一般在400℃以下，并且有的是采用饱和蒸汽。

(3) 电站锅炉大多采用悬浮燃烧方式，锅炉效率较高，一般多在90%以上。而工业锅炉目前大多采用层状燃烧或沸腾燃烧方式，锅炉效率较低，一般为60~80%。

(4) 电站锅炉机械化和自动化程度较高，因而适应负荷变化的能力较强。而工业锅炉目前还处在半机械化向机械化发展的过程中。

§ 0-2 锅炉的组成及工作过程

锅炉设备包括锅炉本体设备和锅炉辅助设备两部分。两部分所包括的主要部件或设备见表0-1所列。它们在锅炉中的位置参见图0-2(该图系燃烧煤粉的SG-400/140-555/555-1型超高压中间再热汽包锅炉)。现将锅炉各主要部件或设备的作用简述如下。

表 0-1 锅 炉 设 备 的 组 成

组 成 部 分 的 名 称	部 件 或 设 备
一、锅炉本体设备	1.汽水系统：包括汽包、下降管、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、联箱等 2.燃烧系统：包括燃烧室、喷燃器、空气预热器等 3.炉墙和构架
二、锅炉辅助设备	1.通风设备：包括送风机、引风机等 2.燃料运输设备 3.制粉设备：包括给煤机、磨煤机、排粉机等 4.给水设备 5.除尘除灰设备 6.锅炉附件：包括水位计、安全门、吹灰器、热工仪表和自动控制装置等

一、锅炉本体设备

1.汽水系统

汽水系统即所谓“锅”，它的任务是吸收燃料燃烧放出的热量，使水蒸发并最后成为规定压力和温度的过热蒸汽。它由汽包、下降管、联箱、水冷壁、过热器、再热器、省煤器等组成。

(1) 汽包 装在锅炉的顶部，是一个圆筒形的受压容器，其下部是水，上部是蒸汽，它接受省煤器的来水。汽包与下降管、水冷壁、联箱共同组成水循环回路，并将水冷壁中产生的饱和蒸汽供给过热器。

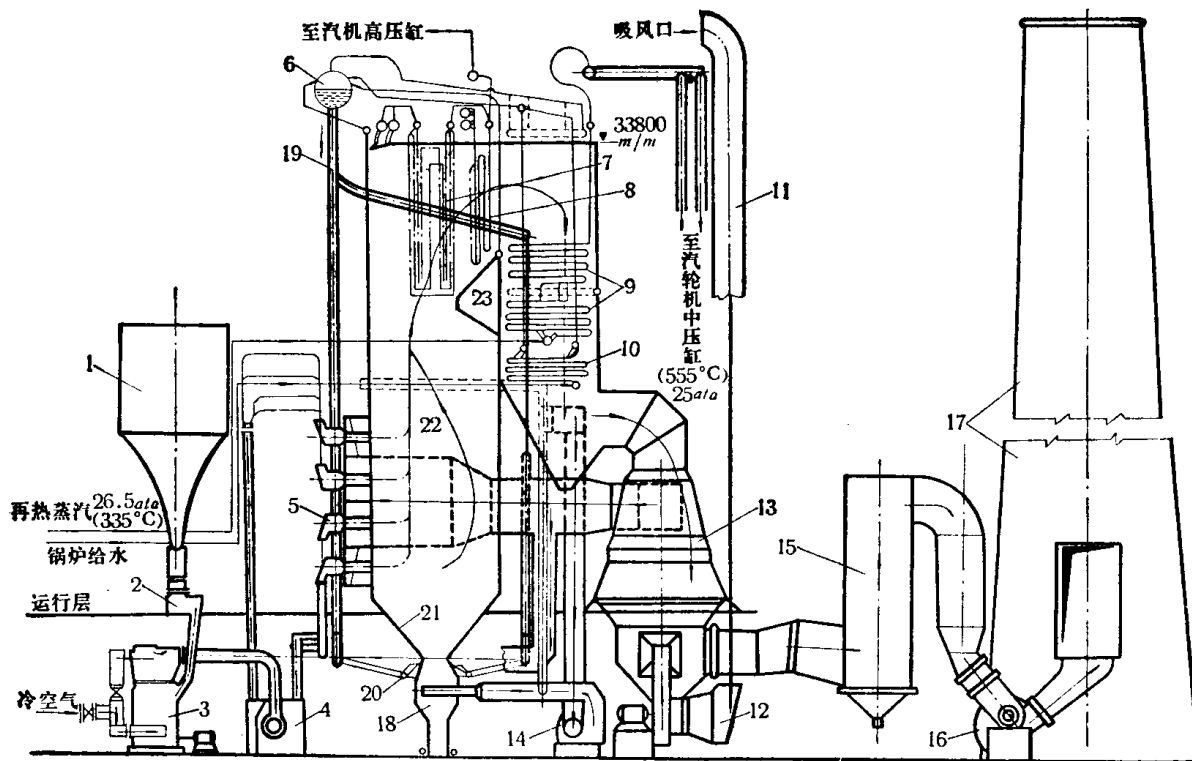


图 0-2 超高压400吨/时自然循环锅炉

1—煤斗；2—给煤机；3—磨煤机；4—排粉机；5—喷燃器；6—汽包；7—屏式过热器；8—对流过热器；9—再热器；10—省煤器；11—送风机的进风道；12—送风机；13—空气预热器；14—烟气再循环风机；15—除尘器；16—引风机；17—烟囱；18—灰渣斗；19—下降管；20—水冷壁下联箱；21—冷灰斗部分水冷壁；22—燃烧室；23—折焰角

(2) 下降管 它是水冷壁的供水管，即汽包中的水流入下降管并通过水冷壁下联箱均匀地分配到水冷壁的各上升管中去。

(3) 水冷壁 是布置在燃烧室内四周墙上的许多平行的管子。它的主要任务是吸收燃烧室中的辐射热，使管内的水汽化，蒸汽就是在水冷壁管中产生的，它是现代锅炉的主要蒸发受热面。此外，它还起保护炉墙的作用。

(4) 过热器 它的作用是利用烟气的热量将饱和蒸汽加热成一定温度的过热蒸汽。

(5) 再热器 装在过热器后的烟道中。它的作用是将汽轮机中作过部分功的蒸汽引回锅炉再次进行加热，提高温度后，又送往汽轮机中继续作功。经过再热器加热后的蒸汽称为再热蒸汽。

(6) 省煤器 装在锅炉尾部的垂直烟道中。它是利用烟气的热量来加热给水，以提高给水温度，降低排烟温度，节省燃煤。

2. 燃烧系统

燃烧系统即所谓“炉”，它的任务是使燃料在炉内良好地燃烧，放出热量。它由燃烧室、喷燃器、空气预热器等组成。

(1) 燃烧室 也叫炉膛。它是由炉墙和水冷壁围成的空间，是供燃料燃烧的地方。燃料在这种特定的空间中呈悬浮状态燃烧。

(2) 喷燃器 装在燃烧室的墙上。它的作用是把燃料和空气以一定的速度喷入燃烧

室，使燃料和空气进入燃烧室后能进行良好的混合，并使燃料达到迅速完全地燃烧。

(3) 空气预热器 它布置在锅炉尾部烟道中。其作用是利用烟气余热来加热空气。空气经过预热后再送入炉膛和制粉设备系统，对于燃烧、干燥和输送煤粉都是有利的。

3. 炉墙和构架

炉墙是用来构成封闭的燃烧室和一定形状的烟道，以使火焰和烟气与外界隔绝，为锅炉传热过程的正常进行提供必要的条件。锅炉构架的作用是支承或悬吊汽包、锅炉受热面、炉墙等全部锅炉构件。

二、锅炉辅助设备

锅炉除上述本体设备以外，还需要一些辅助设备来配合工作，才能保证锅炉生产过程的正常进行。主要的辅助设备有：通风设备、燃料运输设备、制粉设备、给水设备、除尘除灰设备以及一些锅炉附件。

1. 通风设备

通风设备是用以供给燃料燃烧和制粉所需要的空气以及排出燃料燃烧后所生成的烟气。它包括送风机、引风机、风道、烟道、烟囱等。

2. 燃料运输设备

燃料运输设备的作用是将燃料从电厂内的燃料储存场输送至锅炉房。在现代电厂中，燃料运输设备由专门的燃运车间来进行管理。

3. 制粉设备

制粉设备即制造煤粉的设备。它的任务是将原煤干燥、磨碎成一定细度的煤粉，并送入炉膛中燃烧。制粉设备一般由煤斗、给煤机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉机等设备组成。但不同的制粉系统所包括的具体设备及其型式则不同。

4. 给水设备

给水设备的任务是向锅炉供应给水。它由给水泵、给水管道和阀门等组成。由于给水泵装在汽轮机房内，故在发电厂中通常将给水泵及一部分给水管道划归汽轮机车间管理。

5. 除尘除灰设备

除尘设备（除尘器）的作用是清除烟气中携带的飞灰，尽量减少随烟气从烟囱排出的飞灰量，以减轻飞灰对环境的污染和对引风机的磨损。除灰设备是用来清除燃料燃烧后从燃烧室落下的灰渣和由除尘器分离出来的细灰，并将其送往储灰场。现代发电厂大多采用水力除灰。

6. 锅炉附件

锅炉附件包括直接装在汽包上的水位计，安全门，吹灰器，热工仪表，自动控制装置，以及一些汽水管道和阀门等。

水位计是用来监视汽包水位高低的。安全门是锅炉的一种保护设备，用以控制锅炉蒸汽压力使之不致过高。吹灰器的作用是清除水冷壁、过热器、再热器、省煤器和空气预热器等锅炉受热面外部的积灰，以增强传热效果。热工仪表是反应锅炉工作情况的表计。自动控制装置是用来自动控制和调节锅炉运行情况的。热工仪表和自动控制装置在发电厂中由专门的热工车间来维修和管理。

现参照图0-2来说明锅炉的工作过程。

煤斗 1 中的煤通过给煤机 2 送入磨煤机 3，在磨煤机中对煤进行干燥（利用从空气预热器引来的热空气进行干燥）和磨碎，磨制成的煤粉由排粉机 4 抽出送至喷燃器 5。

空气由进风道 11 进入送风机 12，经过送风机升压后送入空气预热器 13，被加热成热空气，然后通过热风道将其一部分送至磨煤机，进入制粉系统用以干燥和输送煤粉，另一部分热空气直接送至喷燃器。

煤粉与空气一道通过喷燃器喷入燃烧室 22，进行燃烧放热，燃烧产生的高温火焰和烟气，先在燃烧室内加热水冷壁中的水，然后高温烟气依次流过屏式过热器 7、对流过热器 8、再热器 9、省煤器 10 和空气预热器 13，加热这些受热面中的工质（汽、水和空气）。在传热过程中烟气的温度逐渐降低。此后利用除尘器 15 清除烟气中携带的大部分飞灰，最后由引风机 16 将烟气送入烟囱 17 排向大气。

燃料燃烧后生成的灰渣，一部分（较粗的灰渣）落入燃烧室下部的灰渣斗 18 中，另一部分（较细的飞灰）被烟气带走，在除尘器中大部分被分离出来，落入其下部的飞灰斗中。然后由除灰装置将灰渣和细灰送往储灰场。

给水由给水泵送到锅炉房来，先引入省煤器 10，在其中被加热提高温度后，送进汽包 6，然后水沿着下降管 19 流至水冷壁下联箱 20，再进入水冷壁 21，在水冷壁管内水吸收燃烧室中高温火焰和烟气的辐射热，一部分汽化为蒸汽，使水冷壁管内的工质变成蒸汽与水的混合物，汽水混合物沿水冷壁上升又送回汽包。在汽包中利用汽水分离设备对汽水混合物进行汽水分离，分离出来的水又沿着下降管进入水冷壁中继续吸热，如此循环；分离出来的蒸汽则从汽包顶部的饱和蒸汽引出管引至过热器。在过热器中饱和蒸汽被加热提高温度成为过热蒸汽，然后经主蒸汽管道送往汽轮机做功。对于具有再热器的中间再热锅炉，过热蒸汽在汽轮机的高压缸中做功以后（汽压、汽温均降低），又将其引回锅炉的再热器 9，再次进行加热，提高温度后成为高温再热蒸汽，然后再送往汽轮机的中、低压缸继续做功。

§ 0-3 锅炉的主要特性参数

锅炉的主要特性参数有锅炉容量、锅炉蒸汽参数和锅炉效率等，它是用以说明锅炉基本特性的数据。

1. 锅炉容量

锅炉每小时所产生的蒸汽量称为锅炉蒸发量。锅炉在正常、经济运行条件下的最大连续蒸发量叫做锅炉容量，也称为额定（设计）蒸发量或额定出力。用符号 D_e 表示，单位是吨/时。

锅炉容量是说明锅炉生产能力大小的特性数据。

2. 锅炉蒸汽参数

锅炉蒸汽参数一般是指锅炉过热器出口处过热蒸汽（也称主蒸汽或新蒸汽）的压力和温度。蒸汽压力用符号 p 表示，单位是公斤/厘米²；蒸汽温度用符号 t 表示，单位是℃。

对于中间再热锅炉，则还包括再热蒸汽的压力和温度，即再热器出口再热蒸汽的压力和温度；一般还同时说明再热器进口的蒸汽压力和温度。

锅炉蒸汽参数是说明锅炉的产品规范的特性数据。

3. 锅炉效率

锅炉效率（锅炉热效率）是指锅炉输出的热量占输入锅炉的热量的百分数，用符号 η 表示。

锅炉的很多辅助设备在运行中要消耗能量（电能或热能），在锅炉的输出热量中扣除锅炉辅助设备自用能量折算成的热量之后所得出的效率，称为锅炉的净效率。

锅炉效率是说明锅炉运行经济性的特性数据。

§ 0-4 锅炉的分类和型号

锅炉的分类方法很多，根据我国目前电站锅炉的实际情况，按常用的分类方法可将锅炉分成表0-2所列的各种类型。

表 0-2 锅 炉 的 分 类

分 类 方 法	锅 炉 类 型
1. 按燃烧方式分	室燃炉；层燃炉；旋风炉；沸腾炉
2. 按燃用的燃料分	燃煤炉；燃油炉；燃气炉
3. 按工质的流动特性分	自然循环锅炉；强制循环锅炉（直流锅炉、多次强制循环锅炉、复合循环锅炉）
4. 按锅炉容量分	小容量（小型）锅炉（ $D_e < 220$ 吨/时）；中容量（中型）锅炉（ $D_e = 220 \sim 410$ 吨/时）；大容量（大型）锅炉（ $D_e \geq 670$ 吨/时）
5. 按锅炉蒸汽参数分	低压锅炉（ $P \leq 13$ 公斤/厘米 ² ）；中压锅炉（ $P = 25 \sim 39$ 公斤/厘米 ² ）；高压锅炉（ $P = 100$ 公斤/厘米 ² ）；超高压锅炉（ $P = 140$ 公斤/厘米 ² ）；亚临界压力锅炉（ $P = 170$ 公斤/厘米 ² ）；超临界压力锅炉（ $P \geq 225$ 公斤/厘米 ² ）
6. 按燃煤炉的排渣方式分	固态排渣炉；液态排渣炉

在表示锅炉类型时，一般只要说明其容量、蒸汽参数、工质流动特性、使用的燃料等即可，必要时再另加其它说明。

目前我国生产的主要电站锅炉的类型，及其容量和参数列于表0-3中。

我国电站锅炉的型号，目前采用三组字码表示，如HG-410/100-1型锅炉。型号中第一组字码是锅炉制造厂厂名的汉语拼音缩写，HG表示哈尔滨锅炉厂，SG表示上海锅炉厂，DG表示东方锅炉厂，WG表示武汉锅炉厂，BG表示北京锅炉厂等；第二组分数形式的字码表示锅炉容量（分子）和蒸汽压力（分母）；第三组字码表示产品的生产设计序号。HG-410/100-1型锅炉即表示是哈尔滨锅炉厂生产的，容量为410吨/时，过热蒸汽压力为100公斤/厘米²（表压力）的锅炉的第一次设计。

对于有再热器的中间再热锅炉的型号，则用四组字码表示，即在第二组与第三组字码之间再增加一组字码，也写成分数形式，用来表示过热蒸汽温度（分子）和再热蒸汽温度（分母）。例如SG-400/140-555/555-2型锅炉，即表示是上海锅炉厂生产的，容量为400

表 0-3

目前国产主要电站锅炉的容量和参数

容 量 (吨/时)	蒸汽压力 (公斤/厘米 ²)	过热/再热 蒸汽温度 (°C)	给水温度 (°C)	配用汽轮 发电机功率 (万千瓦)	锅 炉 类 型
35	39	450	150	0.6	中压自然循环室燃煤粉炉或层燃炉
65			150	1.2	中压自然循环层燃炉
75			150	1.2	中压自然循环室燃煤粉炉
120			170	2.5	中压自然循环室燃煤粉炉
130			170	2.5	中压自然循环室燃煤粉炉
220	100	540	215	5	高压自然循环锅炉, 燃用煤粉或渣油
230		510		5	高压自然循环锅炉, 燃用煤粉或渣油
410		540		10	高压自然循环锅炉, 燃用煤粉
400	140	555/555	240	12.5	超高压自然循环锅炉或直流锅炉, 燃煤或燃油或煤油两用, 有再热器
670		540/540		20	超高压自然循环锅炉, 燃煤或燃油, 室燃炉或旋风炉, 有再热器
935	170	570/570	260	30	亚临界压力直流锅炉, 燃煤, 有再热器
1000		555/555	265		亚临界压力直流锅炉, 燃煤或燃油, 有再热器

吨/时, 过热蒸汽压力为140公斤/厘米², 过热蒸汽温度为555°C, 再热蒸汽温度为555°C的锅炉的第二次设计。

关于产品的生产设计序号, 一般是按设计的先后次序来编号的。对于同一制造厂的产品, 当锅炉的主要特性参数相同而设计序号不同时, 它们仍基本上属于同一种类型的锅炉, 只是在新的设计中在结构等方面进行了某些改动。例如 HG-670/140-540/540-1型和 HG-670/140-540/540-2型锅炉, 它们的容量和蒸汽参数等都相同, 所不同的是: ①在燃烧方式上, 1型为一般室燃炉, 2型为立式旋风炉; ②在汽包内部装置上, 1型为两段蒸发, 2型为一段蒸发; ③在再热汽温的调节方法上, 1型采用汽-汽热交换器, 2型则采用烟气再循环作为主要的调温手段等。

§ 0-5 电站锅炉的发展概况

解放前的旧中国, 整个工业水平非常落后, 电站锅炉制造业是一个空白点, 为数很少的发电厂锅炉, 完全依赖从国外进口, 并且容量很小, 设备陈旧不堪, 事故很多, 效率也非常低。到解放前夕全国发电设备装机总容量只有149万千瓦, 当时最大的上海杨树浦发电厂, 有三十一台破旧锅炉, 总的发电能力还不到10万千瓦。

新中国成立以后, 电力工业得到了迅速的发展, 发电量和装机容量较解放前有几十倍的增长, 先后建立了哈尔滨、上海、东方、武汉等几个大型的电站锅炉制造厂。于1955年开始生产40吨/时中压锅炉(配用6000千瓦汽轮发电机组), 1958年就自行设计制造出了我国第一台230吨/时高压锅炉(配用5万千瓦汽轮发电机组), 1969年以后相继制造出了

410吨/时、400吨/时、670吨/时、1000吨/时等高压、超高压、亚临界压力锅炉（分别配用10万千瓦、12.5万千瓦、20万千瓦、30万千瓦汽轮发电机组），并逐渐形成了我国自己的电站锅炉生产系列。目前更大容量的电站锅炉也已在设计制造中。

随着现代高参数大容量锅炉的成批投入生产，我国电站锅炉的运行水平也迅速提高，事故逐年减少，锅炉效率基本上都能达到设计要求，平均煤耗比解放前降低了一半多，机械化、自动化程度也在不断提高。当然，与世界先进水平相比，目前我们还有很大的差距。

当前，电站锅炉仍明显地向着大容量高参数方向发展。在工业发达国家中，多年来已普遍采用1000~2000吨/时的锅炉，4000吨/时级的锅炉也已有多台投入运行。例如美国自1972年以来，已有5台4200吨/时和4400吨/时级的超临界压力锅炉（配130万千瓦和138万千瓦机组）投产运行；日本1974年就已有3180吨/时的超临界压力锅炉（配100万千瓦机组）投入运行；苏联1978年就已有3800吨/时的超临界压力直流锅炉（配120万千瓦机组）投入运行。锅炉的蒸汽参数，目前亚临界压力和超临界压力的采用都相当广泛（但后者经济效益并不显著），蒸汽温度从金属的耐温条件来考虑多数限制在540℃以内。如英、法等国目前60万千瓦容量级的机组所配锅炉主要采用亚临界压力为169~193大气压，过热和再热蒸汽温度为525~540℃。锅炉使用的燃料，各国仍以煤和油为主，前些年因油价低廉，燃油锅炉不断增多，但近些年因油价飞涨，燃煤锅炉的比例又有所增加。在锅炉水循环方式上，采用自然循环锅炉或直流锅炉仍占多数，但近些年来复合循环锅炉的应用逐渐增多。

第一篇 锅炉结构及原理

第一章 燃 料

§ 1-1 概 述

燃料是指可以燃烧并能放出热量的物质。

燃料是火力发电厂的能源。在火力发电厂中，必须不间断地将燃料送入锅炉的炉膛，燃烧放热，才能保证生产过程的连续进行。锅炉和整个发电厂工作的安全性、经济性，以及燃烧设备的选用等都与燃料有密切的关系。因此，了解燃料的组成和特性是十分重要的。

燃料的种类很多，按其物理形态及获得方法分类见表1-1所列。

表 1-1 燃 料 的 种 类

种 类	天 然 燃 料	人 工 燃 料
固 体 燃 料	煤、页岩、木材	煤粉、焦炭、木炭等
液 体 燃 料	石 油	汽油、重油、柴油、煤油等
气 体 燃 料	天 然 煤 气	高炉煤气、发生炉煤气、焦炉煤气、地下气化煤气等

燃料不仅用来燃烧产生热量，而且也是化学等工业的重要原料，例如用煤、天然煤气、石油等可以制造出染料、药品、化肥、塑料、人造橡胶等化工产品。有些工业部门对燃料的特性还有一定的要求，如冶金工业对炼焦用煤要求具有良好的焦结性及含硫量要少等。如果把其它工业需要的优质燃料用作火力发电厂的动力燃料，则只能取其热量，而不能做到物尽其用。因此，合理地使用燃料，对发展国民经济具有重要的意义。

发电厂锅炉是耗用大量燃料的动力设备。根据以上所述，火力发电厂锅炉对燃料的利用原则主要有以下几点：一是尽量不用其它工业部门所必需的优质燃料，并通过技术经济比较尽量利用劣质燃料（含杂质较多，燃烧比较困难，在其它方面没有多大经济价值的燃料），以保证国家的燃料资源得到充分合理地利用；二是尽量利用当地燃料，以减轻运输负担，促进各地区天然资源的开发利用。此外，根据国家当前的能源政策，火力发电厂锅炉应少用油，并且不用原油（石油）和天然煤气，而主要用煤。

现在我国燃油锅炉为数不多，且一般都是燃用石油经炼制后的残余物，如重油、渣油等。燃气锅炉的数量也很少，且主要是燃用冶金企业的副产品，如高炉煤气、焦炉煤气等。目前我国火力发电厂主要是燃煤锅炉，即主要燃料是煤，因此本章以介绍煤为主。

§ 1-2 煤

一、煤的组成及其性质

煤的组成及各种成分的性质，可按元素分析和工业分析两种方法来进行研究。

1. 煤的元素分析成分

煤的元素分析成分即煤的化学组成成分。

煤的化学组成成分包括碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)五种元素，以及水分(W)和灰分(A)。其中碳、氢、硫(指挥发硫)是可燃的，其余都是不可燃的。这些成分在煤中并不是呈机械的混合物，而是呈复杂的化合物。

煤的各种成分的性质如下：

(1) 碳 碳是煤的最基本的组成成分，它是主要的可燃元素，其含量为40~90%。故煤的含碳量的多少基本上决定了煤的发热量的大小。一公斤碳完全燃烧时能放出7850大卡的热量。煤中的碳一部分与氢、氮、硫等结合成挥发性的化合物；另一部分则呈游离状态，称为固定碳。碳不易着火，须在较高的温度下才能燃烧，且燃烧缓慢，火焰短。故煤的碳化程度越深即含碳量越多，则着火和燃烧就越困难。

(2) 氢 氢极易着火、燃烧，且燃烧迅速。一公斤氢完全燃烧生成水蒸汽时实际能放出约28600大卡的热量，氢是煤的各种成分中单位发热量最高的元素，但其含量不多，一般为3~6%。煤中的氢一部分与氧结合成稳定的化合物，不能燃烧；另一部分则存在于有机物(如氢与碳组成的化合物)中，加热时挥发出来，能够燃烧放出热量。

(3) 氧 氧是煤中的杂质，它不能燃烧放热。煤中的氧有两部分：一部分是游离氧(自由氧)，它能助燃；另一部分与碳、氢以化合物的状态存在，不能助燃，当这部分氧多时，表示与它化合而不能燃烧的碳、氢也多，这将使煤的发热量降低。

(4) 氮 氮也是煤中的杂质，它既不能燃烧，也不能起助燃作用。由于其含量很少，一般仅为0.5~2%，故对锅炉工作无关紧要。然而在燃烧过程中氮或多或少的要转化为氧化氮(NO_x)，会污染大气。

(5) 硫 煤中的硫包括三种形态，即有机硫(S_{oj})、黄铁矿硫(S_{ht})或称硫化铁硫(S_{it})、硫酸盐硫(S_{iy})。前两种硫能挥发燃烧，称为可燃硫(S_R)或挥发硫，后一种硫不能燃烧，一般将其归并入灰分。

可燃硫虽然可以燃烧放出一些热量(约2160大卡/公斤)，但其燃烧产物二氧化硫(SO_2)或三氧化硫(SO_3)能与烟气中凝结的水蒸汽化合生成亚硫酸(H_2SO_3)或硫酸(H_2SO_4)，对锅炉受热面金属有腐蚀作用。此外含有氧化硫的烟气对人体和动植物都是有害的。所以煤中的硫是一种有害元素。

一般煤的含硫量大多在2%以下，但个别情况也有达7~8%的。含硫量在1.5%以上时，应设法予先去除或采取适当措施，以防锅炉受热面被腐蚀和污染大气。

(6) 水分 水分是煤中的杂质，也是一种有害的成分。由于它的存在，不仅使煤中的可燃元素含量相对减少，而且煤燃烧时水分蒸发还要吸收热量，使煤的实际发热量降