



350MW超临界压力空冷供热机组技术丛书

锅炉设备及运行

宁夏电力公司教育培训中心 编
国电电力武威发电有限公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



350MW超临界压力空冷供热机组

锅炉设备及运行

宁夏电力公司教育培训中心 编
国电电力武威发电有限公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书本着简化专业理论、面向现场实际的宗旨,深入浅出地介绍了350MW超临界压力锅炉及其辅机的结构组成、工作原理、系统流程、运行事项。主要内容有锅炉本体设备及系统、煤质组成及其主要特性、制粉系统及设备、燃烧系统及设备、风烟系统及设备、除灰渣系统及设备、脱硫脱硝系统及设备、输煤系统及设备、锅炉常用阀门及超临界压力锅炉运行调节等内容。在叙述风格上力求语言简练、通俗易懂。书中配有大量插图,帮助读者理解所学内容。

本书可作为电力行业从事锅炉设备运行、检修岗位的工程技术人员的参考书,也可作为发电厂生产人员的培训教材,还可供相关专业技术人员及高等院校、高职高专师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉设备及运行/宁夏电力公司教育培训中心,国电电力武威发电有限公司编. —北京:中国电力出版社,2013.6

(350MW超临界压力空冷供热机组技术丛书)

ISBN 978-7-5123-4375-7

I. ①锅… II. ①宁… ②国… III. ①火电厂—锅炉运行
IV. ①TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第086223号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年6月第一版 2013年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16.25印张 380千字

印数 0001—2000册 定价 40.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

编 委 会

主 任 唐 平 张彦祥

副主任 白能武 王波海 郑超英 王 亮
朱学兵

成 员 张莉君 尹正伏 曹中枢 杨新勇
姜纪宁 冯晓峰

编 写 组

组 长 张梅有 于献宇

副组长 马全福 武丽萍 徐 伶

成 员 杨慧丽 李学智 尚文科 王 潇
黄文东 王国彬 白如斌 郑朝宁
夏朝湘 焦晓东 陈 林 田继春
张天文 杨志华

前言

进入 21 世纪,随着国民经济的飞速发展,工农业生产和人民生活水平的提高及城镇化进程的加快,我国城市民用及工业用热量不断增加,兼顾到供热及机组设备利用率的平衡,超临界及超超临界压力火力发电机组已成为我国电力建设的发展趋势,350MW 超临界压力机组已成为我国供热的主力机组。因此有关工程技术人员及机组运行维护人员亟须了解和掌握超临界压力空冷供热机组的结构、系统和运行知识。为了满足火力发电机组运行维护的需要,编写了这套《350MW 超临界压力空冷供热机组技术丛书》。

本套丛书包括《锅炉设备及运行》、《汽轮机设备及运行》、《电气设备及运行》、《电厂化学设备及运行》、《热工控制》五个分册,由宁夏电力公司教育培训中心和国电电力武威发电有限公司组织编写。

本书为《锅炉设备及运行》分册,共十章。其中,第一、二、四、五、六、九章由宁夏电力公司教育培训中心武丽萍编写,第三章由宁夏电力公司教育培训中心武丽萍和国电电力武威发电有限公司黄文东编写,第七章由宁夏电力公司电力科学研究院尚文科编写,第八章由宁夏电力公司电力科学研究院尚文科和国电电力武威发电有限公司郑朝宁编写,第十章由宁夏电力公司教育培训中心武丽萍和国电电力武威发电有限公司白如斌编写。书中插图主要由武丽萍绘制或整理修改。本书由武丽萍统稿并担任主编,于献宇担任主审。

在本书的编写过程中,得到了有关方面的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 2 月



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 锅炉概述	1
第二节 锅炉的分类	6
第三节 超临界锅炉的特点	9
第四节 国电武威发电有限公司锅炉简介	11
第二章 燃料	15
第一节 煤质分析	15
第二节 煤的主要特性	18
第三节 发电用煤的分类	21
第四节 锅炉热平衡	23
第三章 制粉系统及其设备	27
第一节 煤粉的性质	27
第二节 制粉系统	29
第三节 给煤机	32
第四节 磨煤机	35
第五节 磨煤机润滑油及高压油系统	48
第六节 密封风机	52
第四章 燃烧设备	54
第一节 燃烧器	54
第二节 等离子点火	62
第三节 火焰检测器	69
第四节 煤粉燃烧原理简介	72
第五章 风烟系统及其设备	76
第一节 风机基础知识	76

第二节	风烟系统	84
第三节	送风机	87
第四节	引风机	91
第五节	一次风机	98
第六节	空气预热器	100
第七节	空气预热器的低温腐蚀与堵灰	106
第六章	汽水系统及其设备	110
第一节	启动系统及其设备	110
第二节	省煤器	115
第三节	水冷壁	116
第四节	超临界压力锅炉水冷壁系统特性	119
第五节	过热器	125
第六节	再热器	128
第七节	汽温调节	129
第八节	热偏差	131
第九节	武威发电公司锅炉汽水系统介绍	132
第十节	锅炉安全阀	144
第七章	吹灰、除灰渣、压缩空气系统及设备	151
第一节	锅炉吹灰	151
第二节	除尘器	154
第三节	除灰、渣系统及其设备	163
第四节	压缩空气系统及设备	168
第八章	脱硫、脱硝、输煤系统及设备	171
第一节	脱硫系统及设备	171
第二节	脱硝系统及设备	178
第三节	输煤系统及设备	186
第九章	锅炉阀门	206
第一节	锅炉阀门概述	206
第二节	闸阀	209
第三节	止回阀	210
第四节	调节阀	211
第五节	减温减压装置	212
第十章	锅炉运行	216
第一节	直流锅炉启动特点	216
第二节	锅炉启动前的试验	220

第三节	锅炉冷态启动.....	222
第四节	锅炉运行调节.....	232
第五节	超临界直流锅炉停运.....	241
第六节	锅炉停运后的保养.....	244
参考文献		248



第一章

概 述

第一节 锅 炉 概 述

锅炉是一种热交换设备，它的作用是利用燃料燃烧释放出的热能，把水加热成为压力、温度及品质都符合要求的过热蒸汽。

锅炉是火力发电厂三大主机之一。在火力发电厂中，锅炉产生的高温高压水蒸气进入汽轮机，推动汽轮机做功，汽轮机再带动发电机发电。火力发电厂的生产过程，实质上就是一个能量转换的过程，是将一次能源（煤、燃油等）的能量转化为二次能源（电）能量的过程。在这个转换过程中，锅炉是能量转换的第一个环节，它将燃料（煤）的化学能转换为蒸汽的热能。

在锅炉中工作的中间媒介物叫做工质。锅炉受热面内的工质主要有水、汽水混合物、蒸汽、空气、烟气等。比如省煤器中的工质是水，水冷壁中的工质是汽水混合物，过热器和再热器中的工质是过热蒸汽，空气预热器中的工质是空气。锅炉实际上是为工质与工质的热交换提供一个场所。

进入锅炉的水，是来自高压加热器的给水，其温度低于锅炉压力下的饱和温度。而从锅炉出去的都是过热蒸汽。因此，水在锅炉中的汽化过程，实际上要经过预热、蒸发、过热三个阶段。为了提高蒸汽动力循环效率，现代电站锅炉水的汽化还有第四个阶段——再热阶段，也就是锅炉产生的过热蒸汽送到汽轮机高压缸膨胀做功后，蒸汽的压力和温度都降低了，再将这些蒸汽送回到锅炉中加热，即二次过热，然后送回到汽轮机的中低压缸继续做功。

水在锅炉中的预热、蒸发、过热、再热四个阶段，分别在锅炉的四大类受热面中进行，即省煤器、水冷壁、过热器、再热器。预热阶段主要在省煤器中进行，汽化阶段在水冷壁中进行，过热阶段在过热器中进行，再热阶段在再热器中进行。

由此可见，锅炉是进行燃料燃烧、传热和汽化三种过程的综合装置，其内部过程比较复杂。

一、火电厂锅炉设备组成

火电厂锅炉设备主要由两大部分组成，即锅炉本体设备和锅炉辅助设备。不同参数等级或同一参数等级但不同厂家生产的锅炉，构成其本体的各受热面的结构、布置位置、连接方式有所不同，但锅炉辅助设备及系统基本相似。

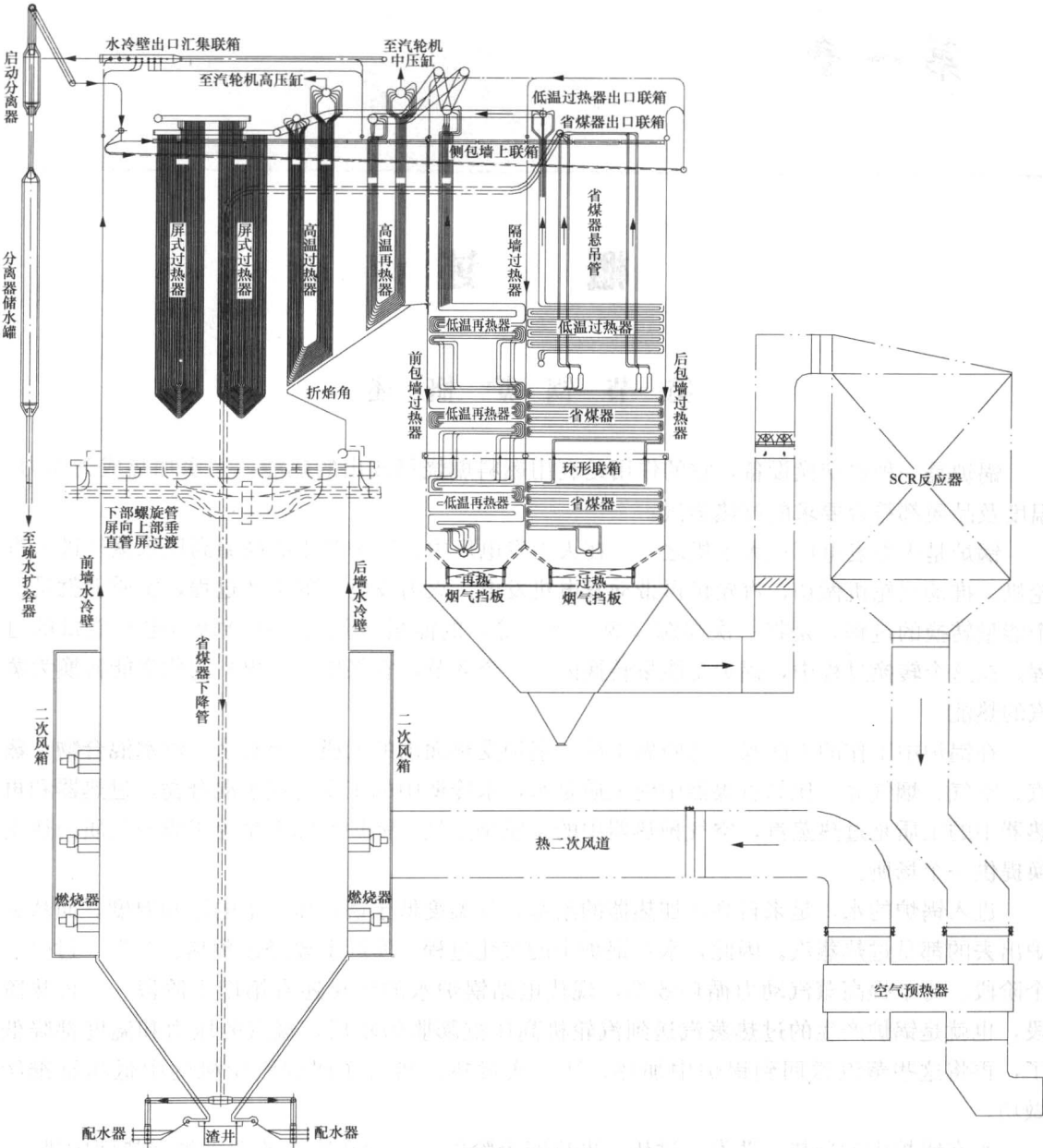


图 1-1 DG1200t/h 超临界锅炉本体侧剖面图

1. 锅炉本体设备

锅炉本体主要指包含在炉墙内的设备，是锅炉燃烧换热的部分。现代大型锅炉本体

一般都采用 Π 型布置，即由炉膛、水平烟道、尾部烟道构成，其中，尾部烟道又分为尾部单烟道和尾部双烟道两种。锅炉本体设备包括汽水系统、燃烧系统及炉墙和构架。下面以 DG1200t/h 锅炉（其本体侧剖视图见图 1-1）为例，介绍火电厂锅炉本体的基本构成。

（1）汽水系统。顾名思义，其内部的工质是汽和水。汽水系统的任务是把水加热成为过热蒸汽。超临界锅炉汽水系统的设备主要有省煤器、水冷壁、过热器、再热器，以及它们之间的连接管道，其中省煤器、水冷壁、过热器、再热器布置在炉膛和烟道内，是锅炉的受热面，统称为锅炉“四管”。

（2）燃烧系统。主要由燃烧室、燃烧器、空气预热器等组成。

燃烧室也叫炉膛，它是由蒸发受热面围成的空间，是供燃料燃烧的地方，燃料在该空间中呈悬浮状态燃烧。

燃烧器安装在炉膛的墙上，它的作用是把燃料和空气以一定的速度和形式送入炉膛，并组织合理地燃烧。

空气预热器的作用是利用低温烟气加热空气，供锅炉燃烧和制粉系统输送煤粉用。

现代锅炉都采用回转式空气预热器，它不能再像小型锅炉的管式空气预热器那样，布置在尾部烟道内，而是已移出炉外，布置在尾部烟道下方。因为经空气预热器加热后的空气又被送回到炉膛内燃烧，所以习惯上还是把它归为锅炉本体燃烧系统设备。

（3）炉墙和构架。炉墙是用来构成封闭的、一定形状的燃烧室和烟道，以使火焰和烟气与外界隔绝，使锅炉传热过程能正常进行。

2. 锅炉辅助设备

除上述本体设备外，锅炉还需要一些辅助设备来配合工作，以保证锅炉生产过程的正常进行。锅炉主要辅助设备有风烟设备、制粉设备、给水设备、除尘和除渣设备，以及一些锅炉附件。

通风设备的任务是向炉内送入燃料燃烧所需要的空气并排出燃料燃烧后所产生的烟气。通风设备主要有送风机、引风机、风道、烟道、烟囱等。其中送风机的作用是为燃料的燃烧提供助燃空气；引风机的作用是及时排出燃料燃烧后所生成的烟气。

制粉设备的任务是将原煤干燥磨碎成一定细度的煤粉并送入炉膛。制粉设备主要有磨煤机、给煤机、一次风机等。

除尘设备主要有电气除尘器，其作用是清除烟气中携带的飞灰，尽可能减少随烟气从烟囱排入大气的飞灰量，以减轻飞灰对环境的污染和对引风机的磨损。除灰设备主要有除渣机、碎渣机等，其作用是清除燃料燃烧后从炉膛落下的灰渣。

锅炉附件主要有安全门、水位计、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。其中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，用以防止锅炉超压，以保护锅炉的安全；吹灰器的作用是清除锅炉“四管”及空气预热器上面的积灰，以提高受热面的安全性及经济性。

3. 锅炉的工作过程

火力发电厂锅炉生产过程如图 1-2 所示。

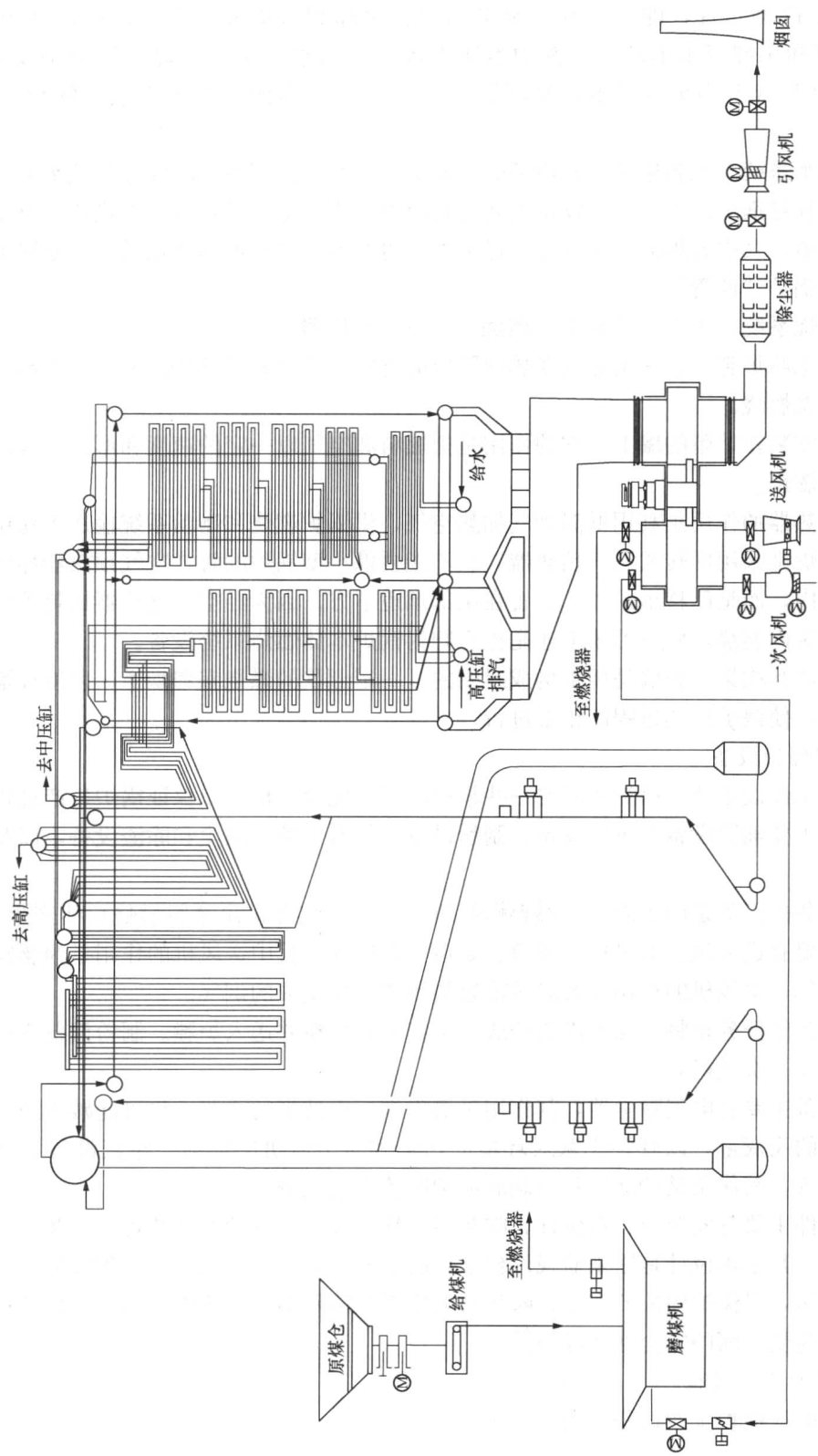


图 1-2 火力发电厂锅炉生产过程

锅炉工作过程由煤粉流程、风烟流程及汽水流程构成。工作流程如下：煤场的原煤经过筛选破碎后通过输送皮带输送至锅炉房原煤斗，位于煤斗下方的给煤机按要求将煤斗中的煤送入磨煤机，磨制好的煤粉被热风送入燃烧器，进入炉膛内燃烧。

送风机将冷空气送入空气预热器内加热。从空气预热器内出来的热空气进入燃烧器，进而进入炉膛助燃，这股助燃的热空气叫做二次风。一次风机也将冷空气送入空气预热器内加热，从空气预热器出来的这一股热空气进入磨煤机干燥并输送煤粉，这股热空气叫做一次风。煤粉与空气在炉膛内相遇并混合燃烧，燃烧后生成的产物有灰渣和烟气。灰渣向下落入冷灰斗下部的渣井，由除渣装置将其处理后送入渣仓，然后运走；携带飞灰的烟气流经水平烟道及尾部烟道，出来后进入脱销装置脱去其中的氮氧化物，之后进入空气预热器加热冷空气。在冷空气降低温度后，进入除尘器除去其中的飞灰，由引风机将其送入烟囱，排入大气。送风与引风密切配合，形成平衡通风系统，以维持炉膛内处于微负压状态。

在除尘器中被分离出来的飞灰，落入其下部的飞灰斗中。各灰斗中的飞灰一起被除灰装置送往灰库。

对于超临界及超超临界参数的直流炉而言，锅炉给水进入省煤器，在其中吸收了烟气的热量后进入位于炉膛内的水冷壁。水在水冷壁管中吸热后全部变为饱和蒸汽，然后流经汽水分离器，并依次进入各级过热器吸热，达到规定温度后通过主蒸汽管道进入汽轮机高压缸做功。高压缸的排汽进入锅炉的再热器中再次吸热，提高温度，然后被送入汽轮机中压缸做功。

二、电厂锅炉特性参数

锅炉特性参数是指表征锅炉设备基本特征的物理量，主要有锅炉容量、蒸汽参数和锅炉效率，另外，锅炉特性还表现在燃烧方式、汽水流动方式和锅炉整体布置等方面。

(1) 锅炉容量。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，即锅炉在正常、经济运行条件下的最大连续蒸发量，常用符号 D_e 表示，单位为 t/h 。锅炉容量是说明锅炉生产能力大小的特性数据，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 1000MW 锅炉。

锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度、使用设计燃料时设计所规定的蒸发量，称锅炉额定蒸发量 (boiler rated load, BRL)。

锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度，并使用设计燃料能安全连续产生的最大蒸发量，称锅炉最大连续蒸发量 (boiler maximum continuous rating, BMCR)。

(2) 蒸汽参数。锅炉蒸汽参数是指锅炉过热器出口处蒸汽的压力和温度。蒸汽压力常用符号 p 表示，单位是 MPa，蒸汽温度常用符号 t 表示，单位为 $^{\circ}C$ 。

锅炉设计时所规定的蒸汽压力和温度称为额定蒸汽压力和额定蒸汽温度。其中锅炉设计时所规定的蒸汽压力是指锅炉在规定的给水压力和规定的负荷范围内，长期连续运行时应予保证的出口蒸汽压力；锅炉在设计时所规定的蒸汽温度是指锅炉在规定的负荷范围、额定蒸汽压力和额定给水温度下长期连续运行所必须保证的出口蒸汽温度。

(3) 锅炉效率。锅炉效率是指锅炉有效利用热量占锅炉输入热量的百分数。

锅炉有效利用热量是指被锅炉四大类受热面中的工质所吸收的热量。

锅炉输入热量主要是指燃料在炉内燃烧所放出的热量。对于现代火电厂煤粉炉而言，锅

炉输入热量等于煤的低位发热量。

三、锅炉型号

锅炉型号一般采用四组字码表示,型号中第一组英文字码是锅炉制造厂厂名,第二组分数形式的字码表示锅炉容量和蒸汽压力,第三组字码表示产品的生产设计序号。如 DG 1200/25.4-Ⅱ,表示东方锅炉厂生产的超临界、一次中间再热、直流炉,锅炉容量为 1200t/h,过热蒸汽压力为 25.4MPa,第二次设计;WGZ 1004/18.4-2 型,表示武汉锅炉厂生产的亚临界、一次中间再热、自然循环汽包炉,锅炉容量为 1004t/h,过热蒸汽压力为 18.4MPa,第二次设计。

第二节 锅炉的分类

锅炉的分类方法很多,主要有以下几种。

一、按锅炉容量分

按照锅炉容量的大小,锅炉有小型、中型、大型之分。根据目前情况, $D_e < 400\text{t/h}$ 的锅炉是小型锅炉, $D_e = 400 \sim 1000\text{t/h}$ 的锅炉是中型锅炉; $D_e > 1000\text{t/h}$ 的锅炉是大型锅炉。从与发电功率对应来看,发电功率大于 300MW 的锅炉才算是大型锅炉。

二、按锅炉出口蒸汽压力分

按照锅炉出口蒸汽压力可将锅炉分为低压锅炉 ($p \leq 2.45\text{MPa}$, 表压)、中压锅炉 ($p = 2.94 \sim 4.90\text{MPa}$)、高压锅炉 ($p = 7.84 \sim 10.8\text{MPa}$)、超高压锅炉 ($p = 11.80 \sim 14.87\text{MPa}$)、亚临界压力锅炉 ($p = 15.70 \sim 19.60\text{MPa}$, $t = 540^\circ\text{C}$)、超临界压力锅炉 ($p > 22.129\text{MPa}$, $540 < t < 600^\circ\text{C}$) 及超超临界压力锅炉 ($p > 25.4\text{MPa}$, $t \geq 600^\circ\text{C}$)。

超高压及以下压力参数主要用于工业锅炉。亚临界及以上压力参数的锅炉主要用于现代电厂锅炉。

实际上,锅炉容量与锅炉参数以及电功率有着一定的对应关系。

我国现在运行的电厂煤粉锅炉中,电功率 330MW 等级的锅炉基本上都采用亚临界参数,锅炉容量在 1000t/h 左右;电功率 600MW 等级的锅炉,有亚临界参数和超临界参数两种,锅炉容量在 2000t/h 左右;电功率 1000MW 等级的锅炉,采用超超临界参数,锅炉容量在 3000t/h 左右。

为适应节能减排的要求,近几年新建的一些热电厂,采用了一些容量相对小、参数相对高的锅炉,如电功率 350MW 的超临界压力锅炉,容量在 1000t/h 左右。

三、按燃烧方式分

按燃料在锅炉中的燃烧方式不同,锅炉可分为层燃炉、室燃炉、旋风炉、流化床锅炉。

1. 层燃炉

层燃炉具有炉箬(也称炉排),煤块或其他固体燃料(如木柴)主要在炉箬上的燃料层内燃烧。燃烧所需空气由炉箬下的配风箱送入,穿过燃料层进行燃烧反应。在新建电厂中,启动锅炉一般采用链条炉,链条炉就属于层燃炉。

2. 室燃炉

燃料以粉状、雾状的形态进入炉膛,并悬浮在炉膛空间进行燃烧,这样的炉子称为室燃

炉。燃烧煤粉的室燃炉就叫做煤粉炉。根据排渣方式的不同，煤粉炉分为固态排渣和液态排渣两种。

3. 旋风炉

旋风炉是以一个圆柱形旋风筒作为燃烧室的炉子，旋风筒容积比较小，气流在旋风筒内高速旋转，较细的煤粉在旋风筒内悬浮燃烧，而较粗的煤粒则贴在筒壁上燃烧。筒内的高速旋转气流使燃烧加速，并使灰渣熔化形成液态排渣。对于电厂煤粉锅炉而言，当煤的挥发分含量特别低，着火特别困难时，或灰分特别大，灰熔点特别低时，一般采用旋风炉作为预燃室。

4. 流化床

如图 1-3 所示，一个空间被一块板从下部某一高度处一分为二，上面的空间叫做燃烧室，下面的空间叫做风室，分隔这个空间的板叫做布风板，布风板上有很多小孔，每个小孔上都装有风帽。布风板的主要作用是支承物料、合理分配一次风。在布风板上面均匀放置一定厚度的固体小颗粒，这些颗粒称作物料。由风机向风室供应空气，使空气从风室通过布风板风帽自下而上均匀进入燃烧室，这股空气叫做流化床的一次风。随着风室风压的升高，向上流动的空气速度逐渐增大。当空气速度达到某一临界值时后，布风板上的固体颗粒就会在燃烧室中漂浮起来，处于一种悬浮状态，并呈现出一种上下翻腾的现象，这种现象就叫流态化现象。煤粒在流态化状态下燃烧的锅炉称作流化床锅炉。煤粒在燃烧室燃烧后，一部分燃烧产物飞灰随烟气一起离开炉膛，进入炉膛出口的旋风分离器进行分离。分离出来的灰再次进入燃烧室，作为物料参与循环，这样的锅炉称作循环流化床锅炉。

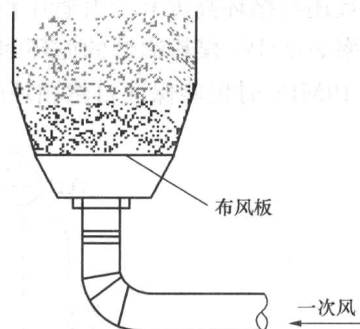


图 1-3 流态化现象

当煤质特别差、发热量特别低，采用煤粉炉燃烧比较困难时，可以采用循环流化床锅炉。

现代电厂锅炉主要采用悬浮燃烧方式的煤粉炉和流化床燃烧方式的循环流化床锅炉。

四、按锅炉蒸发受热面内工质的流动方式分

1. 自然循环锅炉

如图 1-4 所示，自然循环锅炉的循环回路是指由汽包、下降管、水冷壁、联箱所组成的封闭回路。其中，汽包、下降管和联箱都布置在炉外，不受热；水冷壁管屏布置在炉膛内，接受炉膛火焰的辐射热。

锅炉给水经给水泵进入省煤器，经省煤器加热后给水的温度得到提高，但仍然是未饱和水。给水从省煤器出来后进入汽包，然后通过汽包底部的下降管进入水冷壁下联箱，经过联箱的重新分配以后，进入位于炉内的水冷壁管。水冷壁管中的水吸收炉内高温火焰的辐射热后部分汽化，变成汽水混合物。由于汽水混合物的密度小于水的密度，在这个密度差的作用下，水冷壁管中的汽水混合物自然地向上流动进入汽包，下降管中的水自然地向下流动进入下联箱，进而进入水冷壁管。只要炉内燃烧不停止，水冷壁管就不断地受热，这个过程就会不断进行下去。这种利用工质的密度差所进行的水循环，称为自然循环。

自然循环的推动力取决于饱和水密度、饱和蒸汽密度、水冷壁管含汽率和循环回路高度

等因素。随着锅炉工作压力的提高,饱和水和饱和蒸汽的密度差逐渐减小,直到临界压力时,其密度差为零。所以自然循环的推动力是随锅炉工作压力的升高而逐渐减小的,当压力达到一定值时,循环推动力就不足以维持水的自然循环了。如果只单纯依靠汽水的密度差,自然循环只能用在 $p \leq 16\text{MPa}$ 的锅炉。但因自然循环的推动力不但与汽水的密度差有关,而且还与循环高度和上升管中汽水混合物的含汽率有关,现代大型煤粉锅炉高度很大,发电功率 300MW 煤粉锅炉的循环回路高度近 60m,而且上升管的含汽率也较大,所以在汽包压力 19MPa 时仍能保证自然循环的安全性。

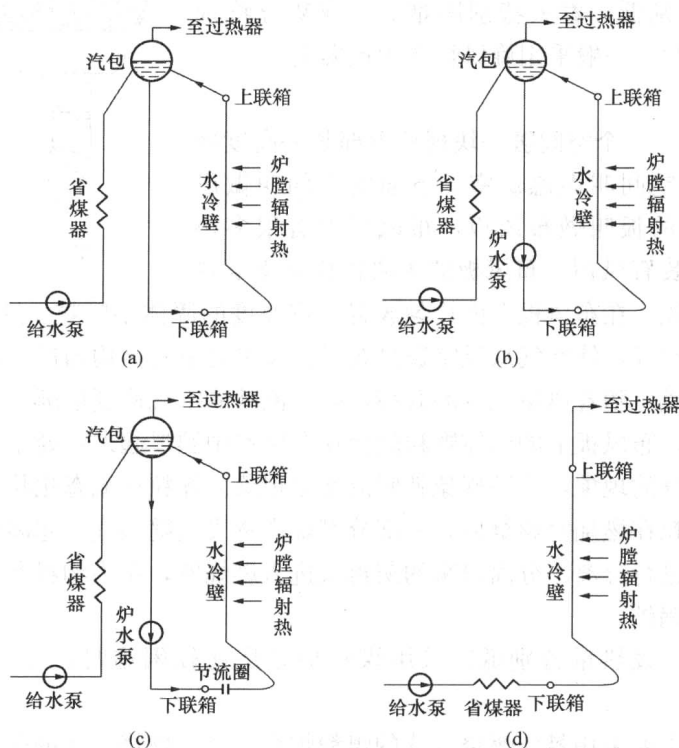


图 1-4 锅炉蒸发受热面内工质流动的几种类型

(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

2. 强制循环锅炉

蒸发受热面内的工质除了依靠水与汽水混合物的密度差以外,主要依靠炉水循环泵的压头进行循环的锅炉,称为强制循环锅炉。

在水冷壁上升管入口处加装了节流圈的强制循环锅炉,又称为控制循环锅炉。

循环推动力主要是用来克服工质流过循环回路所产生的阻力的。循环回路的管径越小,或工质的质量流速越高,阻力就越大。

强制循环锅炉(包括控制循环锅炉)因为在下降管管路上装设了炉水循环泵,所以循环回路的推动力要比自然循环大得多,这就使得水冷壁可以采用更小的管径,汽包的直径和壁厚也可以更小,节省了金属消耗消耗。同时,由于蒸发受热面内工质保持较高的质量流速,可使循环稳定,循环回路的安全性更高。在锅炉启停期间,由于可以利用水的强制流动使各

承压部件得到均匀的加热或冷却,因而可提高升、降负荷的速度,缩短锅炉的启停时间。

与自然循环锅炉相比,由于增加了炉水循环泵,强制循环锅炉不但增加了锅炉投资和运行维护费用,而且循环泵长期在高压、高温下运行,需要采用特殊的结构和材料,才能保证锅炉运行的安全性。

3. 直流锅炉

给水依靠给水泵压头一次通过锅炉各受热面产生蒸汽的锅炉称为直流锅炉。直流锅炉的结构特点主要表现在没有汽包和蒸发受热面的形式上。整台锅炉由许多管子并联,然后用联箱串联连接而成。在给水泵压头的作用下,工质顺序依次通过加热、蒸发、过热受热面,进口工质为水,出口工质是过热蒸汽。因为工质的运动是靠给水泵压头推动的,所以直流锅炉中,一切受热面中的工质都是强制流动的。

超临界及以上压力锅炉必须采用直流锅炉。这是因为当锅炉工作压力达到临界压力时,饱和水与饱和蒸汽的密度近乎相等,它们之间的密度差接近于零,若采用自然循环方式,就已失去了循环推动力,所以只能采用直流锅炉。

第三节 超临界锅炉的特点

超临界及以上参数锅炉只能采用直流锅炉,所以超临界锅炉的特点也就是直流锅炉的主要特点,主要体现在结构特点和运行特点上。

一、超临界锅炉的结构特点

直流锅炉除了没有汽包外,其结构特点主要表现在蒸发受热面上,就是说直流锅炉除了水冷壁管屏的布置形式与自然循环汽包锅炉不一样外,其他设备如省煤器、过热器、空气预热器、燃烧系统与自然循环汽包锅炉是完全一样的。

(一) 对蒸发受热面的基本要求

水冷壁管屏不论怎样布置,都必须保证蒸发受热面能安全工作,主要考虑以下方面:

①管子不能被烧坏;②能够解决膨胀问题;③蒸发受热面能够制造出来;④制造、安装方便。

影响蒸发受热面可靠性的因素有:①水动力多值性;②垂直管屏的停滞和倒流;③脉动问题;④热偏差;⑤传热恶化;⑥两相流体分配不均匀性问题;⑦水平管圈汽水分层。

(二) 早期直流锅炉蒸发受热面型式

在20世纪二三十年代,直流锅炉相继在德国、瑞士及苏联问世,即出现了三种炉型:

①本生型,受热面为多次垂直上升管屏式;②苏尔寿型,蒸发受热面型式为多行程迂回管屏;③拉姆辛型,蒸发受热面型式为水平围绕上升管屏。

1. 本生式

本生式直流锅炉的蒸发受热面由多种垂直布置的管屏构成,管屏又由几十根并联的上升管和两端的联箱组成,每个管宽1.2~2m,各管屏间用2~3根不受热的下降管连接,相互串联。

本生式的直流锅炉具有热偏差不大、安装组合容易、制造方便等优点;其缺点为金属耗量较大、对滑压运行的适应性较差。