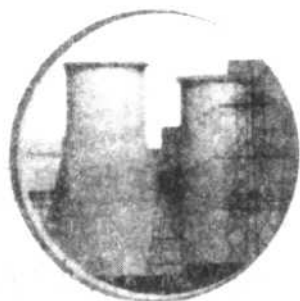


# 流化床锅炉 司炉读本

姚本万 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



# 流化床锅炉 司炉读本

姚本万 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 图书在版编目 (CIP) 数据

流化床锅炉司炉读本/姚本万编著. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-3628-3

I. 流… II. 姚… III. 流态化炉—司炉—技术培训教材 IV. TK229.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 113496 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 64 开本 7 印张 297 千字

印数 0001—4000 册 定价 13.00 元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

## 内 容 提 要

本书主要为满足流化床锅炉运行操作及管理人员学习需要而编写，分九章介绍了流化床锅炉基础知识、结构、原理、运行操作、事故处理及维护管理等内容，书中还选入了大量现实中发生过的调试运行及事故、故障处理实例，具有一定的借鉴意义。本书对刚开始从事流化床技术工作的工程技术人员，极具实用指导价值。

本书虽然专业性较强，但叙述通俗、浅显、易懂，既适用于小型沸腾炉运行操作培训，也适用于工业和电站循环流化床锅炉运行操作培训，尤其适合于运行操作司炉及一般锅炉管理人员阅读。

## 前 言

由于流化床锅炉具有煤种适应性广、燃烧效率高、低温清洁燃烧的特点，以其强大的生命力被广泛应用于工业、生活、电站等各个行业。根据当前节能和环保的要求，该炉型代表了燃煤锅炉的发展方向。尤其是循环流化床锅炉，不仅能燃用劣质煤，便于烟气脱硫和有效地控制氮氧化物有害气体的排放，而且锅炉热效率高、供热负荷可调性好，在燃煤电站锅炉中，具有优越的竞争能力，近年来迅速发展起来的高参数大容量循环流化床电站锅炉，正在逐步替代常规的煤粉锅炉。

但是，由于流化床锅炉运行操作技术性强，初学者掌握起来难度较大，尤其是循环流化床锅炉技术，是近 20 年来刚发展起来的新技术，较系统的流化床锅炉运行技术资料还十分缺少，一些企业在该炉型的安装、调试及初运阶段，都不同程度地走过一些弯路。因此，为了适应流化床锅炉技术发展的需要，普及、推广和提高流化床锅炉技术，并利于培训越来越大的流化床锅炉运行管理及操作技术队伍，作者根据多年从事流化床锅炉运行操作及管理所积累的经验，特编写了本书，以供交流和参考。

作者于 1974 年在洪江电厂开始从事沸腾炉运行操作工

作，1977年就读于湖南大学土木系锅炉专业，系统地学习了沸腾燃烧锅炉的专业知识。其后，参加过湖南省计委节约办组织的全省沸腾炉普查工作，以及多家企业的流化床锅炉设计、改造及运行调试。并先后协助劳动部门组织过几十期锅炉培训班，为企业培训过近千名司炉技术工人。30多年的锅炉技改、运行及管理实践，积累了丰富的经验，为了推动流化床锅炉的发展，愿将毕生经验，奉献于社会。

水平所限，疏漏与不足之处在所难免，敬请业内专家及读者批评指正。

姚本万

2005年9月

# 流化床锅炉司炉读本

## 目 录

### 前言

第一章 概述.....	1
第一节 锅炉及其燃烧方式.....	1
第二节 流态化燃烧技术的应用与发展.....	8
第三节 流化床锅炉的结构特点 .....	12
第四节 锅炉设计的一般要求及燃煤锅炉的 走向 .....	19
第二章 流化床锅炉的工作原理及特性 .....	23
第一节 沸腾炉的燃烧原理及特性 .....	23
第二节 循环流化床锅炉的燃烧原理及特性 .....	28
第三节 物料在燃烧过程中的运动特性 .....	31
第四节 流态化燃烧的必需条件 .....	36
第五节 流化床锅炉的传热特点 .....	40
第三章 锅炉基础知识 .....	47
第一节 锅炉型号及分类 .....	47
第二节 锅炉容量及参数 .....	51
第三节 蒸汽在锅炉内的产生过程 .....	53
第四节 压力及压力测量 .....	56
第五节 温度及温度测量 .....	59

第六节	热量及热量的传递 .....	64
第七节	锅炉水循环 .....	67
第八节	热胀冷缩与热应力 .....	69
第九节	燃料及燃烧 .....	72
第十节	锅炉热平衡与热效率 .....	77
第四章	流化床锅炉结构 .....	82
第一节	沸腾炉的一般结构 .....	82
第二节	沸腾炉的链带式、密孔板式、风帽式 结构及特点 .....	86
第三节	沸腾炉的飞灰燃尽结构 .....	90
第四节	循环流化床锅炉的典型结构 .....	97
第五节	工业循环流化床锅炉的类型及特点 .....	102
第六节	电站循环流化床锅炉 .....	108
第七节	流化床锅炉的燃烧室布置 .....	122
第八节	循环流化床锅炉的气固分离器、返料器 和外置式换热器 .....	132
第九节	流化床锅炉的布风装置 .....	142
第十节	流化床锅炉的受热面及其布置 .....	151
第十一节	流化床锅炉的炉墙砌筑 .....	168
第五章	流化床锅炉的辅助系统 .....	176
第一节	流化床锅炉的给料及点火系统 .....	177
第二节	流化床锅炉的灰渣处理系统 .....	181
第三节	流化床锅炉的通风除尘系统 .....	185
第四节	给水及其处理系统 .....	193
第五节	排污、吹灰、疏水系统 .....	198
第六节	管道、阀门及附件 .....	204



第七节	流化床锅炉的控制系统 .....	212
第六章	流化床锅炉的运行操作 .....	223
第一节	锅炉投运前的检查及准备 .....	223
第二节	冷态试验 .....	240
第三节	烘炉、煮炉及安全阀调试 .....	250
第四节	流化床锅炉的点火启动 .....	260
第五节	锅炉的升压、暖管、并汽及冲管 .....	278
第六节	流化床锅炉的运行调节与控制 .....	284
第七节	流化床锅炉不同结构、不同燃料特性 的操作方法 .....	310
第八节	锅炉辅助设备的运行与调整 .....	315
第九节	停炉操作 .....	325
第十节	锅炉水处理及原煤质量分析 .....	333
第七章	流化床锅炉事故处理及预防 .....	343
第一节	超温结焦的处理及预防 .....	343
第二节	低温熄火的处理及预防 .....	345
第三节	返料器结焦、不返料的处理和预防 .....	347
第四节	分离器结焦、堵灰、分离效果差的 处理及预防 .....	350
第五节	循环灰浓度过高的处理及防止 .....	352
第六节	循环灰浓度过低的治疗及防止 .....	354
第七节	炉管破裂的现象及处理 .....	356
第八节	炉内可燃气体的爆炸及处理 .....	358
第九节	锅炉缺水事故的处理及预防 .....	360
第十节	满水事故的处理及预防 .....	361
第十一节	汽水共腾事故的处理及防止 .....	365

第十二节	流化床锅炉其他易发事故 .....	366
第八章	流化床锅炉的维护与管理 .....	372
第一节	锅炉设备的正确使用 .....	372
第二节	锅炉的维修 .....	375
第三节	锅炉设备的保养 .....	381
第四节	司炉岗位职责 .....	383
第五节	锅炉房管理制度 .....	385
第六节	司炉技术培训 .....	390
第九章	流化床锅炉运行实例 .....	394
第一节	点火升炉实例 .....	394
第二节	运行调试实例 .....	400
第三节	超温结焦实例 .....	404
第四节	磨损爆管实例 .....	409
第五节	炉墙磨损事故实例 .....	414
第六节	附属设备故障实例 .....	422
第七节	其他典型事故实例 .....	428
参考文献	.....	436

## 第一章

### 概 述

#### 第一节 锅炉及其燃烧方式

##### 一、锅炉及其作用

###### 1. 锅炉

锅炉是用来生产蒸汽的热力设备。锅炉由“锅”和“炉”两部分组成：锅是组织热量交换的吸热系统，炉是组织燃烧的放热系统。

自 1790 年第一台圆球形锅炉问世以来，锅炉已有了 200 多年的发展历史，先后经历了三个重要的发展阶段：一是以链条炉为代表的层燃炉发展阶段；二是以煤粉炉为代表的室燃炉发展阶段；三是以沸腾炉为代表的流化床锅炉发展阶段。今天，为了人类社会的进步和发展，锅炉正在发挥着巨大的推动作用。

###### 2. 锅炉的作用

由于锅炉能将燃料的化学能转变为热能，并将水加热成蒸汽，为此，它作为人类社会活动不可缺少的能源和动力，被广泛地使用于城市生活、交通运输、工业生产和火力发电等各个行业。例如：冬季，人们利用锅炉生产的热水和蒸汽来采暖；在工厂产品的生产过程中，利用锅炉生产的蒸汽对产品 & 原材料进行加热、干燥及蒸煮；在航海及铁路运输中，

人们曾利用锅炉作为船舶和机车的牵引动力；在电站，人们利用锅炉生产的过热蒸汽来带动汽轮机、发电机旋转发电等。

## 二、锅炉的燃烧方式

### 1. 层燃

层燃是指锅炉燃料在炉排上固定不动地燃烧，又称固定床燃烧方式。采用层燃方式的锅炉有：链条炉、固定炉排炉、抛煤机炉、振动炉和往复炉等。虽然在抛煤机炉、振动炉和往复炉的燃烧过程中，燃料在机械外力的作用下，也存在一定的运动，但其主要燃烧特征仍为固定燃烧，因此仍属层燃锅炉。

链条炉是层燃炉的典型代表，如图 1-1 所示，其燃烧设备是一条前后转动的链条炉排。链条炉的燃烧过程是：燃料

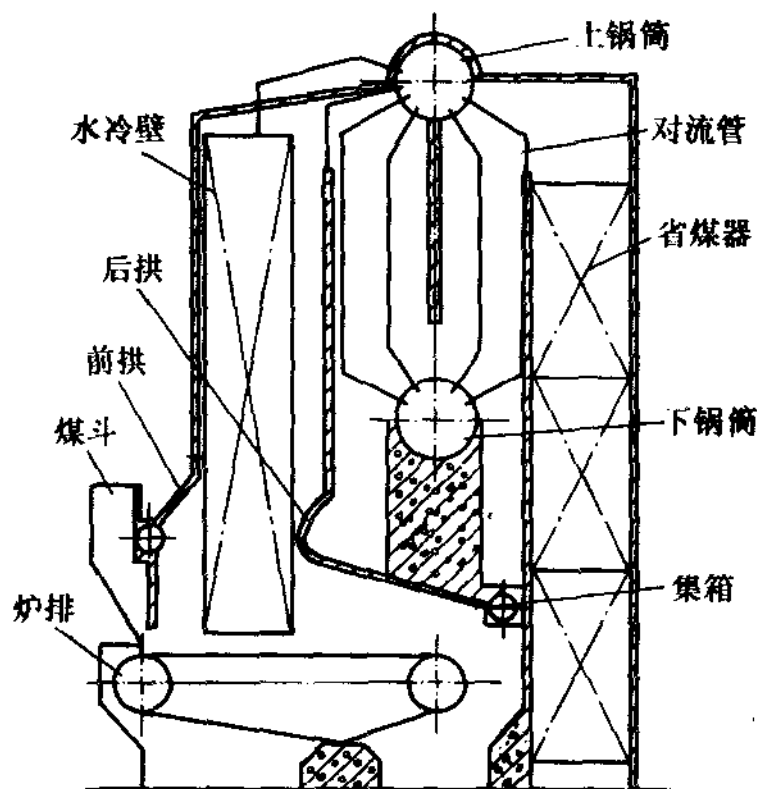


图 1-1 链条炉排锅炉

由炉前煤斗靠自重下落至炉排上，随着炉排由炉前向炉后缓慢地移动，燃烧所需要的空气由风室穿过炉排与燃料混合。燃料在炉排上由前往后的移动过程中，在炉内火焰及炉拱的辐射加热下，逐步燃烧和烧尽。形成的灰渣，被炉排翻落至炉后的灰渣斗。

链条炉的燃烧特点：燃烧缓慢，燃烧过程具有十分明显的阶段性和层次性。其燃烧过程一般分为四个阶段：新煤预热干燥、挥发分析出着火燃烧、固定碳主燃和燃尽灰渣形成阶段。由于新煤加热及后部燃尽阶段，不需要或需要少量的氧气，而中部主燃段需要大量的氧气，因此，需设置分区通风。前部和后部风压低，送风量小，燃烧温度低，空气易过剩。中部风压高、送风量大、燃料燃烧旺盛、炉温高，易形成空气不足。由于燃料在炉排上呈静止状态，空气与燃料、燃料与炉排没有相对运动，燃料与空气的混合、燃料的加热条件较差，燃料的燃烧基本上是由炉排上层至下层，由燃料的表面至焦炭核心，逐渐推进，不但燃烧缓慢，且时间要求长。因此，当遇到原料水分重、煤质差、炉膛燃烧温度低时，新煤不易着火燃烧。遇到大块燃料时，也不易燃透，因此会形成焦炭随灰渣排出炉外。遇上煤的水分太干和呈粉状颗粒时，由于料层间隙小、透气性差，并且一次风压较低，空气不易穿过料层，燃烧亦不正常。

根据链条炉的燃烧特点，一般层燃炉都具有以下基本特性：

(1) 煤种适应性差，只适宜燃用挥发分较高和发热量较高的烟煤。

(2) 燃烧效率较低，机械不完全燃烧热损失较大，尤其

是燃用劣质煤时，灰渣含碳量较高。

(3) 炉内传热不强，锅炉热效率不高，一般只有 75% 左右。

(4) 结构笨重、耗钢量大，不易大型化。

(5) 锅炉运行较稳定，受热面及炉墙磨损不严重，维护费用低，运行供热负荷调节性能好。

## 2. 室燃

室燃，即燃料呈气力输送状态，在燃烧室悬浮燃烧，又称悬燃方式。室燃炉根据使用燃料的种类不同，可分为燃气炉、燃油炉和煤粉炉。

煤粉炉是我国电力系统较普遍使用的室燃锅炉，如图 1-2 所示。煤粉炉的燃烧设备为一布置有喷燃装置的方形燃烧室，其形状像一竖井，称为竖井燃烧室。燃烧室四周炉墙布

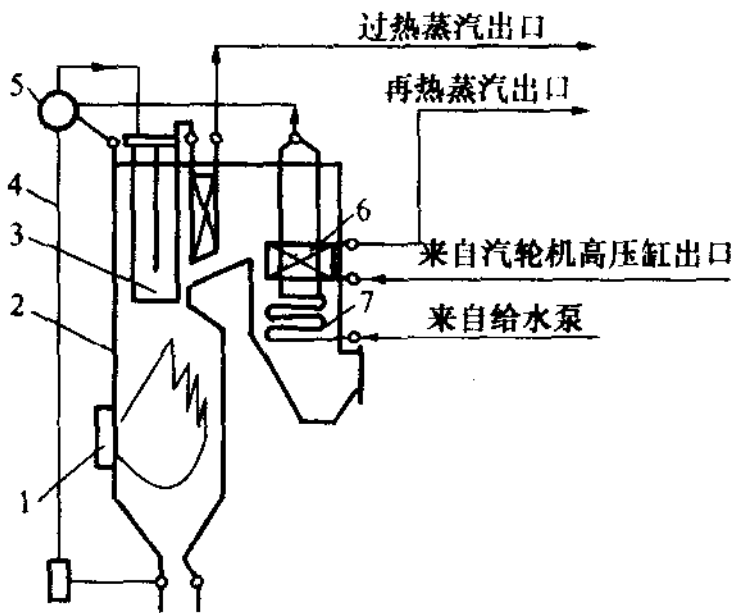


图 1-2 煤粉炉

1—燃烧器；2—水冷壁；3—过热器；4—下降管；

5—汽包；6—再热器；7—省煤器

置有水冷壁受热面，燃烧室底部为一锥形灰渣斗，没有炉排。其燃烧过程如下：经过制粉设备磨制的煤粉，由具有一定温度、压力和速度的空气呈气力输送状，经燃烧器喷射入燃烧室悬浮燃烧。燃烧产物烟气经燃烧室上部炉膛出口进入对流烟道。煤粉燃烧后形成的灰渣，降落至下部灰渣斗排出。

煤粉炉的燃烧特点：燃烧的全过程时间短、燃烧反应剧烈、燃烧完全；燃料颗粒细、燃烧面积大；燃料呈悬浮状态燃烧，颗粒完全被空气包裹，燃料与空气的混合条件良好；燃料离开燃烧器以后，直接与高温火焰接触，火焰中心温度高达  $1600^{\circ}\text{C}$  以上，着火条件好；颗粒细，燃烧需要的时间短，容易完全燃烧。

根据煤粉炉的燃烧特点，煤粉炉具有如下特性：

(1) 燃料的适应性比层燃炉强，对燃料的水分及发热量变化不十分敏感。

(2) 燃烧效率高，可达 99% 以上，灰渣、飞灰的含碳量较低，热损失小。

(3) 燃烧反应强烈，炉温高、炉膛辐射传热效果好、锅炉产汽量大，热效率高，可达 90% 以上。

(4) 锅炉便于实现高参数大容量制造，为电站锅炉所采用。

(5) 对燃用挥发分很低的无烟煤不十分稳定；不能燃用发热量很低的劣质煤和煤矸石。

(6) 燃烧温度高，燃烧脱硫较困难，二氧化硫、氮氧化物等有害气体对环境危害严重。

(7) 煤粉、飞灰对煤粉输送管道及对流受热面存在一定

程度的磨损危害。

### 3. 流化床燃烧

流化床燃烧是指燃料在流化床内受气力的推动，呈流化状态燃烧，因燃料在流化床布风板上，上下剧烈翻腾运动，又习惯称为沸腾燃烧方式。目前，国内采用流化床燃烧方式的锅炉有鼓泡流化床和循环流化床两大类。

风帽式全沸腾炉是国内工业生产使用最广的鼓泡流化床锅炉，如图 1-3 所示为风帽式沸腾炉的典型结构，其燃烧设备是由风板与风帽组成的。其燃烧过程如下：燃料由给煤机经下煤口进入流化床，一次风由等压风室经布风板风帽小孔进入流化床，燃料在流化床内与灼热的炉料直接混合，并很快被加热着火，同时在一次风的作用下，剧烈地上下翻腾燃烧。一部分颗粒较小的燃料，被气流携带出流化床，在上部炉膛悬浮燃烧。燃烧形成的灰渣，粗颗粒由布置在流化床布风板上的渣管排出炉外，一部分颗粒较小的由后墙的溢流口

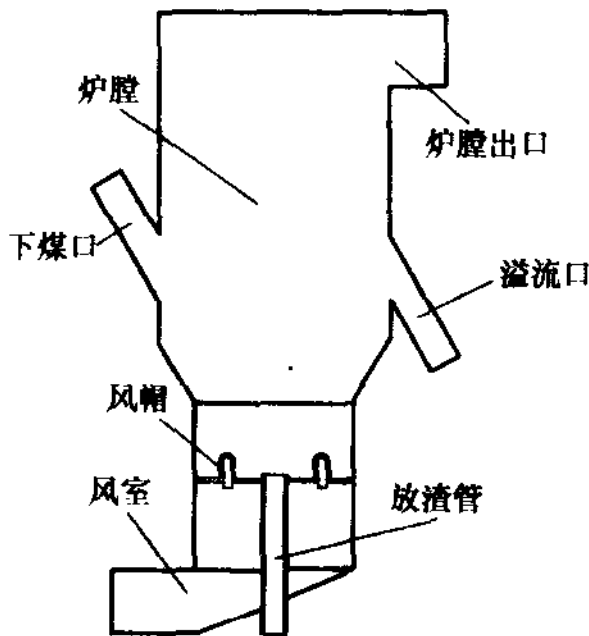


图 1-3 沸腾炉示意



溢出炉外，还有一部分细灰随燃烧产物烟气从炉膛出口进入对流烟道。

循环流化床锅炉是在风帽式沸腾炉的原理上发展起来的流化床锅炉，图 1-4 是典型的循环流化床锅炉结构，其燃烧设备有流化床、分离器、返料器。其燃烧过程为：燃料由给煤口进入流化床，一次风经等压风室穿过布风板风帽小孔进入流化床，燃料与流化床内灼热的炉料直接混合，在一次风的作用下流化燃烧。粗渣经放渣管定期排出炉外，细颗粒燃料被高速气流夹带出流化床在上部炉膛悬浮燃烧。燃烧产物烟气以及悬浮燃烧形成细灰和未燃尽的固体可燃物经炉膛出口进入分离器。在分离器的作用下，烟气中的固体颗粒被分离和收集，由分离器下部料腿进入返料器。进入返料器的细灰在返料风的作用下由返料口再返回流化床循环燃烧。分离器内经过分离净化的高温烟气以及一部分细微灰粒经分离器

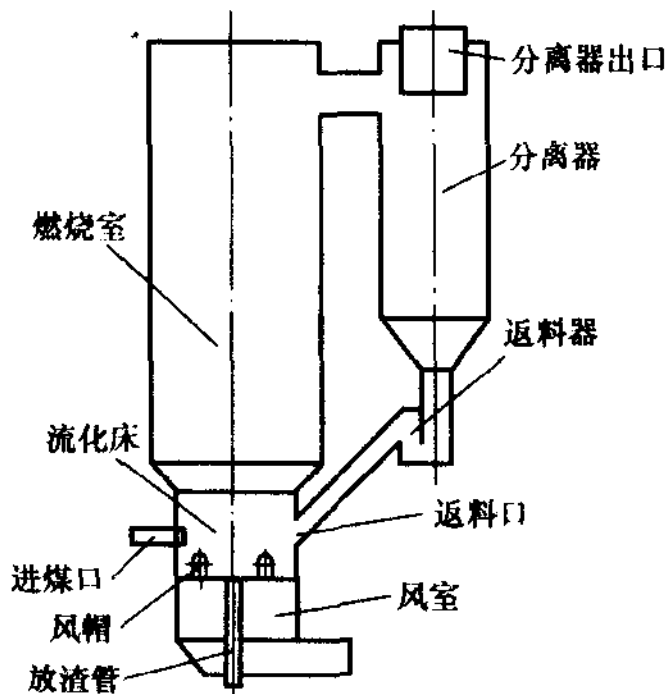


图 1-4 循环流化床锅炉示意