

电力技术继续教育科目指南丛书

循环流化床燃烧技术

四川省电力工业局
四川省电力教育协会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书共七章,内容包括循环流化床燃烧技术发展概况;循环流态化的基本概念;循环流化床锅炉的结构特点、运行特性;内江发电总厂引进 410t/h 循环流化床锅炉的设计及结构特点、运行情况;循环流化床燃烧技术的应用和发展方向。

本书为电力系统专业技术人员和管理人员的继续教育培训教材,也可供从事循环流化床燃烧技术的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

循环流化床燃烧技术/四川省电力工业局四川省电力教育协会编. -北京:中国电力出版社,1998

(电力技术继续教育科目指南丛书)

ISBN 7-80125-711-1

I. 循… II. 四… III. 流化床-燃煤锅炉-燃烧
N. TK229.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09226 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 2.25 印张 35 千字

印数 0001—4090 册 定价 7.00 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)

**关于推荐使用
“电力技术继续教育丛书”
的通知**

教成 [1998] 11 号

为了促进电力企业专业管理人员和专业技术人员的继续教育和岗位培训工作，四川省电力工业局、四川省电力教育协会组织编写，并由中国电力出版社出版了“电力技术继续教育丛书”八种，谨向各单位推荐使用。

中电联教育培训部

一九九八年三月十六日

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

主任委员：晏玉清
副主任委员：王龙陵 沈迪民 丁福煜 杨纯龙
委 员：赵兴康 朱国俊 王 旭 胡家明
李小白 熊回川 张德范 向 进
刘兴仁 杨胜渤 廖永纲 林文静

总 编：丁福煜
副 总 编：王 旭 杨胜渤
主 审：赵兴康 朱国俊

《循环流化床燃烧技术》

编 审 人 员

主 编：许华年
编 审 者：卢啸风 陶世健 王大军
刘尚贤 唐世明

序

为贯彻《中国教育改革和发展纲要》中提出的职工教育要“把大力开展岗位培训和继续教育作为重点，重视从业人员的知识更新”的要求，使职工教育工作更好地为电力系统专业技术人员和管理人员拓展专业知识，提高专业技术水平和管理能力服务，为电力企业安全文明生产“双达标”、“创一流”服务，为促进电力事业的发展服务，在四川省电力工业局的领导下，四川省电力教育协会与四川省电力工业局教育处组织一批专家、教授和工程技术人员，联系电力系统的实际，结合国内外电力技术现状及发展方向，贯彻继续教育面向现代化、面向世界、面向未来的方针，注重针对性、实用性、科学性和先进性，编写了这一套《电力技术继续教育科目指南丛书》，作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也为电力系统的管理人员提供一套学习资料。

本丛书共十一册，其中：《高压输电线路微机保护》、《电网无功电压管理与电压稳定》、《电网防污闪技术》、《汽轮发电机组振动》、《变电所自动化技术与无人值班》、《水电站综合自动化》、《信息高速公路与企业网》、《循环流化床燃烧技术》等八册由中国电力

出版社出版发行。另三册,即《数字数据网(DDN)通信技术》、《分散控制系统(DCS)及其应用》、《热管应用及前景》由四川省电力工业局作为资料印发。

本丛书在编写与审稿全过程中,得到了四川省电力工业局领导和有关处室的大力支持与帮助。承担编写工作的四川电力试验研究院、四川电力调度局、重庆电力职工大学、成都电力职工大学、重庆大学、成都电业局、龚咀水力发电总厂、内江发电总厂、成都水力发电学校、都江电力设备厂等单位以及重庆市电力工业局为丛书的编写提供了良好的工作条件,给予了极大的支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,错漏在所难免,诚望读者指正。

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

1998年3月

前 言

根据四川省电力工业局教育处关于编写继续教育科目指南及其审定会的要求,我们编写了这本《循环流化床燃烧技术》,以供电力系统各单位高中级专业技术人员及管理干部学习。

本书主要介绍了循环流态化燃烧技术的发展概况、循环流态化的基本原理、循环流化床锅炉的一般运行特征、内江发电总厂引进 410t/h 循环流化床锅炉的运行情况,以及国内外大型循环流化床锅炉设计、运行方面的一些经验及其发展前景。全书共七章,内容包括循环流化床燃烧技术发展概况;循环流态化的基本概念;循环流化床锅炉的结构特点;循环流化床锅炉的运行特性;内江发电总厂引进 410t/h 循环流化床锅炉的设计及结构特点;内江发电总厂引进 410t/h 循环流化床锅炉的运行情况;循环流化床燃烧技术的应用和发展方向。

通过对本书的学习,希望帮助学员能够较系统、全面地了解循环流化床燃烧技术的基本原理、运行特点以及目前的发展情况,提高学员对循环流态化的基本原理、循环流化床锅炉的一般运行特性的认识水平。

本书应以 20 个学时完成。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 3 月

目 录

序

前言

第一章 循环流化床燃烧技术发展概况	1
第一节 循环流化床燃烧技术发展的历史背景	1
第二节 循环流化床燃烧技术发展概况	1
第三节 循环流化床锅炉的主要优点	2
第四节 循环流化床锅炉在国内外的应用情况	3
第二章 循环流态化的基本概念	5
第一节 流态化现象及其特点	5
一、流态化现象； 二、流态化的定义； 三、气固流化床类似液体的特性	
第二节 循环流态化的基本概念	6
一、气固流化床的形式及判别； 二、循环流态化的存在区域； 三、循环流态化的主要特点； 四、循环流化床锅炉	
第三章 循环流化床锅炉的结构特点	9
第一节 循环流化床锅炉燃烧系统的组成	9
一、燃烧室； 二、高温旋风分离器； 三、飞灰回送装置； 四、外部低速流化床热交换器	
第二节 循环流化床锅炉与常规煤粉锅炉的区别 ...	12
一、燃烧室底部布风板； 二、床料循环系统； 三、入炉煤粒径大； 四、循环灰参数对锅炉运行的影响；	

五、控制系统要求高

第三节 循环流化床锅炉的种类及其特点 14

- 一、带整体式再循环换热器 (IntrexTM) 的循环流化床锅炉;
- 二、Lurgi 循环流化床锅炉;
- 三、Circofluid 循环流化床锅炉;
- 四、Pyroflow 循环流化床锅炉

第四章 循环流化床锅炉的运行特性 16

第一节 循环流化床锅炉的物料回送特性 16

- 一、阀型回送装置的基本原理及回送特性;
- 二、自动调整型回送装置的基本原理及回送特性

第二节 循环流化床锅炉的燃烧特性 17

- 一、循环流化床锅炉对燃料的适应性;
- 二、循环流化床锅炉炉内燃烧过程;
- 三、飞灰再循环倍率对燃烧效率的影响;
- 四、床温变化对燃烧效率的影响

第三节 循环流化床锅炉的负荷调节特性 20

第四节 循环流化床锅炉的污染控制特性 22

- 一、循环流化床锅炉炉内脱硫;
- 二、氮氧化物 (NO_x) 的排放控制

第五章 内江发电总厂引进 410t/h 循环流化床

锅炉的设计及结构特点 25

第一节 主要技术规范 25

- 一、炉型;
- 二、主要设计数据

第二节 设计校核煤种及石灰石 26

- 一、设计校核煤种;
- 二、设计石灰石

第三节 主要系统描述 27

- 一、燃烧系统;
- 二、煤和石灰石给料系统;
- 三、烟风系统;
- 四、除灰渣系统;
- 五、启动燃烧器及床枪;
- 六、汽水系统;
- 七、控制系统

第四节 主要结构特点	33
第六章 内江发电总厂引进 410t/h 循环流化	
床锅炉的运行情况	35
第一节 运行情况	35
第二节 存在问题	38
第七章 循环流化床燃烧技术的应用和发展	
方向	40
第一节 概述	40
第二节 主要循环流化床锅炉的大型化现状	41
一、FW 技术循环流化床锅炉； 二、Lurgi 技术循环流	
化床锅炉； 三、Babcock 公司开发的 Circofluid 型循环	
流化床锅炉	
第三节 循环流化床锅炉的大型化发展	48
一、对燃烧室内受热面布置的影响； 二、二次风的穿透	
能力对燃烧室深度的影响； 三、分离器直径加大和个数	
增多对锅炉整体布置的影响	
第四节 增压流化床 (PFBC) 锅炉	54
一、发展现状； 二、主要技术特点； 三、增压流化床	
燃烧技术的发展方向和技术难点	
参考文献	58

第一章

循环流化床燃烧技术发展概况

第一节 循环流化床燃烧技术发展的 历史背景

70 年代初出现的中东石油危机，使世界各国将能源结构的比例从燃油（天然气）向燃煤转移。但燃煤带来严重的环境污染，而煤粉燃烧技术的发展，并不能阻挡由于煤质下降对能源生产及环境保护所带来的越来越大的危害势头。因此，新一代的燃烧技术——具有高效低污染、煤种适应性较好的循环流化床燃烧技术应运而生。

第二节 循环流化床燃烧技术 发展概况

循环流态化的概念来自于化工领域，各国在将此技术移植于能源工业领域时，根据各自的具体情况，在锅炉结构上采用了略有不同的设计方案，申请了各自的专利技术，从而形成了不同的类型锅炉。

目前,国外主要有以下四种类型的循环流化床锅炉:

(1) 带整体式再循环换热器 (IntrexTM) 的循环流化床锅炉, 由美国 FW 能源公司生产。

(2) Lurgi 循环流化床锅炉, 由前联邦德国 Lurgi 锅炉公司研制。

(3) Circofluid 循环流化床锅炉, 由德国 Babcock 和 VKW 锅炉公司研制。

(4) Pyroflow (Pyropower) 循环流化床锅炉, 由芬兰 Ahlstrom 公司制造。目前在世界上已投运行了 100 余台采用该技术制造的循环流化床锅炉。

国外现役的 100~300MW 级循环流化床锅炉主要有 Lurgi 型、Pyroflow 型以及美国 Foster Wheeler 能源公司生产的带有 IntrexTM 流化床换热器的锅炉, 目前已投运 20 余台。

第三节 循环流化床锅炉的主要优点

循环流化床锅炉有以下主要优点:

(1) 对燃料适应性特别好。在循环流化床锅炉中按质量百分比计, 燃料仅占床料的 1%~3%, 其余为灼热的床料, 循环流化床的特殊流动动力特性使得气固和固固混合得非常好。因此, 即使是很难着火燃烧的燃料, 进入炉膛后也能很快地与灼热的床料混合, 被迅速加热至高于着火温度。实际上, 许多循环流化床

锅炉燃用的是灰分为 40%~60% 的煤。

(2) 燃烧效率高。在循环流化床锅炉中，燃烧区域扩展到整个炉膛乃至高温旋风分离器，携带出炉膛的粒子被高温旋风分离器捕集，并直接送回燃烧室下部循环再燃烧，有的锅炉中，从分离器逃逸的细颗粒在尾部烟道被收集，并回送燃烧室以进一步降低燃烧损失。在烧优质煤时，燃烧效率与煤粉锅炉的持平；烧劣质煤时，燃烧效率约比煤粉锅炉的高 5%。

(3) 燃烧强度大。约为煤粉锅炉燃烧强度的 10 倍。

(4) 负荷调节性能好。循环流化床锅炉由于截面风速高和吸热控制容易，所以负荷调节很快。负荷调节范围可低至 10%~25%；负荷调节速度可达 5%~10%/min。

(5) 投资及运行费用低。在综合考虑锅炉经济运行及污染物排放控制（脱硫、脱氮及灰渣利用）时，循环流化床锅炉投资及运行费用均低于煤粉锅炉的。

第四节 循环流化床锅炉在国内外的应用情况

循环流化床锅炉在西方主要工业国家受到重视并得到大力发展。目前已有近 300 台电厂循环流化床锅炉投入运行，总装机容量在 10000MW 以上。

在美国，已投运 20 余台电厂循环流化床锅炉。运

行较好的是在 Nucla 电厂的 420t/h 循环流化床锅炉。

在德国,现已有近 35 台循环流化床锅炉在建造或运行中。最大的循环流化床锅炉是 1989 年在 Moabit 电厂投运的 Lurgi 型 110MW 循环流化床锅炉。

在法国,循环流化床锅炉技术主要被用于改造旧的电厂锅炉。1990 年,Emile Huchet 电厂的一台 12.5 万 kW 的 #4 燃油锅炉改为循环流化床锅炉;1995 年 11 月,Gardanne 电厂的 250MW 循环流化床锅炉机组满负荷发电,目前运行状况良好。

在日本,引进芬兰的 Pyroflow 技术,自行设计并投运了最大容量为 250t/h 的循环流化床锅炉;引进 Lurgi 技术,1989 年投运了 63t/h 循环流化床锅炉。

目前国内已有 300 余台 35~75t/h 的循环流化床锅炉投入运行。有多家锅炉制造厂在生产循环流化床锅炉,商业化产品在 75t/h 以下,产品最多的是济南锅炉厂(采用中科院工程热物理研究所开发的循环流化床锅炉技术)。哈尔滨锅炉厂、东方锅炉厂和上海锅炉厂利用国外公司技术(FW)设计、生产和投运了几台 220t/h 容量的循环流化床锅炉。

国产小型循环流化床锅炉的特点是:为适应燃用宽筛分的劣质燃煤,往往采用较低的循环倍率;在一个大粒子床的上部叠加一个小粒子床。

第二章

循环流态化的基本概念

第一节 流态化现象及其特点

一、流态化现象

当气体或液体以一定的速度流过固体颗粒层时，固体颗粒层呈现出类似于液体状态的现象，称为流态化现象。

二、流态化的定义

当气体或液体以一定的速度流过固体颗粒层，并且气体或液体对固体颗粒产生作用力与固体颗粒所受其他外力相平衡时，固体颗粒层会呈现出类似于液体状态的现象，这种操作状态称为流态化。

三、气固流化床类似液体的特性

气固流化床很像沸腾的液体。一个大而轻的物体可以轻松地推入床层，一经松开，它就会浮在床层表面上；当流化床倾斜时，床层表面保持水平；当两个床层连通时，它们自行找平；固体颗粒可从容器壁上的小孔喷出，也可像液体那样，从一个流化床流入另一个流化床。

第二节 循环流态化的基本概念

一、气固流化床的形式及判别

流态化是一个极为复杂的现象，尤其是气固流态化。其影响因素很多，主要是受气体流动速度（流化速度或空气截面速度）、固体颗粒特性（密度、粒度等）、流体特性（密度、黏度等）以及固体器壁的影响。随流化速度增加，一个垂直上行气固系统会依次呈现以下几种状态：

（1）固定床。其特征是固体颗粒静止不动。

（2）鼓泡流态化。其特征是超过临界流化风量的空气以气泡形式流过床层，存在明显的密相界面。这是工业应用中常见的一种流化现象，也叫聚式流化。

（3）湍动流态化。其特征是流化风速超过颗粒的临界飞出速度时，床内只有很模糊的密相界面，颗粒弥散于整个床内空间。

（4）快速流态化。处于湍动流态化的床层，若无床料补给时，床层很快将被吹空；当继续增大流化风速，并且床料补给速率大于床内颗粒的飞出速率时，床内呈现快速流态化。其特征是：床内气泡消失，无明显密相界面，床内颗粒密度呈现上稀下浓状态，存在颗粒成团与返混现象。

（5）密相气力输送。在快速流态化的基础上继续