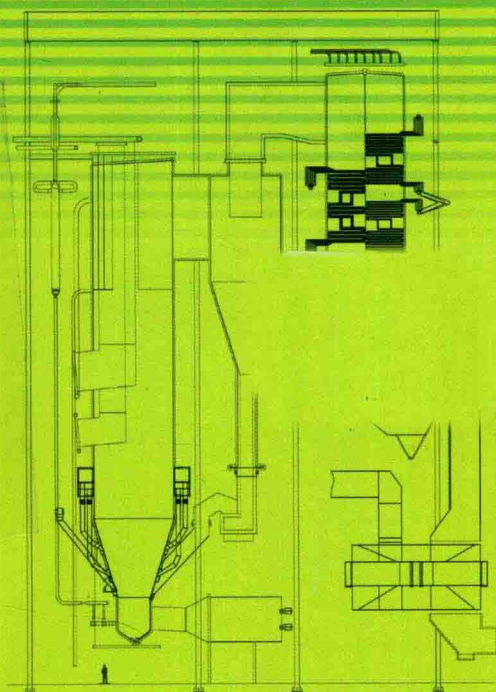


循环流化床锅炉技术

1000问

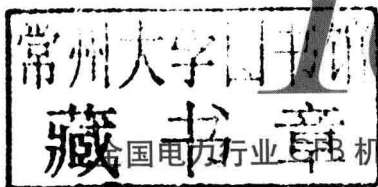
全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

循环流化床锅炉技术

1000问



藏书章

全国电力行业电厂机组技术交流服务协作网 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为提高循环流化床锅炉运行、检修人员的整体水平，提高机组的运行可靠性与经济性，全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网组织专家编写了《循环流化床锅炉技术 1000 问》。本书共分为六章，分别介绍了循环流化床锅炉基础知识、主要设备、运行操作、优化试验、事故处理和检修维护。全书的问答形式通俗易懂、实用性强。

本书既可作为循环流化床锅炉从业者的培训教材，也可供从事循环流化床锅炉运行、安装、调试、检修等方面工作的技术人员、管理人员、科研人员参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

循环流化床锅炉技术 1000 问 / 全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网组编. —北京: 中国电力出版社, 2016.6

ISBN 978-7-5123-9326-4

I. ①循… II. ①全… III. ①循环流化床锅炉—问题解答 IV. ①TK229.6-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 103705 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>

责任编辑: 周娟华 柳 璐 联系电话: 010-63412601

责任印制: 蔺义舟 责任校对: 王开云

汇鑫印务有限公司印刷 · 各地新华书店经售

2016 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32 · 15.625 印张 · 408 千字 · 9 插页

定价: 75.00 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 审 委 员 会

(按姓氏笔画排序)

- | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|--|
| 编 委 会 主 任 | 江宇峰 | | | | |
| 编委会常务副主任 | 岳光溪 | | | | |
| 编 委 会 副 主 任 | 孙献斌 | 罗 勇 | 肖 平 | 蔡义清 | |
| 编 委 会 委 员 | 马 辉 | 王 铮 | 王 鹏 | 吕俊复 | |
| | 朱叶卫 | 江建忠 | 苏 虎 | 李建军 | |
| | 束金根 | 肖 峰 | 冷 杰 | 辛以振 | |
| | 赵长遂 | 徐 源 | 郭 俊 | 郭钛星 | |
| | 梁建红 | | | | |
| 总 策 划 | 蔡义清 | | | | |
| 主 编 | 黄 中 | | | | |
| 副 主 编 | 程昌业 | 蔡新春 | | | |
| 参 编 | 刘柏谦 | 刘冠杰 | 李建锋 | 杨革新 | |
| | 杨海瑞 | 陈 林 | 苗 锐 | 林永华 | |
| | 林 森 | 周贻峰 | 段钰锋 | 姜孝国 | |
| | 郭俊林 | 黄勇宾 | 曹煦澄 | 崔淑玲 | |
| | 程乐鸣 | 焦新峰 | | | |

主 审 岳光溪 孙猷斌
副 主 审 胡昌华 卢啸风 包绍麟 王 迪
参 审 于 斌 马 君 马 琳 王 坤
 王晓虎 付知中 朱学智 刘上中
 刘孝平 刘志勇 刘爱成 张文元
 张国胜 陈 相 陈燕辉 郝志刚
 唐志钢 蒋晓双 鲁 栋 魏 君
编审统筹 杨 娟 丰 斌

序 言

我国主要能源供应来自煤炭，这个局面在很长时期内无法改变。中国高质量煤炭资源有限，高灰分、高硫分、低热值煤炭必须加以利用，包括煤炭洗选下来的煤矸石、洗中煤和煤泥不加利用会造成环境污染和资源浪费。业已证明循环流化床燃烧技术是大规模利用劣质煤及洗煤废物的唯一有效方式，也是降低劣质煤燃烧引起污染最经济的方式。

中国自 20 世纪 80 年代开始研究开发循环流化床燃烧技术，在与引进技术竞争的过程中逐步壮大，形成了中国独立的循环流化床设计理论，开发出了系列容量的循环流化床锅炉产品，技术水平世界领先。在控制中国市场后，正在逐步打入世界市场。我国循环流化床燃烧技术不但包含了先进的设计理念，更重要的是形成了完备的设计、制造、安装、运行和检修体系。这个体系的代表是一大批在一线实践的工程师队伍及他们头脑中的经验和知识。

本书是这批工程师通过个人工作体会加以整理得到的循环流化床锅炉运行、检修经验汇总。当然书中也对循环流化床燃烧发电厂系统中主要基本概念的扼要介绍。本书对进一步提高我国循环流化床发电企业工程技术人员的理论水平，交流推广工程经验具有重要价值，同时本书也可以成为刚刚进入本领域青年工程师们的入门钥匙。

感谢全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网为循环流

化床发电行业发展所做的工作，期望循环流化床锅炉技术继续蓬勃发展。

岳光溪

清华大学热能工程系教授

中国工程院院士

2016年4月

前 言

循环流化床锅炉在中国起步发展较晚，为提高循环流化床锅炉运行、检修技术人员整体水平，提高机组的运行可靠性与经济性，2006年全国电力行业CFB机组技术交流服务协作网组织专家编辑出版了《循环流化床锅炉技术600问》，全书以问答形式介绍了循环流化床锅炉的基础知识及运行、设备检修和事故处理方法，全书通俗易懂、实用性强，受到了广大循环流化床发电行业从业人员的热烈欢迎，成为了必备的工具书。

随着循环流化床发电技术的不断发展，中国已经完成了从高压、超高压、亚临界到超临界循环流化床锅炉技术的发展，随着各型自主开发循环流化床锅炉的投运，中国在大型循环流化床锅炉技术研发和应用方面已经居于世界领先水平。作为世界循环流化床发电技术的引领者，中国每年在循环流化床发电技术领域发表的期刊论文近800篇，申请各类专利300项。在中国技术人员的不懈努力下，循环流化床锅炉的设备可靠性、运行经济性和环保排放得到了显著提高。国内主要的电力集团、煤矿企业均有循环流化床发电机组，应用涵盖电力生产、矸石消纳、石油石化、氯碱化工、有色冶金和造纸等领域。截至2015年12月底，全国拥有100MW以上等级循环流化床机组370多台，自主知识产权的600MW和350MW超临界循环流化床机组先后投产，并取得了良好的示范效果，660MW超超临界及1000MW超临界、超超临界循环流化床锅炉技术已列入《中国制造2025》，正在进行技术开发研究工作。

为全面反映行业技术进展，总结运行管理等技术经验，2015年，全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网组织专家编写了《循环流化床锅炉技术 1000 问》。本书的参编和审稿专家均来自于科研院所、制造厂家和运行一线，有着多年的从业经验。中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、西安热工研究院有限公司、清华大学、浙江大学、东南大学、中国科学院工程热物理研究所、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、上海锅炉厂有限公司、无锡华光锅炉股份有限公司、太原锅炉集团有限公司、济南锅炉集团有限公司、华西能源工业股份有限公司、烟台龙源电力技术股份有限公司、山西国际能源集团公司、神华集团循环流化床技术研发中心和《中国循环流化床发电》杂志在编写过程中提供了大量技术资料，中国电力企业联合会科技开发服务中心为本书的编纂提供了便利的条件，在此表示衷心感谢！

本书共分为六章，分别介绍了循环流化床锅炉基础知识、主要设备、运行操作、优化试验、事故处理和检修维护。本书既可作为循环流化床锅炉从业者的培训教材，也可供从事循环流化床锅炉运行、安装、调试、检修等方面工作的技术人员参考阅读。

由于循环流化床锅炉发展迅速，大型循环流化床锅炉技术特别是超临界循环流化床锅炉技术的研究还在不断进行，对循环流化床锅炉设计制造、安装使用、维护管理方面规律的认识和总结还会不断提升，因此书中存在不足在所难免，敬请广大读者批评指正。

读者如有其他需要解答的问题可致信 xhlhcfid@163.com 或订阅“循环流化床发电”微信公众号与我们联系。

编者
2016年4月

目 录

序言
前言

第一章 基础知识篇

技术起源与发展	3
1. 什么是流化床锅炉和循环流化床锅炉?	3
2. 循环流化床锅炉与其他燃煤锅炉燃烧方式有何差异?	4
3. 循环流化床锅炉和鼓泡流化床锅炉相比有什么技术特点?	4
4. 循环流化床锅炉的“床”指的是什么? 如何理解“循环”和 “流化”?	6
5. 循环流化床锅炉燃烧的基本特征是什么?	7
6. 循环流化床锅炉有哪些优缺点?	7
7. 循环流化床锅炉的认识和定位上有哪些常见误区?	9
8. 循环流化床锅炉与煤粉锅炉的主要区别有哪些?	9
9. 循环流化床锅炉煤种适应性强的主要原因是什么?	10
10. 循环流化床锅炉与煤粉锅炉相比有哪些特殊设备?	11
11. 循环流化床锅炉炉内热负荷分布与煤粉锅炉相比有什么 区别?	11
12. 为什么循环流化床锅炉的厂用电率和能耗高于煤粉锅炉?	11
13. 循环流化床锅炉适于燃用什么样的煤种?	12
14. 中国为循环流化床锅炉技术发展做出了哪些重要的贡献?	12
15. 中国大型循环流化床锅炉的应用情况如何?	13
16. 中国大型循环流化床锅炉制造企业有哪几家?	13
17. 如何识别循环流化床锅炉的制造企业和主要参数?	13

18. 循环流化床锅炉的铭牌和参数规范包括哪些内容?	14
19. 循环流化床锅炉的常用分类方法有哪些?	14
20. 循环流化床锅炉如何按照蒸汽压力等级分类?	14
21. 蒸汽参数对循环流化床锅炉整体布置有何影响?	15
22. 什么是循环流化床锅炉的流态图谱?	15
23. 近年来出现的炉膛气固流态重构技术指的是什么?	16
24. 为什么要发展大容量高参数循环流化床锅炉?	17
25. 世界上目前有哪些在役的超临界循环流化床锅炉?	17
26. 为什么要发展超临界及超超临界循环流化床锅炉?	18
27. 我国超临界及超超临界循环流化床锅炉有哪些潜在的 应用领域?	18
28. 循环流化床锅炉选型和优化过程中有哪些值得关注的问题? ..	18
29. 为什么循环流化床锅炉要开展标准化研究与应用推广工作? ..	20
30. 循环流化床锅炉现行的行业标准有哪些?	20
31. 循环流化床锅炉正在制定的行业标准有哪些?	21
流态化基本原理	21
32. 什么是流态化?	21
33. 形成气固流态化的基本条件是什么?	22
34. 颗粒流化后类似流体的特性有哪些?	22
35. 颗粒在流体中沉降时会受到哪些力的作用?	22
36. 主要的流态化形式有哪几种?	23
37. 如何区分床层的不同流化形式?	24
38. 固定床的特征是什么?	25
39. 什么是散式流态化和聚式流态化?	26
40. 什么是节涌?	26
41. 什么是湍流流态化?	26
42. 湍流床的特征是什么?	26
43. 什么是快速流态化?	26
44. 什么是气力输送速度?	27

45. 什么是密相气力输送和稀相气力输送?	27
46. 什么是气泡相和乳化相?	27
47. 流化床有哪几种非正常流化状态?	28
48. 什么是沟流?	28
49. 什么是料层的分层?	28
50. 什么是异重流化床?	28
51. 什么是柱塞流动?	28
52. 什么是起始流态化?	28
53. 什么是扬析? 哪些颗粒易被扬析?	29
54. 什么是夹带? 产生夹带的原因有哪些?	29
55. 什么是噎塞?	29
56. 什么是饱和携带量?	29
57. 什么是循环流化床锅炉的临界流化速度和临界流化风量?	30
58. 临界流化速度和临界流化风量的影响因素有哪些?	30
59. 什么是环核流动?	30
60. 什么是颗粒的滑移速度和终端速度?	30
61. 什么是空塔速度?	30
62. 固体颗粒包括哪些物理特性参数?	31
63. 一般情况下流态化颗粒分为哪几类?	31
64. 什么是空隙率?	32
65. 什么是颗粒球形度?	32
66. 什么是颗粒平均粒径?	32
67. 什么是颗粒的粒度分布曲线?	33
68. 什么是颗粒的中位粒径?	34
69. 颗粒粒度分布的常用测量方法有哪些?	34
70. 筛网尺寸和颗粒直径如何换算?	34
71. 常见的颗粒尺寸大致处于什么范围?	35
72. 什么是床料?	35
73. 床料有何作用?	35
74. 什么是物料?	36

75. 什么是颗粒密度、堆积密度和真实密度？	36
76. 宽筛分颗粒床层有怎样的起始流化特性？	36
77. 循环流化床流体动力特性有哪些研究方法？	36
78. 数值模拟研究的理论基础是什么？	37
79. 常规的数值模拟方法有哪两大类？	37
80. 常用的数值模拟软件有哪些？	38
电厂相关知识	38
81. 什么是热力循环？	38
82. 火力发电厂主要使用哪些热力循环？	39
83. 什么是朗肯循环？	39
84. 提高朗肯循环效率的途径有哪几种？	40
85. 什么是给水回热循环？	40
86. 为何给水回热循环需要合理选择抽汽温度和级数？	40
87. 什么是中间再热循环？	41
88. 为什么电厂一般只采用一级或两级中间再热系统？	41
89. 为什么循环流化床锅炉效率能够达到 90%以上但全厂热效率 远低于该数值？	41
90. 为什么再热汽温调节一般不使用喷水减温？	42
91. 过热汽温低有何危害？	42
92. 水有哪些状态？	42
93. 什么是锅炉的水动力特性？	43
94. 为什么要进行水动力计算？	43
95. 什么是伯努利原理？	43
96. 流动阻力是如何形成的？	43
97. 热传递有哪些方式？	44
98. 循环流化床锅炉常用的换热器有哪几种？	44
99. 什么是受热面管束的错列和顺列布置？	44
100. 什么是炉内过程和锅内过程？	45
101. 什么是锅炉自然水循环工作原理？	45

102. 什么是饱和蒸汽、饱和温度和干度？	45
103. 什么是汽化潜热？	46
104. 什么是膜态沸腾？	46
105. 什么是水的硬度？什么是硬水、软水和水的软化？	46
106. 什么是软化水和除盐水？	47
107. 什么是结垢？	47
108. 结垢有哪些危害？	47
109. 什么是标准状态？	47
110. 衡量循环流化床机组的主要技术指标有哪些？	48
111. 什么是循环流化床锅炉的额定蒸汽压力和额定蒸汽温度？	48
112. 什么是循环流化床锅炉的额定出力、经济连续出力和最大 连续出力？	48
113. 什么是完全燃烧和不完全燃烧？	48
114. 燃料完全燃烧的条件是什么？	49
115. 燃料一般由哪些主要成分组成？	49
116. 什么是标准煤、发电煤耗和供电煤耗？	49
117. 什么是煤质分析？	50
118. 煤的工业分析包括哪些内容？	50
119. 煤的元素分析包括哪些内容？	50
120. 煤质分析的基准有哪些，之间是如何进行换算的？	50
121. 煤的成分分析及各基准之间有何联系？	51
122. 什么是煤的发热量？	51
123. 什么是煤的灰熔融性？	52
124. 什么是煤的灰成分分析？	52
125. 什么是煤的着火温度？	52
126. 挥发分析出对煤的着火性能有哪些影响？	52
127. 影响挥发分析出的因素有哪些？	53
128. 如何根据工业分析快速计算出 SO ₂ 的排放浓度范围？	53
129. 什么是露点？	53
130. 什么是设计煤种和校核煤种？	53

131. 为什么燃用煤种的不同会对锅炉设计及辅机选型造成影响?	54
132. 什么是理论空气量和过量空气系数?	54
133. 理论空气量如何计算?	54
134. 燃料消耗量和计算燃料消耗量有何区别?	55
135. 煤种发热量改变时循环流化床锅炉的运行参数会发生哪些变化?	55
136. 煤中水分会对燃烧产生什么影响?	55
137. 煤种灰分与灰熔点对燃烧有何影响?	55
138. 影响煤灰熔融特性的因素有哪些?	55
139. 为什么一些循环流化床锅炉需要进行配煤?	55
140. 为什么循环流化床锅炉设计前宜开展半工业试验台试烧试验?	56
141. 半工业试验台试烧试验的典型试验项目包括哪些内容?	56
142. 循环流化床锅炉燃用煤泥的方式有哪些?	57
143. 循环流化床锅炉燃用煤泥会造成何种影响?	57
144. 为什么入炉煤挥发分的不同会形成飞灰含碳量的差异?	57
145. 循环流化床锅炉常用的脱硫剂包括哪几种?	58
146. 如何评价石灰石的反应活性?	58
147. 炉内脱硫对石灰石粒度有什么特殊要求?	59
148. 脱硫剂粒度对脱硫效率的影响有哪些?	59
生产过程	59
149. 循环流化床锅炉的生产过程是什么?	59
150. 循环流化床锅炉在运行过程中会遇到哪几种流态?	60
151. 循环流化床锅炉不同区域的固体颗粒流动状态如何?	60
152. 循环流化床锅炉的物料循环过程包括哪两部分?	61
153. 循环流化床锅炉的内循环有何特点?	61
154. 什么是循环流化床锅炉的物料循环倍率?	62
155. 影响循环流化床锅炉物料循环倍率的主要因素有哪些?	62

156. 如何改善循环流化床锅炉的物料循环倍率?	62
157. 什么是循环流化床锅炉的密相区、过渡区和稀相区?	63
158. 什么是最佳流化风量?	63
159. 什么是循环流化床锅炉的阻力特性?	64
160. 什么是循环流化床锅炉的空板阻力?	64
161. 为什么要求布风板具有一定的阻力?	64
162. 循环流化床流化床锅炉炉内压力分布可以反映出哪些 情况?	64
163. 什么是炉膛出口压力? 监视炉膛出口压力有何意义?	65
164. 什么是炉膛差压?	65
165. 什么是循环流化床锅炉的料层差压?	65
166. 循环流化床锅炉料层差压有何意义?	66
167. 影响循环流化床锅炉炉内物料浓度的因素有哪些?	66
168. 如何控制炉膛床压?	66
169. 循环流化床锅炉炉内物料颗粒有哪几种存在形式?	66
170. 不同尺寸颗粒在循环流化床锅炉运行中按照什么规律 分布?	67
171. 什么是飞灰粒径和飞灰粒度分布?	67
172. 入炉煤粒度偏离设计值对循环流化床锅炉的燃烧有哪些 影响?	67
173. 什么是循环流化床锅炉的物料平衡和灰平衡?	68
174. 如何确定循环流化床锅炉的灰平衡关系?	68
175. 什么是循环流化床锅炉的飞灰、底渣和循环灰?	69
176. 什么是循环流化床锅炉的飞灰底渣比?	69
177. 循环流化床锅炉飞灰底渣比与哪些因素有关?	69
178. 循环流化床锅炉适当增加循环灰有哪些好处?	70
179. 循环流化床锅炉循环灰过量有哪些坏处?	70
180. 循环流化床锅炉炉内过程的基本流程是什么?	70
181. 循环流化床锅炉主要有哪些燃烧区域?	71
182. 循环流化床锅炉高效运行应具备哪些先决条件?	71

183. 什么是循环流化床锅炉的燃烧份额?	72
184. 造成密相区燃烧份额减少的原因是什么?	72
185. 煤粒在流化床内破碎的主要原因是什么?	73
186. 煤粒在流化床中有怎样的磨损特性?	73
187. 影响原煤颗粒流动性的因素有哪些?	73
188. 煤粒进入循环流化床锅炉后将依次经历哪些过程?	74
189. 影响燃煤颗粒热解特性的因素有哪些?	74
190. 什么是煤粒在流化床中的破碎特性?	74
191. 床温对煤粒破碎特性的影响有哪些?	74
192. 煤粒在流化床内有怎样的热解过程?	75
193. 燃料在炉内怎样才能迅速完全燃烧?	75
194. 焦炭颗粒的燃尽取决于哪些条件?	75
195. 如何提高焦炭颗粒的燃烧反应速率?	75
196. 为什么说小粒度煤比大粒度煤更容易着火?	76
197. 影响循环流化床锅炉传热的主要因素和变化规律是什么?	77
198. 物料循环量变化后对燃烧有何影响?	77
199. 流化风速对传热系数有何影响?	77
200. 颗粒循环量、固体颗粒粒径和床温对传热系数有何影响?	77
201. 研究循环流化床锅炉床温特性有什么实际意义?	78
202. 什么是循环流化床锅炉的一次风? 其有何作用?	78
203. 什么是循环流化床锅炉的二次风? 其有何作用?	79
204. 什么是循环流化床锅炉的一次风率和二次风率?	79
205. 一、二次风配比的原则是什么?	80
206. 返料风有何作用?	80
207. 播煤风有何作用?	80
环保特性	81
208. 二氧化硫和氮氧化物的危害有哪些?	81
209. 循环流化床锅炉的二氧化硫是如何生成的?	81
210. 什么是循环流化床锅炉炉内脱硫工艺?	81