

循环流化床锅炉技术 600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
www.cepp.com.cn

推荐书目

大型循环流化床锅炉设备与运行

大型火力发电机组集控运行

600MW级火力发电机组丛书（6分册）

300MW火电机组培训丛书（5分册）

300MW 火力发电机组故障分析

火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程配套设计计算方法

大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书（3分册）

“职业健康安全管理体系”建立与运作100问

汽轮机调节系统检修

汽轮机数字式电液调节系统

电站锅炉手册

电站锅炉空气预热器

燃料电池发电系统（绿色煤电 基金图书）

电力英语应用口语

场协同原理与强化传热新技术

ISBN 7-5083-4846-X



9 787508 348469 >

定价：23.00 元

·销售分类建议：电力工程/电力安全

循环流化床锅炉技术

600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

www.cepp.com.cn

PDG

内 容 提 要

本书以问答形式介绍了循环流化床锅炉的基础知识、运行、设备、检修和事故处理。主要包括：循环流化床锅炉基础理论知识、循环流化床锅炉本体与各辅机设备系统、循环流化床锅炉试验与运行、循环流化床锅炉事故处理与检修。

本书内容全面、实用，通俗易懂，既可作为循环流化床锅炉机组运行、检修技术人员的日常学习用书，也可作为循环流化床锅炉科研设计人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

循环流化床锅炉技术 600 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，2006

ISBN 7-5083-4846-X

I. 循... II. 全... III. 火电厂-流化床-循环锅炉-问答 IV. TM621.2-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 119412 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 10 月第一版 2006 年 10 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9.875 印张 236 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 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)

编审委员会

主任委员	郝卫平			
副主任委员	岳光溪	江哲生	李玉生	黄海涛
委员	程昌业	陈念祖	蔡新春	党黎军
主编	郝继红			
参编	冀慧敏	李建锋	王 卉	
撰 稿	(按照拼音顺序排列)			
	安国银	陈利平	陈松灵	董凤亮
	端木德胜	高辉军	侯栋岐	胡 飞
	黄传海	李 鹏	刘海军	刘晓东
	苗玉民	孙志明	王维进	杨 磊
	翟书伦	张红军	张 坤	张全胜
	张岩丰	张 钊	钊建民	赵德鑫
	周复元	郑秀平		
主 审	岳光溪			
审 稿	程昌业	陈念祖	蔡新春	党黎军

序

我国是以煤炭为主要一次能源的国家，21 世纪内，燃煤在能源消费结构中占主要地位的局面不会有大的改变。煤炭燃烧所产生的污染物排放对生态环境造成了严重的危害。为实现我国经济的可持续发展，必须跨越能源与环境这两座大山，发展高效清洁的煤燃烧技术。

在煤炭清洁燃烧技术中，循环流化床燃烧技术是商业化程度较好的一种。循环流化床锅炉因具有燃料适应性广、负荷调节性强和环保性能优良等特点而受到人们的青睐。

我国循环流化床锅炉发展有二十多年的历史，在国家经济和电力工业快速发展的今天，各等级的循环流化床锅炉如雨后春笋般纷纷上马。据不完全统计，我国投运及拟建的 135MW 等级的循环流化床锅炉已达上百台；300MW 的循环流化床锅炉已经投运，在建及拟建的也超过 40 台。

由于我国循环流化床锅炉比其他燃煤锅炉起步晚、历史短，循环流化床锅炉的设计和运行规律还没有完全被广大运行、检修技术人员所掌握，造成一些锅炉实际运行效率达不到设计要求，部件磨损较严重，设备故障较多，因此大力普及循环流化床锅炉技术和提高广大运行、检修技术人员的素质已十分必要和紧迫。

为了提高循环流化床锅炉机组运行、检修技术人员的整体水平，提高机组的运行可靠性与经济性，促进循环流化床燃烧技术在我国迅速推广与应用，全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网（以下简称协作网）组织全国循环流化床行业内的二十多位专家编写了《循环流化床锅炉技术 600 问》一书。编者们有着多年的从业经验，具有相当深厚的基础理论知识与丰富的实践经

验。他们把理论和经验凝于一书，传给他人，实为好事、幸事。本书由清华大学岳光溪教授担任主审，陈念祖、程昌业、党黎军、蔡新春高级工程师担当审定工作。

本书涵盖了循环流化床锅炉基础知识、运行、检修以及事故处理等内容。本书主要面向循环流化床锅炉运行、检修技术人员，对科研设计人员亦有相当的参考价值。

协作网于 2002 由原国家经济贸易委员会批准成立，成立几年来，为推广循环流化床锅炉技术做了大量有益的工作，在业内赢得了良好声誉。此次协作网组织编写本书的出版，必将对我国循环流化床锅炉运行、检修技术人员整体水平的提高，以及对整个行业内循环流化床锅炉的安全性与经济性的提高能起到重要的作用，乐之，故为之序。

黄其励

2006 年 9 月



前 言

循环流化床（CFB）锅炉因具有燃料适应性广、负荷调节性强以及环保性能优良而日益得到人们的重视。尽管我国循环流化床起步仅有二十多年的时间，发展却非常迅速。但相比于其他燃煤锅炉，循环流化床锅炉起步较晚，一些设计运行规律还没有完全被掌握，造成在实际运行中存在着诸如锅炉效率达不到设计要求、部件易磨损，以及设备故障较多等问题。

为了促进循环流化床锅炉在我国快速发展，加速优化我国火电结构，降低污染物排放，以有利于社会的可持续发展，国家发展和改革委员会专门下发了发改办能源〔2005〕1528 号文，要求全国电力行业 CFB 机组技术交流服务协作网（以下简称协作网）做好对 CFB 机组设计、制造、建设和运行相关信息的分析和研究，提出提高 CFB 运行水平和大型 CFB 机组相关技术应用方面的建议。

为了充分贯彻发改办能源〔2005〕1528 号文件精神，提高循环流化床锅炉机组运行、检修技术人员整体水平，提高循环流化床锅炉机组的运行可靠性与经济性，弥补理论研究与实际运行之间的差距，促进循环流化床锅炉技术在我国迅速推广与应用，协作网组织了全国循环流化床行业内的二十多位专家编写了本书。

本书的撰稿专家来自于科研院所、制造厂家和运行一线，有着多年的从业经验，具有相当深厚的基础理论知识与丰富的实践经验。本书由程昌业高级工程师、陈念祖高级工程师、蔡新春高级工程师、党黎军高级工程师补充审定。最后，由清华大学岳光溪教授对本书进行了主审。在此，对撰稿、审稿专家辛苦的付出

表示衷心感谢!

本书共分为四章,介绍了循环流化床锅炉基础知识、循环流化床锅炉设备、循环流化床锅炉试验与运行、循环流化床锅炉事故处理与检修。

由于循环流化床锅炉发展时间较短,对大型机组的设计与运行规律还有待不断认识和总结,同时本书的编写工作略显仓促,因此书中存在不足在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

2006年9月



目 录

序

前言

第一章 循环流化床锅炉基础知识	1
1. 流态化的基本定义是什么?	1
2. 循环流化床物料的主要流动方式有几种?	
颗粒状态如何?	1
3. 什么是气固流态化?	3
4. 什么是柱塞流态化?	3
5. 什么是湍流流态化?	4
6. 影响物料与受热面间换热的因素有哪些?	4
7. 什么是颗粒终端速度?	4
8. 什么是空塔速度?	4
9. 什么是空隙率 ϵ ?	5
10. 什么是耐火浇注料的重烧变化率 α ?	5
11. 什么是颗粒的球形度?	5
12. 什么叫钙硫摩尔比?	6
13. 什么是物料的循环倍率 k ? 物料的循环过程由哪些过程组成?	6
14. 什么是宽筛分煤粒?	7
15. 什么是临界流化风量?	7
16. 什么是最佳流化风量?	7
17. 什么是流化床的阻力特性?	7
18. 什么是空床(空板)阻力特性试验?	7
19. 流化床锅炉受热面的磨损形式主要有哪几种?	

其机理各是什么?	8
20. d_{50} 的含义是什么?	8
21. 什么是临界流化速度? 临界流化风量是 如何确定的?	8
22. 影响临界流化速度的因素有哪些?	8
23. 什么是扬析?	9
24. 流化床颗粒扬析的机理有哪些?	9
25. 被扬析的颗粒源有哪些?	10
26. 什么是夹带?	10
27. 产生夹带的原因有哪些?	10
28. CFB 锅炉流态化料层类似流体的性质有哪些?	10
29. 固定床的特征是什么?	12
30. 鼓泡床锅炉的特征是什么?	12
31. 湍流床的特征是什么?	13
32. 什么是密相气力输送? 其特征是什么?	13
33. 什么是稀相气力输送? 其特征是什么?	13
34. 什么叫气力输送速度?	14
35. 什么是异重流化床? 其特点是什么?	14
36. 什么是快速循环流化床?	14
37. 什么是循环流化床锅炉?	14
38. CFB 锅炉的特点是什么?	15
39. CFB 锅炉在运行中要遇到哪几种流态?	16
40. 什么叫“散式”流态化? 什么叫“聚式”流态化? ...	16
41. 什么叫起始流态化?	16
42. 什么叫流化极限风速?	16
43. 什么是流化料层的阻力特性?	17
44. 什么叫“噎塞”?	17
45. 什么叫滑移速度?	17
46. 什么叫气泡相?	17
47. 什么叫乳化相?	17

48. 什么叫饱和携带量？	17
49. 流化床几种不正常的流化状态是什么？	17
50. 什么叫沟流？	18
51. 沟流一般分为哪几种方式？	18
52. 什么叫节涌？	18
53. 什么是分层？	18
54. CFB 的宏观流动结构主要是指什么？它受哪些 因素的影响？	18
55. 流化床内的压力分布反映了什么？	19
56. 影响循环倍率的运行因素有哪些？	19
57. 什么是 CFB 锅炉的内循环？	19
58. CFB 锅炉的物料平衡指的是什么？	19
59. 在 CFB 锅炉运行中，不同尺寸的颗粒呈 什么规律分布？	20
60. CFB 颗粒絮状物的形成机理是怎样的？	20
61. 一般情况下颗粒分为哪几类？各有什么特点？	20
62. CFB 内的颗粒大致可分为哪三种形式存在？	21
63. 什么叫颗粒的终端速度？	21
64. 什么叫颗粒密度？什么叫颗粒真实密度？	22
65. 什么叫颗粒堆积密度？什么是颗粒的形状系数？	22
66. 均匀粒度颗粒料层的起始流化特性是怎样的？	22
67. 宽筛分颗粒床层的起始流化特性是怎样的？	22
68. CFB 锅炉不同区域中固体颗粒的流动状态如何？	23
69. 床料层中各物理因素对临界流化风量的 影响有哪些？	23
70. 固体颗粒的物理特性参数包括哪些？	23
71. 在 CFB 气固两相流中，固体颗粒受到哪些力 的影响？	24
72. 在 CFB 锅炉中，固体颗粒起什么作用？	24
73. 颗粒在流体中沉降时，受到哪些力的作用？	25

74. 煤粒在流化床中的破碎特性是怎样的？	25
75. 煤粒在流化床内破碎的主要原因是什么？	25
76. 煤粒在流化床中的磨损特性是怎样的？	25
77. 影响磨损速度的主要因素有哪些？	26
78. 颗粒的形状对其磨损率有哪些影响？	26
79. 影响煤粒磨损的主要因素有哪些？	26
80. 流化床中煤粒的破碎和磨损有什么区别？	26
81. 煤在燃烧过程中的破碎分为哪几种？	27
82. 床温对煤粒破碎特性的影响是什么？	27
83. 煤的热解过程指的是什么？	27
84. 煤的热解一般可分为哪几类？	27
85. 影响煤热解特性的因素有哪些？	27
86. 煤粒在流化床内的热解过程有哪两个典型特性？	28
87. 影响挥发分析出特性的因素有哪些？	28
88. 煤粒进入流化床后会发生哪些变化？	28
89. 挥发分析出对煤的着火性能有哪些影响？	28
90. 煤粒在流化床内的热解过程具有什么特性？	29
91. 为什么说小粒度煤粒比大粒度煤粒更易着火？	29
92. 焦炭颗粒的燃尽取决于什么条件？	29
93. 焦炭颗粒的燃烧速率受到哪些因素的影响？	30
94. CFB 燃烧份额的定义是什么？	30
95. 影响密相区燃烧份额减少的因素有哪些？	30
96. 流化床锅炉结焦的形式有哪几种？	31
97. 什么叫高温结焦？	31
98. 高温结焦的特点是什么？	31
99. 什么是低温结焦？	31
100. 低温结焦的特点是什么？	31
101. 产生结焦的主要原因是什么？	32
102. CFB 锅炉燃烧过程中燃烧份额的分配与 哪些因素有关？	33

103. CFB 锅炉燃烧必须具备的条件是什么？	33
104. 煤粒在进入 CFB 锅炉后将依次发生哪些过程？	34
105. 流化床锅炉燃烧的炉内基本流程是怎样的？	34
106. 影响 CFB 锅炉燃烧的主要因素有哪些？	35
107. 在 CFB 密相区，煤燃烧所释放出的热量由 哪几部分吸收？	36
108. 入炉煤的粒度对流化床锅炉的燃烧有哪些影响？	36
109. CFB 锅炉的炉内传热过程有哪些？	37
110. 影响 CFB 锅炉传热的主要因素有哪些？ 其变化规律是什么？	38
111. 流化风速对传热系数的影响是什么？	38
112. 颗粒循环量对传热系数的影响是什么？	38
113. 固体颗粒的粒径对传热系数的影响是什么？	39
114. 床温对传热系数的影响是什么？	39
115. CFB 锅炉主要有哪些燃烧区域？	39
116. 影响 CFB 锅炉循环倍率的主要因素有哪些？	39
117. 在 CFB 锅炉中，固体颗粒在炉内主要起 什么作用？	40
118. CFB 燃烧锅炉有哪些基本特点？	41
119. CFB 锅炉的优缺点有哪些？	41
120. CFB 锅炉大型化发展目前还需解决的 主要问题有哪些？	43
121. 什么是炉膛差压？	44
122. 什么是 CFB 料层差压？如何计算？特点如何？	45
123. 床料和物料的区别有哪些？	45
124. 什么是 CFB 锅炉的床温特性？	46
125. 什么是 CFB 锅炉一次风？其作用是什么？	47
126. 什么是 CFB 锅炉二次风？其作用是什么？	47
127. 一、二次风配比原则是什么？	48
128. 返料风的作用是什么？	48

129. 什么是锅炉的烘炉？	49
130. 什么是无焰烘炉法？	49
131. 什么是中、低温烘炉？	49
132. 影响高温旋风分离器性能的主要因素有哪些？	50
133. 制约 CFB 锅炉冷态启动速度的因素有哪些？	51
134. 什么叫灰平衡？如何确定一台锅炉的灰 平衡关系？	52
135. 布风板的作用是什么？	53
136. 播煤风的作用是什么？	53
137. 影响煤流动性的因素有哪些？	54
138. 煤粒在流化床内的着火与燃烧过程是 怎样进行的？	54
139. 大型 CFB 锅炉有哪些流派？各有什么特点？	55
140. CFB 锅炉与煤粉炉的主要区别是什么？	56
141. 什么是 CFB 脱硫工艺？其技术优势如何？ 缺点有哪些？	56
142. 影响石灰石有效利用的重要因素是什么？	58
143. 石灰石脱硫的机理是什么？	58
144. CFB 锅炉对原煤粒度的要求是什么？	58
145. 煤粒度特性的测定方法有哪些？	59
146. 煤种灰分与灰熔点对 CFB 锅炉燃烧的 影响有哪些？	59
147. CFB 锅炉冷态空气动力场的试验目的是什么？	60
148. 什么叫 CFB 空板阻力？如何进行空板阻力 特性试验？	60
149. 什么是 CFB 锅炉的料平试验？如何完成料层流化 特性试验？	61
150. 什么叫 CFB 料层阻力和料层流化特性试验？ 有什么意义？	63
151. 二氧化硫和氮氧化物的危害有哪些？	64

152. 二氧化硫的生成过程是什么?	64
153. NO_x 是如何产生的?	65
154. 流化床锅炉的排渣方式有哪些? 其优缺点 是什么?	65
第二章 循环流化床锅炉设备	68
155. 循环流化床锅炉主要由哪些设备组成?	68
156. 流化床燃烧设备分为哪几种类型?	68
157. 流化床锅炉的各种分类是怎样的?	68
158. 循环流化床锅炉的汽水系统包括哪些设备?	68
159. 汽冷式旋风分离器的结构是怎样的?	69
160. 汽冷式旋风分离器有哪些优缺点?	69
161. 循环流化床锅炉分离机构的作用是什么?	70
162. 什么是分离器的分离效率?	70
163. 分离器分离效率的变化将对循环流化床锅炉运行 产生什么影响?	70
164. 什么叫旋风分离器的临界直径?	70
165. 分离器及回送装置对循环流化床锅炉的重要性是什么? 有何特点?	71
166. 影响高温旋风分离器性能的主要因素有哪些?	71
167. 运行条件对分离器的性能有何影响?	72
168. 布风板的种类有哪些? 其作用是什么?	72
169. 流化床为什么要求布风板要有一定的压降?	72
170. 风帽的作用是什么?	72
171. 布风板风帽的种类有哪些?	73
172. 大直径钟罩式风帽的特点是什么?	73
173. 什么是风帽的开孔率?	73
174. 什么是小孔风速? 其过大或过小对流化床的正常运行 有什么影响?	73
175. 循环流化床锅炉风室的特点是什么?	73
176. 循环流化床锅炉风室的主要类型有哪些?	74

177. 对水冷风室的设计有何要求?	74
178. 什么是循环流化床密相区? 它的作用什么?	74
179. 物料循环系统由哪些部件组成?	75
180. 回料器由哪几部分组成? 作用分别是什么?	75
181. 回料器的作用是什么?	75
182. J 阀回料器的工作原理是什么?	75
183. 冷渣器有哪些种类?	75
184. 冷渣器的主要作用有哪些?	75
185. 风水联合冷渣器的作用是什么?	76
186. 风水联合冷渣器流化风机的作用是什么?	76
187. 风水联合冷渣器的工作原理是什么?	76
188. 风水联合冷渣器的特点有哪些?	76
189. 水冷螺旋冷渣器的工作原理是什么?	76
190. 水冷螺旋冷渣器有哪些优缺点?	77
191. 怎样评价“风水联合冷渣器”与“水冷滚筒式 冷渣器”的运行可靠性及负荷适应, 以及对锅炉 运行经济性的影响?	77
192. 再循环烟气水冷冷渣器的工作原理是什么?	78
193. 循环流化床锅炉对物料回送装置有哪些 基本要求?	78
194. 循环流化床锅炉为什么要使用冷渣装置?	78
195. 点火增压风机的作用是什么?	79
196. 播煤风机的作用是什么?	79
197. 罗茨风机的结构及特点是什么?	79
198. 给煤机的作用是什么? 都有哪些形式?	80
199. 给煤点的数目是如何规定的?	80
200. 皮带式给煤机的优缺点主要有哪些?	80
201. 旋转给料机的工作过程是怎样的?	81
202. 吹灰器一般分为哪几种形式? 所使用的介质 有哪些?	81