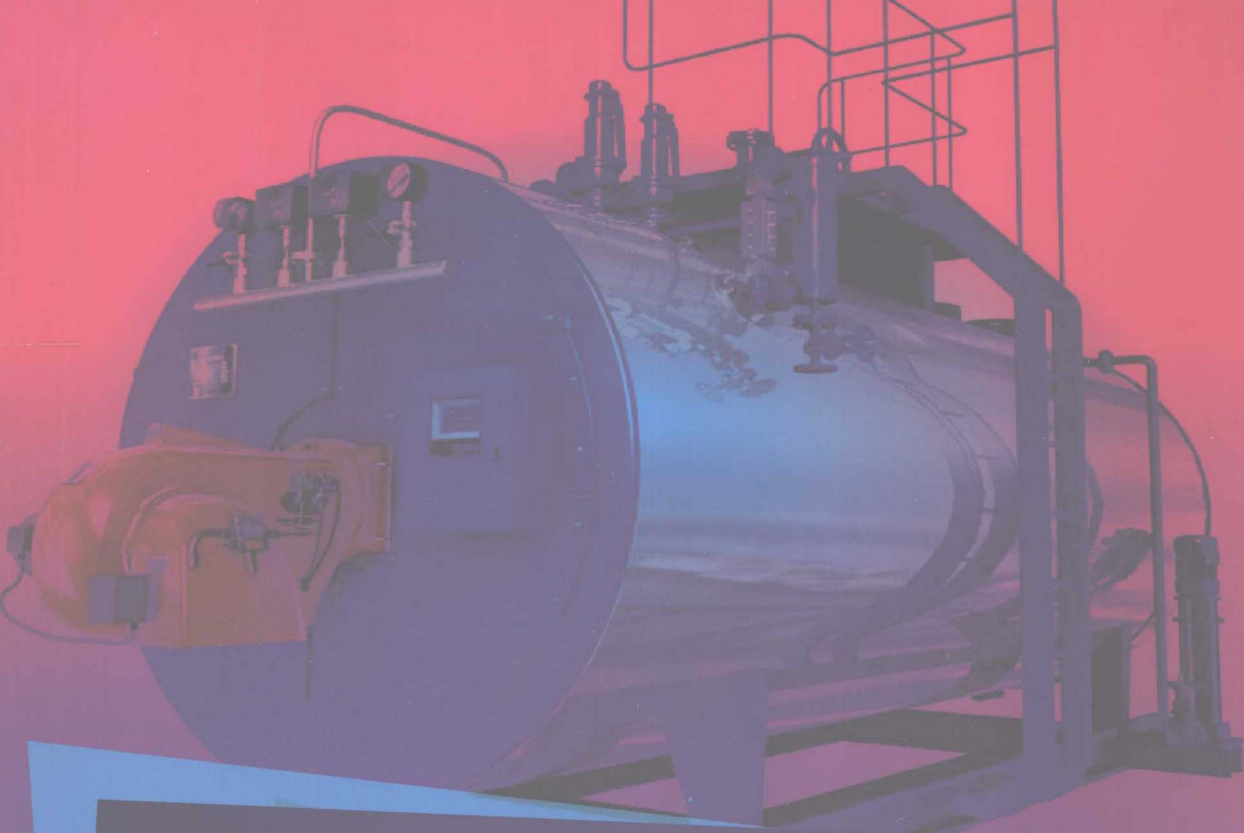




锅炉水处理

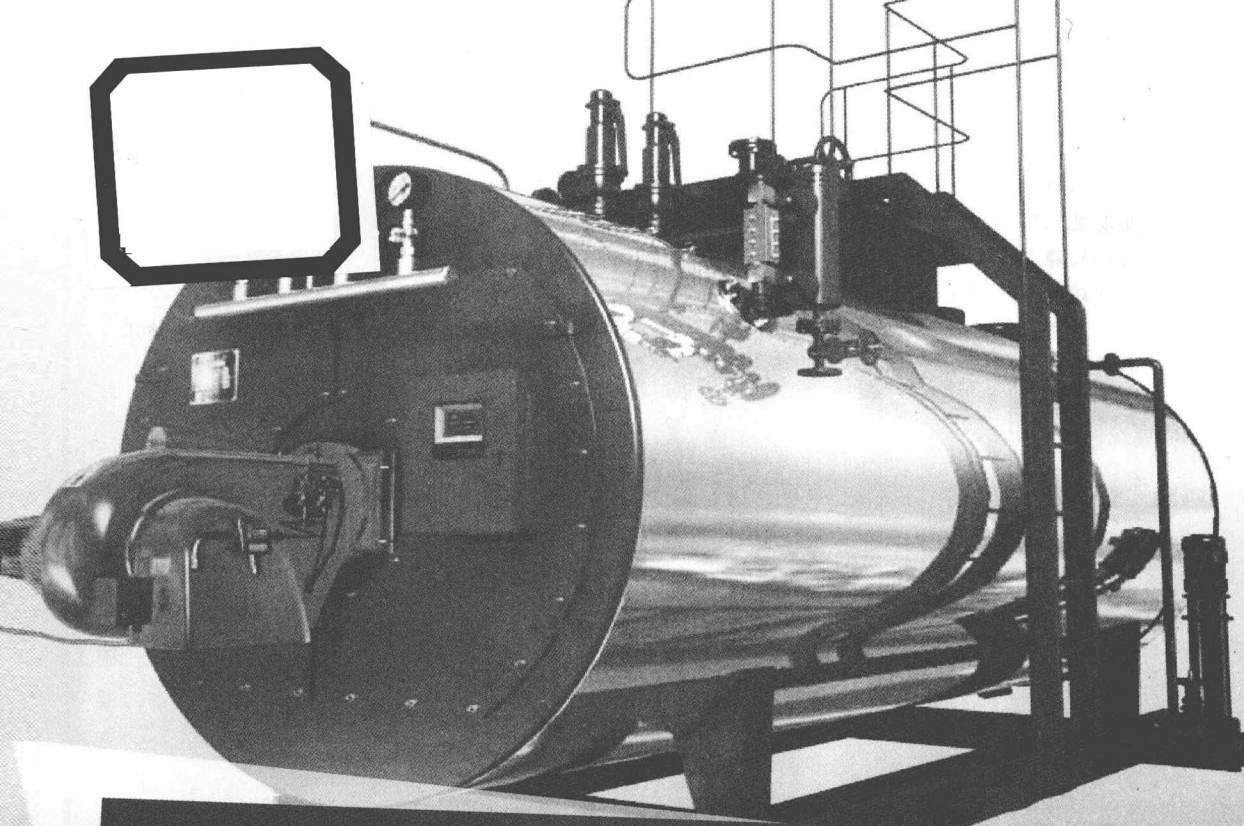
GUOLU SHUICHULI
SHILI JINGXUAN

实例精选

窦照英 编著



化学工业出版社



锅炉水处理

GUOLU SHUICHULI
SHILI JINGXUAN

实例精选

窦照英 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以锅炉水处理实践经验为基础,主要以案例的形式,为读者介绍锅炉防垢去垢、锅炉防腐蚀和锅炉清洗的知识和技术。作者从事锅炉水处理工作 50 余年,所处理的锅炉形式多,处理的故障多,本书选取其中典型者为读者解读。每个案例都以基本情况、分析及处理方法、故障评述等方面展开,容易为读者所理解和使用。

读者对象:电厂锅炉水处理技术人员,普通供热锅炉水处理技术人员,工业清洗公司技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉水处理实例精选/窦照英编著. —北京:化学工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-122-14232-0

I. 锅… II. 窦… III. 锅炉用水-水处理 IV. TK223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 090109 号

责任编辑:段志兵

文字编辑:孙凤英

责任校对:洪雅姝

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 17 字数 334 千字 2012 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

锅炉是把燃料的化学能转变为热能的装置，燃料在炉膛中燃烧，水在锅内吸热蒸发为汽，还可继续受高热将饱和蒸汽变成过热蒸汽。锅炉还可只对水加热升温，而供生活与采暖之用。

锅炉名目众多，作用不一。可分为生活锅炉、采暖锅炉、工业锅炉、电站锅炉和废热锅炉；也可分为低压锅炉、中压锅炉、超高压锅炉、亚临界参数锅炉、超临界参数锅炉和超超临界参数锅炉；还可分为自然循环锅炉、强（控）制循环锅炉和直流锅炉。所有的锅炉都遭受着腐蚀结垢的威胁和损害。

锅炉的工作介质是水，天然水含有大量杂质，除了悬浮物和胶体物质外，还有许多可溶解的物质，所解离出的离子不下 20 种，并有溶解气体。水在锅炉中受热时，所含的杂质会有多种变化，悬浮物能直接沉积于受热面上，胶体物质也会与之相伴沉淀；氧和二氧化碳等溶解气体有腐蚀作用；钙、镁的碳酸氢盐将热分解成垢，并放出腐蚀性气体二氧化碳；碳酸根还能水解产生氢氧根；水中硫酸根含量高时，会形成极难溶解的硫酸钙。氧化硅和铁都能直接成垢。

水受热时的化学变化，引起受热面腐蚀结垢，为此，人们进行研究和处理，形成了水化学。水和水蒸气对各种锅炉材料的作用，带动了材料、机械加工和自动监测控制多种学科的发展。防腐蚀和防结垢（含盐垢）使数以万计的研究人员投入毕生精力；为数以百万计的人员提供了就业岗位，包含水处理和水化验的从业者和管理人员，以及各种防腐蚀药剂和水处理药剂的开发销售经营者。

水处理技术古老而又年轻，200 余年间的发展，以近 50 年臻于完善。它含防垢水质处理，防腐蚀技术，化学清洗技术，锅炉及承压设备失效分析技术，锅炉状态控制与故障诊断技术，锅炉和承压设备风险评估技术。各行各业都或多或少地涉及水处理技术，但是不如锅炉水处理齐全。

做学问讲究厚积薄发，而且必须把学识经验的积累交还人民。近年，笔者传授真知的心情更为迫切，以“案例”形式写书非自今日始，1983 年内部印刷的《火力发电厂的水质事故分析与处理》以 200 余例面世；2000 年《水处理、防腐蚀和失效分析 1000 例》做了更广泛普及；本书的分析、处理、收效和评述将使每个案例更为生动。

传播知识的形式众多，教科书和专业书具普及和提高作用；教师在课堂上耳提面命有灌输作用。医案式的著作如本书则是最简捷易懂的传播方式，它的涉及面广，知识性强，便于读者接受，便于读者利用，遇有疑难事件查询即能大半解决。希望本书成为从业者的良师益友。

目 录

第 1 章 锅炉结垢与防垢	1
1.1 垢种与成因	1
1. 快装锅炉结水垢超温变形	1
2. 2t/h 锅炉的锅筒变形故障	1
3. 某单位采暖锅炉结垢影响供热	2
4. 卧式水火管锅炉水垢堆积超温	2
5. 采取锅内热软化方法防垢	3
6. 低压发电锅炉采取锅内水处理防垢	3
7. 低压发电锅炉因结垢严重而报废	4
8. 排污不足结成磷酸盐二次水垢	4
9. 锅炉腐蚀产生的锈垢及炉管穿透	5
1.2 垢分析	5
10. 定性分析鉴别水垢并进行相应处理	5
11. 定量分析确定垢成分并采取针对措施	6
12. 中压电站锅炉的磷酸盐垢及治理	7
13. 中压锅炉腐蚀的锈垢及其治理	7
14. 质疑铝垢及建立水垢系统分析方法	8
1.3 中低压锅炉的典型水垢及其处理	9
15. 10t/h 工业锅炉结碳酸钙垢及软化处理	9
16. 10t/h 工业锅炉软化器出水不合格的故障	10
17. 纺织厂工业锅炉进行水处理的效益	10
18. 破解锅炉运行 50 年无垢无腐蚀之谜	10
19. 给水泵吸入冷却水造成锅炉结垢故障	12
1.4 高压锅炉的锈垢及其处理	12
20. 高压燃油锅炉锈垢造成的水冷壁管故障	12
21. 失效原因未确认造成的第二次故障停炉	13
22. 凝汽器泄漏引发的爆管停炉及成因之争	14
23. 1、3、4 号锅炉继续超温爆破使失效原因被公认	14
24. 结水垢对水冷壁管超温的影响程度	15
25. 汽鼓和集箱垢渣会影响水循环引发故障	16
26. 中压锅炉结垢超温的极限厚度及实证	16

27. 汲取泥垢爆管教训, 防止继发类似事故	17
1.5 凝汽器的水垢及防垢处理	18
28. 低压小容量电厂凝汽器结垢及防垢	18
29. 对某电厂凝汽器结垢及防垢处理的分析	19
30. 某电厂补充水量不足引发结垢的解决	19
31. 2.5MW 列车电站的循环水防垢处理	20
32. 某高压热电厂凝汽器结垢限制出力的处理	20
1.6 锅炉补充水处理故障及改进诸例	21
33. 磺化煤软化器产品水 pH 值下降的分析处理	21
34. 再遇新磺化煤产水 pH 值下降的处理	22
35. 中压热电厂软水 pH 值低的腐蚀及其解决	22
36. 机械过滤器滤料黏结影响供水分析处理	23
37. 某热电厂软化器提高出力保证供水问题	23
38. 用阳离子交换树脂取代磺化煤的工作	23
39. 某木材厂锅炉结水垢的分析处理	24
40. 低压锅炉结垢故障背后的软化器管理问题	24
1.7 水处理之降碱和软化工艺故障处理	25
41. 软化水中和降碱的故障及其处理	25
42. 不足量酸再生降碱处理存在的问题及解决	25
43. 铵钠离子交换降碱的问题及其解决	26
44. 逆流再生设备故障的解决	26
45. 浮(动)床软化设备不能正常制水的处理	27
46. 石灰软化水浑浊度高的分析处理	27
47. 解决石灰催化中废渣太多的困难	27
48. 某毛纺厂锅炉腐蚀的分析处理	28
49. 负硬度水软化的问题及其校正建议	28
1.8 水处理之蒸发和膜处理及物理防垢	28
50. 蒸发器和热交换器的磁法防垢及其问题(4 例)	28
51. 磁法防垢使用不当引发的事故及对策	29
52. 以离子棒为代表的电场防垢及其失误	30
53. 电气石用于热水锅炉和采暖系统防垢(2 例)	30
54. 蒸发器和多效蒸发器的腐蚀结垢故障(4 例)	30
55. 用电渗析器取代氢床作为中压锅炉使用	32
56. 电渗析器作为超高压锅炉预脱盐的缺陷	32
57. 反渗透器使用中的障碍及其克服(2 例)	33
1.9 循环冷却水处理及其结垢故障处理案例	33
58. 硫酸中和防垢处理未达目的之分析处理	33

59. 六偏磷酸钠稳定处理严重结垢之处理	34
60. 因冷却水结垢影响科研生产 (2 例)	35
61. 炉烟防垢处理的成败案例 (3 例)	35
62. 原水悬浮物高堵塞水塔填料、损坏水塔支柱	36
63. 直流冷却系统黏泥为害及胶球情况 (2 例)	37
64. 北京某热电厂凝汽器积污影响出力的解决	37
65. 水草落叶在不同季节的侵害及防范	38
66. 循环水处理延迟投入结垢影响出力及对策	38
1. 10 化学除盐故障及其废水故障的治理	39
67. 破解给水泵和汽轮机低压缸腐蚀之谜 (5 例)	39
68. 单级除盐水作锅炉补充水的腐蚀 (3 例)	40
69. 原水污染使混床短期失效的治理	42
70. 原水微生物成灾及其溯源杀灭治理	43
71. 关于变更原水根治微生物危害方案的实施	44
72. 某电厂原水含盐量升高影响供水的解决	45
73. 关于高压电厂采用反渗透器的支持论证	45
74. 对某热电厂建设工程用反渗透器的分析	46
75. 解决某电厂除盐废水淹地死苗问题	46
76. 北京某热电厂酸碱废水的治理	47
77. 火电厂的水平衡同时解决缺水与污染问题	47
78. 引进的氢层混床保证值测量及其隐患	48
1. 11 输灰管道故障及其诊断处理	49
79. 输灰管道磨损及处理案例 (3 例)	49
80. 除尘器及管道腐蚀和沟道损坏故障处理 (2 例)	50
81. 采用静电除尘引起的输灰管结垢堵塞故障	50
82. 防止灰管结垢的学术研究讨论及案例 (3 例)	52
83. 某电厂用循环水排污水冲灰结垢的处理	53
84. 在线化学仪表冷却系统结垢故障的解决 (2 例)	54

第 2 章 腐蚀与防腐

2. 1 氧腐蚀与脱氧	55
85. 工业锅炉氧腐蚀失效及处理诸例 (4 例)	55
86. 低压发电锅炉的氧腐蚀及脱氧诸例 (4 例)	56
87. 协助某大学进行工业锅炉除氧技术鉴定	57
88. 氧化还原树脂用于低压锅炉给水除氧 (2 例)	58
89. 亚硫酸钠除氧与辅助除氧防腐蚀失效 (3 例)	58
90. 高压锅炉的氧腐蚀和联氨 (胂) 化学除氧	59

91. 联氨处理制止和防止锅炉腐蚀失效 (2 例)	60
92. 某电厂改用丙酮肟脱氧后的腐蚀失效 (另 3 例)	61
93. 东北某院校异抗坏血酸的应用问题	62
94. 锅炉机组启动中的氧腐蚀及催化联氨	62
2.2 二氧化碳腐蚀与提高 pH 值的处理 (氨处理)	63
95. 锅炉补充水软化处理后腐蚀的破解 (3 例)	63
96. 某部第一服务处热交换器腐蚀原因分析 (附 1 例)	64
97. 低压锅炉及热交换器冷凝水系统腐蚀原因	65
98. 某客站供热厂冷凝水二氧化碳腐蚀治理	65
99. 用弱酸强酸双层床为低压锅炉供水 (另 1 例)	66
100. 蒸发器蒸汽二氧化碳高的腐蚀及其治理	67
101. 锅炉锈垢成因的追寻及其解决 (4 例)	68
102. 氨处理解决中压锅炉腐蚀故障	71
103. 氨在水汽系统的损失率及氨剂量的计算	71
104. 氨在水汽系统的含量限定	72
2.3 锅内防垢、防腐蚀水处理	72
105. 采暖锅炉和工业锅炉的锅内防垢水处理 (4 例)	72
106. 热水锅炉的防垢水处理 (3 例)	73
107. 低压锅炉的锅内校正处理之防结垢 (2 例)	74
108. 热水锅炉的防腐蚀锅内处理 (4 例)	75
109. 中压锅炉的降碱防腐蚀锅内水处理 (4 例)	75
110. 中压锅炉的除氧、降碱和防垢的一体化处理	77
111. 纯磷酸盐碱度处理防止排管碱腐蚀失效	78
112. 用硝酸钠钝化制止防焦管碱溶蚀泄漏	78
113. 分段蒸发高压锅炉腐蚀故障及其处理	79
114. 高压锅炉中磷酸三钠的腐蚀及其修正 (2 例)	80
115. 超高压锅炉协调磷酸盐处理暴露的问题	81
116. 亚临界锅炉协调处理的腐蚀及防治 (2 例)	82
117. 超高压锅炉采取氢氧化钠处理防止腐蚀	83
118. 氢氧化钠 (加磷酸钠) 处理被认知和被采纳	84
2.4 氧腐蚀之停备用设备的腐蚀与防护	85
119. 采暖锅炉及其设备的腐蚀失效及防护 (5 例)	85
120. 高层楼采暖系统腐蚀故障及其防护 (3 例)	87
121. 集中供热系统的停用腐蚀及其解决 (3 例)	87
122. 停用腐蚀造成中压锅炉报废	88
123. 启停方式调峰造成省煤器和过热器腐蚀	90
124. 调整经济时期低压锅炉的干法保护	90

125. 缓建锅炉的停用保护以及腐蚀故障 (2 例)	91
126. 亚临界参数锅炉中温再热器失效及处理	92
127. 冷备用锅炉碱液保护成功的范例 (外 2 例)	92
128. 热备用锅炉的保持压力法保护范例 (2 例)	93
129. 锅炉满水用氮气顶压的保护范例	94
130. 解决检修停炉腐蚀之带压放水干法保护	95
2.5 苛性脆化和碱腐蚀穿孔、脆爆失效与治理	96
131. 天津某棉纺厂锅炉爆炸推动防腐蚀工作	96
132. 防止田熊式锅炉再发生故障的治理 (2 例)	96
133. 京津电厂渗漏的低压锅炉处理 (3 例)	98
134. 由苛性脆化而碱腐蚀和疲劳开裂 (3 例)	99
135. 防止苛性脆化处理成功案例 (5 例)	100
136. 低压锅炉碳酸钙垢下穿孔提示了碱腐蚀	102
137. 工业锅炉补充水软化处理后的碱腐蚀 (3 例)	103
138. 中压发电锅炉碱腐蚀的认定 (6 例: 4 水相, 2 汽相)	104
139. 难判别的碱腐蚀脆爆, 相对碱度列入标准 (6 例)	106
140. 高压锅炉碱腐蚀穿孔的认定及其治理	107
141. 上例的姊妹锅炉在 10 年后的穿孔及治理	109
142. 自动焊接 (碰焊) 水冷壁管焊瘤引起的腐蚀	110
143. 严重的碱腐蚀招致穿孔与脆爆的处理	111
144. 碱腐蚀引起水冷壁管脆爆失效的首例	112
145. 五台高压锅炉多次脆爆失效的分析处理	113
146. 蒸发器端盖的碱腐蚀脆性开裂分析处理	114
2.6 酸腐蚀之局部腐蚀、全面腐蚀和脆爆案例	115
147. 燃油高压锅炉水冷壁管孔蚀的分析处理	115
148. 氢钠离子软化引起的锅炉酸腐蚀 (3 例)	116
149. 海水冷却机组凝汽器漏引起的酸腐蚀	117
150. 高压锅炉机组凝汽器管泄漏的酸腐蚀	118
151. 燃油亚临界参数锅炉防范漏海水的腐蚀	120
152. 对河南某新投产电厂的酸腐蚀提供对策	120
153. 对超高压直流锅炉酸腐蚀的预警及处理	121
154. 锅内六偏磷酸钠处理使水冷壁管爆破	121
155. 发生在水汽中的腐蚀疲劳 (2 例减温器)	122
156. 外置盐段蒸汽管振动与腐蚀的疲劳爆破	122
157. 奥氏体钢再热器和过热器的氯脆失效 (3 例)	124
158. 不锈钢高温过热器管渗漏原因分析处理	125
159. 某热电厂热网尖峰加热器泄漏分析处理	126

160. 220t/h 高压锅炉酸腐蚀脆爆的分析处理	127
161. 670t/h 超高压锅炉酸腐蚀脆爆的分析处理	128
162. 某厂 670t/h 锅炉酸腐蚀脆爆的换管处理	129
163. 闭塞区氯离子孔蚀的治理与判定 (2 例)	129
164. 包头某电厂 1 号锅炉下水管口裂纹判断	131
165. 防止锅炉脆爆失效的成功案例 (共 7 例)	131
166. 超临界参数锅炉进酸的处理及后果评估	134
167. 对亚临界参数锅炉精处理混床漏脂预警 (2 例)	135
168. 大港某电厂 3 号锅炉违规启动调试大事故	136
169. 大港某电厂 4 号锅炉调试中的酸腐蚀及治理	140
170. 大港某电厂 3 号锅炉汽鼓汽侧部件的脆裂	141
171. 某厂 3 号锅炉腐蚀失效事故应汲取的教训	142
172. 盐类隐藏现象兆示的酸腐蚀和处理 (4 例)	143
173. 大同某热电厂糖水入炉热分解的酸腐蚀	144
2.7 受热面管子的超温蠕胀失效案例	145
174. 大兴某工业区低压锅炉水冷壁管的损坏	146
175. 某钢厂锅炉房锅炉多次爆管的分析建议 (3 例)	146
176. 新疆某电厂高压锅炉超温失效分析处理	147
177. 河南某地方电厂中压锅炉爆管问题分析	147
178. 北京某电厂高压锅炉水冷壁管泄漏分析	147
179. 首都某钢厂自备电厂高压锅炉爆管分析 (另 2 例)	148
180. 燃油超高压锅炉结水垢及制造缺陷爆管 (2 例)	150
181. 锅炉“灭火放炮”拉断水冷壁管的识别判定 (2 例)	151
182. 超高压直流锅炉下辐射段爆破分析处理	152
183. 亚临界参数燃油锅炉超温失效分析处理 (2 例)	153
184. 超温和酸、碱腐蚀共存的失效分析处理	154
185. 都是凝汽器惹的祸——某电厂风险评估 (3 例)	156
186. 低压小容量蒸汽锅炉结盐垢及其处理 (4 例)	157
187. 中压、次高压、工业锅炉结盐垢故障及治理 (6 例)	159
188. 中压电站锅炉启动投产时结盐垢爆管	161
189. 130t/h 中压分段蒸发锅炉过热器积盐故障	162
190. 分段蒸发中压锅炉过热器爆管分析处理	163
191. 间壁式冷却减温器泄漏引起的积盐故障 (3 例)	164
192. 混合式减温造成过热器爆管的分析处理	165
193. 某化纤厂中压工业锅炉过热器爆管分析	166
194. 工业锅炉兼作发电之用的积盐故障 (5 例)	167
195. 某燃油高压锅炉启动中结盐垢引起爆管	169

196. 中压热电厂锅炉低温段过热器爆管分析	170
197. 高压锅炉投产后短期辐射过热器爆管	171
198. 北京某热电厂过热器爆管、机组限出力的解决	172
199. 超高压锅炉启动试运行中水汽共沸的处理	173
200. 北京某热电厂 2 台锅炉同时水汽共沸的处理	174
201. 两台高压锅炉过热器短期爆破的分析处理	175
202. 3 台高压锅炉机组结盐垢故障分析处理	176
203. 减温水污染造成 3 台锅炉过热器爆管处理	178
204. 超高压锅炉再热器管爆破原因分析处理	179
205. 中压工业锅炉高低温过热器爆管分析	180
206. 承德某电厂 2 台高压锅炉过热器爆管分析 (2 例)	180
207. 过热器和汽轮机故障 (3 例)	181
208. 裂解炉过热器结盐垢分析及防故障处理	182
209. 某石化热电厂锅炉过热器爆管分析	183
2.8 汽质检测技术发展与蒸汽含氢量测量	184
210. 用电导率及硫酸盐残渣反映蒸汽质量	184
211. 用钠离子敏感电极检测蒸汽含钠量	185
212. 钠 (离子敏感) 电极取代硫酸盐残渣	187
213. 挂片法腐蚀测量在低压锅炉上的应用 (2 例)	188
214. 挂片法和监视管段监测腐蚀的局限性与评估	189
215. 由失效试样评估腐蚀速度诸例 (10 例)	190
216. 曾被关注的蒸汽含氢量测量受冷落的原因	191
217. 蒸汽含氢量测量及用于计算腐蚀速率	192
218. 不同锅炉的蒸汽含氢量及腐蚀速率 (7 例)	193
219. 含氢量测量发展为锅炉水侵 (腐) 蚀性试验	196
220. 用于研究热态成膜工艺推出碱处理成膜 (3 例)	197
221. 引进消化吸收项目热态成膜氢量的确认	199
222. 用蒸汽含氢量研究大港某电厂结垢快原因	199
2.9 铜和铜合金热交换器管的腐蚀防护	200
223. 北京某小区供热换热器管损坏原因分析	201
224. 管材问题使多台热交换器管泄漏 (2 例)	201
225. 应力腐蚀破裂曾是黄铜管使用的大障碍 (2 例)	201
226. 黄铜管内应力检验和引入氨薰法检验	202
227. 氨处理突显了凝汽器管应力腐蚀问题 (5 例)	203
228. 大量新机组铜管断裂 (2 例)	204
229. 氨薰检验的 4h 与 24h 之争及晋升国标问题	205
230. 68 黄铜管遇恶劣水质侵袭的全面脱锌 (4 例)	206

231. 柬埔寨某电厂铜管腐蚀原因分析及处理 (另 1 例)	207
232. 68 黄铜管在较差水质中的栓状脱锌 (5 厂 10 机) 例证	207
233. 调查研究引入按水质用管材观念	209
234. 对调研结论验证的案例 (3 例)	210
235. 70-1 锡黄铜管耐蚀能力和表现的工业试验 (2 例)	211
236. 77-2 铝黄铜管的引用及其耐蚀性表现 (6 例)	212
237. 77-2 铝黄铜管水侧冲击腐蚀的争议 (20 例)	214
238. 黄铜管的汽侧氨蚀首次浪潮及其解决 (4 例)	217
239. 汽侧氨蚀第二次浪潮之 6815 型凝汽器 (5 例)	218
240. 汽侧氨蚀第三次浪潮之提高给水 pH 值 (3 例)	219
241. 防止黄铜管“婴儿期”腐蚀的硫酸亚铁成膜 (8 例)	221
242. 按华北地区水质选取凝汽器管材的研究	222
243. 未按水质使用管材造成的铜管、锅炉腐蚀 (2 例)	224
244. 对张家口某电厂建设中铜管质量的判定 (2 例)	225
245. 纯铜在微酸性水中的腐蚀和冲刷磨蚀 (3 例)	226
246. 锡黄铜管的氯离子腐蚀界限试验释疑	227
247. 为某发电公司是否更换护环的建议	228

第 3 章 锅炉清洗

3.1 盐酸是锅炉本体的主要清洗剂, 碱煮变酸洗	231
248. 潍坊某电厂 5t/h 锅炉水垢的盐酸清洗	231
249. 热交换器和凝汽器的盐酸除垢清洗 (3 例)	232
250. 列车电站锅炉的启动煮洗	233
251. 锈蚀锅炉的煮炉防腐蚀	234
252. 启动用汽锅炉煮炉与不煮炉后果不同 (2 例)	235
253. 认定碱腐蚀, 提出高压锅炉变碱煮为酸洗	235
254. 胀接高压锅炉的防腐蚀盐酸清洗 (2 例)	236
255. 某热电厂高压锅炉脆爆后的循环酸洗 (6 例)	237
256. 待装时间过久的锈蚀锅炉投产前酸洗 (2 例)	239
257. 锈蚀超高压锅炉的投产前除锈清洗	239
3.2 简化清洗工艺、缩短工期就是技术进步	240
258. 130t/h 中压锅炉的全炉浸泡酸洗 (2 例)	240
259. 230t/h 高压锅炉结垢爆管后的应急清洗 (4 例)	241
260. 410t/h 锅炉锈垢的氮气鼓泡浸泡清洗	242
3.3 酸腐蚀危险出现变启动酸洗为碱处理是进步	243
261. 碱处理在启动酸洗失败的锅炉上实施	244
262. 碱处理取代启动酸洗用于超高压开工锅炉	245

263. 氢氟酸清洗利弊与两次电力化学清洗会议（4 例）	246
264. 质疑新建锅炉启动酸洗必要，建议碱处理	247
3.4 黄铜管除垢酸洗的技术进步	248
265. 除垢酸洗曾是凝汽器管大量损坏的原因	248
266. 北京某热电厂凝汽器浸酸时间过久而漏	249
267. 凝汽器酸洗被当作省煤措施的灾难后果（2 例）	249
268. 研究酸洗缓蚀剂和规定酸洗后必须成膜（2 厂 9 机组）	250
269. 引进大机组凝汽器的盐酸清洗（2 例）	252
270. 余热发电机组端差大的原因及处理	254

第 1 章 锅炉结垢与防垢

天然水在受热时发生二氧化碳散失，碳酸氢钙失衡而形成水垢；热力设备和管道腐蚀，会产生锈垢。锅炉和热交换器结垢后，直接的影响是降低传热能力，降低热效率；继而引发腐蚀和造成超温，它们都影响设备寿命。出于安全和经济的考虑，防垢和除垢都是必需的，前者主要依靠水质处理，后者可通过化学清洗或（和）物理清洗达到目的。

这里不过多做理论分析和机制研讨，而是用各种例证，介绍各类故障情况，说清其成因，提出所采取的处理方案，佐证以收到的治理效果，并进行必要的阐述评论以加深理解。

1.1 垢种与成因

1. 快装锅炉结水垢超温变形

(1) 情况 北京铁路局下属某工务段装有 1 台 KSG1-8 型锅炉，蒸发量 1t/h，工作压力 0.78MPa。使用不足 1 年因水冷壁管爆破停炉。检查时，发现有 2 根水冷壁管鼓包裂口，7 根水冷壁管有鼓包变形。

(2) 成因 对切开的裂口水冷壁管进行检查，管内壁结白色硬质水垢，最厚 7mm 以上，一般为 5mm 厚。水冷壁管的鼓包裂口和变形是结垢超温造成的。

对水垢进行简单的试验，发现它可完全溶解在 10% 的盐酸中，溶解反应激烈、产生气体应是碳酸钙溶解时放出的二氧化碳。

据介绍，该锅炉用水不进行任何处理，直接使用自来水作补给水，这是结水垢的基本原因。

(3) 提供的建议及同类型锅炉的佐证 建议对该锅炉进行煮炉除垢，并辅以人工清理冲洗，然后进行碳酸钠防垢处理。

该局的基建工程队装有 1 台同类型锅炉，使用其蒸汽进行混凝土模块养护，冬季用于采暖。经过 1 个冬季后发生水冷壁管爆破停炉。据介绍有 2 根水冷壁管爆破，9 根水冷壁管鼓包变形。两台锅炉的损坏都是不进行防垢水处理所致。该工程也请人进行了单宁煮炉，并进行了锅内处理。这两台锅炉进行煮炉处理后，运行两年多未出现故障。

2. 2t/h 锅炉的锅筒变形故障

(1) 情况 北京市某县食品公司仓库装有 1 台 KZG2 型锅炉，蒸发量 2t/h，压力 0.78MPa，受热面 56m²。因锅炉变形而停炉。经检查，炉管中水垢厚达

8mm, 锅炉上堆积水垢超过 100mm, 变形尺寸达 200mm 见方。

(2) 成因 据介绍, 该锅炉直接补充自来水, 未进行过水质化验, 也不进行炉外处理或锅内处理。该锅炉作为工业锅炉供汽, 不回收冷凝水。不进行水处理和补充水率偏高, 是其结垢原因。

(3) 处理 建议对锅炉进行水处理和必要的水质检验, 可由该县锅炉监察部门指导进行。由锅炉监察部门确定是否可采取挖补处理措施。用于制冷系统加热的蒸汽冷凝水应尽量回收利用, 以改善锅炉补充水和锅炉水质量。

3. 某单位采暖锅炉结垢影响供热

(1) 情况 某机关锅炉房装有 2 台 SHL4-13 型锅炉, 其蒸发量 4t/h, 压力 1.3MPa, 蒸汽温度 194℃, 受热面积 98m², 为机关及周围宿舍楼房供应暖气, 非采暖季节提供洗浴炊事等用汽。在该锅炉房投入使用的第三个采暖季, 发现锅炉用煤量是新装时的 1 倍多, 而且汽温和汽压均低, 影响采暖。于是轮流对两台锅炉进行检查, 发现水垢厚度均超过 4mm。

(2) 成因 采集水垢试样进行化验, 其灼烧减量为 36% 以上, 氧化钙含量为 50%。灼烧减量实际是二氧化碳。该锅炉直接补充自来水, 当时, 北京市西城自来水硬度 3mmol/L, 永久硬度仅 0.2mmol/L, 这种水进入锅炉后将热分解和水解, 放出二氧化碳, 结成碳酸钙硬质水垢, 影响传热。

(3) 对策 由锅炉房人员对两台锅炉进行除垢维修。鉴于该机关新建宿舍楼多(这也是供汽不足的原因之一), 生活和采暖用汽增加, 建议增建一台 4~6.5t/h 同参数锅炉, 新建的锅炉应配置软化器, 软化水量应满足全部锅炉最大供汽量时的需求。

(4) 收效 对该扩建锅炉房的软化器进行了检查, 是 2 台直径 1m 的软化器, 最大产水量可满足 3 台锅炉的需用。

在新的采暖季来临时, 培训了锅炉房工人掌握其操作。锅炉使用软化水作补给水, 定期为其进行水质检验, 要求锅炉进行必要的排污。在采暖结束后检查时, 发现水垢厚度不足 0.5mm。锅炉人员认为省煤效果好。

(5) 评述 北京市自来水为较硬水至硬水, 属碱性水, 其碳酸盐硬度达总硬度的 90% 以上。这种水受热时会产生碳酸钙(和少量氢氧化镁)水垢。在 1.3MPa 锅炉中分解产垢率可达 60%, 如果不进行软化处理, 必然会结硬质水垢。

1MPa 上下的锅炉, 用作采暖、生活用汽和工业用汽时, 往往不进行防垢水处理, 而且蒸汽基本全部损失, 补水率越高则结垢越严重。据此可知, 蒸汽锅炉必须进行防垢处理; 应当尽量回收蒸汽冷凝水, 以降低锅炉补水率; 对锅炉水应进行必要的排污, 不使其过度浓缩。

4. 卧式水火管锅炉水垢堆积超温

(1) 情况 某锅炉房人员来访, 所持水垢堆块最厚 100mm, 系由厚度 5mm 以上硬垢堆积粘连而成, 单层水垢均呈弧状弯曲, 系在火管外部所成。据介绍该卧式

快装锅炉不进行炉外水处理和锅内水处理,作为供汽锅炉每年人工除垢1~2次。由于除垢难以彻底,硬垢越积越多,以致超温烧坏炉管。

(2) 处理 上述情况说明了水垢形成与直接补充自来水和很少进行排污有关,检修除垢周期过长造成脱落的水垢堆积黏结。

建议用单宁进行煮炉,然后彻底冲洗清理。提供的锅内水处理方法有两个:一是按每吨补充水用150g碳酸钠投加到给水箱中;二是按每吨补充水投加80g碳酸钠加20g碳酸三钠。必须保证排污和定期清扫。

(3) 收效及评述 对于2t/h、1MPa规范的水火管锅炉,可单用锅内水处理防垢。上述用药量是最大值,由该锅炉房人员酌减(按防垢效果而定)。据了解,该锅炉房未再因结垢发生故障,并且该做法推广于同类型锅炉。

5. 采取锅内热软化方法防垢

(1) 情况及成因 北京琉璃河某企业锅炉结垢。对垢样观察及简单试验,确认是碳酸钙,对水样化验确定是微带负硬度的水,其暂时硬度为2mmol/L,无永久硬度。认为是直接用这种原水所致。

(2) 处理及收效 结水垢是重碳酸钙分解所致。可以利用原水的水质特点防垢。其原因是,当任何沉淀缓慢形成时,按晶型依序排列而为硬垢;当快速产生时,则形成絮状沉淀,附壁力甚弱,可免于成垢。使水垢转化形态的条件是:相当高的锅炉水温度(180℃以上)和较高的pH值(>10),以及过量的沉淀剂。后两者投加碳酸钠可以实现,其用量为每吨水20g上下。

这种防垢方法简单易行,但是必须是略带负硬度的水,而且必须保持足够的排污(>5%)。该单位使用成功后,还推广到附近的企业。

6. 低压发电锅炉采取锅内水处理防垢

(1) 情况、原因及对策 坝上的张北县早年用10t/h低压锅炉发电,由于锅炉结水垢已影响发电量。

经化验该电厂的原水硬度为4.3mmol/L,其中永久硬度为0.4mmol/L。该电厂无化学专业人员,锅炉直接补充原水。该地区冬季长达5个月以上,冬季供热蒸汽损失大,凝结水回收率<50%。

为该电厂锅炉提供的锅内药剂配方是:磷酸三钠90~100g/t,碳酸钠20~30g/t,单宁5~10g/t。由锅炉运行人员负责,每班投加2次。

建议该电厂尽量回收汽轮机凝结水(也称冷凝水或复水),保证回收率≥80%。为了冬季采暖不消耗发电用汽,建议单独安装2t/h快装锅炉,其水处理方法与发电锅炉相同。

(2) 收效及评述 10t/h锅炉必须进行水处理,单独进行锅内水处理是无奈之举。火电厂的凝结水回收和降低水汽损失对降低补充水率和提高给水质量有举足轻重的作用。该电厂锅炉不进行处理时,很难连续运行3个月。采取锅内处理和加强凝结水回收后,结垢速度<1mm/a,其中加强水务管理、降低水汽损失的作用不

可忽视。

7. 低压发电锅炉因结垢严重而报废

(1) 情况 包头某电厂有7台锅炉, 1号、2号锅炉蒸发量6.5t/h, 3~7号锅炉蒸发量9t/h, 1.3MPa。1号、2号锅炉已难将水加热到饱和温度, 3~7号锅炉尚在使用, 但是也难达额定压力。该电厂已移装3台锅炉, 为研究旧锅炉报废和新锅炉投产前诸问题, 笔者前往电厂。

经查看, 1号、2号锅炉中水垢已接近将炉管堵死, 该电厂早已弃置不用。3~7号锅炉为拔伯葛型, 排管中垢厚 $>10\text{mm}$, 坚硬。采样化验, 为碳酸钙, 排管有受热鼓包现象, 也有腐蚀泄漏现象。

(2) 原因 该7台锅炉均直接用原水作补充水, 原水总硬度 2.15mmol/L , 碱度 4mmol/L , 溶解固形物 350mg/L 。该水混同凝结水作为给水时, 使给水硬度达 $0.8\sim 1\text{mol/L}$, 结水垢在所难免。

(3) 处置 鉴于1号、2号锅炉结垢严重, 该电厂实际已将其废弃, 认为应作报废处理。

3~7号锅炉既有结垢, 又有腐蚀, 水垢中混有锈垢, 碳酸钙含量 $>80\%$, 氧化铁 $>10\%$, 比单纯的碳酸钙垢疏松。由于拔伯葛型锅炉是分联箱直排管, 每根排管都可以很方便地进行捅刷。

建议该电厂用专用的“清管器”(带有电动绞刀和钢质软管的专用除垢工具)进行机械除垢和清理冲洗, 仍使其继续服役, 直到迁建锅炉投产。

(4) 收效 对4台拔伯葛型锅炉机械除垢后, 都能达到额定参数运行, 锅炉效率较机械清洗前明显提高, 认为坚持到新炉投产应无困难。

(5) 评述 发电锅炉和采暖锅炉、工业锅炉不同之处, 是其蒸汽经凝汽器冷凝后复用, 此量可达蒸发量的90%, 可使锅炉补水率降到10%以下, 从而使给水质量大为改善。当原水质量较好时, 低压发电锅炉常直接补充原水, 再在锅内投药和进行排污以减缓结垢。但是该电厂原水硬度较高, 凝结水量较少, 而且不进行锅内水处理, 以至于因严重结垢而先后使7台锅炉报废。

8. 排污不足结成磷酸盐二次水垢

淄博某电厂有2台30t/h、1.5MPa拔伯葛型锅炉和2台16t/h同参数和型号锅炉。前者为主力锅炉, 进行热法磷酸三钠沉淀软化处理和锅内磷酸三钠处理、后者只进行磷酸三钠锅内处理。前两台锅炉基本无垢, 后两台锅炉结垢严重, 影响运行。

(1) 情况 检查发现40t/h锅炉排管中有1mm以下的松软水垢, 很容易捅刷清除; 16t/h锅炉排管中垢厚 $>3\text{mm}$, 较硬, 不用工具难以清除。经化验均为磷酸盐垢, 色灰白, 都属于沉渣再附着的二次水垢。

(2) 成因 炉外热法磷酸盐沉淀处理可使水的残余硬度降至 0.3mmol/L 以下, 和凝结水混合后作为给水, 其硬度 $<0.1\text{mmol/L}$ 。在锅炉排污 $>5\%$ 时, 基本不结垢。