

电力系统水处理和水分析人员
资格考核用书

电力系统水处理 事故案例分析

火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会 编著

全国电力系统水处理专业**权威培训教材**

- ★ 持证上岗、培训考核必备读物
- ★ 案例分析深入、透彻
- ★ 内容紧贴工作实际，突出岗位技能



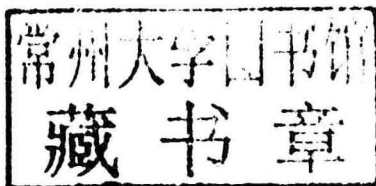
中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力系统水处理和水分析人员
资格考核用书



电力系统水处理 事故案例分析

火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会自2004年成立以来,先后编写了《电力系统水处理培训教材》和《电力系统水分析培训教材》,为全国从事火电厂水处理和水分析岗前培训、考核发证、持证上岗起到了规范化管理作用。为了进一步提升从业人员的技术水平,在火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会的统一安排下,征集了全国各省有关案例,组织编写了《电力系统水处理事故案例分析》和《电力系统水分析事故案例分析》,作为火电厂水处理和水分析从业人员继续教育的培训教材。

本书为《电力系统水处理事故案例分析》分册,书中收集了全国火电厂近十年来水处理事故案例。通过案例的介绍和分析,对防止此类事故的发生,在技术上具有警示、指导作用,在工程设计上具有重要的参考价值。本书主要包括以下几方面内容:

(1) 设计和基建。主要介绍了因设计、制造、安装等原因引起水质恶化、造成腐蚀积盐的事故案例。

(2) 机组运行。从凝汽器泄漏,到给水处理、炉水处理、汽包炉汽水分离等问题入手,详细阐述了各案例发生的原因、经验教训以及解决方法。所涉及的范围包括省煤器、水冷壁、过热器、再热器、汽轮机以及辅机系统等,提出了防止锅炉、汽轮机腐蚀、结垢和积盐的预防措施。

(3) 机组停备用。介绍了因停用保护不当引起热力系统腐蚀的典型事故案例,包括采用了不妥当的停用保护药剂,使用了不正确的保护方法等。

(4) 补给水制备。介绍了混凝、澄清、膜处理和除盐设备等事故案例和处理方法。

(5) 发电机内冷却水系统。介绍了发电机内冷却水处理常见的故障和新的处理方法以及发电机化学清洗工艺和物理清洗工艺。

(6) 锅炉化学清洗。总结了因清洗介质、清洗工艺和清洗设备不当引起的锅炉爆管事故。

此外,还介绍了与火电厂相关的电化学腐蚀、应力腐蚀等不常见的一类事故的分析和处理。

本书为已经取得火电厂水处理岗位资格的人员复证使用的教材,其他相关人员也可参照使用,本书对提高水处理人员的技术水平和分析能力具有较大帮助。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统水处理事故案例分析/火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会编著. —北京:中国电力出版社,2012.10

(电力系统水处理和水分析人员资格考核用书)

ISBN 978-7-5123-3594-3

I. ①电… II. ①火… III. ①火电厂-电力系统-水处理-事故-案例-资格考试-自学参考资料 IV. ①TM621.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第236988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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年12月第一版 2013年5月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 331千字

印数3001—5000册 定价80.00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

编写人员

主 编 孙本达

参 编 (按提供素材多少排序)

郑敏聪 吴文龙 王礼君 钱洲亥

杨 胜 王久生 王正江 宋丽莎

彭泉光 龚秋霖 郭锦龙 郝树宏

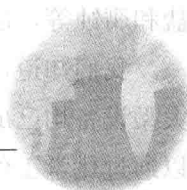
尚玉珍 马东伟 刘 江 海雅玲

郭新良 敏 婕 张新宇 刘世念

郭军科 顾庆华 徐 洪 牧 灏

张维科 宋敬霞 曹松彦 徐 锐

星成霞 吴根记



火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会自 2004 年成立以来,先后编写了《电力系统水处理培训教材》和《电力系统水分析培训教材》,为全国从事火电厂水处理和水分析岗前培训、考核发证、持证上岗起到了规范化管理作用。为了进一步提升从业人员的技术水平,在火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会的统一安排下,征集了全国各省有关案例,组织编写了《电力系统水处理事故案例分析》和《电力系统水分析事故案例分析》,作为火电厂水处理和水分析从业人员继续教育的培训教材。

本书收集了十多年来百余个与火电厂水处理有关的案例。通过深入的分析,找出发生事故的原因,提出解决方法或措施,对防止此类事故再次发生在技术上具有警示、指导作用,在工程设计上具有重要的参考价值。

火电机组中的水作为热能动力的工质,类似人体中的血液,起着能量传递作用。火电厂中化学工程师就像保证机组健康、安全、经济运行的医生。据近年来的统计,我国大型火电厂因锅炉省煤器、水冷壁、过热器、再热器管爆破引起的停机事故,占锅炉设备非计划停用时间的 70%,其中化学因素占有一定的比重。随着机组参数的提高和新建机组的迅速增加,制造质量、安装质量有所下降。新建电厂的运行、技术管理不到位,这类事故还有上升的趋势,成为影响火电机组安全、经济运行的主要因素之一。

“放松化学监督,厂无宁日”。看到这句话,一定会记起当年震惊全国的天津大港电厂锅炉水冷壁氢脆爆管事故。这个事故告诉我们,电厂化学是火电厂生产过程不可缺少的技术专业,而水处理技术是化学技术监督的重点,是火电厂安全生产的重要保证之一。

化学技术监督工作的方针是“安全第一,预防为主”,其任务是保证电力设备长期稳定运行和提高设备健康水平,目的是及时发现问题,消除隐患,防止电力设备在基建、启动、运行和停(备)用期间,由于水、气、汽、油、燃料品质不良而引起事故,延长设备的使用寿命,保证机组安全、可靠运行。化学技术监督工作依据国家、行业以及各集团公司制定的各种标准、导则、规程、规范、准则、条例、管理办法等进行监督与检查,及时发现问题并予以纠正。化学技术监督具有涉及面广、技术性强等特点。

火电厂水处理工作的主要对象是火电厂的工质,是靠调整、控制各种类型工质的监督指标在导则或标准规定的范围内,来抑制或延缓锅炉、汽轮机等热力设备的结垢、积

盐和腐蚀等，以防止其发生损坏事故。

我们知道，火电机组一旦安装就位并投入运行，锅炉、汽轮机、发电机、凝汽器等大型设备均已成定局，想随意更换几乎不可能，但供给机炉的水、汽、煤等的质量则可以通过化学工作人员的努力进一步提高。机组建成后要吃东西——水、煤，这些东西必须“清洁卫生”，而且还要合“胃口”，只有这样，才能为机组的安全、经济运行提供化学方面的保障。不然，机组也会像人一样生病，即结垢、积盐、腐蚀等。假如我们将热力系统中流动的水、汽看作是人体中流动的血液，那么血液中如果有癌细胞，它流到哪里，就会烂到哪里。

长期以来，大家都认为化学问题是慢性病，不会直接威胁机组的安全，特别是当许多问题一起出现时，化学问题往往被主设备出现的问题所掩盖，而得不到关注。其实，随着机组容量的增大和参数的提高，化学专业的重要性越来越突出。化学原因引起的设备事故也逐渐体现出突发性、快速性等特点，而且只要是化学原因引起的腐蚀破坏往往遍布于整个系统。另外，化学问题有时候像温柔的杀手，当积聚到某一水平时会突然爆发，而这时往往涉及面广，影响程度深，已经无法挽回。所以，重视水处理技术的提升，加强化学监督管理，洞察化学监督指标的微量变化，是防止热力设备发生突发性损坏事故的有力保证。

鉴于水平和时间所限，书中难免有疏漏、不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 9 月

目 录

电力系统水处理事故案例分析



前言

第一章 凝汽器泄漏引起水质恶化	1
第一节 因设计问题引起的腐蚀泄漏	1
[案例 1-1] 因设计问题凝汽器钛管被高温疏水吹漏	1
[案例 1-2] 凝汽器钛管因隔板设计跨距大而振动、磨损泄漏	2
[案例 1-3] 凝汽器钛管断裂后海水进入锅炉	2
第二节 运行管理问题	3
[案例 1-4] 凝汽器泄漏导致炉水 pH 值下降到 4.0	3
[案例 1-5] 选用白铜管导致腐蚀泄漏而未及时投运精处理	3
[案例 1-6] 凝汽器泄漏, 精处理未 100% 投运, 导致水冷壁爆管	4
第三节 凝汽器腐蚀泄漏	5
一、凝汽器管板腐蚀	5
[案例 1-7] 凝汽器因加不锈钢飘带造成腐蚀	5
二、凝汽器白铜管微生物腐蚀	7
[案例 1-8] 凝汽器白铜管发生微生物腐蚀穿孔	7
[案例 1-9] 凝汽器白铜管微生物腐蚀	9
[案例 1-10] 冷却水流速偏低造成凝汽器管微生物腐蚀	11
三、因残碳膜引起的腐蚀泄漏	13
[案例 1-11] 凝汽器铜管因残碳膜引起的腐蚀泄漏(一)	13
[案例 1-12] 凝汽器铜管因残碳膜引起的腐蚀泄漏(二)	16
[案例 1-13] 凝汽器铜管因残碳膜引起的腐蚀泄漏(三)	18
四、凝汽器铜管氨腐蚀	23
[案例 1-14] 凝汽器空抽区外侧黄铜管发生氨腐蚀穿孔	23
五、不锈钢管腐蚀	25
[案例 1-15] 凝汽器不锈钢管微生物腐蚀穿孔	25
[案例 1-16] 凝汽器不锈钢管腐蚀穿孔	27
六、因砸伤引起的泄漏	28
[案例 1-17] 凝汽器顶部防冲击挡板脱落砸漏钛管	28
[案例 1-18] 汽轮机叶片断裂击穿凝汽器钛管	29

第二章 给水系统腐蚀	32
第一节 低压给水系统腐蚀	32
一、水侧氧腐蚀	32
二、汽侧氨腐蚀	32
[案例 2-1] 低压加热器铜管氨腐蚀	32
第二节 高压给水系统腐蚀	33
一、流动加速腐蚀	33
[案例 2-2] 高压加热器弯管流动加速腐蚀泄漏	33
[案例 2-3] 核电站流动加速腐蚀	34
二、氧腐蚀	35
三、停用腐蚀	35
[案例 2-4] 锅炉基建停用时间过长产生严重锈蚀	35
第三节 给水水质恶化	37
一、因系统设计不当引起给水水质恶化	37
[案例 2-5] 因设计不当造成炉水周期性出现硬度	37
二、取样过滤器污染	40
[案例 2-6] 锅炉给水因取样过滤器污染影响水质分析	40
第三章 锅炉腐蚀、结垢和爆管	43
第一节 因采用不当水处理方式引起腐蚀、结垢和爆管	43
[案例 3-1] 因采用不当的水处理方式造成锅炉结垢速率高	43
[案例 3-2] 因采用不适当的全挥发处理造成水冷壁管氢脆	46
[案例 3-3] 因补给水中有游离碱使锅炉水冷壁发生碱性腐蚀	46
第二节 因汽水分离设备缺陷造成水质恶化引起爆管	50
[案例 3-4] 因汽包内部结构制造缺陷导致汽轮机严重积盐	51
[案例 3-5] 因设计和制造缺陷导致汽轮机积盐	52
[案例 3-6] 汽轮机严重积盐原因分析	54
[案例 3-7] 汽轮机高压缸严重积盐原因分析	56
第三节 因安装问题导致水质恶化引起爆管	58
[案例 3-8] 用工业水作为水泵密封水, 导致锅炉大面积爆管	58
[案例 3-9] 低压加热器疏水泵放空气管吸入地沟水, 污染水汽系统	60
[案例 3-10] 凝结水精处理树脂进入锅炉导致爆管	63
[案例 3-11] 炉水取样管安装位置不正确, 影响水质监测	64
第四节 因运行问题导致水质恶化	65
[案例 3-12] 炉水 pH 值突然降低	65

第四章 锅炉过热器腐蚀、积盐和爆管	67
第一节 因锅炉的设计缺陷引起积盐	67
[案例 4-1] 因设计缺陷导致过热器积盐	67
[案例 4-2] 因设计缺陷导致过热器积盐引起爆管	69
[案例 4-3] 过热器积盐引起爆管	71
第二节 因氧化皮脱落引起爆管	71
[案例 4-4] 国内部分电厂过热器、再热器爆管事故汇总	73
[案例 4-5] 加氧处理对锅炉过热器爆管统计	75
第五章 锅炉再热器腐蚀、积盐和爆管	77
[案例 5-1] 再热器积盐爆管	77
[案例 5-2] 因制造、安装发生腐蚀导致再热器爆管	79
第六章 汽轮机腐蚀积盐	85
第一节 汽轮机高压缸腐蚀积盐	85
一、高压缸腐蚀	85
[案例 6-1] 高压缸积盐并发生停用腐蚀	85
二、高压缸垢沉积	86
[案例 6-2] 汽轮机磷酸盐沉积严重影响热效率	86
[案例 6-3] 汽轮机积盐原因分析	87
[案例 6-4] 因使用不当的除氧剂导致汽轮机沉积大量铜垢	88
[案例 6-5] 汽轮机垢沉积原因分析	89
[案例 6-6] 因汽包水位控制问题导致汽轮机积盐严重	90
三、高压缸机械损伤	91
[案例 6-7] 锅炉蒸汽吹扫不彻底, 异物损伤汽轮机	91
四、高压调速汽门积盐卡涩	92
[案例 6-8] 高压调速汽门积盐	92
第二节 汽轮机中压缸腐蚀积盐	94
一、中压缸积盐	94
[案例 6-9] 中压缸沉积硅垢	94
[案例 6-10] 中压缸沉积氯化钠	95
二、中压缸腐蚀	95
[案例 6-11] 中压缸点腐蚀	96
第三节 汽轮机低压缸腐蚀积盐	97
一、低压缸酸性腐蚀	97
[案例 6-12] 低压缸点腐蚀	98
[案例 6-13] 低压缸酸腐蚀	100

[案例 6-14] 低压缸水滴磨蚀	101
二、低压缸应力腐蚀和腐蚀疲劳	102
[案例 6-15] 汽轮机发生水击使叶片断裂	102
第七章 凝结水精处理	107
第一节 精处理出水氢电导率偏高	107
[案例 7-1] 精处理出水氢电导率偏高原因分析	107
第二节 混床树脂交叉污染	109
[案例 7-2] 混床树脂交叉污染影响水质	109
[案例 7-3] 凝结水精处理树脂交叉污染导致炉水 pH 值下降	110
第三节 精处理混床周期制水量下降	111
[案例 7-4] 用运酸车运来的碱, 周期制水量下降	111
[案例 7-5] 凝结水精处理用碱质量不合格, 导致制水量大幅下降	111
第四节 在线化学仪表维护不利导致精处理异常	114
[案例 7-6] 在线化学仪表未能及时检测到精处理出水水质异常	114
第五节 凝结水精处理设计缺陷	114
[案例 7-7] 凝结水泵突然断电再送电, 树脂进入锅炉	114
[案例 7-8] 精处理再生系统振动	114
[案例 7-9] 两种不同结构凝结水精处理混床优缺点分析	115
第八章 化学制水	118
第一节 水的预处理	118
一、混凝剂选择不当导致预处理异常	118
[案例 8-1] 燃煤电厂混凝剂选择不当导致预处理异常	118
[案例 8-2] 燃气电厂混凝剂选择不当导致预处理出水水质异常	118
二、因未做动态模拟试验造成凝汽器结垢	119
[案例 8-3] 凝汽器结垢	119
第二节 膜法水处理	120
一、循环水回用膜处理	120
[案例 8-4] 反渗透保安过滤器污堵及处理	120
[案例 8-5] 循环水排污水处理存在的问题及解决方法	122
二、海水淡化处理	124
[案例 8-6] 海水淡化系统存在翻池和污堵等问题及解决方法	124
三、污水深度处理	125
[案例 8-7] 污水深度膜法处理存在的问题及解决方法	125
四、锅炉补给水膜处理	127
[案例 8-8] 超滤运行周期短的解决方法	127

[案例 8-9] 超滤膜污堵及解决方法	128
[案例 8-10] 膜法制除盐水出现的问题及解决方法	131
[案例 8-11] 超滤装置膜破损原因分析	132
第三节 化学制水处理	138
一、阳床出水钠含量偏高	138
[案例 8-12] 阳床内部构件腐蚀导致出水钠含量偏高	138
二、阳床再生异常	138
[案例 8-13] 运酸车影响酸的质量导致阳树脂再生异常	138
第四节 有机物治理	139
[案例 8-14] 锅炉补给水含有机物导致炉水 pH 值下降	139
[案例 8-15] 锅炉补给水含有机物导致水汽氢电导率超标	141
第九章 辅机系统腐蚀	143
第一节 工业水系统腐蚀	143
[案例 9-1] 工业水系统腐蚀及解决方法	143
[案例 9-2] 工业水系统腐蚀原因分析	149
第二节 氢气冷却器腐蚀	155
[案例 9-3] 氢气冷却器冷却水流速低、杀菌不及时造成腐蚀	155
第十章 停机保养腐蚀损坏	159
第一节 过热器、再热器停运的腐蚀	159
[案例 10-1] 混床漏氯使再热器发生停运腐蚀	159
[案例 10-2] 再热器积盐发生停运腐蚀	160
[案例 10-3] 省煤器和低压过热器疏水管腐蚀	161
第二节 锅炉水冷壁停运的腐蚀	162
[案例 10-4] 锅炉采用成膜胺保护方法不当造成腐蚀产物沉积	162
第三节 汽轮机停运的腐蚀	163
一、采用不适当的停用保护药剂	163
[案例 10-5] 采用不适当的停用保护药剂使汽轮机发生停运腐蚀	163
[案例 10-6] 锅炉采用成膜胺保养造成汽轮机沉积红色铁垢	165
二、未及时清理汽轮机叶片上的垢	166
[案例 10-7] 凝汽器泄漏造成汽轮机结垢并发生停运腐蚀	166
第十一章 发电机内冷水系统	168
第一节 发电机内冷水有关标准及处理原则	168
第二节 发电机内冷水系统在制造过程中腐蚀	169
[案例 11-1] 发电机线槽因结垢更换	169

第三节 因水处理方式选择不当造成堵塞	170
[案例 11-2] 富氧运行造成发电机线槽结垢而酸洗	170
第四节 因加药方式不当造成发电机事故	172
[案例 11-3] 发电机因加药方式不当造成线槽堵塞而烧毁	172
[案例 11-4] 发电机因漏氢产生堵塞	173
第五节 因运行管理不当造成的铜含量偏高	175
[案例 11-5] 发电机冷却水因曝气造成 pH 值低而腐蚀	176
第六节 因检修不当造成铜含量偏高	177
[案例 11-6] 发电机冷却水泵入口漏空气造成铜线棒腐蚀	177
[案例 11-7] 发电机内冷却水水箱顶部漏入空气造成 pH 值低	177
第七节 因设计不当造成的 pH 值偏低、铜含量偏高	178
[案例 11-8] 发电机冷却水 pH 值低造成腐蚀	178
[案例 11-9] 发电机内冷却水铜含量严重超标及解决方法	178
第八节 发电机内冷水系统清洗方案	179
一、物理清洗方案	179
二、化学清洗方案	180
三、化学清洗案例	180
[案例 11-10] 发电机线棒压差超标及解决方法	180
 第十二章 酸洗不当引起锅炉爆管	 184
[案例 12-1] 锅炉因柠檬酸浓度不足引起沉积造成爆管	184
[案例 12-2] 锅炉因选择过热器清洗介质不当引起爆管	185
[案例 12-3] 锅炉因酸洗发生沉积引起锅炉启动后爆管	186
[案例 12-4] 锅炉因酸洗加热温度不均匀引起锅炉管严重变形	190
[案例 12-5] 锅炉因酸洗后腐蚀产物未冲洗干净造成大面积爆管	191
[案例 12-6] 锅炉酸洗过程中出现高液位原因分析	195
 第十三章 其他腐蚀损坏案例	 197
一、电动给水泵门杆腐蚀	197
[案例 13-1] 电动给水泵门杆使用含硫高的密封圈造成电偶腐蚀	197
[案例 13-2] 电动给水泵门杆电偶腐蚀	199
二、超超临界锅炉节流圈腐蚀产物沉积	200
[案例 13-3] 锅炉节流圈发生氧化铁沉积	200
三、电站升压站内铜部件腐蚀	205
[案例 13-4] 水电站主厂房和升压站铜部件腐蚀原因分析	205
 复习思考题	 207

第一章 凝汽器泄漏引起水质恶化

在火力发电厂中,能够直接污染水汽质量的主要设备是凝汽器。凝汽器的微漏、渗漏和泄漏都会不同程度地影响凝结水质量,进而影响给水质量。因此,近几年来在凝汽器管的选材方面,特别强调材料的防腐性能。随着不锈钢价格的下降和铜材价格的上涨,在内地新建机组几乎全部选用不锈钢管。这两种材料在总造价方面几乎持平,甚至不锈钢管凝汽器价格略低,但是不锈钢管耐腐蚀性能却大大提高。运行中一般不需要加药防腐,运行成本降低,深受火力发电厂的青睐。最近有些配有铜管凝汽器的老机组也纷纷更换不锈钢管,使不锈钢管凝汽器份额不断增加。为此,DL/T 801—2010《发电厂凝汽器及辅机冷却器管选材导则》专门增加了不锈钢管的选材部分。在沿海地区,随着经济的发展几乎全部选用钛管凝汽器,杜绝了因腐蚀问题引起的凝汽器泄漏。

尽管在凝汽器管选材、运行管理方面做了大量工作,但是凝汽器的泄漏仍然没有彻底解决,是影响锅炉水质安全的重要因素之一。

第一节 因设计问题引起的腐蚀泄漏

【案例 1-1】 因设计问题凝汽器钛管被高温疏水吹漏

1. 情况描述

辽宁某电厂 4 号机组为 350MW 亚临界汽包锅炉机组,凝汽器管为钛管,冷却水为海水。在 20 世纪 80、90 年代,设计人员认为钛管耐腐蚀,凝结水不需要设置精除盐设备。该厂 4 台 350MW 机组均没有设置凝结水精处理设备。4 号机组在完成了第一次大修后,于 1999 年 8 月 17 日启动当天,凝汽器管泄漏,被迫停机处理。在对凝汽器上水查漏时发现有几根管向外漏水,其中有最外侧真实泄漏的管,也有因管内有异物堵塞、淤积导致海水慢慢流出,并误认为是泄漏的管。由于当时用电负荷紧张,匆匆进行堵管后机组再次启动,其腐蚀泄漏的真实原因并未查清。1999 年 9 月 21 日,凝汽器再次泄漏,运行人员发现凝结水的钠含量在线仪表显示已超量程,化学人员立即进行分析,其浓度超过 $10\,000\mu\text{g/L}$ 。按照 GB/T 12145《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》的规定,凝结水的钠含量达到 $400\mu\text{g/L}$ 以上应紧急停机。当时由于用电负荷紧张,为了防止误判引起电网负荷的波动,电厂领导再次请化学人员复核,前后耽搁 3.25h,汽轮机因积盐导致机组负荷从 350MW 下降到 260MW。这次因凝汽器泄漏停机检修一个月。

在凝汽器第二次泄漏后,该电厂请西安热工研究院有限公司(以下简称西安热工院)进行了原因分析。经过涡流探伤和凝汽器汽侧检查发现,机组启动时高温、高压疏水未经过减压扩容,直接排至凝汽器,并在真空状态下瞬间发生汽化。疏水挡板设计的角度和位置都不合理,造成对凝汽器最外侧的钛管被直接冲刷而断裂。已经断裂的管子直接被冲掉一段管子,导致 $\phi 31.75\times 0.711\text{mm}$ 的钛管两头进海水。经蒸汽冲刷的管子外部呈烤蓝颜色,说明

其温度非常高。

2. 原因分析

该凝汽器的泄漏主要是设计问题，主要表现在以下几方面：

(1) 防冲击挡板设计的角度不合理。经现场考察认为，高温蒸汽直接冲击损伤凝汽器最外侧的8根管子，如果挡板的角度再偏离 1° 就可避免对钛管的直接冲击。因此，马上对同类型的机组（华能大连电厂3号机组，华能丹东电厂1、2号机组）进行检查，发现均有此现象，最外侧的钛管已经变成烤蓝状态，只是还没有泄漏。由于提前发现原因，并接受这次教训，使得其他3台机组免遭停机事故。

(2) 防冲击挡板设计的大小不合理。如果加大防冲击挡板的面积，也能保护钛管。因此，在对这4台机组的改造中，除了调整防冲击挡板角度外，还加大了挡板面积。改造后的机组再也没有因为此问题引起停机的事故。

(3) 高能量流体不应直接进入凝汽器。凝汽器是负压、低温设备，高能量流体不应直接进入凝汽器。因此设计时，高能量流的疏水和蒸汽应经过扩容器后回收至凝汽器。

(4) 对于沿海亚临界机组的凝汽器即使使用钛管，凝结水精处理也是必不可少的。钛管非常耐腐蚀，但是钛管凝汽器的泄漏也非常普遍，这些泄漏与一般的腐蚀无关。

【案例 1-2】凝汽器钛管因隔板设计跨距大而振动、磨损泄漏

1. 情况描述

天津某电厂二期工程 $2\times 300\text{MW}$ 机组1992年投入运行，凝汽器管为钛管，凝结水设计为100%的精处理。新机组投入运行时，凝结水精处理设备存在缺陷，长时间未对凝结水进行100%的处理。化学监督不到位，凝结水钠含量长期超标。因海水的漏入导致炉水中的氯离子升高，水冷壁发生大面积的氢脆爆管，新机组运行10个月后被更换了大部分水冷壁管。

2. 原因分析

对于钛管凝汽器当时还没有设计经验，仅参考铜管凝汽器的有关数据。它们之间的明显区别是钛管的厚度约为铜管的一半。从防腐的角度考虑是没有问题，但是从金属刚度（表征金属变形的物理量）的角度考虑，凝汽器隔板间的距离明显偏大。计算表明凝汽器隔板间的距离最大不应超过1.0m，但该机组凝汽器隔板间的跨距达到1.2m。过大的跨距容易在汽流的冲击下引起振动，过大的管孔间隙容易发生振动磨损。该机组的凝汽器泄漏主要与振动磨损有关。因此，以后设计的钛管凝汽器管板间的跨距规定不大于0.9m。此后再也没有发生因振动磨损引起泄漏问题。

3. 结论与建议

(1) 钛管凝汽器设计时，要确定合适的隔板间距。

(2) 新机组投运前，凝结水精处理设备一定要调试完成，有缺陷时机组不得启动。一般，有缺陷的凝结水精处理设备运行时很难在短时间内修复，这时如果凝汽器发生泄漏，将产生很大的危害。

(3) 化学监督一定要到位。虽然化学不是主专业，化学专业发生的问题通常是慢性病，但波及面广，一旦产生危害损失是不可挽回的。

【案例 1-3】凝汽器钛管断裂后海水进入锅炉

1. 情况描述

首钢某公司热电分厂1、2号300MW机组，于2010年8月发现其凝结水、炉水水质异

常。对其凝结水进行分析检测,发现氯离子含量严重超标,分别为 $1042\mu\text{g/L}$ 和 $2062\mu\text{g/L}$,钠离子含量也严重超标,分别为 $475\mu\text{g/L}$ 和 $969\mu\text{g/L}$ 。另外,两台机组凝结水中钙镁离子、硫酸根离子也超标严重。经现场检查发现,凝汽器钛管发生了断裂,造成海水泄漏,从而导致了凝结水水质异常。

作为滨海电厂,采用海水冷却的凝汽器若发生泄漏事故,会导致机组热力系统腐蚀、结垢、积盐急剧增加,锅炉内部保护膜破坏,金属管壁腐蚀严重,极易发生锅炉“爆管”、汽轮机积盐等严重危及机组安全运行的事故。

2. 结论与建议

从此次海水冷却凝汽器泄漏事故中,可吸取以下教训:

(1) 应重视和加强对凝结水、给水等水质指标的日常分析监测,要有完善的凝结水在线监控措施(例如安装在线氢电导率仪和在线钠表等),密切关注凝结水水质的变化。当发现凝结水水质超标时,应立即采取措施,并组织相关专业人员对凝汽器进行检查和堵漏处理。

(2) 密切注意凝汽器泄漏与钛管胀口开裂、管子振动(汽水扰动)产生裂纹等因素。

(3) 凝结水精处理系统失效树脂要及时再生,设计时应保证精处理系统有 100% 的处理能力。

(4) 加强对炉水 pH 值的及时调控,保证炉水 pH 值满足锅炉防腐要求。炉水 pH 值偏低时,作为临时补救措施可采用向炉水加适量氢氧化钠的方式调整。通过监控炉水电导率或氢电导率,选择炉水排污方式,控制炉水氯离子含量,以确保蒸汽品质。

(5) 水汽质量劣化时,应严格执行 GB/T 12145 中的三级处理原则。

第二节 运行管理问题

【案例 1-4】凝汽器泄漏导致炉水 pH 值下降到 4.0

1. 情况描述

广东某电厂装有 6 台哈尔滨锅炉厂生产的亚临界汽包锅炉,凝汽器管材为钛管,机组原设计没有凝结水精处理。1995 年 2 号机组凝汽器空气抽出管因防腐层脱落引起腐蚀泄漏。因为该管通过凝汽器水室,与凝汽器汽侧连通,管内处于负压状态,腐蚀穿孔后海水直接通过该管进入凝汽器,污染了凝结水。由于当时没有凝结水精处理,海水直接进入锅炉,导致炉水的 pH 值急剧下降到 4.0,并且机组运行 2 天后才停机处理。

2. 结论与建议

沿海电厂即使安装钛管凝汽器,凝结水精处理设备也是必不可少的。没有凝结水精除盐的电厂,几乎都因凝汽器的泄漏被迫非计划停机。有了凝结水精除盐,即使凝汽器泄漏,短期也不会严重影响给水水质,这为故障处理提供了宝贵的时间。接受其他沿海电厂海水泄漏的教训以及本厂的教训,该电厂对 6 台机组都增设了凝结水精处理混床。

【案例 1-5】选用白铜管导致腐蚀泄漏而未及时投运精处理

1. 情况描述

广东某沿海电厂一期装有 2 台 300MW 亚临界汽包锅炉机组,凝汽器管材为乌克兰生产的白铜管(相当于国产 BFe30-1-1),机组原设计有凝结水精处理,但没有备用设备。由于乌克兰产的这批白铜管是在原苏联解体后,首次由乌克兰单独生产,质量比较差。在 1996

年基建期间对两台机组的 45 000 根铜管进行涡流检查,有 2200 多根管因制造缺陷不合格。由于铜管安装数量不足,故用国产管代替。机组在运行中,凝汽器管(乌克兰产)经常泄漏,严重影响机组的安全性和经济性。由于设计的凝结水精处理出力为 $2 \times 50\%$,没有备用。运行管理者认为,万一在凝结水精处理再生期间凝汽器发生泄漏会影响机组的安全,所以只有在泄漏时才投入运行。

事实证明,发现凝汽器泄漏到投运精处理,需要 20~30min,这期间海水已进入锅炉,导致炉水的 pH 值下降,过热器、汽轮机腐蚀、积盐,其中 1 号机组汽轮机中压缸发生了酸性腐蚀,低压缸第 3 级叶片沉积物也比较多。2 号机组汽轮机中、低压缸都发生了酸性腐蚀。

2. 结论与建议

(1) 沿海电厂的凝汽器管一般不选用白铜管。对于污染的海水,白铜管的耐腐蚀性很差。该电厂近海的海水有机物含量较高,海水中的漂浮物也较多,凝汽器管堵后产生大量的生物黏泥,腐蚀较严重。

(2) 沿海电厂凝结水精处理必须 100% 投运。设计时一定要考虑再生退出的时间,设置 $3 \times 50\%$ 的处理流量是必要的。

【案例 1-6】凝汽器泄漏,精处理未 100% 投运,导致水冷壁爆管

1. 情况描述

内蒙古某电厂一期工程 $2 \times 330\text{MW}$ 亚临界参数机组,锅炉为北京锅炉厂制造(引进美国巴威 B&W 公司 RB 锅炉技术)型号为 B&W B-1025/18.44-M 的亚临界一次中间再热自然循环汽包锅炉。汽轮机为北重—法国阿尔斯通公司联合生产的亚临界三缸两排汽一次中间再热凝汽式汽轮机,额定功率为 330MW,型号为 T2A330.30.2F1080。

该电厂 1 号机组于 1995 年 10 月 15 日投产,2 号机组于 1996 年 11 月 30 日投产。两台锅炉均按照 GB/T 12145—1999 执行,采用磷酸盐处理炉水, PO_4^{3-} 控制在 $0.5 \sim 3\text{mg/L}$, $\text{pH}=9.0 \sim 10.0$ 。锅炉连续排污率 $0.5\% \sim 0.8\%$ 。锅炉未设底部定期排污装置。1 号炉 2000 年 2 月发生炉水磷酸盐含量偏低异常现象,2 号炉 2001 年 8 月也开始出现类似现象。随着锅炉负荷的变化,两台锅炉的炉水都发生磷酸盐“隐藏”现象。2001 年 4 月对 1 号锅炉进行了 EDTA 清洗。2001 年 11 月底 1 号锅炉水冷壁管发生了严重的腐蚀损坏,被迫更换 400 根水冷壁管。1 号机组过热蒸汽的含钠量有超标现象,氢电导率比较高,怀疑与运行条件(锅炉的负荷、汽包水位等)有关。

2. 原因分析

西安热工院对炉水的处理方式优化处理和磷酸盐隐藏现象试验,其结果总结如下:

(1) 1 号锅炉的炉水发生了磷酸盐“隐藏”现象,其原因是锅炉水冷壁管向火侧内表面有钙镁水垢。结垢原因是机组启动初期凝汽器有泄漏而一直没有及时投运凝结水精处理,经过酸洗公司 EDTA 清洗后热负荷高的水冷壁向火侧仍然含有大量的氧化铁沉积物。

(2) 2 号锅炉发生的炉水磷酸盐“永久消失”现象,其原因是生水漏入锅炉,水冷壁管向火侧内表面沉积的铁垢与磷酸盐反应,生成磷酸铁垢,消耗了磷酸盐,导致磷酸盐无法与炉水中的钙离子反应生成水渣,因此产生了硫酸钙水垢。

(3) 两台锅炉中的硬度成分主要来自凝汽器泄漏,并且凝结水精处理没有 100% 投运。含有大量硬度成分的给水进入锅炉后,迫使加大磷酸盐的剂量,但生水中含有大量的硫酸根,生成溶度积很小的硫酸钙,加磷酸盐也不能生成水渣排出。

3. 结论与建议

(1) 新建机组启动初期一定要密切监视凝结水水质。凝汽器是热力系统最大的换热设备,也往往是最大的污染源。投运初期往往在电力建设部门尚未移交电厂时,产生水质失控。

(2) 新建机组启动时,凝结水精处理必须调试完成,凝结水精除盐必须 100% 投运。

目前有些电厂为了机组运行安全凝结水精处理开 10% 旁路运行,可是这种做法本身就不安全,其本质是想延长凝结水精处理混床的运行周期,因频繁的再生比较麻烦,一旦凝汽器泄漏,将来不及关旁路,生水会直接进入锅炉。

(3) 锅炉在启动时,应进行冷态和热态冲洗;升压时在低压阶段应从锅炉底部放水排污。

(4) 完善化学监督的在线仪表,特别是凝结水氢电导率仪表、钠表测量应准确。它们是污染物进入锅炉的第一道监测防线。

(5) 锅炉结硫酸钙水垢时,不应采用 EDTA 清洗。

第三节 凝汽器腐蚀泄漏

20 世纪 70 年代以前,我国的凝汽器管主要是黄铜管,在 70 年代后期,开始使用白铜管,如金山热电厂,在两台机组上使用了 B10 管和 B30 管。80 年代开始使用进口钛管,后开始国产研制。先研制无缝钛管,后又研制焊接钛管。90 年代开始使用不锈钢管。现在新建的电厂,沿海普遍使用钛管,内地电厂主要使用不锈钢管。但无论是铜管还是不锈钢管,如果运行管理不当都会造成腐蚀泄漏。

一、凝汽器管板腐蚀

【案例 1-7】凝汽器因加不锈钢飘带造成腐蚀

1. 情况描述

河北某热电厂 11 号锅炉为一次中间再热、单汽包、自然循环、半露天布置、平衡通风、固态排渣煤粉炉;汽轮机为超高压、单轴、双缸、双排汽、低压双流、一次中间再热式。该机组循环水的补充水为经石灰处理过的河水。凝结水系统冷却方式为敞开式循环冷却。采用添加阻垢缓蚀剂的处理循环水的工艺,同时投加胶球进行凝汽器管清洗。由于河水逐渐受到上游工业排放的废水和生活污水的污染,水中污染物质的成分复杂,特别是含盐量、有机物、菌藻类及其他污染物质对水质的影响较大。该厂在 2008 年初采用了不锈钢管内添加飘带方式来防止 11 号机组凝汽器管内污堵,通过循环水流动带动飘带旋转去除污泥等物质,并防止不锈钢管内出现结垢现象,同时该机组胶球清洗系统被迫停运。该厂 12 号机组仍采用原胶球清洗系统。

2. 腐蚀情况

在 11 号机组停机期间,对 11 号机组凝汽器进行检查时发现,在凝汽器进水侧,管道壁和凝汽器管板防腐层基本完整,黏泥附着较少。在凝汽器出口侧下水室管板有明显腐蚀现象,其表现形式为:管板和管壁保护层基本破坏,管板上形成大量锈瘤鼓包,且部分已连成片,锈瘤的高度约 1cm,瘤下腐蚀坑约 1mm。管板上黏泥多,水室内有刺鼻的腐蚀气味。