

某燃机电厂凝汽器结垢原因分析及防范措施

高强生

(浙江浙能技术研究院有限公司,杭州 311121)

摘 要:以某燃机电厂一次凝汽器异常结垢情况为例,从凝汽器温度控制、阻垢剂加药控制、循环水浓缩倍率等方面分析凝汽器结垢的原因,提出了相应的防范措施,确保发电机组安全、经济运行。
关键词:燃机电厂;凝汽器;结垢;阻垢剂;浓缩倍率;循环水
中图分类号:TM 621 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2018)02 - 0032 - 03

0 引言

某燃机电厂共安装 3 台 400 MW 燃气蒸汽联合循环机组,其 #3 机组配置 N - 10832 型、单壳体、双流程、表面式凝汽器。凝汽器 A、B 上下布置,该凝汽器由接颈、壳体、水室和热井构成,皆为碳钢焊接结构,凝汽器放置在多轴承座的基板上。凝汽器轴向安装于汽轮机之后,汽轮机排出的蒸汽水平轴向排入凝汽器。凝汽器壳体内部的冷却面积为 10 832 m²,共有管束 10 606 根,其规格为 $\phi 28\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 和 $\phi 28\text{ mm} \times 0.7\text{ mm}$ 两种,长度为 11 600 mm,管子材料为 Ti;冷却水体积流量为 24 385 m³/h,额定温升下管内流速为 2.23 m/s。

凝汽器前后水室均为由钢板卷制成的弧形结构,前水室为 2 个独立腔室,上部水室为出水室,下部水室为进水室,后水室为 1 个腔室,循环水经过进口到达下部进水室,流经第 1 组管束,并在后水室转向,以相反方向流经第 2 组管束,又回到上部出水室,经出口管道流出。前后水室与端管板均采用法兰连接,为保证一定的传热系数和防止杂物沉积,凝汽器冷却管采用胶球清洗装置清洗。

1 凝汽器结垢现场检查、分析

该厂 #3 机组于 2016 年 3—5 月进行了一次检修,当时检查凝汽器水室未发现结垢情况。2017 年 5 月再次停机检查,发现凝汽器前水室上部出水室端板及侧板结垢严重,厚度达 3 ~ 4 mm,结垢物和凝汽器板面结合并不紧密,采用敲击或撬的方法均能造成结垢大面积脱落,部分管束内部也有结垢,如图 1 所示。发现该情况后,厂里安排对凝汽器下部进水室和后水室进行开人孔门检查:下部进水室及后水室内端板、侧壁及钛管均未发现结垢现象,如图 2

所示。凝汽器换热管道结垢会影响凝汽器换热效率,必然影响机组运行的经济性和安全性。

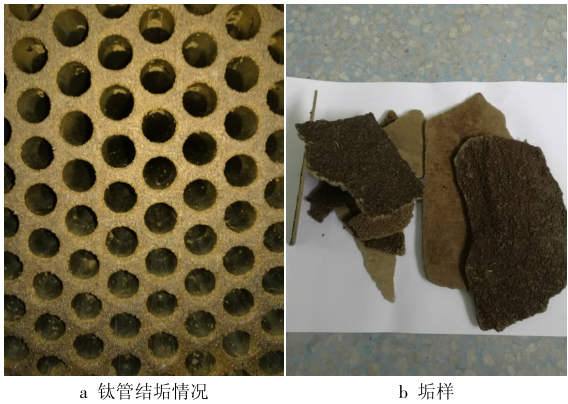


图 1 凝汽器上部出水室钛管结垢情况及垢样



图 2 凝汽器下部进水室、后水室端板无结垢现象

1.1 结垢部位分析

结垢主要分布在上部出水室(端板、侧板)及出水管口,而下部进水室及后水室管口、端部均未见结垢现象,且管口清洁。同样都浸泡在循环水中,只有出水室出现结垢,说明出水室内水质条件发生了根本变化,而出水室循环水的主要变化是温度变化。

1.2 管口清洁度比较分析

现场观察发现,并不是所有凝汽器钛管都结垢,中间部分区域管口内相对清洁,说明凝汽器胶球清

洗装置具有较好的清洗作用,而靠上部及外围部分管道由于水流没有将胶球带入管道,造成管道内部结垢相对严重。

1.3 成分分析

通过取垢样分析,得出其主要为碳酸钙硬垢,见表 1。分析过程中使用盐酸对垢样进行浸泡时,出现大量气泡,如图 3 所示。

表 1 机组凝汽器垢样成分分析 %

组分	质量分数
水分	8.11
碳酸钙垢(以干基计)	88.33
镁垢(以干基计)	2.78

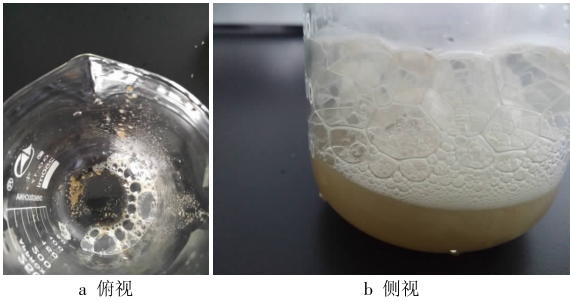


图 3 垢样使用盐酸浸泡反应

2 运行情况及运行数据

2.1 运行数据

该电厂于 2015 年进行了废水零排放改造。废水零排放设备投运以前,循环水补充用水一直使用河水;2015 年 6 月废水零排放设备投运后,主要使用废水零排放设备处理后废水作为循环水补充水,在 2~3 台机组同时投运、零排放设备处理后废水量不够的情况下,以河水作为应急补充水。查看 2016 年 5 月 #3 机组检修后至 2017 年 5 月的水质报告,补充水硬度最大值为 1.53 mmol/L,电导率最大值为 564 $\mu\text{S}/\text{cm}$; #3 机组循环水 pH 值控制在 6.81~8.53,硬度最大值为 7.14 mmol/L,电导率最大值为 2 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$,水质指标尤其是硬度指标能满足 <10 mmol/L 的控制要求。另外,2016 年 6—8 月循环水浓缩倍率偏高,3 个月合计运行 35 d。2016 年 5 月至 2017 年 5 月, #3 机组循环水、浦阳江水及废水零排放出水水质指标见表 2。

2.2 阻垢剂加药情况

2016 年 5 月检修后至今, #3 机组共使用了 2 个阻垢剂厂家(分别称为 A 厂、B 厂)提供的不同阻垢剂。

2017 年 1 月之前使用的是低磷阻垢剂,根据 2014 年 11 月 A 厂提供的调试报告,补充水中添加 9 mg/L 药剂,系统可维持电导率浓缩倍率在 5~6 倍

表 2 零排放出水、江水及循环水主要水质指标比较

	项目	数值
零排放出水	电导率/($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	289~564
	硬度/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.79~1.53
浦阳江水	电导率/($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	178~472
	硬度/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.50~1.91
机组循环水	电导率/($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	367~2 120
	硬度/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.02~7.14
	有机磷/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.01~0.72

下安全、稳定运行,且控制循环水中总磷不大于 1.5 mg/L。该电厂实际加药量按补充水中添加 10 mg/L 控制,日常运行中每台机组加阻垢剂 50 kg/d,循环水总磷按 1.5 mg/L 以下控制。经统计计算,2016 年加药量统计与加药记录统计量吻合。

检查循环水有机磷检测指标,发现 2016 年 2 月开始一直到 2016 年 8 月, #3 机组循环水中有机磷含量偏低,长期运行在 0.01~0.14 mg/L 之间,而且 #4、#5 机组同样存在有机磷含量低的现象。2017 年 4 月更换阻垢剂厂家(B 厂)之后,投药方式按补充水中 10 mg/L 控制,循环水有机磷含量才恢复正常水平。

2.3 机组运行天数

从 2016 年 5 月至 2017 年 5 月, #3 机组总运行天数为 72 d,2017 年 4 月至停机检修运行天数为 6 d。

3 结垢原因分析

3.1 温度的影响

结垢主要分布在上部出水室(端板、侧板)及出水管口,而下部进水管口及后水管口、端部均未见结垢现象,且管口清洁,说明此次结垢主要是循环水温度变化造成的。在循环水进口侧,温度低,碳酸钙还不会从水中析出,当循环水进行热交换后,出水温度上升,碳酸钙溶解度下降^[1],促使水垢从水中析出。查看不同负荷段的循环水进出口温度,其进出口温差在 13~14 $^{\circ}\text{C}$ 。所以,循环水的温度变化是造成结垢的直接原因。

3.2 循环倍率的影响

循环水在实际运行条件下,都有一个不结垢的碳酸盐硬度最大值(即极限值),称为极限碳酸盐硬度,当碳酸盐硬度大于极限碳酸盐硬度时,水就会结垢。2016 年年初至 12 月相当长的时间段内,循环水中阻垢剂有效含量偏低(低于 0.1 mg/L)甚至没有,阻垢剂未起到应有作用,而此时循环水浓缩倍率在 6~7 倍之间。所以,循环水中碳酸盐硬度达到循环水出水温度条件下的极限碳酸盐硬度^[2],是水垢

形成的根本原因。

3.3 阻垢剂浓度的影响

查询运行加药操作,加药量都正常,因此药剂可能存在问题。A 厂 2015 年年底提供了最后一批阻垢剂,电厂在入库时未进行取样化验或送检,在使用该批药品后,3 台机组循环水有机磷均大幅度下降到 0.1 mg/L 以下,无法有效阻垢,因此,药品有效成分不足是系统结垢的主要原因。

4 处理措施

针对目前 #3 机组凝汽器 2 个水室存在的结垢现象,考虑检修时间紧,不具备进行化学清洗的条件,故采用物理清洗的方法即进行人工除垢,端板及侧板部位均能清理得较干净;钛管内部的结垢尝试采用高压水枪冲洗等方式处理,并采用防结松散剂或稀酸喷洒,令其疏松后再进行水冲洗。

5 防范措施

5.1 做好药品入厂检验工作

循环水中阻垢剂有效成分长时间未检测出,可能与阻垢剂产品质量有关,但厂里对阻垢剂入厂没有进行必要的检验检测,导致无法追溯原因。

5.2 循环水控制策略的更改

添加阻垢剂是防止循环水结垢的有效手段,但阻垢剂的阻垢效果除与其用量有关外,还与水温水质有关,随水温、碳酸盐硬度以及 pH 值的增加,其阻垢效果下降。任何阻垢剂都受到阻垢能力的限制,当循环水浓缩倍率过大,以至水中碳酸盐硬度超过它的允许值时,仍然会有 CaCO₃ 垢生成。循环水控制策略是根据阻垢剂厂家提出的要求进行控制的,应综合考虑循环水温度、pH 值、浓缩倍率、补充

(上接第 31 页)指标的基础上降低真空泵能耗。本文分析了国内火电厂主流配置的水环真空泵存在的各种问题,并对各种解决方案进行了剖析,得出了采用高效真空泵系统是最合理改造方案的结论。

进行高效真空泵改造时,应合理选择罗茨泵压缩比以及抽吸能力。一方面能彻底避免小容量水环真空泵气蚀,另一方面能够适应机组真空严密性较差的工况。

参考文献:

[1] 罗思球. 水环真空泵机组在凝汽器抽真空的应用及介绍[J]. 通用机械,2004(2):28-31.
[2] 徐法俭,雷春栋,刘宝新,等. 水环真空泵能效评价方法

水水质、阻垢剂加药量等多方面因素^[3],设置合理的控制策略。循环水补充水质变化后应及时改变控制策略,该厂在 2015 年 6 月投运废水零排放系统,循环水补充水由江水改为零排放预处理后废水,水质发生变化,主要指标如电导率、硬度、碱度等都发生变化,阻垢剂厂家应根据水质变化情况重新制订控制策略,但厂家未提供更改的控制策略。

5.3 加强循环水排污

循环水浓缩倍率不宜过高,及时排污是控制浓缩倍率的有效手段,该厂目前机组的循环水排污量均较少,造成水质劣化、指标偏高。应控制水质指标在合格情况下及时排污,防止在指标超标时排污造成环境污染。

5.4 加强循环水水质监测

加强循环水 pH 值、硬度、有机磷、氯根、化学耗氧量(COD)、氨氮等重要运行指标监测,防止循环水碳酸盐硬度达到或超过极限碳酸盐硬度,同时也应防止循环水超标排放。

参考文献:

[1] 于剑峰,霍静,唐仕明,等. 卤水管道中影响碳酸钙垢溶解度的因素及规律[J]. 盐业与化工,2011,40(4):20-23.
[2] 刘辉,盛春林,王福平,等. 循环水高浓缩倍率在火力发电厂的应用[J]. 工业水处理,2003,23(8):67-69.
[3] 王兆岳. 循环冷却水系统结垢问题及控制方法[J]. 科技创新与应用,2013(1):109-111.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

高强生(1971—),男,浙江嘉兴人,高级工程师,从事电厂水处理方面的研究工作(E-mail:2809282558@qq.com)。

研究[J]. 真空科学与技术学报,2011,31(4):449-452.
[3] 刘凯,秦惠敏,吴曰舜. 国产 300 MW 汽轮机真空抽气系统技术改造[J]. 华东电力,2004,32(11):49-52.
[4] 吴河生,范朝光. 300 MW 供热机组水环式真空泵系统技术改造[J]. 江苏电机工程,2010,29(5):70-72,76.
[5] 汪国山. 电站凝汽器热力性能数值仿真及其应用[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

宗绪东(1972—),男,山东济南人,高级工程师,工学硕士,从事火电厂节能降耗技术工作(E-mail:35266623@qq.com)。