

DOI:10. 3969/j. issn. 1674 – 1951. 2019. 07. 014

凝汽器不锈钢管的结垢分析及综合治理

Scale analysis and comprehensive treatment of condenser stainless steel tubes

钱锡琳
QIAN Xilin

(江苏华电戚墅堰发电有限公司,江苏 常州 213011)
(Jiangsu Huadian Qishuyan Power Generation Company Limited, Changzhou 213011, China)

摘 要:凝汽器结垢是电厂循环水处理中较为常见的问题。凝汽器严重结垢会影响冷凝效果,端差上升,真空度下降,从而影响机组出力,供电煤耗上升等。通过对某公司凝汽器运行状况监测和凝汽器内部情况检查,分析凝汽器结垢的原因,制定了凝汽器的物理清洗和循环水加药方式优化等综合治理方案,在清除凝汽器结垢的同时,有效减缓凝汽器结垢,提高凝汽器真空,为凝汽器长期有效地高效率运行提供保障,从而提高发电机组运行效率。
关键词:凝汽器;结垢;物理清洗;加药优化;综合治理

中图分类号:TK 264 文献标志码:B 文章编号:1674 – 1951(2019)07 – 0050 – 04

Abstract: Condenser scaling is a common problem of circulating water treatment in power plants. The scaling of condenser will seriously affect the condensation effect, increase the terminal temperature difference and decrease the vacuum degrees, which affects the output of units, and coal consumption for power supply. Analyzing condenser scaling by monitoring the operation status and inspecting the internal condition of condensers in a company, causes for scaling are given. In view of the reasons, comprehensive treatment such as physical cleaning and dosing recirculating water are formulated. Removing the scaling of condenser and effectively mitigating the process of scaling can improve the vacuum of condenser, which provides guarantee for the long-term effective and efficient operation of condenser and generator set.
Keywords: condenser; scaling; physical cleaning; dosing optimization; comprehensive treatment

0 引言

凝汽器设备是汽轮机组的重要组成部分,它的工作性能直接影响整个汽轮机组的安全性、稳定性和经济性。凝汽器的结垢会严重影响冷凝效果,端差上升,真空度下降,从而影响机组出力,供电煤耗上升^[1]。通过凝汽器的物理清洗及循环水处理工艺优化,能有效减缓凝汽器结垢,提高凝汽器真空,从而提高机组出力。

1 凝汽器运行概况及问题

某公司 2015 年扩建 2 台 F 级三菱 M701F4 燃气 – 蒸汽联合循环机组时,选用配套的凝汽器为表面式、单背压、双流程凝汽器,具体参数见表 1。
自 2016 年开始,循环水补充水处理选用投加无磷配方的缓蚀阻垢剂 HP – 383B – 2,杀菌剂主要以氧化型杀菌剂次氯酸钠为主,每天连续性投加。非

表 1 凝汽器主要参数 Tab. 1 Main parameters of condenser	
项目	参数
型号	N14550
形式	表面式、单背压、双流程
总冷却面积/m ²	14 450
管材	TP 316L
换热管规格/mm	φ25.0×0.5/0.7
有效管长/mm	12 300
管数/根	14 956
设计蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	418.3
设计冷却水进口温度/℃	21
设计冷却水出口温度/℃	30
设计冷却水量/(m ³ ·h ⁻¹)	26 557
管中水速/(m·s ⁻¹)	2.19
压力损失/kPa	66

氧化型杀菌剂为辅,主要成分为异噻唑啉酮类,循环水浓缩倍率(以钙离子质量浓度计)控制在 3.0 ~ 4.0 倍。

2017 年 9 月,在对各机组凝汽器真空度、端差、和温升进行数据统计时发现,各机组的凝汽器真空度都有不同程度的上升(见表 2),可能发生结垢^[2]。

表 2 2017 年 9 月部分机组凝汽器运行参数
Tab.2 Partial operating parameters of condensers
in September 2017

项目	#3 机组	#4 机组	#6 机组	#8 机组
真空度/kPa	92.85	91.91	93.01	93.82
端差/℃	4.20	6.60	5.87	5.48
温升/℃	12.00	12.24	8.75	7.32

2 凝汽器检查情况

在 2017 年 6 月对 1 台机组进行例行化学监督检查时,发现凝汽器不锈钢管内有结垢现象。具体检查情况:凝汽器 A/B 侧的进水端情况总体正常,进水端管口最外端约 5 cm 处有少量结垢,管内目视检查光滑光亮,基本没有结垢的情况(如图 1 所示);个别管口有部分填料碎片、胶球等杂物堵在管子上,花板上有部分黏泥沉积(如图 2 所示);A/B 侧出水端管子内部均有一薄层 0.5 mm 厚的硬垢(如图 3 所示),管板上、水室墙壁上、支撑柱上也有一层约 0.5~1.0 mm 的软垢(垢样如图 4 所示),随后取凝汽器出水侧垢样(灰白色颗粒状固体)进行分析,结果见表 3。



图 1 凝汽器进水侧
Fig.1 Water inlet side of condenser



图 2 凝汽器进水侧黏泥沉积
Fig.2 Mud deposit on the inlet side of
the condenser



图 3 凝汽器出水侧硬垢
Fig.3 Hard scale at water outlet side of condenser



图 4 凝汽器出水侧垢样
Fig.4 Scale samples on the outlet
side of condenser

表 3 凝汽器管板上垢样分析报告
Tab.3 Analysis report of scale samples on
condenser tube plate

分析项目	质量分数 %
550 ℃ 灼烧减重	2.45
950 ℃ 灼烧减重	40.83
酸不溶物	4.13
氧化钙(CaO)	47.79
氧化镁(MgO)	1.45
氧化锌(ZnO)	0.09
五氧化二磷(P ₂ O ₅)	0.24
三氧化二铁(Fe ₂ O ₃)	0.08
合计	97.06

以上垢样分析结果表明:950 ℃ 灼烧减重 + 氧化钙 + 氧化镁之和约为 90.07%,说明垢样的组成中绝大多数为碳酸盐垢。另外,有少量的生物黏泥、泥沙类等其他杂质^[3]。

3 凝汽器结垢原因分析

3.1 循环冷却水量偏低

为了降低厂用电耗,根据气温情况、机组出力及运行方式等,合理调整投入运行的循环水泵数量及循环水泵(双速)高、低速状态,保持机组在经济真

空下运行。

夏季循环水温度偏高,机组单机运行时,循环水流速在 5.0 m³/s 左右,未能满足凝汽器 60 倍的冷却倍率,导致凝器不锈钢管内部(水侧)结垢,造成凝汽器换热效率下降,真空度下降。

3.2 循环冷却水加药调整不及时

补水为运河水,水质波动较大(见表 4),主要是总碱度和氯离子质量浓度波动很大。2018 年 6 月和 12 月相比,补充水氯离子质量浓度相差将近 1 倍,钙离子质量浓度、总碱度相差 20% ~ 40%,且原水中含有一定浓度的荧光,对无磷药剂浓度的检测带来一定的干扰。

循环水水质日常指标(总硬度、总碱度、电导率、浓缩倍率等)接近药剂的控制上限。

现场规定的药剂质量浓度范围为 20 ~ 30 mg/L(正常控制范围),但在浓缩倍率升高后未能及时调整加药量,因而造成循环水系统中的药剂浓度偏低,是凝汽器逐渐结垢的原因之一。

4 综合治理

4.1 循环水泵运行方式优化

在降低电耗的同时,保证凝汽器换热效果,结合不同季节和机组运行方式,对循环水泵运行方式进行优化,在做到经济运行的同时确保水流速度在正常范围。

4.2 循环补充水处理加药方案优化

优化缓蚀阻垢剂加药质量浓度及水质控制,根据水质随季节变化较大的特点,分别进行动态模拟试验,按照季节性补充水水质特点,确定现场缓蚀阻垢剂加药质量浓度及水质控制方案:每年 4—10 月

为水质较好时期,按补水量以 7 mg/L 质量浓度投加药剂,钙离子质量浓度 ≤ 140 mg/L,总碱度 ≤ 7 mol/L;每年 11 月到来年 3 月为冬季枯水期,按补水量以 10 mg/L 质量浓度投加药剂,钙离子质量浓度 ≤ 160 mg/L,总碱度 ≤ 8 mol/L。

加强对循环冷却水微生物的控制,用氧化性杀菌剂和非氧化性杀菌剥离剂相结合的配方,充分发挥以下优点,以消除细菌对某种杀菌剂产生的抗药性^[4]。

(1)氧化性杀菌剂为次氯酸钠,按循环水量,以 2.0 ~ 3.0 mg/L 质量浓度投加,每日投加 2 次,每次 3 h,控制余氯质量浓度 0.3 ~ 1.0 mg/L;

(2)非氧化性杀菌方案采用 HP-550A(主要成分异噻唑啉酮)杀菌剥离剂,每月投加一次,冲击式加入集水池,按循环水系统的保有水量,质量浓度加药为 100 mg/L。

4.3 加强日常运行监督

(1)加强对每批次药剂(循环水缓蚀阻垢剂、次氯酸钠、非氧化性杀菌剂)质量验收、抽检。

(2)加强循环水水质监测,常规项目每天分析一次,总磷测定隔天测一次。

(3)每天监测阻垢剂加药质量浓度,加药质量浓度控制在 30 ~ 35 mg/L,循环水电导率 < 1 500 μS/cm,循环水浓缩倍率统一以钙离子质量浓度计算并控制浓缩倍率 < 3.0 倍。如发现指标超标及时进行循环水排污。

(4)对冷却塔悬挂的试片进行跟踪,每周检查并记录试片情况。

(5)对凝汽器每次检查的资料进行整理,做好系统性分析。

表 4 补充水水质
Tab.4 Supplementary water quality

测试项目	水质指标			
	2016 年	2017 年	2018 年(6 月)	2018 年(12 月)
外观	无色透明	无色透明	无色透明	无色透明
pH 值	7.50	7.37	7.44	7.14
浊度/NTU	2.78	0.29	0.80	10.15
电导率/(μS·cm ⁻¹)	454	473	333	548
钙离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)	44.04	47.24	36.00	53.60
总硬度/(mol·L ⁻¹)	3.08	3.16	2.56	3.48
总碱度/(mol·L ⁻¹)	2.18	2.58	2.04	2.47
氯离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)	49.75	66.34	35.30	76.10
总铁/(mg·L ⁻¹)	0.36	0.18	0.32	0.05
总磷/(mg·L ⁻¹)	1.21	0.28	0.46	0.28
正磷/(mg·L ⁻¹)	0.53	0.07	0.17	0.07
荧光值	未测试	未测试	0.80	1.50

4.4 凝汽器物理清洗^[5]

(1) 机组运行一段时间后,用优质金刚砂胶球,对凝汽器进行胶球清洗,时间半个月。

(2) 利用机组调停时机,采用高压水枪对凝汽器进行物理清洗。

高压冲洗小型试验:抽取结垢凝汽器不锈钢管一根,进行高压水清洗试验。水压 70 MPa 左右,管壁内清洗后无任何结垢及壳层附着物。现场压力试验高压机加压到 100 ~ 120 MPa 对不锈钢管冲洗半小时,无任何损坏。

清洗时,在机组进水侧和回水侧分别进行清洗。清洗喷枪采用挠性喷枪,开始清洗时软枪清洗压力设定为 30 ~ 40 MPa,根据清洗过程中管层清净率,

调整设定清洗压力为 40 ~ 50 MPa,最大清洗压力控制不超过 70 MPa。

每台凝汽器清洗时间为 90 h,如部分管口在 30 ~ 40 MPa 未能清洗干净,清洗压力需增加到 60 MPa,除垢效果良好,整体除垢率达到 85%。

5 治理效果检查

取 2017 年 9 月治理前部分机组凝汽器运行参数和 2018 年 4 月治理后部分机组凝汽器运行参数进行对比(见表 5)。

经过现场水质管理、浓缩倍率控制、凝汽器物理清洗等综合治理后,凝汽器运行参数比较稳定,系统运行管控正常,无明显新增结垢情况。

表 5 治理前后部分机组凝汽器运行参数对比

Tab.5 Partial operating parameters of condenser before and after treatment

项目	#3 机组		#4 机组		#6 机组		#8 机组	
	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后
真空度/kPa	92.85	94.10	91.91	93.82	93.01	94.00	93.82	94.87
端差/℃	4.20	2.80	6.60	3.20	5.87	3.34	5.48	3.76
温升/℃	12.00	12.57	12.24	12.70	8.75	8.35	7.32	7.19

6 建议

凝汽器严重结垢会影响冷凝效果,端差上升,真空度下降,从而影响机组出力,供电煤耗上升。通过循环水处理工艺优化及凝汽器的物理清洗等手段,能有效减缓凝汽器结垢,提高凝汽器真空,从而提高机组出力。建议如下。

(1) 优化循泵运行方式,找到循泵安全运行与经济运行的最佳结合点。

(2) 合理控制系统浓缩倍率有利于节能减排,增加效益。以某公司 F 级循环水系统为例,循环水量 2.0 万 m³/h,保有水量 1.5 万 m³。系统浓缩倍率控制在 2.5 倍和 3.5 倍时,补水量相差约 70 m³/h,如全年运行 8 000 h,则补水总量相差 56 万 m³。如药剂以 7 mg/L 计算,可节省药剂 3.92 t。由此可以看出,循环水系统如能通过对循环水进行缓释阻垢及杀菌处理,能适当提高循环水浓缩倍率,节能减排空间较大。

高压物理清洗技术与化学清洗比较,具有以下优点。

(1) 选择适当压力等级,不会损伤被清洗的基体。

(2) 不会造成二次污染,不需要进行洁净处理。

(3) 能针对凝汽器狭窄空间进行清洗作业。

(4) 节水,清洗能力强、工作效率高、使用成本低,具有良好的环保和经济性优势。

7 结束语

通过优化循泵运行方式及循环补充水加药处理方案,加强对循环水水质的日常监督,及时调整循环水浓缩倍率,可以减少循环水系统结垢,促进机组节能降耗。应用高压物理冲洗技术,选择合适压力等级,可以有效去除水垢,同时不会损伤被清洗的基体,和化学清洗相比,无二次污染,用水量小、清洗能力强、工作效率高、成本低,具有良好的环保和经济性优势。

参考文献:

[1] 王维娜. 某电厂凝汽器结垢与防垢的实验分析与研究[D]. 呼和浩特:内蒙古工业大学,2010.

[2] 于新颖. 凝汽器运行参数对其性能的影响分析[J]. 电站辅机,2002(1):4-9.

[3] 郭立靖,张铁斌. 火力发电厂热力设备上垢样成分分析[J]. 内蒙古电力技术,2006(S3):102-103.

[4] 李明强,祁峰,刘登. 凝汽器防结垢措施[J]. 云南电力技术,2012(4):64-66.

[5] 张伟,陈宁,彭伟,等. 火电厂凝汽器管除垢新技术[J]. 发电设备,2008,22(2):165-167.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

钱锡琳(1975—),女,江苏无锡人,工程师,从事电厂化学、环保监督及节能管理方面的工作(E-mail:qianxilinvip@163.com)。