

# WSD 在线清洗装置在某 600 MW 超临界机组的应用

袁洪利<sup>1</sup>, 蔡高翔<sup>1</sup>, 姬鄂豫<sup>2</sup>

(1. 华润电力(常熟)有限公司, 江苏 常熟 215536; 2. 南阳理工学院, 河南 南阳 473004)

**摘要:**针对某 600 MW 机组凝汽器真空偏低问题,在分析原因的基础上介绍了 WSD 在线清洗技术在该机组的应用,利用应用前后的运行数据分析了该技术的有效性,并估算了单台机组采用该技术后全年的经济性。对类似发电机组提高凝汽器的清洁系数有一定参考作用。

**关键词:**凝汽器;在线清洗装置;应用;节能

**中图分类号:** TM621.2

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2015)01-0075-03

凝汽器是汽轮机关键的冷端设备,由于冷却水未经处理,运行中换热管会因为热交换而产生污垢现象。尤其是开式冷却机组,由于使用江、河、海水作冷却水,水中含有泥沙、生物贝类和工业生活垃圾漂浮物,凝汽器运行环境更加复杂,污垢沉积和管口堵塞等问题更加严重,如不及时清洗,会导致凝汽器真空降低,机组热耗增加。结垢还会造成冷凝管发生电化学腐蚀和穿孔泄漏,严重时导致气水品质下降引发锅炉爆管事故。针对某 600 MW 机组凝汽器真空偏低问题,在分析原因的基础上介绍了 WSD(Water Spider)在线清洗技术在该机组的应用。

## 1 设备概况

某电厂为东方汽轮机厂生产的 3×600 MW 超临界机组,配有高低背压凝汽器,循环水采用开式冷却系统,凝汽器设计反冲洗清洗系统。凝汽器主要参数为: N-38000-1 型双壳体、单流程、双背压表面式;设计背压 4.9 kPa(a)(平均);管束材质: TP317L;设计管内流速 2.2 m/s;传热系数 3311 W/(m<sup>2</sup>·°C);平均端差 4.78 °C;管子总水阻 71 kPa。循环泵安装在长江岸边水泵房内,6 台立式循环泵并联布置,出口管道装有联络阀。

近年来,在真空严密性良好情况下,与同类机型先进指标相比,3 台机组凝汽器均存在真空偏低(0.5~1.0 kPa)、凝汽器水阻偏大问题。电厂采用反冲洗系统定期进行反冲洗,开始时凝汽器水阻有所下降,真空有 0.5 kPa 左右的提升,端差也有所降低,但不久后又恢复原样。

机组临修中检查发现,凝汽器高、低压侧管内均存在比较致密的黏垢,厚度约 0.20~0.50 mm,管内污垢必定会对冷却水流动形成较大阻力。检修中采用高压水清洗可使机组真空提高 1.0~2.0 kPa,但只能保持 30 d 左右,此后真空又逐渐降低,可见污垢给机组经济性造成的影响是长期的。

## 2 污垢对机组经济性影响分析

凝汽器的总体热阻是由凝结热阻、导热热阻、污垢热阻和对流热阻构成。一般情况下,污垢热阻所占比例最大,对流热阻次之,二者之和通常占总热阻 70% 以上。污垢热阻越大,功率变化量也越大,汽轮机做功能力越低。冷凝管一旦结垢,就会对机组经济运行产生直接影响。所以,提高凝汽器传热效率的关键在于尽可能减小管内对流热阻,消除污垢热阻,提高凝汽器的清洁度和传热系数。

凝汽器的传热系数与其结构形式、材质、清洁程度、冷却水流速、进口水温等有关<sup>[1]</sup>。美国传热学会表面式蒸汽凝汽器规程 HEI-1995 规定,凝汽器总体传热系数计算公式为:

$$K = K_0 \beta_c \beta_l \beta_m \quad (1)$$

式中:  $K$  为总体传热系数, w/(m<sup>2</sup>·°C);  $K_0$  为基本传热系数,该系数与凝汽器冷凝管的外径及管中的水流速有关;  $\beta_c$  为冷凝管清洁系数,直流冷却水系统与清洁水取 0.80~0.85, 闭式冷却水系统和化学处理水取 0.75~0.80, 新管取 0.80~0.85, 具有连续清洗的凝汽器取 0.85;  $\beta_l$  为冷却水进口温度修正系数;  $\beta_m$  为凝汽器管材与管厚度的修正系数,为定值,可查表获得。

从式(1)可以看出,  $K_0$ ,  $\beta_m$  与凝汽器设计特性有关,为定值。因而总体传热系数  $K$  与冷凝管清洁系数、冷却水进口温度有直接的关系。传热系数对凝汽器端差的影响可以用以下公式表示<sup>[2]</sup>:

$$\delta t = t_s - t_{w2} = \Delta t / (e^{\frac{KA_c/2}{4187D_w}} - 1) \quad (2)$$

$$t_s = t_{w1} + \Delta t + \delta t \quad (3)$$

式中:  $\delta t$  为凝汽器端差, °C;  $t_s$  为凝汽器的排汽温度, °C;  $t_{w1}$ 、 $t_{w2}$  分别为循环水进、出水温度, °C;  $\Delta t$  为凝汽器的循环水温升, °C;  $A_c$  为凝汽器总传热面积, m<sup>2</sup>;  $D_w$  为冷却水流量, m<sup>3</sup>/h。  $A_c$ ,  $D_w$  为定值,在相同运行工况下,凝

汽器端差  $\delta t$  与循环水温升  $\Delta t$ 、传热系数  $K$  有直接关系,而端差又直接影响排汽温度,进而影响汽机真空。随着管壁内污垢厚度的增加,冷却管壁的导热系数和平均传热系数急剧降低,当污垢厚度达到 0.5 mm 时,管壁的导热系数相对没有污垢时降低了 98%,而凝汽器的平均传热系数则降低 85%<sup>[3]</sup>。

大型发电机组运行周期长,停运机会少,运行中又很难隔离凝汽器进行半边清洗,冷凝管泥垢长期存在,对机组的热效率影响也是长期的<sup>[3]</sup>。因此,探讨运用先进实用的凝汽器在线清洗技术,对解决大型机组凝汽器结垢与垢下腐蚀泄漏问题具有更加现实的意义。

### 3 对策与分析

解决机组凝汽器积泥问题,国内机组主要采用胶球清洗技术或反冲洗清洗技术,也有采用反冲洗与胶球清洗技术结合方式或其他方式。某电厂设计采用反冲洗系统,近几年来,随着江水泥沙比例的改变,凝汽器泥垢沉积问题比较突出,原有的反冲洗系统不能满足机组经济运行的需要。电厂在调研了沿江同类型机组凝汽器运行情况和清洗方式基础上,提出了凝汽器清洗系统改造方案。

#### 3.1 优化反冲洗清洗技术

主要是改变反冲洗系统运行方式。运行中启动双泵高速运行,尽量增大冲洗水速度,缩短反冲洗周期或延长反冲洗时间,改每月 1 次为每周 1 次,反冲洗时间由 4 h 延长为 8 h 或更长,1 a 多的实践证明,可以有效地清除凝汽器内部泥垢,每次清洗凝汽器真空可提高 0.5 kPa 左右。

优点:充分利用原反冲洗系统,无需增加设备,节约成本。

缺点:一是由于设计工况凝汽器流速也只有 2.2 m/s 左右,反冲洗效果有限,而且持续时间较短。二是在反冲洗过程中发生多次系统电动蝶阀执行机构故障,影响系统的可靠性。三是反冲洗中需要降低机组负荷,启动备用循环泵,增加厂用电消耗。

#### 3.2 增加胶球清洗装置

在凝汽器附近增加 2 套胶球清洗装置,定期采用胶球系统清除凝汽器换热管泥垢。

优点:属于传统的在线清洗技术,系统成熟可靠,操作简单,运行比较稳定。

缺点:一是改造工程量较大,占用场地较大,造价比较高。600 MW 机组国产设备、材料和工程费用约需 200 万元,采用进口或引进型装置费用接近 400 万元;二是收球率低。从沿江同类型机组采用胶球清洗系统的使用情况来看,大机组的胶球收球率普遍偏低,这与开式冷却机组的循环水速度、凝汽器结构和收球网严

密性均有关系,尤其是单台或低速循环泵运行时,流速更低,胶球更易堵塞管口,造成收球率偏低,而且堵塞胶球会形成新的水阻,加速泥垢沉积;三是系统运行成本较大,需要消耗胶球材料和厂用电,而且维护工作量较大。

#### 3.3 增加 WSD 凝汽器在线清洗装置

凝汽器在线清洗装置采用 WSD 仿生技术和智能机器人技术,借鉴精益生产管理模式,将精益生产理念应用到电力清洁生产中,开辟了一种全新的凝汽器高效在线清洗工作模式。

该装置主要部分位于凝汽器水室内部,由伺服机构、传动机构、导向机构、清洗机构等组成,外部配置供水机构、控制机构和辅助系统<sup>[4]</sup>。原理是:通过计算机控制伺服机构,带动传动机构和清洗机构水平匀速或逐排(行)行走,导向机构保持清洗机构平稳可控,供水机构向清洗机构提供高压水,经过喷嘴排喷出后进入换热管,形成高速水流和紊流,冲走换热管口堵塞物和内壁的泥垢,运行中定期进行在线清洗,可保持凝汽器内部长期清洁高效,且不会影响机组的正常运行。

装置具有以下特点:

(1) 稳定可靠。高精度、高可靠性设计,专业化安装维护,耐腐蚀耐扰动。

(2) 清洗效率高。采用喷嘴组全方位清洗技术,比常规单管清洗速度提高上百倍,不存在漏洗问题。

(3) 清洗效果好。智能化控制技术,实现喷嘴与冷凝管逐排(行)点对点冲洗,及时清除泥垢,保持凝汽器换热管长期清洁。

(4) 凝汽器数字化分析系统。冷凝管温度流速全程检测,实时判断循环水流场分布,科学引导清洗。

(5) 运行成本低。采用原水升压冲洗,不存在胶球等材料消耗,运行中可一键启动,运行和设备维护量比较方便。

经过对使用效果调研,某电厂对 1 号机进行了凝汽器加装 WSD 在线清洗装置的改造,并在改造成功的基础上,对其他 2 台机凝汽器也进行了改造。

### 4 应用效果分析

2013 年 5 月在 1 号机组凝汽器上加装了 WSD-600-I 型在线清洗装置,6 月 17 日投运,8 月 25 日通过验收,并对改造前后 3 台机组夏季工况进行纵向和横向指标对比,结果见表 1。

从表中可以看出,1 号机组改造前,3 台机组在相同运行工况下,真空相差较小。加装凝汽器在线清洗装置后的第一周,1 号机真空优势达 1.48 kPa,考虑到机组检修高压水清洗的因素,查询 40 d 后和 80 d 后数据发现,凝汽器真空保持在 1.2 kPa,相比未改造的 2 号

表1 1号机凝汽器改造前后3台机凝汽器性能指标对比(夏季相同工况下,采自电厂CCS数据)

时间	机组	负荷/MW	凝汽器真空/kPa			排汽温度/℃		循环水进水/℃	循环水出水/℃		凝汽器端差/℃		循环泵运行方式
			高压侧	低压侧	平均	高压侧	低压侧		高压侧	低压侧	高压侧	低压侧	
改造前	1	545	96.84	97.47	97.15	33.6	31.5	16.66	28.46	22.56	5.14	8.94	123 联络
	2	542	96.63	97.75	97.19	33.7	30.2	16.50	26.74	21.62	6.96	8.58	123 联络
	3	538	96.43	97.45	96.94	34.0	30.8	16.93	27.67	22.30	6.33	8.50	123 联络
改后 7 d	1	591	93.65	94.24	93.94	37.8	36.3	24.97	37.71	31.34	0.09	4.96	123 联络
	2	587	91.22	93.71	92.46	42.9	37.0	24.74	35.82	30.28	7.08	6.72	123 联络
	3	599	90.91	93.19	92.05	43.3	37.9	25.23	36.57	30.50	6.73	7.40	123 联络
改后 40 d	1	628	91.38	92.18	91.78	43.2	41.5	29.80	39.96	34.88	3.24	6.62	单元制
	2	613	89.31	91.77	90.54	46.4	42.6	29.61	40.74	35.17	5.66	7.42	单元制
	3	615	89.47	91.40	90.43	46.0	42.2	30.03	40.27	35.15	5.73	7.05	单元制
改后 80 d	1	587	91.17	91.96	91.56	42.8	41.0	30.64	40.22	36.72	2.58	4.28	单元制
	2	587	89.40	91.36	90.38	45.7	41.0	30.44	41.12	38.07	4.58	6.93	单元制
	3	578	89.66	91.32	90.49	45.0	41.7	30.87	40.50	37.93	4.50	6.76	单元制

和3号机组,平均真空提高1.2 kPa左右,并能长期保持,说明使用WSD在线清洗装置对凝汽器具有良好的保持清洁作用。如按照在线清洗装置年运行200次计算,耗电总量18万kW·h。以1号机组年发电35亿kW·h,凝汽器真空年平均提高0.6 kPa,发电煤耗降低约1.6 g/(kW·h)计算,则可节约标煤5000余t,降低生产成本300余万元,减少碳排放13000余t,节能减排效益显著。

## 5 结束语

凝汽器WSD在线清洗技术汇聚了传统的高压水清洗技术、智能化控制技术和工业机器人技术,通过某电厂实践和改造前后数据对比分析,证明该项技术和设备对解决开式冷却机组凝汽器泥垢沉积、管口胶球等杂物堵塞等问题具有比较明显的效果,对同条件同类型煤电机组深化节能降耗具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] RAJ K. Deviations in Predicted Condenser Performance for Power Plants Using HEI Correction factors :A case study[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-transactions of the ASME, 2008, 130(83):0023-0032.
- [2] 石涛. 600 MW 机组冷端运行优化研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.
- [3] 韦治,王新军,徐梅. 污垢对350 MW 机组运行影响的试验分析[J]. 东方汽轮机, 2010(1):20-21.
- [4] 姬鄂豫,姚杰新,等. 凝汽器换热管在线清洗装置:中国, 201110364338.1 [P]. 2012-04-04.

作者简介:

袁洪利(1974),男,江苏苏州人,工程师,从事电站汽机的检修与维护管理工作;

蔡高翔(1975),男,江苏苏州人,工程师,从事电站汽机的检修与维护管理工作;

姬鄂豫(1965),女,河南新乡人,教授,从事金属腐蚀与防护教学和应用技术研究。

## Application of Condenser Online Cleaning Device in 600 MW Supercritical Unit

YUAN Hongli<sup>1</sup>, CAI Gaoxiang<sup>1</sup>, JI Eyu<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Changshu China Power Resources Co. Ltd., Changshu 215536, China;

2. Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China)

**Abstract:** For low vacuum phenomena of power plant turbine condenser conducted a detailed study, analyzes the open cooling unit condenser fouling characteristics and economic impact on the unit, though the WSD line cleaning robot technology application practices and operating data analysis and comparison to prove that the technology to solve the open cooling unit condenser fouling problems, improve the economic performance of the unit has a significant effect on the same conditions hereinafter set of application types have profound reference.

**Key words:** condenser; online cleaning device; application; energy saving

# 欢迎投稿 欢迎订阅