

# 基于激光测距机理的空预器控制系统改造

林光锐<sup>1</sup>, 张国明<sup>2</sup>, 蒋赢凯<sup>1</sup>, 杜艳青<sup>3</sup>

- (1. 浙江浙能北仑发电有限公司, 浙江 宁波 315800;
2. 国电浙江北仑第一发电有限公司, 浙江 宁波 315800;
3. 上海市东方海事工程技术有限公司, 上海 200011)

**摘要:** 根据分析容克式空气预热器漏风机理及漏风率高低对锅炉效率的影响, 对其发电厂空预器漏风控制系统改造前后的效果进行对比。通过空预器漏风控制系统改造, 空气预热器整体设备运行状况得到改善, 锅炉性能得到改善, 机组经济性获得了良好的提升。

**关键词:** 空气预热器; 漏风; 激光传感器; 改造; 升级

## Retrofit of Air Preheater Control System Based on Laser Distance Measurement Mechanism

LIN Guangrui<sup>1</sup>, ZHANG Guoming<sup>2</sup>, JIANG Yingkai<sup>1</sup>, DU Yanqing<sup>3</sup>

- (1. Zhejiang Zheneng Beilun Power Generation Co., Ltd., Ningbo Zhejiang 315800, China;
2. Guodian Zhejiang Beilun NO.1 Power Generation Co., Ltd., Ningbo Zhejiang 315800, China;
3. Shanghai Oriental Maritime Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200011, China)

**Abstract:** According to the air leakage mechanism of Juncker air preheater and the influence of air leakage rate on boiler efficiency, the effects of air leakage control system before and after retrofit in power plant are compared. Through the retrofit of the air leakage control system of the air preheater, the overall operation of the air preheater is improved, the boiler performance is enhanced, and the economy of the unit is promoted well.

**Key words:** air preheater; air leak; laser sensor; retrofit; upgrade

## 0 引言

某发电厂3号机组于1999年正式投产, 其空气预热器(以下简称“空预器”)为ABB AIR PRE-HEATER公司设计的三分仓回转式空预器, 型号是31.5-v1-72, 转子转速为1.1 r/min。空预器漏风控制系统为进口设备, 采用ALLEN BRADLEY公司的SLC5/04可编程控制器进行控制, 系统配置机械式密封间隙检测传感器, 由于运行年限过长, 进口件维护不便, 近年来, 设备状态较差, 漏风控制效果不佳, 空预器平均漏风率达到9%~10%, 已经严重偏离初始设计值, 给锅炉效率、风机电流、机组煤耗带来了较大影响。

目前, 国内厂商空预器的设计漏风率普遍在6%以下, 市场上也出现了诸多的漏风控制新技术, 因此, 结合漏风控制的相关理论和机组实际情况, 提出使用激光传感器控制系统技术改造空

预器控制系统, 以改善机组的运行状况。

## 1 漏风机理及影响

回转式空预器漏风主要由携带漏风和直接漏风组成<sup>[1]</sup>。

### 1.1 携带漏风

回转式空预器运行时, 转子各个格仓和蓄热体中的空气被携带到烟气中, 造成携带漏风, 其计算公式为:

$$\Delta V_{\text{携}} = \frac{n}{60} \times \frac{\pi}{4} D^2 H (1 - \gamma) \quad (1)$$

式中:  $\Delta V_{\text{携}}$  为携带漏风;  $D$  为转子直径;  $H$  为转子高度;  $n$  为转子转速;  $\gamma$  为蓄热板金属和灰污所占转子的容积份额。

由式(1)可知, 携带漏风与转子转速、转子容积等有关, 空预器一旦设计完成, 结构参数即确定, 其携带漏风量也基本确定。因此, 减小携

带漏风的方式主要在设计阶段确定。

## 1.2 直接漏风

由于烟气、空气压差引起的漏风叫直接漏风,发生在惰性区密封间隙处。根据漏风部位,直接漏风可分为:热端和冷端径向漏风、轴向漏风、热端和冷端中心筒漏风、热端和冷端旁路漏风。

空预器直接漏风的各种形式中,径向漏风占比较大,达60%~70%,因此,径向漏风量的降低,对空预器换热效率和锅炉性能的提高,效果最为显著。

直接漏风  $L_d$  按照以下公式进行计算:

$$L_d = kA \sqrt{\frac{\rho \Delta P}{z}} \quad (2)$$

式中:  $k$  为常数;  $A$  为漏风通道面积;  $\rho$  为各产生漏风部位的实际空气密度;  $\Delta P$  为泄漏缝隙两侧的压力差;  $z$  为密封道数。

根据式(2)可知,空预器转速,烟气、空气压差和转子容积在空预器和锅炉系统完成设计后即无法改变,能控制的因素仅为减小漏风间隙和增加密封道数。

## 1.3 漏风对换热及风机功耗的影响

从热端径向通道漏入热端烟气的漏风,因热风温度低于烟气入口温度,导致烟气入口温度下降。从换热计算来看,热端漏风过大导致烟气入口温度降低,影响空预器的整体换热性能。由于空气平均温度小于烟气平均温度,携带漏风漏入烟气后烟气温度有所下降,对空预器换热性能也会产生影响。

存在漏风的最大影响是增加了锅炉烟风系统风机的电耗。风机的作用事实上是提高输送气流的储能,包括压能(提升压头)、动能(增加流速)和势能(高度改变)的增减量。按照漏风增加引起风机能耗增加量计算法则<sup>[2]</sup>:

$$\Delta P_L = \frac{P_{fan}}{\rho \eta} F_{gin} d A_L \quad (3)$$

式中:  $\eta$  为风机效率;  $A_L$  为漏风率;  $P_{fan}$  为风机的总升压量。

因此可以大致认为,增加风机消耗功率  $A_L$  及  $P_{fan}$  成正比。

## 2 机组现状

3号机组空预器采用双道径向密封(见图1),

该密封型式可在烟气侧与空气侧之间增加过渡区,在工况相同、密封间隙相同的情况下,漏风先从空气区泄漏到过渡区,再从过渡区泄漏到烟气区<sup>[3]</sup>。由式(2)可知,直接漏风与密封道数呈反向趋势,在密封道数增加的情况下,直接漏风会大大降低。

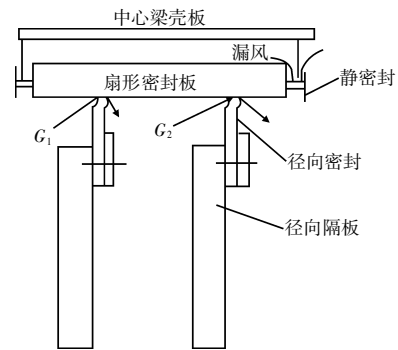


图1 空预器双道径向密封

但是,并不是密封数量越多越好。操作空间和制造成本的提高限制了密封数量,不可能采用多重密封。在工程实际中,可以设计出并非完整的多重密封。根据实践经验,当密封层数介于单密封和双重密封之间时,可以使密封效果与制造成本达到最优<sup>[4]</sup>。因此,增加径向密封道数的方案行不通。

3号机组空预器配置的热端漏风控制系统,通过定时控制热端扇形板下行、减小热端径向密封间隙的措施来控制径向漏风,间隙检测传感器采用机械式探针传感器,该传感器在实际应用中性能可靠,但是,由于有较多的机械运动部件,探针与转子径向密封角钢之间长期存在机械摩擦的情况,运行工况较差,经过一段时间的运行之后,发现密封间隙检测的精度相比初始值存在一定误差,该误差是由于探针头部磨损变形所致。另外,系统采用定时跟踪模式,按照系统默认设置,跟踪时间间隔设定为6h,在机组负荷变动频繁、变动速率较大的情况下,在此间隔时间内,系统已经不能满足空预器漏风率控制要求,如果缩短间隔时间,将会对探针造成更加剧烈的磨损,严重减少其寿命,威胁机组运行安全。

由于漏风率检测是定期进行的,并不能对该指标进行实时检测,在实际运行中,漏风率及漏风量远远大于检测值。而热端径向间隙是空气预

热器漏风的主要渠道, 转子蘑菇状下垂量所造成的漏风占了热端漏风的绝大部分<sup>[4]</sup>, 热端漏风系数对锅炉性能的影响非常大(如图2所示), 必须严格控制。因此, 基于机组现有情况, 改善热端漏风控制系统的性能, 尤其是优化径向密封间隙检测手段, 是一种实施性强、见效快、性价比高的途径。

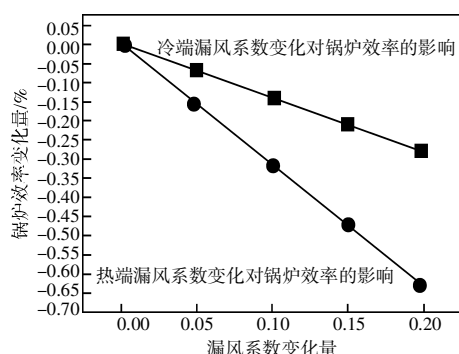


图2 漏风系数变化量对锅炉效率变化量的影响

近年来, 多种测距技术应用在空预器漏风控制领域, 如电涡流传感器测距技术、激光测距技术、光纤测距技术等。受限于产品技术性能和实际工况, 激光测距技术得到了广泛应用。目前, 国内外有很多激光测距产品的精度达到了毫米级<sup>[6]</sup>, 其输入、输出信号处理及制式已经标准化, 完全满足发电厂控制标准要求, 关键是能够实现漏风控制系统的在线连续跟踪, 大大减小实际运行中的漏风量。因此, 确定采用激光测距传感器对现有空预器漏风控制系统进行技术改造。

### 3 实施方案

根据前述相关理论, 本次技术升级方案主要在空预器热端径向密封系统实施, 通过减小径向漏风间隙来达到降低热端径向漏风的目的。

对热端径向密封间隙, 采用激光传感器对转子形变量进行检测。激光传感器采用激光飞行时间测距方法进行密封间隙测量, 该方法通过发出已调制的高频率激光束, 接收从被测物返回的有相对位移的光, 与参考信号进行比较, 根据相对差得到测量结果, 其测量精度可达到毫米级。冷态时, 采集激光传感器到转子角钢平面的距离作为零位基准值; 热态运行时, 转子受热向下变形, 测出激光传感器到转子角钢平面的距离; 冷、

热态激光测距值之差即为转子实际形变量。

相比采用机械探针传感器的漏风控制系统, 采用激光传感器的控制系统具有更高的检测精度, 当锅炉负荷发生变化、空预器转子形变量改变时, 该系统能更快响应。2种系统产生的漏风控制效果差别如图3中阴影面积所示。

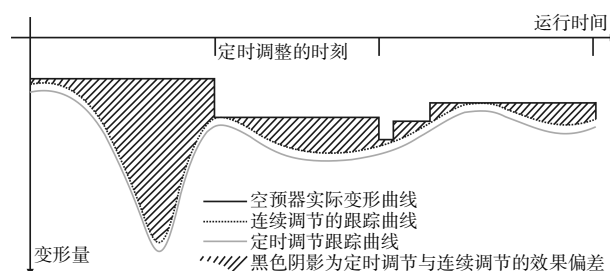


图3 定时跟踪与连续跟踪类型漏风控制系统的区别

从图3可以看出, 采用激光测距的连续调节跟踪系统相比定时调节跟踪, 更接近转子实际的变形曲线, 因此对径向直接漏风的控制效果更加明显, 空预器整体漏风会更小。

在采用激光传感器进行密封间隙检测时, 扇形板位置的实时反馈是非常重要的。系统采用闭环模式, 扇形板位置通过电位器进行反馈。改造后的控制逻辑主要依据转子形变量与扇形板位移差, 通过对计算出的间隙值与设定间隙值进行比较来调整扇形板的位置, 密封间隙值按式(4)进行计算:

$$\text{密封间隙值} = \text{激光测距值} - \text{激光零位值} - \text{扇形板绝对位置} - \text{转子预设形变量} \quad (4)$$

计算值大于设定值时系统驱动扇形板下行, 小于设定值时上行。具体的参数设定见表1。

表1 扇形板下限及预设形变量

扇形板	A1	A2	A3	B1	B2	B3
下限限位/mm	22	18	20	19	20	20
预设形变量/mm	6	6	6	6	6	6

当计算出的间隙值大于设定范围, 且持续1 min时, 扇形板向下运动。当间隙值小于设定范围, 且持续5 s(安全起见)时, 扇形板向上运动。

激光传感器采集转子旋转一周的最小间隙值, 通过公式(5)计算。通过最小间隙值与设定间隙值的比较, 判断出密封间隙大小, 控制扇形板的上行和下行。扇形板动作时间根据电机的额定

转速计算得出,使扇形板行至预设位置,从而保持预设间隙值。

$$\text{动作时间} = \frac{|\text{最小间隙值} - \text{设定间隙值}|}{\text{电机速度}} \quad (5)$$

在该控制模式下,系统能够始终保持扇形板与径向密封片处于设定最佳间隙值,并且能够设定一定的动作区间,在该设定区间内,扇形板不动作,一旦检测的间隙值超出设定区间,驱动系统则驱动扇形板动作。该功能可以兼顾机械系统的使用寿命,避免机械系统因过于频繁的运动而产生磨损问题。

另外,系统还具备温控功能。当激光传感器出现故障时,系统即自动转入温度控制模式。该装置由安装在烟气进口处的热电偶来采集温度信号,直接送至 PLC(可编程逻辑控制器)进行数据处理。根据烟气进口温度来控制扇形板的位置,不同的温度区间对应相应的位置预设值。温控模式可以保证在传感器发生故障时,系统仍然维持一定的漏风控制能力,是有效的辅助控制装置。

#### 4 改造效果

按照典型机组漏风率变化与机组能耗的关系,对 600 MW 机组而言,漏风率变动 1%,对应的发电煤耗上升 0.055 g/kWh<sup>[2]</sup>。

系统投用后,A 侧、B 侧空预器漏风控制有明显改善。经测试,3 号机组漏风控制系统升级改造前后漏风率对比如表 2 所示,560 MW 负荷时系统投运前后三大风机电流对比如表 3 所示。

表 2 3 号机组漏风控制系统升级前后空预器漏风率对比

	漏风率/%	
	A 侧空预器	B 侧空预器
改造前	9.6	9.7
改造后	≈4.5	≈4.5

由于同时进行了电除尘器的进出口挡板拆除改造,引风机电流下降较多。排除电除尘器的进出口挡板拆除对引风机电流影响后,通过计算,在不同出力系数下,三大风机平均每小时节电量

表 3 漏风控制系统升级改造前后风机电流对比

	电流/A	
	改造前	改造后
引风机 A	309	252
引风机 B	303	251
送风机 A	162	145
送风机 B	164	145
一次风机 A	103	88.6
一次风机 B	102	89.7

为 880 kWh,按运行 5 000 h 计算,1 年节电量为 440 万 kWh,节省电费约 130 万元。

#### 5 结语

根据空预器漏风形成机理及漏风对机组运行带来的影响,结合发电厂机组实际运行工况,提出了一种可行的技术升级改造方案。根据改造后的运行状况来看,改造后空预器漏风率明显下降,风机电流有了大幅度下降,机组性能得到了有效提高,起到了很好的节能效果。

#### 参考文献:

- [1] 程新华.回转式空气预热器的漏风原因分析及防治[J].山东电力技术,2008(6):43-46.
- [2] 蔡明坤.回转式空气预热器性能变动和锅炉经济性变化间关系探讨[J].锅炉技术,2013(6):40-44.
- [3] 孙长祥,陈加功,吕兆聚.回转式空气预热器漏风因素分析及对策[J].四川电力技术,2003(1):16-20.
- [4] 夏志强,朱新源.回转式空气预热器漏风问题的分析与对策[J].电站系统工程,2009,25(4):33-34.
- [5] 高建强,唐树芳,刘宪岭,等.空气预热器不同部位漏风对锅炉效率的影响[J].电力科学与工程,2011,27(6):47-50.
- [6] 李秀华,庄新,宋立明,等.激光测距技术探究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2012,13(4):39-41.

收稿日期:2018-07-27

作者简介:林光锐(1977),男,高级工程师,从事发电厂仪控及信息管理工作。

(本文编辑:徐 晗)