

# 热电联产锅炉过热器结垢原因分析及改进措施

江国华

身份证号码: 450923198805057471

**摘要:** 一台次高温次高压热电联产锅炉的过热器发生结垢问题, 会导致爆管事故从而影响正常生产运行。通过采用等离子发射光谱 (ICP)、扫描电镜能谱 (SEM — EDS) 和离子色谱等分析测试技术, 分析结垢物的成分和结垢原因, 并提出相应的解决方案。

**关键词:** 锅炉过热器; 结垢原因; 改进措施

## Cause analysis of fouling in superheater of cogeneration boiler and improvement measures

Guohua Jiang

Id No.: 450923198805057471

**Abstract:** The superheater of a superhigh temperature cogeneration boiler will lead to pipe explosion accident and thus affect the normal production and operation. By using plasma emission spectroscopy (ICP), scanning electron microscope energy spectroscopy (SEM-EDS) and ion chromatography, the composition and cause of scaling are analyzed, and the corresponding solutions are proposed.

**Keywords:** Boiler superheater; Scaling cause; Improvement measures

随着锅炉参数从低压、中压、高压不断提升到亚临界、超临界、超超临界, 给水品质也从常规软化水、去离子水提高到凝结水, 给水处理技术发生了革命性的变化, 从常规的离子交换技术、反渗透技术、全挥发处理发展到100%凝结水精处理技术等。同时, 汽水品质控制对象也从钙镁垢发展到二氧化硅垢、再到铜铁垢。锅炉结垢直接影响锅炉和汽机的安全经济运行, 更影响设备的使用寿命, 由于结垢而导致的锅炉爆管事故频频发生。水垢的导热系数仅为炉壁的几分之一, 1mm厚的水垢可使锅炉热效率下降1%~2%, 煤耗增加2%~3%。结垢速度随氧化铁和硅酸盐等物质在炉水中浓度升高, 或锅炉的热负荷升高而急剧升高, 在锅炉水冷壁热负荷很高的局部区域, 近壁层的水急剧汽化而高度浓缩。中高压锅炉因参数高、容量大, 炉膛内热负荷较大, 为氧化铁和硅酸盐垢的生成和沉积创造了客观条件。为解决一台次高温次高压热电联产锅炉多次出现过热器结垢而导致爆管问题, 通过运用等离子发射光谱、扫描电镜能谱和离子色谱等分析测试技术, 表征和分析了不明结垢物质, 根据结垢形成原因提出相应的解决方案。

### 一、热电联产锅炉过热器结垢检测

#### 1. 等离子发射光谱

通过等离子体发射光谱仪可以定性分析元素和定量计算元素的浓度, 结垢样品用热硝酸进行消解(测硅的时候用碱熔融法进行消解), 然后进样测试, 测试锅炉结垢物主要成份是硅, 其次是铝、铁、钠和钾, 其它金属元素含量极微。

#### 2. 扫描电镜能谱

扫描电子显微镜主要对材料形貌/尺寸进行观察并分析, 对带有镀层的材料膜层分析、对材料微区进行EDS元素分析(定性、定量、线分布、面分布、超级面分布)、同时在对材料进行失效分析时进行元素测定、金相分析等。结垢样品经过研磨后进行测试, 其中硅为主要元素, 铁、铝和钠次之, 铁和钛有多种价态形式共存<sup>[1]</sup>。

#### 3. 离子色谱和有机元素测定

通过离子色谱仪测试磷酸根、碳酸根、硫酸根等主要阴离子, 明确结垢的形式和产生的主要原因, 同时通过有机元素分析, 证明该类结垢跟原水中有机杂质是否有关系。有机元素分析采用直接法测试, 而阴离子(除

硝酸根离子外)测试的样品采用浓硝酸进行消解,然后再进行测试。测试硝酸根时,用硫酸和双氧水进行消解。

结垢形成跟有机物没有关系,而且在过热器吊管温度很高,即使有少量的有机物也会被分解。碳酸盐、硫酸盐和磷酸盐所占的比例较高,由于碳酸根和硫酸根是给水中的主要阴离子,在给水制备过程中未对其进行严格控制,而磷酸盐由所添加的药剂带入。

## 二、热电联产锅炉过热器结垢原因分析

硅酸盐和氧化铁是构成结垢的主要成分。由于热电厂锅炉水处理只采用常规离子交换树脂装置,而且进树脂塔前没有做任何预处理措施。水质季节性波动很大,特别是雨季,江水浊度可以达到30UT以上,而水处理工序没有相应的措施跟进,造成除盐水浊度不稳定,水处理后的给水浊度也超过5UT。虽然日常理化检测时,锅炉给水的硅和铝含量均符合要求,但现行锅炉给水处理检测只针对可溶性硅和铝,而给水中的非溶性硅和铝没有发现,水中胶体状的硅酸盐和铝酸盐进入锅炉。锅炉汽包中的饱和蒸汽通过管道进入吊管后,饱和蒸汽迅速汽化成为过热蒸汽,饱和蒸汽夹带的液滴汽化后所含的盐份和有机杂质析出,在吊管内部形成结垢,长期积累最终堵死管道,吊管受热不均而造成管道爆裂。另外,锅炉的设计和安装方面也存在问题,特别是汽包和汽液分离器,超负荷运行造成水汽共腾,而蒸汽中夹带的液滴进入过热器后迅速汽化,无机盐则形成水垢。

另外,过热器管内壁直接与高温高压蒸汽流中的干过热蒸汽发生高温蒸汽腐蚀,这是一种化学腐蚀,反应方程式如下:



正常情况下该反应会在金属表面形成一层 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 保护膜,但当热负荷和温度波动过大或发生超温过热现象时,保护膜受到破坏,上述反应继续进行,产生严重的高温蒸汽腐蚀,随着过热蒸汽温度的升高,反应速度加快。腐蚀反应降低或破坏了膜的保护作用,形成新的腐蚀,产生点(线)蚀坑,长期会形成溃疡面或凹坑。当高温热段过热器管存在超温过热时,此反应更剧烈,形成的氧化铁垢易起泡脱落。另外,如果管内壁的氧化物层太厚,由于氧化物与基底金属之间的膨胀差异,也会使氧化物从金属表面脱落,有可能再形成腐蚀<sup>[2]</sup>。

锅炉补给水水源长期受生活污水的影响,含有较高的有机物,而炉水中的有机物在高温高压下分解为低分子有机酸,部分被蒸汽带走,会降低过热蒸汽pH值。而作为Ⅱ级减温水的给水直接在高温热段过热器进口混合。

给水有机物、溶解氧等含量高或pH值低,都会破坏金属保护膜,使腐蚀加剧。如果蒸汽、给水含有微量 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 等阴离子也有可能破坏金属表面保护膜,使腐蚀加剧。锅炉停运备用期间,过热器管内不免积水和有氧气进入,产生停用腐蚀会使 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 保护膜遭到破坏。这些腐蚀部位在运行时进一步发展,形成较深的点蚀坑。

## 三、热电联产锅炉过热器结垢预防及改进措施

严格加强锅炉过热蒸汽温度的控制,保持热负荷稳定,特别是高温段过热蒸汽温度的控制,尽量保持过热蒸汽为540C,防止超温现象发生,增加高温段过热器管壁温测量点,加强对该处壁温的监测。

(1)加强对给水质量监督,防止减温水水质不合格。为了保证给水水质合格,加强原水预处理,增加絮凝、沉降和精过滤工序,确保进入除盐水系统的原水浊度小于0.2UT。用反渗透膜系统代替简单的离子交换工艺,使锅炉给水品质得以保障。具体工艺流程图如下:

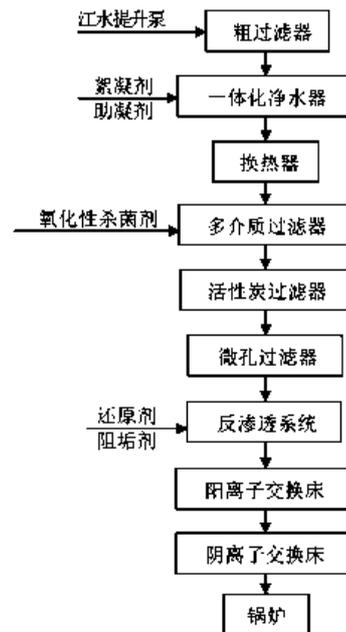


图1 工艺流程图

一体式净水器流量按照100t/h设计,净水器自动反冲洗,絮凝剂和助凝剂也自动添加。经一体式净水器处理后原水浊度由1000NTU降低至3NTU。板式换热器面积32m<sup>2</sup>,材质为304不锈钢,水温由12℃加热至25℃(冬季),换热器热源为回收蒸汽冷凝水。多介质过滤器和活性炭过滤器均为二用一备,规格为φ2600×1800,产水浊度小于1.0NTU。反渗透系统处理量为2×35m<sup>3</sup>/h,产水电导率小于10μs/cm。(2)改造锅炉汽水分离器提高分离性能,控制运行负荷,避免超负荷运行。(3)改造过热器蒸汽管,增加多组平行管路,并定期清理管内结垢。

(4) 加强锅炉给水品质控制, 增加铝、碳酸根、硫酸根等几项重要指标的检测, 改进对硅的分析方法, 增加非可溶性硅的检测项。

加强对炉水质量监督, 保证过热蒸汽纯度。对炉水加药系统进行了改进, 使炉水加磷酸三钠实现自动控制, 保证了炉水pH值、 $\text{PO}_4^{3-}$ 合格稳定。加强锅炉表面排污, 尽量降低炉水含盐量, 减少蒸汽携带量, 使过热蒸汽更纯净。另外, 要加强对汽包内水汽分离装置的维护, 保证水汽分离效果, 尽量减少蒸汽带水, 提高过热蒸汽质量。

加强对停备用锅炉的保养, 防止过热器管停用腐蚀。对锅炉采用邻炉蒸汽加热保养, 尽量提高保养炉炉水温度来防止过热器积水, 化学每值取样监测保养炉炉水pH值及溶解氧, 如果炉水pH值 $<8.5$ 或溶解氧 $>15\mu\text{g/L}$ , 可以要求锅炉值班人员进行换水或加热, 保证炉水pH值、溶解氧合格, 以免湿蒸汽破坏过热器管保护膜而对过热器造成停用腐蚀<sup>[3]</sup>。

在锅炉进行酸洗时对过热器管进行清洗, 清除过热器管的结垢。水冷壁管结垢量超过 $400\text{g/m}$ , 都需要进行化学清洗, 而过热器管结垢量高, 也可同时对其进行清洗。采用RJF型混合酸, 清洗效果比较理想, 过热器管的结垢可以基本清除。

加强对饱和蒸汽品质的化学监督是防止结垢的主要

环节。但是要保持蒸汽减少水分的携带还需要进行综合管理。如检查汽包内的汽水分离装置是否符合设计要求, 锅水碱度, 全固形物等是否符合GB1576-85《低压锅炉水质标准》, 对饱和蒸汽可参照发电锅炉的有关规定, 对工作压力小于 $6\text{MPa}$ 的锅炉, 要求饱和蒸汽含盐量 $<0.2$ 毫克/升, 碱度 $<0.03$ 毫克/升,  $\text{SiO}_2^{3-}$  $<0.1$ 毫克/升。

由于锅炉具有软化水补充量大、给水不除盐、锅炉水含盐量较高、负荷变化大等不利影响, 因此存在饱和蒸汽带水份偏高的问题。我们必须提高认识, 掌握正确规律, 完全解决和防止过热器管内结垢。正确使用反冲洗装置和建立反冲洗制度, 可以有效保证过热器的安全运行。

#### 四、结语

通过上述改进措施, 可以使锅炉给水的品质得到明显的提升, 显著降低蒸汽带水率, 基本解决过热器吊管结垢的问题, 确保过热器的安全运行。

#### 参考文献:

- [1] 王国平, 徐旭辉, 饶卫康. 热电联产锅炉过热器结垢原因分析及改进措施[J]. 工业锅炉, 2020(06): 45-48.
- [2] 邹卫东. 锅炉过热器管结垢原因分析及处理[J]. 广西电力技术, 2001(03): 29-31.
- [3] 胡金堂. 工业锅炉过热器管内结垢的防止[J]. 工业锅炉, 1990(01): 31-32.