

进口亚临界锅炉饱和蒸汽含钠量超标的原因研究与应用

彭卫红

(神华巴蜀江油发电厂 四川 江油 621709)

摘要: 2012年3月发现锅炉饱和蒸汽钠离子含量连续超标,最大达到 $76\text{ }\mu\text{g/L}$ 。通过检查、分析研究和实验结果,提出汽包裂纹处理的方法及注意事项。将锅水协调pH-磷酸盐处理工艺改为低磷酸盐处理工艺,并修改相应控制标准,提出解决汽包水位偏差和波动的相应对策。经处理,饱和蒸汽钠离子含量达标。

关键词: 进口亚临界机组; 饱和蒸汽含钠量; 超标; 措施

Abstract: In March 2013, it was found that the sodium (Na^+) content in saturation steam continuously exceeded the standards, and the maximum value reached $76\text{ }\mu\text{g/L}$. Through the inspection, analysis and test results, the treatment and cautions for the cracks of steam drum are proposed. Meanwhile, the pH-phosphate treatment process is changed to low phosphate treatment process, and the relevant control standards are revised. The countermeasures for the deviation and fluctuation of water level in steam drum are proposed too. After the treatment, the sodium content in saturation steam reaches the standards.

Key words: imported subcritical units; sodium content in saturation steam; exceeding standard; measure

中图分类号: TK224 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2013)02-0084-03

神华巴蜀江油发电厂 $2\times 330\text{ MW}$ 机组 $1\text{ }025\text{ t/h}$ 亚临界锅炉由法国STEIN公司生产,四角切圆、强制循环炉。汽包结构:由外筒和内筒组成,内设百叶窗、旋风子汽水分离装置,对水、汽进行分离。机组水汽品质控制标准由法国STEIN公司提供。

2012年3月运行中监督发现,31号机组饱和蒸汽中含钠量超标(Na^+ : $45\text{ }\mu\text{g/L}$),监视机组运行在其后的2个月时间内,经反复取样复查,仍超标,最大含钠量为 $76\text{ }\mu\text{g/L}$ 。江油发电厂组织运行、化学、锅炉专业成立联合攻关小组,查找、分析引起31号机组饱和蒸汽含钠量超标的原因,提出处理对策,尽快使蒸汽含钠量合格,防止蒸汽系统结盐和腐蚀。

1 初步原因分析

根据《电厂化学水处理》,钠盐的携带分为溶解携带和机械携带:溶解携带与锅水含盐量有关;机械携带与汽包水位、汽水分离装置效果有关。因31号机组仍在运行中,只作了以下排查。

1.1 运行中水汽质量普查

化学监督人员对31号机组所有水、汽进行取样分析:补给水、给水、凝结水、锅水所有指标均处于控制标准范围内;过热、再热蒸汽所有指

标处于控制标准范围内;饱和蒸汽含钠量为 $65\text{ }\mu\text{g/L}$;电导率为 $0.21\text{ }\mu\text{S/cm}$ 。二氧化硅、铜、铁离子含量处于控制标准范围内。

经化学监督人员每周4次对31号机组所有运行水、汽进行取样分析,连续2个月发现31号机组补给水、给水、凝结水、锅水所有指标均处于控制标准范围内;过热、再热蒸汽的指标处于控制标准范围内,但当饱和蒸气含钠量超标过大时会引起过热蒸汽含钠量超标;饱和蒸汽含钠量最大为 $76\text{ }\mu\text{g/L}$;电导率为 $0.21\text{ }\mu\text{S/cm}$ 。二氧化硅、铜、铁离子含量处于控制标准范围内。

1.2 检查运行中锅内水质处理

江油发电厂按法国STEIN公司给定的控制工艺,采用协调磷酸盐处理,指标控制如表1。

查看历史记录:两机组首次检查性检修中,化学监督情况表明,热力系统未发现腐蚀现象,但发现汽轮机高、中压转子、隔板结盐较多,高压转子盐垢的主要成分为磷酸盐,垢样成分分析磷以氧化物表示(P_2O_5)占4成以上。随后进行的机组A修、B修化学监督中同样发现汽轮机有积盐现象且高压转子集盐中磷含量较高。查阅机组水汽品质控制运行日志,锅水品质合格率均在98%以上,证明控制水平不是汽轮机通流部件积盐的主要原因,初步怀疑法

国 STEIN 公司规定的控制工艺存在缺陷。

表1 锅炉锅水控制标准

控制项目	符号	标准
阳离子交换电度 ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	DD	≤ 30
钠/磷酸根摩尔比	R	≤ 3
含盐量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\Sigma \text{P}^+ + \Sigma \text{P}^-$	不检测
氯/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	CL ⁻	不检测
二氧化硅/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	SiO_2	≤ 200
磷酸根/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	PO_4^{3-}	3~5
pH(25℃)	pH	9.1~9.6

1.3 机组运行中汽包水位控制

(1) 运行人员严格按运行规程将汽包水位投入外部定值状态,并监视水位在表2范围。

表2 汽包监视水位

蒸汽流量 ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	400	500	600	700	800	900	1000
水位 /mm	-342	-342	-310	-280	-260	-255	-255

(2) 查询运行日志,锅炉水位调节困难,水位波动幅度经常接近甚至超过许可范围。

(3) 热控车间检查校验汽包水位计,发现实际水位比 DCS 显示水位高 35 mm。

1.4 汽包内部的检查

(1) 2012 年 31 号机组大修时,打开汽包检查发现汽水分离界限不明显,对汽水分离装置检查未见异常。

(2) 各加药管、排污管正常。

(3) 汽包内筒检查:通过拆除汽水分离装置,对汽包内筒壁进行全面检查发现:汽包内筒壁有 23 道裂纹,最长裂纹贯穿内筒壁 2/3。

1.5 含钠量超标的主要原因

(1) 汽包内筒壁焊缝裂纹,部分饱和蒸汽未经过汽水分离装置分离,直接通过裂纹进入蒸汽系统,使饱和蒸汽带水,引起饱和蒸汽含钠量超标。

(2) 法国 STEIN 公司的控制工艺存在缺陷,锅水处理中磷酸盐偏高,使锅水中钠离子含量偏高,蒸汽通过溶解携带使钠离子含量偏高,甚至超过控制范围。

(3) 机组运行中,汽包水位偏高和波动,导致蒸汽与锅水分离不彻底,引起饱和蒸汽含钠量偏高。

2 进一步原因分析与研究

2.1 汽包内筒壁焊缝裂纹原因分析

(1) 通过对焊缝金属检测,发现 23 条裂纹焊缝存在焊缝夹渣、气孔、未融合等焊接缺陷。增加检测,又新发现 12 条焊缝存在同样缺陷。

(2) 汽包内筒壁焊缝因承受附加拉应力产生裂纹:检查运行日志,核对停机曲线,发现机组停运过程未严格按照曲线进行,冷却过快,汽包内外筒壁膨胀系数不一致(汽包筒体壁厚 163 mm,内筒壁厚 10 mm),内筒壁承受附加拉应力;频繁的启停,加快裂纹的形成和发展,最长裂纹达 450 mm。

2.2 法国 STEIN 公司控制工艺研究

(1) 随锅炉压力的升高,蒸汽的性质愈来愈接近水的性质,其对盐分的溶解携带系数成百倍增加。

(2) 随锅炉压力的升高,汽水密度差越小,汽水分离更加困难。锅水含盐量是影响蒸汽机械携带的主要因素,当锅水含盐量达到临界值时,蒸汽含盐量更是与锅水含盐量成平方关系增长。

(3) 该厂 2 台亚临界锅炉汽包内未设置洗汽装置,蒸汽溶解盐类和经汽水分离装置未彻底分离掉的锅水水滴得不到处理而进入蒸汽。

(4) 亚临界锅炉的汽包直径相对较小,水汽靠重力自然分离作用降低。

以上因素决定了亚临界汽包锅炉锅水的极限含盐量将大大降低。在凝汽器无泄漏和补给水质量合格的情况下,为控制腐蚀和结垢向锅内添加的磷酸盐就是形成锅水盐分的主要物质。应该说,法方在制定锅水控制标准时已经注意到这一问题,其磷酸盐含量上限已比通常的协调磷酸盐处理工艺控制上限低了许多,但仍显得保守。

从减少汽轮机通流部件结盐,并保证热力系统腐蚀速率合格且达到期望最小值出发,尽管机组无凝结水精处理装置,但现场运行长时间均未发现凝汽器泄漏,凝汽器无泄漏和品质优良的补给水决定了锅水添加磷酸盐的防垢作用已大大降低,其主要作用已成为调节锅水 pH 值,防止金属部件的腐蚀。这从理论上给进一步降低锅水中磷酸盐含量提供了可能。由此,将锅水控制标准作了如下调整,调整后控制标准如表 3 所示。

表 3 锅炉锅水调整后控制标准

控制项目	符号	标准
阳离子交换导电度/ ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	DD	≤ 30
钠/磷酸根摩尔比	R	/
含盐量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\Sigma \text{P 阳} + \Sigma \text{P 阴}$	不检测
氯/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 1	
二氧化硅/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	SiO_2	≤ 200
磷酸根/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	PO_4^{3-}	0.5 ~ 3
pH(25℃)	pH	9.1 ~ 9.6

在现场运行中,重点控制锅水磷酸根和 pH,钠磷摩尔比不再严格控制。这是因为有研究表明:磷酸盐上限控制在 3 mg/L 时,此浓度已低至在炉管局部浓缩处,磷酸盐不超过其溶解度,已最大可能地避免了因析出发生的磷酸盐隐藏,控制钠磷摩尔比已失去实际意义。也就是说:将锅水协调 pH-磷酸盐处理工艺改为了低磷酸盐处理工艺。

近年的研究发现:沉积并不是控制磷酸盐隐藏的主要机制,而磷酸盐和 Fe_3O_4 保护膜发生反应才是控制磷酸盐隐藏的主要因素。以往公认的磷酸盐处理锅炉发生的碱性腐蚀破坏实际上是酸性磷酸盐腐蚀,这种腐蚀现象在协调 pH-磷酸盐处理工艺下始终是一个潜在危险。因此已有专家提出原则性意见为:协调磷酸盐处理可用于高压锅炉,不宜用于超高压锅炉,不可用于亚临界参数锅炉。新的国标条文 GB/T 12145-1999 也规定:协调磷酸盐处理不适用于亚临界参数电厂。推荐使用的工艺为低磷酸盐处理或低磷酸盐加氢氧化钠处理,这证明该厂锅水处理工艺的方向是正确的。

2.3 汽包水位的研究

(1) 经过反复试验,法国 STEIN 公司提供的水位定值正确。

(2) 通过对比试验,发现锅炉运行实际水位与 DCS 盘上显示水位不一致,实际水位比 DCS 盘上显示水位高 35 mm。

(3) 锅炉水位调节采用给水泵加调节阀控制,因调节阀漏量大,线性差,调节困难,水位波动幅度经常接近甚至超过许可范围。

3 应用及实验

(1) 汽包内筒焊缝的处理:为消除焊接缺陷,焊缝修复时打磨量大,需填充金属多,会附加应力的产生。因此,首先对汽包内筒壁进行分段定位,确保修

复后内筒长度、位置与原设计一致;其次为确保不留隐患,每道裂纹打磨后,100%着色探伤;然后内筒材质为 A52CP,为防止焊接变形及附加应力产生,对此做专项的焊接工艺评定。本次共处理焊缝 35 条,全部恢复与设计一致。

为减少锅炉停运过程中内筒因承受附加应力裂纹,要求锅炉控制员在机组停运过程严格按照曲线执行。

(2) 在控制好锅炉补给水、凝结水品质的条件下,在保证锅水 pH 前提下,锅水采用低磷酸盐处理,磷酸根 PO_4^{3-} 控制在 $\leq 3.0 \text{ mg/L}$,减少锅水含盐量。

进一步实验证明:锅水虽采用了低磷处理,实际运行中加药量逼近或超上限,仍可能使饱和蒸汽钠含量超标,从亚临界机组磷酸盐主要作用转变为提高锅水 pH,防止金属腐蚀,防垢弱化作用出发,进一步调整锅水控制指标,磷酸盐为 0.3 ~ 1 mg/L, pH 为 9.1 ~ 9.6。同时为减少进入系统内的杂质,磷酸盐药品采用分析纯。当磷酸根接近标准上限时,如 pH 不能满足标准下限,适当投加氢氧化钠提高 pH。

(3) 热控人员调整汽包实际水位与 DCS 显示一致,并制定定期校对制度,为运行调节水位提供真实数据。

(4) 更换给水调节阀,调整阀门调节性能,为运行灵活、及时调节水位提供可能。运行控制人员加强对 31 号炉汽包水位监视,防止汽包水位偏高。

4 运行效果

31 号机组于 2012 年 10 月启动运行后,通过全面的化学检验,机组饱和蒸汽含钠量全面合格,超标问题得到了很好的根治,31 号机组水汽品质合格率达到 100%。有效地减缓了机组蒸汽系统结盐,明显地降低了腐蚀速率,保证了机组的安全稳定运行。还准备将该结果推广应用到全国范围内法国 STEIN 公司的同类型锅炉机组上。

参考文献

- [1] 四川巴蜀江油发电厂,四川巴蜀江油发电厂化学运行规程[S].
- [2] 四川巴蜀江油发电厂出版,四川巴蜀江油发电厂锅炉运行规程[S].
- [3] 四川巴蜀江油发电厂出版,四川巴蜀江油发电厂锅炉检修规程[S].
- [4] 电厂化学水处理[M]. 武汉:大学出版社.

(收稿日期:2012-11-16)