

锅炉高温过热器水塞导致爆管的原因分析及控制措施

陈斌

(中国华电集团发电运营有限公司 巴厘岛分公司)

摘要: 锅炉受热面受锅炉运行工况、水质、空气动力场、烟气温度场等的影响,运行条件恶劣,在运行中极易发生爆管事故,严重影响机组运行的安全性和经济性。本文通过一起亚临界锅炉在启动初期发生的高温过热器爆管事件进行分析讨论,提出控制措施,以提高锅炉运行的安全性。

关键词: 高温过热器;爆管;启动初期;水塞

1 系统简介

某电厂锅炉采用上海锅炉厂生产的超高压自然循环、单汽包 π 型结构、中间一次再热、平衡通风、全钢构架、悬吊结构、燃煤、固态排渣和露天布置型锅炉。膜式水冷壁,燃烧器四角布置,切向燃烧。在炉膛后墙上部,布置有折焰角,使出口处形成缩口,改善气流在炉膛内的充满程度和炉内空气动力特性,并使炉膛出口烟气混合均匀,改善了对其后受热面冲刷。在炉膛上部出口处,按烟气流向前后布置有前屏过热器和后屏过热器,在后屏过热器的后面,折焰角上方布置有高温过热器。在尾部烟井的平行烟道的后烟道内布置低温过热器排,炉顶和尾部包覆管均由膜式壁过热器组成。

2 爆管事件发生经过

2019年1月15日10:00,机组计划检修完工后进行一次系统水压试验,试验结果正常,于16日00:10锅炉进行点火。5:29机组并网成功,07:30机组负荷升至130MW,主汽压力11.30MPa,主蒸汽温度533℃,再热蒸汽温度525℃,主蒸汽流量430T/h,给水流量438T/h。07:35,监盘人员发现机组负荷缓慢下降,主蒸汽压力下降至10.8MPa,主汽流量425T/h,给水流量上升至461T/h,炉膛负压上升至321Pa后缓慢恢复正常,引风机电流缓慢上升。09:16,就地检查判断炉膛内受热面泄漏,10:04减负荷至零打闸停机、锅炉熄火。经停炉后检查,漏点位于炉膛出口折焰角上部高温过热器第23排管屏第1根管下弯头爆管,爆口如图所示,管卡脱开,管路变形严重。

3 原因分析

经观察爆口宏观特性,爆口胀粗较为明显,管壁减薄,爆破口呈尖锐的喇叭形,其边缘很锋利,具有韧性的断裂特



图 高温过热器爆口

征,呈断裂状,判断炉管爆破原因为短时超温。

对爆口管外壁进行检查未发现明显的磨损情况,管子弯头测厚正常,排除烟气走廊或飞灰磨损导致管机械性能下降原因。对爆管管材进行光谱分析,管材材质符合锅炉厂要求。

查阅运行记录,对锅炉汽水品质进行分析,给水硬度、pH值、磷酸根等指标均符合标准要求,对爆管进行割管检查未发现结垢现象。

对相邻管排进行检查,未发现管材胀粗、减薄现象,查阅管壁温度曲线,运行中无明显偏高,排除烟气温度场不均导致管壁超温。

对爆管内部进行检查,管壁内部氧化皮极少,管道内部无异物,锅炉自上次大修后未进行过受热面检修工作,同时对泄漏管进行通气试验正常,排除异物进入联箱或管道堵塞导致汽水流量不足导致超温爆管。

排除高温过热器管外部受热条件、管材及异物堵塞问题,可判断导致短时超温的原因为管内汽水流量分配不均。结合机组正常运行时无管壁温度偏差大及超温情况,可得出原因为锅炉启动阶段高温过热器管内存在水塞。

4 水塞产生的原因

锅炉高温过热器为立式布置,管排两端分别与进口联箱和出口联箱连接,当过热器管内无积水时,进出口联箱之间的压差用于克服管内流动阻力和两联箱之间的重位压头,公式(1)所示:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \left(\lambda \frac{L}{d_n} + \sum \varepsilon \right) \frac{(\rho \omega)^2}{2} + \frac{gH}{v} \quad (1)$$

式中 ΔP —管子进出口差压, Pa;

$\rho \omega$ —管内蒸汽质量流速, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;

v —管内蒸汽平均比容, m^3/kg ;

L, d_n —管子长度和内径, m;

λ —沿程摩擦阻力系数;

$\sum \varepsilon$ —管圈局部流动阻力系数的总和;

H —管子进出口高度差, m;

g —重力加速度, m/s^2

因高温过热器进出口联箱安装位置在同一高度,重位压头可忽略不计,则管内蒸汽质量流速与进出口差压的关系式为公式(2):

$$\rho \omega = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\left(\lambda \frac{L}{dn} + \sum \varepsilon\right) v}}, \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (2)$$

管内蒸汽质量流速与进出口压差成正比。当高温过热器管内因各种原因存在积水时,管道进出口压差为公式(3)所示:

$$\Delta P = P_1 - P_2 - \rho g \sum h \quad (3)$$

式中: P_1 —受热面进口联箱内蒸汽压力;

P_2 —受热面出口联箱内蒸汽压力;

g —重力加速度;

$\sum h$ —受热面管内各段水塞高度总和;

由公式(3)可得,当高温过热器各管圈内积存的水量足够多时,在锅炉启动初期,高温过热器进口联箱压力 P_1 较低,会出现 ΔP 为零,导致高温过热器管内蒸汽质量流量为零,出现水塞情况。如锅炉升温升压,进口联箱压力 P_1 的提高联箱但压差无法排除管内积水时,就会产生较长时间的水塞,导致管内长时间无蒸汽流动冷却,当烟气温度高时,就会造成管圈短时急剧超温。

导致高温过热器管内产生积水的原因有以下几个方面。

① 锅炉点火启动的初期,炉膛热负荷较低,首先水冷壁受热产生部分蒸汽,由于烟温较低,高温过热器管壁温度低,蒸汽进入高温过热器后进行冷凝,形成水后储存在高温过热器 U 型管内。

② 停炉后热炉放水时未严格按照参数放水,放水温度或压力不当,导致无法利用锅炉受热面的余热烘干受热面管道内的余汽,在受热面温度降低后冷凝储存在管道内。

③ 锅炉大修或受热面检修后,进行一次系统水压试验,高温过热器管道内充满水,但过热器 U 型管最低处无疏水门,高温过热器管道内存水无法排除。

④ 锅炉启动初期,因炉膛温度不够过早投入制粉系统或制粉系统投入后因配风不当导致过热器温度高,大量投入二级减温水导致过热器管内积存大量的水。

⑤ 因过热器二级减温水喷头故障导致雾化不良与蒸汽混合不均,导致部分高温过热器管内蒸汽温度降至饱和温度以下,在管内形成积水。

5 本次高温过热器水塞产生及爆管原因

对此次启动过程查阅操作记录及调阅曲线,锅炉停炉后严格按照锅炉厂要求进行热炉放水;锅炉启动过程中,各级过热器放水门及排空气门按照主汽压力开启、关闭正常,水冷壁产生蒸汽冷凝水量可控;启动过程中,过热器减温水在机组并网后投入,未出现大幅开关的情况,减温器后温度均匀;锅炉启动前为检查一次系统是否存在缺陷,进行了一次系统水压试验,立式高温过热器底部无放水门,导致启动时过热器 U 型管圈内存积了大量的水,形成水塞,锅炉升温升压时相应管内无蒸汽流动冷却。启动时锅炉暖炉时间短,过早地投入制粉系统,导致炉膛出口烟温超过金属温度

极限,在水塞未消除的情况下导致高温过热器管超温蠕变,承压强度降低,当锅炉压力升高至管材承受极限时发生爆管泄漏。

6 启动过程锅炉水塞的防止措施

第一,停炉后严格按照锅炉热炉放水参数进行放水,利用锅炉管壁余热蒸发过热器管道内存水。

第二,锅炉点火前确保各受热面疏水门及放空气门保持全开位置,保证升温升压初期炉管内存水能够及时排除,利用放空气门,破坏各段水柱静压叠加。严格按照锅炉压力逐级关闭放水、放空气门,提高各受热段入口联箱压力,克服积水静压。

第三,锅炉起压后及时开启高低旁路,降低出口段管道压力,提高进出口差压,便于积水排除。

第四,锅炉点火初期严格控制锅炉升温升压速度,注意观察高温过热器各管壁温度变化趋势,在升温过程中出现个别高温过热器壁温大幅变化时,说明个别管段内积水蒸发干净,应停止升温或降低升温速度,待各管壁温趋于一致后继续升温升压。

第五,锅炉启动初期严格控制炉膛出口烟温,在投入制粉系统时,确保满足点火能量,避免煤粉未燃尽火焰后移,局部烟温升高。

第六,锅炉水压试验后启动应特别注意避免锅炉水塞导致管壁超温情况,严格制定并按照锅炉水压试验、启动阀门状态卡确保水压试验后及启动前各放水门及排空门状态正常,锅炉升温升压速度尽量缓慢,控制锅炉各管屏壁温变化速率小于 $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$,高温过热器各管壁温度出现大幅波动时应停止升温升压,待稳定后继续。

第七,锅炉启动初期严格控制减温水使用,机组在并网前,禁止投入过热器减温水。

7 结语

锅炉启动阶段工况变化复杂,作为电厂运行人员,要针对锅炉的不同启动状态,分析清楚启动中存在的风险点并及时采取正确的处置措施,以保证锅炉的长期安全运行。

参考文献:

- [1] 周昊,池作和,李凤瑞,雷宇,岑可法.根据爆口特征判断爆管原因[J].热力发电,1999(05).
- [2] GB12145-1999,火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准[S].
- [3] 荣奎恩,袁振福,刘志敏,田子平合编.电站锅炉原理[M].北京:中国电力出版社,1997.
- [4] 肖哲民,锅炉对流过热器水塞的形成与消除[J].华北电力技术,2001(02):55-58.
- [5] 康科伟.锅炉受热面管水塞问题的分析研究[J].山东工业技术,2018.

作者简介:陈斌(1983-),男,汉族,四川绵阳人,本科,工程师,研究方向:火力发电厂运行安全及技术管理。