

垂直水冷壁热偏差分析及预防措施

吴 鹏

(国能浙能宁东发电有限公司, 宁夏 银川 750408)

摘 要 锅炉是现代工业生产中的重要热能设备, 其安全稳定运行至关重要。垂直水冷壁作为锅炉的重要组成部分, 其热偏差问题直接关系到锅炉的运行效率和使用寿命。本文从设计因素、制造与安装误差、运行条件变化、水质问题和维护不当等方面, 全面分析了影响垂直水冷壁热偏差的原因。通过对某电厂超超临界锅炉水冷壁泄漏情况的统计分析, 进一步明确了热偏差与水冷壁泄漏的关联性, 并从水动力学角度对泄漏原因进行了深入探讨, 对节流圈改造前后的阻力系数分布进行了对比分析, 验证了改造措施的有效性。

关键词 锅炉; 垂直水冷壁; 热偏差

中图分类号: TG155

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0001-03

水冷壁是一种常用于锅炉中的散热器, 其工作原理是通过流动的水或其他液体, 将燃烧过程中产生的高温和高压气体的热量吸收, 并将其传导到冷却水中, 达到散热的目的。水冷壁一般由多根细管组成, 这些细管通常是由耐热合金制成, 以便能够抵抗高温和高压。在锅炉内, 燃烧过程中产生的高温气体会经过水冷壁, 与壁面接触并传热。热偏差可能导致水冷壁局部区域温度过高, 长期过热可能引起材料疲劳甚至破裂。长期热偏差会加速水冷壁材料的老化, 缩短设备使用寿命。为了维持锅炉的稳定运行, 可能需要增加燃料消耗或采取其他措施, 从而增加运行成本。

1 垂直水冷壁热偏差的原因

垂直水冷壁作为锅炉的重要组成部分, 其热偏差问题直接影响到锅炉的安全稳定运行。在实际工作中, 我们发现垂直水冷壁存在局部过热、温差过大等问题, 这些问题的存在不仅降低了锅炉的热效率, 还可能引发安全事故^[1]。由于各种原因造成水冷壁磨损, 发生局部破坏, 甚至导致停炉事故, 严重影响了锅炉的使用安全性和效率。具体分析影响垂直水冷壁热偏差的原因有: (1) 设计因素: 水冷壁设计不合理, 如管径、壁厚、布置方式等, 导致水流在水冷壁内部分布不均匀, 部分区域水流过快, 部分区域水流过慢, 从而产生热偏差。(2) 制造与安装误差: 水冷壁在制造和安装过程中的误差, 如管子的弯曲、对接不齐等, 也会影响水流的均匀性。(3) 运行条件变化: 在锅炉运行过程中, 部分参数设置不合理, 如给水温度、压力、锅炉负荷的变化、燃料品质的波动等, 都可能引起水冷壁内部热量分布不均导致水冷壁的热偏差。(4) 水质问题:

水质不佳, 如硬度高、含氧量高, 可能导致水冷壁结垢, 影响热传导效率。(5) 维护不当: 长期未进行清洗或维护, 导致水冷壁内部结垢严重。(6) 水冷壁材质的导热性能不佳, 导致热量传递不均匀, 产生局部过热现象^[2-3]。

而针对上述问题, 一般可以采用以下解决措施: (1) 优化水冷壁内部结构设计: 通过改进水冷壁内部结构, 使水流在水冷壁内部分布更加均匀, 减少热偏差现象。

(2) 选用高性能材料: 选用导热性能更好的材料制作水冷壁, 提高热量传递效率, 降低局部过热风险。(3) 合理设置运行参数: 根据锅炉的实际运行情况, 合理调整给水温度、压力等参数, 使水冷壁内部热量分布更加均匀^[4]。(4) 加强监测与维护: 定期对水冷壁进行监测, 发现问题及时处理, 同时加强水冷壁的维护保养工作, 确保其正常运行^[5]。

某电厂超超临界锅炉自投运以来, 两台锅炉发生 11 次水冷壁泄漏的情况, 从泄漏的位置分析, 大部分泄漏与水冷壁的水动力有关。表 1 为泄漏的时间和位置。对垂直水冷壁的热偏差现象进行了详细的记录和分析, 确定了偏差的主要原因, 包括流体分布不均、局部过热等。

基于分析结果, 我们对水冷壁的设计进行了优化, 包括改进流体分配系统, 以减少局部热点的形成。通过模拟和现场测试, 我们验证了改进措施的有效性, 热偏差得到了显著的降低。

2 爆管现象原因分析

在实际运行过程中, 水冷壁集箱出口节流圈的阻力系数对爆管现象有着直接的影响。因此, 深入研究

表1 某电厂#1#2锅炉水冷壁泄漏情况表

#1 锅炉水冷壁泄漏情况统计			
序号	泄漏时间	泄漏位置及情况	泄漏原因(缺陷)
1	2019.11.14—12.17	#1 锅炉甩负荷试验后, 锅炉后墙水冷壁标高 49 m, 北向南数第 73 根管焊缝泄漏	焊接接头横向开裂
2	2020.1.3—1.5	#1 锅炉后墙水冷壁标高 60.8 m, 北向南数第 69 根管焊缝泄漏	焊接接头横向开裂, 管子内部异物堵塞
3	2020.1.19—1.28	#1 锅炉前墙 45 m, 炉左向炉右第 73 根, 第 81 根泄漏	焊接接头横向开裂
4	2021.3.9	#1 锅炉前墙水冷壁 52.3 m 北向南数第 316—318 根管子开裂泄漏	热疲劳裂纹扩展至管子裂透
5	2021.9.18	#1 锅炉前墙水冷壁 52.3 m 北向南数第 319 根管子开裂泄漏	热疲劳裂纹扩展至管子裂透
#2 锅炉水冷壁泄漏情况统计			
序号	泄漏时间	泄漏位置及情况	泄漏原因(缺陷)
1	2019.5.24	#2 炉 49 m 后墙水冷壁北向南数第 146 根管焊口机组调试期间泄漏	焊接接头表面存在弧坑裂纹, 在机组运行条件下扩展裂透泄漏
2	2019.7.7	#2 炉后墙标高 60.8 m 北向南数第 347 根管泄漏, 吹损临近 8 根管子	焊接接头泄漏
3	2019.12.6—12.12	#2 锅炉 37 m 右侧墙水冷壁前向后数 344、345 管发生泄漏, 临近 10 根管冲刷减薄	焊接接头泄漏
4	2020.11.24—11.26	#2 炉前墙标高 52.3 m 中间集箱内南向北数第 214—217 根泄漏(北向南 551—554)	鳍片焊缝开裂至母材
5	2021.2.9	前水 52.3 m 北向南数第 449 根鳍片焊缝开裂至母材	鳍片焊缝开裂至母材
6	2021.8.7	#2 锅炉前水 40.8 m 北向南数 348 管子开裂	#2 锅炉前水 40.8 m 北向南数 348 管子(弯管)开裂

这一问题, 对于提高锅炉运行安全性和经济性具有重要意义。

通过对下水冷壁集箱出口节流圈阻力系数的计算, 对爆管原因进行分析如下:

1. #2 炉后墙第 146 根分析下来基本与水动力关系不大, 标高超过 60 m 属于上水冷壁, 基本与下水冷壁水侧无关。

2. #1 炉前墙第 73 根第 81 根, #1 炉后墙第 73 根第 69 根, 在此处节流圈的阻力系数有突变, 同时在相邻管温差监测中该管区域(第 59 管)有温差超过 50 °C 的情况(图 1)。

3. #1 炉前墙 316—319 处于节流圈阻力系数突变区域, 同时, 在相邻管温差监测中, 该管区域(第 317 管、第 309 管)都有温差超过 50 °C 较严重的情况(图 2)。

4. #2 炉前墙北向南 551—554 管处于节流圈突变区域, 由于获得锅炉运行数据不足没有抓住该区域相邻

管温差大的情况, 但是可以推断出该处相邻管温差大的概率是很高的。

5. #2 炉前墙第 449 管鳍片管焊缝开裂, 对应大阻力系数变动区, 也监测到第 453、第 457 管区域相邻管温差超过 50 °C 较严重的情况。

6. #2 炉第 348 管开裂, 应该与 317 附近的大阻力突变有关, 这个区域火焰热负荷较大, 相邻管工质流量变化较大, 更容易引起相互位移。

经过计算, 水冷壁垂直部分长度约 45 m, 如果相邻管出口温度相差 50 °C, 那么如果按照全长度相邻管平均 25 °C 温差计算, 这相邻管热膨胀的差约 17 mm。如果长时间处于这个状态, 管屏之间的相互拉扯是必然的, 超过塑性变形极限就会发生断裂。

从以上分析可以看出, 11 次水冷壁事故中, 有 7 次和下水冷壁水动力有密切关系, 几乎都发生在节流圈阻力系数发生突变的区域, 并在相邻管温差监测中

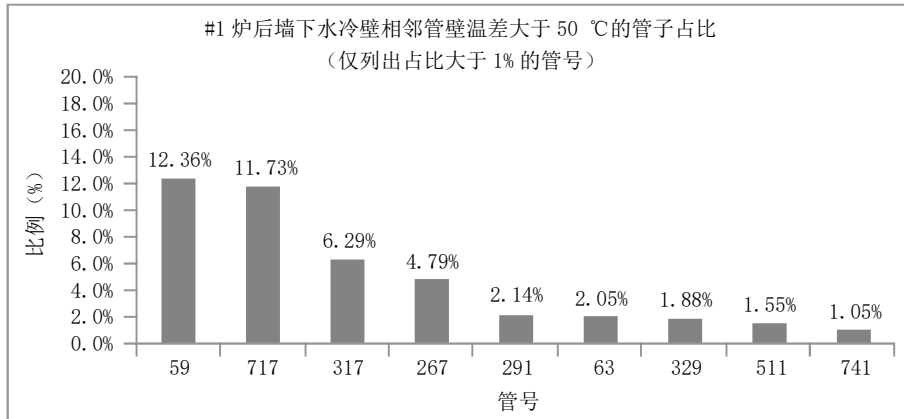


图 1 #1 炉后墙下水冷壁与相邻管温差大于 50 °C 且发生概率大于 1% 的管号

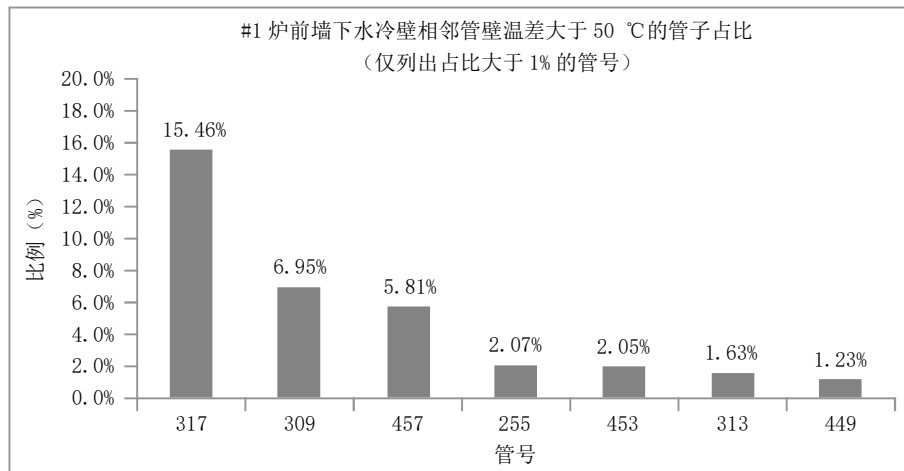


图 2 #1 炉前墙下水冷壁与相邻管温差大于 50 °C 且发生概率大于 1% 的管号

有超出 50 °C 情况。所以对于节流圈的优化就非常迫切。为了确保研究结果的可靠性，我们对实验结果进行了多次验证，并与理论分析进行了对比。

3 节流圈改造后的壁温数据分析

1 号炉于 2021 年 9 月至 10 月 C 修，2 号炉于 2021 年 4 月 C 修对节流圈进行重新优化布置。通过实验验证，揭示了水冷壁集箱出口节流圈阻力系数与爆管现象之间的内在联系，为锅炉安全运行提供了理论依据。我们发现一定范围内调整阻力系数，可以有效降低爆管现象的发生概率。研究成果具有较强的实用性和推广价值，为锅炉设计和运行提供了有益的参考。

4 结束语

本研究根据已有的运行数据，对水冷壁集箱出口节流圈阻力系数对爆管的影响进行详细分析，揭示了水冷壁集箱出口节流圈阻力系数与爆管现象之间的内在联系，需对节流圈进行进一步的优化处理，并模拟

出在大部分工况下相邻管的温差，将其控制在有效温度范围内，相邻管阻力系数不要有大的突变，可以阶梯渐变。加强对监测数据的应用，严格控制相邻管温差，通过燃烧调整减小相邻管温差及温升速率，同时也为锅炉安全运行提供了理论依据。

参考文献：

- [1] 杨浩昱,张西容,李维腾,等.超超临界垂直管圈锅炉水冷壁汽温偏差及节流圈调整方案研究[J].动力工程学报,2023,43(05):526-534,662.
- [2] 宋利.某超超临界锅炉水冷壁超温爆管原因分析及对策[J].河南电力,2022(S1):12-15,39.
- [3] 史晓华,杨德荣,吴鹏.350 MW 超临界锅炉受热面热偏差原因分析及处理[J].山西电力,2021(06):57-60.
- [4] 朱宝峰.超临界火电机组炉水循环监测系统研究与运用[J].中国新技术新产品,2021(23):80-82.
- [5] 祝建飞,马建华,杨康,等.超临界垂直管圈直流炉壁温偏差及优化控制[J].锅炉技术,2021,52(05):22-26.