

炉底水封破坏对锅炉运行的危害及防范策略

任少彬

国能哈尔滨热电有限公司 黑龙江哈尔滨 150060

摘要: 在现代化火力发电机组中, 锅炉是机组的关键部件, 其平稳运转非常重要。炉底水封是保持锅炉负压和防止漏风的重要组成部分, 其损坏会给锅炉正常运行带来很大危害。本文旨在探讨炉底水封出现破坏造成的危害, 进而提出有效的预防措施。通过对锅炉多种参数分析, 明确炉底水封破坏对锅炉安全性、经济性和环境性等方面的影响。进而提出设备优化、运行管理和技术创新等多个策略, 旨在为保障锅炉安全高效稳定提供参考。

关键词: 炉底水封; 锅炉运行; 危害性; 防范策略

锅炉作为电厂能源转化的核心设备, 其严密性是确保机组正常工作的前提。炉底水封是维持炉膛负压, 防止冷空气从底部进入炉膛的重要设备。但在生产实践中, 受到各种原因影响, 造成炉底水封破坏, 不仅使锅炉的工作效率下降, 也会加大能源消耗, 甚至还会引起各种安全事故, 进而对整个电厂正常运转构成极大的威胁。基于此, 文章针对锅炉炉底水封破坏危害性探讨, 制定有效的防范策略具有重要意义。

一、炉底水封破坏对锅炉运行的危害

(一) 影响锅炉燃烧稳定性

正常工况下, 炉底水封保持锅炉内的负压, 为煤粉的完全燃烧提供有利的条件。在锅炉底部的水封处被破坏时, 会有大量冷气从底部进入炉内。以300MW机组锅炉为例, 发现在发生水封破坏后, 其压力瞬时变化达到 $\pm 500\text{Pa}$, 明显超出常规工况下的 50Pa 。低温气体的进入引起炉中气体流动及温度场的变化, 从而导致燃烧区的温度下降, 使得煤粉点火滞后, 导致不充分的燃烧。该机组水封破坏过程中, 飞灰中的碳含量由3%~5%迅速增加到10%~15%, 对锅炉的稳定运行造成很大威胁, 甚至还会引发火灾(如表1)。

表1 炉底水封破坏对锅炉运行影响参考

| 项目 | 正常运行 | 水封破坏后 |
|-------------|-------|--------------------|
| 炉膛负压波动范围 | | $\pm 500\text{Pa}$ |
| 炉膛内气流分布和温度场 | 稳定 | 改变 |
| 燃烧区域温度 | 正常 | 降低 |
| 煤粉着火情况 | 正常着火 | 延迟着火 |
| 燃烧完全性 | 完全燃烧 | 燃烧不完全 |
| 飞灰含碳量 | 3%~5% | 10%~15% |
| 对锅炉燃烧稳定性的影响 | 良好 | 严重影响, 可能导致灭火事故 |

(二) 降低锅炉热效率

冷却气体的泄漏使锅炉的烟气热量损耗增大。通常随着冷空气流失, 烟气温度将上升 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 左右。以热功率达到1000MW的锅炉为例, 在常规烟气温度 120°C 的情况下, 由于底部水封破损, 使烟气泄漏率达10%, 烟气温度上升到 $140\sim 150^\circ\text{C}$ 。由该模型得到的烟气温度随烟气温度的增加而减小 $0.5\%\sim 1\%$ 。据统计, 这台机组的热功率降低 $2\%\sim 3\%$, 从而导致巨大的能量消耗^[1]。

(三) 加剧受热面磨损与腐蚀

大量低温气体进入锅炉, 导致锅炉内部的空气流速增大, 并且所携带的飞灰粒子对下部水冷壁和过热器等壁面造成严重的磨损。以某电厂锅炉为例, 因多次发生炉底水封破坏而导致炉膛下部水冷壁破损严重, 局部部位的管壁变薄达到30%以上。此外, 当冷气进入锅炉后, 其生成的水蒸气会在较低温度的受热面内冷凝, 并与烟气中的 SO_2 等酸性气体混合, 生成强酸的腐蚀环境, 加快锅炉受热面的侵蚀, 降低设备的使用年限, 以此提高设备的维修费用^[2]。

二、防范炉底水封破坏策略探讨

(一) 优化水封结构设计, 提升密封可靠性

通过对水封结构进行合理设计, 提高其密封的可靠性, 是保证锅炉稳定运行、减少事故停机次数的重要手段。常规炉底水封, 一般都是使用比较单一的U型水封。由于其结构简单, 难以满足实际应用需求, 极易发生炉内气体的泄漏, 严重时会造成机组经济性下降, 甚至会造成重大事故。基于此, 提出采用更加先进的迷宫水封结构(如图1), 从本质上提高水封的密封性。迷宫水封处采用多个封闭隔板, 明显提高泄压阀的迂曲度。该结构既可防止炉内气体泄漏, 又可保证锅炉负荷变化、压力波动等多种情况下的稳定及密封性能^[3]。

以某电厂改造为例, 电厂针对原有U形水封在密封方面的不足, 提出详细的改造方案, 即采用迷宫式水封结构。改造前, 随着机组负荷的变化, 炉底水封部位会产生大量的蒸汽, 并且产生较大的压力, 从而对机组的正常运转造成很大的危害。改造后, 电站通过对锅炉的技术改进, 实现对炉底水封的监控。结果发现, 该设备运行后, 炉内压力波动基本保持在50Pa以下, 明显降低设备改造之前的变化幅度。改进后的水封无严重漏气, 从而提高水封的可靠性。另外, 在对水封结构进行优化时, 也应注意水封槽的几何形状。为了保证在不同的条件下保持适当的水封高度, 需要考虑到机组的能力及操作条件。同时通过对水封槽进行合理设计, 保证气体不会通过水封渗漏到炉膛中, 确保锅炉安全可靠地运行。

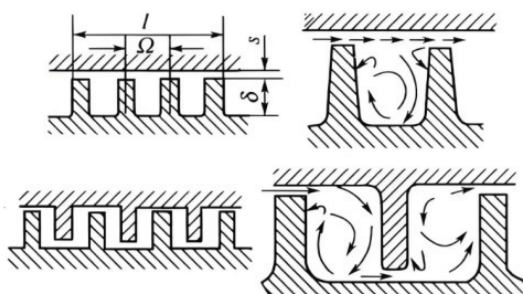


图1 迷宫型密封结构原理示意图

(二) 加强运行参数监控, 及时调整异常工况

炉底水封是电厂安全生产中, 避免高温烟气溢出, 确保锅炉安全可靠的重要组成部分, 其稳定性能对电厂安全生产具有重要意义。如果破坏炉底水封会对锅炉的性能造成很大影响, 从而造成环境污染, 甚至引发重大的安全事故^[4]。因此, 提高对底部水封的监测和维修力度, 防止其破损, 是电站生产和管理工作的重点。通过强化操作参数监测, 对非正常工作状态进行调节, 从而达到防止炉底水封失效的目的。

1. 建立完整的炉底水封操作参数监测系统

为了保证锅炉安全可靠的生产, 必须制定完整、准确的操作参数监测系统。该系统主要包括水封水位、炉膛负压、进水温度、进水流量和炉膛温度等几个重要的参量。通过设置于锅炉各个重要部件上的传感器, 实现对各种工况条件的实时检测, 并将其传送到集散控制系统 (Distributed Control System) DCS。

比如水封水位, 其水位对水封封严作用有很大影响。基于此, 采用集散控制系统对水位进行严密设定。特别是, 在水封水位低于正常水位的80%时, 系统就会启动报警装置, 并以声音或信息警告操作人员。这种结构保证当发生水封水的不正常现象时, 操作人员可以及时发现并进行处理。

操作参数分析和调整: 根据数据分析, 水封水位变化与供水管网的稳定状态有很大关系。因此, 提出进一步优化给水管网的控制逻辑。在DCS中, 一旦出现水位下降警报, 则自动开启补水装置, 并依据水位降低的速率、大小, 对补水量进行智能化调节。另外, 操作人员要经常对供水系统管路、阀门和水泵进行检修, 以保证供水系统的正常工作, 防止由于设施出现问题而造成供水不能按时进行。

2. 炉膛负压和机组负荷的动态调整

炉膛负压对水封的稳定起到明显作用。在锅炉负荷较大时, 锅炉内部的气压也将出现波动, 从而影响到水封系统。为了减小该效应, 通过对实际运行工况下的监测数据及结果进行验证, 从而得出机组负荷变动率对水封密封系统稳定性能的影响规律。

结果发现, 将锅炉负荷变动率调整为3%~5%/min时, 可使锅炉内压波动减小, 使水封所承受的压力波动减弱。因此, 实际操作中, 需要操作人员注意锅炉的负荷情况, 及早对锅炉内的压力进行调节。即在预期的负载急剧增加的情况下, 可将炉内的负压调低; 相反, 在负载降低的情况下, 将负压的设置值相应地升高。该方案的成功应用, 显著减少因炉压急剧变化而引起的水封失稳的风险。

3. 给水温度和水流量精细化调控

进水管的水温及水流速度对水封的散热及密封性能有很大的影响。供水温度太高, 会使水封内部水分快速气化, 影响密封性能; 但是温度太低, 就会增大水封的散热负荷, 从而降低整个机组的运行效率。同理水量太大或太少都会对水封的严密性造成不利的影响。

因此, 采用DCS对供水水温、水流量等参数进行微调。通过对机组实际工况及外部环境的影响, 对供水系统进行优化, 使供水温度达到理想数值, 并通过调节供水阀的开启程度实现水量的调控。结果表明, 该方法既可确保水封的密封性, 又可有效地改善机组的综合使用效果。

(三) 改进设备维护管理, 确保水封设备完好

加强对设备的维修和管理, 保证水封设备的良好状态, 是防止锅炉发生水封破坏的重要环节。炉底水封是非常重要的密封设备, 是防止气体泄漏、确保设备正常工作的关键组成部分, 其工作稳定和可靠程度是决定工作效率的关键。因此, 应加强对水封设备的维修和保养工作, 使其始终保持良好的工作状态。为确保水封设备的良好运行, 制定严格的设备定期维修制度。制度可对各种设备的检查与维护次数和内容进行详细规定, 目的是更好地发现和解决隐患, 避免由于设备失效造成的锅炉水封破坏。

检查期间，重点对水封槽、排水管、补水管路等重要设施进行全面检测。检查人员认真检查每台设备是否有漏水、堵塞等异常情况，并认真检查每台机器的连接部位和密封情况。检查过程中出现问题，及时做好登记，并视具体状况及时进行检修。这种快速反应维护机制可以将设备失效带来的冲击降到最低，从而保证炉底水封的平稳运转。

以某电厂为例，其在检查过程中，水封槽下部出现裂缝，并有渗漏现象。在这种紧急状况下，电站迅速启动紧急反应，组织专人进行检修。由于对故障进行及时检修，使故障没有继续恶化，该设备的正常运转得到很好的保证。除了加强检查与维修，还要定期清洗水封槽。清洗时，将积存在水封箱内的污物及污垢彻底清除，以保证流水顺畅。这种清洗工作不仅可以改善水封设备的工作效能，而且可以提高设备的使用寿命。

（四）采用智能监测技术，实现水封状态预测

常规水封监测方式主要依靠手工巡检，这种方式不仅效率低，还很难对可能出现的水封隐患进行精确的预报。因此，采用智能化监测手段，对锅炉炉底水封状态进行实时预报，是防止水封出现破坏的有效措施^[6]。实践监测过程中，可以在炉底水封安置振动传感器、声波传感器和温度传感器（如图2）。不同的传感器可以对水封仪工作状态参数进行监测，包括振动频率、幅值、声波强度和温度等，从而识别设备存在的安全隐患。

以振动传感器为例，该仪器的取样频率可达到每秒百余次，以保证水封式设备运行时的细微振动的记录。声学传感器是用来监控水封口处出现的不正常声音，比如水流冲击、金属摩擦等，通常是发现水密封设备存在问题的信号。采用新型的温度传感器，可以对水封槽中的流体进行实时监控，从而避免因水温升高或低温而引起的密封材料的老化和结冰。

将采集数据上传至数据处理平台，采用大数据分析机器学习等方法，实现对大规模数据的深层挖掘与处理。通过与历史数据的比较，分析数据变化趋势，辨识出数据中的不正常值，从而构建出水封设备运行工况预报模型。该技术可以利用现有的各种传感器信息，对某一时刻的水封设备的工作状况进行预报，确定其发生故障的类型和可能发生的失效时刻。

以某电厂为例，在其炉底水封加装一套智能化监控装置，将其振动式探头的取样频率设置为500Hz/s，声波探头的灵敏度达到-60dB-140dB，测温范围从-50℃到200℃。通过对某一时期水封设备的振动实测资料进行详细研究，结果发现，水封槽内板振动频率呈逐步上升趋势，并伴随着不正常的金属摩擦声音。通过对历史数据

分析和机器学习算法，得出该现象是因水封槽内板的松弛引起。通过检修，防止因水封破坏而造成的设备故障，使机组工作更加可靠安全。

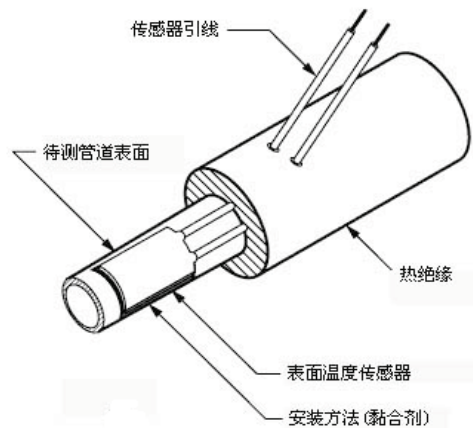


图2 表面温度传感器示意图

结语

综上，炉底水封破坏对机组安全、经济和环保的影响是不可忽视的，结合上文提出完善水封结构设计，强化运行参数监测，改善设备维修管理，引入智能监控技术等一系列综合性预防措施，可以明显减少炉底水封破坏的风险，从而保证锅炉的安全可靠的运行。实际操作过程中，根据电厂的实际情况，再结合不同设备的型号合理调整参数，进而持续对防范措施进行优化与改进，提高锅炉运行管理能力，以期为电力行业的可持续发展奠定良好的技术基础。

参考文献

- [1]文绍秋, 罗伟, 王增慧, 周洪.660MW 锅炉对流烟道炉底管改造技术研究[J].特种设备安全技术, 2024, (02): 8-10.
- [2]李少伟.俄制880 MW 锅炉炉底水封破坏对机组产生的影响及控制策略[J].现代工业经济和信息化, 2024, 14 (02): 97-99.
- [3]李建强.锅炉炉底水封破坏导致锅炉MFT的异常分析[J].锅炉制造, 2023, (04): 9-11.
- [4]李冬, 赵诗泉.1000MW 二次再热机组炉底热风密封改造降低锅炉排烟温度技术改造[J].节能与环保, 2023, (06): 78-80.
- [5]丁方焰.锅炉炉底加热系统的改造应用[J].自动化应用, 2023, 64 (03): 173-175.
- [6]陈文卫, 李建忠, 胡振辉, 王猛, 杨学毅.650MW 锅炉破坏炉底水封微正压运行分析与研究[J].能源与节能, 2021, (11): 111-113.