

锅炉本体状态检修研究与应用

靳 强

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司煤矸石热电厂 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文针对锅炉本体状态检修展开深入研究。首先阐述了锅炉本体状态检修的重要意义,接着详细介绍了锅炉本体常见的故障类型及其特征,重点探讨了状态检修技术,及其在锅炉本体检修中的应用实例与效果分析。还讨论了状态检修的实施流程,从信息收集、状态评估到检修决策制定与实施。最后对锅炉本体状态检修的未来发展趋势进行了展望,旨在为提高锅炉运行效率与安全性提供全面的理论依据与实践指导。

关键词: 锅炉本体; 状态检修; 无损检测; 状态监测; 检修决策

引言

锅炉作为工业生产和能源转换的关键设备,其安全稳定运行对于整个生产系统至关重要。传统的锅炉检修模式多为定期检修,这种方式存在一定的盲目性,可能导致过度检修或检修不足。随着科技的不断发展,锅炉本体状态检修应运而生,它通过对锅炉运行状态的实时监测和分析,能够更精准地确定检修时机和检修内容,从而提高锅炉的可靠性、降低维修成本、延长使用寿命。

1 锅炉本体常见故障类型及特征

1.1 受热面磨损

(1) 磨损原因。烟气中携带的固体颗粒高速冲刷受热面,尤其是在烟气转向、流速突变等部位,如省煤器、空气预热器等区域。燃烧工况不佳,飞灰含碳量高,颗粒硬度大,加剧了磨损程度。(2) 磨损特征。受热面管壁厚度逐渐减薄,表面呈现出划痕、凹坑等磨损痕迹。严重时会出现局部穿孔,导致泄漏。例如,在一台燃煤锅炉的省煤器区域,经过长时间运行后,发现部分蛇形管外壁出现密集的细小划痕,局部管壁厚度由初始的5mm减薄至2mm以下,最终发生泄漏。

1.2 受热面腐蚀

(1) 腐蚀类型及原因。高温腐蚀:主要发生在炉膛水冷壁等高温区域。由于燃料中的硫、钒等元素在高温下与金属发生化学反应,形成腐蚀产物。例如,当燃料中硫含量较高时,在高温环境下会生成硫化物,与水冷壁金属反应,使金属表面出现腐蚀坑洼。低温腐蚀:多发生在空气预热器等低温部位。烟气中的硫酸蒸汽在低温下凝结,形成酸性溶液腐蚀金属表面。一般当空气预热器冷端金属温度低于硫酸露点温度时,就容易发生低温腐蚀。(2) 腐蚀特征。高温腐蚀区域金属表面颜色发生变化,出现氧化皮剥落、金属晶粒变大等现象,腐蚀坑形状不规则且深度较大。低温腐蚀则表现为金属表面

有白色或黄色的酸性腐蚀产物附着,金属逐渐被腐蚀穿透,如某电厂空气预热器冷端在冬季运行时,由于排烟温度较低,出现大量白色酸液凝结,导致部分换热元件腐蚀穿孔^[1]。

1.3 受热面泄漏

(1) 泄漏原因。除了上述的磨损和腐蚀导致受热面强度降低而泄漏外,焊接缺陷、制造质量问题以及热应力过大等也可能引发泄漏。例如,在锅炉受热面安装过程中,焊接接头存在未焊透、夹渣等缺陷,在运行过程中受内压和热应力作用,缺陷处逐渐扩展,最终导致泄漏。(2) 泄漏特征。泄漏处会有汽水喷出,伴有明显的声响和蒸汽云雾。通过对汽水品质监测,会发现水中杂质含量突然增加,如钠离子、氯离子浓度升高等。

2 锅炉本体状态检修技术

2.1 无损检测技术

(1) 超声检测。原理:利用超声波在介质中的传播特性,当超声波遇到缺陷或界面时会发生反射、折射和散射等现象,通过接收和分析这些回波信号来判断被检测对象内部的缺陷情况。应用实例:在锅炉受热面管的检测中,超声检测可以检测出管壁内部的裂纹、夹渣等缺陷。例如,对于一台运行多年的锅炉水冷壁管,采用超声检测技术,沿管壁周向和轴向进行扫描,发现某根管子在距离焊缝10cm处存在深度为3mm的内部裂纹,及时对该管子进行了更换,避免了泄漏事故的发生。(2) 射线检测。原理:利用射线(如X射线、γ射线)穿透被检测物体,由于物体内部不同组织结构对射线的吸收程度不同,在胶片或探测器上形成不同灰度的影像,从而判断物体内部的缺陷情况。应用实例:在锅炉封头、集箱等部件的检测中,射线检测能够清晰地显示出焊缝内部的气孔、未熔合等缺陷。如对某锅炉集箱焊缝进行射线检测时,发现焊缝中有多个直径为2-5mm的气孔,根

据检测结果对焊缝进行了返修处理，确保了集箱的安全运行。（3）磁粉检测。原理：当被检测物体表面或近表面存在缺陷时，由于缺陷处的磁导率与基体不同，会使磁力线发生畸变，在缺陷表面形成漏磁场，撒上磁粉后，磁粉会被漏磁场吸附，从而显示出缺陷的位置和形状。应用实例：对于锅炉表面及近表面的裂纹检测，磁粉检测效果显著。例如在锅炉吊杆的检测中，磁粉检测发现吊杆表面存在长度为10mm的横向裂纹，及时对吊杆进行了更换，防止了吊杆断裂引发的安全事故^[2]。

2.2 状态监测技术

（1）温度监测。监测方法与设备：采用热电偶、热电阻等温度传感器，安装在锅炉的关键部位，如炉膛、受热面、汽包等，实时监测温度变化。数据应用与分析：通过监测温度数据，可以判断受热面的换热情况、是否存在局部过热等问题。例如，当炉膛出口温度过高时，可能是燃烧不充分或受热面结渣严重，需要及时调整燃烧工况或进行清渣处理。同时，温度数据的长期变化趋势分析也有助于预测受热面的老化程度和可能出现的故障。（2）压力监测。监测方法与设备：在锅炉的汽水系统中安装压力传感器，包括汽包压力、主蒸汽压力、给水压力等。数据应用与分析：压力数据能够反映锅炉的运行负荷、汽水循环是否正常等情况。如汽包压力突然升高，可能是安全阀失灵或汽水共腾等问题；给水压力不足则可能导致锅炉缺水，影响安全运行。通过对压力数据的实时监测和分析，可以及时发现潜在的安全隐患并采取相应措施。（3）振动监测。监测方法与设备：利用加速度传感器等设备，安装在锅炉的风机、水泵、汽水管道等部位，监测其振动情况。数据应用与分析：振动数据可以判断设备的运行状态是否正常，如风机振动过大可能是叶片磨损、不平衡或轴承故障等原因。通过对振动频率、振幅等参数的分析，可以准确诊断故障类型并确定维修方案。例如，某锅炉引风机振动超标，经振动监测分析发现是叶片上积灰不均匀导致不平衡，清理叶片积灰后振动恢复正常。

3 锅炉本体状态检修的实施流程

3.1 信息收集

（1）运行参数记录。包括锅炉的蒸汽流量、压力、温度，给水流量、温度，烟气流量、温度、含氧量等参数，这些参数反映了锅炉的实时运行状态，通过数据采集系统进行连续记录。（2）设备维护记录。记录锅炉的日常维护情况，如受热面清灰次数、时间，安全阀校验记录，燃烧器维护记录等。这些记录有助于了解设备的维护历史和可能存在的潜在问题。（3）故障记录与

分析。详细记录锅炉过去发生的故障情况，包括故障类型、发生时间、部位、处理措施等。对故障记录进行深入分析，找出故障发生的规律和原因，为状态评估提供依据^[3]。

3.2 状态评估

（1）建立评估模型。采用基于数据驱动的方法，如人工神经网络、支持向量机等算法，建立锅炉本体状态评估模型。将收集到的运行参数、维护记录、故障记录等数据作为输入，对锅炉的健康状态进行量化评估。例如，利用人工神经网络对锅炉受热面的磨损程度进行评估，通过对大量样本数据的学习，建立起管壁厚度减薄量与运行参数（如烟气流速、飞灰含碳量等）之间的关系模型，从而根据实时运行数据预测受热面的磨损状态。（2）确定评估指标。设定如受热面剩余寿命、设备可靠性指标、安全风险等级等评估指标。例如，以受热面剩余强度与设计强度的比值作为受热面剩余寿命的评估指标，当该比值低于某一阈值时，表明受热面需要进行检修或更换。

3.3 检修决策制定与实施

（1）决策制定依据。根据状态评估结果，结合锅炉的运行计划、维修成本等因素制定检修决策。如果评估结果显示某受热面存在严重磨损且剩余寿命较短，同时考虑到当前锅炉的运行负荷和近期的停机计划，确定对该受热面进行更换的具体时间和施工方案。（2）检修实施过程。按照检修决策进行检修作业，包括设备停机、部件拆卸、缺陷修复或部件更换、安装调试等环节。在检修过程中，要严格遵循相关的安全规范和技术标准，确保检修质量。例如，在更换受热面管子时，要保证焊接质量，对焊接接头进行无损检测，合格后方可进行下一步安装调试工作。

4 锅炉本体状态检修的效果分析

4.1 提高运行可靠性

状态检修通过实时监测锅炉本体的各项运行参数，能够及时发现并处理潜在的故障隐患。这种预防性维护策略相较于传统的定期检修，具有更高的针对性和时效性。当锅炉受热面出现微小泄漏或磨损时，状态检修系统能够迅速捕捉到这些异常信号，并提醒维修人员采取相应措施。例如，某电厂在采用状态检修技术后，成功地将锅炉因受热面泄漏导致的非计划停机次数从每年5次降低到1次以下。这一显著成效不仅减少了因停机造成的电力生产损失，还极大地提升了锅炉的运行稳定性和可靠性。此外，状态检修还能够对锅炉的燃烧效率、热效率等关键性能指标进行实时监测，确保锅炉始终保持在

最佳工作状态,从而进一步提高电力生产的连续性和稳定性^[4]。

4.2 降低维修成本

状态检修通过精确判断锅炉本体的实际运行状态,避免了不必要的检修作业和零部件更换。在传统的定期检修模式下,无论设备是否存在故障隐患,都需要按照固定的时间间隔进行检修。这种“一刀切”的检修方式不仅造成了人力、物力的浪费,还可能因过度检修而对设备造成损害。而状态检修则能够根据实际情况灵活调整检修计划,确保只有在设备确实需要维修时才进行检修。据统计,某化工企业在实施状态检修后,锅炉的维修费用降低了约30%。这一降低主要得益于减少了过度检修导致的人力、物力浪费,以及因准确把握检修时机而降低了突发故障维修的费用。此外,状态检修还能够提高维修工作的效率和质量,进一步降低维修成本。

4.3 延长设备使用寿命

状态检修通过实时监测锅炉本体的运行状态,能够及时发现并处理设备的早期故障。这种预防性维护策略能够避免故障进一步发展和恶化,从而延长锅炉本体的使用寿命。例如,一台工业锅炉在实施状态检修后,预计使用寿命从原来的15年延长至20年。这一延长主要得益于状态检修对设备早期故障的及时发现和处理,避免了因故障恶化而导致的设备报废。此外,状态检修还能够根据设备的实际运行状态进行针对性的维护和修理,避免了设备在正常状态下的过度检修对设备造成的损害。这种精准维护策略不仅延长了锅炉的使用寿命,还提高了设备的整体性能和可靠性^[5]。

5 锅炉本体状态检修的未来发展趋势

5.1 智能化监测与诊断技术的应用

随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断发展,未来锅炉本体状态检修将更加智能化。智能传感器将能够实时采集更多、更精确的锅炉运行数据,通过云计算平台和深度学习算法对数据进行快速处理和分析,实现对锅炉故障的自动诊断和预测,提高检修决策的准确性和及时性。

5.2 多技术融合的综合检修体系

将无损检测技术、状态监测技术与虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等技术相结合,构建多技术融合的综合检修体系。例如,利用VR技术对锅炉内部结构进行虚拟建模,检修人员可以在虚拟环境中进行检修方案的制定和模拟操作,提高检修效率和质量。同时,AR技术可以在检修现场为检修人员提供实时的设备信息和维修指导,降低检修难度。

5.3 绿色环保检修技术的发展

在环保要求日益严格的背景下,未来锅炉本体检修技术将朝着绿色环保方向发展。例如,开发更加环保的清洗技术,减少清洗过程中化学药剂的使用量和排放;采用可回收利用的检修材料,降低检修废弃物对环境的影响。

结论

锅炉本体状态检修是提高锅炉运行效率、保障安全稳定运行的重要手段。通过深入研究锅炉本体常见故障类型及特征,应用无损检测技术和状态监测技术,建立科学合理的状态检修实施流程,能够有效地提高锅炉运行可靠性、降低维修成本、延长使用寿命。随着科技的不断进步,智能化、多技术融合和绿色环保的检修技术将成为未来锅炉本体状态检修的发展方向,为锅炉行业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 常平,熊剑敏,黎赛株,姚军武.状态检修在锅炉本体方面的应用[J].节能,2023,42(9):54-57.
- [2] 袁宏伟.锅炉本体状态检修研究与应用[J].中国期刊网,2020,2690892:1-10.
- [3] 张海君,田永才.热电厂末级过热器短时过热失效分析及预防[J].浙江电力,2018,37(6):72-75.
- [4] 张健,余岳峰,田正林,等.燃煤电站锅炉炉膛局部结渣监测及吹灰优化[J].锅炉技术,2019,50(4):1-9.
- [5] 王洪生.自主研发超临界锅炉受热面材料安全性对比分析[J].锅炉技术,2019,50(4):15-18.