

燃煤电厂锅炉“四管”泄露原因及预防措施探析

倪广鹏

中电投新疆能源化工五彩湾发电公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7494

[摘要] 锅炉“四管”泄露问题是影响锅炉安全运行的主要隐患。本文首先对锅炉水冷壁管泄漏的检查及试验方法进行了概述，重点分析了泄漏的检测手段。其次，针对锅炉“四管”泄露的主要原因，包括超温、磨损、腐蚀和应力损坏，进行了详细分析。最后，提出了几项预防泄露的措施，如优选炉管材质、优化机组运行管理、防磨防爆检查、加强技术监督及改进检修工艺。通过系统的预防措施可以有效减少锅炉泄露事故的发生，保障锅炉的安全运行。

[关键词] 锅炉泄露、超温、磨损、预防措施

Analysis of the leakage of "four pipes" in coal-fired power plant boiler

Ni Guangpeng

China Power Investment Corporation Xinjiang Energy and Chemical Industry Wucaiwan Power Generation Company

[Abstract] The boiler "four pipes" leakage problem is the main hidden danger affecting the safe operation of the boiler. This paper first summarizes the inspection and test methods of boiler water wall pipe leakage, and focuses on the detection means of leakage. Secondly, the main causes of the leakage of the boiler, including overtemperature, wear, corrosion and stress damage, are analyzed in detail. Finally, several leakage prevention measures are put forward, such as optimizing the furnace pipe material, optimizing the unit operation management, anti-wear and explosion-proof inspection, strengthening the technical supervision and improving the maintenance process. The systematic preventive measures can effectively reduce the occurrence of boiler leakage accidents and ensure the safe operation of the boiler.

[Key words] boiler leakage; overtemperature; wear; preventive measures

锅炉作为工业生产中的核心设备之一，其稳定运行直接关系到整个生产过程的安全和效率。然而，锅炉的“四管”系统（包括水冷壁管、省煤器管、过热器管和再热器管）由于长期承受高温高压的复杂工况，极易发生泄露。泄露不仅影响锅炉的运行效率，还可能引发严重的安全事故^[1]。因此，分析“四管”泄露的原因并提出相应的预防措施显得尤为重要。本文旨在通过对锅炉泄露原因的探讨和预防措施的提出，帮助相关行业更好地应对锅炉泄露问题。

1. 锅炉水冷壁管泄露检查及试验概述

锅炉水冷壁管作为锅炉的重要组成部分，其主要功能是通过吸收炉膛中燃烧产生的热量，将水转化为蒸汽，确保锅炉的正常运行。然而，随着长期高温、高压和复杂工况的运行，水冷壁管可能会发生泄露。锅炉水冷壁管泄露不仅会导致设备运行效率下降，还可能引发严重的安全事故。因此，对水冷壁管泄露的及时检查和科学试验至关重要。

泄露检查主要包括无损检测和目视检查。无损检测常用的

方法有超声波检测、射线检测和红外成像等，这些方法可以准确检测出管道内部的裂纹、孔洞等缺陷。目视检查则通常在停炉检修时进行，主要是通过观察水冷壁管表面的磨损、变形、腐蚀等迹象来判断泄露风险^[2]。

试验则是对发现疑似泄露的水冷壁管进行进一步验证和确认。常见的试验方法包括压力试验和水压试验。压力试验通过向管道施加高于工作压力的压力来检验其密封性和耐压能力。水压试验则是在管道内部注入一定量的水，通过观察压力变化和泄露情况来确定管道的完好程度。

2 锅炉“四管”泄露的主要原因

锅炉的“四管”指的是过热器管、再热器管、水冷壁管和省煤器管，这些管道在锅炉运行中起到至关重要的作用。然而，由于锅炉运行工况复杂，高温、高压等极端条件下，管道极易发生泄露。泄露问题一旦出现，可能导致系统失效、停产甚至安全事故，因此分析“四管”泄露的原因对于提升锅炉的安全性和运行效率具有重要意义^[3]。

2.1 超温

锅炉“四管”泄漏中,超温现象是不可忽视的重要原因。锅炉在高温蒸汽环境下运行,随着温度的升高,管材内部的晶格结构发生变化,使材料的高温强度下降。尤其是过热器和再热器管长期处于超高温状态,会出现蠕变和氧化现象,从而使管壁逐渐减薄。超温导致的管道内壁局部温度升高,若不及时监测和控制,容易导致裂纹、鼓包甚至爆裂情况发生,严重时可能引发大面积泄漏事故^[4]。定期温度监控、合理调节锅炉负荷和采取有效的冷却措施是防止超温的重要手段。

2.2 磨损

锅炉的“四管”运行过程中,磨损是引发泄漏的主要原因之一。磨损主要发生在气流高速通过、燃煤颗粒频繁冲刷的区域,特别是拐弯、焊接处或气流集中的部分。燃煤锅炉中的煤灰、氧化物颗粒高速撞击管壁表面,随着时间的推移,会导致管壁厚度逐渐减薄。此外,燃烧效率、煤质、流量控制等因素也会影响磨损程度。为了减缓磨损,可以通过优化气流分布、采用耐磨涂层、定期检查易磨损部位来延长“四管”使用寿命^[5]。

2.3 腐蚀

腐蚀是锅炉“四管”泄漏的另一大诱因。腐蚀可分为内腐蚀和外腐蚀,内腐蚀通常由水质问题引起,外腐蚀则多由于含硫、氮氧化物等腐蚀性气体的侵蚀。水冷壁、过热器、省煤器等管道的外壁长期暴露在含有酸性烟气环境中,易受到腐蚀介质的侵蚀,导致管壁结构减弱。而内壁腐蚀多由水质控制不当引发,如水中溶解氧和酸碱物质超标会加剧管道腐蚀速率。有效的水质处理和定期的防腐检修工作,可有效控制腐蚀性介质对管道的侵害。

2.4 应力损坏

应力损坏是锅炉管道泄漏的重要原因,主要由运行过程中产生的热应力、机械应力作用所致。由于锅炉高温高压的特殊工作环境,管道焊接处、转角等部位的应力集中,可能导致应力腐蚀裂纹的出现。随着运行时间的增加,微裂纹在应力作用下不断扩展,进而导致管道开裂、泄漏。此外,安装、焊接质量、管道固定方式和运行中的负荷波动都可能对应力损坏产生影响。优化安装工艺、定期进行焊缝检测和应力消除处理,是防止应力损坏的重要措施。

3 锅炉“四管”泄漏问题的预防措施

锅炉“四管”泄漏问题一旦发生,将导致系统停机、经济损失增加,甚至引发安全事故。因此,有效的预防措施对于提升锅炉系统的稳定性和安全性至关重要。预防措施需综合考虑锅炉的材料选择、运行管理、检修维护等多个方面。通过科学合理的预防策略,可有效降低“四管”泄漏发生的概率,延长设备的使用寿命。

3.1 优选炉管材质

优选合适的炉管材质是防止锅炉“四管”泄漏的重要基础

措施,因为材料的性能直接影响管道在高温、高压和腐蚀环境下的稳定性。为适应锅炉高温高压的苛刻运行条件,炉管材料必须具备高温强度、抗氧化性和耐腐蚀性,以确保在长时间运行中保持材料强度和抗泄漏性能。通常,过热器和再热器因其长期承受高温蒸汽的工作环境,对材质的耐热性和抗氧化性能要求更高,适合使用耐高温的合金钢材料,如TP347H和TP310H不锈钢,这些材料的晶体结构能有效抵抗高温下的变形和氧化损伤。

对于水冷壁和省煤器管道,这些管道虽然承受的温度相对较低,但常处于高湿度环境中,腐蚀性较强。因此,适合选择耐腐蚀性优良的低合金钢材料,如SA210C、T11和T22钢管,这些材料在含水蒸气、酸性气体等腐蚀性环境下能保持较好的稳定性。为了进一步提升耐磨性,特别是在受燃煤颗粒冲刷的区域,还可以对管道表面进行防护处理,例如采用喷涂耐磨材料或激光熔覆技术,这类表面改性处理能增强材料抗冲刷和耐磨损的能力,有效延长管道使用寿命。

在材料选择过程中,还需综合考虑锅炉的运行负荷、蒸汽参数和经济性,以实现最佳的性价比和使用寿命。例如,负荷较高的锅炉在蒸汽参数变化较大的情况下,对材料的热疲劳性能要求更高,因此选材时应平衡初期成本与长期运行的稳定性。此外,采用标准化材料和新型防腐蚀、耐高温材料技术,也能够提升锅炉系统运行效率的同时降低长期维护成本。通过科学合理的材料优选策略,能够大幅度降低锅炉“四管”泄漏的风险,为锅炉系统的安全、稳定运行提供有力保障。

3.2 机组运行管理

机组运行管理是确保锅炉长期安全稳定运行的重要环节,直接关系到设备的安全性和可靠性。科学合理的运行参数控制,可以有效防止锅炉“四管”超温、磨损和应力损坏问题。首先,在蒸汽温度和压力的控制上,应根据锅炉的负荷需求合理设置,避免设备在高负荷条件下长时间运行,防止因超温导致的管道蠕变以及材料强度下降问题。通过降低过高温度、合理调节蒸汽压力,可以有效延长管道的使用寿命,减少泄漏的发生。

其次,加强对燃料与空气流量的精准控制,确保燃烧效率的同时,降低高温气流对管壁的冲刷作用。尤其在燃煤锅炉中,煤粒与高速气流的相互作用易导致管道表面磨损,加快管壁的损耗。燃料质量、空气配比、燃烧温度等关键参数需要定期监测和调整,以减少燃烧颗粒对管道的冲击。通过科学优化燃料和空气的配比,使锅炉在高效燃烧的同时,最大限度地减轻气流冲刷对管道的影响^[6]。

此外,合理的升降负荷策略是控制管道应力的有效措施。锅炉频繁的启停或负荷波动会产生瞬间的高应力,特别是在转弯和焊接处,容易引发微小裂纹的扩展。运行管理应根据设备的耐压和负荷特点,平稳进行负荷变化,避免因负荷骤变而导致的管道损坏。日常运行中需借助先进的监测系统,实时跟踪

锅炉温度、压力、振动等参数，及时识别设备可能存在的异常情况。一旦发现参数超出安全范围，应果断采取降负荷或停机等应急措施，防止小故障进一步扩大。

3.3 防磨防爆检查

防磨防爆检查是锅炉“四管”泄漏预防中的关键环节。长期运行中，锅炉“四管”在高温、高压和高速气流的作用下极易受到冲刷磨损，特别是在拐角、焊接处及气流集中区域。这些部位的管壁厚度逐渐减薄，增加了泄漏的风险，甚至可能引发爆管事故。因此，防磨防爆检查必须采用定期检测和状态监测相结合的方式，以全面掌握管道的实际状况。常用的检查手段包括超声波测厚、磁粉检测、射线检测等，可以准确评估管壁厚度、裂纹和磨损情况，及时发现潜在缺陷。此外，在运行过程中，需定期开展局部防磨涂层修复和防爆处理，对磨损较为严重的部位增设耐磨材料和保护层，确保设备的稳定性和安全性。通过严格的防磨防爆检查，不仅能有效延长管道使用寿命，还能为锅炉的安全运行提供保障。

3.4 加强技术监督

加强技术监督是锅炉“四管”泄漏预防的关键措施，其核心在于通过科学管理、全面监控和严格执行，确保各项防漏措施的有效落实。技术监督的第一步是建立全面、系统的技术档案，对锅炉的运行状况、检修记录、管道材料性能、运行参数和历史故障等信息进行细致记录。此类档案不仅为日常维护提供参考，更在故障分析时为追溯问题根源和制定优化方案奠定基础。此外，应将技术监督覆盖锅炉的全生命周期，从安装调试、试运行到日常维护和定期检修，确保每一阶段严格符合技术规范和安全标准，从源头上减少泄漏隐患。

在锅炉运行阶段，技术监督人员应定期审核并分析各类检测数据，特别是锅炉的温度、压力、流速等关键参数。异常数据通常是潜在泄漏的前兆，通过深入的数据分析，可以提前识别并处理潜在的超温、超压等风险，及时采取调整措施，避免隐患进一步发展。为提升技术监督的精度，建议引入智能监测系统，利用传感器、远程监控等技术手段，实现对温度、压力、振动、磨损等指标的实时监测，构建智能化、信息化的技术监督平台。

技术监督不仅仅是对设备的监控，还包括技术人员的素质提升。定期开展技术培训和新设备操作指导，使监督人员掌握先进的监测方法和故障分析技术，以更精确地发现和解决问题。在此过程中，监督工作也应适时引入先进的检测设备，如超声波检测仪、红外热像仪和X射线检测设备，以提高检测的准确性和效率。此外，企业还可以定期开展内部审查，确保各部门严格执行技术标准，形成闭环管理的监督模式。

3.5 改进检修工艺

改进检修工艺是预防锅炉“四管”泄漏问题的关键措施之一。传统检修工艺因工序复杂、检测方法单一等限制，常导致

漏检或检修效率低，隐患未能及时消除。现代化的检修方式则通过引入自动化设备和数字化管理系统，大大提升了检修的效率和准确性。例如，使用超声波、射线等自动化检测设备可以实时获取管道壁厚、温度及应力状态等数据，帮助迅速识别磨损、腐蚀或裂纹等潜在问题。此外，数字化检修系统使检修记录、检测数据和维修历史得以系统保存和分析，有助于追踪问题发展趋势，进而制定更精准的预防策略。

为了确保检修质量，必须加强对检修人员的专业培训，使其熟练掌握最新的检测技术和维修工艺，特别是在焊接和组装过程中应严格遵循工艺标准。锅炉管道的焊接作为易出现泄漏隐患的环节，要求焊接工艺严格符合国际标准，确保焊接处的密封性和耐压性，同时避免因焊接不当造成的微小裂纹或应力集中。此外，在焊接后还应采用无损检测（如X射线、磁粉检测等）评估焊接质量，确保无潜在缺陷存在。

为了进一步提高检修工艺的可靠性，企业可建立定期的检修方案，特别是对锅炉的“四管”部位进行专项检查。改进检修工艺不仅能够有效预防泄漏事故的发生，也能延长设备的使用寿命、降低运行成本，实现设备稳定、高效运行。结合工艺改进和人员培训两方面，锅炉“四管”泄漏的风险将显著降低，为安全生产提供有力保障。

4 结语

锅炉“四管”泄漏问题是影响锅炉安全运行的重要隐患，一旦发生泄漏，不仅可能导致设备停机，还会引发重大安全事故和经济损失。因此，针对“四管”泄漏，必须采取系统性、科学化的预防措施。此外，技术监督和先进的检测手段有助于全面掌握锅炉运行状态，使预防和修复工作更加精准。特别是通过检修工艺的改进，提高检测和维修的效率，可以显著提升锅炉的可靠性和运行安全。综合而言，科学有效的泄漏防控措施不仅能延长锅炉的使用寿命，还能保障设备的长期稳定、安全运行。

[参考文献]

- [1]张亚洲.电厂锅炉四管泄露原因分析及应对措施研究[J].湖北农机化, 2021, (05): 109-110.
- [2]张志亮.锅炉“四管”泄露现象及原因分析[J].电力设备管理, 2019, (10): 90-91+155.
- [3]谢伦高.直流锅炉四管泄露参数变化分析[J].中外企业家, 2018, (25): 147.
- [4]杜荣胜.超超临界直流锅炉“四管”爆漏原因分析及对策[J].机电信息, 2019, (18): 69-70.
- [5]杨延威.燃煤电厂锅炉故障及检修对策分析[J].智能城市, 2018, 4(24): 63-64.DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2018.24.038.
- [6]贾子煦.火力发电锅炉“四管”部件失效形式和机理概述[J].山东工业技术, 2018, (07): 164.