

Research on Corrosion Issues and Protective Measures for Boiler Pressure Vessels and Pipelines

Xiaomeng Yang

Henan Province Boiler Pressure Vessel Inspection Technology Research Institute Zhumadian Branch, Zhumadian, Henan, 463000, China

Abstract

Boiler pressure vessel pipeline systems, as core equipment in power production, have corrosion issues that directly impact operational safety and economic benefits. This study thoroughly analyzes the corrosion mechanisms of boiler pressure vessels and pipelines and the key elements for constructing protective systems. It highlights the critical importance of anti-corrosion work in ensuring safe operation of equipment, proposing three major principles: systematic protection, scientific detection, and dynamic adaptation. Addressing practical engineering needs, the article elaborates on two main protective strategies: the integration of multiple detection technologies and the upgrading of surface protection processes. The integration of detection technologies emphasizes the synergistic application of ultrasonic, radiographic, and eddy current methods, while surface protection processes focus on building multi-layer barrier systems and studying material compatibility. Research findings indicate that a comprehensive anti-corrosion system effectively extends equipment lifespan, reduces unplanned downtime risks, and lays a solid foundation for the safe and stable operation of the power system, achieving dual values of economic efficiency and safe production.

Keywords

Boiler; Pressure vessel piping; Pipe corrosion

锅炉压力容器管道的腐蚀问题及防护措施研究

杨晓萌

河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院驻马店分院, 中国·河南驻马店 463000

摘要

锅炉压力容器管道系统作为电力生产核心装备,其腐蚀问题直接关系到运行安全与经济效益。本研究深入剖析了锅炉压力容器管道腐蚀机理及防护体系构建要素。研究阐明防腐工作对确保设备安全运行的重要意义,提出系统性防护、科学性检测与动态化适配三大原则。针对工程实际需求,文章详细论述多元检测技术融合策略与表面防护工艺升级策略两大防护路径。检测技术融合强调超声波、射线、涡流等多种手段协同应用,表面防护工艺则注重多层次屏障系统构建与材质匹配性研究。研究表明,完善的防腐体系有效延长设备寿命,降低非计划停运风险,为电力系统安全稳定运行奠定坚实基础,同时实现经济效益与安全生产的双重价值。

关键词

锅炉; 压力容器管道; 管道腐蚀

1 引言

锅炉压力容器管道系统作为电力生产核心装备,长期承受高温、高压与复杂介质环境挑战。腐蚀问题已成为影响此类设备运行寿命与安全可靠性的关键因素。电力设施腐蚀失效事故频发,造成巨大经济损失与安全隐患,亟需系统化防护对策。金属材料在苛刻工况下发生的电化学反应与化学变化,导致材料性能劣化,结构完整性受损。国内外研究表明,合理的防腐措施能显著延长设备使用寿命,降低维护成本。本研究立足电力工程实际,剖析锅炉压力容器管道腐

机理与表现形式,建立防护原则体系,提出针对性防护策略与技术路径。文章围绕防护意义、原则与策略三个维度展开论述,旨在为电力设备腐蚀防护提供理论指导与实践参考。

2 锅炉压力容器管道的腐蚀问题防护的意义

2.1 筑牢安全运行防线

筑牢安全运行防线对于锅炉压力容器管道系统具有深远意义。腐蚀作为压力设备的主要失效机理,潜藏于系统各个环节,威胁着电力生产安全底线。完善的腐蚀防护体系犹如铸就了设备运行的铜墙铁壁,延长设备使用寿命的同时确保系统稳定运行。腐蚀防护工作事关设备完整性,关乎生产效率,牵系着能源供应安全与经济损失规避。压力容器管道

【作者简介】杨晓萌(1996—),女,中国河南驻马店人,本科,从事检验员研究。

系统腐蚀防护需从材料选择、结构设计、环境控制等多维度精心布局。科学防腐技术应用降低维修频率，缩短停机时间，为企业创造显著经济效益。现代防腐技术与工程实践相结合，形成系统化防护策略。规范化施工人员的操作规程与定期检测相得益彰，构建起多层次安全防护网络。电力企业将防腐工作置于核心安全管理位置，建立科学防护体系，方能确保设备全生命周期安全运行，守护电力生产安全长城^[1]。

2.2 筑牢安全运行防线

筑牢安全运行防线是确保锅炉压力容器管道长期稳定运行的核心环节。防腐工作在整个安全体系中占据关键地位，完善的腐蚀防护策略可有效延长设备寿命，减少非计划停运风险。科学的防护理念建立在材料科学与电化学基础之上，要求对金属材料特性与环境介质作用机理有深刻理解。先进防护措施包括材料选型优化、表面处理技术、电化学保护与环境因素控制等多维度防御体系，形成多重屏障。定期检测与评估是防线构建的重要环节，包括壁厚测量、裂纹探伤与材料性能评价。企业安全管理体系应将防腐知识融入培训体系，提升施工人员专业素养。腐蚀防护工作应与设备全生命周期管理相结合，形成长效机制。防腐技术创新与应用是提升安全运行水平的持续动力，电力设备安全运行终将在科学防护理念指导下达到新高度。

3 锅炉压力容器管道的腐蚀问题防护原则

3.1 系统性防护原则

系统性防护原则要求将锅炉压力容器管道视为有机整体，在防腐工作中实施全局性考量与协同防护策略。遵循该原则实为必要，盖因腐蚀现象本质上是多种因素共同作用的复杂过程，单点防护难以从根本上解决问题。设备各部件间存在密切关联，某处腐蚀失控可能导致系统性危害。科学的防护体系应涵盖材料选型、结构设计、工艺控制、环境调节等多维度要素，形成完整的防腐链条。企业若能建立系统防护思维，可在设计阶段预见潜在腐蚀风险，运行期间精准识别薄弱环节，维护时统筹安排检修计划。系统性防护能有效降低因局部忽视引发的连锁故障，提升设备整体安全性，延长使用寿命，减少停机损失，确保锅炉压力容器管道在苛刻工况下保持长期可靠运行^[2]。

3.2 科学性检测原则

科学性检测原则在锅炉压力容器管道腐蚀防护中占据核心地位。该原则要求检测工作必须建立在科学理论基础之上，采用精密仪器设备与标准化方法，确保检测结果的准确性与可重复性。科学性检测实质上反映了现代工程技术对精确性与客观性的追求。锅炉压力容器管道系统复杂多变，腐蚀机理与形态差异显著，单凭经验判断往往难以准确把握腐蚀本质与发展规律。唯有科学检测才能揭示材料微观结构变化、应力分布状态、电化学反应特性等关键因素，形成完整腐蚀评估体系。企业遵循科学性检测原则，可有效规避主观

臆断带来的风险，准确识别潜在危害，精准确定腐蚀类型、部位与程度，进而制定合理防护策略与修复方案。科学性检测构成了腐蚀防护决策的理性基础，提升了整体防护质量与效率，确保了电力设施安全运行与经济效益最大化。

3.3 动态化适配原则

动态化适配原则是锅炉压力容器管道防腐体系中的重要基石。锅炉压力容器管道在运行过程中面临多变的工况环境，温度、压力、介质成分等参数常有波动，单一静态防护措施难以应对复杂多变的腐蚀挑战。动态化适配原则要求防腐体系具备感知环境变化并作出相应调整的能力，实现防护措施与腐蚀环境的动态匹配。该原则深刻认识到腐蚀过程的非线性特性，强调防护手段需随工况变化而调整优化。在实际应用中，动态化适配表现为防腐材料选择的智能化、监测系统的实时性、防护措施的可调性等多个方面。电力企业遵循此原则，可减少因环境突变导致的腐蚀失效风险，延长设备使用寿命，降低维护成本。施工人员需深入理解设备运行的动态特性，预见性地设计防腐方案，确保防护效果在各种工况下均能保持最优状态。动态化适配非简单被动响应，而是基于预测分析主动调整的防护哲学，代表了现代防腐技术的发展方向^[3]。

4 锅炉压力容器管道的腐蚀问题防护策略

4.1 多元检测技术融合策略

多元检测技术融合策略作为解决锅炉压力容器管道腐蚀问题的重要防护措施，已在电力行业安全管控体系中占据核心位置。该策略将不同原理、不同维度的检测技术有机结合，形成互补协同效应，显著提升对腐蚀问题的识别精度与预警能力。电磁超声、射线照相、超声相控阵、涡流探伤等无损检测技术在整合应用中发挥各自优势，突破单一技术的局限性。智能机器人巡检系统配合红外热成像技术，可实现对复杂管道系统的全方位监测。深度学习算法在多源数据分析中具备强大的模式识别能力，使检测结果从定性向定量转变。数字孪生技术与实时监控相结合，为管道腐蚀状态评估提供动态视角。检测数据云平台建立促进了信息共享与知识积累，使腐蚀防护决策更具科学性。远程监测与物联网技术引入则打破了时空限制，实现设备健康状态持续监控。多元检测方法组合应用于压力容器高温高压环境中，能够揭示材料微观结构变化与宏观腐蚀关系。电力企业建立完善的检测技术体系，融合定期检查与实时监测手段，才能真正构建起全生命周期的管道健康管理。检测技术融合策略应充分考虑检测对象特性，针对不同类型腐蚀问题选择最适宜的技术组合。施工人员需接受全面技术培训，掌握多种检测手段操作规范及综合分析能力。多元检测融合策略的系统化实施，将为锅炉压力容器管道安全运行保驾护航，为电力系统稳定运行奠定坚实基础^[4]。

4.2 多元检测技术融合策略

多元检测技术融合策略在锅炉压力容器管道腐蚀预防中具有不可替代的价值,其核心在于将各类检测方法的优势有机结合,形成互补协同的完整体系。超声波测厚技术能够精确测量金属壁厚变化,涡流检测可识别表面及近表面缺陷,射线检测则透视揭示内部结构异常,磁粉检测对表面裂纹敏感,而红外热像技术则捕捉温度异常分布。这些单一技术在融合应用时需建立统一数据平台,实现检测数据标准化处理与综合分析,进而构建腐蚀状态评估模型。该模型应整合材料学、流体力学与电化学原理,对腐蚀速率与剩余寿命做出科学预测。检测数据时空关联分析尤为重要,通过建立设备腐蚀数据时间序列与空间分布图谱,呈现腐蚀演变规律。在实际应用层面,应根据设备特性与运行环境定制检测方案,确定最优检测周期与检测点布置。电力企业宜建立检测数据智能分析系统,融合专家经验与算法模型,对腐蚀风险进行量化评估与等级划分。多元检测结果交叉验证机制有助于消除单一技术局限性,提高诊断准确度。随着数字孪生技术发展,可构建锅炉压力容器管道虚拟模型,将检测数据实时映射至模型中,直观显示腐蚀状态变化。与此同时,检测技术融合策略应与预防性维护体系紧密衔接,为科学制定检修计划与更换周期提供决策依据,最终实现设备安全运行与经济效益的平衡。

4.3 表面防护工艺升级策略

表面防护工艺升级策略在锅炉压力容器管道防腐体系中具有关键地位,其核心价值在于构建多层次、高性能的屏障系统,有效阻断外界腐蚀因子与金属基材的接触。现代表面防护工艺已从传统单一涂层保护发展为综合性技术体系,涉及基体处理、底层处理、中间涂层与面层工艺等多个环节的协同优化。高温锅炉环境下,先进的陶瓷基复合涂层展现出优异的耐热性与化学稳定性,为设备提供长效保护。压力容器则适合采用金属喷涂与有机涂层复合防护技术,该技术融合了金属喷涂层的阴极保护功能与有机涂层的屏蔽特性。对管道系统而言,内外表面防护策略存在明显差异—内壁防护侧重耐介质性能,外壁则注重环境适应性。企业可注重防

护工艺与设备材质的匹配性研究,根据材料电化学特性选择相应的阴极保护或阳极保护方案。前处理工艺质量直接影响涂层附着力与使用寿命,喷砂、酸洗等表面处理技术需精确控制工艺参数。新型功能涂层如自修复涂层、纳米复合涂层等引入智能防护理念,赋予防护层主动应对腐蚀环境变化的能力。施工人员应严格遵循涂层厚度规范,确保关键部位如焊缝、法兰等薄弱环节获得加强保护。防护工艺升级还应考虑全寿命周期成本,平衡初始投入与长期维护支出。定期评估防护层状态并建立预测性维护体系,有助于实现锅炉压力容器管道系统的安全稳定运行与经济效益最大化。

5 结语

锅炉压力容器管道腐蚀防护工作构成电力设备全生命周期管理核心环节。科学防护体系对确保设备安全运行、延长使用寿命具有重大价值。防腐工作应遵循系统性防护、科学性检测与动态化适配原则,综合考量材料特性、结构设计、环境因素与运行工况等要素。多元检测技术融合弥补单一方法局限性,提升缺陷识别能力;表面防护工艺升级则构建多层次防护屏障,阻断腐蚀环境与金属基材接触。防腐技术发展趋向智能化与数字化,功能涂层材料创新与物联网监测系统将成为技术突破重点。电力企业应强化腐蚀防护意识,健全防腐管理体系,加大技术研发投入,培养专业技术队伍,促进理论与实践深度融合。唯有建立完善的防腐体系,方能在复杂工况环境中确保设备长期稳定运行,为电力安全生产筑起坚实防线。

参考文献

- [1] 李国良.基于NN的锅炉压力容器压力管道裂纹检测方法分析[J].中国设备工程,2025,(05):212-214.
- [2] 孙建宝.锅炉压力容器及管道安装监督检验的优化[J].锅炉制造,2025,(02):59-61.
- [3] 秦之炜,孙嘉.锅炉压力容器及压力管道检验技术研究[J].中国机械,2024,(21):146-149.
- [4] 张国杰.锅炉、压力容器及压力管道检验中裂纹问题研究[J].中国高新科技,2024,(08):122-124.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.08.38.