输煤管道防腐优化技术在电厂冲洗水系统中的研究与应用

牟永强　赵亚江
大唐宝鸡第二发电有限责任公司　陕西　宝鸡　721409

摘　要：传统防腐模式普遍存在材料适配性差、施工工艺粗放、结构设计不合理等问题，严重影响了电厂辅助系统的安全稳定运行。本文结合冲洗水介质腐蚀特性与金属管道核心腐蚀机理，从防腐材料选型、表面处理工艺、涂层施工流程、管道结构布置四个维度完成防腐方案的整体优化设计。通过完善全过程施工管控标准，构建适配电厂复杂工况的新型防腐体系。

关键词：输煤管道；防腐优化技术；电厂；冲洗水系统；应用

引言

电力生产体系中，输煤冲洗水系统承担着设备除尘、积尘清理、现场环境维护的重要职能，是保障燃煤输送系统连续可靠运行的基础配套设施。系统管道长期处于复杂流体工况环境，水体含有大量悬浮颗粒与腐蚀性离子，运行过程中持续产生冲刷磨损与化学侵蚀，使得管道腐蚀问题成为行业普遍存在的共性技术难题。管道腐蚀病害不仅会降低系统运行效率，增加日常检修与更换的经济成本，还会影响输煤系统的整体运行稳定性，存在一定的生产安全隐患。现阶段常规防腐技术大多采用通用型防护模式，没有结合冲洗水系统专属的介质特性与结构工况进行针对性设计，材料适配度不足与施工工艺粗糙的问题长期存在，无法实现长效防腐的应用目标。

1 电厂冲洗水输煤管道腐蚀相关理论基础

1.1 输煤冲洗水系统工作原理与管道结构特征

（1）输煤冲洗水系统的水体来源多为厂区循环复用废水，水体内部含有微量悬浮杂质与可溶性介质，水质成分相较于常规清水更为复杂。这类水体长期在管道内部持续流动，会对管道内壁形成持续性的物理冲刷与化学浸润，为管道腐蚀问题的产生积累基础条件[1]。系统整体运行不以水质净化为核心目标，更加侧重冲洗功能的稳定性，因此水体杂质含量与腐蚀介质含量会长期保持在相对偏高的水平，进一步加大管道防腐工作的实施难度。（2）输煤冲洗水管道的整体结构布局具备明显的工业管道特征，整体管线铺设跨度较大，走向会根据输煤设备布局进行灵活调整。管线内部包含直管段、弯头段、变径段与阀门连接结构，不同结构部位的水流状态存在明显差异。直管段水流运行相对平稳，流体分布更加均匀。弯头段与变径段会改变水流原有运动方向，形成局部湍流与涡流现象，大幅提升水流对管壁的冲击力度。连接位置存在结构衔接缝隙，容易出现杂质堆积与水流滞留的情况。（3）特殊的管道结构让不同管段的腐蚀程度呈现差异化特征，湍流区域与滞留区域的腐蚀磨损速度会明显高于普通管段。同时整套管道系统多为露天或半露天布设，外部环境温度与湿度会持续影响管道外壁状态，内外双重环境作用会持续加速管道老化与腐蚀进程。掌握系统运行原理与结构特征，能够为后续腐蚀机理分析与防腐技术优化提供扎实的理论支撑。

1.2 电厂冲洗水介质腐蚀特性

（1）水体内部含有多种可溶性离子，这类物质会提升水体导电能力，为电化学腐蚀的发生创造必要条件。离子含量会随生产周期产生起伏变化，无法长期维持稳定数值，也就造成管道内部腐蚀速率不会保持恒定状态。部分离子会直接参与金属管壁的电化学反应，促使管壁金属逐步发生溶解损耗。还有一部分离子会在温度与水流条件变化时析出，在管道内壁形成各类沉积物，沉积物覆盖的管壁位置会形成特殊的局部环境，推动垢下腐蚀持续发展。（2）冲洗水中还裹挟一定占比的固体悬浮颗粒，颗粒来源于输煤现场的煤粉碎屑以及管路磨损产生的细小杂质。这些固体物质会跟随水体在管线内部不断流动，对管道内壁形成持续性的撞击与磨削作用。固体颗粒带来的机械磨损不会单独发挥破坏效果，会和介质带来的化学侵蚀相互叠加，形成磨损与腐蚀协同作用的破坏模式，大幅加快管壁损耗速度。管线弯头以及变径位置水流扰动更强，颗粒冲击作用会表现得更加突出，局部管壁损耗会明显加剧。（3）介质温度变化同样会改变冲洗水的腐蚀特性，系统运行期间水体温度会跟随厂区工况出现起伏。温度升高会加快各类电化学反应的反应速率，同时降低水体内部溶解气体的饱和阈值，促使更多溶解氧参与腐蚀进程。溶解氧是电化学腐蚀过程中的关键参与物质，含量波动会直接左右整体腐

蚀发展速度。介质腐蚀特性不是单一因素作用的结果，而是化学离子，固体颗粒，溶解气体，温度条件共同作用形成的综合效果。充分认清冲洗水介质的腐蚀特征，能够分清各类破坏因素的作用逻辑，为后续防腐方案优化提供可靠的分析依据。

1.3 金属管道腐蚀核心机理

（1）金属管道材质本身具备良好的导电特性，冲洗水内部富含各类电解质离子与溶解氧，会在管道内壁形成稳定的电解质溶液环境。金属表面会自然分化出阳极区域与阴极区域，阳极位置会持续发生金属溶解反应，造成管壁金属逐步流失变薄。阴极区域会依托水中溶解氧完成还原反应，持续推动整体腐蚀进程不断发展。这种腐蚀过程整体均匀且持续时间长，不会受短时运行工况变化影响，能够长期缓慢损耗管道基材，是造成管道整体壁厚衰减的主要原因。（2）冲刷磨损腐蚀机理属于流体动力与化学腐蚀协同作用的复合型破坏机制。冲洗水在管道内部持续高速流动，同时裹挟大量细微固体杂质，会对管道内壁形成不间断的剪切冲击与物理磨削[2]。长期的流体冲刷会破坏金属表面原生氧化保护层，削弱管材自身的抗腐蚀能力。表层保护膜破损后，新鲜金属基材会直接暴露在腐蚀性水体中，加速电化学腐蚀的反应速度。物理磨损与化学腐蚀相互促进叠加，大幅提升管道损耗效率，尤其容易造成管道弯折、变径等水流扰动较大位置的快速破损。（3）局部结垢与垢下腐蚀机理是管道运行后期高发的隐蔽性腐蚀类型。冲洗水中的杂质与析出物质会逐步在管道内壁沉积堆积，形成质地不均匀的结垢层。结垢区域会完全覆盖下方金属基材，阻隔基材与外部水体的正常接触，形成相对密闭的微观环境。垢层内部会不断富集腐蚀性离子，逐步形成高浓度腐蚀环境，持续对底部金属进行侵蚀。垢下腐蚀具备隐蔽性强、发展速度快、集中破损的特点，前期难以通过常规检测发现，长期积累会造成局部管壁穿孔破损，严重影响冲洗水管道系统的安全稳定运行。

2 输煤管道防腐优化技术方案设计

2.1 管道内壁防腐材料优化选型

（1）材料优化选型工作严格结合冲洗水系统的介质特性、流体运行状态与管道腐蚀机理，摒弃单一依托传统防腐材料的选型模式，重点兼顾材料的耐腐蚀性、抗冲刷性、附着力与环境适配性多项核心指标。选型过程优先考量材料对复杂水质环境的耐受能力，保证材料结构可以抵御水体电解质渗透带来的电化学破坏，阻隔腐蚀介质与金属基材的直接接触，从根本上抑制内壁腐蚀反应的持续发生。同时充分结合管道长期带杂质流体冲刷的运行特点，重点筛选具备高强度耐磨性能的防腐材料，提升涂层抵御颗粒冲击与流体剪切破坏的整体能力。（2）在材料性能适配的基础上，选型工作还兼顾材料的结构稳定性与贴合度，优选具备良好延展性与密封性的防腐材质，可以紧密贴合管道金属内壁形成连续均匀的防护涂层，规避涂层空鼓、开裂、脱落等常见病害问题[3]。稳定的涂层结构能够有效减少局部涂层破损带来的点状腐蚀与局部穿孔隐患，弱化垢层堆积对管壁造成的腐蚀影响。（3）优化后的防腐材料可以适配输煤冲洗水管道全工况运行需求，全面适配管道直管、弯头、变径等不同结构区域的防护要求，解决传统防腐材料适配性差、寿命短、防护效果不均衡的问题。科学完善的材料选型能够为后续防腐施工工艺优化提供坚实基础，全面提升整套管道防腐体系的运行可靠性，切实改善电厂输煤管道的腐蚀老化现状。

2.2 表面处理工艺优化设计

（1）针对原有工艺存在的各类短板，本次表面处理工艺优化结合电厂冲洗水管道的腐蚀现状与施工条件，重新梳理完整的表面处理作业流程，细化各工序的操作标准与质量要求。优化工作重点强化管道内壁整体清洁度与表面粗糙度的双重管控，先通过精细化清理方式去除管道内部存在的浮锈、老化防腐层、水垢堆积物以及长期水流冲刷残留的顽固附着物，保证金属基材表面恢复干净平整的原始状态。彻底清理基材表面的腐蚀介质残留，可以从源头规避涂层内部隐性腐蚀问题，保障后续防腐结构的稳定性。（2）在完成全面清洁工作后，优化工艺会对管道内壁进行均匀化粗糙处理，适度调整金属表面粗糙程度，提升防腐涂料的渗透能力与机械咬合效果。均匀合理的表面粗糙度能够大幅提升涂层附着力，避免后期水流长期冲刷导致的涂层起皮与脱落问题，解决传统工艺粗糙度不均引发的局部防护失效隐患。同时优化后的工艺会增加处理后的表面质检工序，及时排查局部清理不到位、表面残留杂质、粗糙度不达标的区域，确保全管段基材处理质量保持统一标准。（3）科学完善的表面处理工艺优化，可以彻底解决传统预处理工艺存在的各类缺陷，为防腐涂料的均匀涂刷与牢固附着提供优质的基材条件。稳定规范的基材处理质量能够最大化发挥新型防腐材料的防护性能，有效提升整套管道防腐体系的耐磨能力与抗腐蚀能力，为管道长期安全稳定运行提供工艺层面的坚实保障。

2.3 防腐涂层施工工艺优化改进

（1）施工工艺优化结合输煤冲洗水管道的运行工况与新型防腐材料特性，对原有施工流程进行系统性整

改与细化升级，构建适配复杂管道工况的标准化施工体系。优化工作首先统一整体施工操作流程，规范涂料调配比例、静置活化时长、施工环境管控等基础参数，杜绝人工操作随意性带来的施工质量偏差。严格把控涂料搅拌与活化流程，可以保障涂料性能均匀稳定，避免涂层成型后出现材质分层、韧性不足、抗腐蚀性能下降等问题。（2）针对管道弯头、变径、焊缝等结构复杂的特殊部位，优化工艺增设专项精细化施工流程，弥补常规施工方式在复杂管段适配性不足的缺陷。这类区域水流扰动剧烈、腐蚀磨损最为严重，通过加厚涂层防护、多次分层涂刷的施工方式，能够提升薄弱位置的防腐防护等级，实现全管段防腐防护效果的均衡统一[4]。同时优化分层施工工序，严格控制每一遍涂层的涂刷厚度与间隔固化时间，保证多层涂层可以紧密结合形成一体化防护结构，有效提升整体涂层的密实度与抗冲击能力。（3）新工艺同步完善施工过程质量管控环节，在涂层施工完成后增加外观检测、厚度检测、密封性核验等验收步骤，及时整改施工存在的细微缺陷。通过全方位的工艺优化，能够彻底改善传统施工带来的各类质量问题，让防腐涂层形成连续完整、附着力强、耐冲刷耐腐蚀的稳定防护层，切实提升输煤冲洗水管道防腐体系的整体应用效果与长效运行能力。

2.4 管道结构与布置方式辅助优化

（1）管道结构优化主要针对极易出现腐蚀病害的关键部位进行调整改善，重点优化弯头、变径、三通等流体扰动较强的结构位置。传统尖锐转角结构会大幅提升水流冲击强度，加剧固体颗粒对管壁的磨削作用，同时增加电化学腐蚀的叠加风险。通过优化结构弧度，平缓水流转向角度，可以有效降低局部湍流强度，削弱流体对管壁的机械冲刷力度，减少磨损腐蚀的发生概率[5]。同时对管道内径突变结构进行规整处理，弱化局部流速差异，规避流速过快带来的涂层损耗问题。（2）在管线布置层面，需要对原有不合理的管路走向进行微调整改，减少过长的水平滞留管段与不合理的高低落差布局。这类布置缺陷容易造成水体滞留、杂质淤积，进而诱发结垢与垢下腐蚀问题。规整后的管线布局可以保障管内水体流动顺畅，减少颗粒物沉积堆积的概率，持续降低局部腐蚀隐患。结构性优化属于辅助性长效防腐手段，能够改善管道整体运行工况，降低腐蚀介质的破坏条件，有效减轻防腐涂层的运行负荷。搭配材料与工艺优化共同实施，可以实现治标与治本相结合的防腐效果，全面提升输煤冲洗水管道的整体抗腐蚀能力与运行稳定性。

结束语

综上所述，整套优化方案从源头改善了管道腐蚀的工况条件，同时提升了防腐涂层的贴合度、密实度与抗冲刷抗腐蚀性能，有效解决了电化学腐蚀、冲刷磨损腐蚀与垢下腐蚀带来的管道破损问题。优化后的防腐体系能够显著降低管道故障发生率，延长管道整体服役周期，减少后期检修维护的人力与物资成本，大幅提升冲洗水系统的运行稳定性与经济性。在后续的工程应用与研究过程中，还可以结合长期运行数据持续优化防腐施工参数，进一步完善管道运维管理制度。不断适配不同运行周期的工况变化，持续提升防腐体系的长效防护能力。

参考文献

[1]许志强.输煤廊道钢结构防腐优化技术应用研究[J].中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术,2026,(1):093-096.

[2]韩月阳.一种新型空预器在线水冲洗装置的应用与分析[J].节能,2025,44(10):80-83.

[3]王正源,杜蜀江,袁转,等.深度调峰燃煤发电厂脱硫系统收水型除雾器研究[J].环境保护与循环经济,2026,46(5):22-27.

[4]樊苗苗,郑雨雨,李帅,等.神渭输煤管道信息化与工业化融合发展研究[J].煤炭技术,2026,45(3):190-193.

[5]雷冰晶.某输煤管道项目职业病危害控制效果评价[J].内蒙古煤炭经济,2025,(22):1-3.