

直埋管道防腐升级技术在输煤排污系统中的研究与应用

牟永强 聂伟峰

大唐宝鸡发电有限责任公司 陕西 宝鸡 721409

摘 要：输煤排污直埋管道长期受介质冲刷与地下环境侵蚀，传统防腐工艺易出现老化失效问题，影响管线稳定运行。本文结合厂区管道实际工况，分析管道各类腐蚀类型及核心影响因素，针对性优化基底处理、防腐涂层、阴极保护及运维修复等多项防腐技术。各类升级工艺组合应用后，有效弥补传统防腐体系短板，大幅提升管道抗腐蚀能力，延长管线服役周期，可为同类厂区管道防腐运维提供技术参考。

关键词：直埋管道；防腐升级；输煤排污系统

引言：输煤排污直埋管道是工矿生产系统的重要基础设施，长期复杂的运行环境极易引发管道腐蚀破损问题。防腐防护效果不足，会造成管线渗漏、结构损坏等故障，干扰生产有序推进。传统防腐技术适配性有限，长期运行后防护性能持续衰减，难以满足管线长效服役需求。结合现场工况优化防腐技术、完善工程应用方案，对提升管道运行稳定性有着重要现实意义。

1 输煤排污系统直埋管道防腐概述

工矿生产体系里，输煤排污管线承担着生产废水输送和排放的核心功能，是保障生产流程顺畅运转的重要设施。现阶段多数厂区的排污输送管道均采用地下直埋的铺设形式，常年处于复杂的地下工况环境内，长期不间断的运行模式让管线基本没有充足的检修养护窗口期，腐蚀问题极易逐步累积加重。生产排出的废水成分较为复杂，自带的腐蚀性组分能够持续磨损管道内壁结构，地下潮湿土层与积水也会不断侵蚀管道外壁。多重腐蚀条件长期共同作用，会慢慢造成管道表层防护结构受损、金属基体老化损耗等各类缺陷。管线防腐防护效果的好坏，直接影响整套排污输送系统的运行状态，也是维系地下管线长期稳定服役的关键条件。行业内沿用的传统防腐工艺适配年限较长，经过长时间地下环境的侵蚀和工况损耗后，防护涂层会逐步老化失效，整体防护性能持续下降，无法持续匹配严苛的地下使用环境。对现有管道防腐工艺进行迭代优化与技术更新，可以切实增强管道自身的抗腐蚀性能，减缓管材老化破损速度，规避各类管线失效引发的运行故障^[1]。通过优化防腐防护体系、选用适配性更高的防腐技术，能够有效提升直埋管道对复杂地下工况的耐受能力，拉长管线实际使用年限，为厂区输煤排污系统的平稳、长效运行筑牢

基础。

2 输煤排污系统直埋管道腐蚀特征与影响因素

2.1 输煤排污直埋管道腐蚀主要类型

地下敷设的输煤排污管线长期输送成分繁杂的生产废水，特殊的工况条件会使管材产生多种腐蚀病害，各类腐蚀方式的发生原理和破坏形式存在显著差异，对管线正常服役造成的负面影响也各有不同。整体腐蚀现象在排污管线运行过程中出现频次较高，腐蚀作用均匀分布在管道金属表面，使管壁厚度出现均匀减薄，金属材料本身的力学性能逐步下降，长时间积累后会削弱管道整体承载能力。局部腐蚀产生的破坏更为突出，涂层出现细微缺损的管段极易产生点蚀问题，腐蚀缺陷会由表层向管材内部延伸，生成点状孔洞，逐步破坏管道本体的结构完整。废水在管道内部持续流动会产生冲刷作用，长期摩擦内壁表层结构，不断磨损、剥离原有防护层，使金属基体直接暴露于腐蚀性水体当中，加快管材的破损速度。直埋管道所处的地下环境容易产生电位差，土体与地下水的共同作用会引发金属基体发生电化学反应，造成管材持续性损耗。多种腐蚀形态会相互叠加、共同作用，持续干扰输煤排污管线的正常服役过程。

2.2 管道本体结构对腐蚀的影响

管线自身的结构形态与成型状态会从根本上改变腐蚀介质的接触方式，直接影响各类腐蚀问题的发生与发展进度。管道整体管径规格会改变内部介质流动状态，管径偏小的管段更容易形成流体紊动，介质与管壁的接触摩擦更为频繁，持续加剧内壁材料的损耗速度。管线布设过程中存在的弯折、变径等结构部位，会打乱介质

平稳流动的状态,造成局部流体滞留,腐蚀性成分会在这类区域不断积聚,长期作用下形成集中式腐蚀损伤。管道加工成型阶段产生的表面缺陷,包括细微划痕、结构接缝以及成型残留纹路,都会破坏管材表层的均匀状态。这类缺陷位置的金属活性更高,会优先受到腐蚀介质的作用,逐步形成局部腐蚀点位并持续扩展。管道壁厚均匀程度也会影响腐蚀发展节奏,壁厚存在偏差的管段,在同等腐蚀条件下会出现损耗程度不均的情况,结构薄弱位置会率先出现破损问题。本体结构存在的各类缺陷与设计特征,会持续放大外部腐蚀条件带来的负面影响,缩短管线稳定使用周期^[2]。结构设计不合理与加工精度不足带来的先天问题,会让管线抗腐蚀短板持续凸显,各类腐蚀病害发展速度明显加快。

2.3 输煤排污介质对管道腐蚀的作用

输煤生产过程中产生的污水并非单一水质体系,内部含有多种活性物质,能够不断对管道内壁金属结构造成侵蚀,直接影响管线腐蚀发展的整体程度。水体中溶解的活性气体会与水环境产生反应,改变水体基础理化性质,提升水质的侵蚀活性,持续破坏管道表层的金属组织。水流中携带的细小固体颗粒会随水体不停运动,持续打磨管道内壁防护层面,逐步损耗原有防护结构,降低管材抵御腐蚀的基础性能。系统长期运行期间,水中悬浮杂质会在管道低位区域慢慢沉降堆积,在管壁表面形成附着层。管壁被覆盖的区域会形成相对密闭的接触环境,腐蚀反应持续缓慢进行,慢慢形成隐蔽性的局部破损,这类结构损伤具备较强的隐蔽性,不易被常规运维手段排查识别。水体流动状态的动态变化,也会让管道不同管段产生差异化的腐蚀效果,流速偏低的区域易堆积杂质,造成腐蚀层层累积,流速偏高的区域主要受到水流冲刷磨损。水质自身属性与流动工况的共同作用,持续造成管道内壁损伤,推动各类腐蚀缺陷不断发展扩大。水质组分的动态变化会持续改变腐蚀作用强度,让管线腐蚀病害呈现常态化、持续性的发展特点。

2.4 外部土壤环境对管道腐蚀的影响

输煤排污直埋管线全程埋设于地下土层当中,管壁外侧始终与周边土体紧密接触,土层本身的理化特质会持续对管道外壁产生侵蚀效果,主导管线外部腐蚀问题的产生与发展。土层当中留存的水分能够在管壁外侧形成长期湿润界面,保障金属腐蚀反应持续进行,让管材表层始终维持易被侵蚀的状态。土层颗粒排布疏密各不相同,孔隙大小与通透程度存在区别,氧气渗入地下的通量存在明显差异,管线不同埋设区段形成不均衡的氧化环境,诱发局部的非均匀腐蚀问题。土层内含有的活

性离子会不断贴近管壁表层,慢慢侵蚀原有防腐保护层结构,逐步穿透防护层接触金属基体,造成管材表层持续受损。地下环境会出现干湿交替的动态变化,土壤含水状态反复改变,会不断扰动腐蚀反应的活跃程度,长时间的环境波动会加速防腐保护层老化脱落,削弱管道外侧整体防护能力。土层环境带来的侵蚀效果会随运行时间不断叠加,持续消耗管道防护结构与基体材质,让地下管线的外部防护能力逐步下降^[3]。不同埋设深度的土层理化性质存在差异,使得管线外壁腐蚀程度呈现出明显的分段不均匀特征。

3 直埋管道防腐升级技术研究及工程应用

3.1 管道基底预处理升级技术及应用

整套管道防腐施工的前期核心工作集中在基底处理环节,管材表层的处理质量,对后续防腐覆盖层的附着效果以及长期使用稳定性有着关键影响。以往常规的基底处理手段存在明显局限,清理不够彻底,管道表面堆积的氧化物质、锈蚀残留物和各类附着污物难以完全去除。管材表面残留的微量杂质会干扰涂层贴合效果,造成涂层附着不牢固,经过一段时间运行后出现起皮、脱落等不良现象。改进后的新型基底处理方式重新调整了施工流程,针对管道内外壁表层开展精细化清理作业,能够充分清除各类有害附着物质,让金属基体呈现干净平整的状态。全新处理方式可以合理调控管材表面粗糙程度,塑造适合防腐材料贴合的表层结构,让防腐涂层与金属基体结合更加紧密,提升整体防护结构的完整性。这类优化工艺能够适应输煤排污直埋管线的现场施工条件,无论是新建管线防腐作业还是老旧管线翻新维护都可以适用。严格按照优化工艺完成基底处理,能够有效减少因基底处理不到位引发的防腐失效问题,增强防腐防护体系的耐用程度,为后续防腐工艺实施提供可靠的施工基础。规范标准化的基底处理工序,也能规避施工随机性带来的质量偏差,保障整体防腐工程的施工一致性。

3.2 新型防腐涂层升级技术及应用

管道外部防腐防护主要依靠涂层结构隔绝外界腐蚀介质,材料本身的综合性能以及现场涂装的施工质量,直接影响管线防腐防护的实际成效。常规防腐涂层材料的综合性能较为普通,长期处在输煤排污特殊工况环境下,结构稳定性会逐步下降,陆续出现老化开裂、表层脆变等各类不良现象,无法长期抵抗污水介质与地下土体带来的双重腐蚀影响。经过改良升级的新型防腐涂层材料,耐化学侵蚀特性更为优异,可适配复杂水质环境的长期作用,阻挡腐蚀性离子渗入管道金属基层。改良

涂层整体结构密实度更高,耐磨损耗能力明显提升,能够承受水体持续冲刷带来的机械磨损,避免防护层破损后产生的局部腐蚀病害。同步优化的涂装施工方式可以提升涂层成型质量,保证涂层与处理完成的管道基底紧密结合,减少施工阶段产生的成型缺陷。在输煤排污直埋管线的新建与翻新作业中引入该涂层技术,可构建稳定性更高的防护体系,减缓金属基体的腐蚀损耗速度,切实提升地下管线长期运行的可靠程度^[4]。优质的涂层成型结构可以有效隔离水汽与腐蚀性离子渗透,从物理层面持续保护管道金属基体。

3.3 阴极保护配套升级技术及应用

地下金属管道的防腐防护体系不能单纯依靠涂层防护,阴极防护手段可以作为有效补充,完善管线整体防护能力,弥补单一防护结构存在的缺陷。传统阴极防护装置布设形式较为陈旧,设备运行状态容易受到外界环境干扰,电流输送状态不够稳定。复杂的地下土体环境会造成电流分散损耗,管线各个区段接收的防护效果不均衡,长期运行过程中部分管段会出现防护缺位的情况。经过优化完善的阴极防护配套工艺,重新调整了设备布设形式与匹配方式,贴合输煤排污直埋管线的地下敷设特点,改善整体电流输送状态。优化后的结构布置可以弱化外界环境带来的干扰,减少电流无端损耗,让防护电位稳定作用于管道金属基体。管线防腐涂层出现局部破损时,这套防护结构可以对裸露金属区域形成有效防护,填补涂层防护失效带来的防护空白。现场施工过程中,升级后的阴极防护技术能够与基底处理、新型防腐涂层等工艺相互搭配,构建多层协同的防腐防护体系,全面提升直埋管线对地下复杂腐蚀环境的适应能力。双重防护模式可以互相弥补单一技术的短板,大幅降低管线局部腐蚀失效的发生概率。

3.4 防腐层运维修复升级技术及应用

长期处于地下敷设环境的输煤排污管道,在介质冲刷与土层侵蚀的共同作用下,外层防腐结构会随使用时间慢慢产生老化衰败现象,运维修复工作的落实质量,对管线防护体系的长效稳定有着关键作用。以往常规修复方式的作业标准相对粗糙,仅针对肉眼可见的破损点

位进行填补处理,并未兼顾缺陷周边性能衰减的防护区域,新旧防护结构结合位置存在明显衔接隐患,经过短期运行就会再次出现结构破损问题。经过优化的新型修复技术重新梳理了整套作业流程,在正式修补前完成全方位病害排查与基面处理,对表层起皮、细微开裂、涂层松散等隐蔽问题统一整治,让修复区域和原有防护体系形成完整整体。配套改良的修补材料贴合性更强,可与管道基体及残留防腐层牢固结合,适配地下高湿度的特殊施工条件。改良工艺侧重局部精准修复,最大程度保留状态完好的原有防腐结构,减少施工损耗,提升现场运维作业的精细度。将这套优化技术应用于管线日常养护,可以持续把控防腐结构完整状态,及时处置各类初期病害,稳固管道防护能力,有效拉长管线实际使用年限^[5]。常态化精细化修复作业能够延缓防护体系整体老化进度,保障管线长期处于安全运行状态。

结束语

未来,可结合不同厂区管道敷设环境与工况差异,持续优化防腐升级工艺的适配性,细化基底处理、涂层涂装及运维修复的施工标准。可以进一步整合多项防腐技术的协同优势,完善成套化防腐施工方案,持续提升直埋管道防腐体系的稳定性与耐久性,为工矿输煤排污管线长效安全运行提供更完善的技术支撑。

参考文献

- [1] 刘芙蓉.长距离空调直埋管道接头防腐处理关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026,(7):101-104.
- [2] 周巾棋.高腐蚀性地区埋地钢质管道热熔聚乙烯(3PE)防腐关键技术研究与应用[J].水利技术监督,2026,(5):342-345.
- [3] 郭军,陈儒海.埋地钢质管道防腐层检测技术对比与现场应用[J].石油和化工设备,2026,29(3):294-296.
- [4] 徐伟.钢制直埋保温管道补口施工技术[J].安装,2026,(4):40-43.
- [5] 徐欣.埋地集输管道防腐技术分析及应用[J].石油和化工设备,2026,29(6):300-302.