

重防腐地区管道焊接质量要求及对策研究

贾明辉, 白贵军

(中交建筑集团有限公司, 北京 100022)

摘要 近些年, 海洋环境对工程设施的腐蚀问题日益严重, 尤其是在滨海地区, 由于地下水过度开采导致水质恶化, 进一步加剧了工程设施的腐蚀风险。在滨海地区, 金属设施的耐久性维护面临着严峻挑战。本研究以山东半岛某工业园区供热系统为研究对象, 针对金属构件连接部位出现的侵蚀现象进行了系统性分析, 通过实地考察与实验室检测相结合的方法, 揭示了焊接区域材料性能退化的内在规律, 并据此构建了“高侵蚀环境管道连接质量控制体系”, 研究成果对提升临海工业区金属结构的可靠性具有参考价值, 特别是为恶劣气候条件下设备的长期运行维护方面提供了可行的解决方案。

关键词 重防腐地区; 滨海地区; 管道焊接; 材料

中图分类号: TG457.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.039

0 引言

滨海地区高盐、高湿及地下水超采引发的污染问题, 形成“盐一污”复合腐蚀环境, 导致金属工程设施加速劣化, 其中焊接接头因组织异质性、残余应力及氯离子侵蚀成为腐蚀敏感区, 威胁管道安全。当前研究多聚焦材料防腐性能, 对焊接工艺与腐蚀防护的协同机制缺乏系统性分析, 造成工程防腐措施与环境适配性不足。本文结合工程实践提出了提升焊接质量的综合方法, 以期有关工程实践和从业人员提供有益参考。

1 研究背景

2021 年度国际海洋科技研讨会在青岛成功举办。本届论坛围绕“促进海洋科技发展, 构建海洋生态共同体”这一主题, 深入探讨了当前海洋领域面临的十大科学瓶颈与技术难题。在人类开发利用海洋资源的过程中, 工程设施面临着海水侵蚀特性的严峻考验, 这一问题不仅影响设施使用寿命, 更可能带来潜在的安全风险。因此, 如何在海洋环境中有效防腐并增强工程的抗腐蚀能力, 成为亟待解决的难题。

滨海区域地势平坦, 是盐分和水分的聚集地, 其地下水中硝酸盐的污染水平显著高于内陆。此外, 长期的地下水过度开采导致海水倒灌, 与内陆地下水混合, 进一步加剧了污染问题。这使得滨海地区的地下水环境修复与保护工作变得极为复杂, 未来滨海水环境的治理将面临更加艰巨的任务。

被腐蚀后的金属, 其外在颜色、尺寸形态、使用功能以及机械性能等方面均会受到影响, 造成管道漏

气、设备受损、食材污染, 从而引起爆炸、火灾等恶性事件发生, 同时使得能源资源、自然资源和矿产资源遭受严重浪费, 对国家经济和人民生命安全造成了重大影响。在金属与土壤直接接触的环境中, 腐蚀现象尤为突出, 尤其是在金属焊接接口处。为了准确预测焊接结构的使用寿命, 并避免因焊缝腐蚀引发的设备故障, 学术界对焊口接头的性能进行了广泛研究。因此, 深入探讨焊缝腐蚀的机理, 并提升在强腐蚀环境下金属焊缝接口的质量, 对于延长设备的使用寿命具有重要的现实意义^[1]。

2 工程概述

位于山东半岛渤海湾南侧的某化工园区, 地处潍坊市临海工业带核心区域。该区域能源供应系统依托当地热电联产及石化企业, 通过不同管径 (300 mm 至 750 mm) 的碳钢材质高压蒸汽管道, 向园区内各生产单位输送热能。经环境评估, 该区域属于典型的中度腐蚀环境, 地下敷设的金属管道在周期性干湿交替条件下, 受到地下水的严重侵蚀作用, 导致材料性能加速退化 (见表 1)。

表 1 地基土腐蚀性评价

建筑 材料	腐蚀 介质	单位	腐蚀标准	实测含量	判别
钢结 构	pH 值	/	微: > 5.5	$8.50 \sim 8.65$	微腐 蚀性
	视电 阻率	$\Omega \cdot m$	强: < 20	$16 \sim 18$	强腐 蚀性

该能源输送系统采用高压高温运行参数，工作压力设定为 2.4 兆帕，运行温度达到 350 摄氏度。地下敷设的管道采用复合防护结构，由钢质外壳与聚脲基防腐涂层构成，防护等级达到增强级别，涂层厚度不低于 1 mm。在施工过程中，在回填作业前需使用电火花检测技术对防护层完整性进行验证。为确保连接质量，主管道及其保护套管的所有焊接接头均需实施全数 X 射线检测。该项目对管道的连接工艺及防腐处理提出了严格的技术要求。

3 重防腐地区管道焊接质量问题

在潍坊滨海地区，海洋大气环境对金属设施的腐蚀现象随处可见，如街道广告牌、桥梁护栏、汽车底盘以及储物柜底座等。这些设施的腐蚀问题往往集中在焊接部位。长期在滨海地区施工的企业深知，暴露在外金属构件必须进行防腐处理，尤其是焊接接口，必须确保焊接质量，进行严格的探伤检测，并采取有效的防腐措施^[2]。

4 管道焊接接口腐蚀发生机理

管道焊接在工程维护和安装中应用广泛，但由于焊接接口结构复杂，微观晶体组织特殊，使其成为腐蚀的高发区域。焊接过程中，金属残余应力、焊接缺陷以及金属成分和结构的改变，导致焊缝与母材在受力状态、化学成分和金相组织上存在显著差异，从而降低了焊接接口的耐腐蚀性能。此外，热影响区和熔合线的存在进一步削弱了焊接区域的整体强度。研究焊接接口的耐腐蚀性能，旨在为母材的选择、焊接材料的合理选用以及焊接工艺的科学制定提供理论依据^[3]。

5 重防腐地区管道焊接质量提升对策

5.1 强化母材控制

1. 改良金属材质。通过添加特定材料或合金元素，可以提升金属的耐腐蚀性能，从而延缓腐蚀过程。例如：在钢材中加入镍制成不锈钢，显著增强了其抗腐蚀能力。

2. 附加隔离保护层。在金属表面形成保护层，能够有效隔离腐蚀介质与金属的接触。这些保护层可通过物理、化学或电化学方法实现，主要分为金属和非金属两类。以下是几种常见的保护层形成原理：

(1) 磷化处理：将经过喷砂除锈和清洁处理的钢构件浸入磷酸盐溶液中，在其表面形成一层不溶于水的薄膜，这种薄膜在大气环境中具有良好的抗腐蚀性能。

(2) 氧化处理：将钢构件置于特定溶液中加热，使其表面生成一层蓝色氧化膜，从而实现防腐效果。

(3) 非金属涂层：利用塑料、油漆或油脂等非金属材料覆盖金属表面，形成致密的保护层。例如：本项目的埋地管道采用聚脲防腐层，这是由氨基化合物与异氰酸酯反应生成的胶体物质。

(4) 金属保护层：通过化学或物理方法在金属表面形成另一种金属的保护层，如热镀锡、热浸镀、热镀锌、热镀铅和热镀铝等，这些镀层能显著提升金属的耐腐蚀性能^[4]。

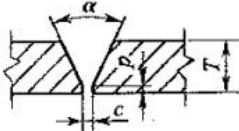
5.2 强化焊接管理

参与工业压力管道安装的焊接技术人员需具备相应资质认证，其持有的操作许可应与施工内容相符，并在有效使用期限内。对于暂停焊接工作超过半年的技术人员，重新上岗前需通过复核测试；年满 55 周岁的从业人员若继续从事焊接工作，须接受发证机构的专项能力评估。在技术人员进场时，项目实施单位应组织专业技能测试：每位技术人员需在直径不小于 200 mm 的管状试样上完成立向和平向两个方位的焊接操作。两个位置的焊缝均需接受无损检测，若任一位置检测不合格，则判定该技术人员未通过考核。

5.2.1 焊接管理分析

1. 坡口打磨。根据《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》，碳素钢和合金钢在采用焊条电弧焊、气体保护电弧焊、自保护药芯焊丝电弧焊及气焊时，其焊接坡口的形式和尺寸需符合相关标准要求（见表 2）。

表 2 焊接坡口形式和尺寸

序号	厚度 d (mm)	坡口名称	坡口形式	坡口尺寸			备注
				间隙 c (mm)	钝边 p (mm)	坡口角度 a/b (°)	
...	...	...		...	...	...	...
2	3 ~ 9	V 形坡口		0 ~ 2	0 ~ 2	60 ~ 65	/
	9 ~ 26			0 ~ 3	0 ~ 3	55 ~ 60	/
...	...	...	...	...	...	...	

根据工程经验,坡口打磨角度应适中,过大会增加焊材用量,导致焊接量增加,影响施工效率,同时也会降低探伤合格率。

2. 焊口对接。钢管接口的间隙和错边量需符合规范。对于厚度为 9~26 mm 的钢板,间隙应控制在 0~3 mm 范围内,内壁错边量不得超过母材厚度的 10%,且最大不超过 2 mm,否则可能造成焊缝未熔合问题。

3. 焊口焊接。焊接前应根据工艺评定报告,调整焊接电流、电压、速度及温度等参数,确保焊接处于最佳状态。

使用自保护药芯焊丝电弧焊、焊条电弧焊或气焊时,风速应控制在 ≤ 8 m/s;采用熔化极气体保护电弧焊或钨极惰性气体保护电弧焊时,风速应 ≤ 2 m/s。在雨雪天气下焊接时,需采取适当的防护措施^[5]。

5.2.2 焊接管理总结

焊接过程中需对焊工技能、母材质量及焊接材料等多方面进行严格管控,以提高焊接质量。基于以上分析,本文针对常见焊缝缺陷的原因进行了探讨(见表 3)。

此外,还可以采用电化学保护(如牺牲阳极法)降低腐蚀速率,改善环境温湿度以减缓介质侵蚀^[6]。

表 3 常见焊缝缺陷的原因

缺陷原因	原因分析
氩气不纯	惰性气体纯度低,导致熔池周边保护效果差
氩气流量不稳定	氩气流量若设置过高,会导致气流速度过快,喷嘴处形成的气体保护层较为薄弱,气流喷出后易产生紊流,形成负压区,从而吸入周围空气,削弱对熔池的保护作用;反之,若流量过低,则难以抵御外界风力的干扰。因此,氩气流量的调节需适中,以确保喷出的气流稳定,有效保护焊接区域
风大	造成氩气保护罩形成湍流,进而使得惰性气体保护失效。当环境风速大于 2 m/s 时应采取挡风措施;焊接管道类金属设备时,还应把一头的管口堵住,避免出现穿堂风现象
焊枪喷嘴	喷嘴太细,氩气的有效保护范围不足以覆盖熔池时,就会造成在焊道产生断断续续气孔
焊枪喷嘴与工件间的距离	距离大,抗风干扰的能力弱
气瓶内压力	压力小,影响氩气流量
焊材影响	焊丝不得使用,不能用埋弧焊的焊丝替代手工钨极氩弧焊的焊丝;焊丝表面有油渍、铁锈、水迹等都会直接促进焊缝中气孔的产生
钨极影响	钨极端部若不尖锐,电弧容易漂移,影响稳定性,同时会破坏氩气的保护作用,导致熔池金属氧化并形成气孔;若钨极伸出过长,氩气对电弧和熔池的保护效果也会下降
坡口未除锈	有夹杂,出现气孔
母材问题	母材中若含有杂质且化学成分分布不均,可能导致焊缝出现气孔等缺陷 沸腾钢不得用氩弧焊进行焊接,因其杂质多、含氧量大

6 结束语

本文以潍坊滨海蒸汽管网项目为例,通过腐蚀形貌表征与电化学测试,揭示了焊接区“电化学—应力—介质”多因素耦合的腐蚀机理,并基于工程实践提出材料优选、工艺参数优化、复合涂层防护及施工标准化等提升焊接质量的对策,为沿海重腐蚀地区金属设备的长效防护提供了技术参考,助力降低运维成本与生态风险。

参考文献:

[1] 涂江洋.高速铁路道岔钢轨焊接接头打磨技术研究[D].

成都:西南交通大学,2015.

[2] 朱延巍,张秀彬.沿海地区高盐高湿环境下电梯主要部件腐蚀现状及防腐蚀措施研究[J].质量技术监督研究,2020(01):43-46.

[3] 白林越,江克斌,高磊,等.残余应力对焊接结构腐蚀行为的影响规律研究[J].电焊机,2018(04):85-90.

[4] 殷亚运,高瑞,罗皓,等.Gr.2 换热管与管板的 TIG 封焊工艺研究[J].热加工工艺,2022,51(11):146-149,154.

[5] 杜娟,李芳,宋海鹏,等.金属表面复合防腐膜的制备及机理研究进展[J].材料导报,2022,36(03):183-190.

[6] 秦志,李斌,张涵,等.金属表面强化后梯度显微结构对力学性能的影响[J].航空制造技术,2022,65(15):41-50.