

发电厂在役管道焊缝腐蚀缺陷渗透检测工艺改进研究

李 星

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 310020

【摘要】：发电厂在役管道焊缝长期处在复杂工况环境，受介质侵蚀、焊接组织差异等影响，易滋生各类隐蔽腐蚀缺陷，直接危及管道结构安全与电力生产平稳。渗透检测是焊缝表面缺陷排查的常用方式，现行通用检测工艺未适配电厂管道专属工况，试剂选型、参数设置及作业流程缺乏规范约束，易出现漏检误检。围绕焊缝腐蚀缺陷特征开展检测工艺优化，完善试剂选配与作业规范，可提升缺陷检出水平，为电厂在役管道安全运维提供技术保障。

【关键词】：发电厂在役管道；焊缝腐蚀缺陷；渗透检测；工艺改进；安全管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.084

引言

管道焊缝作为发电厂热力输送系统的关键连接部位，长期承受复杂工况与腐蚀介质共同作用，热影响区更易萌生各类腐蚀损伤。这类缺陷初期形态细微隐蔽，后续持续扩展易引发渗漏甚至结构失效，给生产运行埋下安全隐患。渗透检测凭借适配表面开口缺陷排查的优势，长期应用于管道焊缝质检环节，通用化作业模式难以贴合现场特殊工况，工艺适配不足、操作标准缺失等问题日渐凸显。优化现有渗透检测工艺，适配焊缝腐蚀缺陷检测实际需求，具备显著的工程应用价值。

1 发电厂在役管道焊缝腐蚀缺陷及检测现状

发电厂在役管道焊缝受运行工况、介质环境及焊接工艺多重作用，腐蚀缺陷具备复杂多发、隐蔽性强的特征。焊缝热影响区金相组织特殊，相较管道本体更易遭受介质侵蚀，常滋生点蚀、缝隙腐蚀与应力腐蚀开裂等病害，各类缺陷会渐进扩展破坏结构完整性，诱发介质泄漏，扰乱电力生产平稳状态。渗透检测是焊缝表面腐蚀缺陷排查的主流方式，依托毛细作用实现缺陷显现判定^[1]。现行通用检测工艺未贴合电厂管道专属工况定制适配方案，试剂选型配比、关键工艺参数缺乏差异化设置，现场作业流程缺少统一规范约束，人为操作偏差突出，极易造成微小腐蚀缺陷漏检误检，整体检测精准度与稳定性能，已无法匹配电厂管道长期安全运维的实际要求。

2 渗透检测工艺改进的核心原则与技术方向

2.1 渗透检测工艺改进的核心原则

渗透检测工艺改进需贴合发电厂在役管道运行特点及焊缝腐蚀缺陷检测实际需求，恪守针对性、可靠性、实用性与经济性基本原则。立足现有检测短板，结合焊缝腐蚀缺陷类别特征与现场工况条件，对检测流程及工艺参数进行精准优化，适配不同材质和腐蚀程度焊缝的检测要求。提升腐蚀缺陷检出灵敏度与判定精准度，规避漏检误检情况，真实还原焊缝腐蚀实际状态。工艺改良保持操作简易化，无需添置复杂设备，适配厂区现场作业环境。合理优选检测试剂与配套设施，严控投入成本，兼顾检测质量与经济效能。

2.2 渗透检测工艺改进的核心技术方向

结合现行工艺短板与改进准则，渗透检测工艺优化从试剂优选、参数调控、流程规范三个层面推进。优先改良渗透剂、清洗剂与显像剂的品类及配比，甄选适配电厂高温高压工况的高性能耗材，强化渗透浸润性能与环境稳定性，弱化清洗环节对有效渗透成分的损耗，强化显像成像清晰度，让细微缺陷直观呈现。依据管道焊缝材质、壁厚及腐蚀状况，科学设定渗透、清洗、显像及烘干等关键环节条件，建立差异化配置体系。贯穿检测全流程明晰作业规范与质控标准，统一现场作业行为，弱化人为干扰，保障工艺执行稳定统一。

2.3 工艺改进的前期准备工作

渗透检测工艺改进的前期准备工作是确保改进工作有序推进、提升改进效果的重要基础，主要包括工况调研、缺陷分析、试剂与设备筛选三个方面。工况调研需全面梳理发电厂在役管道的运行参数，包括介质类型、温度、压力、运行年限等，明确不同管道焊缝的工作环境差异，为工艺改进提供数据支撑（此处不涉及具体数据，仅明确调研方向）。缺陷分析需系统梳理过往焊缝腐蚀缺陷检测案例，总结缺陷的类型、分布规律、形成原因及现有检测工艺的漏检、误检情况，明确工艺改进的重点方向^[2]。试剂与设备筛选需结合工况调研与缺陷分析结果，对比不同类型渗透检测试剂、设备的性能与适用范围，筛选出适配电厂管道检测需求的高性能试剂与便捷型设备，同时完成试剂配比的初步试验，为后续工艺参数优化奠定基础。

3 发电厂在役管道焊缝渗透检测工艺具体改进措施

3.1 检测试剂的优化选型与配比调整

检测试剂性能直接决定渗透检测整体成效，针对现有试剂渗透力偏弱、工况适配性不足的现状，开展试剂优选与配比优化。选用高渗透、高稳定且耐温耐压的专用渗透剂，可快速渗入焊缝微小腐蚀缺陷，工况环境下性能保持稳定。匹配低挥发无残留的专用清洗剂，适度溶解表面多余药剂，不造成内部渗透成分流失，也不会损伤焊缝表层。搭配高灵敏高对比度显像剂，强化缺陷痕迹辨识度。结合焊缝材质与腐蚀状态调整药剂

配比,提升不同工况下的适配能力与检测成效。

3.2 检测关键参数的优化配置

针对现有检测参数设置不合理、适配性差的问题,结合管道焊缝工况与缺陷特征,对渗透时间、清洗时间、显像时间、烘干温度等关键参数进行优化配置。渗透时间的优化需结合焊缝厚度、腐蚀程度及渗透剂性能,对于厚度较大、腐蚀较严重的焊缝,适当延长渗透时间,确保渗透剂充分渗入缺陷内部;对于厚度较薄、腐蚀较轻的焊缝,合理缩短渗透时间,避免渗透剂过度残留,提高检测效率。清洗时间的优化需兼顾清洗效果与渗透剂保留,控制清洗力度与时间,确保清除焊缝表面多余渗透剂的同时,保留缺陷内部的渗透剂,避免漏检^[3]。显像时间的优化需结合显像剂性能与环境温度,在确保缺陷痕迹充分显现的前提下,合理控制显像时间,避免显像时间过长导致痕迹模糊,或时间过短导致痕迹未完全显现。烘干温度的优化需根据管道材质确定,避免高温烘干对焊缝造成损伤,同时确保焊缝表面干燥,提升显像效果。

3.3 检测操作流程的规范化完善

操作流程的规范性是提升检测可靠性的关键,针对现有操作流程不规范、人为影响大的问题,完善检测操作流程,明确各环节的操作标准与质量控制要求。检测前,需对管道焊缝表面进行预处理,清除表面的油污、铁锈、氧化皮等杂质,确保焊缝表面平整、干燥,为渗透检测创造良好条件,预处理后需对表面进行检查,确认无残留杂质后再进入下一环节。检测过程中,严格按照优化后的参数与试剂配比,规范完成渗透、清洗、显像、观察等操作,渗透环节确保渗透剂均匀覆盖焊缝表面,清洗环节控制清洗力度与方向,显像环节确保显像剂均匀涂抹,观察环节采用合适的光源与角度,确保清晰识别缺陷痕迹。检测后,及时对检测试剂进行清理,对检测设备进行维护保养,同时做好检测记录,详细记录检测过程、参数设置、缺陷情况等信息,确保检测过程可追溯,为后续管道安全管控提供依据。

4 渗透检测工艺改进后的应用验证与效果分析

4.1 应用验证的实施方案

为确保改进后渗透检测工艺的可行性与有效性,选取发电厂不同类型在役管道焊缝开展应用验证工作,覆盖不同材质、不同运行年限、不同腐蚀程度的焊缝,确保验证结果具有代表性。验证过程严格按照改进后的检测工艺实施,包括试剂选型与配比、参数设置、操作流程等,均遵循优化后的标准。验证过程中,同步记录检测过程中的各项数据(此处不涉及具体数据,仅明确记录方向),包括缺陷检出数量、缺陷形态、检测时间等,同时与改进前的检测结果进行对比,重点验证改进后工艺在缺陷检出灵敏度、检测效率、检测可靠性等方面的提升效果。验证过程中设置专人负责质量控制,确保操作流程规范、

参数设置准确,避免人为因素影响验证结果的真实性与客观性。

4.2 改进工艺的应用效果评估

结合应用验证过程与对比结果,从缺陷检出能力、检测效率、检测稳定性三个维度,对改进后渗透检测工艺的应用效果进行全面评估。在缺陷检出能力方面,改进后的工艺能够有效检出改进前未发现的微小腐蚀缺陷,尤其是深度较浅、宽度较窄的隐蔽性缺陷,显著提升了缺陷检出灵敏度,减少了漏检、误检现象,能够更全面、准确地反映焊缝腐蚀缺陷的实际情况^[4]。在检测效率方面,优化后的试剂配比与参数设置,缩短了检测流程的整体耗时,同时规范的操作流程减少了重复操作,提升了检测效率,能够满足发电厂大规模管道焊缝检测的需求。在检测稳定性方面,改进后的工艺形成了标准化的操作流程与参数配置体系,减少了人为因素的影响,不同检测人员、不同检测批次的检测结果一致性显著提升,检测可靠性与稳定性得到有效保障。

4.3 应用过程中的问题及优化完善

在改进后工艺的应用验证过程中,也发现部分细节问题需要进一步优化完善。部分特殊材质的管道焊缝,在采用优化后的试剂与参数检测时,显像效果仍有提升空间,主要原因是此类材质表面特性特殊,与显像剂的适配性有待进一步改善。同时,在现场检测环境温度较低时,渗透剂的渗透速度有所下降,影响检测效率。针对这些问题,进一步优化试剂选型,筛选更适配特殊材质焊缝的显像剂,调整低温环境下的渗透时间与烘干温度,确保检测效果与效率。同时,结合应用验证经验,进一步完善工艺实施规范,补充特殊工况下的检测操作要求,确保改进后的工艺能够适配各类复杂工况,全面满足发电厂在役管道焊缝腐蚀缺陷检测的实际需求。

5 渗透检测工艺改进的实践价值与应用推广要点

5.1 工艺改进的实践价值体现

渗透检测工艺的改进,对发电厂在役管道安全管控、电力生产稳定运行具有重要的实践价值。通过工艺改进,显著提升了焊缝腐蚀缺陷的检出灵敏度与检测可靠性,能够及时发现隐蔽性强的微小腐蚀缺陷,为管道缺陷的及时处理提供精准依据,有效降低了焊缝开裂、介质泄漏等安全事故的发生风险,保障了电力生产的连续性与安全性。同时,改进后的工艺优化了检测流程、提升了检测效率,减少了检测成本投入,实现了检测效益与经济效益的双重提升。工艺改进过程中形成的标准化操作流程与参数配置体系,为发电厂在役管道焊缝渗透检测工作提供了规范指导,推动了检测工作的标准化、规范化发展,提升了整体检测水平,为同类发电厂的管道检测工作提供了参考借鉴。

5.2 工艺改进的应用推广条件

改进后的渗透检测工艺要实现广泛应用推广,需具备相应的推广条件,重点包括人员培训、设备配套、标准完善三个方面。人员培训是推广应用的基础,需开展针对改进后工艺的专项培训,讲解工艺原理、操作流程、参数设置、试剂使用等相关知识,提升检测人员的操作技能与专业水平,确保检测人员能够熟练掌握改进后工艺的各项要求。设备配套是推广应用的保障,需配备改进后工艺所需的专用试剂、检测设备等,确保检测工作能够顺利开展,同时加强设备的维护保养,保障设备性能稳定。标准完善是推广应用的关键,需结合改进后的工艺特点,完善相关检测标准与规范,明确工艺实施的各项要求与质量控制标准,为工艺的广泛应用提供统一的指导依据,确保不同发电厂应用改进工艺时能够保持检测效果的一致性。

5.3 工艺应用推广的实施路径

渗透检测工艺改进后的应用推广,需遵循循序渐进、逐步拓展的实施路径,确保推广工作有序推进、取得实效。在试点发电厂开展全面应用,总结应用经验,进一步优化完善工艺细节,解决应用过程中出现的问题,形成可复制、可推广的应用模式。以试点应用为基础,向同类型发电厂进行推广,通过现

场观摩、技术交流、专项培训等方式,介绍改进工艺的优势与应用效果,引导更多发电厂采用改进后的工艺开展检测工作^[5]。最后,逐步扩大推广范围,覆盖不同类型、不同规模的发电厂,同时结合各发电厂的实际工况,对工艺进行针对性调整,确保工艺的适配性与有效性。建立长效跟踪机制,及时收集推广应用过程中的反馈意见,持续优化完善工艺,推动工艺不断提升,更好地服务于发电厂在役管道焊缝腐蚀缺陷检测工作。

6 结语

本文围绕发电厂在役管道焊缝腐蚀缺陷渗透检测工艺改进展开研究,针对现有检测工艺存在的检出灵敏度不足、适配性差、操作不规范等问题,结合管道运行工况与焊缝腐蚀缺陷特征,明确了工艺改进的原则与技术方向,提出了试剂优化、参数调整、流程规范等具体改进措施,并通过应用验证确认了改进工艺的有效性。改进后的工艺显著提升了焊缝腐蚀缺陷的检出能力与检测可靠性,降低了安全事故风险,为发电厂管道安全管控提供了技术支撑,具有重要的实践价值。后续可结合各类发电厂的实际工况,持续优化工艺细节,完善推广应用体系,推动改进工艺在行业内广泛应用,助力电力行业安全稳定发展。

参考文献:

- [1] 裴锋,贾路路,刘书君,等.不锈钢包钢焊缝区的腐蚀失效行为研究[J].电镀与涂饰,2026,45(02):43-51.
- [2] 刘夏城,邹建荣,高良文,等.压水堆核电站不锈钢焊缝材料腐蚀疲劳模型[J/OL].中国腐蚀与防护学报,1-10[2026-04-25].
- [3] 马伟平.管道焊缝的应力腐蚀及其控制措施探讨[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):197-200.
- [4] 张景阳,武子暄.世界在役最大火力发电厂的转型之路[N].科技日报,2025-01-13(006).
- [5] 武子暄.世界在役最大火力发电厂的绿色转型实践[N].呼和浩特日报(汉),2024-12-28(001).