

# 化工压力管道腐蚀损伤的无损检测方法研究与应用

朱俊(江苏省特种设备安全监督检验研究院泰州分院,江苏 泰州 225400)

**摘要:** 化工压力管道作为化工生产过程中物料输送和反应的关键通道,其安全稳定运行至关重要,由于长期受到化学物质的侵蚀、高温高压环境的影响以及介质冲刷等因素的作用,化工压力管道极易发生腐蚀损伤,会削弱管道的强度,还可能导致介质泄漏,引发安全事故。本文主要阐述了化工压力管道腐蚀损伤的无损检测方法,并从磁粉检测、相控阵、超声波检测、涡流检测等方面,进而为相关人员提供参考。

**关键词:** 无损检测; 压力管道; 腐蚀损伤

中图分类号: TQ055.8

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167(2025)020-0163-03

## Research and Application of Non-Destructive Testing Methods for Corrosion Damage in Chemical Pressure Pipelines

Zhu Jun (Taizhou Branch, Jiangsu Special Equipment Safety Supervision and Inspection Institute, Taizhou Jiangsu 225400, China)

**Abstract:** Chemical pressure pipelines serve as critical channels for material transportation and reactions in chemical production processes, and their safe and stable operation is of utmost importance. Due to long-term exposure to chemical corrosion, high-temperature and high-pressure environments, as well as medium erosion, chemical pressure pipelines are highly susceptible to corrosion damage. This not only weakens the pipeline's strength but may also lead to medium leakage, triggering safety incidents. This paper primarily elaborates on non-destructive testing methods for corrosion damage in chemical pressure pipelines, covering magnetic particle testing, phased array ultrasonic testing, ultrasonic testing, eddy current testing, and other techniques, thereby providing a reference for relevant personnel.

**Keywords:** non-destructive testing; pressure pipelines; corrosion damage

化工压力管道腐蚀损伤,会对人员生命财产和环境造成严重威胁,传统的有损检测方法会对管道造成一定的破坏,且检测效率较低,难以满足现代化工企业对管道检测的需求。随着技术的不断发展,采用有效的无损检测方法,可以对化工压力管道进行定期检测和监测,及时发现并评估腐蚀损伤的程度。在具体的应用中,企业应做好培训工作,促使检测人员掌握不同无损检测方法的应用特点及注意事项,如在涡流检测中,常用于检测管道的表面和近表面缺陷,具有检测速度快、非接触式检测等优点。

### 1 化工压力管道腐蚀损伤无损检测方法的应用意义

#### 1.1 保障安全生产,降低企业成本

化工压力管道内的介质通常是具有腐蚀性的化学物质,长期运行中,管道容易发生腐蚀,企业在当前时代背景下,利用无损检测方法,可以提前发现管道因腐蚀产生的缺陷,及时处理管道内壁的锈蚀、裂纹等缺陷,避免管道破裂、泄漏,甚至爆炸、中毒等严重事故的发生,而且化工生产是一个连续性的过程,压力管道作为连接各个生产设备的“血管”,其正常运行对于生产的连续性至关重要,通过无损检测,可以促使企业在管道腐蚀损伤初期就发现问题,及时安

排维修或更换计划,避免因管道故障而导致的生产中断。若没有及时发现管道的腐蚀损伤,当管道出现严重问题时,再进行维修或更换,往往需要花费更高的成本,企业积极应用无损检测方法,可以在问题处于萌芽阶段时就发现,此时进行简单的修复即可,避免了大规模维修和更换管道所带来的巨额费用,如某化工企业发现管道有轻微腐蚀,仅花费了少量的材料和人工成本就完成了修复,若任由腐蚀发展,后期将需要更换整段管道,这将是前者成本的数倍甚至数十倍。压力管道故障会导致生产中断,给企业带来巨大的经济损失,包括原材料浪费、生产进度延迟、产品损失等,通过无损检测预防管道事故,可以减少这些生产损失<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 延长管道使用寿命,保护环境和人员健康

企业通过无损检测,可以全面了解压力管道的腐蚀状况,掌握腐蚀的深度、面积、分布等内容,在此基础是工农准确评估管道的剩余强度和使用寿命,而且基于这些检测结果,企业可以制定合理的管道维护和更换策略,如通过对多条压力管道进行内窥镜检测和壁厚测量,企业可以获取管道腐蚀程度的详细数据,对于那些腐蚀较轻且剩余寿命较长的管道,可以适当延长维护周期,降低成本,而对于腐蚀严重、剩余寿命较短的管道,则及时更换,避免因管道失效带来的

更大损失。

传统的管道维护往往是定期进行全面检修或更换，会造成不必要的资源浪费，无损检测能够根据管道的实际腐蚀情况，为维护计划提供精准依据，实现针对性的维护，企业可以利用红外热成像检测技术对管道的温度变化进行监测，当发现局部温度异常升高时，说明该部位可能存在腐蚀或其他问题，进而有针对性地对该部位进行检查和维护，而不是对整个管道系统进行盲目维修，从而提高维护效率，延长管道的整体使用寿命。化工压力管道一旦因腐蚀而发生泄漏，内部的有毒有害、易燃易爆或腐蚀性化学物质可能会释放到环境中，对土壤、水源、空气等造成严重污染，无损检测有助于避免这种情况的发生，保护生态环境，而且通过无损检测可以及时发现腐蚀并修复管道，保护人们的生命财产安全。

## 2 化工压力管道腐蚀损伤无损检测方法的应用

### 2.1 磁粉检测

检测人员在进行磁粉检测前，应全面收集并仔细审查压力管道的设计文件、施工记录等相关资料，掌握管道材质、规格、使用年限等信息，促使检测人员初步了解管道状况，制定更具针对性的检测方案，同时确保检测环境符合磁粉检测的要求，其环境温度一般在5℃~35℃，相对湿度不宜过高，检测场所保持清洁，无灰尘、油污等杂质，避免干扰磁痕的形成和观察。检测人员应选用合适的磁粉探伤机、磁粉、标准试片等检测设备和耗材，并对其进行校准和检查，保障检查磁粉的粒度、磁性等性能是否符合要求，标准试片用于验证检测设备的灵敏度和准确性。

磁化处理中，应根据压力管道的形状、尺寸、材质以及缺陷的预计位置等因素，选择合适的磁化方法，掌握磁化方法有磁轭法和触头法的应用特点及注意事项，如在磁轭法中，应使用便携式电磁轭两磁极接触工件表面进行局部磁化，适用于检测管道上的局部区域，可在现场进行检测，检测人员应根据所选的磁化方法和管道的具体情况，确定合适的磁化电流，交流电具有趋肤效应，能够提高检测表面缺陷的灵敏度。

检测人员应根据被检测管道的表面状态和检测要求，选择合适的磁粉，根据管道表面粗糙度和缺陷大小选择合适的粒度，确保磁粉能够充分吸附在缺陷处形成清晰的磁痕，使用喷粉器或其他工具将磁粉均匀地喷洒在磁化的管道表面上，喷粉中注意控制喷粉的速度和距离，避免磁粉堆积或漏喷，并在合适的光照条件下，仔细观察管道表面的磁痕，根据磁痕的特征和相关的标准规范，对缺陷进行判断和记录，判断缺陷时需要考虑管道的材质、制造工艺、使用条件等因素，综合分析确定缺陷的性质和严重程度，对于发现的缺陷，应详细记录其位置、尺寸、形状等信息，并拍摄照片或绘制草图作为检测报告的附件<sup>[2]</sup>。检测完成后，检测人员应及时清理现场的磁粉、设备等，保持环境整洁，对于剩余的磁粉要妥善处理，避免对环境造成污染，根据检测结果和记录的信息，编制详细的检测报告<sup>[3]</sup>。

### 2.2 超声波检测

检测人员应选择合适的超声波探伤仪，对于厚度较大的管道，可以选择具有较高发射能量和接收灵敏度的仪器，配备合适的探头，检测前对探伤仪和探头进行校准，使用标准试块来调整仪器的零点、增益和声速等参数，确保检测的准确性，检测前应清除管道表面的防锈漆、铁锈、油污、焊渣等杂质，对于表面不平整的管道应进行打磨处理，保证探头与管壁之间良好的声学接触，对于管道的弯头、三通等曲率变化较大的部位，应根据其曲率半径调整探头的角度和检测方法，或者采用特殊形状的探头进行检测，进而确保超声波能够有效地覆盖检测区域。

检测过程中，企业应合理应用耦合剂，选择耦合剂时考虑其声阻抗与管道材料和探头的声阻抗相匹配，将耦合剂均匀地涂抹在探头与管道表面的接触部位，涂抹量要适当，避免过多或过少，还应根据管道的壁厚和材质选择合适的探头频率，使用探头在管道沿轴线方向进行扫查，检测与管道轴线垂直的缺陷，纵向扫查时保证探头覆盖整个管壁的宽度，并且相邻两次扫查之间要有一定的重叠率，一般重叠率不低于10%，检测人员需要观察波形的幅度、位置、形状等信息。

检测人员应根据回波信号的特征来判断是否存在缺陷，通过对回波信号的时间和幅度进行分析，确定缺陷的位置和大小，如利用超声波在材料中的传播速度和回波的时间差，可以计算出缺陷的深度，根据缺陷回波的幅度和探头的灵敏度余量等因素，估算缺陷的大小<sup>[4]</sup>。

### 2.3 相控阵检测方法

相控阵检测方法应用中，企业应根据化工压力管道的特点（如管径、壁厚、腐蚀预期类型等）选择合适的相控阵检测仪及配套的探头，相控阵探头有多种频率和晶片尺寸可供选择，对于较薄的管道，可选用高频探头以获得更好的分辨率；对于厚壁管道，则需选择低频探头来保证超声波的穿透能力，检测前应对仪器进行校准，确保检测精度，根据管道的几何形状和结构特点制定扫查方案，对于直管段，可以采用线性扫查或螺旋扫查方式；对于弯头、焊缝等特殊部位，

则需要采用扇形扫查或其他合适的角度扫查方式，进而确保对整个检测区域进行全面覆盖。

企业应根据管道的具体情况和检测要求，设置相控阵检测的各项参数，将相控阵探头放置在管道表面，按照预定的扫查方式和速度进行扫查，扫查中，保持探头与管道表面的垂直度和耦合良好性，避免探头移动过快或过慢导致数据采集不完整或不准确，并注意监听仪器发出的信号，观察是否有异常情况，将采集到的相控阵检测数据传输到计算机中，使用专业的相控阵检测软件进行分析，软件可以对数据进行图像重建和处理，生成直观的检测结果图像，如A扫描图、B扫描图、C扫描图等，通过对这些图像的分析，可以识别出管道内部的缺陷信号，如腐蚀坑、裂纹等，并确定其位置、大小、形状等特征。企业应根据数据分析结果，对缺陷进行评估，当发现一个腐蚀坑时，应根据其深度、直径等参数计算剩余壁厚，并与管道的设计壁厚进行比较，判断是否需要修复或更换管道，并将本次检测的结果与以往同部位的检测结果进行对比，观察缺陷的发展情况。

#### 2.4 涡流检测

检测人员在涡流检测中应选择合适的涡流检测仪，其性能应满足检测要求，具有足够的灵敏度和分辨率，能够准确检测到管道腐蚀所产生的微小变化，还应根据管道的材质、直径、壁厚以及检测部位等因素，准备合适的耦合剂，保证探头与管道表面的良好耦合，使涡流能够有效地传入管道，还应准备与被检测管道材质相同或相近的标准试样，试样上应有已知的人为缺陷，用于校准涡流检测仪和探头，建立检测标准和对比依据。

检测人员应使用标准试样对涡流检测仪的增益进行校准，设置合适的增益水平，使检测仪能够准确识别不同程度的腐蚀缺陷信号，调整检测仪的相位，确保对不同类型缺陷的正确识别，护理确定合适的探头提离高度，一般通过试验确定最佳的提离高度，并在检测过程中保持相对稳定，管道进行全面的涡流扫查，扫查中保证探头以恒定的速度沿管道轴线方向移动，并且覆盖整个管道表面，为提高检测的准确性，可从不同角度对管道进行涡流扫查，对于周向缺陷，可采用横向扫查方式，通过多角度扫查，更全面地检测到不同方向的腐蚀缺陷。扫查过程中，涡流检测仪会实时采集管道中的涡流信号，并将其转换为电信号显示在仪器的屏幕上。

信号的幅度、相位、频率等特征包含了管道腐蚀缺陷的信息，观察信号在时间轴上的变化特征，腐蚀缺陷会导致信号幅度发生变化，通过分析信号的时基

特征可以初步判断缺陷的存在和位置，并根据信号的幅度大小来判断缺陷的严重程度，但幅值分析需要结合其他分析方法，如通过对信号相位的分析来确定缺陷的类型，腐蚀坑则会导致信号相位的逐渐变化<sup>[5]</sup>。

#### 2.5 TOFD 检测方法

TOFD 检测方法主要是利用超声波衍射现象，通过测量超声波在缺陷处的衍射信号传播时间来检测缺陷。当超声波遇到缺陷时，会在缺陷尖端产生衍射波，衍射波会沿缺陷两侧传播并被探头接收，该技术具有较高的检测灵敏度和精度，能够更准确地检测出管道中的微小缺陷，而且对缺陷的定位和定量也更为准确，能够为管道的安全评估提供更可靠的数据支持。企业应选择具有高分辨率、高精度的 TOFD 检测仪，根据管道的材质、壁厚、直径等因素选择合适的 TOFD 探头，在进行 TOFD 检测之前应对管道表面进行清洁和打磨处理，锈蚀和涂层等杂质，确保探头与管道表面的良好耦合，选择合适的耦合剂，使用耦合剂时，应均匀涂抹在探头和管道表面之间，避免产生气泡或空隙，采用锯齿形扫查、螺旋形扫查等方式，扫查中保持探头的移动速度均匀，避免出现漏检或重复检测的情况，数据检测中，借助 TOFD 检测仪采集到大量的衍射信号数据，记录检测的时间、位置、探头参数等信息，采用专业的数据分析软件对采集到的数据进行处理和分析，提取出缺陷的特征信息，通过对数据的分析和比较，判断管道是否存在腐蚀损伤以及损伤的程度，为管道的安全评估提供依据。

### 3 结束语

综上，化工压力管道，其腐蚀损伤直接关系到生产安全和环境稳定，无损检测方法因其非破坏性、高效性和准确性等优点。企业在实际检测中应根据管道的材质、壁厚、检测环境以及经济成本等因素综合考虑，选择最为合适的检测方法，并做好技术的研发与创新工作。

#### 参考文献：

- [1] 安洋. 基于化工生产的耐腐蚀管道综合性能探讨 [J]. 化纤与纺织技术 ,2024,53(08):136-138.
- [2] 樊兴. 石油化工工艺管道的腐蚀及防护技术应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44(10):157-159.
- [3] 杨根华, 李星雨, 何叫恒, 等. 在用化工管道定期检验局部减薄缺陷分析及安全状况等级评定 [J]. 石油和化工设备 ,2024,27(03):123-126.
- [4] 张蒲根. 化工装置用消防管道腐蚀特点及快速评估防治 [J]. 全面腐蚀控制 ,2023,37(01):105-107.
- [5] 冯嘉恩. 浅析石油化工管道设计的影响因素及对策 [J]. 新型工业化 ,2022,12(09):25-27+31.