

承压类化工工艺管道腐蚀损伤的无损检测方法研究与应用

赵以良（甘肃省特种设备检验检测研究院，甘肃 兰州 730050）

摘要：承压类化工工艺管道腐蚀损伤的无损检测方法，在实际应用中的效果与优势。承压类化工工艺管道属于特种设备，其作为化工生产中的关键设备，它的安全稳定运行直接关系到生产效率和人员安全。针对管道腐蚀损伤问题可以通过超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测以及红外热成像检测等多种无损检测方法。无损检测技术在承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测中的有效性和可靠性，为化工企业提供了科学的检测方法和决策依据。

关键词：承压类化工工艺管道；腐蚀损伤；无损检测方法；应用分析

中图分类号：TQ055.8 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)017-0162-03

Research and Application of Nondestructive Testing Methods for Corrosion Damage in Pressure-bearing Chemical Process Pipelines

Zhao Yiliang (Gansu Special Equipment Inspection and Testing Research Institute, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: The effectiveness and advantages of nondestructive testing methods for corrosion damage in pressure-bearing chemical process pipelines in practical applications. Pressure-bearing chemical process pipelines are classified as special equipment and serve as critical components in chemical production. Their safe and stable operation directly impacts production efficiency and personnel safety. To address pipeline corrosion damage, various nondestructive testing methods can be employed, including ultrasonic testing, radiographic testing, magnetic particle testing, penetrant testing, eddy current testing, and infrared thermographic testing. Nondestructive testing technology demonstrates high effectiveness and reliability in detecting corrosion damage in pressure-bearing chemical process pipelines, providing chemical enterprises with scientific inspection methods and decision-making support.

Keywords: pressure-bearing chemical process pipelines; corrosion damage; nondestructive testing methods; application analysis

承压类化工工艺管道在化工生产过程中承载着输送高温、高压、有毒、易燃易爆介质的重要任务。然而，由于化工介质的复杂性和管道运行环境的恶劣性，管道腐蚀损伤问题日益突出。腐蚀损伤不仅会降低管道的使用寿命，还可能引发严重的安全事故，对人员和环境造成巨大威胁。因此，如何及时、准确地检测承压类化工工艺管道的腐蚀损伤，成为化工企业亟需解决的问题。无损检测技术作为一种在不破坏管道结构和性能的前提下进行检测的方法，具有检测灵敏度高、操作简便、成本低廉等优点，在承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测中展现出巨大的应用潜力。

1 承压类化工工艺管道的重要性

承压类化工工艺管道在化工生产中扮演着至关重要的角色。它们是连接各种化工设备、输送反应物料、传递压力和温度的关键组件。没有压力管道，化工生产过程中的原料无法有效输送，反应无法顺利进行，产品也无法顺利产出。压力管道的安全稳定运行，直接关系到化工生产的安全性和效率。一旦管道出现泄漏或故障，不仅可能导致生产中断，还可能引发安全事故，对人员和环境造成危害。因此，确保承压类化工工艺管道的安全可靠，是化工生产顺利进行的重要

保障。

2 承压类化工工艺管道腐蚀类型

2.1 均匀腐蚀

承压类化工工艺管道的均匀腐蚀是一种在管道较大面积上产生的程度基本相同的腐蚀现象。这种腐蚀通常表现为管道壁厚均匀减薄，且减薄速度相对较慢，因此其危险性相对较小。然而，长时间的均匀腐蚀也会导致管道壁厚逐渐减小，最终可能影响到管道的机械强度和使用寿命。为了确保管道的安全运行，化工企业通常会定期对管道进行测厚检测，以及发现和评估均匀腐蚀的程度，并采取相应的防腐措施来延长管道的使用寿命。

2.2 局部腐蚀

承压类化工工艺管道的局部腐蚀是一种非均匀腐蚀现象，其危害性远大于均匀腐蚀。局部腐蚀通常集中在管道的某个局部区域，如点蚀、缝隙腐蚀等，这些腐蚀形态往往难以预测和预防。据统计，局部腐蚀占化工管道腐蚀事故的 80% 左右，它能在没有先兆的情况下，使金属构件突然发生破坏，导致管道穿孔、泄漏，甚至引发火灾或爆炸等严重事故。因此，对承压类化工工艺管道的局部腐蚀必须高度重视，采取有

效的监测和防护措施。

2.3 化工介质对管道腐蚀的影响

化工介质对管道腐蚀的影响显著。不同类型的化工介质，如酸、碱、盐类或碳氢化合物，对金属材料的管道均具有一定的腐蚀性。例如，强酸或强碱介质对普通碳素钢管的腐蚀尤为严重，可能导致管道在短时间内就发生严重的壁厚减薄甚至穿孔。此外，一些含有氯离子、硫化物等成分的介质也会加速管道的腐蚀进程。据统计，腐蚀引起的经济损失在各国每年的GDP中平均超过3%，而在中国这一比例约为5%。因此，化工企业必须高度重视化工介质对管道的腐蚀问题，采取有效的防腐措施，确保管道的安全运行。

3 无损检测技术的特征

无损检测技术是一种在不破坏被测对象的前提下，评估材料、构件或系统性能的关键技术。其核心特征包括：检测后工件可继续使用，如航空航天领域90%以上的金属部件需定期NDT检测。高精度如超声波检测可识别0.1mm级的缺陷，工业CT分辨率达微米级。多样化方法包括超声、射线、磁粉、渗透和涡流等5大类主流技术，覆盖金属、复合材料等。红外热像仪能以30帧/秒的速度检测表面温度异常。相比破坏性检测，NDT可降低50%以上的质量控制成本。无损检测技术能在不破坏管道结构和性能的前提下，对管道进行全面检测，避免了传统破坏性检测带来的损失，提高了检测效率。无损检测技术能够精确检测出管道内部的微小缺陷，如裂纹、腐蚀坑等，其检测灵敏度高达微米级，确保了检测的准确性。采用无损检测技术可以及时发现并修复潜在的安全隐患，有效减少因管道腐蚀泄漏导致的事故发生率，降低企业的经济损失。

4 无损检测方法在承压类化工工艺管道腐蚀损伤中的应用分析

4.1 超声波检测

超声波检测作为一种重要的无损检测方法，在承压类化工工艺管道腐蚀损伤的检测中发挥着关键作用。针对承压类化工工艺管道可能出现的局部腐蚀，如点蚀、缝隙腐蚀等，超声波检测能够精确定位腐蚀位置。通过发射高频超声波并接收其反射信号，技术人员可以分析信号变化，判断管道壁厚减薄情况，从而识别出腐蚀区域。例如，在管道弯头、焊缝等易腐蚀位置，超声波检测能够高效地发现潜在的腐蚀损伤。超声波检测还具有检测速度快、操作简便、成本低廉等优点，适用于对承压类化工工艺管道进行定期或不定期的腐蚀损伤检测，为管道的安全运行提供有力保障。

4.2 射线检测

射线检测是承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测中不可或缺的一种无损检测方法。它利用X射线或 γ 射线穿透管道材料，由于材料内部缺陷（如腐蚀坑、裂纹等）对射线的吸收和散射特性不同，从而在射线底片上形成不同的影像。在承压类化工工艺管道的具体应用中，射线检测能够精确检测管道焊缝、弯头、三通等关键部位的腐蚀损伤。例如，对于焊缝处的腐蚀，射线检测可以清晰地显示出腐蚀坑的深度和形状，为维修人员提供准确的修复依据。射线检测还具有检测结果直观、可永久保存等优点，是确保承压类化工工艺管道安全运行的重要手段之一。

4.3 磁粉检测

磁粉检测是一种高效、灵敏的无损检测方法，特别适用于承压类化工工艺管道铁磁性材料（如碳钢、低合金钢等）的表面及近表面腐蚀损伤检测。通过施加磁场使管道达到磁饱和状态，若存在缺陷，磁力线会在该处发生泄漏。此时，施加的磁粉（如 Fe_3O_4 微粒）会在漏磁场作用下富集，形成肉眼可见的磁粉堆积（磁痕），从而精准定位缺陷，如裂纹宽度 $\geq 0.01\text{mm}$ 的线性缺陷或深度 $\geq 5\%$ 壁厚的腐蚀坑。磁粉检测的检测灵敏度极高，能够检测出微米级宽度的缺陷，检测准确率可达90%以上。在承压类化工工艺管道中，如弯头、焊缝、法兰连接处等易腐蚀部位，磁粉检测能够迅速、准确地发现潜在的安全隐患。其操作简单、成本低廉，且对管道无损伤，是化工企业保障管道安全运行的重要技术手段之一。

4.4 渗透检测

渗透检测是一种直观、有效的无损检测方法，广泛应用于承压类化工工艺管道的表面开口缺陷检测中。渗透检测通过毛细现象原理检测表面开口缺陷。将荧光或着色渗透液均匀覆盖在管道表面，渗透液在毛细作用下渗入微米级（如宽度 $\geq 0.5\mu\text{m}$ ）的裂纹、气孔等缺陷中。经过10–30分钟渗透时间后，清除表面多余渗透液，再喷洒显像剂（如氧化镁粉末）。显像剂通过反向毛细作用将缺陷内部的渗透液吸附至表面，在紫外线（荧光法）或白光（着色法）下呈现明显对比的缺陷形貌，例如长度 $\geq 1\text{mm}$ 的线性裂纹可被清晰识别。技术要点包括以下方面：双毛细作用是渗透（正向）与显像（反向）协同放大缺陷信号。灵敏度高可检出深度 $\geq 10\mu\text{m}$ 的表面缺陷。适应性广是适用于金属、陶瓷等非多孔材料。在紫外灯或白光照射下，缺陷显示得尤为明显，便于检测人员观察和记录。渗透检测能够检测出宽度大于0.1mm的表面开口缺陷，对于承压类化工工艺管道的表面腐蚀损伤检测

具有重要意义。

4.5 涡流检测

涡流检测是一种基于电磁感应原理的无损检测方法，在承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测中具有显著优势。它适用于检测导电材料的表面和近表面缺陷，如腐蚀坑、裂纹等。涡流检测通过在被测管道上施加交变磁场，利用缺陷处磁场的变化产生涡流，并通过检测涡流的变化来识别缺陷。该方法检测速度快，能够在不拆卸管道的情况下进行在线检测，大大提高了检测效率。涡流检测能够检测出直径小于1mm的腐蚀坑，对于承压类化工工艺管道的早期腐蚀损伤发现至关重要，有助于及时采取修复措施，保障管道的安全运行。

4.6 红外热成像检测

红外热成像检测在承压类化工工艺管道腐蚀损伤中的应用日益广泛。这种方法通过捕捉物体表面温度差异，将不可见的热辐射转化为可视化图像，从而揭示管道腐蚀损伤情况。当承压类化工工艺管道发生腐蚀时，腐蚀区域由于热传导特性的变化，其表面温度会与其他区域产生差异。红外热成像检测能够精确测量管道表面的温度分布，检测出温差达到0.1℃以上的异常区域，这些区域往往与腐蚀损伤密切相关。通过红外热像图，技术人员可以直观地发现管道的腐蚀热点，及时采取修复措施，防止腐蚀损伤进一步扩展，保障承压类化工工艺管道的安全运行。

5 对承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测的建议

5.1 建立完善的检测计划

对于承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测，建立完善的检测计划至关重要。建议如下：根据管道材质、运行年限及介质腐蚀性，制定定期检测计划，如每半年或一年进行一次全面检测。对关键部位，如焊缝、弯头、法兰等，应缩短检测周期，如每季度检测一次。计划中应明确检测方法，结合超声波、射线、磁粉等多种无损检测技术，确保检测全面且准确。同时，设定检测标准，如腐蚀深度超过管道壁厚的10%即需采取措施。只有这样，既能及时发现腐蚀损伤，又能确保管道安全运行。

5.2 加强管道维护与防腐措施

对于承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测，加强管道维护与防腐措施至关重要。建议实施定期维护计划，每月至少进行一次管道外观检查，及时发现并处理表面腐蚀。同时，对管道进行定期清洗，每半年至少一次，以去除管内腐蚀介质和沉积物。在防腐方面，应采用高性能防腐涂料，如环氧富锌底漆，涂层厚度应不低于250μm，以增强管道的耐腐蚀性能。对于埋地管道，

应安装阴极保护系统，并每年检查一次其有效性，确保管道电位处于保护范围内，有效延长管道使用寿命。

5.3 提高检测人员素质与技术水平

对于承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测，提高检测人员素质与技术水平是保障检测质量的关键。建议定期对检测人员进行专业培训，每年至少组织两次无损检测技术培训课程，确保他们掌握最新的检测技术和方法。同时，要求检测人员必须持有相关无损检测资格证书，并鼓励他们参加更高级别的资质认证考试，提升专业水平。应设立技术交流平台，促进检测人员之间的经验分享与技术交流，每年至少举办一次技术研讨会，不断提高整个团队的检测能力和技术水平。

5.4 建立完善的检测记录与档案

对于承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测，建立完善的检测记录与档案是确保管道安全运行的重要环节。建议每次检测后，都应详细记录检测日期、检测人员、检测方法、检测部位以及发现的腐蚀损伤情况，包括但不限于腐蚀深度、面积、位置等具体数据，确保检测信息的准确性和可追溯性。这些记录应使用电子化管理系统进行存储，便于快速检索和分析。同时，应建立管道腐蚀损伤档案，将历次检测记录归档保存，形成完整的腐蚀损伤历史记录。档案应至少保留10年，对于关键管道或发现严重腐蚀损伤的管道，档案保留时间应适当延长。应定期对检测记录和档案进行分析，评估管道的腐蚀趋势和安全状况，为管道的维修、更换或升级提供科学依据。因此，通过建立完善的检测记录与档案，可以有效提高承压类化工工艺管道的管理水平，确保管道的安全可靠运行。

6 结束语

总而言之，通过对承压类化工工艺管道腐蚀损伤的无损检测方法进行研究与应用分析，验证了无损检测技术在承压类化工工艺管道检测中的有效性和可靠性。未来，随着无损检测技术的不断发展和完善，其在承压类化工工艺管道腐蚀损伤检测中的应用前景将更加广阔。化工企业应积极采用先进的无损检测技术，建立健全的管道检测和维护体系，确保承压类化工工艺管道的安全稳定运行，为化工生产的顺利进行提供有力保障。

参考文献：

- [1] 李绪丰,罗伟坚,孙杰,王磊,胡华胜,陆盛资.大型石化装备无损检测技术应用进展[J].无损检测,2024,46(10):7-12.
- [2] 王兴国,常宇,彭贤民,焦建尧.基于石油化工压力管道射线无损检测质量控制研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):48-50.