

石油化工用压力管道的无损检测技术应用研究

刘 宇

重庆市重科理化计量中心有限公司 重庆 400020

摘 要：在石油化工行业，压力管道是输送油气和其他化学品的关键基础设施。鉴于其操作环境通常具有高压、高温和腐蚀性等特点，管道的完整性至关重要。因此，无损检测（NDT）技术在确保管道安全运行方面发挥着不可或缺的作用。本文综合研究了各种无损检测技术在石油化工压力管道中的应用，包括超声波检测、射线检测、磁粉检测和渗透检测等，评估了它们的优势、局限性以及适用性。

关键词：石油化工；压力管道；无损检测技术；应用

随着石油化工行业的不断发展，对压力管道的安全性和可靠性要求越来越高。由于管道在极端环境下工作，易受到腐蚀、疲劳和外界冲击的影响，产生各种缺陷，如裂缝、凹陷、穿透伤等，这些缺陷若不及时检测和修复可能导致严重的安全事故。无损检测技术因其能够在不破坏材料的情况下评估管道内部和外部的完整性，成为保障管道安全的重要手段。当前，针对石油化工压力管道的无损检测技术已经取得了显著进步，但依然面临诸多挑战。

一、石油化工用压力管道的功能

首先，压力管道在运输过程中起到关键作用。例如，输油管道系统负责将原油和石油产品从一个地方输送到另一个地方，这对于石油储运行业至关重要。由于管道输油具有运量大、密闭性好、成本低和安全系数高等特点，它成为了石油及其产品的主要输送工具之一。其次，管道的设计原则考虑了多个方面，如材料选择和耐腐蚀性要求，以确保在化学环境下的可靠性；压力和温度控制，以保证系统的正常运行；安全性和环保要求，以及定期检修与维护计划，确保系统能够长期稳定运行。最后，除了上述的功能性特点，压力管道在实际应用中还表现出结构上的多样性。例如，MC尼龙管和增强MC尼龙管因其生产工艺简单、结晶度高以及具有耐磨、耐腐蚀、自润滑等性能而被广泛使用。但同时，这些材料的弹性模量较高、尺寸稳定性差以及低温韧性不佳等不足也限制了它们的应用范围，因此需要根据实际需求进行改性和增强。

二、石油化工用压力管道常见缺陷类型及其成因

1. 管体泄露

管体泄露是石油化工压力管道中常见的缺陷之一，

其成因较为复杂。一般而言，管体泄露可能由以下几种因素引起：首先是材料的腐蚀，包括内部介质腐蚀和外部环境腐蚀，如在含有硫化氢、氯离子等腐蚀性介质的油气输送过程中，管内壁可能会发生严重的化学或电化学反应，导致管壁减薄甚至穿孔；其次是管道材料本身的质量问题，如材质不均匀、存在夹杂物或气泡等内部缺陷，这些问题可能在高压或高温的工作条件下引发裂纹并导致泄露；再次是管道连接部位的密封失效，由于法兰、螺栓、垫片等连接件的不当安装或老化，可能造成接口泄露；最后是外力损伤，如施工过程中的机械撞击、地面沉降等，均有可能对管体造成物理损伤而引起泄露^[1]。

2. 焊接缺陷

焊接缺陷是压力管道在制造和维修过程中经常遇到的问题，其成因主要与焊接工艺有关。焊接缺陷通常包括焊缝中的气孔、裂纹、未融合区、夹渣以及焊接热影响区产生的材料劣化等。气孔可能因为焊接材料或工艺中的湿气、污染或不当的焊接参数而形成；裂纹可能是由于焊接过程中的快速冷却导致的热应力过大，或者是因为焊材和母材不匹配引起的金属相变；未融合区和夹渣通常是由于焊接速度不当、焊接材料添加不均匀或者焊接技术不精确造成的；而焊接热影响区的材料劣化则与焊接热循环过程中的微观组织改变有关。

3. 结构不合理

结构不合理主要体现在管道设计阶段，其成因涉及多个方面。首先是设计错误，比如选材不当、壁厚计算失误或者忽视了某些关键的载荷条件；其次是管道布局问题，例如支架设置不合理、管道膨胀节设计不当或者振动控制不足，这些都可能使管道在使用过程中出现

应力集中进而产生缺陷；再次是制造或安装过程中产生的误差，如管道对接不当、支吊架安装不准确等，这些结构性问题都可能在后续运行中引发管道损坏。

4. 电弧烧伤

电弧烧伤通常发生在电气焊接或其他电工作业过程中，其成因主要与电弧放电过程有关。在焊接作业中，电弧放电产生的高温可以瞬间达到几千度，这种高温不仅能够熔化金属，还可能对管道表面造成过热损伤；如果焊接操作不当，如电弧打在非焊接区域，或者焊接时电流过大、时间过长，都可能导致管道材料的晶格结构发生变化，降低材料的力学性能，从而形成潜在的缺陷区域^[2]。

三、常用无损检测技术在压力管道中的应用

1. 超声波检测技术

超声波检测是使用高于20kHz频率的声波来检测材料内部的不连续性，是一种广泛应用于工业领域的无损检测方法。在压力管道检测中，超声波检测技术被用于识别诸如裂纹、腐蚀、焊缝缺陷以及管道壁的减薄等问题。超声波检测的优点包括对操作人员无辐射风险，设备便携，且能提供关于缺陷深度和大小的定量信息。然而，其局限性在于检测结果受到操作人员技能水平的影响较大，且对于某些类型的材料，如多孔或非均质材料，可能无法获得准确的结果。

2. 射线检测技术

射线检测技术利用辐射能量穿透物体并留下影像，通常使用X射线或伽马射线。在压力管道检查中，这种技术特别适用于发现内部缺陷，如气孔、夹杂物、焊缝和焊接不良等。射线检测能够提供管道内部结构的清晰影像，有助于详细分析缺陷的性质和位置。但是，由于涉及辐射的使用，必须采取严格的安全措施以保护工作人员和周围环境不受射线照射的危害。此外，射线检测设备通常比较笨重，需要特定的操作环境和条件。

3. 磁粉检测技术

磁粉检测是一种基于磁感应原理的无损检测方法，专门用于检测铁磁性材料的表层及近表层缺陷。在进行压力管道检测时，首先将管道部分磁化，如果存在表面或亚表面的缺陷，会在这些区域产生漏磁场。随后撒布磁粉，磁粉会被漏磁场吸附，形成可见的图案，从而揭

示缺陷的位置。磁粉检测对于发现裂纹和其他类型的结构缺陷非常有效，而且操作简单、成本相对较低。但是这种方法只适用于铁磁性材料，并且不能用于检测管道的内部缺陷^[3]。

4. 渗透检测技术

渗透检测技术是通过使用特殊的液体来发现材料表面的微小开口缺陷。在压力管道的检测过程中，首先将渗透液涂抹在管道表面，让其充分渗入开放的缺陷中；然后移除表面上未进入缺陷的多余渗透液，并施加一种显像剂，以显示出由缺陷路径留下的渗透液痕迹。着色渗透检测使用有色渗透液，而荧光渗透检测则使用荧光素，后者在紫外线照射下可以提供更高的对比度和更清晰的可视化效果。渗透检测因其高灵敏度、简单的操作过程以及对各种材料适应性强等优点，在管道表面缺陷检测中得到了广泛应用。

结语

综上所述，无损检测技术在石油化工用压力管道中扮演着极其重要的角色。通过应用超声波、射线、磁粉和渗透等检测方法，可以有效识别和评估管道中的缺陷，为管道的安全运行提供保障。然而，随着技术的发展和要求的提高，未来的无损检测技术需要具备更高的灵敏度、更强的数据分析能力和更广的应用范围。此外，结合多种检测技术的融合应用、智能化和自动化水平的提升，以及新材料和新工艺对检测技术的新要求，都是未来研究和发展的方向。持续的研究和技术创新将有助于进一步优化无损检测方法，提高石油化工压力管道的安全性能，从而确保整个行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 石美真, 许子豪, 赵建如. 石油化工用压力管道的无损检测技术应用研究[J]. 锅炉制造, 2024, (03): 53-54+57.
- [2] 袁浩. 石油化工用压力管道的破坏形式及无损检测的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39 (09): 60-61.
- [3] 燕集中. 石油化工用压力管道的破坏形式及无损检测的应用[J]. 石化技术, 2017, 24 (03): 2-3.