

石油化工用压力管道破坏形式分析及其无损检测研究

吴远福 (九江石化设计工程有限公司, 江西 九江 332000)

摘要: 石油化工行业作为国民经济的支柱产业之一, 其生产流程中广泛使用了大量的压力管道。这些管道长期在高温、高压及腐蚀性介质的环境下运行, 其安全性和可靠性直接关系到整个生产流程的稳定运行和人员安全。然而, 由于材料、设计、制造、安装及运行维护等方面的原因, 压力管道在使用过程中可能会出现各种形式的破坏, 如腐蚀破坏、疲劳破坏、蠕变破坏等。这些破坏形式不仅会影响管道的正常运行, 还可能引发严重的安全事故。因此, 对石油化工用压力管道的破坏形式进行深入分析, 并研究有效的无损检测方法, 对于保障石油化工行业的安全生产具有重要意义。

关键词: 石油化工用压力管道; 破坏形式; 无损检测

1 石油化工用压力管道破坏形式分析

1.1 腐蚀破坏

腐蚀破坏是石油化工用压力管道最常见的破坏形式之一, 其主要包括电化学腐蚀、点腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀和氢腐蚀等。

电化学腐蚀主要发生在管道的弯头、法兰等区域, 这些部位由于流体速度变化、介质浓度差异或存在电位差, 易形成腐蚀电池, 导致金属材料的加速腐蚀。点腐蚀则是一种隐蔽性较高的腐蚀形式, 它通常在受热影响区域如焊缝处发生, 腐蚀坑小而深, 易导致管道突然穿孔^[1]。

缝隙腐蚀则是由缝隙溶液的渗透作用导致的腐蚀, 多发生在焊接缺陷区域或管道与支架、保温层等接触部位。这些缝隙中的溶液往往难以流动和更新, 导致溶解氧和腐蚀产物的浓度差异, 加速了腐蚀过程^[2]。

晶间腐蚀主要发生在焊缝位置, 它不影响管道的壁厚和金属色泽, 但会破坏金属的晶间结合力, 导致管道在承受外力时易发生脆性断裂。应力腐蚀则是在拉应力和腐蚀介质共同作用下的破坏形式, 其隐蔽性大, 破坏力强, 常导致管道在无明显变形的情况下突然断裂。

氢腐蚀则是由氢渗透导致金属性能变化的一种腐蚀形式, 主要发生在不锈钢和低合金钢管中。氢原子进入金属内部后, 会与金属中的碳元素结合形成甲烷气体, 导致金属晶格畸变和强度下降, 严重时甚至会导致管道开裂^[3]。

1.2 蠕变破坏

蠕变破坏是石油化工用压力管道在高温高压环境下的一种常见破坏形式。蠕变是指金属在长时间恒定应力作用下, 随时间推移而发生的缓慢塑性变形。当

变形量超过材料的允许值时, 就会发生蠕变破坏。

蠕变破坏的原因主要包括高温高压、管材选用不当、设计布置不合理以及热处理不当等。高温高压环境下, 金属材料的蠕变速率显著增加, 易发生蠕变破坏。管材选用不当则可能导致材料在高温下的蠕变性能不满足要求。设计布置不合理, 如管道支撑不足、热膨胀补偿不足等, 也会加剧蠕变破坏的发生。热处理不当则可能导致材料内部组织发生变化, 影响蠕变性能^[4]。

1.3 脆性破坏

脆性破坏是指管道在承受外力时, 由于材料韧性不足或存在应力集中等因素, 导致管道突然发生脆性断裂的破坏形式。脆性破坏通常发生在低温环境下, 因为低温会降低金属材料的韧性^[5]。

脆性破坏的原因主要包括材料韧性不足、应力集中、焊接缺陷等。材料韧性不足可能是由于材料本身质量不佳或热处理不当导致的。应力集中则可能由于管道设计不合理、安装不当或存在缺陷等原因造成。焊接缺陷如夹渣、未焊透等也会导致管道在承受外力时易发生脆性断裂。

1.4 疲劳破坏

疲劳破坏是指管道在交变载荷作用下, 由于材料内部微观结构的损伤和积累, 导致管道逐渐发生塑性变形并最终断裂的破坏形式。疲劳破坏通常发生在管道的焊缝、弯头、三通等应力集中部位。

疲劳破坏的原因主要包括交变载荷、压力波动、温度变化等。交变载荷可能是由于管道内介质的流动引起的, 也可能是由于外部环境的振动或风载等引起的^[6]。压力波动和温度变化则会导致管道内部应力的变化, 加速疲劳损伤的过程。

1.5 其他破坏形式

除了上述几种常见的破坏形式外，石油化工用压力管道还可能发生延性破坏和冲刷磨损减薄破坏等。

延性破坏是指管道在承受外力时，由于管壁应力达到材料强度极限而发生的破坏形式。这种破坏形式通常发生在管道的薄弱部位或存在缺陷的区域。为预防延性破坏，应加强管道的质量控制，确保管道的强度和韧性满足要求。同时，对管道的薄弱部位和缺陷进行修复和加强。

冲刷磨损减薄破坏则是由介质冲刷导致的管道减薄破坏。这种破坏形式通常发生在管道的弯头、三通等流体速度变化较大的部位。为预防冲刷磨损减薄破坏，应优化管道设计布置，减少流体速度的变化^[7]。同时，选用耐磨性能好的材料，加强管道的维护和保养，及时修复冲刷磨损部位。

2 石油化工用压力管道无损检测技术研究

2.1 无损检测技术概述

无损检测，作为一种在不破坏材料或工件的前提下，对其内部及表面缺陷进行检测的技术，已在众多工业领域中得到了广泛应用。其定义在于，通过特定的物理或化学方法，对材料或工件进行非破坏性检查，以评估其完整性、性能及存在的缺陷情况。无损检测的特点在于其非破坏性、全面性和高效性^[8]。非破坏性意味着可以在不损害材料或工件的前提下进行检测，避免了因检测而造成的浪费；全面性则体现在能够检测材料或工件的各个部位，包括内部和表面；高效性则是指检测速度快，能够在短时间内完成大面积的检测工作。在石油化工行业中，无损检测技术的应用尤为重要^[9]。由于石油化工用压力管道长期处于高温、高压、腐蚀性介质等恶劣环境中，其安全性和可靠性直接关系到整个生产流程的稳定运行。因此，无损检测技术成为确保管道质量、预防事故发生的重要手段。

2.2 无损检测方法

2.2.1 射线检测

射线检测是利用X射线、 γ 射线等具有穿透能力的射线对材料或工件进行内部缺陷检测的方法。射线能够穿透材料，并在遇到缺陷时发生散射或吸收，从而在底片上形成不同的影像。通过观察底片上的影像，可以判断材料或工件内部是否存在缺陷，以及缺陷的类型、位置和大小等信息。在石油化工用压力管道的无损检测中，射线检测主要用于检测焊缝内部的缺陷，如气孔、夹渣、未焊透等。该方法具有检测结果直观、

准确性高等优点，但射线对人体有害，需要采取严格的防护措施^[10]。

2.2.2 超声波检测

超声波检测是利用超声波在材料中传播的特性来检测缺陷的方法。超声波在材料中传播时，遇到缺陷会发生反射、折射或散射等现象，从而改变超声波的传播路径和速度。通过测量超声波的传播时间、速度等参数，可以判断材料或工件内部是否存在缺陷，以及缺陷的类型、位置和大小等信息。超声波检测在石油化工用压力管道的无损检测中具有广泛的应用。它可以用于检测管道壁厚、焊缝质量、金属夹杂物等缺陷。该方法具有检测速度快、灵敏度高、对人体无害等优点，但检测结果受到材料厚度、缺陷类型等因素的影响^[11]。

2.2.3 渗透检测

渗透检测是利用渗透液对材料或工件表面开口缺陷进行检测的方法。渗透液能够渗入表面开口缺陷中，并在干燥后形成明显的痕迹。通过观察痕迹的形状、大小和位置等信息，可以判断材料或工件表面是否存在缺陷。渗透检测在石油化工用压力管道的无损检测中主要用于检测表面裂纹、气孔等开口缺陷。该方法具有操作简单、成本低廉等优点，但只适用于检测表面开口缺陷，对于内部缺陷无法检测^[12]。

2.2.4 磁粉检测

磁粉检测是利用磁粉在磁场中的聚集特性来检测铁磁性材料表面缺陷的方法。当铁磁性材料被磁化后，表面缺陷处会形成漏磁场，吸引磁粉聚集形成磁痕。通过观察磁痕的形状、大小和位置等信息，可以判断材料表面是否存在缺陷。磁粉检测在石油化工用压力管道的无损检测中主要用于检测焊缝、锻件等铁磁性材料表面的裂纹、夹渣等缺陷。该方法具有检测灵敏度高、操作简单等优点，但只适用于铁磁性材料的检测^[13]。

2.2.5 声发射检测

声发射检测是利用材料内部缺陷产生的声发射信号进行检测的方法。当材料受到外力作用或内部缺陷发生变化时，会产生声发射信号。通过接收和分析这些信号，可以判断材料内部是否存在缺陷，以及缺陷的类型、位置和大小等信息。声发射检测在石油化工用压力管道的无损检测中具有独特的优势。它能够实时监测材料内部缺陷的变化情况，及时发现潜在的安全隐患^[14]。此外，该方法还具有检测范围广、灵敏度高等优点。

2.3 无损检测技术的选择与应用

2.3.1 根据管道材质选择

不同材质的压力管道对无损检测方法有不同的适用性。对于铁磁性材料如碳钢管道，磁粉检测和超声波检测是常用的方法。磁粉检测能够有效检测其表面和近表面的缺陷，而超声波检测则对其内部缺陷进行全面检测。对于非铁磁性材料如不锈钢管道，由于无法进行磁粉检测，射线检测、超声波检测和渗透检测则成为主要的选择。射线检测可直观地显示管道内部缺陷情况，超声波检测对内部缺陷尤其是面积型缺陷检测效果良好，渗透检测则用于检测表面开口缺陷^[15]。对于一些复合材料管道，需要根据其具体的组成结构和性能特点，综合选择多种无损检测方法，如可能先采用超声波检测其内部结构完整性，再结合渗透检测检查其表面情况。

2.3.2 根据管道壁厚选择

管道壁厚是选择无损检测方法的重要因素之一。对于薄壁管道，如壁厚小于10mm的管道，射线检测能够获得较为清晰的缺陷影像，因为射线在薄壁材料中的衰减相对较小，能够准确地检测出内部缺陷的细节。超声波检测在薄壁管道中也能较好地发挥作用，其对小缺陷的检测灵敏度较高。对于厚壁管道，尤其是壁厚大于20mm的管道， γ 射线检测由于其较强的穿透能力而具有优势，能够穿透厚壁材料并检测到内部缺陷。超声波检测在厚壁管道检测中也不可或缺，通过调整超声波的频率和探头参数，可以实现对厚壁管道内部不同深度缺陷的检测，但需要注意超声波在厚壁材料中的衰减和多次反射等问题。

2.3.3 根据管道运行工况选择

管道的运行工况包括压力、温度、介质等因素。在高温高压运行的管道，如蒸汽管道，由于其运行条件恶劣，容易产生蠕变、疲劳等缺陷。此时，超声波检测和声发射检测可用于实时监测管道内部缺陷的变化情况。超声波检测可定期对管道进行全面检查，发现潜在缺陷，而声发射检测则可在管道运行过程中动态监测缺陷的活动性，及时发现危险缺陷并预警。对于输送腐蚀性介质的管道，如输送酸、碱溶液的管道，由于容易发生腐蚀减薄和腐蚀开裂等问题，除了定期采用超声波检测监测壁厚变化外，渗透检测和磁粉检测（对于铁磁性材料）可用于检测表面腐蚀缺陷和裂纹^[16]。对于承受交变载荷的管道，如连接往复式压缩机的管道，超声波检测和磁粉检测可用于检测因疲劳产生的裂纹等缺陷，声发射检测则可实时跟踪疲劳裂

纹的扩展情况。

3 结语

通过对石油化工用压力管道破坏形式的分析及无损检测技术的研究，可以为石油化工行业的安全生产提供有力的技术支持。未来，随着科技的不断进步和检测技术的不断创新，相信会有更多高效、准确的无损检测方法被研发出来，为石油化工用压力管道的安全运行提供更加可靠的保障。

参考文献：

- [1] 王兴国,常宇,彭贤民,等.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.
- [2] 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.
- [3] 万雪枫.石油化工用压力管道破坏形式分析及其无损检测研究[J].今日制造与升级,2023(11):188-190.
- [4] 胡开龙.石油化工压力管道射线无损检测质量控制[J].山西化工,2023,43(01):170-171.
- [5] 庞向荣.石油化工压力管道的破坏和无损检测[J].石化技术,2019,26(10):218+174.
- [6] 蒋石锁.关于石油化工压力管道射线无损检测质量控制[J].中外企业家,2019(19):153.
- [7] 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.
- [8] 李建强.浅析石油化工压力管道射线无损检测质量控制[J].清洗世界,2018,34(12):20-21.
- [9] 杜俊杰.石油化工压力管道的破坏和无损检测[J].清洗世界,2018,34(12):75-76.
- [10] 焦建尧,曹雷,胡卫震,等.石油化工压力管道的破坏和无损检测[J].化工设计通讯,2018,44(10):25.
- [11] 杜俊杰.石油化工压力管道的破坏和无损检测初探[J].化工设计通讯,2017,43(07):100-101.
- [12] 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.
- [13] 张毅.石油化工压力管道的破坏和无损检测[J].中国设备工程,2017(03):77-78.
- [14] 郝斌.在用压力容器、压力管道焊缝射线检测技术的优化[J].焊接技术,2016,45(08):90-92.
- [15] 张龙习.压力管道安装监检的一些常见问题[J].特种设备安全技术,2016(02):29-31.
- [16] 钟永富.石油化工压力管道射线无损检测质量控制[J].石油化工设备,2009,38(05):113-116.