

石油化工设备无损检测技术的研究与应用进展

邱前锦 巫广衡 杨冰

茂名海关综合技术服务中心, 广东省茂名市, 525000;

摘要: 随着石油化工行业的快速发展, 设备的安全运行变得尤为重要。无损检测技术作为保障石油化工设备安全的重要手段, 近年来得到了广泛关注和迅速发展。本文综述了当前石油化工设备无损检测技术的研究与应用进展, 重点介绍了超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测等技术的最新研究进展及其在石油化工领域的应用情况, 并展望了未来的发展趋势。

关键词: 无损检测; 石油化工; 超声波检测; 射线检测; 磁粉检测

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 02. 044

引言

石油化工设备在运行过程中, 由于高温、高压、易腐蚀和易燃易爆的特殊工作环境, 容易出现各种缺陷和损伤。传统的检测方法往往需要拆卸设备, 不仅耗时耗力, 而且可能对设备造成损害。无损检测技术能够在不破坏设备的前提下, 对设备的内部和表面缺陷进行检测, 因此在石油化工行业中具有重要的应用价值。

1 无损检测技术概述

无损检测 (Non-Destructive Testing, NDT) 是指在不损害被检对象使用性能和完整性的情况下, 对材料、组件或系统进行检测, 以评估其结构完整性、性能和质量。常见的无损检测技术包括超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测等。

1.1 超声波检测

超声波检测技术是一种非破坏性检测方法, 它利用超声波在不同介质中传播速度和反射特性不同的原理, 对材料内部结构进行无损评估。通过发射超声波并接收其在材料内部传播时遇到的缺陷或界面所反射回来的信号, 检测人员可以分析这些反射波、折射波和透射波, 从而判断材料内部是否存在裂纹、夹杂、空洞等缺陷。

在石油化工行业中, 设备的安全运行至关重要, 因此对设备的检测和维护要求极为严格。超声波检测技术因其高灵敏度、高分辨率和能够对厚壁容器及管道进行有效检测的优点, 在这一领域得到了广泛应用。特别是对于那些难以通过肉眼或常规检测方法检查的部位, 超声波检测技术可以提供更为精确和全面的检测结果。

随着技术的不断进步, 超声波检测设备正变得越

来越便携和智能化, 操作人员可以更加方便地对设备进行定期检查, 及时发现潜在问题并采取措施, 从而保障石油化工设备的安全稳定运行。此外, 随着计算机技术的发展, 超声波检测数据的处理和分析也变得更加高效和准确, 进一步提升了检测技术的应用价值。

1.2 射线检测

射线检测技术是一种非破坏性的检测方法, 它利用 X 射线或 γ 射线穿透材料的能力, 通过分析射线穿透后的强度变化来识别材料内部的结构缺陷。当射线穿过被检材料时, 由于不同密度和厚度的材料对射线的吸收程度不同, 会在射线底片或探测器上形成不同的图像或信号。这些图像或信号的差异能够揭示出材料内部的裂纹、气孔、夹杂等微小缺陷。

射线检测技术在工业领域中应用广泛, 尤其在航空航天、压力容器、管道、桥梁等关键结构的制造和维护中扮演着重要角色。由于其高灵敏度, 射线检测能够发现那些用肉眼或常规检测手段难以察觉的微小缺陷, 从而确保产品的安全性和可靠性。此外, 随着技术的进步, 射线检测设备正变得越来越便携和高效, 进一步拓宽了其应用范围。

1.3 磁粉检测

磁粉检测技术是一种高效且广泛应用于工业领域的无损检测方法, 主要用于检测铁磁性材料, 如钢铁制品的表面和近表面缺陷。该技术的核心在于利用铁磁性材料在磁场中被磁化的特性。检测过程中, 首先会在被检材料上施加一个外部磁场, 这个磁场可以通过电磁铁、永久磁铁或通电线圈产生的。当磁场通过材料时, 如果材料内部或表面存在裂纹、孔洞、夹杂等缺陷, 这些缺陷区域的磁场会发生不连续变化。

由于磁场的这种不连续性, 磁粉会被吸引并聚集

在缺陷处,形成可见的指示标记。这些标记通常呈现出清晰的线条或斑点,从而使得检测人员能够直观地识别出缺陷的位置、大小和形状。磁粉可以是干粉也可以是湿粉,干粉检测适用于粗糙表面,而湿粉检测则适用于光滑表面,因为湿粉可以更好地渗透和覆盖。

磁粉检测不仅操作简便、成本低廉,而且对微小缺陷的检测灵敏度高,因此在压力容器、管道、航空部件、汽车制造等行业中得到了广泛应用。此外,该技术对环境的适应性强,可以在各种不同的工作条件下进行,如室内外、高温或低温环境。不过,磁粉检测也有局限性,它仅适用于铁磁性材料,对于非铁磁性材料如铝、铜等则无法使用。

1.4 渗透检测

渗透检测是一种无损检测技术,广泛应用于工业领域,用于检测金属、塑料、陶瓷等非多孔性材料表面的微小开口缺陷,如裂纹、疏松、砂眼等。该技术操作简便,检测灵敏度高,尤其适用于复杂形状的工件。

首先,将渗透液均匀地涂覆在待检材料的表面。渗透液具有良好的流动性,能够迅速渗入材料表面的开口缺陷中。在渗透过程中,通常需要保持一定的时间,以确保渗透液充分渗入所有微小的开口缺陷。

随后,使用清洗剂对材料表面进行清洗,去除多余的渗透液。清洗剂的选择需根据渗透液的性质来确定,以确保能够有效去除表面渗透液而不影响缺陷中的渗透液。

最后,涂覆显像剂。显像剂能够与渗透液发生反应,使缺陷区域的渗透液显现出来,从而便于观察和评估。显像剂可以是干粉、乳液或液体,根据不同的检测要求 and 环境条件来选择。

通过渗透检测,可以直观地发现材料表面的缺陷,为产品的质量控制在和安全评估提供重要依据。

1.5 涡流检测

涡流检测技术是一种非破坏性检测方法,它依赖于电磁感应原理。当交变电流通过检测线圈时,会在其周围产生一个交变磁场。当这个交变磁场作用于导电材料表面时,根据法拉第电磁感应定律,会在材料内部产生闭合的涡流。这些涡流的分布和强度会受到材料内部结构的影响,尤其是材料中的缺陷,如裂纹、孔洞、夹杂等。涡流检测设备能够测量这些涡流的变化,通过分析涡流的相位、幅度和阻抗等参数,可以判断材料内部是否存在缺陷以及缺陷的性质和位置。

由于涡流检测对表面和近表面缺陷特别敏感,因此它广泛应用于航空、汽车、金属加工和电力等行业,用于检测金属部件的完整性和质量控制。

2 无损检测技术在石油化工设备中的应用

在石油化工行业中,设备的安全运行至关重要,因为这些设备往往承受着高温、高压以及腐蚀性介质的考验。为了确保设备的可靠性和安全性,无损检测技术在设备的整个生命周期中扮演着不可或缺的角色。无损检测技术包括射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测等多种方法,它们能够在不破坏设备的前提下,检测出设备内部或表面的缺陷。

在设备的制造阶段,无损检测技术主要用于确保制造质量。射线检测(RT)和超声波检测(UT)是两种常用的检测方法。射线检测利用X射线或伽马射线穿透设备,通过分析射线穿透后的图像来发现焊缝中的气孔、夹渣、未焊透等缺陷。超声波检测则是通过发射高频声波并接收其反射波来检测材料内部的缺陷,如裂纹、分层等。这两种方法对于焊缝质量的控制至关重要,能够有效预防因焊接缺陷导致的设备故障。

进入设备的运行维护阶段,无损检测技术同样发挥着重要作用。磁粉检测(MT)和渗透检测(PT)是两种常用于检测设备表面缺陷的方法。磁粉检测适用于铁磁性材料,通过在待检物体表面施加磁场,并撒上磁粉,利用磁粉在缺陷处的聚集来显示缺陷的位置和形状。这种方法特别适用于检测焊缝、锻造和铸造件表面的裂纹。渗透检测则是一种更为简便的表面检测方法,通过在清洁的表面上涂敷渗透液,让其渗入表面开口缺陷中,再用显像剂将渗透液从缺陷中吸出,形成可视化的缺陷图像。这种方法对于检测非磁性材料表面的微小裂纹和孔隙非常有效。

除了上述几种方法,无损检测还包括涡流检测、声发射检测、红外热像检测等技术。涡流检测适用于导电材料,通过检测材料内部的涡流变化来发现缺陷。声发射检测则是在设备运行过程中实时监测材料内部裂纹的扩展情况。红外热像检测通过分析设备表面的热分布来发现设备的异常热点,从而推断出潜在的缺陷或故障。

综上所述,无损检测技术在石油化工设备的制造、安装和运行维护阶段都发挥着至关重要的作用。通过这些技术的应用,可以有效地预防和发现设备中的缺陷,保障设备的安全运行,延长设备的使用寿命,减少意外停机和生产损失,从而为石油化工行业带来巨

大的经济效益和社会效益。随着科技的进步,无损检测技术也在不断发展和完善,为石油化工设备的安全运行提供了更加有力的技术支持。

3 无损检测技术的研究进展

无损检测技术是现代工业中不可或缺的一部分,它允许我们对材料和结构进行评估而不损害其未来使用性能。随着科技的不断进步,无损检测技术的研究也取得了显著的进展,特别是在提高检测灵敏度、扩大检测范围、实现自动化和智能化等方面。

在超声波检测技术领域,相控阵技术的应用已经成为提高检测准确性和效率的重要手段。通过电子控制超声波束的传播方向和聚焦点,相控阵技术能够对材料内部进行多角度、多方位的扫描,从而获得更全面的检测结果。此外,TOFD(衍射时差法)技术利用超声波在材料内部的衍射现象,可以精确地检测和定位裂纹等缺陷,其非接触式的检测方式也大大提高了检测的灵活性和安全性。

射线检测技术方面,数字射线成像技术(DR)和计算机断层扫描技术(CT)的应用,使得检测结果更加直观和精确。数字射线成像技术通过数字化的方式记录射线穿透材料后的图像,不仅提高了图像质量,还减少了对环境的辐射影响。计算机断层扫描技术则能够提供材料内部的三维图像,这对于复杂结构的检测尤为重要,能够帮助工程师更准确地识别和评估内部缺陷。

除了上述技术,磁粉检测、渗透检测、涡流检测等传统无损检测方法也在不断改进中。例如,磁粉检测技术通过使用更先进的磁粉和更精确的磁场控制技术,提高了对微小裂纹的检测能力。渗透检测技术则通过改进渗透液的配方和使用更先进的清洗技术,提高了检测的灵敏度和可靠性。

在自动化和智能化方面,无损检测技术也取得了显著的进展。通过集成先进的传感器、机器人技术和人工智能算法,无损检测过程可以实现更高的自动化水平,减少人为操作的误差,提高检测效率。例如,

使用机器视觉和图像处理技术,可以自动识别和分类检测图像中的缺陷,而人工智能算法则可以预测材料的疲劳寿命和潜在的故障风险。

未来,无损检测技术的研究将继续朝着更高的灵敏度、更广的检测范围、更智能的分析和更自动化的操作方向发展。随着新材料、新工艺的不断涌现,无损检测技术也将不断适应新的挑战,为保障工业安全 and 产品质量提供强有力的技术支持。

4 结论与展望

无损检测技术在石油化工设备的安全保障中发挥着不可替代的作用。它通过各种检测手段,如超声波、射线、磁粉、渗透和涡流等,确保设备在运行过程中的完整性与可靠性。随着科学技术的不断进步和创新,无损检测技术正逐步向着更高灵敏度、更广应用范围、更高自动化和智能化水平的方向发展。未来,无损检测技术有望实现更快速、更精确、更经济的检测,为石油化工设备的安全运行提供更加有力的技术支持。这不仅能够提高检测效率,降低维护成本,还能进一步减少因设备故障导致的安全事故,确保石油化工行业的稳定发展。随着新技术的不断涌现,比如人工智能和大数据分析的应用,无损检测技术将更加智能化,能够实时监控设备状态,预测潜在风险,从而实现预防性维护,确保石油化工设备的长期稳定运行。

参考文献

- [1] 李绍元. 压力容器无损检测技术的合理选择与应用研究[J]. 河北农机, 2015(12): 2. DOI: JournalArticle/5b3b5f37c095d70f006fd6a1.
- [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(3): 53-54.
- [3] 张剑敏. 石油化工装置中特种设备无损检测技术的应用[J]. 电脑乐园, 2020(9): 1.
- [4] 高万梁, 高超. 石油化工特种设备检验中无损检验技术的应用[J]. 中国化工贸易, 2019, 011(021): 141.