

压力容器和压力管道检测中无损检测技术的应用研究

董玄吉 张龙龙 董世杰 (黎明化工研究设计院有限责任公司, 河南 洛阳 471000)

摘要: 在现代工业发展中, 压力容器和压力管道的安全性是一个重要的问题, 传统的检测方法存在局限性, 如无法实时监测、无法检测隐蔽缺陷等。因此, 无损检测技术的引入变得尤为重要。本文首先对无损检测技术从定义、优势、前景三个方面进行概述, 再详细介绍射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测、声发射检测、脉冲涡流检测等六种无损检测技术, 为相关研究者提供参考。

关键词: 压力容器; 压力管道; 无损检测技术; 射线检测

0 引言

随着科技的不断进步和社会需求的不断提升, 各种工作的效率与质量需满足更高的要求, 为进一步提高压力容器和压力管道的检测水平, 合理的应用无损检测技术至关重要, 无损检测技术不仅能够满足当前不断变化的工业需求, 还能够提高检测工作效率与质量, 进而保障压力容器和压力管道的安全性, 降低事故的发生率, 保证装置的持续稳定的运行, 提高企业经济效益。

1 无损检测技术的概述

无损检测技术是在不损伤被检物件的完整性和使用性的条件下, 利用电磁波、声波、热、电、磁等非破坏性的物理原理对被检物进行内部或表面缺陷进行检测, 并对缺陷类型、形状、尺寸、位置等做出判断的方法。无损检测的主要特点是不会对被检物造成永久性的改变或破坏, 能够在不损害材料的情况下, 为用户提供关于材料完整性及相应缺陷的详细信息, 对于相关材料的使用和维护具有重要的指导意义。

其次, 无损检测的高灵敏度使得它能够探测到材料及结构中的微小缺陷、裂纹和变形, 这对保证材料的使用性和安全性至关重要。此外, 无损检测技术通常使用仪器设备进行检测, 不需要繁琐的样品准备过程, 操作简单便捷, 一些无损检测技术还能提供实时监测, 可以随时对检测结果进行评估和调整。随着技术的不断发展和创新, 无损检测技术变得更加精确和智能化, 结合人工智能和机器学习算法, 可以实现自动化缺陷识别和数据分析, 提高检测效率和准确性。总之, 无损检测技术在航天、制造、建筑等各个领域都具有广泛的应用前景。

2 无损检测技术的应用

2.1 射线检测技术 (RT)

射线检测技术是使用 X 射线、 γ 射线等穿过被检

测物体, 然后借助胶片、磷光成像板等信息载体对射线的衰减程度进行测量和分析, 以达到检测材料内部缺陷性质、尺寸、位置等目的的检测方法。

在压力容器和压力管道检测中, 对接焊缝焊接接头内部缺陷的检测通常会选用射线检测。在检测焊接接头内部缺陷时, 射线检测技术可以提供较为准确的检测结果, 首先将射线照射到焊接接头处, 然后通过专用设备观察射线在传递路径上的衰减情况, 若某一区域的射线衰减明显异常, 则该区域可能存在内部焊接缺陷, 通过对这些异常区域的进一步分析和判断, 确定焊接缺陷的类型和程度, 采取相应的措施进行修复。射线检测技术对体积状缺陷, 如未焊透、气孔、夹渣、裂纹等检测灵敏度较高^[1], 但对于面状缺陷, 如细小的裂纹、层间未熔合等检测灵敏度低。射线检测具有记录直观、定性定量准确、易于归档保存等优点, 但射线对人体危险性较大, 防护成本较高, 同时胶片和相关药品消耗较大, 劳动强度也较强, 且射线检测难以检测出厚锻件、管材、棒材以及 T 型焊接接头中存在的缺陷。

压力容器和压力管道根据不同的使用要求、不同材质的压力容器焊接接头有不同的质量检测要求, 射线检测技术灵敏度等级分为三级: A 级 - 低灵敏度, AB 级 - 中灵敏度, B 级 - 高灵敏度; 压力容器焊接接头的射线检测一般采用 AB 级。射线检测的质量等级根据焊接接头中存在缺陷性质和数量, 分为 I、II、III、IV 级, 其中 I 级表示焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合、未焊透和条形缺陷; II 级和 III 级表示焊接接头内不允许存在裂纹、未熔合和未焊透; 缺陷评定的质量等级超过 III 级得一律定位 IV 级。

2.2 超声波检测技术 (UT)

超声波检测技术是利用超声波在被检测物体中的传播和反射情况来检测材料的内部缺陷, 具有非破坏

性、高精度、快速响应等优点，对金属材料的检测，声波频率一般为0.5-10MHz。在压力容器和压力管道检测中，超声波检测技术可以用来检测裂纹、夹杂、组织性能等问题，通常应用于焊缝的质量评估、疲劳损伤的监测、管道腐蚀的检测等。

在焊接质量评估中，通过超声波检测可以发现焊缝中的裂纹、气孔等缺陷，从而评估焊接质量，确保结构的安全性能。当焊接过程中产生应力或变形时，裂纹可能形成于焊缝中，超声波检测可以捕捉到这些裂纹的位置和大小，从而帮助相关人员了解焊接结构的损伤程度。气孔是由于焊接过程中熔融金属与空气中的气体反应而产生的，有可能导致焊接结构的强度降低，甚至引发腐蚀，通过超声波检测，可以及时发现并排除这些气孔，确保焊接结构的质量达到要求。疲劳损伤是材料在使用过程中不可避免的现象，在疲劳损伤监测中，超声波检测技术可以实时监测材料的疲劳损伤程度，专业人员通过对声波信号进行分析，能够了解材料内部的应力分布、裂纹扩展等情况，为预防事故提供重要依据，能够帮助相关人员及时采取措施，降低潜在的安全风险，避免结构失效引发安全事故情况的发生。

在管道腐蚀检测中，超声波检测技术可以检测管道表面的腐蚀情况，评估管道的使用寿命和安全性，从而为管道的维护和更换提供依据。同时，超声波检测技术还可以帮助了解腐蚀的原因，为采取针对性的防护措施提供可靠参考^[2]。

超声波检测对面状缺陷，如板材的分层和裂纹产出率较高，对于体积状缺陷，如气孔、夹渣等检测出率较低；适用于金属板材、管材、棒材、钢锻件、焊接接头等的检测，但对于粗晶材料，表面粗糙、形状复杂的工件不适用；同时超声波检测出的缺陷性质或类型判断主要取决于检测人员的水平，且多数情况下超声检测没有明确的记录、缺乏直观性；超声检测技术从低到高分为A、B、C三个等级，检测出的缺陷根据性质、缺陷单个长度、缺陷累计长度等从高到低划分为I、II、III三个等级。

2.3 磁粉检测技术 (MT)

磁粉检测技术是通过在被检测物体表面施加磁场，再通过磁场中添加铁粉或磁粉，以观察材料表面的磁线分布情况，从而检测出表面和近表面的裂纹和缺陷。在压力容器和压力管道实际检测中，当面临需要检测表面裂纹、孔洞和夹杂等问题时，可使用磁

粉检测技术进行处理。通过观察磁粉的分布情况，可以获取相关缺陷的详细信息，包括缺陷的形状、大小、分布范围等，从而为制定合适的修复方案提供参考。同时，还可以根据磁场的分布情况来判断缺陷的性质，如是否为非金属夹杂、是否存在多个孔洞等，有助于更加精确地判断问题所在，从而提高修复效果^[3]。

磁粉检测主要特点是适用于铁磁性材料，非铁磁性材料的检测不能使用，只能检测表面及近表面的缺陷，不能检测内部缺陷；磁粉检测的灵敏度很高，可检测出非常细小的裂纹和缺陷，而且成本低速度快，但是被检对象的形状对检测有影响。焊接接头的磁粉检测一般在焊接工序完成、外管检查合格后进行，磁粉检测质量要求从高到低划分为I-合格、II-不合格两个等级。

2.4 渗透检测技术 (PT)

渗透检测技术是利用液体的特性，通过被检测物体表面的缺陷渗入到物体内部，然后通过染色剂或荧光试剂对渗入的液体进行观察和分析，从而检测表面及近表面的缺陷，以及疲劳损伤。在石油、化工、电力等工业生产中，压力容器和压力管道可能会存在各种微小的裂纹、腐蚀、磨损，以及疲劳损伤等情况，如果不及时检测和修复，可能会引发设备失效，甚至发生安全事故。因此，采用渗透检测技术进行定期检查，可以及时发现并修复这些缺陷，保证设备的正常运行。进行渗透检测时需要先清洁待检测表面，去除杂质和污垢，通常检测人员会使用清洁剂和溶剂进行清洗，确保待检测表面干净、干燥。然后将渗透剂涂覆在待检测表面上，渗透剂通常是黄绿色的荧光渗透液或红色的着色渗透液，由专业检测人员进行喷涂、浸渍或刷涂，保证渗透剂覆盖所有待检部位，让渗透剂在表面停留一段时间，以充分渗透到裂纹和缺陷中，停留时间通常为几分钟到几十分钟，具体根据渗透剂的类型和厚度而定。然后使用吸盘、干燥气流或溶剂擦拭等方法将表面多余的渗透剂去除，留下进入裂纹和缺陷的渗透剂，在待检测表面上施加显像剂。停留几分钟到几十分钟，使用肉眼或适当的照明设备观察被检测表面上的缺陷指示，根据缺陷的大小、形状和位置，对缺陷进行评估和记录。显像剂是一种吸附性粉末或液体，可以使渗透剂从裂纹和缺陷处渗出，并形成可见的缺陷指示。

渗透检测的特点是适用于检测非多孔材料表面的裂纹、疏松、气孔等开口缺陷，对检测环境要求低，

受待检物表面粗糙度影响较大,且渗透检测只能确定缺陷的位置和表面指示长度,无法确定缺陷的深度。对焊接接头,渗透检测质量要求从高到低划分为I-合格、II-不合格两个等级^[4]。

2.5 声发射检测技术

声发射检测技术是一种具有高灵敏度、实时监测、精确定位、易于操作等优点,能有效帮助工作人员探测压力容器和压力管道的微小裂纹、腐蚀和材料破损等缺陷,从而了解结构完整性,及时发现潜在问题的先进检测方法,通过检测材料内部的声波信号来评估结构完整性和健康状态,有助于避免意外情况的发生,保证设备的正常运转,也有利于维护人员的工作安全。

检测时首先确定目标结构和检测区域,使用工具清理表面杂质,如灰尘、油污等,并安装传感器,将其连接到数据采集系统,以便实时传输声发射信号;然后根据被测结构特点和检测要求,对设备进行初始化设置,调整合适的参数和阈值,以便在后续的数据分析中获得准确的结果。同时,还需要根据实际情况调整传感器的灵敏度和响应时间,以适应不同的工作环境和检测需求。

其次进行声发射与数据采集分析,在检测过程中通常会通过手动操作或使用液压设备等方式,对被测结构施加一定的压力或载荷,传感器采集到声波信号,并将这些数据传输至数据采集系统;随后对采集到的声发射信号进行实时分析和处理,计算各特征参数,包括声速、振幅、频率分布等,来评估结构的健康状况。

最后评估结果,将分析结果与预设的标准或规范进行比较,判断结构是否存在缺陷或异常情况如果发现存在问题,需要及时采取相应的措施进行修复或加固。同时,利用专业软件工具,根据评估结果生成包括缺陷位置、类型、大小等详细信息的检测报告,以便于相关人员提出有效的建议和修复方案,确保压力容器和压力管道的安全性,促进使用寿命的延长。

2.6 脉冲涡流检测技术

脉冲涡流检测技术是通过电磁感应原理,对压力容器和压力管道的完整性进行评估,能够探测微小的裂纹、腐蚀、缺陷等表面和近表面缺陷,并能检测多种材料类型的缺陷,且耗时较短。同时,脉冲涡流检测技术可以提供高分辨率的图像,能够清晰显示被测结构中的缺陷细节,有助于精确定位和评估缺陷的大小和形状。因此在压力容器和压力管道检测中,采用

该技术进行安全评估和监测是非常有效的手段。为了充分发挥脉冲涡流检测技术的优势,

首先需要对检测区域的表面进行清理,去除杂质和污染物。

然后根据压力容器或压力管道的实际结构和检测要求,对检测设备的参数、阈值进行合理设置,并选择合适的探头。在进行脉冲涡流检测时,需要将设备探头放置在被测结构的表面上,并通过施加电磁场脉冲激励产生涡流感应信号,这些信号会被检测仪器采集并记录。

然后,对采集到的涡流感应信号,包括信号的幅值、相位、频率等参数,进行实时分析和处理,判断压力容器或压力管道是否存在缺陷。

最后将分析结果与预设的标准或规范进行比较,以判断压力容器和压力管道结构的完整性和可用性,如果发现结构存在缺陷或不满足相关标准,就需要采取相应的解决措施,以确保压力容器和压力管道的安全性能。

总之,脉冲涡流检测技术在压力容器和压力管道安全评估和监测中发挥着重要作用,为保障设备安全运行提供了有力支持^[5]。

3 结论

综上所述,压力容器和压力管道检测水平与相关工作运行的安全性息息相关,应当予以重视。同时,为切实全方位提高检测水平,应当针对不同的实际情况,选择合适的无损检测技术,从而有效促进检测效率与检测准确性的提高,降低检测成本,确保压力容器与管道的安全运行,延长使用寿命,进而提高经济效益,推动相关事业的发展。

参考文献:

- [1] 邢谭芳,李越,邵玉龙.无损检测技术在压力容器和压力管道中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(14):59-61.
- [2] 李越,邵玉龙,邢谭芳.无损检测技术在压力容器检测中的应用[J].内燃机与配件,2023(03):91-93.
- [3] 成琳琳,李茜璐.无损检测技术在聚乙烯压力管道检测中的应用分析[J].石化技术,2021,28(07):86-87.
- [4] 郑学斌.新型无损检测技术在压力管道在线检测中的应用研究[J].内蒙古石油化工,2021,47(05):88-91.
- [5] 罗丽勤,陈鹏.压力管道及压力容器中无损检测技术的应用探讨[J].消防界(电子版),2020,6(06):63-64.