

压力管道无损检测技术的选择依据与多种方法联合应用

赵家旭 邵 瑞 吴 风 段亚雯 (陕西省石化压力容器检验站, 陕西 西安 710000)

摘要: 压力管道在众多工业领域中发挥着关键的输送作用, 其运行的安全性至关重要, 一旦发生泄漏或破裂, 可能会引发严重的安全事故和环境灾难。无损检测技术作为保障压力管道安全的重要手段, 其选择依据及多种方法联合应用的研究显得尤为必要。基于此, 以下对压力管道无损检测技术的选择依据与多种方法联合应用进行了探讨, 以供参考。

关键词: 压力管道无损检测技术; 选择依据; 多种方法联合; 应用

0 引言

随着现代工业的不断发展, 压力管道的结构日益复杂, 所处的工作环境也愈发恶劣。传统单一的无损检测方法往往难以全面、准确地检测出管道中存在的各种缺陷。因此, 深入探讨压力管道无损检测技术的选择依据以及如何有效地联合应用多种方法, 是提高压力管道安全性、可靠性和使用寿命的关键所在。

1 压力管道无损检测技术与多种方法联合应用的优势

1.1 提高检测准确性

压力管道无损检测技术多种方法联合应用能显著提高检测准确性。不同的无损检测技术基于不同的原理, 各自具有独特的检测能力和局限性。例如射线检测 (RT) 基于射线穿透物体时的衰减差异成像, 对体积型缺陷检测效果较好, 但对于垂直于射线方向的平面缺陷可能漏检。而超声检测 (UT) 利用超声波在介质中的传播特性检测缺陷, 对平面缺陷敏感。将两者联合应用时, 可互相补充。RT 检测出可能存在的内部孔洞等体积型缺陷后, UT 可进一步对可疑区域进行详细检测, 确认是否存在 RT 难以发现的平面缺陷, 如微小裂纹等。这种联合应用能够从多个角度对压力管道进行检测, 避免单一方法因自身原理限制而导致的误判, 从而大大提高检测结果的准确性。

1.2 更全面检测缺陷

多种无损检测方法联合应用于压力管道检测可实现更全面地检测缺陷。压力管道可能存在多种类型的缺陷, 如腐蚀、裂纹、夹杂物等, 这些缺陷在管道中的位置、形状和取向各异。单一的检测方法难以发现所有类型的缺陷。例如磁粉检测 (MT) 主要用于检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷, 对于表面开口的裂纹检测效果显著, 但对于管道内部深处的缺陷无能为力。而涡流检测 (ET) 可检测导电材料表面和近表面

的缺陷, 对一些微小的腐蚀坑较为敏感。将 MT、ET 与其他如渗透检测 (PT) 等方法联合使用时, PT 可检测非磁性材料的表面开口缺陷, 这样就能够覆盖压力管道从表面到内部不同深度、不同类型材料的缺陷检测。无论是管道的焊接部位、弯管处, 还是直管段, 多种方法联合应用都能确保对各种可能存在的缺陷进行全面检测, 不放过任何一个安全隐患。

1.3 适应不同管道工况

压力管道在不同的工业环境下运行, 面临着各种各样的工况, 多种无损检测方法联合应用能够很好地适应这些不同的工况。在石油化工行业, 压力管道可能输送具有腐蚀性的介质, 管道内部腐蚀情况较为复杂, 同时外部可能受到高温、高压环境影响。对于这种情况, 超声测厚可以快速测量管道壁厚, 确定腐蚀减薄的程度, 而内窥镜检测可直观查看管道内部的腐蚀形貌、是否存在堵塞等情况。在核能工业中, 压力管道的放射性环境要求检测方法具有安全性和高灵敏度, 此时射线检测与声发射检测相结合就较为合适。射线检测可以在管道安装和定期检查时检测结构缺陷, 声发射检测则能在管道运行过程中实时监测缺陷的扩展情况。在不同的工况下, 通过选择合适的无损检测方法并联合应用, 可以针对特定的工况需求, 准确检测出压力管道的缺陷状况, 保障管道在各种复杂工况下的安全运行。

2 压力管道无损检测技术与多种方法联合应用的原则

2.1 有效性原则

有效性原则是压力管道无损检测技术多种方法联合应用的首要原则。这意味着所选择的联合检测方法必须能够切实有效地检测出管道中可能存在的各类缺陷。要根据压力管道的材质特性来确定有效的检测方法组合。例如, 对于金属材质的压力管道, 如碳钢或

不锈钢管道，超声检测（UT）和磁粉检测（MT）的组合可能是有效的。UT能够检测内部缺陷，MT对表面和近表面的裂纹等缺陷敏感。要考虑管道的运行工况。如果管道处于高温高压环境下，选择的检测方法应在这种工况下仍能正常发挥作用，如射线检测（RT）在高温环境下虽然有一定局限性，但如果与能适应高温的其他检测方法如涡流检测（ET）联合，可在保证有效性的前提下弥补各自不足。

2.2 互补性原则

互补性原则在压力管道无损检测技术联合应用中起着关键作用。不同的无损检测方法具有各自的优势和局限性，联合应用时应使它们相互补充。超声检测（UT）对平面缺陷检测非常敏感，将RT和UT联合起来，就可以实现对管道内部缺陷检测的互补。再如，磁粉检测（MT）主要用于检测铁磁性材料的表面和近表面缺陷，而渗透检测（PT）适用于非磁性材料表面开口缺陷的检测。在检测由多种材料组成的压力管道时，MT和PT的联合使用就能互补各自的检测范围。此外，从检测精度方面来看，一些检测方法可能精度较高但检测范围有限，另一些方法检测范围广但精度稍低，通过联合应用使它们在精度和范围上相互补充，从而更全面准确地检测压力管道。

2.3 经济性原则

经济性原则在压力管道无损检测技术多种方法联合应用中不可忽视。在确保检测质量的前提下，要考虑检测成本的控制。设备成本是重要因素。不同的无损检测方法需要不同的设备，有些设备价格昂贵，如某些高端的射线检测设备。在选择联合检测方法时，要权衡是否有必要使用这种高成本设备，如果有其他成本较低的方法组合能够满足检测需求，就应优先选择。人力成本也需考虑。一些检测方法需要专业的操作人员，且操作复杂、耗时较长，相应的人力成本就高。选择联合检测方法时，应尽量选择操作相对简单、培训成本低的方法组合，以降低人力成本。还要考虑检测过程中的耗材成本、设备维护成本等，综合各方面成本因素，选择最经济且能满足检测要求的联合检测方法。

3 压力管道无损检测技术的选择依据

3.1 管道材质

管道材质是压力管道无损检测技术选择的重要依据。不同的材质具有不同的物理和化学性质，这直接影响着检测技术的适用性。磁粉检测（MT）可以检测

出碳钢管道表面和近表面的裂纹等缺陷，因为铁磁性材料在磁场作用下，缺陷处的磁力线会发生畸变，从而显示出缺陷的存在。对于不锈钢等非磁性金属材料，磁粉检测就不再适用，而渗透检测（PT）则更为合适。PT通过毛细现象使含有颜料或荧光剂的渗透液渗入表面开口缺陷，然后通过显像剂将缺陷显示出来，可有效检测不锈钢管道的表面缺陷。

对于复合材料制成的压力管道，超声检测（UT）是较好的选择。UT利用超声波在不同介质中的传播特性，能够检测复合材料内部的分层、孔隙等缺陷。因为复合材料的结构较为复杂，内部的缺陷类型与金属材料有所不同，UT能够穿透复合材料并根据反射波的情况判断缺陷的位置和性质，所以根据管道材质的特性选择合适的无损检测技术是确保检测有效性的关键。

3.2 管道运行环境

如果压力管道处于高温环境下，像在一些化工企业的蒸汽输送管道，某些检测技术可能会受到限制。此时，射线检测（RT）或者高温适用的超声检测（UT）设备可能更为合适。射线检测可以穿透高温的管道壁，通过检测射线的衰减来判断管道内部的缺陷情况；而特殊的高温UT设备能够在高温环境下正常工作，检测管道内部的缺陷。当压力管道处于高湿度或者腐蚀性环境时，检测技术的选择也要谨慎。高湿度环境可能影响检测设备的电子元件性能，所以要选择具有防潮性能的设备。对于腐蚀性环境，若管道表面容易被腐蚀，那么磁粉检测（MT）时要考虑磁粉是否会与腐蚀产物发生化学反应而影响检测结果。在这种情况下，可能需要先对管道表面进行处理后再进行MT检测，或者选择对表面腐蚀情况不太敏感的检测技术，如涡流检测（ET），它可以在不破坏管道表面的情况下检测表面和近表面的缺陷，适用于腐蚀性环境下的压力管道检测。

3.3 管道缺陷类型预期

管道缺陷类型预期是选择压力管道无损检测技术的重要依据。不同的无损检测技术对不同类型的缺陷具有不同的检测能力。如果预期压力管道中可能存在内部的体积型缺陷，如气孔、夹杂物等，射线检测（RT）是比较理想的选择。RT通过向管道发射X射线或 γ 射线，根据射线穿透管道后的衰减情况形成影像，能够清晰地显示出管道内部体积型缺陷的形状、大小和位置。若怀疑管道存在表面或近表面的裂纹缺

陷,对于铁磁性材料的管道,磁粉检测(MT)会很有效。MT利用磁性材料在缺陷处的磁力线畸变来显示裂纹的存在,能快速准确地定位表面和近表面的裂纹。而对于非铁磁性材料的管道表面裂纹检测,渗透检测(PT)则是较好的选择,PT可以检测出非常微小的表面开口裂纹。当预期管道存在内部的平面型缺陷,如分层等,超声检测(UT)是首选技术之一。

4 压力管道无损检测技术的多种方法应用

4.1 射线检测

射线检测是压力管道无损检测技术中的一种重要方法。它主要基于射线(如X射线、 γ 射线)穿透物体时强度的衰减特性来检测管道内部的缺陷。在压力管道检测中,射线检测能够提供直观的管道内部影像。当射线穿透压力管道时,由于管道内部缺陷(如气孔、夹杂物等体积型缺陷)与管道基体对射线的吸收程度不同,在成像板或胶片上就会形成不同的灰度影像。对于焊接部位的检测,射线检测可以清晰地显示出焊接缺陷,如未焊透、未熔合等情况。通过分析影像的形状、大小和灰度变化,检测人员能够准确判断缺陷的类型和严重程度。这种检测方法适用于各种材质的压力管道,无论是金属管道还是非金属管道,只要射线能够穿透,就可以进行检测。射线检测也存在一些局限性。它对垂直于射线方向的平面缺陷可能不敏感,而且射线源具有一定的辐射危害,需要采取严格的防护措施。

4.2 超声检测

超声检测是利用超声波在压力管道中的传播特性来检测缺陷的方法。超声检测设备向管道发射高频超声波,当超声波遇到管道内部的缺陷、界面或管道后壁时会发生反射。通过分析反射波的时间、幅度和波形等特征,就能够确定管道内部是否存在缺陷以及缺陷的位置、大小和性质。对于压力管道而言,超声检测对平面型缺陷(如裂纹)具有较高的检测灵敏度。在管道的制造和安装过程中,尤其是在焊接区域,超声检测能够有效地检测出焊接裂纹等缺陷,这对于保障管道的安全性至关重要。它还可以测量管道的壁厚,及时发现因腐蚀或磨损等原因导致的壁厚减薄情况。超声检测的优点在于它能够检测较厚的管道,并且对人体无辐射危害。但是,超声检测的结果解读相对复杂,需要检测人员具备较高的专业知识和丰富的经验。

4.3 磁粉检测

磁粉检测主要用于检测铁磁性材料压力管道的表

面和近表面缺陷。在检测过程中,将磁场施加于被检测的管道部位,使管道被磁化。如果管道表面或近表面存在缺陷,如裂纹、夹杂物等,由于缺陷处的磁导率与管道基体不同,磁力线会在缺陷处发生畸变,形成漏磁场。将磁粉(通常为黑色或荧光磁粉)喷洒或涂覆在管道表面,磁粉会被漏磁场吸附,从而显示出缺陷的形状和位置。磁粉检测对于表面开口的裂纹检测效果尤为显著,能够快速、直观地发现缺陷。在压力管道的焊接部位,磁粉检测可以有效地检测出焊接过程中产生的表面裂纹,防止因裂纹扩展而导致的管道泄漏或破裂。磁粉检测也有一定的局限性。它只能用于铁磁性材料的管道,对于非铁磁性材料(如不锈钢、铜等)则无法使用。磁粉检测后的清洗工作较为重要,如果磁粉残留可能会影响管道的后续使用或其他检测工作的进行。

5 结束语

合理选择压力管道无损检测技术并联合应用多种方法是确保压力管道安全运行的关键。这不仅需要考虑管道自身的其他因素,还需要不断探索新的检测技术和联合应用模式,以适应日益复杂的工业需求,保障工业生产的安全稳定进行。

参考文献:

- [1] 卢宁浩,吴高锋.压力管道裂纹检验中无损检测技术分析[J].模具制造,2024,24(07):252-254.
- [2] 何承浩,张家兴,赵俊松,等.无损检测技术在压力管道检验中的运用研究[C]//《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册).云南润诺建筑工程检测有限公司,2024:2.
- [3] 沈锦军,罗展慧.无损检测技术在压力容器和压力管道检验中的应用[J].设备监理,2024,(03):58-61.
- [4] 程凯.无损检测技术在压力管道检验中的运用研究[J].中国设备工程,2024,(08):185-187.
- [5] 赵一国,刘喜平.新型无损检测技术在压力管道在线检测中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(19):175-177+180.
- [6] 强敏娜,张良,王永乐,等.在用压力管道裂纹检验中无损检测技术分析[J].山西化工,2023,43(01):160-161+166.
- [7] 张盼,付明东,李晓旭,等.压力管道无损检测技术及应用[J].管道技术与设备,2020,(02):29-33.