

压力管道无损检测技术的选择依据与多种方法联合应用

温学鹏（甘肃省特种设备检验检测研究院，甘肃 兰州 730050）

摘要：随着工业的快速发展，压力管道的应用日益广泛，其运行状况直接关系到整个工业系统的稳定与安全。无损检测技术在压力管道方面发挥着不可替代的作用。然而，不同的压力管道在多方面存在差异，这就要求我们深入研究无损检测技术的选择依据，并探索多种检测方法联合应用的策略，以实现对压力管道全面、精准的检测。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

在现代工业领域，压力管道作为物料输送的关键设施，其安全性至关重要。由于压力管道长期受多种因素影响，可能产生各种缺陷。无损检测技术作为保障压力管道安全运行的重要手段，如何依据管道的具体情况选择合适的检测技术，以及如何联合应用多种方法来提高检测准确性，成为了工业安全领域亟待深入探讨的关键问题。

1 压力管道无损检测技术多种方法联合应用的优势

1.1 提高检测准确性

多种无损检测技术联合应用能够显著提高检测准确性。不同的无损检测方法对不同类型和位置的缺陷具有不同的敏感度。例如，超声检测对内部平面型缺陷较为敏感，而磁粉检测更擅长发现表面及近表面的裂纹。当单独使用一种方法时，可能会遗漏某些类型的缺陷。通过联合应用，如先使用磁粉检测对管道表面进行快速筛查，再利用超声检测对可疑区域进行深度检测，能够全面地检测出各种潜在缺陷，从而大大提高检测结果的准确性，为压力管道的安全评估提供更可靠的依据。

1.2 扩大检测覆盖范围

压力管道无损检测技术多种方法联合应用有助于扩大检测覆盖范围。压力管道结构复杂，包括直管段、弯头、三通等不同部件，且其可能存在的缺陷分布在不同的位置，如内壁、外壁、焊缝等。单一的检测方法往往难以覆盖所有的区域和缺陷类型。射线检测可以有效地检测管道内部的缺陷，但对于一些形状复杂的部位可能存在检测盲区；而涡流检测则可用于检测薄壁管道的表面和近表面缺陷。将多种检测方法相结合，可以针对管道的不同部位和不同类型的缺陷进行检测，确保没有检测死角，实现全方位的检测覆盖。

1.3 增强缺陷定性能力

多种无损检测技术联合应用能够增强对压力管道缺陷的定性能力。不同的检测方法所提供的关于缺陷的信息是不同的。例如，渗透检测可以清晰地显示出缺陷的形状和位置，但对于缺陷的深度等信息难以提供准确数据；而超声检测能够测量缺陷的深度、大小等参数。当把这两种方法联合使用时，一方面可以通过渗透检测直观地看到缺陷的外观特征，另一方面利用超声检测得到缺陷的深度等定量信息，从而更全面地对缺陷进行定性分析，准确判断缺陷的性质，如确定是制造过程中的夹杂还是使用过程中的疲劳裂纹等。

2 压力管道无损检测技术的原则

2.1 安全性原则

安全性原则作为压力管道无损检测技术的首要原则，有着不可替代的重要性。压力管道在工业生产进程中扮演着输送各类介质的关键角色，像石油、天然气、化工原料等介质都依赖压力管道进行传输。一旦管道发生泄漏或者破裂等意外情况，极有可能引发诸如爆炸、火灾、中毒之类的严重安全事故，这不仅会对人员生命安全造成巨大威胁，还会给企业带来难以估量的经济损失以及对环境造成严重破坏。无损检测技术务必保证能够及时且精准地发现管道内部存在的潜在危险缺陷，无论是内部的腐蚀、裂纹，还是焊接部位的缺陷等都不应被遗漏。并且在检测期间，绝不能对管道自身产生损害，否则可能引发新的安全风险。检测结果必须能够为管道的安全评估给予可靠的依据，从而可以及时地开展维修、更换等操作，确保压力管道在其整个生命周期内都能够安全稳定地运行。

2.2 准确性原则

准确性原则在压力管道无损检测技术中至关重要。压力管道的运行状况取决于对其缺陷的精确检测

与评估。准确的检测能够明确缺陷的类型，如区分是表面缺陷还是内部缺陷，是裂纹、孔洞还是夹杂等。还能确定缺陷的位置、大小和深度等关键参数。这有助于对管道的剩余强度和剩余寿命进行精确计算。如果检测结果不准确，可能导致对管道状况的误判，使得存在严重缺陷的管道继续运行，增加安全风险；或者对本可正常运行的管道过度维修，造成不必要的资源浪费。

2.3 经济性原则

经济性原则是压力管道无损检测技术需要考虑的重要方面。在满足安全性和准确性要求的前提下，应尽量降低检测成本。这包括检测设备的购置、使用和维护成本，以及检测人员的人力成本等。对于大型的压力管道系统，检测范围广泛，如果检测方法过于昂贵或复杂，会使检测成本大幅增加。例如，某些高精度的无损检测设备虽然检测效果好，但价格高昂且操作复杂，需要综合考虑管道的重要性、使用年限、介质危险性等因素来选择合适的检测技术。同时，合理安排检测周期，避免过度检测，也是体现经济性原则的重要方式。

3 压力管道无损检测技术的选择依据

3.1 管道材质

管道材质是选择压力管道无损检测技术的重要依据。不同的材质具有不同的物理和化学特性，这会影响到检测方法的有效性。例如，对于铁磁性材料（如碳钢管道），磁粉检测是一种有效的方法。铁磁性材料工件被磁化后，由于不连续的存在，使工件表面和近表面的磁感应线发生局部畸变产生漏磁场，吸附施加在工件表面的磁粉，在合适的光源下形成肉眼可见的磁痕。而对于非铁磁性材料（如奥氏体不锈钢材料，用奥氏体不锈钢材料焊条焊接的焊缝，铜、铝、镁、钛合金等非磁性材料），磁粉检测就无法适用，此时渗透检测可能更为合适。

渗透检测通过将含有颜料或荧光剂的渗透液渗入表面开口缺陷，然后通过显像剂显示出缺陷的痕迹。对于一些复合材料管道，超声检测可能是较好的选择，超声可以穿透材料内部，检测出内部的分层、脱粘等缺陷。不同材质对射线的吸收和散射特性不同，在进行射线检测时也需要根据材质进行调整，以确保能够清晰地检测到缺陷。

3.2 管道结构特点

管道的结构特点在选择无损检测技术时起着关键

作用。压力管道的结构复杂多样，包括直管段、弯头、三通、变径管等不同部件。对于直管段，射线检测或超声检测可能较为适用。射线检测能够提供管道内部缺陷的直观图像，对于检测内部的气孔、夹渣等缺陷效果较好；超声检测则可以准确地测量直管段内部缺陷的深度和大小。然而，对于弯头和三通等形状复杂的部位，射线检测可能存在盲区，因为射线的传播方向相对固定。涡流检测或磁粉检测可能更有优势。涡流检测对于检测薄壁管道的表面和近表面缺陷非常有效，而且可以快速扫描复杂形状的表面；磁粉检测能够方便地检测出这些部位表面的裂纹。对于变径管，由于其管径的变化，需要选择能够适应不同管径检测要求的技术，如采用可调节探头的超声检测设备。

3.3 检测成本与效率要求

检测成本与效率要求是压力管道无损检测技术选择的重要考量因素。在大规模的工业生产中，压力管道系统往往庞大而复杂，如果检测成本过高，会给企业带来沉重的经济负担。例如，一些高端的无损检测设备，如相控阵超声检测设备，虽然具有高精度、高分辨率等优点，但设备本身价格昂贵，操作和维护成本也较高。对于一些对安全性要求不是极高、缺陷类型相对简单的压力管道，可以选择成本较低的常规检测方法，如磁粉检测和渗透检测，它们操作简单，设备成本低。

同时，效率也是不可忽视的方面。在一些需要快速检测大量管道的情况下，如新建管道工程的验收检测，需要选择检测速度快的方法。涡流检测速度较快，可以在短时间内对管道表面进行大面积扫描；而射线检测相对较慢，因为它需要对每一个检测区域进行曝光、成像等操作，所以在效率要求高的情况下可能不是首选，除非对检测精度有特殊要求。

4 压力管道无损检测技术与多种方法联合应用

4.1 超声检测与射线检测联合应用

超声检测和射线检测是压力管道无损检测中常用的两种方法，将它们联合应用能发挥诸多优势。超声检测利用超声波在管道材料中的传播特性来检测缺陷，对内部缺陷的定位和定量较为准确，尤其适用于检测管道壁厚方向的缺陷，如分层、内部裂纹等。它的优点是检测速度相对较快，对人体无辐射危害，且设备便于携带。然而，超声检测的结果图像不直观，对检测人员的经验和技能要求较高。

射线检测则是通过射线穿透管道，根据不同部位

对射线吸收程度的差异来显示缺陷,其最大的优势在于能够提供直观清晰的缺陷影像,对于检测管道内部的气孔、夹渣等体积型缺陷非常有效。但射线检测存在辐射危害,设备相对笨重,检测成本较高且检测速度较慢。将超声检测与射线检测联合应用时,可先用超声检测对管道进行快速筛查,确定可能存在缺陷的区域。然后针对这些区域再使用射线检测,以获得缺陷的直观影像,从而更准确地判断缺陷的性质、形状和大小等。这种联合应用方式弥补了各自的不足,提高了检测的准确性和可靠性,在对压力管道的关键部位或高风险区域检测时效果显著。

4.2 磁粉检测与渗透检测联合应用

磁粉检测和渗透检测在压力管道表面及近表面缺陷检测方面各有特点,二者联合应用可实现更全面的检测。磁粉检测主要用于铁磁性材料的压力管道,基于缺陷处磁力线畸变吸附磁粉显示缺陷的原理。它对表面和近表面的裂纹等缺陷检测灵敏度高,操作相对简便,能够快速发现缺陷,并且检测结果直观可见,检测成本较低。但是磁粉检测只能用于铁磁性材料,对于非铁磁性材料则无法适用。渗透检测则不受材料磁性的限制,可用于各种材料的压力管道检测。它通过渗透液渗入表面开口缺陷,再经显像剂将缺陷显示出来。

渗透检测对于表面开口缺陷的检测效果较好,能够清晰地显示出缺陷的形状和位置。然而,渗透检测过程相对繁琐,检测周期较长,且对检测人员的操作要求较为严格。当磁粉检测与渗透检测联合应用时,对于铁磁性材料的压力管道,先采用磁粉检测可以快速、低成本地检测出大部分表面和近表面的裂纹等缺陷。然后再使用渗透检测对磁粉检测难以发现的微小开口缺陷或复杂形状部位进行补充检测。对于非铁磁性材料的压力管道,则直接采用渗透检测,并可根据具体情况考虑是否需要其他辅助检测方法。这样的联合应用可以最大限度地检测出压力管道表面及近表面的各类缺陷,保障压力管道的安全运行。

4.3 涡流检测与超声检测联合应用

涡流检测和超声检测联合应用在压力管道无损检测中也具有重要意义。涡流检测是基于电磁感应原理,当交变磁场作用于导电的压力管道时,会在管道内产生涡流,管道的缺陷会影响涡流的分布,进而被检测出来。涡流检测的优势在于对薄壁管道的表面和近表面缺陷检测速度快,能够进行大面积的快速扫描,并

且设备轻便,操作简单。不过,涡流检测只能检测表面和近表面缺陷,对较深缺陷的检测能力有限,且检测结果受管道材质、形状等因素影响较大。超声检测如前文所述,对管道内部缺陷的定位和定量准确,可检测不同深度的缺陷。将涡流检测与超声检测联合应用时,利用涡流检测对薄壁压力管道进行快速的初步检测,迅速发现表面和近表面可能存在的缺陷区域。然后针对这些区域,尤其是对于涡流检测提示可能存在较深缺陷的部位,使用超声检测进行深入检测,准确确定缺陷的深度、大小等参数。这种联合应用方式充分发挥了涡流检测的快速扫描优势和超声检测的深度检测优势,不仅提高了检测效率,还增强了对压力管道缺陷检测的全面性和准确性,特别适用于对薄壁压力管道的无损检测。

5 结束语

压力管道无损检测技术的选择依据是多方面的,需综合考虑管道的因素。多种检测方法的联合应用能有效弥补单一方法的不足,提高检测的可靠性和准确性。这对于及时发现压力管道的缺陷,保障其安全运行,避免工业事故具有不可忽视的意义,是未来压力管道无损检测发展的重要方向。

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] 高彬,肖培光.在线无损检测技术在压力管道检测中的应用研究[J].中国机械,2024,(06):77-80.
- [5] 李阳,刘福建,杜斌,等.无损检测技术在压力容器和压力管道中的应用研究[J].中国高科技,2024,(02):140-142.
- [6] 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.
- [7] 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.