

压力管道无损检测技术及其应用探讨

张清

中铁十一局集团有限公司

摘要：随着科学技术的进步和发展，无损检测技术在压力管道检测中得到应用，其具有检测简便、不具有破坏性等优势，有效提高了管道运行的安全。本文分析了无损检测技术的发展，并且探究其在压力管道检测中的有效应用，促进我国压力管道检测技术的发展。

关键词：压力管道；无损检测技术；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.021

一、无损检测技术的意义

无损检测技术的意义不仅在于提高产品的质量和生产效率，还在于保障生产安全和保护环境。无损检测技术能够在不破坏产品的情况下，检测出其内部和外部的缺陷，从而确保产品的质量。这不仅可以避免产品在使用过程中出现故障或损坏，提高生产效率，还可以避免产品在运输或使用过程中对人员造成伤害。无损检测技术还可以检测出产品的表面缺陷和内部缺陷，从而保障生产安全。通过无损检测技术，可以及时发现产品中存在的安全隐患，避免事故的发生，从而保护工人的生命和财产安全^[1]。无损检测技术还可以保护环境。在生产过程中，有些产品会对环境造成污染，例如某些化学物质或放射性物质。通过无损检测技术，可以检测出这些有害物质的存在，从而避免其对环境的污染和对人员的危害。无损检测技术的意义在于提高产品的质量、生产效率和安全性，保护环境，促进生产的可持续发展。

二、无损检测技术的种类

（一）射线检测

射线检测是一种常用的无损检测技术，它利用X射线或 γ 射线的特性来检测材料内部是否存在缺陷。这种检测技术可以广泛应用于各种材料的检测，包括金属、非金属、复合材料等。射线检测的基本原理是，当X射线或 γ 射线穿过材料时，它们会受到材料内部的原子结构的影响而发生散射和吸收。如果材料内部存在缺陷，例如裂纹、气孔、夹杂物等，那么射线在通过缺陷时就会被吸收或散射，从而在底片上形成阴影或暗区。通过对底片的观察和测量，可以确定缺陷的位置、形状和大小。除了传统的X射线检测外，还有许多其他的射线检测技术，例如X射线计算机断层扫描（CT）、数字化射线检测（DR）、数字化三维X射线显微镜（3DXRM）等。这些技术可以提供更精确、更快速的检测结果，并且可以对材料内部的结构进行高分辨率成像。射线检测的优点包括：可以检测出材料内部的各种缺陷，包括裂纹、

气孔、夹杂物等；可以提供高分辨率的图像，能够准确地确定缺陷的位置、形状和大小；操作简单、检测速度快；检测结果不受人为因素的影响。但是，射线检测也有一些局限性，例如检测成本较高、需要专业的操作人员等。射线检测是一种非常重要的无损检测技术，它可以在不破坏材料的情况下对材料内部的结构进行高分辨率成像，并且可以对缺陷进行准确的检测和评估^[2]。

（二）超声波检测

超声波检测是一种无损检测技术，它利用高频声波的反射和传播特性来检测材料中的缺陷、不连续性或结构变化。这种检测方法在各种工业领域中得到广泛应用，包括航空航天、汽车制造、石油化工、电力系统和医疗器械等领域。超声波检测通常使用高频声波，其频率范围在200kHz到2MHz之间。这些高频声波可以在材料中传播并反射，当遇到材料中的不连续性或缺陷时，声波会反射回来并被探测器接收。通过测量反射声波的频率、幅度和相位等信息，可以确定材料中的缺陷位置和大小。超声波检测具有以下优点。无损检测：由于超声波的波长很短，它可以穿透很小的缝隙和孔洞，因此可以在不损坏材料的情况下检测其内部结构和缺陷。高灵敏度：超声波检测可以检测出很小的缺陷和不连续性，如裂纹、气孔、夹杂物等。实时性：超声波检测可以在线进行，并且可以在短时间内完成大面积的检测^[3]。可靠性高：超声波检测的结果相对可靠，而且可以进行定量分析。应用广泛：超声波检测可以适用于各种材料和结构，如金属、非金属、复合材料等。然而，超声波检测也存在一些限制，如对操作人员的技能要求较高、对于某些材料表面的不平整和不规则结构可能会存在误判等问题。

（三）磁粉检测

磁粉检测是一种无损检测方法，主要用于检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷。它利用磁性原理，通过磁化材料表面，使其产生磁性，然后使用磁性粉来显示材料表面的缺陷。这些缺陷可能是裂纹、孔洞、杂质等，它们会导致材料强度降低，影响产品的安全性和可靠性。除了检测表面缺陷外，磁粉检测还可以用于检测材料的厚度和材料的磁性性质。通过测量磁性材料的磁导率、磁化曲线等参数，可以评估材料的磁性性能和机械性能。此外，磁粉检测还可以用于检测材料的内部缺陷，如裂纹、孔洞等。在进行磁粉检测时，需要注意以下几点。首先，磁粉检测方法的选择应根据被检材料的

具体情况和要求来选择。其次，操作过程要严格按照标准和规范进行，以保证检测结果的准确性和可靠性。最后，对检测结果的分析 and 评估要充分考虑材料的实际应用场景和使用条件，以便制定正确的维修和更换方案。磁粉检测是一种重要的无损检测方法，它不仅可以用于检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷，还可以用于检测材料的厚度、磁性性质和内部缺陷。在进行磁粉检测时，要注意遵循标准操作流程，充分考虑材料的实际应用情况和使用条件，以保证检测结果的准确性和可靠性。

（四）涡流检测

涡流检测是一种无损检测技术，其原理是利用电磁感应在导体中产生涡流，从而检测导体表面或内部的缺陷。这种检测技术可用于各种金属材料的检测，包括碳钢、不锈钢、铝合金等。除了金属材料的检测，涡流检测还可以用于非金属材料的检测。例如，涡流检测可以用于检测玻璃钢、塑料等非金属材料中的缺陷。此外，涡流检测还可以用于检测一些复合材料的内部结构，如碳纤维复合材料等。涡流检测的优点包括：对表面的缺陷敏感，可以检测出很小的缺陷；检测速度快，可以在短时间内完成大面积的检测；对被测材料无损伤，可以重复使用；不需要专门的辅助剂，因此不会产生污染等。虽然涡流检测在某些情况下可能会受到一些限制，但它在金属和非金属材料的检测中都有着广泛的应用。未来，随着检测技术的不断发展，涡流检测的应用领域将会更加广泛^[4]。

三、压力管道无损检测技术的应用优势

（一）检测准确性高

压力管道无损检测技术以其卓越的准确性成为管道安全评估的关键工具，该技术利用先进的传感器和仪器，能够对管道内部进行高度敏感、高分辨率的检测，准确识别各类缺陷、腐蚀、裂纹等问题。相较于传统的检测方法，无损检测技术能够精准定位并量化微小缺陷，即便是管道内部最隐蔽的问题也难以逃脱其检测范围。准确性的提升主要得益于无损检测技术采用的先进信号处理和图像分析算法，利用这些算法可以对管道内部的信号和图像进行高效处理，将潜在问题与噪音有效区分，从而确保检测结果的可靠性，这种高精度的检测不仅有助于及早发现管道内部的问题，也为制定精准的维护计划提供了可靠的数据支持。

（二）不会影响管道结构

无损检测技术具有极高的安全性，不会对管道结构造成任何影响。在进行压力管道检验时，传统的检测方法往往需要对管道进行破坏，例如钻孔、挖坑等，这样不仅会破坏管道的结构，还会影响管道的使用性能，甚

至会引发安全事故。而采用无损检测技术则可以避免这种情况的发生。无损检测技术通过非接触的方式进行检测，利用先进的无损探伤设备对管道进行检测，不会对管道结构造成任何影响，保证了管道的完整性和使用性能。同时，无损检测技术还可以对管道内部进行全面检测，发现潜在的安全隐患，及时采取措施进行维修和更换，有效避免了安全事故的发生。此外，无损检测技术还可以提高管道的使用寿命。由于无损检测技术不会对管道结构造成任何影响，因此可以避免因检测而导致的管道损坏和老化。同时，通过对管道进行全面的检测和维修，可以及时发现并解决潜在的问题，有效延长了管道的使用寿命。

（三）适用范围广泛

无损检测技术可以适用于各种材料、各种规格的压力管道，包括不锈钢、合金钢、碳钢等材料，以及直径从几毫米到几米的各种规格的管道，使得无损检测技术在压力管道的检验中具有广泛的应用前景。例如，无损检测技术可以应用于石油、化工、城市燃气等领域中的压力管道检验。在这些领域中，压力管道的材质通常包括不锈钢、合金钢、碳钢等，而管道的规格则根据实际需要而有所不同。无损检测技术可以通过对管道内部进行全面、准确的检测，发现其中的缺陷和问题，保障管道的安全稳定运行。此外，无损检测技术还可以应用于电力、制药等领域中的压力管道检验。在这些领域中，压力管道的应用范围也越来越广泛，而无损检测技术可以适应各种材料和规格的管道检测，为这些领域中的管道安全提供有力的保障。

四、压力管道无损检测技术的应用

（一）在压力管道安装过程中的无损检测

在压力管道安装过程中的无损检测，对于保障管道系统的安全性与可靠性至关重要。在进行压力管道安装时，确保管道系统的安全性和可靠性至关重要。由于压力管道经常承受高压力和各种化学物质的传输，因此潜在的缺陷或质量问题可能导致严重的事故。为了避免这种情况的发生，对管道进行无损检测是不可或缺的步骤。无损检测是一种在不破坏管道材料的前提下，检测管道内部和外部缺陷的方法。它包括多种技术和工具，如射线检测、超声波检测、磁粉检测、涡流检测等。这些技术可以检测到管道表面的裂纹、焊接缺陷、材料不连续性问题，同时还可以确定问题的深度、大小和位置。射线检测是其中一种常用的无损检测方法。它利用X射线或伽马射线照射管道，然后通过观察在管道另一侧的图像来识别潜在的缺陷。射线检测可以检测到焊接裂纹、气孔和夹杂物等缺陷，但需要注意的是，这种方法可能会受到管道材料、壁厚和焊缝形状等多种因素的

影响。超声波检测则是另一种有效的无损检测方法。它利用高频声波在管道表面传播并反射，从而检测到管道内部的缺陷。超声波检测可以检测到焊接裂纹、未熔合和焊透不足等缺陷，同时还可以确定问题的深度和位置。这种方法的优点是可以在各种不同类型的管道材料上使用，而且对于管道表面的缺陷也很敏感。除了上述方法外，磁粉检测和涡流检测也是常用的无损检测方法。磁粉检测主要用于检测铁磁性材料表面的缺陷，如焊接裂纹和夹杂物等。涡流检测则适用于导电材料，它可以检测表面和近表面的缺陷，如焊接裂纹和腐蚀等。在进行压力管道安装过程中的无损检测时，通常需要根据实际情况选择合适的检测方法和检测设备。此外，为了确保检测结果的准确性和可靠性，还需要遵守相关标准和规范，如ASME B31.3、ISO 15848等^[5]。这些标准和规范规定了无损检测的操作流程、验收标准和注意事项等方面的要求。总之，无损检测在压力管道安装过程中扮演着重要的角色。通过采用适当的无损检测技术和设备，并严格遵守相关标准和规范，可以确保压力管道的质量和安全性，从而避免潜在的安全隐患和质量问题。

（二）压力管道检修过程中的无损检测

在压力管道的日常维护和检修过程中，无损检测技术是一项关键的技术，可以确保管道的安全运行。压力管道是运输石油、天然气、水等介质的重要基础设施，因此对管道的检修至关重要。无损检测技术能够检测出管道内部的缺陷，如裂纹、腐蚀、堵塞等，以便及时进行维修。无损检测技术有很多种类，包括射线检测、超声检测、磁粉检测、涡流检测等。每种方法都有其特定的应用场合和优缺点。例如，射线检测方法适用于检测焊缝中的裂纹，而超声检测则适用于检测焊缝中的缺陷。磁粉检测方法适用于检测铁磁性材料中的缺陷，而涡流检测则适用于检测非铁磁性材料中的缺陷。在压力管道检修过程中，无损检测技术的应用流程如下：首先，根据管道的材质、尺寸、介质和运行环境等因素选择合适的无损检测方法；其次，根据检测方法的要求进行人员的培训和设备的准备；最后，按照规定的程序进行检测，并对检测结果进行分析和处理。以射线检测为例，其具体步骤如下：在管道内放置射线源，并拍摄管道内部的底片，通过底片观察管道内部的缺陷。该方法适用于检测焊缝中的裂纹等缺陷。需要注意的是，在使用射线检测方法时，应确保射线源的安全放置，防止意外泄漏。总的来说，无损检测技术在压力管道检修过程中发挥了重要的作用。它不仅提高了检修的效率，而且保证了管道的安全运行。然而，无损检测技术也存在一定的局限性，如对操作人员的技能要求较高，对某些缺陷的检出率有限等问题。因此，在实际应用中，需要结合具体情况选择合适的无损检测方法，并进行有效的质

量控制和结果分析。

（三）压力管道元件制造的无损检测

压力管道元件制造的无损检测是确保产品质量和安全运行的重要环节。无损检测是指在不影响管道元件使用性能的前提下，利用物理、化学或光学等方法，检测管道元件的表面和内部缺陷，从而判断其质量和可靠性。在压力管道元件制造过程中，常用的无损检测方法包括射线检测、超声波检测、磁粉检测、涡流检测等。这些检测方法具有不同的特点和应用范围，可以根据管道元件的材质、形状、尺寸和使用要求选择合适的检测方法。例如，射线检测适用于检测管道元件的表面和内部裂纹、孔洞和夹杂物等缺陷。超声波检测可以检测管道元件内部和表面的缺陷，特别是对于厚度较大的管道元件，能够更准确地检测出内部裂纹和孔洞等缺陷。磁粉检测适用于铁磁性管道元件的表面和近表面缺陷检测，如裂纹、夹杂物等。涡流检测适用于钢管和有色金属管道的无损检测，能够快速有效地检测出管道元件表面的裂纹和其他缺陷。除了选择合适的无损检测方法外，还应注意检测设备的精度和灵敏度，以确保检测结果的准确性和可靠性。此外，对无损检测人员进行专业技能和安全教育也是必要的，以确保检测过程的顺利进行和质量安全的保证。压力管道元件制造的无损检测是确保产品质量和安全运行的关键环节，需要采用合适的检测方法和设备，并加强对无损检测人员的培训和管理。只有这样，才能更好地保证压力管道元件的质量和可靠性，确保其安全运行和使用寿命。

四、结论

压力管道无损检测技术是保障压力管道安全运行的重要手段之一。在实际应用中，需要根据不同的应用场景和需求，选择合适的无损检测方法和技术，以提高管道的安全性和可靠性。同时，还需要加强无损检测技术的研发和应用，提高无损检测的精度和效率，以更好地保障压力管道的安全运行。

参考文献

- [1] 杜广超. 锅炉检验中压力管道无损检测技术及其应用实践略述[J]. 中国高新区, 2019(19): 92.
- [2] 侯巍. 炉检验中压力管道无损检测技术及其应用实践略述[J]. 中国化工贸易, 2017, 9(33): 96.
- [3] 魏治杰. 锅炉检验中压力管道无损检测技术及其应用实践略述[J]. 化工管理, 2016(12): 126.
- [4] 徐志远, 林章鹏, 袁湘民, 等. 管道弯头缺陷检测外置式远场涡流探头设计[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(5): 1119-1125.
- [5] 崔闯, 张华, 翟琨. 氨制冷压力管道的无损检测技术[J]. 无损检测, 2016, 38(10): 78-81.