

浅谈LNG接收站天然气管道在线无损检测技术应用

符 军

中海油绿能港浙江宁波能源有限公司 浙江 宁波 315800

摘要：随着液化天然气（LNG）需求的不断增长，LNG接收站天然气管道的安全监测变得尤为重要。本文深入探讨了在线无损检测技术在LNG接收站天然气管道中的应用，概述了LNG接收站的基本组成与天然气管道的安全挑战，分析了包括数字射线、脉冲涡流、超声导波等在内的多种检测技术原理及其优缺点，并提出了技术选择与检测方案优化的建议，旨在确保LNG管道的安全稳定运行。

关键词：LNG接收站；天然气管道；在线无损检测技术；应用

引言：随着全球能源结构的调整和环保意识的增强，液化天然气（LNG）作为清洁能源的重要组成部分，其需求量日益增加。LNG接收站作为连接海上LNG运输与陆地天然气供应的关键节点，其天然气管道的安全运行至关重要。本文旨在探讨在线无损检测技术在LNG接收站天然气管道中的应用，以确保管道的安全性和可靠性，为LNG行业的持续发展提供技术支持。

1 LNG接收站天然气管道概述

1.1 LNG接收站的基本组成与功能

LNG接收站是液化天然气供应链中的重要节点，其基本组成主要包括卸料系统、LNG储存系统、BOG（蒸发气）回收处理系统等关键部分。卸料系统负责接收由海上船舶运输来的低温液化天然气，这一过程通常通过专用的LNG卸料臂完成，它能够安全、高效地将LNG输送至储存设施中。LNG储存系统则采用大型低温储罐来安全存储这些液化天然气，储罐设计需能够承受极低温度并保持LNG的长期稳定储存。BOG回收处理系统则针对LNG在储存过程中因环境热量交换而产生的蒸发气进行处理，通过再冷凝或压缩等方式将其回收并重新利用，以提高整体运营效率。

1.2 天然气管道在LNG接收站中的作用

天然气管道在LNG接收站中扮演着至关重要的角色。它们不仅负责将卸料系统接收的LNG安全输送至储存系统，还承担着将储存的LNG气化后通过外输管道输送至下游用户的重要任务。输送过程中，管道系统需确保LNG在低温状态下的稳定流动，避免泄漏和能量损失。在气化环节，天然气管道将液态LNG引入气化器，通过加热使其转化为气态天然气，以满足管道输送和用户使用的需求。外输管道则负责将气化后的天然气输送至城市管网、工业用户等终端市场，实现LNG的广泛应用。

1.3 天然气管道的安全挑战

天然气管道在LNG接收站中的运行面临着多方面的安全挑战。首先，由于LNG需要在极低温度下储存和输送，管道材料必须具备出色的低温性能，以承受极端温差带来的热应力和材料脆化风险。其次，LNG的易燃易爆特性要求管道系统在设计、施工和维护过程中必须严格遵守安全规范，防止泄漏和火灾事故的发生。此外，潜在缺陷如焊缝裂纹、腐蚀坑等也可能对管道的安全性构成威胁，因此定期进行无损检测和完整性评估至关重要。

2 在线无损检测技术原理与分类

2.1 无损检测技术基础

（1）定义：无损检测（NDT）是利用声、光、磁、电等特性，在不损害或不影响被检对象使用性能的前提下，检测被检对象中是否存在缺陷或不均匀性，进而判定被检对象所处技术状态（如合格与否、剩余寿命等）的所有技术手段的总称。（2）特点：无损检测技术不会对管道造成任何损伤，能全面检测所有焊缝，并对焊缝质量实施全程监控，从而有效防止因管道焊接失效引起的灾难性后果。此外，其应用范围广泛，可用于各种材料和各种结构的检测。（3）应用范围：无损检测技术广泛应用于天然气管道、石油化工设备、航空航天、汽车制造、核电等领域。

2.2 常规无损检测技术

（1）射线检测（RT）：利用射线在介质中传播时的衰减特性来检测缺陷。优点是通用能力强、稳定性强、灵敏度高；缺点是具有辐射、对身体健康危害大，且费时成本较高。在LNG管道检测中，射线检测可以检测出焊接接口中的未焊透、气孔、裂纹等缺陷，但需注意辐射防护。（2）超声检测（UT）：利用超声波在介质中传播时的反射和折射特性来检测缺陷。优点是成本低、设备轻便、操作安全；缺点是较难检测出粗晶材料焊缝中的问题，且存在检测盲区。在LNG管道检测中，超声检

测适用于检测原材料与零部件、焊接接口存在的缺陷。

(3) 磁粉检测和渗透检测：磁粉检测适用于铁磁性材料，渗透检测适用于非多孔性金属和非金属材料。两者均能有效检测出表面缺陷，但不适用于检测内部缺陷^[1]。

2.3 先进无损检测技术

(1) 数字射线 (DR) 检测技术：是射线检测技术的发展方向，具有分辨率高、成像速度快、动态范围大等优点。在LNG管道检测中，数字射线检测技术能提供更清晰的图像，有助于更准确地识别缺陷。(2) 脉冲涡流检测 (PECT) 技术：无须去除管道外包覆层，即可进行检测，可提高检测效率，降低检测成本。然而，目前大部分脉冲涡流技术只能检测碳钢材料，对奥氏体不锈钢等非铁磁性材料的检测仍需进一步研究。随着技术的进步，脉冲涡流检测在LNG管道检测中的应用潜力巨大。

3 LNG 接收站天然气管道在线无损检测技术应用分析

3.1 数字射线 (DR) 检测技术应用

(1) 检测设备、方法、图像处理与结果分析。数字射线 (DR) 检测技术是一种利用X射线或 γ 射线穿透材料，通过平板探测器直接转换为数字图像的无损检测方法。在LNG管道检测中，DR检测通常采用高能X射线源，确保能够穿透较厚的管道壁和保温层。检测设备包括X射线机、平板探测器、数据采集与处理系统。检测方法包括平行透照、周向透照等，根据管道的具体结构和检测需求选择。图像处理是DR检测的关键环节。通过先进的图像增强、滤波和边缘检测技术，可以提高图像质量，使缺陷更加清晰可见。结果分析则涉及对图像中缺陷的识别、测量和分类，以确定缺陷的性质、位置和尺寸。专业的检测软件能够自动或半自动地完成这些任务，提高检测效率和准确性^[2]。(2) 在不同管径、保温层厚度条件下的检测效果评估。DR检测在不同管径和保温层厚度条件下的表现有所不同。对于小管径管道，DR检测可以提供高分辨率的图像，易于识别微小的缺陷。然而，随着管径和保温层厚度的增加，X射线的衰减也会增加，导致图像质量下降。因此，对于大管径和厚保温层的管道，可能需要采用更高能量的X射线源或更先进的图像处理技术来确保检测效果。

3.2 脉冲涡流检测 (PECT) 技术应用

(1) 检测原理、设备、检测过程与数据分析。脉冲涡流检测技术是一种非接触式的无损检测方法，利用电磁感应原理检测被检测物体的电磁场变化，从而快速定位缺陷。该技术无需移除管道的保温层，大大提高了检测效率。检测过程中，脉冲涡流检测仪发射高频电磁脉

冲，激发管道内部的涡流，涡流随管道金属的电导率和磁导率分布而变化。当管道存在缺陷时，涡流的分布会发生改变，导致检测信号的变化。通过对检测信号的分析，可以确定缺陷的位置、大小和类型。(2) 在直管段与弯管段检测中的适用性比较。脉冲涡流检测技术在直管段和弯管段检测中均表现出良好的适用性。在直管段中，脉冲涡流检测技术可以快速测量管道壁厚和检测埋藏缺陷，结果稳定可靠。在弯管段中，由于涡流的分布受管道形状的影响，检测信号可能发生变化，但通过分析检测信号的变化趋势和特征，仍然可以判断缺陷的存在和位置。因此，脉冲涡流检测技术在LNG接收站天然气管道的在线检测中具有广泛的应用前景。

3.3 超声导波检测技术应用探讨

(1) 检测技术原理与设备。超声导波检测技术利用超声导波在材料中的传播特性进行缺陷检测。超声导波是一种在固体介质中传播的超声波，它能够在管道内部沿轴向和周向传播，具有检测距离长、覆盖面积大、检测效率高等优点。超声导波检测设备通常由超声波发射器、接收器、信号处理器和计算机等组成。发射器负责产生超声波信号，并将其注入到被检测的管道中。接收器则负责接收从管道内部反射回来的超声波信号。信号处理器对接收到的信号进行处理和分析，以确定缺陷的存在、位置和大小。计算机则用于控制整个检测过程，并存储、显示和分析检测结果^[3]。(2) 在LNG管道检测中面临的挑战与局限性分析。尽管超声导波检测技术在管道检测中具有诸多优点，但在LNG管道检测中也面临一些挑战和局限性。首先，由于LNG管道的材质和结构特殊，超声导波在其中的传播特性可能与普通管道存在差异，因此需要针对LNG管道进行专门的研究和校准。其次，超声导波检测对缺陷的分辨率和定位精度受到一定限制，对于微小或复杂形状的缺陷可能难以准确识别。此外，超声导波检测还受到管道内流体状态、温度、压力等因素的影响，这些因素可能导致检测信号的衰减和干扰，从而降低检测结果的准确性。

3.4 其他检测技术简介

瞬变电磁检测是一种基于电磁感应原理的无损检测技术。它利用发射机向地下发射脉冲电流，产生一次电磁场。当一次电磁场消失后，地下导电介质中的感应电流会产生一个衰减的二次电磁场。通过测量和分析二次电磁场的分布和变化特性，可以推断出地下介质的结构和性质，从而检测管道中的缺陷。瞬变电磁检测技术具有探测深度大、分辨率高、受地形地貌影响小等优点。在LNG管道检测中，瞬变电磁检测技术可以用于检测管

道外部的腐蚀、泄漏和地下空洞等缺陷。然而,该技术也受到一些限制,如需要较长的检测时间、对管道材质和土壤导电性有一定要求等。

4 在线无损检测技术的选择与优化

4.1 检测技术的选用原则

在LNG接收站天然气管道的在线无损检测中,技术选择至关重要。(1)合规性是首要原则,即所选技术必须符合国家或行业的安全规范和标准,以确保检测结果的可靠性和法律有效性。(2)技术适宜性要求根据管道的材质、结构、运行工况及潜在缺陷类型,选择最适宜的检测技术。例如,对于薄壁管道,超声导波检测可能更为合适;而对于厚壁或带保温层的管道,脉冲涡流检测可能更为高效。(3)经济合理性也是不可忽视的因素,需在保证检测质量的前提下,综合考虑设备的购置成本、运行维护费用及检测周期等因素,选择性价比最优的技术方案。

4.2 检测方案的制定与优化

(1)根据管道特性、检测目的与要求,选择合适的检测技术组合。检测方案的制定应根据LNG接收站天然气管道的具体特性、检测目的和要求,综合考虑多种检测技术的优缺点,选择合适的检测技术组合。例如,对于新安装的管道,可以采用射线检测和超声检测相结合的方法,以确保焊缝质量;对于在役管道,则可能需要结合使用多种检测技术,如超声导波检测、脉冲涡流检测等,以全面评估管道的安全状况。(2)考虑检测周期、成本效益等因素,优化检测方案。检测方案的优化还应考虑检测周期和成本效益。在确定检测周期时,应充分考虑管道的运行状况、历史检测数据以及行业安全规范的要求,确保检测周期的合理性。同时,通过对比分析不同检测技术的成本效益,优化检测方案,降低检测成本,提高检测效率^[4]。

4.3 检测过程的实施与管理

(1)确保检测过程的安全、高效与准确性。在检测过程中,应确保检测人员的安全,采取必要的防护措施,避免辐射、触电等安全隐患。同时,通过优化检测流程、提高检测设备的自动化程度等方式,提高检测效率。此外,还应确保检测结果的准确性,通过严格的校准、质量控制和数据验证等手段,确保检测数据的准确性和可靠性。(2)建立完善的检测记录与数据分析体系。建立完善的检测记录 and 数据分析体系,对于跟踪管道的安全状况、及时发现并处理潜在缺陷具有重要意义。检测记录应包括检测时间、检测部位、检测结果等信息,以便后续分析和处理。同时,通过对检测数据的分析和处理,可以发现管道的缺陷趋势和规律,为管道的维护和管理提供科学依据。

结束语

综上所述,在线无损检测技术在LNG接收站天然气管道的安全监测中发挥着不可替代的作用。通过采用先进的检测技术,如数字射线、脉冲涡流和超声导波等,我们可以及时发现并处理潜在的安全隐患,确保LNG管道的安全稳定运行。未来,随着技术的不断进步和应用经验的积累,在线无损检测技术将在LNG行业中发挥更加重要的作用,为清洁能源的安全供应贡献力量。

参考文献

- [1]沈超.浅谈天然气管道在线无损检测技术[J].建筑设计及理论,2020,(10):94-95.
- [2]韩振杰.天然气管道在线检测技术的应用[J].政治学,2023,(04):40-41.
- [3]陈佩良.天然气管道在线检测技术分析与应用[J].建筑技术科学,2024,(06):59-60.
- [4]伍少杰.天然气管道无损检测技术的研究与应用[J].建筑技术科学,2024,(11):91-92.