

天然气管道内检测技术在石化管道维护中的应用

侯海辉（山东胜利建设监理股份有限公司，山东 东营 257000）

摘要：在石化行业范畴内，天然气管道能否实现安全且稳定的运行，这一点极为关键。保障管道安全方面，内检测技术当属关键手段，其具备在不干扰管道正常运行状态的情形下，精准检测出管道所存在缺陷的能力。关于天然气管道内检测技术，像漏磁检测、超声波内检测、电磁涡流检测等多种技术，本文针对它们的原理、特点以及应用情况展开了详尽阐述，而且结合实际发生的案例，深入分析了这些技术于石化管道维护当中所起到的作用，除此之外，还对未来内检测技术的发展走向进行了展望，目的在于给石化企业在提升管道维护水准，保障天然气输送安全这件事上提供可参考的依据。

关键词：天然气管道；内检测技术；石化管道维护；漏磁检测；超声波检测

中图分类号：TE973.6 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）029-0112-04

Application of Internal Inspection Technology for Natural Gas Pipelines in Petrochemical Pipeline Maintenance

Hou Haihui (Shandong Shengli Construction Supervision Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: In the petrochemical industry, the safe and stable operation of natural gas pipelines is of paramount importance. Internal inspection technology serves as a critical means to ensure pipeline safety, as it can accurately detect pipeline defects without disrupting normal operations. This paper provides a detailed explanation of the principles, characteristics, and applications of various internal inspection technologies for natural gas pipelines, such as magnetic flux leakage testing, ultrasonic internal inspection, and electromagnetic eddy current testing. Furthermore, by analyzing real-world cases, it delves into the role these technologies play in petrochemical pipeline maintenance. Additionally, the paper offers insights into the future development trends of internal inspection technology, aiming to provide petrochemical enterprises with reference material for enhancing pipeline maintenance standards and ensuring the safety of natural gas transportation.

Keywords: natural gas pipeline; internal inspection technology; petrochemical pipeline maintenance; magnetic flux leakage testing; ultrasonic testing

在石化产业中，天然气管道是输送能源的关键设施。随着石化工业规模扩张与天然气消费量增长，管道输送的规模和复杂度不断提升。但管道长期处于复杂内外部环境，内部受天然气腐蚀、冲刷，外部面临土壤腐蚀、地质沉降等威胁，易出现腐蚀、裂纹、变形等缺陷，可能引发泄漏、爆炸等重大安全事故，危及生命财产安全并破坏环境。内检测技术作为管道完整性管理的核心，可在管道正常运行时深入内部全面检查，及时发现潜在缺陷，为维护维修提供依据，从而降低运行风险，保障石化管道安全稳定运行，对石化行业可持续发展意义重大。

1 天然气管道内检测技术原理及特点

1.1 漏磁检测技术

1.1.1 技术原理

基于铁磁性材料磁化特性的是漏磁检测技术。在检测之时，周向永磁铁会将管道饱和和磁化，当管道无缺陷状况下，磁力线会被约束于管壁内部，进而形成封闭的磁场回路；一旦管壁存在腐蚀、孔洞、裂纹这类缺陷，磁力线的传导便会受到阻碍，其中部分磁力线会穿出管壁从而形成漏磁场。对漏磁信号进行捕捉

并转化为电信号的是传感器，经数据采集、处理以及分析等流程之后，便能够实现针对管道缺陷的检测与评估。

1.1.2 技术特点

漏磁检测技术有着显著优势，具体体现如下：在检测效率方面表现颇高，能够在较短时间内就完成对长距离管道的检测工作，这使其适用于针对大规模管网开展的定期巡检活动；从技术成熟度来讲，该技术已然成熟且可靠，历经长期的实践不断迭代更新，在全球范围内的长输管道以及油气田集输管道当中都得到了广泛应用，所获取的检测结果能够成为维护决策极为坚实的依据；就经济性而言，其突出的特点便是成本相对较低，无需借助那些复杂且昂贵的设备以及耗材，在进行检测之时也不需要为管道实施大规模的停产操作以及降压处理，如此一来便能够大幅度减少经济方面的损失以及对生产所产生的影响。

1.2 超声波内检测技术

1.2.1 技术原理

超声波内检测技术利用超声波在金属中传播特性，检测器发射高频超声波，遇管道内外壁反射。因

不同介质中传播速度和反射特性有差异,管道存在腐蚀减薄、裂纹等缺陷时,超声波传播路径、反射时间及幅度会变化。通过测量时间差和分析反射波,能算出缺陷位置、类型、大小等参数。常用超声直波和横波检测器,适用于检测不同类型及特征的管道缺陷。

1.2.2 技术特点

超声波内检测技术的突出优点在于其对管道缺陷的检测精度极高,能够精准地测量出管道壁厚的微小变化以及发现极其细微的裂纹等缺陷,为管道的安全评估提供高精度的数据。此外,该技术受管道表面状况的影响较小,即使管道内壁存在一定程度的污垢、杂质,也能较为准确地检测出缺陷。然而,超声波内检测技术的设备相对复杂,成本较高,对检测人员的专业技能和操作经验要求也更为严格。而且,在检测过程中,需要保证超声波信号的良好耦合,这对检测环境和检测工艺有较高要求,在一些复杂工况下,如管道内存在大量积液、气体流速不稳定等情况,可能会影响检测效果。

1.3 电磁涡流检测技术

①技术原理。电磁涡流检测技术基于电磁感应原理工作。当检测设备中的激励线圈通入交变电流时,会在其周围产生一个交变磁场。这个交变磁场会在管道管壁中感应出涡流,正常情况下,管壁中的涡流分布呈现出一定的规律性。当管道存在缺陷,如腐蚀、裂纹等时,缺陷部位的电导率、磁导率等电磁特性发生改变,进而导致涡流的分布和大小产生异常变化。这种异常变化会在检测线圈中产生相应的感应电动势变化,通过检测和分析这些变化,就能够实现对管道缺陷的识别与定位。

②技术特点。对于管道表面以及近表面所存在的缺陷而言,电磁涡流检测技术具备着极高的检测灵敏度,像微小裂纹、腐蚀坑这类缺陷,均能够被其快速且准确地发现。就检测速度来讲,该技术是比较快的,能够实现针对管道的快速扫描检测。而且其设备具有相对轻巧的特点,在携带与操作方面都较为方便,适用于处在多种复杂环境下的管道检测工作。然而,电磁涡流检测技术在有效检测深度方面是存在局限的,通常情况下,仅仅能够对管道表面以及近表面一定范围内的缺陷进行检测,针对管道内部更深层次的缺陷,其检测能力就显得不足了。

1.4 其他内检测技术

除上述技术外,其他内检测技术在天然气管道检测中也有应用。弱磁应力检测技术依据材料及缺陷处磁导率变化,通过测量磁感应强度定性、定量评估损伤,为管道管理提供全面数据,助力预防事故。瞬变

模型法通过建立流体流动数学模型,求解流场后与实测值对比,偏差超范围即判定泄漏,具有检测范围广、定位准、响应快的特点。管道机器人作为新兴手段,配备多种系统,可沿管道内部自由移动,检查损坏、裂缝和腐蚀等,适应复杂工况。各类技术各有优劣,实际应用需结合管道情况、检测需求及成本效益综合选择。

2 天然气管道内检测技术在石化管道维护中的应用实例

2.1 漏磁检测技术的应用案例

某大型石化企业一条管径 1000mm、服役超 15 年的长输天然气管道,因途经复杂地质区域且输送含腐蚀性成分的天然气,企业采用漏磁检测技术定期检测。检测中,设备随气流在管内前行,经分析漏磁信号,发现一处壁厚减薄 30% 的区域及一条长约 200mm 的纵向裂纹。企业即刻组织专业人员评估,制定针对性维修方案:对壁厚减薄区域采用内衬修复技术,加设耐腐蚀内衬以提升承压能力;对纵向裂纹采用焊接修复,先打磨裂纹,再选用适配材料焊接,修复后经严格无损探伤确保质量。此次漏磁检测与后续维修,及时消除重大安全隐患,保障了管道安全稳定运行,避免了缺陷引发的泄漏事故,为企业节省巨额潜在损失,也有力保障了下游用户的天然气稳定供应。

2.2 超声波内检测技术的应用案例

在某石化工业园区内部,存在着多条中低压天然气管道,这些管道起着连接各个生产装置的作用,其管径处于 200 - 500mm 的范围之间。就这些管道的运行环境而言,是颇为复杂的,部分管道的周边有着振动源的存在,而且由于所输送的天然气湿度较大,管道内部存在着一定程度的被腐蚀风险。为了能够全面且准确地掌握管道具体的腐蚀状况,园区的管理部门运用了超声波内检测技术来针对管道展开检测工作。在检测进行的过程当中,检测人员依据管道实际呈现出的状况,挑选了合适的超声直波检测器与超声横波检测器,并将它们搭配起来加以使用。经过对检测所获取数据的深入且细致的分析之后,精准地发现了多处管道出现腐蚀进而导致壁厚减薄的区域,其中有一处位于管道焊缝附近的腐蚀区域,其壁厚减薄率竟然达到了 40%,除此之外,还检测到了几条极为微小的横向裂纹。基于这样一系列的检测结果,园区管理部门立刻做出安排,针对那些存在着严重缺陷的管道段实施更换处理,而对于一些腐蚀程度相对较轻的区域,则采用了防腐涂层修复技术,先是对管道表面进行喷砂除锈的处理操作,随后涂抹上高性能的防腐涂层,以此来达到延缓管道被腐蚀进程的目的。

2.3 电磁涡流检测技术的应用案例

某沿海的石化企业，旗下部分天然气管道铺设在海边的滩涂地带。由于长期经受海水潮汐以及盐雾等不良环境的侵害，管道表面出现了较为显著的腐蚀问题。为能够切实对管道表面的腐蚀情形加以检测，企业选用了电磁涡流检测技术。检测人员运用便于携带的电磁涡流检测设备，针对管道实施逐段检查。在检测期间，该设备快速且精准地查出众多因腐蚀生成的坑洞以及细微裂纹，特别是管道靠近海水那一侧的外壁，腐蚀所造成的缺陷更为集中。依据检测得出的结果，企业针对腐蚀严重的管道部位，及时开展了补焊与防腐方面的处理工作；针对一些腐蚀程度较轻的区域，则采取打磨除锈后涂抹防腐漆的办法进行修复。借由电磁涡流检测技术的运用，企业及时了解到管道表面的腐蚀状况，并采取了行之有效的防护手段，延长了管道的使用时长，降低了因管道腐蚀泄漏而引发安全事故的隐患，同时也减少了因管道维修与更换所带来的经济成本以及对生产的影响。

3 内检测技术应用对石化管道维护的影响与效益分析

3.1 提升管道维护的准确性与及时性

过去，管道维护主要依靠人力巡查和经验判定的方式，这种方式在发现和处理管道内部缺陷方面，存在精准度和及时性不足的问题。与之不同，内检测技术凭借先进的检测原理与设备，能够深入到管道内部开展检测工作，进而精确获取管道各种缺陷的相关信息，如缺陷所处位置、尺寸大小以及具体类型等等。举例而言，漏磁检测技术能够精准检测出管道壁厚的变薄状况以及裂纹缺陷；超声波内检测技术可对管道缺陷尺寸进行高精度测量；电磁涡流检测技术对于管道表面及近表面的微小缺陷具备极高的检测敏感度。上述精确的检测数据，为管道维护提供了科学的参照，让维护人员能够针对性地制定维修计划，对缺陷部位进行准确修复，极大提升了管道维护的精准程度。

3.2 降低管道维护成本

从一方面来讲，它能够做到及时去发现并修复管道存在的缺陷，如此一来，就可以避免因为管道出现泄漏、破裂等这类严重事故而引发的大规模抢修费用的产生、生产中断所造成的损失以及环境污染治理所需的费用，在采用了内检测技术之后，通过定期对管道进行检测并且修复所发现的缺陷，就成功地规避了类似事故的发生。从另一方面来说，内检测技术的应用还能够为管道维修以及更换工作提供具有科学性的依据，从而可以合理地去安排相关的计划，避免出现过度维修以及提前更换管道的情况，以此达到节约成

本的目的。

3.3 提高石化企业的安全生产水平

天然气管道，属于石化企业生产运行里极为重要的基础建设设施，它的安全情形，和企业的安全生产以及可持续性发展紧密相连。内检测技术的运用，给石化企业的安全生产带来了强有力的支撑。借由按规定周期对管道开展全方位检查，能够迅速察觉并排除管道所存在的安全隐患，如此一来，就可以切实防范管道出现泄漏、爆炸等重大安全事故，从而对企业员工的生命安全以及企业的财产安全起到保护作用。

4 天然气管道内检测技术发展趋势

4.1 智能化与自动化发展

在人工智能、大数据、云计算等先进技术飞速发展的态势下，天然气管道内检测技术朝着智能化与自动化方向迈进的步伐正不断加大。未来内检测设备所具备的自主决策能力会更为强大，其能够凭借在检测期间实时采集到的数据，借助智能算法去自动分析并判断管道存在的缺陷类型、严重程度，还能对缺陷的发展趋势予以预测，进而为管道维护给出更具前瞻性的相关建议。与此同时，检测过程达成高度自动化的情况也会实现，从检测设备的发射、运行，再到数据的采集、处理以及报告的生成，这一系列环节均能够在少人甚至无人干预的条件下得以完成，如此可极大地提升检测效率以及准确性，并且能减少人为因素给检测结果带来的影响。

4.2 多技术融合与互补

单独的内检测手段通常有着一定程度的限制，没办法从各个方面契合复杂管道检测所需要达到的要求。所以，多种技术相融合以及相互补充变成了以后内检测技术进步的关键走向。打个比方，把漏磁检测技术具备的高效特点、针对大面积缺陷检测所具有的优势，跟超声波内检测技术的高精准度、针对微小缺陷进行检测的能力相互结合，在一次检测流程当中同时使用这两种技术，对管道开展全方位的查验，这样就能更为周全、确切地了解管道的实际情况。又或者把电磁涡流检测技术跟管道机器人技术相互结合，借助管道机器人灵活的移动性能，把电磁涡流检测设备送至管道内部各个复杂部位开展检测，达成对管道表面以及近表面缺陷的高效检查。

4.3 适应复杂工况与特殊管道检测需求

石化行业发展下，天然气管道的敷设环境以及运行工况渐趋复杂，特殊类型管道随之出现，像小口径管道、高压富气管道、海底管道等等。如此一来，对管道内检测技术便有了更高要求被提出。未来的内检测技术会把研发能适应这些复杂工况以及特殊管道检

测需求的设备与方法当作着力点。就拿小口径管道来讲,要研发出体积更小且通过性能更佳的检测设备,同时对检测技术加以优化,让其对小口径管道内缺陷的检测精度得以提高;针对高压富气管道而言,需研究那种能在高压、高流速等恶劣工况下稳定运行的检测技术与设备,以此确保检测的安全性和准确性;至于海底管道,要开发具备防水、耐压、耐腐蚀等特性的检测设备,并与水下机器人等技术相结合,达成对海底管道的高效检测之目的。借助不断的创新以及技术突破,去满足不同复杂工况和特殊管道的检测需求,进而对内检测技术的应用范围做进一步的拓展。

5 结论

在石化行业当中,对于能源供应、产业发展以及社会安全而言,天然气管道的安全运行有着至关重要的意义。保障管道安全的核心在于内检测技术,通过漏磁、超声波、电磁涡流等技术的综合运用,能够在管道正常运行不受影响的情况下,精准地检测出各类缺陷,进而为管道的维护工作提供相应依据。随着科

技不断发展,内检测技术呈现出朝着智能化自动化、多技术融合以及适应复杂工况的方向发展的态势。石化企业应当对其发展动态予以关注,积极引进先进的内检测技术,不断完善自身的管道维护体系,以此保障天然气管道能够安全运行,进而助力石化行业实现可持续发展。

参考文献:

- [1] 张劲军,李玉星,杨田.油气管道工程[M].北京:石油工业出版社,2019.
- [2] 王禹钦,董绍华,赵新伟.油气管道内检测技术与应用[J].石油学报,2020,41(5):632-642.
- [3] 中国石油天然气集团有限公司.油气管道检测与评价技术规范[Q/SY1694-2020][S].北京:石油工业出版社,2020.
- [4] 李鹤林,冯耀荣,吉玲康.油气管道失效分析与完整性管理[M].北京:科学出版社,2018.
- [5] 郑贤斌,张来斌,樊建春.天然气管道内检测技术现状及发展[J].天然气工业,2021,41(3):145-153.

