

油气管道检测技术与设备发展现状及趋势

姚 滨¹ 吕君栋²

1. 国家管网集团北方管道有限责任公司郑州输油气分公司 河南 郑州 450000

2. 国家管网集团储运技术发展有限公司沈阳分公司 辽宁 沈阳 110179

摘要：油气管道检测技术与设备发展已构建完善体系。传统检测技术如漏磁、超声波、射线检测技术历史悠久，各有优劣，应用广泛。新兴检测技术如智能机器人、光纤传感、电磁超声检测技术不断涌现，为解决传统技术局限提供新思路。未来，油气管道检测技术将向智能化、集成化、高精度化、绿色环保化方向发展，以保障管道安全运行。

关键词：油气管道；检测技术；应急设备；发展现状；趋势

引言：油气管道作为能源输送的关键通道，其安全运行至关重要。检测技术与设备是保障油气管道安全的重要手段。历经长期发展，传统检测技术与设备已形成稳定体系，同时新兴检测技术与设备不断涌现。展望未来，随着科技与行业需求的发展，油气管道检测技术与设备将朝着智能化、集成化、高精度化及绿色环保化方向迈进，以更好地适应油气管道安全保障的新要求。

1 油气管道检测技术与设备发展现状

在油气管道检测领域，检测技术与设备经长期发展，已构建起完善体系，有力保障管道安全。（1）传统检测技术与设备应用历史悠久，至今仍发挥关键作用。漏磁检测技术基于铁磁性材料磁特性，当油气管道被磁化，存在缺陷处会使磁力线畸变产生漏磁场，检测设备通过传感器捕捉信号，分析缺陷信息。其检测速度快，对大面积腐蚀敏感，但受管道涂层影响，对非铁磁性相关缺陷检测效果差。超声波检测技术利用超声波在不同介质传播特性，遇管道缺陷时，反射、折射和散射的信号被设备捕捉分析，可精准检测微小裂纹等缺陷，对管道材质适应性强。不过，该技术检测过程复杂，对操作人员技能要求高，检测速度受限。（2）伴随科技进步，新兴检测技术与设备不断涌现。智能机器人检测技术为行业带来革新，检测机器人可在管道内自主爬行，搭载高清摄像头、多种传感器，能直观采集管道内壁图像，实现多技术融合检测，适应复杂管道工况，通过远程控制确保检测安全便捷，国内已有相关产品实现商业化。光纤传感检测技术基于光纤光学特性，检测管道应变、温度等物理量变化，以此判断缺陷。它灵敏度高、抗电磁干扰，能实现分布式测量，实时监测长距离管道，已在泄漏、应力监测方面应用。电磁超声检测技术结合电磁学与超声学，无需耦合剂，检测速度快，对有涂层或

粗糙管道检测效果好，可非接触检测，但目前检测精度与深度有待提升，设备成本较高。传统与新兴技术设备相辅相成，共同守护油气管道安全^[1]。

2 传统检测技术与设备

传统的油气管道检测技术与设备在过去较长时间内发挥着重要作用，部分技术至今仍在广泛应用，具有一定的稳定性和可靠性。

2.1 漏磁检测技术与设备

漏磁检测技术是基于铁磁性材料的磁特性原理。当油气管道被磁化后，若管道存在缺陷，其表面的磁力线会发生畸变，产生漏磁场。漏磁检测设备通过传感器捕捉这些漏磁场信号，进而分析判断管道缺陷的位置、大小和形状等信息。漏磁检测设备通常由永磁体、传感器阵列以及数据采集与处理系统等部分组成。这种检测技术具有检测速度快、对大面积腐蚀缺陷敏感度较高等优点，能够在相对较短的时间内完成长距离管道的检测工作。然而，漏磁检测技术也存在一定局限性，例如对管道表面涂层状况较为敏感，当涂层较厚时可能影响检测精度；对于非铁磁性管道或管道中的非铁磁性夹杂缺陷检测效果不佳。目前，漏磁检测设备在我国油气管道检测中应用广泛，尤其适用于常规工况下的油气管道定期检测。

2.2 超声波检测技术与设备

超声波检测技术利用超声波在不同介质中的传播特性来检测管道缺陷。当超声波遇到管道内部的缺陷时，会发生反射、折射和散射等现象，通过分析反射回来的超声波信号，可获取缺陷的相关信息。超声波检测设备一般包括超声波发生器、探头以及信号处理与显示装置等。该技术对管道内部缺陷的检测精度较高，能够准确检测出微小裂纹、未焊透等缺陷，并且对管道材质和

结构的适应性较强。但超声波检测技术对检测人员的操作技能要求较高,检测过程较为复杂,检测速度相对较慢,在一定程度上限制了其在大规模管道检测中的应用效率。在实际应用中,超声波检测设备常用于对重点部位或怀疑存在缺陷区域的精细检测,作为漏磁检测等技术的补充手段^[2]。

2.3 射线检测技术与设备

射线检测技术借助射线(如X射线、 γ 射线)穿透管道,根据射线在通过不同材质和结构时的衰减程度差异来检测管道缺陷。射线检测设备主要由射线源、探测器以及图像采集与处理系统等构成。通过对探测器接收到的射线强度变化进行分析,能够形成管道内部结构的图像,直观地显示出缺陷的位置和形状。射线检测技术对管道缺陷的成像效果好,检测结果直观准确,可用于检测管道焊缝中的各种缺陷。不过,射线检测技术存在辐射危害,需要严格的防护措施,对检测环境和操作人员的安全要求极高;同时,检测成本相对较高,检测效率较低,不适用于长距离管道的连续检测。射线检测设备通常在管道施工阶段对关键焊缝的质量检测以及对重要管道设施的定期检测中发挥重要作用。

3 新兴检测技术与设备

随着科技的不断进步,一系列新兴检测技术与设备逐渐在油气管道检测领域崭露头角,为解决传统检测技术的局限性提供了新的思路和方法。

3.1 智能机器人检测技术与设备

智能机器人检测技术是近年来油气管道检测领域的研究热点之一。管道检测机器人能够自主在管道内爬行,携带多种类型的传感器对管道进行全方位检测。例如,一些智能机器人配备了高清摄像头,可对管道内壁进行视觉检测,实时获取管道表面的图像信息,直观地发现管道的腐蚀、变形等缺陷;还集成了漏磁、超声波等多种传统检测传感器,实现多种检测技术的融合应用,提高检测的准确性和全面性。智能机器人检测设备具有较强的环境适应性,能够在复杂工况的管道内运行,如小口径管道、弯曲管道以及存在障碍物的管道等。此外,通过远程控制和数据传输技术,操作人员可在管道外部对机器人进行操控,并实时接收检测数据,大大提高了检测的安全性和便捷性。目前,我国在管道智能机器人检测技术与设备研发方面取得了显著进展,部分产品已实现商业化应用,如沈阳仪表院推出的管道智能内检测仪器,能够适应多种口径管道,在复杂油气管道内检测中发挥了重要作用。

3.2 光纤传感检测技术与设备

光纤传感检测技术基于光纤的光学特性,利用光纤作为敏感元件和传输介质来检测管道的应变、温度、压力等物理量变化,进而推断管道是否存在缺陷。光纤传感检测设备主要由光纤传感器、光源、信号解调仪以及数据处理系统等组成。当管道发生变形、泄漏或受到外界干扰时,会引起光纤周围环境的变化,导致光纤中传输光的相位、波长、强度等参数发生改变,通过对这些变化的精确测量和分析,即可实现对管道缺陷的监测。光纤传感检测技术具有灵敏度高、抗电磁干扰能力强、可实现分布式测量等优点,能够实时、连续地监测长距离管道的运行状态,及时发现管道的微小异常。此外,光纤传感器体积小、重量轻,易于与管道结构集成,对管道正常运行影响较小。目前,光纤传感检测设备在油气管道的泄漏监测、应力监测等方面已得到一定应用,并且随着技术的不断成熟,其应用范围有望进一步扩大。

3.3 电磁超声检测技术与设备

电磁超声检测技术结合了电磁学和超声学原理,通过电磁感应在管道内部产生超声波,无需耦合剂即可实现对管道的检测。电磁超声检测设备主要包括电磁超声换能器、激励与接收电路以及信号处理单元等。该技术具有检测速度快、对表面粗糙或有涂层的管道检测效果好等优势,能够在不破坏管道表面涂层的情况下快速检测出管道内部缺陷。同时,电磁超声检测技术可实现非接触式检测,避免了传统超声检测中探头与管道表面接触不良等问题,提高了检测的可靠性和稳定性。不过,电磁超声检测技术目前在检测精度和检测深度方面仍有待进一步提高,设备成本也相对较高。尽管如此,作为一种具有潜力的新兴检测技术,电磁超声检测设备在油气管道检测领域的应用前景受到广泛关注,相关研究和应用实践正在不断推进^[3]。

4 油气管道检测技术与设备发展趋势

展望未来,随着科技的持续创新和油气行业对管道安全要求的不断提高,油气管道检测技术与设备将朝着智能化、集成化、高精度化以及绿色环保化等方向发展。

4.1 智能化发展趋势

智能化将是油气管道检测技术与设备未来发展的核心方向。一方面,检测设备将具备更强的自主决策和自适应能力。例如,智能检测机器人能够根据管道内部的实际工况自动调整检测策略,优化检测路径,提高检测效率和准确性;另一方面,利用人工智能、大数据分析等技术,对海量检测数据进行深度挖掘和分析,实现管道缺陷的智能识别、分类和预测评估。通过建立管道完整性管理模型,能够提前预判管道的安全风险,为管道

的维护和维修提供科学依据,实现从传统的被动检测向主动预防式检测的转变。此外,智能化检测设备还将实现与管道运营管理系统的深度融合,实现检测数据的实时共享和远程监控,提高管道运营管理的智能化水平。

4.2 集成化发展趋势

为了提高检测的全面性和准确性,不同检测技术与设备的集成化发展将成为趋势。未来的油气管道检测设备将不再局限于单一的检测技术,而是集成多种检测原理的传感器,实现对管道多种缺陷类型和运行参数的同时检测。例如,将漏磁检测、超声波检测、光纤传感检测等技术集成在同一台检测设备中,发挥各技术的优势,相互补充,提高检测结果的可靠性。同时,检测设备还将与数据采集、传输、处理以及分析等功能进行深度集成,形成一体化的检测解决方案,减少设备体积和重量,提高检测系统的便携性和易用性。此外,检测设备的集成化还将体现在与管道建设、维护等其他环节的设备 and 系统的协同工作上,实现整个油气管道生命周期的高效管理。

4.3 高精度化发展趋势

随着油气管道安全标准的日益严格,对检测技术与设备的精度要求也将不断提高。未来,油气管道检测技术将朝着能够检测出更小尺寸、更细微缺陷的方向发展。在传统检测技术方面,通过优化传感器设计、改进信号处理算法等手段,进一步提高检测精度。例如,漏磁检测技术将通过采用更高灵敏度的传感器和更先进的磁场分析算法,提高对微小腐蚀缺陷和裂纹的检测能力;超声波检测技术将利用新型超声换能器和多模态超声检测方法,实现对管道内部更复杂缺陷的高精度检测。新兴检测技术如智能机器人检测技术、光纤传感检测技术等也将不断提升检测精度,为油气管道的安全运行提供更可靠的保障。高精度化的检测技术与设备将有助于及时发现管道潜在的安全隐患,降低管道事故发生的风险,提高油气管道的运行寿命^[4]。

4.4 绿色环保化发展趋势

在全球倡导绿色发展的大背景下,油气管道检测技

术与设备的绿色环保化发展也将成为必然趋势。一方面,检测设备将更加注重节能减排,采用低功耗的电子元件和高效的能源管理系统,降低设备运行过程中的能耗。例如,智能检测机器人将采用新型电池技术或能量收集技术,延长其在管道内的工作时间,减少对外部电源的依赖。另一方面,检测技术将尽量减少对环境的污染和破坏。传统的射线检测技术由于存在辐射危害,在未来的应用中将受到更严格的限制,而一些绿色环保的检测技术如光纤传感检测技术、电磁超声检测技术等将得到更广泛的应用和发展^[5]。此外,在检测设备的制造和维护过程中,也将更加注重环保材料的使用和废弃物的处理,减少对环境的负面影响。

结束语

油气管道检测技术与设备的发展对于保障油气管道安全运行、促进油气行业可持续发展至关重要。传统检测技术与设备凭借其稳定性和可靠性,在长期实践中发挥了关键作用;新兴检测技术与设备则凭借创新优势,为解决传统技术局限提供了新途径。展望未来,智能化、集成化、高精度化以及绿色环保化将成为油气管道检测技术与设备的发展方向。行业应积极推动技术创新与应用,加强产学研合作,不断优化检测技术与设备,以适应油气行业对管道安全日益严格的要求,为油气管道的安全稳定运行保驾护航。

参考文献

- [1]邱光友,王雪.油气管道内检测技术研究进展[J].石油化工自动化,2020,56(1):1-5.
- [2]王鹏聪.我国长输管道内外检测技术应用研究现状[J].化工技术与开发,2020,49(11):46-49,62.
- [3]张博远.油气管道系统安全管理与风险评估研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(21):83-85.
- [4]石磊.海底油气田管道维护与事故救援技术研究[J].石化技术,2024,31(10):83-85.
- [5]陈妍君,程紫燕.市油气管道爆燃事故风险演化及应急决策分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(19):132-134.