

海底油气输送管道非接触式超声检测技术探讨

谢伙成（广州建设工程质量安全检测中心有限公司，广东 广州 510400）

摘要：石油、天然气管道运输是我国五大运输产业之一，对我国国民经济起着非常重要的作用，被称为“能源血脉”，这其中大量的海底油气管道。由于海底管道受各种海况和海水腐蚀等因素影响，必须定期进行检测，但海底管道检测技术被国外高度垄断，导致我国的海底管道安全存在极大的隐患。建立与我国海洋检测需求相适应的管道检测技术，打破国外技术垄断，保障能源安全具有重大的意义。

关键词：油气输送管道；非接触式超声检测

0 引言

据 2020 年的统计数据，我国油气管道总里程已达到 16.5 万 km，海底管道有近万公里，并且在不断增长中，预计到 2025 年，我国长输管道总里程预计将超过 24 万 km。为了预防海底油气管道有可能出现的腐蚀、开裂等状况，避免发生海底漏油等事故，海底管道每 3~5 年就要检测一次，当前我国海底管道检测基本被国外公司垄断。这次“北溪天然气管道爆炸事件”震惊全世界，再次为我国能源安全提了个醒，建立与我国海洋建设管道相适应的检测技术，打破国外技术垄断，保障能源安全具有重大的意义。目前我国周边形势并不太平，对海洋安全需求的迫切性从未有当前这么严峻，因此我国建立并掌握自主的海洋管道检测核心系统非常迫切。

1 国内海底管道检测现状

由于海底管道应用条件和腐蚀因素较为复杂，对检测器可靠性和环境适应性的要求较陆地管道高得多，国内相关的管道检测技术处于起步发展阶段，导致国内检测技术落后与国内实际需求存在极大的反差，也使得国内海底管道检测的技术领域被美、英、法等国家长期高度垄断。高度的垄断致使检测服务不仅价格昂贵，且能源信息安全存在极大的隐患。比如海底油气管道在检测之前要先对管道进行管情调查，调查内容包括管道运行参数和管道基本信息，如管道运行的压力与温度，管道的材质、直径、屈服程度、拉伸强度等。在检测过程中，国外公司如果在检测器中加装了测绘组件就可以测出管道的三维坐标从而确定管道的具体地理位置，那我国的海底油气管道分布信息就暴露无遗。

国外公司在检测过程中以技术保密为由，排除国内方的参与，国内方对检测的过程无法管控，更无法进行检测干预，只在检测结束后等一到两个月才拿到

一份标准格式的检测报告，其他情况不得而知，完全受制于人。

2 技术发展现状及趋势分析

2.1 目前管道检测技术状况

目前的管道检测就是应用各种检测技术检测和记录包括管道的基本尺寸、管线直度、管道内外腐蚀状况、焊缝缺陷以及裂纹等情况。主要通过各种智能内检管道检测器（Smart Pig）实施管道在线检测来获取管道表面质量的平面及三维信息，以此作为指导管道运行、制定管道使用维护决策的重要手段。基于无损检测理论发展起来的管道内检测技术主要分为超声检测、漏磁检测、涡流检测。

2.2 检测技术发展的比较

2.2.1 超声检测技术

超声检测可分为主动检测和被动检测两类。主动检测即由超声探头发射超声波，通常称为超声无损检测技术。在被动检测技术中，超声波是被测试件受载荷时自发而出的，又称为声发射技术。与其他检测技术相比，超声检测具有被测对象范围广、缺陷定位准确、检测灵敏度高、成本低、对人体无害以及便于现场使用等优点。因此超声检测是应用最广泛、使用频度最高且发展最快的一种无损检测技术，但检测时探头与管壁间需有连续的耦合剂耦合，目前在气体管道上的应用还存在一定困难。

2.2.2 漏磁检测技术

从磁粉探伤演化而来的漏磁检测方法是建立在如钢管、钢棒等铁磁性材料的高磁导率这一特性上的。漏磁检测的原理是当对铁磁性的被测管道施加磁场时，在管道缺陷附近会有部分磁力线漏出被测管道表面，通过分析磁敏传感器的测量数据，得到缺陷的信息。该方法以其在线检测能力强、自动化程度高等独特优点而满足管道运营中的连续性、快速性和在线检

测的要求。与常规的磁粉检测相比,漏磁检测具有量化检测结果、高可靠性、高效率、低污染等特点,因而成为在用油气管道检测中最为广泛使用的一种磁性检测方法。欧美发达国家对漏磁检测的研究和应用较早,已经能够应用计算机和人工智能技术实现管道典型缺陷的三维图形构建,达到缺陷可视化。国内基于漏磁检测的理论和实验研究较多,实际应用方面与国外相比,在缺陷的定性和定量分析以及应用新的方法方式研究漏磁场存在差距。

近年来国内许多高校如北京工业大学、大庆石油学院等院校在漏磁检测及应用技术方面也做了许多研究工作。2015年中国航天科工承担研制的海底管道漏磁内检测器在中海油渤海BZ34-1油田圆满完成海底管道检测试验,取得了完整有效的数据,检测器性能参数达到国际同类产品先进水平,标志着我国海底管道“洋体检”时代的结束,打破了国外的技术垄断。

2.2.3 涡流检测技术

涡流检测是以电磁场理论为基础的电磁无损探伤方法,其基本原理是利用通有交流电的励磁线圈产生交变的磁场,使被测金属管道表面产生涡流,而该涡流又会产生感应磁场作用于线圈,从而改变线圈的电参数,只要被测管道表面存在缺陷,就会使涡流环发生畸变,通过感受涡流变化的传感器测定由励磁线圈激励起来的涡流大小、分布及其变化就可以获取被测管道的表面缺陷和腐蚀状况。涡流检测适用于管道表面缺陷或近表面缺陷的探伤,因此检测管道表面缺陷的灵敏度高于漏磁法。目前正在发展中的基于涡流检测理论的新技术主要包括:阻抗平面显示技术、多频涡流检测技术、远场涡流技术和深层涡流技术。

2.2.4 其他技术

随着无损检测科学技术的发展,一些新的无损检测技术也逐步应用于管道检测上。主要有:

2.2.4.1 热像显示技术

热像显示技术即红外热成像检测,它是通过红外探测系统测量被测管道表面的温度及温度场的变化来了解引起管道这种变化的力学性能、材料缺陷和腐蚀等原因及其影响程度。

2.2.4.2 金属磁记忆

金属磁记忆检测是近十几年才迅速发展起来的一种主要基于铁磁体的磁弹性效应和漏磁场的不可逆效应的无损检测技术,可以检测出已有的一定尺寸的裂纹,还能在这些裂纹产生之前或这些裂纹萌生的早期

阶段,诊断出将要产生这些缺陷的危险区域,故可用作对在役管道的早期损伤进行有效诊断和评价。

2.2.4.3 相控阵超声检测

相控阵超声检测可在探头的有效声程范围内对检测区域进行一次或多次全覆盖,一个相控阵探头就结合了宽波束探头和多焦点探头的优势。主要有相控阵超声检测(PAUT)、相控阵全聚焦(TFM)实时3D超声成像系统。

3 主要检测技术发展方向和技术难点

3.1 管道内置技术

海水管道在海里深度可达数千米级,不可能在管外进行检测,所以采用管道内置技术才是最可行的。海管内检测器的研制需攻克一系列技术难题,包括设备的小型化、高通过性以及缺陷数据的精确分析等。由于海上平台空间有限,要求用于海底管道的内检测器必须较陆地管道的内检测器尺寸更小才能保证正常收发操作。海底管道实际工况复杂,小半径弯头多,一旦内检测器出现卡堵,后果严重且维修费用高昂,所以内检测器必须具有超强的弯头通过性和变形适应性才能保证在实际检测中万无一失。

3.2 内置检测方法

由前述可知,目前成本低、效率高,可实现油、气管检测的检测方法为超声检测方法。海底管道输送的介质为油或气,对输送油的可采用水浸式,对输送气体的则考虑采用电磁超声耦合。在输送液体的管道中,采用内置水浸式超声检测系统如图1,也就是把检测仪器直接放入充满液体的管道内,把仪器浸泡在输送液体中,利用输送的液体进行耦合检测。

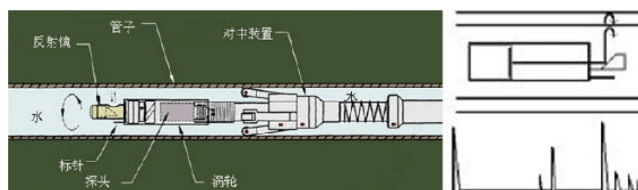


图1

电磁声换能器检测技术(EMAT)是一种新型的利用电动力学法在导电金属中产生超声波的装置,由处于磁场中靠近管道内表面的线圈构成。这个技术的出现为目前要重点解决气体输送管道的内置检测提供了方向。

图2是用洛伦兹力原理激发超声波的示意图。当线圈通交流电时,管壁中会产生感应电流,从而引起

洛伦兹力的产生,进而产生超声波。国内有关研究单位曾将电磁超声换能传感器安装在管道内检测装置上对其进行功能测试,发现检测器对纵向裂纹比较敏感并且可以将电磁超声换能器安装在不同的管道内检测器主体结构上以实现不同内径的管道内部缺陷检测。因此,对输气管道的电磁超声检测是一个可行的方向。

但是电磁换能器还存在一些缺点,如探测头与被检测件间隙控制的变化量很小,超声波传递效能低,这些问题制约着该项检测技术在管道内检测中的应用,但是对非接触式自动化检测的需求能够很好地满足。



图 2

3.3 检测实施方式设计

把检测仪器集成为智能爬行机器人,该检测器要求能在管道内利用管道油、气压力形成自主动力,随管道介质运行,利用高精度检测技术对海底管道进行在线内检测。检测完成后,提取储存的数据进行系统分析,可以对检测管道缺陷及区分管内外缺陷,并可对腐蚀、温度、运行姿态、里程等信息进行集中汇总。

3.4 检测器的主要功能设定

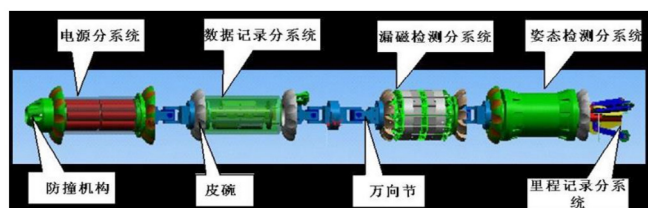


图 3

首先为海洋石油平台的油气输送管道提供健康检测。在不停产、不改变工况、不降低运行效益的前提下,利用管道内的气体、液体作为辅助动力,使检测仪器能够利用管道的油气压力形成自主动力,随管道介质运动,对海底管道进行在线内置检测。可以定期监控管道缺陷发展,并可对管径形变量、内外腐蚀量、运行温度变化、运行姿态改变、运行里程等信息进行

实时记录并比较。

其次,利用数据分析系统对检测数据进行分析 and 评估,确定管道形变、腐蚀量和缺陷的类型、大小和定位,利用三维技术对检测情况进行模拟显示,利用管道寿命评估系统综合管道信息进行管道泄漏预警、寿命预估、更换维修和安全警示等。

最后,检测器能整合超声波检测和漏磁检测系统,充分利用不同的检测方法,满足不同的检测要求,如对精度检测要求低的管道检测,可以采用漏磁智能检测系统,如图 3。

3.5 技术难点

近年,我国海洋石油天然气作业的大幅度增加,海底油气管道作为运输方式也越来越普遍,覆盖了渤海、东海部分水域和南海东西部大部分水域。

随着我国油气工业加大向海洋进军的力度,茫茫大海中矗立起越来越多的油气钻井平台,海底蜿蜒曲折的油气网管密布,水面则是进出各港湾的航道,因而海底油气管道所处的海洋环境是浅海、近海、深海都有,还有海陆连接部分。由此对油气管道检测器的信号传输,海底定位都有很大的难度,缺乏传感、定位、测绘三位一体技术。

其次,检测器的最终形态是灵巧机器人,对机器人的构造、材料、故障自我排除等也需要突破。再有就是电磁耦合技术目前虽有应用,但是还处在研究瓶颈突破阶段,需要大力进行技术攻关以取得突破。

4 未来展望

当前,科学技术发展日新月异,智能技术不断得到发展,具备高、精、微、智的灵巧机器人不断涌现。同时新材料技术、电磁技术、通讯技术、智能计数机技术得到了很大的发展,前述困难也必将得到解决,符合我国海洋管道检测需求的检测技术必将走向成功。

参考文献:

- [1] 郑晖,林树青. 超声检测(第2版)[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008.
- [2] GB/T 51172-2016. 在役油气管道工程检测技术规范[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2016.
- [3] 王金龙,何仁洋,张海彬,郭晗,吴庆伟. 海底管道检测最新技术及发展方向[J]. 石油机械,2016,44(10).
- [4] 丁秀莉,武新军,郭锴,吴莲锋. 电磁超声传感器工作原理与结构[J]. 无损检测,2015,37(1).