

Application and limitation of electromagnetic ultrasonic technology in petrochemical pipeline corrosion detection

Wenzhen Qian¹ Lei Cao² Jiaqiang Yang³

1. Shandong Province Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250101, China

2. CNPC Pipeline Testing Technology Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

3. Shijiazhuang Vocational College of Engineering, Shijiazhuang, Hebei, 050061, China

Abstract

As critical infrastructure in the petrochemical industry, pipeline corrosion directly impacts production safety and economic efficiency. Electromagnetic ultrasonic technology, an emerging non-destructive testing method, demonstrates unique advantages in pipeline corrosion detection. This paper elaborates on the principles and operational mechanisms of electromagnetic ultrasonic technology, analyzes its specific applications in pipeline wall thickness inspection and corrosion defect detection, discusses existing limitations, and outlines future development trends. The research aims to provide theoretical support and technical references for enhancing corrosion detection capabilities and ensuring safe pipeline operations in the petrochemical sector.

Keywords

Electromagnetic ultrasonic technology; Petrochemical pipeline; Corrosion detection; Application analysis; Limitations

石化管道腐蚀检测中电磁超声技术的应用与局限性分析

钱文振¹ 曹雷² 杨家强³

1. 山东省天然气管道有限责任公司, 中国·山东 济南 250101

2. 中油管道检测技术有限责任公司, 中国·河北 廊坊 065000

3. 石家庄工程职业学院, 中国·河北 石家庄 050061

摘要

石化管道作为石油化工行业的关键基础设施,其腐蚀状况直接关乎生产安全与经济效益。电磁超声技术作为一种新兴的无损检测手段,在石化管道腐蚀检测领域展现出独特优势。本文详细阐述电磁超声技术的原理及作用机制,深入分析其在管道壁厚检测、腐蚀缺陷检测等石化管道腐蚀检测中的具体应用场景,探讨该技术存在的局限性,并对未来发展趋势进行展望,旨在为提升石化管道腐蚀检测水平、保障管道安全运行提供理论支持与技术参考。

关键词

电磁超声技术; 石化管道; 腐蚀检测; 应用分析; 局限性

1 引言

于石油化工生产环节,石化管道承担输送各类原料、中间产品乃至成品的重要事务,其运行安全与可靠与否,对整个石化行业十分关键,鉴于长期置身复杂服役情境,石化管道容易受到内部输送介质的破坏、外部土壤环境的侵蚀以及应力作用等多种因素牵扯,引起管道腐蚀情况频繁显现。深入研究电磁超声技术在石化管道腐蚀检测里的应用与相关局限,可以促进该技术发展,提高石化管道腐蚀检测的确切性与可靠性。

【作者简介】钱文振(1985—),男,中国山东济南人,硕士,高级工程师,从事管道完整性管理、管道保护研究。

2 电磁超声技术原理

2.1 电磁超声基本原理

电磁超声技术凭借电磁感应、洛伦兹力原理达成超声波激发、接收的目的,要是对导电材料(例如石化管道惯用的金属材料)表面施加交变磁场,材料内部会形成感应电流,若于该区域额外施加一个静态磁场,涡流与静态磁场相互作用便会产生洛伦兹力,洛伦兹力方向跟涡流及静态磁场的方向是垂直的,其数值与涡流强弱、静态磁场强弱及材料电导率等要素相关,因这一洛伦兹力的施加,材料表面质点将出现振动,随之激起超声波振荡。在管道中传播的超声波,碰到腐蚀缺陷等不连续界面的时候,部分超声波将出现反射、折射以及散射现象,折返回来的超声波重新作用到管道表面,带动表面质点出现振动,交变磁场和静态磁场协同作用,引出感应电动势,依靠检测此感应电动势,由此可得到管道

内部的腐蚀资料,采用电磁效应实现超声波激发及接收的模式,令电磁超声技术摆脱对耦合剂的倚赖,为其在石化管道腐蚀检测领域的应用铺就基石。

2.2 电磁超声换能器工作机制

作为电磁超声技术核心的是电磁超声换能器,其运行机制左右着电磁超声信号的生成与检测成效,一般常见的电磁超声换能器结构,包含了线圈、永磁体,以及诸如石化管道管壁的被检测材料,线圈可生成交变磁场,永磁体供给静态磁场,要是交变电流经过线圈,在线圈周边产生交变的磁场,该交变磁场与永磁体所具静态磁场在管道表面区域相互协作,生成洛伦兹力现象,引发出超声波。按照不同检测需求以及管道结构特征,能构建多种类型的电磁超声换能器,若考量管道壁厚检测事宜,一般采用垂直入射状态下的电磁超声换能器,让超声波垂直管道表面实现传播,依据超声波往返时长测算管道壁厚;就管道腐蚀缺陷的检测而言,不妨采用斜入射、表面波这两类电磁超声换能器,凭借不同波型(如横波、纵波、表面波这些)对不同种类缺陷的敏感特性,实现对腐蚀缺陷的有效辨识,电磁超声换能器设计及后续优化,对增强电磁超声技术于石化管道腐蚀检测里的效能意义重大^[1]。

3 电磁超声技术在石化管道腐蚀检测中的应用

3.1 管道壁厚检测

石化管道运转期间,受腐蚀作用的干扰,管道壁厚会一点一点减薄,壁厚的变动对管道承载能力及安全性产生直接影响,电磁超声技术有能力实现对石化管道壁厚快速又准确的检测,把电磁超声换能器放至管道表面处,采用调整换能器参数的方式,令其发射与管道表面呈垂直状态的超声波,超声波于管道里开始传播,遇到管道的内外壁,反射随之发生,换能器接收到反射波,基于超声波于管道内的传播速率与往返时长,可精准计量出管道的壁厚。对比传统的超声壁厚检测途径,电磁超声壁厚检测无需借助耦合剂,消除了由耦合不善造成的检测误差,对管道表面粗糙度的要求不高,能在管道表面出现油污、锈蚀等情况的时候实施检测,电磁超声检测设备存有操作简易、检测灵快等长处,可达成对石化管道大范围迅速检测,迅速查明壁厚减薄地段,为管道维护与修复供给精准数据支撑。

3.2 腐蚀缺陷检测

3.2.1 表面腐蚀缺陷检测

作为常见腐蚀形式,石化管道表面腐蚀位列其中,诸如点蚀、均匀腐蚀这些类型,电磁超声技术可借助发射表面波或横波对管道表面腐蚀缺陷展开检测,发射表面波之际,表面波沿着管道的外表面传播开去,遇到表面出现的腐蚀缺陷,表面波传播特性将出现变动,诸如幅值呈现衰减、相位呈现改变等,凭借检测此类变化,由此可判断管道表面是否存有腐蚀缺陷,还可初步评估出缺陷的位置与大小值。就横

波检测这一事项,利用更改电磁超声换能器角度这一操作,让横波以既定角度入射进管道表面,当横波于管道内进行传播之际,面对表面缺陷表现出较高的敏感性,当碰到表面存在的腐蚀缺陷,横波会产生反射以及散射,引出带有特征属性的回波信号,借助对回波信号幅值、相位、频率等参数的剖析,可精确识别表面腐蚀缺陷的种类、位置及规模^[2]。

3.2.2 内部腐蚀缺陷检测

管道内部存在的腐蚀缺陷,检测难度偏大,鉴于缺陷处于管道内侧,常规检测手段对直接探测较难达成,电磁超声技术借助超声波于管道内传播这一特性,靠发射纵波与超声导波检测内部存在的腐蚀缺陷。若进入纵波发射阶段,纵波于管道这一介质中传播,若碰到内部存在的腐蚀缺陷,会形成反射以及折射局面,通过接纳反射归来的纵波信号,审视其振幅、相位及传播时间相关参数,能判断内部是否存在腐蚀缺陷以及其位置与大小。超声导波检测是凭借导波在管道传播距离长、衰减微弱特点,做管道内部长距离的检测工作,超声导波传播的阶段里,碰到内部腐蚀缺陷之际,会产生反射跟散射,造成特征性导波回波信号的生成,采用对导波回波信号进行分析处理的方式,可达成针对管道内部大面积腐蚀缺陷的快速探测与定位,为开展管道完整性评估提供关键凭据。

4 电磁超声技术应用的局限性

4.1 检测灵敏度与分辨率限制

就算电磁超声技术在石化管道腐蚀检测中存在一定利好,但于检测灵敏度和分辨率范畴,依然存在一定限制,针对微小规模的腐蚀缺陷,尤其针对尺寸小于超声波长的这类缺陷,电磁超声信号或许变化甚微,引发精准检测与识别的阻碍,电磁超声信号的产生、检测依赖材料电磁特性的变化以及超声波的传播特性,倘若缺陷尺寸过小的话,其对电磁特性以及超声波传播所产生的影响轻微,信号易遭噪声淹没。在对复杂形状结构的石化管道实施检测之际,因管道几何形状缘故,电磁超声信号将出现散射与干涉现象,使检测灵敏度与分辨率进一步下降,拉高了微小腐蚀缺陷检测的难度等级^[3]。

4.2 信号干扰与噪声影响

从实际应用角度讲,电磁超声检测信号易受多样干扰与噪声的干扰,石化管道所在工业环境繁杂,其周围分布着大量电磁干扰源,好比大型同步电机、自耦变压器、埋弧电焊机等,上述电磁干扰会跟电磁超声检测信号相互融合叠加,引发信号失真现象,降低检测结果精准度。检测设备本身自带的噪声干扰源,诸如电子元件的热噪声以及放大器的噪声,也会对电磁超声信号造成干扰情况,尤其当进行微弱腐蚀信号的检测之际,噪声的干扰愈发凸显,也许让检测结果出现误评与漏评的状况,为降低信号干扰及噪声效应,需推行一系列抗干扰的行动,诸如强化检测设备电磁屏蔽能

力、利用新型滤波算法和信号处理技术之类,这些手段在一定限度内会加大检测成本以及提高设备复杂状况。

4.3 对管道材料和结构的适用性局限

电磁超声技术的检测成效跟管道材料的电磁特性关联深切,就各类材质的石化管道而言,若涉及碳钢、不锈钢、铝合金等,其电磁参数,诸如电导率、磁导率等,会对电磁超声信号的激发、传播造成扰动,最终对检测结果形成干扰,涉及部分特殊材料抑或复合材料制成的管道,考虑到其电磁特性错综,电磁超声技术的应用也许被限制,甚至在有效检测方面无能为力。电磁超声技术的适用情况受管道结构样式左右,若考量有多层结构、内衬材料、保温层的石化管道,超声波会历经多次反射、折射与散射现象,造成信号繁多,难以精准剖析与阐释,基于这一情形,需对检测方法以及信号处理技术实施特殊设计与优化操作,加强电磁超声技术对复杂结构管道的检测实力,现在仍有一些技术上的难题需去攻克。

5 电磁超声技术的发展趋势

5.1 技术改进与性能提升

为冲破目前电磁超声技术面临的局限,未来研究将聚焦于技术改良与性能增强方向,就换能器设计而言,要进一步对电磁超声换能器结构参数做优化处理,推动其能量转换效率及检测灵敏度的提高,采用新式材料以及制造新工艺,开展对高灵敏、宽频段电磁超声换能器的探索性研发,强化针对微小腐蚀缺陷的检测水平。在信号处理技术范畴,会引入尖端的算法与数据分析举措,诸如深度学习、人工智能之类,增进对电磁超声信号的处理剖析能力,依靠对大量检测数据加以学习与训练环节,达成腐蚀缺陷自动辨认、分类与量化评估操作,提升检测结果精确性及可靠性^[4]。

5.2 多物理场融合检测技术发展

跟随着检测技术不断地演进,多物理场融合检测料将成为电磁超声技术重要发展走向,把电磁超声技术同别的物理场检测技术整合,跟超声导波、脉冲涡流、磁记忆等一同联合,借助不同物理场针对腐蚀缺陷的灵敏特质,实现针对石化管道腐蚀状态的多维度、全面性检测,利用多物理场检测数据做融合剖析,可更全方位、精准地获取管道腐蚀详情,增进检测可靠性及精准程度。把电磁超声技术跟脉冲涡流技术整合起来,运用脉冲涡流针对管道表面和近表面缺陷的高速检

测本领,加之电磁超声技术针对缺陷深度及内部情形的检测长处,实现对管道腐蚀缺陷全面化检测与评判,多物理场融合检测技术可赋予石化管道腐蚀检测更有力技术支撑^[5]。

5.3 设备小型化与智能化发展

为符合现场检测便捷高效之诉求,电磁超声检测设备朝小型化、智慧化方向开展趋势,采用领先的微机电系统(MEMS)技术以及集成化电路设计思路,实现检测设备小型化及便携效果,便于检测人员在现场进行操作运用。采用智能控制及数据解析体系,促使检测设备可自主开展检测参数设置、信号收集、处理与剖析等事宜,以检测结果为依据,给出智能化的诊断及决策意见,电磁超声智能化检测设备将促进检测效率提高,降低对操作人员技术层面水平的依仗,为石化管道腐蚀检测增添便利程度。

6 结语

电磁超声技术作为一种具有创新性和发展潜力的无损检测技术,在进行石化管道腐蚀检测实践中,表现出无需耦合剂、非接触式检测途径、对表面情形要求低等明显长处,在管道壁厚检查、腐蚀缺陷排查以及跟其他检测技术共同实施等方面有一定的成果产出,为石化管道安全运行提供了可靠的技术后盾。未来,跟随着技术的持续精进与创新拓展,电磁超声技术有潜在在性能提升范畴、多物理场融合检测环节以及设备小型化与智能化升级方面取得成效,持续拓宽其于石化管道腐蚀检测范畴的应用边界,提升检测的精准性及可靠性,推动石化行业安全稳定发展迈向新高度。

参考文献

- [1] 刘轩,吕炎,边策,等.管道电磁超声传感器阵列检测技术研究[J].电子测量与仪器学报,2023,37(11):24-32.DOI:10.13382/j.jemi.B2306676.
- [2] 李继承,戚政武,苏宇航,等.基于电磁超声技术的管道壁厚检测研究[J].中国特种设备安全,2023,39(S2):52-55+66.
- [3] 罗嵘,孙杰,王振,等.超声导波-电磁超声组合技术在油气管道的腐蚀检测应用[J].无损探伤,2023,47(05):42-44+48.DOI:10.13689/j.cnki.cn21-1230/th.2023.05.005.
- [4] 欧正宇,韩赞东,岑估松,等.埋地管道检测技术现状与展望[J].测控技术,2023,42(06):1-9.DOI:10.19708/j.ckjs.2022.11.323.
- [5] 吴斌,张皓,谷涛,等.LNG超低温管道腐蚀电磁超声检测技术[J].化工机械,2022,49(06):874-879.DOI:10.20031/j.cnki.0254-6094.202206003.