

工业管道不停输在线检验检测技术分析

杨湘, 梁晶, 于淘

湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

DOI:10.61369/ETQM.2025060024

摘 要 : 鉴于工业管道安全运行对工业生产的关键意义, 以及传统停产检测的局限性, 本文对工业管道不停输在线检验检测技术展开深入分析, 对基于超声导波、智能清管器、漏磁及光纤传感的检测技术进行了论述。提出升级检测设备精准度、优化数据处理算法、增强检测人员实操及完善检测流程规范等优化方法。旨在实现管道缺陷高效精准检测、提升检测工作质量与效率的效果, 解决传统检测方式影响生产连续性与安全性的问题, 为工业管道安全运行提供有力保障。

关 键 词 : 工业管道; 不停输; 在线; 检验检测

Analysis of Online Inspection and Detection Technology for Industrial Pipelines without Shutdown

Yang Xiang, Liang Jing, Yu Tao

Hunan Anguang Inspection and Testing Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

Abstract : Given the critical significance of safe operation of industrial pipelines to industrial production and the limitations of traditional shutdown inspection methods, this paper conducts an in-depth analysis of online inspection and detection technology for industrial pipelines without shutdown. It discusses detection techniques based on ultrasonic guided waves, smart pigs, magnetic flux leakage, and optical fiber sensing. Optimization methods such as upgrading the precision of detection equipment, optimizing data processing algorithms, enhancing practical skills of inspection personnel, and improving inspection procedures and specifications are proposed. The aim is to achieve efficient and precise detection of pipeline defects, improve the quality and efficiency of inspection work, address issues related to the impact of traditional inspection methods on production continuity and safety, and provide strong support for the safe operation of industrial pipelines.

Keywords : industrial pipelines; without shutdown; online; inspection and detection

工业管道是工业生产体系的关键脉络, 其安全稳定与否直接关乎生产的有序推进与企业的经济效益。过往传统检测手段多需停产实施, 不仅中断生产流程, 还带来高昂经济损耗, 难以契合现代工业大规模、高要求的生产态势。在此背景下, 不停输在线检验检测技术作为保障管道安全的创新途径, 逐渐成为行业焦点。深入探究此类技术及其优化策略, 能够为维护工业管道运行、推动工业生产高效发展提供积极支持。

一、工业管道不停输在线检验检测技术

(一) 基于超声导波的检测技术

超声导波能够在管道介质中以特定模式传播, 且传播距离较远。其原理在于, 通过在管道外壁安装超声换能器, 激发超声导波并使其沿管道轴向传播。当超声导波遇到管道内部的腐蚀、裂纹等缺陷, 会发生反射、散射和模式转换现象。检测设备接收这些反射波信号, 经过专业的信号处理算法分析, 便能精准确定缺陷的位置、大小和类型。从传播特性来看, 超声导波可实现对长距离管道的快速检测, 能覆盖常规无损检测手段难以触及的区域, 大幅提高检测效率。基于超声导波的检测技术对管道内部微小缺陷敏感度高, 即便是微小裂纹或早期腐蚀迹象也能有效识

别, 为及时采取维护措施提供关键依据, 避免因小缺陷发展成严重事故, 有力保障工业管道安全稳定运行。

(二) 智能清管器在线检测技术

智能清管器集成了多种先进的传感器技术和数据处理系统, 其外形与传统清管器类似, 但功能更为强大。在工业管道输送介质的推动下, 智能清管器在管道内运行, 如同一位智能巡检员。清管器上搭载的高精度漏磁传感器、超声传感器等, 可实时采集管道内壁的状况数据。漏磁传感器能检测管道壁因腐蚀、磨损等导致的壁厚变化, 超声传感器则对内部裂纹等缺陷有良好的检测效果^[1]。智能清管器配备的陀螺仪、里程轮等装置, 能够精确记录自身在管道内的位置信息, 将采集到的缺陷数据与具体位置准确关联。智能清管器在线检测技术能在不影响管道正常输送的情

况下,对管道进行全面细致的检测;智能清管器可适应复杂的管道环境,包括不同管径、弯曲段等,实现全线路检测,为管道完整性管理提供全面、准确的数据支持。

（三）漏磁在线检测技术

漏磁在线检测技术基于铁磁性材料的磁特性,当工业管道为铁磁性材质时,在管道外壁施加均匀磁场,使管道被磁化。若管道内壁存在腐蚀坑、磨损减薄区域等缺陷,会导致局部磁导率发生变化,引起漏磁场的产生。漏磁在线检测设备通过高灵敏度的磁敏传感器,对这些漏磁场进行捕捉和测量。漏磁检测对管道表面及近表面缺陷具有极高的检测精度,能够快速准确地确定缺陷位置和大小^[4]。该技术检测速度快,可连续对管道进行长距离检测,适用于石油、天然气输送等多种工况下的工业管道。在实际应用中,漏磁在线检测技术能够及时发现管道运行过程中出现的各类缺陷,为制定合理的维修计划提供科学依据,有效预防管道泄漏等安全事故的发生,保障工业生产的连续性和安全性。

（四）光纤传感在线监测技术

光纤具有独特的光学特性,当外界环境因素,如温度、压力、应变等发生变化时,会引起光纤中传输光的相位、波长、强度等参数改变。在工业管道在线监测中,将光纤传感器沿管道敷设,通过监测光信号参数的变化,便可获取管道的实时运行状态信息。利用分布式光纤温度传感器,能够实时监测管道沿线的温度分布,一旦管道某处因泄漏导致介质与周围环境发生热交换,温度异常变化会被传感器迅速捕捉。光纤应变传感器可检测管道因受力变形产生的应变情况,判断管道是否存在异常应力^[5]。该技术优势明显,光纤传感器具有抗电磁干扰能力强、灵敏度高、可实现分布式测量等特点,能对工业管道进行全方位、实时、精准的监测。光纤体积小、重量轻,便于安装和维护,可适应恶劣的工业环境,为工业管道的安全运行提供了可靠的保障,助力工业企业实现智能化、精细化的管道管理。

二、工业管道不停输在线检验检测技术优化措施

（一）升级检测设备精准度的举措

要提升检测设备精准度,需对检测设备的核心传感器进行升级换代。以超声导波检测设备为例,传统的压电陶瓷传感器在灵敏度和分辨率上存在一定局限,而新型的基于微机电系统(MEMS)技术的超声传感器,具备更高的灵敏度和更宽的频带响应范围。通过采用此类先进传感器,能有效提高超声波信号的采集精度,使检测设备对管道内部微小缺陷的识别能力大幅增强。运用低噪声、高增益的放大器以及高速、高精度的模数转换芯片,可降低信号传输过程中的噪声干扰,提高信号的转换精度,确保采集到的检测信号更加准确可靠^[4]。引入先进的校准技术,定期使用标准试件对检测设备进行校准,依据校准结果对设备参数进行精确调整,补偿设备在长期使用过程中因环境因素、元器件老化等导致的性能漂移,保证检测设备始终处于最佳工作状态,实现精准检测。某石化企业在工业管道检测中运用超声波检测设备,升级设备精准度时,对核心传感器进行更换,将原有的

压电陶瓷传感器替换为基于MEMS技术的超声传感器,新传感器灵敏度提升了30%,频带响应范围拓宽2倍^[6]。在信号发射与接收电路优化上,采用低噪声、高增益放大器,使信号噪声比降低了50%,使用高速、高精度模数转换芯片,信号转换精度提高了15%。企业定期采用标准的带有不同尺寸人工缺陷的管道试件,对检测设备进行校准,校准过程中,使用德国某知名品牌的标准试件,依据其精确的缺陷参数,检测设备采集反射波信号。校准完成后,依据结果对设备的增益、频率等参数进行精确调整。经多次校准,设备在长期使用中因高温、高湿等环境因素以及元器件老化导致的性能漂移得到有效补偿。

（二）优化数据处理算法的方法

在数据处理算法优化方面,可采用先进的滤波算法对原始检测数据进行预处理。工业管道检测环境复杂,检测数据易受到各种噪声干扰,传统的均值滤波、中值滤波等算法在去除噪声的同时,可能会损失部分有用信号特征。而最小均方(LMS)算法、递归最小二乘(RLS)算法等自适应滤波算法能够根据数据的统计特性实时调整滤波参数,在有效去除噪声的同时,最大程度保留信号的细节特征,为后续数据分析提供高质量的数据基础。运用模式识别算法对经过预处理的数据进行分析识别,基于支持向量机(SVM)的模式识别算法,通过将检测数据映射到高维空间,寻找最优分类超平面,能够准确识别管道缺陷的类型、大小和位置等信息。与传统的基于阈值判断的识别方法相比,SVM算法具有更强的泛化能力和更高的识别准确率,可有效提高检测结果的可靠性^[9]。还可引入深度学习算法对大量历史检测数据进行学习训练,构建智能化的数据处理模型。深度学习算法能够自动从海量数据中提取复杂的特征模式,实现对管道缺陷的精准诊断和预测,提升数据处理的效率和准确性。某能源企业负责大量工业管道的运维,为提升检测数据处理效率与准确性,引入深度学习算法。该企业依托IBM Watson IoT平台,收集过往5年超过10万组工业管道检测数据,涵盖不同工况、缺陷类型及环境因素下的超声导波、漏磁等检测数据。企业利用TensorFlow框架搭建卷积神经网络(CNN)模型,针对管道缺陷数据特点,设计包含5个卷积层、3个全连接层的网络结构^[7]。模型训练阶段,使用NVIDIA GPU集群加速计算,经1000次迭代训练,损失函数收敛至0.05以下。训练完成后,模型投入实际应用。实际运行中,该模型面对复杂腐蚀缺陷,能精准判断腐蚀程度与范围,预测潜在故障风险,数据处理时间从原来平均每次30min缩短至5min,提升了数据处理效率与准确性,为管道维护决策提供有力支撑。

（三）增强检测人员实操的要点

在增强检测人员实操能力方面,要制定系统全面的培训计划。培训内容不仅应涵盖检测设备的操作原理、性能特点以及各类检测技术的理论知识,还需注重实际操作技能的训练。通过模拟真实的工业管道检测场景,让检测人员在实践中熟练掌握检测设备的操作流程,学会正确设置设备参数、采集检测数据以及应对各种突发情况^[8]。某化工企业拥有复杂且庞大的工业管道网络,为强化检测人员实操水平,构建了高度仿真的工业管道检测模拟中心。该中心由专业工程团队打造,依照企业实际管道布局

与常见工况，设置了不同管径、材质及敷设环境的模拟管道段，配备超声导波、智能清管器等各类检测设备。培训时，检测人员分组进入模拟中心。例如在一次超声导波检测模拟训练中，培训导师要求学员针对模拟管道上预设的5处不同类型缺陷，在2h内完成检测操作。学员们需依据管道参数，正确设置德国某品牌超声导波检测设备的频率、增益等参数，随后进行数据采集。过程中，模拟突发信号干扰，部分学员能迅速排查原因，调整设备抗干扰设置，确保数据准确采集。定期组织检测人员参加技术交流活动和专业研讨会，使其能够及时了解行业内最新的检测技术和方法，拓宽技术视野，不断更新知识体系^[9]。建立完善的考核评价机制，对检测人员的实操能力进行定期考核，考核内容包括设备操作熟练度、数据采集准确性、缺陷判断准确率等方面。根据考核结果，对表现优秀的检测人员给予奖励，对存在不足的检测人员进行针对性的强化培训，促使检测人员不断提升自身实操水平。鼓励检测人员在实际工作中积极总结经验，开展技术创新活动，提出改进检测方法和操作流程的合理化建议，提高检测工作的质量和效率。

（四）完善检测流程规范的策略

在完善检测流程规范方面，要对检测前的准备工作进行细化规范。明确规定检测人员在检测前需对工业管道的运行历史、材质信息、敷设环境等进行详细调查，制定针对性的检测方案。对检测设备的校准、调试以及检测现场的安全防护措施等工作流程进行明确规定，确保检测前各项准备工作充分到位。规范检测过程中的操作流程，制定详细的检测操作步骤和质量控制要点，要求检测人员严格按照规定的操作流程进行数据采集，确保检测数据的准确性和完整性^[10]。在检测过程中，对数据采集的频率、位置以及检测信号的质量等进行实时监控，一旦发现异常情况，及时采取相应的纠正措施。某燃气公司负责大面积燃气输送管道的

运维，为确保检测工作的高效与准确，制定了完善的检测流程规范。在日常检测中，运用自主研发的管道检测数据监控系统，对数据采集进行严格把控。以智能清管器检测作业为例，依据管道的重要程度及运行状况，设定数据采集频率为每50m采集一次。在采集位置方面，对弯头、焊缝等易出现问题的关键部位，增设辅助检测点。在一次检测任务中，智能清管器搭载的美国某品牌检测设备，在传输数据时，监控系统显示一处焊缝附近的检测信号质量出现异常波动。检测人员迅速响应，结合历史数据与现场情况分析，判断可能是设备传感器受电磁干扰^[11]。当即安排专业技术人员，携带屏蔽设备赶赴现场，对传感器进行屏蔽处理，并重新校准设备参数。经过重新检测，信号质量恢复正常，确保了数据的准确性与完整性。建立完善的检测数据管理和报告制度也是必不可少的环节。对检测数据的存储、传输、分析以及检测报告的编制、审核和归档等流程进行规范管理，确保检测数据的可追溯性和检测报告的规范性、准确性，为工业管道的安全运行和维护管理提供可靠的依据。

三、结束语

通过上述分析可知：工业管道不停输在线检验检测技术中的超声导波、智能清管器、漏磁及光纤传感技术各有千秋，能有效发现管道缺陷。在设备精准度升级上，借助新型传感器、优化电路及校准技术得以实现；数据处理算法经先进滤波、模式识别及深度学习算法得到优化；检测人员实操能力通过系统培训、考核激励及鼓励创新得以增强；检测流程规范通过细化检测前准备、规范检测操作及完善数据管理报告制度得以完善。这些举措切实提升了检测工作质量与效率，有力维护了工业管道的安全运行。

参考文献

[1] 牟曦辉,汪四新,廖林森,等.工业管道不停输在线检验检测技术探讨[J].中国设备工程,2023(19):207-209.
[2] 刘子杨.工业管道不停输在线检验检测技术浅析[J].工程技术研究,2024,6(2):5-7.
[3] 刘振东,武超峰.工业管道不停输在线进行定期检验的探讨[J].中国设备工程,2024(3):185-187.
[4] 吴建平,史海亮,蔡景明,等.基于风险的工业管道在线检测技术研究[J].中国特种设备安全,2022,38(1):20-23.
[5] 蔡照钰.新型无损检测技术在压力管道在线检测中的应用[J].精品,2022(2):167-168.
[6] 张友天,杜彪,吕润铭,等.工业管道 RBI 评估技术在乙烯装置的应用研究[J].中国设备工程,2022(11):21-23.
[7] 赵祖鸣,陈文飞,王银成,等.基于混频非线性超声的金属压力管道早期疲劳损伤检测[J].高技术通讯,2024,34(11):1234-1242.
[8] 莫李珍.压力管道在线检测应用新型无损检测技术的分析[J].中国化工贸易,2024(36):112-114.
[9] 孙杰,李绪丰,胡华胜.基于组合超声波技术的高温工业管道在线监测[J].装备机械,2024(1):74-78,98.
[10] 卢润坤,王博,王皓,等.基于电磁超声的工业管道自驱式壁厚连续扫描内检测系统[J].仪表技术与传感器,2024(7):94-99,104.
[11] 谭清,孙杰.工业管道腐蚀在线检测技术应用[J].石油化工腐蚀与防护,2023,40(1):44-47.