

套管小修作业中的智能化检测技术研究

武浩

辽河工程技术分公司

【摘要】本文旨在探讨智能化检测技术在套管小修作业中的应用，从而提升检测精度和作业效率。本研究分析了套管小修作业中传统检测技术的种类及常见问题，并结合套管小修作业中智能化检测技术的基本原理分析，探讨了智能化检测技术中高精度定位与缺陷检测、深度学习算法、自适应调节与故障诊断等一系列技术的具体应用要点，并提出了系统集成与平台搭建、操作人员培训与技术支持等一系列智能化检测技术实施策略。

【关键词】套管小修作业；智能化检测技术；高精度定位；深度学习算法；自适应调节

Research on intelligent detection technology in casing minor repair operation

Wu Hao

Liaohu Engineering and Technology Branch Company

【Abstract】This paper aims to discuss the application of intelligent detection technology in the casing minor repair operation, so as to improve the detection accuracy and operation efficiency. This paper analyzes the kinds of traditional detection techniques and common problems in the casing minor repair work, analyzes the basic principles of intelligent detection technology in the casing minor repair work, discusses the specific application points of intelligent detection technology, deep learning algorithm, adaptive regulation and fault diagnosis, and discusses the implementation strategies of system integration and platform building, operator training and technical support.

【Key words】casing repair operation; intelligent detection technology; high precision positioning; deep learning algorithm; adaptive adjustment

引言

石油天然气行业对管道系统安全性要求日益提升，套管小修作业在保障管道结构安全和延长使用寿命方面越来越具备重要作用。传统的套管小修作业检测技术，如视觉检测、超声波检测、电磁检测和放射性检测，虽然在一定程度上能够完成管道的缺陷识别和监测，但这些技术存在着许多局限性，严重影响了套管小修作业的效率 and 准确性^[1]。因此，如何在此基础上借助智能化检测技术的“东风”，提升检测技术的精度、效率及自适应能力，成为了行业内亟待解决的难题。

1 套管小修作业中传统检测技术的种类及常见问题分析

在套管小修作业中，传统检测技术主要包括视觉检测、超声波检测、电磁检测和放射性检测。每种技术都有其独特的工作原理及应用场景。

(1) 视觉检测：视觉检测技术需要使用高分辨率摄像设备（如分辨率可达 10 兆像素的工业相机）进行套管外表面缺陷的实时监测。此方法依赖图像处理技术，能够识别表面裂纹、腐蚀及变形。其缺点是只能检测表面缺陷，深层次的裂纹和腐蚀难以发现^[2]。

(2) 超声波检测：超声波检测技术需要通过传感器发射频率为 1 MHz 至 10 MHz 的超声波，并通过分析反射波的时间差来检测内部缺陷。这种方法适用于管道壁厚（通常 5 mm 至 50 mm）范围内的缺陷检测，可以有效识别内裂纹、孔洞和腐蚀区。然而，超声波信号在复杂结构中易受干扰^[3]，且要求检测人员具有较高的专业能力。

(3) 电磁检测: 电磁检测技术需要利用电磁感应原理, 采用频率通常为 10 kHz 至 1 MHz 的交流电流, 检测套管表面及近表面缺陷 (如裂纹和腐蚀)。此技术适用于导电材料的检测之中, 但容易受到涂层、油污和杂质的影响, 导致发生信号衰减问题, 降低检测精度。

(4) 放射性检测: 放射性检测技术需要通过放射源发射 X 射线或 γ 射线, 穿透套管并在接收器处测量透射率, 进而评估材料的内部结构。此技术适用于检测内部缺陷, 能穿透厚度为 10 cm 至 30 cm 的金属材料, 但存在较高的安全风险, 且设备昂贵, 操作复杂。

2 套管小修作业中智能化检测技术的基本原理

智能化检测技术的基本原理在于通过传感器、数据处理和机器学习算法, 实时评估套管状态, 从而实现提高检测精度和效率的工程目的。该技术主要涉及三个关键方面内容: 数据采集、数据处理和故障诊断。

(1) 数据采集: 智能化检测系统利用多种传感器进行实时数据收集。比如, 超声波传感器通常在频率范围为 1 MHz 至 10 MHz 内工作, 能够检测到壁厚为 5 mm 至 50 mm 的金属套管内部缺陷。温度传感器和应变传感器则可用于检测环境变化和套管的变形情况。传感器采集到的数据可以通过无线传输模块 (如 Wi-Fi 或 LoRa) 传输至数据处理系统, 实时反馈管道状态。

(2) 数据处理: 传输到中央处理系统后的数据需要通过高级数据分析算法进行处理。其中, 图像识别算法是基于深度卷积神经网络 (CNN), 能够分析分辨率高达 10 兆像素的实时图像, 准确识别表面裂纹、腐蚀或变形等缺陷。超声波回波数据则可以通过时差分析, 检测到 5 mm 以下的小裂纹或孔洞。传感器数据则需要结合环境变化, 通过机器学习算法进一步优化和校准分析结果, 才能有效提高检测的准确性。

(3) 故障诊断: 在诊断中, 智能化系统需要通过对历史数据的学习, 运用大数据分析和预测模型对套管的潜在故障进行预测。例如, 系统模型可以基于过往的裂纹数据和温度变化, 预测未来的裂纹扩展趋势, 提前发出警报, 并优化

维修计划。这种基于机器学习的故障诊断模型, 可以显著提高检测系统的自适应能力和预测准确性。

3 智能化检测技术在套管小修作业中的应用要点

3.1 智能化检测技术的关键技术

3.1.1 高精度定位与缺陷检测

在套管小修作业中, 智能化检测技术之一的高精度定位与缺陷检测技术主要包括了超声波检测、激光雷达扫描与电磁感应技术等核心内容。其中, 超声波检测主要是借助超声波传感器, 于 1 MHz 至 10 MHz 的频率范围内, 进行裂纹、腐蚀等内部缺陷的深度检测, 从而实现对壁厚为 5 mm 至 50 mm 的金属套管的深度和位置准确识别。而激光雷达则可以在套管表面缺陷检测过程中, 为智能化检测提供高精度的三维扫描数据, 从而实现对接套表面形态和缺陷的精确定位。此外, 电磁感应技术则可以在表面裂纹与腐蚀检测中完成对金属表面及近表面缺陷的识别任务, 从而提高检测的稳定性与准确性, 实现更高效的作业目标。

3.1.2 深度学习算法在数据分析中的应用

在套管小修作业中, 深度学习算法主要是基于卷积神经网络 (CNN) 对图像数据和超声波回波数据进行深度分析研究, 其可以帮助套管小修作业智能化检测技术快速完成对于表面缺陷、腐蚀、裂纹等的深度分析和定位。在实际应用中, 深度学习算法主要用于图像识别、超声波数据处理以及传感器数据分析等过程中。其中, 在图像识别过程中, 深度学习算法可以对高分辨率的实时图像进行特征提取和缺陷识别, 从而完成裂纹和腐蚀的自动定位任务。在超声波回波数据分析过程中, 深度学习算法可以帮助对反射波的时差进行智能分析, 识别微小裂纹和孔洞, 提升检测的精度和效率, 实现在复杂结构中的有效检测目标。通过对多维度数据的深度学习, 系统能够自动优化检测模型, 减少人工干预, 提升作业的整体效率和准确性。

3.1.3 自适应调节与故障诊断

在套管小修作业中, 自适应调节与故障诊断技术主要是基于机器学习算法和数据分析模型, 对检测过程中的动态变化进行实时调整, 从而提升检测的准确性和可靠性。自适应

调节技术能够根据环境变化、传感器数据以及套管的工作状态,实时调整检测参数,以适应不同的检测条件,保证作业过程中的高精度检测。在实际应用中,自适应调节主要用于超声波信号处理、电磁信号分析等过程中,其中,超声波信号在复杂结构或高噪声环境下容易受到干扰,自适应调节算法可以实时优化信号处理过程,提高信号的清晰度和准确度,从而保证裂纹、腐蚀等缺陷的准确检测。在故障诊断过程中,机器学习算法能够通过历史数据的学习和模式识别,对套管潜在故障进行预测,并及时发出预警信号。通过对传感器数据、温度变化、应变等信息的深度分析,故障诊断系统可以智能评估裂纹的扩展趋势、腐蚀的严重程度等,从而实现对未来故障的预测和及时处理。在系统运行过程中,故障诊断技术还可以通过不断积累的数据,优化预测模型和检测算法,使得系统具备更强的自适应能力,能够应对不同工作环境和变化因素,从而提高整体作业效率和安全性。

3.2 智能化检测技术的实施策略

3.2.1 系统集成与平台搭建

在套管小修作业中,要实施智能化检测技术,需要搭建一个适合于多传感器融合和数据实时处理的系统和平台。此系统需要集成超声波检测、激光雷达扫描、电磁感应、深度学习算法和机器学习模型等技术内容,实现高精度检测、实时数据分析与故障预测等工程目标。平台则主要是用于数据采集、处理、存储和分析,在作业过程中,对于传感器采集到的实时数据进行全面化、自动化的处理,完成对于套管表面和内部缺陷的精准识别与定位。平台还需要具备强大的计算能力,以支持深度卷积神经网络(CNN)和时序分析算法的实时运行,确保数据处理的高效性和准确性。此外,平台还需具备灵活的接口与通信能力,支持与现场传感器设备的无线连接(如Wi-Fi或LoRa),确保系统在复杂环境下的稳

定运行,并为套管小修作业提供数据支持和决策依据。

3.2.2 操作人员培训与技术支持

在智能化检测技术实施的过程中,由于套管小修作业过往的检测技术偏传统化、独立化,操作人员对新技术的应用常常存在较大的适应性挑战。因此,原有的操作人员对于智能化检测技术会存在设备操作不熟悉、数据分析理解困难等技术问题,也会存在一些对新技术天然抗拒、对技术操作缺乏信心等心理问题。在技术应用的过程中,管理团队需要对操作人员进行数据采集与处理、深度学习算法应用、设备维护等全方位的技能培训与心理建设。

对于一些负责比较核心且复杂操作的人员,如图像识别和超声波信号处理等关键环节的操作人员,还需要邀请一些智能化检测领域的专家来进行更为深入的技术培训与技术支持。在实操过程中,一旦遇到如信号干扰、数据异常处理等问题,操作人员可以与专家团队进行远程技术支持或现场技术指导,讨论与解决相关问题,并通过专家团队的协助进行技术方案的调整与优化。这种灵活的技术支持体系可以确保操作人员在实际作业过程中能够快速解决突发问题,提升作业效率和系统的可靠性,从而实现对套管小修作业的全面精确检测和高效执行。

4 结语

随着科技的不断进步,智能化检测技术在套管小修作业中的应用正迎来前所未有的发展机遇。通过高精度的检测、实时的数据分析以及自适应调节的技术手段,智能化检测不仅可以持续提升套管小修作业工作效率,还可以大大提高作业的精确度和安全性。在未来,结合人工智能、物联网和大数据的综合应用,智能化检测技术可以在更多领域得到进一步推广,逐步引领并形成工业检测的智能化发展新趋势。

参考文献

- [1]马文静,张志刚,伍浩文,刘水森,刘涛.小修定位取换套工艺技术研究[J].石油工业技术监督,2024,40(02):62-64.
- [2]闻洪生.古A套漏井小修作业定点取换套管的实践与认识[J].化学工程与装备,2023,(12):95-97.
- [3]宋一,管锋.小修作业自动化技术现状与展望[J].化学工程与装备,2020,(06):40-42.