

微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用探析

叶应召（中国石化销售股份有限公司河南平顶山石油分公司，河南 平顶山 467000）

摘要：石油储运管道作为石油工业的重要基础设施，安全性与稳定性直接关系石油能源的高效利用、环境保护。而微波无损检测技术作为先进的检测技术，具有非接触式、灵敏度高、反应快等特点，在石油储运管道检测中展现出巨大应用潜力。基于此，本文分析微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用价值，提出技术的应用措施，为准确进行石油储运管道的检测提供助力。

关键词：微波无损检测；石油储运管道；检测

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)013-0095-03

Application of Microwave Nondestructive Testing Technology in Oil Storage and Transportation Pipe Inspection

Ye Yingzhao (Sinopec Sales Co., Ltd. Henan Pingdingshan Petroleum Branch, Pingdingshan Henan 467000, China)

Abstract: As an important infrastructure of the petroleum industry, the safety and stability of oil storage and transportation pipelines are directly related to the efficient utilization petroleum energy and environmental protection. Microwave nondestructive testing technology, as an advanced testing technology, has the characteristics of non-contact, high sensitivity, and quick, and it shows great application potential in the detection of oil storage and transportation pipelines. Based on this, this paper analyzes the application value of microwave nondestructive technology in the detection of oil storage and transportation pipelines, and proposes the application measures of the technology to provide help for the accurate detection of oil storage and transportation pipelines.

Keywords: microwave nondestructive testing; oil storage and transportation pipeline; testing

石油作为工业的“血液”，在国民经济发展中占据重要地位，但是石油储运管道在运行过程中，由于材料老化、外力损伤、腐蚀等因素，容易出现裂纹、防腐层脱落等问题，严重威胁管道的安全运行。传统的射线检测、超声检测等检测方法虽具有一定效果，但存在检测效率低、对人体有害等局限性。微波无损检测技术作为新兴的检测手段，以独特的优势在石油储运管道检测中受到广泛关注。因此在石油储运管道检测期间，需重视微波无损检测技术的应用，提升石油储运管道监测水平，达到预期的目的。

1 微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用价值

微波无损检测技术是利用微波与物质相互作用的原理，测量微波在待测物体中的传播特性、反射特性或透射特性，推断物体内部的结构、组成、缺陷等信息的非破坏性检测技术，石油储运管道检测中微波无损检测技术具有重要意义，主要因为微波无损检测技术可实现非接触式检测，无需对待测物体进行拆解或破坏，可提高检测效率，微波对物体内部的微小变化极为敏感，能准确检测出管道内部的微小缺陷。与传统的射线检测相比微波无损检测技术对人体无害，更适合长期、频繁的检测工作，且微波无损检测技术可用于检测各种材质、形状、尺寸的管道，具有很强的

通用性，另外，微波无损检测技术具有非接触式的检测优势，使得其在防腐层缺陷检测中具有独特的应用价值，传统的检测方法需要接触管道表面进行检测，会对管道造成损伤或污染，而微波无损检测技术则可在不接触管道表面的情况下进行检测，避免此类问题，提升检测工作水平，值得推广应用。

2 微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用措施

2.1 裂纹缺陷的检测

裂纹是石油储运管道中常见的缺陷，对管道的安全运行构成严重威胁，需采用微波无损检测技术实现对裂纹缺陷的有效检测，具体为：

2.1.1 微波反射法检测裂纹

微波反射法是利用微波在金属表面反射的特性来检测裂纹缺陷，微波照射到金属管道表面时在表面形成反射波，如若管道表面存在裂纹，微波的反射特性会发生变化，反射波的幅值、相位等参数会产生突变，因此在检测过程中，需运用微波反射法分析反射波的变化，实现对裂纹缺陷的检测。例如：将矩形波导设备作为微波发射接收装置，调整波导的开口方向和频率，实现对管道表面不同区域的扫描检测，检测到裂纹反射波会在裂纹位置产生明显的波动或突变，完成对裂纹的定位、定量评估。

2.1.2 双端口与单端口检测系统选择

微波无损检测中双端口检测系统和单端口检测系统具有不同的应用特点，双端口检测系统具有较高的检测精度，适用于对较长输送管道进行检测，但是管道内壁存在相距较近的两个或多个缺陷，双端口检测系统的定位会受到影响产生失真现象，因此需采用单端口检测系统进行检测，提高定位的准确性。

2.2 防腐层缺陷的检测

防腐层是保护石油储运管道免受腐蚀的重要屏障，但是由于施工不当、材料老化等原因，很容易出现防腐层脱落、破损等缺陷，因此需重点运用微波无损检测技术对防腐层缺陷的有效检测。

2.2.1 微波透射法检测防腐层

微波透射法是利用微波穿透物质的特性来检测防腐层缺陷，微波照射到管道表面时，部分微波会穿透防腐层进入管道内部，如若管道防腐层存在缺陷，微波的穿透特性会发生变化，透射波的幅值、相位等参数会产生突变，检测透射波的变化，可实现对防腐层缺陷的检测。实际工作中需将专用的微波检测仪作为发射和接收装置，调整检测仪的频率功率，完成不同厚度和材质的防腐层的检测，检测到防腐层缺陷，透射波会在缺陷位置产生明显的衰减或突变，实现对缺陷的定位与定量评估。

2.2.2 多频段扫描与数据分析

为提高防腐层缺陷的检测精度，检测人员需采用多频段扫描的方法进行检测，在不同频段下对管道进行扫描检测，获取更丰富的信息，准确评估防腐层的状况，同时做好数据的处理分析，提取防腐层缺陷的位置、尺寸等信息，为后续的修复维护工作提供依据。

2.3 管道表面缺陷定位

2.3.1 反射系数法定位

反射系数法是利用微波在金属表面反射的特性来定位管道表面缺陷的方法，微波照射到管道表面会在表面形成反射波，如若管道表面存在缺陷，反射波的幅值、相位等参数会产生突变，检测反射波的变化，结合反射系数的计算公式，可实现对管道表面缺陷的定位。实际工作中需将矢量网络分析仪作为发射和接收装置，调整分析仪的频率功率，实现对不同材质、厚度的管道的检测，检测到缺陷时反射系数会在缺陷位置产生明显的变化，实现对缺陷的定位。

2.3.2 电长度法定位

电长度法是利用微波在管道内传播的特性来定位管道表面缺陷的方法，微波在管道内传播，其传播距离与电长度呈线性关系，测量微波的传播时间、速度，可计算微波在管道内的传播距离，实现对管道表面缺陷的定

位。技术应用期间需使用专用的微波检测系统作为发射、接收装置，调整系统的频率功率，实现对不同长度和直径的管道的检测，检测到缺陷，需按照微波的传播时间、速度计算缺陷的位置，实现对缺陷的精确定位。

2.3.3 多角度扫描与三维成像

为提高管道表面缺陷的定位精度和可靠性，需采用多角度扫描和三维成像的方法进行检测，在不同角度下对管道进行扫描检测，获取更全面的信息，准确定位缺陷的位置形状。同时利用三维成像技术可将检测数据转化为直观的三维图像，使得缺陷的位置、形状更加清晰可见，达到预期的检测目的。例如：检测前对管道表面进行清洁处理，去除污垢、锈迹等附着物，使微波信号准确反射并接收，在管道表面涂覆耦合剂等提高微波信号的传播效率。按照管道的尺寸、材质、预期的缺陷类型制定扫描方案，做好扫描角度的选择、扫描路径的规划、扫描参数的设定，使用微波无损检测设备对管道表面完成多角度扫描，调整设备的位置角度，全面覆盖管道表面，捕捉各个方向的反射信号，扫描过程中实时监测微波信号的反射情况，记录反射信号的强度、相位等特征参数，将多角度扫描得到的数据融合处理，利用三维成像算法重构管道表面的三维图像，对三维图像平滑、滤波等处理，提高图像的清晰度，重构的三维图像中识别定位管道表面的缺陷，分析腐蚀坑、裂纹、凹陷的形态、大小和位置等信息，评估其对管道安全性的影响。

2.4 管道内部缺陷定位

采用微波无损检测技术期间，需重视管道内部缺陷的定位，精确定位管道内部的缺陷位置，提升工作水平。

2.4.1 穿透法检测与定位

穿透法是利用微波穿透物质的特性来检测管道内部缺陷的方法，微波照射到管道表面，部分微波会穿透管道壁进入内部，如若管道内部存在缺陷，微波的穿透特性会发生变化，透射波的幅值、相位等参数会产生突变，检测透射波的变化，结合穿透法的计算公式，可实现对管道内部缺陷的定位。但是由于微波在金属中的穿透深度有限，因此穿透法主要适用于非金属或复合材料管道的内部缺陷检测，对于金属管道则需要采用其他方法进行内部缺陷的检测定位。例如：检测之前需要备微波信号源、微波探头、检波器等设备，保证设备处于良好工作状态，对被检测管道进行清洁处理，去除表面的污垢和锈迹，保证微波信号的准确传播。按照管道材质、壁厚以及预期的缺陷类型设置微波频率、功率和检测灵敏度等参数，将微波探头紧贴于管道表面，发射微波信号并接收穿透管道后

的反射信号，结合检测信号的幅度、相位和频率等特征参数的变化，分析管道内部是否存在缺陷，对接收的微波信号进行平滑处理，剔除干扰信号和孤立点，利用小波变换等先进信号处理技术，对信号进行进一步的分析处理，准确识别缺陷的位置、类型。基于处理后的数据，评估管道内部的缺陷情况，编写检测报告。报告中应明确缺陷的位置、大小、类型以及可能的影响等信息，为后续的维修更换提供科学依据。

2.4.2 层析成像技术

层析成像技术是先进的无损检测技术，可实现对管道内部缺陷的三维成像和精确定位，该技术利用微波在管道内部传播的特性，在不同角度下对管道进行扫描检测，获取管道内部不同截面的信息，利用计算机图像处理技术将信息组合成三维图像，实现对管道内部缺陷的精确定位和可视化展示。层析成像技术具有检测精度高、定位准确、可视化效果好等优点，适用于对复杂结构和材质的管道进行内部缺陷的检测定位，但是该技术也存在一定的局限性，检测速度慢、设备复杂等，因此实际应用中需要按照具体情况进行选择优化。例如：搭建微波层析成像系统，完善微波信号源、天线阵列、数据采集与处理系统等，对系统进行校准，保证各部件之间的协同工作、数据的准确性，将天线阵列围绕被检测管道布置，发射微波信号接收反射信号，调整天线阵列的布置、微波信号的参数，获取管道内部的多角度、多层次的微波信息，利用层析成像算法对接收的微波信息进行处理和分析，重构管道内部的结构图像，对图像进行平滑、滤波等处理，提高图像的清晰度与准确性，重构的图像中，识别定位管道内部的缺陷，按照缺陷的形态、大小和位置等信息，评估其对管道安全性的影响，编写检测报告详细记录缺陷的识别结果、定位信息，基于检测结果制定相应的维修更换计划，促使管道的安全稳定运行。

3 微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用保障

3.1 完善技术体系

技术体系的完善是微波无损检测技术在石油储运管道检测中应用的基础，实际工作中需制定微波无损检测技术的相关标准规范，明确检测方法的适用范围、操作步骤、数据处理要求等，提升检测结果的准确性，且需加大对微波无损检测技术的研发投入力度，促使新技术的研发应用，积极推广现有技术成果，提高微波无损检测技术在石油储运管道检测中的普及率，提高应用水平。

3.2 优化技术流程

技术流程的优化是提高微波无损检测技术在石油

储运管道检测中效率的关键，因此需重视技术流程的优化，对微波无损检测技术的检测流程进行规范化管理，明确各个环节的责任人和操作要求，采用流程化管理方式保证检测工作的高效完成。同时采用自动化、智能化技术，提高微波无损检测技术的检测效率，运用自动化扫描设备和智能数据处理系统，实现对管道的快速检测和数据分析，以此为基础完善微波无损检测技术的质量控制评估机制，对检测过程和结果进行全面监控评估，发现纠正检测中存在的问题，提升检测结果的可靠性。

3.3 强化技术创新

技术创新是推动微波无损检测技术在石油储运管道检测中持续发展的关键，此期间应关注微波无损检测技术的最新研究进展、发展趋势，积极探索前沿技术与新型检测方法，引进先进技术成果，不断提升微波无损检测技术的水平，同时重视微波无损检测技术与其他学科领域的交叉融合，积极与材料科学、计算机科学、信息技术等融合，促使微波无损检测技术的创新发展。另外需积极与高校、科研机构和企业之间的产学研合作，共同开展微波无损检测技术的研发和应用推广工作，产学研合作形成技术创新，促进产业发展的良性循环。

4 结语

综上所述，微波无损检测技术在石油储运管道检测中具有广泛的应用前景、巨大的发展潜力，因此在新时期的环境下，需重视微波无损检测技术的应用，完善技术体系，优化技术流程，强化技术创新，充分发挥微波无损检测技术的作用，为石油储运管道的安全运行提供有力保障。随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展，微波无损检测技术在石油储运管道检测中将发挥更加重要的作用，企业需不断关注新技术的发展、市场需求的变化，注重推动微波无损检测技术的创新和发展，为石油工业的可持续发展做出贡献。

参考文献：

- [1] 霍利涛.微波无损检测技术在石油储运管道检测中应用方式探究 [J].石油化工建设,2024,46(6):157-159.
- [2] 冯博.微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用 [J].电视技术,2023,47(5):207-211.
- [3] 冯挺,刘亮.微波无损检测技术在石油储运管道检测中的应用 [J].中国化工贸易,2024,16(17):148-150.
- [4] 于昊言,李勤勤,金淇,等.非金属管道的微波无损检测技术综述 [J].测控技术,2023,42(5):12-27.

作者简介：

叶应召（1975-），男，汉族，河南郏县人，本科，中级工程师，研究方向：化工安全。