doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2025.06.007

检验与维护

# 管道漏磁检测中提离效应影响及提离补偿方法研究

王海奇[1],杨立清[1],李忠虎[1],王金明[1],张鑫宇[2],王建新[3]
(1.内蒙古科技大学 自动化与电气工程学院,内蒙古包头 014010;
2.内蒙古科技大学 机械工程学院,内蒙古包头 014010;
3.内蒙古北方重工集团技术中心计量理化研究院,内蒙古包头 014010)

**摘　要:**针对管道漏磁检测中因提离效应导致的信号衰减及缺陷尺寸误判问题,提出一种缺陷提离补偿方法。通过构建缺陷尺寸与漏磁信号中指示长度之间的参考关系曲线,以最小二乘法匹配实现缺陷长度与深度的精准反演与提离补偿;同时建立了管道缺陷漏磁检测三维模型,研究传感器提离、磁化器提离及二者共同提离对漏磁信号的影响。结果表明:传感器提离对信号峰值的削弱作用显著强于磁化器提离,且二者协同作用会加剧信号衰减。在提离值为3 mm和4 mm的工况下,分别实现缺陷深度预测误差为2.0%、2.4%,长度预测误差为3.4%、3.7%的检测精度;在提离值为4 mm并改变缺陷尺寸的情况下,仍可保持深度预测误差为2.9%、长度预测误差为3.6%。相较于传统参数空间搜索方法,该方法显著提升了计算效率与检测精度。

**关键词:**管道;漏磁检测;提离;传感器
**中图分类号:**TH49;TG115.28　　**文献标志码:**B

# Research on the influence of lift-off effect and lift-off compensation method in pipeline magnetic flux leakage testing

WANG Haiqi[1],YANG Liqing[1],LI Zhonghu[1],WANG Jinming[1],ZHANG Xinyu[2],WANG Jianxin[3]
(1.School of Automation and Electrical Engineering,Inner Mongolia University of Science and Technology,Baotou 014010,China;2.School of Mechanical Engineering,Inner Mongolia University of Science and Technology,Baotou 014010,China;
3.Institute of Metrology,Physics and Chemistry of Inner Mongolia North Heavy Industry Group Technology Center,Baotou 014010,China)

**Abstract:**To address the issues of signal attenuation and defect size misjudgment caused by the lift-off effect in pipeline magnetic flux leakage testing,a defect lift-off compensation method was proposed.By constructing a reference relationship curve between defect size and indication length in the magnetic flux leakage signal,precise inversion of defect length and depth with lift-off compensation was achieved through least squares fitting.Meanwhile,a 3D model for magnetic flux leakage testing of pipeline defects was established to study the effects of sensor lift-off,magnetizer lift-off,and their combined lift-off on magnetic flux leakage signals.The results show that the weakening effect of sensor lift-off on the signal peak is significantly stronger than that of magnetizer lift-off,and their synergistic effect exacerbates signal attenuation.Under working conditions with lift-off values of 3 mm and 4 mm,the detection accuracy achieved is 2.0% and 2.4% error in defect depth prediction,and 3.4% and 3.7% error in length prediction,respectively.When the lift-off value is 4 mm and defect sizes are varied,the method maintaines a depth prediction error of 2.9% and a length prediction error of 3.6%.Compared with traditional parameter space search methods,this method significantly improves computational efficiency and detection accuracy.

**Key words:**pipeline;magnetic flux leakage;lift-off;sensor

**收稿日期:**2025-04-17　**修回日期:**2025-05-24
**基金项目:**国家自然科学基金项目(62161042)

## 0 引言

油气管道是国家能源运输主干线，承担着天然气、原油、成品油等大宗能源的长距离、高效率输送[1-5]。缺陷的出现是导致管道泄漏、断裂、燃烧、爆炸等安全事故的主要诱因。缺陷处的漏磁场大小受诸多因素影响，提离值是影响检测误差的核心因素之一。提离值增大会引起漏磁场强度指数级衰减、降低信噪比与灵敏度，从而影响缺陷尺寸的准确评估[6-11]。

AMINEH 等[12]提出了一种金属表面空间磁场分布 $X$ 分量与提离值之间的频域变换关系，但该方法需要卷积与反卷积处理，计算过程较为复杂。PENG 等[13]基于漏磁信号的深度组合特性，给出了在特定提离值下两个漏磁信号之间的对应关系。宋志强等[14]采用随机逼近算法和最小二乘法修复失真信号，试验表明其修复效果优于传统加权平均法，尤其在非均匀提离波动场景下更具鲁棒性。崔伟等[15]通过优化磁极间距和缩短钢刷长度，减少空气耦合磁场干扰，使信噪比提升30% 以上。吴德会等[16]通过三维有限元仿真量化提离波动与电磁噪声的综合影响，确定最佳提离范围为2~4 mm，以减少振动与噪声的综合误差。然而，文献[12-14]着重分析如何消除因提离效应造成的信号失真问题，但存在计算量大、受限程度高等问题；文献[15-16]着重研究结构优化和最佳提离范围，但未对信号失真补偿问题进行研究分析。

针对上述问题，文中以提高检测精度、减小提离效应误差为目标，采用有限元方法建立漏磁检测模型。分析磁化器和传感器产生提离效应的影响研究，通过该模型分析提离效应对漏磁信号的影响，并针对传感器提离值造成的仿真数据误差，提出基于分步优化算法的提离补偿技术，不仅实现缺陷长度与深度的精准预测，更大幅降低计算量，为管道缺陷的信号误差处理提供理论参考。

## 1 理论分析及模型建立

### 1.1 管道漏磁内检测原理

管道漏磁内检测技术是一种用于检测管道内外表面缺陷，特别是用于识别管道壁厚变化、腐蚀、裂纹或焊缝缺陷的无损检测方法[17-18]。其原理是通过在管道内部或表面引入一个磁场，通过检测磁场泄漏的变化来识别管道中的缺陷，如图1所示。当磁性材料没有任何缺陷时，所有磁通全部通过管道，不会产生磁场泄漏；当磁性材料存在缺陷时，会导致局部磁导率发生变化，进而导致磁场线的扭曲和磁通的泄漏。通过传感器获取的缺陷漏磁场信号信息可以判断出缺陷的位置和深度[19]。

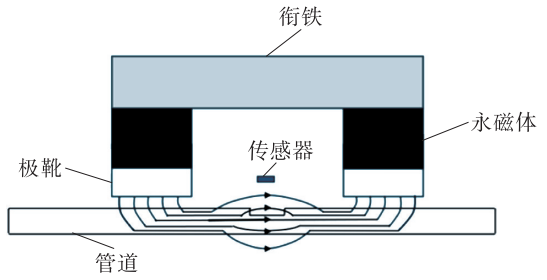



**图1 管道漏磁检测原理**

Fig.1 Principle of pipeline magnetic flux leakage testing

### 1.2 仿真模型建立

有限元数值仿真方法通过求解满足特定边界条件的控制方程，能够对复杂几何结构与非线性材料进行高精度建模，在无需大量试验的情况下，以低成本、高效率获取具有代表性的仿真数据样本，广泛应用于无损检测与结构评估等工程领域[20]。文中采用COMSOL仿真软件对整体模型进行数值分析，考虑到油气管道具有典型的圆柱结构，建模过程中选取管道的一部分作为研究区域，以在保证仿真准确性的前提下，提高计算效率并聚焦于缺陷区域的磁场响应特性。管道材料为Q235，厚度设置为10 mm。磁化结构由衔铁、永磁体、极靴组成，衔铁尺寸设置为200 mm×200 mm×45 mm（长×宽×高），永磁体尺寸设置为200 mm×65 mm×50 mm（长×宽×高），极靴尺寸设置为200 mm×65 mm×25 mm（长×宽×高）。永磁体为N50钕铁硼材质，磁极相反，模型外侧设置有空气域，尺寸设置为550 mm×450 mm×300 mm（长×宽×高），设置空气磁导率为1，管道漏磁检测有限元仿真模型如图2所示。

在漏磁检测仿真中，合理的网格划分对于准确捕捉缺陷引起的磁场变化、提高仿真精度与数值收敛性、避免信号波形失真具有关键作用。考虑到较大网格可能导致计算误差，而过度细化又会显著增加计算资源消耗，本文在确保仿真精度的前提下，兼顾计算效率，合理优化网格密度配置，整体模型采用自由四面体网格，并对缺陷所在管道表面进行局部细化，进一步对缺陷区域的面与边界实施更高密度的网格划分。缺陷边界处的

细化对于准确模拟导磁率突变位置磁场畸变及漏磁路径变化至关重要，有助于提升漏磁信号的解析精度与缺陷特征的可分辨性，有限元模型网格划分如图3所示。

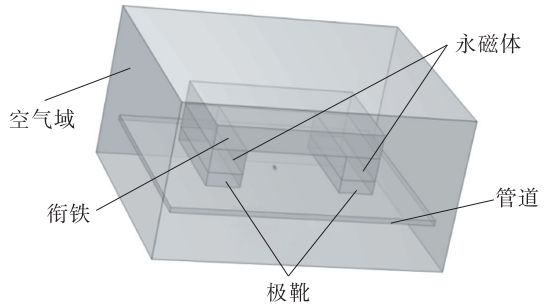



图2 管道有限元仿真模型

Fig.2 Pipeline finite element simulation model

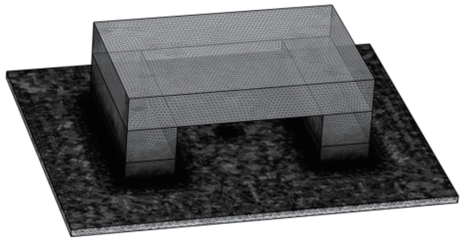


图3 有限元模型网格划分

Fig.3 Mesh division of the finite element model

## 2 提离效应的影响

在漏磁检测过程中，多种因素会干扰检测数据的准确性。焊缝结构和管道内异物等干扰源都可能引发传感器或磁化装置产生提离现象，进而对漏磁信号的采集产生不利影响。图4为传感器与磁化装置的提离示意，其中分别标注了传感器提离距离$d_1$和磁化器提离距离$d_2$。

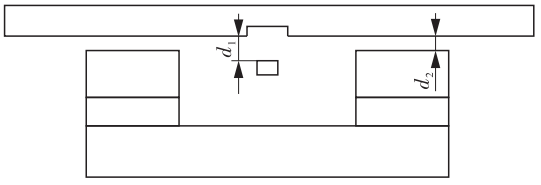



图4 传感器和磁化器提离示意

Fig.4 Schematic of sensor lift-off and magnetizer lift-off

磁化器提离不仅会造成信号波动，还会造成磁场强度衰减，影响传感器的信号获取和后续数据处理。为了探究磁化器发生提离对传感器信号获取的影响，建立轴向长4 mm，周向宽10 mm，深4 mm的长方体缺陷。设置磁化器提离值为0 mm，传感器提离值$d_1$依次取0.5，1.0，2.0，4.0，6.0，8.0 mm，6种不同传感器提离值对缺陷漏磁信号径向分量的影响如图5所示。在相同缺陷下，设置传感器提离值为0 mm，不同磁化器提离值$d_2$对缺陷漏磁信号径向分量的影响如图6所示。探究磁化器与传感器同时发生提离的情况，缺陷漏磁信号径向分量如图7所示。

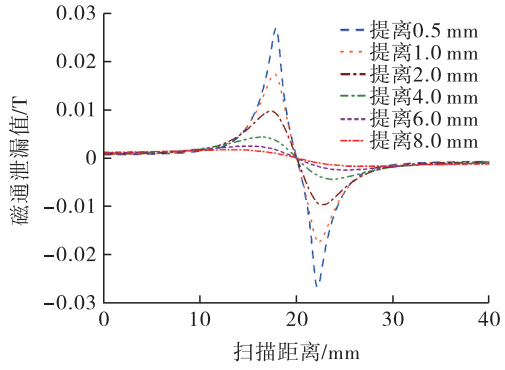



图5 不同传感器提离值下漏磁信号的径向分量

Fig.5 Radial component of magnetic flux leakage signals under different sensor lift-off values

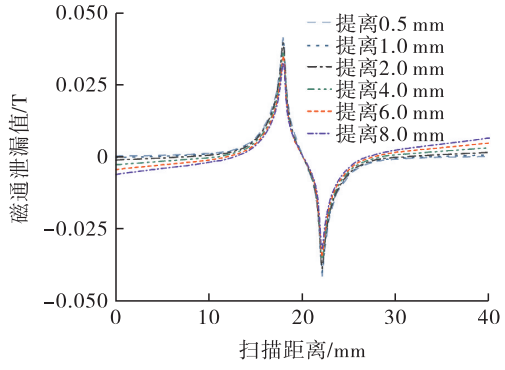



图6 不同磁化器提离值下漏磁信号的径向分量

Fig.6 Radial component of magnetic flux leakage signals under different magnetizer lift-off values

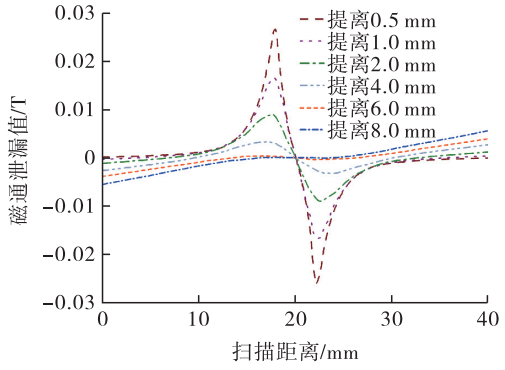



图7 传感器和磁化器同时提离漏磁信号的径向分量

Fig.7 Radial component of magnetic flux leakage signals under simultaneous sensor and magnetizer lift-off

对比图5至图7可以看出，相比磁化器提离，传感器提离对漏磁信号径向分量的影响更为显著。随着传感器提离值的增加，信号基线显著降

低，导致径向分量的峰峰值大幅下降；与此同时，峰峰间距明显增大。这种间距增大将直接放大缺陷尺寸估算的误差，削弱了漏磁检测对缺陷特征的准确评估。相对而言，磁化器提离对径向分量的影响较小：随着提离值增大，峰峰值仅呈缓慢下降趋势，且峰峰间距基本保持稳定。这表明磁化器提离主要引起整体幅值的轻微衰减，对基线变化影响有限，因此对利用峰峰值反演缺陷轴向长度的准确性影响不大。而在传感器与磁化器同时提离的情况下，漏磁信号峰值出现最大幅度的衰减。

图8示出3种组合随着提离值的增加，峰值的变化情况。在磁化器与传感器都不发生提离时，峰值为0.042 5 T，在提离值为8 mm时，其峰值衰减度分别为24%，96%和100%。由此可知，磁化器单独发生提离时，磁通密度下降，对传感器信号获取有一定程度影响。传感器发生提离时，磁化器不发生提离和在8 mm提离值的峰值衰减仅差4%。此外，钢刷与管壁的柔性接触提供了机械支撑和减震作用，帮助内检测器在长距离运行中保持稳定，避免传感器与缺陷错位。因此，在分析传感器提离影响时，可以忽略磁化器的影响。

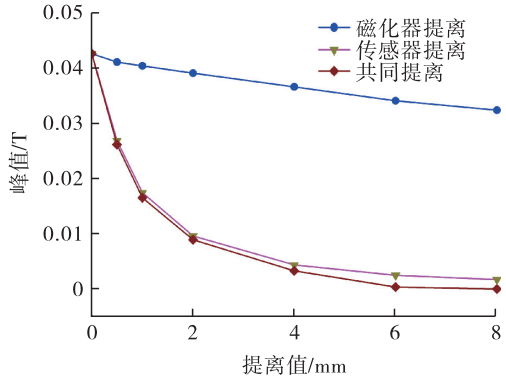



**图8　3种组合信号峰值随提离值变化**

Fig.8　Signal peak values of three combinations versus lift-off variation

基于上述分析，无论哪种提离方式都会导致所测得的漏磁信号峰值降低。这种降低会导致实际漏磁信号幅值不准确，缺陷遗漏或低估缺陷尺寸。因此，在进行漏磁检测之前，评估管道以确定是否存在杂物至关重要。

## 3　传感器提离补偿技术研究

通常认为，在非常小的提离值情况下，径向漏磁分量的峰峰间距表示缺陷的轴向长度[21]。其中，缺陷周向宽度的大小对径向漏磁分量峰峰间距的影响可忽略不计，图9示出提离值为0.2 mm时，固定缺陷轴向长度和深度分别为5 mm和4 mm，缺陷周向宽度为5，10，15，20 mm时的径向分量。可以看出，随缺陷周向宽度增大，径向分量的峰峰间距几乎没有变化。因此，后续研究将缺陷周向宽度固定为10 mm。

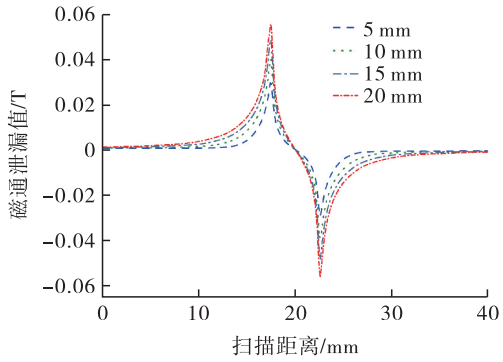



**图9　不同周向宽度缺陷径向分量**

Fig.9　Radial component of defects with different circumferential widths

但在较大提离值的情况下，这种方法产生的误差很大。设置缺陷深度$h$为2.5 mm，周向宽度$l$为10 mm，轴向长度$w$为3.5 mm，提离值$d_1$为4 mm。得到测试信号径向分量如图10所示，峰值间距6.52 mm，此时误差达到86.3%。因此，需要一种方法能够补偿提离效应对管道缺陷尺寸测量的影响，在已知漏磁信号径向分量和提离值的情况下，能够准确确定缺陷轴向长度和深度。

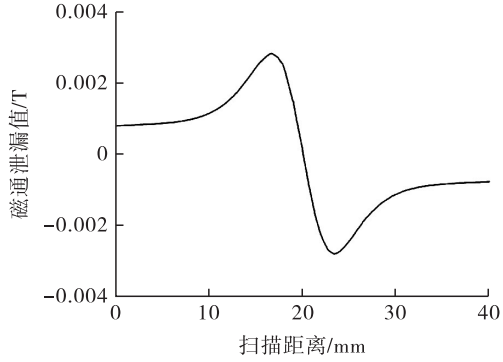



**图10　测试信号径向分量**

Fig.10　Radial component of test signal

$w$表示缺陷轴向长度，$h$表示缺陷深度，$(w,h)$参数空间表示在不同缺陷深度$h$下，实际缺陷轴向长度$w_a$所对应的指示缺陷轴向长度$w_i$。提离补偿问题可定义为：在提离值$d_1$下，找到参数空间中$(w,h)$所对应的值，使其产生的仿真信号与测试信号相同，这本质上是一个可通过优化方法

求解的逆问题。传统方法是在($w$,$h$)参数空间中搜索最优解,文中所提出的技术采用一种更简单的逐步方法,具体步骤如下。

首先,获得测试信号(如图10所示),然后需要搜索参数空间($w$,$h$),以使测试信号与仿真信号之间的最小二乘法误差最小。给定$d_1$=4 mm,对$w_a$和$h$进行范围取值,由图2仿真模型中得到的径向分量仿真信号及径向分量峰峰值间距确定。用径向分量峰峰值间距表示指示缺陷轴向长度$w_i$,将$w_a$与$w_i$的关系绘制成图,如图11所示。图中曲线称为参考曲线,直线为$w_i$=6.52 mm的测试信号,用于确定缺陷的实际半径和深度。

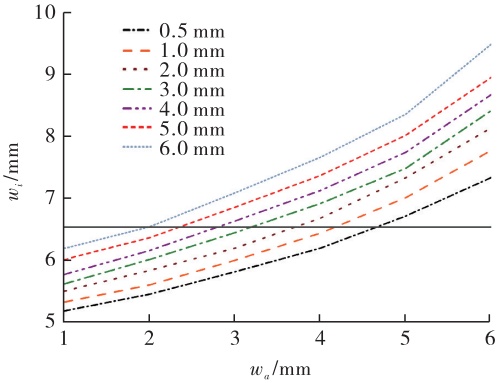



图11 不同$h$取值下$w_i$随$w_a$的变化

Fig.11 $w_i$ versus $w_a$ under different $h$ values

然后,将参考曲线与$w_i$=6.52 mm直线的交点绘制$w$–$h$曲线,如图12所示。该曲线表示($w$,$h$)参数子空间中所有产生相同指示半径$w_i$=6.52 mm的点。

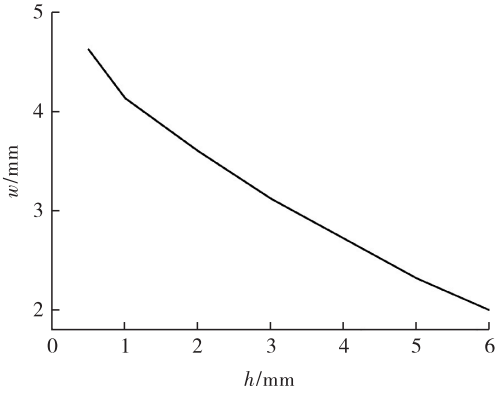



图12 $d_1$=4 mm和$w_i$=6.52 mm的参数空间

Fig.12 Parameter space with $d_1$=4 mm and $w_i$=6.52 mm

最后,搜索图12曲线上的点($w$,$h$),使测试信号与仿真信号之间的最小二乘法误差最小,结果如图13所示,得出$h_p$=2.44 mm,$w_p$=3.37 mm,实际缺陷参数为$h_a$=2.5 mm,$w_a$=3.5 mm。预测结果得出缺陷深度预测误差为2.4%,缺陷长度预测误差为3.7%。

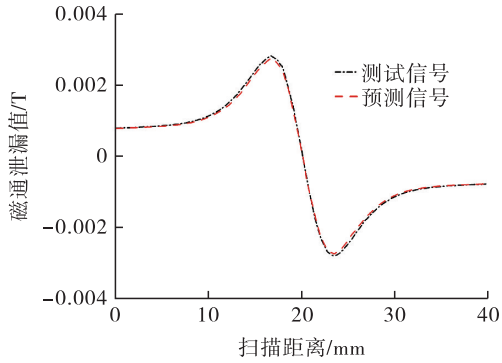



图13 预测信号与测试信号对比

Fig.13 Comparison of predicted signal and test signal

为验证模型在不同提离值及缺陷尺寸下的适用性,设置对照试验进行分析。保持缺陷深度$h_a$=2.5 mm、周向宽度$l_a$=10 mm、轴向长度$w_a$=3.5 mm不变,采用相同方法得出在提离值$d_1$=3 mm条件下的结果如图14所示。

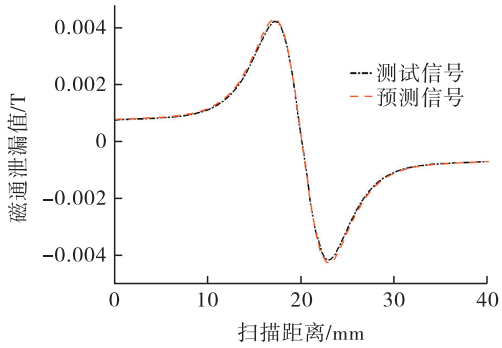



图14 不同提离值预测信号与测试信号对比

Fig.14 Comparison of predicted signal and test signal under different lift-off values

经预测得到的缺陷参数分别为$h_p$=2.55 mm,$w_p$=3.62 mm,对应的预测误差分别为2.0%,3.4%。进一步将缺陷深度设为$h_a$=3.5 mm、轴向长度为$w_a$=4.5 mm,周向宽度保持$l_a$=10 mm,研究在提离值$d_1$=4 mm情况下的预测性能,结果如图15所示。预测结果为$h_p$=3.60 mm、$w_p$=4.66 mm,根据预测结果得出缺陷深度预测误差为2.9%,缺陷长度预测误差为3.6%。

综上所述,在不同提离值和缺陷尺寸条件下,模型均能保持较高的预测精度,表明其具备良好的鲁棒性。所提出的方法确定了($w$,$h$)参数空间的一个子空间,并在该子空间上搜索最优解,而非在整个参数空间上搜索,极大地减少了计算量。

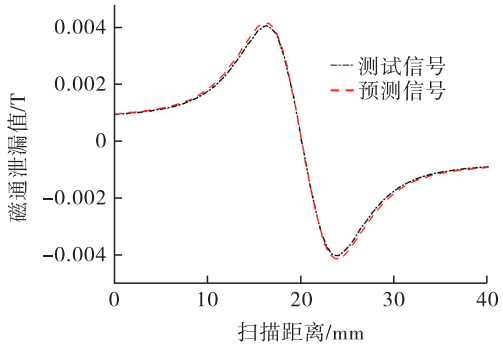



图15　不同缺陷尺寸预测信号与测试信号对比

Fig.15　Comparison of predicted signal and test signal for different defect sizes

## 4　结语

（1）通过仿真与测试对管道缺陷提离效应进行研究，得到传感器提离对漏磁信号的影响显著强于磁化器提离，而两者共同提离将进一步加剧信号的衰减。在提离值为8 mm时，径向分量峰值近乎为0；磁化器、传感器和两者同时提离下，峰值衰减分别为24%，96%和100%。传感器提离对漏磁信号的影响显著强于磁化器提离，而两者共同提离将进一步加剧信号的衰减。

（2）通过建立漏磁场径向分量与缺陷几何参数之间的定量关系，该方法在提离值分别为3 mm和4 mm的工况下，缺陷深度预测误差为2.0%、2.4%，长度预测误差为3.4%、3.7%的检测精度。在提离值为4 mm并改变缺陷尺寸的情况下，仍可保持深度预测误差为2.9%、长度预测误差为3.6%。相较于传统方法，该方法在显著降低计算复杂度的同时，有效提升了对涂层管道及复杂表面缺陷的检测效率，展现出良好的工程适应性与应用前景。

（3）未来可进一步将该方法拓展至非规则形貌缺陷的提离补偿，并综合考虑温度、应力等多物理场耦合作用对漏磁信号的影响。此外，结合机器学习算法对参数搜索过程进行优化，有望进一步提升补偿精度与算法适应性，为管道完整性评估技术的智能化发展提供新的研究方向和技术支撑。

## 参考文献：

[1] 熊道英，张怡，王垚，等.相邻腐蚀缺陷间相互作用规律及其对管道失效压力的影响[J].压力容器，2024，41(9)：55-67.
XIONG D Y，ZHANG Y，WANG Y，et al. Interaction rule between adjacent corroded defects and its effect on failure pressure of pipeline [J]. Pressure Vessel Technology，2024，41(9)：55-67.

[2] 曾和友，李铁钉，雷波，等 油气管道球阀结构设计改进及性能试验研究[J].流体机械，2023，51(10)：18-23.
ZENG H Y，LI T D，LEI B，et al. Structural design improvement and experimental study of oil and gas pipeline ball valve [J]. Fluid Machinery，2023，51(10)：18-23.

[3] 朱祖超，崔宝玲，张光，等.LNG储运安全保障技术发展与展望[J].流体机械，2024，52(9)：84-97.
ZHU Z C，CUI B L，ZHANG G，et al. Current development and prospect of LNG storage and transportation and safety protection technology [J]. Fluid Machinery，2024，52(9)：84-97.

[4] 冯传智，罗雨，许耀波，等.管道全位置焊接机器人结构设计与运动学分析[J].机电工程，2024，41(8)：1489-1499.
FENG C Z，LUO Y，XU Y B，et al. Structural design and kinematics analysis of pipeline all-position welding robot [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering，2024，41(8)：1489-1499.

[5] 张白，曹威，蒋尊阳，等.高精度管道漏风量测试仪的设计及实验研究[J].机电工程，2024，41(10)：1784-1792.
ZHANG B，CAO W，JIANG Z Y，et al. High-precision pipeline air leakage tester design and experimental research [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering，2024，41(10)：1784-1792.

[6] 仲银忠.基于漏磁检测的提离效应对检测信号的影响[J].石化技术，2024，31(10)：321-323.
ZHONG Y Z. Influence of lift-off effect on detection signals in magnetic flux leakage testing [J]. Petrochemical Technology，2024，31(10)：321-323.

[7] 李晓龙，陈金忠，马义来，等.油气管道复合变形内检测技术研究[J].石油机械，2021，49(8)：152-158.
LI X L，CHEN J Z，MA Y L，et al. A composite in-line detection technology for oil and gas pipeline deformation [J]. China Petroleum Machinery，2021，49(8)：152-158.

[8] 高亚婷，吴楠，迟国安，等.管道缺陷漏磁场影响因素仿真分析与研究[J].电气防爆，2024(2)：38-43.
GAO Y T，WU N，CHI G A，et al. Simulation analysis and research on influencing factors of pipeline defect magnetic leakage field [J]. Electrical Explosion Protection，2024(2)：38-43.

[9] 田亚团.基于脉冲涡流技术的提离高度和壁厚检测[J].压力容器，2024，41(7)：71-78.

TIAN Y T.Lift-off height and wall thickness detection based on pulsed eddy current technology[J].Pressure Vessel Technology,2024,41(7):71-78.

[10] 何静,邹奕月,张昌凡,等.考虑失磁故障的永磁同步电机辅助抗饱和滑模控制[J].包装与食品机械,2024,42(6):98-105.
HE J,ZOU Y Y,ZHANG C F,et al.Consideration of flux-loss fault in auxiliary anti-windup sliding mode control of PMSM[J].Packaging and Food Machinery,2024,42(6):98-105.

[11] 李梦俊,沈功田,沈永娜,等.基于多尺度散布熵的磁声发射信号特征识别方法[J].机电工程,2024,41(1):158-165.
LI M J,SHEN G T,SHEN Y N,et al.Magneto acoustic emission signal feature recognition method based on multi-scale dispersion entropy [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2024,41(1):158-165.

[12] AMINEH R K,RAVAN M,SADEGHI S H H,et al. Removal of probe liftoff effects on crack detection and sizing in metals by the AC field measurement technique[J].IEEE Transactions on Magnetics,2008,44(8):2066-2073.

[13] PENG L S,HUANG S L,WANG S,et al. A lift-off revision method for magnetic flux leakage measurement signal [C]//2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference(I2MTC),Houston,USA,2018:1-5.

[14] 宋志强,张莹,吴江.管道缺陷漏磁检测单信道探头提离效应信号修复研究[J].化工机械,2016,43(4):457-460.
SONG Z Q,ZHANG Y,WU J. Research on signals repair of single channel probe lift-off effect in pipeline MFL detection [J]. Chemical Engineering & Machinery,2016,43(4):457-460.

[15] 崔伟,黄松岭,赵伟.传感器提离值对管道漏磁检测的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2007(1):21-24.
CUI W,HUANG S L,ZHAO W. Impact of sensor liftoff on magnetic flux leakage detection in pipelines [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology),2007(1):21-24.

[16] 吴德会,柳振凉,张忠远,等.漏磁检测中提离值影响的三维有限元仿真分析[J].应用基础与工程科学学报,2013,21(6):1188-1198.
WU D H,LIU Z L,ZHANG Z Y,et al. 3-D FEM simulation of lift-off effects on magnetic flux leakage testing[J].Journal of Basic Science and Engineering,2013,21(6):1188-1198.

[17] 李睿.油气管道内检测技术与数据分析方法发展现状及展望[J].油气储运,2024,43(3):241-256.
LI R. Current progress and prospects of in-line inspection techniques and data analysis methods for oil and gas pipelines [J]. Oil & Gas Storage and Transportation,2024,43(3):241-256.

[18] 杨理践,石萌,耿浩.长输油气管道内检测技术[J].沈阳工业大学学报,2024,46(5):676-684.
YANG L J,SHI M,GENG H. Internal detection technology of long-distance oil and gas pipeline [J]. Journal of Shenyang University of Technology,2024,46(5):676-684.

[19] 杨志军,赵亚忠,蒙昌彭,等.拱顶储罐罐顶缺陷漏磁检测技术研究[J].压力容器,2024,41(4):1-8.
YANG Z J,ZHAO Y Z,MENG C P,et al.Research on magnetic flux leakage detection technology for defects in domed roof storage tanks [J]. Pressure Vessel Technology,2024,41(4):1-8.

[20] 赵番.油气管道漏磁内检测三维有限元动态仿真分析与验证[J].压力容器,2024,41(9):77-86.
ZHAO F. MFL 3D finite element simulation analysis and verification of dynamic test in oil and gas pipeline [J].Pressure Vessel Technology,2024,41(9):77-86.

[21] MA B,SHUAI J,LIU D X,et al.Assessment on failure pressure of high strength pipeline with corrosion defects [J]. Engineering Failure Analysis,2013,32:209-219.

**作者简介**:王海奇(2000),男,主要从事管道漏磁内检测技术研究,通信地址:014010内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学东区,E-mail:15849243211@163.com。

**通信作者**:杨立清(1967),女,副教授,主要研究领域为无损检测,通信地址:014010内蒙古自治区包头市昆都仑区阿尔丁大街7号内蒙古科技大学东区,E-mail:nmbtylq@163.com。

**本文引用格式**:
王海奇,杨立清,李忠虎,等.管道漏磁检测中提离效应影响及提离补偿方法研究[J].压力容器,2025,42(6):56-62.
WANG Haiqi,YANG Liqing,LI Zhonghu,et al.Research on the influence of lift-off effect and lift-off compensation method in pipeline magnetic flux leakage testing[J].Pressure Vessel Technology,2025,42(6):56-62.