

钢制管道漏磁内检测技术应用

黄延斌 周亚平（陕西延长石油（集团）管道运输第二分公司，陕西 延安 716000）

毕傲睿（淮阴工学院管理工程学院，江苏 淮安 223001）

摘 要：管道漏磁内检测技术是目前国际上使用最广的钢制管道内检测技术。在大管径、高压、低流速的管道检测工作中广泛应用。本文通过漏磁检测原理、数据分析及现场案例对漏磁检测器的结构及工作原理进行介绍和分析。

关键词：内检测；漏磁；原理；结构；分析

随着国家经济的快速发展，管道运输因其拥有运量大、占地少、建设周期短、费用低、安全可靠、连续性强、耗能少和运输效率高的特点，已成为国际上五大运输方式之一。但管道也存在缺陷隐蔽性高、事故危害大、验证维修困难的特点。管道漏磁内检测技术通过在线检测可精确检测出管道缺陷，是管道完整性管理的重要手段。

1 漏磁内检测技术发展

管道漏磁内检测技术 1920–1960 年期间处于实验室研发阶段。1960–1970 年期间处于现场管道实验阶段。1970–2000 年期间第二代可实际商用的低清晰度漏磁内检测器正式投入商业应用。2000–2020 年代第三代三轴高清漏磁内检测器大范围投入管道检测工作中。2020 年至今第四代超高清漏磁内检测器在一些特殊行业，特殊环境中已开始使用。

2 漏磁检测原理

2.1 漏磁检测基本原理

漏磁检测技术利用磁化装置将管道管壁饱和磁化，当管壁没有缺陷时，磁力线平行于管壁；当管壁存在缺陷时，磁力线会变形产生漏磁。利用感应探头采集缺陷处的漏磁信号，进而判别金属损失缺陷。

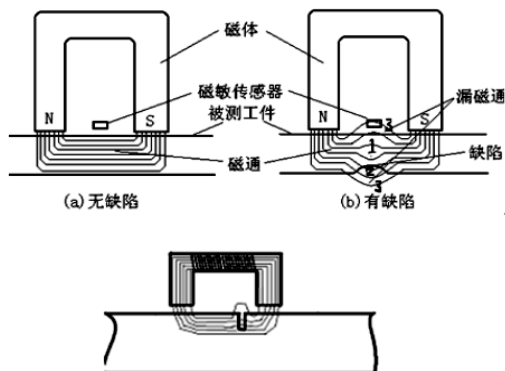


图 1 漏磁检测基本原理

2.2 信号采集单元

信号采集单元是把磁性号转换为电信号的关键部分，在实际应用中，主要采用的元件为霍尔元件。其原理是：当电流 I 沿与磁场 B 的垂直方向通过时，在与电流和磁场垂直的霍尔元件两侧产生霍尔电势 V 。可知：

$$V = K_H \cdot I \cdot B \cdot \cos \alpha$$

式中， K_H 为霍尔系数； I 为供电电流； B 为磁感应强度； α 为磁感应强度与霍尔元件的法线夹角。霍尔电势反映的是磁感应强度的大小。输出电势 V 与检测元件相对磁场的运动速度无关，霍尔元件不受到检测速度非匀速的影响。

2.3 信号识别

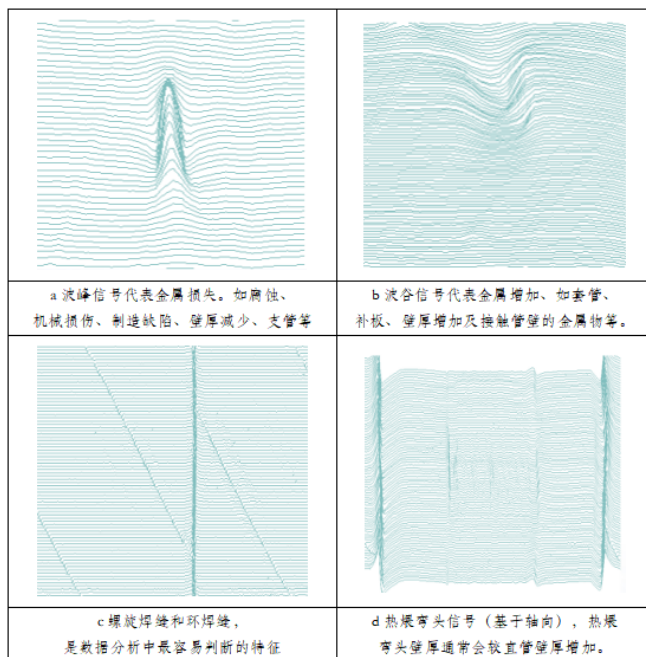


图 2 不同方向的漏磁信号代表不同的信号特征
金属损失与金属增加的信号方向相反，这是识别

其他类型的缺陷及特征的基础。

3 清管器与检测器

3.1 清管器

为了确保检测器能采集到高质量的数据，必须在检测器运行前对管道实施清管作业，以满足检测器运行条件。如果是定期清管管线，可以直接投运测径板清管器进行清管，如果没有运行过清管器，则需按照循序渐进的方法，按照通过能力由强到弱的顺序投运清管器。为了保证清管效果，原油管道最后两次清管清出的固体污物（蜡块等）低于 5kg 且没有清出大于 20mm 的金属物体。且连续两次清出的污物质量不增加。

序号	清管器类型	部件组成	特点
1	泡沫清管器	由开孔聚氨酯泡沫制成	压缩性强，可以通过绝大多数管道特征。一旦发生卡堵，将在球体两端 5-10 巴的压差下被击碎。
2	皮碗测径清管器	由导向套、测径铝碗形皮碗、隔垫及基体组成，皮碗的过盈量一般在 3%-5%	体积小，通过能力强。可以初步判断管道通过能力，并判断直板清管器能否安全通过管道
3	双向直板测径清管器	由直板、隔垫、基体组成，在后端直板组的最前端加装测径铝碗，用隔板将测径铝碗和后端直板组的最前端直板隔开。	有效清除管道内悬浮污物并测径，初步判断管道中是否由影响漏磁检测器安全通过管道的限制
4	双向直板钢刷清管器	由直板、高密度钢刷、隔垫、基体组成	清除附着在管壁内壁上的较硬的污物
5	双向直板磁力清管器	由直板、磁块、隔垫、基体组成	清除管道内的铁磁性污物
6	双向直板钢刷磁力清管器	由直板、磁块、钢刷隔垫、基体组成	清除附着在管壁内壁上的较硬的污物和管道内的铁磁性污物

图 3 清管器主要几种组成

3.2 几何检测器

几何检测器可以有效检测管道凹陷、椭圆变形、壁厚变化、以及阀门、三通、弯头等特征。

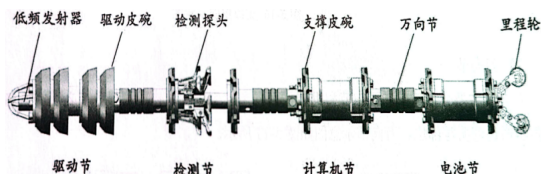


图 4 几何检测器示意图

几何检测器主要由驱动节、检测节、计算机节、电池节组成。驱动节皮碗起到密封作用，在检测器前

后形成压差，推动设备在管道中前进。检测节采集几何探臂变形量，计算机节根据变形量来计算缺陷尺寸。通过测量变形探臂的旋转角度 θ ，并通过计算，将角度转化为变形尺寸。

3.3 漏磁检测器

漏磁检测器可以对铁磁性管道进行在线无损检测，可识别管壁材质变化、缺陷内外壁分辨、管道特征（管箍、补疤、弯头、焊缝、三通）等。准确提供缺陷位置、方位、尺寸等信息。



图 5 集成几何检测的漏磁检测器

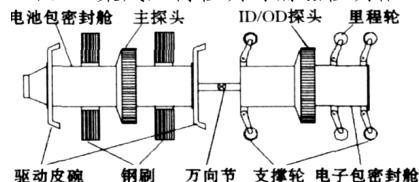


图 6 漏磁检测器示意图

漏磁检测器主要由动力节、测量节、计算机节、电池节组成，测量节主要由永磁体、钢刷、检测探头组成，永磁体和钢刷使管道达到磁饱和状态，检测探头检测漏磁信号，并通过 ID/OD 探头分辨缺陷内外壁分布。

4 内检测案例解析

以下案例从管道资料收集、收发球过程、报告读取、现场开挖验证修复几方面分析漏磁内检测技术。

4.1 管道基本情况及工艺参数

表 1 管道基本情况

序号	项目	内容
1	管线名称及介质	XX 原油管道
2	投产时间材质、涂层	2008 年、20# 钢、无内涂层
3	管道型号及长度	外径 219mm 壁厚 6mm 长度 36km
4	最大运行压力	3.4MPa
5	当前运行压力	2.8-3.2MPa
6	当前排量	125t/h, 148m ³ /h

4.2 检测器运行速度计算

由于原油管道介质不具有压缩性，所以运行速度 V 和时间无关，可用以下公式计算：

$$V=Q/F$$

式中： V 为检测器运行速度， Q 为介质流量， F 为管道内截面积。已知管径 219mm，壁厚 6mm，可计算管道截面积如下：

$$F = \pi r^2 = 3.14 \times \left(\frac{219 - 6 \times 2}{2 \times 1000}\right)^2 = 0.03364m^2$$

根据管道输量可知检测器运行速度为：

$$V=Q/F=148/0.03364=4.399km/h=1.22m/s$$

根据计算可得，检测器运行速度约为 1.22m/s，满足检测器 0.1-5m 运行区间，检测时长约为 8 小时 11 分。

4.3 实际运行记录

下表为检测器运行中通过定标盒与监听坑对检测器跟踪定位的数据，通过计算数据与是实际通过时间比对，检测器运行平稳，未发生卡堵等现象。

表 2 XX 线内检测器运行记录表

发球日期：xxxx 年 xx 月 xx 日					
清管作业管段：XX 原油管道，全长约 36km 管径 φ219mm 设计压力 4.0MPa			现场指挥：xx		
清管器类型：漏磁检测器。					
估算清管运行速度：4.399 km /h(1.22m/s)					
监听位置	距离 km	预计球 到时间	球到 时间	输油量 m³/h	压力 MPa
发球筒	0	8:00	8:10	148	2.390
孙里沟 140#	3.9	8:52	8:57	148	2.470
穆家塔阀室	8.7	9:57	9:59	148	2.323
凉水湾 154#	11.6	10:35	10:39	148	2.335
寺湾 183#	16.3	11:38	11:36	148	2.340
刘家园则 215#	21.6	12:49	13:02	148	2.347
后滴哨阀室	26.9	14:00	14:06	148	2.352
313# 里程碑	31.7	15:05	15:00	148	2.354
收球筒	36	16:11	16:15	148	2.350
检测器状况：检测器外观完整、探头完好、 电池电量充足、里程轮运行正常无卡堵，清出较少污物。					

调度值班人员：XXX、调度汇报电话：XXX；汇报负责人：XXX、电话：XXX。

4.4 检测器运行速度曲线

根据速度曲线可知，检测器前段运行稳定，但是由于收球时后端压力降低，导致收球速度较快。这也说明收球速度控制往往是较容易忽略的重点，在以后的收球工作中需加强此项工作的管理。

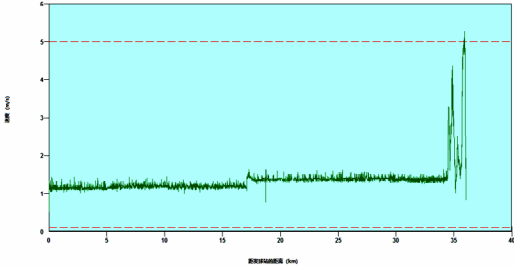


图 7 检测器运行速度曲线

4.5 管道缺陷修复

管道列表是通过漏磁检测器，将管道所有特征汇总展示的文件，主要会展示缺陷相对里程、绝对里程、焊缝编号，时钟方位、尺寸、ERF 值、缺陷特征（内

部金属损失、外部金属损失、凹陷、外接金属物、补板、三通）等的文件。

管道列表							
管段：XXX 上游 环焊缝	相对 距离 (m)	绝对 距离 (m)	说明	峰值 深度 (%壁厚)	长度 (mm)	高度 (mm)	ERF 时钟方位 (时：分)
660	8.6	368.3	内部制造缺陷	2%	20	16	01:15
660	2.2	371.7	外部金属损失	32%	17	33	0.529 01:15
670	10.2	379.7					
680	10.0	389.7					
690	10.0	399.7					
700	1.5	401.2	<5 度冷制下陷砾头				
	9.2	408.9					

图 8 典型的管道列表数据

根据图 9 可见此处存在一个外部金属损失，距离发球站 371.1m，现场开挖修复资料见表 3：

表 3 现场开挖修复资料

	
图 9 修复前	图 10 修复后（防腐保温前）
缺陷类型	外部金属损失
绝对位置	绝对里程 371.7m
相对位置	XX 线 3# 里程碑下游 20m
缺陷体积	17*33*1.92mm
时钟方位	1:15
修复方式	焊接 B 型套筒

5 结论

管道漏磁内检测技术可以有效检测出管道存在的缺陷，且因其精度高、经济效益好、操作简单、对生产影响小等优势，现在已经是管道无损检测技术中适用面最广的检测方式，随着国内漏磁检测设备的开发 and 技术的更新，越来越多的管道检测已由国内油气管道检测服务商来完成，逐渐打破由美、英、德、加等国的垄断，为国家能源安全作出更大的贡献。

参考文献：

[1] 王富祥, 冯庆善, 王学力, 燕冰川, 楚威威. 三轴漏磁内检测信号分析与应用 [J]. 油气储运, 2010, 29(11): 815-817.

[2] 苏林, 曹乐乐, 李健. 漏磁检测技术在管道检测中的应用 [J]. 中国科技博览, 2014(25): 268.

作者简介：

黄延斌（1986-），男，汉族，陕西延安人，本科，工程师，研究方向：长输管道防腐内检测工程。

毕傲睿（1987-），男，汉族，江苏淮安人，博士研究生，讲师，研究方向：能源工程安全管理。

基金项目：江苏省大学生创新创业训练计划资助项目（202311049055Y）