

# 基于磁敏探头的油管材质识别

马娟,樊建春,张来斌,栾明

(中国石油大学(北京) 机电工程学院 油气安全工程技术研究中心,北京 102249)

**摘要:**油管原有标记的丢失导致不同级别可再用油管的混杂,因而造成巨大的经济损失和安全隐患。基于涡流检测方法,采用磁敏探头,对油田大量使用的J55和N80型再用油管开展材质识别试验。结果表明,响应电压大小受到提离、磁敏探头方向和激励频率等的影响。在磁敏探头与油管方向垂直时,施加100~260 Hz正弦激励频率的电流,两种油管的响应电压具有较好的线性关系;在150 Hz激励频率下,两种油管的响应电压差别明显,现场识别准确率高于97%。

**关键词:**涡流检测;材质识别;油管;激励频率

中图分类号:TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2011)02-0016-04

## Material Recognition of Oil Tube Based on Eddy Current Testing

MA Juan, FAN Jian-Chun, ZHANG Lai-Bin, LUAN Ming

(Faculty of Mechanical and Electronic, Engineering Research Center for Oil & Gas Engineering,

China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

**Abstract:** Losses of the original marker result in a confusion of oil pipelines that can be recycled, which lead to huge security risks and great economic losses. In this paper, material identification tests of commonly used J55 and N80 oil tubes are conducted by eddy current method. Results show the size of response voltage is affected by lift-off, the direction of magnetic probe, the excitation frequency, etc. When magnetic probe is perpendicular to tubing, response voltage of two kinds of pipelines has good linear relationship with the 100~260 Hz sinusoidal excitation frequency, and response voltage of J55 is significantly different from that of N80 at the sinusoidal excitation frequency of 150 Hz. As a result, the recognition accuracy of these two kinds of pipeline is higher than 97%.

**Keywords:** Eddy current testing; Material recognition; Oil tube; Excitation frequency

在检泵周期内,对再用油管清洗、维修时,由于区分其材质的标记磨损或丢失,容易造成不同材质油管的混杂,很难辨识材质。常用的凭借人工经验和残留标记辨别油管材质的方法辨别率低,且耗费人力。当人工经验无法辨别时,只能将高级别性能优良的N80等油管降级为J55使用;当低级别的油管被误辨别为高级别的油管时,将为今后埋下巨大的安全隐患。国内的油管用量极大,长期的循环降级处理,将造成极大的资源浪费和经济损失<sup>[1]</sup>。纵观国内外所采用的材质识别方法,有硬度法<sup>[2]</sup>、金相法、化学分析法、电火花法和铁谱法等。这些方法都

无法适应现场大批量、准确、快速的无损识别需求。涡流检测是一种成熟的无损检测方法<sup>[3]</sup>,由于其对材质的敏感性,近年来越来越多地用于快速材质分选<sup>[4~6]</sup>。当激励频率越高,产生的涡流信号透入油管深度越小,信号受到油管表面因素影响越大,故要求在较低频率下进行材质识别。但是目前基于涡流的材质分选研究主要采用铁磁线圈传感器,其信噪比随工作频率的降低而减小,或随着线圈截面尺寸的减小迅速降低。因此,这类传感器在低频高分辨率应用场合的检测效果变得很差。笔者采用的磁敏传感器在低频检测时具有良好的响应能力,不受频率制约,结构设计轻巧。以下采用磁敏探头,对油田大量使用的J55和N80型油管开展材质识别试验,希望为目前的油管分类难题提供试验基础。

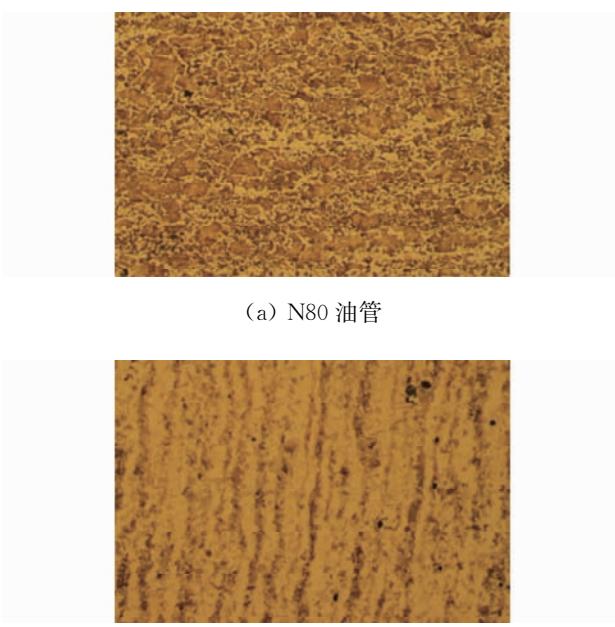
收稿日期:2010-02-24

作者简介:马娟(1984—),女,硕士研究生,主要从事油管无损检测和材质识别方面研究。

## 1 涡流材质识别原理

### 1.1 金相分析

J55 材质油管中 Mn 含量较 N80 少;J55 油管中含有 N80 没有的 Ni 和 Cu 元素;N80 油管中含有 J55 中没有的 V。金相分析是金属材料试验研究的重要手段之一,通过试样的截取、镶嵌、研磨和浸蚀四个步骤,制备 J55 和 N80 油管的金相试样。金相试样通过 100 倍显微镜放大,如图 1 可以看出,J55 和 N80 油管的微观组织差别很大。微观组织不同,对于涡流信号的影响也会存在差别。



(b) J55 油管  
图 1 金相图

### 1.2 涡流材质识别原理

将按一定频率变化的激励电流施加于邻近金属上,致使线圈产生作用于金属表面的电磁场,从而在金属表层内产生涡流。涡流又产生反向磁场,作用于靠近金属表面的磁敏传感器上,如图 2。

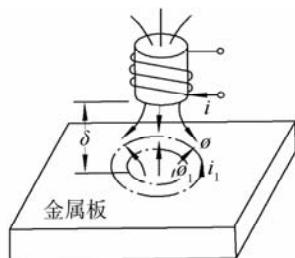


图 2 材质识别原理图

涡流的大小与金属的磁导率、电阻率、厚度、金属板与线圈距离、激励电流和角频率等参数有关。

油管的磁导率较大(一般在  $10^2 \sim 10^4$  数量级),故磁效应对涡流信号的影响比电导率效应要大得多。且不同材质油管的磁导率不同,当固定厚度、距离、激励电流和角频率等参数的情况下,磁敏元件测得的磁场变化主要取决于磁导率。由此可快速辨识油管材质。

## 2 试验装置设计

根据材质识别的需要,设计了图 3 所示的油管材质识别装置框架图。系统分四部分组成:① 激励装置,对油管提供正弦激励。② 数据采集模块,通过磁敏传感器和采集卡,采集并传输油管表面的涡流信号,并转化为电压值。③ PLC 控制模块,通过步进电机和升降导轨,准确控制传感器的测量位置。④ 计算机数据处理模块,通过计算机软件接收和处理数据,进行材质识别。

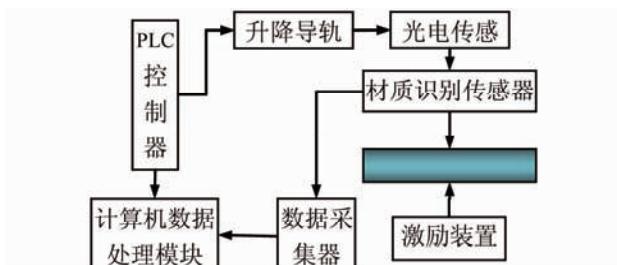


图 3 试验装置框架图

## 3 室内试验研究

### 3.1 室内试验方案设计

激励频率的选择是涡流检测的关键。为了找到区分 J55 和 N80 油管的探头最佳放置位置和最佳激励频率,分别设计了检测位置选择试验和激励频率选择试验。室内试验的总体框架见图 4。

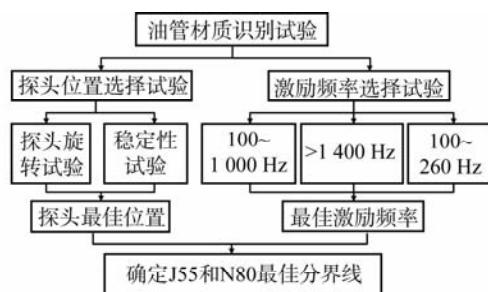


图 4 试验总体方案

### 3.2 探头位置选择试验

因为油管端头的剩余磁场明显高于管体中央,且中央部位基本为零,所以选择管体中央放置探头,

以减小剩余磁场对磁敏探头的影响。为了找到放置探头的最佳角度,保证数据的稳定性,进行了两组对比试验:①将探头旋转了180°进行比较(图5中T0是探头垂直油管放置,其余则是依次旋转45°所得曲线)。②相同油管,连续时间重复测量,如图6。

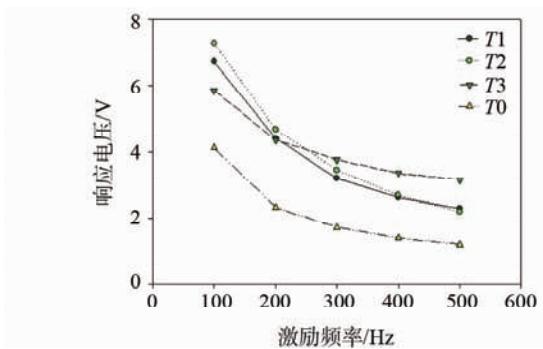


图5 旋转探头响应电压对比

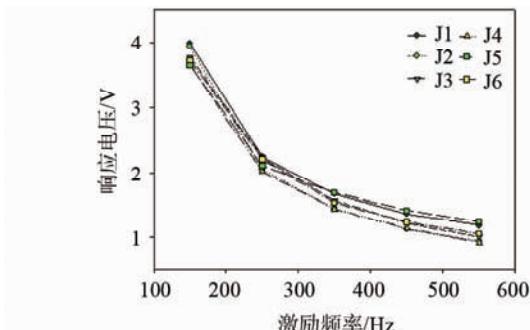


图6 相同油管连续时间重复测量

### 3.2.1 试样设计

试样规格为长0.5 m,直径φ73 mm J55油管。要求油管表面无明显可剥落锈蚀层。

### 3.2.2 试验结果及分析

(1) 旋转探头,可以得到如图5所示的结果,旋转曲线出现了交叉,说明在此频段的激励频率和响应电压的线性关系不稳定。

(2) 垂直放置探头,数据具有较好的稳定性,如图6。由于受到噪声、温度、冶金因素和周围不稳定

磁场的影响,数值在一定的范围内具有一定波动。

### 3.3 激励频率选择试验

激励频率和涡流透入金属的深度之间的关系如式(1)<sup>[7]</sup>:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\sigma f \mu_r}} \quad (1)$$

式中  $\delta$ —透入深度,mm;

$\sigma$ —管材材料的电导率,m/Ω·mm<sup>3</sup>;

$\mu_r$ —管材材料的相对磁导率,H/m;

$f$ —激励频率,Hz。

激励频率 $f$ 越大时,透入深度 $\delta$ 越小,油管表面情况对结果影响越大; $f$ 较小时, $\delta$ 较大,在穿透深度小于油管厚度时,能更多地反映油管内部材质的信息。涡流检测要求不超过36.8%的透入深度,结合油管壁厚得出,激励频率的透入深度大约不能超过2~2.5 mm,且弱磁场下,一般钢件在50,100,500和1 000 Hz频率时,其有效透入深度分别为3,2,0.17和0.15 mm左右。所以激励频率选择试验的范围选择在100~1 700 Hz。

#### 3.3.1 试样设计

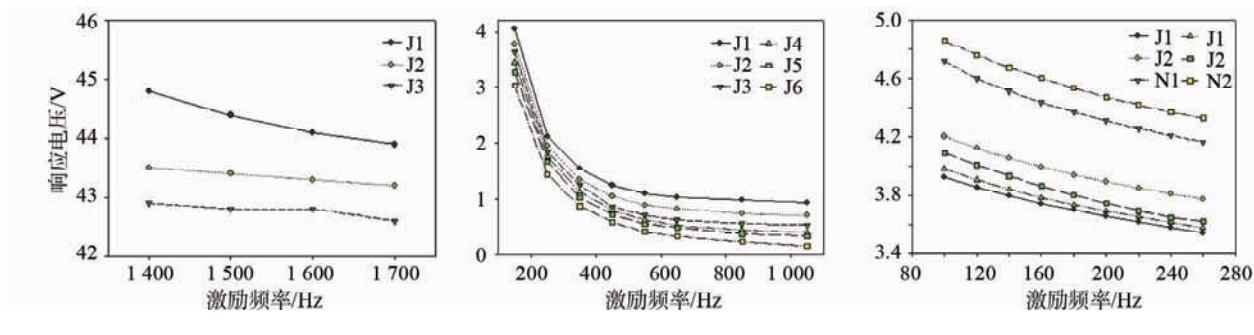
试样规格为长0.5 m,直径φ73 mm的J55和N80油管。要求油管表面无明显可剥落锈蚀层。

#### 3.3.2 试验结果

在5 V激励电压,100~1 700 Hz激励频率下,试验得出激励频率和响应电压的关系。图7中J代表J55油管,N代表N80油管。

(1) 在1 400~1 700 Hz时,如图7(a),响应电压几乎不随激励频率的变化而变化。即探头处的磁场强度不变,说明涡流信号透入油管传播很少,基本在油管近表面。在此频段,透入深度很小,应减小激励频率。

(2) 激励频率<300 Hz时,如图7(b),响应电压较大,且曲线梯度较大;激励频率>300 Hz,响应电压值太小,易受噪声影响。为了减小噪声影响,增



(a) 1 400~1 700 Hz

(b) 100~1 100 Hz

(c) 100~260 Hz

图7 不同激励频率下的响应电压

大透入深度  $\delta$ ,激励频率应 $<300$  Hz。

(3) 激励频率在 100~260 Hz 范围内时,激励频率和响应电压显示出较好的线性关系,且 J55 和 N80 的响应电压值区分明显,如图 7(c)所示。

### 3.3.3 试验分析

由于 J55 和 N80 的化学成分和生产工艺的差异,导致了磁导率的差别,对涡流信号的影响不同,所以磁敏探头采集的响应电压信号不同。检测结果显示:磁敏探头采集的 N80 的响应电压曲线位于 J55 曲线之上。

从以上试验得出,在 100~260 Hz 的激励频率范围内,选取合适的激励频率即可区分 J55 和 N80 两种油管。选取 150 Hz 激励频率时,5 V 激励电压时响应电压值在磁敏探头的最佳测量范围内,且 J55 和 N80 两种油管的区分效果良好。

## 4 现场试验

对已知材质的 J55 和 N80 油管,在 5 V 的激励电压,150 Hz 的激励频率下,进行现场试验,以确定 73 和 89 mm 两种直径油管响应电压的分界值。

### 4.1 试验对象

第一组试验对象为直径 73 mm 的 J55 和 N80 油管各 90 根。

第二组试验对象为直径 89 mm 的 J55 和 N80 油管各 93 根。

### 4.2 现场试验结果及分析

(1) 如图 8 所示,J55 和 N80 油管在保持其它条件相同时,所测得的电压信号差别明显,且除个别混叠值外,J55 油管的电压值小于 N80 油管的值。

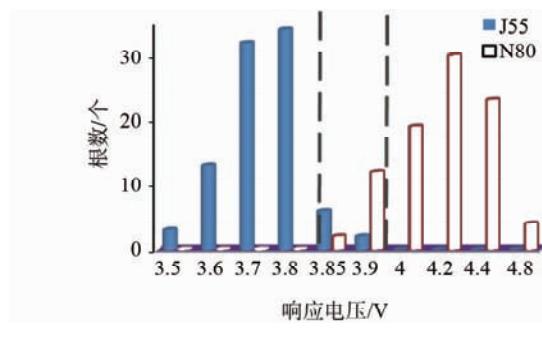
(2) 由图 8(a)可知,对直径为 73 mm 的 J55 和 N80 的油管,易混叠区域为 3.85~3.9 V,对此区域的值,结合模糊识别方法进行识别,J55 和 N80 油管各有 2 根误判,区分度达到 97.8%。

(3) 由图 8(b)可知,对直径为 89 mm 的 J55 和 N80 油管,易混叠区域为 3.7~3.8 V,对此区域的值,结合模糊识别方法进行识别,J55 油管有 3 根误判,区分度达到 98.3%。

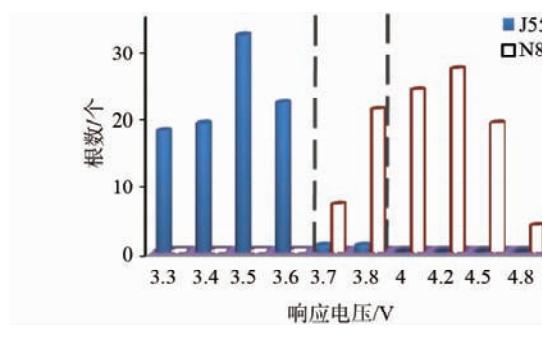
## 5 结论

通过涡流方法识别 J55 和 N80 油管材质,试验可得出如下结论:

(1) 在合适激励频率下,J55 和 N80 两种油管的涡流信号有明显区别,验证了涡流方法可用于油



(a) 73 mm



(b) 89 mm

图 8 J55 和 N80 两种油管两种直径的响应电压统计图

管的材质识别。

(2) 在 150Hz 激励频率下,涡流方法区分 J55 和 N80 两种油管效果较好,两种材质油管的识别准确率高于 97%。

(3) 响应电压大小受到提离、磁敏探头方向以及激励频率等因素的影响,要很好地区分不同材质,对于此三个因素的控制尤其重要。

(4) 冶金因素的不稳定性,也会使 J55 和 N80 两种油管在区分时产生混叠区域。即使是相同的材质,由于其冶金条件的差别,也会对材料的内部结构产生影响。要进一步提高识别的准确率,仍需要进一步的试验研究。

以上研究为多种相近的导磁材料识别提供了一定的试验基础。

### 参考文献:

- [1] 田建成. NT D300 系列杆管级别分选系统应用[J]. 石油矿场机械, 2005, 34(1): 99—101.
- [2] 谭多鸿.油田杆管级别分选系统研究与应用[J].石油机械, 2005, 33(9): 62—641.
- [3] Nestleroth J B, Davis R J. Application of eddy currents induced by permanent magnets for pipeline inspection[J]. NDT & E International, 2007(40): 77—84.

## 美国无损检测学会(ASNT)3 级考试通知

根据中国无损检测学会(ChSNDT)与美国无损检测学会(ASNT)于 2007 年 11 月美国秋季会议上的商定:每年至少联合举办一届 ASNT 3 级考试班。经协商,确定 2011 年的 ASNT 3 级考试班安排如下:

**考试时间:**2011 年 9 月 6—7 日

**地点:**中国无损检测学会考试中心,地址:上海市辉河路 100 号 6 楼,邮编:200437,电话/传真:021-65550277, E-mail: chsndt @ sh163. net, chsndt2008@163. com

**报到日期:**2011 年 9 月 5 日,报到地点:上海市辉河路 100 号 6 楼学会秘书处。

**联系人:**朱亚青,王莹赟

食宿自理。

本次考试,主考官由 ASNT 总部直接派遣。考官助理 1 名,由 ASNT 指定,由中国无损检测学会副秘书长朱亚青担任。

**考试费用:**

1. 一般考生 475 美元/每卷;或人民币 3100 元/每卷

**费用组成:**

(1) ASNT 会员每张考卷 260 美元,外国考生加 40 美元;非会员每张考卷 335 美元,外国考生加 40 美元。

(2) 主考官机票(商务往返),伙食费补贴(6 天),住宿(4 天),海外出差劳务费(6 天),上海市旅游。

(3) 学会本着非赢利的原则,适量收取考场费用,通讯费以及考生餐费等。

2. 补考生 185 美元/每卷,外国考生另加 40 美元,会费 75 美元/人(人民币按当日牌价计算),外加通讯费和场地分摊费 200 元人民币。

**申请表索取:**<http://www.asnt.org/certification/schedules/index.htm>

请考生在递交申请表之前慎重考虑,只要递交申请表,美方就要收取考试费用,无论最终考试与否。考生请于 6 月 20 日之前(逾期不再接纳)将填写完毕的申请表和背景材料,挂号邮寄至学会。ASNT 收到考试费后开始审核考生申请表。补考学员请重新填写申请表并挂号邮寄学会。由学会初审后统一递交 ASNT 总部复审。特殊情况者可提前邮寄至学会。

**费用支付:**

考生必须在 6 月 20 日前支付全部考试费用,否则不予受理。

**人民币支付帐号:**

户 名:中国机械工程学会无损检测分会

帐 号:044023-8570-14825908091001

开户行:中国银行上海市运光支行

美金支付帐号请向学会索取。

有关考试事宜可 e-mail 或电话与学会秘书处联系。学会将本着更好地为全国无损检测人员服务的原则,尽量做好 2011 年度 ASNT 3 级人员考试班的组织工作。欢迎考生积极建议,协助做好此项工作。如 ASNT 有更新通知,以最新通知为准,学会负责尽快通知各位。

特此通知。

**注:**1. 初次报考 1 个方法者必须考 2 张试卷(1 张基础,1 张方法),如报考 2 个方法以上则基础不必重复考。

2. 申请表必须书写工整(允许打字,但签名必须手写),尤其是 e-mail 地址,学会和 ASNT 将通过 e-mail 与考生联系。

[4] 郎家峰,杨明,吴晓琳,等. 基于双涡流传感器的金属材质动态检测系统设计[J]. 计算机测量与控制,2005(13):426—427.

[5] 陈昌华. 电脑式电磁分选检测仪在钢铁材质中的应用[J]. 无损探伤,2002(26):31—33.

[6] 徐锦花,樊建春,张来斌. J55 和 N80 油管材质识别试验研究[J]. 石油机械,2009(37):13—15.

[7] Robert C. Mc Master. 美国无损检测手册[C]. 美国无损检测手册评审委员会,译. 上海:上海世界图书出版社,1999:330—333.