

基于单线圈斜向磁化的钢管漏磁检测方法

孙燕华, 康宜华, 宋 凯, 武新军

(华中科技大学, 武汉 430074)

摘 要:针对目前钢管纵、横向缺陷采用漏磁方法分开检测的不足,依据单线圈磁场特性,提出并分析了基于同轴单线圈、斜置单线圈、辅以聚磁器的斜置单线圈和辅以聚磁器的同轴单线圈的四种钢管磁化方法。得出了单线圈斜置是钢管产生斜向磁化的必要条件,聚磁器能增强斜向磁场的结论。在此结论基础上建立了基于斜向磁化的,可同时检测出纵、横向缺陷的钢管漏磁检测方法。

关键词:漏磁检测; 钢管; 单线圈; 斜向磁化

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)11-0800-04

Magnetic Flux Leakage Inspection Method for Steel Pipe Based on Oblique Magnetization by Single Coil

SUN Yan-Hua, KANG Yi-Hua, SONG Kai, WU Xin-Jun

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the problems that longitudinal and transverse defects of steel pipe are tested separately by magnetic flux leakage inspection, four methods of magnetization for steel pipe based on coaxial single-coil, oblique single-coil, oblique single-coil with a magnetic component for collecting magnetic field and coaxial single-coil with it were proposed and analysed. It concluded that an oblique single-coil was the necessary conditions for producing oblique magnetic field and the magnetic component could increase it. The conclusion was validated by experiments. Finally, a method of magnetic flux leakage inspection for longitudinal and transverse defects of steel pipe simultaneous detecting based on oblique magnetization by single coil was put forward.

Keywords: Magnetic flux leakage inspection; Steel pipe; Single coil; Oblique magnetization

漏磁检测技术已被大量应用在钢管的高速探伤中。在漏磁检测时,磁化方法的优劣直接影响不同走向缺陷检测的可行性、检测设备结构的复杂度以及操作的方便性。当磁化场与缺陷走向垂直时,缺陷漏磁场信号最强,检测效果最好;从缺陷可检出性考虑,磁化场与缺陷走向的夹角至少应 $>30^\circ$ 。目前大多数钢管的纵、横向缺陷检测是分开进行的^[1-4],分别施加周向和轴向磁场,需要周向和轴向两套独立的磁化装置以及纵向和横向两种类型的检测触头,导致设备结构复杂、沉重且造价高昂。为了寻求一种能够同时激励出钢管纵、横向缺陷漏磁场信

号,结构简单且易于实现的磁化方式,笔者对电磁转化的基本器件——单线圈的磁化特性作了深入分析。在此基础上实现了采用单线圈同时检测钢管纵、横向缺陷的漏磁检测方法,为简化漏磁检测设备提供了新的途径。

1 单线圈的磁场

半径为 R ,长为 L 的螺线管线圈在其轴线上距离轴心线中点 O 为 x 处的 P 点所产生的的磁场大小 B 为^[5,6]:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left[\frac{x + \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x + \frac{L}{2})^2}} - \frac{x - \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x - \frac{L}{2})^2}} \right] \quad (1)$$

式中 μ_0 ——真空磁导率;

收稿日期: 2007-12-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675083)

作者简介: 孙燕华(1979—),男,博士研究生,主要研究方向为数字化无损检测。

n ——单位长度上线圈匝数;

I ——螺线管通过电流。

用以产生磁化场的线圈为若干螺线管由径向向外扩展而成,常称为穿过式单线圈,如图 1a 所示。设线圈内外径分别为 R_1, R_2 , 由式(1)积分可得轴心线上 P 点的磁场 B' 大小为:

$$B' = \int_{R_1}^{R_2} dB = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu_0 n I}{2} \cdot \left[\frac{x + \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x + \frac{L}{2})^2}} - \frac{x - \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x - \frac{L}{2})^2}} \right] dR = \frac{\mu_0 n I}{2} \cdot \ln \left| \frac{(R_2 + \sqrt{R_2^2 + (x + \frac{L}{2})^2})(R_2 + \sqrt{R_1^2 + (x - \frac{L}{2})^2})}{(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x + \frac{L}{2})^2})(R_2 + \sqrt{R_2^2 + (x - \frac{L}{2})^2})} \right| \quad (2)$$

整个单线圈磁场线示意如图 1b 所示,在线圈内部,以平行于轴心线为主,且磁力线以单线圈轴心中点 O 呈左右或上下对称。当 $L \geq R$ 时,在线圈内很大的一个范围内磁场近似均匀,只有在端点附近, B 值才明显下降,在管外部的空间磁场力很弱。

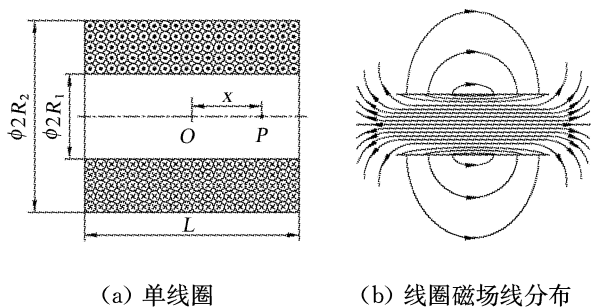
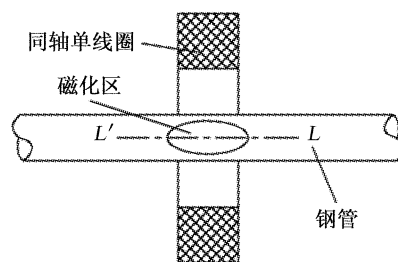


图 1 单线圈及其磁场分布

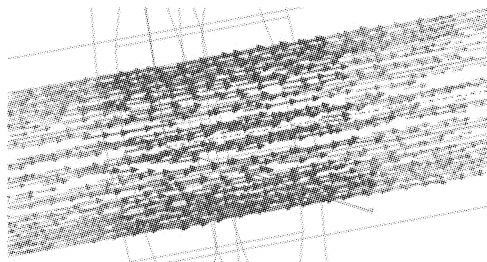
2 钢管单线圈磁化特性分析

钢管在作漏磁检测时需要被磁化,通常的磁化方式是让线圈与钢管的轴心线重合(图 2a)。此时线圈为同轴单线圈,当通以直流或交流励磁电时,在所示的磁化区可较容易地获得钢管的局部轴向磁化场(图 2b)。该图为基于有限元三维钢管同轴单线圈磁化模型计算所得的钢管管壁磁化矢量图。此单一的轴向磁化场对钢管横向缺陷检测最为有利,却不易检测出钢管的纵向缺陷。

依据单线圈内磁场分布以平行于其轴心线为主的特点,将单线圈轴心线与钢管轴心线呈非平行斜向布置,使得钢管管壁上同时具有轴向及周向磁化场分量的局部斜向磁化场,从而一并检测出钢管的横、纵向缺陷(图 3)。其中两轴心 L 及 L' 的夹角 α

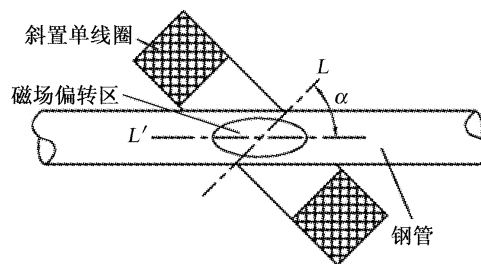


(a) 磁化示意图

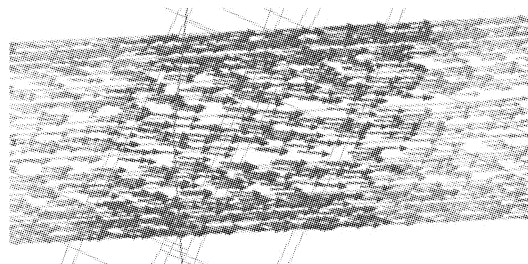


(b) 磁化场

图 2 钢管同轴单线圈磁化方式及磁化场



(a) 磁化示意图



(b) 磁化场

图 3 钢管斜置单线圈磁化方式及磁化场

为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。图中发现钢管管壁并没有形成近似平行于单线圈轴心线方向的磁化场,只是原来单一的轴向磁化场在磁场偏转区开始有了微弱的周向偏转。这种以轴向磁化场为主的磁化状态仍然只对检测钢管横向缺陷有利,而对纵向缺陷的检测贡献却很不明显。此处磁化场周向偏转分量微弱主要是因为导磁构件的被磁化过程还受其结构、形状等因素的影响,在长径比大的方向更易于形成磁化场,同样也更易于收集空间发散磁场而引导到管壁内形成以

轴向为主的磁化场。

3 钢管辅以聚磁器的单线圈磁化特性分析

针对上述钢管单线圈磁化时只能形成以轴向场为主的磁化场,因而不能同时检测出横、纵向缺陷的问题,在线圈与钢管已有的倾斜布置上,借用对称思想,另外在单线圈轴心线两侧辅以导磁构件,作为聚磁器,以改变线圈磁化区内钢管的长径比,同时收集单线圈在空气中的发散磁场,引导到钢管对应的局部斜向磁化区,从而提高其斜向磁化效果,形成与原轴向磁化场相当的周向磁化分量(图4)。可见,在斜置单线圈和聚磁块的共同作用下,形成了具有周向和轴向分量相当的斜向磁化场,两者可由聚磁块形状、具体位置以及单线圈斜置程度来作进一步调整。

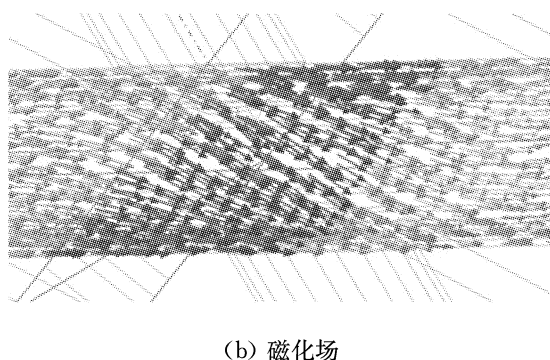
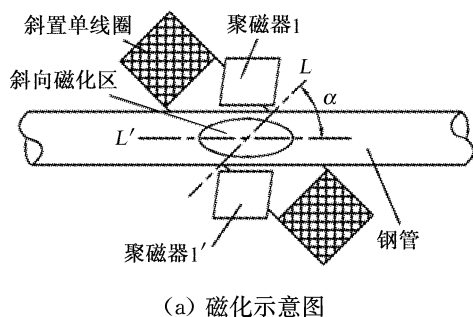


图4 钢管辅以聚磁器的斜置单线圈斜向磁化方式及磁化场

与辅以聚磁器的斜置单线圈磁化方式比较,将聚磁器布置于同轴单线圈内,如图5a所示。经过计算发现,没有形成类似于前者所形成的局部斜向磁化场,其仍以轴向为主(图5b)。

同样是辅以聚磁器的单线圈磁化方式,只有斜置单线圈能够形成斜向磁化场。这是由于斜置单线圈原本已破坏掉了单线圈磁化场以其轴心线的对称性,能够形成具有微小周向分量的磁化场。当增加聚磁器时,就能够在非对称分布磁场的基础上吸收空间中的发散磁场,将其引导到钢管管壁的局部区域,形成斜向磁化场;而钢管同轴单线圈磁化时,即

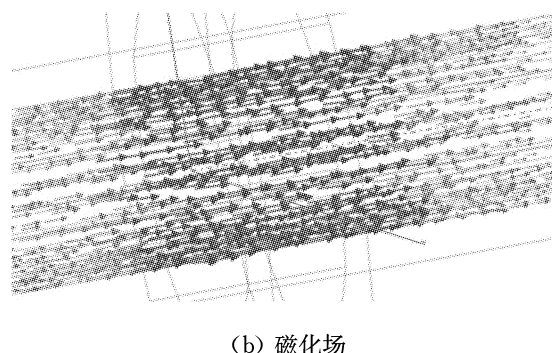
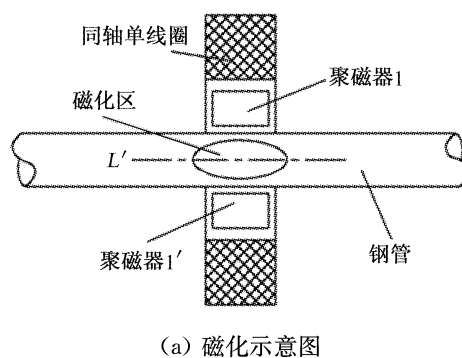


图5 钢管辅以聚磁器的同轴单线圈磁化方式及磁化场

使增加了聚磁器,但整个磁场环境仍呈对称分布,上下聚磁器形成的磁场相互叠加抵消,导致斜向磁化场不能形成。

综上所述,单线圈斜置是产生斜向磁化场的必要条件,而聚磁器的增加则能显著增强周向磁化场分量,形成可同时检测纵、横向缺陷的斜向磁化场。

4 试验分析

以 $\phi 89$ mm 钢管上大小均为 0.9 mm $\times$ 0.3 mm $\times$ 25 mm 的横、纵向缺陷为例,对单线圈的上述几种磁化方式进行试验。采用霍尔元件作为磁敏感元件,布置在磁化区进行检测,获得所激励出的钢管缺陷漏磁信号分别见图6(图中重复出现的正反信号为往复扫描所得)。从图中可以看出四种方式磁化时都可以检测出钢管横向缺陷,但对于纵向缺陷,同轴单线圈和辅以聚磁器的同轴单线圈磁化时几乎不能检测出;斜置单线圈磁化时所得漏磁信号微弱,只有辅以聚磁器的斜置单线圈磁化检测效果最好。试验结果验证了上述单线圈磁化场特性分析的正确性。

5 基于斜向磁化的钢管检测方法

由于钢管局部斜向磁化场能够完成钢管的横、纵向缺陷检测,并且该方法简单易操作,形成了一种利用斜向磁化装置,结合漏磁检测原理的斜向磁化检测方法(图7)。该方法借用斜向磁化装置在钢管

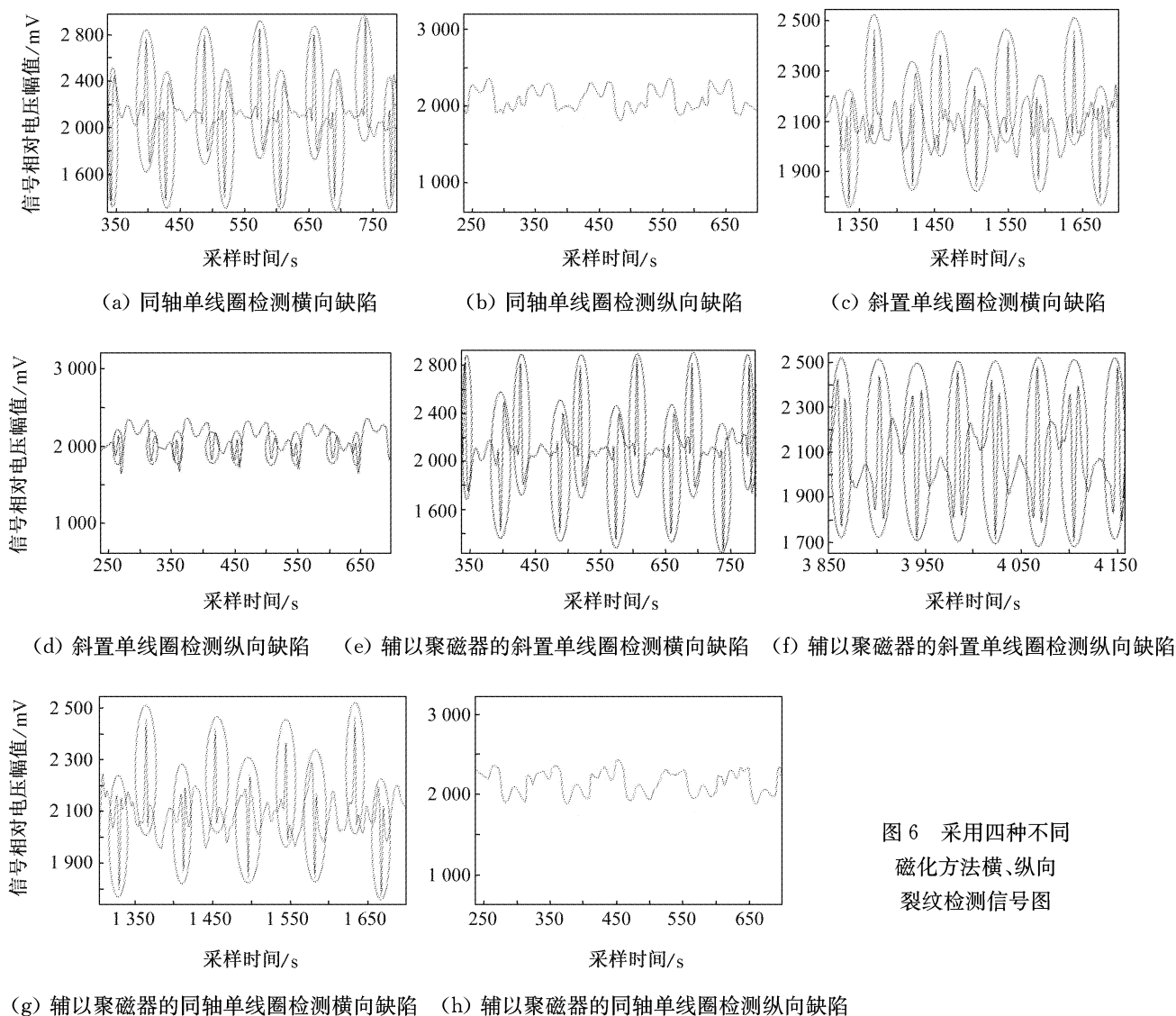


图6 采用四种不同磁化方法横、纵向裂纹检测信号图

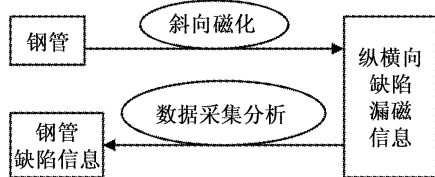


图7 基于斜向磁化的钢管漏磁检测方法

局部区域产生具有轴向、周向磁化分量的斜向磁化场,将磁敏感元件布置于斜向磁化场区域,同斜向磁化装置一起与钢管沿其轴向方向发生相对位移运动,斜向磁化场与钢管壁上的横向、纵向缺陷作 $>30^\circ$ 夹角的激励而产生横向、纵向缺陷漏磁信号,被磁敏感元件一并拾取采集,并经过计算机分析处理,从而完成对钢管的横、纵向缺陷的全面检测。

6 结语

针对通常的同轴单线圈磁化方式只能形成轴向

磁化场的不足,提出钢管斜置单线圈磁化方法,并辅以聚磁器,形成了周、轴向分量强度相当的斜向磁化场,实现了采用单线圈斜向磁化激励方式完成同时检测横、纵向缺陷的目标。该方式简化了钢管纵、横向缺陷检测装置的结构,降低了造价,为漏磁检测技术提供了新的途径。

参考文献:

- [1] 康宜华,刘 斌,谭 波,等.多规格油套管漏磁检测方法研究[J].钢管,2007,36(1):17—20.
- [2] 美国无损检测学会编.美国无损检测手册·磁粉卷[M].美国无损检测手册译审委员会,译.上海:世界图书出版公司,1994.
- [3] 陈健生.磁粉探伤磁化技术与磁化设备[J].无损检测,2002,24(7):298—301.
- [4] 欧阳晶晖,魏效玲,薛会民,等.荧光磁粉探伤机磁化方法的研究[J].河北建筑科技学院学报,2003,20(3):63.