

基于管道爬行器的磁控定位系统

夏海涛, 尚宝刚

(丹东华日电气有限公司, 丹东 118001)

摘要:介绍了一种以低频交变磁场作为控制信息载体的管道爬行器定位系统。系统由磁指令源、磁接收器和管道爬行器组成。利用磁指令源产生能穿透钢管壁的低频交变磁场来作为定位信号,取代了采用放射性同位素产生的 γ 射线作为定位信号的方法。该系统现已广泛应用于我国西气东输工程管道焊缝的无损检测,具有安全可靠、操作简便、定位精度高、携带方便、容易实现和适用范围广等特点。

关键词:管道爬行器;定位系统;磁控;硬件研制

中图分类号:TH878;TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2010)09-0744-03

Magnetic Orientation System Based on Pipeline Creeper

XIA Hai-Tao, SHANG Bao-Gang

(Dandong HuaRi Electric Co Ltd, Dandong 118001, China)

Abstract: A kind of pipeline creeper orientation system with low frequency alternation magnetic field as controlling information carrier was introduced. The system includes magnetic instruction source, magnetic receiving apparatus and pipeline creeper. It was adopted low frequency alternation magnetic field which could penetrate steel tube from magnetic instruction source as orientation signal, replacing the method with radioactive isotope (such as ^{137}Cs) as orientation signal. This machine was widely used in the nondestructive testing of gas tube weld seam in the so-called west-to-east gas transportation line. It has several characteristics such as safety and reliability, easy to handle, high orientation precision, convenient carry, easy realization and wide applicable range and so on.

Keywords: Pipeline creeper; Locating system; Magnetic control; Hardware development

长距离油气输送管道是由多根钢管焊接而成,为保证质量,避免油气泄漏,必须对环形焊缝进行无损检测。管道爬行器是对管道环形焊缝进行无损检测的主要设备。在数千米长封闭的油气管道中,管道爬行器要找到管道焊缝的位置,并且要求实现精确定位、安全可靠、携带方便以及便于操作,是有一定难度的,因此定位技术是管道爬行器系统的一项关键性技术。放射性同位素(如 ^{137}Cs)控制定位的管道爬行器以操作简便、定位精度较高以及可靠性较好等特点得到了较为广泛的使用。但是,放射性同位素产生的 γ 射线会对人体造成损伤,长期使

用会影响操作者的身体健康,国家对放射性同位素的经营、运输、使用、保存和回收都有严格的规定和限制,一旦发生辐射事故将会造成无法挽回的损失,这些问题制约了管道爬行器技术的使用和发展。随着输油、输气管道工程的日益增多,寻找一种安全可靠且定位精度高、操作简便、成本低廉的管道爬行器定位方式,既是管道爬行器生产厂家急需解决的问题,也是油气管道实际检测工作的迫切需要。

1 基本原理

针对放射性同位素控制定位的管道爬行器存在安全性能差的问题,需要寻找一种能够替代 γ 射线穿透钢管壁给出定位信息的方法。无线电波及红外线光等安全性好,但会被钢管屏蔽,不能穿透钢管的管壁。根据电磁感应原理,低频交变磁场可以穿

收稿日期:2009-12-26

作者简介:夏海涛(1972—),男,工程师,本科,研发设计师,主要从事X射线无损检测产品研发和设计。

透钢管的管壁,而且应用灵活,容易实现,其原理如图1所示^[1-2]。

线圈 L_1 产生低频交变磁场,该磁场在金属板 M 内引起感应电流,此电流在导体内闭合,称为涡流,其大小由 L_1 产生的低频交变磁场强度决定。涡流穿透金属板的厚度 h 为:

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

式中 ρ 为导体电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$; μ 为导体相对磁导率; f 为交变磁场频率, Hz。

选定金属板材料后, ρ 和 μ 为常数,涡流穿透金属板的厚度仅与频率 f 有关,频率越低,穿透金属板越厚。由涡流产生的电磁场在金属板 M 另一侧的线圈 L_2 上感应出感生电势 E , E 的大小取决于涡流的大小、 L_2 的外形尺寸、 L_2 与金属板之间的距离和 L_2 相对 L_1 的位置等。采用 E 与 L_2 相对 L_1 的位置的关系作为定位的依据,对管道爬行器进行定位控制,因为交变磁场的波形、幅度和频率是可以控制的,因此可实现不同的定位控制算法来提高管道爬行器定位系统的定位精度和可靠性^[2]。

2 设计方案

管道爬行器的磁控定位系统的定位原理如图2所示。管道爬行器的上部装有磁接收器,调整磁接收器与管壁的位置到适当的距离,使管道爬行器在管道内匀速行驶,在管道爬行器经过磁指令源时,磁接收器将接收到由磁指令源发出的磁场信号,当磁场信号的幅度达到预先设定的值时,磁接收器输出控制信号控制管道爬行器停止,使环形的 X 射线窗口正对着管道的环形焊缝位置。

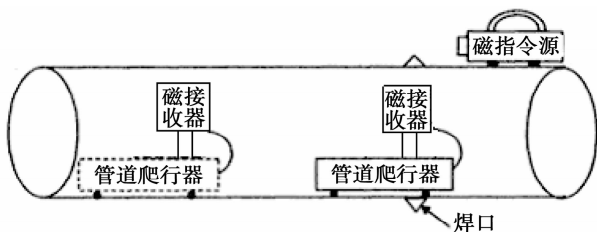


图2 管道爬行器磁控定位原理

管道爬行器磁控定位系统主要由磁指令源、磁接收器和管道爬行器等组成。

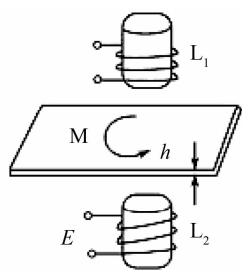


图1 磁控定位原理

2.1 磁指令源

磁指令源的结构图如图3所示,主要由壳体、电机、电池、永磁体、开关和充电器插座等组成。为减小电池消耗,用磁场强度 $>4 \text{ kGs}$ 的永磁体来产生磁场,电机的动力输出端与永磁体固定配接,电池为电机供电,开关控制电机启动和停止,电机带动永磁体匀速旋转,产生频率为 50 Hz 的低频交变磁场,从而控制磁场的发射,充电器插座用来给电池充电。电机、电池和永磁体装在壳体内,开关和充电器插座安装在壳体表面。

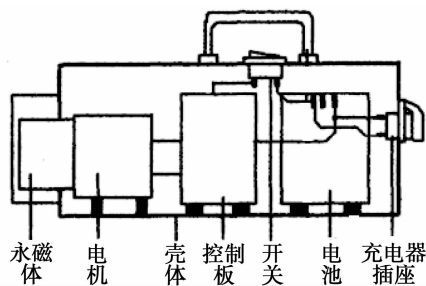


图3 磁指令源结构图

2.2 磁接收器

磁接收器包括磁传感器、滤波电路、信号转换电路、运算处理器和接口转换电路,原理框图如图4所示。

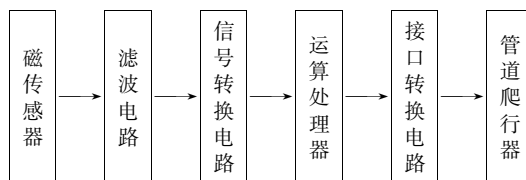


图4 磁接收器原理框图

磁传感器接收磁指令源发射的低频磁场信号,并将磁场信号转换为电信号送入滤波电路,滤除各种干扰信号后进入信号转换电路,转换为单片机能够识别的信号送入运算处理器。运算处理器是由单片机及其外围器件组成,主要负责对信号频率和幅值进行运算,识别出指令内容并与预定值进行比较。当符合预定值时输出控制信号到接口转换电路,由接口转换电路转换为标准通讯信号,将控制信号传输给管道爬行器,控制管道爬行器精确定位,完成整个检测任务。

磁接收器的结构如图5所示,主要有调整旋钮、指示灯、电缆插座、电路板、接收线圈和壳体等。磁接收器由管道爬行器提供电源,并输出控制信号到管道爬行器,电源和控制信号的传输通过电缆插座,

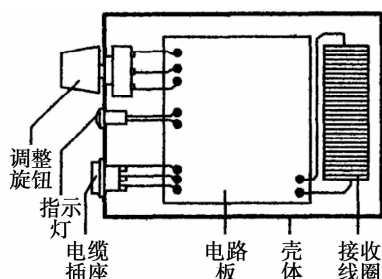


图5 磁接收器结构图

调节旋钮用来调整接收信号的强度,指示灯显示电源状态和接收到信号状态,接收线圈用于接收磁场信号,电路板实现信号的滤波、转换和处理等功能。

2.3 管道爬行器

管道爬行器主要由车体、电瓶、X射线发生器和控制电路组成,其结构如图6所示。车体携带电瓶、X射线发生器和磁接收器等在被检测管道内爬行;电瓶为车体、X射线发生器、控制电路和磁接收器等提供电源;X射线发生器用于X射线曝光检测;控制电路安装在车体内,负责接收磁接收器传输的控制指令信号,控制车体前进、倒退、停止以及控制X射线发生器曝光。

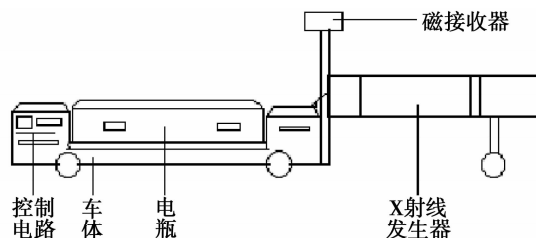


图6 管道爬行器结构图

3 试验

管道焊缝检测大多在野外作业,考虑工作环境

较为复杂,管道种类较多,根据管道检测工程实际情况,管道爬行器磁控定位系统分别在温度 $-10\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,海拔高度 $1\,000\text{ m}$ 以下,管道坡度 $-30^{\circ}\sim 30^{\circ}$,管壁厚度 $7\sim 33\text{ mm}$,管道外径 $\phi\,219\sim 1\,400\text{ mm}$ 的条件下进行了各种试验。采用干扰源模拟现场的电焊机、发电机同时工作,无误动作,系统定位误差 $\leq \pm 5\text{ mm}$ 。试验积累了大量不同管道和环境下定位精度变化的数据,归纳起来,总结出补偿算法,由单片机软件来进行修正,这样使磁控定位管道爬行器的适用范围更宽,而且定位精度得到很大的提高。

试验表明,在试验条件范围内,其定位误差 $\leq \pm 5\text{ mm}$,较放射性同位素定位的管道爬行器定位误差小一倍左右,且抗干扰能力强,不受现场环境的影响。

4 结语

经过大量的现场管道试验及应用,磁控定位管道爬行器可以完全取代放射性同位素定位的管道爬行器^[3],成功地应用于我国西气东输二线工程等管道焊缝的无损检测,避免了国家环保部门的约束及对环境和人身造成的伤害,在定位精度、可靠性、抗干扰和使用寿命等方面都有很大的提高,并且具有系统简单、容易实现以及适用范围广等优点。

参考文献:

- [1] 冯慈璋. 电磁场[M]. 北京:高等教育出版社,1983.
- [2] 美国无损检测学会,编. 美国无损检测手册[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,1999.
- [3] 丹东华日理学电气有限公司. 磁介指令定位仪:中国,200820014605. 6[P]. 2009-05-06.

(上接第743页)

检测设备自主创新能力,建立适用各领域轴类设备的无损检测体系具有重要意义。

参考文献:

- [1] 邱建平. 对铁路装备轮轴检修工艺及装备的探讨[J]. 现代城市轨道交通,2009(5):25-29.
- [2] Kappes W, Rockstroh B, Bähr W. Application of new front-end electronics for non-destructive testing of railroad wheel sets[C]. ECNDT 2006.

- [3] Parrilla M, Ibáñez A, Camacho J. Fast focal law computing for Non-Destructive Testing with phased arrays [C]. Paper # 1228 International Congress on Ultrasonics. Vienna, April,2007:9-13.
- [4] 养祖次郎,坂本博. 日本新干线中空车轴的超声波自动探伤[J]. 无损检测,1995(7):206-210.
- [5] Wustenberg H, Erhard A, Hauser T. Recent advances in ultrasonic inspection of railway axles and wheels[J]. NDTnet,2001,6(2):15.