

文章编号: 1672-7843(2010)01-0047-04

金属磁记忆管道检测机器人的应用研究

姜玉泉^{1,3}, 李著信¹, 易方¹, 宋志强¹, 闫育京²

(1 后勤工程学院 军事供油工程系, 重庆 401311;
2 69325 部队, 新疆 844900 3. 72877 部队, 山东 265206)

摘 要 阐述了金属磁记忆检测技术的基本原理及磁记忆检测机器人的研究现状, 针对存在的问题, 基于形态分析法对不同驱动形式的机器人进行优选。提出了一种适用于 150 mm 管径的螺旋轮式机器人驱动系统, 对机器人的动力系统和检测单元进行设计, 为长输管道磁记忆检测机器人的结构设计和优化提供了有益参考。

关键词 管道; 检测; 金属磁记忆; 机器人

中图分类号: TP242.2

文献标志码: A

Pipeline Testing Robot's Applied Research Based on the Metal Magnetism Memory

JIANG Yu-quan^{1,3}, LI Zhu-xin¹, YI Fang¹, SONG Zhi-qiang¹, YAN Yu-jing²

(1 Dept of Petroleum Supply Engineering LEU, Chongqing 401311, China

2 Unit 69325, Xinjiang 844900, China 3 Unit 72877, Shandong 265206, China)

Abstract The fundamental principles of metal magnetic memory testing technology and the present research situation of magnetism memory examine robots are elaborated. In view of the existing problems, the optimal selection of different actuation forms of robot is carried out based on the shape analytic method. One kind of screw-wheeled robot driving system which is suitable for the 150 mm diameter is proposed. The robot's dynamic system and the detecting element are designed. The beneficial reference for the long-distance pipeline metal magnetic memory testing robot's structural design and the optimization are provided.

Keywords pipeline; testing; metal magnetism memory; robot

磁记忆检测技术是基于金属磁记忆效应的无损检测技术, 可以通过缺陷表面主动散发出来的微弱漏磁场来查找应力集中区或微观缺陷区域, 发现宏观缺陷形成的早期萌芽阶段, 检测时不需要专门的磁化设备, 检测灵敏度高。结合金属磁记忆检测的特点, 利用管道机器人搭载磁记忆检测仪进行管道检测, 可以发现管道的应力集中区域和早期缺陷, 为管道主动维修提供早期预报, 对预防管道泄露等恶性事故的发生, 保障油气管道的安全运行具有非常积极的意义^[1-2]。

1 磁记忆管道检测机器人的研究现状

1.1 金属磁记忆检测原理

金属零部件应力集中区金属磁畴组织随外加载荷的变化而变化, 金属的磁性强度也随之变化, 并且金属磁性强度的改变在外载撤去后并不消失, 即金属磁记忆效应^[3]。由于磁弹性和磁机械效应两者的共同影响, 金属设备与构件受工作载荷的作用, 其内部会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的重新取向, 并在应力与变形集中区形成漏磁场的最大变化^[4]。在应力集中部位的磁记忆效应表现

收稿日期: 2009-10-10

作者简介: 姜玉泉, 男, 硕士生, 主要从事油气储运工程技术研究。

为漏磁场水平分量 $H_p(x)$ 具有最大值, 而垂直分量 $H_p(y)$ 则改变符号并具有过零点 (见图 1, O 点为应力集中点)。因此, 利用仪器通过测定铁磁性管道表面漏磁场垂直分量过零点, 可以诊断铁磁性管道内部应力集中的部位。

1.2 磁记忆管道检测机器人的应用现状及需要解决的问题

磁记忆检测技术是目前管道缺陷早期诊断和预报方面唯一可行的无损检测方法, 在焊缝检测、压力容器检测以及实验室金属机械性能研究、应力集中区评估测定等领域日趋成熟, 在锅炉、管道、容器^[1]等方面得到了广泛应用, 但针对非开挖埋地管道应用磁记忆检测技术的研究目前还很少。利用管道机器人搭载磁记忆检测仪对埋地管道进行非开挖检测, 可以为管道的检测、维护提供早期预报, 节省大量的人力、物力, 提高工作效率, 但从理论研究到实际工程应用需要解决好以下三个问题:

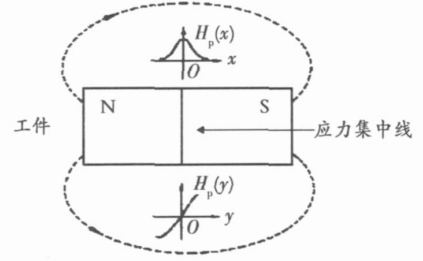


图 1 铁磁性管道应力集中区域磁场分布示意图

(1) 长输管道内尤其是长期使用后的长输油气管道的管内环境比较复杂, 管道机器人在管内运行时极有可能被缺陷障碍以及弯头、三通等特殊管段所阻碍, 因此需要一种能够满足中小口径、运行平稳、具有一定越障能力的驱动系统, 为搭载的磁记忆检测仪器提供足够的牵引力和越障能力。

(2) 埋地管道通常线路长、埋藏深、沿线环境恶劣, 又因为铁磁性管道结构的封闭性和材料的屏蔽性, 对埋地管道检测时, 管道检测机器人与外界的联系手段受到严重制约, 传统的通信方式无法实施, 而检测过程中所获得的大量信号数据需要处理和储存, 因此需要对检测单元和信号处理单元进行设计以满足管内检测的要求。

(3) 管道机器人搭载磁记忆检测仪在埋地长输管道内进行管道检测时, 检测的速度、方向、角度、脱离^[5]、地磁场 (环境磁场) 强度以及管道检测机器人本体结构对检测结果都会产生影响, 如何最大程度地排除干扰因素, 设计更为有效的检测单元需要更进一步的研究。

2 管道机器人的形态分析优选

管道机器人属于特种机器人, 管道检测机器人则是在管道内这个特定的环境中, 携带各种检测仪器和检测装置, 自动完成管道的各种检测。针对 150 mm 输油管道的形式和特点, 根据形态学矩阵, 搭载磁记忆检测仪的机器人的关键因素主要有驱动方式、

表 1 150 mm 输油管道磁记忆检测机器人形态学矩阵

独立要素	各要素的对应解法			
	1	2	3	4
A 驱动方式	差压式	电机驱动	电磁力驱动	功能材料驱动
B 行走方式	步进式	轮式	履带式	蠕动式
C 适用管径	大口径	中口径	小口径	微小口径
D 电源	充电干电池	蓄电池	锂电池	
E 连接方式	联轴器	皮带	齿轮	挠性轴

行走方式、适用管径、电源、连接方式 5 个独立要素, 并依此列出形态学矩阵 (见表 1)。

根据形态学矩阵, 搭载磁记忆检测仪进行管道检测的机器人的组合方案有 $4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 4 = 768$ 个。在 150 mm 输油管道中使用管道机器人搭载磁记忆检测仪, 具有以下特点和要求: 在行进过程中对管道进行检测, 要求管道机器人运行平稳; 管内通信方式的限制, 要求管道机器人自身易于控制; 机器人除本体外还有检测单元和信号处理单元, 自身较重, 要求机器人的自身牵引力大; 所检测的对象为 150 mm 输油管道, 要求机器人自身结构小巧, 能积较大。根据以上特点和要求, 将各个独立要素进行求解分析:

驱动方式 差压式驱动依靠管道机器人前后两端的压差驱动前进, 不需要外界能源, 但是难以控制, 速度不稳, 受流体的干扰大, 适用于长距离大口径管道; 电机驱动方式运行平稳, 易于控制, 受外界干扰小, 缺点是驱动力较小, 但可以通过行走方式的设计得到改善 (螺旋轮式驱动); 电磁力驱动和功能材料驱动都不适合长输管道内的持续运行。

行走方式 步进式机器人的优点是负载和越障能力强, 管径适应性强, 但其结构复杂, 能耗大, 控制过程比较繁琐; 蠕动式机器人的优点是运行灵活, 微小口径管道适应性好, 但其控制复杂, 管径变化适应

性差,运行不平稳;轮式机器人又分为一般轮式、直进轮式和螺旋轮式,其中,一般轮式管道机器人结构简单,牵引力较大,适应大中口径管道运行,但圆管适应性较差,易发生倾覆;直进轮式管道机器人运行平稳,易于控制,速度快,中小口径管道适应性好,但特殊管段通过性能较差,结构比较复杂;螺旋轮式管道机器人驱动牵引力大,结构紧凑,速度稳定,中小口径适应性好^[6]。

电源 为减小整体体积,将电源分散捆绑在机器人本体上,因此选用充电干电池。

连接方式 机器人在管内运行时,连接方式既要有通过弯头时的柔性,又要有通过三通时的刚性,挠性钢丝轴是具有一定支撑刚度的柔性轴,能够满足要求,宜选用挠性钢丝轴作为机器人的连接方式。

通过上述对比分析,方案 A2- B2- C3- D1- E4(电机驱动小口径螺旋轮式挠性钢丝轴连接的充电干电池管道检测机器人)简称为螺旋轮式管道机器人,以此作为管道磁记忆检测仪的搭载设备。

3 金属磁记忆管道检测机器人

3.1 驱动系统

金属磁记忆管道检测机器人的驱动系统(见图 2)主要包括驱动电机、行星减速器、电源、螺旋轮组、支撑轮组等。螺旋轮组为双排结构,置于驱动系统前端,通过挠性轴与减速器输出轴连接。在机体前后端分别错位布置 3 个支撑轮,在管道径向和轴向均具有弹性调节功能,可以保持机器人的稳定运行。

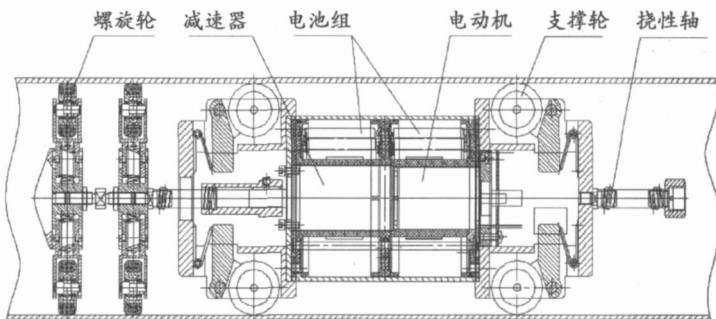


图 2 管道机器人驱动系统内部结构图

运行时,电机转轴通过减速器带动螺旋牵引轮组转动,轮组中的轮子在预设弹力的作用下紧贴管壁,轮子的轴线与管道轴线有一倾角 β ,在驱动力和摩擦力的作用下轮子在管内壁上做升角为 β 的螺旋运动,牵引轮组在周向转动的同时牵引机器人轴向移动。

通过实验,该管道机器人驱动系统不仅在直管段能顺利驱动,而且在三通和弯道等特殊管段也能良好有效地驱动,其适应性能好,通过能力强,行走产生的附加阻力小,是一种能力强、自主行走性能好的管道机器人驱动系统。

3.2 检测单元和信号处理单元

根据检测功能的要求,金属磁记忆检测系统主要包括磁记忆信号传感器、处理器、信号调理、信号转换与处理等功能模块。检测系统以 DSP 处理器和单片机为核心,所检测到的信号经信号调理模块调理后,送单片机信号转换模块的 A/D 转换通道,获得的数据经计算机得到响应,送上位机 LCD 显示并在信号处理模块进行信号的后处理。

磁记忆探头主要由霍尔感应原器件、探头转接板和芯座等组成,单个探头的检测角度受限制,难以实现管壁的环向检测,为使检测的范围覆盖整个管壁,避免漏检,将磁记忆探头通道数设置为 17 个,其中 1 个置于探头的中心位置,用于消除大地磁场对检测信号的影响,其余 16 个沿周向等间距地分布在莲花状高耐磨弹性支架上,其结构见图 3。

信号处理单元主要对信号进行采集、转换、处理和存储等,为适应管内运行环境,减小负载,系统设计为两层叠套式结构。为便于安装,单元与外部的连接均采用快速插接式,系统外观见图 4。

3.3 检测实例

实验选用总长度 900 mm,壁厚 6 mm 的 X60 材质螺旋埋弧焊管道进行检测,采用线切割的方式加

工出 12处不同长度和埋深的宏观微裂纹缺陷,加工缺陷参数如表 2所示。

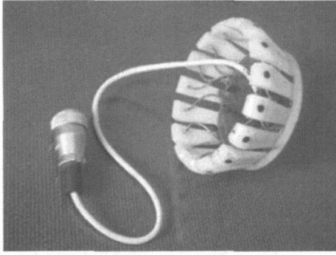


图3 检测单元结构外观图

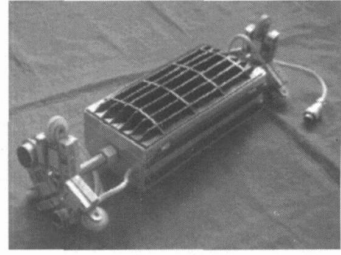


图4 信号处理单元外观图

表 2 管段预制裂纹加工参数

裂纹编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
长度/mm	25	25	25	25	5	10	20	25	10	10	10	10
深度/mm	1	3	5	6	1	1	1	1	1	3	5	6
位置/mm	40	110	180	250	320	390	460	530	600	670	740	810

对预制有裂纹的管道进行磁记忆检测,采集到的信号如图 5所示,根据磁记忆检测原理中关于缺陷的判定准则^[7],对图 5中法向分量 $H_p(y)$ 的过零值点进行标注。由磁记忆检测原理可知,在应力集中区域 $H_p(y)$ 值将出现较大的跃变,其符号发生改变形成过零点。

从图 5中发现,总共明显检测出 8个裂纹缺陷,信号曲线中标识的应力集中区域与已知的预制裂纹位置基本相对应,实验表明磁记忆管道检测机器人可以较为精确地检测到管道中的应力集中区域,但同时由于受到实验室环境以及人为操作等影响因素的干扰,有 3个裂纹的磁记忆信号转变为非零值点,没有被检测出来,因此对磁记忆检测精度影响因素的研究是后续研究的重点。

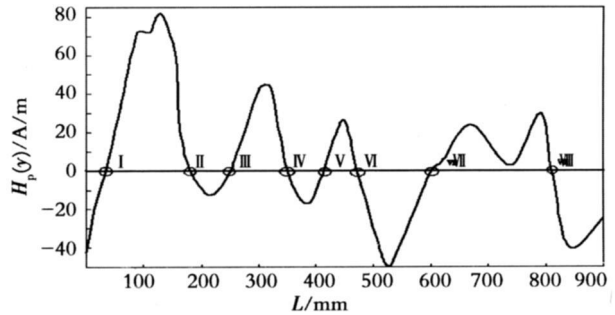


图5 磁记忆检测信号

4 结 语

(1)管道机器人搭载磁记忆检测仪进行管道检测,可以在非开挖状态下检测埋地管道的早期缺陷和应力集中,为管道的主动维修提供早期预报,对在役长输油气管道进行综合评估,确保管道的安全运行发挥积极作用,具有良好的社会效益和经济效益。

(2)基于形态学分析方法,以螺旋轮式管道机器人作为磁记忆检测仪的搭载设备,可以为管道检测机器人提供充足的牵引力和足够的越障能力。

(3)采用 16通道的磁记忆检测仪可以在管道机器人行走时实现对管壁的全角度检测,有效地解决漏检问题,同时基本消除大地磁场的干扰。但对各检测通道之间的相互影响需要进一步分析研究。

参考文献

- [1] 梁志芳,李午申.金属磁记忆信号的零点特征[J].天津大学学报,2006 39(7): 847-850.
- [2] 李著信,苏毅,吕宏庆.管道在线检测技术及检测机器人研究[J].后勤工程学院学报,2006 22(4): 41-45.
- [3] DORBOV A A. About physical base of method of magnetic memory [C] // 8th European Conference on Non-destructive Testing Barcelona Spain The Spanish Society for NDT, 2002 278-282
- [4] 宛得福,马兴龙.磁性物理学[M].北京:电子工业出版社,1999: 12-21
- [5] 于凤云,张川绪,吴森.检测方向和提高值对磁记忆检测信号的影响[J].机械设计与制造,2006(5): 118-120
- [6] 苏毅,李著信,王鹏飞.小口径管道移动机器人的研究[J].微计算机信息,2008 24(14): 245-247
- [7] 易方,李著信,苏毅,等.基于改进型小波阈值的输油管道磁记忆信号降噪方法研究[J].石油学报,2009,30(1): 141-144

(编辑 周 晷)