

钻具试样的磁记忆检测技术研究

徐海波,樊建春,张来斌,温 东,王金凤,田 冲

(中国石油大学(北京) 机电工程学院,北京 102249)

摘 要:钻具工件的在役状态监测是钻井工业关注的问题。对钻具在役状态的检测、监测以及寿命预测是保障石油工业钻采顺利进行的首要条件。提出了用磁记忆的方法来检测钻具的在役状态。试验设计了钻具试样检测装置和检测方法,截取钻具试样进行拉伸和破坏试验,在试验过程中检测磁记忆信号的特征。试验初步建立了磁记忆信号与钻具试样应力集中之间的关系。

关键词:磁记忆检测;钻具;拉伸试验;破坏试验;应力集中

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)05-0301-03

Research on Magnetic Memory Testing Technology of Samples of Drilling Tools

XU Hai-Bo, FAN Jian-Chun, ZHANG Lai-Bin, WEN Dong, WANG Jin-Feng, TIAN Chong

(Faculty of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: It is well known that the status of the drilling tools is an important problem in the oil drilling industry. A new nondestructive testing method, metal magnetic memory(MMM) testing, was presented. A new scientific type of test device and test method was designed in experimental research. The experiment was mainly to gain the characteristics of magnetic memory signals of the samples in drilling tool by static tension and pressing crack experiment. Through the experimental research, the relationship between stress value and magnetic memory signal was established.

Keywords: Metal magnetic memory testing; Drilling tools; Tension experiment; Pressing crack experiment; Stress concentration

钻具在钻井作业过程中承受拉、压、弯、扭、振动以及交变应力作用,会导致腐蚀、刺穿、破裂和断裂等钻具失效事故^[1,2]。研究表明,这些钻具事故的发生都源于钻具局部区域的应力集中。磁记忆技术是指工件在运行过程中,受到工作载荷和地球磁场的共同作用,在应力和变形集中区域内会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向的和不可逆的重新取向^[3]。而且这种磁状态的不可逆变化在工作载荷消除后会保留下来,形成漏磁场^[4],即漏磁场强度的情况反映了工件应力集中的情况。因此,通过磁记忆技术对钻具受力情况的研究,就可获得钻具应力集中的情况,从而推断钻具的在役状态以及使用寿命,防止钻具事故的发生。

收稿日期:2007-04-12

作者简介:徐海波(1983—),男,硕士研究生,研究方向为故障诊断与安全技术评价。

1 试验装置设计

根据钻具检测的需要,设计了图1所示的磁记忆信号检测装置框架图。系统由四部分组成:① 实验机加载装置,主要对钻具试样施加各种载荷。② 探头检测装置,是由灵敏度较高的磁阻元件组成,负责采集试样在受力过程中的磁记忆信号变化。③ 直线导轨和 PLC 驱动模块,是控制探头完成实时采集的驱动机构。④ 数据采集和计算机,用以把磁记

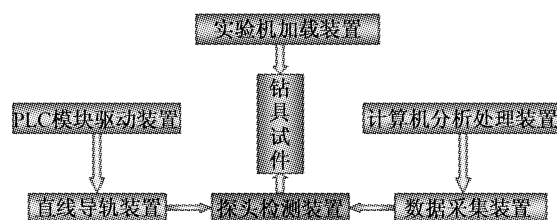


图1 试验装置设计

忆信号转换成电压信号,以便分析处理。

该钻具试样的磁记忆检测系统可以达到以下技术指标:距离钻具表面最小和最大距离分别为 1 和 30 mm,最大检测速度 0.5 m/s,工作电压 DC $\pm$ 15 V,检测频率 >1 MHz,检测试样长 120~250 mm。

2 试验方案设计

为了解钻具材料的性能和为现场生产试验做好准备,分别设计了钻具试样静拉伸和受力破坏过程中的磁记忆信号特征试验。试验总体框架见图 2。

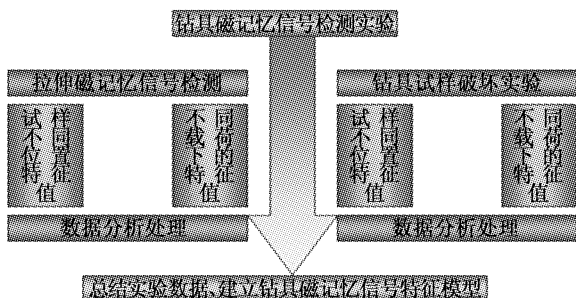


图 2 总体试验方案设计

3 拉伸试验

3.1 试样设计

根据试验装置要求,结合钻具检测特点,截取了钻铤的部分材料(4145H 钢)制成图 3 所示试样。

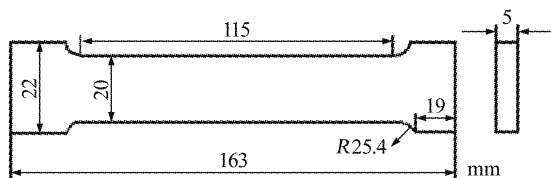


图 3 拉伸试样

3.2 试验仪器

试验仪器有液压式万能试验机、磁记忆探头、数据采集卡、激光位移传感器和计算机等。

3.3 试验步骤

- (1) 按照试验要求连接好仪器。
- (2) 在液压式万能试验机上装夹试样,要求必须把试样竖直地装夹在夹具的正中央,防止脱落。
- (3) 磁阻传感器测量加载前试样的磁记忆信号。
- (4) 开始加载,每加载 5 kN 用磁阻传感器测定试样的磁记忆信号。
- (5) 当加载到试样屈服极限时,停止加载。
- (6) 记录试验后的各种数据,对试样磁记忆信号进行分析。

3.4 试验分析

图 4 为不同拉伸加载状态时的磁记忆信号特征图。通过加载过程中图形特征的对比可得,在加载初期(图 4a),磁记忆信号是一条平滑的曲线,无明显波动变化,说明此时的应力对试样的影响比较小。随着载荷的增加(图 4b),磁记忆信号在一些位置出现了波动信号,说明应力增加使其内部组织发生变化,在某些地方出现了应力集中的现象。当加载到一定时期(图 4c),磁记忆信号出现了明显的跳动,说明试样某处的应力集中已经达到最大值,液压拉伸试验机反映此时试样处于屈服极限状态。

试验证明了金属磁记忆信号特征可以反映钻具试样处于不同应力状态的特征。

4 钻具试样破坏试验

4.1 试验目的

试验主要是模拟钻具试样在破坏过程中的磁记忆信号特征,选用国标要求的金属微裂纹扩展速率试验,对预制裂纹加以载荷,逐渐使裂纹增大,从而测量到钻具在破坏情况下的磁记忆信号,为检测钻具缺陷和预测钻具寿命提供参考数据。

4.2 试样设计

根据《金属材料疲劳裂纹扩展速率实验方法》和《金属弯曲力学性能试验方法》的特点,采用三点弯

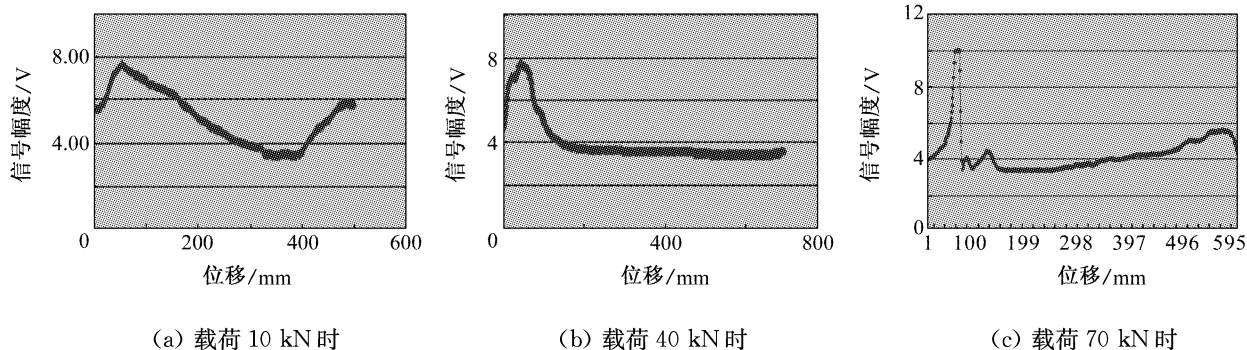


图 4 不同拉伸载荷时的磁记忆信号特征

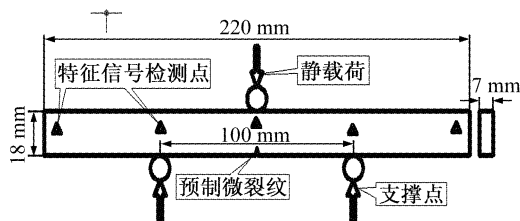


图5 钻具实验设计图

曲实验过程中的微裂纹扩张实验,设计了图5所示的钻具试验。其满足三点弯曲实验的要求,同时又在试样的中心位置加工了微小的三角形裂纹,有利于在三点弯曲加载过程中产生微裂纹扩展。

4.3 试验设备

EHF-EG200KN型全数字液压伺服实验系统、磁阻探头、数据采集器、直线运动导轨、PLC直线控制驱动器和计算机等。

4.4 数据分析处理

试验对试样磁记忆信号有明显变化的五个部位进行了重点观察,并提取了信号特征,找出了钻具在受载荷情况下的磁记忆信号特征变化规律(图6)。

如图6a所示,加载载荷是一条平滑的抛物线。这是由于试样裂纹在载荷力的作用下产生了扩展,试样发生了弯曲变形,试样下支撑点间的位移发生了改变,从而使得加载载荷达到一个最大值后就逐渐减小。

图6b和c所示,钻具试样在不同位置磁记忆信号大小都是随着加载的增加而减少,这是由于金属的应力集中部位漏磁场的法向分量趋近于零的原因。同时在不同位置所显示的每个值的大小不同,这说明不同位置所承受的应力状态不一样。因此通过磁场强度与电压之间的关系,结合实验建立的应力与电压之间的关系,可以得出磁场强度与应力之间的关系。

5 结论

采用磁阻传感器来测量钻具试样在静载荷过程和受力破坏过程中的磁记忆信号,试验可得:

(1) 验证了金属磁记忆检测技术可用于检测钻具缺陷、应力集中区域并监测工件的使用状况。

(2) 由加载应力与磁记忆信号特征的关系,结合磁阻传感器的线性图,可以建立磁记忆信号与应力大小之间的数量关系以及数学模型,为开发智能型钻具缺陷检测系统提供了理论模型。

金属磁记忆检测方法作为一种新的无损检测技术,在钻具检测方面具有独特的优点和广泛的应用前景。但是就国内目前的研究情况,还需要进行更多的基础性研究才能使其发挥出更大的优势:

(1) 需要加强研究磁记忆现象的微观机理,深入分析工作应力与地磁场对钻具磁化的影响。

(2) 从微观的角度利用透射电镜、能谱分析仪等研究钻具材料疲劳破坏过程中,磁记忆信号的变化与显微组织改变间的联系,揭示钻具材料应力集中区域出现漏磁信号的微观机制。

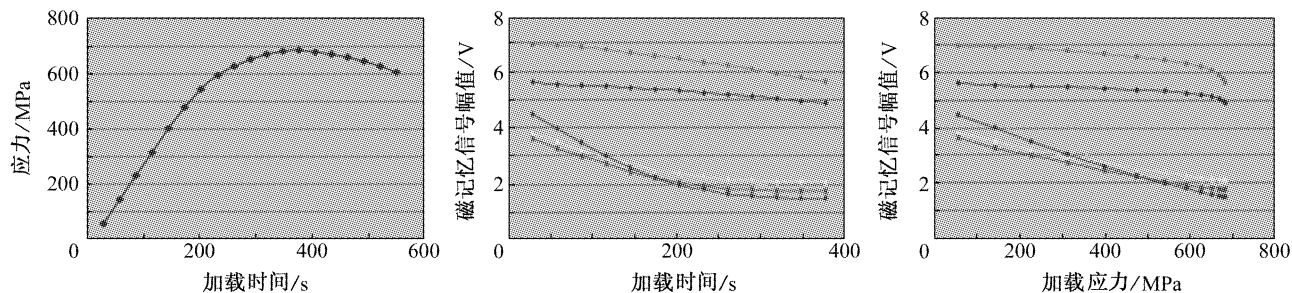
(3) 在大量磁记忆机理试验研究的基础上,尽快建立磁记忆信号与应力变化、组织变化以及地磁场间的明确关系。

(4) 建立被检部件磁感应强度分布与应力场分布的关系及模型。

(5) 针对石油工业的特点,建立相应的检测方法和通用的行业标准。

参考文献:

- [1] 王永宏,张玉英. 超声波探伤在钻杆加厚过渡带检测中的应用[J]. 石油矿场机械, 2006, 35(1): 93—95.
- [2] 巨西民,莫润阳. 钻杆接头螺纹部位疲劳裂纹的超声波检测[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 15(5): 73—76.



(a) 加载时间与加载应力的关系 (b) 加载时间与磁记忆信号特征的关系 (c) 加载应力与磁记忆信号特征的关系

图6 加载时间-应力-磁记忆信号的关系

(下转第306页)

波在轴承套内壁的反射很容易引起波的相互干涉,对缺陷波形的辨别造成干扰。因此,晶片左端与轴承套中心的距离较导出的 x_2 要大,即晶片在此方向上的宽度要进一步缩小。

图2所示,若超声波在钢中的折射声束恰好与轴承套内壁相切,此时,折射入钢中的横波既可实现轴承套内、外壁检测,又能最大限度地减少折射横波之间的干扰。由式(3)~(7)可求得此时所需距离 $x_2 \approx 4.8 \text{ mm}$ 。由前述压电晶片最宽距离 6.8 mm 可得,在该方向上所需压电晶片最佳宽度为 2 mm 。

压电晶片沿轴承套轴向布置位置对检测影响较小,可将其基本置于有机玻璃楔块沿轴向中间位置,长度取 5 mm ,即压电晶片尺寸为 $2 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。

2.3 楔块设计

超声换能器楔块(透镜)采用优质有机玻璃加工,沿轴承套轴向宽 10 mm ,左端注水口处高 25 mm ,右端晶片放置面高度 10 mm (此距离只需满足纵波在有机玻璃中声程大于横波在轴承套中声程即可,防止二次界面波对缺陷回波的干扰),沿工件轴向宽度 20 mm ,与工件结合面为 $\phi 16.2 \text{ mm}$ 半圆槽(要求该半圆槽面表面光洁,无明显凹凸及划痕)(图4)。

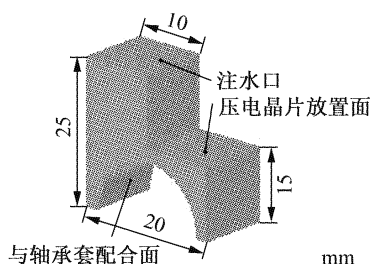


图4 超声换能器透镜

检测时,将合适直径塑料软管插入注水孔中,注入小流量的防锈液,形成厚度为 0.1 mm 的液面层。

阻尼块直接浇铸于有机玻璃楔块之上,并作适当处理。实际上,如需进一步提高检测灵敏度,可通过详细计算,选取恰当的瓦片状压电晶片以替代平板晶片,实现超声波线聚焦探伤。

3 检测实验

3.1 手动检测

取若干带有缺陷的薄壁轴承套进行检测,人工转动轴承套。此时轴承套外壁与有机玻璃楔块半圆槽接触,仅使得横波在钢中折射角略微增大,不会对检测产生不良影响(图5)。实验证明该系统能有效检出轴承套内壁或外壁存在缺陷。

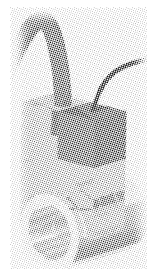


图5 薄壁轴承套检测图

3.2 自动检测

自动检测时,可以利用相关机械装置将超声换能器和薄壁轴承套准确定位。并应注意使薄壁轴承套转动速度与超声波脉冲频率匹配,以保证不会发生漏检以及转动过程中出现轴承套跳动。

假设轴承套转动速度为 n 转/s,声束的有效检测区域为 m (弧度),缺陷通过有效检测区域的实际时间 t 为^[2]:

$$t = \frac{m}{2\pi} \cdot \frac{1}{n} \quad (8)$$

为保证有效检测,在时间 t 内应至少出现一次声脉冲发射。此外,若轴承套以螺旋方式前进时,螺距不可大于压电晶片沿轴承套轴向长度,否则会有漏检区域。

4 结语

因薄壁轴承套外径较小且壁厚较薄,故声能损失不大,因此可采用非聚焦方式检出工件内外壁缺陷。所研制的系统可以通过进一步开发,实现检测的自动化。

参考文献:

- [1] 彭应秋,朱惠,郑开胜. 薄壁管探伤中水声程公式分析[J]. 无损检测,1998,20(2):65—68.
- [2] 侯怀书,严仍春. 硬质合金棒材缺陷的超声波半自动检测[J]. 无损检测,2005,27(6):327—329.

(上接第303页)

- [3] Doubov A A. Diagnostics of metal and equipment by means of metal magnetic memory[A]. Proceedings of ChSNDT 7th Conference on NDT and International

Research Symposium[C]. Shantou China:1999:181—187.

- [4] 林俊明,林春景,林发炳,等. 基于磁记忆效应的一种无损检测新技术[J]. 无损检测,2000,22(7):297—299.