

钢丝绳疲劳的磁记忆检测系统

王 欢

陈厚桂, 康宜华, 武新军

(湖北汽车工业学院 机械工程系, 十堰 442002)

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘 要:模拟钢丝绳的弯曲疲劳状态,运用金属磁记忆技术对钢丝绳表面的磁场分布进行检测,并对其磁场强度的变化进行了分析和比较。试验结果表明,磁记忆检测方法能有效用于钢丝绳应力集中和疲劳损伤的早期诊断,对防止事故发生具有重要的现实意义。

关键词:磁记忆检测;钢丝绳;疲劳损伤;应力集中

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)02-0078-03

Magnetic Memory Testing System for Fatigue of Wire Ropes

WANG Huan

(Department of Mechanical Engineering, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyan Hubei 442002, China)

CHEN Hou-gui, KANG Yi-hua, WU Xin-jun

(School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The fatigue status of the wire ropes bended was simulated. Surface magnetic field distribution of the wire ropes was tested by metal magnetic memory technology, and the variation of magnetic field intensity was analyzed and compared. Experiment showed that stress concentration and wire rope fatigue damage could be effectively diagnosed at the early stage by magnetic memory testing, and it was significant for avoiding accident.

Keywords: Magnetic memory testing; Wire rope; Fatigue damage; Stress concentration

钢丝绳在工程中应用极为广泛,一旦突发断裂将导致灾难性的设备和人身事故。据统计,80%以上钢丝绳断裂事故是疲劳引起的^[1]。疲劳破坏一般总是出现在应力最高的部位,因此需要一种有效的检测手段在断裂前检测到钢丝绳的应力状况,从而分析判断疲劳损伤状态,发现并及时更换损坏的钢丝绳以防止事故的发生。金属磁记忆检测技术能通过早期诊断应力集中,防止设备产生突发性的疲劳破坏,该方法目前已用于检测诸多铁制工件或部件,如输油管道、锅炉管道、钢架构件、汽轮机叶片、转子、螺栓、铁轨及各种加载及焊接件等^[2]。钢丝绳的结构与管类或板类等铁磁性构件有着明显差异,其纵横截面均不是铁磁性材料的连续体,表面凹凸不平,内部存在形状复杂的间隙,且在实际工作中受拉伸、挤压和弯曲应力等综合作用,分析研究相对复杂困难。为此笔者通过试验对受弯曲疲劳作用的钢丝

绳磁场分布状态进行分析,由此可间接判断应力集中位置,并对钢丝绳疲劳损伤时法向磁场强度的变化进行分析和比较,从而为使用磁记忆方法对钢丝绳疲劳损伤检测和寿命估计提供一定的依据。

1 试验装置

钢丝绳疲劳磁记忆检测系统(图1)由磁敏传感器、滤波器、放大器、A/D转换器和计算机等组成。磁敏传感器选用A3515集成霍尔元件,其灵敏度达到5.5 mV/0.1 mT,能检测到 10^{-9} T级的磁场。为了更好地观察应力分布情况,采用多传感器多通

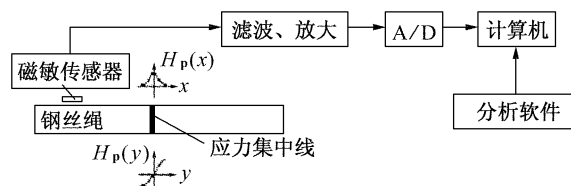


图1 磁记忆检测系统框图

道的形式,并能同时检测磁场强度的切向和法向分量,且通过差动处理减少地磁场梯度和噪声的影响。采用等空间采集间隔采样,采样间隔为 0.74 mm。

试验装置如图 2 所示,可用来模拟钢丝绳受拉伸、挤压和弯曲等共同作用的实际工作情况。通过改变滑轮直径改变钢丝绳弯曲应力,小滑轮由弹簧张紧,调节张紧程度可改变张力大小。

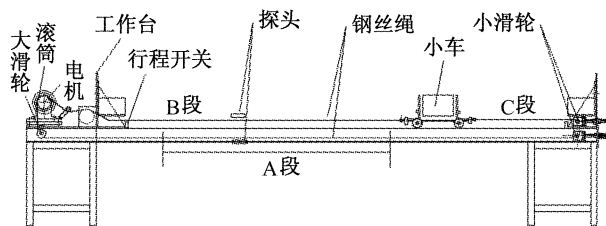


图2 试验装置

由于钢丝绳的规格多,试验对象的选取非常关键。笔者选取了 $\phi 6 \text{ mm } 5 \times 19 \text{ W}$ 钢丝绳。如图 2 所示,选取钢丝绳上的 A、B 和 C 三段作为检测对象。A 段不经过滑轮,受张力作用,只作直线往返运动;B 段经过大滑轮和滚筒,C 段经过右边小滑轮,均受拉伸、挤压和弯曲等综合作用,作往复弯曲运动。在往复运动前,检测各段与钢丝绳表面磁场强度成正比的电压值,然后每经过 500 次往复循环停机测取各段电压值,直至钢丝绳断裂。

2 试验结果分析

按照磁记忆检测原理和实践可知,垂直于表面的磁场出现了正负变化和异常变化,如不考虑绝对数值的问题,该点磁场分布正好反映了实际的应力集中。A、B 和 C 段的磁记忆检测信号分别如图 3~5 所示,图中的电压值为换算过的没有放大的磁记忆信号值。试验装置运行到 5 300 次循环时 C 段钢丝绳发生断裂,从断口的特征判定是疲劳断裂。

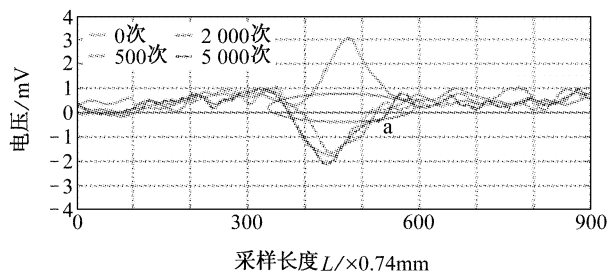


图3 A段磁记忆信号

2.1 A段信号分析

如图 3 所示,a 区在 0 次循环表现出磁场强度异常,而工作循环 500 次后,该处磁场强度方向和大

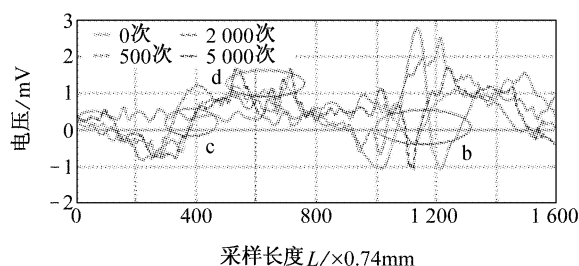


图4 B段磁记忆信号

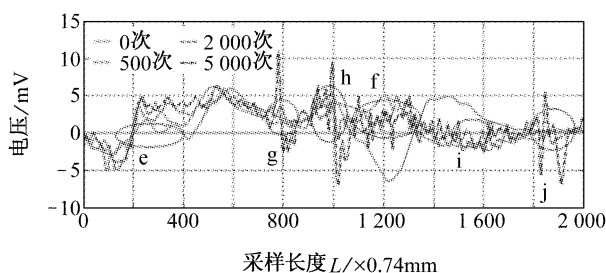


图5 C段磁记忆信号

小发生变化,说明为残余应力集中区域,在张力及来回运动的惯性力作用下,该处沿钢丝绳轴向的磁化特性有明显变化,张力方向上的磁弹性能增加,出现的记忆应力集中的漏磁场改变了初始磁场强度的大小和方向。随着循环次数的增加,a 区附近电压值先减小后略微增加但变化不大。

2.2 B段信号分析

检测试验结束时 B 段没有出现明显断丝。如图 4 所示,b 区分析同 A 段的 a 区;工作循环 500 次后在 c 区出现了过零点的现象,这里对应着 B 段经过左边滚筒处切点的位置,为最大应力(应力集中)发生处,随着循环次数的增加,钢丝绳不断拉伸,过零点略微有向右漂移的现象;d 区在循环 5 000 次时磁场出现了异常,小车运动在最左侧时钢丝绳缠绕在滚筒部分,受弯曲应力较大,随着循环次数的增加则开始出现应力集中,应力集中处产生漏磁场使磁场出现异常。

2.3 C段信号分析

循环 2 000 次后与滑轮接触的钢丝绳外层出现了明显断丝的磁场异常和过零点(图 5 中 g、h、f、i 和 j 区),可见断丝位置基本在残余应力和工作应力集中处。5 000 次循环后,g 区出现了严重断丝,g 和 h 区的磁场强度值均较大,综合作用使最后断裂出现在两区之间,说明疲劳断裂发生在应力集中处,且有明显扩散。e 区在循环前就有明显的过零点现象,这是新绳残余应力分布在地磁场中散射磁场的反映,此位置也正好是经过小滑轮处,故过零点一直

存在,随循环次数增加,磁场强度略有上升变化。

2.4 比较分析

(1) 图 3~5 在 0 次循环从左到右的磁场变化是由于新绳的残余应力分布在地磁场中散射磁场的表现,反映了实际的应力情况。磁记忆信号的过零点要根据实际的工作受力情况分析,过零点和磁场异常一般在残余应力和工作应力集中点或区域,靠近应力集中位置的磁场强度变化反映了应力水平,随着循环次数的增加,磁场强度发生变化,呈上升趋势,达到疲劳时磁场强度会有较大突变现象。

(2) 图 3a、图 4b 和图 5f 区的电压值受张力作用后都发生了大小和方向的变化,说明应力集中在应力场的作用下磁弹性能增加,磁记忆的漏磁场改变了原来的磁场强度,先减小后逐渐增大,而弯曲产生的应力集中的漏磁场是逐渐增大的。

(3) C 段磁场强度变化比 B 段更明显,疲劳速度更快,这是因为 C 段经过小滑轮,弯曲半径小,承受的弯曲应力大,而且小滑轮轴承的结构使小滑轮处的钢丝绳既有静摩擦又有动摩擦存在,故磨损很

严重,磨损加弯曲疲劳产生疲劳断裂,因此滑轮直径对疲劳寿命的影响比弯曲次数更大。

(4) 从三段的分析可见,钢丝绳疲劳的磁记忆检测和初始被测构件的残余应力、工作载荷大小、工作时间及损伤状态有关系。残余应力大或工作载荷大,则磁场强度大;工作时间长,应力集中处的磁场强度大;有断丝缺陷时的磁场强度要比应力集中时的更大些。

(5) 受张力时磁导率沿钢丝绳轴向分布较均匀,张力和弯曲力共同作用时磁导率沿钢丝绳轴向分布不均匀,弯曲疲劳和断丝等导致磁场局部畸变。

3 结论

试验结果分析表明,① 受载钢丝绳在地磁场中存在磁记忆现象,磁场的过零点和异常处记忆着应力集中区域,说明金属磁记忆技术运用在钢丝绳检测上是可行的。它可作为钢丝绳疲劳试验的先导检测方法,确定应力集中部位,为疲劳试验中准确确定

(下转第 83 页)

(上接第 69 页)

即使数据是完全线性的,只有随机误差,积分非线性也不为零。因为积分非线性包含了非线性和随机误差两方面的影响,是衡量系统误差性能的综合指标。笔者使用 EE1641B 型函数信号发生器输出矩形脉冲信号,脉冲周期为 20 ms,脉宽 5 ms,获取不同脉冲幅度下积分器输出信号的量化值,测量了 10 组数据,对数据进行多次线性拟合,可计算出测量的最大标准差 $\sigma_{\max} = 7.839\ 0\%$,脉冲幅度与积分输出电压量化值的对应关系见图 4,其标准差曲线见图 5。

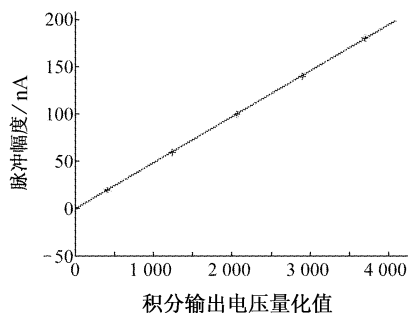


图 4 脉冲幅度与测量值的对应关系

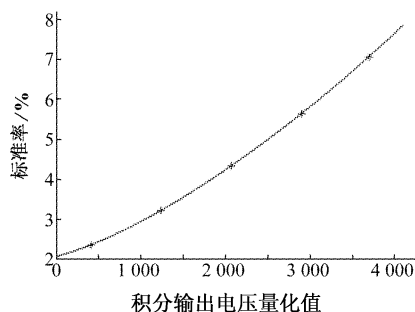


图 5 测量结果的标准差曲线

线源作用下效果良好,测量相对误差可控制在 0.6% 之内,动态范围较宽,智能接口可将测量数据快速传输给计算机进行处理,经过标定可以测量 X 射线的绝对剂量。

参考文献:

- [1] 汲长松. 核辐射探测器及其实验技术手册[M]. 北京: 原子能出版社, 1990.
- [2] 詹福如, 袁宏永, 苏国锋. 光电探测器微变信号放大电路的设计与分析[J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 54—55.
- [3] 刘天宽. IOF 实验中软 X 射线能量的限时积分测量方法研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 1998.

3 结论

该系统经过调试校正,在 50~320 kV 的 X 射

焦深度在动态变化,声束呈柱状,声能集中,检测灵敏度高,增益值变化较小,信噪比高,从而增加了有效探伤深度范围。

5.2 应用实例

被检工件为 GH4169 饼坯锻件(图 4),其加工余量为上下端面 2 mm,上下端面车光,表面粗糙度 $1.6 \mu\text{m}$,验收标准为当量直径 $\phi 1.2 \text{ mm}$ 平底孔。

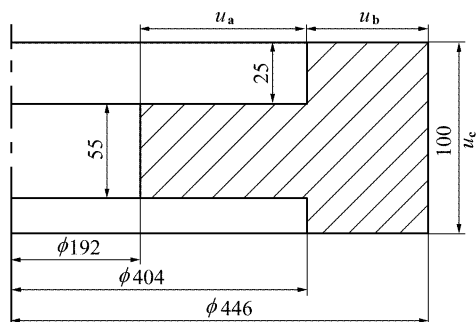


图 4 被检工件剖面尺寸图

在对饼坯进行检测时,设置两个通道,即① 深度聚焦。用一个中央晶片检测饼坯上表面深度 $<15 \text{ mm}$ 区域,上盲区为 1.5 mm 。② 动态深度聚焦。在不同深度设置一次聚焦法则,使声束在扫查不同深度时总是处在焦柱区内。该工件每隔 30 mm 深度设置一次聚焦法则,设置的相邻覆盖区为 10 mm ,要检测厚度 100 mm 的工件需设置 5 次聚焦法则。

对图 4 中 u_a , u_b 和 u_c 三个环形区域进行检测,需设置三个扫查序列。第一个扫查序列扫查完,检测系统会自动移到下一个扫查序列,逐个完成所设置的所有扫查序列。

检测系统可同时进行上述两个通道的检测任务,一次完成对工件的序列扫查。所有扫查数据储存在数据文件中,实现了数据的无损失保存。打开保存的检测数据文件可同时显示 A,B,C 和 D 扫描结果进行检测数据分析。传统水浸聚焦探头的焦柱区域比较短,检测 100 mm 厚工件至少需更换两次探头,再进行水距和表面垂直度等的调节,检测时间至少是环形阵列检测的两倍。

6 结语

与传统的水浸超声波探伤相比,相控阵列检测的优势是① 检测速度快,只需进行一次简单的线性扫查,无需更换探头即可完成对工件的检测。② 缺陷定位准确,检测灵敏度高。③ 有效探伤深度范围大,效率高。④ 作业强度小,无污染。⑤ 检测结果直观,可实时显示。在扫查的同时可进行分析和评判,也可打印和存盘,实现检测结果永久保存。

相控阵的局限性是① 仪器调节过程复杂,调节准确性对检测结果影响大。② 受客观影响大,工件表面的粗糙度会对检测结果产生影响。

参考文献:

- [1] Ritter J. Universal phased array UT probe for nondestructive examinations using composite crystal technology[J/OL]. The E-Journal of Nondestructive Testing, www.ndt.net,2000,5(9).
- [2] Lamutsch Andre. Dynamic focusing of phased arrays for nondestructive testing characterization and application[J/OL]. The E-Journal of Nondestructive Testing, www.ndt.net,1999,4(9).
- [3] Deutsch Wak. Self-focusing of Rayleigh waves[A]. Thompson DO, Chimenti DA, eds. Review of Progress in QNDE[M]. New York: Plenum Press,1998.
- [4] Deutsch Wak. Lamb waves generated by a self-focusing phased array[J/OL]. The E-Journal of Nondestructive Testing, www.ndt.net,1999,4(9).
- [5] Deutsch Wak. Defect detection with Rayleigh and Lamb waves generated by a self-focusing phased array [L/OL]. The E-Journal of Nondestructive Testing, www.ndt.net,1999,4(9).
- [6] R/D TECH. Introduction to Ultrasonic Technology Applications[Z]. R/D TECH 505 Boul Du Parc-technologique Quebec Ouebec Gip 459. www.RD-TECH.com,2004.
- [7] 美国无损检测学会编,美国无损检测手册译审委员会译.美国无损检测手册·超声卷(上册)[M].上海:世界图书出版公司,1996.438—444.

(上接第 80 页)

试验部位提供有用的试验数据。② 随着疲劳循环次数的增加,钢丝绳的磁化特性发生变化,应力集中处的磁记忆信号呈上升趋势,在到达疲劳时磁场强度产生较大突变,因此可通过检测钢丝绳的表面磁场强度变化来判断钢丝绳的疲劳损伤情况。

参考文献:

- [1] 尚永春,姚宗州. 浅谈弯曲疲劳对钢丝绳寿命的影响[J]. 海洋技术,1996,15(1):68.
- [2] 任吉林,林俊明. 金属磁记忆检测技术[M]. 北京:中国电力出版社,2000.