

基于金属磁记忆的高铁轮对早期故障检测研究

毕贞法, 孔 乐

(上海应用技术大学轨道交通学院, 上海 201418)

摘 要:列车安全性检测是铁路机车车辆工程的重要研究课题。轮对是高速列车行走部的关键部件,传统检测模式只能发现宏观存在的缺陷,而不适用于运行过程中的早期缺陷的发现与状态跟踪。为了实现对早期故障的快速识别与轮对寿命预测,针对传统测试方法在早期检测与动态检测方面的不足,提出了全新的动态检测系统,以满足列车运行的安全要求,还对磁记忆信号与该材料所遭受荷状态之间的关系进行了大量的试验研究。研究表明:在 50~150 kN 的载荷区间内,试件的磁记忆信号呈单调变化,变化趋势明显;对试件进行疲劳载荷后发现磁记忆信号的原始值及梯度、峭度等信号特征均有所变化,峭度变化较为明显,能够有效反应材料的疲劳状态。采用金属磁记忆技术进行轮对早期故障检测与动态检测,对于保证列车的运行安全具有重要的现实意义,可为无损检测领域的应用提供借鉴。

关键词:铁路机车车辆工程;高速列车;安全性检测;轮对材料;金属磁记忆检测法;早期故障

中图分类号:U279.4 文献标志码:A

Research on early fault detecting for wheelset of high-speed train based on metal magnetic memory method

BI Zhenfa, KONG Le

(School of Railway Transportation, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: The detection of train safety is an important research topic for railway locomotive and vehicle engineering. Wheelsets are key components of high-speed train bogies. The traditional detection method can only diagnose macroscopic structural defects, and it is not suitable for the diagnosis of microscopic defects and status tracking in the operation process. In order to achieve rapid identification of early failures and life prediction of wheelsets, in light of the shortcomings of traditional test methods in early detection and dynamic detection, a new system of dynamic detection is proposed to meet the safety requirements of train operations. This paper also conducts a large number of experimental studies on the relationship between magnetic memory signals and the loading conditions of the material. The results show that in the 50~150 kN load range, the magnetic memory signal of the experimental workpiece changes monotonously, and the change trend is obvious; after fatigue loading, the original values of the magnetic memory signal and the signal characteristics of gradient and kurtosis both have some change, and the

收稿日期:2018-03-15;修回日期:2018-05-02;责任编辑:陈书欣

基金项目:国家自然科学基金(51405303);上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(ZZyy15110);上海应用技术大学人才引进基金(YJ2014-17)

第一作者简介:毕贞法(1979—),男,山东泰安人,副教授,博士,主要从事机车在线检测技术方面的研究。

E-mail: bizhenfa@sit.edu.cn

毕贞法,孔乐.基于金属磁记忆的高铁轮对早期故障检测研究[J].河北科技大学学报,2018,39(4):306-313.

BI Zhenfa, KONG Le. Research on early fault detecting for wheelset of high-speed train based on metal magnetic memory method[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2018, 39(4): 306-313.

kurtosis changes more obviously, which can effectively reflect the fatigue state of the material. The use of metal magnetic memory technology for wheelset early failure detection and dynamic detection has important practical significance in ensuring the safety of the train, and provides reference for its application in non-destructive testing.

Keywords: railway rolling stock engineering; high speed train; safety test; wheelset material; metal magnetic memory method; early failure

随着中国铁路向高速重载方向发展,使用中的轮对承受着越来越多的动载、静载、装配应力、闸瓦与制动器之间的热应力、曲线离心力等,在轮对踏面、轮辋、辐板会产生应力集中和疲劳裂纹(两者称为早期故障,是早期小裂纹的异常症状),这会导致动态性能的恶化^[1-4]。振动和噪声反复作用于轮对加速了应力集中和疲劳扩展,导致宏观缺陷的发展。当宏观裂纹快速形成并加重时甚至会导致轮对破裂,从而造成重大安全事故^[5]。例如,1998 年由于轮对故障未被尽早诊断,导致德国 ICE 高速列车发生灾难性事故。因此,尽早地检测高速列车轮对早期故障对列车行驶安全具有重大的实际意义。

目前,超声波、电涡流、X 光等轮对无损检测方法有很多,但是没有适用于动态检测轮对工作状态的测量工具^[6]。许多检测都在检修基地完成,称为地面检测,但该检测方式不能显示负载情况下的实际工作状态,仅能够识别已经存在的缺陷^[7-8]。传统检测手段效率低下,导致人力、物力和财力资源的浪费。金属磁记忆(metal magnetic memory,以下简称 MMM)方法是 21 世纪的一种新型无损检测方法,它能够定位铁磁性金属设备的微观缺陷(如裂纹、夹杂、气孔)或应力集中区的漏磁场(RMF)^[9-14]。金属磁记忆理论与工程研究主要集中在俄罗斯、东欧和中国,对列车轮对安全检测方面的研究较少,为实现对早期故障实时动态预测,本文提出了基于金属磁记忆方法的动态检测系统,构建了包含信息采集、信息处理、定量评估和综合分析的综合智能平台。

1 选择检测模式

1.1 早期故障的动态检测

如图 1 所示,漏磁场场强 H_p 的最大值存在于应力和变形的集中区域^[15]。普遍能够接受的理论是漏磁场 $H_p(x)$ 的切向分量具有最大值,并且法线分量 $H_p(y)$ 改变符号并且具有零点。在消除了工作载荷之后,磁畴状态的不可逆变化将继续。它可以确定应力集中区(疲劳裂纹产生),并通过测量漏磁场的法向分量来实现微小裂纹的早期诊断。

与传统的无损检测方法相比,金属磁记忆法可以发现应力集中区等早期缺陷,可以用于失效预测。传统的无损检测方法只能应用于检测后期检测的宏观故障^[16-17],且在检测过程中需要水或油等介质,检测时效性较差,不利于动态检测,而金属磁记忆方法不需要介质,可以实现动态检测。高速列车轮对早期故障的动态检测如图 2 所示。

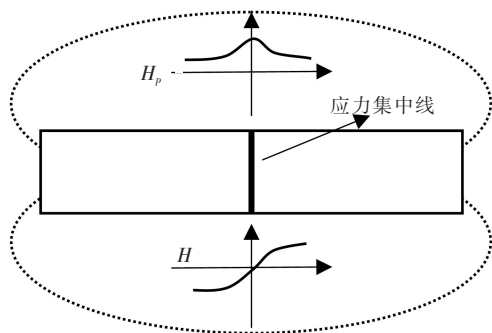


图 1 金属磁记忆检测原理图

Fig.1 Principle diagram of magnetic memory method

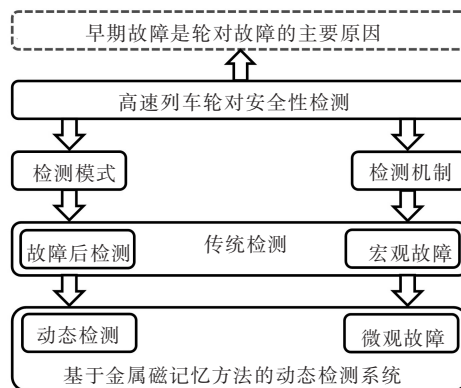


图 2 轮对实时动态检测

Fig.2 Real-time dynamic detection of the wheelset

1.2 检测的复杂性

高速列车行驶中轮对的工作环境较恶劣,轮对是运行过程中的高速旋转部件且负载情况十分复杂,如力、热和振动等多重载荷的叠加加剧了轮对的疲劳损伤^[18]。如果采用传统的检测方法,运行过程中轮对的状态很难模拟,多耦合量的应力集中将被忽略,检测结果与实际情况有较大误差,给列车的安全运行带来很大风险。

2 检测系统的组成

由于高速列车的复杂工作环境和动态载荷影响,使用金属磁记忆法对轮对进行动态定量诊断面临诸多难点,主要有以下几个方面,如图3所示。

1)多传感器动态检测。动态检测轮对的核心是实时负载状态的检测,其需要各种类型的传感器,如磁阻传感器、加速度传感器、力传感器、速度传感器、温度传感器和位置传感器等。通过传感器信息,得到磁记忆信号与各种负载之间的耦合关系,并在出现异常信息时正确定位负载情况。

2)大容量信息传输技术。目前,中国运营的高速列车共有16节车组。在轮轴上使用多个传感器进行在线检测,会产生大量的数据信息,如磁记忆信息、位置信息、温度信息、控制信息、振动信息和加速度信息等,所有的信息均需要送到中央控制站进行分析和现场总线处理。为了实时了解轮对的运行状态,应及时传输和处理信息,提高数据传输网络系统的通信负载。轮对上的检测框架如图4所示。

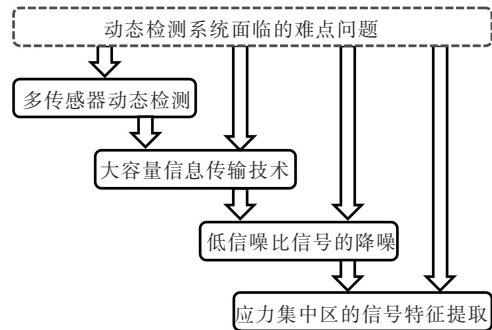


图3 动态检测系统面临的问题

Fig.3 Scientific problem of the real-time detection system

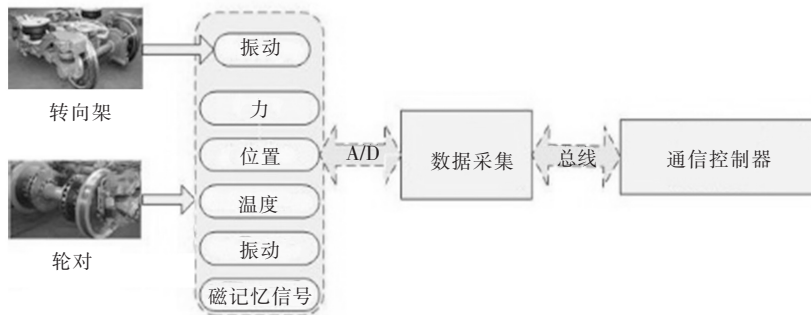


图4 轮对检测框图

Fig.4 Detecting frame of the wheelset

3)低信噪比信号的降噪^[19-21]。磁记忆传感器主要用于检测轮对的状态,在轮对上安装多个磁记忆传感器,其他类型的传感器用于同时研究各物理量与磁记忆信号之间的耦合关系。由于磁记忆信号是在地磁场的影响下表现出铁磁部件表面的漏磁场分布,因此它对外界环境非常敏感。磁记忆传感器在不同位置的输入表示如式(1)所示:

$$y_i = S_i + N_i, \tag{1}$$

式中: y_i 是磁记忆传感器的输入, i 是传感器的位置编号; S_i 是有用的信号; N_i 是噪声信号。

同样,不同位置的背景噪声信号也可以被收集为 N_{i0} 。 N_{i0} 与 N_i 相关并且与 S_i 无关。通过2个输入噪声之间的相关性和信号与噪声的独立性,自适应滤波算法用于处理信号 y_i ,因此滤波器的输出尽可能接近噪声信号 N_i 。因此,如果滤波器的输出等于 N_i ,则通过 $y_i = N_i$ 的表达式,系统的输出等于有用信号,其表达式如式(2)所示:

$$e_i = S_i + N_i - y_i \approx S_i, \tag{2}$$

式中: e_i 是系统的输出; y_i 是过滤器的输入。

图 5 显示了用于磁记忆信号的自适应降噪系统的原理图。

4) 应力集中区的信号特征提取。在以往的试验研究中应力集中区域的判定效果较好,但由于情况复杂,常见特征值很容易在轮对检测的工程应用中导致误检。某些情况下,在 $H_p(y)$ 非零的位置也存在应力集中。磁场梯度较大的位置并不总是存在应力集中或缺陷。选择适当的特征量,如法向磁场、相变点等的最大值与最小值的差值,用于表征失效度与泄漏磁场信号的关系。但是,磁记忆信号奇异的瞬时特性对应力集中不敏感。 $H_p(y)$ 的特征提取忽略了 $H_p(x)$ 和 $H_p(z)$ 的信号以及多维相关分布的磁记忆信号的综合利用。

需要利用多维信号的时频特征提取磁记忆的特征。磁记忆信号的峭度由其四阶中心矩描述,反映了信号概率密度函数的陡峭程度^[22]。它对信号的瞬时特性非常敏感,适合描述轮对磁记忆信号的特征。时域特征包括峭度、法向梯度、最大切向值、峰值等。频域特征包括小波包能量、振幅谱熵等。时频域综合指数作为磁记忆故障的多输入,充分体现了早期故障的特征。

3 研究结果

基于金属记忆法的高速列车轮对早期故障动态检测系统在材料特性研究方面做了大量的工作。

1) 自主研发了基于无线技术的智能数据采集控制器。该控制器由 4 个主要部分组成,即 X86 平台、WiFi 模块、12 个模拟输入和 4G 模块。测试当前的校准设备,随机抽取部分试验数据,如表 1 所示,采集器共 12 通道,各通道采用十六进制记录数据,A/D 采集的精度偏差可以小于 5/10 000。

表 1 信号采集系统的精度

Tab.1 Accuracy of signal acquisition system

数据采集系统	通道											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
十六进制数据	7395	73A0	73A0	7395	7399	7396	739E	7393	7392	73A0	739B	7395
十进制数据	29 589	29 600	29 600	29 589	29 593	29 590	29 598	29 587	29 586	29 600	29 595	29 589
校准值	29 593											
相对偏差 $\times 10^{-4}$	-1.35	2.37	2.37	-1.35	0	-1.01	1.69	-2.03	-2.37	2.37	6.76	-1.35

WiFi 模块用于传感器和控制器之间的通信,4G 模块用于控制器和互联网之间的通信。控制器如图 6 所示。

2) 对静载荷下 CRH3 型“和谐号”高速列车轮对材料 25CrMo4 的力-磁效应进行了研究。列车运行的实际工况中影响因子较多,本试验主要从材料的力-磁效应角度分析,采用实验室小试样,试验不影响对材料力-磁的研究,部分的研究结果如下。

通过控制拉伸试验机对长、宽、厚分别为 300 mm,50 mm,6 mm 的板材进行拉伸试验,在每次拉伸后沿着试样的纵向收集漏磁场强度,试验设备及仪器如图 7 所示。该部分的静态负载下的磁场强度如图 8 所示,选取了 50,100 和 150 kN 3 组载荷下的数据进行描述,图中横坐标为传感器小车在试件上扫过的位移,纵坐标为滤波后的磁记忆信号。

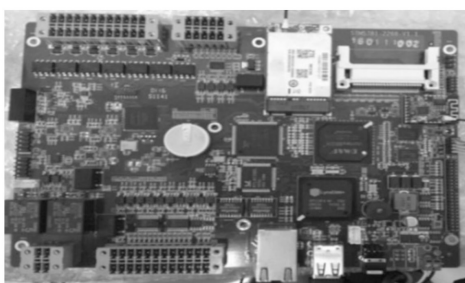


图 6 数据收集系统

Fig.6 Data collecting system

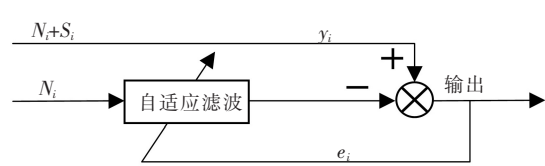


图 5 自适应降噪系统的原理图

Fig.5 Schematic of the adaptive noise reduction system

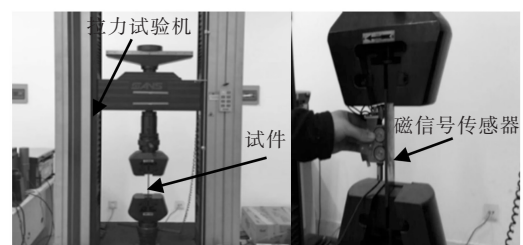


图 7 试验设备及仪器

Fig.7 Test equipment and instruments

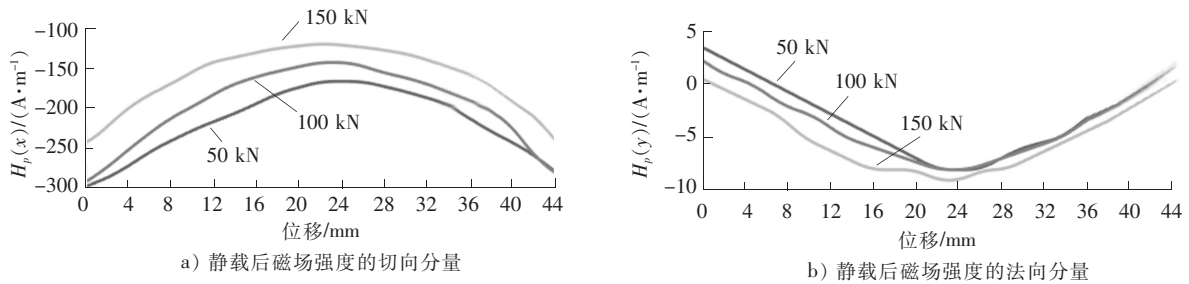


图 8 静态负载下的磁场强度

Fig.8 Magnetic field intensity under static load

表 2 列出了漏磁场强度的切向分量和法向分量的峰值和平均值。

表 2 恒力拉伸后的磁记忆信号值

Tab.2 MMM signal value after constant force stretching

载荷/kN	切向最大值	切向最小值	切向均值	法向最大值	法向最小值	法向均值
50	-167	-297	-214.9	3.341	-8.000	-3.289
100	-143	-291	-193.3	2.121	-8.209	-3.844
150	-120	-242	-158.4	0.396	-8.988	-5.169

根据图 8 和表 2 的数据可知,随着静载荷的增加,泄漏磁场强度的切向分量增大,切向分量随着静载荷的增大而减小。

峭度是一个无量纲参数,因为它对冲击信号非常敏感,特别适用于表面损伤问题,尤其适用于早期故障诊断。峭度的计算如式(3)所示:

$$K = E\left(\frac{x(t) - \bar{x}}{\sigma}\right)^4 - 3, \tag{3}$$

式中:K 是信号的峭度; $x(t)$ 是瞬时磁场强度值; \bar{x} 是幅值的均值; σ 是标准差。

表 3 列出了磁场强度的峭度。表 3 中, $K(x)$ 是磁场强度的切向分量的峭度, $K(y)$ 是磁场强度的法向分量的峭度。可以得出结论:不同静载荷下材料磁场强度的概率密度分布表明磁记忆信号的峭度值随着静载荷的增加而增大,但是变化幅度较小,对实际检测的指导意义不大。

表 3 恒力拉伸后的磁记忆信号峭度

Tab.3 Kurtosis of MMM signal after constant force stretching

载荷/kN	$K(x)$	$K(y)$
50	1.969	1.711
100	2.258	1.747
150	2.434	1.787

3)在生命周期的不同阶段采集和分析轮对的磁记忆信号。

为了探索金属磁记忆检测信号与车轮寿命周期之间的关系,对材料进行了疲劳载荷试验。图 9 显示了用于疲劳拉伸的试验装置。

将标本在恒力下拉伸 300,500 和 1 000 万次。疲劳载荷完成后,磁记忆信号以相同的方向和路径收集。收集的数据如图 10 所示。

图 11 是 3 条数据曲线的梯度。根据图 10 和图 11 可以看出,交变载荷的数量对试样的磁记忆信号有很大的影响。随着交变载荷数量的增加,磁记忆信号的切向分量呈现出明显的增加趋势,磁记忆信号的法向分量更加分散,并且始终具有零点,存在一定程度的应力集中区。

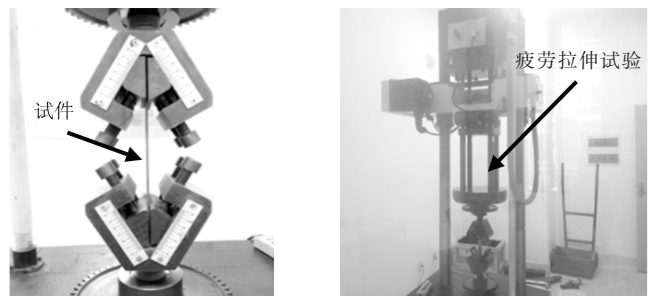


图 9 设备疲劳拉伸试验

Fig.9 Fatigue test stretching machine

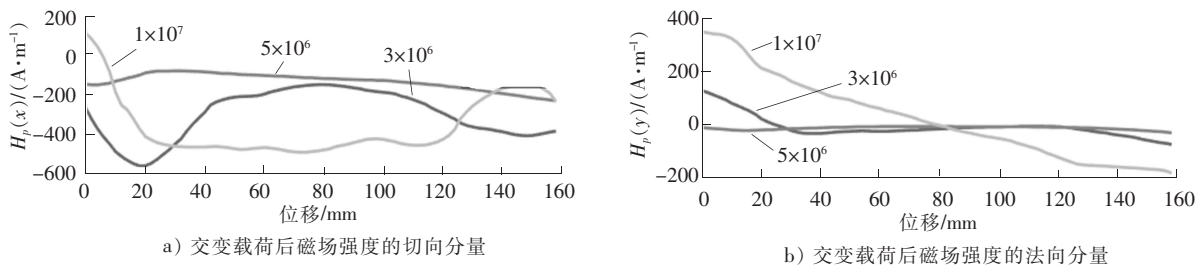


图 10 交变载荷后的磁记忆信号

Fig.10 MMM signal after alternating load

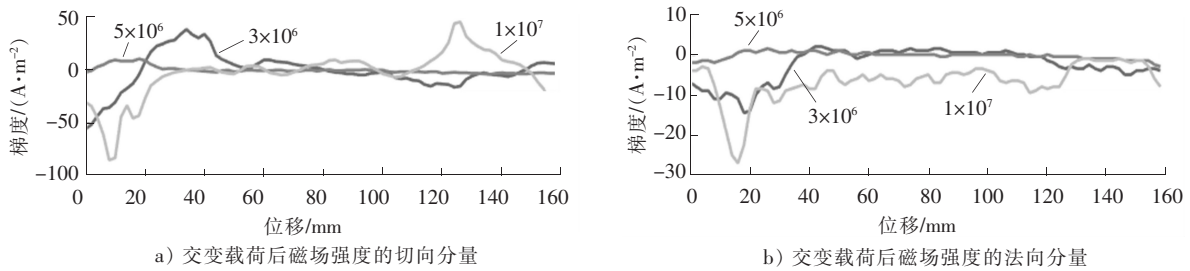


图 11 交变载荷后磁记忆信号的梯度

Fig.11 MMM signal gradient after alternating load

表 4 显示了上述磁记忆信号的峰值和均值。由表 4 中数据可知,图像的变化是由交替负载的次数引起的。

表 4 交变载荷后的磁记忆信号值

Tab.4 MMM signal value after alternating load

载荷次数	A/m					
	切向最大值	切向最小值	切向均值	法向最大值	法向最小值	法向均值
3×10^6	-84	-245	-144.586	-8	-49	-15.885
5×10^6	-152	-554	-308.666	126	-105	-16.333
1×10^7	-206	-487	-358.597	346	-182	-21.726

3 次拉伸试验后磁记忆信号的峭度也有较大变化。磁记忆信号的切向分量的峭度呈现出明显的增加,这表明信号的概率密度具有很大的离散现象,峭度在轮对疲劳程度的检测与寿命预测方面具有较高的应用价值。磁性记忆信号的峭度如表 5 所示。

表 5 交变载荷后的磁记忆信号峭度

Tab.5 Kurtosis of MMM signal after alternating load

载荷次数	$K(x)$	$K(y)$
3×10^6	2.020	5.402
5×10^6	2.364	5.191
1×10^7	3.790	2.292

4 结 论

提出了基于金属记忆法的轮对早期故障动态检测系统,以满足列车安全运行的需求。在这个系统中,引入了检测模式选择、数据采集系统和大容量数据传输系统,以及信号降噪和特征提取系统。这些研究可以为无损检测提供参考。

1)开发了基于无线技术的智能数据采集控制器。A/D 采集的精度可以小于 5/10 000,满足数据采集要求。

2)轮对材料的静态试验表明,随着静态负载的增加,磁记忆信号的变化也随之增加。通过对漏磁场强度的切向及法向分量进行对比分析,在本应力区间内,随着试件所承载荷的增大,试件表面漏磁场的切向分量均有所增大,载荷变化在 50~150 kN 之间时,磁记忆信号浮动于 -297~-120 A/m,对应磁记忆信号均值

变化范围在 $-215\sim-158$ A/m之间。而法向分量有所减小,并且切向分量和法向分量的变化趋势基本呈负相关,载荷变化在 $50\sim150$ kN之间时,磁记忆信号浮动于 $-9\sim3.5$ A/m,对应磁记忆信号均值变化范围在 $-5.2\sim-3.2$ A/m之间。

3)对轮对材料进行了疲劳试验。结果表明,随着交变负载次数的增加,磁记忆信号呈现出更明显的离散性,磁记忆信号的切向和法向信号的值均有所增大,均值切向变化范围为 $-358.597\sim-144.586$ A/m,法向均值变化范围为 $-21.726\sim-15.885$ A/m。磁记忆信号的梯度和峭度均有所影响,特别是,随着交变负载数量的增加,磁场曲线的峭度变化更大,在轮对动态检测的实际应用中有重要参考价值。

从检测系统的研究以及静载和交变载荷对轮对材料影响的测试中,利用自适应降噪系统对不同运行周期的磁记忆信号进行测量和分析,获得不同使用阶段的轮对磁记忆信号特征。通过比较高速列车上的实时信号,可预测车轮的使用寿命。

本文所述检测系统的设计与试验均为自主开发,由于技术水平所限,所述研究仍以实验室研究为主、轮对实测为辅的前期阶段,仅对部分列车轮对进行了实地检测,在未来的研究过程中将进行更多实地测试,加快研究成果向应用型转化。

参考文献/References:

- [1] CHEN Xing, LI Luming, HU Bin, et al. Magnetic evaluation of fatigue damage in train axles without artificial excitation [J]. *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 2006, 48(6):342-345.
- [2] 徐坤山, 仇性启, 姜辉, 等. 圆孔缺陷直径与应力集中对金属磁记忆信号的影响[J]. *磁性材料及器件*, 2016, 47(1):49-53.
XU Kunshan, QIU Xingqi, JIANG Hui, et al. Influence of hole diameter and stress concentration on metal magnetic memory signal [J]. *Journal of Magnetic Materials and Devices*, 2016, 47(1):49-53.
- [3] 陶功权, 王衡禹, 赵鑫, 等. 基于轮轨关系的车轮踏面损伤机理研究[J]. *机械工程学报*, 2013, 49(18):23-29.
TAO Gongquan, WANG Hengyu, ZHAO Xin, et al. Research on wheel tread damage mechanism based on interaction of wheel and rail [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2013, 49(18):23-29.
- [4] 金宝, 邸新杰, 张建军, 等. 疲劳裂纹扩展的金属磁记忆信号特征[J]. *材料工程*, 2014(11):102-106.
JIN Bao, DI Xinjie, ZHANG Jianjun, et al. Metal magnetic memory signal feature of fatigue cracking propagation [J]. *Journal of Materials Engineering*, 2014(11):102-106.
- [5] 张博, 张宝骏, 张登, 等. 金属材料点蚀缺陷的无损检测方法综述[J]. *河北科技大学学报*, 2017, 38(6):507-514.
ZHANG Bo, ZHANG Baojun, ZHANG Deng, et al. Research process of nondestructive testing pitting corrosion in metal material [J]. *Journal of Hebei University of Science and Technology*, 2017, 38(6):507-514.
- [6] LI Xiaomeng, DING Hongsheng, BAI Shiwu. Research on the stress-magnetism effect of ferromagnetic materials based on three-dimensional magnetic flux leakage testing [J]. *NDT & E International*, 2014, 62(2):50-54.
- [7] ROSKOSZ M. Metal magnetic memory testing of welded joints of ferritic and austenitic steels [J]. *NDT & E International*, 2011, 44(3):305-310.
- [8] DEMETRIOU M A, POLYCARPOU M M. Incipient fault diagnosis of dynamical systems using online approximators [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1998, 43(11):1612-1617.
- [9] YAO Kai, SHEN Kai, WANG Zhengdao, et al. Three-dimensional finite element analysis of residual magnetic field for ferromagnets under early damage [J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2014, 354(3):112-118.
- [10] 胡斌, 沈功田. 磁记忆检测技术在压力容器上的应用 [J]. *无损检测*, 2015, 37(12):75-81.
HU Bin, SHEN Gongtian. Application of magnetic memory testing technology on pressure vessel [J]. *Nondestructive Testing*, 2015, 37(12):75-81.
- [11] DOUBOV A A. Screening of weld quality using the metal magnetic memory [J]. *Welding in the World*, 1998, 41(3):196-199.
- [12] DUBOV A, KOLOKOLNIKOV S. The metal magnetic memory method application for online monitoring of damage development in steel pipes and welded joints specimens [J]. *Welding in the World*, 2013, 57(1):123-136.
- [13] 乔天骄, 黄松岭, 赵伟, 等. 磁记忆检测技术研究现状及展望 [J]. *无损检测*, 2016, 38(11):16-20.
QIAO Tianjiao, HUANG Songling, ZHAO Wei, et al. The current research status and prospects of magnetic memory testing technology [J]. *Nondestructive Testing*, 2016, 38(11):16-20.
- [14] LENG Jiancheng, XU Minqiang, XU Mingxiu, et al. Magnetic field variation induced by cyclic bending stress [J]. *NDT & E International*, 2009, 42(5):410-414.
- [15] 张仁庆, 樊建春, 苏雪梅, 等. 弯曲载荷下钻具接头试样的磁记忆信号特征 [J]. *石油机械*, 2013, 41(2):24-27.
ZHANG Renqing, FAN Jianchun, SU Xuemei, et al. MMS features of drilling tool joint sample in bending load [J]. *China Petroleum Machinery*, 2013, 41(2):24-27.

- [16] LENG Jiancheng, XU Minqiang, ZHOU Guoqiang, et al. Effect of initial remanent states on the variation of magnetic memory signals [J]. NDT & E International, 2012, 52:23-27.
- [17] ROSKOSZ M, GAWRILENKO P. Analysis of changes in residual magnetic field in loaded notched samples [J]. NDT & E International, 2008, 41(7):570-576.
- [18] 李冲冲, 董丽虹, 王海斗, 等. 疲劳损伤磁性无损评估技术研究现状及发展前景[J]. 材料导报, 2015, 29(11):107-113.
LI Chongchong, DONG Lihong, WANG Haidou, et al. Current research and development prospects of magnetic non-destructive assessment techniques for fatigue damage[J]. Materials Review, 2015, 29(11):107-113.
- [19] SABLİK M J, GEERTS W J, SMITH K, et al. Modeling of plastic deformation effects in ferromagnetic thin films[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(2):491-494.
- [20] SHI C L, DONG S Y, XU B S, et al. Metal magnetic memory effect caused by static tension load in a case-hardened steel[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2010, 322(4):413-416.
- [21] WANG Z D, YAO K, DENG B, et al. Theoretical studies of metal magnetic memory technique on magnetic flux leakage signals[J]. NDT & E International, 2010, 43(4):354-359.
- [22] 汪立新, 朱战辉, 黄松涛. 基于峭度和自适应滑动窗的陀螺动态特性分析方法[J]. 中国惯性技术学报, 2015, 23(4):533-539.
WANG Lixin, ZHU Zhanhui, HUANG Songtao. Analysis method for gyroscope dynamic characteristics based on kurtosis and adaptive sliding window[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2015, 23(4):533-539.

向本期载文的审稿专家致谢

本期《河北科技大学学报》共发表论文 12 篇。这些论文的发表是与有关专家的认真审读、细查资料、推敲分析、中肯评价分不开的。对此,本编辑部特向这些专家表示敬意,对他们的辛勤劳动表示感谢。本期载文的审稿专家名单如下(按姓名的汉语拼音顺序排列):

曹建春 仇计清 邱新杰 郝爱友 季 薇 姜 锋 金葆康
李常有 李建武 李小六 林 进 米据生 史永堂 唐新华
王春萌 王庆红 武文俊 徐望辉 薛丽英 杨 波 杨金显
苑立平 张宝贤 赵延治

(本刊编辑部)