

基于梯度法的一种磁记忆检测仪

A Magnetic Memory Tester Based on Gradient

周成森 Zhou Chengsen

(南京航空航天大学, 南京 210000)

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000, China)

摘要: 金属磁记忆检测技术是一种利用金属磁记忆效应来检测物件应力集中的一种快速、崭新的方法。它消除了传统意义上无损检测的缺点,能够对铁磁性金属构件内部的应力集中区,即微观缺陷和早期失效和损伤等进行诊断,防止突发性的疲劳损伤,是无损检测领域的一种新的检测手段。对磁记忆信号进行梯度化处理,可以使得信号更加明显准确。该项技术对铁磁构件应力集中非常敏感,无需外加激励磁场,检测速度快,灵敏度高,在工程实践中具有广阔的应用前景。

Abstract: Metal magnetic memory testing technology is a rapid, new method to detect objects of stress concentration by using metal magnetic memory effects. It eliminates the shortcomings of traditional nondestructive testing, diagnoses the area with internal stress concentration of ferromagnetic metal components, namely the microscopic defect and early failure and damage, for preventing the sudden fatigue damage, which is a new testing method in the field of nondestructive testing. The gradient treatment of magnetic memory signal makes the signal more obvious and accurate. The technology is very sensitive to the stress concentration of ferromagnetic component; it is no need to plus incentive magnetic field; its detection speed is quick, and sensitivity is high, and it has a broad application prospect in the engineering practice.

关键词: 磁记忆; 梯度; 应力集中

Key words: magnetic memory; gradient; stress concentration

中图分类号: TH6

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2012)04-0301-03

1 磁记忆原理简介

磁记忆效应^[1-2]最早由俄罗斯学者杜波夫提出,它是指在具有外磁场(即地磁场)存在的条件下,承载的铁磁构件中会产生应力集中,并在应力集中区出现磁导率减小、构件表面漏磁场增大的现象。铁磁性金属构件所具有的这一特性称为磁机械效应。

虽然磁记忆机理还是很明确,但磁记忆现象却是清晰的,构件内外磁场的分布情况见图1。检测时的判断依据有两种^[3]:

一是根据构件表面漏磁场的法向分量过零点(符号由负到正或反之)、水平分量取最大值来判断。这是磁记忆最典型的标志。但研究表明法向磁场过零点是一种磁记忆检测的表面现象,由于其位

置的漂移,所以法向磁场过零点并不是唯一可靠的用来判断应力集中位置的信号特征。二是根据构件表面漏磁场法向分量的梯度最大来判断。实际上这可由第一个判据推导出。当探头在构件表面沿某一个方向移动时,磁场法向分量的分布曲线上,过零点处就是曲线

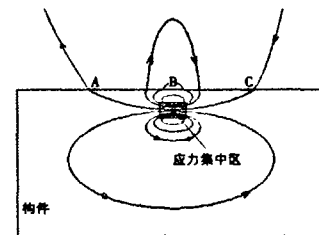


图1 构件内应力集中区产生的磁力线示意图

置的漂移,所以法向磁场过零点并不是唯一可靠的用来判断应力集中位置的信号特征。二是根据构件表面漏磁场法向分量的梯度最大来判断。实际上这可由第一个判据推导出。当探头在构件表面沿某一个方向移动时,磁场法向分量的分布曲线上,过零点处就是曲线

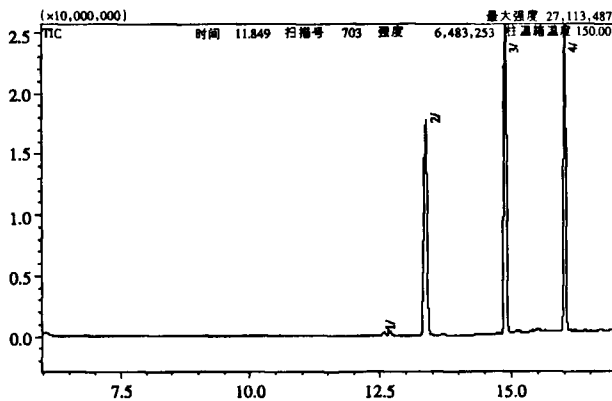


图3 条件优化后DBE在OV-17柱上的色谱图

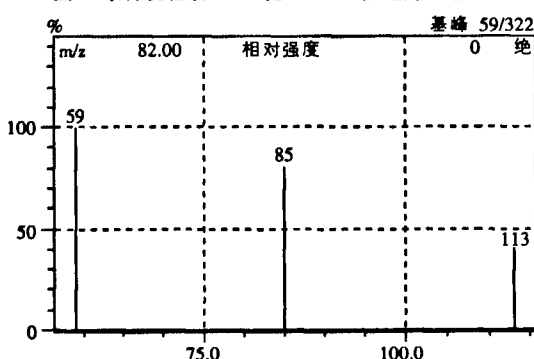


图4 标准溶液的富马酸二甲酯的特征质谱图

2.4 精密度与回收率 采用标准加入法,按本法测定,回收率为100.87%~115.05%。并对标样的高、中、低浓度多次重复测定,其结果表明,采用该方法对同一浓度的6次平行独立测定,其相对标准偏差均小于5%,结果满意。

2.5 样品检测 盲样的测试结果的偏差均小于3%,如表1。

表1 样品中DMF含量检测

样品	平均峰面积	检测浓度	样品含量/mg/l
DBE	1285000	47.9	1437
DBE 处理后	128048	6.5	194.2
盲样 1	1206927	61.1	784.2
盲样 2	1658160	84	1080.4
盲样 3	1362994	69.1	888.8

3 结论

优化实验的条件,富马酸二甲酯试样在OV-17柱上能与DBE中的物质具有较好的分离效果,并用于DBE中富马酸二甲酯含量测定,快速、准确,该方法可用于DBE样品处理及质量控制,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1]张龙,于宝杰,杜长海.紫外分光光度法测定富马酸二甲酯的含量[J].石油化工,1999,28(7):477479.
- [2]金良正,胡浩军.高脂糕点中富马酸二甲酯的气相色谱测定[J].中国卫生检验杂志,2006,16(10):1209-1214.
- [3]阚周密,林建阳,王戏丹.气相色谱-质谱联用法测定食品中富马酸二甲酯的含量[J].食品科学,2007,28(1):247-249.
- [4]何小青,罗关中,蓝勇波等.高效液相色谱法测定食品中富马酸二甲酯[J].光谱实验室,2004,21(4):701-704.

的拐点,即斜率最大处,斜率就是探头移动方向的梯度。

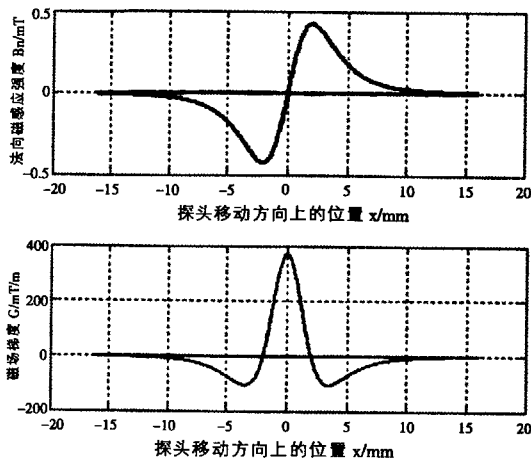


图2 磁场和磁场梯度分布

对于典型的磁场分布,法向磁场 B_n 过零值点处恰好是其梯度最大值位置。因此,可以根据法向磁场梯度的最大值来判定应力集中情况。而且,在应力集中区对应的表面上,磁场梯度的分布曲线比法向磁场的分布曲线更加陡峭,变化更显著,因此更容易通过实验检测。测量磁场分布还会受到背景地磁场的干扰,测量梯度则消除了背景磁场的干扰。因此磁场梯度是比法向磁场分量过零值点更重要的损伤表征的物理量。

2 系统组成及工作原理

2.1 系统结构 图3所示为基于梯度的磁记忆检测仪的原理框图。它包括振动探头、调零电路、选频放大电路、电压偏置电路,多路切换电路,C8051F040单片机系统、放大升压驱动、液晶显示以及电源电路等组成。

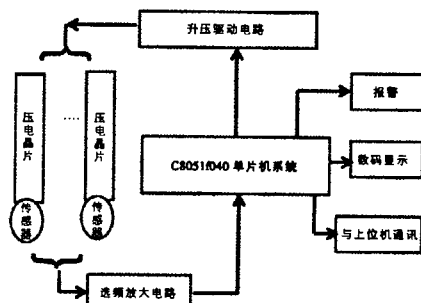


图3 磁记忆检测仪原理框图

2.2 压电陶瓷悬臂梁结构驱动探头振动 探头由两部分组成,一是传感器,用来检测微弱的漏磁场信号;二是驱动部件由压电晶片构成,驱动传感器做简谐振动,使输出的电信号为正弦波。

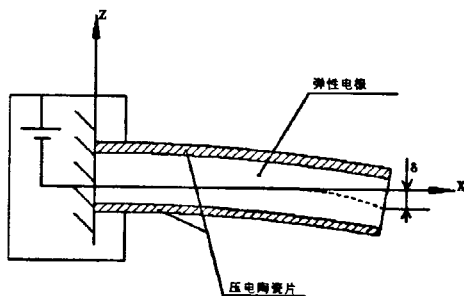


图4 压电双晶片的结构

压电双晶片是一种 PXE 弯曲元件^[4],它是金属弹性板为中心,两边各贴合一层压电材料,两层压电材料的极化方向相反。加电压后,一层压电材料伸长,另一层收缩,发生与所加电压波形相应的弯曲变形。

压电双晶片具有体积小,控制方便,对传感器干扰小等优点。本仪器所选用的压电晶片外形尺寸为 $54.5 \times 8.0 \times 0.80 \text{mm}^3$,自由端长度 50mm ,工作电压 $0 \sim 150 \text{V}$,最大振幅 3mm ,谐振频率 180Hz 。本仪器设定振动频率为 100Hz ,由单片机经升压驱动电路后供给。

2.3 传感器的选择、安装以及信号调理 由于构件漏磁场微弱,需选择灵敏度很高的地磁场本身为弱磁场,故很容易受干扰,所以导线的排列等,器件的摆放等位置需为固定值,且需远离磁场。经比较选择后,选择 N503 集成线性霍尔传感器。它具有体积小,结构简单,灵敏度高的优点。

传感器粘贴时需要保证传感器伸出长度相同导线夹装到压电晶片根部,夹紧方能振幅满足要求。传感器振动时不能接触其他东西,所以测缺陷时一定要保证被测物不与传感器接触,以免造成压电片损坏。但由于提高效应的存在,使得传感器振动面也不能远离钢轨表面。

2.4 调理电路的设计 调理电路部分由调零电路、放大滤波电路、电压偏置电路与 AD620 放大电路组成。静态调零电路消除偏移使电压放大六倍。AD620 放大 20 倍。因单片机不能采集负电压,所以再放大结束后加 1.25V 正电压偏置。

2.4.1 调零电路 因为传感器接入电路后会有 2.5V 的静态电压,所以在接入后续测量电路之前需进行调零,如图5。传感器输入静态调零和初步放大,传感器静态电压 2.5V ,初步放大 5 倍,使得调零精度提高。

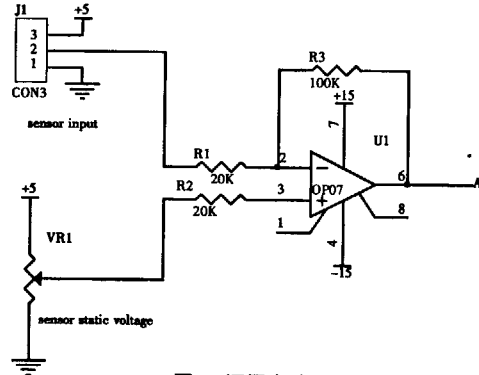


图5 调零电路

2.4.2 升压驱动电路(图6)

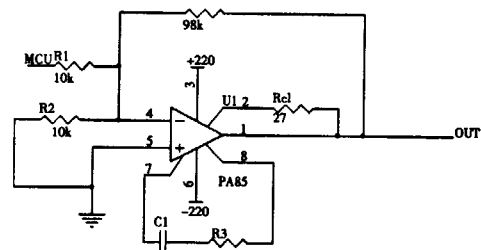
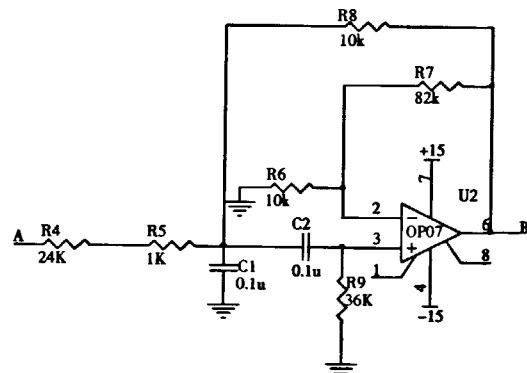


图6 升压驱动电路

由单片机 D/A 合成的 100Hz 正弦波信号振幅只有 1.2V ,不能使压电晶片产生足够的幅度振动,需通过功率放大器将信号放大后给压电双晶片。压电晶片功率放大大部分不能与调理电路共用一块电路板,否则会使功率放大耦合其他频率的波,使波形不稳定,不为正弦波。压电晶片所使用的放大器件为 PA85,需要电源电压 $\pm 150 \text{V}$,因而单独提供开关电源。且由于 PA85 工作时会产生大量热量,为保证正常运行,需要对其做散热处理。

2.4.3 滤波放大电路(图7) 采用两级滤波、两级窄带带通,中心幅值放大 32 倍、中心频率 100Hz 。带宽 1Hz 。



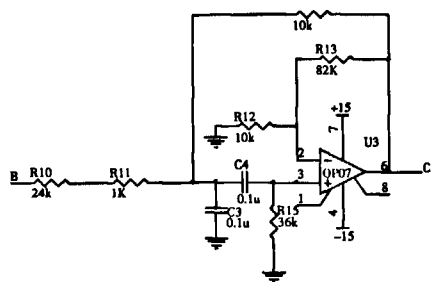


图7 两级滤波放大电路

选频放大电路在 100Hz 处的电压放大倍数实际为 32 倍。来自传感器的信号经该选频放大电路和倍数可调放大电路放大后送 C8051F040 系统的 A/D 通道处理。

幅频特性图如图 8。

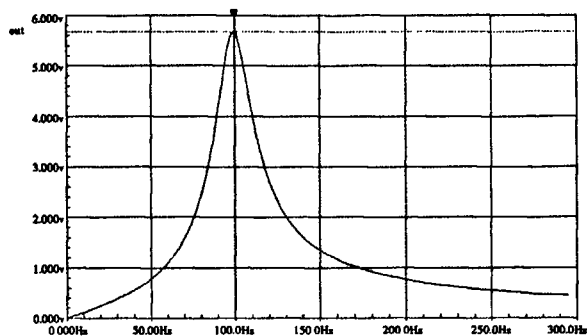


图8 带通滤波器的幅频特性图

2.4.4 倍数可调放大电路(图 9) 使用 AD620,使得电路放大倍数可调,以达到的数值。 $K=49.4/r+1$, r 为外接电阻值,经试验测试选择阻值选择 2.5K,放大 20.76 倍。

2.4.5 单片机系统 C8051F040 单片机器件是完全集成的混合信号片上系统型 MCU,具有 64 个数字 I/O 引脚(图 10),主要特性:

内核与原 8051 内核兼容,指令系统中指令规格化,指令是流水结构,因此执行速度很快;

一个 12 位的 ADC,有 13 个外部输入,可编程转换速率,最高达 100ksp/s;

拥有 2 个 12 位的 DAC,可用定时器触发同步输出,用于产生无抖动波形;

支持片内 JTAG 调试和边界扫描。

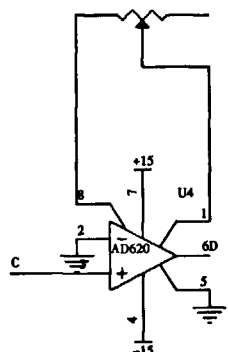


图9 倍数可调放大电路

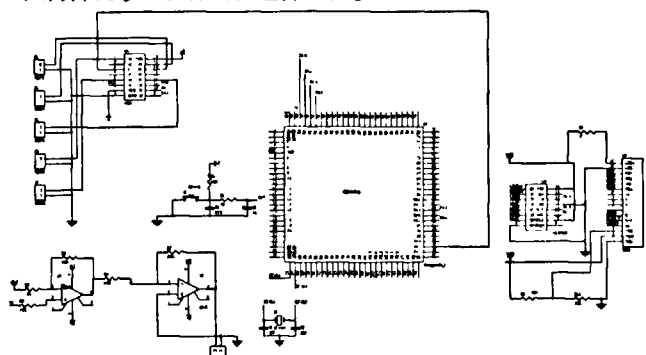


图10 单片机外围电路

单片机外围电路主要包括电源电路,复位电路,晶振电路,正弦波输出放大电路,传感器所得信号的多路切换并接入单片机进行 A/D 转换,并交由液晶显示器显示,如图 10;

J1-J5 为传感器采集所得信号经滤波放大的接入端,J6 接升压驱动电路,经电压放大后驱动压电晶片振动,LED 为液晶显示器。

2.5 软件系统 采用 C8051F040 单片机系统后,仪器的大部分工作都可在该系统内完成。包括 A/D 转换,信号的峰值检测,求平均,判断是否超过报警阈值,产生报警,输出磁场梯度数值并驱动液晶显示器显示等。

3 对 A3 钢棒的拉升测试^[7-9]

选用拉伸断的构件分别进行静态和动态测量,首先使用国产的爱德森(厦门)电子有限公司的“EMS-2003 金属磁记忆诊断仪”在构件上找出缺陷处,然后在构件上按长度分布平均选取 10 个点,静态测量为压电晶片不振动,用所设计的仪器直接测量法向磁场,动态测量为压电晶片振动,测量法相磁场梯度。对测量的数据进行分析处理,两者的关系。

将所测量的数据用 MATLAB 处理,每个位置的磁场梯度采用 3 条母线上测量结果的平均值。为使曲线光滑接近真实分布,采用三次多项式分段插值处理,原始测量点均在曲线上。静态测量:距离 1~1.5mm。

表 1 拉伸试件沿长度方向各个测量点的电压峰值

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
静态测量 $V_{p-p}(V)$	-4	-2.5	-2.3	-2.7	-3	-2	0.5	2.4	3.1	1.3	1.2
动态测量 $V_{p-p}(V)$	0.6	0.4	0.8	1.2	0.4	3	3	0.8	1.6	1.2	1.4

实际缺陷处:六点与七点之间有缺陷

测量后相关参数:

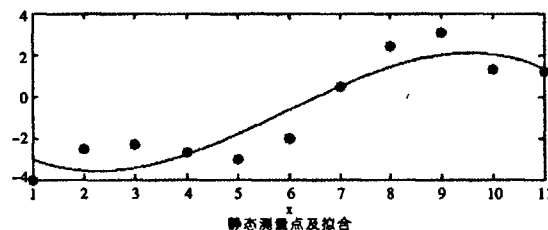
静态测量:20 分钟漂移 0.4V;

动态测量:初始峰峰值为 0.6V 左右;

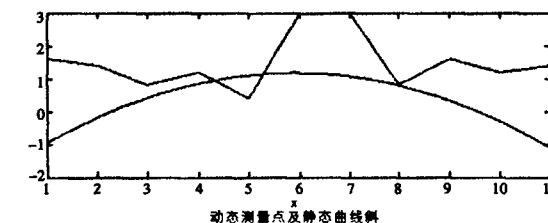
以上数据,静态测量为电压值,动态测量为峰峰值。

试件静态与动态结果图像:

图像中上图为静态测量结果数据结果及其拟合曲线,下图为动态测试点,及静态拟合曲线的各点斜率。



静态测量点及拟合



动态测量点及静态曲线斜

图 11 拉伸试件沿长度方向各个测量点的电压峰值

经数据和图像比较显示,在短时间内,法向磁场过零点和法向磁场梯度最大值都能较好的测出应力集中区。

4 总结

梯度法磁记忆检测仪其功能和性能基本满足了磁记忆检测的要求。磁记忆检测技术应用于钢轨等检测的初步实践已经取得一定的成果。对于应力集中区的磁记忆检测重复性和灵敏度比较高,能够反映金属构件的应力集中区域。

参考文献:

[1] Doubov AA. Diagnostics of metal and equipment by means of metal magnetic memory. Proceedings of 7th Conference on DNT and International Research Symposium. Shantou, 1999: 181~187.
 [2] A Dubov. Principal features of metal magnetic memory method and inspection tools as compared to known magnetic NDT methods [EB/OL]. <http://www.ndt.net/article/wcndt2004/html/htmltx/359-dubov>.
 [3] 姜兴亮. 一种新型金属磁记忆检测仪的研制[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
 [4] 杨宜民. 新型驱动器及其应用[A]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 95~109.
 [5] 新华龙电子有限公司, C8051F040 单片机数据手册
 [6] 任吉林, 林俊明等著. 金属磁记忆检测技术[A]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
 [7] 董丽虹, 徐滨士, 董世运, 宋丽, 陈群志, 石常亮. 金属磁记忆技术表征应力集中、残余应力及缺陷的讨论[J]. 材料工程, 2009, (8): 19~23.
 [8] 张卫民, 王朝霞, 高玄怡, 高乾鹏. 测实验测试技术学报[P]. 拉伸情况下含裂纹 16MnR 钢的磁记忆检测, 2010(总第 83 期).

基于梯度法的一种磁记忆检测仪

作者: 周成森, Zhou Chengsen
作者单位: 南京航空航天大学, 南京, 210000
刊名: 价值工程 ISTIC
英文刊名: Value Engineering
年, 卷(期): 2012, 31(4)

参考文献(8条)

1. [A Dubov Principal features of metal magnetic memory method and inspection tools as compared to known magnetic NDT methods](#)
2. [Doubov AA Diagnostics of metal and equipment by means of metal magnetic memory](#) 1999
3. (嘉) 兴亮 一种新型金属磁记忆检测仪的研制 2007
4. 张卫民; 王朝霞; 高玄怡; 高乾鹏 拉伸情况下含裂纹16MnR钢的磁记忆检测 2010
5. 董丽虹; 徐滨士; 董世运; 宋丽 陈群志 石常亮 金属磁记忆技术表征应力集中、残余应力及缺陷的讨论 2009(08)
6. 任吉林; 林俊明 金属磁记忆检测技术 2000
7. 新华龙电子有限公司 C8051F040 单片机数据手册
8. 杨宣民 新型驱动器及其应用 1998

本文读者也读过(10条)

1. 陆云强, 李波, 林鹏, 郭奇 磁记忆检测技术在电力设备中的应用研究[会议论文]-2011
2. 冷建成, 徐敏强, 王坤, 李建伟, LENG Jian-cheng, XU Min-qiang, WANG Kun, LI Jian-wei 基于磁记忆技术的疲劳损伤监测[期刊论文]-材料工程 2011(5)
3. 曾寿金, 刘志峰, 江吉彬, 陈丙三, ZENG Shou-jin, LIU Zhi-feng, JIANG Ji-bin, CHEN Bing-san 再制造对象磁记忆信号的特征提取方法[期刊论文]-武汉工程大学学报2012, 34(4)
4. 邢海燕, 樊久铭, 李雪峰, 徐敏强, XING Hai-yan, FAN Jiu-ming, LI Xue-feng, XU Min-qiang 基于磁记忆机理的铁磁材料弯曲变形状态研究[期刊论文]-哈尔滨工业大学学报2006, 38(7)
5. 任吉林, 王东升, 宋凯, 任尚坤, 唐继红, REN Ji-lin, WANG Dong-sheng, SONG Kai, REN Shang-kun, TANG Ji-hong 应力状态对磁记忆信号的影响[期刊论文]-航空学报2007, 28(3)
6. 董丽虹, 徐滨士, 董世运, 陈群志, 王丹, 尹大伟, DONG Lihong, XU Binshi, DONG Shiyun, CHEN Qunzhi, WANG Dan, YIN Dawei 拉伸载荷作用下中碳钢磁记忆信号的机理[期刊论文]-材料研究学报2006, 20(4)
7. 王水强, 黄永进, 李凤生, 李波, 柳林齐, WANG Shui-qiang, HUANG Yong-jin, LI Feng-sheng, LI Bo, LIU Lin-qi 磁梯度法探测非开挖金属管线的研究[期刊论文]-工程地球物理学报2005, 2(5)
8. 郭联欢, 李著信, 苏毅, 张镇, 刘书俊, 何定全, GUO Lian-huan, LI Zhu-xin, SU Yi, ZHANG Zhen, LIU Shu-jun, HE Ding-quan 拉应力对管线钢磁导率及磁记忆信号的影响[期刊论文]-后勤工程学院学报2011, 27(6)
9. 张青杉 发展三维磁梯度勘查技术、提升深部铁矿勘查能力[会议论文]-2009
10. 陆华中 磁梯度测试方法在工程建设中的应用[期刊论文]-西部探矿工程2008, 20(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jzgc201204230.aspx