

磁致伸缩导波技术检测管道缺陷

徐书根¹, 王威强¹, 赵培征², 宋明大^{1,3}

(1. 山东大学 机械工程学院, 济南 250061; 2. 北京康坦科技有限公司, 北京 100025;
3. 山东省特种设备检验研究院, 济南 250013)

摘要:介绍了磁致伸缩 T 模态导波技术检测管道缺陷的原理。应用 MsSR3030 导波检测系统检测了管道中的人工环向切槽和钻孔, 给出了数据采集和分析过程及检测数据报告。同时给出了在用管道的现场检测数据分析结果和缺陷验证情况。实验和现场检测表明, 磁致伸缩 T 模态导波技术在管道检测上具有较高的准确性和快捷性。

关键词:导波检测; 磁致伸缩效应; 管道; 腐蚀

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)07-0434-03

Application of Magnetostrictive Ultrasonic Guided Wave Technique for the Inspection of Defects in Pipes

XU Shu-Gen¹, WANG Wei-Qiang¹, ZHAO Pei-Zheng², SONG Ming-Da^{1,3}

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Beijing Constant Technology, Inc, Beijing 100025, China; 3. Shandong Special Equipment Inspection and Research Academy, Jinan 250013, China)

Abstract: The principle of T-mode magnetostrictive guided wave technique for the inspection of defect in pipe was introduced. The artificial defects including circumferential notches and drilled holes were inspected using a magnetostrictive guided wave inspection system MsSR3030. The processes of data acquirement and analysis were given as well as data report of inspection. The practice of the pipe in-service inspection was also introduced. Testing results validated the high accuracy and shortcut of T-mode magnetostrictive guided wave inspection for pipes.

Keywords: Guided wave testing; Magnetostrictive effect; Pipe; Corrosion

利用传统无损检测方法检测管道缺陷时, 需要去除管线上的所有保温层进行逐点检测, 检测速度慢, 成本高。导波检测以其大范围快速准确对管线缺陷的定位特点受到工程技术人员的重视。国外现已进行大规模导波技术商业开发的有英国 PI 公司的 TELETEST 导波技术, 英国 APC 公司的 Wave-maker 导波技术^[1] 和美国西南研究院的磁致伸缩传感器(Magnetostrictive Sensor, MsS)技术等^[2]。国内吴斌和何存富等人^[3,4] 共同研究了压电式导波的检测技术; 金建华^[5] 和王悦民^[6] 分别研究了磁致伸缩导波检测技术, 但尚未进行大规模商业开发。为

了推广导波技术在管道检测上的应用, 笔者通过测量一段长 3.4 m, 规格为 $\phi 102 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 管道上的人工缺陷, 介绍了美国西南研究院的 MsS 技术检测的数据采集和缺陷信号的分析过程。为了说明该技术在现场检测的可行性, 给出了在某油库输油管线的检测结果和缺陷验证情况。

1 MsS 导波检测原理

导波是一种传播状态受到传播媒介几何形状约束的机械弹性波。例如在管道、杆件和平板等中传播的超声波或声波。MsS 系统利用钢铁管道自身的磁致伸缩效应产生超声导波。脉冲电流通过 MsS 系统探头的线圈产生交变磁场, 在管道中产生导波。该导波沿着管道传播, 当遇到管道上的特征部位(如焊缝或缺陷)时, 产生反射导波。在磁致伸

收稿日期: 2007-10-08

作者简介: 徐书根(1983—), 男, 博士研究生, 主要研究层板包扎高压容器的在爆炸载荷下的破坏形态。

缩逆效应的作用下,反射导波会引起接收线圈电压的变化。该电压经系统处理后,得到管道焊缝或缺陷的信号(图 1)。

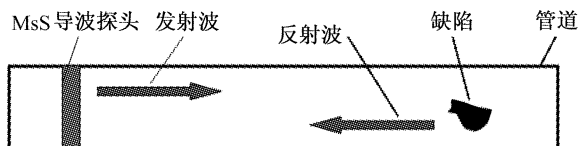


图1 MsS检测管道缺陷原理示意图

MsS导波检测系统可以通过调节直流偏磁场和探头线圈之间的相对方向,分别激励出纵向模式(L模式)和扭力模式(T模式)导波^[7]。MsS系统通常用T模式导波进行管道检测,这是因为T模式导波具有波速不随频率变化,性能与管道尺寸无关且不受管内介质流动的影响,产生附加模式的倾向较小的优点。导波检测缺陷的定量方法是判断管道某一横截面上损失金属的面积占管道截面积的百分比。如果某一截面上同时出现多个损伤,那么系统在缺陷定量时就会将两者叠加。

与传统的管道检测技术相比,MsS导波检测的优点是:可快速便捷扫描管道,在没有沥青涂层的地上管线上,单向检测距离可达100 m^[8];检测带保温或涂层的管线时,只需清除放置探头区域的保温层;可以进行在线检测。

2 管道人工缺陷检测

2.1 检测系统

使用的MsSR3030系统由主机、数据传输线、数据采集和分析软件、适配器、探头线圈和磁致伸缩铁钴合金条带组成。系统探头由磁致伸缩线圈和适配器组成。因管道长度较短,直径较小,为了获得较为准确的缺陷信号,采用128 kHz探头适配器。探头和线圈在管道上的放置如图2所示。数据采集过程中的探头发射频率为128 kHz,脉冲循环数2次,

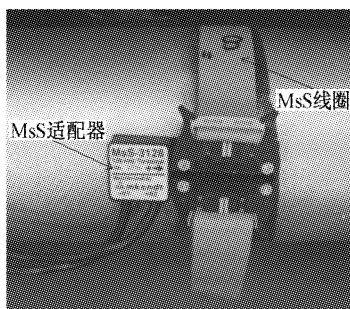


图2 MsS线圈探头和适配器

接收信号增益为20 dB,时间控制增益为8 dB。

2.2 人工缺陷制作

试验所采用管道长3.4 m,规格为 $\phi 102 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。管道端部附近内壁有自然腐蚀缺陷。由于自然腐蚀缺陷的检测精度在试验中不便于验证,故在管道外壁制做了两个环向切槽和一个钻孔。切槽1和2的轴向宽度为6 mm,深3 mm,损失面积为管道截面面积的4.5%;钻孔的直径为10 mm,深3 mm,损失面积为管道截面面积的2.0%(图3)。

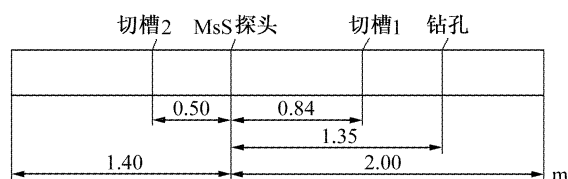


图3 探头和人工缺陷的位置

2.3 试验过程与结果

剪一段磁致伸缩铁钴合金条带,使其长度略小于管道的外周长,用环氧树脂粘贴在管道上,保证条带两端留出空隙而不搭接重叠。使用磁铁将条带磁化,使偏磁场沿管道轴向,以保证与线圈交变磁场作用形成T模式导波。将线圈连接在适配器的两端,调节接口长度,使线圈紧贴在磁致伸缩铁钴合金条带外面。将适配器通过数据传输线与主机相连,设置采集软件界面上的各项参数,使用超声导波检测的脉冲回波(Pulse Echo)模式开始采集数据,采集界面如图4所示。

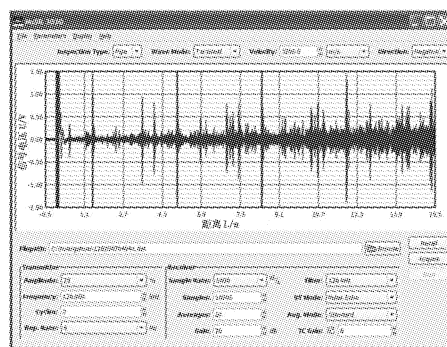
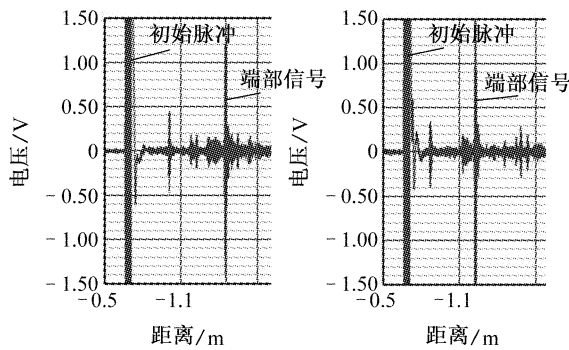


图4 数据采集界面

在数据采集过程中,调整采集方向控制选项,分别采集并保存正负方向数据,如图5所示。在数据分析软件中同时打开正负方向的信号数据文件,设定反射百分比和参考相位后,通过系统自动处理,给出管道中缺陷检测报告(图6)。图6中,X1表示由于采集信号时方向控制不佳而导致的反向管端的信



(a) 正向数据信号 (b) 反向数据信号
图5 管道的信号图像

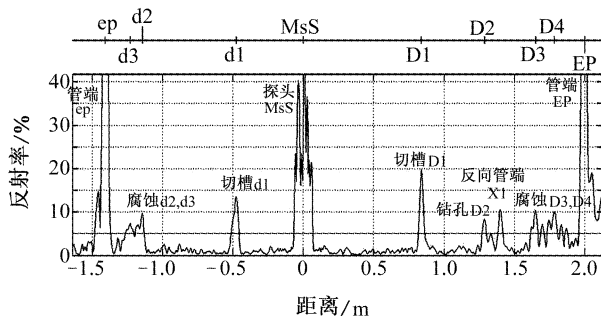


图6 MsS导波检测数据分析结果

号,在实际检测中该信号时常存在,但系统会给出判断,检测人员也比较容易校核该信号(其与反向管端对称分布于探头两侧)。D和d表示管道中缺陷,ep和EP表示管端。系统检测到的缺陷位置与人工缺陷的相对误差见表1,可见 MsSR3030 导波检测系统在缺陷轴向定位上具有较高的准确性。

表1 缺陷检测结果

缺陷	实际位置/m	相对误差/%	缺陷	实际位置/m	相对误差/%
切槽 D1	0.8	4.8	腐蚀 D4	1.8	—
钻孔 D2	1.3	3.7	腐蚀 d2	-1.1	—
切槽 d1	-0.5	0	腐蚀 d3	-1.2	—
腐蚀 D3	1.7	—			

3 现场管道检测实例

为了验证导波检测系统对在用管道的现场检测能力,选取某油库的输送原油管道进行检测。该输油管道为螺旋焊缝,通过对接环焊缝连接,外径为508 mm,壁厚为8.6 mm。采用 MsS 检测系统出具的检测报告如图7和表2所示。可知在距离探头正向2.0 m和5.9 m处分别存在缺陷D1和D2。对检测到的缺陷部位进行宏观检查发现,正方向距离探头2.0 m处存在腐蚀缺陷,该处防锈油漆局部脱

落,锈蚀严重,并且发现一个大的孤立腐蚀凹坑(图8a);距离探头5.9 m处存在凹坑缺陷(图8b)。

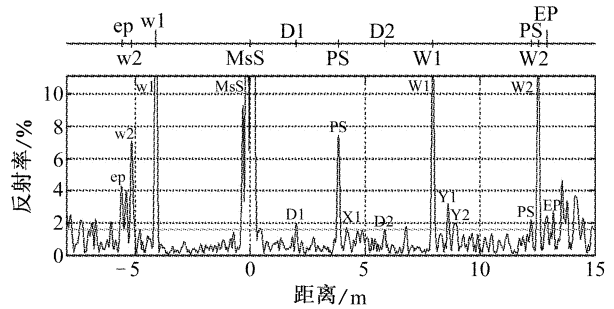
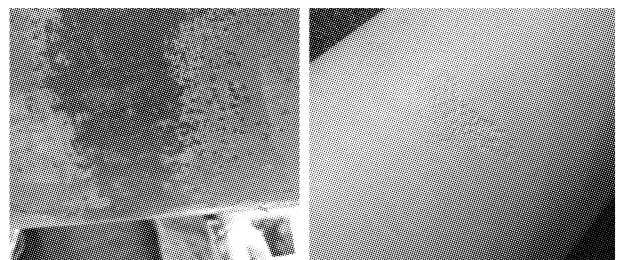


图7 某输油管道的 MsS 检测结果

表2 在用管道的检测数据分析结果

标号	检测位置/m	结论
ep	-5.6	导波传播反向终端
w2	-5.2	焊缝(反向)
w1	-4.1	焊缝(反向)
MsS	0.0	MsS 始发脉冲位置(零位置)
D1	2.0	缺陷
PS	3.8	支架
X1	4.2	不完善方向控制从负向产生的信号
D2	5.9	缺陷
W1	7.9	焊缝(正向)
Y1	8.6	方向控制不当产生的多次反射信号
Y2	8.9	方向控制不当产生的多次反射信号
PS	12.2	支架
W2	12.5	焊缝(正向)
EP	12.9	导波传播正向终端



(a) 缺陷 D1 (b) 缺陷 D2

图8 管道表面被检缺陷的形貌

4 结论

(1) MsS 超声导波可以比较准确地确定缺陷在管线长度方向上的位置。在实际检测中,可以应用 MsS 导波技术进行快捷大范围的检测,初步确定缺陷在管道上的位置,然后辅助以其它传统无损检测

TOFD 国家标准讨论会在南京召开

由全国无损检测标准化技术委员会秘书处组织召开的国家标准《无损检测超声检测超声衍射声时技术检测和评价方法》讨论会于 2008 年 6 月 8 日在江苏省南京市举行,与会代表共计 27 人,来自 23 个单位。

会议目的是对国家标准《无损检测超声检测超声衍射声时技术检测和评价方法》征求意见稿和部分意见回函进行讨论和协商,以确定标准送审稿的编写原则。

标准征求意见稿于 2008 年 5 月 8 日在“无损检测标准网”上公开发出后,已收到武汉中科创新技术有限公司和中国特种设备检测研究院两家单位的回函,对标准征求意见稿提出了具体的意见和建议,讨论会对这些意见和建议进行了讨论和协商。

武汉中科创新技术有限公司提出的意见和建议,经起草小组和会议讨论后表示接受。

中国特种设备检测研究院提出的主要意见和建议有:

(1) 7.2.1 中“对于 ≤ 70 mm 厚的钢,可以使用一对探头”,实际检测中,壁厚 50 mm 以上时采用一对探头就很难以同时保证覆盖和分辨力。

(2) 8.1.1 中规定的“用 TOFD 检测出的不连续手段进行精确检测。”

(2) MsS 超声导波技术可以通过信号幅值的大小定性地反映缺陷的大小,但不能确定缺陷的性质,需要通过其它检测手段进行确认。

参考文献:

- [1] 蔡国宁. 超声导波在液化气管道检测中的应用[J]. 无损检测, 2005, 27(3): 117—120.
- [2] Kwun H, Bartels K A. Magnetostrictive sensor technology and its applications [J]. Ultrasonics, 1998, (36): 171—178.
- [3] 吴 斌, 刘增华, 王秀彦, 等. 利用纵向导波检测充水管周向缺陷的实验研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(22): 2038—2043.
- [4] 何存富, 李 颖, 吴 斌, 等. 空心抽油杆的超声导波检测[J]. 无损检测, 2005, 27(10): 538—541.
- [5] 金建华, 申阳春. 一种用于管道检测的磁致伸缩式周向超声导波传感器[J]. 传感技术学报, 2004, (4): 576—

续应该至少给出下列特征:……”,可操作性不强,太复杂。其实对于小缺陷,只要知道其 X 和 Z 值即可,无需 Y 值。

(3) TOFD 的中文全称建议为“衍射时差法超声检测”(对应脉冲反射法超声检测)。

会议讨论后认为:

(1) 考虑到我国国情,7.2.1 中的“ ≤ 70 mm 厚的钢”建议改为“ ≤ 50 mm 厚的钢”,当有附加条件时也可适用于“ ≤ 70 mm 厚的钢”。

(2) 考虑到当 $Y=0$ 时,可能会被误解成在中心位置,而且 $Y=0$ 的情况出现较多,所以 Y 值在大多数情况下没有必要使用,建议在标准中注明仅当必要时才可使用 Y 值。

(3) TOFD 术语由标准审查会议时确定。

会议还就以下意见进行讨论并达成基本一致:

(1) 鉴于 ENV 583-6:2000 标龄较长,部分内容已较陈旧,建议参照 CEN/TS 14751:2004 的部分内容重新编写。

(2) 鉴于所引用的 EN 12668 尚不适合我国国情,建议改为引用相应的我国标准,或作适当编写。

(全国无损检测标准化技术委员会 金宇飞)

- 579.
- [6] 王悦民, 康宜华, 武新军. 管道超声导波无损检测技术应用研究[J]. 海军工程大学学报, 2005, 17(5): 34—37.
- [7] 何存富, 刘增华, 吴 斌. 传感器在管道超声导波检测中的应用[J]. 传感器技术, 2004, 23(21): 5—8.
- [8] Kwun H, Holt A E. Feasibility of under-lagging corrosion detection in steel pipe using the magnetostrictive sensor technique[J]. NDT & E International, 1995, 28(4): 211—214.

更 正

本刊 2008 年(第 30 卷)第 5 期第 304 页论文《薄壁轴承套内外壁缺陷超声横波检测换能器设计》作者应为:侯怀书¹,蔡小舒¹,赵清滨²,范应元²。特此更正。

《无损检测》编辑部