

文章编号:1002-2082(2009)03-0465-04

基于超声红外技术对金属管内壁缺陷的检测

邢春飞¹, 李艳红², 陈大鹏¹, 邹鹏¹, 陶宁¹, 张存林¹

(1. 首都师范大学 物理系, 北京 100048; 2. 北京理工大学 信息科学技术学院 光电工程系, 北京 100081)

摘要:为提高管道的运送效率,及时检测排除管道内壁的缺陷非常重要。提出利用超声红外无损检测方法对管道内部进行检测。超声主动热激励试件,高频红外热像仪记录试件表面温度变化,结合了超声摩擦生热和红外热成像的优点。对壁厚约为3.3 mm检测难度较大的金属管内壁缺陷进行了检测。通过对采集数据和热图的处理分析,准确快速地确定缺陷所在的位置。实物对比分析表明:超声热激励红外无损检测技术可以对金属管道内壁缺陷进行准确检测定位。

关键词:金属管;无损检测;超声激励;红外探测;内壁缺陷

中图分类号: TG115.28; TN215

文献标志码: A

Ultrasonic infrared technology for checking inner wall of metal pipeline

XING Chun-fei¹, LI Yan-hong², CHEN Da-peng¹, ZOU Peng¹,
TAO Ning¹, ZHANG Cun-lin¹

(1. Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. College of Information Science Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Defect detection and elimination inside the wall of metal pipeline is very important for efficient transportation. The ultrasonic infrared thermal wave nondestructive test technology was employed to detect defects in metal pipeline. It adopted ultrasonic as a heat source to excite the sample and a high frequency infrared camera as a detector to capture the surface temperature, which combined the advantages of ultrasonic heating and infrared thermal technology. The pipeline with wall thickness of 3.33 mm was inspected by this technology. By analyzing the temperature signal and typical time thermograph, the effective flaw information was obtained. Experiment conclusively indicates that the position of the defects on the inner wall can be accurately detected by the ultrasonic infrared nondestructive test technology.

Key words: metal pipeline; nondestructive test; ultrasonic heating; infrared test; inner wall defect

引言

金属管道,尤其是地下金属管道广泛应用于工农业生产和国防建设的各个部门。对金属管道外壁的检测技术相对直观易行,但对金属管内壁的检测相对比较困难。比如石化工业使用了大量的压力容

器和管道,使用过程中许多设备不仅是流程作业,长周期运行,而且大都是在高温高压易腐蚀的环境下工作,存在易燃易爆的危险。因此对运行中设备的检测和监测十分重要,目前采用的做法是严格地执行定期大修制度^[1]。现在常用的内壁缺陷的检测

收稿日期:2009-01-15; 修回日期:2009-03-21

基金项目:北京市教育委员会科技发展计划面上项目(KM200710028007)

作者简介:邢春飞(1983—),男,山东冠县人,在读硕士,主要从事红外与太赫兹无损检测工作。

E-mail: xingcf1818@126.com

方法有超声探头和超声波爬行机,并且取得了一定的进展,但同时也有检测速度慢、检测距离有限、要求被测管径足够大等缺点。

超声无损检测技术已经是一种广泛应用的无损检测技术,但利用超声进行热激励的红外无损检测技术却是一门新兴的检测技术。美国率先把超声作为激发源,用热像仪记录下疲劳裂纹的发热图像,印度、英国等国家也进行了大量的研究^[2-5]。我们对金属构件闭合裂纹、分层等进行了检测,通过与超声、X射线常规检测手段的对比,初步表明了超声热激励红外热波检测手段的可行性。

1 原理

超声红外无损检测技术包括超声热激励和红外探测2部分。(1)超声热激励:将低频率的超声波(20 kHz~40 kHz)短脉冲(50 ms~200 ms)作用在被检测材料或试件表面,超声波经过界面耦合在被检物体中传播,形成声场。超声在金属内传播的速度相当快,约是6 km/s。如果被检测材料或试件内部存在裂纹、未熔合、层析等缺陷时,在缺陷部位由于摩擦作用和热弹效应、迟滞效应等作用,引起机械能显著衰减,并产生热量,从而在缺陷处及相邻区域的温度明显升高。(2)红外探测:产生的热量以热波的形式传播到试件的表面,其表面温度场的变化用红外热像仪观察和记录,该信息中包含了被测试件的均匀性信息和表面下的结构信息。然后对数据和图像进行处理,就可以得到直观的图像^[6]。

超声红外无损检测技术不同于其他无损检测技术之处在于:它的发热机理可以检测出密闭的裂纹缺陷及内部隐埋夹杂、腐蚀等缺陷,对于复杂几何形状的试件用超声加热时不需要考虑非均匀加热问题^[3]。检测方便,速度快,没有污染,具有广阔的应用前景。

2 实验设备

该实验所用到的实验设备如图1(a)所示:主要包括超声激励系统、红外热像仪探测系统及数据处理软件系统3部分。

超声激励系统采用的是BRANSON公司制造的型号为2000aed的超声仪,所用的超声频率是20kHz,可以调整超声枪的作用时间和作用力大小等参数。红外热像仪用的是法国cedip的JADE III,内部置有制冷型量子阱红外光子探测器和内循环

制冷器,可提供优质的图像。图像大小为 320×240 像素,工作波段为 $3.7 \mu\text{m} \sim 4.8 \mu\text{m}$,采集频率与采集时间可以根据材料性质等不同进行实时调整。图1(b)为实验装置的可见光照片。

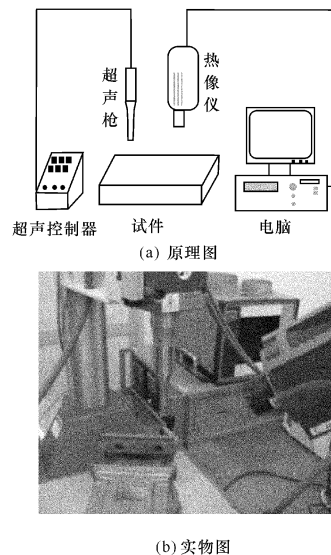


图1 超声红外热波实验设备

Fig. 1 Ultrasonic Infrared thermal wave experimental setup

3 钢管缺陷的检测

试件是某牛奶厂的输奶管道,如图2所示。其外径为45.32 mm,内径为38.66 mm,壁厚约为3.3 mm,长度为192.0 mm,在钢管内壁存在不规则分布固体胶状物缺陷,最厚处可达3 mm。为提高金属管表面发射率,金属管的外壁已进行了喷漆处理。

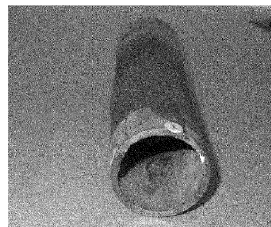


图2 金属管内壁缺陷实物图

Fig. 2 Photograph of the defect in metal pipeline

对热像仪用黑体进行两点温场校正,所用黑体的型号为M345X6,在室温为 21°C 的条件下,热像仪标定的温度范围为 $18^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 。把热像仪固定在三脚架上,试件固定在超声枪的正下方。调整热像

仪的焦距,直到得到清晰的画面。把超声枪与试件的作用力分别设置为50 N和100 N,然后用超声枪对金属管进行热激励,同时用红外热像仪记录下来。图3是从所得到序列图中截得超声激励后某时刻2幅典型图像。图3(a)超声激励的力的大小为50 N,图3(b)的力为100 N。在图像中,可以看出超声枪探头与试件接触处有明显的圆形亮区域,这是接触处产生热量的结果。除圆形亮区域外,并未发现明显的异常现象。

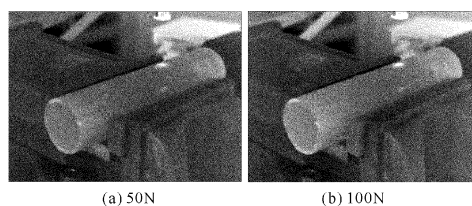


图3 原始热图

Fig. 3 Original thermal images

图4和图5为处理过的图像。图4为超声激励过的图像减去背景图像。处理后发现金属管上有明显的异常,即发亮的地方。这是由于热导率的不同,会使超声能量的传播受阻,能量聚集,形成亮斑。通过图示还可以确定不利于检测的异物所在的位置和大小等。比较图4(a)和图4(b)发现,当作用力为50 N时,效果更加明显。这是由于每次得到的图像都会对图像灰度值进行自动调整,把1幅图像最亮的地方的灰度值定义为255,最暗的地方定义为0。由于100 N的力明显比50 N的大,故(a)图的效果要好于(b)图,即并非力越大效果越明显。

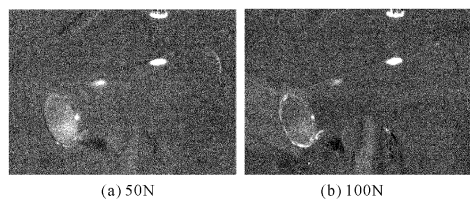


图4 处理过的图像

Fig. 4 Processed images

图5为超声激励过的图像和背景图像做商的结果。通过对比发现,图5和图4的结果一致,所不同的是,图5的图像比图4的信噪比更高一些。

图6是从除去背景噪声后的序列图中选取的1幅图像。对图像上的金属管长度用实际长度192 mm进行标定,用标定后的标尺确定缺陷的位置。提取缺陷点和非缺陷点的温度时间数据,如图7所示。横坐标表示热像仪记录的时间,纵坐标表

示感兴趣区域温度。金属管在热像仪开始记录后的1.975 s左右受到超声的激励。从图中可以看出超声激励后缺陷处温度迅速上升,变化明显,而其他处超声激励后迅速传播开并未引起热量积累,曲线呈较平缓变化。

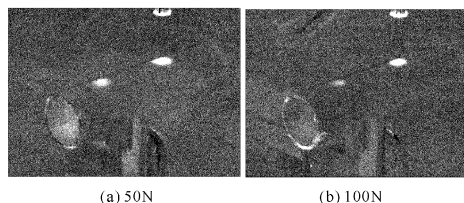


图5 处理过的图像

Fig. 5 Processed images

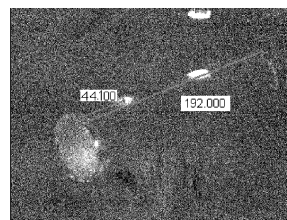


图6 缺陷的位置

Fig. 6 Image of defect position

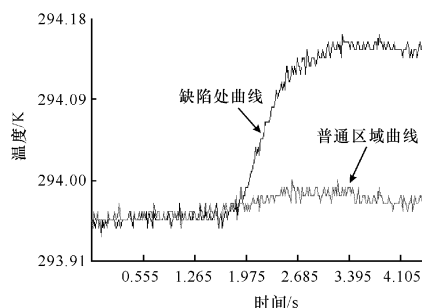


图7 温度时间曲线

Fig. 7 Curve of temperature versus time

4 结论

通过实验发现,此方法可以简单有效地发现金属管内壁的缺陷。50 N的力是一般的金属管所能承受的力,因此可以实现在役检测,且快捷方便。发现问题,及时予以检修,可以避免各种事故,保证安全生产。超声加热时不需要考虑非均匀加热问题,因此实验的成功也解决了复杂形状构件不易用红外检测的难题。

参考文献:

- [1] 李晓刚,付冬梅. 红外热像检测与诊断技术[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
LI Xiao-gang, FU Dong-mei. Infrared thermal-graphic detective and diagnostics technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006. (in Chinese)
- [2] DING You-fu, SHEN Jing-ling, ZHANG Cun-lin. Analysis of infrared thermal wave nondestructive testing on flat bottom hole sample by the finite element method [C] // Shanghai: IEEE Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics, 2006.
- [3] FAVRO L D, XIAOYAN H, ZHONG O, et al. Thermosonic IR imaging of cracks and delaminations [J]. Analytical Sciences, 2001, 17: 451-453.
- [4] PEREZ I, DAVIS W R. Optimizing the thermosonics signal [J]. Review of Progress in QNDE, 2003, 22 (1): 505-512.
- [5] ZWESCHPER T, DILLENZ A, RIEGERT G. Ultrasound excited thermography using frequency modulated elastic waves [J]. Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2003, 45(3): 178-182.
- [6] 陈大鹏, 李晓丽, 李艳红. 超声红外热像技术检测激光焊缝质量[J]. 无损检测, 2008, 30(10): 747-749.
CHEN Da-peng, LI Xiao-li, LI Yan-hong. Ultrasonic infrared thermography tests the quality of laser welded seams [J]. Nondestructive Testing, 2008, 30 (10): 747-749. (in Chinese with an English abstract)