

长管拖车气瓶声发射检测技术

王 勇, 郑 晖, 徐 春

(中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘要:为发现长管拖车气瓶实际使用中存在的裂纹、腐蚀等危险缺陷,保障长管拖车的安全运行,根据长管拖车气瓶结构、尺寸和材料特点,制定了相应的声发射检测方案。加工了裂纹和腐蚀减薄等人工缺陷,对长管拖车气瓶进行了整体声发射检测试验。模拟了裂纹、线腐蚀、点腐蚀和面腐蚀等四种不同缺陷的监测过程和定位结果,并对这些声发射源的定位、分布和关联特性分别进行了分析。

关键词:长管拖车气瓶; 声发射检测; 人工缺陷

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2010)05-0357-05

The Technique of Acoustic Emission Inspection of Cylinders of Tube Trailer

WANG Yong, ZHENG Hui, XU Chun

(China Special Equipment Inspection & Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to find the cracks, corrosion and other dangerous defects of in-service tube trailer gas cylinders, and to guarantee the safe operation of the tube trailer, corresponding acoustic emission testing program was worked out based on the tube trailer gas cylinders structure, size, material characteristics. Furthermore, corresponding cracks, corrosion thinning and other artificial defects were machined and the whole acoustic emission testing was performed to the tube trailer gas cylinders. This paper simulated the crack, line corrosion, pitting corrosion and surface corrosion defects in four different results of the monitoring process and positioning, and the characteristics of acoustic emission source location, distribution and associated features were analyzed.

Keywords: Tube trailer gas cylinders; Acoustic emission testing; Artificial defect

长管拖车气瓶受载荷、材料和气体杂质的共同作用,可能的失效模式有腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳,其中应力腐蚀和腐蚀疲劳的危害最大。采用声发射检测方法,有针对性地发现气瓶存在的危险性缺陷,对保障其安全性具有重要意义^[1-2]。

1 试验原理及方法

声发射是材料或结构受外力或内力作用而发生变形或断裂,以弹性波形式释放出应力应变能的现象。该种检测技术对危险性的裂纹、线腐蚀等缺陷

具有很好的检出能力,尤其是对活动性的缺陷更加敏感,运用在长管拖车的检测中具有很强的针对性。通过测试长管拖车气瓶声发射瞬态弹性波的传输声速与衰减特性;分析声发射噪声信号,研究背景噪声、噪声信号的波形、特征和降噪方法;对不同人工缺陷进行测试,分析不同性质的缺陷所产生的声发射信号特征等,来论证声发射检测方法对于检测拖车气瓶所含缺陷的有效性,不断优化选择声发射检测设备、确定检测参数、建立检测程序以保证最有效的缺陷检出率,并对缺陷进行定位、识别和评价,建立声发射检测系统。主要步骤为:① 准备声发射试验的设备、场地和气瓶样瓶。② 初步设定检测系统参数,模拟信号,进行声发射检测,研究噪声、声速和衰减等特性和标定、定位方法以及加载程序等。③ 分析检测结果,优化检测参数,建立检测系统,确定

收稿日期: 2009-07-24

基金项目: 中央级科研院所科技基础性工作专项资金资助项目(Z00-J06)

作者简介: 王 勇(1971—), 男, 高级工程师, 主要从事特种设备检验检测研究。

合适的检测方法。④制作各类型人工缺陷,对人工缺陷进行声发射测试,完善检测系统和检测方法。⑤不断加深、加大人工缺陷尺寸,同步进行声发射检测试验,分析不同性质的缺陷所产生的声发射信号的特征。⑥建立完整的检测系统并进行拖车气瓶检测试用。

2 试验方案

2.1 试验场地条件

拖车气瓶体积和重量大,工作压力高,对场地和工装设备等试验条件要求较高,所以选择一仓库外空地,周围30 m内无其他动设备,供电电源为220 V,与其它机电设备隔绝,地线可靠接地,避免信号干扰;气瓶平放,用木枕垫起,不与地面接触;试压泵额定压力40 MPa,升压速率约为1 MPa/10 min;气瓶一端瓶阀制作专用接头(2个端口),进水口通过1根高压橡胶管与试压泵出水口相连。

2.2 试验仪器系统

使用德国Vallen公司生产的ASMY5型全波形数字化声发射仪,探头、电缆、采集卡和分析软件均为其配套产品,探头响应频率宽。其最大特点是经前置放大的信号不必再经过一系列模拟电路的处理,而是直接转换成数字信号,同时进行常规特性参数提取与波形记录。这不仅改善了电路的稳定性和可靠性,而且大大强化了系统信号处理能力。图1为Vallen AMSY5系统外形图。

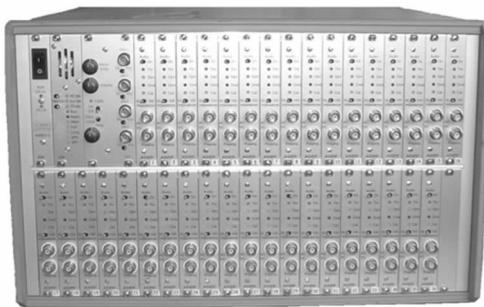


图1 Vallen AMSY5系统

该系统主机采用插卡式结构,为避免通道之间的相互干扰,沿用了单卡单通道的模式。主机可直接与笔记本计算机连接。

2.3 试验气瓶样瓶

研究对象为石家庄安瑞科化工机械有限公司生产的长管拖车气瓶(管子采购自意大利DALMINE公司)和部分美国CPI公司生产的在用瓶,规格为:外径 $\phi 559$ mm ± 2 mm,设计壁厚16.5 mm,长度

10 975 mm ± 10 mm,材质为4130X,最高工作压力为20 MPa,制造标准为DOT-3AAX。这些气瓶与目前我国正在使用的大多数长管拖车气瓶(包括美国FIBA、CPI公司)的材质与制造标准均一样,具有代表性。

2.4 人工缺陷制作

根据拖车气瓶的主要缺陷为面、线和点三大类,相应地制作了面腐蚀、裂纹和线腐蚀类线性缺陷以及点腐蚀,且各缺陷的尺寸和严重程度有所区别,以观察声发射方法的适用性。裂纹对于金属结构的安全性影响最大,因为断裂都是从原始小裂纹开始扩展的,是否能检测出原始小裂纹是研究关键。考虑到机械损伤在形状上与线腐蚀类似,因此人工线腐蚀试验应该可覆盖机械损伤。对于裂纹,笔者采用焊接产生的裂纹模拟实际裂纹(图2),两者形态及扩展特点相似。点、线和面(图3~5)腐蚀采取先打磨再进行酸腐蚀的方法获得。所有缺陷位置见图6所示。



图2 轴向裂纹(距端头7.35 m处)

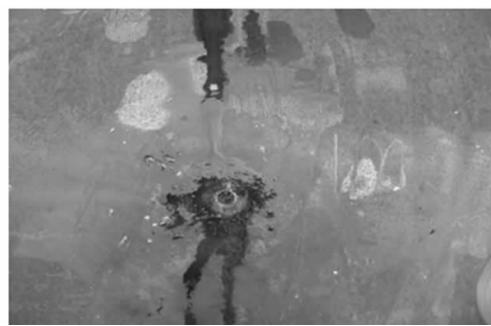


图3 1 m处点腐蚀($\phi 10$ mm $\times 2.5$ mm)

缺陷必须分步制作。根据声发射理论,分步制作有助于分清信号来源,便于针对不同类型的缺陷信号进行分析。

2.5 加载程序

常用的加载参数包括升压速率、分级载荷和最高载荷及其恒载时间,有时需要增加重复加载程序。

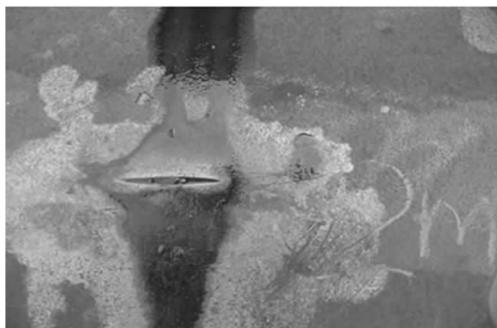
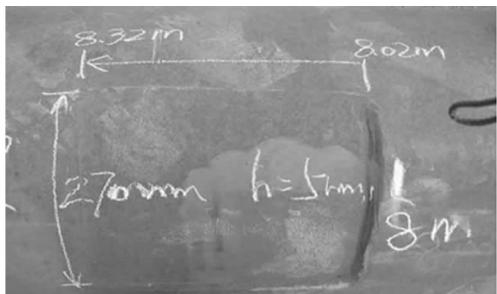
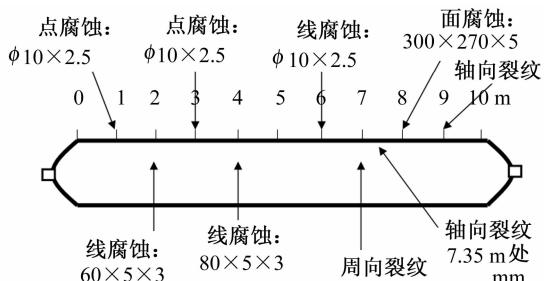
图 4 2 m 处线腐蚀($60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$)图 5 8.02 m 处面腐蚀($300 \text{ mm} \times 270 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$)

图 6 缺陷制备一览图

长管拖车气瓶声发射检测加载程序选定为:

(1) 开始升压,慢速加载会过分延长检测周期,而快速加载也会带来不利的影响。首先,会使机械噪声变大,如低压下的流体噪声;其次,会引起高频率声发射活动,以致因超过检测仪的极限采集速率而造成数据丢失;再则,由于应变对应力的不平衡而会带来试验安全问题。长管拖车气瓶的加载,多采用较低的加载速率,且要保证均匀加载,升压速度一般不应 $>3.45 \text{ MPa/h}$ 。

(2) 开始采集数据和监视声发射源定位图。当压力升到正常工作压力或额定压力(以小者计算)的60%时开始采集数据和监视声发射过程。监测时应观察声发射撞击数随载荷或时间的变化趋势,若呈快速增加或操作者凭经验认为有其他异常情况时,应及时停止加载,在未查明原因时,禁止继续加压。

如遇强噪声干扰时,应暂停检测,排除强噪声源后再进行检测。

(3) 储存所有数据直至加压停止。当压力为正常工作压力或额定压力(以大者计算)的110%时停止加压,保压10~30 min,多数工程材料在恒载下显示出应变对应力的滞后现象。一些材料在恒载下可产生应力腐蚀或氢脆裂纹扩展。恒载周期又为避免加载噪声或鉴别外来噪声干扰提供了机会。近年来,恒载声发射时序特性已成为声发射源严重性评价和破坏预报的主要依据,必要时,可忽略升载声发射,而只记录恒载声发射。对于长管拖车气瓶,最高压力下恒载时间约设定为10~30 min。储存恒载条件下所有数据。

(4) 再次确认各探头及通道是否正常。

3 现场试验

3.1 检测系统参数设定

检测参数的设定对研究结果具有重要意义,这些参数一般包括:探头响应频率、布置方式、间距及安装耦合方式,线缆阻抗及电磁屏蔽性,通道采集频率,检测门槛设置、前置滤波器设置、定位计算处理器中的声速设置以及加载程序等诸多方面。综合检测对象的特点,选择宽频带探头100 kHz~1 MHz,通道采集频率为10 MHz,未设前置滤波器;定位选用线定位方式;采用真空脂作耦合剂并用机械压缩来固定传感器;通过试验确定实际声速值,初步设定为3 000 m/s;经过计算和试验,确定探头间距为3 m时,检测门槛值37 dB;间距为5 m时,门槛值32 dB。但探头间距最长不应 $>5.5 \text{ m}$,门槛最低不应 $<32 \text{ dB}$,否则将造成缺陷信号丢失或通道堵塞现象^[7]。试验过程中采用了4个探头,间距为3.4 m,检测门槛为30 dB,传感器布置如图7所示。



图 7 现场传感器布置图

3.2 测试及结果

开始升压,同步监测;一次加压结束后,紧接着进行第二次升压试验。

3.2.1 裂纹部位的监测过程及定位结果

在 7 和 9 m 处存在人工裂纹,当水压达到 2~4 MPa 时,裂纹开始释放出应力波,如图 8 所示。

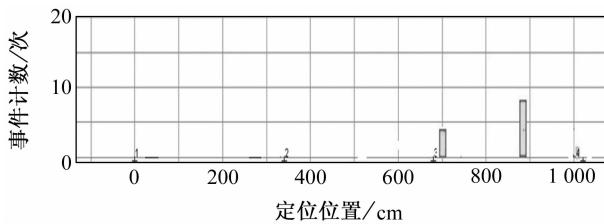


图 8 裂纹信号事件计数-定位关联图(2 MPa)

释放出应力波后,在其后的一段压力范围内裂纹处不再激发,而当压力到达 7~8 MPa 时,裂纹再次出现应力释放现象,如图 9 所示。

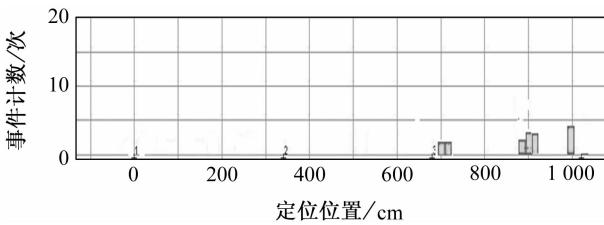


图 9 裂纹信号事件计数-定位关联图(7 MPa)

然后裂纹信号再次消失,至压力达到 12 MPa 后,裂纹信号开始频繁出现,定位图上信号累加形成高峰,如图 10 所示。

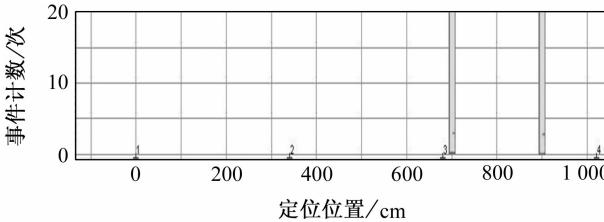


图 10 大量裂纹信号事件计数-定位关联图(12 MPa)

显然,这是符合常理的。当内压较小时,裂纹扩展活性不高,当压力达到一定数值(如 2 MPa),裂纹尖端才能克服阻力扩展并释放应力,被声发射仪器接收并定位;然后裂纹积蓄能量,至另一压力时(如 7 MPa),再扩展;当压力足够高时,裂纹持续活动,形成高激发阶段。

一次加压试验结束后,进行二次加压时,源信号在 15 MPa 后依然频繁出现。通过试验,发现只要瓶体存在裂纹类缺陷,在逐渐加压过程中,这些裂纹就将释放出应力波,声发射技术可以有效地监测到这些信号并予以积极响应。

3.2.2 线腐蚀部位的监测过程及定位结果

在 2,4 和 6 m 处分别制备了缺陷尺寸不同的线

腐蚀: 60 mm×5 mm×3 mm, 80 mm×5 mm×3 mm, 100 mm×5 mm×3 mm。当压力达到 2 MPa 时,4 和 6 m 处缺陷部位开始释放出应力波(图 11)。

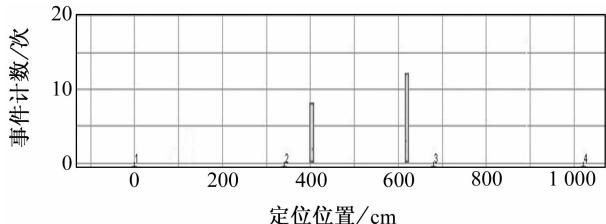


图 11 线腐蚀信号事件计数-定位关联图(4 MPa)

继续加压,当压力达到 8 MPa 时,4 和 6 m 处缺陷部位又释放出应力波(图 12)。

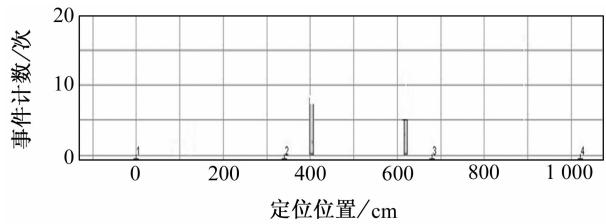


图 12 线腐蚀信号事件计数-定位关联图(8 MPa)

然后扩展信号消失,至压力达到 12~22 MPa,4 和 6 m 处缺陷信号再次开始出现(图 13)。

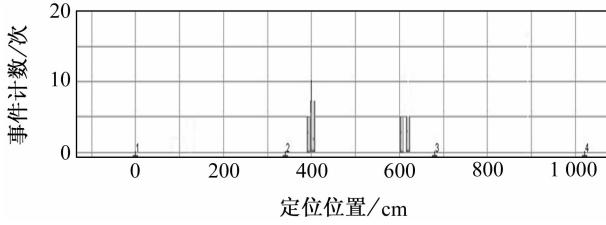


图 13 线腐蚀信号事件计数-定位关联图(12~22 MPa)

一次加压试验结束后,进行二次加压时,源信号只在 21 MPa 时出现 1 次。

试验表明:声发射技术可以监测到一定当量的线缺陷。与裂纹类似,线状缺陷亦有积聚能量——扩展——积聚能量——再扩展的循环过程,不同的是,由于线状缺陷的尖端钝化,其活动性明显低于裂纹;同时,线缺陷声发射有当量的概念,试验中 2 m 处 60 mm×5 mm×3 mm 的缺陷始终无扩展信号,表明声发射不适合于该当量以下的线腐蚀。

3.2.3 点腐蚀部位的监测过程及定位结果

在 1 和 3 m 处分别制备了缺陷尺寸不同的点腐蚀: $\phi 10 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$, $\phi 10 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$, 同时随着试验的进行,进一步加深到 $\phi 10 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, $\phi 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。但在试验的过程中,始终无有效

源信号。试验表明:声发射技术难以监测点腐蚀。这是因为点腐蚀无尖端,一般并不扩展,即活度很低。

3.2.4 面腐蚀部位的监测过程及定位结果

制备的面腐蚀位于距一端 8.02~8.32 m 处,面腐蚀的大小为 300 mm×270 mm,深度从 1 mm 逐渐加大到 5 mm,每增加 1 mm,做一次声发射检验(0~22 MPa)。当深度达到 4 mm 时,依然无信号出现。当深度达到 5 mm、压力升至 16 MPa 时,开始在相应部位出现信号 1 次,17.5 MPa,21 MPa 时再各出现 1 次,如图 14 所示。

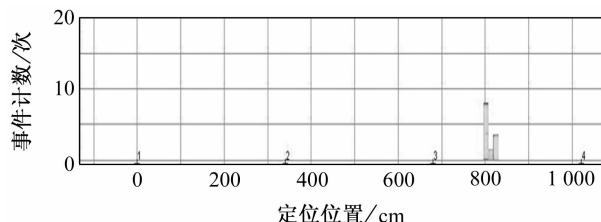


图 14 面腐蚀信号事件计数-定位关联图(16~22 MPa)

一次加压试验结束后,进行二次加压时,源信号不再出现。试验表明,声发射技术可以监测到一定当量的面积缺陷。面腐蚀有积聚能量→扩展→积聚能量→再扩展的循环过程,且源信号只在高内压力时出现,其活度很低。

4 结论

(1) 声发射技术对气瓶中裂纹类缺陷极其敏感,适用于一定当量以上的线性缺陷和面积性缺陷,

(上接第 344 页)

言之,推导的公式既可以用于管道斜入射,也可以用于平板斜入射。可以用 Excel 也可以用其他软件计算和显示距离-波幅曲线。在探伤设备均已计算机化的今天,可将它们“安装”在数字化检测设备中。在实际探伤时,只要用被测工件相同的材料制造具有相同外表面曲率的含有一或两个反射体(推荐短横孔)的试块,实测这一或两个反射体的 1 次波回波幅度,然后,调整纵坐标刻度,使理论曲线上同深度点的幅度值与实测值相一致,所有的曲线就都标定好了,就等于获得 5 种反射体的实测距离-波幅曲线(包括 1 次和 2 次)。这将大为减少试块的用量,也减少了实测距离-波幅曲线、确定灵敏度、对缺陷回波进行分级的工作量,减少了人为偏差,从而带来经

不适合无尖端的圆形点状缺陷。

(2) 缺陷发展均有积聚能量→扩展→积聚能量→再扩展的循环过程。在较高内压力时缺陷活度增加,在二次加压时的表现因缺陷性质不同而有较大区别。

(3) 声发射技术可作为拖车气瓶检验中对其综合安全状况进行评价的一种有效手段。

参考文献:

- [1] Fred F, Lyle Jr. Evaluation of the Effects of Natural Gas Contaminants on Corrosion in Compressed Natural Gas Storage Systems: Section 2[M]. U S: Southwest Research Institute, 1989:6—19.
- [2] 詹尚贤. CNG 加气站建设中的几个问题[J]. 中国锅炉压力容器安全, 2002, 18(5):12—14.
- [3] ASTM E 1419-00 Standard test method for examination of seamless, gas-filled, pressure vessels using acoustic emission[S].
- [4] CGA C-18-1995 Methods for acoustic emission requalification of seamless steel compressed gas tubes [S].
- [5] 刘三江, 李邦宪, 郑晖. 对长管拖车气瓶定期检验方法的探讨[J]. 中国锅炉压力容器安全, 2005, 21(2):38—41.
- [6] 刘三江, 沈功田, 李邦宪. 长管拖车气瓶的无损检测技术[J]. 无损检测, 2005, 27(8):418—422.
- [7] 郑晖, 王勇, 刘三江. 长管拖车气瓶声发射信号的传播衰减规律[J]. 中国特种设备安全, 2006, 22(11):43—45.

济效益,也为不同标准间的互换提供了依据。上述这些优点在自动检测时将更为显著。

已经做过的试验验证不能说是充分的,根据假设提出的理论的正确性,无疑应由足够多的人和足够量的实践所判定。如读者有兴趣用手头已有试块来验证它,欢迎与笔者连系(zzyzhang@126.com)。

参考文献:

- [1] Krautkramer J, Krautkramer H. Ultrasonic Testing of Materials [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1969:41—80.
- [2] 张志永. 几种规则反射体回波幅度计算公式的论证[J]. 无损检测, 2009, 31(4):313—316.