

常压储罐声发射检测技术

李光海, 沈功田, 闫 河

(中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘 要: 声发射检测技术可用于常压储罐腐蚀评价。讨论了常压储罐中声发射信号产生的机制和传播过程, 试验研究了液体介质中声发射源的定位、波速的计算及声发射信号的衰减规律, 提出了声发射信号的分析方法以及结果评价方法。指出由于信号传播路径的不确定, 使定位分析较困难, 而从每个通道单位时间的撞击数来判断更有实际意义, 并给出了工程实例。

关键词: 常压储罐; 声发射检测; 腐蚀评价

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)04-0256-04

Acoustic Emission Testing Technique for Atmospheric Storage Tanks

LI Guang-Hai, SHEN Gong-Tian, YAN He

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

Abstract: Acoustic emission(AE) testing technique can be used in evaluating corrosion status. The generating mechanism and propagating process of AE signals are discussed in the paper. An experiment on the AE sources location, wave velocity calculation and signal attenuation is carried out in liquid medium (Water). Methods of AE signal analysis and testing result evaluation are presented. An engineering example of AE testing for storage tank is given also.

Keywords: Atmospheric storage tank; Acoustic emission testing; Corrosion evaluation

常压储罐因腐蚀导致底板减薄和穿孔泄漏的事故时有发生。据统计, 由于腐蚀而引起的储罐失效占全部储罐失效的 60% 以上^[1], 因此采取有效的储罐底板腐蚀检测方法, 对安全生产、节约资源和保护环境都具有重大意义。大型常压储罐通常根据固定的周期进行停产开罐检验, 检验多采用常规的无损检测方法(包括测厚和表面无损检测等), 但这些方法需要经过清空原料、开罐、清洗、去除表面防腐层、检验和重新防腐等一系列过程。检验周期长、检验成本高, 有时还不能达到预期的目的。更多的情况是, 当花费了大量人力、物力和财力, 经常规无损检测方法检测后却认为不需要任何维修。所以, 人们希望有一种新的检测技术, 能够在不需要开罐的情况下对储罐的安全状况进行评估。鉴于此, 将声发

射在线检测和评价技术引入到常压储罐的不停产、不清罐检测成为应用的热点。根据声发射检测和质量分级的结果, 为常压储罐开罐检验的周期和最佳时机的选择提供科学依据。

1 声发射在线检测技术

现有无损检测技术中, 声发射检测可在不影响常压储罐使用状态下, 在线对储罐的底板腐蚀状况进行排序和分级。对压力容器, 声发射技术已经成为一种常规的检测技术, 尤其是对裂纹等危险性缺陷的活动性在线监控, 更有着其它无损检测方法不可比拟的优点^[2]。关于常压储罐在线评价, 可在以下两个方面应用声发射检测技术: ① 在储罐液位逐渐上升的情况下, 检测储罐底板或壁板的焊接缺陷扩展引起的活动性信号。② 在最高充装液位的 85% 以上恒定液位, 检测储罐底板的泄漏和腐蚀信号。

常压储罐在充液过程中, 即载荷增加时, 如果缺陷(包括泄漏)随着液位的上升而发生扩展或变化,

收稿日期: 2009-06-02

基金项目: 质检公益性行业科研基金资助项目(10-52)

作者简介: 李光海(1970—), 男, 高级工程师, 博士, 从事承压类特种设备的检验检测和科研工作。

就能被声发射传感器采集到,进而通过软件被识别。缺陷扩展属于瞬态信号,可以通过信号到达各传感器时间的不同,采用时差法进行定位。而泄漏信号属于连续信号,可以通过衰减法或相关时差法进行定位。其它声发射信号产生的机理,如底板局部区域的弹塑性变形释放出的弹性波,也可能被捕捉到,从而被仪器定位显示。

对于常压储罐,声发射技术更多地被用于腐蚀状态的检测(图1)。在恒定液位下,储罐内介质经过一段时间的沉降稳定,同时关闭所有与罐体相连的管道,此时检测到的声发射信号大部分应为腐蚀信号。泄漏、腐蚀的过程、腐蚀产物的形成和剥落以及腐蚀的空化效应,均被认为是腐蚀声发射信号。与缺陷扩展信号有所不同的是,腐蚀过程声发射信号平均幅度较低,并且腐蚀过程在整个储罐的不同区域同时存在,因而某个声发射信号到达处理器的次序很难从时间序列里区分开来,从而导致定位判断的混乱,带来定位误差,所以在常压储罐的腐蚀状态声发射检测中,定位源仅作为辅助的分析手段,而应更多地关注各通道撞击数,通过对同类储罐各通道信号量的多少进行储罐腐蚀状态排序和质量分级。

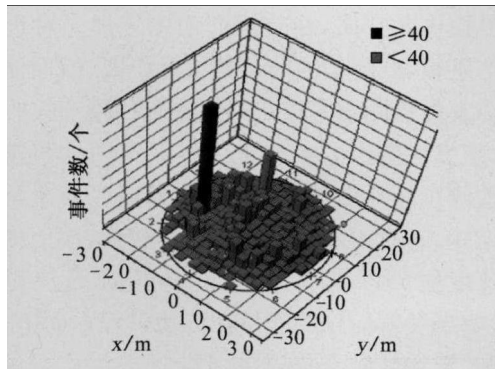


图1 储罐的声发射检测

常压储罐底板声发射信号的传播途径可以是沿底板金属传播,也可以是沿储罐内的介质以最短路径传播到传感器。由于储罐底板通常采用搭接焊缝,沿底板传播的信号衰减较快。对于较低幅度的腐蚀信号,即使采用低频率的声发射传感器,其最大传播距离也只能在10 m左右。因此,对于大型常压储罐,接收到沿底板金属传播的声发射信号较少。沿储罐内介质传播低频声发射信号衰减较少,通常能够传播数十米,因此在大型储罐的声发射腐蚀检测过程中,由于声源位置的不同,导致到达各通道的声发射信号传播路径不同,所以声速设置较为复杂。由于传播路径的复杂性,声速的不唯一性,也使定位

精度大大降低。即便如此,储罐声发射检测技术仍然发展迅速,应用广泛。

2 模拟试验研究

模拟试验研究的目的是有四个:① 液位介质中的信号能否被传感器收到并定位。② 声发射信号在介质中和金属中的衰减情况。③ 声发射信号的波速。④ 储罐底板声发射信号的传播路径。

试验仪器采用德国 Vallen 公司的 AMSY-5 型 36 通道声发射仪,所有通道均带波形采集模块,探头型号为 VS30-V,探头与前置放大器 AEP4H-ISTB 一体化设计,放大倍数为 46 dB,探头的频率范围是 23~80 kHz,前置放大器的带通与探头的频率范围相匹配。采集信号时设置的阈值为 35 dB。

探头安置如图2所示。在一个直径为 9 200 mm 的水池,在其圆周等间距(相隔 90°)放置了四个钢条,在每个钢条上安装了探头。

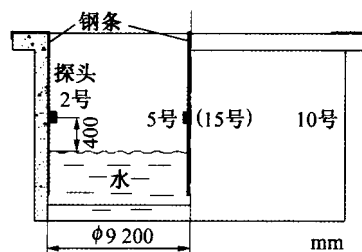


图2 探头安置示意图

2.1 液体介质中的信号定位

在上述试验水池中,用投小石子方法激励模拟声发射信号。在四个探头附近和水池的中心部位依次发出模拟信号。声发射仪四个通道均接收到声发射信号,通过设置仪器的参数,均能得到准确的声发射定位显示,如图3所示。

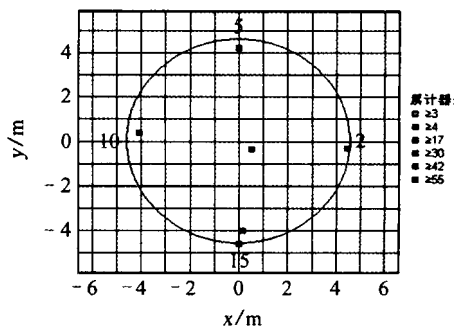


图3 声发射信号定位结果

2.2 声发射信号的衰减

声发射信号在水介质中的衰减不能直接计算,因为声发射信号即使在水中激励,被探头接收时,还

必须将弹性波能量传到钢带上,通过钢带的传递才能被声发射探头接收到。由于钢和水存在界面,所以能量损失较大。要计算水中的信号的衰减,只能通过对比不同距离探头的信号幅度变化,近似计算声发射信号在水中的衰减情况。通过对比四个探头接收到的信号幅度,结合模拟源到探头的距离,计算其平均衰减。通过计算,近场区外声发射信号衰减系数低于 0.5 dB/m。由于水池较小以及耦合的差异,从采集到的数据看,有时远处探头的信号幅度反而较近处探头的幅度高,多次反复测试可得到近似值。

从上述试验可知,低频声发射信号可以在水介质中(原油介质类似)传播较远距离,但由于钢和储罐内介质存在界面反射,能量损失不可忽略,在本试验中,信号幅度平均衰减为 10 dB 左右。

从理论上说,同样频率的声发射信号,如 30 kHz,各向同性的钢板的衰减系数比液体介质中更低,可以传播得更远。对于 30 kHz 的低频信号,在钢板中传播上百米也是可能的。笔者在一台空的钢质储罐上进行了衰减标定试验,分别沿着底板径向和壁板的环向进行标定。模拟源采用断铅模拟源,衰减测量结果如图 4 所示。底板径向衰减标定中,信号在 7 m 处已衰减到门槛以下;而在壁板环向衰减标定中,信号在壁板环向传播 20 m 后仍然有 43 dB。实际上信号还可以传播得更远,这是由于试验使用的模拟源为标准断铅信号,该模拟信号高频分量的能量占绝大部分,30 kHz 左右的低频分量不足总能量的 20%。进一步的补充试验将采用信号发生器激发 30 kHz 的信号,进行衰减测量。

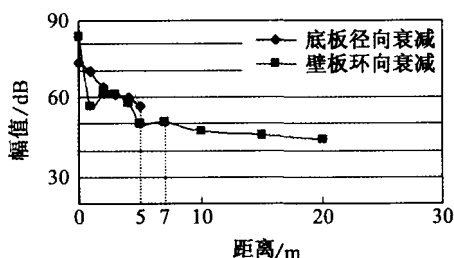


图4 信号沿底板和壁板的衰减曲线

试验结果表明,声发射信号沿底板传播的衰减速率高于沿壁板的衰减速率,其原因是由于底板采用搭接焊缝,声发射信号反射和衰减严重,低频信号能传播十多米就低于系统阈值了,但沿着如壁板类的对接焊缝壳体,声发射信号能传播较远距离。

2.3 声发射信号的声速

如 2.1 节中所述,在水中采用投掷石子的方法

进行声发射信号激励。为了得到与实际激发位置一致的声发射信号定位结果,试验中不断改变声速的设置,最终使所有的模拟源都得到相对精确的定位显示,取这时的声速为声发射信号波包群速度的声速。另外,Vallen 仪器有一个 LUCY(定位不准确)计算功能,可以通过改变声速得到最小的 LUCY 值,从而得到实际声速。经过分析计算,在水中声发射信号的平均声速在 1 200~1 400 m/s 左右,与理论声波在水中的传播速度相符。

试验中钢板声速的确定,通过实际声速测量得出,其范围在 3 200~4 200 m/s 左右。

2.4 底板声发射信号的传播路径

声发射检测主要是用于评价储罐底板的腐蚀状况等级,当然也可用来评价储罐壁板的危险性缺陷的开裂,这与压力容器声发射检测相同。具体检测过程可依据 JB/T 10764《无损检测 常压金属储罐声发射检测及评价方法》标准的要求进行。

通过声发射信号进行储罐底板的腐蚀和缺陷评价,必须要知道声发射信号的传播路径。声发射信号由底板的各种机制产生,因此绝大部分能量以弹性波的形式沿底部钢板传播,少部分能量透过钢和液体界面进入介质,在储罐介质中传播。对于各向同性的钢板,低频信号能传播很远距离,因而储罐底板的声发射检测信号应是通过钢板传播而接收到的信号,声发射信号的声速也应该取钢中的声速。但实际检测中还存在以下因素:① 储罐底板通常采用搭接结构,它对声发射信号的反射较大,因而信号的衰减速度快。② 防腐涂层、土壤、介质及沉积物的存在,使声发射信号的能量在传播过程中向上、下表面泄漏,导致信号衰减较快。

由于以上两因素的存在,导致了声发射信号传播路径的不确定性。离探头较近的声源一般是通过钢板进行传播而被接收,离探头较远的声源则可能是通过介质传播至声发射探头,这完全取决于两种途径的声发射信号衰减速度。如果两种途径的信号都可以被探头接收到,则通过钢板的信号先到,介质传播的信号后到。这种情况也带来定位时序的混乱,同时声速也无法确定,致使声发射信号的定位精度受到影响。所以,按 JB/T 10764 标准的要求进行罐底板声发射源的时差定位分析及腐蚀状况分级时,应将两种可能的传播路径都要考虑到,避免丢失有用定位信号。

对储罐的底板检测,更可靠的评价方法应该是

计算出各独立通道有效检测时间内单位时间出现的撞击数,进行对比分级。尤其是同一批同样条件下的储罐,在同样的检测条件下,可以根据所有通道的撞击数来进行底板腐蚀状况等级的划分和排序,从而确定维修的优先次序。

3 声发射信号分析

从采集到的声发射信号中,将腐蚀信号、裂纹扩展信号、泄漏信号以及其它干扰信号区分开,得到对储罐底板腐蚀状况的更精确判断越来越成为可能。如图5中给出裂纹缺陷的扩展信号示例。

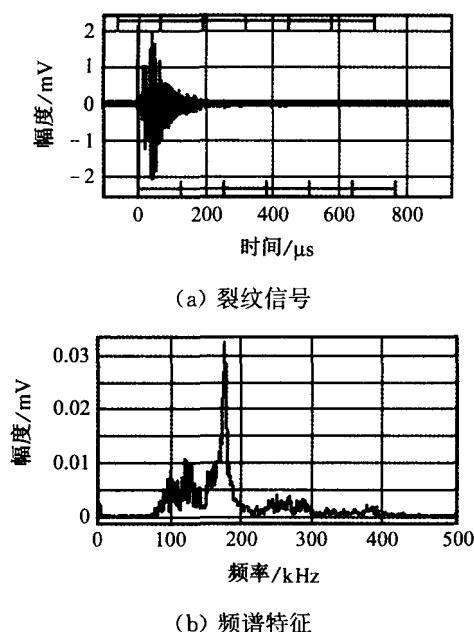


图5 声发射检测发现的裂纹及其谱特征

声发射信号的分析 and 模式识别可以参考文献[4—7]。但要注意的时,在声发射波形分析时,当出现泄漏等连续信号,应在现场确认连续信号是由干扰引起还是储罐本身出现的信号。因为连续信号有时会阻塞声发射通道,信号的个数减少,定位个数也会很少,引起信号分析的误判,从而将泄漏的储罐误认为是状况较好的储罐。

4 应用实例

中石化某分公司四台大型原油储罐已经投用7年时间。根据中石化集团公司的有关管理规定,常压储罐3~6年需要进行一次全面检验。为了全面掌握大型原油储罐的腐蚀状况和使用安全性,中国特种设备检测研究院对这4台10万 m^3 原油储罐(编号9901—9904)进行了安全状况评价。结合API 653要求的检验方法^[8],查找原油储罐的腐蚀

缺陷并对缺陷进行“合于使用”评定。在不开罐的情况下,实现了大型原油储罐的检验和安全使用状况评价,并以此为依据确定储罐的检验周期和检修计划,为大型原油储罐的安全运行及炼油厂加工原油的正常供给提供保障。

如前所述,介质的腐蚀过程、腐蚀产物的剥落过程、减薄区域在高液位作用下的变形和能量释放、介质泄漏都是声发射信号产生的机制。一台储罐当采用如前所述的信号分析手段,将噪声信号排除后,所获得的声发射信号都是有意义的。简单地从声发射信号的多少(撞击数和多种定位分析)都能对储罐的声发射信号的活动性进行分类,所以对同样制造条件和使用条件下的4台10万 m^3 原油储罐的底板状况分级是非常有意义的。当然进行安全状况综合评价的时候,不仅要考虑声发射对储罐底板腐蚀状况的分级,还要考虑整个罐体的宏观检验、罐壁和罐顶的超声波测厚结果。如果要进一步分级,还应考虑介质、失效模式、内部涂层、加热盘管、阴极保护和土壤电阻率等对储罐完整性的影响,从而最终对储罐进行量化分级和管理,并采用针对性的检验方法和检验策略。

通过检测得到,9903号储罐底板的腐蚀状况较其它储罐略严重,其后依次是9904号储罐,9902号储罐和9901号储罐。4台储罐从宏观检查和超声测厚结果来看,壁板和顶板的腐蚀减薄状况未见异常,因而底板的声发射评价在整个储罐安全状况综合评价中占主要位置。底板的腐蚀状况为:全面腐蚀程度在4台储罐中均较轻微,9903和9904罐有一定程度的局部腐蚀,在日常巡视中,注意有无异常现象出现。下次开罐检测时,对四台储罐进行对比验证。

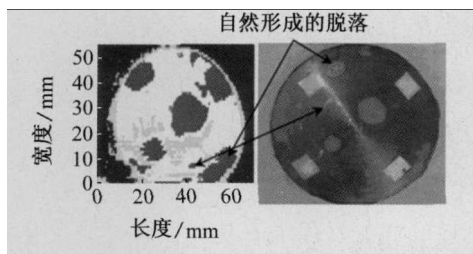
5 结语

声发射检测技术是常压储罐在线检测和质量分级的重要手段,但由于声发射信号传播路径的不确定,因而其声速的选择不唯一,因此从定位上分析检测结果需要考虑传播因素。分析每个通道单位时间的撞击数来判断储罐底板的腐蚀状况,尤其对同一罐区内的多个储罐的质量分级和开罐优先次序的确定更具有实际意义。

参考文献:

- [1] RD-08-95-95 Regulations for the System of Technical
(下转第285页)

脱粘缺陷。钢/铅粘接试样的水浸透射 C 扫描成像检测结果如图 3 所示。从图中可以清楚地看到两个圆形的脱粘缺陷,以及在周边存在的粘接不良。



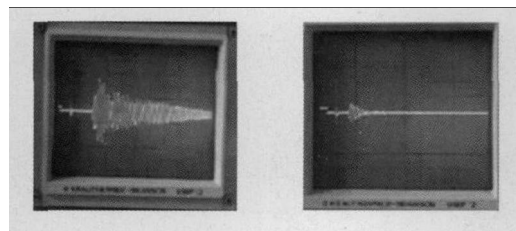
(a) 水浸透射成像图 (b) 破坏界面实物图
图 3 水浸透射成像与实物图

完成了对粘接试样的检测后,对试样进行了破坏,其粘接界面状况如图 3(b)所示。界面胶层中除了预置的 $\phi 12$ mm 和 $\phi 6$ mm 的聚酯膜片制作的脱粘缺陷,以及周围分布的四个铜片制作的脱粘缺陷外,还有一些粘接过程中产生的脱粘缺陷。对比超声透射成像检测结果及解剖的实物照片,可以看出,除了因为夹持装置的影响导致下部的铜片检测图像与实物大小和形状有部分偏差外,水浸超声透射法成像检测结果和粘接界面的实际情况基本一致,较大的自然脱粘缺陷也被检测出来了。检测结果比较准确地反映了粘接界面的脱粘缺陷分布情况。该检测方法能够有效检测出两层钢/铅粘接试样中的最小为 $\phi 6$ mm 脱粘缺陷。

3.3 接触式纵波透射法检测

由于金属壳体粘接结构形状为具有一定曲率的弧面,采用水浸检测存在困难,因此采用纵波直探头直接接触透射法检测。为提高探头与检测面的耦合,需要加工和金属壳体曲面完全耦合的曲面探头。该方法具有如下优点:工件中不存在盲区,适宜检测

薄壁件;并且透射法中超声波是单声程传播,适宜检测高衰减材料。通过缺陷标样与涂胶区的透射波形对比,可以判断胶液分布是否均匀,检测结果见图 4。检测结果表明,粘接良好区与脱粘区的超声透射波形信号幅值相差非常明显,加压破坏试验结果和检测结果一致。



(a) 粘接良好 (b) 存在脱粘
图 4 纵波透射法检测效果

理论分析和检测试验表明,超声透射法和纵波多次反射法均能有效地检测出钢铅粘接结构中存在的脱粘缺陷。超声透射法可以用于评估金属粘接壳体结构中 $\phi 6$ mm 以上的空气脱粘缺陷。

参考文献:

- [1] 陈金根. 固体火箭发动机喷管复合结构胶接质量的声振检测[C]// 全国无损检测新技术会议论文集, [s. l.]:[s. n.], 1990.
- [2] 付宗周. 胶接质量的声学无损检测方法评价[C]// 第七届无损检测专业委员会论文集, [s. l.]:[s. n.], 2000.
- [3] 陈积懋. 声学无损检测技术[J]. 中国工程科学, 2000, 2(4): 64-69.
- [4] 陈钰. 材料内部脱粘的红外无损检测[J]. 红外技术, 2001, 23(3): 39-42.
- [5] 陈金龙, 孙晨光, 秦玉文, 等. 复合材料粘接质量检测的错位散斑技术[J]. 宇航学报, 2004, 25(3): 323-326.

(上接第 259 页)

- [1] Diagnostics of Welded Vertical Tanks for Oil and Oil Derivatives[S].
- [2] Flower T J. Chemical industry applications of acoustic emission[J]. Materials Evaluation, 1992(7): 875-882.
- [3] “十五”国家重点科技攻关课题(2001BA803B03-03). 压力容器在线检测关键技术研究及埋地燃气压力管道泄漏监测技术预研究. 中国特种设备检测研究中心等, 2001. 1~2004. 05

- [4] 李光海, 刘时风. 基于信号分析的声发射源定位技术[J]. 机械工程学报, 2004, 40(7): 136-140.
- [5] 李光海. 声发射源识别技术的研究[J]. 无损检测, 2003, 25(4): 171-175.
- [6] 李光海. 声发射信号分析及进展[C]// 第十届全国声发射学术会议. 大庆, [s. n.]: 2004: 52-61
- [7] 李光海, 刘时风, 耿荣生, 等. 声发射源特征识别的最新方法[J]. 无损检测, 2002, 24(12): 534.
- [8] API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction[S].