

试验研究

多层包扎压力容器的声发射检验和安全评定

沈功田 万耀光 刘时凤 段庆儒 李邦宪

张家骏[✓]

TH49

(劳动部锅炉压力容器检测研究中心 100027)

(清华大学机械系 100084)

TB3025

A 摘要 介绍了多层包扎压力容器的声发射检验和安全评定方法及14台氢氮气储罐的声发射检验和安全评定结果。结果证明多层容器第二次升压过程中呈现单层容器一样的弹性特征。

主题词 声发射检测 压力容器 多层包扎式压力容器 安全评定

ACOUSTIC EMISSION TEST AND SAFETY EVALUATION OF MULTILAYER-WRAPPED PRESSURE VESSELS

Shen Gongtian Wan Yaoguang Liu Shifeng Duan Qingru Li Bangxian

(Center of Boiler and Pressure Vessel Inspection and Research, the Ministry of Labour)

Zhang Jiajun

(Mechanics Department of Qinghua University)

Abstract Acoustic emission (AE) test and safety evaluation technique of multilayer-wrapped pressure vessels (MWPV) and the testing and evaluating results of fourteen MWPV are described. AE test results show that MWPV has the same elastic behaviours as single layer vessel during second pressurization.

多层包扎式厚壁圆筒压力容器是现在世界上使用最多的高压容器筒体结构形式之一^[1,2]。由于其制造条件要求低、韧性好、脆性破坏的可能性小和安全性比较高等优点,在国内得到大量生产和应用,自1958年以来,一直是我国生产高压容器筒体的一种主要结构形式。氢氮气储罐就是在我国得到广泛使用的多层包扎式高压容器之一。然而,由于多层包扎容器的结构特点,给在用期间的定期检验带来一定的困难,一般常规无损探伤方法无法对其进行全面检验和安全评定。

声发射技术目前已发展成为金属压力容器检测和安全评定的重要无损检测方法之一,由于它是在容器受载的过程中进行动态整体监测,所以特别适合那些无法进行内部检验和焊缝中存在大量超标缺陷的压力容器的检验和安全评定。它在单层金属压力容器和复合材料压力容器上的应用已非常成功^[3,4]。对于多层包扎式压力容器,一般认为由于升压过程中层板间的摩擦会产生大量的声发射信号,从而湮没了真正缺陷产生的声发射信号,采用声发射检验方法无法对其进行有效的检验,因此到目前为止国内外没有看到有关进行多层包扎压力容器声发射试验的报道。本文根据多层包扎压力容器的结构和受载后的强度特点,采用两次升压和多次保压的方法对14台多层包扎式筒体结构的氢氮气储罐

进行了声发射试验,结果表明声发射技术是适合于多层包扎式压力容器整体检验和安全评定的一个较好的方法。

1 检验设备及检验步骤

1.1 容器的基本概况

1.1.1 容器的原始设计参数

设计压力:14.7MPa;工作压力:13MPa;设计温度:常温;工作介质:氮气;材质:16MnR SM53C(日本);壁厚:19+3×6=37mm。

1.1.2 容器的几何结构形状

该储罐筒体长8000mm,外径550mm,筒体为5节1600mm长的多层包扎筒节焊接而成,内筒壁厚19mm,外面包扎了3层壁厚为6mm的层板,封头为内径480mm厚36mm的球形封头,仅在上下封头上开有进气、出气及安全阀和压力表连接孔,因此无法进行内表面检验和射线探伤。

1.1.3 容器的使用历史和现状

该批容器制造于1977年,水压试验压力为16.25MPa,然后以13MPa的工作压力于1984年投入使用,1991年进行第一次全面检验时,经磁粉探伤发现部分环焊缝的外表面存在一些类似于表面裂纹性质的缺陷,经打磨后消除,超声波抽查部分焊缝未发现超标缺陷,但由于是多层压力容器,其安全等

级被评定为N级,工作压力降至9MPa 监控使用,并限期报废。但从该批设备制造和使用的状况及强度校核的结果来看,还有一定的使用价值,本次检验根据用户的需要在11MPa 的工作压力下采用声发射技术进行容器的安全评定。

1.2 声发射检测系统及探头布置状态

检验所用声发射仪为美国 PAC 公司生产的 SPARTAN AT 16 通道声发射检测分析系统,检测用软件为 SA-LOC 和 SA-CLUST 高级智能检测软件。总共 12 个探头分 6 排呈 90°交叉布置在储罐外表面的 6 条环焊缝附近,对储罐的筒体进行整体监测,探头之间以三角阵列进行声发射源定位,由图 1~3 可看到探头在计算机屏幕上显示的定位阵列图。每排探头间的环向距离为 0.86m,相邻两排探

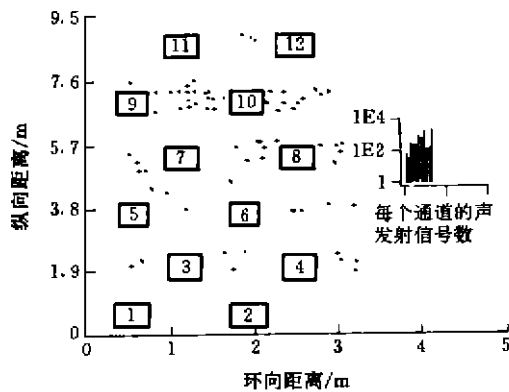


图 1 3号罐第一次11→13.8MPa 升压声发射信号及声发射定位源分布图

声发射信号数:6 533 声发射定位源数:101
 声发射信号振铃总计数:1 287 390
 声发射信号能量总计数:1 707 500

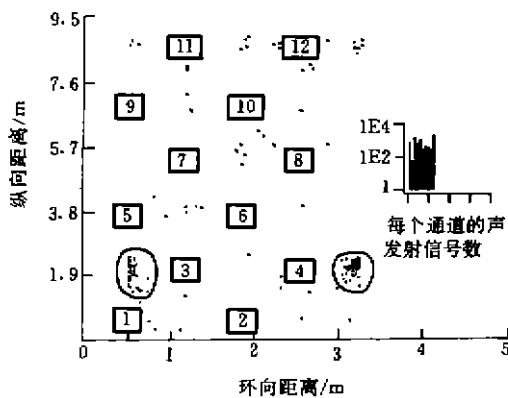


图 2 10号罐第一次11→13.8MPa 升压声发射信号及声发射定位源分布图

声发射信号数:11 340 声发射定位源数:270
 声发射信号振铃总计数:212 407
 声发射信号能量总计数:364 272

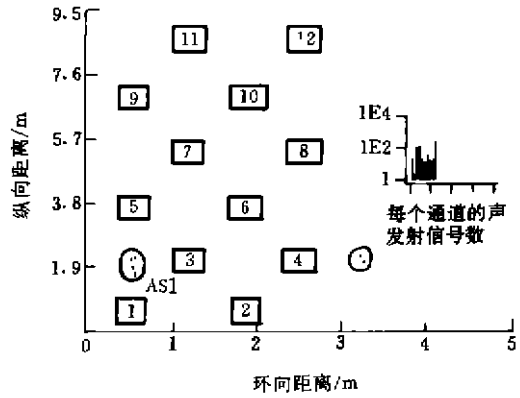


图 3 10号罐第二次11→13.8MPa 升压声发射信号及声发射定位源分布图

声发射信号数:630 声发射定位源数:14
 声发射信号振铃总计数:6 300
 声发射信号能量总计数:13 721

头间的斜线距离为 1.8m。

1.3 声发射检测系统状态设置及探头灵敏度和信号衰减标定

声发射探头为美国 PAC R15 I 前置放大器内置共振型探头,探头主响应频率 150kHz,前置放大器滤波器带通为 100~300kHz,前放增益为 40dB。12 个探头安装在气瓶上后实测系统背景噪声小于 35dB,主机增益设置为 25dB,门槛电平设置为 45dB。以 HBφ0.5mm 铅芯折断为模拟声发射信号,对 12 个探头进行灵敏度标定,测得平均幅度为 85dB,最大为 88dB,最小为 82dB。对该气瓶进行声发射信号衰减测量,当模拟源距离为 0.1、0.8、1.6、2.4、3.2、4.0m 时相应的平均幅度测量结果为 87、74、60、53、46、45dB。

1.4 水压试验加压程序

本次检验工作压力定为 11MPa,因此水压试验最高压力为 13.8MPa,压力试验按两次升压多次保压进行,升压曲线如图 4 所示,考虑到容器的 Kaiser 效应,第二次升压最高压力为 13.6MPa。

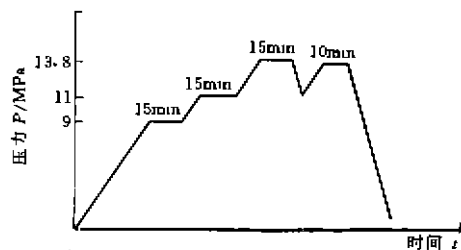


图 4 声发射检验水压试验升压曲线

1 (2004) - - * 2

2 检验结果及分析

2.1 多层包扎式压力容器水压试验声发射信号的特征

与单层金属压力容器相比,多层包扎压力容器在第一次升压过程中声发射信号要丰富得多,而且信号的幅度和能量等参数都较大;对于声发射定位源,一部分容器表现为在整个容器筒体上产生分散分布的声发射定位源信号,如图1所示,另一部分容器除筒体上有分散分布的定位源外,在几处环焊缝部位出现大量声发射定位源形成的集团,如图2所示。

降压后第二次11→13.6MPa的升压过程中,所有容器声发射信号大量减少,满足Kaiser效应,具有单层容器的特征。对于在第一次升压和保压过程中无声发射定位源集团出现的一部分容器,第二次升压时全面满足Kaiser效应,几乎无定位源信号出现。对于在第一次升压和保压过程中出现声发射定位源集团的一部分容器,第二次升压时一些容器全面满足Kaiser效应,另一些容器不能全面满足Kaiser效应,在某些定位源集团部位又出现定位源信号,如图3中的AS1部位所示,一般认为这种源为活性声发射源。

2.2 声发射源的分类和级别评定方法

按声发射定位源在升压和保压的不同阶段出现的次数,先将声发射定位源分为强活性、活性、弱活性和非活性声发射定位源,然后再按声发射定位源信号的幅度和能量大小,将其分为高强度、强度和低强度声发射源,最终即可将所有的声发射定位源分为如表1所示的12种类型6个级别。一般认为D、E、F三级为危险的声发射源,C级源如仅在第一次升压过程中出现则认为是非危险,如在容器的第二次加压过程中出现,则认为是危险的声发射源,A、B级声发射源被认为是安全的。危险的声发射定位源需要进行常规无损检测方法复验,非危险的定位源不需进行处理。

表1 声发射源的分类和级别评定

	强活性	活性	弱活性	非活性
高强度	F	E	D	C
强度	E	D	C	B
弱强度	D	C	B	A

非定位声发射信号的声发射源分类为A或B级

2.3 容器的检验结果和声发射特征分类

对于多层包扎压力容器,声发射信号的强度按信号的幅度划分为:弱强度<60dB,强度60~80dB,

高强度>80dB;声发射定位源的活性按不同升压保压阶段出现的次数划分为:非活性1次,弱活性2~5次,活性6~30次,强活性>30次。根据这些氮气储罐在两次升压保压不同阶段出现声发射信号强度和声发射定位源活性的特征,可将这14台容器的声发射特征归为四类:

(1) 第一次升压定位源信号分布较均匀,无成团现象,第一次保压定位源信号较少,声发射信号幅度<80dB;第二次升压和保压无定位源信号或者仅出现几个随机定位源信号,声发射信号幅度<60dB这类储罐出现的声发射定位源都为A和B级源。

(2) 第一次升压定位源信号除分散的定位源外还有定位源集团出现,第一次升压的各保压阶段,在定位源集团部位出现声发射定位源信号,绝大部分声发射信号幅度<80dB;第二次升压和保压阶段无定位源信号或者在非定位源集团部位仅出现几个随机定位源信号,声发射信号幅度<60dB;这类储罐出现的分散声发射定位源属于A和B级源,而定位源集团部位的定位源属于C级。

(3) 第一次升压保压阶段定位源信号较多,且出现密集的声发射定位源集团,大部分声发射信号幅度<80dB;第二次升压和保压阶段在上述定位源集团部位有少量的定位源信号出现,声发射信号幅度<80dB;这类声发射定位源属于D级源。

(4) 第一次升压保压阶段定位源信号很多,且出现密集的声发射定位源集团,部分声发射信号幅度>80dB;第二次升压和保压阶段在上述定位源集团部位仍出现大量的声发射定位源信号,声发射信号幅度<80dB;此类为E级声发射源。

根据上述分析,14台氮气储罐的声发射检验结果列于表2。按照“压力容器声发射检测与结果评价标准草案”,A、B类源为非活性低强度或强度声发射定位源,对容器无任何危险,不需进行复验;C类源虽不对容器的安全构成危害,但需记录下来备下次检验参考;D、E类源为有意义的声发射源,需进行常规无损检测复验和安全评定。

2.4 D、E级声发射源外表面检验结果及分析

由于这些气瓶为多层包扎压力容器,因此无法进行超声波探伤复验;另外这些气瓶的进气出气口的接管尺寸太小,仅为20mm,也无法进行γ射线探伤复验,因此只能进行外表面宏观检查和磁粉检验。通过对D、E类源进行外表面宏观检查,发现许多源部位环焊缝的错边量都较大,通过对其外表面进行磁粉探伤发现4号罐的H5环焊缝上D级声发射源部位有一条长为10mm、深为5mm的表面裂纹,在10号罐的H2环焊缝上D级声发射源部位发现一

表 2 14 台氮气储罐的声发射检验结果

容器编号	声发射源级别	危险声发射源数量	危险声发射部位	声发射特征分类
1	A, B, C, D.	1D	H3	(3)
2	A, B, E.	1E	H5	(4)
3	A, B.	无		(1)
4	A, B, C, D.	2D	H4 H5	(3)
5	A, B, C.	无		(2)
6	A, B, C.	无		(2)
7	A, B, C, D.	2D	H5 H6	(3)
8	A, B, C.	无		(2)
9	A, B, C.	无		(2)
10	A, B, C, D.	1D	H2	(3)
11	A, B.	无		(1)
12	A, B.	无		(1)
13	A, B.	无		(1)
14	A, B.	无		(1)

H——环焊缝

处长为 3mm 的小表面裂纹。另外,水压试验声发射检验后,对储罐进行的 100% 外表面焊缝磁粉探伤没有发现其它部位有表面裂纹。由此说明 D、E 类声发射源部位存在严重的应力集中,在这些部位很易产生裂纹性质的缺陷。

3 容器的综合分析及安全评定

3.1 声发射检验结果的综合分析

声发射的检验结果表明,所有受检氮气储罐在第一次升压保压过程中都有较丰富的声发射信号,而在卸压以后重新升压至第一次升压数值以下,有很少的声发射信号出现,呈现出单层容器一样的特征,这一结果与多层压力容器的强度特点一致,也是对这种容器强度特点的有力证明。

第一次升压和保压过程中出现的遍布筒体分散的声发射定位源信号,是由于升压过程中层板间相互协调变形不一致使层板间的摩擦引起的。这一过程出现在环焊缝部位的声发射定位源集团是由于制造过程中引起层板间出现的间隙引起局部应力集中和塑性变形引起的,当然由于这些部位应力集中较大,也有产生裂纹性质缺陷的可能,部分信号也许是由裂纹的开裂和扩展引起的。

卸压后的第二次升压和保压过程中,由于多层容器层板间的相互变形一致,表现出单层容器一样的弹性特征,因此层板之间将不再产生摩擦信号,也即不会出现遍布筒体分散的声发射定位源。对于部

分存在层板间间隙的部位,如在第一次升压过程中变形充分,或者该部位存在的裂纹性质的缺陷尖端完全钝化,第二次升压时这些部位不会再次出现声发射定位源信号;另一部分存在层板间间隙的部位,如在第一次升压过程中变形不充分或者该部位存在较大的裂纹性质的缺陷,在卸压后第二次升压和保压过程中,在第一次出现声发射定位源集团的部位会再次出现声发射定位源信号,严重时会出现大量的声发射定位源信号形成声发射定位源集团,这种情况被认为是具有潜在危险的声发射定位源。

3.2 容器的综合安全评定

基于多层包扎压力容器的强度特点、破坏特性和声发射特征,我们认为对多层包扎压力容器进行声发射检验和对危险声发射源进行外表面复验,在很大程度上可以保证它们的安全运行。按照“在用压力容器检验规程”,根据声发射检验结果,将这 14 台氮气储罐评定的安全等级和处理结论列于表 3。

表 3 14 台氮气储罐综合评定的安全等级和处理结论

安全等级	声发射特征种类	容器编号	结论
Ⅰ	(1) (2)	3 5 6 8 9	11MPa 工作压力下使用 11 12 13 14 6a(年)到下一个检验周期
		11 12 13 14	
Ⅳ	(3)	1 4 7 10	11MPa 工作压力监控使用 3a 内再次作声发射检验
Ⅴ	(4)	2	降压使用或报废

4 结论

声发射检测结果再次证明了多层容器第二次升压过程中呈现单层容器一样的弹性特征;通过两次升压保压过程的动态监测,声发射检验十分直观地给出了容器的安全状况,并有效地显现了容器上存在的潜在危险源;通过 14 台氮气储罐的试验结果证明,多通道声发射技术是适合于多层包扎压力容器定期检验和安全评定的一种切实可行的新方法。

5 参考文献

- 余国琮主编. 化工容器及设备. 化学工业出版社, 1980. 56—57
- 朱秋尔主编. 化工设备设计全书(高压容器设计). 上海科学出版社, 1986. 137—142
- 沈功田等. 无损检测, 1992, 14(3): 65—68
- Liu Shifeng et al. Int J Pres & Piping, 1989, 38: 57—67

收稿日期: 1995 年 8 月