

# 层板包扎高压容器声发射检测试验研究及应用

曹怀祥, 祝卫国, 宋明大, 袁涛, 王春茂

(山东省特种设备检验研究院 山东济南 250013)

**摘要:** 本文通过声发射检测技术对 3 台层板包扎高压容器进行的试验研究及解剖对比, 研究了层板包扎高压容器声发射检测技术工艺, 并建立了检测结果评价准则。该方法应用于检测国内 80 余台尿素合成塔, 发现了大量裂纹类缺陷, 验证了层板包扎结构尿素合成声发射检测技术的有效性。

**关键词:** 层板包扎; 压力容器; 声发射; 试验研究

Experimental investigation and application of acoustic emission on multilayer wrapped high-pressure vessels

Chao Huaixiang, Zhu Weiguo, Song Mingda, Yuan Tao, Wang Chunmao

(Shandong Special Equipment Inspection & Research Academy, Jinan Shandong, 250013)

**Abstract:** Through experimental investigation and destructive comparison for three multilayer wrapped high-pressure vessels using acoustic emission method, an acoustic emission testing technology of multilayer wrapped pressure vessels is studied and the evaluation criterion of testing results is established. The method is applied to 80 urea reactors and many crack flaws are founded. These applications show that acoustic emission testing technology of multilayer wrapped urea reactors is effective.

**Keywords:** multilayer wrap; pressure vessel; acoustic emission; experimental investigation

## 0 前言

声发射检测技术可在容器受载过程中进行动态整体检测, 其实用性强, 检测灵敏度高, 目前, 在金属压力容器检验及安全评定中, 已成为一种重要的无损检测方法, 尤其是在单层金属压力容器和复合材料压力容器的检验中已成功应用, 并有相关的检测标准。目前在用的层板包扎高压容器, 多采用包扎筒节对焊形式, 深环焊缝的检测成为难点<sup>[1-3]</sup>。而声发射技术本身的特点, 可以弥补其他检测方法的不足, 国内外也已开展了相关研究<sup>[4-7]</sup>。

但由于层板包扎高压容器的特殊结构, 升压过程中层板摩擦噪声信号较多、内层层板发出的信号不易收集、声发射源定位不精确等原因, 其信号的识别、评定与单层金属容器不同, 声发射检测技术在层板包扎高压容器中的应用受到限制。

我们通过对 1 台层板包扎结构氨合成塔和 2 台层板包扎结构尿素合成塔的声发射检测技术试验, 对层板包扎高压容器的声发射检测技术方法、声发射信号的识别与评定、声发射源定位等检测工艺进行了研究。通过对上述 3 台层板包扎高压容器的解剖对比, 建立了层板包扎高压容器声发射检测结果的评价准则。自 2005 年至今, 经过在国内 80 余台尿素合成塔上的检测应用, 发现大量裂纹类严重缺陷, 证明了层板包扎结构尿素合成声发射检测技术的有效性。

## 1 层板包扎高压容器声发射检测技术试验

我院共对 1 台废旧的层板包扎结构氨合成塔、2 台报废尿素合成塔进行了检测试验, 3 台设备的基本情况如表 1。

表 1 3 台实验设备的基本情况

名称	结构形式	介质	规格	主体材质	设计压力	设计温度
氨合成塔	层板包扎	N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /NH <sub>3</sub>	φ1010×15560	15MnVR/20MnMoNb	32	200℃
尿素合成塔 1	层板包扎	NH <sub>3</sub> 、CO <sub>2</sub> 、 甲铵液、尿液	φ1200×22654	15MnVRc/19Mn6 20MnMo X2CrNiMo18143Mod	21.57	190℃
尿素合成塔 2	层板包扎	NH <sub>3</sub> 、CO <sub>2</sub> 、 甲铵液、尿液	φ1200×19115	15MnVRc/19Mn6 20MnMo X2CrNiMo18143Mod	21.57	190℃

### 1.1 声发射检测仪器参数及换能器的布置方式

仪器采用美国物理声学公司 (PAC) 生产的 DISP 型 32 通道声发射仪, 换能器型号 PAC R15, 其中心共振频率为 150KHz。采用磁座固定方式, 前置放大器为 1220A 型, 滤波器带通为 100-300kHz。

### 1.2 声发射信号传播速度的测量

声发射检测中, 声发射信号的传播速度是检测软件设置的关键参数之一, 传播速度设定值对于声发射信号的精确定位有很大影响。单层压力容器声发射检测过程, 一般通过实验前发射模拟信号, 测量实际声速的方式。而层板包扎结构声发射检测实际应用中, 很难做到这一点。因此, 必须首先通过实验的方式来总结。

通过 3 台层板包扎结构容器声发射检测试验发现, 层板包扎结构容器的第一、二层层板的声发射激励信号传播速度变动没有呈现规律性, 信号定位误差较大, 而内层结构声发射激励信号定位误差相对较小。因此确定检测声速设定以内层结构激励、最外层深环焊缝布置接收探头所测得的声速为准。通过实验测定了比较理想的声速值。

### 1.3 换能器的布置

为了提高缺陷检测的灵敏度和定位的可靠性, 将声发射换能器布置在尿素合成塔外侧深环焊缝, 每圈均匀布置 3 个传感器, 相邻上下两圈环缝上的换能器互相错开 60°成三角形阵列, 这样既可通过线定位重点监测环焊缝又可以通过三角形定位监测筒体部分。

### 1.4 加压过程

声发射检测一般采用两个循环的加压过程, 如图 1 所示。目前普遍认为第一循环加载主要是为了消除大量的干扰信号, 两个循环的加压方式有利于获取活性缺陷声发射信号<sup>[8]</sup>。试验中, 我们采用高压清洗泵进行加压, 试验介质采用脱盐水。为了克服摩擦信号的影响, 3 次试验以多循环加压为基础, 根据试验目的采取了不同的加压过程。实验中, 加压速度小于 0.5MPa/min。

三次实验中, 因容器前期使用工况差别较大, 实际实验中, 根据试验目标的不同, 对试验加载过程作了具体调整。在做好安全防护的前提下, 适当提高了最高试验压力。

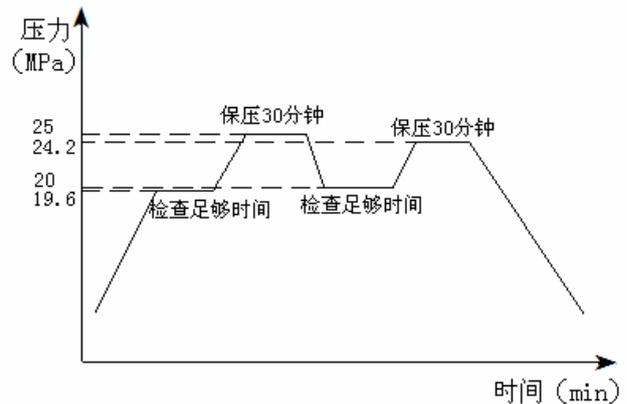


图 1 加压程序图

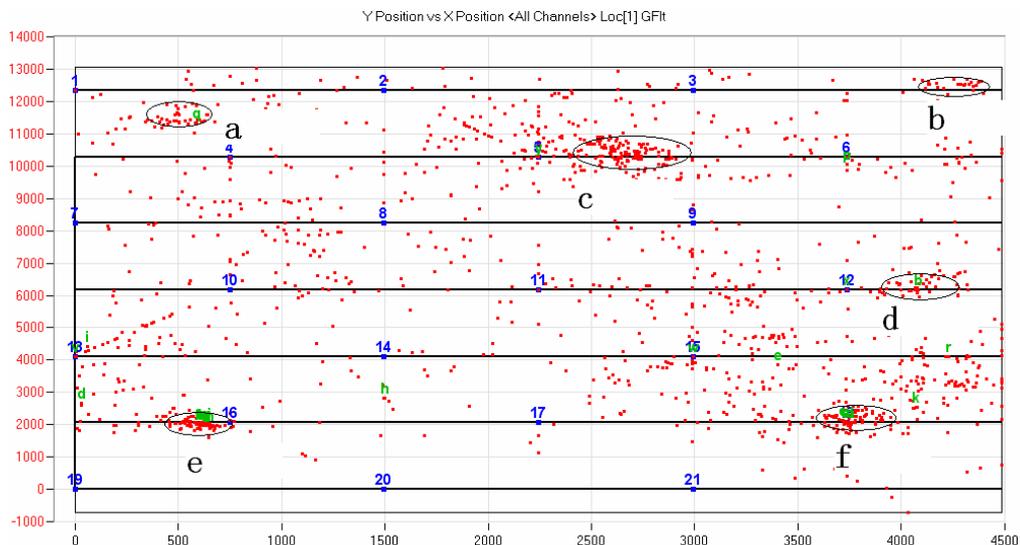


图 2 第 3 台层板包扎容器声发射检测定位图

## 2 检测试验数据分析及解剖对比分析

以第 3 台层板包扎容器声发射检测试验为例, 来说明试验过程。声发射检测过程中收集到的数据非常丰富, 现场试验后, 对搜集到的数据进行了分析。主要通过能量、幅度、持续时间等选择方式, 最大限度地滤掉杂散的层板摩擦信号、外界干扰信号, 获得有效声发射信号, 如图 2。

经过判断, 此次试验共确定有效声发射源 6 处, 幅度值均超过 60dB, 活动性见表 2。

表 2 第 3 台层板包扎容器声发射检测信号活动性表

编 号	第一次升压	第一次保压	第二次升压	第二次保压	活 度	
a	○	×	○	×	弱活性	
b	○	×	×	×	非活性	
c	○	×	○	×	弱活性	
d	○	×	×	×	非活性	
e	○	○	○	×	活性	
f	○	×	○	×	弱活性	
编 号	a	b	c	d	e	f
综合等级	B	A	B	A	D	B

试验前, 按照前 2 台层板包扎容器声发射检测数据及解剖实验结果, 编制了声发射源评定准则。依据该准则, 对本次试验确定的 6 处声发射源进行了评定, 见表 2。为验证该评定方法在多层包扎容器实际检测应用中的可行性和准确性, 对六处声发射源进行了复验。由表面探伤发现, c 处为表面裂纹, 裂纹长度为 60mm, 其余五处未发现表面缺陷。由于设备壁厚较大, 射线检测的检出率较低, 所以直接采取解剖的方法对其他部位进行解剖。解剖结果: a 处未发现可见缺陷, 怀疑为盲板层点焊开裂所致, b 处未发现可见缺陷, d 处发现一条长度为 40mm 的夹渣, e、f 部位各发现一条裂纹, 长度分别为 56mm, 45mm。

## 3 应用情况

运用该检验技术, 我院 2005 年来共对 80 余台层板包扎结构尿素合成塔进行了检验。发现 38 台尿素合成塔存在表面裂纹和深环焊缝内部埋藏裂纹。其中: 6 台尿素合成塔经检验发现无法保证安全使用, 且已不具备修理价值, 予以报废; 6 台经修理后复验合格, 允许继续投用; 4 台尿素合成塔经检验安全状况定为 4 级, 监控使用。

综合检验情况, 我们发现: (1) 在内外表面无任何缺陷的情况下, 发现多处以层板根部为裂纹源的裂纹, 并已扩展到深环焊缝内部; (2) 近半数尿素合成塔外表面、深环焊缝内部和内部层板中不同程度地存在裂纹等超标缺陷。

例如: 某化肥厂 2 号尿素合成塔塔, 常规方法外部检验时未发现有裂纹等超标缺陷存在, 声发射技术检测发现强活性缺陷 3 处 (见图 3)。使用超声相控阵对声发射源部位进行了复验, 发现深环焊缝部位存在埋藏缺陷显示 (图 4)。对经超声相控阵复验过的声发射源部位再使用  $\gamma$  射线 (Co60) 进行了复验, 确认为内部存

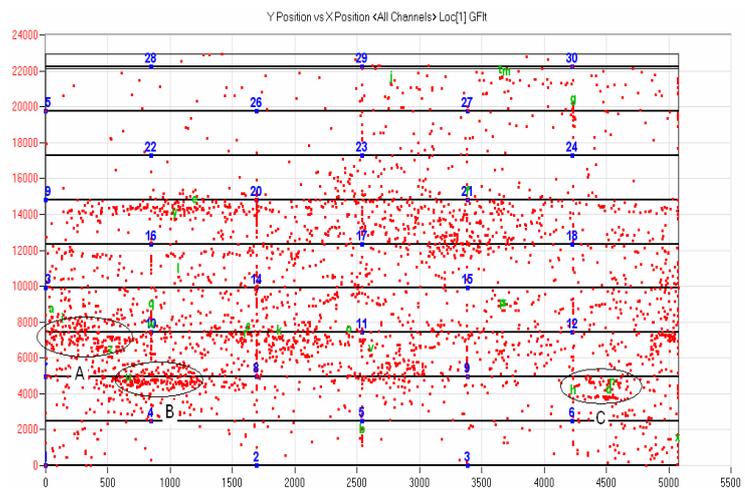


图 3 声发射源定位图

在埋藏裂纹（图 5）。该塔已作报废处理。

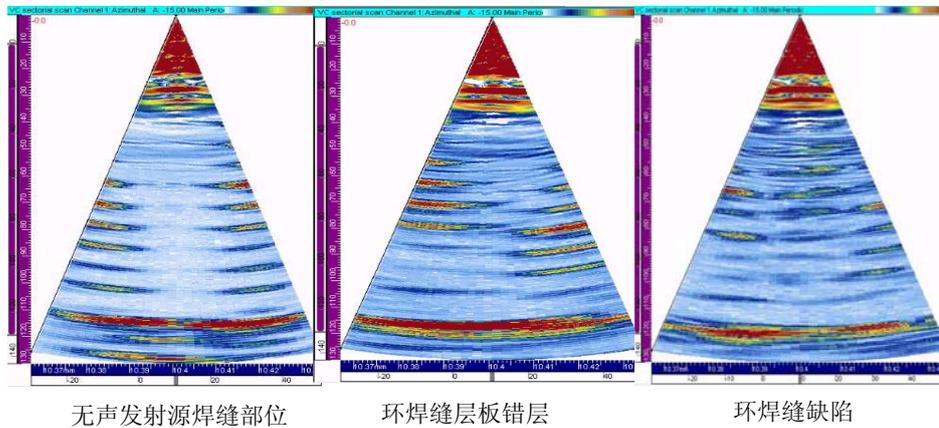


图 4 超声相控阵



图 5 声发射源部位  $\gamma$  射线复验检测效果

## 4 结论

综合 3 层层板包扎容器声发射检测结果与其他无损检测结果、解剖实验及过对比，以及后续检测实践情况，可以得出以下结论：

- (1) 对于多层包扎容器，本试验编制的评定准则有效。
- (2) 依据试验编制的评定准则，对于活性较低的 B、C 级声发射源有时也需进行复验。
- (3) 外层板裂纹缺陷的声发射检出率较低。
- (4) 深环焊缝表面裂纹的声发射检出率与裂纹尺寸有关，裂纹尺寸较小则检出率较低。
- (5) 声发射对焊缝内部缺陷具有较高的检测灵敏性。

## 参 考 文 献

- (1) NICOLAS R W. Developments in pressure vessel technology inspection and testing[M]. London : Elsevier Applied Science, 1979.
- (2) BEREZOVSKII L B, DMITRIEV A A. Ultrasonic inspection of weld seams in multilayer strip wound pressure vessels [ J ]. Chemical and Petroleum Engineering, 1966, 2 ( 7 ) :457-458.
- (3) SHEN Gong tian, WAN Yao guang, LIU Shi feng, et al. Acoustic emission test and safety evaluation of multilayer wrapped pressure vessels[J]. Nondestructive Testing, 1997, 19 ( 3 ) :67-70.
- (4) 戴光, 李伟. 多层包扎式尿素合成塔的声发射检测与评定[J]. 压力容器, 2001, 18 ( 3 ) :75-77.
- (5) 姜秀海, 杨熙. 多层包扎式尿素合成塔的声发射局部检测与评定[J]. 石油和化工设备, 2008, 11(1). 32-34.
- (6) 蒋仕良, 多层包扎高压氢气储罐的声发射检测[J]. 无损探伤, 2000, 5 .19-23.
- (7) 沈功田, 张家骏, 多层包扎压力容器的声发射检验和安全评定[J]. 无损检测, 1997, 19 ( 3 ), 67-70.
- (8) 蒋仕良, 沈功田, 压力容器无损检测——多层包扎与带内衬压力容器的无损检测技术[J]. 无损检测, 2005, 27 ( 5 ), 264-267, 273.

作者: 曹怀祥, 祝卫国, 宋明大, 袁涛, 王春茂  
作者单位: 山东省特种设备检验研究院山东济南250013

## 相似文献(4条)

### 1. 期刊论文 杨松祥. Yang Songxiang 多层筒体层板包扎相错角度的确定 -磷设计与粉体工程2001, "" (5)

厚板卷制的厚壁容器,其焊缝缺陷会导致容器破坏,多层包扎筒体可避免焊缝缺陷引起的容器破坏.简要介绍了两等分、三等分层板包扎时逐层相错角度的确定方法,提出了实际生产中相错角度的选用档次.指出当内筒纵焊缝数与层板等分数不相等时,相错角度须按其他方法计算、确定.

### 2. 会议论文 周海成 纤维缠绕复合材料气瓶的发展及其标准情况 2004

像压力容器一样,随着工业的发展、国民经济的需要和科学技术的进步,中低压容器一般以板焊结构为主,而高压容器则出现多种结构:单层结构有整体锻造式、锻焊式、厚板卷焊式、电渣重熔式;多层结构有层板包扎式、螺旋包扎式、热套式、整体包扎多层式;缠绕结构有绕丝式、绕板式、扁平钢带倾角错绕式和型槽绕带式.但这些结构都是指金属材料而言,单台压力容器重量根据容积大小和压力高低,最重的甚至可达数千吨.而高压气瓶过去制造和使用的主要是金属材料即钢质和铝质的,按制造方法有冲拔拉伸(E法)、管材收口(M法)以及冲压拉伸(C法)等.同样对气瓶来说,除了传统的钢、铝材料之外,随着材料科学和制造工艺技术的进步,由于气瓶为移动式容器,为了减轻气瓶的重量,同时又能承受较高的压力,也出现了在金属或非金属材料内胆上环缠绕和全缠绕纤维材料组合结构的缠绕气瓶,即复合材料气瓶.复合材料缠绕气瓶目前主要涉及呼吸器(如消防呼吸系统、登山、老人及病人吸氧、航空及航天系统用等)及车用压缩天然气燃料气瓶两大领域,也可用于某些压缩气体和液化气体及其混合物.现就纤维缠绕复合材料气瓶的发展及其标准的有关情况作一简要说明,介绍了纤维缠绕复合材料气瓶的发展,分析了缠绕气瓶的型式试验问题.

### 3. 会议论文 王威强. 李爱菊. 刘燕. 姚小静. 赵东. 陈中合 层板包扎氨合成塔的安全评定

采用超声波探伤、磁粉探伤、超声波测厚和现场硬度检测等常规无损检测方法对一上世纪70年代初制造的层板包扎氨合成塔进行了全面检验.采用现场光谱分析,明确了该塔内筒和层板的材质原始记录不统一问题,以确定塔体材质及其性能.采用声发射技术,对整体合成塔进行了检测,发现有多处超标缺陷,但未发现严重活性缺陷.在此基础上,根据该类型塔历史上的解剖记录、该塔的历次无损检测记录和材料性能原始试验纪录,合理设定塔中存在的缺陷尺寸和位置,并在有限元分析基础上获得了设定缺陷处的应力.通过断裂力学方法,对该塔进行了缺陷评定和寿命估算,认为该塔能够安全使用.

### 4. 会议论文 关键 尿素合成塔环焊缝裂纹事故分析 2006

@@我公司尿素生产采用水溶液全循环法,尿素合成塔(以下简称尿塔)是该工艺生产中的关键设备之一.此尿塔1997年制造安装,1998年10月正式投入运行,2002年9月停车检修时发现表面多处宏观裂纹,于是联系制造厂家进行了返修,返修后委托新疆维吾尔自治区锅炉压力容器质量安全检验研究所进行了全面检验,结果因无法达到质量要求而判废.1 尿塔概况 该塔设计压力21.57 Mpa,操作压力19.61Mpa,衬里设计温度190℃,壳体设计温度200℃.塔高28 748 mm,内径1 384 mm,容积41m3.塔体由11个筒节和上、下两个封头组成,上封头为20MnMo大型锻件,下封头为19Mn6厚板热冲压球形封头.筒体结构为层板包扎式,总厚度116 mm,除去不作强度计算的不锈钢内筒(8 mm厚)和盲层(6 mm厚)外,层板总厚度为102 mm.第一层板为16MnR,厚12mm,另15层板为6 mm厚的15MnVRc板.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_6840670.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6840670.aspx)

下载时间: 2010年5月27日