

# 声发射技术在在用压力容器检验中应用研究的必要性

刘源 王强 廖维真

克拉玛依石油化工厂设备研究所 834003

**摘要** 介绍了声发射技术的原理、发展情况、检验程序及其评定标准依据,并在此基础上提出了声发射技术在在用压力容器检验中应用研究的必要性。

**关键词** 声发射 压力容器 检验 应用研究

## 1 前言

克拉玛依石化厂目前拥有在用压力容器约 1000 台,这些容器中,有相当数量存在着各种先天性和后天性缺陷未能得到及时检验和处理。因此,寻找能够快速、经济、有效的在用压力容器检测评定方法是设备管理和检验人员的迫切愿望。

## 2 声发射检验技术的基本原理

材料内局部源迅速释放能量产生瞬态弹性波的现象称为声发射。金属中的声发射源主要为裂纹萌生和扩展、屈服和塑性变形、夹渣物的断裂和脱开等。声发射检验技术的基本原理就是利用藕合在材料表面上的压电陶瓷探头将材料内声发射源产生的弹性波转变为电信号,然后应用电子设备将这些电信号加以放大和处理使之特性化,并加以显示和记录,从而获得材料内声发射源的特征参数。通过分析检验过程中声发射仪器获得的声发射信号各种参数,可以知道材料内部的缺陷情况。如果用多通道声发射检测系统,还可以确定声发射源即缺陷的具体部位。声发射技术是一种动态无损检测方法,它区别于超声波、X 射线、涡流等其它无损检测技术。

声发射检测原理如图 1 所示。

## 3 国内外声发射技术进展情况

声发射技术作为压力容器的无损检测方法始于 60 年代。通过近 30 年的发展,目前在美国已成为成熟的无损检测手段。美国材料与试验学会(ASTM)和美国机械工程学会(ASME)已制定了一系列的声发射试验标准。据报道,美国 MANSANTO 化学工

业公司已应用声发射技术成功检验了几千台大型压力容器。该项工作在日本、意大利和澳大利亚等国家也开展应用得较多,并有成功的报道。

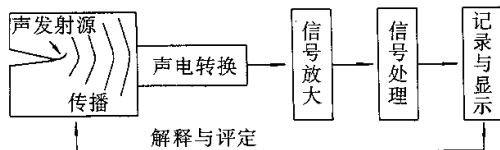


图 1 声发射检测原理图

我国于 70 年代初开始声发射技术的研究和应用工作,并在压力容器检验方面做了很多应用研究工作。但由于当时的声发射仪器不太完善以及其它影响因素,没有得到较成功的结果,使我国 70 年代末 80 年代初压力容器的声发射检验应用处于低潮。

1984 年起至今,劳动部锅炉压力容器检测研究中心进行了大量的声发射技术在压力容器检验中的应用研究项目,已检验的压力容器种类繁多,压力从 0.2MPa 到 150MPa,容积从 1m<sup>3</sup> 到 3300m<sup>3</sup>。这些检验工作为广大压力容器用户解决了很多生产过程中

收稿日期:1999-04-30

作者简介:刘源,1991 年毕业于兰州石油学校化工机械与设备专业。现任克拉玛依石油化工厂设备研究所容器室主任,从事锅炉压力容器安全技术研究工作,助理工程师。曾撰写发表了多篇科技论文,其中《声发射技术在压力容器检验中应用研究的必要性》等 3 篇获新疆机械工程学会压力容器学术年会科技论文一等奖;《压力管道失效问题分析与预防措施》等 3 篇获二等奖;《在用压力容器压力表的使用管理和检验》论文在首届新疆石油局设备研讨会上荣获三等奖。

的技术难题,为它们带来了巨大的经济效益和社会效益。

随着80年代后期我国声发射技术应用在压力容器检验方面的成功,国内近几年已先后有几十个单位购买了多通道声发射仪用于压力容器的检验,部分单位已做出了较成功的压力容器声发射检验工作。

#### 4 声发射检验技术的优越性

声发射(AE)技术已成为金属压力容器的重要无损检测方法之一,由于该方法能对活动性缺陷进行动态检测,因此在压力容器水压试验过程中经常用AE技术进行监测。它既可监视缺陷的活动状态,又可以找出漏检的缺陷。

与其它常规无损检测方法相比,声发射检验技术的主要优点如下:

a)声发射是一种动力学检验方法,声发射探测到的能量来自被测试物体本身,而不是象超声或射线检测方法由无损检测仪器提供;

b)声发射对线性缺陷较敏感,它能探测到在外加结构应力下这些缺陷的活动情况,稳定的缺陷不产生声发射信号;

c)在一次试验过程中,声发射检测能够整体探测和评价整个结构中缺陷的状态;

d)对于在用压力容器的定期检验,声发射检验方法可以缩短检验的停产时间或者不需要停产;

e)对于密闭系统的耐压试验,声发射检验方法可以预防由未知不连续缺陷引起系统的灾难性失效和限定系统的最高工作压力。

#### 5 声发射检验技术的应用

##### 5.1 在用压力容器的声发射检验和缺陷评定

采用声发射技术对在用压力容器进行全面定期检验和缺陷评定的步骤如下:

a)将容器停产倒空后,不开罐首先直接进行耐压试验(试压介质一般为水)和声发射检验,从声发射检验结果给出容器壳体上有意义的活性声发射源部位;

b)采用宏观检验、磁粉或渗透、超声波或射线等常规无损检测方法对声发射源部位进行复验,排除干扰声发射源,找出容器壳体上存在的活性缺陷;

c)对容器焊缝的内外表面进行100%磁粉检测,发现并消除那些在声发射检验过程中不活动的

表面裂纹;

d)按《在用压力容器检验规程》(以下简称《规程》)对容器进行内外表面宏观检验和超声波测厚检验;

e)按《检规》精神,对声发射源内发现的超标缺陷,按活动发展性缺陷进行处理,对声发射源之外常规无损检测方法发现的焊缝内部的超标缺陷按非活动性缺陷进行处理;

f)对于经过返修的压力容器需进行第二次耐压试验;

g)气密试验;

h)出具综合检验报告评定容器的安全等级。

与采用常规无损检测方法抽查和断裂力学缺陷评定对在用压力容器进行定期检验相比,采用声发射技术具有以下优点:

a)由于上述步骤b)是局部抽查复验,而且抽查比例远远小于100%焊缝长度,从而大大缩短了检验的时间,可为用户带来直接的经济效益;

b)既对容器进行了整体检验,又有目的的找出了容器上存在的危险缺陷,弥补了盲目抽查检验的不足,提高了容器的安全使用性能;

c)对于存在较多超标缺陷的容器,如采用断裂力学进行缺陷评定,需要进行100%超声波检测来确定缺陷的尺寸,这样既增加了工作量和费用,而且缺陷选取的不准确也会影响断裂力学评定的结果。采用声发射技术,既可以大大减少无损检测的工作量,又可以通过实际监测缺陷是否活动来对缺陷进行评定。

##### 5.2 压力容器的声发射在线检验和安全评定

对于有些在用压力容器已到检验期,或者有些带缺陷运行,但由于生产需要确实不能停产,可以采用声发射技术进行在线检测和安全评定,检测步骤如下:

a)将容器的最高工作压力调整到工艺所允许的最高工作压力,然后采用工作介质逐步提高容器的工作压力达到工艺所允许的最高工作压力;

b)对采集到的声发射信号进行分析,给出容器可以使用的安全工作压力和延长的工作时间。

采用声发射在线检验,既不影响生产,又保证了容器的安全使用和延长了容器停产开罐检验的周期,可为用户带来直接的经济效益。

6 压力容器声发射检验框图

压力容器声发射检验框图如图 2 所示。

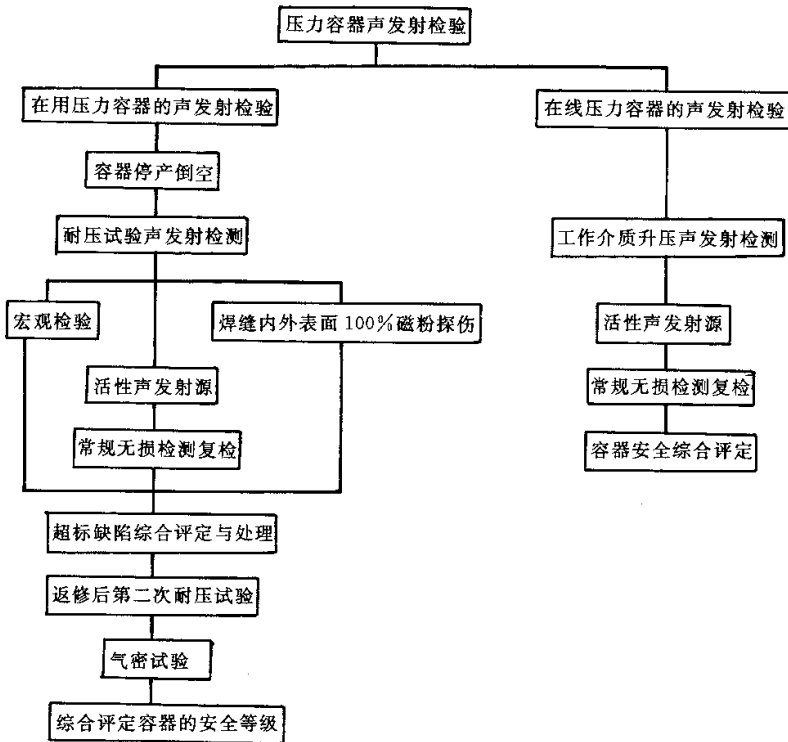


图 2 压力容器声发射检验框图

7 声发射检测的基本程序

- a) 完成各项检测准备工作;
- b) 确定传感器阵列;
- c) 布置声发射传感器并保证声耦合良好;
- d) 接线并检查线路, 设定检测条件;
- e) 排除噪声干扰;
- f) 校准检测系统;
- g) 耐压试验, 同时进行 AE 检测(信号收集);
- h) 数据处理和结果评定;
- i) 出具检测报告。

8 声发射检测评定标准和依据

8.1 JB/TQ7667-95《在役压力容器声发射检测评定方法》

AE 检测声源严重程度按表 1 执行。表中 A 级源最严重, B 级源严重, C 级源不严重, 其中 A, B 级源需要复验。

8.2 劳动部锅检中心《金属压力容器声发射检测及结果评价标准》

AE 源分类见表 2。表中 A, B 级 AE 源不需复验, C~F 级 AE 源需复验。

表 1 AE 检测声源严重程度

强 度	活 动 度		
	1	2	3
I	A	A	B
II	A	B	C
III	B	C	C

表 2 AE 源分类

强 度	活 性			
	强活性	活 性	弱活性	非活性
高强度	F	E	C	B
强 度	E	D	B	A
弱强度	C	B	A	A

AE源评定结果见表3。表中常规无损检测复验结果为评级推荐分类方法之一(低碳钢)。

E: 裂纹; D: 未焊透、未熔合; C: 射线Ⅳ级; B: 射线Ⅲ级; A: 射线Ⅱ级或合格。

表3 AE源评定结果

AE源	复 验 结 果				
	E	D	C	B	A
F	不合格	不合格	不合格	不合格	合格
E	不合格	不合格	不合格	不合格	合格
D	不合格	不合格	不合格	合格	合格
C	不合格	不合格	合格	合格	合格

### 8.3 GBJ2044—94《钛合金压力容器声发射检测方法》

根据保压声发射持续时间、高幅度事件计数、事件或振铃计数随压力的变化,将声源的严重性分成三级,其评定判据和分级原则见表4。其中,Ⅰ级要求三项判据同时符合;Ⅱ级和Ⅲ级只要求单项符合。

### 9 结束语

随着生产模式由单一的炼油型向石油化工型的转变,以及高压加氢、重整等装置的在建投产,结构复杂,运行条件苛刻的压力容器将会越来越多。这些复杂容器的增加,将对检验技术和水平提出更高的要求,为适应这一快速发展的需要,开展声发射检验技术应用研究已成为一种势在必行的趋势。

表4 AE声源评定判据和分级原则

检测 门槛 dB	严重性 级别	保压声 发射延 续时间 $T_i^*$	高幅度 事件计 数 $E_{Ai}^{**}$	事件或振 铃计数随 压力变化	严重 程度	处理 意见
T	Ⅰ	$<T$	$<E_{A1}$	收敛或恒 速增加	不严重	不需要 验证
	Ⅱ	A	$\geq E_{A1}$	快速增加	较严重	可进行 抽样 验证
		B	$\geq T_1$	$\geq E_{A2}$		
		C	$\geq T_2$	$\geq E_{A3}$		
Ⅲ	$\geq T_3$	$\geq E_{A4}$		很严重	应进行 验证	

\*  $T_i$ 指不小于给定幅度的声发射活动在保压下延续时间门槛,当每分钟事件计数小于规定值时,可认为保压声发射收敛。

\*\*  $E_{Ai}$ 指不小于给定幅度的事件计数。

### 参 考 文 献

- 1 劳动部锅炉压力容器检测研究中心. 声发射检验技术在压力容器检验中的应用. 1993
- 2 JB/TQ7667—95《在役压力容器声发射检测评定方法》
- 3 劳动部锅炉压力容器检测研究中心. 金属压力容器声发射检测及结果评价标准
- 4 GBJ2044—94《钛合金压力容器声发射检测方法》
- 5 何泽云, 关卫和等. 在用压力容器声发射评价技术发展. 压力容器, 1992, 9
- 6 CVDA—1984《压力容器缺陷评定规范》
- 7 劳动部. 压力容器安全技术监察规程. 1990
- 8 劳动部. 在用压力容器检验规程. 1990


# NECESSITY OF APPLICATION STUDY FOR ACOUSTIC EMISSION TECHNOLOGY IN INSPECTION OF PRESSURE VESSEL ON SERVICE

*Liu Yuan, P. C 834003*

**Abstract** The principle, development situation, inspection program and its evaluation criterion of acoustic emission technology are recommended. On the basis of this, the necessity of application study for acoustic emission technology in inspection of pressure vessel on service is put forward.

**Keywords** Acoustic emission, Pressure vessel, Inspection, Application study

# 声发射技术在在用压力容器检验中应用研究的必要性

作者: 刘源, 王强, 廖维真  
作者单位: 克拉玛依石油化工厂设备研究所, 834003  
刊名: 石油化工设备技术   
英文刊名: PETRO-CHEMICAL EQUIPMENT TECHNOLOGY  
年, 卷(期): 2000, 21(2)  
引用次数: 4次

## 参考文献(8条)

1. 劳动部锅炉压力容器检测研究中心 [声发射检验技术在压力容器检验中的应用](#) 1993
2. JB/TQ 7667-1995. [在役压力容器声发射检测评定方法](#)
3. 劳动部锅炉压力容器检测研究中心 [金属压力容器声发射检测及结果评价标准](#)
4. GBJ 2044-1994. [钛合金压力容器声发射检测方法](#)
5. 何泽云. [关卫和 在用压力容器声发射评价技术进展](#)[期刊论文]-[压力容器](#) 1992
6. CVDA 1984. [压力容器缺陷评定规范](#)
7. 劳动部 [压力容器安全技术监察规程](#) 1990
8. 劳动部 [在用压力容器检验规程](#) 1990

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 陈钢. 沈功田. 李邦宪. CHEN Gang. SHEN Gong-tian. LI Bang-xian [金属压力容器声发射源特性的研究](#) -[中国安全科学学报](#)2005, 15(1)  
通过对多台报废压力容器进行超压试验的声发射检测和对500多台压力容器现场声发射检验数据的分析, 给出了现场压力容器检验可能遇到的多种声发射源的特性. 这些声发射源包括裂纹、夹渣、未熔合、未焊透等焊接缺陷的开裂和增长、残余应力释放、氧化皮的剥落、结构摩擦、泄漏、风吹、雨滴撞击和电子噪音等. 笔者对这些声发射源的定位、分布和关联特性分别进行了分析与研究, 并列举了大量的实例.
2. 会议论文 李顺堂. 崔维国. 蔡宪法 [应用声发射技术对在役压力容器的检测方法](#) 2001  
介绍声发射检测技术的基本原理, 阐述应用此技术对在役压力容器的检测方法.
3. 会议论文 沈功田. 段庆儒. 李邦宪. 刘其志. 李春树. 蒋仕良 [压力容器声发射信号的模式识别分析](#) 1999  
该文采用模式识别技术对金属压力容器的声发射源信号特征参数进行处理和分析. 提出了采用特征映射和Fisher映射两者结果相结合的模式识别方法. 这一方法可以成功地识别压力容器上表面裂纹扩展、深埋裂纹扩展、焊接缺陷开裂、氧化物的断裂和剥落和焊接残余应力释放等产生的声发射信号源. 得到的声发射源模式识别分析的结果可对金属压力容器声发射源产生机制得到新的和合理的鉴别. 这一结果使声发射技术对压力容器安全状态的无损评价成为可能.
4. 学位论文 朱玉明 [声发射技术在大型压力容器检验中的应用研究](#) 2006  
大型压力容器是化肥、炼油、化工、医药、有机合成等行业使用的主要生产设备, 是一种可能引起爆炸或中毒等危害性较大事故的特种设备. 压力容器的检验就是要发现影响强度的缺陷, 特别是裂纹、未焊透、未熔合等危险性的活性缺陷.  
当前, 压力容器的检验方法主要是采用无损检测方法, 除常规的表面检测、超声波检测、射线检测等方法外, 基于凯塞尔效应和费利西蒂效应的声发射技术在压力容器检验中应用, 越来越广泛, 产生的经济效益巨大. 本文介绍了压力容器检验的方法和声发射技术的原理, 通过对压力容器声发射检验系统的选择、信号探测与处理、数据显示、压力容器声发射检测程序、声发射检测设备设置与校准、加载程序、噪声来源与排除等方面的实验和研究, 寻找在大型压力容器检验中准确获取的声发射数据的方法.  
通过在数台大型压力容器检验中应用声发射技术进行试验, 研究如何正确在各类大型压力容器检验中运用声发射设备采集信号数据, 对各种压力容器检验声发射源的特征和识别方法进行了实验分析和研究. 提出了在大型压力容器检验中, 运用声发射技术后, 未发现声发射源信号的情况下, 压力容器安全状况等级的判定方法. 发现声发射源信号的情况下, 按源的活性和强度判定安全状况等级的方法.  
应用声发射技术进行大型压力容器检验, 运用检验数据对大型压力容器的安全性能进行分析判断, 总结出大型压力容器检验中应用声发射技术的方法、经验和规律. 由于声发射技术的优点, 我国的声发射技术在大型压力容器检验方面将拥有巨大的应用市场. 但还有许多急需解决的问题, 期待进一步研究.
5. 会议论文 沈功田. 朱志刚. 张家骏 [金属压力容器焊缝表面裂纹和深埋裂纹的声发射特征研究](#) 1995  
报导了在大型压力容器焊缝上焊接表面裂纹和深埋裂纹缺陷的方法和进行加载声发射试验、磁粉探伤和超声波端点衍射测裂纹高度的结果. 试验结果表明, 三种检验方法有很好的对应结果, 声发射方法是探测裂纹活动的最灵敏的方法, 声发射定位源是发现裂纹活动并可确定裂纹位置的最好方法. 该文也给出了裂纹扩展引起声发射定位源信号参数的范围, 并提供了大量分布与关联图.
6. 会议论文 沈功田. 段庆儒. 周裕峰. 李邦宪. 刘其志 [压力容器声发射信号人工神经网络模式识别方法的研究](#)

1999

该文采用人工神经网络模式识别技术对现场压力容器各种声发射源信号特征参数进行了模式识别分析, 提出了采用人工神经网络分类方法对压力

容器声发射源信号进行定量分析的概念,从而找到了一种对声发射源严重度进行评价的新方法。设计和培训的人工神经网络可以给出一个多种因素产生的复合声发射源中裂纹扩展、氧化夹杂物断裂、残余应力释放和机械摩擦信号所占的比率。这一结果使声发射技术对压力容器安全状态的无损评价成为可能。

#### 7. 会议论文 [卢洪波, 叶荣学 压力容器安全性的声发射监测](#) 1995

该文所研究的是通过对材料进行多次断裂实验,来模拟压力容器裂纹或泄漏时产生的声发射,用声发射仪检测声发射信号,用频谱分析仪对噪声进行频谱分析,得到噪声信号功率谱图,据此可以有效地减少干扰,在线监测压力容器的缺陷。

#### 8. 会议论文 [唐志文, 孙伟, 孔凡公, 骆海强 铝制及不锈钢制压力容器水压试验的声发射监测研究](#) 2006

目前,普通钢制压力容器的声发射检测的应用已非常广泛,且技术已比较成熟,但应用声发射技术检测铝制或不锈钢制的压力容器的水压试验监测还比较少,这两类容器在某些特定范围内的应用比较广泛,其相应的检测及监测也是非常重要的。本文主要讨论了铝制及不锈钢制压力容器试验件的试验性声发射检测,目的在于探索这两类容器的声发射特征,使其可应用于实际在役的容器检测中。

#### 9. 会议论文 [邵峰, 蒋俊, 赵新荣, 朱勇, 王郁林 在用压力容器声发射检测技术的应用](#) 2004

声发射(AE)是指物体在受到形变或外界作用时,材料内局部源迅速释放能量而产生瞬态弹性波的现象。材料在应力作用下产生塑性变形、裂纹萌生与扩展、夹杂物的断裂和脱开等活性缺陷,是结构失效的重要机制,同时也是典型的声发射源。声发射检测技术的基本原理就是利用耦合在试样或结构表面上的传感器,将材料内声发射源产生的弹性波转变为电信号,然后通过放大处理,加以显示和记录。检验人员通过分析检测过程中声发射仪所获得的声发射信号的特征及各种记录数据,推知材料内部缺陷状态及严重程度。本文分析了在用压力容器声发射检测技术的应用。

#### 10. 会议论文 [李顺堂, 崔维国, 蔡宪法 应用声发射技术对在役压力容器的检测方法](#)

声发射检测技术发展很快,国家技术监督局已发布了《金属压力容器声发射检测及结果评价方法》(GB/T18182-2000)的国家标准,这为我们应用声发射检测技术对压力容器开展检测工作提供了强有力的依据。本文介绍了声发射检测技术的基本原理,并阐述了应用此技术对在役压力容器的检测方法。

### 引证文献(5条)

1. [李杰, 刘剑利 声发射技术在压力容器无损检测中的应用](#)[期刊论文]-[化学工程与装备](#) 2009(6)

2. [刘剑利, 李杰 锅炉检验质量的控制体系与程序](#)[期刊论文]-[装备制造技术](#) 2009(6)

3. [张永胜, 白梅 声发射技术在压力容器检测中的应用](#)[期刊论文]-[内蒙古石油化工](#) 2007(2)

4. [郑伟 声发射技术在农牧区电站设备检测中的应用](#)[期刊论文]-[农村牧区机械化](#) 2007(2)

5. [陈开路 声发射检测技术及其在电力系统的应用前景](#)[期刊论文]-[福建电力与电工](#) 2001(3)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_syhgshjs200002020.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_syhgshjs200002020.aspx)

下载时间: 2010年5月27日