

ICS 19.100
CCS J 04



中华人民共和国国家标准

GB/T 18182—2025

代替 GB/T 18182—2012

金属压力容器声发射检测及结果评价方法

Acoustic emission examination and evaluation of metallic pressure vessels

2025-10-31 发布

2025-10-31 实施

国家市场监督管理总局
国家标准委员会发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 方法提要	2
5 人员资格	2
6 设备与器材	2
7 检测程序	3
8 检测结果分级	7
9 检测结果评价	9
10 记录和报告	9
附录 A(规范性) 声发射检测系统性能要求	11
附录 B(规范性) 声发射系统灵敏度评估方法	13



前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 18182—2012《金属压力容器声发射检测及结果评价方法》，与 GB/T 18182—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了声发射检测系统通道覆盖范围和检测灵敏度要求[见 6.1 b)];
- b) 增加了声发射检测数字压力表、压力监测相关要求(见 6.2);
- c) 更改了检测开始前技术准备中传感器选用要求，更改了铅芯声发射模拟源的直径和硬度要求，同时对模源的幅度范围进行了限定(见 7.2, 2012 年版的 7.2);
- d) 增加了声发射仪器的“灵敏度因子(K_{cats})”在定位校准和报告出具中的要求[见 7.5.3 和 10.2 k)], 增加了声发射系统灵敏度评估方法(见附录 B);
- e) 增加了检测过程中声发射信号幅度和能量随试验压力变化进行处理的量化要求(见 7.6.2.2);
- f) 增加了检测过程中，声发射定位源区出现 10 个以上声发射事件时，需要现场确认的要求(见 7.7.3);
- g) 更改了活性等级提高的量化要求(见 8.2, 2012 年版的 8.2);
- h) 增加了声发射定位源强度计算时，当源区的声发射信号数量不足 5 个时的计算方法(见 8.3);
- i) 增加了屈服强度与 Q345R 相差 $\pm 10\%$ 的金属材料参照强度分级(见 8.3);
- j) 更改了Ⅲ级或Ⅳ级声发射定位源复检的方法(见 9.3, 2012 年版的 9.1);
- k) 更改了经过复检确定的缺陷评价方法(见 9.4, 2012 年版的 9.2)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院有限公司、武汉市特种设备检验检测研究院、东北石油大学、南京市锅炉压力容器检验研究院、杭州市特种设备检验科学研究院(杭州市特种设备应急处置中心)、中石化工程质量监测有限公司、航天材料及工艺研究所、清诚声发射研究(广州)有限公司、北京科海恒生科技有限公司、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、安徽华夏高科开发有限责任公司。

本文件主要起草人：李光海、陶元宏、陆新元、霍臻、张君娇、李伟、易容、吴占稳、刘延雷、蒋仕良、刘哲军、谢杰辉、曹逻炜、陈谋财、陈贤洮、郭璟倩、娄旭耀、李寰。

本文件于 2000 年首次发布，2012 年第一次修订，本次为第二次修订。

金属压力容器声发射检测及结果评价方法

1 范围

本文件描述了金属压力容器受载荷作用时的声发射检测及结果评价方法。

本文件适用于在制和在用金属压力容器活性缺陷的声发射检测。锅炉、压力管道及其他金属构件的声发射检测参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
- GB/T 12604.4 无损检测 术语 声发射检测
- GB/T 19800 无损检测 声发射检测 换能器的一级校准
- GB/T 19801 无损检测 声发射检测 声发射传感器的二级校准
- GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义
- GB/T 35013 承压设备合于使用评价
- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测
- NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测
- NB/T 47013.6 承压设备无损检测 第 6 部分:涡流检测
- NB/T 47013.7 承压设备无损检测 第 7 部分:目视检测
- NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第 10 部分:衍射时差法超声检测
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第 15 部分:相控阵超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.4 和 GB/T 20737 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

声发射源 acoustic emission source

材料中能量快速释放而产生瞬态弹性波的物理源点或部位。

3.2

声发射定位源 acoustic emission location source

通过分析声发射数据确定的被检件上声发射源的位置。

注:常用的几种源定位方法包括区域定位、计算定位和连续信号定位。

3.3

活性 activity

声发射源的事件数随加载过程或时间变化的程度。

3.4

强度 intensity

声发射源的事件所释放的平均弹性能量。

3.5

活性缺陷 active defect

因载荷作用而产生瞬态弹性波释放的缺陷。

4 方法提要

4.1 声发射检测的主要目的是检测由金属压力容器或其他被检件壳体母材、焊缝、连接的零部件等表面和内部因不连续产生的声发射源,确定声发射源的部位并划分综合等级。

4.2 金属压力容器的声发射检测应在加载过程中进行检测,载荷施加通常采用加压方式,加压过程一般包括升压、保压过程。在被检件表面布置声发射传感器,接收来自活性缺陷的瞬态弹性波并转换成电信号,经过声发射检测系统鉴别、处理、显示、记录和分析声发射源的位置及声发射信号特征参数,并对声发射源的综合等级进行划分。

4.3 检测出的声发射定位源应根据源的综合等级划分结果决定是否采用其他无损检测方法进行复检。

5 人员资格

5.1 采用本文件进行检测的人员应按照 GB/T 9445 的要求或压力容器安全监督管理部门的规定,取得由相应无损检测人员资格认定机构颁发或认可的声发射检测等级资格证书,方可从事相应资格等级规定的检测工作。

5.2 从事声发射检测的人员要求掌握一定的声发射检测知识和压力容器知识,并具有现场检测经验。

6 设备与器材

6.1 声发射检测系统

声发射检测系统满足以下要求。

- a) 声发射检测系统应包括传感器、前置放大器、系统主机、显示和存储等单元。声发射检测系统的性能应符合附录 A 的要求。
- b) 声发射检测系统的每个通道应能够测量并记录以下参数:振铃计数、峰值幅度、到达时间、上升时间、持续时间和能量等。检测系统的通道数应覆盖检测区域,并达到所需的检测灵敏度,系统灵敏度评估方法按附录 B 的规定。宜采用波形信号分析的方法进行声发射源表征和定位。
- c) 声发射传感器、前置放大器和系统主机每年至少进行一次校准。声发射传感器的校准按 GB/T 19800 和 GB/T 19801 的要求进行,其他部件的校准按仪器制造商规定的方法进行,其结果不应低于附录 A 的要求。仪器使用单位应制定校准作业指导书,校准结果应有相应记录和报告。

6.2 压力指示装置

检测时被检容器上应有压力指示装置,并在有效校准期内,其最大量程应为最高试验压力的1.5倍~3倍;使用数字式压力表,可不受前述量程限制。宜将压力作为外接参数接入检测系统,对检测

过程进行载荷相关的关联分析。压力参数应连续监测,测量精度不应低于满量程的 1%。

7 检测程序

7.1 资料审查

资料审查应包括下列内容:

- a) 设备制造资料:质量证明文件、竣工图等;
- b) 设备运行资料:运行参数、工作介质、载荷变化情况,以及出现的异常情况等;
- c) 检验资料:上次检验报告、检验异常情况及其处理;
- d) 其他资料:有关修理和改造的文件资料等。

7.2 技术准备

检测开始前,应做好以下准备工作。

- a) 确定检测目的和检测范围,如部分区域或整体检测等。
- b) 现场勘察,找出所有可能出现的噪声源,如电磁干扰、振动、摩擦和流体流动等。对这些噪声源应设法予以控制,使其不影响检测结果。
- c) 确定加压程序。
- d) 建立声发射检测人员和加载人员的联络方式。
- e) 确定传感器型号及其定位方式,综合考虑传感器频率、背景噪声、衰减特性、传感器间距、被检件结构、传感器与前置放大器和系统主机的匹配等因素。
- f) 选择合适的耦合剂,保证在检测过程耦合条件无明显变化,并且不能损伤被检件表面。
- g) 确定传感器的固定方式,传感器应安装在被检件的表面或波导杆上,应保证声耦合良好。
- h) 选择声发射模拟源,模拟源应能重复发出弹性波,一般采用直径 0.5 mm,硬度 2H 或 HB 的铅笔芯折断信号作为模拟源,模拟源的发出信号幅度应在仪器动态范围内。铅笔芯伸出长度约为 2.5 mm,与被检件表面的夹角大约为 30°,将铅笔芯折断模拟弹性波。也可采用声发射信号发生器作为模拟源。
- i) 设定检测条件,编制书面检测方案。

7.3 安全要求

本文件没有完全列出进行检测时所有的安全要求,使用本文件的用户有义务在检测前建立适当的安全和健康准则。检测过程中的安全要求如下:

- a) 检测时被检件的壁温应比其材料的无塑性转变温度至少高 30 °C,或按照其设计标准的规定执行;
- b) 检测人员应根据检测现场的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备;
- c) 如有要求,使用的电子仪器应具有防爆功能;
- d) 加载试验时,应满足有关安全规范和标准的要求,若进行气压试验,应专门制定安全措施;
- e) 在线检测时,应评估试验过程中安全阀的过早或突然开启引起的后果,特别是被检件内存储有毒、易燃或易爆介质时。

7.4 传感器安装

7.4.1 衰减测量

应进行与声发射检测条件相同的衰减特性测量。选择被检件上远离人孔、接管等结构不连续部

位,安装一个传感器,从传感器沿被检件向外直线延伸,使用模拟源进行信号幅度测量,直至信号幅度低于拟设定的采集阈值,或测量距离大于拟设定的定位阵列中传感器最大间距。各向异性材料,或不同部位的材料、厚度、表面包覆层等参数不同时,应分别进行衰减特性测量。

如果已有检测条件相同的衰减特性数据,可不再进行衰减特性测量,但应在本次检测记录和报告中注明该衰减特性数据。

7.4.2 传感器间距

传感器间距应结合衰减测量的结果确定。检测条件允许的情况下,相邻传感器间距宜尽量接近。采用区域定位时,最大传感器间距不应大于检测阈值距离的1.5倍;采用计算定位时,最大传感器间距不应大于检测阈值距离。

7.4.3 传感器位置

传感器位置由被检件结构和传感器间距确定。安装传感器时,应评估有效覆盖重点检测部位,如焊缝、高应力区域、几何不连续部位、接管、人孔、修理部位、支撑圈和已有缺陷部位等。

采用区域定位时,传感器尽量靠近重点检测部位。

采用计算定位时,重点检测部位尽量处于定位阵列的中间位置。同时还考虑如下原则:

- a) 定位阵列中相邻传感器之间的距离尽可能相等;
- b) 根据被检件的结构及其衰减特性,某些部位,如开孔、支撑等,可能需要布置额外的传感器阵列;
- c) 容器的封头处一般放置一个传感器,当封头接管较多或结构复杂时,可以放置额外的传感器;
- d) 筒体与封头相连处,传感器应放置在筒体的边缘;
- e) 对于有焊缝余高的容器,传感器不应放置在焊缝上。

7.5 检测校准

7.5.1 仪器调试

将已安装的传感器与前置放大器和系统主机用电缆线连接,系统主机可靠接地后,开机预热至系统稳定工作状态,根据被检件对声发射检测系统进行初步工作参数设置,保证声发射系统有足够的检测灵敏度。

7.5.2 通道灵敏度测试

在检测开始之前和结束之后应进行通道灵敏度的测试。要求对每个通道用模拟源进行声发射幅度值响应测试,测试时模拟源距传感器中心距离为 $(100\pm 5)\text{mm}$,响应幅度值应取三次以上响应的平均值。每个通道的响应幅度值与所有通道的平均响应幅度值之差不应大于 $\pm 4 \text{ dB}$ 。如系统主机有传感器自动测试功能,可采用该功能进行通道灵敏度测试。

检测之前通道灵敏度测试不满足以上要求时,应查找原因,必要时,调整或更换传感器等检测器材;检测结束后发现异常时,应如实记录并分析原因,必要时重新进行检测。

7.5.3 定位校准

采用区域定位时,在该区域内任意位置,声发射模拟源产生的弹性波应至少能被该区域内的一个传感器接收到,且其幅度不低于检测要求值。

采用计算定位时,在被检件上传感器阵列的任何位置,声发射模拟源产生的弹性波至少能被定位算法所需最小数量的传感器检测到,并得到唯一定位结果,定位误差不超过该传感器阵列中最大传感

器间距±5%。

如果现场无法实现检测区域全覆盖,应按附录B的要求计算声发射仪器的灵敏度因子(K_{cats}),同时,使重点检测部位处于定位阵列中可检测和定位区域中。

7.6 检测

7.6.1 背景噪声

7.6.1.1 加压检测前,应进行背景噪声的测量。通过降低阈值电压来测量每个通道的背景噪声。通道的背景噪声测量完成后,设定每个通道的检测阈值电压至少大于背景噪声6 dB,对整个检测系统进行背景噪声测量,进行声发射在线检测的压力容器背景噪声测量不应少于15 min,其他声发射检测时背景噪声测量不应少于5 min。如果背景噪声接近或大于被检件材料活性缺陷所产生的声发射信号强度,应设法消除背景噪声的干扰,或者采取信号分析等方法从检测信号中分离出背景噪声,否则不宜进行声发射检测。

7.6.1.2 检测过程中,注意下列因素可能产生的噪声:

- a) 介质的注入;
- b) 加压速率过高;
- c) 外部机械振动;
- d) 内部构件、工装、脚手架等的移动或受压爆裂;
- e) 电磁干扰;
- f) 天气情况,如风、雨、冰雹等的干扰;
- g) 泄漏。

7.6.1.3 检测过程中如遇到强噪声干扰时,应暂停检测,排除强噪声干扰后再进行检测。

7.6.2 检测过程观察及异常情况处理

7.6.2.1 检测时应观察声发射撞击数随压力或时间的变化趋势,声发射撞击数随压力或时间的增加呈快速增加时,应及时停止加压,在未查明声发射撞击数增加的原因时,不应继续加压。

7.6.2.2 检测时应观察声发射信号幅度或能量随压力或时间的变化趋势,压力高于50%最高试验压力后,当多个通道声发射信号幅度或能量在试验压力增加5%最高试验压力时,其幅度值增加6 dB或能量值增加1倍,并有继续增加的趋势时,应及时停止加压,在未查明幅度或能量突然增加的原因时,不应继续加压。

7.6.2.3 检测时对于声发射定位源集中出现的部位,应查看是否有外部干扰因素,如存在,应停止加压并尽量排除干扰因素。

7.6.3 加压程序

7.6.3.1 总体要求

应根据被检件有关安全技术规范、标准和合同的要求,确定声发射检测最高试验压力和加压程序;在不影响压力容器安全和不增加噪声情况下,可采用法规、标准允许的较快升压速度。保压时间一般不应小于10 min,如果在保压期间出现持续的声发射信号且数量较多时,可适当延长保压时间直到声发射信号收敛为止;如果延长10 min后,声发射信号仍无法收敛的,应查明原因或终止检测。如果保压5 min内无相关声发射信号出现,也可提前终止保压。

7.6.3.2 在制压力容器的加压程序

在制压力容器的声发射检测,一般与耐压试验同时进行,最高试验压力为耐压试验压力。

在制压力容器的加压程序见图 1。声发射检测应在试验压力达到设计压力的 50% 前开始进行，并至少在压力分别达到设计压力 P_D 和最高试验压力 P_{T1} 时进行保压。如果声发射数据指示可能有活性缺陷存在或不确定，应从设计压力开始进行第二次加压检测，第二次加压检测的最高试验压力 P_{T2} 不应超过第一次加压的最高试验压力 P_{T1} ，建议 P_{T2} 为 $97\%P_{T1}$ 。

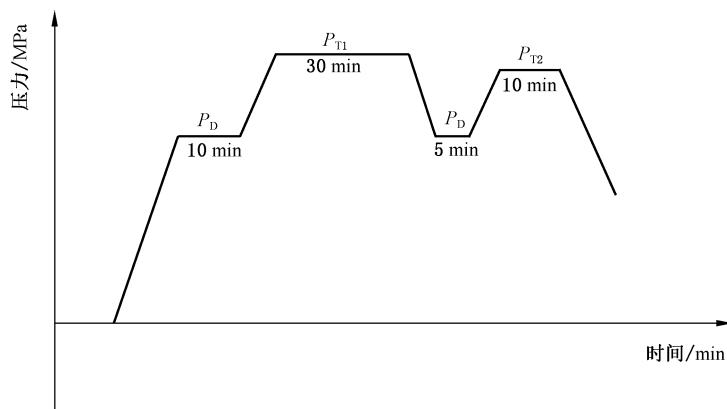


图 1 在制压力容器的加压程序

7.6.3.3 在用压力容器的加压程序

在用压力容器的声发射检测，试验压力一般不低于最高工作压力的 1.1 倍。对于压力容器的在线检测，当工艺条件限制声发射检测所要求的试验压力时，其最高试验压力不应低于过去 6 个月内出现的最高工作压力的 1.05 倍，但不应超过该容器的最高允许工作压力，以满足检测时的加压需要。试验压力还应评估压力和温度的组合作用。

在用压力容器的加压程序见图 2。声发射检测在达到压力容器最高工作压力 P_w 的 50% 前开始进行，并至少在压力分别达到最高工作压力 P_w 和最高试验压力 P_{T1} 时进行保压。如果声发射数据指示可能有活性缺陷存在或不确定，应从最高工作压力 P_w 开始进行第二次加压检测，第二次加压检测的最高试验压力 P_{T2} 不应超过第一次加压的最高试验压力 P_{T1} ，建议 P_{T2} 为 $97\%P_{T1}$ 。

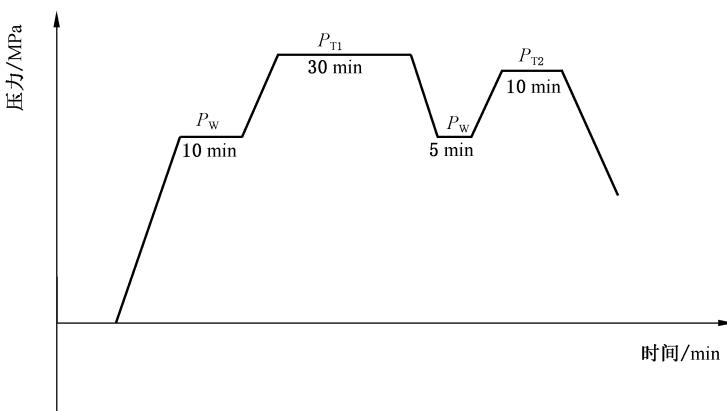


图 2 在用压力容器的加压程序

7.7 检测数据分析

7.7.1 从检测数据中标示检测过程出现的噪声数据，并在检测记录中注明。

7.7.2 利用软件滤波或数据图形显示分析的方法，从检测数据中分离出非相关声发射信号，并在检测记录中注明。

7.7.3 如果检测过程中,某个声发射定位源区出现 10 个以上的声发射事件时,应现场核实是否存在外部干扰。

7.7.4 根据检测数据确定相关声发射定位源的位置。对结构复杂区域的声发射定位源还应通过定位校准的方法确定其位置。定位校准采用模拟源测试搜索方法,若得到的定位显示与检测数据中的声发射定位源部位显示一致,则该模拟源的位置为检测到的声发射定位源部位。

7.7.5 声发射源的位置处于非结构不连续部位,如容器的母材,是否仍要按第 9 章要求进行检测结果评价由检测人员根据检测要求确定。

8 检测结果分级

8.1 概述

声发射定位源的等级根据声发射定位源的活性和强度来综合评价,评价方法是先确定声发射定位源的活性等级和强度等级,然后再确定声发射定位源的综合等级。综合评价的声发射定位源包括区域定位和计算定位分析得到的定位结果。

区域定位以声发射撞击最先到达的传感器所覆盖区域和各相邻传感器的撞击到达次序划定出评定区域。计算定位以传感器阵列中最大传感器间距的 10% 为边长或直径划定出正方形或圆形评定区域。落在同一评定区域内的声发射定位源事件,认为是同一源区产生的声发射定位源事件。

8.2 声发射定位源的活性分级

如果声发射定位源区的事件数随着升压或保压呈快速增加时,则认为该部位的声发射定位源具有超强活性。

如果声发射定位源区的事件数随着升压或保压呈连续增加时,则认为该部位的声发射定位源具有强活性。

如果声发射定位源区的事件数随着升压或保压呈间断出现时,则按表 1、表 2 进行分级。进行两次加压循环的,声发射定位源的活性等级划分方法见表 1;进行一次加压循环的,声发射定位源的活性等级划分方法见表 2。

如果同一升压或保压阶段源区内声发射事件数超过 10 个时,可根据实际情况适当提高该源的活性等级。

表 1 两次加压循环声发射定位源的活性分级

活性等级	第一次加压循环		第二次加压循环	
	升压	保压	升压	保压
弱活性	×	—	—	—
弱活性	—	×	—	—
弱活性	—	—	×	—
弱活性	—	—	—	×
中活性	×	×	—	—
中活性	—	—	×	×
中活性	×	—	×	—
中活性	—	×	×	—

表 1 两次加压循环声发射定位源的活性分级（续）

活性等级	第一次加压循环		第二次加压循环	
	升压	保压	升压	保压
中活性	×	—	—	×
强活性	—	×	—	×
强活性	×	×	×	—
强活性	×	×	—	×
强活性	×	—	×	×
强活性	—	×	×	×
超强活性	×	×	×	×

注 1: × 表示加压或保压阶段有声发射定位源;“—”表示加压或保压阶段无声发射定位源。
注 2: 停止加压后 1 min 内的信号记入升压信号,1 min 后的信号为保压信号。

表 2 一次加压循环声发射定位源的活性分级

活性等级	升压	保压
中活性	×	—
强活性	—	×
超强活性	×	×

注 1: × 表示加压或保压阶段有声发射定位源;“—”表示加压或保压阶段无声发射定位源。
注 2: 停止加压后 1 min 内的信号记入升压信号,1 min 后的信号为保压信号。

8.3 声发射定位源的强度分级

声发射定位源的强度 Q 可用能量、幅度或计数参数来表示。声发射定位源的强度计算取声发射定位源区中前 5 个最大的能量、幅度或计数参数的平均值,不足 5 个的按实际数量计算平均值。幅度参数应根据衰减测量结果加以修正,区域定位按到达次序所划定出的评定区域最远距离修正,时差计算定位按声发射定位源的计算距离修正。声发射定位源的强度分级参考表 3 进行。表 3 中的 a 、 b 应由试验来确定,Q345R 钢采用幅度参数进行声发射定位源的强度分级推荐值见表 4。被检件与 Q345R 的屈服强度差值不超过 Q345R 屈服强度值 $\pm 10\%$ 的金属材料,可参照表 4 进行强度分级。

表 3 声发射定位源的强度分级

SAC	声发射定位源的强度级别	声发射定位源的强度(Q)
	低强度	$Q < a$
	中强度	$a \leq Q \leq b$
	高强度	$Q > b$

表 4 Q345R 钢采用幅度参数进行声发射定位源的强度分级

声发射定位源的强度级别	幅度(Q)
低强度	$Q < 60 \text{ dB}$
中强度	$60 \text{ dB} \leq Q \leq 80 \text{ dB}$
高强度	$Q > 80 \text{ dB}$

注：表中的数据是经衰减修正后的数据。传感器输出 $1 \mu\text{V}$ 为 0 dB 。

8.4 声发射定位源的综合分级

声发射定位源的综合分级按表 5 进行。

表 5 声发射定位源的综合分级

声发射定位源的 强度级别	活性等级			
	超强活性	强活性	中活性	弱活性
高强度	IV	IV	III	II
中强度	IV	III	II	I
低强度	III	III	II	I

9 检测结果评价

9.1 依据表 5 的分级, I 级声发射定位源, 不需要采用其他无损检测方法复检。

9.2 II 级声发射定位源, 可根据被检件的使用情况和声发射定位源部位的实际结构来确定是否需要采用其他无损检测方法复检。

9.3 III 级或 IV 级声发射定位源, 应采用其他无损检测方法进行复检, 检测方法按 NB/T 47013.2、NB/T 47013.3、NB/T 47013.4、NB/T 47013.5、NB/T 47013.6、NB/T 47013.7、NB/T 47013.10、NB/T 47013.15 执行。

9.4 经过其他无损检测方法复检确定的缺陷可按压力容器检验的相关规则进行评价, 也可进行合于使用评价, 评价标准按 GB/T 35013 的要求进行。

10 记录和报告

10.1 记录

10.1.1 应按检测方案的要求记录检测数据或信息, 并按相关法规、标准和(或)合同要求保存所有记录。

10.1.2 检测时如遇不可排除因素的噪声干扰, 如人为干扰、风、雨和泄漏等, 应如实记录, 并在检测结果中注明。

10.2 报告

声发射检测报告至少应包括以下内容：

- a) 被检设备名称、产品编号、制造单位、设计压力、温度、介质、最高工作压力、材料牌号、公称壁厚和几何尺寸；
- b) 加载史和缺陷情况；
- c) 执行与参考标准；
- d) 检测方式、仪器型号、耦合剂、传感器型号及固定方式；
- e) 各通道灵敏度测试结果；
- f) 各通道检测阈值和系统增益的设置值；
- g) 背景噪声的测定值；
- h) 衰减测量结果；
- i) 传感器布置示意图及声发射定位源位置示意图；
- j) 源部位校准记录；
- k) 仪器灵敏度因子(K_{cats})；
- l) 检测软件名称及数据文件名称；
- m) 加压程序图；
- n) 声发射定位源定位图及必要的关联图；
- o) 检测结果分析、声发射定位源的综合等级划分结果及数据图；
- p) 结论；
- q) 检测人员、报告编制人员和审核人员签字及相应资格及证书编号；
- r) 检测日期。



附录 A
(规范性)
声发射检测系统性能要求

A.1 传感器

传感器的响应频率推荐在 100 kHz~400 kHz 范围内,其灵敏度不小于 60 dB[表面波声场校准,相对于 $1 \text{ V}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$]或 -80 dB(面对面校准,相对于 10 V/Pa)。当选用其他频带范围内的传感器时,应评估灵敏度的变化,以确保所选频带范围内有足够的接收灵敏度。应能屏蔽无线电波或电磁噪声干扰。传感器在响应频率和工作温度范围内灵敏度变化不应大于 3 dB。传感器与被检件表面之间应保持电绝缘。所有传感器应附有可追溯至国家标准的性能证书。

A.2 信号线

传感器到前置放大器之间的信号电缆长度不应超过 2 m,且能够屏蔽电磁干扰。如果采用前置放大器与传感器一体化设计,可省略信号线。

A.3 信号电缆

前置放大器到系统主机之间的信号电缆应能屏蔽电磁噪声干扰。信号电缆衰减损失应小于 1 dB/30 m,总衰减不应大于 5 dB。

A.4 耦合剂

耦合剂应能在试验期间内保持良好的声耦合效果。应根据容器壁温选用无气泡、黏度适宜的耦合剂。一般采用真空脂、凡士林及黄油。

检测奥氏体不锈钢、钛和镍合金时,耦合剂中氯化物、氟化物离子含量应满足相关标准规范的要求,采用粘接方法固定时,粘接剂中的氯、氟离子含量和硫含量应满足相关标准规范的要求。

A.5 前置放大器

前置放大器应安装在传感器附近或与传感器一体化。前置放大器短路噪声有效值电压不大于 7 μV 。在工作频率和工作温度范围内,前置放大器的频率响应变化不超过 3 dB。前置放大器的频率响应应与传感器的频率响应相匹配,其增益应与系统主机的增益设置相匹配(检测 100 dB 声发射信号时不应饱和),通常为 40 dB 或 34 dB。如果前置放大器采用差分电路,其共模噪声抑制不低于 40 dB。

A.6 滤波器

放置在前置放大器和系统主机处理器内的滤波器的频率响应应与传感器的频率响应相匹配,并应能提供不低于 24 dB/octave 的信号衰减。

A.7 系统主机

A.7.1 声发射系统主机应有覆盖检测区域的足够通道数,应至少能实时显示和存储每个通道声发射信号的参数(包括到达时间、阈值、幅度、振铃计数、能量、上升时间、持续时间、撞击数),宜具有接收和记录压力或温度等外接参数电信号的功能。

A.7.2 各个通道的独立采样频率不应低于传感器响应频率中心点频率的 10 倍。

A.7.3 阈值精度应控制在 $\pm 1 \text{ dB}$ 的范围内。

A.7.4 声发射信号计数测量值的精度应在±5% 范围内。

A.7.5 从信号撞击开始算起 10 s 之内,声发射系统应对每个通道具有采集、处理、记录和显示不少于 50 个/s 声发射撞击信号的短时处理能力;当连续监测时,声发射系统对每个通道在采集、处理、记录和显示过程中应具有处理不少于 20 个/s 声发射撞击信号的能力。当出现大量数据以致发生堵塞情况或记录与显示之间存在超过 2 s 的延迟,系统应能发出报警信号。

A.7.6 峰值幅度测量值的精度应在±1 dB 范围内,同时要满足信号不失真的动态范围不低于 65 dB。

A.7.7 能量测量值的精度应在±5% 范围内。

A.7.8 计算定位声发射检测系统,每个通道的上升时间、持续时间和到达时间的分辨率应优于 0.25 μs,精度应在±1 μs 范围内,各通道之间的到达时间误差不应大于±2 μs。

A.7.9 系统测量外接参数电压值的精度不应低于满量程的 1%。

A.7.10 在工作频率范围内,系统主机各通道的电子噪声水平不应超过 20 dB_{AE}。

A.7.11 声发射采集软件应能实时显示声发射信号的参数、声发射信号参数之间、参数随压力或时间的关联图,以及声发射定位源的线定位和平面定位图等,实时显示的滞后时间不应超过 5 s。

A.7.12 声发射分析软件应能回放原始声发射检测数据,并能根据重新设定的条件对声发射检测数据进行滤波、定位、关联和识别等分析处理。

附录 B
(规范性)
声发射系统灵敏度评估方法

B.1 一般规定

对于任何类型的压力容器,均可通过本附录来评估声发射系统灵敏度。当使用区域定位或计算定位(如平面定位)时,提供了声发射检测灵敏度因子的定量计算方法。

本附录中规定的灵敏度计算以数值表示(K_{cats})。该值是一个介于0和1之间的数字,同时注明所采用的模拟源以及定位阵列中需要接收到信号的传感器数量。一般采用7.2规定的模拟源,如果采用其他模拟源,则应在声发射检测程序中记录。 K_{cats} 应按检测或定位所需传感器数量和模拟源类型书写,即“ K_{cats} [传感器数量-参考源]”。

具体情况如下。

- a) 在区域定位(一个传感器到达)的情况下,使用0.5 mm铅芯,2H硬度, K_{cats} 表示为“ K_{cats} [1 s-0.5 mm_2H]”。
- b) 在计算平面定位(三个传感器到达)的情况下,使用0.5 mm铅芯,2H硬度, K_{cats} 表示为“ K_{cats} [3 s-0.5 mm_2H]”。

B.2 传感器阵列

传感器阵列应由声发射检测人员根据容器结构和所使用的传感器类型来确定。传感器阵列按7.4布置和安装。采用不同声发射源定位方式所需最小传感器数量如下:

- a) 区域定位:1个;
- b) 线性计算定位:2个;
- c) 平面计算定位:3个;
- d) 三维计算定位:4个。

B.3 传感器坐标输入

声发射检测系统根据传感器阵列布置,显示出结构上传感器的坐标位置要求如下:

- a) 对于线性阵列应用,每个传感器*i*应有坐标值[x_i];
- b) 对于平面阵列应用,每个传感器*i*应有坐标值[x_i, y_i];
- c) 对于三维阵列应用,每个传感器*i*应有坐标值[x_i, y_i, z_i]。

B.4 衰减曲线

按照7.4.1的规定现场进行衰减测量,并由声发射检测系统绘制出衰减曲线,衰减曲线应通过数值拟合计算确定,在最大传感器间距内,拟合误差不超过5%。

B.5 检测阈值

为计算 K_{cats} ,应按7.6.1.1的规定确定检测阈值 A_{thr} (dBae)。

B.6 K_{cats} 计算步骤

B.6.1 第1步:计算每个网格点到每个传感器的距离。

在传感器阵列平面布置情况下,设置网格点间距为0.05 m,计算每个网格点与所有传感器之间的

距离,以确定每个需要计算的网格点处声源定位的传感器定位组,即最近传感器,第二近传感器,第三近传感器。

B.6.2 第2步:计算最小可检测幅度。

计算最小可检测幅度需要获取检测阈值、衰减曲线以及B.6.1中每个网格点与每个传感器之间的距离数组。其计算步骤如下:

- a) 计算到第三近传感器(定位组中最远传感器)的距离;
- b) 通过衰减曲线,计算出该距离的信号的衰减值;
- c) 将衰减值加上检测阈值,即可计算得出声发射源被探测和定位所需的最小幅度;
- d) 重复计算每个网络点处声发射源最小可检测幅度值。

B.6.3 第3步:计算探测和定位的百分比(K_{cats})。

计算 K_{cats} 需要被检测和定位的模拟源类型以及B.6.2中计算出的最小可检测幅度的分布图或数组的结果。

对于每个网络点,将B.6.2中计算的最小可检测幅度与需要被检测或定位的声发射源的参考幅度进行比较。例如,将0.5 mm、2H铅芯折断信号视为模拟源,设其传感器处参考幅度值为98 dB,那么:

- a) 对于最小幅度小于98 dB的每个点,模拟源将被探测(区域定位)或定位(平面定位);
- b) 对于最小幅度高于98 dB的每个点,模拟源将不会被探测或定位。

使用以下二进制值对每个网络点生成可检测和定位图:

- a) 0 = 未探测或未定位;
- b) 1 = 可检测或定位正常。

K_{cats} 是显示为1的网格点占总网格点的百分比。

B.7 K_{cats} 的用途

K_{cats} 提供了声发射仪器探测特定结构中特定声发射模拟源的定量表征,其表示方法如下:

- a) $K_{cats}[1\text{ s}-0.5\text{ mm}_2\text{H}] = 0.95$ (核实数值),表示区域定位算法(一个传感器到达),直径0.5 mm,硬度2H标准模拟源,可检测或定位的面积比为0.95;
- b) $K_{cats}[3\text{ s}-0.5\text{ mm}_2\text{H}] = 0.45$ (核实数值),表示平面计算定位算法(三个传感器到达),直径0.5 mm,硬度2H标准模拟源,可检测或定位的面积比为0.45。

计算 K_{cats} 不需要对定位组内的每个网格点进行实际的模拟源测试。 K_{cats} 的计算是一个理论和实际对象相结合的计算过程,通过被检结构的声发射信号衰减特性、传感器阵列的布置以及采集系统的检测阈值等计算得到,可用于不同的声发射检测系统,对于同一个检测对象的固有灵敏度评估。

