

# 金属压力容器声发射检测 及结果评价方法

## 1 范围

本标准规定了金属压力容器在压力试验时的声发射检测及结果评价方法。

本标准适用于金属压力容器及压力管道的声发射检测。其他金属构件也可参照执行。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T12604.4—1990 无损检测术语 声发射检测

JB4730—1994 压力容器无损检测

## 3 定义

本标准采用下列定义。

### 3.1 活度 activity

声发射源的事件数随着加压过程或时间变化的程度。

### 3.2 强度 intensity

声发射源的事件所释放的平均弹性能。

### 3.3 声发射撞击数 AE Hits

声发射信号超过预置阈值的次数。

## 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压力管道的器壁、焊缝、装配的零部件等表面和内部缺陷产生的声发射源,并确定声发射源的部位及划分综合等级。

4.2 金属压力容器或压力管道的声发射检测在加压过程中进行,加压过程一般包括升压、保压过程。在被检容器表面布置声发射换能器,接收来自活动缺陷部位的声波并转换成电信号,经过检测系统鉴别、处理、显示、记录和分析声源的位置及声发射特性参数。

4.3 检测出的声发射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复验。

## 5 人员资格

5.1 从事声发射检测的检验人员要求掌握一定的声发射检测知识,具有现场检验经验,并掌握一定的压力容器知识。

5.2 声发射检测人员应按规定取得国家无损检测人员资格鉴定机构颁发或认可的声发射检测等级资格证书,从事相应资格等级规定的检验工作。

## 6 检测系统

声发射检测系统应包括换能器、前置放大器、主放大器、处理器和记录显示装置等。检测系统的性能应符合附录 A(标准的附录)的要求。

### 6.1 换能器

换能器的谐振频率范围推荐在 100~400kHz 之间,当选用宽带换能器(100kHz~1MHz)或高频带换能器(>400kHz)时,应考虑灵敏度降低的因素,以确保高频带范围内有足够的接收灵敏度。

### 6.2 前置放大器

前置放大器的频率响应应与换能器的频率响应相匹配,其增益推荐采用 40dB。

### 6.3 仪器

声发射仪器应有实时显示和记录功能,应有覆盖检验区域的足够通道数,应至少能记录超过系统检测阈值的撞击数、幅度、计数或能量参数。采用时差定位方法时应能记录信号的到达时间。

## 7 检测程序

### 7.1 资料审查

资料审查应包括下列内容:

- 产品合格证、质量证明书、竣工图。
- 运行记录,开停车记录,有关运行参数,介质成分,载荷变化情况,以及运行中出现的异常情况等资料。
- 检验资料、历次检验报告和记录。
- 有关修理和改造的文件。

### 7.2 技术准备

检测开始前,应作好以下准备工作:

—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。应对这些噪声源设法予以排除。

—确定加压程序。

—建立声发射检测人员和加载人员的联络方式。

—确定换能器阵列。

—换能器应直接耦合在容器或管道的表面或与容器或管道构成整体的波导杆上,并保证声耦合良好。

—设定检测条件。

### 7.3 校准

#### 7.3.1 模拟源

用模拟源校准检测灵敏度。模拟源应能重复发出弹性波。可以采用声发射信号发生器作为模拟源;也可以采用  $\phi 0.5\text{mm}$ ,硬度为 HB 的铅笔芯折断信号作为模拟源。铅芯伸出长度约为 2.5mm,与容器或管道表面夹角为  $30^\circ$  左右。其响应幅度值应取三次以上响应平均值。

#### 7.3.2 处理器校准

检测前应对信号处理器进行校准,检查每个通道是否正常。

#### 7.3.3 通道灵敏度校准

在检测开始之前和结束之后应进行通道灵敏度的校准。要求对每一个通道进行模拟源声发射幅度值响应校准。模拟源距换能器 100mm 内,每个通道响应的幅度值与所有通道的平均幅度值之差要求不大于 4dB。

#### 7.3.4 衰减测量

应进行与声发射检测条件相同的衰减特性测量。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,但要求把该衰减特性数据移植到本次检验报告中。

### 7.3.5 定位校准

在被检测区域阵列的任何部位,声发射模拟源产生的信号至少能被该时差定位阵列收到,并得到唯一定位结果,区域定位时至少能被该区域换能器接收到。

### 7.3.6 声发射源部位校准

需进一步确认的声发射源都应通过校准来确定声发射源部位。校准方法是在容器或管道器壁上某位置发射一个模拟源,若得到的定位显示与检测到的声发射源部位显示一致,则该模拟源的位置为检测到的声发射源部位的位置。

## 7.4 检测

7.4.1 检测时应观察声发射撞击数随载荷或时间的变化趋势,声发射撞击数随载荷或时间的增加呈快速增加时,应及时停止加载,在未查出声发射撞击数增加的原因时,禁止继续加压。

7.4.2 检测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。

### 7.4.3 加压程序

7.4.3.1 应根据有关规范与用户协商确定最高试验压力和加压程序。升压速度一般不应大于 0.5MPa/min。保压时间一般应不小于 10min。

7.4.3.2 新制造压力容器或压力管道和在役压力容器或压力管道检测,一般应进行两次加压循环过程,第二次加压循环最高试验压力  $P_{T_0}$  应不超过第一次加压循环的最高试验压力  $P_T$ ,建议  $P_{T_0}$  为  $97\%P_T$ 。

7.4.3.3 在役压力容器或压力管道检测,一般试验压力不小于最大操作压力的 1.1 倍;当工艺条件限制声发射检测所要求的试验压力时,其试验压力也应不低于最大操作压力,并在检测前一个月将最大操作压力至少降低 15%,以满足检测时的加压循环需要。应尽可能进行两次加压循环。

### 7.4.4 背景噪声

7.4.4.1 加载检测前,应进行背景噪声的测量,建议检测背景噪声的时间不少于 15min。如果背景噪声大于所设定的阈值时,应设法消除背景噪声的干扰或中止检测。

7.4.4.2 加压过程中,应注意下列因素对检测结果的影响:

- 介质注入容器或管道。
- 加载速率过高;
- 机械振动;
- 电磁干扰;
- 天气情况,如风、雨的干扰;
- 泄漏。

## 7.5 检测记录

7.5.1 检测记录的主要内容按第 10 章列出的内容进行。

7.5.2 检测记录和声发射数据应至少保存 7 年。

7.5.3 检测时如遇不可排除因素的噪声干扰,如风、雨和泄漏等应如实记录,并在检测报告中注明。

## 8 检测结果评价

8.1 声发射源的等级按源的活度和强度划分。

划分方法是先确定源的活度等级和强度等级,然后再确定源的综合等级。

8.2 源的活度划分

如果源区的事件数随着升压或保压呈快速增加时,则认为该部位的源具有强活性。

如果源区的事件数随着升压或保压呈连续增加时,则认为该部位的源具有活性。

如果源区的事件数随着升压或保压呈间断出现时,如果进行两次加压循环,源的活度等级划分方法详见表 1;对于进行一次加压循环,源的活度等级划分方法详见表 2。

表 1 两次加压循环源的活度等级划分

	第一次加压循环		第二次加压循环	
	升压	保压	升压	保压
非活性	○	×	×	×
非活性	×	○	×	×
非活性	×	×	○	×
非活性	×	×	×	○
弱活性	○	○	×	×
弱活性	×	×	○	○
弱活性	○	×	○	×
弱活性	×	○	○	×
弱活性	○	×	×	○
活性	×	○	×	○
活性	○	○	○	×
活性	○	○	×	○
活性	○	×	○	○
活性	×	○	○	○
强活性	○	○	○	○

注:○表示加压或保压阶有发声发射源;×表示加压或保压阶段无声发射源。

表 2 一次加循环法源的活度等级划分

	升压	保压
非活性	×	×
弱活性	○	×
活性	×	○
强活性	○	○

注:○表示加压或保压阶有发声发射源;×表示加压或保压阶段无声发射源。

### 8.3 源的强度划分

源的强度  $Q$  可用能量、幅度或计数参数来表示。源的强度计算取源区前 5 个最大的能量、幅度或计数参数的平均值(幅度参数应根据 7.3.4 条加以修正)。源的强度划分参考表 3 进行。表 3 中的  $a$ 、 $b$  值应由试验来确定,表 4 是 16MnR 钢采用幅度参数划分源的强度的推荐值。

表 3 源的强度划分

源的强度级别	源强度
弱强度	$Q < a$
中强度	$a \leq Q \leq b$
高强度	$Q > b$

表 4 16MnR 钢采用幅度参数划分源的强度

源的强度级别	幅度
弱强度	$Q < 60\text{dB}$
中强度	$60\text{dB} \leq Q \leq 80\text{dB}$

源的强度级别	幅度
高强度	$Q > 80\text{dB}$

注:表 4 中的数据是经衰减修正后的数据。换能器输出  $1\mu\text{V}$  为  $0\text{dB}$

#### 8.4 源的综合等级划分

源的综合等级划分按表 5 进行。

表 5 源的综合等级划分

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

### 9 检测结果的评定

9.1 A 级声发射源不需要复验,BC 级声发射源由检验人员决定是否需要进行复验,其他级别的声发射源应采用常规无损检测方法进行复验。

9.2 经过常规无损检测方法复验确定的缺陷可按附录 B(提示的附录)进行评定,也可采用其他有效方法进行评定。

### 10 报告

声发射检测报告应具备下列内容:

- 产品名称、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。
- 加载史和缺陷情况。
- 执行、参考标准。
- 检测方式、仪器型号、耦合剂、换能器型号及固定方式。
- 检测日期。
- 各通道灵敏度校准结果。
- 阈值、增益的设置值。
- 背景噪声的测定值。
- 衰减特性。
- 换能器布置示意图及声发射源位置示意图。
- 源部位校准记录。
- 检测软件名及数据文件名。
- 加压程序图。
- 检测结果分析、源的综合等级划分结果及数据图。
- 结论。
- 检测日期、参加检测人员、报告人签字和资格证书编号。

## 附录 A

(标准的附录)

### 声发射系统性能要求

#### A1 换能器

换能器的谐振频率推荐在 100~400kHz 范围内,其灵敏度不小于 60dB[相对于  $1V/(m \cdot s^{-1})$ ]。应能屏蔽无线电波或电磁噪声干扰。换能器在检测带宽和使用温度范围灵敏度变化应不大于 3dB。换能器与被检容器表面之间应保持电绝缘。

#### A2 信号线

换能器到前置放大器之间的信号电缆长度应不超过 2m,且能够屏蔽电磁干扰。

#### A3 信号电缆

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 1dB/30m。信号电缆长度建议不超过 150m。

#### A4 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。可选用真空脂/凡士林及黄油。

#### A5 前置放大器

前置放大器短路噪声有效值电压不大于  $7\mu V$ 。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 3dB。

#### A6 滤波器

放置在前置放大器和处理器内的滤波器的频率响应应与换能器的频率响应一致。

#### A7 主放大器

主放大器的增益应是线性的。在 0~50℃ 温度范围内其线性变化应控制在 3dB 之内。

#### A8 处理器

A8.1 处理器是一些信号处理电路。能够对来自诸换能器的信号进行采集、处理,并能输出每个通道的

计数、幅度及到达时间等参数。

A8.2 仪器的阈值精度应控制在  $\pm 2$ dB 范围内。

A8.3 处理器内的计数电路对越过阈值的声发射信号计数测量值的精度应控制在  $\pm 5\%$  范围。

A8.4 从信号撞击开始算起 10s 之内,声发射系统应对每个通道具有采集、处理、记录和显示不少于每秒 20 个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每秒 10 个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,系统应能发出报警信号。

A8.5 处理器内的幅度测量电路测量峰值幅度值的精度为  $\pm 2$ dB。

A8.6 处理器内的能量测量电路测量信号能量值的精度为  $\pm 5\%$ ,同时要满足信号能量的动态范围不低于 40dB。

A8.7 系统测量外接参数电压值的精度为满量程的 2%。

## 附录 B

(提示的附录)

## 有缺陷声发射源的评定

有缺陷声发射源的评定是根据声发射源的综合等级和缺陷的严重性级别确定有缺陷声发射源的严重程度。缺陷严重性级别根据表 B1 和表 B2 确定。有缺陷声发射源的严重程度根据表 B3 确定。

表 B1 圆形缺陷严重性级别划分

缺陷严重性级别	评定区域		10×10		10×20		10×30	
	实测厚度	缺陷点数	t≤10	10<t≤15	15<t≤25	25<t≤50	50<t≤100	t>100
I			3~6	6~9	9~12	12~15	15~18	18~21
II			7~9	10~12	13~15	16~18	19~21	22~24
III			10~12	13~15	16~18	19~21	22~24	25~27
IV			缺陷点数大于 III 级或缺陷长径大于 1/2t 者					

注：1 圆形缺陷尺寸换算成点数,以及不计点数的缺陷尺寸要求,请参考 JB4730-1994 规定。

2 母材厚度  $t$  不同时,取薄的厚度值。

表 B2 非圆形缺陷严重性级别划分

缺陷严重性级别		缺陷尺寸				缺陷位置
一般压力容器	有特殊要求的压力容器	裂纹	未熔合	未焊透	条状夹渣	
III	IV	—	$H \leq 0.1t$ 且 $H \leq 2\text{mm}$ $L \leq t$	$H \leq 0.15t$ 且 $H \leq 3\text{mm}$ $L \leq 2t$	$H \leq 0.2t$ 且 $H \leq 4\text{mm}$ $L \leq 3t$	球壳对接焊缝、圆筒纵焊缝,以及与封头连接的环焊缝
III	IV	—	$H \leq 0.15t$ 且 $H \leq 3\text{mm}$ $L \leq 2t$	$H \leq 0.2t$ 且 $H \leq 4\text{mm}$ $L \leq 4t$	$H \leq 0.25t$ 且 $H \leq 5\text{mm}$ $L \leq 6t$	圆筒体环焊缝
V		一般压力容器大于 III 级,特殊压力容器于 IV 级者				—
VI		裂纹	—	—	—	—

注:表中  $H$  是指缺陷在板厚方向的尺寸,亦称缺陷自身高度; $L$  是指缺陷长度, $t$  是指母材厚度。

表 B3 有缺陷声发射源严重度级别的评定

缺陷严重性级别	VI	V	IV	III	II	I
声发射源综合等级						
F	很严重	很严重	很严重	严重	严重	不严重
E	很严重	很严重	严重	严重	不严重	不严重
D	很严重	严重	严重	不严重	不严重	不严重
C	很严重	严重	不严重	不严重	不严重	不严重
B	严重	不严重	不严重	不严重	不严重	不严重

## 前 言

本标准等同采用 ISO3530:1979《真空技术质谱检漏仪校准》，在技术内容上与该国际标准等效。但是考虑到我国标准本身的特点及汉语的表述习惯，使该标准既与国际标准接轨，又适合我国的国情，为此，对 ISO3530:1979 标准的个别内容作了编辑性修改。

## ISO 前 言

ISO(国际标准化联化组织)。是各国标准协会(ISO 成员)世界性的联合组织。制定国际标准工作是通过 ISO 技术委员会来进行的。每个成员都有权参加其感兴趣的议题所在委员会，与 ISO 有关的国际组织，政府的和非政府的也参加了这个工作。技术委员会采纳的国际标准草案，被 ISO 理事会采纳成为国际标准以前，应发给各个委员会成员。

ISO3530 国际标准为 ISO/TC112 真空技术委员会制定，并于 1978 年 11 月发给了每个成员。

本标准由以下国家成员通过：

澳大利亚	比利时	智利	前捷克斯洛伐克	
法国	德国	印度	意大利	日本
韩国	墨西哥	荷兰	波兰	罗马尼亚
南非共和国	西班牙	英国	美国	

没有成员表示反对这个文件。

## ISO 引 言

该标准规定了质谱检漏仪校准的使用程序，即测定质谱检漏仪灵敏度。但该程序需要使用的一个校准漏孔和一种标准的气体混合物，不在这个标准的范围内。质谱检漏仪以下简称“检漏仪”。

检漏仪用于机械孔(如针孔)的漏量和通过许多聚合材料而发生的漏气的探测。那些表面解吸、气化和气穴的虚漏，一般不能用检漏仪探测。

漏率校准范围限制在一个规定的水平，因为对于较大泄漏这个因素是不重要的，而对于漏率小于  $10^{-12}$  Pa·m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> 的泄漏，这个因素就变得重要了。

检漏仪检验的对象可以在高真空条件下或者高于大气压下。一般在两种情况下检漏技术将不同。在第一种情况下，检漏仪通常在接近它的低的极限压力下进行工作；在第二种情况下，检漏仪常被使用在其最大或接近最大工作压力。对应于这两个工作条件，两个灵敏度术语定为：“最小可检漏率”和“最小可检浓度比”(见本标准第 2 章)。

这样定义的两个量是有关系的，但是，从一个数据去算得另一个数据不可行。因此规定了测定两者的方法。

该标准用在真空技术领域中的一系列泄漏试验程序和装置标准之一。

应用分类：气密性、检漏仪校准、漏孔的校准、气体混合物、检漏仪验收规范和真空设备的气密检验的一般程序。

上述应用分类中的一些项构成将来标准的课题。