



中华人民共和国国家标准

GB/T 33643—2022

代替 GB/T 33643—2017

无损检测 声发射泄漏检测方法

Non-destructive testing—Test methods for leak detection by means of
acoustic emission

[ISO 18081:2016, Non-destructive testing—Acoustic emission testing(AT)—
Leak detection by means of acoustic emission, NEQ]

2022-03-09 发布

2022-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 人员要求	1
5 方法概要	1
6 检测工艺流程	4
7 检测系统	5
8 检测程序	6
9 检测结果评价	10
10 检测记录和报告	11
附录 A (规范性) 声发射系统性能要求	13
附录 B (资料性) 典型泄漏检测应用案例	15



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 33643—2017《无损检测 声发射泄漏检测方法》，与 GB/T 33643—2017 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了规范性引用文件的内容(见第2章,2017年版的第2章)；
- 删除了安全要求(见2017年版的第5章)；
- 增加了对传感器的固定的要求(见7.3.2)；
- 增加了传感器外壳防护等级的要求(见7.3.3)；
- 增加了测量参数的要求(见7.5)；
- 删除了压力指示装置的要求(见2017年版的8.6)。

本文件参考 ISO 18081:2016《无损检测 声发射检测 声发射泄漏检测方法》起草，一致性程度为非等效。

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。

本文件由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、上海材料研究所、安徽华夏高科技开发有限责任公司、南京市锅炉压力容器检验研究院、北京声华兴业科技有限公司、山东科捷工程检测有限公司、北京科海恒生科技有限公司。

本文件主要起草人：张君娇、沈功田、沈永娜、丁杰、业成、胡斌、俞跃、王婷、蒋俊、刘时风、李寰、梁玉梅、段庆儒、熊群峰。

本文件于2017年首次发布，本次为第一次修订。

无损检测 声发射泄漏检测方法

1 范围

本文件描述了基于声发射(AE)技术的泄漏检测方法和结果评价。

本文件适用于结构或部件由于压力差而产生泄漏的声发射检测。

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 4208 外壳防护等级(IP 代码)

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 12604.7 无损检测 术语 泄漏检测

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 27025 检测和校准实验室能力的通用要求

3 术语和定义

GB/T 12604.4、GB/T 12604.7 和 GB/T 20737 界定的术语和定义适用于本文件。

4 人员要求

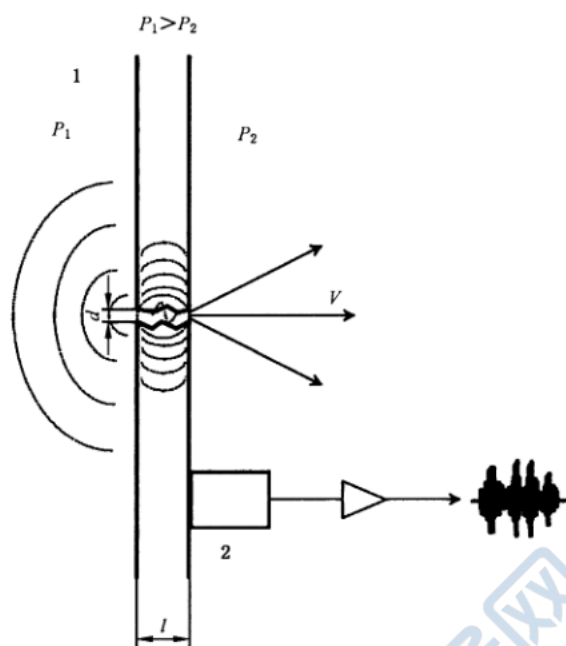
执行本文件实施声发射检测的人员,应按照 GB/T 9445 或合同各方同意的体系进行资格鉴定与认证,并由雇主或其代理对其进行岗位培训和操作授权。

5 方法概要

5.1 泄漏产生声发射的现象

密闭设备中储存的流体由于压力差通过泄漏孔向外泄漏,流体向外喷射过程中,由于湍流、摩擦、液体气化和固体颗粒碰撞等产生机械波向外传播,即泄漏产生声波的现象,也称为广义的声发射现象。本方法通过采集分析声发射信号来检测密闭设备的泄漏并确定泄漏位置。

泄漏产生声发射信号及声发射泄漏检测原理示意图见图 1。泄漏产生的连续声发射信号可看作一个明显增强的背景噪声。泄漏过程中,泄漏点附近压力波动的瞬态变化不同,由此产生的声发射信号具有较宽的频谱范围。



标引序号说明：

- 1 —— 流体；
- 2 —— AE 传感器；
- P_1, P_2 —— 压力；
- d —— 泄漏口直径；
- V —— 波速；
- l —— 泄漏口长度。

图 1 泄漏产生声发射信号及声发射泄漏检测原理示意图

5.2 泄漏产生声发射信号的源

以下为液体或气体泄漏产生声发射信号的源：

- a) 逸出气体或液体的湍流流动；
- b) 泄漏路径中的流体摩擦；
- c) 在通过漏孔中的液体中产生气穴，导致两相流的流动；
- d) 当泄漏流动开始或停止时产生的压力冲击；
- e) 声发射监测区域内固体颗粒对被检设备表面的冲击；
- f) 气体或液体射流(验证来源)；
- g) 脉动气泡；
- h) 气泡爆破；
- i) 气泡对设备壳体的冲击；
- j) 液体的汽化(闪蒸)。

5.3 影响泄漏声发射特性的主要因素

5.3.1 总则

泄漏产生的声发射信号强度取决于泄漏介质的形态和其物理性质，影响泄漏声发射特性的主要因素见表 1。

表 1 影响泄漏声发射特性的主要因素

影响因素	高活度声发射	低活度声发射
介质的相	气体 气、液两相	液体
介质黏度	低	高
流动类型	湍流	层流
流速	高	低
压力差	高	低
泄漏路径的形状	裂缝状	圆孔状
泄漏路径的长度	长	短
泄漏路径的表面粗糙度	粗糙	光滑

5.3.2 不同介质及其状态对泄漏的影响

气体泄漏和气液两相介质泄漏产生的声发射信号强度高于液体泄漏产生的声发射信号强度,气液两相介质泄漏产生的声发射信号强度最高。

介质的黏度越低,泄漏过程中产生的声发射信号越强;介质的黏度越高,泄漏过程中产生的声发射信号越弱。

湍流是泄漏产生声发射信号的主要因素之一,层流通常不产生可检测到的声发射信号。

水中气穴事件的频谱包含数千赫兹到数兆赫兹的频率范围。气穴产生离散的声发射,其能量比湍流引起的声发射至少高一个数量级。

5.3.3 压力差和温度的影响

压力差是决定泄漏率和泄漏声发射信号强度的主要因素。即使存在泄漏路径,泄漏的发生也取决于流体温度或压力的一个阈值,即在未达到压力阈值或温度阈值前没有泄漏发生。基于此条件,当流体介质的温度或压力上升时,泄漏突然出现,并可能被检测到;当压力或温度反向变化时,泄漏量逐渐降低并达到最终降为零的临界点,例如低于工作温度和/或工作压力的密封处发生可逆泄漏。

泄漏产生的声发射信号通常具有一定的特征频率,它取决于压力差和泄漏路径的形状。因此,传感器的响应频率对泄漏的检测灵敏度有较大影响,在选择仪器时应考虑这一因素。

5.3.4 泄漏路径几何形状的影响

自然形成的泄漏路径(如腐蚀孔,疲劳或应力腐蚀裂纹)产生的声发射强度一般大于由标准人工泄漏孔产生的声发射强度。表征泄漏路径特征的主要参数为横截面、长度和表面粗糙度等,其变化对泄漏声发射强度的影响见表 1。

5.3.5 声波传播的影响

声波的传播是泄漏声发射检测最重要的影响因素之一,由于波的传播而影响泄漏声发射信号探测的因素主要包括以下内容:

- a) 波的反射、折射和模态转换;
- b) 从声源到传感器的多传播路径;

- c) 声波的频散；
- d) 声波的衰减。

声波的衰减受结构或管道内介质的影响,内部和外部存在液体会减弱可检测到的声信号,这种影响取决于不同材料的声阻抗之比。由于多数液体的声衰减小,因此液体中的声波可用于长距离声发射源的检测。

5.4 应用

声发射技术为密闭设备的泄漏检测提供了多种可能,以下为主要应用对象:

- a) 压力容器；
- b) 管道及管道系统；
- c) 常压储罐；
- d) 锅炉蒸汽包；
- e) 锅炉管；
- f) 高压灭菌器；
- g) 热交换器；
- h) 密封装置；
- i) 阀门；
- j) 安全阀；
- k) 泵；
- l) 真空系统。

6 检测工艺规程

6.1 从事声发射泄漏检测的单位应按本文件的要求制定检测工艺规程,并进行验证。检测工艺规程应至少包括以下内容:

- a) 检测目的及适用范围；
- b) 执行文件、法规；
- c) 人员资格；
- d) 检测设备器材:仪器主机、传感器、前置放大器、耦合剂、信号线、电缆线、检测数据采集和分析软件等；
- e) 被检件的信息:几何形状与尺寸、材质、材料热处理状态、设计与运行参数；
- f) 检测覆盖范围及传感器阵列确定；
- g) 被检件表面状态及传感器安装方式；
- h) 灵敏度测量、衰减测量和定位校准；
- i) 检测过程；
- j) 检测数据记录和在线显示；
- k) 定位程序；
- l) 数据分析和解释；
- m) 检测结果的评价和处理；
- n) 检测记录、报告和资料存档；
- o) 编制、审核和批准人员；
- p) 编制日期。

6.2 检测工艺规程包括以下重要因素:

- a) 声发射仪规格型号；

- b) 传感器规格型号；
- c) 判定泄漏使用的声发射信号参数和方法；
- d) 人员技能要求(必要时)。

6.3 检测工艺流程包括以下一般因素：

- a) 检测压力；
- b) 检测温度；
- c) 保压时间；
- d) 验收准则；
- e) 人员资格。

当重要因素发生变化时，应重新编制和验证检测工艺流程。

7 检测系统

7.1 总则

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。检测系统的性能除符合 7.2~7.6 的要求外，还应符合附录 A 的规定。

7.2 系统校准

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 的规定执行，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 的规定。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。

7.3 传感器

7.3.1 频率范围

泄漏检测的最佳频率范围的选择取决于被检件，如流体类型、泄漏的压力差、泄漏率和传感器到源距离等。常压储罐罐底板泄漏检测的推荐频率范围是 20 kHz~80 kHz，高压管道泄漏检测的优选频率为 400 kHz，低压管道(如供水管道)泄漏检测的频率通常选择 5 kHz 或更低的频率。

7.3.2 传感器的固定

传感器的固定方法受监测时间的影响。在铁磁性被检件上临时安装传感器时，磁夹具是首选的固定工具。在被检件上永久性固定传感器时，可用金属夹或合适的粘贴耦合剂，将其固定或粘贴到被检件上。在逐点巡检的情况下，可在短时间内(如数秒钟)用手持方式固定传感器。对于某些特殊环境下，可采用空气耦合的方式来进行信号采集。

7.3.3 传感器选择

检测可选用无源传感器或具有合适带宽的声波探测元件与前置放大器集成一体化的传感器。如需将传感器浸入液体中，应选用浸入式传感器，传感器的外壳防护等级应至少达到 GB/T 4208 规定的 IP68 等级。传感器及其他浸入式附件应牢固固定以适应液体最大可能的压力。对于有防爆要求的现场，传感器或整套检测装置应满足现场防爆要求。

7.4 声发射仪

7.4.1 单通道声发射仪

单通道声发射仪通常用于逐点检测的模式，在被检件上分别对感兴趣的区域进行移动检测。

7.4.2 多通道声发射仪

多通道声发射仪主要用于大型结构件的检测,在检测过程中各个传感器位置固定,可采用 8.7.2 规定的定位方法进行泄漏定位。

连续远程结构健康监测,如核电站管道网络的泄漏监测,通常采用固定安装的多通道声发射仪配置。

7.5 测量参数

对于简单的仪器,可连续测量平均信号电平 ASL 值(一定时间内 AE 信号电平的对数均值)和/或有效值电压 RMS 值(一定时间内 AE 信号电压的均方根值)和/或在一定时间内的幅度峰值,并显示结果。

对于较高性能的仪器,每个通道随着时间变化的结果可以数字或图形的形式显示,可与静态的或计算的报警值相比较,达到报警条件自动触发报警。

更高性能的仪器也可获取并存储波形数据,利用 Δt 测量或互相关法来确定时差进行泄漏源定位。

7.6 泄漏声发射模拟源

可使用人工泄漏噪声源作为泄漏声发射模拟源对声发射检测系统进行验证。

人工泄漏噪声源可使用空气喷射装置或带有钻孔的试块产生,或管道通过受控的气流或液体流,用于确定模拟源幅度对模拟源流量的依赖程度以及在距发射器一定距离处测量的幅度。

可重复性良好的人工泄漏噪声源可使用信号发生器产生电子白噪声或一定频率的正弦波激励传感器产生的声信号,用于系统周期性验证。

8 检测程序

8.1 检测前的准备

8.1.1 资料审查

资料审查应包括以下内容:

- 设备制造文件资料:竣工的整体结构图和重要部件结构图等;
- 设备运行记录资料:开停车情况、运行参数、工作介质、载荷变化情况以及运行中出现的异常情况;
- 检验资料:历次检验报告;
- 其他资料:修理和改造的文件资料等。

8.1.2 现场勘察

在勘察现场时,应找出可能出现的噪声源,如脚手架的摩擦、内部或外部附件的移动、电磁干扰、机械振动和流体流动等。应排除噪声源,否则应进行记录。

8.1.3 检测方案的制定

检测方案应考虑的因素,除符合通用工艺规程外,还应考虑以下三个因素:

- 检测条件的确定:根据现场情况确定检测条件,建立检测人员和加压控制人员的联络方式;
- 传感器阵列的确定:根据被检件几何尺寸及泄漏检测选用方法,确定传感器布置的阵列。如无特殊要求,相邻传感器之间的间距应接近;

- c) 确定加压程序:根据检测选用的声发射仪器、检测方法及被检件实际条件,确定加压与保压的程序和时间。

8.2 传感器的安装

传感器的安装应满足以下要求:

- a) 按照确定的传感器阵列在被检件上确定传感器安装的具体位置,整体检测时,传感器的安装部位尽量远离人孔、接管、法兰、支座、支柱、垫板和焊缝部位;局部检测时,被检测部位应位于传感器阵列中间;
- b) 对传感器的安装部位进行表面处理,使其表面平整并露出金属光泽;可保留表面光滑致密的保护层,但应测量保护层对声发射信号的衰减;
- c) 在传感器的安装部位涂上耦合剂,耦合剂应采用声耦合性能良好的材料,推荐采用真空脂、凡士林、黄油等材料,选用耦合剂的使用温度等级应与被检件表面温度相匹配;
- d) 将传感器压在被检件的表面,使传感器与被检件表面达到良好的声耦合状态;
- e) 采用磁夹具、胶带纸或其他方式将传感器牢固固定在被检件上,并保持传感器与被检件和固定装置的绝缘;
- f) 对于低温或高温设备的检测,可采用波导杆来改善传感器的耦合温度,但应测量波导杆对声发射信号衰减和定位特性的影响;
- g) 对于埋地管道内部泄漏检测使用的管道内检测器,声发射传感器安装在管道内检测器上跟随其运动进行检测(见附录 B)。根据管道内部的编码器和外部的定位标记,可确定管道泄漏点的位置。

8.3 声发射检测系统的调试

8.3.1 总则

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,开机预热至系统稳定工作状态,对声发射检测系统进行初步工作参数设置,然后按 8.3.2~8.3.5 的规定依次对系统进行调试。

8.3.2 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。要求对每一个通道进行模拟源声发射幅值响应测试,每个通道响应的幅度值与所有通道的平均幅度值之差不应大于 ± 4 dB。如系统主机有自动传感器测试功能,检测结束后可采用该功能进行通道灵敏度测试。

8.3.3 衰减测量

应进行与声发射检测条件相同的衰减特性测量。衰减测量应选择远离人孔和接管等结构不连续的部位,使用模拟源进行测量,模拟源应满足 7.6 的规定。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,但应把该衰减特性数据在本次检测记录和报告中注明。

8.3.4 定位校准

采用计算定位时,在被检件上传感器阵列的任何部位,声发射模拟源产生的弹性波至少能被该定位阵列中的传感器收到,并得到唯一定位结果,定位部位与理论位置的偏差不超过该传感器阵列中最大传感器间距的 5%。

采用区域定位时,声发射模拟源产生的弹性波应至少被该区域内的一个传感器接收到。

声发射模拟源可采用 Hsu-Nielsen 源或人工泄漏噪声源。

8.3.5 背景噪声的测试和识别

背景噪声包括环境噪声和检测过程的噪声。

环境噪声包括天气条件、道路交通、铁路、飞机、鸟类等产生的噪声。通过降低阈值电压来测量每个通道的背景噪声,如果背景噪声接近或大于所被检件介质泄漏产生的声发射信号强度,应设法消除背景噪声的干扰,否则不宜进行声发射泄漏检测。可增加一个护卫传感器监测空气传播的噪声(声在水下环境传播),用于识别和忽略环境噪声的影响。

检测过程的噪声由被测件工作环境产生,包括机械噪声、电气噪声、设备内液体流动噪声等。可通过选择合适的检测时间、隔离噪声源或使用滤波器等方法来消除或降低噪声的影响。

8.4 检测参数的选取

泄漏检测在传感器不同的位置直接测量 RMS 或 ASL 值,如发现存在泄漏的位置,可通过采用升高或降低压力的方法测量 RMS 或 ASL 值的变化来验证泄漏的发生。

对于泄漏难以确认的情况,可增加以下特征参数的测量:

- a) 到达时间;
- b) 波形;
- c) 频率(频谱);
- d) 其他输入参数(如温度)。

8.5 检测数据采集

数据采集在巡检模式下以单一参数(如 RMS, ASL 或峰值)通过进行逐点测量来发现和确定泄漏点。如仪器允许,应储存所有点的检测数据。

检测仪器如具备条件,应增加更多的参数,连续或周期性记录必要的检测数据。

检测数据采集的持续时间应考虑背景噪声的测量值及其浮动范围。

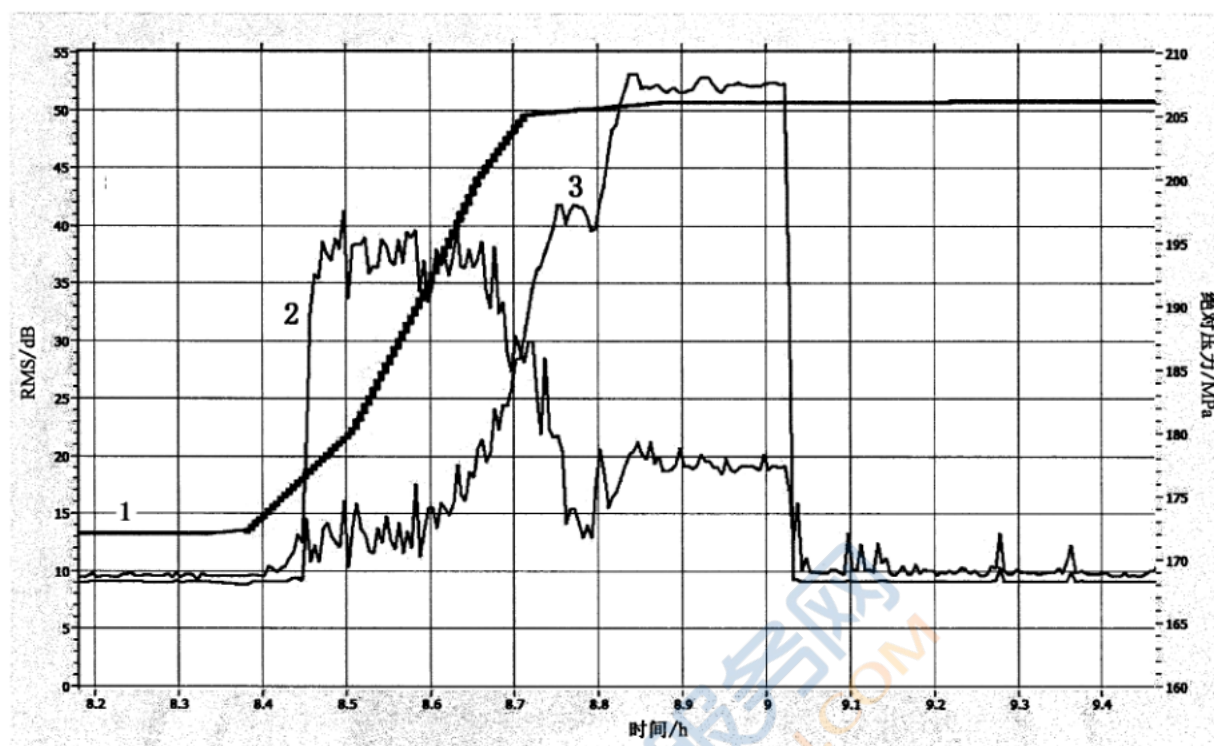
8.6 检测数据显示和分析

8.6.1 检测数据直接数值显示和分析

检测数据显示可直接给出测量的 RMS、ASL 和/或峰值信号电平值。

8.6.2 参数相关的历程图显示和分析

系统可将检测数据与检测时间、压力或温度等相关参量以历程图的方式进行显示。



标引序号说明：

- 1——绝对压力随时间变化的曲线；
- 2——无泄漏区域的声发射通道的 RMS 曲线；
- 3——漏水的未紧闭阀门附近声发射通道的 RMS 曲线。

图 2 RMS 和压力随时间变化的曲线

在图 2 示例中，绝对压力随时间变化的曲线，右侧坐标轴为示值；无泄漏区域的声发射通道的 RMS 曲线，在加压开始时 RMS 值迅速增加，到达保压阶段后 RMS 值下降到较低的水平；漏水的未紧闭阀门附近声发射通道的 RMS 曲线，随压力的增加 RMS 值匀速增大，到达保压阶段后，RMS 值未降低至正常值。当发现阀门出现泄漏时，拧紧阀门，所有通道的 RMS 值恢复至初始值。

8.6.3 波形和频谱显示和分析

按照被检件可能发生的泄漏信号频率设置适当的检测频率范围，可采用模拟或数字滤波、小波分析方法提高检测信号的信噪比。

基于波形和频谱显示、分析和模式识别可用于背景噪声下泄漏信号识别。

8.7 定位分析

8.7.1 基于声波衰减的区域定位方法

依据声波在结构中传播的衰减特性，靠近泄漏源处的声发射信号电平高于远离泄漏源处的信号电平，将 RMS 或 ASL 测量值最高处的位置确定为泄漏点。

使用单通道手持式声发射检测仪对被检件进行逐点检测，也可使用多通道声发射检测系统在被检件上布置探头阵列同时对多个部位进行检测，通过比较分析各个通道的信号电平水平，将 RMS 或 ASL 测量值最高通道传感器所覆盖的区域确定为泄漏点所在区域，然后在这个区域再采用单通道手持式声发射检测仪对被检件进行逐点检测，找到泄漏点。

8.7.2 基于声波到达时间差的多传感器定位计算方法

至少两个及以上传感器探测到泄漏产生的同一个声发射信号,并且能给出信号的到达时间,通过已知声波传播的速度和到达时间差,采用线性或平面定位公式计算出泄漏声源所在的位置。有以下两种方法。

a) 基于声发射信号阈值电平的时差定位计算方法

- 1) 泄漏声发射信号由连续噪声信号与一些大的突发型声发射信号叠加构成,基于声发射信号阈值电平的时差定位计算方法是将每个声发射通道的阈值电平调整到连续噪声以上,只采集大的突发型声发射信号,通过这些信号的到达时间来得到这些信号到达不同通道的时差,从而计算出泄漏源的位置。
- 2) 地上常压储罐底板的面定位计算方法为这种方法的典型应用案例之一,见附录 B。

b) 基于连续信号的互相关算法

- 1) 在泄漏声发射检测中,将两个或多个传感器检测到的一定时间内的波形信号进行相关分析,即可得到任意两个传感器之间的时差。用常规的时差定位算法进行泄漏点定位计算。
- 2) 压力管道的泄漏定位计算方法为这种方法的典型应用案例之一,见附录 B。

9 检测结果评价

9.1 伪泄漏信号的识别

进行泄漏检测时,传感器尽可能安装在可能产生泄漏的部位附近,可在压力处于最小和最大状态下分别进行测试,通过比较可识别任何可能由外部原因产生的噪声信号。如果在声发射信号采集过程中出现持续的外部噪声(即伪泄漏信号),多通道检测系统可通过软件时差分析、增加护卫传感器等方法来识别。

常见的伪泄漏信号有沙子或泥土击打埋地管道的暴露部分、从储罐顶部表面落下的水滴、靠近泄漏阀的流体噪声等。

9.2 泄漏信号评价和验证

9.2.1 检测过程中的在线分析或检测后的离线评价和验证

对于使用便携式单通道系统的逐点检测,应通过围绕泄漏点进行多点测试来进行验证(如阀门的进料端和出料端)。采用这一方法,可识别外部噪声并将其从相关信号中区分出来。

对于其他情况的检测,可通过监测压力升高时的 ASL 和/或 RMS 值的变化来验证泄漏。泄漏点定位图也可显示怀疑存在泄漏的位置。

通过对其他声发射参数(如能量、持续时间、振铃计数、上升时间等)的分析,可进一步从检测信号中识别泄漏产生的声发射信号或伪泄漏信号,通过滤除伪泄漏信号,对剩余的信号再进行分析,能更清晰的得到泄漏源的定位。

9.2.2 压力相关性评价和验证

泄漏信号的探测存在一个压力差的阈值,低于压力阈值,声发射仪器探测不到泄漏声发射信号。压力阈值取决于泄漏孔的大小、检测流体的黏度和传感器距离泄漏孔的距离。高于压力阈值,较高的压力差将提高泄漏孔产生声发射信号的强度,而且随压差的增加而增加。因此,可通过增加压力差来进一步评价和验证泄漏的存在及部位。

9.3 泄漏率评估

泄漏率评估有以下三种方式：

- 对于阀门泄漏检测，可基于数据库对泄漏率进行粗略评估；
- 对大型结构进行泄漏检测，可用每分钟压力下降值来评估泄漏率。直接通过声发射信号评估泄漏率将以大量实验及泄漏信号数据库的建立为基础；
- 与校准的标准泄漏源测量的泄漏率进行比较。

9.4 泄漏部位的确定

如果检测发现有泄漏存在，首先采用目视检测确定泄漏部位。如果目视检测不能发现泄漏部位，则采用其他泄漏检测技术或表面缺陷无损检测方法对泄漏部位进行确定。

9.5 泄漏源的危险等级评价及处理

9.5.1 职责

被检设备的用户负责泄漏源的危险等级评价及后续处理。

9.5.2 泄漏源危险等级评价

应根据泄漏介质、泄漏量、周围环境、发生事故的可能性和后果，对确定的泄漏源进行危险性评价，将泄漏源的危险性等级划分为三级，Ⅰ级为非危险泄漏源，Ⅱ级为具有潜在危险的泄漏源，Ⅲ级为具有危险的泄漏源。

9.5.3 泄漏源的处理方式

对于Ⅰ级泄漏源，由用户根据实际情况决定是否进行后处理。

对于Ⅱ级泄漏源，宜尽快进行返修处理；如果不便进行返修处理，则应监测其泄漏点尺寸和泄漏率是否随时间增加而增长，一旦认为存在危险，应立即停产进行返修处理。

对于Ⅲ级泄漏源，应立即进行返修处理；返修后应按原来的检测方案和方法再次进行泄漏检测，以确认泄漏已被排除。

当泄漏源不可进行返修处理时，用户应决定采取其他任何措施。

10 检测记录和报告

10.1 检测记录

应按检测工艺规程的要求记录检测数据和有关信息，记录内容应至少支撑检测报告中的内容，并按法规、文件和(或)合同要求保存所有记录。

10.2 检测报告

检测报告通常包括现场初始检测报告和最终检测报告两份，现场初始检测报告应包括发现泄漏源的位置及初步分析评价结果，最终检测报告应包含发现泄漏源的位置和对泄漏程度的最终分析评价结果。

最终检测报告至少包括以下内容：

- a) 委托单位；
- b) 被检设备的名称、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

几何尺寸等；

- c) 加载史和缺陷情况；
- d) 引用本文件；
- e) 工艺规程编号和版本；
- f) 检测方式、仪器型号、耦合剂、传感器型号及固定方式；
- g) 检测时的温度和工作压力；
- h) 各通道灵敏度测试结果；
- i) 各通道门槛和系统增益的设置值；
- j) 背景噪声的测定值；
- k) 衰减特性；
- l) 传感器布置数量及示意图；
- m) 检测软件名及数据文件名；
- n) 声发射检测参数及典型检测数据图；
- o) 发现的泄漏源位置图；
- p) 检测结果分析及对泄漏源泄漏程度的描述；
- q) 检测结论；
- r) 检测人员、报告编写人和审核人签字及资格证书编号；
- s) 检测日期和地点。

检测报告应符合 GB/T 27025 的要求。

附 录 A

(规范性)

声发射系统性能要求

A.1 传感器

传感器的响应频率推荐在 5 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 -77 dB(纵波声场校准,相对于 10 V/Pa)。当选用其他响应频率的传感器时,应考虑灵敏度的变化,以确保所选频带范围内有足够的接收灵敏度。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。

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,且屏蔽电磁干扰。

A.3 信号电缆

前置放大器到系统主机之间的信号电缆能屏蔽电磁噪声干扰。信号电缆衰减损失应小于 1 dB/30 m。信号电缆长度不宜超过 150 m。

A.4 耦合剂

耦合剂在试验期间内保持良好的声耦合效果。应根据设备壁温选用无气泡、黏度适宜的耦合剂。可选用真空脂、凡士林及黄油。

检测奥氏体不锈钢、钛和镍合金设备时,耦合剂中氯化物、氟化物含量应满足合同要求,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合同要求。

A.5 前置放大器

前置放大器短路噪声有效值电压不大于 $7 \mu\text{V}$ 。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大于 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,通常为 26 dB、34 dB 或 40 dB。如果前置放大器采用差分电路其共模噪声抑制不应低于 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。

A.7 系统主机

A.7.1 对于单通道声发射检测仪器,至少能实时显示和存储声发射信号的 RMS 值或 ASL 值;对于多通道声发射检测系统,应有覆盖检验区域的足够通道数,至少能实时显示和存储声发射信号的 10 种参数(包括到达时间、门槛、幅度、RMS、ASL、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、温度等外部电信号的功能。此外,声发射仪器应具备以下功能:

- a) 各通道参数随时间变化的结果以数字或图形的形式显示,与静态值比较并设定报警值,达到报警条件自动触发报警;
- b) 获取并存储波形数据,利用 Δt 测量或互相关法确定时差进行泄漏源定位。

A.7.2 对于具有处理声发射撞击事件功能的主机,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 门槛精度应控制在 ± 1 dB 的范围内。

A.7.4 声发射信号参数测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 范围内。

A.7.5 峰值幅度测量值的精度应在 ± 2 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.7.6 拥有相关时差定位功能的声发射检测系统,每个通道的时间分辨率不应大于 $0.25\ \mu\text{s}$,精度应在 $\pm 1\ \mu\text{s}$ 范围内,各通道之间的误差不应大于平均值的 $\pm 3\ \mu\text{s}$ 。

A.7.7 系统测量外接参数电压值的精度不应低于满量程的 2%。

A.7.8 声发射采集软件能实时显示声发射信号参数、声发射信号参数之间的关联图和参数随压力或时间的历程图,信号波形和傅里叶变换图,实时显示的滞后时间不应超过 5 s。

A.7.9 对于多通道声发射检测系统,声发射分析软件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;拥有相关时差定位功能的声发射检测系统,能给出相关声发射定位源的线定位或平面定位图。

附 录 B
(资料性)
典型泄漏检测应用案例

B.1 蒸汽疏水阀工作性能的检测与评价

B.1.1 蒸汽疏水阀

蒸汽疏水阀安装的目的是从压缩空气系统中除去冷凝水,确保有效使用能量,避免蒸汽锤击现象发生。蒸汽疏水阀内部的泄漏或堵塞将导致操作安全性的降低,增加能源成本。为了发现蒸汽疏水阀的早期损伤,宜对其经常检查。

通常,在工厂会安装多个蒸汽疏水阀。蒸汽疏水阀工作温度可达 800 ℃且在易爆区域工作,其操作工况是危险的。因此,在确保检测数据充分和可靠的情况下,最好采用短时检测。

B.1.2 检测设备

为快速、可靠地检测蒸汽疏水阀,通常使用单通道声发射泄漏检测仪,采用耐高温结构设计的传感器以及测温计。

疏水阀工作过程产生的噪声频率与疏水阀尺寸、工作压力和在系统中的位置紧密相关,典型的噪声信号频率为 40 kHz 左右。检测仪器接收频率范围为 10 kHz~60 kHz,以 ASL 或 RMS 值为检测参数,可用耳机检测环境噪声干扰。为了确保每个检测定位的数据可靠,宜对检测数据进行逐点记录。

B.1.3 人员

检测人员按照 GB/T 9445 进行蒸汽疏水阀检测的专门培训和考核。对于不同类型和制造商生产的蒸汽疏水阀,其具体检测程序是不同的,检测人员宜经过特殊培训。

B.1.4 检测程序

对于不同类型的蒸汽疏水阀建议分别制定检测作业指导书。在进行检测前对每个蒸汽疏水阀及测试点进行编号,并记录蒸汽疏水阀的工作压力和测量测试点的温度。

将检测探头垂直放置在测试点上,并施加恒定的轻微压力。检测信号记录时间至少包括一个蒸汽疏水阀内完整的阀门关闭和开启循环。

环境噪声可能影响检测信号水平值。如果认为环境噪声较大,可在靠近被检测蒸汽疏水阀的管道上检测环境噪声。如果可能,在检测过程中关闭发出噪声的设备。

通常情况下,对蒸汽疏水阀工作性能的检测每月或每年进行一次。为了对长期检测的数据进行分析和比较,建议每次检测点在同一位置,并在相同条件下进行检测。

检测后记录数据至少包括:疏水阀编号、类型、制造商、位置、工作压力、检测点温度、检测信号水平值和检测日期。

B.1.5 结果评价

不同类型的蒸汽疏水阀内部工作方式也可能不同,发出的声发射噪声信号的特征也不同。因此,不同类型的蒸汽疏水阀要分别制定检测结果评价指南,并通过大量试验给出蒸汽疏水阀性能试验结果评价的判据。

蒸汽疏水阀的工作压力和温度值是相关的。因此,如蒸汽疏水阀处于正常工作状态,当其中一个值

确定时,可根据表 B.1 来确定另一个值。如这两个值不对应,说明疏水阀被阻塞,且不能从系统中除去冷凝水。

表 B.1 压力与温度的相关性

压差 MPa	沸点 ℃
0	100
0.1	120
0.2	133
0.3	144
0.4	151
0.5	159
0.6	165
0.8	175
1.0	184
1.3	194
1.6	204
2.0	214
2.4	223
2.8	231
3.2	238
4.0	250
5.0	264
6.0	275
8.0	294
10.0	310
12.0	323
15.0	341

通过将检测信号值与已得到的判据进行比较,可获得有关蒸汽疏水阀性能状况的更多信息。

如果检测信号值小于判据规定的值,则该阀门是闭合且不漏气的。如果蒸汽疏水阀以间歇模式工作,检测信号在最小值和最大值之间波动,则蒸汽疏水阀内的阀门开启和关闭正常。如果检测信号值大于判据规定的值,阀门可能发生泄漏且不正常工作。

B.1.6 文档

采集的检测数据和分析结果长期保存到数据库中,为以后的状态监测检测和诊断提供依据。

B.2 压力管道的泄漏检测应用

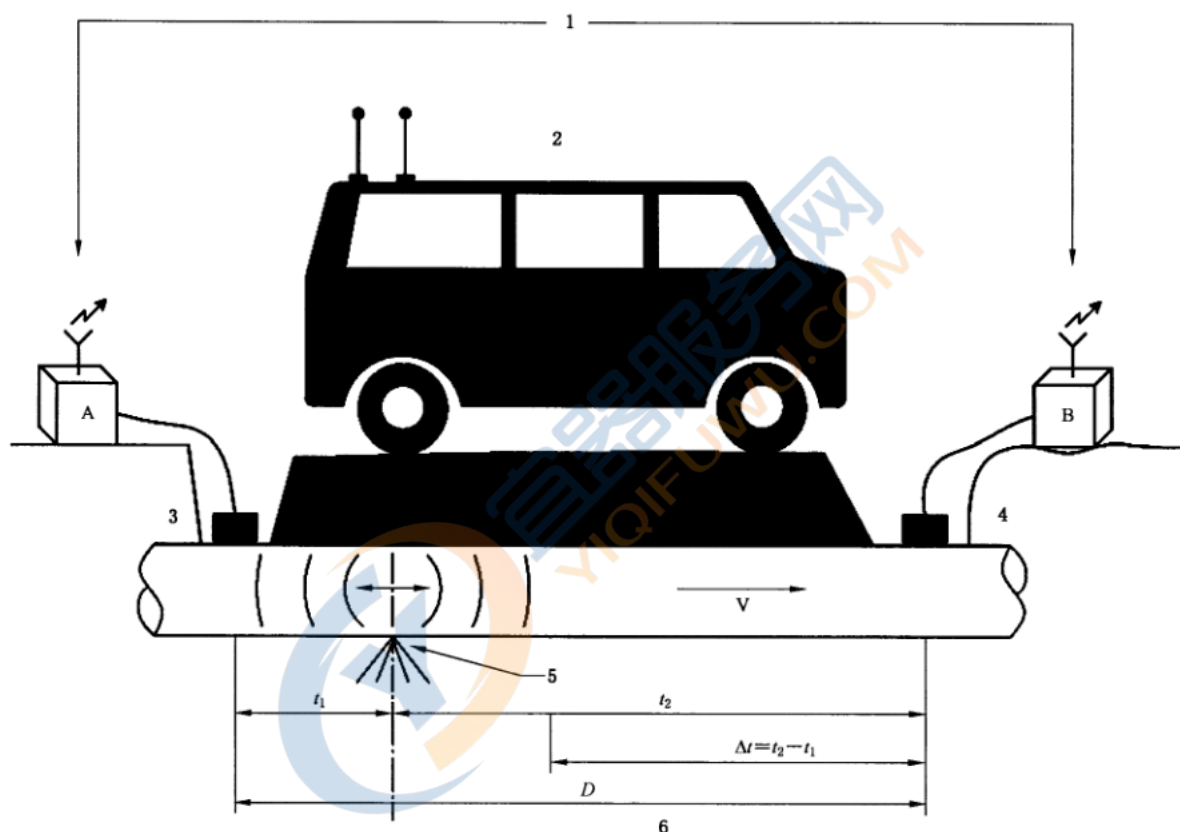
B.2.1 基于信号衰减的检测方法

管道泄漏产生的声发射噪声信号可沿着管道进行传播并逐步衰减,可应用波的衰减特征进行管道上的泄漏点定位,其检测灵敏度主要取决于检测频率范围声波的衰减特性。对于地上管道,可采用单探头在管道上不同位置移动传感器进行扫描检测,确定泄漏点的位置;也可通过采用多个传感器同时进行

检测,进行区域定位,或使用衰减曲线计算泄漏的位置,在这种情况下,传感器最大间距取决于管道规格、管道内介质的类型和检测仪器系统的灵敏度等。对于液体介质,传感器最大间距一般不超过 200 m。对于埋地管道,可通过分段开挖局部人孔的方式进行检测。

B.2.2 基于互相关技术的泄漏点定位方法

基于互相关技术的压力管道泄漏点定位检测方法至少安装 2 个传感器,其检测示意图见图 B.1。如果发生疑似泄漏,两个传感器接收到信号的相干谱图、互相关函数和互相关因子产生很大变化。对于埋地管道,泄漏检测与定位的声波信号频率范围为 100 Hz~5 kHz,根据管道材料、直径及所需的灵敏度,传感器的间距一般为 100 m~200 m。



标引序号说明：

- 1——发射器和放大器模块；
- 2——接收天线；
- 3——传感器 A；
- 4——传感器 B；
- 5——泄漏点位置；
- 6——检测范围。

图 B.1 相关泄漏检测示意图

B.2.3 基于管道内检测器的检测方法

采用具有发射器和接收器的管道内检测器(管道猪),可从管道内部检测管道泄漏。这克服了泄漏源和传感器之间声波的衰减问题。

管道猪由接收传感器、数据处理和存储单元以及供电单元组成,见图 B.2。管道猪通过管道正常工

作时流体运动来移动。管道猪上传感器的灵敏度、管道内的介质和流动速度决定检测灵敏度。

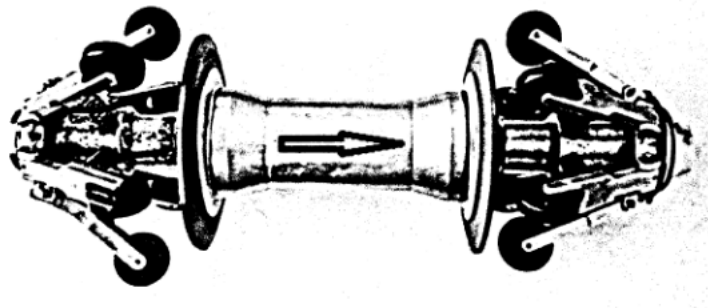


图 B.2 泄漏检测管道猪的示意图

B.3 核承压设备水压试验中的泄漏检测应用

B.3.1 概述

根据压力容器检验规则,法国对其核电站压水反应堆(PWR)的一回路进行水压验证试验。水压试验先加压至 17.2MPa 保压,最终加压至 20.7MPa 保压。如果一回路承受最终保压值时无泄漏且无永久变形,验证试验结果符合要求。

水压验证试验期间,对于在役设备由于核辐射水平很高,而且焊缝数量众多,无法实施目视检测,因此采用声发射泄漏检测方法来进行。

被监测的一回路的包括以下 3 个部分:

- a) 容器封头仪表焊缝;
- b) 底部安装的仪表焊缝;
- c) 加压加热器套管。

B.3.2 检测方法

本检测方法主要基于以下 3 个主要影响因素:

- a) 声发射随漏率的变化;
- b) 声发射信号电平和背景噪声的比较;
- c) 在设备不同部分(部件和焊缝)声发射信号的衰减。

在实验室和现场对这些影响因素进行了系统研究。通过建造具有人工缺陷的模拟一回路装置用来确定泄漏的声发射特征。并在现场测量不同工况条件下的背景噪声,并对回路不同部位进行了衰减测量,根据工况条件对最小可检测泄漏率进行了评估。

B.3.3 一回路水压试验声发射监测

B.3.3.1 传感器布置

将谐振式传感器布置在图 B.3 所示的一回路上的 3 个区域。根据检测需要,每个区域布置 3 个~6 个传感器来保证检测灵敏度和对检测区域的覆盖。

B.3.3.2 声发射监测

采用声发射分别对第一次 17.2 MPa 保压、最高水压试验压力 20.7 MPa 保压和降压至 17.2 MPa 第二次保压的 3 个阶段进行监测。

B.3.3.3 实时分析

在三个保压阶段,分别实时采集和记录声发射信号,并进行实时分析。

主要评价依据为各保压阶段声发射信号 RMS 值随时间的变化情况。压力变化期间的 RMS 值变化不做正式分析,而是采用定性分析方法。

在最高保压阶段,如果声发射信号的 RMS 值上升至始终高于预定的阈值水平,则认为有一个潜在的泄漏。

可根据第二个保压阶段测量的背景噪声水平(取决于一回路配置)来确定这个阈值。

B.3.4 认证和主要成果

声发射泄漏检测方法自 20 世纪 80 年代开始使用,在 2006 年通过了法国核监管机构的认证。该方法根据声发射仪器的更新和现场检测的反馈进行周期性评估。主要应用成果是在 20 世纪 80 年代发现了法国核电站压水反应堆仪表接管焊缝(容器封头)上产生的裂纹。

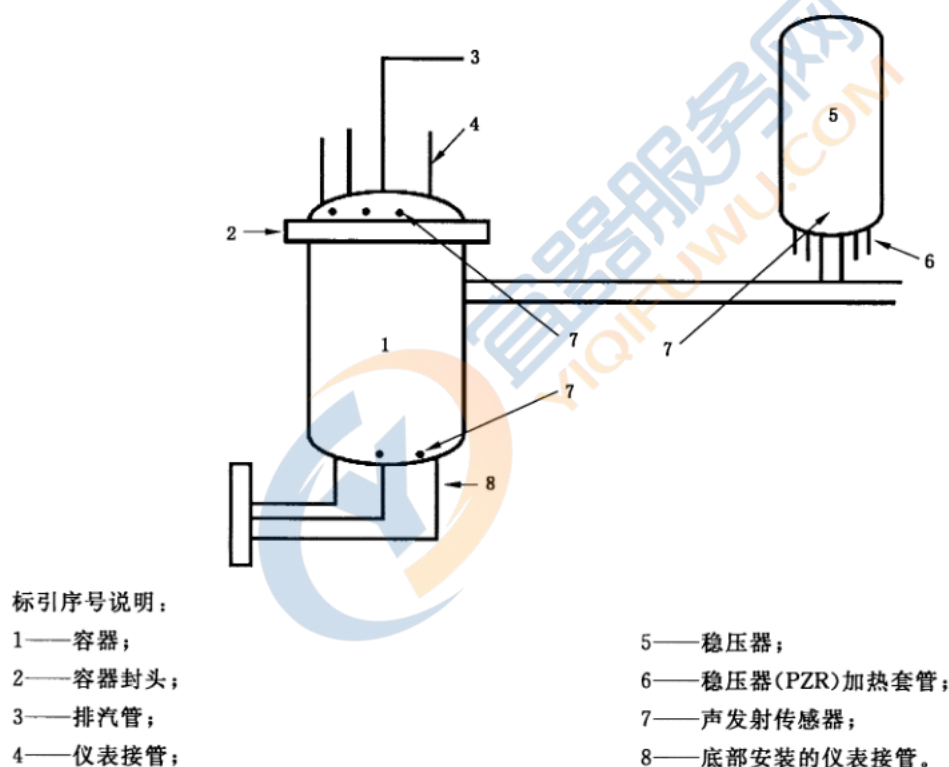


图 B.3 核电站一回路中声发射传感器的布置示意图

B.4 储罐底板泄漏检测的应用

B.4.1 概述

自 20 世纪 80 年代初,在化工、石油化工行业中开始应用声发射技术检测液体储罐底板的泄漏。系列研究揭示液体泄漏产生的湍流是一种声发射源,底板内外部固体颗粒(如沙子)的冲击也可产生声发射信号,此外,在腐蚀环境下对底板的持续腐蚀过程也能产生声发射信号。

存在湍流是能检测到泄漏的基本条件。在高压差下,高黏性的介质才能从层流变成湍流。罐底板腐蚀穿透后的渗透不一定导致介质损失,泄漏路径可能被污泥或沉积物等阻塞,这将超出基于声发射技术的检测范围。

B.4.2 检测

B.4.2.1 定位方法

储罐底板的泄漏检测通常在储罐壳体上安装多个传感器。至少应采用平面定位法则以显示储罐底板平面定位事件的累积。为达到此目的,建议将传感器均匀分布在靠近储罐底板的圆周面。在第一排上方布置第二排传感器,以在更高的位置识别罐内部产生的噪声源(内部凝结,顶部腐蚀等)。仅使用一个传感器测量声发射信号的“均方根值”或“平均信号电平”通常是不够的。这种尝试不考虑噪声源抑制,也不考虑有效的泄漏源定位,它仅提供储罐在常规检测条件下的信息。

B.4.2.2 检测传感器布置

用于记录泄漏声发射信号的传感器,其频带范围通常在 20 kHz~80 kHz。图 B.4 为充液浮顶油罐的传感器布置,采用两排传感器的布置方式。假设声波在储罐内的液体介质中传播,传感器间距不超过 15 m,每排传感器的数目一般不少于 6 个。对于直径小于 10 m 的储罐,每排传感器的数目不少于 3 个。

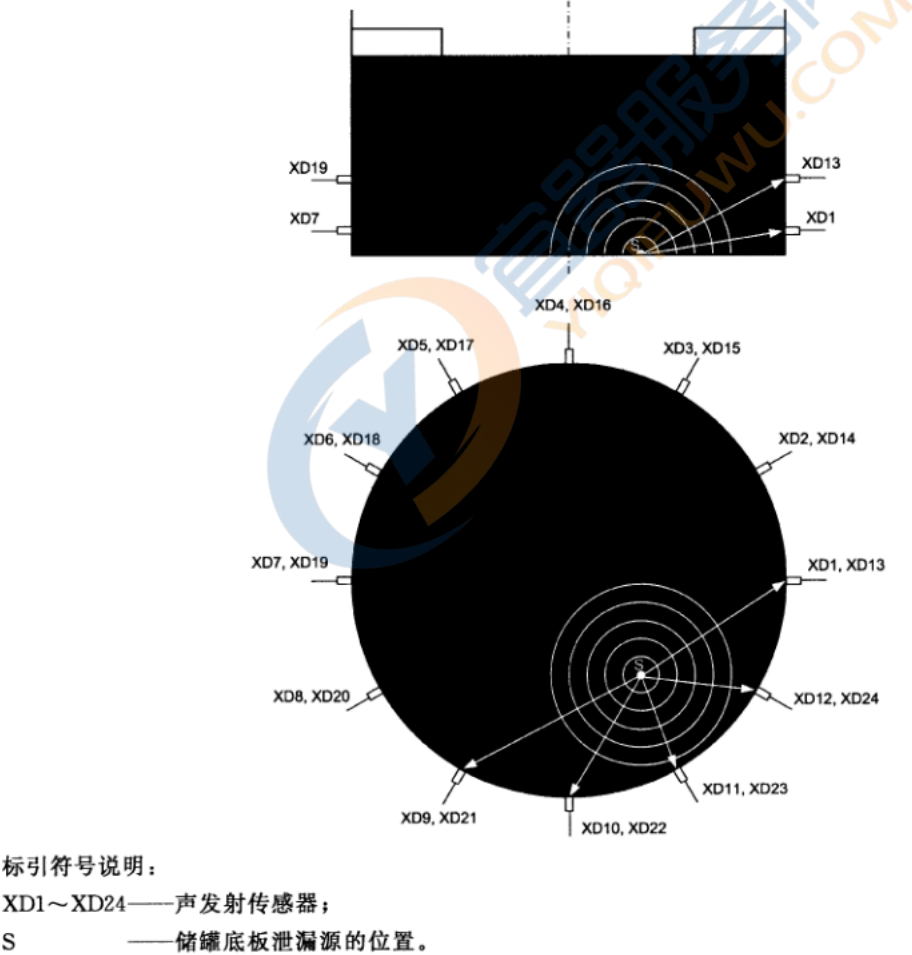


图 B.4 充液浮顶油罐的传感器布置

B.4.2.3 检测过程

液体的湍流是由多个参数控制,如几何形状、压差、黏度等。储罐底板泄漏检测中可以改变的参数

只有储罐的液体静压和介质填充高度。为了提供泄漏检测的最佳条件,在储罐可能达到的最高液位下进行检测。为使内部介质平静,检测前静置储罐,并关闭加热器和搅拌器,静置时间宜选择 24 h。

在检测前识别并消除外部噪声源,以提高检测灵敏度。基于到达时差计算的泄漏平面定位要求获取突发型声发射信号,因此,检测门槛设置为高于连续背景噪声的水平。检测持续时间至少为 1 h,建议每小时检测几个测试单元。

B.4.3 检测结果

在某些情况下,储罐用户怀疑储罐泄漏,要确认并定位泄漏源的位置。泄漏源的定位远比其他声发射源定位更难,如强腐蚀。通常定位误差较大,一般仅给出储罐底板的泄漏区域。





中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测 声发射泄漏检测方法
GB/T 33643—2022

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 50 千字
2022年3月第一版 2022年3月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-69987 定价 34.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 33643-2022



码上扫一扫 正版服务到

