

ICS 号

中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/CMES XXXX—20XX

代替 T/CMES XXXX—20XX

无损检测 全容式 LNG 储罐泄漏的声发射检测方法

Non-destructive testing—Acoustic emission testing method
for LNG storage tank leakage

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 防潮衬板 moisture-resistant liner	1
3.2 埋件 anchor bolts.....	1
3.3 扫查 scan.....	1
4 方法概要.....	2
4.1 检测原理.....	2
4.2 优点.....	2
4.3 局限性.....	2
5 安全要求.....	3
6 人员要求.....	3
7 检测工艺规程.....	3
7.1 从事全容式 LNG 储罐壁板泄漏声发射检测的单位应按本标准的要求制定检测工艺规程，并 进行验证，其内容至少包括：.....	3
7.2 检测工艺规程的重要因素包括：.....	3
7.3 当重要因素发生变化时，工艺规程应重新编制和验证。.....	3
8 检测系统.....	4
8.1 一般要求.....	4
8.2 系统校准.....	4
8.3 传感器.....	4
8.4 声发射仪.....	4
9 检测程序.....	4
9.1 检测前准备.....	4
9.4 传感器的安装.....	4
9.6 检测参数的选取.....	5
9.7 检测数据显示和分析.....	5

10 检测结果的评价	5
10.1 泄漏评价	5
11 检测记录和报告	5
11.1 检测记录	5
11.2 检测报告	5
附录 A	7
(规范性附录) 声发射系统性能要求	7

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。

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。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本标准起草单位：中国特种设备检测研究院、宁夏大学、天津博观智能科技有限公司

本标准起草人：沈永娜,沈功田,张君娇,苑一琳,时朋朋,许立军等

本标准首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

无损检测 LNG 储罐泄漏的声发射检测方法

1 范围

本文规定了使用声发射技术对全容式 LNG 储罐壁板泄漏的检测和定位方法。
本文适用投产前和在用 LNG 储罐壁板泄漏的检测和定位。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，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 20737 无损检测 通用术语和定义

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 33643 无损检测 声发射泄漏检测方法

3 术语和定义

GB/T 12604.4、GB/T 12604.7、GB/T 33643 和 GB/T 20737 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

防潮衬板 moisture-resistant liner

全容式 LNG 储罐混凝土外壁内侧的钢衬板。

3.2

埋件 anchor bolts

预制在全容式 LNG 储罐混凝土外壁中的金属件，部分位于混凝土外壁，部分裸露在混凝土外壁内部。防潮衬板与其焊接在一起。

3.3

扫查 scan

通过移动探头，使之扫过被检结构的被检测区域。

4 方法概要

4.1 检测原理

全容式 LNG 储罐罐壁由混凝土浇筑钢筋的外罐、低温钢板内罐以及在两者之间填充的用于保冷的弹性玻璃毡和膨胀珍珠岩组成。其中外罐内侧设置有钢衬板，钢衬板与外罐壁预埋的金属件（即埋件）通过焊接相连。该钢衬板与外罐底部内侧设置的钢衬板以及外罐顶部内侧设置的钢衬板构成一个封闭的气密空间，用以包容内罐的气体泄漏物。因此，一旦钢衬板产生穿透性缺陷，罐内的 LNG 气体将扩散至混凝土外壁，甚至伴随保温层的珍珠岩等填充料的流出。而 LNG 气体向外通过裂纹或者缺陷向外喷射时会形成声发射源，声发射源产生的声发射信号（简称声信号）经过衬板和混凝土将传播至混凝土外壁外侧引起位移。选用合适的压电声传感器或者光纤声传感器对 LNG 储罐外壁外侧进行扫查，通过分析采集所得的声信号特征，可检测储罐是否泄漏并进行泄漏点位置的确定。



图 4 检测区域

4.2 优点

全容式 LNG 储罐泄漏声发射检测方法的优点：

- a) 在线监测；
- b) 可用于未投产及在用储罐；
- c) 检测效率高，确定泄漏位置；

4.3 局限性

容式 LNG 储罐泄漏声发射检测方法的局限性：

- a) 无法定量评价；
- b) 适用于一定压差。

5 安全要求

使用本标准用户应在检测前建立安全准则。安全准则应至少包括：

- a) 检测人员应遵守检测现场的安全要求，根据检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备；
- b) 如有要求，使用的电子仪器应具有防火防爆功能；
- c) 在高空进行操作时，应考虑人员、检测设备器材坠落等因素，并采取必要的保护措施；
- d) 在低温、高温等极端环境下操作时，应考虑人员冻伤、烫伤等因素，并采取必要保护措施；
- e) 提供紧急撤离程序和事故应急预案，确保操作人员在危急情况下能够安全撤离。

6 人员要求

采用本标准进行检测的人员，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检测人员进行岗位培训和操作授权。

7 检测工艺流程

7.1 从事全容式 LNG 储罐壁板泄漏声发射检测的单位应按本标准的要求制定检测工艺流程，并进行验证，其内容至少包括：

- a) 检测目的及适用范围；
- b) 依据的标准、法规或其他技术文件；
- c) 人员的资格；
- d) 检测仪器设备：耦合剂、传感器、传感器夹具、信号线、前置放大器、电缆线、仪器主机、检测数据采集和分析软件等；
- e) 被检结构信息：混凝土外壁的厚度、防潮衬板几何尺寸、埋件位置、储罐内部压力
- f) 被检表面状态及传感器固定方式；
- g) 灵敏度测量、衰减测量；
- h) 检测覆盖范围及检测步进的确定；
- i) 检测的标记和数据记录的要求；
- j) 检测结果的评定；
- k) 检测记录、报告和资料存档；
- l) 编制（级别）、审核（级别）和批准人；
- m) 编制日期。

7.2 检测工艺流程的重要因素包括：

- a) 声发射仪规格型号；
- b) 传感器的规格信号；
- c) 判断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）。

7.3 当重要因素发生变化时，工艺流程应重新编制和验证。

8 检测系统

8.1 一般要求

声发射检测系统应包括传感器、前置放大器、系统主机、显示和存储等单位。检测系统的性能应符合附录 A 中规定。

8.2 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/T19800 和 GB/T19801 的规定执行，其它部件的校准按仪器制造商规定的方法进行，其结果不得低于附录 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。

8.3 传感器

应根据 LNG 储罐混凝土外壁厚度和内压选择传感器的频率范围，推荐频率范围 $\leq 80\text{kHz}$ 。

8.4 声发射仪

采用单个通道，在被检测范围以步进形式移动检测。

9 检测程序

9.1 检测前准备

9.2 资料查验

资料审查应包括下列内容：

- a) 设备制造文件资料：竣工的整体结构图和重要部件的结构图；
- b) 设备运行记录资料：开停机情况、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。
- c) 检验材料：历次检验报告
- d) 其它资料：修理和改造的文件资料等。

9.3 检测方案的制定

检测方案的制定应考虑的因素，除符合通用工艺规程外，还应考虑以下三个因素：

- a) 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。
- b) 传感器检测区域的确定：传感器检测区域为与埋件同一径向的混凝土外壁区域。由下至上或由上至下逐步移动传感器。
- c) 传感器步进的确定：根据混凝土外壁的衰减确定传感器的步进。

9.4 传感器的安装

传感器的安装应满足：

- a) 在传感器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英语被检件表面温度相匹配；
- b) 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；
- c) 采用胶带纸或其它方式将传感器牢固固定在被检测件上。

9.5 声发射检测系统的调试

9.5.1 概述

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和系统调试，然后按 9.5.2~9.5.4 的规定依次对系统进行调试。

9.5.2 模拟源

用模拟源来测试检测灵敏度和校准定位。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 $\phi 0.3\text{mm}$ 、硬度为 2H 的铅笔芯折断信号作为模拟源。铅芯伸出长度约为 2.5mm，与传感器安装部位表面的夹角为 30° 左右，离传感器中心 $100\pm 5\text{mm}$ 处折断。其响应幅度值应取三次以上响应的平均值。

9.5.3 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度值响应测试，每个通道响应的幅度值与所有通道的平均幅度值之差应不大于 $\pm 3\text{dB}$ 。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。

9.5.4 背景噪声测量

通过降低阈值电压来测量每个通道的背景噪声，设定每个通道的阈值电压至少大于背景噪声 2dB，然后对整个监测系统背景噪声测量，测量时间应不少于 5min。。

9.5.5 衰减测试

应进行与声发射检测条件相同的衰减测试。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。

9.6 检测参数的选取

泄漏检测在传感器不同的位置直接测量幅度、RMS 或 ASL 值，如发现存在泄漏的位置，可通过在附近区域移动传感器来确定泄漏位置。

对于泄漏难以确认的情况，可以增加以下特征参数的测量：

- a) 波形；
- b) 频率；

9.7 检测数据显示和分析

系统可将检测数据与检测时间以历程图的方式显示。

10 检测结果的评价

10.1 泄漏评价

对比分析不同检测点的幅度-时间、RMS-时间等历程图中参数的变化，确定是否有泄漏。越靠近泄漏位置，测得的幅度、RMS 等值越大。

11 检测记录和报告

11.1 检测记录

按检测工艺规程的要求记录检测数据、参数和有关信息。

11.2 检测报告

检测报告的内容应根据检测要求制定，应至少包括以下内容：

- a) 委托单位、检测单位；
- b) 报告编号、检测工艺规程编号；
- c) 执行标准、参考标准；
- d) 被检工件信息：名称、编号、规格、材质、表面状态；
- e) 检测设备：仪器、探头等；
- f) 检测结果及评定、验收条件；
- g) 损伤记录及工件附图；
- h) 检测日期、检测人员及审核人员签名；
- i) 形成检测报告日期及人员。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附录 A

(规范性附录)
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 60kHz~300kHz 范围内，其灵敏度不小于 60dB[表面波声场校准，相对于 $1V/(m \cdot s^{-1})$]或 -77dB [纵波声场校准，相对于 $1V/\mu\text{bar}$]。当选用其它频带范围内的传感器时，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。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应不大于 3dB。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应不超过 2m，且能够屏蔽电磁干扰。

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。信号电缆长度不宜超过 150m。

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。

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超过 3dB。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 40dB 或 34dB。如果前置放大器采用差分电路其共模噪声抑制应不低于 40dB。

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 声发射系统主机应有覆盖检验区域的足够通道数，应至少能实时显示和存储声发射信号参数（包括到达时间、门槛、幅度、振铃计数、能量、上升时间、持续时间、撞击数、有效值电压），宜具有接收和记录载荷、温度等外部电信号的功能。

A.7.2 各个通道的独立采样频率应不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 $\pm 1\text{dB}$ 的范围内。

A.7.4 声发射信号计数测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 范围内。

A.7.5 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。

A.7.6 峰值幅度测量值的精度应在 $\pm 2\text{dB}$ 范围内，同时要满足信号不失真的动态范围不低于 65dB。

A.7.7 能量测量值的精度应在 $\pm 5\%$ 范围内。

A.7.8 时差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不大于 $0.25\mu\text{s}$ ，精度应在 $\pm 1\mu\text{s}$ 范围内，各通道之间的误差应不大于平均值的 $\pm 3\mu\text{s}$ 。

A.7.9 系统测量外接参数电压值的精度应不低于满量程的 2%。

A.7.10 声发射采集软件应能实时显示声发射信号参数、声发射信号参数之间和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，实时显示的滞后时间应不超过 5s。

A.7.11 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。

中国机械工程学会标准征求意见稿