

# 立式储罐腐蚀状态的 声发射检测方法与应用实例

戴光 徐彦廷 李伟 张颖  
(大庆石油学院)

**摘要** 介绍了声发射检测用于立式储罐腐蚀状态的在线检测方法和应用实例。20000m<sup>3</sup>浮顶立式储罐的检测结果表明,采用该项技术可以对立式储罐的腐蚀状态和结构完整性作出评价。

**主题词** 立式储罐 腐蚀 检测 声发射技术 结构完整性

AE DETECTION METHOD OF CORROSIVE STATE FOR TANK IN-SERVICE AND APPLIED EXAMPLE

Dai Guang Xu YangTing Li Wei Zhang Ying  
(Daqing Petroleum Institute)

**Abstract** Acoustic Emission (AE) detection method of corrosive state of tank in-service and applied example are described. The test results of 20000 m<sup>3</sup> floating cover tank in-service show that the corrosive state and the structure integrity evaluation of tanks may be accomplished by using the technique.

## 0 前言

立式储罐在使用过程中,劣化的最常见形式是遭受各种各样的腐蚀,其中最易受到破坏和发生问题的部位是储罐的罐底。声发射检测是对储罐底部进行在线检测的有效方法,不仅能判断罐底是否有活性声源而且可确定其位置,这些声源表明存在泄漏或有腐蚀损伤。声发射技术对储罐罐底进行检测时,具有如下的特点:

(1)对储罐的完整性不会有任何影响。不用开罐,只需通过按圆周布置在罐外的声发射换能器接收的信号来判定罐底是否有声源及其位置。

(2)实现实时和在线检测。可以根据需要来安排声发射检测,不影响正常的生产,只需在检测前的一小段时间内保持液位稳定。

(3)非常经济。据国外 2000 多台被检立式储罐的资料统计表明,54%的罐为“好罐”,不需要离线清罐检测,只有 9%的罐为“坏罐”,需要及时检测与修复。其他的罐为有一定的损伤,需要制定合理的维修计划。如果容器状况良好,将内部检查延期所节约的费用是巨大的。例如,国外对大型原油储罐准备一次内部检测所需费用可达数十万美元,如对大型低温储罐检测则会超过这个数目的两倍。若只延期一年,加上节省费用的利息,就可以进行五次或者更多的声发射检测。延长检测周期,对众多储罐来说,可减少大量的停工损失。另一方面,如果被检储罐的状况很差,可及时对情况最差的储罐的破坏区域进行重点维修,从而有效地防止设备失效。

(4)检测结果直观、明确。检测报告中包括有确定了任何可疑声源和罐底定位的图,从中可以非常直观的了解被检储罐罐壁和罐底的情况。

(5)声发射检测与超声测厚相结合,可以对储罐进行整体在线检测和结构完整性评价,提高检测结果的可靠性。

正是有上述一系列的特点,所以声发射检测技术对立式储罐来说提供了一种无损检测和预测维修的新方法。它可以对罐底和罐壁进行完整性检测,延长“好罐”的检测周期。减少和避免因清罐造成的污染,使用户获得直接的和潜在的经济效益;也可及时发现“坏罐”,避免事故的发生,解决立式储罐腐蚀检测和预测这一难题。

## 1 检测原理和方法

### 1.1 检测原理

声发射检测技术的最主要的特点是它的动态特性,即结构需在激励的情况下才能进行检测。虽然立式储罐中腐蚀过程产生的信号非常微弱,很难被换能器接收到,但由于储罐在工作状态下,可以通过液位变化产生激励源。在腐蚀状态下,储罐罐底可形成以下两种主要有效声源。

### (1) 局部严重腐蚀区的受载变形, 产生有效声源

当储罐存在较严重腐蚀损伤时, 其整体或局部强度被削弱, 随着受力条件的改变, 罐底局部会产生一定的变形, 虽然很微小, 但这种变形引起腐蚀产物的活动或开裂会产生一定的应力波, 通过灵敏度很高的声发射换能器可以感知这些变化, 并接收信号, 经过声发射检测系统的分析, 对储罐腐蚀损伤做出判别。

### (2) 泄漏点处流体的流动声源

当罐底严重的局部腐蚀形成穿孔或地基局部下沉引起底板撕裂时, 储罐就会发生泄漏。

根据流体动力学分析(略), 立式储罐罐底介质泄漏时可产生两种主要的流体流动声源, 即共轴涡环和喷流过程产生的声源。这两种声源的强度与泄漏时的流速和液位有关, 声发射换能器可以接收到。而且在非定常流动中存在有固定边界时, 流体动力声的发射效应又得到进一步提高。同时, 从有关声的平均强度的分析可知, 声强与流速的  $n(n>1, \text{一般为 } 6-8)$  次方成正比, 故随着流速的增加, 声的强度也增加。

在同一泄漏处, 随着泄漏孔径的减小, 它的特征速度越来越大, 使发射声的总功率变大。但是这种情况也有一定范围的限制。因为当泄漏孔径小到一定的程度时, 虽然特征速度增大, 但此时泄漏处流体流出很少, 从而不能形成共轴涡环。因此, 当孔径小到一定的程度时, 发射声的总功率又会下降。

另外, 由于罐底的沉积物的影响, 使得罐底的流体由介质和沉积物组成, 此时流动条件由一相流变为二相流。流动条件的变化使声的强度有很大的提高, 因此, 这将会使声发射仪接收到的信号比相同泄漏孔径仅介质流动时接收到的信号有显著的提高, 并形成断续的信号群。

上述有关立式储罐罐底声源产生机理的理论分析, 已得到模拟立式储罐泄漏试验的验证, 并为现场立式储罐的声发射检测与分析提供了重要的理论依据。

## 1.2 储罐在线检测与评价的方法

(1) 声发射检测时, 在储罐的外壁上按一定阵列固定换能器并接收来自“声源”的信号, 通过专门的软硬件对这些信息进行数据采集与处理分析, 以判断储罐的腐蚀情况以及罐底是否存在泄漏。通常需要外加激励才能使这些“声源”活动起来, 所产生的声波向四周传播。通过声发射检测系统的分析, 可对腐蚀损伤和裂纹做出判别。若罐底存在泄漏点, 当液位变化时, 泄漏也会产生不同的声信号, 声发射检测系统接收泄漏所产生的流动声源信号并进行分析处理, 达到对是否存在泄漏做出判断以及计算泄漏点的位置。

(2) 储罐内部产生的腐蚀, 主要取决于储罐的材质、介质和应力水平。采用声发射在线检测方法(罐壁)和典型区域超声测厚方式(罐壁和浮顶)相结合方法进行腐蚀损伤检测与评价。

(3) 采用上述在线检测和评定方法, 可以逐步建立储罐的腐蚀状况的数据, 并进行寿命的预测和预报, 在保证储罐安全运行的基础上, 延长使用周期, 节省检修费用, 提高储罐的使用效率。

## 2 应用实例

### 2.1 储罐的基本情况

储罐的设计压力: 常压; 工作介质: 渣油; 材质: A3F; 容积: 20000m<sup>3</sup>; 壁厚: 罐壁为 10 层钢板, 罐壁每层钢板、浮盘的厚度见表 1。

### 2.2 检测仪器及参数设置

检测仪器为美国物理声学公司生产的 SPARTAN AT-32 通道声发射检测分析仪(需改动)和美国 26MG 高灵敏度超声测厚仪。声发射检测分析仪设置总增益为 70 dB(前放 40dB, 主放 30dB), 门槛为 35dB, 定位方式为三角时差定位和区域定位。

表 1 罐壁钢板和浮盘的厚度

罐壁层数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	底板	浮盘
厚度(mm)	24	22	20	18	16	12	10	8	8	8	10	6

### 2.3 检测步骤

(1) 在罐体外壁按一定阵列安装换能器（见声发射换能器布点图 1）。

(2) 仪器调试合格后，在距离换能器 100mm 处进行铅芯（ $\phi 0.5\text{mmHB}$  铅芯）断裂信号标定，以确认各通道均具有较高灵敏度，且各通道灵敏度差在 3dB 以内。并对其中几个定位阵列进行定位标定。声发射检测结束后，应再次对系统进行标定，以确保各通道在检测期间正常工作。

(3) 在液位升、保和降变化过程中进行声发射在线检测。液位变化如图 2 所示。

(4) 拆除换能器后，在换能器位置处进行容器壁厚测量和典型区域超声连续测厚（罐壁和浮盘），罐壁测厚点分布图如图 1 所示。通过在每个区域连续测厚，可测得区域内壁厚的最大值和最小值。

(5) 根据声发射在线检测和超声测厚结果，对该罐的结构完整性、是否存在泄漏做出综合评价。

### 3 检测结果与分析

利用声发射技术对  $20000\text{m}^3$  渣油储罐进行了不同操作阶段的监测，部分相关参量图和定位图如图 3 所示。

(1) 储罐罐壁的声发射检测结果表明，在液位保持阶段，各通道信号数很少，故认为罐壁在该操作条件下表现出较好的状态，即变形较小或腐蚀不严重。

#### (2) 储罐罐底的声发射检测结果

1) 在不同时间内对液位保持阶段 ( $H=13.10\text{m}$ ) 的罐底进行了监测，通过对其定位图及幅度分布图的分析可以看出，在该阶段中罐底未出现表明泄漏的声源集中定位集团，仅出现较多分散信号。这表明该罐罐底不存在泄漏或渗漏现象，但罐底存在较明显的腐蚀。

2) 液位降低阶段，由于流动较大，定位点的分布趋向为沿流动方向密度增加，且出口处最为集中，这相当于一个很大的模拟泄漏点。

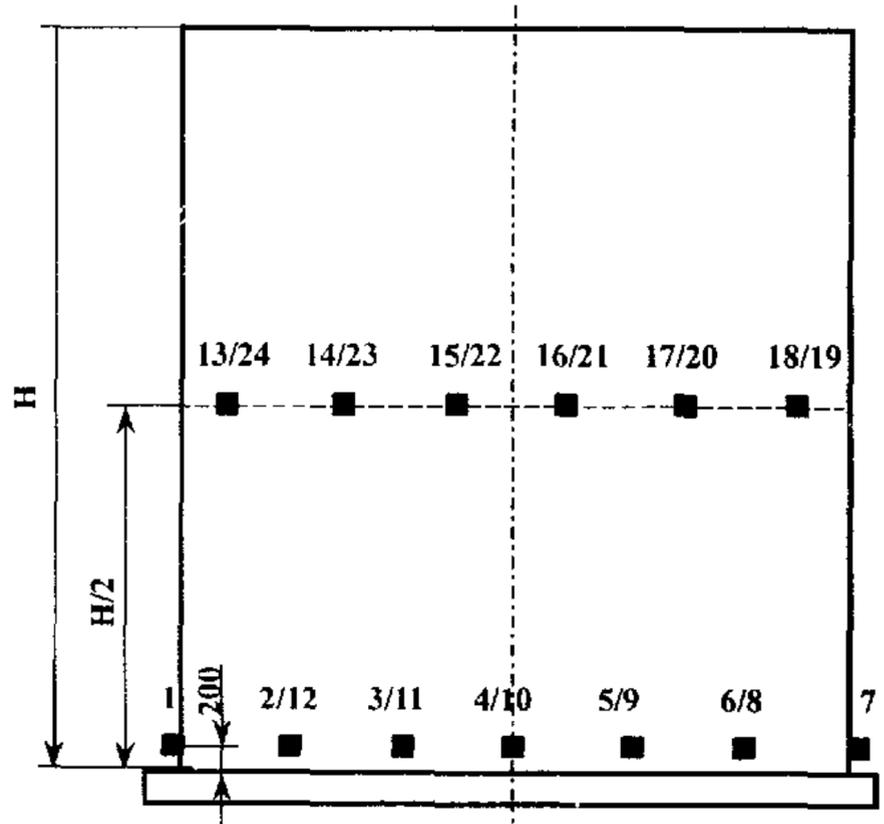
3) 开罐检测底板结果与声发射检测结果基本一致，罐底有很多的均匀腐蚀坑和腐蚀产物存在（最深处约为  $3.5\text{mm}$ ）。

### 4 结论

(1) 声发射检测是对储罐底部进行在线检测的最有效方法，不仅能判断罐底是否有活性声源，而且确定其位置。

(2) 立式储罐罐底介质泄漏时由共轴涡环和喷流产生两种主要的流体流动声源，从有关声的平均强度的分析可知，声强与流速的  $n$  ( $n>1$ ，一般为 6-8) 次方成正比，故随着流速的增加，声的强度也增加。当泄漏孔径小到一定的程度时，由于不能形成共轴涡环，发射声的总功率又会下降。

(3) 由于罐底的沉积物的影响，泄漏出的流体由介质和沉积物的二相流组成，使声的强度有很大的提高，因此，这将会使声发射仪接收到的信号比相同泄漏孔径仅介质流动时接收到的信号有显著的提高，并形成断续的信号群。



注：■ —— 传感器位置  
图 1 立式储罐声发射检测传感器布置图

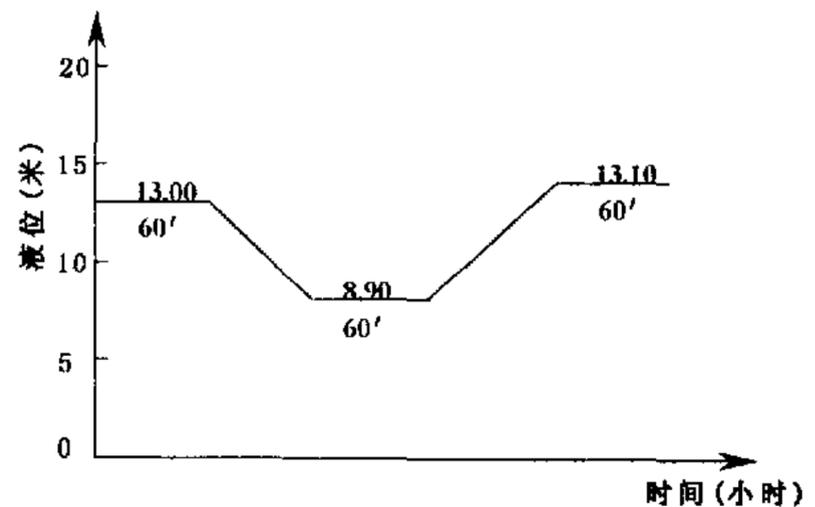


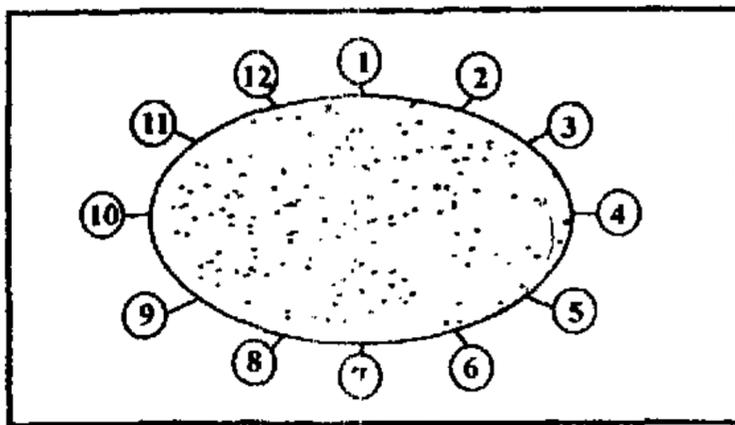
图 2 立式储罐加载曲线图

(4) 立式储罐罐底声源产生机理的有关理论分析, 已得到模拟立式储罐泄漏试验的验证, 并为现场立式储罐的声发射检测与分析提供了重要的理论依据。

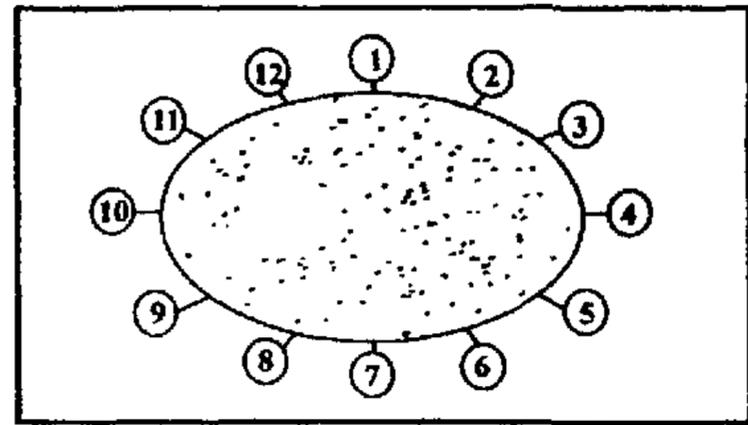
(5) 20000m<sup>3</sup> 渣油储罐的声发射检测结果表明, 采用该项技术可以对立式储罐的腐蚀状态和结构完整性作出评价, 进一步的量化分析和等级评定方法, 还需进行大量的室内和现场试验。

#### 参考文献

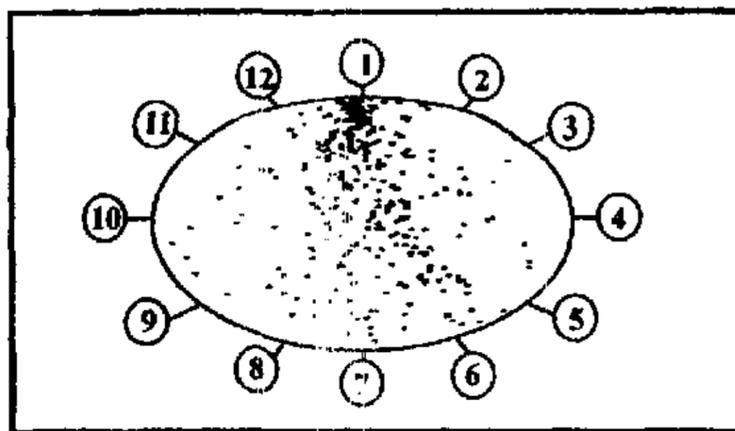
1. 潘永华等. 油气储运工程论文集. 石油工业出版社, 1993. 171-180
2. 戴光 等. 在役压力容器动态检测技术与研究进展. 中国安全科学学报, 1998, Vol. 8(5), 43-48
3. [日] 崎山邦久编著. 声发射 (AE) 技术的应用. 冶金工业出版社, 1996. 203-210
4. 戴光 等. 1000m<sup>3</sup> 立式储罐的动态检测与评价. 第八届全国声发射学术研讨会论文集, 1999, 91-95
5. T. Kishi, k. Takahashi, M. ohtsu. Progress in Acoustic Emission VI, The Japaness Society for Non-Destructive Inspection, 1992. 251-258



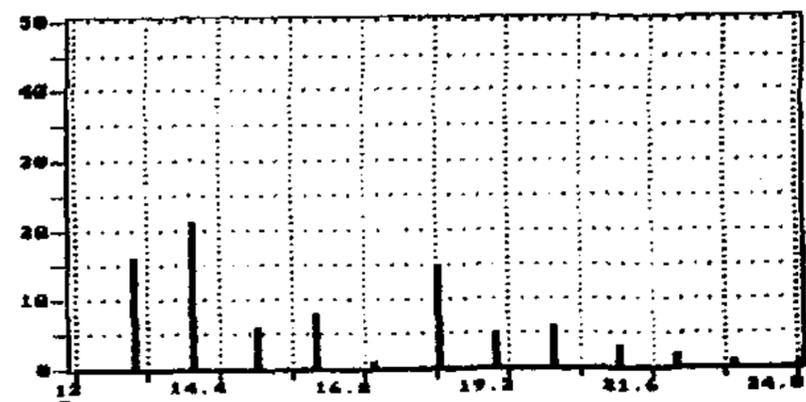
(a) H=13.00 液位保持阶段罐底定位图



(b) H=13.10 液位保持阶段罐底定位图



(c) H=13.00~8.90 液位下降阶段罐底定位图



(d) H=13.00 液位保持阶段罐壁各通道事件数

图3 声发射检测结果分析图

作者: [戴光](#), [徐彦廷](#), [李伟](#), [张颖](#)  
作者单位: [大庆石油学院](#)

## 相似文献(5条)

1. 期刊论文 [刘国文](#), [戴光](#), [徐彦廷](#), [李伟](#) 1000m<sup>3</sup>立式储罐腐蚀状态的在线检测与评价 - 油气田地面工程 1999, 18(5)  
为了解金属储罐是否出现劣化而对其进行在线检测的主要目的就是发现腐蚀损伤的部位,并确定腐蚀的实际状况。声发射技术是一种先进的动态检测方法。它通过布置在储罐上的换能器接收来自“声源”的信号,再通过专门的软件对收到的信息进行处理,进而判断储罐是否存在泄漏。根据超声测厚原理,若在扫描测厚时结果数值频繁变化,说明有腐蚀坑存在。将声发射在线检测与典型区域超声连续扫描测厚结合起来,可提高检测与评价的可靠性。采用32通道声发射检测分析仪与20MG高灵敏度超声测厚仪对某储罐进行了在线检测。结果表明,储罐底部存在一定腐蚀,但未发现泄漏现象。储罐罐壁不存在明显的腐蚀缺陷。
2. 学位论文 [张莹](#) 炼厂油品储罐的不停产检测技术研究 2005  
针对目前储罐检测及管理中的问题,该文选定开展立式储罐的声发射状态检测的技术研究,结合现代科学技术及管理方法,以期实现对立式储罐状态的动态检测和科学管理。这将有助于炼厂综合效益和管理水平的提高,同时在降低检测、维修费用,减少环境污染,提高设备的安全性方面,具有重要的意义和应用价值。  
开展立式储罐泄漏的声发射检测技术研究,主要是通过立式储罐泄漏过程声发射检测数据的分析,采用流体力学的知识研究罐底有效活动声源产生的机理及研究有效活动声源的特征,并通过实验室研究和现场模拟实验验证了立式储罐声发射检测技术的可行性、可靠性及有效活动声源的变化规律;开展立式储罐腐蚀的声发射检测技术研究,主要是通过真实腐蚀罐底板以及对带有焊缝罐底板声发射检测数据的分析,研究腐蚀过程触发信号与定位源信号的特征参数的分布范围和它们之间的区别及声源信号的变化规律。这些对指导实际立式储罐罐底的声发射检测具有重要的意义。
3. 会议论文 [张颖](#), [李伟](#), [徐彦廷](#), [戴光](#) 1000m<sup>3</sup>立式储罐腐蚀状态在线检测与评价 1999  
介绍了声发射检测和超声扫描测厚用于1000m<sup>3</sup>立式储罐腐蚀状态在线检测的方法。检测结果表明,采用该项技术可以对立式储罐的结构完整性作出评价。
4. 会议论文 [戴光](#), [徐彦廷](#), [李伟](#), [张颖](#) 1000m<sup>3</sup>立式储罐腐蚀状态在线检测与评价 1999  
介绍了声发射检测和超声扫描测厚用于1000m<sup>3</sup>立式储罐腐蚀状态在线检测的方法。检测结果表明,采用该项技术可以对立式储罐的结构完整性作出评价。
5. 学位论文 [刘富君](#) 立式储罐的状态监测及剩余寿命分析技术研究 2001  
该文针对现场立式储罐声发射检测的实际情况,选择以罐底板的腐蚀和泄漏为研究对象,开展立式储罐的声发射状态检测与寿命预测技术研究,以期实现对立式储罐状态的动态检测和科学管理。开展立式储罐泄漏的声发射检测技术研究,主要是通过立式储罐泄漏过程声发射检测数据的分析,采用流体力学的知识研究罐底有效活动声源产生的机理及研究有效活动声源的特征,并通过实验室研究和现场模拟实验验证了立式储罐声发射检测技术的可行性、可靠性及有效活动声源的变化规律;开展立式储罐腐蚀的声发射检测技术研究,主要是通过真实腐蚀罐底板以及对带有焊缝罐底板声发射检测数据的分析,研究腐蚀过程触发信号与定位源信号的特征参数的分布范围和它们之间的区别及声源信号的变化规律。这些对指导实际立式储罐罐底的声发射检测具有重要的意义。该文提出采用灰色关联分析方法和数理统计方法两种方法,对所得实验数据进行立式储罐剩余寿命的预测。通过对处理结果的分析,最终得出采用灰色关联分析的方法对储罐剩余寿命的预测优于数理统计的方法,并根据实验室模拟储罐和现场立式储罐的声发射检测,首次制定了立式储罐声发射检测及完整性评价方法标准。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_193279.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_193279.aspx)

下载时间: 2010年5月27日