

在线评估贮油罐底部腐蚀状况的经济有效技术

许凤旌 董卫平

美国物理声学公司（PAC）北京办事处

摘要：

本文介绍了一种非侵入式罐底腐蚀在线检测技术。应用该技术可为用户节省数百万美元的损失。本文在介绍该技术原理的基础上阐述了其在工业应用中的实际效果。

关键词：

腐蚀 罐底 声发射

1、引言

象其他金属结构和设备一样，贮油罐尤其是罐底在服役几年后也易遭受腐蚀；但不象其他结构，如果贮罐中的油不被清光的话，是很难发现或检测罐底腐蚀的。由于环保问题已是当今人类关注的主要焦点，罐底须履行定期检测来发现有害腐蚀以避免由此引起的泄漏事故。通常每隔数年需对贮罐腐蚀状态进行一次例行检测。

尽管现行的定期例行检测方法可以避免一些腐蚀引起的泄漏事故，但检测的经济性一直是人们关注的课题。由于缺乏有效的在线检测方法，通常需停止使用并清罐后才能用一些无损检测设备进行罐底检测。对于一些大罐，全部操作过程可能要超过 30 天，所以相关费用相当高。在理想的情况下，被清罐检查的贮罐刚好是严重腐蚀且需要维修的罐；而不幸的情况是，付出大量费用进行清罐检查的罐可能是不需要维修的好罐。遗憾的是：按现行的维护策略，后一种情况在实际工作中经常发生。通常情况是一些罐在例行维修之前就已经发生了严重腐蚀，而另一些罐在达到例行维修期时，还远没有出现有害腐蚀。实际上，对于一些贮罐公司做如此大批量的清罐检查往往受到费用的限制，很难对大批等待维修的贮罐列出维修优先顺序，如果无谓地清光那些好罐，将会造成很大浪费。因此如果有一种好的技术能帮助管理者列出贮罐的维修优先顺序，不仅能节省费用，更能节省时间。

鉴于上述原因，对于石化行业来说，一种能进行在线检测的非侵入式、不停产、不清罐、经济适用的罐底腐蚀状况评估技术应该是很有前景的。实际上，这种技术就是声发射罐底状况监测技术，也就是本文所要论述的技术。

声发射技术是一种在许多行业被广泛用于材料性能测试及状态监测的无损检测技术，下文首先介绍这种技术用于罐底检测的原理，进而用大量工业应用统计结果来验证这种技术的实际效果。

2、技术背景介绍

声发射是一种来自于材料内部由于突然释放应变能而形成的一种弹性应力波。诸多原因可以释放这种应变能，象材料裂纹、断裂、应力再分配、撞击及摩擦等。在腐蚀过程中由于氢脆裂纹的产生及腐蚀引起的断裂和分层也产生声发射波。不象振动波和可听音，声发射信号波形具有非常小的幅度和非常高的频率(100KHz - 2000KHz)，人类的听觉器官是不会感知的。但它可被高灵敏度的声发射传感器接收到，这种声发射传感器可将这种弹性波信号转换成电信号进而由声发射系统来数字化和处理。

声发射波信号不仅在它所产生的材料内部传播，也能传到材料表面并沿表面传播直至其能量完全衰减为止。所有材料，包括固体、液体及气体都能传播声发射波，但不同材料具有不同的信号衰减率。有幸的是，油是一种很好的传导介质。由罐底腐蚀引起的声发射波信号可通过油介质传播到数十米远的地方，以致于可以被安装到罐外壁的声发射传感器接收到，这种声发射信号可由先进的声发射仪器及软件

进行数字化分析。由于一个声发射源信号可被几个不同的声发射传感器接收到，因而可以根据接收时差对声发射源进行定位计算，这也是声发射技术的另一主要特征。

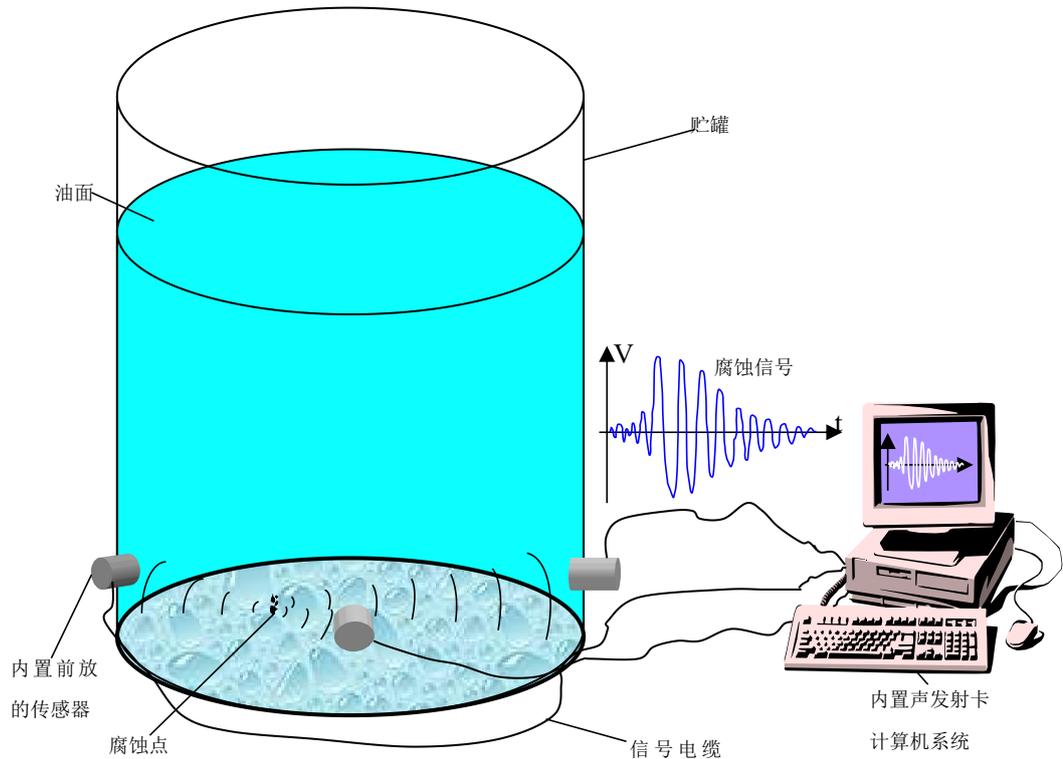


图 1 声发射罐底腐蚀检测方法简图。

图 1 为声发射罐底腐蚀检测简图。这种设备并不复杂，它由传感器、前置放大器、电缆线、声发射处理卡、计算机及软件等构成。所有检测过程都非常简单和方便，主要包括如下几个步骤：

- 1) 充油至 80%以上液面并使贮罐稳定几个小时（该过程可在夜间完成）。
- 2) 在罐的外壁底部安装传感器并由电缆线连到主机上（1 小时）
- 3) 运行声发射仪测试 1 小时
- 4) 存贮数据到计算机硬盘，进行下一罐测试
- 5) 在检测后进行数据处理，分析及出报告。

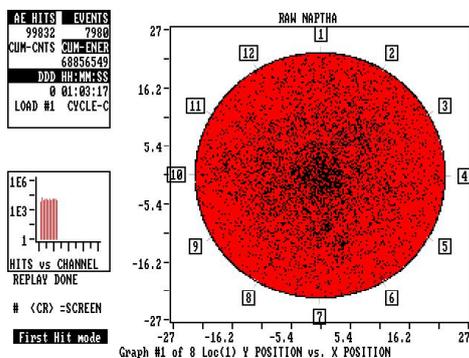
显然，上述过程不需要倒罐及清罐，只是在检测前需关闭阀门和泵几小时（最多 24 小时），检测完成后罐可立即投入使用。此外，由于它也非常省时省力，它比其他象超声，磁粉等离线检测方法更省费用。如果把倒罐、清罐、检测、重新充罐以及停产等所有因素都考虑进去，这种方法的经济高效的特点是非常显著的。

通常，所采集的声发射信号也许不能直接确认罐底的腐蚀状况，这是因为(i)一些来自于外界的噪音信号象风雨声、吹沙声或严重的交通噪声等也被包含在所采集的信号中。(ii)罐底腐蚀状况和声发射信号之间并没有直接的、理论上的对应关系。所以这种技术用于工业现场并解决问题的关键是：腐蚀信号是否能被检测到？腐蚀信号是否能从其他噪声信号中确认出来？以及这些腐蚀信号和具体的腐蚀状况的对应关系如何被确立？

上述关键已被称为 TANKPAC 的技术成功解决^[1-4]。这种技术是建立在声发射所采集到的数据与事后对数百个贮罐进行清罐并用其它无损检测手段检测验证进而建立的相关关系的基础上形成的。TANKPAC 技术根据罐底腐蚀情况将贮罐及状况进行由 A - E 的 5 级分类。每个等级都有相应的维修处理方法，具体见下表：

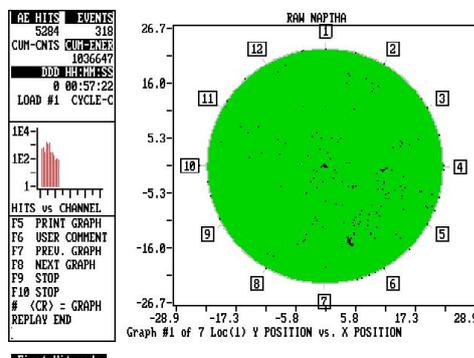
表 1. 基于腐蚀状况的声发射分类级别及维修优先建议

等级	腐蚀状况	维修/处理方法
A	非常微少	没有维修必要
B	少量	没有立即维修必要
C	中等	考虑维修
D	动态	维修计划中优先考虑
E	高动态	在维修计划中最优先考虑



GRADE **A** **B** **C** **D** **E**
 "ALL DATA" TANK PLOT
 OAL = 24%

(a) 维修前的 E 级罐



GRADE **A** **B** **C** **D** **E**
 "ALL DATA" TANK PLOT
 OAL = 18.1%

(b) 维修后的 A 级罐

图 2 罐底检测结果实例

图 2 给出一贮罐在维修前后声发射检测结果，维修前的 E 级罐 (2a) 维修后变成 A 级罐 (2b)，显然 TANKPAC 成功地区分开两种不同状况的罐。

3、工业使用验证

做为对 TANKPAC 技术应用效果的一个检验，598 个不同直径和高度的 A 级到 E 级罐的检测统计结果见图 3^[1-3]。根据维修计划所有这些罐都是必须清罐检测的。但基于维修优先权的分类建议表 1，

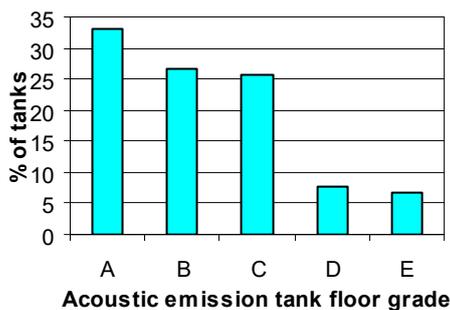


图 3. 598 个罐的声发射分类的百分比分布

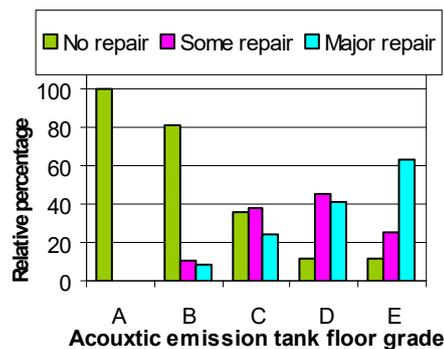


图 4. 罐底真实状况与声发射分类结果比较

有大部分的贮罐是不需立即维修的。如图 3 中可见，超过 50%的罐为不必立即维修的 A 类 B 类罐，这意味着占总数 50%以上的 A 类和 B 类罐不需要开罐而可立即重新投入使用。需进一步采取行动的只是 C - E 级罐，但优先维修的计划可基于 C - E 等级及维修费用等。基于这种策略所带来的经济效益是非常显著的，对于一个工业现场用户，一年节省数百万美元的检修费用不是不可能的。所以这种方法对于贮罐所有者是非常有吸引力的。然而，在这种技术被某一工业用户接受之前，必须提供足够的证据说服用户使他们相信表 1 中的声发射分类与腐蚀状况的关系是符合实际的。实际上，这种方法已带来了象 shell(壳牌)、Dow、Exxon 等公司的兴趣^[2-3]。全部 157 个贮罐事后被打开并由其他技术进行了检测验证，如目视检查，磁粉及超声等方法。这些被清理检查的罐的罐底状况被分为 3 种情况：

- (i) 不需维修（在实际中，不需要立即开罐维修）；
- (ii) 需要一些维修工作（腐蚀并不显著，可基于维修的优先计划进行开罐修理）；
- (iii) 大修/换罐底（已严重腐蚀，需给予最优先计划进行开罐维修）。

图 4 显示了这 157 个罐声发射分类结果与罐实际状况间的关系^[3]。罐底实际状况来自于开罐并由其他无损检测手段的检查结果。图中每一种声发射等级被规范化为 100%。非常令人兴奋的是，100%的 A 级罐和 80%的 B 级罐与实际情况非常吻合不需维修。而超过 60%的 E 级罐与实际需要大修的状况相吻合。这些数据使用户对 TANKPAC 的实用性及可靠性具有了充分的信心。考虑到在图 3 中，A 类、B 类罐的总体百分比已超过 50%，说明 50%以上的贮罐可不需开罐，这将节省大量开罐检测维修费用。

需注意到的是在上述罐底实际状况与声发射分类结果的关系中，有两种不大可靠的情况（出现在 B - E 级）。第一种是一些好的罐可能被分到(ii)、(iii)中，即需要些维修或大修；既然这种误判的百分比非常小而且它不影响 A、B 类准确分类的百分比，它的损失与 A、B 类罐的准确分类所带来的经济效益相比要小得多。第二种误判情况是，某一坏罐可能被分类到(i)类中，即不需要维修或不需要立即进行维修。这种误判是不影响 C - E 类维修方案的。它只影响 B 类罐的维修方案。对于此类情况可做如下分析：

- a) 这种误判的概率很小（<5%）；
- b) 可参考其它信息，比如罐的历史资料及潜在的泄漏数据等来改善声发射分类的准确性；
- c) 声发射分类的准确性可随着经验的积累及数据库的丰富得到改善；
- d) 最重要的是，维修结论并不简单地以是或否来回答，它是基于优先权的考虑。对 B 或 C 类中有些疑问的情况，可采用比 A 类罐短一点的维修周期或一定时间后重新用 TANKPAC 对贮罐进行测试。

考虑到上述事实，有信心说 TANKPAC 技术是一种非常可信赖的技术而且很有应用价值。

4、结论

传统的贮罐罐底腐蚀检测技术都是离线检测，耗时且不经济。本文讨论的 TANKPAC 技术则相反，是一种在线、高效、经济的方法。该技术原理已在本文中介绍，来自于工业应用的统计结果也显示了这种技术的可靠性和有效性。该技术最令人满意的结果是对于声发射分类结果的 A 类罐与好罐具有 100%的对应关系。其它声发射分类级别与实际罐情况也有相当的可靠性。该技术可使贮罐拥有者避免对那些好罐强制进行没必要的开罐检查，并帮助他们对其一些多少有些腐蚀的贮罐列出维修优先级。节省数以百万美元之费就在贮罐管理者的科学决策之中。

参考文献

1. Physical Acoustics Group, Acoustic Emission Testing of pressure systems and tanks, Brochure PAL, 1996.
2. P.J. van de Loo and B. Hermann, How reliable is acoustic emission (AE) tank testing? The quantified results of an AE user group correlation study, Proceedings of 7th ECNDT, Copenhagen, May 1998.
3. P.J. van de Loo and S.N. Gautrey, Correlation of AE gradings and their inspection follow-up gradings, Shell Amsterdam, 1998.
4. Philip Mathers, Million dollar savings: you just have to listen, Bulk Distributor, June 1998.