

## 基于油罐检测技术的油库安全管理措施研究

华卫星<sup>1\*</sup>, 张镇<sup>1</sup>, 何德安<sup>1</sup>, 崔冠英<sup>2</sup>, 马俊超<sup>3</sup>

(1. 陆军勤务学院, 2. 郑州联勤保障中心, 3. 91280 部队)

**摘要:** 本文研究油罐检测技术在油库安全应用问题. 我们提出基于声发射的油库安全检测技术, 及时掌握油库储油罐的底板腐蚀情况, 更大程度的减少油罐底板腐蚀情况检测的工作量, 以及开罐检测时的油料损耗, 利用声发射在线检测技术, 采集并分析该油罐底板的声发射数据, 实现对存在腐蚀缺陷的位置定位, 给出油罐维修的优先顺序, 为油罐的后期管理及维护提供相应的科学依据. 本文的研究成果可以在油库、加油站、战略储备库等油气储运行业领域库提供价值。

**关键词:** 储油罐, 腐蚀, 在线检测

油罐是石油工业中必不可少的组成部分, 随着经济的迅速发展, 原油和成品油的储备受到全世界越来越多的国家的普遍关注, 对各类油库的油品储备能力的要求也越来越高<sup>[1]</sup>。储油罐都存在着使用的安全性和检测的经济性两大问题, 且其具有分布集中、容积大、储存易燃、易爆、有毒等危险品的特点。目前常见的储油罐主要是立式圆柱形罐, 大型立式储油罐

---

\*通讯作者: 华卫星

2790-5446 /© Shuangqing Academic Publishing House Limited All rights reserved.

Article history: Received September 23, 2023 Accepted October 18, 2023 Available online October 19, 2023  
To cite this paper: 华卫星, 张镇, 何德安, 崔冠英, 马俊超(2023). 基于油罐检测技术的油库安全管理措施研究. 工程科学与技术研究, 第1卷, 第2期, 18-23.

Doi: <https://doi.org/10.55375/estr.2023.2.3>

---

发生事故的主要原因是腐蚀和泄漏，而底板是储罐受力最大、最薄弱和最危险的部位，定期开罐检查是发现罐底缺陷最直接、最有效的方法，但有时存在一定的盲目性，开罐检查会造成停罐、放空、更换、清洗等巨大的经济损失，以及一定程度的油料损耗，在更换的过程中也有可能会因泄露造成环境污染。因此，如何实现安全、准确、快速获取油罐技术状态成为一个课题。

本文提出基于声发射和开罐检测相结合的油罐检测方法，能够在线获取油罐腐蚀的情况，为油库安全管理决策提供依据。声发射检测技术是一种用于储罐检测的非破坏性检测技术，它能够检测出储罐的内部缺陷和损伤，并能及时提供预警，以便采取相应措施。因此，使用声发射检测技术来进行储油罐底部的缺陷检测和定位是检测技术发展的必要趋势。声发射检测技术是一种经济有效的检测方法，它被广泛应用在储罐和压力容器的检测<sup>[2]</sup>。

## 1 储油罐底板检测方法

根据是否需要储油罐停产，检测方案可以分为开罐检测和在线检测。相比开罐检测工作时间长、工作强度大、经济成本高，在线检测工期短，能够在不开罐的情况下及时了解储油罐内的缺陷情况。

### 1.1 开罐检测

开罐检测方法需要停工停产、腾空油罐、开罐通风、清理油罐，且缺乏有效的技术手段提前确定罐底状态以支持决策，存在作业成本高、安全风险大等缺点<sup>[3]</sup>。

### 1.2 在线检测

#### (1)超声波检测法

超声波检测法是对储油罐底板厚度进行检测，利用探头将脉冲通过耦合剂传送到被测钢板上，探头接收到回波，算出超声波在传播过程中的时间，通过超声波波速的测量和往返的时间来计算出罐底板的厚度<sup>[4]</sup>。

超声波检测的优点主要是无辐射、安全、不影响现场的作业、设备使用方便灵活、检测效率高。缺点是不能直观地显示缺陷；对被检测表面部位要求比较高，需要表面光滑；目前的检测能力仅适合检测罐底边缘板。

#### (2)漏磁检测法

漏磁检测法是在铁磁材料受到磁场作用下出现磁化现象，材料的表面和近表面如果存在缺陷，会形成漏磁场，通过对漏磁场的判定来检测缺陷的具体位置。通过使用励磁源对工件进行磁化，如果材料的表面和近表面没有缺陷存在的话，磁阻不会发生变化，磁通可以全部通过。如果当材料表面和近表面是存在缺陷的话，磁通则不能全部通过，磁阻会增加，形成漏磁场<sup>[5]</sup>。

漏磁检测的优点是通过漏磁场进行检测，减少了人为操作过程，检测速度快且无污染。但是漏磁检测是有局限性的，不能用于铁磁性材料之外的材料，对于形状复杂的部位并不适用，如罐底板的焊缝，在检测的过程中需要配合其他的检测方法使用。

#### (3)涡流检测法

涡流检测法是在导电材料中所使用的,基于电磁感应原理。当导电材料置于交变磁场中,在导电材料中会形成感应电流,这个感应电流被称为涡流<sup>[6]</sup>。涡流会根据导电材料的电导率、磁导率、形状、尺寸和缺陷的变化发生改变,利用涡流的改变来判断导体性质。

涡流检测的特点是在检测工件过程中不需要直接接触被测工件,可以在不使用耦合剂的条件下进行工作,对缺陷探测灵敏度高。缺点是不适用于复杂工件和近表面缺陷检测,检测结果容易受到其他因素的干扰。

#### (4) 声发射检测法

声发射检测法是通过物体本身发出的应力波来判断内部损伤的动态检测方法。根据储罐的现场情况计算出声发射传感器安装位置,在储罐外壁安装声发射传感器检测腐蚀和泄漏产生的声发射信号,通过对信号分析与处理,判断储罐罐底板的实际情况,并进行腐蚀等级判定,为原油储罐的检修提供重要的依据<sup>[7]</sup>,对原油储罐的安全性进行有效的评估。

声发射检测法的特点是不需要倒罐及清罐,只是在检测前需关闭阀门和泵,静置一段时间,检测完成后储油罐可立即投入使用。但检测信号会因储油罐的环境情况(如潮湿滴水、人员进出等)对声发射检测会造成干扰,形成伪定位。

### 1.3 储罐底板腐蚀在线检测方法对比

超声波检测、涡流检测、漏磁检测、超声波检测等检测方法均属于无损检测,运用这些方法检测储罐腐蚀程度并不会对储罐本身造成伤害,也不会影响储罐的正常运行,各种无损检测方法的特点如表 1 所示。

表 1 常用罐底腐蚀检测方法特点对比

名称	检测效率	适用性	检测区域	检测精度	准确性
超声波检测法	高	仅适用于检测部位表面光滑	整个罐底	只能进行点的测量	中
漏磁检测法	高	仅适用于铁磁性材料	最佳适用范围为不大于 12 mm 厚的钢板	无法检测到储油罐底板上的焊接区域	高
涡流检测法	高	仅适用于简单工件	不适合中等薄厚的钢板检测	检测准确度较高,但灵敏度较低	中
声发射检测法	高	均适用	整个罐底	检测精度较高	高

从表 1 得知,从适用性、检测区域以及检测准确性等角度分析,声发射检测法在相较于

---

其他几类检测方法有更为明显的优势。因此，在使用传统检测方法对储罐进行检测的时候，声发射检测技术可以实现对储油罐底的腐蚀状况评估，在储罐安全监测方面具有巨大的优势和重要的经济意义。

## 2. 声发射技术检测储罐的现状

### 2.1 国外声发射检测的发展状况

声发射检测技术起始于 1950 年的德国。1960 年到 1969 年间，该技术在美国航空故障检测和原子能故障检测中快速的发展。1970 年后，声发射检测技术在欧洲和中国等国家也相继得到了快速发展，并得到广泛的应用。1980 年后，声发射检测技术开始获得各个国家的重视。声发射检测技术检测储罐研究是从 20 世纪 90 年代开始的，首先是美国物理声学公司对常压储罐进行声发射技术在线检测储罐的研究<sup>[8]</sup>。

随着科技迅速发展，声发射检测设备也在不断更新，原来声发射检测技术的声源定位是对储罐底板的定位只有圆平面一种，美国物理声学公司采用 3D 定位对储罐进行声发射检测，使检测人员和企业人员更直观更清楚的检测储罐的缺陷<sup>[9]</sup>。

### 2.2 国内声发射检测的发展状况

声发射技术研究在国内起始于 20 世纪 70 年代。我国的声发射检测储罐技术在不断的发展，北京声华科技公司在声发射检测设备和声发射检测技术在国内处于领先地位。近些年来，我国在声发射检测领域建立了一系列标准用以保障生产安全，对标准化检测和减少事故起着很重要的作用。同时，我国首次提出声发射检测分级制度，将声发射检测结果按维修的优先等级进行划分<sup>[10]</sup>。

目前，国内大部分储罐检测采用的是常规的检测方法。例如，目视检测和超声波检测，随着国内储罐使用寿命的逐渐增长，一些储罐开始出现老化和损伤问题，这就需要采用更为先进的检测技术进行检测和预警，因此，声发射检测技术的应用前景非常广阔。

## 3. 声发射检测原理

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，如材料裂纹、断裂、应力再分配、撞击及摩擦等。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。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<sup>[11]</sup>。声发射罐底腐蚀检测简图如图 1 所示。

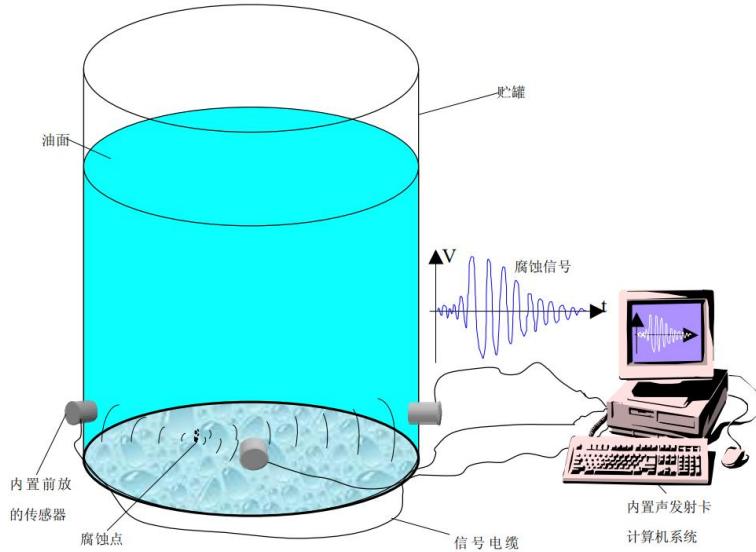


图 1 声发射罐底腐蚀检测方法简图

通常,传感器安装在距储罐底板约200-500 mm的距离处,均匀地安装在罐底壁的圆周上,使用传感器的数量由储罐的直径确定。储罐的声发射检测一般根据储罐的容积不同,在静置一段时间后进行,检测时间一般为1-2小时,对收集到的信号可以通过小波变换等方法对检测信号进行去噪处理。图2为声发射检测罐底腐蚀评定流程。

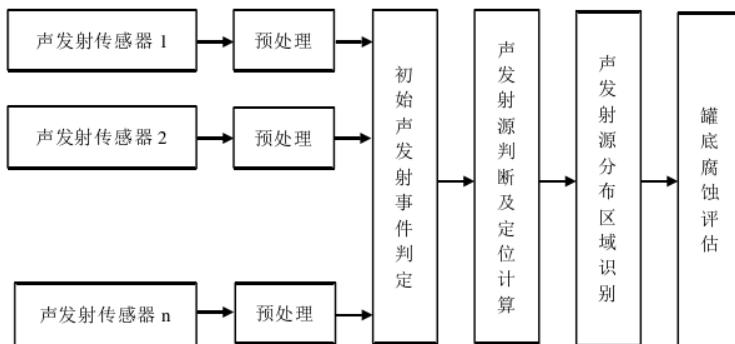


图 2 声发射检测罐底腐蚀评定流程

#### 4. 声发射检测技术对油库安全管理的要求

声发射检测技术作为一种在线、高效的检测方法,对管道和立式储油罐的缺陷定位具有指导意义。很大程度上,声发射检测技术可以减少底板腐蚀情况检测的工作量。根据声发射源的活动程度,工程师可以制定出合理的检修计划,并确定所要维修储油罐的优先权。因此,声发射检测技术可以辅助优化维修资源。值得注意的是,检测信号会因储油罐的环境情况(如潮湿滴水、人员进出等)对声发射检测会造成干扰,形成伪定位。

#### 5. 结论与展望

油库安全管理首先要对油罐的类型、检测技术、现场环境和技术条件等因素进行综合评

---

价,根据油罐的严重程度确定事故等级,启动油库检测应急预案,现场管理员下达相应的任务;在执行油罐检测前,应当根据油罐的危险等级,按照检测方案明确检测方式、人员和装备等,组织油库技术力量迅速开展行动。油库由于场地、时间等的限制,要求迅速制定合理的行动方案,选择科学有效的方法手段,在必要条件下尽可能减少人员进入,防止出现安全事故,在尽可能降低危险性的前提下,尽快完成油库安全检测任务。本文重点介绍了声发射检测技术的原理和安全要求。除了在油罐检测外,该技术在其他相关领域的前沿应用可以持续研究,提供工程作业效率。

### 参考文献:

- [1] 黄瑾, 巨西民, 李学平 & 易冬蕊(2012). 储罐声发射检测的研究现状. 辽宁化工(01), 25–27.
- [2] 赵彦修, 田红岩, 陈彦泽 & 王金龙(2020). 在役常压储罐的无损检测技术. 无损检测(09), 77–81.
- [3] 张传隆, 杜家超, 董常家, 郭洪 & 陈立志(2019). 一台  $5000\text{ m}^3$  立式常压储罐在线检测. 节能(12), 118–121.
- [4] 张安石(2019). 基于电磁超声的储罐底板缺陷识别技术研究(硕士学位论文, 中国石油大学(北京)).
- [5] 陈杰(2017). 储罐底板漏磁与电磁超声复合检测系统(硕士学位论文, 华中科技大学).
- [6] 单志军(2021). 特种设备无损检测技术仿真的探讨. 中国化工装备(03), 37–40.
- [7] 蒋林林, 李玲杰, 苏碧煌, 王志涛 & 张彦军(2021). 声发射技术在储罐底板腐蚀检测中的应用. 腐蚀与防护(02), 56–59+77.
- [8] Hasan M J, Kim J M. (2019). Fault detection of a spherical tank using a genetic algorithm-based hybrid feature pool and k-nearest neighbor algorithm[J]. Energies, 12(6): 991.
- [9] 何鑫业, 韩院锋 & 杨国洪(2021). 大型常压储罐的无损检测技术探析. 石化技术(08), 54–55.
- [10] 赵涛文(2019). 大型储罐底板全域声发射在线监测方法研究(硕士学位论文, 东北石油大学).
- [11] 盖法昂(2021). 经验小波变换在罐底腐蚀特征提取中的应用(硕士学位论文, 沈阳工业大学).