

# 大型常压储罐性能检测方法的分析

李 斌\*

(北京市房山区市场监督管理局特种设备检测所, 北京 100010)

**摘 要:**大型常压储罐是石油、化工、天然气等行业的关键设备,通常为立式圆通型钢制焊接储罐,具有容量大、结构简单等特点,是国家能源保障和战略储备的重要设施。但由于常压储罐标准体系尚不完善、设备老化超期服役、安全管理与检测不足等问题,导致其存在一定的安全隐患,对环境和公共安全构成了严重威胁。为了及时发现问题,降低事故概率,本文以某100000 m<sup>3</sup>原油储罐的检验过程为例,对比了不同检测方法在实际过程中的可操作性及操作重点,为大型常压储罐的定期检验方案提供参考。

**关键词:**大型常压储罐;定期检验;腐蚀监测;无损检测;在线检测

## 0 引言

石化行业对储罐需求持续增长,大型常压储罐建造和供应能力不足,致使大型常压储罐罐容紧张,很多大型常压储罐超期服役或连续运转超过规定年限,增加了安全事故发生的风险;其次国内关于常压储罐检验标准体系尚不完善<sup>[1]</sup>,检验方法和技术手段在实际应用中也存在诸多问题;再者常压储罐的安全管理法规机制建设不健全,缺乏具体的实施细则和监督机制,最终导致安全事故时有发生。本文主要以某100000 m<sup>3</sup>原油储罐的检验方法为例进行分析,为日后的其他大型常压储罐的检验检测工作方案提供参考。

## 1 设备基本概况

该原油储罐由中石化某设计院设计,1999年11月由北京某安装公司制造,于2001年2月投入使用。储罐的储存介质为原油,储罐图号为011-00XX,设计温度为50℃,公称容积为100000 m<sup>3</sup>,油罐内径为81000 mm,罐壁高度为21100 mm,腐蚀裕量:壁板1.0 mm、底板1.0 mm,主体材质:WH610D2、16MnR、Q235-A,壁板厚度:32 mm、27 mm、21 mm、18 mm、15 mm、12 mm、12 mm、12 mm、12 mm,底板厚度:边缘板18 mm,中幅板11 mm,顶板厚度:4.5 mm。

## 2 不同检测方法在常压储罐不同部位的应用

大型原油储罐的主要失效模式有腐蚀失效<sup>[2]</sup>、破裂失

效、失稳失效、应力集中失效等<sup>[3]</sup>,因此检验的方法也是针对以上几个方面制定的。检验人员通过查阅该原油储罐的设计、竣工及运行、修理、改造资料,勘察现场实际情况,制定了有针对性的检验方案。最终确定的检验方法包括:内外部宏观检查、厚度测量、罐底板的漏磁检测、底板和壁板焊缝表面无损检测、壁板焊缝超声检测、基础沉降测定。此外,必要时对于大型储罐的检验可以增加真空泄漏箱检测和声发射检测。

### 2.1 内外部宏观检验

宏观检验是大型常压储罐基础的检验方法,主要检查是否存在影响储罐安全使用要求以及可能影响使用的腐蚀、变形、机械损伤及安全附件的情况。除了常规的外观检查、结构和几何尺寸测量等,检验人员还应当着重检查防腐涂层的老化与破损,牺牲阳极保护装置的情况<sup>[4]</sup>,储罐壁板与抗风圈焊接部位,罐顶内壁、内浮盘底部等容易忽视的部位。对该储罐进行宏观检验时主要检验内容如下:

(1)油罐浮船的密封系统是否完好,测量浮船与壁板间距;浮顶支柱是否倾斜、是否与罐体接触,支柱对应部位底板的损坏情况;浮舱内隔板、肋板、桁架等是否完好,内表面有无腐蚀、泄漏。

(2)罐底板、壁板和浮船底板、边缘板内防腐层有无损坏、起皮、脱落、液面波动部位腐蚀情况;用5~10倍放大镜检查罐体焊缝,主要是罐壁与底板之间的连接角焊缝,下部两圈壁板纵环焊缝,进出口接管与壁板连接焊缝有无渗漏和裂纹。

\* 通信作者:李斌,工程师,研究方向为特种设备检验检测。E-mail: 343063234@qq.com

(3)导向管和量油孔外壁侧面是否有明显硬划伤，导轮、盖板、密封板、压板是否损坏，测定导向管、量油管的垂直度<sup>[5]</sup>。

(4)储罐基础沉降、罐体垂直度和椭圆度，护坡有无破损，沥青封口是否完好。

(5)防雷和静电接地装置。

(6)阴极保护装置的保护效果，牺牲阳极溶解情况，与罐底的连接是否完好。

检验过程中发现该设备原油进出口部位部分牺牲阳极损失严重，底板上表面部分涂层破损、脱落，如图1所示。损失严重的牺牲阳极，建议使用单位及时更换；底板上表面涂层破损、脱落部位，建议使用单位修复。



图1 底板上涂层破损、脱落图

## 2.2 超声波测厚

壁厚测量以常规超声波测厚仪和带涂层超声波测厚仪为主，必要时采用超声波探伤仪。在常压储罐的检验过程中，超声波测厚是针对罐壁板、顶板腐蚀减薄最经济可靠的检测方法。针对该设备，检验人员主要对以下部位进行壁厚的测定。

(1)内防腐层厚度测量<sup>[6]</sup>：用涂层测厚仪对罐底板、壁板和浮船底板、边缘板防腐层进行测厚，并与建造时防腐涂层厚度进行比对，见图2。



图2 涂层测厚图

(2)浮顶壁厚测定：除常规的顶点测量外，着重对宏观检测时发现的可疑部位进行重点复测。见图3。



图3 浮顶宏观图

(3)壁板壁厚测定：壁板的抽查重点在于下部第一、二层壁板以及宏观检测发现的疑似部位，对于液面波动部位和其他怀疑部位，必要时可以采用超声波自动爬壁系统对罐壁进行测定。

(4)罐底壁厚测定：重点测定防腐层损坏部位及漏磁检测方法发现的疑似部位。全面测厚验证底板腐蚀情况，按底板分布，每块板至少设置5个测厚点。

## 2.3 漏磁检测

漏磁检测主要适用于开罐检测时底板的检测。其主要工作原理是通过将罐底板进行磁化使之形成闭合磁场，由于铁磁性材料的磁导率与缺陷磁导率之间的不同，缺陷部位将产生漏磁场，而缺陷的大小与深度又与漏磁场的强度有关(图4)，因此通过探头对漏磁场进行测量，再经过计算对比就可了解缺陷的具体情况和严重程度<sup>[7]</sup>。

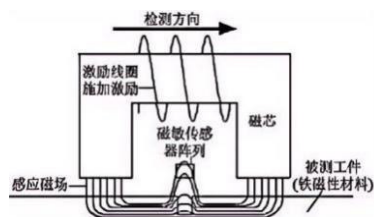


图4 漏磁法检测原理

在本次检验过程中，因罐底板为铁磁性材料并且不存在大量锈蚀及密集点蚀的情况，故采用了漏磁检测对罐底板进行100%检测。检测过程中采用逐一编号分割检测的方式避免漏检。记录超过40%壁厚损失的腐蚀点，用图像记录检测结果(图5、图6)，对检测中发现的可疑部位进行标注并采用超声波测厚的方式进行复查<sup>[8]</sup>(图7)。

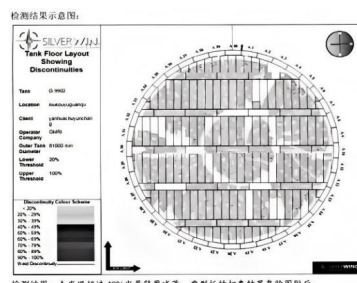
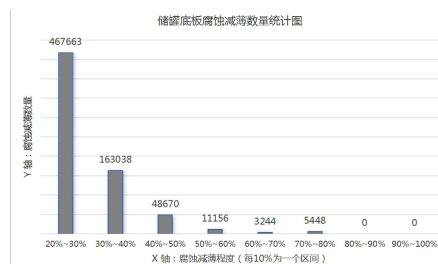


图5 漏磁检测全部底板扫查图像



注：40%以上确认为表面凸起及涂层引起，评定时剔除。

图6 漏磁检测底板扫查图像合成统计图



图7 底板漏磁检测扫描图像与宏观照片对应示意图

#### 2.4 底板和壁板焊缝表面无损检测

根据不同检测方法的特点,选择有针对性的检测方法,对于大型常压储罐底板和壁板焊缝表面的无损检测方法主要有磁粉检测、渗透检测以及真空泄漏检验箱检测。表面无损检测优先采用磁粉检测方法,罐内采用荧光磁粉检查,在无法采用磁粉检测时,可采用渗透检测;对储罐底板焊缝的怀疑部位进行真空泄漏箱检测抽查。因该储罐宏观检查未发现焊缝表面缺陷,故对第一圈、第二圈壁板的丁字焊缝只选择做磁粉检测,大角焊缝、接管与壁板连接的角焊缝、支柱对应垫板、加强板焊缝采用渗透检测<sup>[9]</sup>。

#### 2.5 壁板焊缝超声检测

超声波检测是检测材料内部和表面缺陷常用的无损检测方法<sup>[10]</sup>。本次检验过程中,检验人员用斜探头重点对第一圈壁板与第二圈壁板之间的丁字口(22个)进行超声波检测,抽查焊缝的长度不小于该部分纵焊缝总长的10%,且包括全部丁字焊缝(每个丁字口三个方向各1米),检测焊缝是否存在缺陷。

#### 2.6 基础沉降测定

常压储罐的基础沉降可分为均匀沉降和不均匀沉降,造成其沉降的原因包括:基土的不均匀压缩、载荷分布不均、地下水变化、施工质量等。而不均匀沉降会导致大型储罐壁板和底板的各种沉降变形,就可能造成罐体几何变形、应力集中,甚至导致焊缝撕裂、原油泄漏,从而酿成事故<sup>[11]</sup>。因此,沉降测定是保障大型常压储罐安全运行的重要手段。本次沉降测定采用水准仪测量法,沿罐壁均匀设置观测点(通常每36 m一个观测点),罐底再增设8个观测点。具体测量结果如下:

该储罐观测基准高度3160 mm,沉降观测结果见表1。

通过采集数据并进行有限元数据模型分析,可得出该设备沉降问题关键所在,提示使用单位需重点注意部位,进而对储罐的沉降进行有效控制。

表1 沉降观测结果

测点	观测点测量值/mm	测点	观测点测量值/mm
1	3190	13	3230
2	3290	14	3240
3	3280	15	3160
4	3300	16	3240
5	3310	17	3150
6	3295	18	3170
7	3330	19	3135
8	3280	20	3140
9	3270	21	3300
10	3260	22	3310
11	3255	23	3300
12	3240	24	3280

### 3 其他在线检测技术的应用

#### 3.1 声发射检测技术

声发射检测技术是一种被动式无损检测方法,通过捕捉材料或结构在受力过冲中因内部缺陷释放的弹性波信号,评估其健康状态和损伤程度。现阶段,这项技术在承压类设备检测的应用中已经非常成熟<sup>[12]</sup>。对于大型常压储罐,声发射检测技术主要适用于对储罐底板腐蚀状态的在线检测中。在保持储罐一定液位的情况下,尽可能切断外在影响因素,利用多传感器阵列,收集由于储罐底板腐蚀、变形、泄漏等产生的声信号,通过分析计算信号时间差确定位置,再结合信号的幅度、频率等特征评估损伤的严重性<sup>[13]</sup>。声发射检测技术的优势是可在不开罐的情况下完成对罐底板的检测,方便快捷,但也因其无法对损伤明确定量<sup>[14]</sup>,需要配合其他无损检测方法,所以声发射技术可作为提高储罐安全使用管理、完善检验周期预估、方案

确定的一种重要技术手段<sup>[15]</sup>。

### 3.2 基于风险的检验 (RBI)

RBI是一种先进的设备管理技术,通过对设备的失效可能性(POF)和失效后果(POC)进行评估和分析,制定科学合理的检测计划,以提高设备的安全性和可靠性<sup>[16]</sup>。对于大型常压储罐,RBI可通过对其腐蚀机理分析和风险定量计算,对储罐的罐壁、罐底等部位的风险进行等级划分<sup>[17]</sup>。从而达到合理分配检测资源,避免设备过度检查,节约成本,保障安全的目的<sup>[18]</sup>。

### 3.3 交流电磁场检测 (ACFM) 技术

ACFM技术是一种新型电磁无损检测技术,在设备表面施加交变电流,通过感应电流产生的磁场变化来检测表面或近表面的裂纹、腐蚀等缺陷。当电流通过缺陷时,缺陷会干扰磁场,致使其形成畸变。通过测量这种畸变,可以确定缺陷的具体位置、长度和深度,有着较高的灵敏度和分辨率<sup>[19]</sup>。ACFM技术还具有以下技术优点:①无需进行表面预处理,省去打磨清洁步骤;②定量检测,能准确估算裂纹深度和长度<sup>[6]</sup>;③非接触式检测,减少了操作风险,适合复杂形状或高温表面;④快速检测,其扫描速度可达30 cm/s,适用于大规模检测;⑤检测数据可实时显示回放,提高现场检测效率。所以该技术十分适合大型常压储罐的在线检测及使用评价<sup>[20]</sup>。

## 4 结 论

本文以北京某大型常压储罐的检验过程为例,对其进行资料审查结合现场情况,应用现有的检验检测技术制定检验方案并实施检验。基于宏观检查、腐蚀检测、焊缝检测、沉降检测等结果,以相关标准为依据,对该设备进行合理的风险评估,为今后大型常压储罐长周期运行提供有力保障。也对新技术进行系统性对比分析,为大型常压储罐检验检测及风险评估提供新思路,力求持续采用最实用的方法保障大型常压储罐的安全运行。

### 参考文献

- [1] 赵彦修,王十,杜家超.常压储罐在用检验标准对比与分析[J].中国特种设备安全,2020,36(12):38-41.  
[2] 郭洪,邢述,程永航,等.大型常压储罐底板失效案例分

- 析[J].石油化工腐蚀与防护,2020,37(2):46-48.  
[3] 黄卫东.钢制立式储罐常见失效模式及检测技术[J].化工装备技术,2015,36(6):26-29.  
[4] 刘功祥.大型常压储罐底板的宏观检查[J].化工装备技术,2017,38(4):46-48.  
[5] 刘功祥.大型常压储罐罐顶的宏观检查[J].化工装备技术,2014,35(6):29-31.  
[6] 张永吉.大型储罐防腐涂层厚度检测技术分析[J].全面腐蚀控制,2020,2:48-49.  
[7] 王忠滨.常压立式储罐底板漏磁扫描检测技术研究与应用[J].装备制造技术,2013,(9):11-13.  
[8] 刘万超,覃磊,路通.常压储罐底板漏磁检测技术应用与探讨[J].检验与技术,2024,1:45-48.  
[9] 陈思强,王金玮.危险化学品常压储罐定期检验管理探讨[J].化工管理,2023,13:127-131.  
[10] 田红岩,陈彦泽,王金龙.在役常压储罐的无损检测技术[J].无损检测,2020,42(9):77-81.  
[11] 石磊,帅健,许葵.大型油罐基础沉降国内外评价标准对比[J].投产与运行,2014,(8):23-26.  
[12] 冯展杭.声发射在油田常压储罐检测中的应用[J].安全技术,2011,11(2):67-68.  
[13] 龙飞飞,钟时达,李铎.基于新型阵列的储罐底板声发射定位方法[J].试验研究,2024,46(2):29-32.  
[14] 甘鹏程,石秀山,王十,等.储罐底板声发射信号衰减特性研究[J].中国特种设备安全,2023,S2:71-76.  
[15] 夏利群.声发射技术在储罐腐蚀检测中的应用综述[J].现在职业安全,2023,6:55-57.  
[16] 丁昱智,曹金鑫,李涛,等.基于风险的检验技术在石油炼化领域中的研究进展[J].中国腐蚀与防护学报,2024,6(3):553-566.  
[17] 王伟华.基于腐蚀的常压储罐定量RBI方法[J].化工装备技术,2011,(6):11-13.  
[18] 郝悦,王晶,孙成德,等.基于大数据的储罐大修周期预测方法[J].石油化工腐蚀与防护,2024,41(5):32-38.  
[19] 王十,田高佳,谢晓东.在役常压储罐在线检测新技术[J].石油化工设备技术,2023,(10):89-90.  
[20] 叶良平.无损检测技术在常压储罐检验中的应用[J].当代化工研究,2022,14:88-90.