

常压油气储罐在役检验技术与应用研究

韩西成, 张锐, 王智

汉正检测技术有限公司, 四川 广汉 618300

DOI:10.61369/ME.2025050004

摘要 : 本文旨在系统探讨常压油气储罐在役检验的核心价值、技术体系及工程应用实践。通过整合外观检查、无损检测、厚度测量、基础沉降测量等传统检验手段, 结合智能化检测技术发展趋势, 详细阐述各技术的原理、操作要点; 同时引入多案例分析, 验证检验技术在缺陷识别、安全风险预警、全生命周期管理中的关键作用, 为常压油气储罐的精细化维护管理提供技术支撑与实践参考, 最终保障石油化工行业的安全生产、环境安全及稳定运营。

关键词 : 外观检测; 无损检测; 厚度测量; 基础沉降测量

Research on In-Service Inspection Technology and Application of Atmospheric Oil and Gas Storage Tanks

Han Xicheng, Zhang Rui, Wang Zhi

Hanzheng Testing Technology Co., LTD., Guanghan, Sichuan 618300

Abstract : This paper aims to systematically explore the core value, technical system, and engineering application practice of in-service inspection for atmospheric oil and gas storage tanks. By integrating traditional inspection methods such as visual inspection, non-destructive testing, thickness measurement, and foundation settlement measurement, and combining with the development trend of intelligent testing technology, it elaborates on the principles and key operation points of each technology in detail. Meanwhile, multiple case studies are introduced to verify the key role of inspection technologies in defect identification, safety risk early warning, and full-life-cycle management. This study provides technical support and practical reference for the refined maintenance and management of atmospheric oil and gas storage tanks, and ultimately ensures the safe production, environmental safety, and stable operation of the petrochemical industry.

Keywords : visual inspection; non-destructive testing (NDT); thickness measurement; foundation settlement measurement

引言

常压油气储罐是石油化工行业核心存储设备, 广泛用于原油、成品油、液化石油气及化工中间体存储, 单罐容积数百至十万立方米, 多集中于大型储备库、炼化厂区。因储存介质多易燃易爆、强腐蚀, 且储罐长期服役面临环境腐蚀、力学损伤、老化劣化等问题, 易出现壁板减薄、焊缝裂纹、基础开裂、附件失效等缺陷^[1]。若未及时发现, 可能引发介质泄漏、火灾爆炸等事故。据统计, 近十年国内石化领域因储罐缺陷导致的泄漏事故中, 约 68% 与未有效开展在役检验相关, 年均直接经济损失超亿元, 还伴随严重环境污染风险。因此, 开展常态化、高精度在役检验^[2], 是发现潜在缺陷、评估结构完整性与安全裕度的关键, 也是制定维护策略、实现储罐全生命周期安全管理的核心。在石化行业向大型化、集约化发展的背景下, 储罐在役检验技术的规范化、智能化^[3], 对提升行业本质安全水平意义重大。

一、常压油气储罐在役检验方法

速筛查, 重点覆盖以下维度, 且需结合储罐结构特点与服役环境制定差异化检查方案:

(一) 外观检查

外观检查是在役检验的基础环节, 以目视检测为核心, 辅以卷尺、水平仪、内窥镜等工具, 实现对储罐整体及关键部位的快

速筛查, 重点覆盖以下维度, 且需结合储罐结构特点与服役环境制定差异化检查方案:

1. 罐体结构检查

(1) 罐壁: 查看表面是否存在局部变形、鼓包、褶皱以及涂层破损情况——若防腐层出现大面积起皮、脱落或锈蚀, 需标记

作者简介: 韩西成 (1984.04-), 男, 四川德阳人, 中级工程师, 研究方向: 设备检验检测方向。

为高风险区域，后续需结合无损检测确认基体损伤；同时检查罐壁接管与罐体连接部位是否存在渗漏痕迹。

（2）罐顶：对固定顶储罐，重点检查顶板与承压环连接焊缝是否有开裂、渗漏，内浮顶储罐需检查浮盘密封装置的完好性、浮舱有无鼓包或泄漏，以及导向管、量油孔的直线度与垂直度。

（3）罐底基础：采用水平仪检测基础平整度，查看混凝土环梁是否有开裂、沉降，散水坡是否破损；对钢结构基础，需检查支撑构件的腐蚀与螺栓紧固情况。

2. 安全附件检查

（1）压力调节类：呼吸阀需检查阀体有无腐蚀、阀盘密封面是否完好，通过现场测试确认其开启压力与关闭压力是否正常；安全阀需核查校验有效期，确保铅封完好，且排放口无堵塞。

（2）计量监测类：液位计需检查显示是否准确、连接部位有无泄漏；温度传感器、压力传感器需确认数据传输正常，无漂移或故障。

（3）应急防护类：紧急切断阀需测试开关动作是否灵活，关闭响应时间是否满足规范要求；牺牲阳极、阴极保护系统需检查阳极损耗情况、保护电位是否处于有效范围。

（二）无损检测

无损检测是深入识别储罐内部及表面缺陷的核心技术，需根据检测部位、缺陷类型及材料特性选择适配方法^[4]，具体技术要点如下：

1. 超声波检测技术

原理：利用超声波在金属材料中传播时的反射、折射特性，当超声波遇到缺陷或界面时，会产生反射波，通过接收并分析反射波的传播时间、幅度与波形，确定缺陷的位置、深度、长度及性质^[5]。

操作要点：检测前需对罐壁、底板表面进行预处理，去除涂层、锈蚀及油污；采用纵波探头检测内部缺陷，横波探头检测焊缝缺陷，对罐壁下三层需加密检测点，每块壁板检测点数不少于5点，接管部位需在上下左右4个方向各布置1个检测点；检测过程中需采用标准试块进行校准，确保检测灵敏度满足要求。



图1.超声波检测设备图

2. 磁粉检测技术

原理：基于铁磁性材料的磁导率差异，对检测部位施加磁

场，使材料磁化，若存在表面或近表面缺陷，缺陷处磁导率会显著低于基体，导致磁力线发生畸变并产生漏磁场，此时施加磁粉，磁粉会在漏磁场处聚集，形成可目视观察的缺陷显示。

操作要点：检测前需将焊缝及应力集中区域表面打磨至露出金属光泽，打磨范围应覆盖焊缝两侧各50mm区域；根据检测部位选择磁化方式，罐壁纵焊缝、环焊缝宜采用磁轭法，小型附件宜采用触头法；检测后需彻底清除磁粉，避免剩磁影响储罐正常运行。



图2.磁粉检测设备图

3. 声发射检测技术

原理：声发射技术基于“材料损伤时的能量释放”原理，利用高灵敏度声传感器捕捉储罐部件在受力或环境作用下产生的弹性波。当储罐存在裂纹萌生与扩展、焊缝开裂、腐蚀产物剥离、金属塑性变形等损伤时，内部原子间结合能会以弹性波形式释放，传感器将该机械振动信号转换为电信号，经前置放大器放大、数据采集系统处理后，通过分析信号的幅值、计数、上升时间、持续时间等特征参数，可定位损伤源位置、判断损伤类型，并评估损伤严重程度。

操作要点：（1）检测前准备传感器布置：根据储罐结构与风险区域确定传感器数量与位置，罐壁检测通常沿圆周均匀布设，间距≤3m，高度方向覆盖上、中、下三层壁板；传感器与罐体表面需通过耦合剂紧密贴合，耦合层厚度≤0.2mm，确保信号传输效率，必要时采用磁性吸附或机械夹持方式固定传感器，避免检测过程中位移。（2）系统校准：采用标准声发射源对检测系统进行灵敏度校准，确保各传感器响应一致性，校准误差需≤5%；同时进行背景噪声测试，关闭储罐周边干扰源后，背景噪声幅值应≤20dB，若超标需排查电磁干扰或机械振动。（3）加载方案确定：根据储罐实际工况制定加载程序，如常压储罐可采用“充水加载-保压-排水卸载”循环，压力储罐可按设计压力的25%、50%、75%、100%分级升压，每级保压30min，通过加载过程中的信号变化捕捉损伤动态发展。（4）检测过程控制信号采集：数据采样率≥1MHz，信号阈值设定为背景噪声幅值的1.5~2倍，避免误触发；实时监测并记录各传感器的信号特征，对幅值>80dB、计数>50次/min的异常信号，标记为“可疑损伤源”，并通过多传感器时差定位法确定其具体位置。



图3.渗透检测设备图

4. 漏磁检测技术

原理：基于铁磁性材料的磁泄漏效应，通过磁化装置对储罐底板、壁板等铁磁性构件进行整体磁化，使构件内部产生均匀磁场；当构件存在表面或近表面缺陷时，缺陷处的磁阻增大，磁力线无法顺畅通过，会从缺陷处“泄漏”形成漏磁场；利用磁敏传感器采集漏磁场信号，经数据处理后转化为可视化图像，从而确定缺陷的位置、面积及严重程度。

操作要点：（1）预处理：检测前需清除构件表面的大型杂物，若表面存在涂层，需确认涂层厚度 $\leq 2\text{mm}$ ，避免涂层对磁场强度产生干扰；对于罐底检测，需先排空罐内介质并清理沉积水，确保检测区域干燥。（2）设备校准：采用与被检构件材质、厚度相同的标准试块进行校准，调节磁化强度、传感器灵敏度及数据采集参数，使设备能准确识别标准试块中的人工缺陷，且缺陷定位误差 $\leq 5\text{mm}$ 。（3）检测实施：罐底检测采用自动扫查装置，扫查速度控制在 $50\text{mm/s} \sim 100\text{mm/s}$ ，扫查间距重叠率 $\geq 10\%$ ，确保无检测盲区；罐壁检测可搭配爬壁机器人，实现垂直方向连续扫查，重点关注下三层壁板及焊缝区域；检测过程中实时记录漏磁场信号，对信号强度超过阈值的区域进行标记。



图4.漏磁检测设备图

（三）厚度测量

厚度测量是评估储罐腐蚀程度、预测剩余寿命的关键手段，核心采用超声波测厚仪，结合储罐腐蚀规律与服役年限制定科学

的测量方案，具体要求如下：

1. 测量点规划

罐壁：根据腐蚀风险分级布置测点，下三层壁板每块板布置不少于8个测点，上三层壁板每块板布置不少于3个测点；对于介质含硫量 $> 1\%$ 或含氯量 $> 500\text{mg/L}$ 的储罐，需在液-气界面区域额外加密测点。

罐底：重点检测边缘板、中心板及底板与罐壁连接的边缘区域，边缘板每块布置不少于6个测点，中心板采用网格法布置；对曾发现过腐蚀减薄的区域，需扩大测量范围。

接管：对 $\text{DN} \geq 50\text{mm}$ 的接管，需在进口端、出口端及弯管处各布置4个测点（上下左右方向），尤其关注介质冲刷严重的部位（如接管入口处）。

2. 数据处理与评估

厚度对比：将实测厚度与储罐设计厚度、上次检验厚度进行对比，计算腐蚀速率，若腐蚀速率 $> 0.1\text{mm/年}$ 或 $> 0.05\text{mm/年}$ ，需分析腐蚀原因并制定针对性措施。

剩余寿命预测：根据剩余壁厚与腐蚀速率，计算储罐剩余寿命，当剩余寿命 $< 5\text{年}$ 时，需缩短检验周期；当剩余壁厚 $<$ 设计厚度的80%时，需评估结构强度，必要时采取局部更换或加固措施。



图5.厚度测量设备图

（四）基础沉降测量

基础沉降是影响常压油气储罐结构稳定性的核心因素，需通过全站仪高精度测量结合数据动态分析，精准评估沉降速率、沉降均匀性及对罐体的影响。该技术可同步获取监测点平面位移与高程变化，兼顾沉降量与罐体倾斜变形双重监测需求，具体技术要点与实施流程如下：

1. 监测点与测站布设方案

基础环梁监测点：沿储罐基础混凝土环梁外侧均匀布设，数量依储罐直径确定；采用不锈钢强制对中标志，确保稳固无位移，标志顶部刻十字丝作为全站仪照准目标，每个监测点需标注编号、布设日期及初始三维坐标。

罐壁监测点：在罐壁底部、中部、顶部对应环梁监测点位置，用磁性吸附式棱镜座布设，同步测量不同高度水平位移与沉降量以计算罐壁倾斜率；浮顶储罐需在浮顶边缘增设2~4个监测点，评估浮顶卡滞风险。

基准点与测站布设：在储罐影响范围外布设3个以上平面高程

基准点，形成三角控制网；基准点采用混凝土墩式结构，顶部装强制对中装置，定期用二等水准测量校准高程。测站需满足“通视良好、无遮挡”，每个测站至少观测8个以上监测点，大型储罐需布设2~3个测站形成闭合观测网，避免盲区。

2. 全站仪检测操作要点与频次

检测前准备：设备选型与校准：选用高精度全站仪，检测前按规范校准2C值、指标差、视准轴误差，确保角度测量偏差 $\leq \pm 1''$ 、距离测量偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ；棱镜需用高精度对中棱镜，并核对棱镜常数与全站仪匹配性。

现场环境控制：选择无风、无强光直射、温度稳定时段检测；清除罐壁监测点表面油污、锈蚀，确保棱镜座安装牢固；全站仪架设在测站强制对中装置上，精确对中整平后静置15分钟，待仪器与环境温度一致再测量。

检测实施流程：1) 定向与设站：以2个基准点为已知点，用“后方交会法”设站并计算测站三维坐标，设站后观测第3个基准点检核，坐标差值 $\leq \pm 2\text{mm}$ 即为合格；对每个监测点采用“多测回观测法”，观测2个测回，记录水平角、垂直角及斜距，通过三角高程公式算高程，极坐标公式算水平坐标。2) 数据记录与检核：用全站仪配套软件实时记录数据，每个测站观测完成后计算闭合差，高程闭合差 $\leq \pm 4\sqrt{\text{nmm}}$ 、水平坐标闭合差 $\leq \pm 2\sqrt{\text{nmm}}$ ，超限需重新观测至合格。

监测频次：1) 新建储罐：投用后前3个月每月1次，3~12个月每3个月1次，1年后沉降稳定则每6个月1次；若沉降速率 $>1\text{mm}/\text{月}$ 或水平位移量 $>8\text{mm}/\text{月}$ ，加密至每15天1次。2) 在用储罐：正常服役期每6个月1次；遭遇极端天气、周边施工或历史数据异常时，需在72小时内开展应急监测，并连续监测1个月捕捉沉降动态。



图6. 基础沉降测量设备图

3. 数据处理与风险评估

数据处理：用专业测量软件对观测数据平差计算，剔除粗

差，生成各监测点“沉降量-时间”“水平位移-时间”“倾斜率-时间”曲线；结合罐壁不同高度监测点数据，计算罐壁弯曲变形值，评估沉降是否导致罐体局部应力集中。

风险评估：1) 沉降稳定判断：连续2次监测沉降速率 $\leq 0.3\text{mm}/\text{月}$ 、水平位移量 $\leq 3\text{mm}/\text{月}$ ，且不均匀沉降差无明显增大趋势，判定基础沉降稳定；若沉降速率持续 $>1\text{mm}/\text{月}$ 或不均匀沉降差 $>3\%$ ，需结合有限元分析模拟罐壁应力，判断焊缝开裂风险。2) 倾斜影响评估：罐壁倾斜率 $>0.8\%$ 时，需检查浮顶导向管与浮盘配合间隙，用内窥镜检测罐底与基础接触状态，防止底板局部悬空；水平位移量 $>10\text{mm}$ 时，排查基础滑动风险。

二、在役检验案例分析

以某石油储备库的一座10万立方米常压原油储罐为例。在定期在役检验中，外观检查发现罐顶局部有轻微凹陷变形，可能是由于长期承受内部压力波动及积雪等外部荷载所致。采用超声波检测对罐壁焊缝进行检测时，发现一处焊缝存在内部未熔合缺陷，长度约50mm。经磁粉检测进一步确认，该缺陷位于焊缝表面以下约5mm处。厚度测量结果显示，罐底边缘板局部区域由于长期受介质和土壤腐蚀，厚度减薄较为明显，最薄处已接近设计厚度的80%。根据检验结果，对罐顶凹陷部位进行了修复和加固处理；对于焊缝缺陷，采用挖补修复工艺，确保焊缝质量；针对罐底边缘板厚度减薄问题，制定了局部更换计划，并加强了罐底的防腐措施。通过及时的在役检验和有效修复措施，保障了该储罐的安全运行，避免了潜在事故的发生。

三、结论

常压油气储罐在役检验是保障其安全运行的“生命线”，通过综合运用外观检查、无损检测、厚度测量等技术，可实现对储罐从表面到内部、从结构到附件的全面检测，及时发现变形、裂纹、腐蚀减薄等缺陷，为安全风险评估提供精准数据支撑。结合上述案例可知，基于检验结果制定的修复与维护策略，能够有效遏制缺陷扩展，降低事故风险，延长储罐使用寿命，同时减少非计划停机时间，为企业创造显著经济价值。此外，在役检验还需注重“差异化”与“常态化”：针对不同介质、不同结构的储罐，需制定个性化检验方案；同时建立“年度常规检验+季度专项检查+月度附件巡检”的三级检验体系，确保储罐全生命周期处于有效监控范围内。

参考文献

- [1] 张永山. 储油罐腐蚀与检测技术研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(03): 64-66+73.
- [2] 李斌. 大型常压储罐性能检测方法的分析 [J]. 实验室检测, 2025, 3(05): 93-96.
- [3] 孙博, 张云卫, 崔强, 等. 液化天然气 (LNG) 储罐外罐完整性检测及监测技术研究现状 [J]. 工程质量, 2025, 43(S1): 158-162.
- [4] 李帅. 无损检测技术在原油储罐中的应用分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (03): 206-208.
- [5] 韩庆, 赵杰, 仇东泉, 等. 基于声发射检测的储罐腐蚀检测及定位研究 [J]. 清洗世界, 2025, 41(01): 66.