

# 10 万 m<sup>3</sup> 原油外浮顶储罐检修过程中密封性能检测技术优化

邝昌柳 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

**摘要:** 面向 10 万 m<sup>3</sup> 原油外浮顶储罐检修期密封性能检测覆盖不足、油气干扰强与工期紧等难题, 提出以工况标准化、分区布点与路线优化、数字化采集与智能判读为核心的优化方案。围绕环形间隙、一次/二次密封接触带、穿透件运动部件及搭接变形区等关键部位, 采用方位角编码、加密扫描与多手段互证, 强化点源与线源识别, 提高缺陷定位精度与判定一致性, 提升现场效率与资料完整性, 为大型储罐检修验收与 VOCs 控制提供技术参考。

**关键词:** 10 万 m<sup>3</sup> 储罐; 外浮顶; 一次密封; 二次密封; 渗漏检测

**中图分类号:** TE972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0139-03

## Optimization of Sealing Performance Testing Technology for 100,000 m<sup>3</sup> Crude Oil Floating Top Storage Tanks During Maintenance

Kuang Changliu (China Petrochemical Hainan Refining & Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

**Abstract:** To address challenges such as insufficient coverage of sealing performance testing, strong oil-gas interference, and tight schedules during the maintenance of 100,000 m<sup>3</sup> crude oil floating top storage tanks, an optimization solution is proposed, focusing on standardized working conditions, zoned layout and route optimization, digital data acquisition, and intelligent interpretation. Key areas such as annular gaps, primary/secondary seal contact zones, moving parts of penetrations, and overlapping deformation zones are examined using azimuth coding, dense scanning, and multi-method cross-validation. This enhances the identification of point and line sources, improves the accuracy of defect localization and consistency in judgment, and boosts on-site efficiency and data completeness, providing technical references for the acceptance of large storage tank maintenance and VOCs control.

**Keywords:** 100,000 m<sup>3</sup> storage tank; external floating roof; primary seal; secondary seal; leak detection

外浮顶储罐依靠浮盘随液位升降并通过一次、二次密封降低油气逸散, 是原油库区常用的核心储运装备。10 万 m<sup>3</sup> 大型储罐周长长、环形空间狭窄, 运行中受温差循环、腐蚀磨损、浮盘偏载与罐壁椭圆度变化等影响, 密封接触带易出现间隙增大、连续性破坏、搭接缝开口及局部变形渗漏, 带来蒸发损耗、异味排放与雨水夹带污染风险<sup>[1]</sup>。检修阶段的密封性能检测是质量验收与投运风险控制的关键, 但现场常伴残油油雾、风场扰动与交叉作业, 传统人工巡检或单一检漏手段易覆盖不全、定位不准、复核闭环不足。为此, 有必要对检测工况、布点路线与数据记录方式进行系统优化<sup>[2]</sup>。

### 1 10 万 m<sup>3</sup> 储罐密封检测的难点

#### 1.1 储罐容积大、密封周长过长带来的检测覆盖性问题

10 万 m<sup>3</sup> 外浮顶储罐直径大、周长长, 密封检测天然面临全周覆盖和重点加密的组织难题。一方面, 一次密封、二次密封沿周向连续分布, 任何一处接触带不连续、局部翘曲或搭接缝开口, 都可能形成泄

通道; 若采用常规分段巡检和抽查模式, 易因抽样比例不足导致漏检, 尤其在浮盘偏载或罐壁椭圆度较大的方位, 缺陷呈现明显的方向性与集中性。另一方面, 环形空间狭窄且几何变化复杂, 罐壁—浮盘间隙随周向、温度和浮盘姿态波动, 检测点位若缺乏统一基准, 会出现重复检测与空白区并存。最后, 大罐检修现场往往存在脚手架、临时通道、材料堆放等障碍, 导致路线绕行、到位困难, 由此, 如何在有限时间内实现可量化的全周覆盖、并对高风险区域进行系统加密与复核, 是大型储罐密封检测的首要难点<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 储罐内原油残留、现场环境对检测的干扰

检修期储罐虽经清罐、通风与置换, 但罐底残油、罐壁油膜、浮盘集油以及密封材料吸附的油气仍可能持续释放挥发性烃类, 造成背景浓度高、波动大, 直接干扰气体检漏类方法的灵敏度与判定阈值。现场风速、风向与罐内外压差会改变气体扩散路径, 出现同一缺陷不同时间读数差异大的现象, 在环形空间内局部涡流还可能

导致读数突变, 增加误报与漏报概率。雨后积水、冷凝水或清洗残液进入密封接触带, 会引

发密封材料局部打滑、贴合状态变化,导致间隙量测与接触带判断不稳定<sup>[4]</sup>。

### 1.3 储罐检修工期紧张与检测效率的矛盾

大型储罐检修通常窗口期短、节点刚性强,密封检测既要为关键工序验收服务,又要避免成为总体工期的瓶颈,形成典型的质量、效率矛盾。密封系统修复往往与浮盘调整、导向装置检修、穿透件更换等同步推进,检测若安排不当,容易出现等待面不足或返工后重复检测,增加无效工时。传统做法依赖人工记录与口头交接,缺乏统一缺陷编码与定位基准,复核时难以快速回到原点位,效率被大量消耗在找点与确认上。另一方面,检修期安全管控严格,进入环形空间、近罐壁作业需要审批与监护,人员换班与作业许可也限制连续检测时间,加之检测设备(气体检测、红外、间隙量具等)多源并行,若缺乏路线统筹与分工协同,会造成仪器空转与人员拥堵。要在工期约束下保证检测深度,必须通过标准化工况、分区流水、关键点加密与数字化记录等手段,实现效率与可靠性的同步提升。

## 2 10万 m<sup>3</sup> 储罐密封检测密封性能检测关键点

### 2.1 储罐罐壁—浮盘环形空间密封间隙检测

在化工储运场景中,罐壁、浮盘环形空间不仅关系到一次/二次密封的压紧余量,直接影响挥发性有机物逸散通道的形成与扩散条件。10万 m<sup>3</sup> 外浮顶罐直径通常在80m量级、周长约250~260m,环形间隙沿周向受罐壁椭圆度、浮盘偏载、导向装置磨损及温度循环变形影响呈“扇区化波动”。检测组织宜采用“全周定方位+风险加密”的化工检修验收思路:按每10°布点1个(36点),在导向装置、扶梯滑动段、排水口、密封搭接缝及历史修补区加密至5°(补充36点),建议全罐不少于72个测点;若单次检测点距约3.5m,可兼顾覆盖与效率。测量方法以激光测距/卡规为主、塞尺复核为辅,同点取3次读数取均值,并同步记录风速(建议<5m/s时进行关键判定)、浮盘姿态(偏载/卡滞迹象)与点位方位角。数据评价可采用四指标法,平均间隙 $g^-$ 、极差 $\Delta g=g_{\max}-g_{\min}$ 、超限点比例 $P_o$ 以及连续异常扇区长度 $L_s$ ,可设参考阈, $\Delta g \leq 40$ 、 $P_o \leq 10\%$ 且任一扇区连续3点偏大即判为姿态异常扇区,一旦出现 $\Delta g > 60\text{mm}$ 或异常扇区累计长度>周长的5%(约12~13m),通常提示浮盘水平度、导向间隙或罐壁局部几何偏差已削弱密封压紧,需要先行调整导向/配重或修复变形段,再进行复测,避免间隙不稳—密封难稳的反复返工。

### 2.2 储罐一体式无油气空间三重密封接触带连续性检测

第一,先界定对象与判据,把“连续性”量化出

来。一体式无油气空间三重密封的关键,是一次密封、二次密封及第三道阻隔共同形成稳定的环向接触带;一旦出现脱贴、翘边、起皱或局部硬化,就可能形成连续泄漏通道。现场可将“连续性”量化为接触带连续率:连续率=有效接触长度/周向总长度×100%。以10万 m<sup>3</sup> 外浮顶储罐常见直径 $D \approx 80\text{m}$ 计,周长约 $\pi D \approx 251\text{m}$ ,可按每2m划分1个检查单元,全周约125段,逐段统计有效贴合长度。第二,用可复核的方法确认“真实贴合”,重点抓间隙与压紧。连续性检测宜采用目视、塞尺、印迹的组合手段。①目视与触摸巡检。沿周向检查密封唇口是否均匀贴壁,是否存在翻边、裂口、搭接不良、局部硬化或起皱等,并对疑点位置编号定位。②塞尺测间隙。每个检查单元至少取3个点位(上/中/下或内/外侧),用0.5mm、1.0mm、1.5mm塞尺逐级试插,记录“可插入最大厚度”。一般采用二、三道密封处可插入间隙宜 $\leq 1.0\text{mm}$ ,一次密封可略放宽但宜 $\leq 1.5\text{mm}$ 。若出现 $\geq 2.0\text{mm}$ 可插入,或连续2段以上异常,应判定为明显脱贴风险。③接触印迹抽检。用压敏纸/色粉转印核对,要求印迹连续、无断带、无明显空白区。

### 2.3 储罐浮盘附件穿透件与运动部件密封检测

浮盘附件穿透件与运动部件属于点源泄漏高发区域,其失效机理多与动静结合、反复摩擦、紧固件松动及密封材料溶胀老化有关。在化工储运管理中,建议按设备清单化、点位编号化开展检测,对每台10万 m<sup>3</sup> 罐建立穿透件台账并按方位角定位编号,保证整改与复测可追溯。先检查法兰/压盖/填料函是否存在油迹、盐析与流挂,重点关注排水软管接头、旋转接头、滑动导向密封与穿板焊缝周边,再对螺栓紧固件进行抽样复核并记录压盖压紧量或填料余量。气体检漏建议使用便携式总烃或PID在距疑点10~50mm处贴近扫描,扫描速度控制在约25~50mm/s,当读数较背景上浮 $\geq 30\%$ 或出现重复峰值应判为异常点,进入二级复核。对滑动/旋转部件需执行静态和动作两工况,在浮盘微动或手动驱动条件下重复扫描2~3次,若动作状态峰值显著高于静态(如提升 $\geq 50\%$ ),多提示密封唇口磨损、偏磨或压紧不足。整改后按同点复测并扩展至相邻0.5~1.0m范围确认无伴生泄漏,形成“点源闭环清单”,以满足化工装置对VOCs点源控制的验收逻辑。

## 3 10万 m<sup>3</sup> 原油外浮顶储罐检修过程中密封性能检测技术优化措施

### 3.1 储罐检测工况标准化

外浮顶储罐密封检测结果对工况高度敏感,化工储运检修应先把可比工况固化为标准作业条件,避免

同一缺陷在不同环境下出现读数漂移。标准化重点包括三类：一是状态标准化。检测前完成浮盘姿态确认，明确浮盘处于“稳定停放”或“动作验证”两种工况并在记录中标注，对一次/二次密封的安装状态）实施首件确认和全周抽检。二是环境标准化。对通风/风速、背景烃浓度、照度与作业隔离设定阈值，例如选择风速较低时段开展关键判定，在环形空间设置临时挡风或局部屏蔽以降低扩散波动，检测前对便携式总烃进行零点与跨度校准并记录背景值，以相对升幅作为一致判据，减少不同班组间的判定差。三是流程标准化。将检测划分为预检、主检、复核、关闭四步，预检先排除残油流挂、积水与明显结构缺陷；主检按统一布点/扫描速度执行，复核遵循同点复测、相邻扩展规则，关闭阶段形成缺陷清单与整改建议并交接施工<sup>[5]</sup>。

### 3.2 储罐检测布点与路线优化

首先进行分区建模。按周向将罐体划分为24个扇区（每15°），以扶梯、导向装置、排水口、量油孔等可长期复现的构件为固定基准点建立方位角坐标，同时确定“0°参考线”（如主扶梯中心线）并统一顺/逆时针编号。每扇区再划分A（常规段）与B（高风险段：穿透件密集、历史修补、密封更换点、局部鼓包/椭圆度异常）两级，并把风险段在现场用可移除标识贴或粉笔提前标注到罐壁/走道，便于路线执行时不漏检。

其次实施布点策略。环形间隙采用10°定点、风险段5°加密（≥72点）的同时，建议在主导向装置、排水口前后各延伸2-3m设置“专门点位”，用于捕捉偏心与局部刮擦导致的间隙突变；一次/二次密封连续性按每扇区≥3处截面记录并对搭接缝做线性扫描时，可明确“截面位置固定化”（扇区中线±2m），记录接触带宽度、塞尺可插入值与压痕印迹，确保前后两次检测可比。穿透件按台账100%覆盖外，建议将排水系统、支柱套筒、量油管、通气阀座等分为同类组，变形与拼接段按0.2~0.5m步进加密时可增加“三点复核”（变形中心点及两侧对称点），更容易判断缺陷是否为局部还是带状扩展。

最后优化路线与协同。队伍1负责几何量测（间隙、搭接、开口量、接触带连续率），队伍2负责检漏验证（THC/PID、红外），两队同向或反向同步推进时，可约定每完成2个扇区汇合一次进行交叉校验，及时纠正口径差异。缺陷点必须绑定方位角、距基准点距离、扇区编号、构件编号与照片，在记录中写明复测入口（从哪段走道进入、距扶梯多少米），保证复测能在5min内到位，每班预留2个扇区作为机动缓冲，

同时设定高风险段优先、常规段可顺延的节拍原则，确保整体进度不因局部等待被拖垮。

### 3.3 储罐数字化与智能化优化

在化工储运检修中，数字化与智能化优化应围绕数据采集、定位标注、判定一致与闭环管理四个环节展开。

第一，电子化记录。采用移动终端表单替代纸质记录，字段固定化（罐号、扇区、方位角、构件编号、背景值、峰值、间隙/开口量、照片/视频、整改状态），自动生成缺陷编码，减少漏填与口径不一。

第二，定位与可视化。引入周向里程和方位角双坐标，配合全周示意图在平面图上自动落点，对搭接缝与变形区可用视频巡检叠加里程标尺，实现线源缺陷的精确回放。

第三，多源数据融合判定。将几何量测与逸散检测关联，形成分级规则，例如几何超限和逸散异常为一级缺陷，单项异常为二级复核，减少误报漏报。

第四，闭环与统计：系统自动跟踪缺陷从发现到整改到复测的状态，超时自动预警，输出扇区热力图指导资源向高风险扇区倾斜。若条件允许可在环形空间引入穿戴式定位、语音录入与红外小型化设备，提高狭小空间作业效率，把检测结果转化为可审计的质量证据链，提升大型储罐检修验收的管理水平。

## 4 结束语

10万m<sup>3</sup>外浮顶储罐密封检测应从可比工况、可达路线、可量化数据入手，把全周覆盖与重点加密结合，把几何量测与烃类检漏、红外影像等手段协同应用，通过标准化前置检查、方位角/里程定位、扇区化统计与自动成表，可减少漏检与误判，提升检修验收的效率与可靠性，并为运行期蒸发损耗与异味排放控制提供支撑。建议在罐型上开展对比验证与参数固化，完善工具配置与安全措施，提高可操作性。

### 参考文献：

- [1] 陈存法. 外浮顶储罐 VOCs 排放问题分析及防范措施 [J]. 石油石化绿色低碳, 2023, 8(05): 48-52.
- [2] 向洪诚. 大型原油外浮顶储罐检修施工总结——以某化工厂 5 万 m<sup>3</sup> 外浮顶储罐为例 [J]. 云南化工, 2023, 50(09): 146-148.
- [3] 郭春雷, 高晓, 朱荣强. 外浮顶储罐密封空间内填充弹性胶囊分析 [J]. 山东化工, 2023, 52(10): 192-194+197.
- [4] 李彪彪. 外浮顶储罐环形区域 VOCs 泄漏机理及防护方法研究 [D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023.
- [5] 刘月东, 额尔顿, 张越超. 原油储罐二次密封剥离处理技术的研究与应用 [J]. 设备管理与维修, 2022(10): 92-93.