

装配式全接液高效密封浮盘结构及效果分析

王 啸 (中国石化销售股份有限公司华南分公司, 广东 广州 510620)

摘 要: 随着我国石油化工行业不断发展, 国家和政府主管部门对危险化学品安全生产和环境监管力度日益增强, 对油库设备安全和污染物排放也提出了更高的要求。国内部分仓储企业开始尝试使用装配式全接液高效密封浮盘替代传统浮筒式囊套密封铝制浮盘, 以减少油品蒸发损耗, 降低 VOCs 排放, 取得良好经济效益和环保成效。本文以中国石化某油库 G-081# 汽油罐 (3 万 m³)、G-073# 汽油罐 (2 万 m³) 更换的装配式全接液高效密封浮盘为例, 介绍两种不同结构的装配式全接液高效密封浮盘, 分析装配式全接液高效密封浮盘与传统浮盘效果差异。

关键词: 装配式全接液高效密封浮盘; 技术特性; 效果分析

内浮顶储罐是一种典型的储罐结构, 其特点是有一个轻质材料制作的浮盘漂浮在液面上, 浮盘四周与罐壁间使用软密封连接, 浮盘可以随储罐内部介质液位的升高或下降而上下移动, 将油气隔绝在浮盘之下, 起到限制介质蒸发的作用。早期内浮顶油罐的浮盘是钢制、焊接、整体的, 不仅成本高、制作安装周期长, 而且在使用过程中卡盘、沉盘等事故时有发生。近年国家先后出台《GB 50074-2014 石油库设计规范》《GB 27822-2019 挥发性有机物无组织排放控制标准》等新规范, 部分储罐老旧浮盘不能满足新规范要求, 装配式全接液高效密封浮盘因其安全环保、维护简单、安装过程不需破坏原有储罐结构等特点成为众多仓储企业首选改造方案。

1 装配式全接液高效密封浮盘结构及技术特性

国内危化品储存企业使用的浮盘主要以浮筒式单盘为主, 浮盘与介质之间存在气相空间, 2010 年起国内先后发生大连中石油国际储运有限公司“7·16”输油管道爆炸火灾、中石油大连石化公司三苯罐区“6·2”爆炸火灾等化学品罐区火灾和爆炸事故, 国家安全监管总局下发《关于进一步加强化学品罐区安全管理的通知》(安监总管三〔2014〕68 号令), 要求正常操作时严禁内浮顶罐浮盘和物料之间形成空间。装配式全接液高效密封浮盘成为浮筒式浮盘理想的替代品, 装配式全接液浮盘和高效密封技术开发及应用进入快车道, 众多石化机械设备制造企业争相开发相关产品。目前, 全接液式浮盘多采用蜂窝式, 结构设计没有标准, 应用尚不成熟, 在实际使用过程中出现诸多问题。中石化、中石油等大型国有企业率先制定相关企业标准, 如中国石化发布《内浮顶储罐 VOCs 治理环保技术要

求(试行)》对浮盘设计选型、制造与施工安装、储罐附件以及储罐日常运维检修等环节, 从控制 VOCs 无组织排放的角度, 提出相关要求。

1.1 装配式全接液高效密封浮盘结构特点

装配式全接液高效密封浮盘是由多个独立结构组装成一个系统, 至少应包括以下结构: 标准浮箱、异形浮箱、边缘构件、浮盘支柱、主副梁、大补偿弹性密封+二次舌型刮板组合密封、静电消除装置、浮盘人孔(含爬梯)、防旋转装置、自动通气阀、取样装置、穿过浮盘附件(包括浮盘支柱、量油及自控仪表稳液管等)的通过及密封装置(伸缩囊套)、连接螺栓等元件。目前国内装配式全接液高效密封浮盘尚无明确规范和技术标准, 本次 G-081# 罐浮盘的技术标准由业主与设计单位按照中国石化集团公司《内浮顶储罐 VOCs 治理环保技术要求(试行)》制定, 主要技术特性如下:

1.1.1 浮力要求

安装后浮盘整体浮力应不小于浮盘自重(含密封)的 2.5 倍和浮盘上升时产生的摩擦力之和。

经计算, G-081# 罐浮盘重量为 70743kg, 总浮力为 177408kg, 总浮力与总重量倍数为 $177408/70743=2.51$, 满足要求。

1.1.2 浮箱技术参数及材质要求

浮盘材质为奥氏体不锈钢, 标准箱体尺寸为 2549*550*150mm, 上部板材厚度不小于 1.0mm, 下部板材厚度不小于 1.5mm (行业普遍采用厚度 1.2mm 板材), 箱体高度 150mm, 采用激光切割全焊接工艺。浮箱内部安装 3003H18 蜂巢芯, 厚度不小于 0.05mm, 蜂巢孔数量不少于 2500 个/m², 箱体全部焊缝进行无损渗透检测并进行气密性试验, 在 10-20kPa 气压下稳压时间不少于 2min, 板材表面

无凸起或凹陷、褶皱或扭曲变形。

1.1.3 主副梁结构

为提高浮盘整体结构稳定性，主副梁结构均选用奥氏体不锈钢材质，其中浮盘框架厚度不小于2mm，支柱外径不小于40mm，厚度不小于3mm，所有紧固件均为奥氏体不锈钢材质螺栓结构。

1.1.4 高效密封装置选型要求

浮盘边缘与罐壁之间选用密封性能优异的大补偿弹性密封+二次舌型刮板密封结构，大补偿弹性密封由滑动弹力板、密封隔膜、调节板、弹力压板等部件组成，利用不锈钢本身的弹力垂直抵靠罐壁。密封隔膜选用具有良好耐油性和导电性的聚四氟乙烯材料，即使长期浸润在油品中不会影响油品质量。二次舌型刮板选用具有耐高温、耐磨、耐腐蚀、阻燃、抗老化等特点的化学交联聚乙烯发泡材料（XPE）。

1.1.5 浮盘验收与性能考核

安装后，浮盘水平度偏差应不大于20mm，圆度偏差应不大于30mm。浮箱间紧密连接，透光检测时光照强度不低于100勒克斯。浮盘及边缘密封安装完成且全部检查合格后，按照《GB50128-2014立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范》和《SHS 01012-2018常压立式圆筒形钢制焊接储罐维护检修规程》要求进行充水试验，检查浮盘起浮是否顺畅。浮盘首次投用后进行VOCs检测，静止状态VOCs检测值不超过800mg/m³，收油状态不超过1000mg/m³。（检测方法：检测点至少选择罐顶中央通气孔/呼吸阀位置处、检尺口下100mm²个位置，并在环境风速小于3m/s的气象条件下进行检测）。

1.2 两种不同结构装配式浮盘对比

G-073#罐选用无梁结构装配式高效密封浮盘，这种结构的浮盘采用上下立边螺栓连接形式固定，相邻两块浮箱上下板连接在一起，浮箱呈“品”字形排列，可保证浮盘中的单个浮箱在遭受冲击时可迅速将冲击能量传递到周边其余6个浮箱，减小单个浮箱受到冲击损害，保证浮盘系统的完整性和稳固性。安装工序方面，有梁结构浮盘安装时先安装主副梁，之后在主副梁之间加装浮箱固定。无梁结构安装时需要先用脚手架搭设临时安装平台，利用临时平台将浮箱拼接成一个整体后在浮盘下平面安装支柱，之后拆除临时脚手架平台。表1为两种结构装配式浮盘部分数据对比情况。总体看两种结构浮盘各有所长，有梁结构安装简便，但在主副梁下方仍有小部分气相空间，没有实现真正意义上的

全接液。无梁结构安装过程中需要架设临时支撑平台，但整体强度与结构安全性更高，仓储企业需要结合自身生产运行实际采购合适结构的浮盘。

2 几种类型浮盘效能比对

2.1 装配式全接液高效密封浮盘与浮筒式铝制浮盘效能比对

2.1.1 安全性分析

浮筒型铝制单盘主要由浮筒、骨架、支柱、盖板、密封胶带、静电消除装置、通气装置、呼气阀和密封等组成。浮盘采用放射状镶嵌式结构安装，浮筒直径185mm，由3A21防锈铝卷焊成型，主梁为2mm厚工字钢型材，盖板为0.5mm厚3A21H24防锈铝板，密封为囊式丁腈橡胶结构，浮盘总重6.79t。装配式全接液高效密封浮盘结构相对复杂，共有不锈钢蜂巢式浮箱1288个、主副梁507根、立柱264根、大补偿弹性密封和二次舌型刮板各145m、伸缩囊套3根、34种型号连接螺栓4.2万颗，浮盘总重达到70.74t。整体看，装配式全接液高效密封浮盘兼具钢制浮盘的强度的优势和铝制浮盘轻巧的特性，主梁结构强度超过API650附录H要求7倍以上，能应对储罐大流量收发油时产生的剧烈冲击，允许多人同时在浮盘上行走作业，解决浮筒式浮盘易折损破坏的弊端。全部零部件均为不锈钢材质，相比铝材更耐腐蚀，适应各种复杂环境和介质。立柱支撑结构拆装方便，维护简易，模块化的结构设计可以单独更换故障浮箱，即使单个浮箱破损也不影响浮箱整体浮力。

2.1.2 环保性能分析

浮筒式铝制浮盘盖板与梁架之间采用丁腈橡胶密封胶条密封，浮盘与罐壁之间采用丁腈橡胶带，胶带内填充聚醚型聚氨酯泡沫。经测量，G-081#罐浮筒实际浸没高度约40mm，占浮筒高度的21.6%，浮筒覆盖的液面面积约为110m²，仅占整个浮盘面积7%，剩余液面与浮盘盖板之间为气相空间。油气挥发率最高可达到10%以上，油气挥发造成能源损失的同时，外排大气还会导致大气环境污染。装配式全接液高效密封浮盘箱体间使用聚乙烯阻燃胶条密封，浮盘与罐壁间采用一次大补偿弹性密封+二次舌型刮板密封系统，大补偿结构具有良好的密封性能，能补偿罐壁-100~+120mm环形尺寸偏差，性能优于其他型式密封。二次舌型刮板密封使用XPE，在浮盘外缘与罐壁之间的环形偏差±100mm范围内，有效增强一次密封密闭油气的效果，同时能防止雨雪风沙等杂物进入，保护一

次密封。装配式全接液高效密封浮盘主要优点在于通过若干个漂浮于介质表面的浮箱，消除了气相空间，减少了浮筒式铝制浮盘因大小呼吸作用造成的油品损耗，同时降低物料挥发带来的火灾、爆炸危险。一次大补偿弹性密封+二次舌型刮板密封补偿范围更大，使用年限更长，耐化学性佳且检维修便捷，对于圆度不足的老旧储罐密封效果更好。经测试，装配式全接液高效密封浮盘与相同尺寸的浮筒式铝制浮盘减少 VOCs 排放 75% 以上。

2.1.3 经济性分析

G-081# 罐浮筒式铝制浮盘采购于 2012 年，重量 6.7t，成本 25.8 万元，预计寿命周期不低于 15 年，实际使用 10 年防锈铝板已出现腐蚀减薄情况，油库另有与 G-081# 罐相同尺寸的储罐，安装 118t 钢制浮盘，采购成本 79 万元，装配式全接液高效密封浮盘采购于 2021 年，剔除物价上涨等因素外，采购价格高于钢制浮盘。单纯从成本角度考虑，装配式全接液高效密封浮盘产品造价高，短期内不具有优势，但装配式全接液高效密封浮盘可有效降低油品损耗和 VOCs 排放，同时安全系数更高、寿命周期更长，综合安全、环保等因素，长期经济效益角度装配式全接液高效密封浮盘仍具有优势。

2.2 装配式全接液高效密封浮盘与浮筒式钢制浮盘效能比对

《GB 50074-2014 石油库设计规范》自 2015 年 5 月起实施，新规范明确要求新建、扩建、改建的石油库，直径大于 40m 用于储存甲 B、乙 A 类液体的内浮顶罐，不得采用用易熔材料制作的内浮顶，仓储企业可以选择改造装配式全接液高效密封浮盘或浮船式钢制浮盘替代浮筒式铝制浮盘，表 2

为两种改造方案对比情况。作为替代浮筒式铝制浮盘的备选方案，装配式高效密封浮盘与浮船式钢制浮盘在产品重量、储存容量、施工过程难易程度、后期维护等方面均有较大优势，虽然单次投入成本高，但长期经济效益更好。

3 结语

装配式全接液高效密封浮盘结构稳定、节能环保、施工简便，与传统自浮型铝制浮盘和钢制浮盘相比均具有一定优势，箱体结构和密封设计可以有效降低油品损耗，提高储罐安全运行系数，值得推广应用。需要引起危化品仓储企业注意的是，浮盘升级改造过程中涉及受限空间、动火作业等多种直接作业，特别是在储罐清罐、囊式密封拆除过程中风险较大，需要企业对相关特殊作业予以足够重视，加强施工作业安全风险识别，落实风险防控，确保施工过程安全风险可控。中国石化销售公司已经发布《油品销售企业内浮顶油罐浮盘及密封改造安全风险防控指南（试行）》，指南识别浮盘和密封改造承包商管理、浮盘设备选型、施工准备、清罐、旧浮盘拆除、安装等各环节风险，明确各环节步骤，为系统内各分（子）公司浮盘和密封改造提供了安全和技术指引。

参考文献：

- [1] 孔昭瑞. 我国组装式浮盘的发展与建议 [J]. 油气储运, 2010, 29(11): 5.
- [2] 严伟德. 浅谈全接液浮盘故障原因分析及改进建议 [J]. 中国设备工程, 2021(8): 2.

作者简介：

王啸（1988-），男，汉族，辽宁灯塔人，工学学士，研究方向：生产运行管理。

表 1

罐号	罐容 (m³)	浮盘面积	结构	浮箱尺寸 (mm)	浮箱个数	立柱	一次密封隔膜尺寸	二次密封尺寸	总重
G-081#	3 万	1661	有梁	2459*550*150	1288	264	600*0.25mm	400*20*10mm	70.74
G-072#	2 万	1017	无梁	3600*550*150	682	186	770*0.28mm	360*20*10mm	38.05

表 2

比较表		装配式全接液高效密封浮盘	浮船式钢制浮盘
常规指标	重量	轻 (3 万方储罐浮盘重量 70.43t)	重 (3 万方储罐浮盘重量 118.7t)
	腐蚀	不锈钢材质不易腐蚀	钢板极易腐蚀穿孔
	储存空间	浮盘重量轻，全接液，储存空间多	浮盘重存在气相空间，储存空间小
施工过程	进出罐	可通过人孔进入	需要罐体开口进料
	动火作业	不需要	焊接钢板
	防腐	不需要	需要对浮船、盖板进行防腐
	安装工艺	组装式	焊接式
后期维护	维修	可以替换单个箱体	需更换钢板
	防腐	不需要	需定期重新防腐
综合指标	成本	高	低
	长期效益	经济	低