

# 外浮顶储罐密封现状分析及改造措施

杨淦茗 (中石化巴陵石油化工有限公司, 湖南 岳阳 414014)

**摘要:** 简要介绍了外浮顶储罐密封型式, 结合巴陵石化公司储运部实测数据, 开展了外浮顶储罐密封现状分析, 提出了外浮顶储罐密封改造措施, 针对一、二次油气空间大的问题加装抑爆型二次密封、针对于浮顶支柱及导向(量油)管泄漏严重的问题加装浮顶支柱密封以及导向(量油)管密封装置, 并进行了现场应用, 改造实施后一、二次密封间油气泄露浓度明显降低, 罐顶浮盘附件 VOCs 浓度超标问题彻底消除, 创环保效益的同时, 有效保证了外浮顶原油罐安全平稳环保运行。

**关键词:** 密封; 外浮顶; 储罐; VOCs; 环保

外浮顶储罐为顶盖漂浮在液面上的储罐, 为敞口圆柱形, 外浮顶随储存介质液位水平上升或下降, 通常用于存储原油、汽油、煤油等有挥发性的石油产品。

外浮顶储罐密封主要包含边缘密封装置和其他附件密封装置。边缘密封包含一次密封与二次密封, 用于封堵外浮顶与罐壁之间的环形空间, 为了减少储存油品的排放和蒸发损失, 防止杂质(雨水、灰尘等)进入储罐来保持油品的纯度, 同时保证罐体内的浮顶可以平稳移动。边缘密封密封。

其他附件密封主要包含通过外浮顶附件(支柱、量油管)等处的密封。

巴陵公司储运部现有外浮顶储罐两台, 储存物质为原油, 容积为 10000m<sup>3</sup>, 均始建于 2005 年。两台外浮顶原油储罐在运行过程中, 外浮顶密封总体性能逐步下降, 存在的安全环保问题逐渐暴露, 随着国家安全环保要求的提升, 因此外浮顶储罐密封技术有待改进, 亟需提升。

## 1 外浮顶储罐密封存在问题及原因分析

通过对外浮顶储罐顶部各附件、有代表性部位的 VOCs 浓度进行系统的测量与对标, 并对测量结果结合现场实际情况进行排查与分析, 从而得出, 目前我部外浮顶密封储罐主要存在以下问题。

### 1.1 一、二次密封内部存在油气空间

我部两台外浮顶原油储罐浮盘边缘密封均采用“泡沫一次软密封+二次密封”的结构型式。

一次软密封采用囊式密封结构, 通过安装在外浮顶边缘板上, 厚度约 1.5mm 的耐油丁腈橡胶袋, 内部填充硬度 120N 的聚氨酯弹性泡沫塑料组成, 依靠泡沫塑料压缩变形, 弹性堵塞边缘缝隙。

二次密封采用舌型密封刮板结构, 主要由不锈钢密封刮板、压板等构件组成, 安装在一次密封上

部的的外浮顶边缘板上, 依靠密封刮板的弹性与罐壁做滑动接触, 利用自身刚性将密封推向罐壁, 从而形成密封, 将一次密封泄漏的油气阻挡在压板下方, 进一步阻止泄漏。

根据对不同状态下 T2-103 罐一、二次密封间 VOCs 检测数据结果进行分析, 数据见表 1。

表 1 改造前一、二次密封间 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )							
运行								
状态	1	2	3	4	5	6	7	8
静止	2903	2879	2576	2803	1884	1394	2508	1213
收料	14881	5259	5838	7116	9159	4508	4388	6903

由表 1 可看出, 储罐收料过程中, 一、二次密封间存在较高油气浓度。根据 GB 37822-2019《挥发性有机物无组织排放控制标准》8.2 泄漏认定“液态 VOCs 物料储罐密封点的 VOCs 泄漏认定浓度为 5000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  (重点地区为 2000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )。”因我公司均参照北京、天津等重点地区进行要求, 油气浓度已严重超过规定值, 原则上可认定为罐顶部密封发生泄漏失效。

分析主要原因为当前使用的三芯泡沫软密封与二次密封之间形成了较大的油气空间, 一次密封不严以及罐壁挂油导致油气在一、二次密封间不断集聚, 从而形成具有较高浓度的油气空间已经变成一种常态, 极易引发安全环保事故。历史上曾发生多起大型储罐密封圈燃爆事故, 如 2006 年“8·7”仪征某油库闪爆事故、2007 年“5·25”、“6·24”镇海某油库闪爆事故、“7·7”白沙湾某油库闪爆事故、2011 年“11·22”大连某油库闪爆事故、2018 年天津某油库雷击闪爆事故等。巨大的危险

源成为油库管理者不可忽视的因素。

### 1.2 浮盘附件无有效泄漏控制措施

根据 VOCs 检测数据结果，浮盘附件油气泄漏超标主要体现在浮顶支柱上部及螺栓部位、导向（量油）管顶部及与立柱通过装置部位，数据见表 2、表 3。

表 2 改造前浮顶支柱 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / (μmol/mol)							
	支柱上部				螺栓部位			
运行	1	2	3	4	1	2	3	4
静止	1163	603	517	805	1854	1758	1678	2013
收料	2409	1389	1657	2006	2689	2308	2357	2845

表 3 改造前导向（量油）管 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / (μmol/mol)							
	顶部				立柱通过部位			
运行	1	2	3	4	1	2	3	4
静止	1866	1957	2247	1965	2613	3394	2649	3213
收料	3549	3716	3916	3698	4156	4758	4318	5103

由表 2、表 3 可看出，收料状态下外浮顶罐浮顶支柱上部及螺栓部位、导向（量油）管顶部及与立柱通过部位油气浓度均超出了 GB 37822-2019《挥发性有机物无组织排放控制标准》中重点地区泄漏认定值，同样可认定为发生泄漏。分析主要原因为外浮顶上的浮顶支柱、导向（量油）管等附件均处于敞开状态，未进行有效的密封处理。

由此可知，一、二次密封之间存在油气空间，浮盘附件无泄漏控制措施，成为我部原油储罐顶部 VOCs 浓度超标，不符合国家安全环保标准的主要原因。

## 2 改进措施

针对识别出的以上问题与安全环保风险，《石油化工企业设计防火标准》GB 50160-2008（2018 版）中 6.2.4 条规定的：“多雷区单罐容积大于等于 50000m<sup>3</sup> 的浮顶储罐应采取减少一、二次密封之间空间的措施”和《石油化工业国家标准防火安全内容协调处理意见》中十三条规定的：“对多雷区单罐容量不小于 50000m<sup>3</sup> 的外浮顶储罐应采设置氮气密封保护系统或采取一、二次密封间填料等措施”的相关要求。2020 年中国石化 HSSE 印发的《中

国石化安全生产专项整治三年行动计划》〔2020〕1 号中要求：开展大型外浮顶储罐浮顶油气超标问题整治。巴陵公司储运部积极响应国家及集团公司《大型外浮顶储罐密封技术提升意见》要求，率先于 T2-103 罐实施外浮顶储罐密封改造，主要内容包括加装抑爆型二次密封、浮顶支柱密封、导向（量油）管密封装置。

### 2.1 抑爆型二次密封技术

一、二次密封间存在爆炸极限范围内的油气是引发密封圈闪爆的主要原因之一。标准规定也进行了详细的规定。

对于一、二次密封间存在油气空间的问题，解决方式有两种，其一，降低油气空间的油气浓度；其二，减小油气空间体积。因空间内油气浓度的高低取决于油料气液两相的平衡状态，该平衡状态受温度、外界风力等环境因素的影响，而与气相空间体积无关，而降低油气空间的油气浓度的方式主要有两种形式，第一种是采取稀释法，第二种是采取吸附法，考虑到这两种方案的成本较高，操作并不便捷，且易形成新的隐患。着重放在了第二个出发点——减小油气空间体积，主要包括海绵填充、充液式填充和空气填充。经过上下运行测试、不同边缘距离测试，三种填充方式的填充平均效率分别为 85%、88%、93%。考虑到对一二次密封作用力的影响，海绵填充、充液式填充均对一二次密封产生附加外力，易影响一、二次密封的正常运行。因此，优选空气填充（抑爆型二次密封）的型式进行改造。即将可燃气空间降低至最低，大大降低可燃气的燃爆风险。

抑爆型二次密封技术是将二次密封隔膜安装在储罐的一、二次密封之间，通过形成密封的空气囊体，以达到对一、二次密封间油气空间进行填充的作用，从而有效减小一二次密封间的油气空间。

抑爆型二次密封主要由橡胶包带、定位板两部分组成。橡胶包带根据所储存物料原油的特性，选择丁腈橡胶包裹软纤维布制成，配重部位采用 1.5mm 的齿胶配重，安装时齿面贴向罐壁。定位板材质为 PVC 塑料板，用于将橡胶包带推至接近罐壁。

安装过程中，首先对储罐原二次密封装置及一次密封装置压条或压板进行拆卸，然后将抑爆型二次隔膜橡胶包带齿面朝向罐壁，平整均匀的将底部孔套在一次密封的通丝杆上，恢复一次密封压条或压板并进行紧固。之后恢复二次密封装置，将定位

板与橡胶包带顶部均固定在舌型压板上部螺栓上,定位板与承压板需一一对应。抑爆型二次隔膜橡胶包带接头部位采用搭接形式,搭接长度不小于400mm,采用耐油胶粘剂粘接。

## 2.2 浮顶支柱密封技术

浮顶支柱密封技术是在支柱顶部加装密封帽,使用钢扎带将密封帽的底部固定在插销以下的位置,从而达到消除浮盘支柱处油气泄漏的目的。

支柱密封帽采用具有优异油气抗耐性、耐天候老化性能,在使用过程中能够抵御风吹日晒、气温变化以及紫外线辐射的 PTFE 聚四氟乙烯材质。通过大口朝下沿支柱顶部垂直套下安装,底部采用不锈钢扎带锁紧,并用 XPE 密封垫填充,从而在浮顶支柱和支柱套管间形成良好的密封。

## 2.3 导向(量油)管密封技术

导向(量油)管密封技术是在侧壁开孔的导向(量油)管上加装可以随浮盘升降的伸缩密封套,并在底部浮盘立柱通过装置外部加装密封固定罩,以达到消除导向柱周侧部位与浮盘立柱通过部位油气泄漏的目的。

伸缩密封套采用 CSM 材质与不锈钢骨架制成,通过拉链与粘带密封。密封固定罩为分合结构,采用不锈钢制成,通过安装密封垫辅以螺栓部位涂耐油密封胶实现密封。

安装过程中,优先进行密封固定罩安装,在分合结构的固定罩与立柱通过装置底座钢板之间安装密封垫,并在螺栓部位涂耐油密封胶。将伸缩密封套套在导向(量油)管上并拉好拉链与密封粘带,顶部与底部均使用不锈钢抱箍锁紧,并用 XPE 密封垫填充,从而阻绝导向(量油)管油气逸散。

## 3 应用效果

表4 改造后一、二次密封间 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )							
运行								
状态	1	2	3	4	5	6	7	8
静止	1308	978	1287	968	836	794	1108	854
收料	1538	1108	1651	1298	1354	1386	1358	1254

表5 改造后浮顶支柱 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	
运行	支柱上部	螺栓部位

状态	1	2	3	4	1	2	3	4
静止	3.1	2.43	1.87	1.46	7.7	5.6	7.8	3.4
收料	16.7	17.3	63.4	5.6	19.6	11.1	25.6	23.8

表6 改造后导向(量油)管 VOCs 检测值

储罐	VOCs 检测值 / ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )							
运行	顶部				立柱通过部位			
状态	1	2	3	4	1	2	3	4
静止	12.5	4.5	9.8	34.5	129	321	301.9	257.6
收料	148	213.3	228	382	462	606	517	702

自2021年6月于道仁矾储运装置 T2-103 原油罐实施外浮顶储罐密封改造技术,至2022年1月,抑爆型二次密封、浮盘支柱密封、导向(量油)管密封使用情况均正常。2021年12月对 T2-103 罐顶部 VOCs 浓度进行检测,数据见表4、表5、表6。

根据表4、表5、表6数据对比改造实施前数据可发现,密封改造实施后,一、二次密封间油气泄露浓度明显降低,罐顶浮盘附件 VOCs 浓度超标问题彻底消除,创环保效益。

## 4 结论

通过现场实测与以往事故总结分析得出,外浮顶储罐密封具有较大的安全环保风险,已被列入中石化集团公司2022年系统性安全风险清单,对其风险治理迫在眉睫。加装抑爆型二次密封装置,大幅缩减浮盘边缘一、二次密封油气空间,杜绝了密封圈火灾燃爆事故的发生。加装浮顶支柱密封装置,100%消除了浮顶支柱处的 VOCs 泄漏。加装导向(量油)管密封装置,静态条件下可基本消除 VOCs 泄漏。成套技术的加装提升了外浮顶储罐的安全环保水平。

### 参考文献:

- [1] GB 37822-2019. 挥发性有机物无组织排放控制标准[S]. 生态环境部,国家市场监督管理总局,2019.
- [2] GB 50160-2008. 石油化工企业设计防火标准(2018年版)[S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部,2018.

### 作者简介:

杨淦茗(1995-),男,汉族,辽宁凌海人,本科,助理工程师,主要从事设备室静设备管理岗位。