

储油库储罐内浮盘及密封选型及环保应用

董楚楚（中国石化销售股份有限公司上海石油分公司，上海 200002）

摘要：VOCs（挥发性有机物）是一类在常温常压下容易挥发的有机化合物。由于其广泛的来源和多样性，VOCs 已成为环境污染的重要因素。近年，国家生态环境部发布了多项国家标准及文件，对石化行业 VOCs 排放提出了更严格的要求，储罐浮盘及密封改造是减少储罐 VOCs 无组织排放的重要手段。

关键词：VOCs；储罐；浮盘及密封

1 背景

内浮盘是在油罐内部，漂浮在油面并随着油面上下降的一种浮动浮顶，油罐采用这种内部浮动顶盖，目前是被公认为降低油罐油品蒸发损耗的最简便、最安全、最经济的方法。2019 年生态环境部下发了《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019），其中 5.2.1.2 提到“采用浮顶罐，对于内浮顶罐，浮顶与罐壁之间应采用浸液式密封、机械式鞋型密封等高效密封方式。”同年 8 月，又下发了《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知》（环大【2021】65 号文），文中提到“企业应按照标准要求，根据储存挥发性有机液体的真实蒸气压、储罐容积等进行储罐和浮盘密封方式选型。重点区域存储汽油、航空煤油、石脑油以及甲苯、二甲苯的内浮顶罐顶气未收集治理的，宜配备新型高效浮盘及配件，选用‘全接液高效浮盘+二次密封’结构，全接液高效浮盘应具有良好的抗爆性能和耐火性能。”2020 年 12 月，下发了 GB 20950-2020《储油库大气污染物排放标准》，提到“内浮顶罐的浮盘与罐壁之间应采用浸液式密封、机械式鞋形密封等高效密封方式。”

同时，考虑到安全上的需求，《石油化工企业设计防火规范》（GB50160-2018）6.2.2 条款指出：①当单罐容积小于或者等于 5000m³ 内浮顶储罐采用易熔材料制作的浮盘时，应设置氮气保护等安全措施。此条款中易熔材料的浮盘是指浮力元件为浮筒的装配式铝制或不锈钢制内浮顶，其特征为部分浸液式，浮盘与液面之间存在气相空间；②单罐容积大于 5000m³ 的浮顶储罐应采用钢制单盘或双盘式浮顶。此条款中钢制单盘或双盘式浮顶是指浮力元件为金属浮舱且符合国家标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》（GB50341-2014）规定的现场组焊的普通钢板内浮顶、装配式或现场组焊的不锈钢内浮顶及性能与之相当的其他金属内浮顶，其特征是全浸液式，浮盘

与液面之间无气相空间。

目前，储油库汽油内浮顶储罐主要使用的是浮筒的装配式铝制内浮顶，密封以舌型密封为主，大部分内浮顶油罐实测泄漏检测数据大于 2000 μmol/mol，内浮盘和密封形式无法满足国家规范要求，存在着不同程度的泄漏。

2 内浮盘及密封的选型

2.1 内浮盘选型

经过调研发现，目前市场上应用较为广泛的浮盘有四大类，分别是钢制浮舱式、浮筒式浮盘、全浸液浮箱式浮盘及全浸液蜂巢式浮盘。



图 1 全浸液蜂巢式浮盘

从安装成本、结构强度、环保控制等多个维度对浮盘进行了分析，就安装成本而言，浮筒式浮盘成本最低，全浸液浮箱式浮盘及全浸液蜂巢式浮盘成本适中，钢制浮舱式浮盘成本最高。从耐腐蚀性方面看，钢制浮舱式浮盘需要防腐，其余类型浮盘均耐腐蚀。从安装难度上看，钢制浮舱式浮盘安装起来较为困难，其余类型浮盘安装相对容易。从结构强度上而言，浮筒式浮盘、全浸液浮箱式浮盘结构强度较差，钢制浮舱式、全浸液蜂巢式浮盘结构强度较好。从环保要求上而言，浮筒式浮盘不可控，其余浮盘能符合环保要求。并且按照生态环境部印发的《关于加快解决当前挥发性有机物治理突出问题的通知》中“浮顶罐优先

选用全浸液焊接式高效浮盘”，同时也深刻吸取了事故案例的经验教训，综合多方因素，选取全浸液蜂巢式浮盘，如图 1 所示。

2.2 密封选型

目前市场上应用较为广泛的密封有 5 种，分别是单舌型密封、单囊式密封、囊式舌型双密封、不锈钢机械鞋型密封以及不锈钢大补偿高效弹性密封。

从介质适应性、管壁补偿量、维修便捷程度、成本及环保等方面对密封进行了分析，就介质适应性而言，单舌型密封、单囊式密封、囊式舌型双密封更换介质需要更换胶带，不锈钢机械鞋型密封和不锈钢大补偿高效弹性机械密封适应性广，更换介质不用更换胶带；从罐壁补偿量上看，不锈钢大补偿高效弹性机械密封补偿量是其余类型密封的 3.5 倍；从使用年限上看，不锈钢机械鞋型密封和不锈钢大补偿高效弹性机械密封可使用 15 年，而单囊式密封、囊式舌型双密封仅可使用 6 年。从密封性而言，囊式舌型双密封、不锈钢机械鞋型密封、不锈钢大补偿高效弹性机械密封密封性较好，其余两种略逊；从维修便捷程度来看，单舌型密封、不锈钢机械鞋型密封、不锈钢大补偿高效弹性机械密封维修较为便捷；从平均成本上来看，不锈钢机械鞋型密封、不锈钢大补偿高效弹性机械密封成本较低，其余三类由于使用寿命等原因，平均成本较高；从环保要求上看，囊式舌型双密封、不锈钢机械鞋型密封、不锈钢大补偿高效弹性机械密封满足现行环保要求，其余两种无法满足。按照《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）、《储油库大气污染物排放标准》（GB20950-2020）要求，

“内浮顶罐浮顶与罐壁之间应采用浸液式密封、机械鞋型密封等高效密封方式，外浮顶罐浮顶与罐壁之间采用双重密封”，同时考虑到油库油罐使用年限已久，存在不同程度地变形等情况，大补偿密封对罐的椭圆度要求低，能更好地起到密封作用，建议选取不锈钢大补偿密封，如图 2 所示。



图 2 不锈钢大补偿密封

2.3 细节控制

内浮顶罐的总 VOCs 排放包括边缘密封损耗、挂壁损耗、浮盘附件损耗和盘缝损耗。结合储罐 VOCs 排放公式进行相关排放量核算，公式： $L_T = L_R + L_{WD} + L_F + L_D$

式中： L_T 为总损耗，单位为 kg/a； L_R 为边缘密封损耗，单位为 kg/a； L_{WD} 为挂壁损耗，单位为 kg/a； L_F 为浮盘附件损耗，单位为 kg/a； L_D 为盘缝损耗，单位为 kg/a。

措施：①不锈钢箱式浮盘壁板厚度 1.5mm，尺寸 3000mm*400mm，内设隔舱 3 道隔舱。浮箱与浮箱之间采用螺栓连接，中间加设聚四氟乙烯密封条，减少盘缝损失，浮重比 ≥ 2.5 ；②进行浮盘附件优化设计，增设密闭措施，减少浮盘附件损耗。针对立柱侧壁开孔情况，将浮盘内空间和立柱缝隙油气散逸空间进行隔绝，随着浮盘运动，立柱与浮盘之间的缝隙散逸的油气始终在伸缩囊套之中，当气相油气分压达到饱和蒸汽压之后，气液传质实现相平衡。对自动通气孔、人孔、防旋装置进行严密封堵。如图 3、图 4 所示。



图 3 伸缩囊套

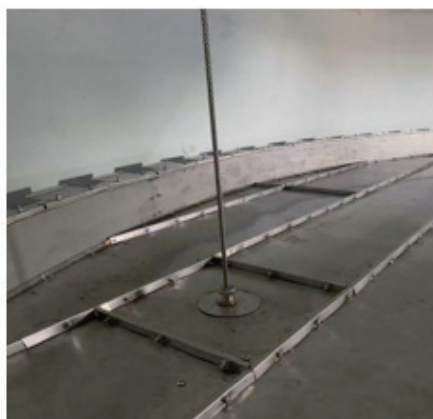


图 4 防旋装置

表1 改造前内浮顶罐总损失 $L_{\text{浮}}$ 计算过程表

储罐编号	边缘密封损失	挂壁损失	浮盘附件损失	浮盘缝隙损失	内浮顶罐总损失
/	L_R (t/a)	L_{WD} (t/a)	L_F (t/a)	L_D (t/a)	$L_{\text{浮}}$ (t/a)
1 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
2 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
3 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
4 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
5 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
6 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
7 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
8 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
9 罐	1.94	0.18	0.3202	19.22	21.66
10 罐	2.42	0.15	0.3202	30.04	32.93
11 罐	1.94	0.18	0.3331	19.22	21.67
总计	25.67	1.73	3.54	308.76	339.70

表2 改造后内浮顶罐总损失 $L_{\text{浮}}$ 计算过程表

储罐编号	边缘密封损失	挂壁损失	浮盘附件损失	浮盘缝隙损失	内浮顶罐总损失
/	L_R (t/a)	L_{WD} (t/a)	L_F (t/a)	L_D (t/a)	$L_{\text{浮}}$ (t/a)
1 罐	0.61	0.17	1.1599	5.01	6.95
2 罐	0.61	0.17	1.1599	5.01	6.95
3 罐	0.61	0.17	1.5870	5.01	7.38
4 罐	0.61	0.17	1.5870	5.01	7.38
5 罐	0.61	0.17	1.5870	5.01	7.38
6 罐	0.61	0.15	1.4702	5.01	7.24
7 罐	0.61	0.15	1.4702	5.01	7.24
8 罐	0.61	0.17	1.5492	5.01	7.34
9 罐	0.49	0.19	0.8989	3.20	4.79
10 罐	0.61	0.17	1.5870	5.01	7.38
11 罐	0.49	0.18	0.8818	3.20	4.76
总计	6.51	1.90	14.94	51.46	74.80

3 环保应用情况

以某油库为例,对现有11个汽油储罐进行内浮顶罐浮盘改造,设置为全接液不锈钢双盘式内浮盘及全补偿高效密封+二次舌型刮板密封。改造后,由于零风速边缘密封损失因子、有风时边缘密封损失因子、密封相关风速指数等因素的变化,造成了边缘密封损失 L_R 下降;由于固定支撑柱数量增加,造成了挂壁损失 L_{WD} 上升;由于总浮盘附件损失因子变化,造成了浮盘附件损失 L_F 上升;由于盘缝长度因子变化,造成了盘缝损耗 L_D 下降。

经计算,改造前边缘密封损失 L_R 为 25.67 (t/a),挂壁损失 L_{WD} 为 1.73 (t/a),浮盘附件损失 L_F 为 3.54 (t/a),浮盘缝隙损失 L_D 为 308.76 (t/a),内浮顶管改造前总损失 $L_{\text{浮}}$ 为 339.7 (t/a);改造后边缘密封损失 L_R 为 6.51 (t/a),挂壁损失 L_{WD} 为 1.90 (t/a),

浮盘附件损失 L_F 为 14.94 (t/a),浮盘缝隙损失 L_D 为 51.46 (t/a),内浮顶管改造后总损失 $L_{\text{浮}}$ 为 74.8 (t/a),减排量为 264.9 (t/a),减排率为 78.0%,取得了较好的减排效果,计算过程如表1、表2所示。

采用全浸液蜂巢式浮盘搭配不锈钢大补偿密封后,明显减少油品蒸发带来的损耗,进而减少了VOCs排放,减少环境污染,满足环保要求。同时,减少的油品损耗,也将带来明显的经济效益。

参考文献:

- [1] 吴绍刚. 内浮顶油罐浮盘损坏原因的分析及预防措施[J]. 石油库与加油站, 2021, 30(04): 1-4+53.
- [2] 王益铭, 王海军, 彭志刚. 拱顶储罐单盘式内浮盘更换施工工艺改进[J]. 焊管, 2022, 45(08): 61-64.
- [3] 肖聪. 浅析储罐内浮盘治理发展[J]. 设备管理与维修, 2022(05): 128-129.