

三苯罐区油气回收至气柜技术的应用

谢松豪（中海油惠州石化有限公司储运部，广东 惠州 516086）

摘要：针对储罐油气回收 VOCs 治理技术的现状，对三苯罐区进行 VOCs 治理从技术选型到达标排放成为炼厂迫切需要解决的问题，本文介绍了某石化公司三苯罐区关于采用集中回收并通过增压排放至气柜回收，并作为燃料气合理利用的处理方式进行分析介绍，并对当前存在的问题和解决方案进行分析研究。

关键词：三苯；VOCs 治理；环保；回收利用

1 概述

为响应国家对石化行业挥发性有机物（VOCs）污染治理号召，结合相关国家标准规定对苯、甲苯、二甲苯罐区进行 VOCs 治理的要求。如何对正在运行的三苯罐区进行油气回收治理从技术选型到改造实施最终实现达标排放成为了公司迫切需要解决的问题^[1]。考虑三苯罐区实际条件、改造难度、油气回收设施运行成本、罐区周边资源利用等多方面因素，对油气回收技术选型是影响整个 VOCs 治理的关键因素。

2 油气回收的技术选型

2.1 罐区介绍及实施必要性

以本文某石化公司三苯罐区为例，罐区储存苯、对二甲苯、混合二甲苯、邻二甲苯、石脑油等五种油品，共设置 16 台内浮顶储罐，初始设计均无氮封系统和油气回收系统，储罐数据见表 1。

从表 1 数据可知，罐区储存的油品是《石油炼制工业污染物排放标准》GB-31570 等国家标准中规定需要进行排放控制的污染物，苯属于极度危害介质（I 级），按照《石油化工储运系统罐区设计规范》

SH3007 的要求规定，储存 I、II 级毒性的甲 B、乙 A 类液体储罐不应大于 10000m³，且应设置氮气或其他惰性气体密封保护系统。

VOCs 会对环境造成光化学污染，VOCs 与 NOX 通过光化学反应形成了 O₃ 和二次有机气溶胶，VOCs 种类繁多，如苯、甲苯、二甲苯等对人体有致癌效应，长期暴露在高浓度的 VOCs 的高危人群，具有较高的致癌风险，因此未设置氮气密封系统和油气回收系统的芳烃罐区，不仅不符合标准规范的要求，同时存在安全隐患和环保污染风险。

2.2 几种常见的油气回收方法介绍及选型

目前国内油气回收采用的主要工艺技术有：回收技术、销毁技术。

2.2.1 回收技术介绍对比

①吸收技术：使用油品作为吸收剂，一般为柴油，对油气进行加压冷凝处理，进行吸收，对重油吸收效果较好；②膜分离技术：膜多为德国的 BOSIG 公司和美国 MTR 公司膜，前者较多；随着膜技术的成熟，处理效率能满足 97% 的要求，但设备投资费用高，运

表 1 三苯罐区介绍

储罐编号	储存介质	介质闪点(℃)	储罐类型	罐容(m ³)	尺寸 D(mm)	H(mm)	是否设有氮封	最大进液量(m ³ /h)	最大出液量(m ³ /h)
T-01	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-02	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-03	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-04	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-05	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-06	对二甲苯	27.2	内浮顶	8500	25000×17820		否	115	1000
T-07	石脑油	-2	内浮顶	8500	25000×17820		否	100	1000
T-08	石脑油	-2	内浮顶	8500	25000×17820		否	100	1000
T-09	石脑油	-2	内浮顶	8500	25000×17820		否	270	165
T-10	石脑油	-2	内浮顶	8500	25000×17820		否	270	165
T-11	苯	-11	内浮顶	5000	20000×17820		否	20	100
T-12	苯	-11	内浮顶	5000	20000×17820		否	20	100
T-13	混二甲苯	< 28	内浮顶	5000	20000×17820		否	100	500
T-14	混二甲苯	< 28	内浮顶	5000	20000×17820		否	100	500
T-15	邻二甲苯	30	内浮顶	5000	20000×17820		否	6	500
T-16	邻二甲苯	30	内浮顶	5000	20000×17820		否	6	500

行中膜容易受到油污染损坏而导致运行费用较高；③吸附技术：通过吸附剂进行吸附处理，对高浓度油气吸附效果不佳；④冷凝技术：适用范围较宽，由于冷凝深度和结霜在运行中存在故障率高，投资和运行成本偏高；⑤气柜回收：通过鼓风机加压送至放空管网至气柜回收，通过气柜压缩机作为燃料气输送至燃料气管网，作为炼厂装置燃料利用，适用于大型炼厂，油库等一般库区不具备此条件。

2.2.2 销毁技术介绍对比

①热力焚烧法：焚烧法燃烧温度高，需要连续操作，且需要补充大量燃料气作为燃料，对场地布置要求较高；②催化氧化法：催化氧化法操作温度较高，可以间断操作，需要电加热或者稀释。

经对比，三苯罐区有以下特点：①罐区周转量大，年周转量共计 700 万吨；②油气有毒有害性高；③周边具备气柜回收条件；④周边空地小，选择气柜回收技术路线能够实现投资小、处理效果好、VOCs 再利用等优点。

2.3 罐顶联通方案选择

罐顶油气连通的方案选择主要考虑因素的群罐发生连环火灾事故，三苯罐区共有 16 台储罐，5 种不同介质，具有储罐数量多，储存品种复杂的特点，因此罐顶油气连通的方案需要根据储存物料、爆炸危险性、储存温度、储罐布置等因素，选用适合的连通方案。目前常见的连通设置的方案为：①直接连通方案；②气相平衡管方案；③直接连通共用切断阀方案；④单罐单控方案。各方案原理及优缺点介绍如表 2。

根据表 2 的介绍和原因分析，根据操作安全性、投资经济性，结合罐区实际情况，可以看出直接连通

共用切断阀方案为优选方案，为进一步加强该方案的安全性，在该设计基础上增加，氧含量分析措施，通过氧含量实施监测，联锁隔离控制系统，可有效提升安全性能。

2.4 通气量设置

2.4.1 通气量的计算

如何确定储罐通气量，迄今为止尚无确定通气量的国家标准，下面作为对国内外有关规范的规定进行对比。

2.4.1.1 日本通气设备标准

闪点低于 40℃的油品： $Q_i=V_O+Q_t$ ； $Q_o=2.14V_i+Q_t$ ；闪点高于或等于 40℃的油品： $Q_i=V_O+Q_t$ ； $Q_o=1.07V_i+0.6Q_t$ ，在呼吸及收付料过程中引起的压力变化：①容积小于 3200m³的油罐： $Q_t=0.178V$ ；②容积大于或等于 3200m³的油罐： $Q_t=0.61S$ 。

2.4.1.2 《石油化工储运系统罐区设计规范》规定

通气管或呼吸阀的通气量不得小于液体出罐时的最大出液量所造成的空气吸入量与液体进罐时的最大进液量所造成的管内液体蒸发呼出量之和。

2.4.1.3 美国标准 API Std 2000 的规定

①闪点低于 37.8℃的油品： $Q_i=0.94V_O+Q_t$ ； $Q_o=2.02V_i+Q_t$ ；②闪点高于或等于 37.8℃的油品： $Q_i=0.94V_O+Q_t$ ； $Q_o=1.01V_i+Q_t$ 。

可以看出，三个不同规范规定的通气量虽然有些差异，但结果基本一致。日本标准气温变化通气量通过公式计算得来，美国与中国标准气温变化通气量查表得来，经验算，两者结果基本一致。

2.4.2 正常通气量的确定

当地的气象条件，夏季一般在早上五点至九点温

表 2 几种油气联通方法对比

项目	直接连通方案	气相平衡管方案	直接连通共用切断阀方案	单罐单控方案
流程	将罐区内所有储罐气相联通为一个整体，储罐收付料能够实现整体平衡，能够在大多数收付料及呼吸作用是相互消化压力，仅在储罐压力整体升高或整体降低时进行排放或补压操作。	将罐区内同品种的储罐气相联通，也能通过同品种储罐大小呼吸及收付料压力互相消化，从而降低呼吸损耗。	罐区内储罐气相联通为一个整体，在油气总管设施开关切断阀，并通过压力控制切断阀进行隔离。	单台储罐设置切断阀，并在总管设置阻火器，再将各台储罐的气相汇集至总管回收。
操作安全性	低	较低	较高	高
经济	投资少	投资少	投资少	投资高
适用情况	该方案是将罐区内储罐相连，之间无控制设施，若出现某一个储罐失火，整个系统无有效的切断隔离措施	该方案和直接连通方案相似，虽然可以一定程度降低呼吸损耗，平衡储罐气相空间，但无有效隔离措施，存在群罐火灾风险	该方案同种油品设置罐组连通，不同罐组间通过隔断阀进行隔离，可实现在同种油品的气相平衡，降低呼吸损耗，同时不同罐组之间设置可进行有效隔离	该方案在每台储罐油气回收线上均设置隔断阀，安全性最好，如出现单罐火灾，可实现隔断，不影响其他储罐，但由于单罐均设置隔离措施，投资成本较高

升最快,从 25℃ 上升至 40℃,其它时间温升导致的油气体积膨胀量较小。根据理想气体状态方程及调研数据计算储罐正常通气量。

各储罐正常吸气量和呼气量,同储罐最大通气量计算方式一样,包括液体进出量及因大气温度变化而导致的通气量之和,但因大气温度变化而引起的通气量则按照调研的情况,取更为切合实际的,正常的工况,按照储罐由于大气温度升高的呼气量,大气温度降低最大吸气量都按照两小时,温度从 25℃ ~40℃ 的区间计算。经计算罐区罐顶油气回收最大呼气量 511~1450m³/h,最大吸气量 265~2000m³/h。

3 油气回收应用及存在问题解决

3.1 油气回收技术应用

三苯罐区共储存 5 种介质 16 台储罐,每台储罐设置氮封系统,5 种介质分别进行气相联通,并设置各介质主管,在主管设置氧含量分析仪、紧急切断阀、阻火呼吸阀等安全附件,旨在调控大小呼吸损耗时压力波动过大时对储罐 VOCs 排放的收集和压力平衡,储罐大量付料或天气变化温度上升导致储罐压力升高时,气相调节阀打开并回收至总管,通过氧含量分析仪分析合格后,启动鼓风机,将油气增压后输送至全厂放空系统气柜回收^[2]。储罐大量付料或天气变化温度下降导致储罐压力降低时,氮封系统自力式调压阀打开,氮气补充至储罐维持压力平衡。

3.2 运行存在问题及解决方法

3.2.1 氧含量超标

油气回收系统在运行时,若存在氧含量超标的工况,油气回收至气柜作为燃料气存在爆炸风险,此时需要停止排放至气柜,并对期间无法回收部分油气进行 VOCs 治理处置。为解决氧含量超标的问题,分别在五条支线及主线设置了 6 处氧含量分析仪,为避免一条支线氧含量高造成全部储罐油气无法回收形成无组织排放,分别对这几处氧含量进行监测,并采取支线氧含量高关闭支线紧急切断阀的设置,每条支线均设置吹扫流程,使用氮气将含氧油气外排。主线氧含量超标时,关闭主管去火炬流程,设置应急吸附罐流程,将罐区油气处置合格后排放。通过吹扫及故障处理完成后,恢复油气回收正常流程。

3.2.2 回收气热值不够

由于采用罐顶氮封补压的形式,回收气氮气含量占比较大,大量氮气进入气柜作为燃料气燃烧会因热值不够影响装置加热炉等设施正常运行。

为解决回收气热值不够的问题,经计算通过一定比例补充燃料气合并送往气柜,能实现燃烧最低热量,同时,燃料气补充回收也不会产生燃料浪费。

3.2.3 油气量变化时回收调整

油气量的产生有大小呼吸损耗,对油品收付料及天气变化强相关,在罐区油气量大的时候需要进行高负荷运转,油气量小甚至没有油气产生的时候又需要进行低负荷运转,需要对不同的工况进行动态变化。

为解决油气量变化导致油气回收设施运行不稳定的问题,分别设置了储罐、油气回收设施的联锁及变频运转。每台储罐设置在压力高时联锁打开油气外排阀门,压力低时关闭油气外排阀门。油气回收在压力高时,罗茨风机满负荷运转,在压力低时,风机打循环最低功率运转,在压力处于高压、低压波动时,风机根据压力值进行变频调节,实现节能稳定运行。

3.2.4 故障或着火安全问题

油气回收系统故障导致超温超压风险,甚至有可能造成后路管线火灾爆炸可能。

为解决油气回收超温超压时运转风险,联锁设置超温、超压联锁紧急停车控制。为避免后路管线因故障起火后,火焰通过管道传递至 16 台储罐,形成气相空间连环爆炸。油气回收系统设置阻火器,阻火器选用为耐烧爆燃型阻火器,耐烧时间不少于 2 小时,阻火器通过现行 ISO16852 国标标准的测试要求,管道爆轰型阻火器的安装避开非稳态爆轰位置且阻力降不应大于 0.3kPa。全天候阻火呼吸阀的使用提升了油气回收系统的总体安全。

4 结束语

本文应用的三苯罐区通过增设改造油气回收处理设施,将罐区的 5 种无组织排放的油气介质进行回收至低低压瓦斯系统管网,实现利用气柜及压缩机进行回收,达到油气回收再利用的目的。并在实践中加以应用,在过去一年的应用中,油气回收设施运行正常,长周期运行未出现停工工况,放空气热值正常。解决罐区芳烃组分无组织排放问题,满足环保 VOCs 质量要求,同时减少罐区异味,降低人员在罐区职业病危害因素接触及长周期职业病发病率。

参考文献:

- [1] 郭海东.天津分公司炼油部 VOCs 治理效果分析[J].当代化工,2020(04):688-695.
- [2] 刘思炜.涉苯储罐挥发性有机物治理[J].广东化工,2024,51(09):137-138+141.