

码头油气回收系统设计探讨

李艺颖, 王 媿

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘 要: 为研究码头油气回收工艺系统的设计要点及难点, 以湄洲湾港斗尾港区外走马埭作业区 2-8#泊位工程为例, 结合国内油气回收技术发展现状及项目多泊位多货种的特点与依托情况, 逐一分析码头油气回收系统三个单元的选型要素, 并针对码头项目的特点总结了码头油气回收系统的设计注意事项。

关键词: 油气回收; 码头; 设计; 多泊位; 多货种

中图分类号: U 656.1¹32 文献标识码: A 文章编号: 1671-0460 (2016) 04-0805-04

DOI:10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2016.04.047

Discussion on Design of Oil-Gas Recovery System for Terminals

LI Yi-ying, WANG Ti

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangdong Guangzhou 510230, China)

Abstract: In order to research design key points and difficulties of the oil-gas recovery process system for terminals, taking Meizhou bay Douwei port outside Zoumadai area 2-8# berth project as an example, combined with the development status of the oil-gas recovery technology in China, considering the characteristics and the support of multi-berth and multi-cargo terminal, selection elements of the three units in the oil-gas recovery system were analyzed, and the design considerations of oil-gas recovery system based on the characteristics of terminals were summarized.

Key words: Oil-gas recovery; Terminal; Design; Multi-berth; Multi-cargo

油品蒸发气含有较大比例的不饱和烃及多种致癌组分, 是一种挥发性有机污染物 (VOCs, Volatile Organic Compounds), 是形成臭氧污染和光化学烟雾的重要因素之一^[1]。目前国内液体散货码头运营的一般现状是不对油品蒸发气进行回收, 在装船作业过程中, 船舱内的油品蒸发气通过船舱通气管、呼吸阀直接排入大气。由于码头货运量大、装船效率高, 因此油气挥发量大, 易造成大气环境污染、能源损耗浪费及形成安全隐患等一系列问题^[2]。根据《中华人民共和国大气污染防治法》和《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》(国发[2013]37号), 为促进水运行业节能减排, 加快绿色水运建设步伐, 交通运输部正大力推行码头油气回收项目, 目前已将中化兴中原油装船油气回收作为全国原油成品油码头油气回收首批试点项目。

由此可以看出, 液体散货码头设置油气回收设施是今后项目发展的必然趋势。但是目前国内码头油气回收技术投入实际应用的范例较少, 且使用效果不甚理想^[3]。绝大部分应用案例还都是单一泊位回收单一货种, 而码头作为货物储运过程中重要的中转环节, 常常是同一码头具有多个泊位并作业多个货种。因此, 多泊位多货种油气回收技术的应用

在液体散货码头工程中显得尤为重要。本文以湄洲湾港斗尾港区外走马埭作业区 2-8#泊位油气回收工程为例, 对码头油气回收设计进行分析探讨。

1 项目背景

湄洲湾港斗尾港区外走马埭作业区 2-8#泊位是中化泉州 1200 万 t/a 炼油项目的配套码头工程, 主要用于炼厂产品的海上出运, 主要的装船货种有汽油、柴油、航煤、LPG、苯、甲苯、二甲苯等。码头共 7 个 3 000 DWT 泊位, 靠泊船型为 1 000~3 000 DWT 成品油船或化工品船。根据该项目环评报告的要求, 需对装船货种中的汽油、苯、甲苯和二甲苯进行油气回收。该项目油气回收工程于 2014 年 11 月设计完成, 并于 2015 年 7 月完工。

2 油气处理方式选择

宏观上来看, 处理船舶装船过程中的 VOCs 主要有两种方法——燃烧处理法和回收处理法^[4]。燃烧处理法操作简便、投资少, 但是没有回收物, 不能创造经济效益, 并且需额外损耗燃料, 而产生的热能又过于分散难以利用, 耗能大。再考虑到码头上没有天然气、丙烷气等燃料供给, 故本项目不考

收稿日期: 2015-03-10

作者简介: 李艺颖 (1984-), 女, 广东省广州市人, 工程师, 2006 年毕业于中国石油大学 (北京) 油气储运工程专业, 研究方向: 从事油气储运技术工作。E-mail: liyy@fhdigz.com。

考虑燃烧处理法, 而选择油气回收处理法。

3 码头油气回收系统组成

码头油气回收系统主要由三个单元组成, 分别是船岸对接安全装置 (DSU, Dock Safety Unit)、引风机模块 (VBS, Vapor Blower Skid) 和油气回收装置 (VRU, Vapor Recovery Unit)。

当船舶靠泊完毕后, 码头通过气相回收臂连接油轮上的对外油气回收接口, 油气经船岸对接安全装置 (DSU) 后汇入码头集气管, 再通过启动引风机模块 (VBS), 将油气输送至油气回收装置 (VRU) 进行回收 (图 1)。

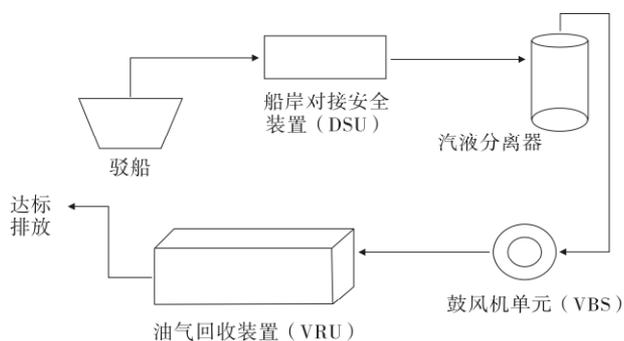


图 1 码头油气回收系统图
Fig.1 Terminal oil-gas recovery system diagram

4 油气回收装置选址

本项目码头距陆域约 340 m, 距后方中化炼厂直线距离约 2 km。码头泊位数量多, 岸线长约 980 m。若将油气回收装置设置在陆域岸边, 业主需要征地, 且运营管理不便; 若设置在厂区, 油气回收装置距离码头太远, 引风难度大。考虑本项目码头为连片式结构, 泊位装卸点之间有足够的空间可以安放油气回收装置, 且便于码头统一管理。因此, 将油气回收装置设置在码头 2#~8#泊位中间位置, 即 5#~6#泊位之间 (如图 2)。

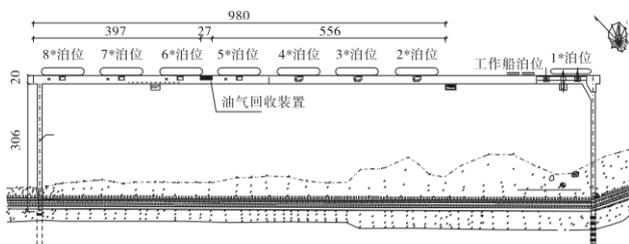


图 2 2#~8#泊位油气回收装置布置图
Fig.2 2#~8# berth vapor recovery unit layout

5 确定油气回收处理量

本项目码头为企业自有码头, 不存在多个业主利益分割的问题。而回收油气的组分较复杂, 若每个泊位或每个货种单独采用一套油气回收设施, 则

需要投入多套设备, 成本较高, 且不利于生产运营的集中管理。对回收货种性质 (见表 1) 分析后可知, 汽油、苯、甲苯及二甲苯性质相近, 混合气体不会发生化学反应。且本项目码头依托炼厂油库, 回收液处理方式多样。因此, 综合考虑后确定各货种各泊位共用一套回收装置。

表 1 回收物料基本物性表
Table 1 Main physical properties of recovered cargo

序号	项目	汽油	苯	甲苯	混合二甲苯
1	密度 20 °C/(kg·m ⁻³)	730	878.6	867	860
2	闪点/°C	-50	-11	4	25
3	熔点/°C	<-60	5.51	-94.9	-47~13.5
4	沸点/°C	40~200	80.1	110.6	138.35~144.42
5	爆炸极限,%	1.4~7.6	1.2~8.0	1.2~7.0	1.1~7
6	溶解性	不溶于水	不溶于水	不溶于水	不溶于水
7	火灾危险性分类	甲 B	甲 B	甲 B	甲 B
8	毒性	轻度	极度	中度	中度

码头共 7 个 3 000 DWT 泊位, 单个泊位最大装船流量为 350 t/h, 即 480 m³/h。根据码头货运量任务测算, 码头需回收油气的货种最多同时停靠两艘 3 000 DWT 船, 即回收油气货种最大装船流量为 960 m³/h。而油气返回流量可近似等于货种液相装船流量^[5], 即回收货种最大油气返回流量为 960 m³/h。根据国际海洋公约 MSC/Circ.585 通函《关于蒸气排放控制系统标准》的设计要求, 油气回收系统的处理能力应至少达到 1.25 倍最大设计载荷流量, 因此油气回收装置设计最大油气处理量为 1 200 m³/h。进入回收装置的油气为汽油、苯、甲苯和二甲苯的单货种油气或是几个货种的混合气。

6 油气回收工艺选择

国内油库及加油站的油气回收处理技术发展多年, 已较为成熟, 目前应用较多的有吸附法、吸收法和冷凝法等, 并常采用几种方法组合的工艺^[1]。选择码头油气回收方法需考虑多方面因素, 如码头装船货种、码头运营方式、码头与后方库区或厂区的依托关系等^[6]。

国内汽油油气回收应用最多的是活性炭吸附+贫油吸收的方式。如果采用吸收法, 须首先解决吸收剂的问题。本项目油气回收装置设置在码头平台上, 距厂区油罐较远, 码头上也无存储设施。根据装船作业的贫油用量, 油气回收装置旁需设置一个几百方的贫油暂存罐。但是码头空间紧凑, 无法布置如此大容量的储罐。而岸侧陆域又涉及到征地问题, 也没有位置放置贫油罐。因此, 吸收法不适用于本码头工况。

考虑到本项目芳烃类化工品较多, 液化较容

易,因此选用冷凝+活性炭吸附的回收工艺。

7 油气回收系统设计

7.1 船岸对接安全装置

每个泊位设置 1 台 4" 气相装卸臂,用于连接码头与船舱油气回收口。

与液相管道不同,油气管道输送的不是纯介质,而是油品蒸发气与其它气体(包含氧气)的混合气。因此,管道内油气浓度有达到爆炸极限的可能,且油气燃烧或爆炸蔓延地极其迅速,因此气相管道的安全要求应高于液相管道^[7]。根据国际海洋公约 MSC/Circ.585 通函《关于蒸气排放控制系统标准》提出的一系列预防和阻止事故发生及蔓延的具体要求,每个泊位均在气相回收臂后侧配置了一套船岸对接安全装置。其可在装船过程中监测油气的压力、温度、氧含量及流量等参数,并对以上参数的报警值做出反应,调整或切断油气输送,防止发生安全事故,保障油轮和码头作业安全。

船岸对接安全装置在安全方面需达到 USCG 33CFR 154 Subpart E、IMO MSC/Circ.1009 及 IMO MSC/Circ.677 的要求。主要设备包括高精度过滤器、真空泄放阀、阻爆器等,主要仪表包括流量计、压力变送器、温度变送器及差压变送器等。

7.2 引风机模块

油气回收装置距离最远泊位约 400 m,需设置引风机模块。引风机模块主要包括气液分离器、引风机、阻火器等设备,以及压力、温度等监测仪表。其主要作用是输送油气至油气回收装置(图 3)。

为保证油气回收系统平稳安全运行,引风机模块需在整个运行期间实时监测并记录管道的压力、真空度、温度、流量等参数,并根据油气管道压力,变频调节油气流量,以通过主控制系统协调前端船岸对接安全装置控制船舱压力。

7.3 油气回收装置

油气回收装置具有两方面核心目的:一方面是分离油品蒸发气,达标排放空气;另一方面是处理收集到的油气,使其达到可再储存或可再利用的形态^[8]。而各种回收工艺中分离和回收的顺序又各不相同,有些是先分离再回收,有些是先回收大部分油气,再进行剩余油气和空气的分离。本项目油气回收装置是采用冷凝法先对大部分油气进行回收,再用活性炭对油气和空气进行分离。

本项目油气回收装置设置三级冷凝,油气经过预冷器、一级冷凝器冷却至 5 ℃,油气中的大部分水、苯及部分其他油气凝结;其余未凝油气继续经

过二级冷凝器冷却至-35 ℃,凝结大部分甲苯、二甲苯和汽油;再剩余的未凝油气继续经过三级冷凝器冷却至-75 ℃,主要用于汽油油气冷凝。所有冷凝下来的冷凝液流至储液罐。冷凝器设置两台互为备用,即保证一台进行化霜时另一台可正常工作,解决水和苯结晶的问题。

经过冷凝系统后,绝大部分油气凝结为液态,而尚未冷凝的气体继续进入吸附系统。冷却后的未凝气体再通过预冷器的冷端将进冷凝机组的油气预冷并进行冷量回收,之后进入活性炭吸附罐。其中油气被活性炭吸附,空气直接达标排放。

当吸附罐中的活性炭吸附油气将接近饱和时,通过控制阀门的控制,使活性炭吸附罐按照一台吸附一台解吸的模式运行。解析后的高浓度油气再次进入冷凝器,冷凝产物暂存到储液罐中。装置储液罐内回收的油品通过泵输送至库区储罐中(图 3)。

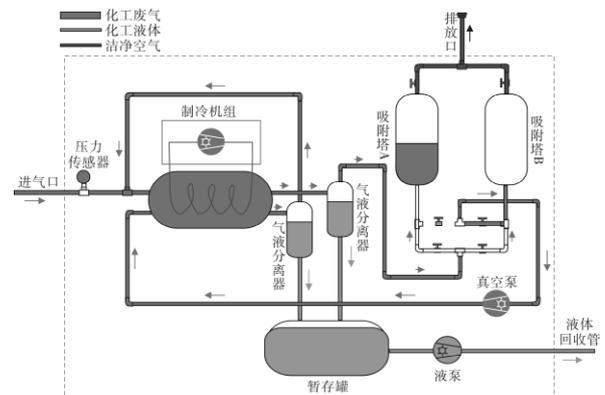


图 3 冷凝+活性炭吸附回收工艺示意图

Fig.3 Condensation and activated carbon adsorption recovery process schematic diagram

本工程采用的冷凝+活性炭吸附工艺的优点主要有以下几点:

(1) 冷凝模块与活性炭吸附模块是个密闭循环系统,不需要使用吸收剂,减少了油气回收装置撬块的占地面积,解决了码头空间受限的问题。

(2) 油气经过冷凝器后消除了油气中的水蒸汽,排除其对后续活性炭床的不利影响。

(3) 油气经过冷凝器再进入活性炭吸附罐中,油气温度远低于介质闪点,并且降低了碳床温度,使得活性炭吸附更加安全。

8 结束语

(1) 码头装卸货种较多,常存在多货种共用一套回收系统的情况。应根据各货种性质,考虑其相互间影响,选择合适的油气回收处理工艺。

(2) 码头泊位数量较多时,油气回收装置的

处理量不能用各泊位最大装船效率来简单的叠加, 而应结合总平面布局、泊位功能安排和货运量任务等因素, 预测码头生产运营靠泊情况后确定。

(3) 本项目码头为企业自有码头, 故可以多货种共用一套回收系统。在多货种油气回收系统设计时应注意根据码头性质, 平衡各方利益需求。

(4) 码头空间宝贵, 应选择占地面积小的油气回收工艺。

(5) 安全始终是码头设计及运营的第一要素, 配置船岸对接安全装置是必要的。

(6) 码头工艺流程简单, 主要依托后方库区或厂区。选择油气回收工艺时, 应注意各依托条件的落实情况。

(7) 码头(尤其是海港码头)的油气回收处理量往往较大(可达上千方甚至上万方/小时), 而国内油库和加油站油气回收装置的常用规模都在 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下^[2], 国产化后的回收装置大型化的处理效果及技术水平还有待进一步验证。

(8) 目前我国尚无针对码头油气回收的设计规范, 本工程设计主要参照的是美国标准。而码头

油气回收项目市场广阔, 亟待相关法规、标准文件的出台。

参考文献:

- [1] 张炆, 李自力, 王菲菲. 原油装船过程油气回收技术研究现状[J]. 油气储运, 2014, 33(12): 1282-1286.
- [2] 潘海涛. 油气回收技术在港口油品码头中的应用[A]. 中国土木工程学会港口工程分会技术交流文集[C]. 2009:112-116.
- [3] 李有森, 王婷婷. 液体散货码头油气回收技术应用现状[A]. 2013 中国环境科学学会学术年会论文集(第八卷)[C]. 2013:6639-6641.
- [4] 范志杰, 文岩. 油轮装卸过程中逸出挥发性碳氢化合物的处理方法评述和新技术展望[J]. 交通环保, 1990, 11(3): 14-18.
- [5] Howard J Rudd, Nikolas A Hill. Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU[R]. AEA technology environment. August 2001.
- [6] 董铖. 石油化工码头油气回收技术的应用[J]. 港口装卸, 2015, 1: 51-53.
- [7] 王妮, 孙红彦. 码头油气回收工艺设计要点[J]. 水运工程, 2014, 2: 104-107.
- [8] 熊新强, 杨智超. 码头油气回收技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014(12): 30-31.

(上接第 804 页)

为保证装置稳定运行, 考虑到装置运行后期转化炉尾管出现严重炭化现象, 转化出口温度不宜过高。我们要求转化出口温度低于 $762 \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据等值线图结果, 我们确定转化出口温度在 $755\sim 762 \text{ }^\circ\text{C}$ 、原料气量在 $3\ 360\sim 3\ 400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 范围内(如图 2 中阴影部分所示), 可以满足制氢量 $\geq 9\ 500 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 氢气纯度 $\geq 99\%$, 产品氢 CO 含量 $< 10 \times 10^{-6}$, 产品氢 CO_2 含量 $< 10 \times 10^{-6}$ 要求。

由图 3 可知: 改善前后制氢量对比发现, 制氢量明显提高, 且数据正态分布, 过程能力较好。

4 结论

通过六西格玛分析, 制氢装置制氢量的关联因子有转化出口温度及原料气量。实验设计得出转化出口温度在 $755\sim 762 \text{ }^\circ\text{C}$ 、原料气量在 $3\ 360\sim 3\ 400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 范围内, 可以满足制氢量 $\geq 9\ 500 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 氢

气纯度 $\geq 99\%$, 产品氢 CO 含量 $< 10 \times 10^{-6}$, 产品氢 CO_2 含量 $< 10 \times 10^{-6}$ 要求。

经过改善, 制氢量达到了预期的目标, 同时氢气纯度、产品氢 CO 含量、产品氢 CO_2 含量等指标也得到了保证, 但由于时间关系, 对长期流程能力的状况还有待进一步验证。同时需要按照控制计划, 监控各参数的指标, 将制氢量控制在目前水平。

参考文献:

- [1] 中国质量协会. 六西格玛管理[M]. 第三版. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- [2] 王正烈. 物理化学[M]. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [3] 王者顺. 制氢装置操作工[M]. 北京: 中国石化出版社, 2007.
- [4] 庞少伟, 李栋, 秦建军. 焦化干气制氢装置运行分析及扩量改造研究[J]. 石油与天然气化工, 2011, 02(11): 132-136.
- [5] 杨川, 等. 天然气组分对合成氨装置的影响[J]. 云南化工, 2014(3): 32-36.