



# 原油码头装船油气回收

马辉, 管春萍

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 为保护环境, 近年来环保部门要求原油码头装船时设置油气回收设施。鉴于国内原油码头油气回收起步较晚, 对原油码头装船油气回收进行了系统研究。通过调研分析目前国内已建原油码头装船油气回收项目, 得出原油装船产生的油气具有流量大、轻烃组分多、油气浓度高、成分复杂、硫含量高等特点。国内外和地方原油油气的排放控制要求存在差异, 要满足毫克级的较高排放标准, 则需要采用不同于传统工艺的热破坏法。

**关键词:** 原油码头; 装船; 油气回收

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2018)06-0185-04

DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20180606.003

## Vapor recovery from shipment in crude oil terminal

MA Hui, GUAN Chun-ping

(CCCC Third Harbor consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** To protect the environment, the environmental protection departments have required vapor recovery facilities to be installed when the crude oil terminals are loaded in recent years. Because vapor recovery in domestic crude oil terminal starts late, this paper systematically studies the vapor recovery of crude oil terminal shipment. Through the investigation and analysis of the domestic built vapor recovery projects of crude oil terminal shipment, we conclude that the vapor of crude oil shipment has the characteristics of large flow, more light hydrocarbon, high vapor concentration, complex composition and high sulfur content. The differences among foreign, domestic and local implementation standards, the thermal damage method is required which is different from the traditional process to meet the higher emission standards of the milligram level.

**Keywords:** crude oil terminal; shipment; vapor recovery

随着我国经济发展, 原油对外依存度不断增加; 同时国家为保障能源安全, 启动了战略石油储备工程; 这些项目都必须有便于接卸的大型原油码头, 部分码头还承担着原油中转的功能。原油装船过程中会产生流量大、浓度高的油气排放, 油气属于挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)<sup>[1]</sup>, 会对周边环境造成严重污染, 给生产生活带来安全威胁和隐患。

目前国内港口的废气回收装置多用于剧毒液体化工物料的装船。为保护环境、节能减排, 国

家在《大气污染防治行动计划》中提出要在原油码头开展装船油气回收, 各个部门和地方也纷纷制订了实施计划时间。近年来新建原油码头具备装船功能时, 环保部门均要求设置油气回收设施。

### 1 原油装船油气的特点

#### 1.1 流量大

原油装船产生的油气流量与装船效率密切相关, 国外原油出口以VLCC(20万~30万t)为主, 单一泊位原油装船流量可达15 000~18 000 m<sup>3</sup>/h。

收稿日期: 2017-11-25

作者简介: 马辉(1975—), 男, 教授级高级工程师, 从事液体散货储运和安全工程设计。

目前世界上在运行的最大原油油气回收装置在挪威, 2008 年交付, 油气处理量  $36\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ , 回收效率  $> 97\%$ , 排放标准  $35\ \text{g}/\text{Nm}^3$ 。世界上在设计的最大原油油气处理量为新加坡的  $46\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ , 排放标准  $35\ \text{g}/\text{Nm}^3$  (回收效率  $97\%$ )。

国内原油中转装船以 10 万吨级及以下船舶为主, 中化兴中原油装船油气回收项目处理量为  $5\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ , 采用“吸附+压缩回收+锅炉燃烧”的组合工艺, 目前正在生产调试。烟台港西港区 30 万吨级原油码头装船油气回收, 处理能力为  $5\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ , 采用吸附吸收的工艺, 目前设备正在生产制造。

## 1.2 轻烃组分多、油气浓度高

原油油气中的轻烃组分比汽油油气中的轻烃组分多, 除了含有和汽油油气相同的  $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$  外, 原油油气中还含有一定量的  $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_2$ 。国外曾对北海原油装船蒸发排放气进行组分分析(表 1), 得出油气浓度为  $330$  (冬季)  $\sim 700\ \text{g}/\text{m}^3$  (夏季)。

表 1 原油油气的烃类组成

油气中的烃组分	质量分数/%
$\text{C}_1 + \text{C}_2$	9~15
$\text{C}_3$	20~25
$\text{C}_4$	30~40
$\text{C}_5$	20~30

油轮装船过程中油气的浓度是不断变化的, 在开始装船过程油气的浓度很低, 在装船过程的前 80%, 其烃体积分数约为 15%; 在装船过程的后 20%, 其烃体积分数约为 30% 及以上, 油气回收处理需要考虑这个特点, 尤其是热破坏系统, 装船初期需要供应燃料<sup>[2]</sup>。

某种原油装船过程油气流量和浓度变化见图 1。

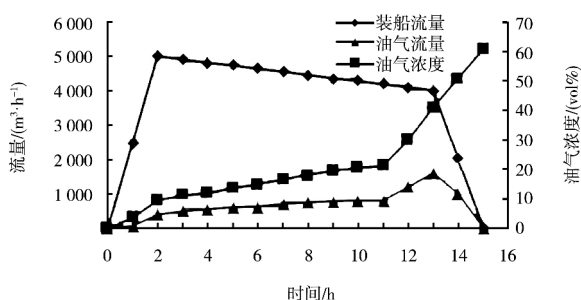


图 1 某原油装船油气流量和浓度变化

## 1.3 成分复杂、硫含量高

原油油气中含有大量的轻烃组分、惰性气体、硫化物和苯类等有机混合物, 根据产地的不同又存在较大差异, 处理工艺要根据原油组成采取相应措施。为避免活性炭和催化剂等遇硫中毒失效, 油气回收设施一般都包含脱硫装置, 脱硫装置可分为干式脱硫和湿式脱硫。

## 2 原油油气的排放控制要求

### 2.1 排放指标

由于 VOCs 是一大类物质, 涵盖的范围非常广, 除高毒害的 VOCs 物质(如苯、氯乙烯)需要单独制订严格的排放限值外, 其他 VOCs 物质(包括油气)用综合性指标进行控制。

美国环境保护署针对基准污染物(环境空气质量标准中规定的污染物)制订的新源特性标准(NSPS)中, 控制的综合性指标是总有机化合物(TOC, 扣除甲烷、乙烷)<sup>[3]</sup>。

根据大气污染物排放标准说明: 非甲烷总烃(NMHC)是指除甲烷以外所有碳氢化合物的总称, 主要指  $\text{C}_2 \sim \text{C}_{12}$  的烃类物质。由于甲烷在空气中不会危害健康, 我国及欧盟一般以非甲烷总烃来衡量环境污染的程度。

我国及欧盟 NMHC 与美国 TOC 区别主要在于排放指标是否包含乙烷, 在衡量排放标准时应予以区分, 在项目引进美国油气回收设施时应特别注意。

### 2.2 排放标准

发达国家或地区的原油油气排放标准见表 2。

表 2 发达国家或地区的原油油气排放标准

国家或地区	处理效率/%	排放标准/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$
美联邦	$\geq 95$	
美国加州		$\leq 5.70$
美国路易斯安娜州		$\leq 12.00$
欧盟		$\leq 35.00$
德国		$\leq 0.15$

由于国内目前没有原油码头油气排放的专门标准, 因此可参照国家标准(表 3)。

表 3 国家油气排放标准

标准名称	标准号	处理效率/%	排放标准
大气污染物综合排放标准	GB 16297—1996		现有: $\leq 150 \text{ mg/m}^3$ 新建: $\leq 120 \text{ mg/m}^3$
储油库大气污染物排放标准	GB 20950—2007	$\geq 95$	$\leq 25 \text{ g/m}^3$
石油炼制工业污染物排放标准	GB 31570—2015	$\geq 95$	

注: 在编制 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》时, 参考了德国的同类标准  $150 \text{ mg/m}^3$  作为现有企业的非甲烷总烃排放标准值, 新建企业采用现有企业排放标准的 80%<sup>[4]</sup>。

从表 2、3 可看出,  $120 \text{ mg/m}^3$  国家油气排放标准在国际上已处于领先水平, 上海市颁布

的 DB 31/933—2015《大气污染物综合排放标准》比国家标准更加严格, 确定了非甲烷总烃排放限值  $\leq 70 \text{ mg/m}^3$ , 其他地区如北京市、天津市等地方标准中规定的非甲烷总烃排放限值均比国标严格。各地标准见表 4。

总的来说, 原油油气排放标准分克级和毫克级, 其对油气处理工艺有着较大影响。目前已建的中化兴中和烟台西港均执行 GB 20950—2007《储油库大气污染物排放标准》, 油气排放浓度  $\leq 25 \text{ g/m}^3$ , 油气处理效率  $\geq 95\%$ 。新建原油码头装船油气执行标准需满足环评和地方标准的要求, 趋势将会越来越严。

表 4 地方油气排放标准

地区	处理效率	排放标准	标准名称	标准号
上海		$\leq 70 \text{ mg/m}^3$	大气污染物综合排放标准	DB 31/933—2015
北京	$\geq 97\%$	$\leq 20 \text{ g/m}^3$	储油库油气排放控制和限值	DB 11/206—2010
		焚烧处理 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 非焚烧处理 $\leq 100 \text{ mg/m}^3$	炼油与石油化学工业大气污染物排放标准	DB 11/447—2015
天津		现有: $\leq 100 \text{ mg/m}^3$ 新建: 焚烧处理 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 焚烧处理 $\leq 80 \text{ mg/m}^3$	工业企业挥发性有机物排放控制标准	DB 12/524—2014
重庆		$\leq 120 \text{ mg/m}^3$	大气污染物综合排放标准	DB 50/418—2016
厦门		$\leq 120 \text{ mg/m}^3$	厦门市大气污染物排放标准	DB 35/323—2011

### 3 原油油气的处理工艺

码头油气处理的传统工艺为吸附法、吸收法、冷凝法和膜分离法, 以及上述方法的组合。国外原油码头油气回收主要是吸附吸收, 可基本满足克级的排放标准。

汽车装车或码头装船等过程中挥发的高浓度油气, 通常可达  $100 \sim 1\,000 \text{ g/m}^3$ , 具有较大的经济回收价值。传统处理工艺可实现高浓度油气中绝大部分 VOCs 物料的回收, 整体处理效率超过 95%, 可以满足克级的排放标准, 但是无法满足毫克级甚至更严格地方标准的要求<sup>[5]</sup>。

要满足毫克级的排放标准, 需要热破坏法(或燃烧法)。热破坏法主要为火炬燃烧(VCU)、直燃式或蓄热式热氧化(TO/RTO)、催化氧化(CO/RCO), 催化氧化(CO/RCO)通过采用催化剂降低

了热氧化(TO/RTO)的操作温度。

火炬燃烧(VCU)适用于成分复杂、高浓度的 VOCs(如液体化工物料), 该方式处理挥发性碳氢化合物的效率较高, 在港口码头通常采用封闭式火炬燃烧系统, 其投资较高, 燃烧器距地面更近, 燃烧器周围采用内壁覆有耐火材料的外壳将火焰围住, 能更好地控制燃烧, 更加安全可靠。美国油气回收技术以燃烧技术为主。

TO/RTO、CO/RCO 主要适用于低浓度有机气体, 用于原油码头高浓度油气回收时需在前端设置预处理系统。前端预处理系统采用传统工艺或组合, 回收浓度高、有回收经济价值的 VOCs, 并使得进入氧化工艺的 VOCs 浓度远低于爆炸极限下限浓度, 确保设备安全。

欧盟编制的 BAT 指南文件中, 建议根据废气

流量、浓度选择适宜的控制技术,以及达到的控制效果,见图2。BAT技术是要在运营费用和环境效益之间找到最佳结合点。

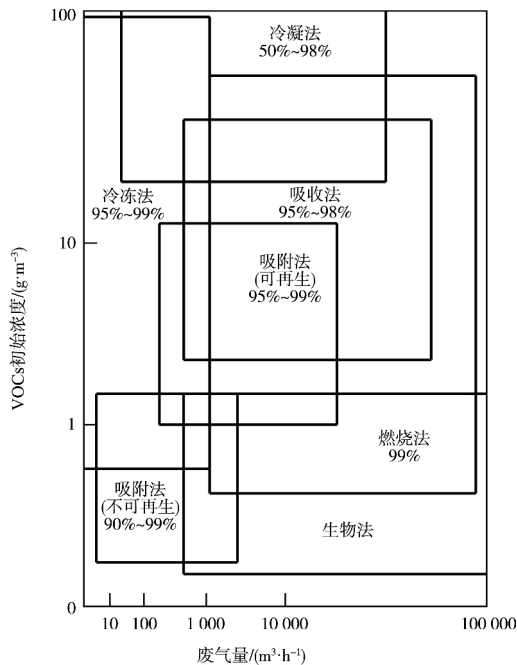


图2 VOCs 控制技术选择

#### 4 原油码头装船油气回收需注意的问题

1) 首先要明确项目执行的标准和排放限值,通常应满足环评和地方标准的要求,克级和毫克级排放标准的处理工艺、投资等差别较大,对整个项目的影响也较大。

2) 由于原油种类较多、组分相差较大,尤其是C2、C3含量对传统工艺处理效果影响较大,因此应明确设计输入的原油品种,提供原油组分表。油气最大浓度的选取也是造成方案有较大差异的原因。

3) 油气回收技术并不复杂,设备和部件也可采用进口,关键在于系统的融合、安全技术和一体化的自控技术。工艺组合越多,处理效率越高,系统的连锁控制越复杂。

4) 由于原油油气回收装置占地面积较大,运营中尚需检修维护和保养,在有条件的情况下,尽可能将油气回收装置设置在陆域安全区。中化兴中设置在陆域,烟台西港由于条件限制原油油气回收装置设置在码头工作平台。

#### 5 结语

1) 随着原油码头装船油气回收在国内的试点发展,新建原油码头装船设置油气回收设施已成为必然。

2) 原油装船产生的油气具有流量大、轻烃组分多、油气浓度高、成分复杂、硫含量高等特点,设计输入条件准确与否是油气回收设施方案合理、良好运行的关键。

3) 国内尚无原油码头油气排放的专门标准,各地执行排放标准存在差异。原油码头装船设置油气回收设施必须满足环评和地方标准的要求,要求将会越来越严。

4) 传统的油气处理工艺(如吸附吸收)基本可满足25 g/m³的排放标准,要满足更严格的毫克级排放标准,则需要热破坏法或新的处理技术。

#### 参考文献:

- [1] 乔建哲,周斌,常华,等.码头油气回收技术的发展及问题探讨[J].绿色科技,2013(1):43-45.
- [2] 张炀,李自力,王菲菲,等.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+1316.
- [3] 张国宁,郝郑平,江梅,等.国外固定源VOCs排放控制法规与标准研究[J].环境科学,2011,32(12):3501-3508.
- [4] 国家环境保护局科技标准司.大气污染物综合排放标准详解[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [5] 尹树孟.用于VOCs治理末端的低温催化氧化工艺[J].安全、健康和环境,2016,16(12):32-35.

(本文编辑 武亚庆)