

# 码头油气回收系统解析

宫中昊 于 辉 张卫华

(中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 当前我国在码头油气回收领域缺乏强制性标准或法规, 既无对装船作业油船的统一要求又缺少装船油气回收系统的国家标准。针对这一现状, 依据国际公约条例列举了码头油气回收系统对油船的要求。以上海石化码头油气回收系统为例, 介绍了一套符合国际公约要求的并在实际装船作业中应用的码头油气回收系统。该系统主要包括船岸对接安全界面和油气回收装置, 会对国内码头油气回收的开展起到指导作用。

**关键词:** 码头; 油气回收; 船岸安全界面; 装置

## ANALYSIS OF THE VAPOR RECOVERY SYSTEM APPLIED FOR THE WHARF

Gong Zhonghao Yu Hui Zhang Weihua

(SINOPEC Research Institute of Safety Engineering, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Our country lacks the standards or regulations of vapor recovery applied for the wharf at present. There aren't any national standards for the loading shapes or vapor recovery systems used in the wharf. Aimed at this situation the requirements for the shapes during the loading operation in the vapor recovery are illustrated according to the international convention. Taking Sinopec Shanghai company as an example, a vapor recovery system applied for the wharf which is in accordance with the international convention and has already been used in the shape-loading operation is introduced. This system includes docking security unit and vapor recovery unit.

**Keywords:** wharf; vapor recovery; docking security unit; unit

### 0 引言

成品油及化工品码头在装船作业过程中会产生大量易挥发的有机气体组分(VOCs), 油气的挥发不仅会造成环境污染、危及作业安全, 也会造成能源的浪费和油品质量的下降, 危害较大<sup>[1]</sup>。因此, 从环保和经济角度考虑, 实行码头油气回收都十分必要。然而, 实行码头油气回收, 除了在码头上安装一套油气回收系统外, 实行油气回收的油船必须拥有与油气回收系统配套的相关设施, 作为《73/78 公约》的缔约国, 我国远洋外贸游轮均安装了统一的油气回收端口并配备了惰性气体发生装置, 可进行油气收集, 而据海事局统计, 2011 年我国国籍油船、化学品船总计 4 966 艘, 其中占总数 90% 以上的内贸油船均未安装油气接收管道、标准接头和惰性气体发生装置, 不仅无法实现油气回收, 且在航运过程中存在含氧量超标的

巨大安全隐患, 给整个航运安全带来巨大安全风险。这不仅是我国游轮管理的重点和难点, 也是我国实行码头油气回收的最大困难之一。虽然我国码头油气回收面临推广实施难、回收归属难、设备建设难、安全管理难的“四难”问题, 但在全国范围内推广码头油气回收已势在必行, 国务院和交通运输部对开展码头油气回收均作了明确部署<sup>[2]</sup>。事实上, 目前全国各地的环保部门已要求所有的码头改扩建工程, 必须安装油气回收系统, 否则无法通过环评批复。我国交通部于 2012 年选取中化兴中原油码头、营口港成品油码头作为油气回收示范项目, 两套油气回收系统分别采用了“活性炭富集油气 + 吸收再生提浓油气 + 油气锅炉燃烧”和“活性炭吸附 + 吸收”的工艺路线。中委合资广东石化重油加工工程产品码头也实行了油气回收, 装置采用“贫油吸收 + 膜分离”工艺<sup>[3]</sup>。除此之外, 我国只有极少数油品、化学品码头安装了

收稿日期: 2015-08-10

油气回收装置,而安装了油气回收装置的码头均未满足相关的国际公约要求,导致大部分装置处于闲置装置。而本文主要旨在解析一套成品油、化工品码头油气回收系统,该套系统位于上海石化码头车间,该系统是目前国内为数不多的符合国际公约及我国船级社要求,且在实际装船作业过程中应用的码头油气回收系统,对国内码头油气回收行业具有很强的指导意义。

## 1 国内外码头油气回收相关标准

国际海事组织《MARPOL 73/78 防污公约》附则 VI《防止船舶造成空气污染规则》中,第1、2、4、6、11、和15条做出规定,对公约范围及船舶类型、会员国监管责任、液货船造成的挥发性有机化合物(VOCs)的释放、蒸汽收集系统的安全标准、安装了蒸汽释放控制系统的码头实施期限(安装后三年)等作出规定。在SOLAS公约中2.2和5.5内容中,对油轮必须配备的惰性气体成分、惰性气体发生系统、含氧量安全标准等作出规定。上述公约对2万t及以上油船有强制要求,对2万t以下无强制性要求。

油船在装船过程中产生的挥发气体属易燃易爆危险气体,从安全角度出发,国际海事组织颁布相关法规,包括:1) MSC/Circ. 585 号通函《关于蒸汽排放控制系统标准》;2) MEPC 决议清单中 MEPC. 69(38) 国际散装运输危险化学品船舶构造和设备规则(IBC 规则)修正案;3) MEPC. 70(38) 散装运输危险化学品船舶构造和设备规则(BCH 规则)修正案等。为了保证岸上化工设施与油船隔离,美国海岸警卫队提出油气回收设备船岸界面单元的安全规范标准(USCG 33CFR Ch. I (7-1-05 Edition) Subpart E—Vapor Control Systems(154)),在美国和欧盟执行。

2013年,中国船级社根据美国海岸警卫队的标准以及国际海事组织颁布的 MSC/Circ. 585 通函《关于蒸汽排放控制系统标准》,制定了我国《货物蒸汽回收及处理系统检验指南》(草稿),该指南目前已完成评审稿,正待召开专家评审会对其中内容进行评定。

2012年颁布的 GB 50759—2012《油品装载系统油气回收设施设计规范》设计标准,包含了储油库、加油站、化工厂的油气回收设施的安全设计内容,目前尚无码头油气回收系统安全设计、安全评估、安全验收的法规规范。

对比国内外码头油气回收相关公约和标准可知,目前我国码头油气回收行业欠缺统一的执行规范,标准的缺失主要体现在两个方面,一是缺少码头油气回

收对油船的统一要求,一是缺少对岸上油气回收系统的统一要求,这对我国码头油气回收的推广造成极大困难。我国作为国际公约履约大国,必须加快码头油气回收的步伐,尽快建立健全相关标准,保障码头油气回收设备的安全性,履行港口国职责,与国际接轨。

## 2 码头油气回收对油船的要求

码头油气回收系统主要包括船岸对接安全模块(其中的鼓风机也可单独成为鼓风机模块)和油气回收装置两部分。但若要对油船实行油气回收,油船必须配备统一的油气回收接口和一系列安全设施。如前文所述,我国因尚无强制性法规要求,多数内贸船只未安装统一的油气排放接收管路和惰性气体发生装置,不具备油气回收和惰性气体压仓的条件,因此很多码头即使已安装油气回收系统,使用率也极低。也有少数码头并不明确码头油气回收系统对油船的统一要求,因此存在不符合要求的油船接入油气回收系统的情况,为装船作业造成极大安全隐患。因此非常有必要指出码头油气回收系统对油船的统一要求,码头方在实行油气回收作业前必须与船方进行全面沟通,确保将实行油气回收的船只具备相应接口和安全设施后,并要求船方签定“油气回收船岸确认签字表”后方可进行油气回收作业。

根据 IMO 相关国际公约和我国船舶建造的相关规范,符合油气回收的油船在设计和建造时,均应安装有以下设施:

1) 统一的油气回收端口:所有运油船舶必须具备船舶液货蒸汽统一接收排放管道。管道与码头衔接部分,须有统一尺寸的标准接头,并方便与油气收集系统相连接。

2) 惰性气体发生系统:将惰性气体经冷却、除尘、除硫后经风机加压输送到油舱内,使其充满舱顶空间,防止油气与空气混合形成可燃气体,保证装卸油作业、洗舱作业的安全。船舶排放上岸的液货蒸汽必须严格控制含氧量,一般控制含氧量在6%以下,含氧量超过8%爆炸极限的油气禁止上岸。要求油船配备惰性气体发生装置,用惰性气体充舱,保证船舶安全。

3) 呼吸阀:为防止油舱受损,使舱内压力处于正压,抑制油品挥发成分的气化,在油舱上安装自动呼吸阀,当舱内压力过高时能释放舱内气体,当舱内压力下降时能吸入大气。

4) 透气系统:为保证舱内气体在高压时排出,并防止排出的油气聚集在甲板或生活区附近,在油船上

安装有透气系统,透气口高于甲板 2.5 m,保证油气向大气中扩散。

除以上设施外,进行油气回收的油船还应满足以下几方面要求:

- 1) 达到密闭装载的条件。
- 2) 油船上的蒸气收集接头应尽可能的靠近液货装卸总管。
- 3) 油船在每个装载舱中应装有密闭液位检测系统,该系统能全程检测舱内液位的变化。
- 4) 油船各液货舱应设置高液位报警系统,并设防溢油系统。
- 5) 油船各液货舱应设置压力检测系统。

为了与国际公约接轨,我国船级社对实行油气回收的船舶的许用液货舱的蒸汽压力、典型的液货舱透气系统及压力、真空释放装置的一般设置都做了具体的说明。此外,非常重要的一点是,我国船级社通函第 27 号文件的相关内容要求实行油气回收的液货船应实施并备有的强制性“VOC 管理计划”并必须配齐以下设计文件:

- 1) 总布置图。
- 2) 液舱舱容图。
- 3) 液货舱透气系统示意图。
- 4) 惰性气体示意图。
- 5) 蒸气排放控制系统示意图(如适用)。
- 6) 蒸气回收系统或其他 VOC 控制系统示意图(如适用)。
- 7) 压力真空释放装置细节,包括设置和功率。

具备以上所有条件的船方在实行油气回收作业前签署了“油气回收船岸确认签字表”后便可进行油气回收作业。

上海石化储运部码头 4 号、5 号泊位改扩建工程完工后,5 号泊位可停泊 3 万 t 以上大船,油气回收系

统正式投用后,目前共有 2 艘符合油气回收要求的油船靠岸,其中 1 艘航煤船,1 艘柴油船,航煤船的船方按要求签订了“油气回收船岸确认签字表”并进行了油气回收作业,而柴油船只由于船方拒绝充惰,因此未能进行油气回收作业。

### 3 船岸对接安全界面

船岸对接安全界面主要由船岸对接设备、输气臂或软管组成。船岸对接安全界面的主要功能是将油船装船作业产生的有机气体安全并有效地输送至油气回收装置,要求其既能保证油气的安全输送,又能给后续油气回收装置提供控制数据<sup>[4]</sup>。上海石化储运部码头 4 号、5 号泊位各安装一套船岸对接安全界面。

#### 3.1 工艺流程

如图 1 所示,船岸对接安全界面主要包括压力变送器、氧含量分析仪、压力真空阀、紧急排放口、调节阀、快速关断型开关阀、过滤器、阻火器、温度变送器、变频风机等设备组成。

装船作业开始前将输气臂与油船的油气排放口连接,装船过程产生的有机气体以微正压进入船岸安全界面的管道中。当管道中压力达到某一设定值且氧含量在安全范围内时,开关阀打开,同时风机启动,将有机气体输送至后端油气回收装置。风机为变频风机,通过变频控制风机转速,将管道中压力控制在某一设定值附近。当压力过高或过低时,紧急排放口的调节阀打开,通过开度调节进行排气或补气操作,压力/真空阀是最后一道保护,在紧急排放失效时起作用。

船岸对接安全界面在操作过程中存在 4 种异常工况:1) 氧含量超标;2) 过滤器两端差压过大;3) 过滤器两端温差超限;4) 船舶发出溢油信号。这 4 种工况任意一种发生时,均需关断快速关断阀,并停止风机,后 3 种发生时还需与库区发油系统联锁关掉相关阀门和发油泵。

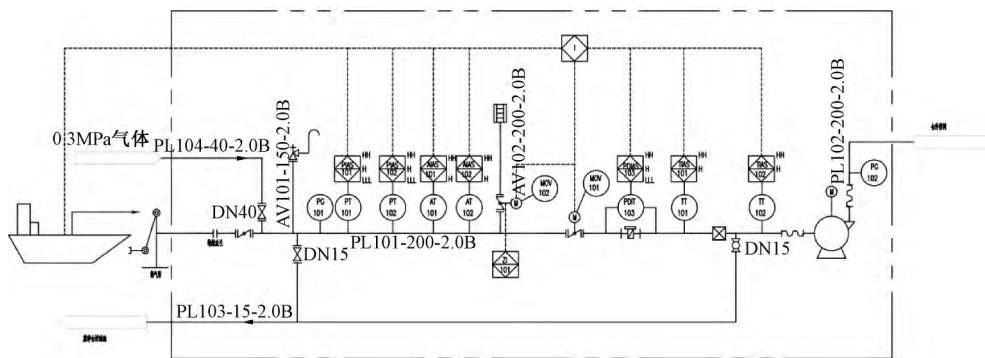


图 1 船岸对接安全界面流程

### 3.2 安全措施

船岸对接安全界面的安全设施主要有以下几项:

1) 补氮管线: 在发油作业开始前或在装船作业过程中系统中氧含量超标时, 补氮阀打开, 通过补氮管线向管道中补充氮气, 使系统中氧含量控制在安全范围之内。

2) 紧急排放口: 紧急排放管线配调节阀, 顶端配阻火透气帽, 当系统出现异常工况停车时, 紧急排放口自动打开, 有机气体从该处紧急泄放。

3) 快速关闭阀: 当系统出现火灾或其他异常工况时, 快速关闭阀快速关闭将船侧与油气回收装置侧进行快速隔离。

4) 压力/真空阀: 压力/真空阀的主要作用是当油船在装船作业过程中, 装置故障出现紧急停车工况时, 保证管道和船舱的高压和低压均不超标, 既能保障系统高压不超标, 又能防止管道和船舱抽瘪。

5) 阻爆轰阻火器: 船岸对接安全界面中设置阻爆轰阻火器, 其作用是防止油船侧或油气回收装置侧产生的火花进入气相管道另一侧而蹿火。

6) 过滤器: 船岸对接安全界面中配置过滤器的主要作用是防止固体杂质或颗粒随油气进入后端管道产生摩擦生成火花。

### 4 油气回收装置

目前国内应用的主流油气回收技术主要有吸附法、吸收法、冷凝法、膜分离法四类。由于每种技术都有其优势和局限性, 即每种工艺各有其不同的适用工况, 因此目前国内应用的油气回收工艺大部分均为以上四类技术的组合工艺, 如吸附 + 吸收工艺、冷凝 + 吸附工艺、冷凝 + 膜分离工艺等<sup>[5]</sup>。

吸附 + 吸收工艺是目前国内应用数量最多的油气回收方法, 其主要工艺流程(见图2)为有机气体首先进入吸附罐进行吸附, 吸附饱和的吸附罐通过真空解吸的方式将吸附在吸附剂中的有机气体解吸出来并送入后端吸收塔中, 在吸收塔的填料层中, 高浓度有机气体与吸收液进行逆流接触被吸收下来, 吸收了有机气体的吸收液返回到罐区或进入污油系统, 吸收液的输送和返回利用管道泵<sup>[6]</sup>。该工艺具有流程简单、能耗低、占地小的优势, 目前已在国内成品油库和炼化企业广泛应用。

但在港口码头场所, 由于装船泊位往往距离罐区储罐较远(有时甚至距离几公里或十几公里), 因此建设吸收油的进油和返回管线代价过高; 其次, 由于

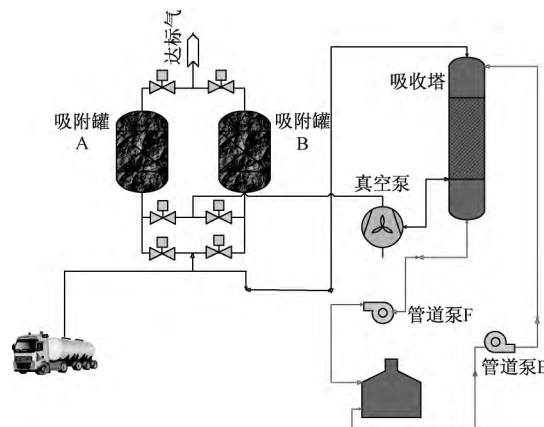


图2 吸附 + 吸收工艺流程示意

我国成品油和化工品码头装船种类较多, 单一的吸附剂很难对所有装船物种均有适应性, 或者即使吸附剂对所有物种均能吸附, 其真空解吸性能亦受到限制; 再次, 复杂的多种有机气体若采用单一成品油作为吸收剂, 也很可能会造成油品污染。随着近年我国冷凝等工艺技术的发展成熟, 冷凝 + 吸附工艺也成为一种重要工艺选择。上海石化码头车间4号、5号泊位油气回收系统即采用了冷凝 + 吸附法的工艺方案, 其主要原因一是吸收油储罐离码头过远, 二是装船物种复杂, 包括苯、二甲苯、石脑油、航煤等, 而冷凝机组恰可以解决这两个问题, 既解决了吸收油无法取用的问题, 同时通过对冷凝机组制冷程序进行不同的设定, 又可解决多种物料装船的有机气体冷凝回收问题。

#### 4.1 设计条件

##### 4.1.1 装置处理量

油气回收装置处理量定为  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ , 装船泵实际流量仅为  $400 \sim 450 \text{ m}^3/\text{h}$ , 但考虑到装船泵将来会进行扩容, 因此将装置处理量定为  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

##### 4.1.2 回收的介质种类

油气回收装置主要用于回收处理苯、PX、石脑油、汽油、航煤、柴油在装船过程中会发的油气。

##### 4.1.3 油气排放指标

工程环评报告中对该项目油气回收装置的废气排放标准要求按照 GB 20950—2007《储油库大气污染物排放标准》和 GB 16297—1996《大气污染物综合排放标准》的, 尾气中非甲烷总烃  $\leq 25 \text{ g}/\text{m}^3$ ; 苯  $\leq 12 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; 甲苯  $\leq 40 \text{ mg}/\text{m}^3$ ; 二甲苯  $\leq 70 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

#### 4.2 工艺流程

油气回收装置的工艺流程如图3所示, 装船过程中会发的有机气体(苯、PX、汽油、航煤等挥发

气) 经船岸安全界面输送后进入油气回收装置。有机气体首先进入凝液罐分离出凝液, 此后气体进入冷凝机组, 经多级冷凝后, 凝液进入污油管线, 而少部分未凝气体进入后端的吸附部分, 在吸附部分中, 两个活性炭吸附罐交替吸附, 一用一备, 当某个活性炭罐吸附饱和后, 通过开启真空泵将该碳罐中有机气体抽出并送回凝液罐入口重复冷凝和吸附的流程。

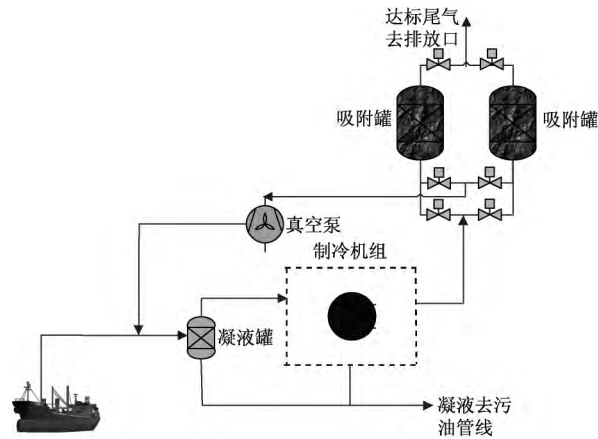


图 3 冷凝 + 吸附工艺流程示意

装置分别设置处理汽油、航煤、苯、PX 四种模式, 装置开启前在上位机操作画面上选择需要的模式后装置即进入全自动操作模式。冷凝机组采用多级压缩制冷, 且采用双蒸发器操作, 当某一路蒸发器通道需要除霜时系统自动切换至另一路蒸发器进行冷凝流程。制冷机组在四种工作模式下的制冷级数和各级制冷温度如表 1 所示。

表 1 冷凝机组制冷温度

物料	一级制冷温度/℃	二级制冷温度/℃	三级制冷温度/℃
汽油	5	-35 ~ -40	-75
苯	6	-35 ~ -40	-75
PX	13.5	-35 ~ -40	-75
航煤	5	-35 ~ -40	—

4.3 应用效果

由于我国符合油气回收要求的油船极少, 仅有少量 2 万 t 以上船只具备条件, 因此上海石化码头 4 号、

5 号泊位油气回收系统正式投用后使用率并不高, 目前仅有 1 艘航煤船和 1 艘柴油船具备油气回收条件。在实际装船作业过程中, 该艘航煤船在装船前进行了充惰处理, 码头也与船方签订了“油气回收船岸确认签字表”, 并成功进行了油气回收, 实际检测结果显示, 装置入口浓度在 1 000 ppm 以上, 出口浓度仅为 2 ppm, 达到环保要求; 而另一艘柴油船由于船方拒绝充惰, 因此未能实行油气回收。

5 结 论

我国由于缺乏码头油气回收的相关标准和法规, 因此若要全面推行油气回收, 首先应建立健全码头油气回收领域的相关标准和法规。完整的码头油气回收系统, 除了包括岸上的船岸安全界面和油气回收装置外, 进行装船作业的油船也必须有统一的油气回收端口和相应的安全设施。上海石化码头 4 号、5 号泊位油气回收系统按照国际标准要求建设, 工艺采用冷凝 + 吸附工艺, 目前已正式投用并已接收油船装船油气, 是我国为数不多的在装船作业中应用的码头油气回收系统。

参考文献

[1] 潘海清. 油气回收技术在港口油品码头中的应用[C]//中国土木工程学会港口工程分会技术交流文集, 2009.

[2] 孟庆丰. 码头油气回收渴望政策甘霖[N]. 中国交通报, 2014-2-21(5).

[3] 王妮. 码头油气回收工艺设计要点[J]. 水运工程, 2014(2): 104-107.

[4] 刘林杰, 尹树孟, 牟小冬. 一种新型码头油气收集管汇系统[J]. 安全、健康和环境, 2013, 13(7): 44-46.

[5] 刘静, 李自立, 孙云峰, 等. 国内外油气回收技术的研究进展[J]. 油气储运, 2010, 29(10): 726-729.

[6] 卞菊荣, 宫中昊. 吸附法油气回收系统在成品油库中的应用[J]. 安全、健康和环境, 2013, 13(12): 37-40.

第一作者: 宫中昊(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为油气回收工艺研发与应用. gongdui@163.com

通信作者: 宫中昊(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为油气回收工艺研发与应用. gongdui@163.com