

# 装车油气回收技术的应用分析

霍雪艳<sup>1</sup> 沈万军<sup>1</sup> 宋 蓓<sup>2</sup>

(1. 新疆石油勘察设计研究院(有限公司); 2. 新疆新捷股份有限公司)

**摘 要** 结合我国“十二五”节能规划及石油消费情况,针对装车环节产生的油气浓度高、流量大的特点,从安全、环保、节能、经济效益几个方面阐述了油气回收的必要性和重要性,在此基础上,结合国内外的油气排放标准,重点对四种常用的油气回收技术—冷凝法、吸附法、膜分离法、吸收法从工艺特点、尾气排放浓度、投资、能耗、占地面积等几个方面进行了分析,并介绍了这四种油气回收技术的发展、现状及研究方向,从而进一步提出了油气回收技术的适用性建议。

**关键词** 油库; 装车; 油气回收; 环保; 节能

中图分类号: X74

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2012)01-0030-04

## 0 引 言

装车油气回收指在装卸轻质油品的过程中,使用密闭鹤管将挥发的油气收集起来,通过回收工艺进行处理,使油气从气态转变为液态,重新回收利用,从而达到减少油气污染、节能增效的目的。

通过油气回收可以有效防止油气挥发造成的大气污染,消除安全隐患,提高能源利用率。目前在发达国家不但炼厂、油库和码头等规模较大、油气较为集中、油气回收效益显著的大型汽油集输场所的油气回收早已全面实施,而且在规模比较小、油气比较分散、油气回收效益不很显著的加油站等场所也普遍实施了油气回收。随着经济的高速发展,我国面临日益严重的石油资源短缺 and 环境保护压力,企业的安全生产形势也越来越严峻,在这种大背景下,全面实施油气回收已成为必然的选择。而我国油气回收工作起步晚,各种技术的使用处在探索尝试阶段,有的企业设置了油气回收装置,但却不能真正投入使用,所以只有充分了解各种油气回收技术的工艺特点,结合我国油气排放标准,找到适用性强、针对性强的回收技术,才能使油气回收真正得以实现。

## 1 油气回收

### 1.1 油气损耗的原因

轻质油品从炼油厂装置产出到最终用户消费,要经历储存、装卸、销售等过程,在这些过程中,由于温度、油气分压、装卸时容器的气液相体积变化等因素,

有一部分油气挥发进入大气,造成油气损耗。

油气损耗基本上与轻质油品的饱和蒸汽压及气液相体积变化有关,相同条件下,油品越轻,气液相体积变化越大,油品蒸发损耗越大。

汽油等轻质油品在充装进入车辆(如火车、汽车等)过程中不可避免地要产生挥发损耗,这主要是由于充装容器中存在气液相空间,油品的挥发性使得充装容器内的液位上方存在着烃类蒸汽与空气的混合气体—油气,充装时随着液位上升,气相被液相置换,油气从容器中被排出。装车排出的油气具有组分复杂、含量高的特点,在整个充装过程中,排出的油气浓度不是恒值,而是一个变化的量,体积分数平均值约为 30%<sup>[1]</sup>。

### 1.2 油气回收的必要性

◆ 油气回收是安全生产的需要 轻质油品的挥发蒸汽往往具有易燃、易爆的性质,根据实地检测,在向火车油罐车灌装汽油时,即使鹤管在浸没状态下发油,当加注到一半时,罐车口浓度已达体积分数的 40%,而发油过程中蒸汽浓度最大可达到 95%。尤其在夏季高温时节,装车场所积聚高浓度的油气,形成严重的安全隐患。

◆ 油气回收是环保的需要 城市附近的油库在频繁的装卸作业中都会有较多的油气排放到周边大气中,而城市中的氮氧化物与油气中碳氢化合物在大气环境中受强烈的紫外线照射后发生光化学反应,生成臭氧、醛、酮、酸、过氧乙酰硝酸酯(PAN)等二次污染物,形成光化学烟雾,其不仅对农作物、森林有严

重破坏作用,更为有害的是其中的有毒物质强烈刺激人的眼睛、喉咙,导致头痛以及使呼吸道疾病患者病情恶化。光化学烟雾还能造成橡胶制品的老化、脆裂,使染料褪色,并损害油漆涂料、纺织纤维和塑料制品等。

油气本身也具有毒性,有麻醉和刺激作用,对人的呼吸系统、皮肤、眼睛及粘膜有一定刺激作用,影响人的中枢神经,对装车场所的人员身体健康也造成一定的危害。

◆ 油气回收是节约能源的需要 以汽油为例,按照美国能源基金会提供的数字,中国每天大约消耗 540 万桶石油,其中汽油占 26%。据此可推知中国每年汽油消耗量大约为 7 000 万 t。而国内外的研究显示,向火车罐车每充装 1t 汽油的油气跑损量约为 1~1.8 kg。仅以油库发油这样一次充装过程来计算,每年挥发跑损汽油约为 7~12.6 万 t。而从汽油产品出炼油厂到用户消费终端,实际充装过程要经历油罐储存、油库发油、罐车卸油、加油站加油等多个环节,因而油品的损耗更大,造成严重的资源浪费。

装车油气的挥发还会影响成品油的质量,以汽油为例,随着轻馏分的蒸发逸散,汽油的初馏点升高,蒸气压下降,辛烷值降低,汽油在发动机内燃烧时抗爆性变差<sup>[2]</sup>。

### 1.3 油气回收的经济效益

以一个年售油 30 万 t 的油库为例,按照每充装 1 t 汽油可回收约 1.3 kg 汽油来计算。年回收汽油约为 390 t/a,按照建设处理量为 300 m<sup>3</sup>/h 的油气处理装置计算,其建设费用约为 300 万元(按照 1 m<sup>3</sup>/h 建设费用约为 1 万元来考虑,因选择的油气回收技术、油气回收规模不同建设费用会有所差别,以上为平均费用)。

油气回收装置的操作费用<sup>[3]</sup>(水、电、风等),按照每回收 1kg 汽油,运行费用为 0.4 元来计算,全年操作费用约为 15.6 万元。

如果按照汽油销售价 8 500 元/t 来计算,一年即可收回建设成本,其后每年可实现效益约为 300 万元。油库的规模越大,效益越明显。

## 2 油气排放标准

### 2.1 国外油气排放标准

目前,世界各国现有的烃类气体排放标准主要如下。

美国标准规定(美国联邦法规 59FR64318Dec.

14.1994);每装 1 L 汽油,从油气处理单元排出的净化气体中烃含量不大于 10 mg。

欧盟标准规定:排放的净化气体中烃浓度不大于 35g/m<sup>3</sup>(体积分数 1.188%)。

德国 TALUFT 标准规定:排放的净化气体中烃浓度不大于 150 mg/m<sup>3</sup>。

### 2.2 国内油气排放标准

北京市标准 DB 11/206-2003《储油库油气排放控制和限值》规定:储油库灌装(汽)油作业时,油气回收处理装置的油气排放浓度在标准状态下不应大于 25 g/m<sup>3</sup>,油气回收处理装置净化效率不应低于 98%。

GB 20950-2007《储油库大气污染物排放标准》规定:储油库灌装(汽)油作业时,油气回收装置的油气排放浓度≤25 g/m<sup>3</sup>,油气处理效率≥95%。

另外,DB 11/206-2003《储油库油气排放控制和限值》和 GB 20950-2007《储油库大气污染物排放标准》都是主要针对储油库汽油灌装油气排放限值作了规定,但在有些炼厂或油库中,会存在其它轻质油品灌装作业,如没有相关排放标准,组分接近汽油的轻质油产品可以参考汽油的排放标准。

国内部分炼油厂生产的苯、甲醇等化工产品,其储运环节也会存在发油作业,在上述两个标准中均没有规定其排放限值,这种情况可参考 DB 11/501-2007《北京市大气污染物排放标准》。

### 2.3 油气排放标准的差异

在以上各国的排放标准中,应注意到美国标准是指每充装单位体积的汽油所排放的非甲烷烃质量限值,而以欧盟为代表的其它各国标准是指经过油气回收装置处理后单位体积排放油气中的非甲烷烃质量限值,两种定义的根本差异主要在于是否考虑了油气增长因子和油气回收装置入口油气浓度因素。所以不能将两种方法定义的标准进行简单比较,实际上,将差异考虑在内,北京市标准(DB 11/206-2003《储油库油气排放控制和限值》)定义的 25 g/m<sup>3</sup>相当于美国标准(美国联邦法规 59FR64318Dec. 14. 1994)定义的 18.6 g/m<sup>3</sup>。

## 3 国内外油气回收技术现状及发展分析

### 3.1 主要的油气回收技术及特点

当前,油气回收技术主要有吸附法、吸收法、膜分离法、冷凝法 4 种,或者是基于这 4 种方法的组合。

#### 3.1.1 吸附法

利用活性炭、硅胶或活性纤维等吸附剂对油气/

空气混合气的吸附力的差异,实现油气和空气的分离<sup>[4]</sup>。主要有吸附和脱附两个工序。油气通过活性炭等吸附剂,油气组分吸附在吸附剂表面,然后再经过减压脱附或蒸汽脱附,富集的油气用真空泵抽吸到油罐或采用其它方法进行液化;而活性炭等吸附剂对空气的吸附力非常小,未被吸附的尾气经排气管排放。

目前较常用的吸附剂主要有活性炭,针对不同油品,选择适合孔径的活性炭。

吸附法<sup>[5]</sup>技术成熟、工艺流程简单,投资较低,尾气排放浓度低,尤其对于相对分子质量在40~130的烃类气体回收率高,其排放尾气中油气含量可以达到10 mg/L以下。活性炭的使用寿命取决于填装技术、解吸技术和活性炭本身的质地优劣。由于吸附法油气回收装置的转动设备较多,以及炭床需要频繁解吸,因此其维修量略大于其它工艺方法。此外,由于油气中有时会有微量的酸、酯等气体存在,进入活性炭床后会产生热点,此时装置的温度感应器会通知装置停止工作,利用氮气等惰性气体对炭床进行吹扫。活性炭油气回收装置当环境湿度过大时,吸附能力会有所降低。另外,报废的活性炭需要妥善处理,否则会对环境造成污染。

### 3.1.2 吸收法

吸收法采用吸收剂对油气进行吸收,主要利用了空气和烃类蒸汽在吸收剂中的溶解度的不同,实现油气与空气的分离。主要设备是吸收塔和解吸塔。

油气进入吸收塔中,与吸收剂(贫液)逆流接触,油气被吸收剂吸收,未被吸收的气体排放,吸收了油气的吸收剂(富液)到解吸塔中解吸,解吸出的油气用相同成分的成品油吸收后送回储罐,解吸出油气的吸收剂(贫液)返回吸收塔进行循环吸收。

吸收法与吸附法工艺相似,只是用吸收液代替了活性炭,其对于处理高浓度大流量的油气有明显优势。吸收法工艺比较简单,设备投资较低,操作和维修费用基本与活性炭吸附法相当,由于吸收介质采用煤油或吸收液,因此没有二次污染问题。但该工艺采用煤油做吸收液一般仅能达到80 mg/L的尾气排放浓度,如果采用一些公司研发的专用吸收液,尾气排放浓度可降低,但存在专用吸收液的购买费用问题,特别是采用国外专利的吸收液,费用可能较高。吸收法回收效果的好坏主要取决于吸收剂,如要控制油气浓度在很低的水平,吸收塔的高度可能很高,从而增加了投资和运行费用<sup>[6]</sup>。

### 3.1.3 膜分离法

膜分离技术是利用高分子膜对油气的优先透过

性的特点,让油气和空气的混合气在一定的压差推动下经膜的“过滤作用”使混合气中的油气透过膜得以脱出,而空气则被选择性的截留。

膜分离法的关键组件为膜片,采用特殊方法和材料制成,对不同组分具有不同的渗透速率。

膜分离法适用范围广,能耗较低、操作简便、占地少,无二次污染。

当在处理油气量较大时,很难单靠膜分离工艺获得较低的尾气排放浓度,需要大的内部油气循环量,造成动设备负荷大,运行费用高。在典型的油库膜法油气回收工艺中,油气首先经过吸收塔将大部分油气吸收,再进入膜组件中进一步吸收,这相当于吸收法-膜法的组合工艺,建设投资较大。

其次是膜分离法工艺装置在用于油库灌装时,难以直接应对油气负荷的波动。在现有的几种油气回收方法中,吸附法是装置的吸附塔在常压下直接接收处理油气,对油气的波动适应能力最强;吸收法和冷凝法是装置的吸收塔和冷凝器在常压下直接接收和处理油气,只要装置的吸收剂处于循环状态和冷凝器保持足够低的温度,对油气的波动也有较好的适应能力;而对于膜分离法如果装车过程的油气直接回收进入压缩机,在油库的作业时段,不论有无装油操作或装油量大小,压缩机都必须处于运行状态,且压缩机以及其它主要设备都必须满足最大负荷处理能力的要求。这样不但对装置本身要求高,相应的运行能耗也较高。因此,通常在膜分离法工艺装置前需要设置专门的油气缓冲气柜,这将增加投资,而气柜本身的安全问题以及气柜的平面布局也都是需要注意的问题。

由于膜组件在膜分离法回收装置投资中占有相当比重,且需要从国外进口,因此,膜的使用寿命和价格不但影响装置的建设投资,也影响着装置的维护费用。

### 3.1.4 冷凝法

冷凝法采用低温制冷的方法使油气中有机组分直接冷凝下来,从而实现油气回收。主要设备为压缩机和冷凝器。

在常规冷冻法(如美国Edwards公司的DE装置)工艺中,冷凝过程分为三段,首先为预冷段,将油气冷凝至0~4℃,然后为一级冷却,冷源采用一级压缩致冷,油气被冷却到-35~-40℃,之后油气二级冷却,冷源采用两级压缩致冷,气体被冷凝到-70~-95℃以下,如果需要满足更严格的排放要求,在机械致冷后再增加液氮深冷。

油气经过预冷、一级冷却和二级冷却可以使大部

分挥发性有机物冷凝为液体,排放的油气浓度可达到 35 mg/L,根据对实例油气的模拟计算结果,油气冷凝温度为 $-95^{\circ}\text{C}$ 时,冷冻法油气回收工艺排放尾气的烃浓度可达到  $35\text{ g/m}^3$ ,而要达到美国标准(美国联邦法规 59FR64318Dec. 14, 1994)的  $10\text{ g/m}^3$  汽油的排放要求,冷凝温度需要低于 $-115^{\circ}\text{C}$ ,通常选择机械致冷后再加液氮致冷的组合工艺,能耗较高。

冷凝法通常采用撬装设备,占地小,自控程度高,由于油气通道是单独且密闭的,不与外界接触,里面只有冷却盘管,而且所用压缩机、电控系统又是防爆的成熟技术,不与油气接触,所以冷凝油气回收装置是本安型设备,安全性好。

### 3.2 几种技术的发展现状

美国是最先进行油气回收技术研究的国家,20世纪60年代随着美国颁布实施了《清洁空气法规》(Clean Air Act of 1968),油气回收在美国开始实施,70年代是多种油气回收技术包括吸附法、吸收法、冷凝法等探索阶段。随着1977年美国Edwards公司提出的冷冻法专利(Usapat4027495)和1981年美国John zenk公司提出的吸附法专利(Usapat4261716)并相继实现商业应用,吸附法和冷冻法两种技术在油气回收市场中应用最为广泛。1992年美国国家环保局将尾气排放标准从以前的每充装1L汽油允许排放35mg非甲烷烃类气体提高到每充装1L汽油允许排放10mg非甲烷烃类气体,为达到排放标准,冷冻法需增设液氮致冷来进一步降低冷凝温度,因而投资和能耗有所增加,较吸附法相比竞争力有所下降。其后的十几年,随着对压缩机和冷媒技术的不断研究,冷冻法的能耗有所降低。

欧洲开展油气回收的时间晚于美国,其油气回收标准和技术更多是借鉴美国的经验,如德国的油气排放标准为烃浓度不大于 $150\text{ mg/m}^3$ ,与美国标准相当。

我国对油气回收技术的研究起步较晚,落后国外20多年,我国在该技术领域的研究是在不断借鉴并吸收发达国家先进技术的基础上发展起来的。

世界各国对各种油气回收技术的研究从来没有停止过,吸附法油气回收技术是国外较成熟的技术之一,使用活性炭作为吸附剂,在西欧、美国等发达国家被广泛应用,其中一部分原因是缘于这些国家制定的较严格的尾气排放标准。目前吸附法的研究主要集中在装置的工艺优化方面。

吸收法大体可分为两大类,一类是在常压低温或加压低温条件下,用煤油、柴油、汽油或类似吸收剂吸

收处理油气的方法;另一类是用专门的吸收剂在常压常温下循环吸收解吸处理油气的方法。国外在处理装卸原油(尤其是轮船装油)过程中产生的油气时,有一些采用常压低温或加压低温,用煤油或柴油作吸收剂的油气回收工艺。

近年来,吸收法的研究主要集中在吸收剂的研发方面,找到适用性强、吸收性能好、回收效率高、尾气达标排放的吸收剂是各国众多研发公司的目标,受80年代从日本CHITOSE & CO. MARUZEN Engineering Incorporation引进的吸收法的影响,近几年国内研究的吸收法大多是采用专门吸收剂的吸收法工艺,洛阳石化工程公司在20世纪80年代就开始对吸收法油气回收技术进行研究,先后研究了以轻柴油、低温汽油、有机溶剂作吸收剂的油气回收装置<sup>[7]</sup>。一些国内公司采用国外研发的吸收剂专利产品。

膜分离法油气回收技术比吸附法、吸收法、冷冻法出现的晚。20世纪80年代末,德国GKSS研究所(世界著名的膜技术研究机构)与BORSIG公司(世界上最大的专业从事膜分离法油气回收的国际知名企业)合作,成功地将膜技术应用于油气回收领域。膜分离法油气回收技术在加油站应用较多。国内首个应用实例是在中石油的上海某加油站。

## 4 建议

在选择合适的油气回收技术时,还应考虑以下几个问题:

◆ 应充分认识油气收集系统的重要性<sup>[8]</sup>。如装车鹤管的密封性能对实现油气回收有十分关键的作用,在选择密闭鹤管时应注意其密封性能,在选择密闭鹤管时应注意其密封性能,尤其是装车过程中密封帽的动态密闭性能、密封帽材质等,从而保证真正实现密闭装车。同时,油气收集管路应尽可能短,减少管路的压力降,使油气回收更易于实现。

◆ 根据使用场所,选择适用的油气回收技术。如加油站,其特点是规模较小、油气量小、油气比较分散、油气负荷波动大,可选择膜法、冷凝法等油气回收技术;如油库发油,其特点是油气较为集中、油气量较大,可选择吸附法、吸收法等适合规模化的油气回收技术。同时还需考虑占地面积等因素。

◆ 选择油气回收技术时,还应重点考虑回收介质的种类,选择具有针对性的技术,同时结合本地的油气排放标准、项目的平面布局、当地的气候特点等多种因素综合考虑。

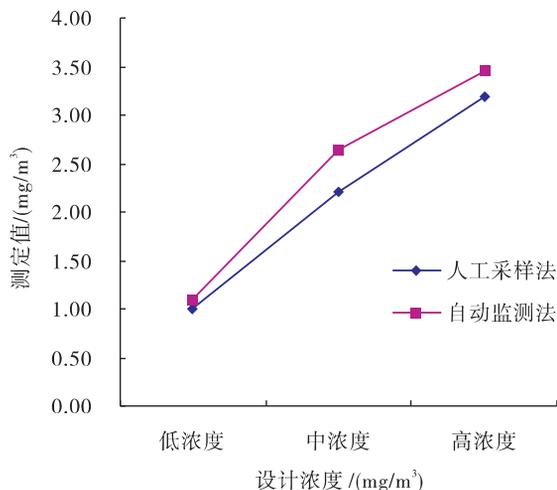


图1 两方法监测结果均值对比

由表2、表3和图1可知,复合气体检测仪传感器法与常规人工采样监测两种方法监测结果均值和标准差基本符合;经过统计检验,低、中、高3个浓度下两种方法监测结果的方差和均值都无显著性差异。两种方法监测结果的线性相关系数为0.993, P/O均值为1.124,表明两种方法的测定结果符合统计指标一致性要求。因此选取复合气体检测仪方法监测试气作业时大气环境二氧化硫浓度能满足监测工作要求。

### 2.3 技术应用

在气田试气投产中,利用试气环境监测技术,对气田二十多口气井试气作业实施了环境监测。根据试气监测结果,及时采取疏散附近住户、对放喷池烟团喷水冷却稀释、实施暂时关井等措施,防止了污染事故发生。

### 3 结论

利用电化学传感器原理建立试气环境监测技术方法,进行试气二氧化硫环境监测,获得有效监测数据能够反映试气二氧化硫扩散特征,满足试气二氧化硫监测工作的需要。

#### 参考文献

[1] 戴金星. 中国含硫化氢的天然气分布特征、分类及其成因探讨[J]. 沉积学报, 1985, 10: 113.  
 [2] 朱克祥, 永林. 气井试气地面流程[J]. 江汉石油职工大学学报, 2008, 4: 57.  
 [3] 国家环境保护总局. 空气和废气监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.

(收稿日期 2011-04-12)

(编辑 王薇)

(上接第33页)

### 5 结束语

随着国家经济的持续发展,预计在今后很长一个时期国内石油的消费量还会持续增长,石油储运、加工和消费过程对环境产生的影响日益严峻,国家已把发展循环经济、节约型经济确定为战略发展目标,而油气回收的意义不仅体现在保障装车场所及人员的安全、实现经济效益上,从其对环境治理、节约能源方面起到的作用来说,油品实现密闭装车、油气进行回收是一个功在当代、利在千秋的举措。

#### 参考文献

[1] 黄维秋, 蔡智, 赵书华, 等. 油气吸收回收系统的研究及工业应用—(I)中型试验及结果分析[J]. 石油炼制与化工, 2006, 37(8): 49-53.  
 [2] 谭胜. 油气回收技术的应用和比较[J]. 当代化工, 2008,

37(1): 35-37.

[3] 葛林江. 油品装卸中油气回收的经济分析[J]. 河南化工. 2002, 2: 45-46.  
 [4] 李汉勇. 油气回收技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.  
 [5] 赵广明, 赵广耀. 储运系统油气回收问题的探讨[J]. 炼油设计, 2001, 31(8): 23-25.  
 [6] 何广湘, 杨春育, 佟泽民, 等. 油品储运系统的蒸发损耗及油气回收方案[J]. 现代化工, 2001, 12(1): 12-14.  
 [7] 刘静, 李自力, 孙云峰, 等. 国内外油气回收技术的研究进展[J]. 油气储运, 2010, 10(3): 13-14.  
 [8] 李巨峰, 陈义龙, 李斌莲, 等. 油气回收技术发展现状及其在我国的应用前景[J]. 油气田环境保护, 2006, 16(1): 1-3.

(收稿日期 2011-01-11)

(编辑 李娟)