

# 油气回收技术的研究现状及应用实例

李红焱

(实为工程(上海)有限公司,上海 200135)

**摘要:** 文章介绍了油气回收技术的研究现状,并展开讨论了结合吸附法和吸收法在实际工程中的应用实例,并结合项目的特点,分析了油气回收装置的环保性和经济性,为油气回收技术的推广应用提供了一个真实的案例,以供后续研究和应用借鉴。

**关键词:** 油气回收 油气排放 环境保护

中图分类号:TE972

文献标志码:A

文章编号:2095-2945(2018)18-0063-03

**Abstract:** This paper introduces the present research situation of oil and gas recovery technology, discusses the application examples of combined adsorption method and absorption method in practical engineering, and analyzes the environmental protection and economy of oil and gas recovery unit according to the characteristics of the project. It provides a real case for further study and application of oil and gas recovery technology.

**Keywords:** oil and gas recovery; oil and gas emission; environmental protection

## 1 概述

在现代工业生产链条中,石油及其衍生品一直都占有极其重要的地位。在石油及其衍生品的开采、炼制、储运及销售的过程中,轻质油品(如汽油)挥发性强,因此存在着较为严重的油气蒸发损耗问题,由此造成的油品损耗,以及环境污染都是比较严重的。据1995年第四届国际石油会议报道,在英国油品从井场经炼制加工到成品销售的全过程中油品损耗的数量约占原油总产量的3%。有研究指出,如按石油年消耗量3亿吨计算,汽油从炼油厂到用户的储、运、销等过程中至少会排放饱和油气量约为5亿立方米,其中包含的轻质油品量约为50万吨。因此,在各个生产环节中控制油品的蒸发以及尽可能地利用回收技术收集和回收气化的油品无论在经济上,还是在环境保护方面都有着十分重要的意义。

目前处理石油制品的挥发性损失主要有以下三种方法:

(1)在油品的储存环节,主要是油品储罐的设计上采取有效措施,抑制油品蒸发,比较常用的方法是采用内浮顶储罐。

(2)设置火炬,将油品蒸发排放气就地焚烧,或采用焚烧炉和余热锅炉系统综合利用,尽可能回收部分能源。

(3)利用油气回收技术,尽可能回收油品。

这三种方法目前均已广泛地应用于石油化工相关行业的生产、储运及销售的各个环节中,但各有其适用范围。第一种方法主要应用于挥发性很高的石油衍生品如汽油的存储中,大量用于相关的成品油储罐区,但不适用于大量的车船装卸作业及固定顶罐的收发作业。第二种方法多用于炼油厂和相关的石油化工行业中的尾气处理,以保护环境、降低油气对大气环境的污染为主要目的,但存在着能源浪费,在经济上损失较大。在尾气、废液和固体废料排

放量很大的情况下,也有设置专门的焚烧炉和余热锅炉系统回收利用的方案,但这种方案初投资较大,仅适用于大型的石油化工企业。第三种方法是一种经济有效的回收方法,可以推广应用于油品的收发作业如汽车、火车或轮船的装车站等场所,这也是国家的节能减排政策所大力推广的技术。

## 2 油气回收技术现状

从经济性和环境保护两方面来看,油气回收技术主要还是适用于轻质分油品(如汽油)含量较高,挥发性较强的储存和销售过程中。在油品装卸过程中的油气通过鹤管收集,通过管道输送到油气回收装置中,通过吸附、冷凝或者吸收、膜处理或多项技术结合使用等技术手段使油气转变为液态油品,从而有效地回收利用,减少浪费,并提高经济性。

目前,国内外最常用的油气回收技术主要有以下四种:吸收法、吸附法、冷凝法和膜分离法。

### 2.1 吸收法

油气中通常含有多组分的烃类化合物,各组分在特选的吸收剂中的溶解度是不同的。因此,利用这个特性可以进行油气和空气的分离。吸收剂的选择将直接影响回收的效率,通常吸收剂采用和油气同种的油品或较低质油品如柴油等贫油。吸收剂和油气在吸收塔中逆流进行充分接触,油气中的不同油品组分会被吸收剂选择性吸收,未被吸收的油品组分将和油气中的空气一起从吸收塔的顶部直接排放到大气中,为安全起见,通常在排放口之前设置阻火器。吸收完成的吸收剂包括回收的油品,则从吸收塔底部回收,一起回到吸收剂储罐,从而实现油品的回收利用。吸收法一般包括常温常压吸收法和常压低温吸收法这两种典型的方法。

### 2.2 吸附法

吸附法的工作原理是选择合适的吸附剂(如活性炭,硅胶或活性纤维等),利用其对油气中油品组分和空气的吸附力区别很大的特性来实现油气和空气的分离。典型的吸附法系统由吸附塔、真空泵、吸收塔等设备组成。在吸附塔中,利用吸附剂将油品组分吸附在吸附剂表面,然后再经过抽真空脱附,将附着在吸附剂表面的油品组分抽吸到吸收塔中液化,从而实现油品的回收利用。空气及未被吸附的少部分油品组分经排气管排放到大气中。

### 2.3 冷凝法

冷凝法的工作原理是利用油气中不同油品组分在不同温度下的饱和蒸气压的差异,通过降温使不同的油品组分达到过饱和状态,并直接冷凝为液态的油品,以此来实现油品组分和空气的分离。通常会采用多级连续冷却,以实现不同油品组分的有效分离和回收。

### 2.4 膜分离法

这种技术的要点在于选择合适的膜。利用一些特殊的高分子膜对油气中的有机烃类化合物有优先透过性的特点,通过一定的压力推动,使油气中的油品组分先通过高分子膜,并在膜后密封收集已经分离出来的油品,并用管道输送回油罐或用其他方法液化后输送回油罐,从而实现油品的回收利用。

这几种油气回收工艺都存在着各自的优缺点,单一的方法,往往很难实现较高的回收效率,因此,在实际应用中,通常都是将几种方法相结合,根据不同项目的具体情况制定出合理的工艺方案,只有这样,才能更好的发挥各种回收技术的优势。如冷凝法和吸附法,或者吸附法和吸收法的结合都是经常采用的方法。本文将展开介绍在实际工程中应用吸附法和吸收法相结合的应用实例。

## 3 吸附法回收技术的应用实例

### 3.1 项目概况

本项目是位于新加坡裕廊岛的成品油储罐区,项目共有3个3000m<sup>3</sup>及2个5000m<sup>3</sup>的汽油罐,3个8000m<sup>3</sup>的柴油罐和2个5000m<sup>3</sup>的航油储罐,另外配套8个汽车装车站台,设置有31台汽车装车鹤管,其中14台汽油装车鹤管,最多可以同时进行5台汽车,共10个装车鹤管的汽油装车作业。

新加坡对油气的排放有明确的要求,按照当地规范,最大的油气排放量必须小于10g/m<sup>3</sup>。

为满足环保的要求,并且最大程度地回收汽油蒸发的油气,提高项目的经济效益,本项目采取了下列措施:

(1)所有的汽油储罐均设置了带双层密封(Double

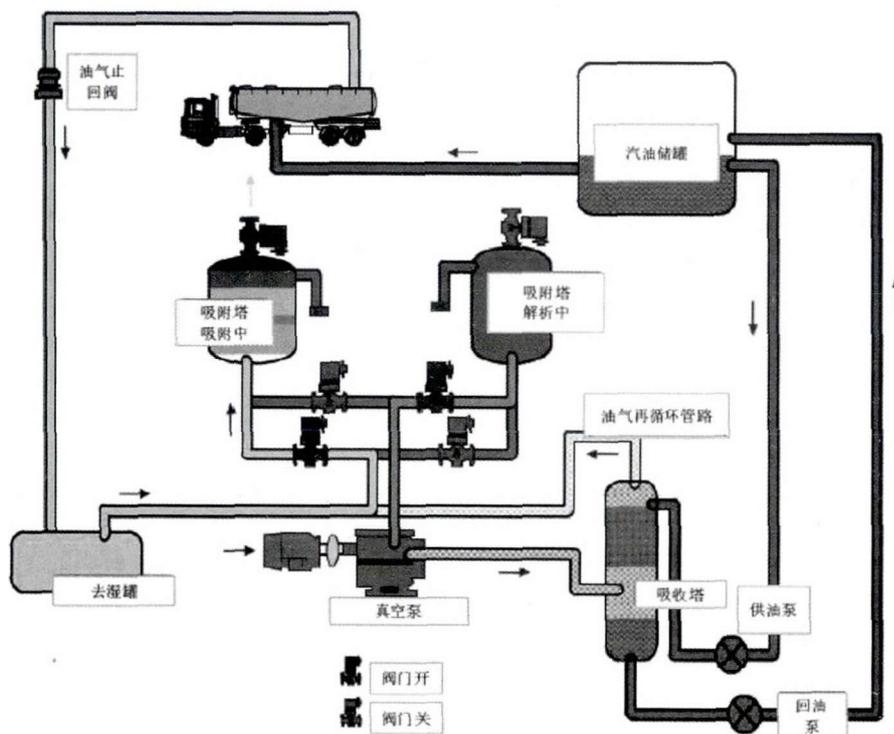


图1 油气回收装置工艺流程简图

Wiper)的内浮顶。有效地防止了油气在储罐内的挥发。

(2)设置一套油气回收装置(VRU-Vapor Recovery Unit),在每个汽油装车站台均设置一根油气回收鹤管(Vapor Recovery Arm),在汽车装油作业的同时,将汽油槽车内的油气通过油气回收鹤管收集,然后利用管路输送到油气回收装置中回收处理。

柴油和航油因为其挥发性不强,但考虑到环保和操作人员的安全,同样设置油气回收臂,将油气收集后通过管路输送到装车站台屋顶,通过阻火器后直接排放到大气中。

### (3)油气回收系统工艺流程

通过方案比选,最终本项目选定活性炭吸附法结合吸收剂吸收的工艺流程来回收汽油并回到汽油储罐。工艺流程简图见图1。

汽油从储罐中通过管道输送到汽车装车站台,通过汽油装车鹤管将汽油装入汽油槽车。在汽油装车过程中,车体空间内的油气组分在油品不断注入的过程中,用油气回收鹤管收集起来,然后通过管路输送到油气回收装置中进行吸附和吸收处理。

为保证排放达到环保要求,本项目的油气回收装置必须具备连续不间断工作的能力。因此,本项目中设置了两台吸附塔(一台吸附,同时另一台解析再生),两台真空泵(一台备用),一台吸收塔,以及两台供油泵(一台备用)和两台回油泵(一台备用)。油气空气混合气体在进入油气回收系统之后,将通过电动阀的开关来选择进入两个吸附塔中的一个。吸附剂采用特殊的活性炭,活性炭的数量则是根据油气和空气的浓度及排放量来确定的。在吸附塔中,油气中的油品组分被吸附到活性炭粒子表面,而油气中的

空气成分则不受活性炭的影响,因此,会自由地流过活性炭,并在吸附塔的顶部排入大气。活性炭的选择将直接影响到油气回收装置的工作效率,通常会根据油品的组分情况选择合适的活性炭。本项目选择的活性炭是一种超级煤基活性炭,具有很高的吸附能力,容易再生(解析),高机械性能,低压力降等特点。

活性炭对空气中的水蒸汽有一定的吸附能力。相比于油气中油品组分,活性炭对水蒸汽的吸附能力要弱得多,但空气中的水蒸汽仍对油气回收系统的整体效率有一定影响。尤其是新加坡的气候空气中的相对湿度较大,最大可达100%,并常年保持在80%以上,因此在油气进入吸附塔前设置了一个去湿罐,以尽可能除去大部分水蒸汽。

在吸附塔的出口设置有连续在线碳氢化合物排放浓度检测系统(CEMS-Continuous Emission Monitoring System)实时检测排放浓度,并设定报警值低于运行的排放浓度 $10\text{g}/\text{m}^3$ 。

当用于吸附的吸附塔中的活性炭接近设计的吸附极限,或者当出口浓度检测仪报警排放浓度已经达到设定值时,就应该立刻将油气切换到另一个已经再生完成的吸附塔。而这个达到吸附极限的吸附塔就进入再生程序,将其中已经吸附的油品组分用真空泵抽真空的方式全部抽出,并输送到吸收塔中用同种液态油品吸收。真空泵采用干式回转螺杆真空泵,能产生足够的真空度,将吸附到活性炭表面的有机烃化合物从活性炭颗粒中抽吸出来,并从活性炭床底部流出。两个吸附塔就这样交替运行,当一个在进行吸附作业时,另一个就同时进行再生流程,保证油气回收装置的连续稳定运行,满足本项目加油站连续运行的排放和回收利用要求。

从真空泵抽出的油品组分将送入吸收塔中,利用同种液态油品作为吸收剂,将回收的油品组分吸收,以完成回收利用的整个流程。在吸收塔中,真空泵送来的气相油品组分从底部进入向上流动,同时,从汽油储罐抽出汽油作为吸收剂通过供油泵送到吸收塔的顶部向下喷淋,在吸收塔的中部则设置有一层厚厚的填料层(拉西环组成),以增加气相油品组分和液态吸收剂的接触面积和接触时间,保证气相油品被吸收剂充分吸收和溶解。吸收完成后的液体油品从吸收塔底部流出,用回油泵输送回到汽油储罐。

### 3.2 主要技术参数

本油气回收装置的主要技术参数如下:

- (1)最大瞬时流量(10台鹤管同时操作): $1080\text{m}^3/\text{hr}$ 。
- (2)设计最大排放浓度: $10\text{g}/\text{m}^3$ 。
- (3)设计处理能力。  
15分钟最大处理量: $110\text{m}^3$ ;  
1小时最大处理量: $330\text{m}^3$ ;  
24小时最大处理量: $2000\text{m}^3$ ;  
年最大处理量: $301,500\text{m}^3$ 。
- (4)装置入口油气浓度:平均30%体积浓度。
- (5)装置入口压力: $35\text{mBar(g)}$ 。

### 3.3 经济性分析

本项目油气回收系统包括油气处理装置,油气回收鹤管,相关管路阀门及附件,还有控制系统等,工程总造价大约为人民币800万元。

按照汽油的特性,其主要的特性参数如下:

汽油气与空气的比重比: $D_g=3.5$

空气的密度: $D_a=1164\text{g}/\text{m}^3 @30^\circ\text{C}$

油气回收装置入口浓度: $C_{in}=30\%$ (平均)

油气回收装置排放浓度: $C_{out}<10\text{g}/\text{m}^3$

年最大处理油气量: $V=301,500\text{m}^3$ 。

根据上述数据,计算得出每年实际排放的汽油重量最大约为:

$Q_{out}=C_{out}\cdot V=301,500\cdot 10/1000=3015\text{kg}$ 。

每年进入油气回收装置的最大汽油重量约为:

$Q_{in}=C_{in}\cdot V\cdot D_g\cdot D_a=30\% \cdot 301,500\cdot 3.5\cdot 1164/1000=368,493.3\text{kg}$

因此,每年实际回收的汽油总重量最大约为:

$Q_r=Q_{in}-Q_{out}=368,493.3-3015=365,478.3\text{kg}$

以目前汽油价格7元人民币每升计算,每年可以回收的汽油价值为:

$V=365,478.3\cdot 7=2,558,348.1$ 元人民币

因此,仅以静态的初投资回收周期计算,大约 $8000000/2558348.1=3.13$ 年就可以回收全部油气回收装置的初投资。当然,在考虑运行维护费用及财务费用后,整个装置的投资回收成本会更长一些,但总的来看,在汽油储罐区和汽油装车过程中,设置油气回收系统一方面及满足了环保的要求,同时也能带来非常可观的经济效益,有着十分重要的工程实际应用价值。

### 4 结束语

世界各国对环境保护日益重视,各国家和地区均已陆续制定各种法律标准及规范来严格约束油气排放,不仅如此,很多地区还将排放的标准进一步提高。如新加坡就从2016年以前城区要求 $25\text{g}/\text{m}^3$ 的排放要求提高到了 $10\text{g}/\text{m}^3$ 。同时,轻组分(如汽油)油气的高挥发性也要求尽可能回收,以减少油气蒸发损失,提高经济效益。因此,发展和应用油气回收技术越来越受到世界各国和地区,以及各石油化工企业的高度重视。同时,多种油气回收方法的联合使用也是油气回收技术的发展方向,并势在必行。

### 参考文献:

- [1]李荣强,刘国荣,等.油气回收技术的研究现状[J].过滤与分离,2009,19(3).
- [2]宋佩珊.油气回收技术的应用及展望[J].广东化工,2015,42(9).
- [3]王云.加油站油气污染现状与回收技术分析[J].环保科技,2012,18(4):32-34+43.
- [4]王鹤,马彪.加油站油气回收技术分析与应用[J].科技资讯,2013,35:83-85.
- [5]张鹏.活性炭吸附油气回收工艺的应用[J].石油化工安全环保技术,2014,30(6).
- [6]陈永坤.几种油气回收处理技术的介绍和比较[J].广东化工,2017,08.