

航空煤油储运油气回收器的设计 及安装调试

周健生

安徽万纬工程管理有限公司, 安徽 安庆 246001

摘 要: 为了减少航空煤油在储运过程中的蒸发损耗、环境污染和安全隐患, 结合中国石化某分公司航空煤油储运装置油气回收器建设, 介绍了采用冷凝和吸附技术组合的航空煤油储运油气回收器结构设计、设备选型和安装调试, 设计了采用换热预冷和机械制冷冷凝、活性炭吸附和解析再生技术的油气回收处理器, 并应用于实际。应用结果表明, 油气经冷凝和吸附回收处理后排放气体的总烃质量浓度 $\leq 25 \text{ g/m}^3$ 、回收效率 $\geq 95\%$, 符合 GB 20950-2007《储油库大气污染物排放标准》, 具有良好的经济效益和社会效益。

关键词: 油气储运; 航空煤油; 油气回收; 结构设计

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.03.007

Design, Installation and Commissioning of Oil Vapor Recovery for Aviation Kerosene Stockpiling and Transportation

Zhou Jiansheng

Anhui Wideway Project Management Co., Ltd., Anqing, Anhui, 246001, China

Abstract: In order to reduce the evaporation loss, environmental pollution and security risks of the aviation kerosene in the stockpiling and transportation process, and combined with the construction of oil vapor recovery for aviation kerosene stockpiling and transportation in a petrochemical company under China Petroleum & Chemical Corporation, the structure design, equipment selection and commissioning for the oil vapor recovery of aviation kerosene by the integrated technologies of the condensate and adsorption were introduced. The oil vapor recovery was designed and applied to production with such technologies as pre-cooling of heat exchanged and mechanical refrigeration condensing, activated carbon adsorption and regeneration. The result of the engineering application shows that as the oil vapor is recovered by condensing and adsorption technologies, the mass concentration of the total hydrocarbon in treated vapor under emissions standards is $\leq 25 \text{ g/m}^3$, and recovery efficiency of the unit is $\geq 95\%$, which meets Emission Standard of Air Pollutant for Bulk Gasoline Terminals GB 20950-2007.

Keywords: Gas stockpiling and transportation; Aviation kerosene; Oil vapor recovery; Structure design

0 前言

航空煤油是多种碳氢化合物的混合物,其中的烃类组分具有很强的挥发性,在储运过程中不可避免地会有一部分烃类组分汽化后排入大气,造成蒸发损耗、环境污染和安全隐患,伤害人体健康,引发燃烧爆炸。因此,航空煤油储运环节的油气污染治理和安全隐患消除迫在眉睫,大力推进油气回收技术和工程应用势在必行^[1-4]。中国石化某分公司航空煤油储运装置构建一套油气回收器对航空煤油储运过程中的油气进行回收利用,避免了环境污染,消除了安全隐患。

1 油气回收技术

目前国内外油气回收主要有冷凝、吸附、吸收和膜分离等技术,每种技术都有其最佳应用范围、最优回收工况,但也有各自的缺陷。利用几种技术的集成组合,发挥每种技术的优势,是油气回收技术应用发展的一个方向^[5-13]。

该分公司采用油气冷凝和吸附技术的组合对航空煤油油气进行回收利用^[14-19]。油气冷凝回收技术利用制冷原理和油气组分的基本热力学性质将油气的热量置换出来,实现油气组分从气相到液相的直接转换。航空煤油烃类组分在不同温度下的蒸汽压存在差异,通过降温使油气中一些烃类蒸汽压达到过饱和状态,过饱和

油气组分产生相变,从气相变为液相,得到可直接利用的液态航空煤油。

油气吸附回收技术利用多孔固体介质(吸附剂)将航空煤油油气中的烃类组分捕获,收集在吸附剂孔隙中,将其与空气分离;当吸附剂吸附的烃类组分达到饱和时,吸附剂通过抽真空解析再生,脱附出来的气态富集油气再次冷凝,转变为液态航空煤油。

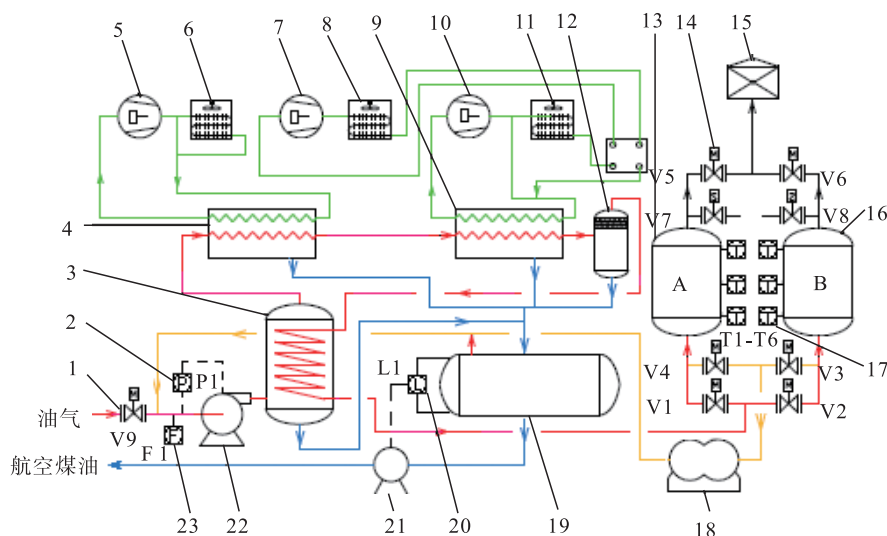
2 结构设计

航空煤油油气回收器由冷凝回收、吸附回收和航空煤油回送3个单元组成,处理量 $200\text{ m}^3/\text{h}$ 。油气回收器结构设计见图1。

2.1 冷凝回收单元

油气经冷凝回收单元中的换热预冷和机械制冷设备冷却降温后冷凝为液体,再被回收利用。换热预冷为单级冷却系统,由引风机和预冷器组成;机械制冷为2级制冷系统,一级制冷系统由1套压缩机和风冷器制冷机组组成,二级制冷系统由2套压缩机和风冷器制冷机组A和B组成,一套工作,另一套备用。

为了节能降耗,换热预冷系统利用通过预冷器管程的经2级机械制冷冷凝器冷却的低温气体与通过预冷器壳程的油气换热,将油气温度从环境温度降至 $3\sim 5^\circ\text{C}$,使油气中绝大部分水蒸汽冷凝液化。



1. 进气控制电磁阀 V9; 2. 压力控制器 P1; 3. 预冷器; 4. 一级冷凝器; 5. 一级压缩机; 6. 一级压缩机风冷器; 7. 二级压缩机 A; 8. 二级压缩机 A 风冷器; 9. 二级冷凝器; 10. 二级压缩机 B; 11. 二级压缩机 B 风冷器; 12. 分离罐; 13. 吸附罐 A; 14. 吸附-再生控制电磁阀 V1-V8; 15. 阻火排气口; 16. 吸附 B; 17. 温度控制器 T1-T6; 18. 真空泵; 19. 暂存罐; 20. 液位控制器 L1; 21. 输油泵; 22. 引风机; 23. 流量控制器 F1

图1 油气回收器结构设计

经预冷器预冷后的油气进入一级冷凝器,油气温度被冷却至 -30°C ,冷凝回收油气中近一半的烃类组分;然后油气进入二级冷凝器,二级冷凝器将油气冷却至 -73°C ,使油气中大部分高浓度烃类组分冷凝液化。

冷凝液化后的气、液混合物进入气液分离罐进行液体和气体分离,液体成为可直接利用的液态航空煤油;气体为低温低浓度油气,进入吸附回收单元进一步回收处理。冷凝回收单元油气回收率达到 $90\%\sim 95\%$ 。

2.2 吸附回收单元

油气吸附回收单元由2个吸附罐(A和B)、吸附-再生控制电磁阀、温度控制器、阻火排气口、真空泵等设备组成。吸附罐内的吸附剂采用吸附性能良好的活性炭,活性炭的再生采用干式真空泵真空脱附和空气吹扫。两个吸附罐按照设定的时间进行吸附或再生自动轮流切换,实现循环运行。“吸附-再生”过程设计为:

1)当吸附罐A处于“吸附”状态时,电磁阀V1、V5打开,V2、V4、V6、V7关闭,低温低浓度油气进入吸附罐A,油气中的烃类组分被吸附在活性炭孔隙中,净化空气通过阻火排气口达标排放,吸附回收单元油气回收率达到95%~98%。

2)当吸附罐B进入“再生”状态时,电磁阀V3打开,V2、V4、V6、V8关闭,干式真空泵对吸附罐B抽真空至10 kPa(a)以下;活性炭孔隙中的烃类组分被脱附,送入冷凝回收单元的前端,再一次被冷凝回收处理;为了保证活性炭床中的烃类组分被彻底脱附,在再生后阶段电磁阀V8打开,引入少量空气对炭床进行吹扫,并使罐内的压力逐步恢复至常压;脱附过程完成后,吸附罐B等待进入下一个“吸附”状态。

2.3 航空煤油回送单元

航空煤油油气经过冷凝和吸附单元处理后成为含有杂质的液态航空煤油,进入航空煤油回送单元收集后,送至航空煤油生产装置处理。航空煤油回送单元由输油泵、暂存罐、液位控制器L1等设备组成。当暂存罐内回收油的液位达到设定的高液位时,输油泵自动启动,将回收油加压泵送到油罐区;当回收油的液位下降到设定的低液位时,输油泵自动停止。暂存罐内的残留油气从罐顶引至冷凝回收单元前端,再次冷凝回收处理。

3 设备选型

3.1 制冷机组

制冷机组选用比泽尔公司产品,一级制冷机组为SV-JZ-300 H-A,二级制冷机组为SV-JZ-300 H-B。为提高制冷效率保证稳定运行,机组配有相序、缺相、高低压、过载等保护功能,确保机组安全可靠运行。

3.2 真空泵

活性炭吸附剂再生所用的真空设备选用干式螺杆真空泵^[20],选型阿法帕DPD-040真空泵。干式螺杆真空泵的能耗较低,占地面积较小,能在全天候状态下工作,运行温度不超过40℃。通过自动控制系统控制其转速,将功率消耗直接与烃类组分的脱附量联系在一起,以降低吸附剂过热风险。当烃类组分浓度升高后,能自行处理掉泵中的液滴。

3.3 控制系统

油气回收器的油气入口设计流量控制系统(F1)和

压力控制系统(P1)等监控系统对进入回收器的油气流量和压力进行控制。流量和压力变送器选用罗斯蒙特3051变送器系列产品。暂存罐设计液位控制系统(L1),主要管道上安装就地压力表,对收集和输送管路压力进行监测。电器控制组件选用施耐德MSX-160电器组件。

4 安装调试

4.1 充注制冷剂和润滑油

制冷机组是油气回收器的关键设备,安装后首先进行制冷剂和润滑油充注。对压缩机的高、低压侧抽真空后充注制冷剂;再连接制冷剂储液罐,利用压差的作用使制冷剂压入冷凝器内,直到压入机组的制冷剂量达到机组规定重量;然后添加机组专用润滑油;机组投运一个月后更换一次润滑油。

4.2 参数调整

油气回收器入口油气压力设计为200 Pa,调节进气阀V9开启的压力,使之成为200 Pa;调节引风机的起动压力,当油气入口压力小于200 Pa时,引风机由压力控制系统(P1)控制,自动起动,将压力提高到200 Pa。

由于活性炭吸附烃类组分为放热过程,过高的温度会使活性炭失效或引发安全事故,因此炭床的上、中、下位置设计多个测温点(T1~T6),设定炭床各位置高温报警值,温度控制系统在温度超限时报警,并自动切换至另一个吸附罐进行吸附,该罐进行解析再生。

调试输油泵和暂存罐液位控制系统(L1),当液位上升到液位计满量程的80%时,输油泵自动启动;当液位下降到20%时,输油泵自动停止。

5 特点及效果

5.1 设计特点

采用冷凝和吸附技术组合的油气回收器设计具有以下特点:

1)冷凝技术与吸附技术相组合,吸取两种技术优点,排放气体浓度低于国家标准规定的限值。

2)吸附设备安全保护系统能有效防止活性炭吸附热效应引起的活性炭失效,延长活性炭使用寿命。

3)冷凝单元出口低浓度余气中的烃类组分浓度被大大降低,减少了吸附单元活性炭用量,并使吸附罐体积缩小、降低油气回收器能耗。

5.2 应用效果

该油气回收器投运后,回收处理航空煤油在储运过程中排放的油气。油气经冷凝单元和吸附单元回收后排放气体的总烃质量浓度 $\leq 25 \text{ g/m}^3$ 、回收处理效率 $\geq 95\%$,符合GB 20950-2007《储油库大气污染物排放标

准》^[21],防止了油气挥发造成的大气污染,消除了安全隐患,提高了能源的利用率,保护了生态环境和人体健康。

6 结论

采用冷凝和吸附技术组合的航空煤油油气回收器进行油气回收是航空煤油储运节能环保的有效措施。冷凝油气回收技术应用制冷技术,通过逐级降温实现油气的分离和回收,回收的液体为纯质、液态航空煤油,可直接回用;吸附油气回收技术对低浓度油气中的烃类组分进一步吸附,二者的组合保证了航空煤油储运过程中排放的气体符合国家排放标准,具有良好的油气治理效果和环境保护社会效益。

参考文献:

- [1] 中国石油化工集团公司. 油品装载系统油气回收设施设计规范:GB 50759-2012[S]. 北京:中国计划出版社,2012:3-5.
China Petrochemical Corporation. Code for Design of Vapor Recovery Facilities of Oil Products Loading System: GB 50759-2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012: 3-5.
- [2] 洪铭声. 加油站油气回收系统改造后的常见问题及应对措施[J]. 石油库与加油站, 2017, 26(1): 19-21.
Hong Mingsheng. Common Problems and Countermeasures of Oil Vapor Recovery System on Oil Station after Its Transformation [J]. Oil Depot and Gas Station, 2017, 26(1): 19-21.
- [3] 郭飞鸿,张健中,单晓雯,等. 储罐区有机气体排放综合治理技术研究[J]. 安全、健康和环境, 2013, 13(6): 52-54.
Guo Feihong, Zhang Jianzhong, Shan Xiaowen, et al. Study on Organic Vapor Treatment Technology for Storage Tanks [J]. Safety, Health and Environment, 2013, 13(6): 52-54.
- [4] 黄维秋. 油气回收基础理论及其应用[M]. 北京:中国石化出版社,2011.
Huang Weiqiu. Basic Theory and Its Application of Oil Vapor Recovery [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2011.
- [5] 丁 锋,李丛妮. VOCs 油气回收工艺探讨与分析[J]. 天然气与石油, 2016, 34(4): 28-31.
Ding Feng, Li Congni. Discussion and Analysis of the Recovery Process of VOCs in Oil and Gas [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34(4): 28-31.
- [6] 栗 源. 冷凝-吸附法油气回收技术在轻质油装车台中的应用[J]. 安全、健康和环境, 2016, 16(8): 35-38.
Li Yuan. Condensation-Adsorption Technology in the Oil and Gas Recovery of Light Oil Loading Station [J]. Safety, Health and Environment, 2016, 16(8): 35-38.
- [7] 刘 玮. 浅谈油气回收技术的应用[J]. 河南化工, 2017, 34(1): 54-56.
- [8] 黄维秋. 油气回收技术的若干关键问题[J]. 油气储运, 2017, 36(6): 606-616.
- [9] 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, 44(8): 118-119.
Chen Yongkun. Introduction and Comparison of Several Oil Gas Recovery and Treatment Technologies [J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(8): 118-119.
- [10] 高 畅. 浅议油气回收技术及其应用[J]. 应用能源技术, 2017, (6): 44-46.
- [11] 黄维秋,王丹莉,李 峰,等. 油气回收技术的研究进展与研究重点[J]. 油气储运, 2012, 31(9): 641-646.
Huang Weiqiu, Wang Danli, Li Feng, et al. Research Progress and High Light in Light Oil Recovery Technology [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(9): 641-646.
- [12] 唐洪亮. 成品油库油气回收系统改造的安全管理[J]. 化工管理, 2017, (19): 72-73.
- [13] 唐洪亮. 成品库油气回收系统改造的安全管理[J]. 化工管理, 2017, (19): 72-73.
- [14] 王 蒙,王铁军,杨 叶,等. 冷凝法油气回收工艺优化[J]. 油气储运, 2013, 32(3): 329-333.
Wang Meng, Wang Tiejun, Yang Ye, et al. The Optimization of Light Gas Recovery Process with Condensation Method [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(3): 329-333.
- [15] 杨光辉. 冷凝法油气回收技术[J]. 辽宁化工, 2016, 45(1): 50-51.
Yang Guanghui. Oil and Gas Recovery Technology [J]. Liaoning Chemical Industry, 2016, 45(1): 50-51.
- [16] 缪志华,张 林,王 蒙,等. 冷凝法油气回收技术与应用[J]. 低温与超导, 2011, 39(6): 48-52.

(下转第54页)

- 规律研究[J]. 天然气工业, 2002, 22(4): 61-64.
- Su Chang, Guo Ping, Li Shilun, et al. Investigation of the Microvisual Flow and Relative Permeability Law of Condensate Oil and Gas [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(4): 61-64.
- [14] 郭平, 李士伦, 杜志敏, 等. 凝析气藏开发技术现状及问题[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 262-264.
- Guo Ping, Li Shilun, Du Zhimin, et al. Status and Issues of Technologies for Development of Condensate Gas Pools [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(3): 262-264.
- [15] 张茂林, 梅海燕, 孙良田, 等. 毛细管压力对凝析气体系相平衡的影响[J]. 断块油气田, 2001, 24(4): 28-32.
- Zhang Maolin, Mei Haiyan, Sun Liangtian, et al. The Phase Equilibrium in a Gas Condensate System with the Capillary Pressure Action [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 24(4): 28-32.
- [16] 刘建仪, 郭平, 李士伦, 等. 反凝析污染对凝析气井伤害的实验评价研究[J]. 天然气工业, 2001, 21(5): 67-70.
- Liu Jianyi, Guo Ping, Li Shilun, et al. Laboratory Evaluation and Study of Condensate Gas Well Damage Caused by Retrograde Condensation Contamination [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(5): 67-70.
- [17] 杜建芬, 李士伦, 孙雷. 多孔介质吸附对凝析油气相平衡的影响[J]. 天然气工业, 1998, 18(1): 33-36.
- Du Jianfen, Li Shilun, Sun Lei. The Effect of Porous Media Adsorption on Gas Phase Equilibrium of Condensate [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(1): 33-36.
- [18] 杨智凯, 汪婷, 史跃凯, 等. 苏里格C区气藏水锁伤害机理及解水锁效果评价[J]. 石油化工应用, 2017, 36(12): 41-43.
- Yang Zhikai, Wang Ting, Shi Yuekai, et al. Water Blocking Damage Mechanism and Effective Evaluation of Its Solutions in C Area of Sulige Gas Reservoir [J]. Petrochemical Industry Application, 2017, 36(12): 41-43.
- [19] 王良, 李皋, 赵峰. 致密砂岩气藏水锁损害评价实验研究[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2015, 17(4): 13-16.
- Wang Liang, Li Gao, Zhao Feng. Water Blocking Damage Evaluation Experiment Research in Tight Sandstone Gas Reservoirs [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2015, 17(4): 13-16.
- [20] 唐洪明, 徐诗雨, 王茜, 等. 克拉苏气田超致密砂岩气储层水锁损害[J]. 断块油气田, 2017, 24(4): 541-545.
- Tang Hongming, Xu Shiyu, Wang Qian, et al. Water Blocking Damage of Hyper-Tight Sandstone Gas Reservoir in Kelasu Gas Field [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(4): 541-545.

(上接第37页)

- Miao Zhihua, Zhang Lin, Wang Meng, et al. Technology and Application of Condensing Oil Vapor Recovery [J]. Cryogenics & Superconductivity, 2011, 39(6): 48-52.
- [17] 罗时金. 成品油库吸附式油气回收系统的设计与管理[J]. 油气储运, 2015, 34(5): 511-514.
- Luo Shijin. Design and Management of Adsorption Hydrocarbon Recovery System in Product Oil Tankfarm [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(5): 511-514.
- [18] 任海军. 活性炭吸附法油气回收技术及其应用[J]. 石油库与加油站, 2011, 20(4): 17-18.
- Ren Haijun. Oil Vapor Recovery Technology by Adsorption Method and Its Application [J]. Oil Depot and Gas Station, 2011, 20(4): 17-18.
- [19] 尹树孟, 张卫华, 张红星. 吸附法油气回收技术改进探讨与发展趋势[J]. 安全、健康和环境, 2015, 15(4): 16-20.
- Yin Shumeng, Zhang Weihua, Zhang Hongxing. Discussion into Adsorption Method and Gas Recovery Technology Improvement and Its Development Tendency [J]. Safety, Health and Environment, 2015, 15(4): 16-20.
- [20] 刘栋, 张健中, 李俊杰. 吸附法油气回收装置真空泵的选型与应用[J]. 石油库与加油站, 2013, 22(5): 28-30.
- Liu Dong, Zhang Jianzhong, Li Junjie. Selection and Application of Vacuum Pumps for Oil Vapor Recovery Unit with Adsorption Method [J]. Oil Depot and Gas Station, 2013, 22(5): 28-30.
- [21] 国家环境保护总局科技标准司. 储油库大气污染物排放标准: GB 20950-2007[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 2-6.
- Department of Science, Technology and Standards of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Emission Standard of Air Pollutant for Bulk Gasoline Terminals: GB 20950-2007 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007: 2-6.