

文章编号:1007-6735(2011)05-0495-04

油气回收装置系统改进与系统熵分析

刘 亚, 余 敏, 马 龙
(上海理工大学 动力工程学院, 上海 200093)

摘要: 冷凝法油气回收系统是采用三级复叠式制冷系统,油气温度通常要降到-160℃方可凝结回收.通过对油气在其安全范围内进行升压,回收系统改为两级复叠制冷,使油气凝结温度可上升至-124℃左右,同时对油气回收系统采用熵方法进行能耗分析,比较得到在可行性范围内的最小能耗.研究表明:改进后的系统不仅简化了装置,而且降低了设备投资和运行成本.

关键词: 油气回收; 防爆压缩机; 制冷系统; 熵产数

中图分类号: TK 124 **文献标志码:** A

Improvement of oil recovery system and its entropy analysis

LIU Ya, YU Min, MA Long
(School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: At present, the three-cascade-type refrigeration system is usually used to condense the recovered oil, by which the gaseous oil is normally condensed until the temperature reaches -160℃. In the article, the recovery system was improved by adopting two-stage cascade refrigeration through increasing the pressure within its security range. The oil condensed temperature can rise to -124℃ around. The minimum energy consumption of system was achieved in the possible range by using the entropy analysis on the oil recovery system. The improved system can simplify the device and also reduce the investment and operation cost.

Key words: vapor recovery; explosion-proof compressor; refrigeration system; number of entropy production

油气回收(vapor recovery carbon unit,VRU)是指在装卸汽油和给车辆加油的过程中,将挥发的汽油油气收集起来,通过吸收、吸附或冷凝等工艺的一种或两种方法,使油气从气态转变为液态,重新变为汽油,达到回收利用、减少油气污染、消除安全隐患的目的.笔者对冷凝法油气回收装置进行改造,提高

对能源的利用率,减小经济损失,从而得到效益回报,具有重要研究意义和工程价值.

1 油气回收装置简介

a. 冷凝法

收稿日期: 2011-01-12
基金项目: 上海市宝山区产学研合作项目(CXY-2010-12)
作者简介: 刘 亚(1986-),男,硕士研究生.研究方向:强化传热与节能. E-mail: 19861026liuya.226@163.com
余 敏(联系人),女,教授.研究方向:强化传热与节能技术、热力系统与设备优化. E-mail: usstyuminm@yahoo.com.cn

冷凝法是利用不同烃类物质具有不同饱和温度的性质,通过降温使某一压力下油气中一些烃类温度达到过饱和状态,冷凝成液态回收油气的方法.一般采用三级连续冷却方法降低油气的温度,使之冷凝为液体回收,但是单一冷凝法需要降到很低的温度.

b. 吸收法

根据混合油气中各组分在吸收剂中溶解度的大小,来分离油气和空气.吸收法工艺简单,成本低,但是回收率较低.

c. 吸附法

利用活性炭、硅胶或活性纤维等吸附剂对油气和空气混合气中各组分吸附力的差别,实现油气和空气的分离.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,收集的油气用真空泵抽吸到油罐或用其它方法液化.其缺点是工艺复杂,成本较高.

d. 膜分离法

气体膜分离技术是一种基于溶解扩散机理的新型气体分离技术,其分离的推动力是气体各组分在膜两侧的分压差,利用气体各组分通过膜时渗透速率的不同,进行气体分离,但是投资大,并且存在安全隐患.

目前在油气回收系统中用的较多的还是冷凝法,本文是对冷凝法油气回收装置进行系统改造.

2 油气回收装置系统改造

在大气压下,冷凝法油气回收装置通常采用三级复叠制冷系统,冷凝温度通常要达到-160℃方可凝结回收,达到这一低温付出的代价较大,回收成本相应提高,属于能耗较大的节能措施.

由油气物性可知,大部分成分是四五个碳原子的烃类化合物,其冷凝温度由对应的冷凝压力所确定.表1为油气中不同的烃类在不同压力下所对应的饱和温度,表2为烃类化合物在油气中的体积分数.

由表1中数据可知,油气压力越高,相对应的饱和温度也越高,当压力从0.1 MPa上升到1 MPa时,甲烷的凝结温度可从-163℃提高到-124℃,若忽略含量很少的甲烷和乙烯,凝结温度可由原来的-89℃提高到-32℃.

据此原理对现有的油气回收装置进行技术改造,采取油气冷凝之前对其升压的方法提高冷凝温

度.由于提高压力的过程中会遇到油气燃点和闪点问题,要保证安全,提高后的压力必须避开其闪点范围,汽油通常的压比为8:1~12:1,所以油气在10个大气压范围内是安全的.通过在装置前端加装防爆压缩机来提高压力,提高蒸发冷凝温度,降低蒸发冷凝器热负荷,使油气回收制冷系统由原来的三级变为两级得以实现,相应降低了回收成本.改造后的装置如图1所示.

表1 油气中烃类化合物在不同压力下的饱和温度

Tab.1 Saturated temperature of different hydrocarbons in different pressures ℃

p/MPa	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀
0.1	-163	-89	-105	-42	-48	-0.5
0.4	-142	-58	-77	-5	-12	42
0.6	-134	-48	-66	8	1	58
0.8	-128	-39	-59	19	11	70
1	-124	-32	-52	28	19	80

表2 烃类化合物在油气中的体积分数^[1]

Tab.2 Concentrations of hydrocarbon in oil and gas %

烃类化合物	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀
体积分数 φ	0.04	0.02	0.01	0.35	0.24	14

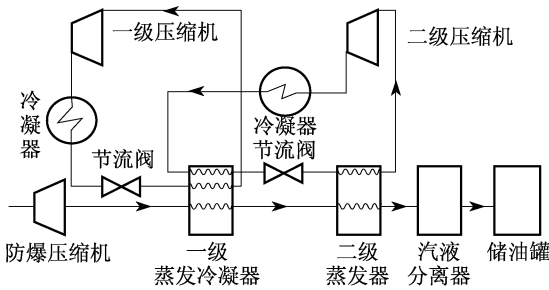


图1 改造后的二级制冷油气回收装置

Fig.1 Transformed two-cascade-type refrigeration gas collection device

收集好的油气先经过防爆压缩机升压后进入第一级制冷系统的一级蒸发冷凝器,初步冷却后进入第二级制冷系统的蒸发器,油气凝结后经过汽液分离器进入储油罐.整个制冷系统为复叠式系统^[2],第一级制冷剂为乙烯,第二级制冷剂为甲烷,乙烯经过一级制冷压缩机后进入冷凝器,再过节流阀,然后进入一级蒸发冷凝器冷却油气和甲烷;甲烷在经过第二级压缩机后进入冷凝器,再进入第一级制冷系统的蒸发冷凝器进一步冷却,然后经过节流阀,最后进入二级蒸发器和油气换热达到凝结油气的目的.

3 油气回收装置实际循环的熵分析

由图1可知整个油气回收系统为二级复叠式制冷系统,经过一系列的换热达到凝油气目的,传递过程中存在着不可避免的热量损失.熵是与热力学第二定律紧密相关联的状态参数,是研究能量品质的一个重要指标,反映了过程的方向性和实际过程不可逆程度的大小.

图2和图3(见下页)为改造前后的复叠式制冷循环 T - S 图.图3中 $5'-1'$ 为一级制冷剂压缩过程, $1'-3'$ 为一级制冷剂冷却过程, $3'-4'$ 为一级制冷剂节流过程, $4'-5'$ 为一级制冷剂初步冷却经防爆压缩机升压后的油气,同时冷却二级制冷剂甲烷的过程; $5-1$ 为二级制冷剂压缩过程, $1-7$ 为二级制冷剂在冷凝器中的冷却过程, $7-3$ 为二级制冷剂在一级蒸发冷凝器中的冷却过程, $3-4$ 为二级制冷剂节流过程, $4-5$ 为凝油气的过程.由图3可知,完成循环还要有冷源和热源,从热源吸热和对冷源放热是不可逆过程,就必定伴随着熵的变化.将整个油气回收系统、冷源和热源看作一个孤立体系,整个体系的熵产存在于与外部的换热以及压缩机的散热损失,即一级冷凝器与外界的换热、一级蒸发冷凝器与油气的换热、一级压缩机的散热损失、二级冷凝器与外界的换热、二级蒸发器与油气的换热、二级压缩机的散热损失.根据热力学第二定律,孤立体系的熵产为^[3]

$$\Delta S_{\text{gl}} = \sum_{i=1}^n (\Delta S_{\text{zfi}} + \Delta S_{\text{lni}} + \Delta S_{\text{jli}} + \Delta S_{\text{ysi}}) \quad (n = 2, 3)$$

式中, ΔS_{zf} 、 ΔS_{ln} 为蒸发器、冷凝器熵产, $\text{kJ}/(\text{K} \cdot \text{S})$; ΔS_{jl} 、 ΔS_{ys} 为节流、压缩散热熵产, $\text{kJ}/(\text{K} \cdot \text{S})$.

将复叠式制冷系统看作是一个整体,是介于低温热源和高温热源之间的二级复叠式制冷循环.将整个制冷循环的放热量和吸热量看做整体,此时孤立体系的熵产为

$$\Delta S_{\text{gl}} = Q_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_H} \right) + Q_2 \left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_2} \right) + \Delta S_{\text{xt}}$$

式中, Q_1 、 Q_2 为吸热量和放热量, kJ/S ; T_1 、 T_2 为平均吸热和放热温度, K ; T_H 、 T_L 为高温和低温热源平均温度, K ; ΔS_{xt} 为系统熵产, $\text{kJ}/(\text{K} \cdot \text{S})$.

由于复叠式制冷循环是一完整的循环,所以 ΔS_{xt} 为 0.

引入无因次熵产数^[4]

$$N_S = \frac{\Delta S_{\text{iso}}}{mc_p} = \frac{Q_1}{mc_p} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_H} \right) + \frac{Q_2}{mc_p} \left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_2} \right)$$

式中, m 为油气的质量流量, kg/s ; c_p 为 10 个大气压下油气第一级冷却时的比定压热容,取 $c_p = 0.3682 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

改造后两级制冷油气回收装置的熵产数分别为

$$N_{S1} = \frac{\Delta S_1}{mc_p} = \frac{m_1(h_{1'} - h_{3'})}{mc_p T_0} - \frac{m_1[(h_{5'} - h_{4'}) - (h_7 - h_3)]}{mc_p T'}$$

$$N_{S2} = \frac{\Delta S_2}{mc_p} = \frac{m_2(h_1 - h_7)}{mc_p T_0} = \frac{m_2(h_5 - h_4)}{mc_p T''}$$

改造后装置的熵产数经整理,得到

$$N_S = N_{S1} + N_{S2} = \frac{m_1(h_{1'} - h_{3'}) + m_2(h_1 - h_7)}{mc_p T_0} - \frac{m_1[(h_{5'} - h_{4'}) - (h_7 - h_3)]}{mc_p T'} - \frac{m_2(h_5 - h_4)}{mc_p T''}$$

式中, m_1 、 m_2 为一级、二级制冷装置制冷剂的质量流量, kg/s ; T' 、 T'' 为一级、二级蒸发冷凝器冷却油气时油气的平均放热温度, K ; T_0 为环境温度, K ; h_i 为图2和图3(见下页)中对应各点的焓值.为比较起见,原油气回收装置的熵产数经整理后,得到

$$N_S = N_{S01} + N_{S02} + N_{S03} = \frac{m_{01}(h_{1'} - h_{3'}) + m_{02}(h_{1'} - h_7) + m_{03}(h_1 - h_7)}{mc_p T_0} - \frac{m_{01}[(h_{5'} - h_{4'}) - (h_7 - h_{3'})]}{mc_p T_{01}} - \frac{m_{02}[(h_{5'} - h_{4'}) - (h_7 - h_3)]}{mc_p T_{02}} - \frac{m_{03}(h_5 - h_4)}{mc_p T_{03}}$$

式中, m_{01} 、 m_{02} 、 m_{03} 为一级、二级、三级制冷油气回收装置的制冷剂的质量流量, kg/s ; T_{01} 、 T_{02} 、 T_{03} 为一级、二级、三级蒸发器冷却油气时油气的平均温度, K .

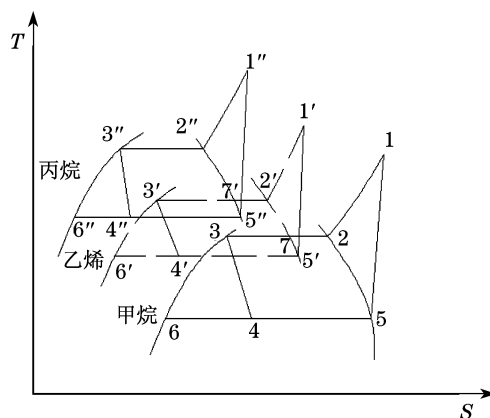


图2 三级复叠式制冷 T - S 图

Fig.2 The T - S figure of two-cascade-type refrigeration

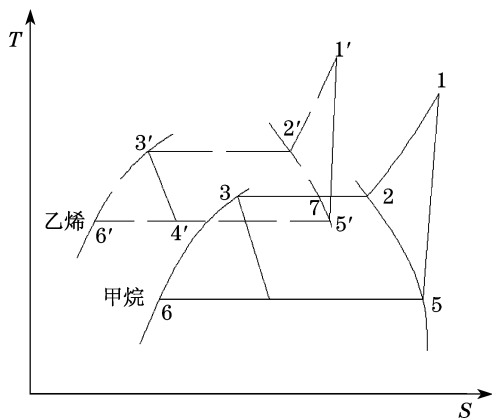


图 3 两级复叠式制冷 T-S 图
Fig.3 The T-S figure of two-cascade-type refrigeration

根据计算得到油气回收装置在不同压力下的系统熵产数 N_s , 原三级油气回收装置的系统熵产数 N_s (未经升压处于大气压 0.1 MPa) 与加装防爆压缩机后的两级油气回收装置的系统熵产数 N_s (压力 0.3~1 MPa) 比较如表 3 和图 4 所示

由表 3 和图 4 可以得到, 在复叠式油气回收制冷系统中蒸发冷凝器压力越高, 对应温度相应升高, 偏离环境的温差越小, 熵产越小; 1 MPa 时两级复叠制冷系统熵产数约为原油气回收装置在 0.1 MPa 下的三级复叠制冷系统熵产数的 50%, 大大降低了

表 3 不同压力下油气回收系统熵产数 Tab.3 Entropy production number of oil and gas recovery system in different pressure					
p/MPa	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6
N_s	1.805	1.479	1.363	1.257	1.166
p/MPa	0.7	0.8	0.9	1	
N_s	1.089	1.019	0.961	0.892	

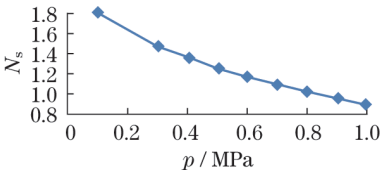


图 4 不同压力下油气回收系统的熵产数
Fig.4 Entropy production number of oil and gas recovery system in different pressure

能耗; 油气回收装置通过升压由原来的三级复叠式制冷改为两级制冷, 不仅降低了系统设备的初投资, 而且使运行成本也随之下降.

4 结 论

对现有的油气回收制冷装置进行技术改造, 在油气回收系统前加装防爆压缩机, 提高油气压力, 相应提高了冷凝温度, 使得油气回收系统由原来的三级复叠制冷变为两级, 计算得到提高压力降低了油气回收系统的熵产, 且压力越高, 熵产越小. 事实表明, 在安全范围内压力的提高降低了能耗和熵产数, 简化了回收装置, 降低了整个油气回收系统的投资和运行成本, 符合当前节能减排的方针国策.

参考文献:

[1] 赵志伟, 杜凯. 冷凝法油气回收技术中心的油气冷凝特性分析[J]. 流体机械, 2009, 37(9): 67-70.
[2] 张祉祐, 石秉三. 制冷及低温技术[M]. 1 版. 北京: 机械工业出版社, 1981.
[3] 沈维道, 蒋智敏, 童钧耕. 工程热力学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
[4] 傅秦生. 能量系统的热力学分析方法[M]. 1 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.