原油稳定工艺运行参数优化及适应性分析

王梓丞

中国石油新疆油田分公司工程技术研究院， 新疆 克拉玛依 834000

摘 要：为使原油稳定经济效益最大化，以某处理站原油全烃色谱分析实验数据及现场实际运行工况为基础，采用 Aspen HYSYS 软件建立计算模型，优化三种闪蒸工艺塔顶气冷却温度并对工艺进行适应性分析。结果表明：塔顶气存在最低冷却温度，使原油稳定产品收益达到最大。负压闪蒸工艺塔顶气携带 C_5 含量多，不凝气产量高；微正压闪蒸工艺不凝气产品质量最好，轻组分含量高、重组分含量低；加热闪蒸工艺塔顶气携带重组分含量高，C_2 ~ C_4 的质量分数低；原油与轻烃的动态价格关系决定闪蒸工艺的选择。

关键词：全烃色谱；冷却温度；塔顶气；不凝气；轻烃

DOI：10. 3969 /j. issn. 1006 - 5539. 2017. 05. 008

Optimization of Crude Oil Stabilization Process Operation Parameters and Adaptability Analysis

Wang Zicheng

Engineering Technology Research Institute of Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: In order to maximize the economic benefit of crude oil stabilization, based on the experimental data of the total hydrocarbon chromatographic analysis and the actual operating conditions of the treatment station, calculation model is set up by using Aspen HYSYS software to optimize overhead gas cooling temperature of three kinds of flash process and adaptability analysis of the process is conducted as well. The results shows that the overhead gas has a minimum cooling temperature that the product stable yield will reach the maximum; noncondensable gas production of negative pressure flash process is high and the content of overhead gas carrying C_5 is high; noncondensable gas product of micro positive pressure flash process is best, the content of light component is high and low of heavier component. The content of overhead gas heavier component of heating flash process is high and the mass fraction of C_2 - C_4 is low; the dynamic price relationship between crude oil and light hydrocarbon determines the choice of flashing process.

Keywords: Total hydrocarbon chromatographic; Cooling temperature; Overhead gas; Noncondensable gas; Light hydrocarbon

收稿日期：2017 - 04 - 21

作者简介：王梓丞(1989 -)，男，山东莒县人，助理工程师，硕士，现在主要从事油气田地面工艺研究工作。

0　前言

原油稳定是原油处理的最后一道工序，目的是将原油中挥发性强的轻组分 C_1 ~ C_4 脱出，减少挥发损耗、降低饱和蒸汽压、合理利用油气资源、保护环境、提高原油在储运工程中的安全性[1-2]。原油稳定方法包括闪蒸法（负压闪蒸、微正压闪蒸、加热闪蒸）和分馏法[3-5]。闪蒸法分离精度差，产品粗糙，投资及运行费用低。分馏法分离精度高，组分分割效果好[6]，投资及运行费用高。具体选择哪种稳定方式取决于油品性质、站场工艺、产品标准、能量损耗和综合经济效益[7-9]。

原油稳定后其饱和蒸气压低于当地大气压的 0.7 倍[10]，要达到这种稳定深度，原油稳定塔内必须有相应的气化率，提高气化率的方法是提高温度或降低压力，根据处理站脱水后的运行工况适当调整闪蒸温度和压力，确保稳定后原油饱和蒸气压满足要求[11-13]。达到原油稳定目的的同时，还要追求最大经济效益[14]，此时，原油稳定塔顶部的塔顶气冷却温度是关键[15]，本文通过建立经济模型结合数值模拟计算对三种闪蒸工艺塔顶气冷却温度进行优化并对三种工艺进行适应性分析。

1　经济模型建立

$$S = S_1 - S_2 - S_3 \tag{1}$$

$$S_1 = (e_q \times Q_q + e_n \times Q_n + e_o \times Q_o) \times 10^{-4} \tag{2}$$

$$S_2 = e_o Q_{ol} \times (1 - \varphi) \times 10^{-4} \tag{3}$$

$$S_3 = S_P + S_E + S_R \tag{4}$$

$$S_P = e_p \times (W_1 + W_2) \times 8\,000 \tag{5}$$

$$S_E = \frac{c_1 \rho_1 Q_{ol} \Delta T}{B_n \eta} \times e_n \times 10^{-4} \tag{6}$$

$$S_R = s \times n \tag{7}$$

式中：S 为原油稳定净收益，万元 /a；S_1，S_2，S_3 分别为原稳产品价值、未稳定原油价值、运行费用，万元 /a；e_q，e_o 分别为轻烃价格、原油价格，元 /t；e_n 为天然气价格，元 /m^3；Q_q，Q_o 分别为轻烃产量、稳定原油产量，t /a；Q_n 为天然气产量，m^3 /a。φ 为原油蒸发损耗率，%；S_P，S_E，S_R 分别为电力费用、燃料费用和人工费用，万元 /a；e_p 为电力价格，万元 /（kW · h）；W_1，W_2 分别为提升泵功率、负压压缩机功率，kW；c_1 为原油的热值，J /（kg · ℃）；ρ_1 为原油的密度，kg /m^3；Q_{ol} 为未考虑蒸发损耗时原油的产量，t /a；ΔT 为原油提升温度，℃；B_n 为天然气的热值，J /m^3；η 为加热炉的效率，%；e_n 为天然气的价格，元 /m^3。e_o 为原油的价格，元 /t；Q_{ol} 为未考虑蒸发损耗时原油的产量，t /a；s 为人均费用，万元 /a；n 为操作员工数，个。

2　工艺模拟计算

以某油田处理站原油为例，通过 Aspen HYSYS 软件建立计算模型，对三种闪蒸工艺进行数值计算。该处理站年处理量为 254.5 × 10^4 t，脱水后的净化原油温度为 56 ℃，原油组分通过全烃色谱分析实验得到，见图 1、表 1。原油稳定要求：

1）稳定出的原油 50 ℃存储温度下，饱和蒸气压低于当地大气压的 0.7 倍。

2）稳定出的轻烃属于 1 号轻烃，37.8 ℃储存温度下，饱和蒸气压低于 200 kPa。

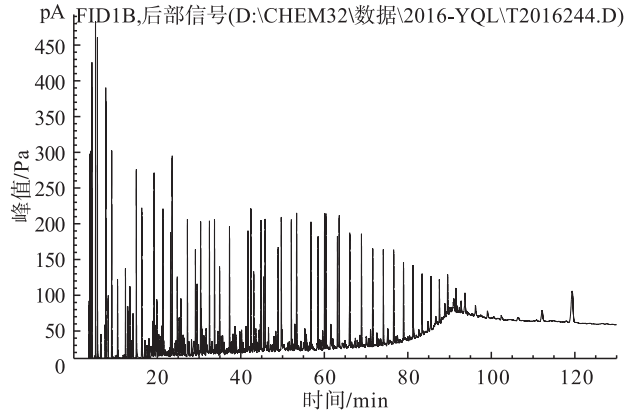

图 1　全烃色谱谱图

表 1　某油田处理站原油全烃色谱分析数据

组分	质量分数 /(%)	组分	质量分数 /(%)
C_1	0	C_7	3.1
C_2	0.27	C_8	2.42
C_3	0.96	C_9	2.3
C_4	2.76	C_{10}	2.38
C_5	5.13	C_{11}^+	77.91
C_6	2.77		

2.1　负压闪蒸工艺

依据该处理站原油脱水后的温度（56 ℃）进入原油稳定塔，调节闪蒸压力为 60 kPa（绝对压力），使稳定后的原油饱和蒸气压低于当地大气压的 0.7 倍[16-17]。原油稳定塔顶部拔出的塔顶气通过压缩机增压后，冷却进入分离器，分出轻烃和不凝气[18-20]，见图 2。塔顶气冷却温度优化由原稳产品随冷却温度的变化曲线确定，见图 3。

从图 3 可以看出，随着冷却温度逐渐降低，不凝气量（原稳气体量）逐渐减小，轻烃饱和蒸气压、产量逐渐增大。由于不凝气的价格低于轻烃价格，冷却温度越低，轻烃量越多，产品总收益越高，但过低的冷却温度能耗高且会导致轻烃中 C_1 ~ C_4 含量过高、轻烃饱和蒸气压高。因此，存在最低冷却温度，使轻烃产品饱和蒸气压

满足标准的同时，产品收益达到最大。通过经济模型计算，在满足轻烃 35 ℃储存温度，饱和蒸气压低于 200 kPa 的要求下，确定出冷却温度为 60 ℃，此时产品总收益最大。

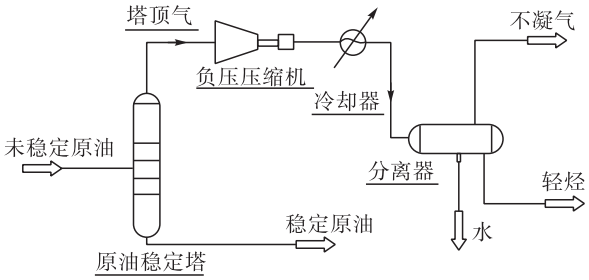

图 2　负压闪蒸工艺流程图

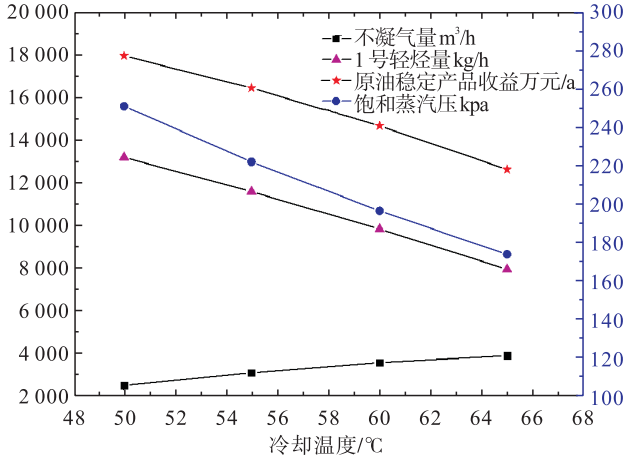

图 3　原稳产品随冷却温度的变化曲线

2.2　微正压闪蒸工艺

同理确定出微正压闪蒸工艺产品收益最大时运行参数为，净化油（56 ℃）与原油稳定塔稳定出的原油（85 ℃）进行换热，换热至 65 ℃经加热炉加热到 85 ℃进入原油稳定塔，闪蒸压力为 50 kPa，塔顶气体冷却至 18 ℃进入分离器，见图 4 ~ 5，分离出的不凝气增压进天然气处理站，轻烃进轻烃罐。

2.3　加热闪蒸工艺

净化原油（56 ℃）经泵增压与稳定塔稳定出的原油（140 ℃）进行换热，换热至 115 ℃经加热炉加热到 140 ℃进入原油稳定塔，闪蒸压力为 285 kPa，稳定出的塔顶气体经冷却器降温至 60 ℃，产品收益最大，见图 6 ~ 7。

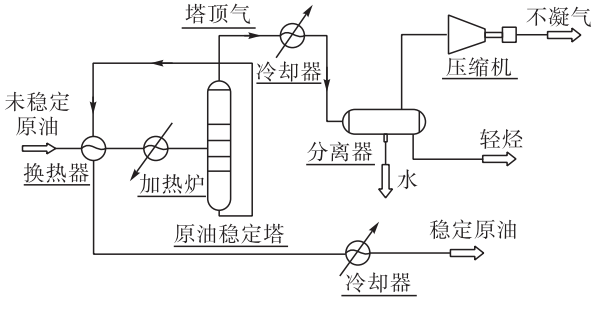

图 4　微正压闪蒸工艺流程图

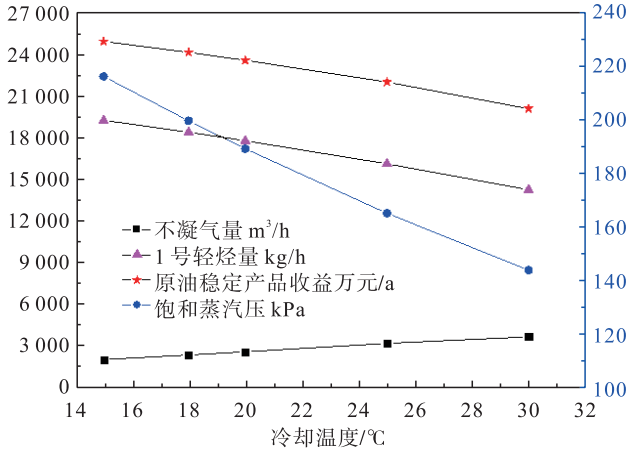

图 5　原稳产品随冷却温度的变化曲线

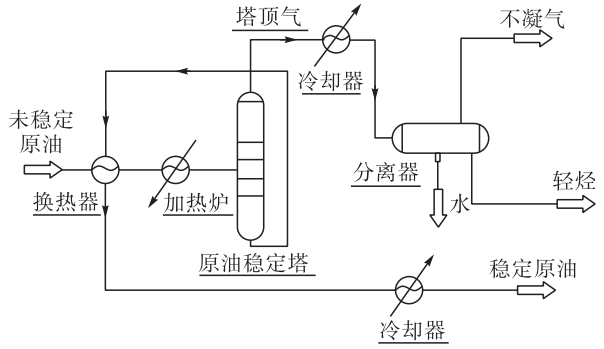

图 6　加热闪蒸工艺流程图

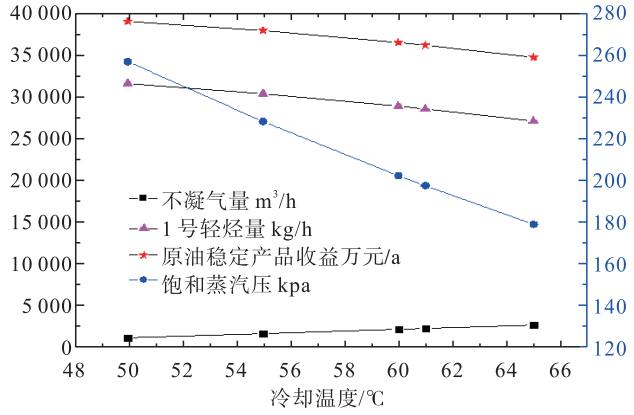

图 7　原稳产品随冷却温度的变化曲线

3　不同闪蒸工艺对比分析

依据上述最优运行参数条件下的三种工艺计算模型，分析三种闪蒸工艺的适应性。

3.1　原油稳定产品分析

通过计算对三种闪蒸工艺原油稳定产品进行分析，三种闪蒸工艺原油稳定产品见表 2。

由表 2 可知负压闪蒸、微正压闪蒸、加热闪蒸三种工艺拔出率依次增大。在稳定原油和 1 号轻轻满足饱和蒸汽压的条件下，三种闪蒸工艺不凝气量、稳定原油量依次降低，1 号轻烃量依次增加。负压闪蒸工艺不凝气量和稳定原油量最高分别为 3 577 m^3 /h 和 271.57 m^3 /h，加热闪蒸 1 号轻烃量最高为 28 342.12 kg /h，微正压闪蒸工艺产品数量居中。

3.2　塔顶气组分和不凝气组分分析

图 8 ~9 分别为不同闪蒸工艺下塔顶气组分和不凝气组分质量分数关系曲线。图 8 表明微正压闪蒸工艺拔出的塔顶气 C_2 ~ C_4 的质量分数最高，占比 41.49 %，负压闪蒸拔出的塔顶气携带 C_5 含量最多，占比 27.62 %。加热闪蒸拔出的塔顶气 C_2 ~ C_4 的质量分数最低，占比 22.5 %，重组分 C_6 ~ C_7 质量分数高，占比 14.16 %。

表 2　原油稳定三种闪蒸工艺产品

序号	产品	负压闪蒸	微正压闪蒸	加热闪蒸
1	不凝气 /(m^3 · h^{-1})	3 577.00	2 327.00	1 993.90
2	1 号轻烃 /(kg · h^{-1})	9 829.68	18 310.14	28 342.12
3	轻烃 37.8 ℃ 饱和蒸气压 /kPa	196.5	199.2	196.5
4	稳定原油 /(t · h^{-1})	271.57	266.97	257.24
5	稳定原油(50 ℃)饱和蒸气压 /kPa	66.01	67	65.76
6	拔出率 /(%)	6.53	8.11	11.46

图 9 为不凝气组分质量分数关系曲线，表明微正压闪蒸工艺后端不凝气 C_2 ~ C_4 的质量分数最高 71.29 %，C_5 ~ C_7 的质量分数最低 21.76 %。三种闪蒸工艺 C_2 ~ C_4 质量分数分别占 58.54 %、71.29 %、60.72 %。说明微正压闪蒸不凝气产品质量最好，轻组分含量高、重组分含量低。

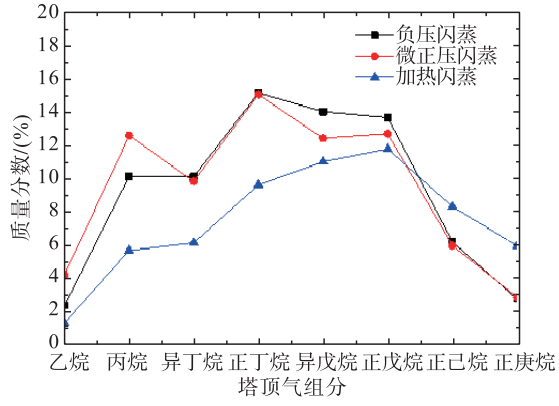

图 8　塔顶气体 C_2 ~ C_7 质量分数

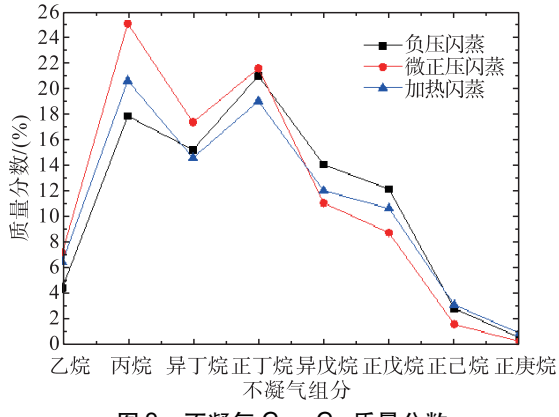

图 9　不凝气 C_2 ~ C_7 质量分数

3.3　轻烃价格分析

原油稳定的首要目的是减少挥发损耗、降低饱和蒸汽压、合理利用油气资源、保护环境、提高原油在储运工程中的安全性，在达到原油稳定目的的同时尽量提高经济效益。通过上述分析得出决定原油稳定收益的主要因素是原油价格、不凝气价格和轻烃价格。根据目前世界石油价格行情，国际油价按 50 美元 /桶计算，中质油Ⅱ价格为 2 138 元 /t，不凝气按 0.863 元 /m^3 计算。主要影响原油稳定收益的是轻烃价格。由于国内不同油田轻烃出售价格不同，因此需根据轻烃不同价格选择不同闪蒸工艺。

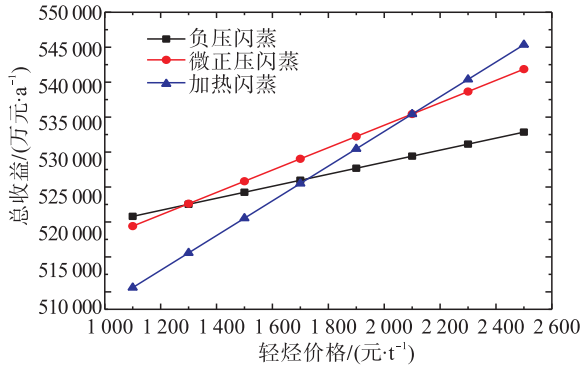

图 10　三种闪蒸工艺总收益随轻烃价格变化曲线

从图 10 可以看出，以目前国际油价衡量，轻烃价格为 1 300 元 /t 时，负压闪蒸和微正压闪蒸原油稳定总收益基本相当，当轻烃价格低于 1 300 元 /t 时，负压闪蒸收益最高，当轻烃价格高于 1 300 元 /t 并低于 2 100 元 /t 时，微正压闪蒸收益最高，当轻烃价格高于 2 100 元 /t 时，加热闪蒸收益最高。因此，油田原油稳定在选择工艺时，既要考虑站场工艺、产品标准、能量损耗，又要考虑轻烃价格。

4　结论

1)塔顶气存在最低冷却温度，使轻烃产品饱和蒸气压满足标准的同时，产品收益达到最大。

2)负压闪蒸工艺不凝气产量高，拔出的塔顶气携带 C_5 含量多；微正压闪蒸工艺不凝气产品质量最好，轻组分含量高、重组分含量低；加热闪蒸工艺拔出的塔顶气 C_2 ~ C_4 的质量分数低，轻烃产量高。

3)轻烃价格的高低决定闪蒸工艺的选择，根据该处理站运行数据分析，按照目前国际油价 50 美元/桶计算，当轻烃价格低于 1 300 元 /t 时，负压闪蒸收益最高，当轻烃价格高于 1 300 元 /t 并低于 2 100 元 /t 时，微正压闪蒸收益最高，当轻烃价格高于 2 100 元 /t 时，加热闪蒸收益最高。

参考文献：

[1] 冯叔初，郭揆常. 油气集输与矿场加工[M]. 东营：中国石油大学出版社，2006：331 - 340.
Feng Shuchu, Guo Kuichang. Oil & Gas Transportation and Mine Processing [M]. Dongying: China University of Petroleum

Press, 2006: 331 - 340.

[2] 戴　仲,刘丹阳,刘　军. 大庆油田原油稳定系统优化[J]. 石油规划设计,2004,15(4):23 - 25.
Dai Zhong, Liu Danyang, Liu Jun. Optimization of the Stability System for Oil Production in Daqing Oilfield [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2004, 15 (4): 23 - 25.

[3] 李远朋,韩丽艳,吴　燕,等. X 原油处理站原油稳定工艺优化[J]. 天然气与石油,2016,34(1):53 - 56.
Li Yuanpeng, Han Liyan, Wu Yan, et al. Optimization of Crude Oil Stabilization Process at X Crude Oil Processing Station [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34 (1): 53 - 56.

[4] 张玉兰. 原油稳定机理及工艺方案探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,(7):270.
Zhang Yulan. Stabilization Mechanism and Process Program Study of Crude Oil [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, (7): 270.

[5] 张　博. 原油稳定工艺及意义[J]. 中国新技术新产品,2013,(1):134.
Zhang Bo. Stabilization Process and Significance of Crude Oil [J]. New Technologies & New Products of China, 2013, (1): 134.

[6] 门　宇. 原油稳定技术综述[J]. 中国石油和化工标准与质量,2014,(5):105.
Men Yu. Review of Crude Oil Stabilization Technology [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014, (5): 105.

[7] 李海荣. 伊拉克某油田原油稳定工艺技术方案选择[J]. 石油规划设计,2011,22(3):31 - 33.
Li Hairong. Selection of Crude Oil Stabilization Process for an Oilfield in Irap [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2011, 22 (3): 31 - 33.

[8] 袁庆华. 原油稳定装置及工艺方法优选[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,33(23):30.
Yuan Qinghua. Crude Oil Stabilizer and Process Optimization [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, 33 (23): 30.

[9] 万力利. 原油稳定设计工艺研究[J]. 中国新技术新产品,2013,(16):154.
Wan Lili. Study on the Stabilization Design of Crude Oil [J]. New Technologies & New Products of China, 2013, (16): 154.

[10] 李杰训,娄玉华,杨春明,等. 油田油气集输设计规范:GB 50350 - 2015[S]. 北京:中国计划出版社,2016:22 - 23.
Li Jiexun, Lou Yuhua, Yang Chunming, et al. Code for Design of Oil-Gas Gathering and Transportation Systems of Oilfield: GB 50350 - 2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016: 22 - 23.

[11] 李铁军. 大庆油田原油稳定工艺技术发展及适应分析[J]. 油气田地面工程,2014,33(9):103 - 104.
Li Tiejun. Development and Adaptability Analysis of Crude Oil Stabilization Technology in Daqing Oilfield [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2014, 33 (9): 103 - 104.

[12] 李福龙. 大庆油田原油稳定系统适应性分析[J]. 油气田地面工程,2013,32(5):97 - 98.
Li Fulong. Adaptability Analysis of Crude Oil Stabilization System in Daqing Oilfield [J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2013, 32 (5): 97 - 98.

[13] 刘　清,孙承宇. 大庆油田原油稳定系统存在的主要问题[J]. 油气田地面工程,2014,33(8):117.
Liu Qing, Sun Chengyu. Main Problems of Crude Oil Stabilization System in Daqing Oilfield [J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2014, 33 (8): 117.

[14] 齐安彬,赵　新. 石西原油稳定环保研究与安全性评价[J]. 石油化工安全环保技术,2015,31(1):10 - 13.
Qi Anbin, Zhao Xin. Research on the Stability and Environmental Protection of Shixi Crude Oil and Safety Evaluation [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2015, 31 (1): 10 - 13.

[15] 张志中. 塔顶气回收工艺研究[D]. 大庆:大庆石油学院,2008.
Zhang Zhizhong. Research on the Recovery of Top Gas in Oil Processing Tower [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008.

[16] 李京子,杨　充,赵玉君,等. 长庆油田原油稳定工艺及节能研究[J]. 石化技术,2015,22(9):13 - 14.
Li Jingzi, Yang Chong, Zhao Yujun, et al. Crude Oil Stabilization Technology and Energy Saving Research [J]. Petrochemical Technology, 2015, 22 (9): 13 - 14.

[17] 黄致平. 浅谈原油稳定的设计技术[J]. 中国化工贸易,2013,(1):10.
Huang Zhiping. Design Technology of Crude Oil Stabilization [J]. China Chemical Trade, 2013, (1): 10.

[18] 王娅婷,李　佳,王　琳,等. 负压闪蒸原油稳定工艺的模拟与运行参数优化[J]. 石油与天然气化工,2015,44(2):18 - 20.
Wang Yating, Li Jia, Wang Lin, et al. Simulation and Operating Parameters Optimization of Minus Pressure Flash Technology for Crude Stabilization Process [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2015, 44 (2): 18 - 20.

[19] 刘天元,叶志敏,张　浩. 喇一负压原油稳定系统改造分析研究[J]. 当代化工,2016,45(6):1173 - 1175.
Liu Tianyuan, Ye Zhimin, Zhang Hao. Analysis on Transformation of the Negative Pressure Crude Stabilization System in Layi Oil and Gas Processing Station [J]. Contemporary Chemical Industry, 2016, 45 (6): 1173 - 1175.

[20] 党惠平,党森林,薛蕊华,等. 提高轻烃回收率的方法[J]. 管道技术与设备,2008,(4):52 - 55.
Dang Huiping, Dang Senlin, Xue Ruihua, et al. Method of Improve Recovery Rate of Light Hydrocarbon [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2008, (4): 52 - 55.