

轻烃回收工程可行性及市场前景分析

丛延刚¹ 曹旭原² 杨飞² 金红红² 王科钊² 闫明龙²

1. 中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司天然气部, 吉林 松原 138001;
2. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要:2022年,中国液化石油气市场将进入短缺期,为提高管道输送效率及处理厂经济效益,降低处理厂及下游用户安全隐患,践行低碳、节约的环保理念,对天然气处理厂内的轻烃进行回收利用。以青海地区某凝析气田天然气轻烃回收工程为例,分析了该工程气源、工艺方案、建设及运行风险和经济效益。分析得出,工程建成后,可在一定程度上缓解液化石油气短缺的问题,市场前景良好;采用混合冷剂制冷方案,能耗及成本较低,对工况变化的适应性较强;液化石油气和稳定轻烃销售年总额约1.817亿元人民币,投资回报率较高,具有建设可行性。

关键词:轻烃回收;液化石油气;可行性分析

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.05.007

Feasibility and Market Prospect Analysis of Light Hydrocarbon Recovery Project

Cong Yangang¹, Cao Xuyuan², Yang Fei², Jin Honghong², Wang Kechao², Yan Minglong²

1. PetroChina Jilin Oilfield Gas Division, Songyuan, Jilin, 138001, China;
2. China Petroleum Engineering & Construction Corp. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: In 2022, LPG market in China will be in shortage. In order to improve pipeline delivery efficiency, reduce the potential safety hazards for plant and downstream user and improve the economic efficiency of the oil & gas treatment plant, the light hydrocarbon shall be recovered in respond to the concept of low-carbon and economical production. The gas sources, process scheme, construction & operation risk and economic benefits of certain condensate gasfield light hydrocarbon recovery project at Qinghai have been analyzed. It is concluded that the LPG shortage can be relieved to certain extent with the completion of this project, which has good market prospects. The mixed refrigerant is adopted for refrigeration and the energy consumption is relatively lower. It has strong adaptability to service variation. The annual sales of LPG and stable light hydrocarbon total about 181.7 million yuan. With higher investment return, the construction is feasible.

Keywords: Light hydrocarbon recovery; LPG; Feasibility analysis

收稿日期:2018-08-04

基金项目:中国石油天然气集团公司重点资助项目“青海油田公司采油一厂苏斯联合站伴生气处理装置系统运行能力评估”(J 2018038)

作者简介:丛延刚(1969-),男,吉林扶余人,高级工程师,学士,主要从事油田地面工程设计管理和油气集输、储运、处理等工作。

0 前言

轻烃又称为天然气凝液(NGL),在组成上覆盖 $C_2 \sim C_6+$,含有凝析油组分($C_3 \sim C_5$)。轻烃回收是指将天然气中比甲烷更重的组分以液态形式进行回收。其目的的一方面是为了控制天然气的烃露点以达到商品气质量指标,避免气液两相流动;另一方面,回收的液烃有很高的经济价值,可直接用作燃料或进一步分离成乙烷、丙烷、丁烷或丙丁烷混合物(液化石油气, Liquefied Petroleum Gas, LPG)、轻油等,也可用作化工原料。随着能源日益紧缺,轻烃回收对如今倡导的低碳、节约理念具有很大意义^[1-8]

国际评级机构惠誉的分析师认为,亚洲,特别是中国对天然气的需求增长,将导致 2022 年至 2025 年国际市场 LPG 短缺。惠誉分析师解释称:“通常 LPG 项目在作出投资决策后需要 4 至 5 年的时间才能投产。由于新上 LPG 项目数量有限,21 世纪 20 年代初投产的企业非常少。”同时,惠誉分析师预计全球对天然气的需求将继续增长,特别是将天然气作为重要能源的亚太地区。目前,日本是最大的 LPG 进口国,但中国正在逐步进入这个角色^[9]。近两年我国成品油消费增速放缓,仅有 LPG 需求增速加快。从 2009 年开始集中投产的 LPG 深加工项目将国内 LPG 消费从低谷拉回到快速增长阶段^[10],2016 年 LPG 表观消费量 $4\,484 \times 10^4$ t,同比增长 24.6%,连续 4 年呈现两位数增长^[11]。根据需求现状和发展趋势估计,2022 年我国 LPG 需求量约为 $4\,000 \times 10^4 \sim 5\,000 \times 10^4$ t/a。

鉴于轻烃回收的积极意义及 LPG 良好的经济前景,本文就青海地区某凝析气田天然气轻烃回收工程建设方案的气源、工艺方案、建设及运行风险和经济效益等进行分析,阐述轻烃回收工程的市场前景及可行性。

1 市场前景分析

本工程所涉及的下游炼油化工厂原油加工能力为

表 1 原料气参数

温度 / $^{\circ}\text{C}$		压力 / MPa	组分含量 x											气量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
夏季	冬季		C_1	C_2	C_3	$i-C_4$	$n-C_4$	$i-C_5$	$n-C_5$	$i-C_6$	$i-C_7$	N_2	CO_2		
20	10	1	75.23	9.43	6.32	1.43	2.66	0.891	0.985	0.287	0.081	2.064	0.622	50×10^4	

试采期间分析气田天然气组分可知,其重组分含量高,烃露点较高。天然气经井口一次分离后,随着温度和压力的变化,管道内仍有液态烃析出。天然气管道带烃作业,降低了管道的输送效率,同时给本工程区块的生产及下游用户带来了极大的安全隐患^[18]。

120×10^4 t/a,完全能够消化本工程生产的稳定轻烃。稳定轻烃的销售根据国际原油市场来回波动^[12],国际油价高则市场较好,国际油价低迷则市场差,如果轻烃价格低于原油、凝析油价格,就混掺到原油、凝析油进行销售,不存在市场销售、运输、储存问题^[13]。

从 LPG 的价格总体趋势来看,2005 年基本保持在 $3\,000 \sim 4\,000$ 元 /t 之间,2006 年一路上涨到 $4\,500$ 元 /t 左右,2008 年 LPG 价格达到 $5\,000$ 元 /t,2013 年 12 月 LPG 出厂价格达到了 $6\,300 \sim 6\,800$ 元 /t,并出现了供不应求的市场态势。2014 年,虽然 LPG 价格整体呈下滑趋势,1 月均价为 $6\,892$ 元 /t,12 月为 $3\,878$ 元 /t,但自 2015 年 1 月以来 LPG 价格稳步上升,2015 年 2 月均价为 $4\,437$ 元 /t。

LPG 作为燃料存在一定的销售风险:

1) 天然气资源的冲击。随着天然气资源的不断发掘开采,国内天然气的供需紧张形势将在一定程度上得到缓解^[14],天然气作为燃料较 LPG 使用起来更加方便快捷^[15],伴随居民生活水平的不断提高,天然气作为清洁能源将会越来越广泛地被城镇居民所接受,势必对 LPG 的生产和销售带来一定的冲击^[16]。

2) 替代能源的出现。目前部分居民将 LPG 作为燃料使用的主要原因是 LPG 价格较天然气价格更低。近年来,沼气^[17]、二甲醚等替代能源的出现,使 LPG 在价格上的优势逐渐被取代,为消费者提供了更多样化的选择,对 LPG 的生产和销售也形成了一定冲击。

但从 2005 - 2015 年 LPG 的价格总体走向及 2022 年需求趋势来看,LPG 将是我国长期短缺的能源产品,市场前景良好。

2 轻烃回收可行性分析

2.1 气源分析

本工程原料气来源为英东油田伴生气,预测天然气地质储量 95×10^8 m^3 ,天然气技术可采储量 53.2×10^8 m^3 ,建设规模处理量为 50×10^4 m^3 /d,所以可以保证本工程装置生产运行。原料气参数见表 1。

进入长输管道的天然气的烃、水露点必须低于管道最低输送温度 5°C 。根据当地气温情况,本工程外输天然气的烃、水露点应低于 -10°C ,因此,为保证该区块天然气合格外输,必须对天然气进行脱水、脱烃处理^[19]。同时,该原料气 C_3 和 C_4 组分含量达 10.41%,若进行

LPG回收,可大大提高工程的经济效益。

2.2 工艺方案

本工程原料气来源为英东油田伴生气,属于轻质油伴生气。英东油田原油饱和烃含量较高,为60%左右,胶质、沥青质含量较小,总量小于10%,原油密度 0.85 t/m^3 ,凝固点 10°C ,析蜡点为 16.5°C ,属于轻质常规原油。

由于原料气压力较低,为该工程设计了两套工艺方案。

方案1:原料气增压后采用丙烷制冷+膨胀机制冷。

本方案先将原料气预冷至约 -70°C 左右后,利用自身的压力膨胀获得回收混烃所需的理想温位,混烃收率相对较高。但本次原料气压力较低,使用膨胀机制冷没有很好效果,需要对原料气增压后进行膨胀机制冷。且需要增设一套独立的丙烷预冷系统和原料气增压系统,投资及后期操作维护费用较高。

方案2:混合冷剂制冷。

本方案使用混合冷剂将原料气直接冷至 -70°C 。混合冷剂由多种组分组成,不同组分的沸点和物理化学性质均不同,调整冷剂配比可以更好地适应装置冷量需求和温度需求。

因为本方案直接使用混合冷剂进行制冷,对原料气压力要求较低,不需要对原料气进行增压,大大减少了

投资和运行成本,具有能耗低、 C_3 收率高、对工况变化的适应性强等特征。

通过比选,本工程选择了混合冷剂制冷的工艺方案。该方案的主要设备有:冷剂压缩机、冷箱、二次脱烃塔、脱乙烷塔、脱丁烷塔, C_3 以上产品收率 $>95\%$,且装置可适应原料气组分较大波动。

全厂工艺流程为:各区块产出气先进入原料气接收单元,脱出天然气的游离水后进入原料气增压单元,增压后的天然气进入分子筛脱水单元。湿天然气经过分子筛脱水装置脱水后,天然气中的水含量 $<1 \times 10^{-6}$,进入轻烃回收装置回收轻烃,回收生产出的LPG和稳定轻烃产品进入罐区进行储存并装车外销。脱烃后的干气部分作为场站燃料气,其它则进入外输气管网。工艺流程框图见图1,技术指标见表2。

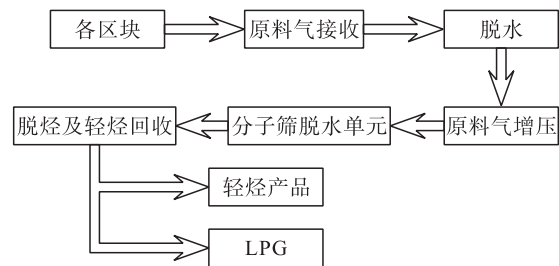


图1 工艺流程框图

表2 技术指标

建设规模	商品天然气				LPG				稳定轻烃		
处理量 / ($10^4\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	产量 / ($10^4\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	压力 / MPa	水露点 / $^\circ\text{C}$	烃露点 / $^\circ\text{C}$	产量 / ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	$\varphi_{\text{C}_3+\text{C}_4}$ / (%)	x_{C_5+} / (%)	饱和蒸汽压 (37.8°C) /kPa	回收率 / (%)	产量 / ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	
50	41.57	1.2	< -10	< -10	111	>95	≤ 3	$< 1\ 430$	>95	83.5	
水、电、燃料气消耗量		主要辅助材料消耗量					全厂能耗	“三废”排放			
水 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	电 /kW	燃料气 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	润滑油 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	分子筛 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	乙烯 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	丙烷 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	异戊烷 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	指标 / ($\text{MJ} \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^{-3}$)	废水 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	废渣 / ($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)	CO_2 / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
0.17	1 490	265	6	10	16	11	22	16 556	5	20	5 880

2.3 建设、运行风险分析

本工程通过了环境影响评价和安全评价,施工时采用塑料编织布对料堆进行覆盖,实施半封闭隔离施工^[20],压缩机和工业泵设置在封闭房间内^[21],加强项目设备的管理,尽量减少火炬事故放空的几率^[22],从源头上控制噪声。因此,该工程从建设、运行上是可行的。

2.4 经济效益分析

本工程在对天然气脱烃过程中,通过提高 C_3 收率,生产LPG和稳定轻烃。年产LPG约 $3.88 \times 10^4\text{ t}$,稳定轻烃约 $2.92 \times 10^4\text{ t}$ 。当前稳定轻烃价格约为2 500元/t^[23],LPG价格为2 900元/t,因此LPG和稳定轻烃销售年总额约1.817亿元人民币,而本工程总投资约1.596亿元,可见项目投资回报率较高,能显著提高该区块开发的经

济效益,并为实现该区块滚动开发提供了强有力的保障。

3 结论

1)从2005至2015年LPG的价格总体走向及2022年需求预计趋势来看,2022年我国LPG市场将进入短缺期,本工程建成后,市场前景良好。

2)本工程原料气来源为英东油田伴生气,属于轻质油伴生气。英东油田原油饱和烃含量较高,胶质、沥青质含量较小,原油密度为 0.85 t/m^3 ,凝固点为 10°C 。属于轻质常规原油,析蜡点为 16.5°C 。根据原料气气质特点,经比选,采用混合冷剂制冷方案。

3)LPG和稳定轻烃销售年总额约1.817亿元人民币,投资回报率较高,具有建设可行性。

参考文献:

- [1] 王治红, 吴明鸥, 李涛, 等. 提高天然气轻烃回收装置 C_{3+} 收率的方案比选——以中坝气田为例[J]. 天然气工业, 2016, 36(3): 77-86.
Wang Zhihong, Wu Ming'ou, Li Tao, et al. Comparison and selection of schemes for C_{3+} Yield Increase of Natural Gas Light Ends Units: A Case Study of the Zhongba Gasfield, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36 (3): 77-86.
- [2] 易良英. 轻烃回收工艺的方法及选择[J]. 化工管理, 2016, (31): 210-212.
Yi Liangying. Method and Selection of Light Hydrocarbon Recovery Process [J]. Chemical Enterprise Management, 2016, (31): 210-212.
- [3] 王武, 王祥, 韦颜萍. 轻烃回收工艺技术措施探讨[J]. 云南化工, 2018, 45(2): 104.
Wang Wu, Wang Xiang, Wei Yanping. Discussion on Technical Measures of Light Hydrocarbon Recovery [J]. Yunnan Chemical Technology, 2018, 45 (2): 104.
- [4] 邓亚欣. 四川某天然气轻烃回收工艺技术研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2017.
Deng Yaxin. Study on a Technology of Natural Gas Light Hydrocarbon Recovery in Sichuan [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017.
- [5] 王勇, 王文武, 呼延念超, 等. 油田伴生气乙烷回收 HYSYS 计算模型研究[J]. 石油与天然气化工, 2011, 40(3): 236-239.
Wang Yong, Wang Wenwu, Huyan Nianchao, et al. Research on HYSYS Computation Model for Improving Ethane Recovery from Oilfield Associated Gas [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2011, 40 (3): 236-239.
- [6] 张军鹏, 白聪. 天然气液化与轻烃回收联产工艺研究[J]. 石油与天然气化工, 2017, 46(4): 47-52.
Zhang Junpeng, Bai Cong. Study on Cogeneration of LNG and Light Hydrocarbon Recovery Process [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2017, 46 (4): 47-52.
- [7] 钟荣强, 付秀勇, 李亚军. 油田伴生气轻烃回收工艺的优化[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(2): 46-51.
Zhong Rongqiang, Fu Xiuyong, Li Yajun. Optimization of Light Hydrocarbon Recovery Process of Associated Gas in Oil Field [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2018, 47 (2): 46-51.
- [8] 张继东, 孟硕, 张海滨, 等. 影响 DHX 工艺 C_3 收率因素分析及工艺完善[J]. 石油与天然气化工, 2017, 46(1): 49-56.
Zhang Jidong, Meng Shuo, Zhang Haibin, et al. Influencing Factors Analysis of the C_3 Yield and Optimization of Light Hydrocarbon Recovery Unit with DHX Process [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2017, 46 (1): 49-56.
- [9] 王立敏. 中国 LPG 产业迎来第二个春天——“2015 年第 20 届中国 LPG 国际会议”综述[J]. 国际石油经济, 2015, 23(4): 77-81.
Wang Limin. China's Liquefied Petroleum Gas Industry Enters a Second Spring——Overview of the 2015 20th Annual China International LPG Conference [J]. International Petroleum Economics, 2015, 23 (4): 77-81.
- [10] 丁少恒, 蔡德洪. 近年 LPG 市场分析及未来市场需求预测[J]. 石油商技, 2008, 26(5): 74-81.
Ding Shaoheng, Cai Dehong. LPG Market Analysis and Prospect of future Market Demand [J]. Petroleum Products Application Research, 2008, 26 (5): 74-81.
- [11] 石宝明. 我国 LPG 供求分析及展望[J]. 当代石油石化, 2017, 25(5): 13-19.
Shi Baoming. China's LPG Market and Outlook [J]. Petroleum and Petrochemical Today, 2017, 25 (5): 13-19.
- [12] 王伟. 轻烃液化石油气销售积极应对市场[N]. 中国石化报, 2008-08-05(005).
Wang Wei. Light Hydrocarbon Liquefied Gas Sales Actively Respond to the Market [N]. China Petrochemical News, 2008-08-05 (005).
- [13] 张东华, 贺瑞莹. 轻烃回收工艺技术发展现状[J]. 广州化工, 2014, 42(8): 22-25.
Zhang Donghua, He Ruixuan. The Current Development of Light Hydrocarbon Recovery Process Technology [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42 (8): 22-25.
- [14] 李秀慧, 于汶加. 我国天然气供需趋势及对策建议[J]. 中国矿业, 2012, 21(8): 5-8.
Li Xiuhui, Yu Wenjia. Analysis of Natural Gas Demand and Supply in China [J]. China Mining Industry, 2012, 21 (8): 5-8.
- [15] 王力, 吴强, 陆延忠. 天然气与液化石油气抢市场[N]. 连云港日报, 2007-07-04(B01).
Wang Li, Wu Qiang, Lu Yanzhong. Market Competition of Natural Gas and Liquefied Natural Gas [N]. Lianyungang Daily, 2007-07-04 (B01).
- [16] 代龙威, 林弘光, 王建敏, 等. 我国天然气销售企业市场竞争优势比较研究[J]. 天然气技术与经济, 2016, 10(2): 61-64.
Dai Longwei, Lin Hongguang, Wang Jianmin, et al. Comparison and Research on Marketing Competition Advantages of Chinese Natural Gas Sales Enterprises [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2016, 10 (2): 61-64.

- Pressure Gradients in Pumping Wells [J]. Journal Energy Resources Technology, 1980, 102 (4): 181 - 183.
- [14] 李士伦. 天然气工程[M]. 北京:石油工业出版社,2008:38 - 41.
- Li Shilun. Natural Gas Engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 38 - 41.
- [15] 杨胜来,魏俊之. 油层物理学[M]. 北京:石油工业出版社,2004:21 - 34.
- Yang Shenglai, Wei Junzhi. Reservoir Physics [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 21 - 34.
- [16] Papadimitriou D A, Shoham O. A Mechanical Model for Predicting Annulus Bottom-Hole Pressure in Pumping Wells [C]//Paper SPE - 21669 - MS Presented at the SPE Production Operations Symposium, 7 - 9 April, 1991, Oklahoma City, Oklahoma. New York: SPE, 1991.
- [17] 布朗 K E. 升举法采油工艺:卷1[M]. 北京:石油工业出版社,1987.
- Brown K E. Artificial Lift Production Technique: Volume I [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987.
- [18] 万仁傅. 采油工程手册:上册[M]. 北京:石油工业出版社,2000:45 - 48.
- Wan Renfu. Oil Production Manual: First Volume [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 45 - 48.
- [19] 刘建仪. 采气实用计算[M]. 北京:石油工业出版社,1994:42.
- Liu Jianyi. Practical Calculation of Natural Gas Production [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 42.
- [20] 李钦道,周焱尧,张家振,等. 气井天然气三个密度的计算及分析[J]. 钻采工艺,2011,34(4):28 - 31.
- Li Qindao, Zhou Yaoyao, Zhang Jiazhen, et al. Calculation and Analysis of Gas Wellhead Density, Mean Density and Limiting Density in Gas Well [J]. Drilling & Production Technology, 2011, 34 (4): 28 - 31.
- [21] 李相方,刚涛,庄湘琦,等. 高压天然气偏差系数的高精度解析模型[J]. 石油大学学报,2001,25(6):45 - 46.
- Li Xiangfang, Gang Tao, Zhuang Xiangqi, et al. An Analytic Model with High Precision for Calculating Compressibility Factor of High-Pressure Gas [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2001, 25 (6): 45 - 46.
- [22] 胡建国,郭分乔,许进进. 计算天然气偏差因子的 DAK 方法的修正[J]. 石油与天然气地质,2013,34(1):120 - 123.
- Hu Jianguo, Guo Fenqiao, Xu Jinjin. Modification of the DAK Method for Natural Gas Z-Factor Calculation [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (1): 120 - 123.
- [23] 杨川东. 采气工程[M]. 北京:石油工业出版社,2001:41 - 58.
- Yang Chuandong. Natural Gas Production Engineering [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2001: 41 - 58.
- [24] Orkiszewski J. Predicting Two-Phase Pressure Drops in Vertical Pipe [J]. Journal of Petroleum Technology, 1967, 19 (6): 829 - 838.



(上接第 39 页)

- [17] 王飞,蔡亚庆,仇焕广. 中国沼气发展的现状、驱动及制约因素分析[J]. 农业工程学报,2012,28(1):184 - 189.
- Wang Fei, Cai Yaqing, Qiu Huanguang. Current Status, Incentives and Constraints for Future Development of Biogas Industry in China [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28 (1): 184 - 189.
- [18] 王健. 轻烃回收工艺的发展方向及新技术探讨[J]. 天然气与石油,2003,21(2):20 - 22.
- Wang Jian. New Technology of Light Ends Recovery and Its Application [J]. Natural Gas and Oil, 2003, 21 (2): 20 - 22.
- [19] 杜通林,肖春雨,程林. 天然气脱烃装置露点不合格原因分析及整改[J]. 天然气与石油,2015,33(6):25 - 29.
- Du Tonglin, Xiao Chunyu, Cheng Lin. Analysis on Factors Responsible for Nonconformity of Hydrocarbon Dew Point Control Unit and Corresponding Improvement Measures [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (6): 25 - 29.
- [20] 钟鼎文,王学勤,邵敏华. 城市道路半封闭施工交通组织方法探讨[J]. 城市道桥与防洪,2014,(5):153 - 158.
- Zhong Dingwen, Wang Xueqin, Shao Minhua. Discussion of Traffic Organization Method in Semi-closed Construction of Urban Road [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2014, (5): 153 - 158.
- [21] 辛成,欧阳峰,师春元,等. 天然气净化厂噪声污染状况分析及治理对策[J]. 石油与天然气化工,2004,33(5):366 - 368.
- Xin Cheng, Ouyang Feng, Shi Chunyuan, et al. The Noise Situation and Mitigation Measures in Natural Gas Purification Plant [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2004, 33 (5): 366 - 368.
- [22] 李广植,白义. 石油化工厂火炬噪声和放空噪声对环境的影响分析[J]. 化工环保,1992,(6):351 - 355.
- Li Guangzhi, Bai Yi. Analysis on the Influence of Torch Air Discharge Noise in Petrochemical Plant on Environment [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 1992, (6): 351 - 355.
- [23] 杨俊玮. 明港液化气公司定价策略研究[D]. 长沙:湖南大学,2015.
- Yang Junwei. Study on Pricing Strategy of Minggang Liquefied Petroleum Gas Co., Ltd. [D]. Changsha:Hunan University, 2015.