

天然气液化及轻烃回收联合工艺 开发及应用

张 超*

(中海油石化工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要:针对南海某油气田陆上终端天然气液化项目中天然气的性质和规模,对前置脱轻烃低压液化工艺、前置脱轻烃高压液化工艺、后置脱轻烃低压液化工艺和后置脱轻烃高压液化工艺 4 种路线和技术进行了模拟计算和分析对比,包括能耗、设备投资和运行成本等,通过优化比较,最终确定了优先选择前置脱轻烃低压液化工艺流程技术。前置脱轻烃低压液化工艺具有流程、工艺控制、开工过程简单,操作稳定的特点,同时该工艺主要设备数量最少,建设投资最少,财务净现值和内部收益率也具有优势。

关键词:天然气液化;轻烃回收;工艺技术;能耗;经济性

中图分类号:TE645

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2021)02-0246-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2021.02.046

Development and application of united process for light hydrocarbon recovery and natural gas liquefaction

ZHANG Chao*

(CNOOC Petrochemical Engineering Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: A coastal oil and gas field onshore terminal natural gas liquefaction project is taken as the research object. According to the properties and scale of natural gas, four kinds of process routes and technologies, including prepositive light hydrocarbon-removing low pressure natural gas liquefaction process, prepositive light hydrocarbon-removing high pressure natural gas liquefaction process, postpositive light hydrocarbon-removing low pressure natural gas liquefaction process and postpositive light hydrocarbon-removing high pressure natural gas liquefaction process, are simulated, analyzed and compared in the aspects of energy consumption, equipment investment and operation cost. Through optimization and comparison, prepositive light hydrocarbon-removing low pressure natural gas liquefaction process is determined as the optimal process technology, which has the advantages of simple process, simple process control, simple start-up process and stable operation. In addition, it needs the fewest number of main equipment and the smallest construction investment, and shows advantages in the financial net present value and internal rate of return.

Key words: natural gas liquefaction; light hydrocarbon recovery; process and technology; energy consumption; economy

随着低碳资源的广泛应用,天然气以优质、清洁、高效的特点,在能源消费结构中的占比日益增加^[1]。天然气液化技术将气态天然气进行深冷至 -165°C ,使之由气态变成液态,大大缩小存储体积,便于存储和运输。尤其针对零散小油气田、边缘油气田或非常规油气田的天然气,若采用管输,存在经济性差的问题,宜将天然气液化进行运输和存储^[2-3]。

天然气液化前,需要进行脱酸、脱汞和脱水处理^[4]。处理后天然气含有较高的 C_2^+ 组分,重组分含量较高会影响气化后天然气的烃露点和热值,并带来一系列安全隐患和环境问题^[5-6],因此还需要

进行轻烃回收,回收高附加值的丙烷,带来额外经济效益。

我国在天然气轻烃回收和液化方面的研究起步较晚,很多关键技术不够成熟。目前,天然气轻烃回收装置和天然气液化装置通常是独立的 2 套装置,2 套装置不存在热联合,造成装置能耗较高,流程较为复杂,同时装置投资较高^[7-8]。本文中以我国南海正在实施的某油气田陆上终端项目为研究对象,开发高度集成的天然气液化及轻烃回收联合工艺,同时对项目工艺技术进行研究和比选,从工艺流程、能耗、装置投资等多方面出发,确定最优工艺技术方案。

收稿日期:2020-10-16;修回日期:2020-11-28

作者简介:张超(1987-),男,硕士,工程师,研究方向为石油炼制和天然气处理与加工,通讯联系人,zhangchao50@cnooc.com.cn。

1 天然气规模及性质

本项目南海某油气田原料天然气组分如表1所示。

表1 天然气组分表 %

组分	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	C ₅ ⁺	N ₂	CO ₂	H ₂ O
摩尔分数	66.52	14.85	10.94	4.08	0.77	0.43	2.10	0.31

经过脱酸、脱汞和脱水预处理后,天然气工艺参数:温度40℃,压力3.5 MPa,流量26万 m³/d。

由表1天然气组成可以看出,天然气中丙烷及以上组分含量高,约占16%,需要回收天然气中的高附加值丙烷组分来消除天然气的安全隐患,同时带来额外经济效益。对于天然气中应用较广且附加值高的乙烷组分,由于回收乙烷技术耗冷量大、能耗高、装置流程复杂、投资大且天然气规模较小,经核算回收乙烷经济效益差,故暂不考虑增设回收乙烷流程。由原料气的规模可知,本项目天然气处理规模较小,从简化工艺流程、降低装置投资、安全性和可靠性等方面考虑,宜采用单混合制冷液化工艺。为减少装置投资、降低装置能耗、简化工艺流程,现

将天然气液化和轻烃回收2个工艺进行综合考虑,开发高度集成的联合装置,提高经济效益。

2 天然气液化及轻烃回收联合工艺选择

对天然气液化工艺的选择,主要从以下几个方面考虑:①天然气液化装置规模;②天然气原料组分;③天然气轻烃回收对液化工艺的影响。

从工艺流程、能耗、装置投资等多个方面对比和研究,针对本项目原料气特点和规模,提出前置脱轻烃低压液化工艺、前置脱轻烃高压液化工艺、后置脱轻烃低压液化工艺和后置脱轻烃高压液化工艺4个工艺技术方案。通过计算和优化,4种工艺技术方案丙烷回收率均设为90%。

2.1 前置脱轻烃低压液化工艺

前置脱轻烃低压液化工艺流程见图1。天然气经脱酸脱水后,直接进入脱乙烷塔,塔顶采用脱乙烷塔顶气的冷凝液作为回流,将天然气中的大部分丙烷以上组分脱除。脱乙烷塔顶的气体经冷却后的气相直接去冷箱进行液化,由于受到脱乙烷塔操作压力的限制,天然气液化部分的压力为3.0 MPa左右。

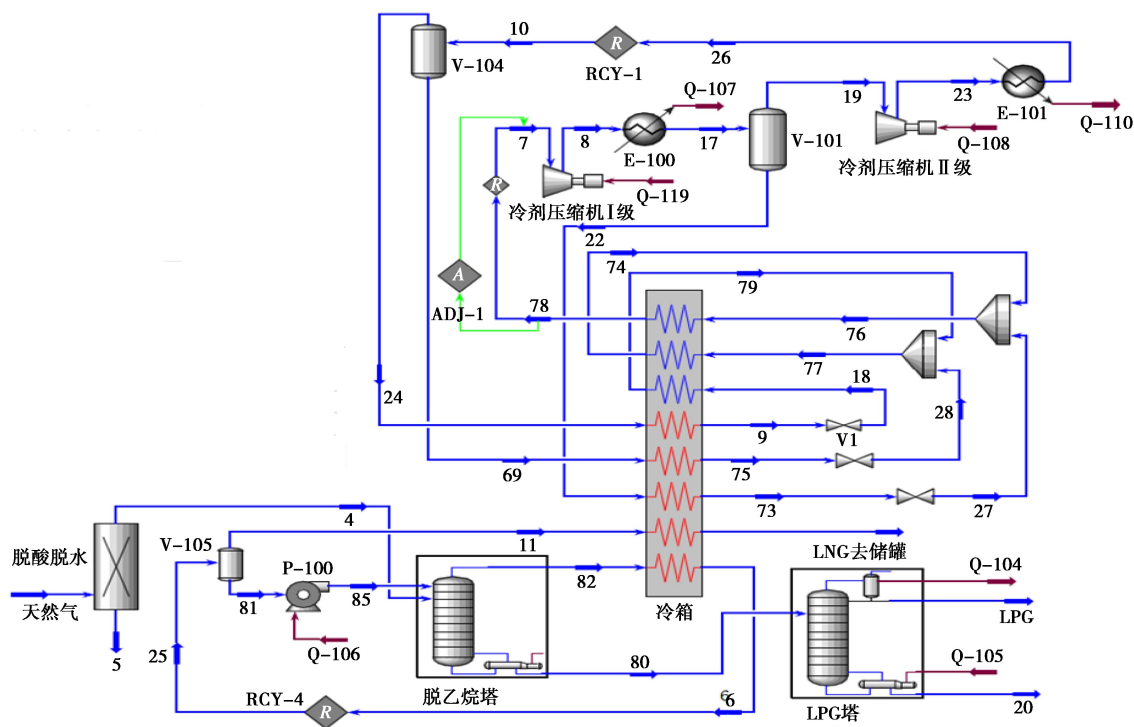


图1 前置脱轻烃低压液化工艺流程

2.2 前置脱轻烃高压液化工艺

前置脱轻烃高压液化工艺流程见图2。天然气经脱酸脱水后,直接进入脱乙烷塔,塔顶采用脱乙烷

塔顶气的冷凝液作为回流,将天然气中的大部分丙烷以上组分脱除。脱乙烷塔顶的气体经冷却后的气相先去冷箱复热,然后再压缩到约5.0 MPa后去液化。

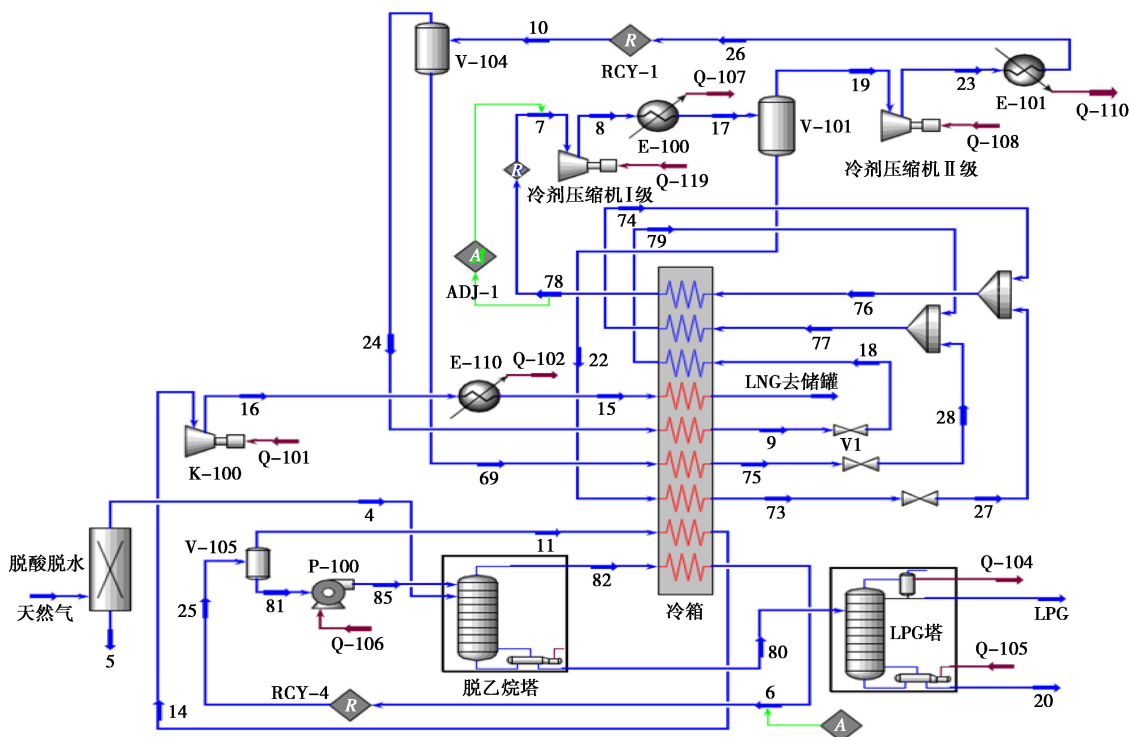


图 2 前置脱轻烃高压液化工艺流程

2.3 后置脱轻烃低压液化工艺

后置脱轻烃低压液化工艺流程见图 3。天然气经脱酸脱水后,先经冷箱预冷并进行气液分离,分离

的气相和液相采用脱乙烷塔和重接触塔工艺进行轻烃脱除,脱除轻烃的天然气去液化。受脱乙烷塔操作压力的限制,液化压力在 3.0 MPa 左右。

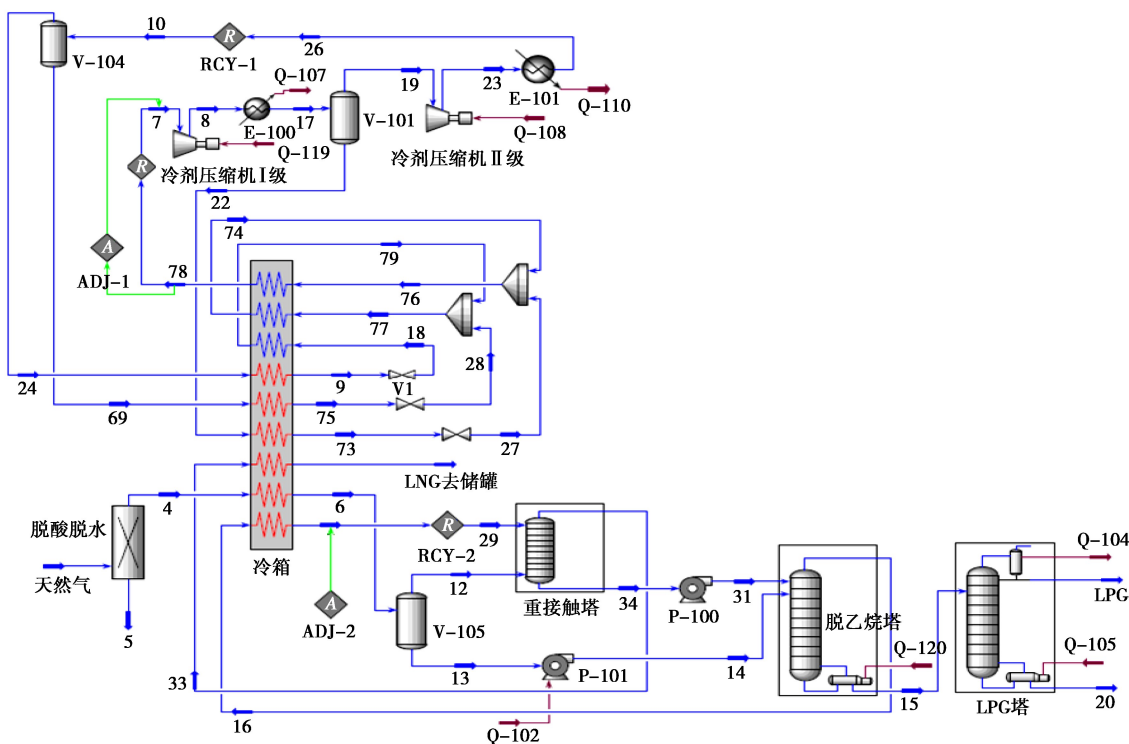


图 3 后置脱轻烃低压液化工艺流程

2.4 后置脱轻烃高压液化工艺

后置脱轻烃高压液化工艺流程见图 4。天然气经脱酸脱水后,先经冷箱预冷并进行气液分离,分离

的气相和液相采用脱乙烷塔和重接触塔工艺进行轻烃脱除,脱除轻烃的天然气经冷箱复热后,再压缩至约 5.0 MPa 左右进行液化。

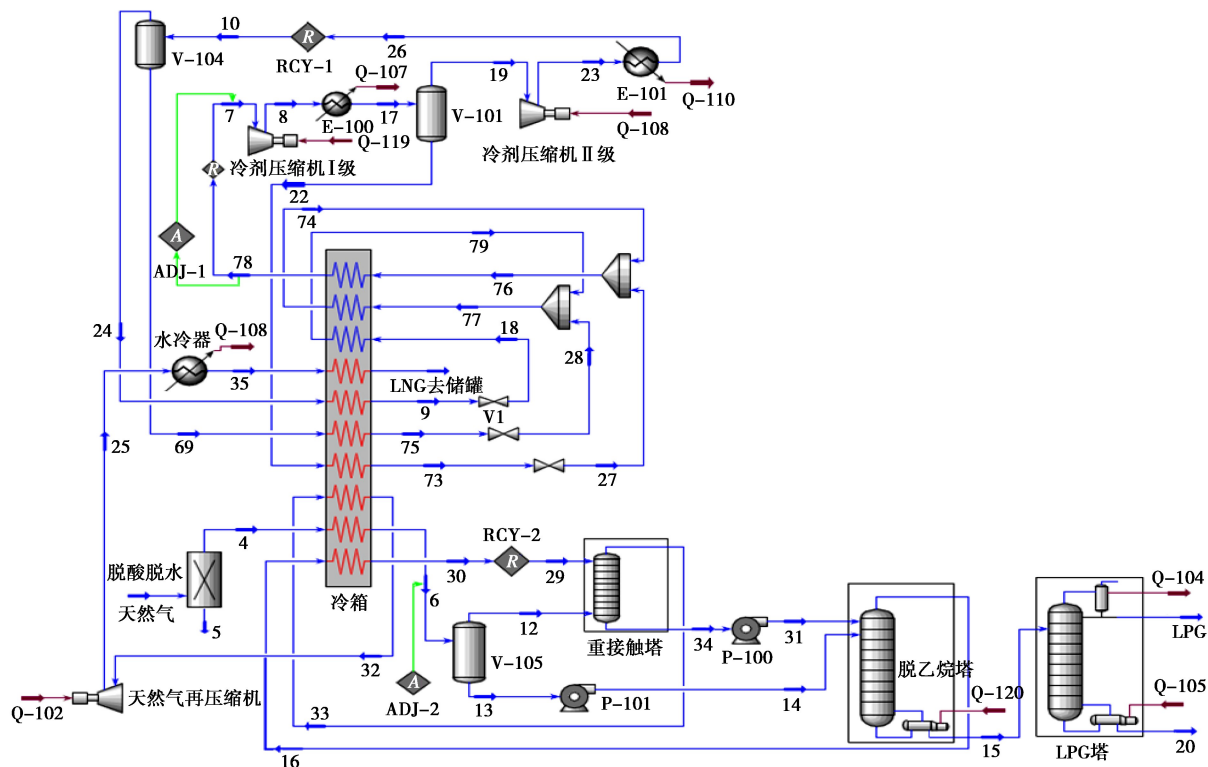


图 4 后置脱轻烃高压液化工艺流程

2.5 工艺技术对比

通过 HYSYS 流程模拟软件,对 4 个技术方案进行工艺流程模拟计算,对各工艺技术能耗、主要设备数量、经济性等进行对比。在各工艺参数优化的基础上,流程模拟计算的能耗结果见表 2 所示。

表 2 不同工艺技术能耗对比表 kW

工艺技术	前置脱轻烃低压液化工艺	前置脱轻烃高压液化工艺	后置脱轻烃低压液化工艺	后置脱轻烃高压液化工艺
能耗	3021	2911	2874	2771

由表 2 可知,后置脱轻烃工艺能耗普遍低于前置脱轻烃工艺,高压液化工艺能耗普遍低于低压液化工艺,后置脱轻烃高压液化工艺能耗最低,但各工艺技术的能耗相差不大。

不同的工艺技术路线主要设备数量存在差异,主要表现为高压液化技术需要增加压缩机,后置脱轻烃工艺需要增加重接触塔,不同工艺技术的主要设备汇总见表 3 所示。

由表 3 可知,前置脱轻烃低压液化工艺主要设备数量最少,后置脱轻烃高压液化工艺主要设备最多。主要因为高压液化工艺需要增设压缩机用于天

表 3 不同工艺技术的主要设备汇总表

工艺	脱乙烷塔/个	LPG 塔/个	重接触塔/个	压缩机/台	冷箱
前置脱轻烃低压液化工艺	1	1	—	1	各方案均为 1 台,总热负荷 8.0~8.5 MW
前置脱轻烃高压液化工艺	1	1	—	2	
后置脱轻烃低压液化工艺	1	1	1	1	
后置脱轻烃高压液化工艺	1	1	1	2	

然气的二次增压,后置脱轻烃工艺需要增加重接触塔用于回收丙烷。因此,在主要设备数量方面前置脱轻烃低压液化工艺占有优势。

从建设投资、财务净现值和内部收益率 3 个方面出发,对 4 种工艺技术进行经济性对比分析,具体对比结果见表 4 所示。

表 4 各工艺技术经济性对比

工艺技术	建设投资/万元	财务净现值/万元	内部收益率/%
前置脱轻烃低压液化工艺	8149	1286	14.32
前置脱轻烃高压液化工艺	9204	330	11.00
后置脱轻烃低压液化工艺	8292	1313	14.24
后置脱轻烃高压液化工艺	9351	441	11.31

由表 4 可知,从建设投资方面,建设投资从高到低依次为前置脱轻烃低压液化工艺、后置脱轻烃低压液化工艺、前置脱轻烃高压液化工艺、后置脱轻烃高压液化工艺。前置脱轻烃低压液化工艺和前置脱轻烃高压液化工艺 2 个工艺技术建设投资最少,且 2 种工艺投资相差不大。从财务净现值方面,从高到低依次为后置脱轻烃低压液化工艺、前置脱轻烃低压液化工艺、前置脱轻烃高压液化工艺、后置脱轻烃高压液化工艺。前置脱轻烃低压液化工艺和前置脱轻烃高压液化工艺财务净现值明显优于另外 2 种工艺技术。从内部收益率方面,和建设投资、财务净现值趋势一致,前置脱轻烃低压液化工艺和前置脱轻烃高压液化工艺内部收益率明显高于另外 2 种工艺技术,且 2 种工艺技术内部收益率相差不大。

根据不同工艺技术的流程复杂程度、操作难易度、能耗、主要设备数量和经济性,结合项目规模和组分,对 4 种工艺技术进行综合比较发现:前置脱轻烃低压液化工艺和前置脱轻烃高压液化工艺优于另外 2 种工艺技术。前置脱轻烃低压液化工艺流程最简单,既不需要增设重接触塔,也无需增加压缩机数量,且冷箱工艺物流数量最少,冷箱结构简单。同时,由于后置脱轻烃低压液化工艺操作不稳定,工艺控制、开工过程较为复杂。因此,选取前置脱轻烃低压液化工艺作为本项目的最优工艺技术方案。

3 结论

本文中工艺技术的选择研究是在建立的工艺流程模拟的基础上开展的,对各工艺技术的工艺特点、主要设备数量、能耗、经济性等进行综合对比,确定

了最优的工艺技术方案,主要结论如下。

(1)本项目天然气液化规模较小,宜采用单混合制冷液化工艺。

(2)根据天然气组成中含有大量的丙烷组分,考虑回收轻烃,将轻烃回收和液化设置成联合工艺,简化工艺流程。

(3)前置脱轻烃低压液化工艺具有流程、工艺控制、开工过程简单,操作稳定的特点。

(4)在能耗方面,4 种工艺技术方案相差不大;前置脱轻烃低压液化工艺主要设备数量最少;前置脱轻烃低压液化工艺和前置脱轻烃高压液化工艺在经济性方面具有优势。

(5)根据不同工艺技术的流程、操作难易度、能耗、主要设备数量和经济性,确定前置脱轻烃低压液化工艺为最优的工艺技术方案。

参考文献

- [1] 顾安忠.液化天然气技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 刘英波.液化天然气装置净化与液化工艺关键技术研究[J].当代化工,2016,45(11):2593-2595.
- [3] 顾安忠,石玉美,汪荣顺,等.天然气液化流程及装置[J].深冷技术,2003,(1):1-6.
- [4] 金海刚.LNG 轻烃回收和冷能发电组合工艺[J].山东化工,2019,48(9):153-154.
- [5] Bai F F,Zhang Z X.Integration of low-level waste heat recovery and liquefied nature gas cold energy utilization[J].Chinese Journal of Chemical Engineering,2008,16(1):95-99.
- [6] 尹全森,李红艳,季中敏,等.混合制冷剂循环的级数对制冷性能的影响[J].化工学报,2009,60(11):2689-2693.
- [7] 林文胜,顾安忠,朱刚.天然气液化装置的流程选择[J].真空与低温,2001,7(2):105-109.
- [8] 罗小武.天然气净化工艺技术研究与应用[J].天然气与石油,2006,24(2):30-34.■
- [9] Tjoa I B,Biegler L T.Simultaneous strategies for data reconciliation and gross error detection of nonlinear systems[J].Computers & Chemical Engineering,1991,15(10):679-690.
- [10] Jin S Y,Li X W,Huang Z J,et al.A new target function for robust data reconciliation[J].Industrial and Engineering Chemistry Research,2012,51(30):10220-10224.
- [11] Llanos C E,Sánchez M C,Maronna R.Robust estimators for data reconciliation[J].Industrial and Engineering Chemistry Research,2015,54(18):5096-5105.
- [12] Mah R S,Stanley G M,Downing D M.Reconciliation and rectification of process flow and inventory data[J].Industrial & Engineering Chemistry Process Design & Development,1976,15(1):175-183.
- [13] Mah R S H,Tamhane A C.Detection of gross errors in process data[J].Aiche Journal,2010,28(5):828-830.
- [14] Narasimhan S,Mah R S H.Generalized likelihood ratio method for gross error identification[J].Aiche Journal,1987,33(9):1514-1521.
- [15] Tong H,Crowe C M.Detection of gross errors in data reconciliation by principal component analysis[J].Aiche Journal,2010,41(7):1712-1722.
- [16] 刘宝卫,赵霞,吴胜昔,等.过程测量数据校正技术在甲醇工厂的在线应用[J].自动化仪表,2008,29(2):20-23.
- [17] 蒋志能,赵霞,潘兆鸿.MT-GLR 在甲醇工厂数据协调中的应用[J].自动化仪表,2009,30(7):25-27.
- [18] 翁惠瑜.基于差分进化算法的数据校正及其在甲醇合成装置中的应用[D].上海:华东理工大学,2012.
- [19] 蒋海金.Davy 合成塔中心管改造提产能的应用[J].山西化工,2018,38(6):142-145.
- [20] 孙晋东.流程模拟在中煤榆林甲醇装置增产扩能改造中的应用[D].北京:北京化工大学,2017.
- [21] 宋卫卫.基于测量数据冗余性的显著误差检测方法[D].上海:华东理工大学,2013.
- [22] 张红森.稳态数据校正方法在烯烃分离中的应用[D].大连:大连理工大学,2018.■

(上接第 245 页)