

焓分析法在轻烃回收工艺过程中的应用

陈 慧 芳

(华北石油勘探设计院)

内容提要 轻烃回收装置既是能源系统,也是用能系统。因此如何减少能耗、合理用能日益受到人们的重视。本文从准确评价用能系统的质量优劣并揭示其最大薄弱环节,以及实现用能设备最优化设计等三方面介绍了焓分析法在轻烃回收工艺过程中的应用。

焓分析法在轻烃回收中应用的意义

从天然气(油田伴生气、气藏气)中回收乙烷或丙烷以上轻烃是综合利用天然气资源的一项重要措施。近年国内已有不少轻烃回收装置投产。

对这些采用不同原料气,不同工艺流程的装置,不仅要求轻烃收率高,而且要求能耗低。前一时较重视提高收率,对合理用能、降低能耗关注不够,近年虽有改进,但对能耗的分析大多是用传统的能量平衡法。

焓分析是近30年间迅速发展的热力学分析法。在欧美各国已广泛用于能源利用、动力、低温工程、制冷、化工、冶金等部门。近几十年我国也在这些领域中作了研究。

传统的用能和节能只从能量平衡来考察,只集中于减少系统能量的泄漏和排放,以提高能量的利用率。但如果从合理选择过程推动力和实现能量最佳转换观点来考察用能和节能,人们就会关心技术上可用来作功的那部分能量即焓,就会重视减少系统内部因种种不可逆因素造成的能量贬值即内部焓损,减少泄漏和排放能量中的焓损²。这

种用能就是焓,节能就是节焓的分析法可以准确评价用能系统的能质优劣,揭示用能系统的最大薄弱环节,取得用能设备的最优化设计。近年人们还进一步用于热经济分析,以实现技术经济的综合优化。

轻烃回收过程及各单元设备或过程的焓损如何,焓损最大薄弱环节是什么,怎样获得优化条件等,近年来国内外不少人从事这方面的研究工作,并取得了良好的进展。本文就这方面的一些文献加以综述,供有关人员参考。

焓分析法对不同工艺过程评价作为选择方案的重要依据

近年国外对几种不同的轻烃回收工艺过程进行了焓分析比较。

1. 透平膨胀机制冷和PetroFlux工艺过程比较^[4]。

PetroFlux过程(图1)是新工艺,能耗比透平膨胀机制冷工艺过程要低得多。其物料平衡见表1。

这两种过程的焓分析结果见表2。

由表可知,PetroFlux过程比透平膨胀机制冷过程节能约794.3kw,即前者的分离

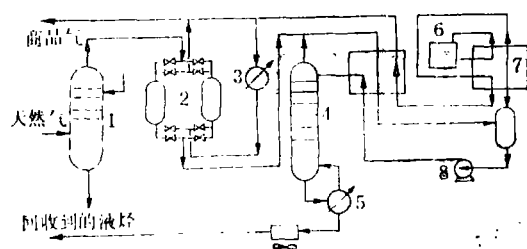


图1 PetroFlux 工艺过程示意图

- 1.甘醇系统; 2.干燥气; 3.加热器;
4.脱甲烷塔(或脱乙烷塔); 5.重沸器;
6.制冷系统; 7.回流换热器; 8.冷冻系统

PetroFlux 工艺过程总物料平衡 表 1

物 流	原料气	天然气液体 (NGL)	商品气
组成 (mol %)			
C ₁	90.3	/	93.7
C ₂	6.4	15	6.1
C ₃ ⁺	3.5	85	0.2
小 计	100.2	100	100
流率 (m ³ /h)	27930	1060	26780
压 力 (MPa)	3.8	2.2	3.6
温 度 (℃)	38	38	32

效率远比后者高。

PetroFlux 过程具有以下特点:

(1) 透平膨胀机制冷过程中, 高压天然气流经膨胀机时输出外功压力降低, 在要求高压商品气的场合, 仍需将膨胀后的低压气

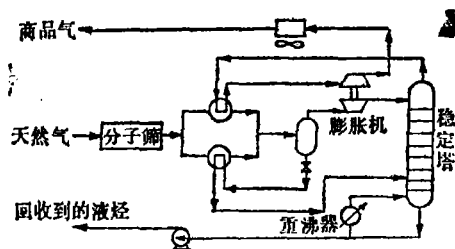


图2 透平膨胀机制冷工艺过程示意图

再压缩, 其能耗是可观的。PetroFlux 过程

不同工艺过程的能量损失 表 2

工 艺 过 程		透平膨胀机	PetroFlux
最小分离功 [※] kW		66.2	66.2
装 置 损 失 (kW)	压 缩	191	132.4
	一般换热器	346	132.4
	低温换热器	242.7	147
	膨胀机/增压机	324	
	稳 定	154.5	14.7
	阀门、混合、泵及其他		36.8
小 计		125.8	463.4
分离效率 (%)		5	12.5

※ 为原料变成产品的最小分离功即原料气所处温度、压力下原料气与产品之间的焓值差。

压力能损失较小(见表1), 经处理后可获得较高压力商品气, 并可用中、低压天然气为原料气, 得到较高的轻烃收率。

(2) 回流换热器的操作压力高于透平膨胀机制冷过程中的稳定塔压力, 因而提高了制冷温度, 降低了能耗。

(3) PetroFlux过程的传热温差普遍比透平膨胀机制冷过程要小得多(图3), 明显降低了换热系统的焓损。

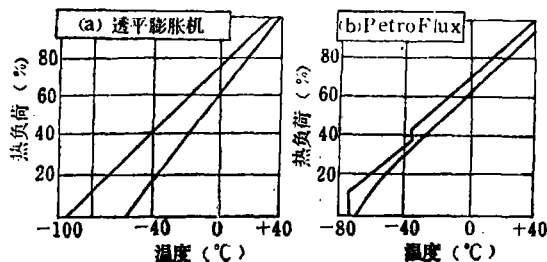


图3 不同工艺过程冷却曲线比较

2. 两种回收液化天然气 (LEG) 工艺过程比较⁵

对单一压力及混合制冷剂制冷过程(图4)和丙烷预冷及混合制冷剂制冷过程(图5)进

行的焓分析比较结果列于表3。

由表3可知,A工艺焓损比B工艺要大。A焓损较大的原因可能是由于采用沸点范围较宽的混合制冷剂(含有 N_2 , $C_1 \sim C_5$)引起的,这比采用沸点范围较窄的混合制冷剂(含

两种回收LNG工艺过程的焓损失比较

表3

过程特点		A※		B※	
操作方式		过冷	过冷	闪蒸	
焓损 (10^4 kJ/h)	丙烷制冷剂换热器	—	23.1	22.9	
	主换热器	100.2	43.3	42.9	
	混合制冷剂预冷冻	70.1	24.4	25.2	
	混合制冷剂压缩机	55.3	37.2	35.8	
	丙烷压缩机		13.6	13.3	
	燃料的进料	0.7	0.7	0.1	
	燃料气压缩	2.6	2.6	4.0	
	LNG储袋	5.9	5.9	2.8	
	闪蒸换热器及LNG泵送	—	—	3.3	
小计		234.8	150.8	150.3	

※A——为单一压力、混合制冷剂, B——为丙烷于冷、混合制冷剂。

N_2 , $C_1 \sim C_3$)所引起的不可逆性要大。由表3还可知,后者中的闪蒸方式比过冷方式略好。

由此可知,用焓分析法评价过程用能优劣后,就可以从中选择用能合理、焓损较小的工艺过程。

对过程子系统进行焓分析,找出最大薄弱环节

轻烃回收过程由压缩、换热、制冷、分馏等子系统组成。其焓损在过程焓所占的比

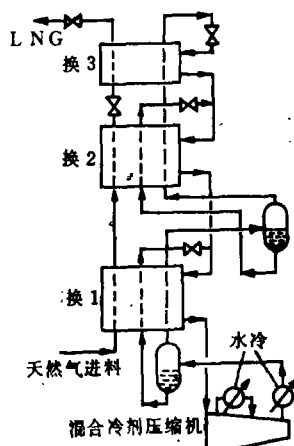


图4 单一压力及混合制冷剂

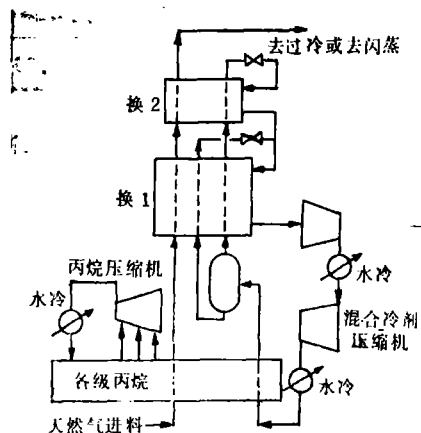


图5 丙烷预冷及混合制冷剂

例不同,因此需对各个子系统的焓损过程进行比较,找出最大薄弱环节以提高整个过程的焓效率。当遇到不可能减少的最大焓损环节,则不再费精力去研究^[6]。

表2~表3列出了上述过程各子系统的焓损。近年来国内在这方面也作了不少工作。

1. 低压油田伴生气的轻烃回收工艺过程*

华北油田任北轻烃回收装置是低压油田伴生气为原料(图6),其组成见表4,图6中主要工艺参数见表5。其工艺过程分为压

*据项新耀、王遇冬、姜慧娟资料

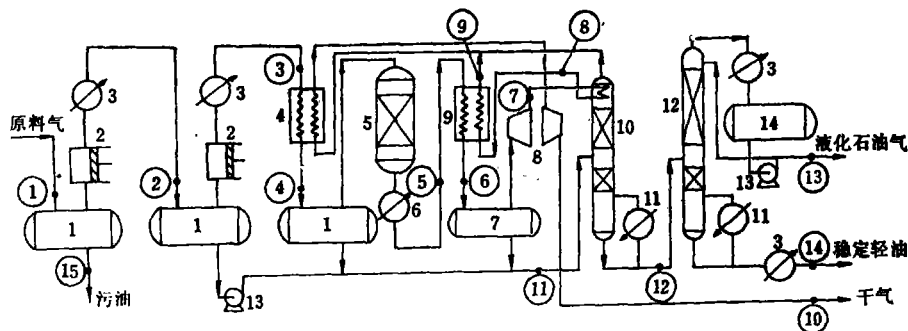


图6 任北轻烃回收工艺过程示意图

1.分离器, 2.压缩机, 3.水冷器, 4.复热器, 5.干燥器, 6.氨冷器, 7.低温分离器, 8.膨胀机、增压机, 9.主换热器, 10.脱乙烷塔, 11.重沸器, 12.回流罐, 13.泵

任北轻烃回收工艺过程原料气组成

表 4

组 分	CO ₂	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉ ⁺	合计
组成 (mol %)	4.58	1.79	59.36	6.48	12.02	2.67	6.54	1.93	1.88	1.34	0.96	0.32	0.13	100.0

任北轻烃回收工艺过程主要工艺参数

表 5

物 流 号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
压力, MPa (绝)	0.15	0.53	2.11	2.19	2.17	2.16	0.39	0.38	0.37	0.53	1.39	1.42	1.29	1.33
温 度, ℃	20	40	40	18	-16	-32	-80	-68	-22	55	-1	79	61	45
流率 (m ³ /h) ※	1344									1152				

※: 基准状态 (20℃, 0.1013 MPa) 下体积, 下同。

缩、换冷、能量回收、脱乙烷、轻油稳定及干燥再生等六个子系统进行焓分析, 各子系统的焓损及整个工艺过程的焓平衡见表6。

环境态为25℃, 0.1013MPa。

由表6可看出:

(1) 该过程换冷子系统 (包

任北轻烃回收焓平衡

表 6

能耗项目	总能耗	有效焓	子 系 统 焓 损					
			压缩	换冷	干燥再生	能量回收	脱乙烷	轻油稳定
焓 (10 ⁴ kJ/h)	95.0	12.1	19.7	25.9	3.4	12.3	10.5	11.1
平衡 (%)	100	12.7	20.7	27.3	3.6	12.9	11.1	11.7

括冷冻) 焓损最大, 主要是换热器的传热温差较大。为减少换热器的不可逆性, 可采用两种措施。一是混合冷剂 (如过程液化石油气, 组份是C₃、C₄) 代替氨冷剂; 二是将膨胀机出口的气液流进行分离, 分出的低温液烃增压、复热后送至脱乙烷塔。这不仅可提高液烃收率, 也可降低氨冷器及主换热器

的传热温差, 从而减少换冷子系统的焓损。

(2) 压缩子系统的焓损也很大。一是压缩机内部的焓损; 二是在压缩过程中只有用于增加工质压焓的那部分压缩功转换为有效焓, 而用于增加工质焓焓以及用于克服摩擦的那部分压缩功, 则均以热的形式被冷却水带走, 形成该系统的外部焓损。因此, 选用

高效压缩机及确定压缩机的最佳工作条件,充分利用原料气的压能以减少压缩机的耗焓是减少整个工艺过程焓损的一项有效措施。

(3) 该工艺过程由于采用了膨胀机制冷,使大部分干气余压转换为功,因此焓效率还是较高的。但是由于进行焓分析时曾作了一些简化,诸如流动阻力、散热及泄漏引起的焓损均忽略不计等,因此该工艺过程的实际焓效率将低于12.7%。

2. 高压原料气的轻烃回收工艺过程*

四川中坝轻烃回收是以高压气藏气为原料,制冷液化系统各个设备按其功能可分为换冷、节流混合、过滤及透平膨胀机制冷4个子系统(图7)。其主要工艺参数见表7。原料气组成见表8。

该系统中,天然气从3.09MPa降到1.63MPa作功制冷,故选用干气出冷箱的状态作环境态和原料气组成作基准物组成。制冷液化系统热平衡与焓平衡见表9,各子系统的焓效率见表10。

由表9、10可看出:

(1) 该系统的焓效率较高。主要以高压

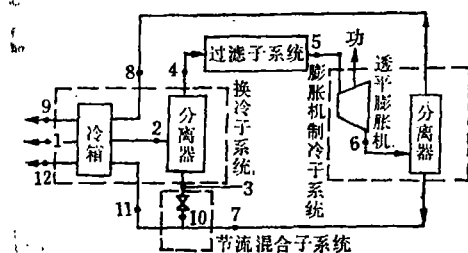


图7 中坝轻烃回收工艺过程

中坝制冷液化系统主要工艺参数

表7

物 流 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
压力, (MPa)	3.09	3.07	3.07	3.07	3.06	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.59
温度, (℃)	26.5	-56.1	-56.1	-56.1	-56.0	-78.6	-78.6	-78.6	23.7	-66.9	-70.9	-9.5
流率, (m ³ /h)	2189								1991			

中坝制冷液化系统原料组成

表8

组 分	CO ₂	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉ +	合计
组成 (mol %)	0.53	0.18	90.77	5.81	1.60	0.32	0.34	0.12	0.09	0.09	0.07	0.03	0	100.0

中坝制冷液化系统的焓平衡和热平衡

表9

焓 平 衡				热 平 衡					
供给焓	焓 损 失	有效焓	焓效率	系统产冷量	跑冷损失	跑冷损失率	不完全复热损失	不完全复热损失率	系统冷效率
10 ⁴ (kJ/d)	10 ⁴ (kJ/d)	10 ⁴ (kJ/d)	(%)	10 ⁴ (kJ/d)	10 ⁴ (kJ/d)	(%)	10 ⁴ (kJ/d)	(%)	(%)
351.1	227.0	124.1	35.34	154.5	29.1	18.86	23.97	15.52	65.62

气藏气为原料,直接利用井口天然气的压焓,减少因原料气压缩带来的焓损。此外,系统所需冷量的95%以上靠高压天然气经膨胀机对外作功获得。

当考虑脱水、距CO₂和天然气液分离及其他子系统焓损的影响,其焓效率<35.34%。

(2) 焓损主要分布在膨胀机制冷和换冷

* 据罗荣全、金汀资料

子系统。膨胀机制冷子系统焓损较大的原因是受机器结构和制造条件限制,而换冷子系统焓损则主要与传热温差较大有关。

中坝制冷液化系统各子系统焓损 表10

子 系 统	换冷	节流混合	过滤	膨胀机制冷	总焓损
焓损 (10^4 kJ/d)	91.4	5.3	3.8	126.5	227.0
焓损率 (%)	40.3	2.3	1.7	55.7	100.0

上述两例的焓分析结果基本上是一致的,概括起来主要为以下几点。

(1) 对于以高压气藏气为原料的轻烃回收装置,充分利用井口压力进行多级分离,提高原料气压力是提高整个轻烃回收工艺过程焓效率的一个重要措施。

(2) 换冷与膨胀机制冷子系统的焓损在过程总焓损中占有较大的比例。因此,降低换冷设备传热温差与压降,改进膨胀机结构提高其绝热效率均可减少过程的焓损。

利用焓分析法实现设备的用能最优化设计

轻烃回收装置主要设备有分离器、换热器、分馏塔、驱动系统和膨胀机等。利用焓分析法可以确定物流经这些设备时的焓损及其原因,估算改进设备设计或工艺条件后可能减少的焓损,若进而以最高系统焓效率为目标为函数,求解出相应的工艺参数,则可实现设备用能最优化设计。

对于分馏塔等设备,可以通过选择更合适的进料塔板位置、增加平衡级数以及合理选择回流比来减少分馏塔内的不可逆性。对于压缩机,应选择最佳的压缩比、冷却条件及进气温度。一般来说采用膨胀机代替焦耳-汤姆逊阀可以提高焓效率。对于焦耳-汤姆逊阀来说,物流为过冷液体时比饱和液体或蒸汽更为有效^[5]。

通过对两种不同形式的脱乙烷塔进料的焓分析可知^[17],图7a的进料形式优于图7b。因前者由两股物流混合,其焓损小于后者三股物流混合的焓损失。当然,脱乙烷塔究竟采用几股进料,则需从工艺操作、设备投资及合理用能等方面综合考虑。

当从传热温差、传热的温度水平及压力损失等三个主要方面分析了对换热器内过程性能的影响后指出^[18],表面换热器中由于不可逆性可能出现两种焓损,一是由于有限温差传热造成的,二是由于流动阻力所造成。所谓换热器的焓优化,就是调整设计参数使上述两项的焓损总和最小。为此,一方面要针对顺流或逆流换热选择适当的热流初温及水当量,另一方面要在冷流侧选择合适的流速及相应的流动阻力损失。

以上介绍有关轻烃回收工艺过程中主要设备的最优化设计问题。只是单元设备的焓分析最优化设计,往往难以实现,常需采用系统的焓分析最优化设计。此外,焓分析优化只是一种技术优化。只有将焓分析结果与设备投资及运行维修等经济因素结合才是技术经济的综合优化^[3]。

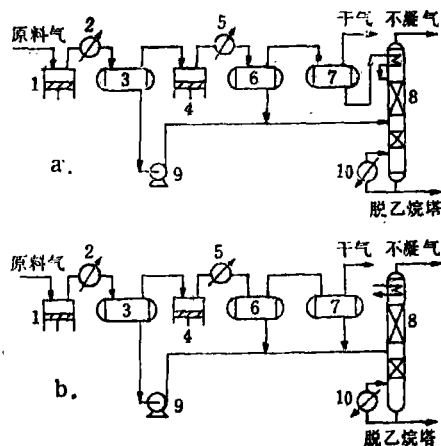


图8 两种不同形式的脱乙烷塔进料

1.一级压缩机, 2.一级冷水器, 3.一级分离器, 4.二级压缩机, 5.二级冷水器, 6.二级分离器, 7.低温分离器, 8.脱乙烷塔, 9.一级凝析油泵, 10.重沸器

下转 (100页)

81 Calculation of Natural Gas Viscosity and Its Computer Program

This paper proposes a set of calculation formulas of natural gas viscosity which are obtained from computer fitting by use of the chart concerned. The viscosity values calculated by this set of calculation formulas are uniform with the values obtained from the chart. Based on this set of calculation formulas, a computer program had been worked out, which can be applied in the design calculation concerned.

Jiang Huanbin

85 Modelling of Selectively Adsorbing H_2S Process in MDEA Aqueous Solution in Plate Tower

According to the principles of chemical thermodynamics and dynamics, this paper proposes a mathematic model of equilibrium solubility and reaction dynamics of H_2S and CO_2 in MDEA aqueous solution, and derives the calculation program of this adsorption tower plate by plate. Verifying by the test data, the results coincide better to a certain extent, it can satisfy the engineering requirement. The model not only can be used in engineering practice but also has definite theoretical significance for explaining the nature of the MDEA adsorption process.

Zhu Likai, Chen Gengliang

WINDOW OF ENERGY SOURCES ECONOMY

95 Research of Home Natural Gas Stove

This paper systematically and deeply analyses and reviews the design parameters, technical index, stove body and combustion head structure, as well as testing apparatus and method of the home natural gas stove. It is a comprehensive article about design, test, utilization and research of home natural gas stove.

Guo Wenbo, Wang Jiacong, Tan Shunmin, Ran Jiachuan

101 Application of Exergy Analysis Method in Light Hydrocarbon Recovering Technology Process

Light hydrocarbon recovering unit is not only an energy source system but also an energy consumption system. So how to reduce energy consumption and to reasonably use energy are regarded by people day by day. In this paper, the application of exergy analysis method in process of light hydrocarbon recovering technology is introduced according to three aspects as following: to accurately evaluate that the quantity of energy consumption system is excellent or inferior; to expose its the weakest link and to realize the optimum design of energy consumption unit.

Chen Huifang

此,在标准中把烟气中CO含量作为衡量灶具卫生标准的主要技术指标。烟气中CO多少与火孔热强度、一次及二次空气供应、燃气成分、冷壁作用、支架高度及其它因素有关。

12. 灶具严密性

灶具严密性是灶具加工制作质量的重要指标之一,应先在测试各项技术指标之前进行严密性检测。按规范在10kPa压力下,持续一分钟,应不漏气。

13. 自动点火试验

阀应有较好的严密性。在点火起动10次中,点燃次数应不小于8次,而且不得出现连续两次点不燃现象。

14. 灶具热效率

热效率为衡量家用燃气灶工作时,有效地利用燃气燃烧热量的重要指标,在符合卫生标准情况下,灶的热效率越高越好。就是要在保证设计参数及其它技术指标情况下,提高灶的热效率,使同样数量的天然气发挥更大的经济效益,从而达到节约能源的目的。在额定负荷下,按规范热效率应大于55%,我们设计炉具热效率与热负荷的关系

如图5。

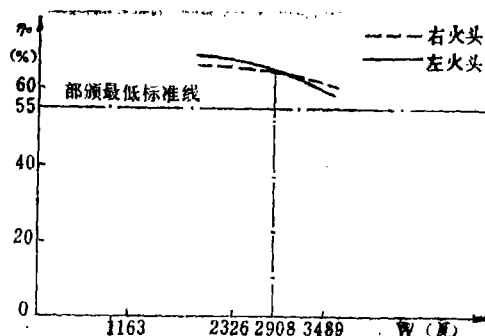


图5 热负荷与热效率关系

参 考 文 献

- [1] 城市煤气设计规范TJ28—78 1979年
- [2] 家用煤气灶标准CJ4—83 1983年
- [3] 燃气燃烧与应用 1981年
- [4] 中国技术政策 第2、第6号 国家科学技术委员会
- [5] 建筑技术政策 城乡建设环境保护部批准颁布 1986年

(本文收到日期 1986年11月31日)

上接 (106页)

参 考 文 献

- [1] 赵冠春、钱立伦《焓分析及其应用》,高等教育出版社,1984年
- [2] 杨东华《焓分析和能级分析》科学出版社,1986年
- [3] 项新耀 现代用能理论及其在节能中的应用 《华北石油设计》 1984年第1期第1~7页
- [4] Tomlinson T.R and Banks R. LPG extraction process cuts energy

needs, OGJ, July 15 (1985), 81.

- [5] Chiu chen-hwa Exergy analysis aids equipment design for cryogenic Process, OGJ, Jan. 18 (1982), 88.
- [6] Ahern J.E 著 黄志潜译 《能量系统的焓分析方法》机械工业出版社,1984年
- [7] 王遇冬 物流混合过程的焓损失《华北石油设计》,1986年第4期第1~6页
- [8] 宋文平、王加璇《节能原理》水利电力出版社,1985年

(本文收到日期 1987年4月29日)