

透平膨胀致冷天然气分离装置的焓分析

吴君理 项新耀 张辉 李东明

(东北石油学院)

内容提要 本文建立了透平膨胀致冷天然气分离装置的多能复杂系统焓分析模型,采用过程焓分析法进行能量分析,找出了最大焓损环节,展示了系统焓损率的分布,对装置的热力学完善性作了概括性评价,可供该类设备的节能技术改造作参考。

前 言

能量分析是开展节能技术改造的基础工作,分析质量的优劣直接关系到技术经济效益。

传统的能量分析——能量平衡法,可以查清设备(系统)的各种供能与耗能的数量关系,展示热损率的分布情况,为确定提高设备(系统)的热效率的技术措施提供依据。但是对能质不一的多种能量系统,能量平衡法

仍按不同能质等价的原则进行平衡,不考虑能质的重要作用,从而影响了分析结果的科学性和可靠性,有时甚至导致不合理的结论,作出错误的判断。

焓分析法是基于能质平衡的一种能量分析法。它克服了能量平衡法的缺陷,对各种能流、物流按能质——焓值进行平衡,并由计算得出各环节(部位)的焓损率;在工程上可依据焓损率的分布,准确地判断具有节能潜力的部位或环节,为节能技术改造提供可靠

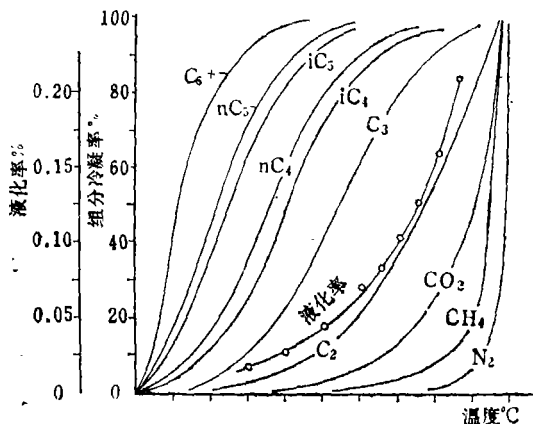


图6 多元组分体系的冷凝曲线

比较完整的反映出工况改变时工艺参数变

化,可供过程分析参考。尤其在图表化了之后,即在无电算可资应用的场合下可简化繁杂的计算。

对于烃类气体管输来说,可用它来推定长输压降下烃露点出现的工况预计。

此外,它有其理论意义,这种处理方法是确定物系相态特征的一种研究手段和表示形式。

参 考 文 献

- [1] 邵件等 《深冷技术》1985年第3期7页
- [2] C·Я盖尔士 《深度冷冻》1857年第一版 高等教育出版社。

(本文收到日期 1986年6月25日)

的依据。

LTQ—4000型天然气分离装置是一个多种能量系统。本文采用系统过程(环节)焓分析法对它进行能量分析,找出最大焓损环节,探讨可能采取的节能措施;并与能平衡分析法结果加以比较,以评价该装置的热力学完善性和能耗技术水平。该装置安装于大庆油田南压站,1983年8月18日投入运转。处理能力为 $4000\text{m}^3/\text{d}$,原料气压力为 0.785MPa ,干气输出压力为 0.196MPa 。

装置工艺流程

它系工业试验性装置。采用膨胀压缩机

致冷,天然气在低温下使重组分液化分离。装置示意流程如图1所示。原料气经分离器去油、水,继入增压机增压。增压后的原料气经水冷却器降温后,进行净化处理。经油水分离器除去油、水,在干燥器里脱出水份,经过滤器除去粉末、杂质,净比后的原料气进入热交换器放热降温,使轻烃冷凝,然后进入1*分离器,分离出的天然气进入透平膨胀机做功,作为透平压缩机的动力。天然气在膨胀过程中部分液化,进入2*分离器再次分离。所得轻烃、干气,分别进入换热器复热升温后外输。

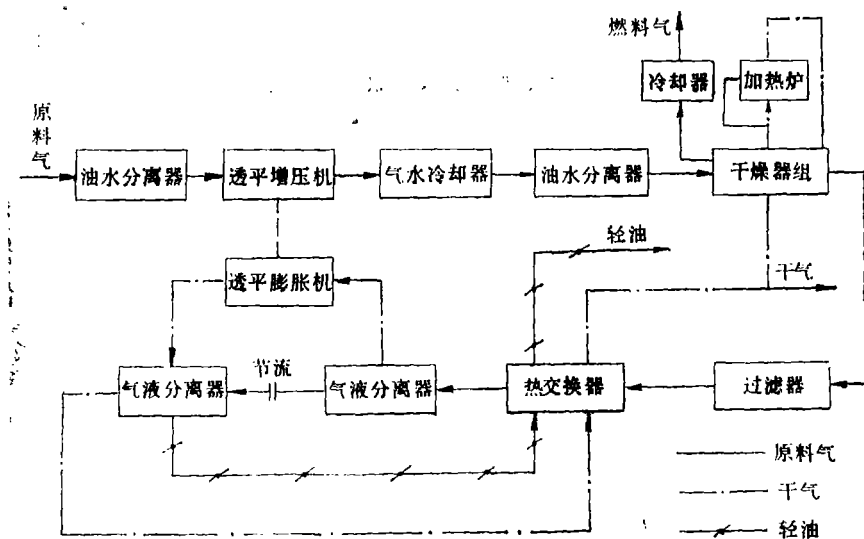


图1 LTQ—4000型天然气分离装置流程框图

系统焓分析模型

该装置属于多类设备组合,多种物流、能流混合的复杂系统。为了建立便于分析的系统模型,从过程焓分析的要求考虑,在不影响分析结果准确性的前提下,作了如下简化:

1. 鉴于油水分离器、过滤器的阻力很小,分离物份额很低,其焓损予以忽略。

2. 系统大部分管路布置紧凑(管程很短),且与环境温差很小,由管道的散热与吸热引起的焓损予以忽略。

3. 冷却水及排烟带走的热及未燃尽物的化学焓未加利用,均归入相应设备的焓损中。

4. 忽略所有的泄漏损失。

5. 忽略所有物流的动能与位能的变化。

系统经简化,相关设备组合,组成为6

个子系统,即:制冷分离装置子系统(包括透平膨胀压缩机,二台分离器);干燥器组子系统;加热炉子系统;换热子系统;原料

气与燃料气冷却子系统。由此构成系统焓分析模型,如图2所示。

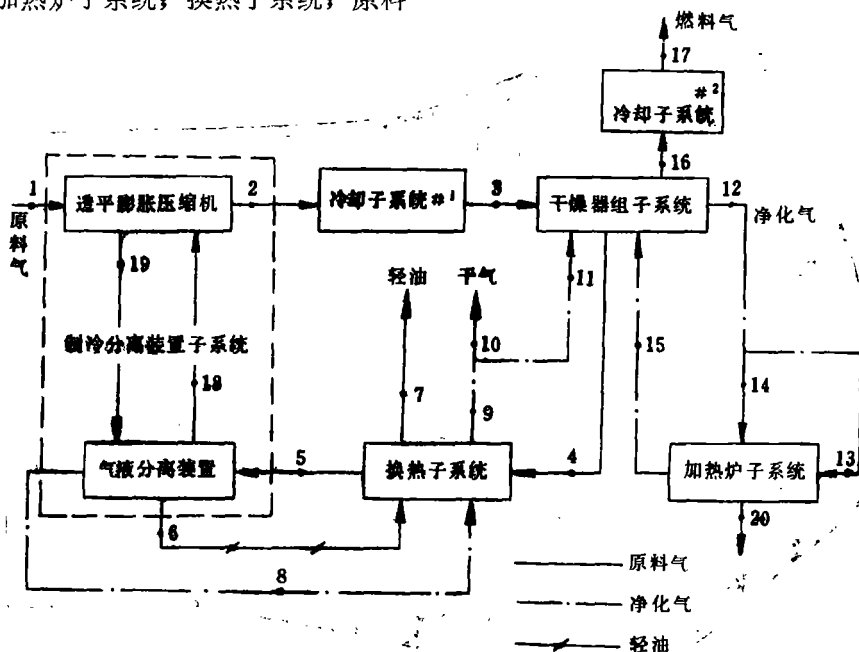


图2 LTQ-4000型天然气分离装置过程焓分析模型

焓值计算方法

进行焓平衡时,每个子系统均视为黑箱模型,即只计算进、出系统的各物流、能流的焓值,由此求出该子系统的焓损,而不考虑子系统内部各项不可逆损失的组成及焓损大小。

焓值计算公式如下:

能流或物流的物理焓:

$$e_{ph} = 4.1868[(h - h_0) - T_0(S - S_0)] \text{ kJ/kmol}$$

$$e_{bch} = 4.1868(8177.79[C] + 27892.63[H] + 4364.33[S]) \text{ kJ/kmol}$$

混合物的化学焓:

$$e_{mixch} = 4.1868 \sum X_i (e_i + RT_0 \ln a_i) \text{ kJ/kmol}$$

$$\text{焓损: } \Delta E_i = \sum \Delta E_{\text{出}} - \sum E_{\text{入}}$$

$$\text{焓损率: } \Delta \dot{E}_i = \Delta E_i / E_{\text{总}}$$

被系统有效利用的焓为:

$$\Delta E_{\text{有效}} = E_{\text{总}} - \sum \Delta E_i$$

系统的有效焓耗率为:

$$\Delta \dot{E}_{\text{有效}} = \Delta E_{\text{有效}} / E_{\text{总}}$$

由此得出系统的焓平衡式为:

$$\Delta \dot{E}_{\text{有效}} + \sum \Delta \dot{E}_i = 1$$

计算式中的 h 、 S 数据,据文献*所载测试原始数据(T 、 P 、 m)由BWRS^[2]状态方程用BASIC语言电算而得。

计算中用的零焓、零熵的计算采用Passut-Danner计算公式:

$$H^0 = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 + FT^5$$

*大庆设计院南压小深冷鉴定工艺流程核算和1983年10月大庆天然气公司等LTQ-4000型天然气分离装置试验报告。

$$S^0 = B \ln T + 2CT + \frac{3}{2}DT^2 + \frac{4}{3}ET^3 + \frac{5}{4}FT^4 + G$$

行数据。电算得各参数值列于表1。

计算结果及分析

式中各系数见文献^[2]

焓值计算的环境模型为:

基准态 $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$, $T_0 = 298.15 \text{ K}$

基准物组成 $N_2 = 79\%$, $O_2 = 21\%$,

$CO_2 = 0.03\%$, $H_2O = 100\%$

计算中的原始数据是在对实测的6组数据进行筛选的基础上,取用具有代表性的运

计算结果按系统过程整理,各环节的焓损及焓损率分布列于表2。同时在表中还列出由热平衡^[6]计算得到的各环节热损与热损率的分布。

一、技术经济指标

为了对不同分离装置进行技术经济评价,我们认为拟取效率、单位能耗、实耗系数三种指标加以比较。

该装置的各种技术指标计算如下:

1. 效率

焓效率 $\eta_{ex} =$

$$1 - \frac{\sum \Delta E_i}{E_{\text{总}}} = 13.45\%$$

热效率 $\eta_t =$

$$1 - \frac{\sum \Delta Q}{Q_{\text{总}}} = 39.41\%$$

一般工艺装置的系统焓效率通常为10%左右,该装置的热效率虽然不高,但焓效率较高。这是采用了透平膨胀-压缩机制冷,回收了部分焓,减少了焓损的结果。从焓效率值可以认为,该装置能量利用的完善性是较好的,即具有良好的热力学性能。

2. 单位能耗

单位能耗可作为对不同装置耗能水平进行比较的技术指标。

单位焓耗,即分离

各物流点参数表

表1

参数 物流点	P (MPa)	t (℃)	h (kJ/kmol)	S (kJ/kmol)	c_p (kJ/kmol)	m (kmol/h)	M
1	0.73	22	10756	170	3277	149.6	21.62
2	1.03	52	12058	171	4172	149.6	21.62
3	1.01	23	17014	167	4072	149.6	21.62
4	1.01	23	17014	167	4072	149.6	21.62
5	1.00	-24	8604	159	4250	149.6	21.62
6	0.27	-55	8181	197	1539	12.78	54.76
7	0.23	2	9194	245	4593	12.78	54.76
8	0.27	-62	7117	156	3062	128.7	19.04
9	0.23	5	9676	168	2108	138.7	19.04
10	0.23	5	9676	168	2108	123.0	19.04
11	0.23	5	9676	168	2108	15.67	19.04
12	0.23	30	10676	171	2083	15.67	19.04
13	0.23	30	10676	171	2083	13.43	19.04
14	0.23	30	10676	171	2083	2.238	19.04
15	0.21	350	26963	208	7386	13.43	19.04
16	0.21	200	18443	192	3509	13.43	19.04
17	0.20	25	10480	172	1632	13.43	19.04
18	1.00	-20	8566	154	5769	141.8	19.85
19	0.27	-62	7189	158	3077	141.8	19.85

• 物流点序号载于图2

烟平衡与能平衡表

表 2

能耗项	烟 平 衡		能 平 衡	
	kJ/h	%	kJ/h	%
总烟(能)耗	2.78×10^6	100	4.06×10^6	100
有效利用烟(能)耗	3.74×10^5	13.45	1.6×10^6	39.41
总烟(能)损	-2.4×10^6	86.55	-2.5×10^6	60.59
烟(能)损分布:				
1. 制冷分离	-5.68×10^4	2.04	-2.1×10^6	5.16
2. 1°冷却器	-1.5×10^5	0.55	-2.01×10^6	4.95
3. 干燥器组	-5.25×10^4	1.89	-1.1×10^6	2.71
4. 加热炉	-2.19×10^6	78.80	-2.1×10^6	51.61
5. 2°冷却器	-2.6×10^5	0.92	-1.07×10^6	2.64
6. 换热器	-6.52×10^4	2.35	-2.63×10^6	-6.46

获得 1kmol 轻烃所耗烟值:

$$e' = E_{\text{总}} / m$$

$$= 4.1868 \times 5.200 \times 10^4 \text{ kJ烟/kmol 轻烃}$$

单位热耗, 即分离获得 1kmol 轻烃所耗热值:

$$q' = Q_{\text{总}} / m$$

$$= 4.1868 \times 7.595 \times 10^4 \text{ kJ热/kmol 轻烃}$$

式中 m 是表 1 中第 7 点的值。

3. 实耗系数

为了对装置不同工况的能耗进行比较, 取在环境状态可逆地分离气体的耗烟, 即理论最小分离烟 $e_{\min}$ 为基准, 以装置的实耗烟 $e_{\text{实}}$ 与其相比, 即得实耗系数:

$$\varphi = e_{\text{实}} / e_{\min}$$

求取 $e_{\min}$ 目前尚无成熟的通用方法, 我们采取简化计算方法, 即将天然气作为理想气体处理, 则根据文献^[4]有:

$$e_{\min} = T_0 \Delta S$$

$$\text{式中 } \Delta S = \dot{m}_1 \Delta S_1 - \dot{m}_2 \Delta S_2 - \dot{m} \Delta S_3$$

该装置中实施分离的有分离器与干燥器内的两个过程。

计算得出分离器中所需的最小的分离器为:

$$E'_{\min} = 4.1868 \times 1.275 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

$$e'_{\min} = 4.1868 \times 85.23 \text{ kJ/kmol}$$

干燥器中的最小分离烟为:

$$E''_{\min} = 4.1868 \times 1.609 \times 10^3 \text{ kJ烟/h}$$

$$e''_{\min} = 4.1868 \times 10.75 \text{ kJ烟/kmol}$$

总的分离烟为:

$$E_{\min} = E'_{\min} + E''_{\min}$$

$$= 4.1868 \times 1.4359 \times 10^4 \text{ kJ烟/h}$$

$$c_{\min} = e'_{\min} + e''_{\min}$$

$$= 4.1868 \times 95.98 \text{ kJ烟/kmol}$$

由此得:

$$\varphi = 6.646 \times 10^5 / 1.4359 \times 10^4 = 46.28$$

我们采用上述三种指标来评价这类装置的技术经济性能, 不一定合适。取用哪些技术指标才能科学地评价天然气分离装置的能耗水平, 是一个有待于进一步研讨的学术问题。

二、烟损率分布分析

由表 2 的烟损率分布可见, 在系统的各个烟损环节中, 最大的烟损环节为加热炉, 烟损率达 78.8%。这是由于炉内火焰与被加热气体之间高达 1000℃ 以上的温差传热所引起的。其次为换热器与干燥器, 但烟损率都很小。因此, 节能潜力大的环节是加热炉。为了减少此烟损, 应减少传热温差。若有可能, 应取消加热炉, 改用低温余热加热天然气。烟损率将会显著下降, 装置可望达到更高的烟效率。

结 论

通过对 LTQ-4000 型天然气分离装置的烟分析可得:

1. 透平膨胀压缩致冷的天然气装置烟效率较高, 是一种热力学性能良好的工艺装

置。

2. 此类装置进一步节能挖潜的主攻方向是改造或取消加热炉。减小对天然气加热的温差, 将会取得提高装置效率的显著效果。

大庆天然气公司领导和公司研究所对本项工作给予积极支持, 提供了技术资料, 在此一并致谢。

符号表

h	——物流的比焓,	kJ/kmol
h_0	——物流在环境状态(P_0 、 T_0)下的比焓	kJ/kmol
S	——物流的比熵,	$\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$
S_0	——物流在环境状态(P_0 、 T_0)下的比熵,	$\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$
e	——物流的比焓,	kJ/kmol
m_1	——原料气的流量,	kmol/h
m_2	——轻烃的流量,	kmol/h
m_3	——干气的流量,	kmol/h
ΔS_1	——原料气组分由纯物质形成混合物熵增,	$\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$

ΔS_2 ——轻烃组分由纯物质形成混合物的熵增,

$\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$

ΔS_3 ——干气组分由纯物质形成混合物的熵增,

$\text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$

X_i ——混合物中第 i 种组分的摩尔成分,

%

a_i ——混合物中第 i 种组分的活度,

$E_{\text{总}}$ ——系统总焓耗,

kJ/h

$Q_{\text{总}}$ ——系统总能耗。

参 考 文 献

[1] 郭宝林、何耀文 《石油化工》 1982 年 第10期 第653页

[2] Kenneth Starling Fluid Thermodynamic Properties for Light Petroleum System 1973 · P 1 — 3

[3] [西德] H.D. 贝尔 《工程热力学理论基础及工程应用》 杨东华等译 科学出版社 1983年 第137页

[4] [苏] Я. И. 施奈 《燃气轮机装置》 上海科技出版社 1965年 第326页

本收到日期 1985年10月12日

天然气工业

(季刊)

第7卷 第1期 (总第25期)

1987年3月28日出版

NATURAL GAS INDUSTRY

(Quarterly)

Vol.7 No.1 (Total No.25)

Published on 28 Mar. 1987

编 辑 《天然气工业》编辑部
成都市府青路一段3号

出 版 四川石油管理局

印 刷 四川石油印刷厂

国内总发行 成都市邮局

国内订阅处 全国各地邮局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

北京2820信箱

国外刊号 Q944

Editor: Natural Gas Industry Editorial Department
(No.3 Sector 1 Fuqing Road, Chengdu, China).

Publisher: Sichuan Petroleum Administrative Bureau, China.

Distributor abroad: China International Book Trading Corporation (P.O. Box 2820, Beijing, China. Tel. 893063. Telex 22496 CIBTC CN. Cable CIBTC BEIJING).

Code No. Q944

四川省期刊登记证第003号

国内刊号 62-14

国内定价 0.80元

GAS PROCESSING AND UTILIZATION

Recover NGL from Natural Gas

The methods of recovering NGL from natural gas, method's characteristics and comparison are introduced in this paper, and some viewpoints of recovering NGL from natural gas in despersive small oil and gas fields are proposed also.

Wang Xieqin

Use of Mollier Chart of Multi—Component Hydrocarbons

A Mollier chart of specific multi-component hydrocarbons has been compiled and used in the technical analysis of light hydrocarbon's recovering process. It is showed in practice that the conclusions obtained from this chart are more agreeable with the data calculated. Mollier chart proposes an approach for job-on-chart, and supplemented indispensable and more precise analysis data, it can be extended to analyse the characteristics of certain hydrocarbon's phase state.

Zhu Likai

WINDOW OF ENEGY SOURCES ECONOMY

Exergy Analysis of Turbo—Expansion Refrigeration Natural Gas Separation Equipment

Exergy analysis model of a complex multi-function system of turbo-expansion refrigeration natural gas separation equipment has been built, energy analysis can be done by using process exergy analysis, the maximum exergy loss link has been found out and the distribution of system's exergy loss rate are shown. The thermodynamic perfection of this equipment has summarily been evaluated. It can give a reference to energy-saving technique reforming for such kinds of equipment.

Wu Junli, Xiang Xinyao, Zhang Hui, Li Dongming

ECONOMY AND MANAGEMENT

A Humble Opinion on Basic Feature of Natural Gas Industry

Using praetic data and contrasting with oil industry, this work simply states the main features of natural gas industry in following aspects: origin of natural gas and its accumulation rules, exploration and development of natural gas, as well as construction and management of gas industry. It can be consulted for formulating general and specific policies in developing natural gas industry.

Wang Jingxin

ON THE PRODUCTION FRONT

NATURAL GAS WORLD

GAS FIELD AT ABROAD

NEWS IN BRIEF