天然气深冷分离装置的㶲分析及用能改进建议

王志国
(大庆石油学院 秦皇岛分院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:将天然气深冷分离装置划分为 6个子系统,采用"三箱"分析方法,建立了 NGL装置的㶲分析模型,并给出了具体分析过程和评价指标。利用实测数据,对某一实际运行的 NGL装置进行了分析计算,根据测算结果提出了改进建议。实际应用表明,对 NGL装置进行㶲分析,能更全面地反映装置的用能情况。

关键词: NGL装置;三箱模型;㶲分析;节能;降耗
中图分类号: TQ 021. 2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9954(2006)02-0071-04

Exergy analysis and improvement proposal for natural gas liquid cryogenic separation plant

WANG Zhi-guo
(Qinhuangdao Branch of Daqing Petroleum Institute, Qinghuangdao 066004, Hebei Province, China)

Abstract: The natural gas liquid (NGL) cryogenic separation plant was compartmentalized into six subsystems by the NGL technology flow trait. The model of exergy analysis for the NGL cryogenic separation plant was represented, and the assessment rules and count formulae of exergy analysis for the NGL plant were given. By using the actually measured operational data, the exergy on the operational working conditions of oilfield NGL system was analyzed. The limitation of the energy usage was found. Based on the calculation results, some proposals to improve the operational efficiency were raised.

Key words: NGL plant; three-box models; exergy analysis; energy-saving; lowering consumption

目前我国回收油田伴生气 NGL (Natural Gas Liquid)主要包括深冷和浅冷冷凝分离 2种方法。对于深冷分离,大部分冷凝温度低于 - 60 ℃,因此普遍采用膨胀制冷的深冷分离工艺[1]。

近些年来㶲分析技术在石油、化工、动力、冶金、建材及制冷空调等行业得到了广泛应用。它以㶲分析理论为基础,以能量与能质的合理利用为目标,有效实现系统的节能降耗。本文借鉴已有研究成果[2—6],利用"三箱"[7—8]分析方法,建立了 NGL深冷分离装置的㶲分析通用模型,给出了㶲分析评价指标,并进行了实际应用。

1 "三箱"分析方法简介[5,7—8]

利用"黑箱"、"灰箱"和"白箱"3种基本分析模型(简称"三箱"模型),可以减少复杂生产系统的测试工作量,又能满足分析需要。这里以㶲分析过程为例,介绍"三箱"分析模型。

1.1 黑箱分析模型

将分析对象(系统、子系统或设备)视为由"不透明"的边界所包围的体系,通过相关参数计算输入、输出体系的物流或能流的㶲值,进而获得体系的供给㶲、有效㶲及损失㶲,即为黑箱分析。模型如图 1所示。图中 E_x 为㶲,下标 in、out、lr、lf分别代表输入、输出、内部和外部。

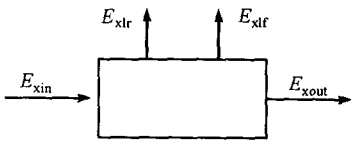


图 1 黑箱分析模型

Fig 1 The model for analysis of black-box

由黑箱分析模型可以计算出体系的㶲效率及㶲损系数。

㶲效率计算式为

作者简介:王志国(1966—),男,副研究员,现为天津大学在读博士生,主要从事能量综合利用及节能技术研究,电话:(0335) 8065734, 13903354987, E-mail: guozwang@sina.com。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\eta_{ex} = \frac{E_{xef}}{E_{xin}} = 1 - \frac{E_{xl}}{E_{xin}} \quad (1)$$

其中, $E_{xl} = E_{xlr} + E_{xlf}$, 下标 l代表损失, ef代表有效。

㶲损系数

$$\lambda = E_{xl} / E_{xin} \quad (2)$$

即 $$\eta_{ex} = 1 - \lambda \quad (3)$$

黑箱分析模型适用于系统、子系统或设备的评价分析。

1.2 灰箱分析模型

将分析对象 (系统、子系统)视为由"半透明"的边界所包围的体系,对象内的子系统或设备视为黑箱,黑箱之间以主流㶲流连结起来,由此构成灰箱分析模型,如图 2所示。

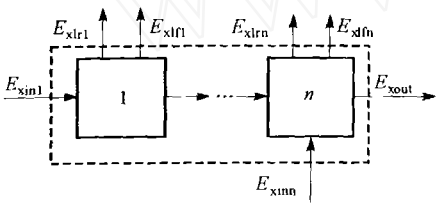


图 2 灰箱分析模型

Fig 2 The model for analysis of gray-box

由灰箱分析模型可以计算出体系的㶲效率及㶲损系数。

㶲效率计算式为

$$\eta_{ex} = \frac{E_{xef}}{E_{xin}} = 1 - \frac{\sum E_{xli}}{\sum E_{xini}} \quad (4)$$

其中, $E_{xli} = E_{xlri} + E_{xlfi}$, $i = 1, 2, \cdots, n$, 为子系统或设备编号。

㶲损系数

$$\lambda = \frac{E_{xl}}{E_{xin}} = \frac{\sum E_{xli}}{\sum E_{xini}} = \sum \lambda_i \quad (5)$$

同样

$$\eta_{ex} = 1 - \lambda = 1 - \sum \lambda_i \quad (6)$$

灰箱分析模型适用于系统或子系统的评价分析。

1.3 白箱分析模型

对于设备来说,一般还要对内部或外部的㶲损进行分析,黑箱分析不能解决这一问题。为此提出了白箱分析模型,即将分析对象 (设备)视为由"透明"的边界所包围的体系。除需计算输入、输出体系物流或能流的㶲值,还需计算设备各个能量传递和转换过程的㶲损失,模型如图 3所示。

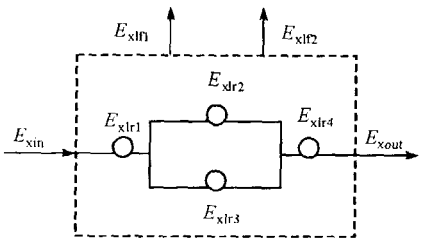


图 3 白箱分析模型

Fig 3 The model for analysis of white-box

外部㶲损系数

$$\lambda_f = E_{xlf} / E_{xin} = \sum E_{xlfi} / \sum E_{xin} \quad (7)$$

内部㶲损系数

$$\lambda_r = E_{xlr} / E_{xin} = \sum E_{xlri} / \sum E_{xin} \quad (8)$$

则

$$\lambda = \lambda_f + \lambda_r \quad (9)$$

有关"三箱"分析模型更详细的内容见文献[5, 7—8]。

2 NGL装置㶲分析模型

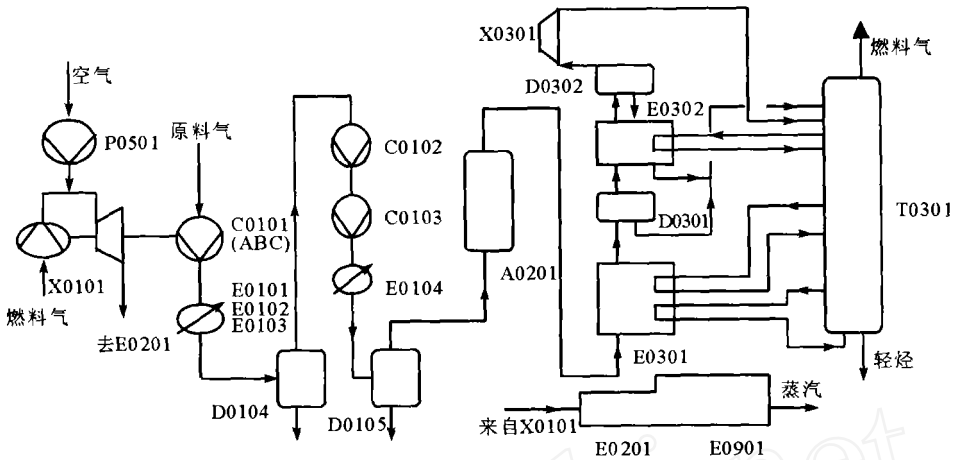
2.1 装置组成及特点

图 4为大庆油田某典型 NGL装置工艺流程简图[2]。该装置采用双级膨胀不带辅助冷剂的制冷工艺。原料气为压力 1.3—1.5 ×10^5 Pa,温度 - 5—20 ℃的油田气,产品为乙烷体积分数高于 85%的液烃,副产品为干气,作燃料用。装置的主要耗能设备有:压缩机,其动力由燃气轮机及膨胀机供给;干燥器,再生用热取自烟气余热;换冷器,冷量由脱甲烷塔输出的贫气及膨胀制冷机供给;空冷器,动力为输入电能。除空冷器外,其余设备的能量均直接或间接来自燃气轮机的燃料能。燃料能一部分通过燃气轮机、膨胀机、余热锅炉转化为动力用能,另一部分转变为工艺用能,因此,整个系统是由动力、工艺二级多次用能组成的能量梯级利用系统。

2.2 NGL装置㶲分析模型

为便于分析装置的用能状况,根据工艺流程及用能特点,将装置分为 6个用能子系统,即干气外输及燃料气压缩子系统、燃气轮机 余热锅炉子系统、压缩机组子系统、透平膨胀机组子系统、干燥器组子系统、换冷 脱甲烷塔子系统。可以说, NGL装置是由系统、子系统及设备组成的复杂系统,借鉴文献[5]的分析方法,对其进行分析,过程如图 5所示。图中, S表示灰箱模型, B表示黑箱模型, W表示白箱模型。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



P0501空压机; X0101燃气轮机; C0101原料气增压机; E0101, E0102, E0103, E0104冷却器; C0102, C0103压缩机; X0301透平膨胀机; A0201脱水干燥器; D0301, D0302分离器; E0301, E0302冷凝箱; T0301脱甲烷塔; E0901余热锅炉; E0201再生器加热器

图 4　NGL 装置工艺流程简图

Fig 4　The schematic of NGL Technology

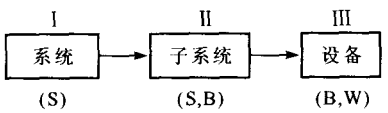


图 5　NGL 装置分析过程

Fig 5　The analysis process for NGL

具体分析过程如下: Ⅰ. 建立装置 (系统)的灰箱用能分析模型,对装置进行计算分析,以评价装置(系统)的整体用能水平,判别用能不合理的子系统。Ⅱ. 根据各个子系统的不同能耗状况,分别建立灰箱模型或黑箱模型,分析其用能情况,原则上对薄弱环节采用灰箱分析,对一般环节采用黑箱分析。Ⅲ. 进行灰箱分析的子系统所包括设备视用能水平的差异分别进行白箱和黑箱分析。对其中用能较差的设备进行白箱分析,其余设备或设备群 (组)进行黑箱分析。据分析计算结果对设备进行评价,找出用能薄弱部位。

NGL 装置采用的分析模型,如表 1所示。

表 1　NGL 系统分析模型

Table 1　The analysis model for system and subsystem

系统或子系统名称	分析模型
整个装置	灰箱
干气外输及燃料气压缩子系统	黑箱
燃气轮机 余热锅炉子系统	灰箱
压缩机组子系统	灰箱
透平膨胀机组子系统	灰箱
干燥器组子系统	黑箱
换冷 脱甲烷塔子系统	黑箱

3　应用实例

利用前述分析方法,对图 4所示的 NGL 装置进行了评价分析计算,并据此提出了一些改进建议。

3.1　测试计算

装置物料平衡见表 2。装置及各子系统㶲分析计算结果见表 3。主要耗能设备分析计算结果见表 4。

表 2　物料平衡表

Table 2　The material balance

	输入 /(m^3 · h^{-1})	输出 /(m^3 · h^{-1})
原料气	21480.0(958.93)①	
液　烃		3833.0(175.88)
贫　气		17547.0(783.35)
外　输		15160.0(72.14)
燃　料		1616.0(72.14)
损　失		771.0(34.42)
液烃收率	81.69%	
贫气损失率	6.60%	

①括号内值单位为 kmol/h。

表 3　系统及子系统测算结果

Table 3　The computed results of system and subsystem

	㶲损失 /(MJ · h^{-1})	㶲损系数 /%	㶲效率 /%
装置 (系统)	53674.6	87.54	12.45
外输及燃料气增压	854.6	1.39	
燃气轮机 余热锅炉	39109.3	63.79	35.39
压缩机组	9770.2	15.94	39.92
透平膨胀	2552.0	4.16	18.92
干燥器组	545.5	0.89	
换冷 脱甲烷塔	842.8	1.37	
装置耗㶲	每 kg液烃为 7150.0 kJ		

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 主要设备测算结果

Table 4 The computed results of equipments

	负荷率/%	㶲效率/%	㶲损系数/%
空压机(P0501)		35.04	1.06
燃气轮机组(X0101)	77.0	26.84	48.40
余热锅炉(E0901)	51.0	34.98	15.75
压缩机组(C0101)		40.47	15.79
透平压缩机(C0102)	72.0	40.89	1.52
透平压缩机(C0103)	72.0	25.60	1.90
干燥器组(A0201)			0.89
塔底液烃泵(P0301)		22.40	0.16

3.2 结果分析

(1)该装置的㶲效率较高,主要原因在于采用了燃气轮机直接驱动压缩机,余热又用于生产蒸汽,形成了能量的梯级利用。

(2)装置的负荷率为85.9%,主要耗能设备负荷率为51.0%—72.0%,均偏低。其中余热锅炉最低为51.0%。这是导致装置㶲效率未达到最佳值的主要原因。

(3)从各子系统的㶲损系数分布看,最大者为燃气轮机,其次是压缩机组,但二者均属于不可减㶲损。有减少㶲损潜力的是余热锅炉和膨胀压缩机组。前者可以采用提高出力的办法,后者应使运行工况接近设计值。

3.3 改进建议

(1)应尽量使余热锅炉处于满负荷运行。余热锅炉出力设计值为10 t/h,实际运行出力仅为5.1 t/h。

(2)合理调整操作参数。如运行中,低压膨胀机转速为31000 r/min,设计值为37000 r/min,低6000 r/min,致使压缩机出口达不到额定压力,预冷温度高于实际值21 ℃,轻烃收率偏低。余热锅炉负荷率仅为51.0%。这是导致装置㶲效率未达到最佳值的主要原因。

(3)从各子系统的㶲损系数分布看,最大者为燃气轮机,其次是压缩机组,但二者均属于不可减㶲损。有减少㶲损潜力的是余热锅炉和膨胀压缩机组。前者可以采用提高出力的办法,后者应使运行工况接近设计值。

4 结论

本文建立了NGL深冷分离装置的㶲分析通用模型,给出了其分析过程和㶲分析评价指标。利用实际运行参数对某一实际运行的NGL装置进行了分析计算,据此提出了改进建议。作为用能分析方法之一的㶲分析方法,能够从能质与能量2个方面对分析系统进行评价,能更全面地分析、评价装置(系统)的用能情况,为装置(系统)的节能技改提供可靠依据。

参考文献:

[1] 富嘉文,陈泽辉,李阳初. 油田气深冷分离装置膨胀机模拟计算模型的研究[J]. 华东石油学院学报, 1987, 11(4): 52—62.

[2] 项新耀,张辉,梅同庆. 大庆萨南深冷装置的㶲分析[J]. 石油与天然气化工, 1992, 21(1): 22—28.

[3] 王强,历彦忠,陈曦,等. 液化天然气冷能分析及其回收利用[J]. 流体机械, 2003, 31(1): 56—58.

[4] 张娜,刘蔚蔚,蔡睿贤. 利用LNG冷㶲与工业余热的闭式Brayton循环热力分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(7): 173—177.

[5] 王志国,马一太. “三箱”-“三环节”组合用能分析方法研究[J]. 石油炼制与化工, 2003, 34(5): 49—52.

[6] 顾安忠,石玉美. 天然气液化流程及装置[J]. 深冷技术, 2003, 31(1): 1—6.

[7] 项新耀,李东明. 生产工艺系统的能量平衡与㶲平衡测试[J]. 工程热物理学报, 1999, 10(4): 363—365.

[8] 项新耀. 工程㶲分析方法[M]. 北京:石油工业出版社, 1990. 265—267.

《化学工程》被评为2004/2005年陕西省优秀科技期刊

根据陕西省出版物审读中心和陕西省科技期刊编辑学会关于开展科技期刊审读、评优的通知,陕西省科技期刊编辑学会、陕西省出版物审读中心组织专家,对全省报送的2004/2005年编辑出版的124种科技期刊进行了审读、评优,《化学工程》在期刊中被评为“优秀”。

《化学工程》编辑部

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net