

## 工艺与设备

# 环氧乙烷/乙二醇生产装置用能 分析与调优

杜建军 梁云峰 樊希山

(大连理工大学化工系统工程研究所, 辽宁 大连 116012)

**摘要:**利用以夹点技术为基础的针对大型复杂过程系统用能的诊断和调优策略,对环氧乙烷/乙二醇生产装置全过程进行用能分析,找到了系统用能不合理的地方。同时应用化工流程模拟软件 Aspen plus 和自行开发的软件对系统用能进行调优,提出了改造方案。

**关键词:**能量集成;夹点分析;环氧乙烷;乙二醇;过程系统;节能改造

中图分类号:TQ021

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2003)11-0043-04

## Analysis and evolution of energy utilization of ethylene oxide/ethylene glycol unit

DU Jian-jun, LIANG Yun-feng, FAN Xi-shan

(Institute of Chemical Process Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012, China)

**Abstract:** A newly developed method and tool based on pinch technology was used in a case study to investigate the potential of energy utilization of the whole process in an ethylene oxide/ethylene glycol (EO/EG) unit. With pinch tools such as the grand composite curve and the splitting grand curve, the location of energy "bottle-neck" was found and evolution strategies were provided effectively. Meanwhile, with chemical simulation software (Aspen plus) and self-developed softwares, modification project was put forward.

**Key words:** heat integration; pinch analysis; ethylene oxide; ethylene glycol; large-scale and complex process system; energy-saving modification

环氧乙烷(EO)是乙烯工业衍生物中仅次于聚乙烯的重要基础化工原料。环氧乙烷除部分用于制非离子表面活性剂、氨基酸、乙二醇醚外,主要用来生产聚酯产品的原料——乙二醇(EG)。目前世界上环氧乙烷、乙二醇的生产大部分是环氧乙烷-乙二醇联合生产,环氧乙烷部分或全部转化为乙二醇。

从 1978 年燕山石化引进第一套 EO/EG 技术的装置投入运行以来,我国已相继引进了规模不等的 11 套装置,采用的都是国外 20 世纪 70~80 年代的专利技术,能耗较高。近 10 余年来,以夹点技术<sup>[1-2]</sup>为代表的过程集成技术进入工业应用阶段。在发达国家的石油炼制、基本有机化工、基本无机化工、精细化工以及食品生产等工业装置中的成功应用已证明运用夹点技术能取得明显的节能效益<sup>[1]</sup>。笔者针对 EO/EG 实际生产装置中的能量利用问题,

运用以夹点技术为基础的全过程能量分析与调优策略,对 EO/EG 全流程(包括反应器、分离设备、换热器)的用能进行分析,对其进行整体优化综合,以实现全过程系统能量集成,达到降低能耗、物耗的目的。

## 1 EO/EG 生产装置用能分析与调优

我国 EO/EG 工艺流程采用英荷 Shell 和美国 SD、UCC 三家公司的专利技术,其工艺流程基本类同,即采用乙烯、氧为原料,在银催化剂、甲烷或氮致稳剂、氯化物抑制剂存在下,乙烯直接氧化为 EO,继而 EO 与水以一定摩尔比在管式反应器内进行水合反应生成 EG,EG 溶液经蒸发提浓、脱水、分馏得到 EG 及其他二元醇副产品。本文以我国某厂 EO/EG 实际流程为例进行用能分析与调优,其流程简图如图 1 所示。

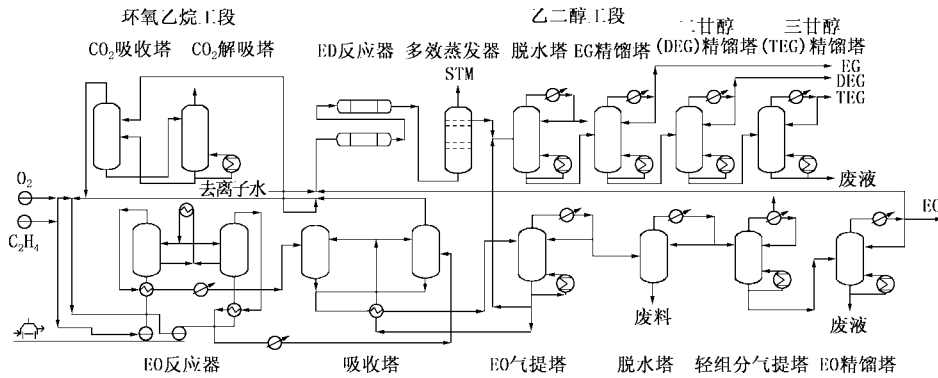


图 1 环氧乙烷/乙二醇生产流程

1.1 基本数据的选取

EO/EG 工艺流程为一大规模复杂过程系统,工序多,流股多。参与换热的工艺流股的数据,包括初温、终温、热负荷、温差贡献值<sup>[3]</sup>等分别如表 1、表 2 所示。其中温差贡献值按现场过程中各物流间匹配换热的实际传热温差来确定。

表 1 热流股数据

流股号	初温/℃	终温/℃	热负荷/kW	温差贡献值/℃
H1	254.1	132.4	6507.7	41.4
H2	247.3	114.8	2987.2	33.0
H3	129.1	38.0	109025.7	22.9
H4	34.0	22.2	430.3	7.5
H5	42.5	34.0	3661.4	7.0
H6	136.9	42.5	32960.0	8.0
H7	38.3	25.0	3566.4	4.0
H8	38.3	35.0	2755.4	4.0
H9	72.0	26.4	2564.6	10.0
H10	118.5	92.8	3577.2	23.0
H11	55.2	37.0	3475.3	13.0
H12	96.0	65.0	488.0	14.4
H13	67.4	55.0	178.6	18.0
H14	84.0	55.0	121.0	19.4
H15	67.4	55.0	56.1	18.0
H16	123.5	67.0	322.2	34.6
H17	56.2	50.5	2128.5	13.9
H18	104.0	103.2	1226.5	30.5
H19	104.0	47.0	2524.4	28.9
H20	140.7	116.5	369.8	32.5

表 2 冷流股数据

流股号	初温/℃	终温/℃	热负荷/kW	温差贡献值/℃
C1	15.5	80.0	223.1	20.0
C2	42.7	177.8	6507.7	41.4
C3	42.7	186.8	2987.2	33.0
C4	37.0	121.4	32960.0	7.5
C5	136.9	137.9	8902.4	30.0
C6	50.0	51.0	247.5	20.0
C7	101.0	102.0	3722.0	15.0
C8	57.0	58.0	3577.2	23.0
C9	30.0	71.0	488.4	14.4
C10	190.0	197.3	668.7	28.0
C11	197.3	198.3	7052.8	27.0
C12	184.0	185.0	253.6	20.0
C13	67.0	110.0	211.4	70.0
C14	160.3	161.3	2349.4	40.0
C15	177.6	177.6	3058.9	33.0
C16	163.1	164.1	344.2	40.0

1.2 过程用能的分析

现有生产装置的夹点确定属于操作型夹点分析或对实际工况的模拟。所得到的夹点工况以及所需的最小公用工程用量应与实际用量相符。根据冷热流股数据,采用夹点分析软件 PSTN 进行计算,如表 3 所示。夹点分析所得冷热公用工程用量与生产实际负荷相符,表明操作型夹点计算结果可以描述实际过程的能量分布。

表 3 操作型夹点计算与实际工况公用工程对比

	过程用能/MW		相对误差/%
	原流程	操作型计算	
热公用工程	27.054	27.159	0.39
冷公用工程	132.960	132.530	0.32

### 1.2.1 过程系统的总组合曲线

图2为系统的总组合曲线,结合实际流程数据可以看出:①从总组合曲线图上得到虚拟夹点温度为 $106.2^{\circ}\text{C}$ ,热公用工程用量为 $27.159\text{ MW}$ ,冷公用工程用量为 $132.53\text{ MW}$ 。②在夹点下方存在大量的低温热量,具有回收利用的潜力。EO反应器出料经过换热以后,其实际温度为 $129.1^{\circ}\text{C}$ ,负荷为 $109.0257\text{ MW}$ ,如全部用冷却水冷却,则大大浪费了这部分热源,同时加大了过程冷却公用工程用量。③系统中部分物流匹配换热的传热温差偏高。例如,EO反应塔进料和出料匹配换热、EG脱水塔再沸器的传热温差均大于 $40^{\circ}\text{C}$ 。④公用工程的温位选择基本合理,加热器或冷却器的传热温差基本合理。

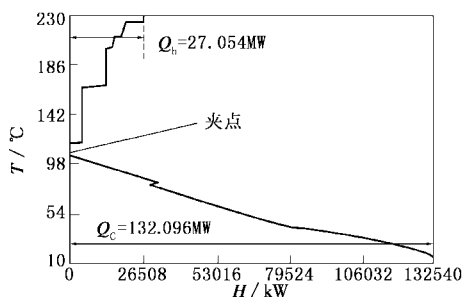


图2 全过程总组合曲线

### 1.2.2 EO流程的格子图

格子图<sup>[1]</sup>是对换热网络进行诊断的工具。图3为EO生产流程的格子图,可以看出:

①原流程多数流股匹配换热处于合理的位置,大多数热公用工程从夹点上方引入,冷公用工程从夹点下方引入,满足夹点匹配的要求。但是仍然有部分流股换热违背夹点匹配规则,例如,乙烯预热系统等在夹点下方引入热公用工程,EO吸收塔和EO气提塔存在穿越夹点换热的现象。

②多数需要冷却或加热的物流采用公用工程冷却或加热,热量未能得到回收,使装置总体能耗较高。

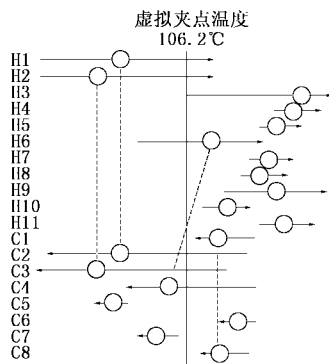


图3 EO流程格子图

### 1.2.3 分离的总组合曲线

选取部分塔单元设备的数据,在 $T-H$ 图上用方块图来表示塔的能量分布,与背景过程构成系统分离的总组合曲线,如图4所示。塔1为 $\text{CO}_2$ 解吸塔,塔2为EO精馏塔,塔3为EG脱水塔,塔4为EG精馏塔。可以看出,塔3在系统能量分布中所处的位置不合理,存在跨越夹点的换热,塔1、塔2、塔4分别在夹点的上下方,能够实现与系统的热集成。

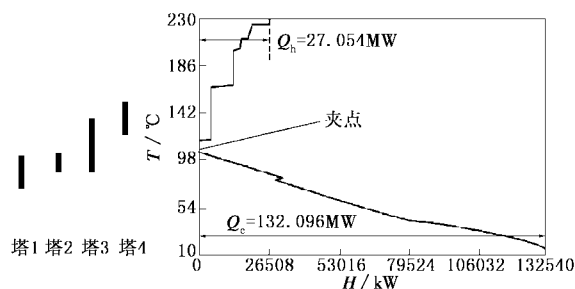


图4 过程分离的总组合曲线

### 1.3 过程用能的调优

上面进行了以操作型夹点计算为基础的过程用能分析,发现了系统用能的不合理之处,下面将基于过程用能的分析,结合流程实际情况,进行过程用能的调优。

#### (1) 调整物流间的传热温差

减小流股之间的传热温差,提高热回收,需增加传热面积。根据冷热流股特性及换热设备投资费用的大小,选择或通过优化方法确定一适宜的温差贡献值,然后进行过程的设计型夹点计算。

流股传热温差调优后,过程夹点的温位提高为 $142^{\circ}\text{C}$ ,最小热冷公用工程负荷分别为 $Q_h = 21.038\text{ MW}$ , $Q_c = 126.41\text{ MW}$ ,比操作型夹点计算所得值各减少了 $6.016\text{ MW}$ ,这说明调优流股传热温差可使过程用能趋于合理。

#### (2) 合理匹配换热器网络

首先,乙烯预热系统等在夹点下方引入热公用工程应改用工艺物流换热;其次,EO反应器出料经过换热后温度为 $129.1^{\circ}\text{C}$ ,而 $\text{CO}_2$ 解吸塔的塔釜温度为 $101^{\circ}\text{C}$ ,可以将反应器出料作为 $\text{CO}_2$ 解吸塔塔釜热源,这样可以节约低压蒸汽的热负荷 $13.4\text{ MW}$ ,同时减少冷却水的热负荷 $13.4\text{ MW}$ 。

#### (3) 调整操作条件

为实现过程系统的能量集成,可改变系统的操作条件,以提高系统内某些热容流率较大的热物流的温位,使之成为代替公用工程加热的热源,从而达到减少公用工程用量、节能降耗的目的<sup>[4]</sup>。

为此需对系统进行模拟。虽然 EG 精馏塔的塔顶冷凝器及塔底再沸器的热负荷较大,但温位较低,无法有效利用。如果将塔的操作压力提高到 30.4 kPa,以提高塔顶排出蒸汽的能量品位,就可将塔顶蒸汽作为其他换热器的热源,如脱水塔可加一中间再沸器。将 EG 精馏塔提压后,塔顶温度为 156.9℃,经用 Aspen 模拟计算,脱水塔第 20 块板的温度为 114.6℃,可将提压后的 EG 精馏塔塔顶出料作为脱水塔的中间再沸器热源。改造后的流程图如图 5 所示,可节约脱水塔塔底再沸器负荷 1.3221 MW。

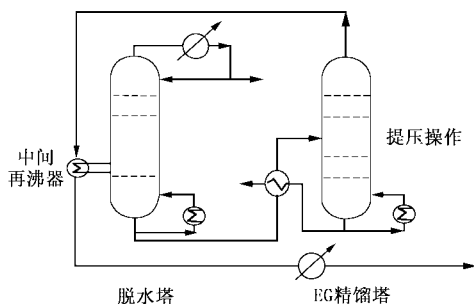


图 5 EG 精馏塔改造流程图

#### (4) 采用高效的能量转换装置

由于系统中存在大量的低温热源,既浪费了这部分热量,又增加了冷却水的用量,可以使用热泵等

能量转换装置回收这部分热量。如 EO 反应器出料在经过换热后温度仍然有 110℃,利用这部分热量将节省大量公用工程用量。

## 2 结论

①通过系统用能夹点分析发现,有热流通过夹点,蒸馏塔处在夹点上,部分换热器传热温差偏高,导致系统用能不合理,热回收不够充分,能耗偏高。

②根据虚拟温度法优化流股匹配换热的传热温差,提高了热回收,节省的冷量、热量各为 6.016 MW。

③合理匹换热网络,节省冷热公用工程用量各为 13.4 MW;调整精馏塔塔压,提高热物流的温位,使之成为代替公用工程加热的热源,节省热公用工程用量 1.3221 MW。

④当系统中存在大量低温热源时,可使用热泵,或吸收制冷进一步回收利用热能,降低生产成本。

## 参考文献

- [1] 姚平经. 全过程系统能量优化综合[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1995.
- [2] Linnhoff B. [J]. Chem Eng Prog, 1984, 80(7): 33-40.
- [3] 李公泉, 樊希山. [J]. 化学工程, 1999, 27(1): 45-60.
- [4] 俞红梅, 姚平经. [J]. 化学工程, 1998, 26(6): 52-58. ■

## 提供更环保、更洁净的工业解决方案

由新加坡展览有限公司主办的 CIA2003(国际化学加工工程与承包展览会、国际测量、控制、衡量与实验仪器展览及研讨会、国际实验与分析科技与配备展览会)将于 2003 年 12 月 2~5 日于新加坡国际会议展览中心隆重举行。参观者将会从 900 多家参展公司中深切地体会到 CIA2003 是迎合不同行业特点的一站式资源征寻地。其 3 项展览 ChemAsia、InstrumentAsia 和 AnaLabAsia2003 将向您呈现化学加工工程、测量和控制以及实验室分析技术的工业解决方案。

化学科技的其中一项关键之处是产品的发展具有创新且不同凡响的特性,它不仅用于消费,而且还造福于工业生产流程。比如离子液体对创建绿色环保的化学工业来说是一个可喜的贡献。主要参展商 Merck 将展示其一系列的离子液体产品,该公司的另一项创新是其新一代试剂——the Karl Fischer apura 产品系列

——可迅速而准确地确定那些可能影响化学制品本质并改变其品质和自身寿命的水。

迈向绿色和安全的工业也是一项令人关注的议题。由本地供应商 Chemoscience 代理的 Milestone 的水银分析仪 DMA-80,可以轻而易举地测量出液态与固态的水银样本,并且省略了冗长的样本预处理和废物处理过程。Chemoscience 还将展示 Milestone 的其他产品。

各大知名品牌,例如 Beaver Contromafic、D Dietrich Process Systems、Groth、Gemu、iSolv、VWR Collection 和 Yokogawa 也将在 CIA2003 展示其产品。欲知更多展会详情,请浏览 [www.cia-asia.com](http://www.cia-asia.com)。

新加坡展览有限公司网址:[www.sesallworld.com](http://www.sesallworld.com), 电话:(65)67386776, 传真:(65)67326776, E-mail: [mich@sesallworld.com](mailto:mich@sesallworld.com)。