

多夹点换热网络综合与分析

刘洪谦 麻德贤

(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘要: 在石油化工等现代过程工业中,经常会遇到具有相变的过程物流,这些物流很容易使系统出现多个夹点。利用 Linnhoff 的夹点理论对系统进行启发式综合时,可根据夹点的具体位置将系统划分为若干个子系统,在这些系统中进行有效的综合。实际综合结果表明,采用这种方法能合理地分配系统的公用工程消耗,对促进系统的可控性、可操作性和运转的安全性具有一定的指导意义。

关键词: 过程系统工程;换热网络;夹点

中图分类号: TQ 021.8/7

引言

能量回收与转换系统是过程系统工业的重要组成部分。过程系统能量综合的主要目的是在工艺单元优化的基础上,对过程系统进行有效的能量分析,得到高效、合理的能量回收系统。目前对过程能量回收系统进行评价的方法以夹点分析方法^[1]为主,它能对单夹点系统进行有效的能量分析。在实际过程系统中,为充分回收与利用过程物流所携带的能量,需要引入不同温度等级的公用工程,或利用闪蒸实现对过程物流能量的充分挖掘。对工艺进行上述安排,通常会使系统出现多夹点现象。多夹点的出现,为过程系统的能量分析与综合增添了一定难度。

1 Linnhoff 的夹点能量综合理论

过程系统能量综合与分析较为成功的方法首推 Linnhoff 的夹点分析方法^[1]。它的基本原理是:一个热回收系统通常包含一组需加热的冷物流和一组需冷却的热物流,这两种物流在工艺过程中所需要的热量一部分来自于冷热物流间的相互换热,另一部分由公用工程提供。若系统热回收达到最大程度时,外界提供的公用工程最小。此时冷热物流间出现最小允许传热温差 t_{\min} 的地方,就称之为夹点 (pinch point),如图 1 所示。

夹点将整个换热网络分解为夹点上的热端、夹

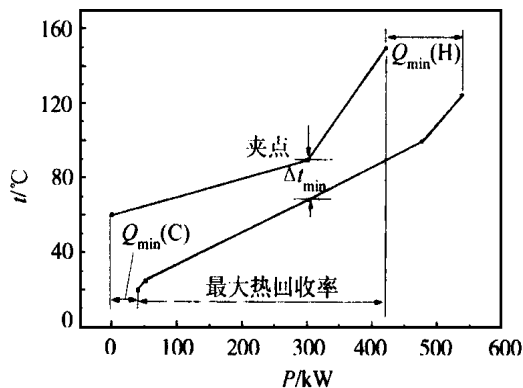


图 1 夹点的示意图

Fig. 1 The schematic of pinch point in composite curve

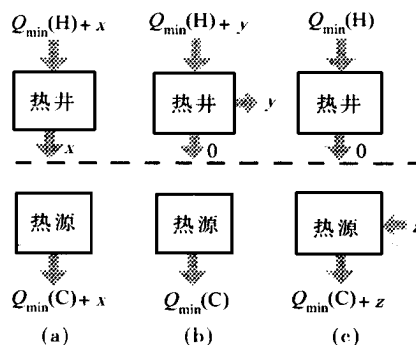


图 2 公用工程用量与夹点的关系

Fig. 2 The relationship between utilities and pinch point

收稿日期: 1999-05-20

第一作者: 男, 1965 年生, 郑州大学化工系讲师, 在职博士生

点下的冷端两个独立的子系统。图 2 显示了公用工程用量与夹点之间的关系。在夹点上可用较低温度

的热公用工程进行加热,在夹点下可用较高温位的冷公用工程从温度较高的区域移走热量,并将此热量用于加热热水或副产蒸汽,同时又可以减少冷却水用量。

夹点是整个热回收网络换热温差 t 最小的点或复合热容曲线图上的“瓶颈”点。在夹点附近,从夹点向两端的 t 是增加的。为保证换热温差 t 不小于 t_{min} ,每个夹点匹配流股的热容流率 F 必须满足以下条件:

$$\text{在夹点以上} \quad F_H = F_C \quad (1)$$

$$\text{在夹点以下} \quad F_H = F_C \quad (2)$$

$$\text{或} \quad F_{out} = F_{into}$$

根据夹点理论的基本假设可知,利用夹点对换热网络进行能量分析时,只能找到一个理论意义上的夹点。

2 多夹点系统的公用工程分析

利用表 1 所示的匹配物流^[2],得到复合热容曲线,如图 3 所示。可将流股 7、8、9、14 当作具有相变的物流来对待。在图 3 中,夹点 1 是通过 Linnhoff 的夹点理论获得的过程夹点。

表 1 炼厂换热匹配物流

Table 1 The gasoline fractionating plant problem

物流	t_s /	t_t /	F /(kW· ⁻¹)
1	217.00	150.00	148.42
2	97.00	50.00	27.32
3	135.00	50.00	111.25
4	155.00	50.00	79.01
5	180.00	50.00	42.92
6	210.00	50.00	21.66
7	155.50	154.50	28 500.00
8	97.50	96.50	45 900.00
9	97.50	96.50	11 800.00
10	120.00	50.00	117.86
11	40.00	65.00	280.80
12	65.00	150.00	716.33
13	149.50	150.50	12 700.00
14	164.50	165.50	26 500.00
15	30.00	100.00	107.11

如果在过程夹点以外的区域内,复合热容曲线

上依旧有符合式(1)、(2)的部分存在,则认为系统还存在着另外一个夹点。需要说明的是,在该“夹点”处,系统的夹点最小温差将和另外一个夹点处的温差有所不同,该夹点即为“伪夹点”。如果在进行夹点分析时,公用工程的引入会导致多夹点情况的产生,则可将多余的夹点称为公用工程夹点。具有相变的物流或公用工程通常会导致“伪夹点”的产生。

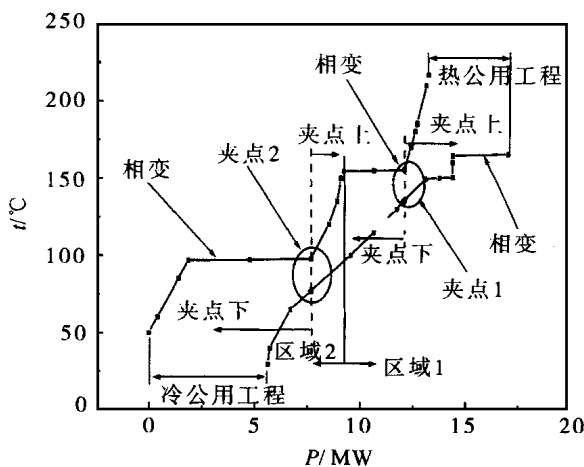


图 3 多夹点的复合热容曲线

Fig. 3 Composite curves with multiple pinch points

在复合热容曲线图上,过程夹点、“伪夹点”将系统分为若干区域。在图 3 中,夹点 2 是一个“伪夹点”。夹点 2 处的最小温差和夹点 1 处的有所不同,可以根据复合热容曲线及两个夹点的实际位置将网络划分为两个区域,以进行有效的公用工程消耗分析及网络综合。

3 实例

在过程工业中,除利用冷(热)载媒的相变热获得公用工程所需热量外,还可利用载媒在单一相态的温度变化以获得公用工程所需热量。若公用工程全部由载媒以等温相变形式向系统提供公用工程所需热量,可根据载媒的相变温度和物流的温度分布,将物流划分为若干个温度区间,在每个温度块进行系统的能量分析与综合。

如,在裂解法制乙烯工艺中,裂解气分离通常采用顺序分离和后加氢工艺流程。裂解气、丙烯制冷和乙烯制冷压缩机采用蒸汽透平驱动。为达到不同的分离效果,采用了不同温度位的碳 2、碳 3 作为冷(热)媒。

其温度分布为:丙烯 - 40, - 23.8 和 3

;乙烯 - 101.9 , - 75 和 - 55 ;冷却水 30 , 低压蒸汽 127 。

根据上述原理,通过对燕山石化 45 万 t 乙烯流程分离工序的分析,得到图 4 所示的复合曲线图。根据 Linnhoff 夹点分析法,现有的裂解法制乙烯工艺中存在着跨越夹点的匹配,系统同时存在着“伪夹点”。在工艺上,脱甲烷部分的温度极低,这一部分的物流一般不与其他部分的工艺物流进行匹配换热。因此,除该部分中冷热物流之间换热以回收冷量外,不足部分由低温位的碳 2、碳 3 提供。

根据“伪夹点”的温度、实际工艺过程和物流温度分布,按过程夹点和伪夹点将分离工序划分为两个部分,进行有效的能量分析及公用工程合理配置。即将分离工序划分为系统 (脱甲烷塔的低温部分) 和系统 (由其它序列分离部分构成“高温”位部分)。

在系统、内,可根据公用工程的等级进行系统能量的优化配置。由图 4 可见,在某些子系统内,不存在夹点。子系统靠区间两头的碳 2、碳 3 及工业蒸汽实现其内部的能量平衡。在子系统末端,未得到的平衡热量和公用工程一起作为下一个子系统的能量输入。系统具体的优化结果如表 2、表 3 所示。

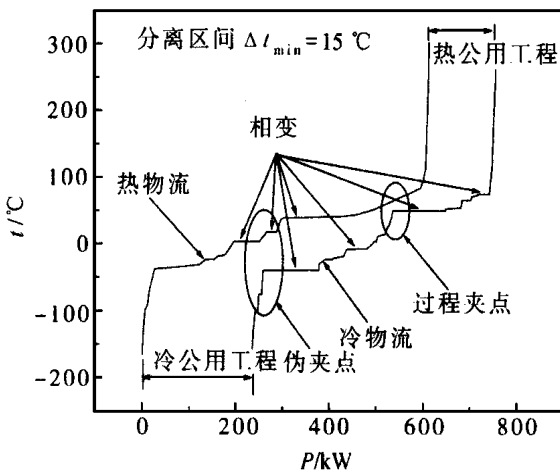


图 4 乙烯分离工序的复合热容曲线图

Fig. 4 The composite curves of separate process in ethylene production

因现场空间、工艺流程及设备条件的限制,从营运成本角度来讲,以最大能量回收为目标的改造方法是不经济的。在充分利用现有匹配单元的基础上,调整某些换热器的匹配顺序、采用高效换热装

置及改变公用工程的等级,可实现一定程度的总体降耗、节资效果。通过初步分析可知,适当调整网络结构,可节约 700.0 kW 左右的能耗,若按年操作时为 8 000 h/年,电费为 0.20 圆记算,即可节约 112.0 万圆。

表 2 碳 2、碳 3 所提供的实际公用工程消耗

Table 2 The actual utility offered by C2 and C3

物流	t/		P / GW	工作状态
	t _s	t _t		
碳 3-1	37.30	3.00	3.03	加热
碳 3-2	16.00	3.00	51.68	加热
碳 3-3	- 23.80	- 23.81	9.46	加热
碳 3-4	- 40.00	- 39.99	9.97	冷却
碳 3-5	- 23.80	- 23.81	14.08	冷却
碳 3-6	3.00	3.01	0.41	冷却
碳 3-7	18.00	17.99	21.26	加热
碳 3-8	37.70	- 23.80	9.69	加热
碳 2-1	- 55.00	- 54.99	3.10	冷却
碳 2-2	- 75.00	- 74.99	6.56	冷却
碳 2-3	- 101.00	- 101.01	6.00	冷却

表 3 高压、低压蒸汽、冷却水及急冷水消耗

Table 3 The consumption of HP stream, LP stream, cooling water and quick cooling water

物流	P/ GW
高压蒸汽	9.329 8
冷却水	304.38
低压蒸汽	68.502
急冷水	163.23
热回收	303.25
总热公用工程消耗	241.06
总冷公用工程消耗	304.38
热公用工程消耗下限	142.16
冷公用工程消耗下限	235.6
净能量回收	378.21

4 结束语

探讨了多公用工程最小消耗问题的求解策略,将多维换热网络能量综合问题转化为低维问题进行求解,并对裂解法制乙烯工艺进行了能量分析,并就改造举措进行了一定的探讨。

符 号 说 明

F_H 、 F_C 、 F_{out} 、 F_{in0} ——热容流率, kW/
 P ——单位时间内的换热负荷, W
 t ——温度,
 t_s ——物流起始温度,
 t_t ——物流目标温度,

参 考 文 献

- [1] Linnhoff B, Townsend D W. User guider on process integration for the efficient use of energy. New York: Pergmon Press, Ltd, 1982
- [2] Gundersen T, Grossmann I E. Improved optimization strategies for automated heat exchanger network synthesis through physical insight. Comput Chem Engng, 1990, 14: 925

Synthesis and analysis of heat exchanger networks featuring multiple pinch points

LIU Hong-qian MA De-xian

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Engineering, Beijing 100029, China)

Abstract: It was often to come across streams with phase changed, which might result in multiple pinch points in the composite curve, in the modern petrochemical industries. When the process system was being synthesized by means of Linnhoff's pinch point technology, sub-systems can be obtained based on pinch point location and synthesized effectively. The tests illustrated that the method can reasonably allot process utilities consumption, and it was significant to facilitate the system control, operation and safety.

Key words: process system engineering; heat exchanger networks; pinch point

(上接第 8 页)

Comparison of characteristics of the pressure-drop and mass-transfer of two kinds of packing in a rotating packed bed

LI Zhen-hu GUO Kai WENG Nan-mei FENG Yuan-ding ZHENG Chong

(High Gravity Engineering & Technology Research Center, Department of Chemical Engineering,
Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: With an air-water-SO₂ system, the characteristics of the pressure-drop and mass-transfer in RPB have been studied. Results show that the gas pressure-drop of packing A (normal metal wire packing) is about 30% higher than that of packing B (wave wire packing). The volume mass-transfer coefficient of packing A is about 15% less than that of packing B. In other words, the characteristics of hydromechanics and mass-transfer of packing B is better than that of packing A.

Key words: countercurrent; RPB; pressure-drop; mass-transfer; packing