

一种复杂精馏流程的编码表达法

安维中¹ 胡仰栋¹ 袁希钢²

(1. 中国海洋大学化学化工学院, 山东 青岛 266003; 2. 天津大学化学工程研究所, 天津 300072)

摘要:提出一种多组分精馏流程的编码表达法,适用于由简单塔、带有侧线汽提或侧线精馏类型的塔以及 Petlyuk 类型的塔等单元构造的分离流程。首先根据塔段数和换热器数目之间的关系导出所有可能的分离方案,其次用整数作为编码来产生所有可能的分离任务顺序和换热器方案,最后用二叉树方法建立编码组合与流程结构之间的映射关系,从而实现整个流程的合理表达。同以往的方法比较,本文方法的适用范围更广,可表达更复杂的分离流程,同时简单易行。

关键词:复杂精馏流程;编码表达法;二叉树

中图分类号:TP311.12;TQ018

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S2-0147-03

A new coding procedure for presentation of complex distillation flowsheets

AN Wei-zhong¹, HU Yang-dong¹, YUAN Xi-gang²

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Chemical Engineering Research Center, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A new coding procedure for the representation of multicomponent distillation flowsheets is proposed, which is suitable for separation flowsheets generated from simple column, columns with side stripper or/and side rectifier, as well as Petlyuk types of columns. To implement the suggested approach effectively, a relationship between the number of column sections and heat exchangers is first used to generate all possible separation flowsheets, and then a coding procedure that makes use of an integer number series for representing separation task sequence and heat exchangers schemes is developed, and finally a binary tree approach is introduced to construct mapping relation between coding sequence and separation flowsheet. The advantages of the presented approach are that it can be implemented easily and effectively and with larger applicability for various feasible separation flowsheets.

Key words: complex distillation flowsheets; coding procedure; binary tree

在分离过程综合研究中,如何对离散流程结构的合理表达是各种方法实施的首要环节。基于知识的方法常用图解和表格法表达分离序列,数学规划方法用 0-1 变量对结构进行严格描述。在应用随机优化算法和进化调优等方法时,常用编码的方法来描述离散流程结构。所谓编码方法就是用特定的数学代码或符号来描述流程结构,通过建立数码集合与具体流程之间的映射关系,便能使复杂的流程结构得到更简单和直观的描述。在这一领域,前人提出的编码表达法主要针对简单-清晰分离序列或构形单一的复杂流程^[1-6],针对这些方法的缺点,本文提出一种系统的、能表达更广泛精馏流程结构的编码表达法。

1 问题描述

考虑将一个 N 组分混合物 $\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ 分为各自的纯组分,允许采用的分离单元包括简单

塔、带有侧线汽提和侧线精馏的塔、Petlyuk 或预分馏类型的塔。基本假设为:①如果分离是非清晰的,则假定两个关键组分之间有一个中间分布组分;②如果各分离单元之间的物流连接不是热耦合方式,则为饱和液体(包括初始混合物)。

用上述分离单元的组合可产生灵活多样和数目庞大的可行分离方案。为了能用编码的方法描述其结构,笔者采用如下策略方法:

(1)用塔段数(S)和换热器数目(E)之间的关系来导出所有可能的分离方案。

对本文问题, $2(N-1) \leq S \leq 4N-6$, $2 \leq E \leq 2(N-1)$, 其中最小换热器的数目与 S 有关^[7]。以 $N=5$ 为例,则可产生 4 类子分离流程:① $S=8, 5 \leq E \leq 8$; ② $S=10, 4 \leq E \leq 8$; ③ $S=12, 3 \leq E \leq 8$; ④ $S=14, 2 \leq E \leq 8$ 。

(2)对于任一给定的 S ,可用分离任务序列和换热器方案来描述其结构特征。

基金项目:国家自然科学基金项目(20376078)

作者简介:安维中(1968-),博士,讲师,研究方向为过程系统工程;胡仰栋(1957-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事化学工程方面的研究,通讯联系人,0532-2032141, ydhuhd@mail.ouc.edu.cn。

一个分离任务对应 2 个塔段,所以分离任务的数目(T)为 $(N-1) \leq T \leq 2N-3$ 。此外,当 $T = N-1$ 时,所有的分离任务都是清晰的,否则出现非清晰分离,意味着出现 Petlyuk 类型的塔结构,对应着有最终产品直接从一个或几个塔的侧线采用。对于换热器问题,本文用分离任务单元之间的连接方式来间接表达。分离任务之间的物流连接方式有 2 种,一种是直接采用热耦合的形式,另一种是采用饱和和液体,前者不存在换热器,后者存在换热器与之对应。

根据以上 2 个方面,通过制定分离任务序列和换热器方案的编码表达,再根据两部分编码包含的信息,通过分割、合并和重组分离任务流程中的某些塔段可以获得最终的复杂流程。

2 分离任务序列的编码表达

2.1 编码方法

定义 $2N-3$ 个自然整数 $1, 2, \dots, 2N-3$ 为基本编码元素来表示可能的 $2N-3$ 个分离任务。图 1 示意用 $2N-3$ 个整数切割一个 N 组分混合物。

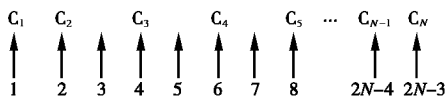


图 1 用 $2N-3$ 个整数切割 N 组分混合物

产生编码集合的方法是:①用一个 $2N-3$ 维的整数数组 $\{s_i\}_a (i=1, 2, \dots, 2N-3)$ 表示所有可能的 $2N-3$ 个分离任务的组合。②在 $2N-3$ 个整数中,定义 $N-2$ 个偶数指示非清晰分离任务,任一偶数 N 指示的分离任务为 $C_{N/2} C_{N/2+1} | C_{N/2+1} C_{N/2+2}$,即轻关键组分 $C_{N/2}$ 、中间分布组分 $C_{N/2+1}$ 、重关键组分 $C_{N/2+2}$ 。③在 $2N-3$ 个编码中,定义 $N-1$ 个奇数指示清晰分离任务,任一奇数 N 指示的分离任务为 $C_{(N+1)/2} | C_{(N+1)/2+1}$ 。④对于含有不同分离任务数的问题,可简单的通过删除 $\{s_i\}_a$ 中的偶数元素来完成。依此,分离任务序列的编码集合可表示为 $\{s_i\} (i=1, 2, \dots, T, N-1 \leq T \leq 2N-3)$ 。

举例: $\{s_i\}_1 = \{6, 7, 5, 3, 1, 2\}$, 这是一个 $T=5$ 和不包括偶数 4 的编码序列,对应的分离顺序为 $\{C_3 C_4 | C_4 C_5, C_4 | C_5, C_3 | C_4, C_2 | C_3, C_1 | C_2, C_1 C_2 | C_2 C_3\}$ 。

2.2 解码方法

编码序列 $\{s_i\}$ 和具体分离序列之间的映射关系通过二叉树方法实现。实施步骤是:①将任意初始的 $\{s_i\}$ 排序生成一个含有 T 个节点的二叉树结构;

②如果 $T > N-1$ 时,检查二叉树结构是否可行,规则是任一偶数节点必须含有一个比其节点数值小的左子节点和一个比其节点值大的右子节点;③用二叉树包含的信息直接描述系统中物流的连接关系,将 $\{s_i\}$ 转化为一个确定的分离任务序列。

以 2.1 节的 $\{s_i\}_1$ 为例,对应的二叉树结构如图 2(a) 所示。该结构中偶数节点 2 没有左和右子节点,所以该树及对应的序列 $\{s_i\}_2$ 不可行。将 $\{s_i\}_2$ 中偶数编码 2 的位置前移二位得到如图 2(b) 所示的新结构,则该树及对应的 $\{s_i\}_3$ 是可行的。用二叉树描述 $\{s_i\}_3$ 中物流连接,并结合每个分离的回收率,可得到一个具体的分离任务序列: $\{C_1 C_2 C_3 C_4 | C_4 C_5, C_1 C_2 C_3 | C_4, C_1 C_2 | C_2 C_3, C_1 | C_2, C_2 | C_3, C_3 | C_4\}$ 。假设该序列中每个单元对含有一个冷凝器和一个再沸器,则对应的拓扑图形如图 3(a) 所示。

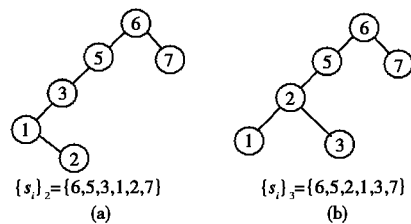


图 2 用二叉树表示分离序列及其可行性

2.3 相邻结构的产生方法

第一,当 $T = N-1$ 时,可通过交换二叉树中节点的位置得到新的结构;第二,当 $T = 2N-3$ 时(包含最多的非清晰分离任务),可通过交换二叉树中偶数节点的位置产生新的结构;第三,当 $N-1 < T < 2N-3$ 时,有两种方法可供产生新解:(1)删除 $\{s_i\}$ 中一个偶数编码,用一个新的可行的偶数编码来替换;(2)交换当前树中相邻节点的位置。理论上,以上方法能保证产生所有可能的相邻序列。

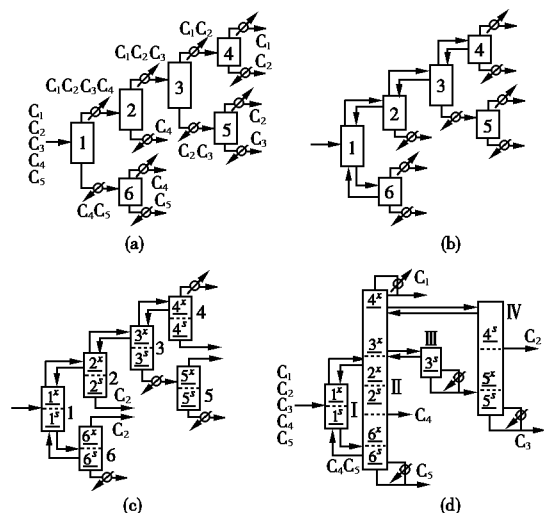


图 3 创建 $(N-1)$ 塔流程的举例示意步骤

3 换热器方案的编码表达

3.1 编码方法

定义 ST 维数组集合 $\{\phi_j\}$ ($j=1, 2, \dots, T, \phi_j \in \{0, 1\}, \phi_1=0$) 来表示 T 个单元的进料方式, 并间接表示换热器方案。其中, 0 表示进料是饱和液体, 1 表示热耦合方式。相邻结构的产生方法是: 将 $\{\phi_j\}$ 中的某个编码从 0(1) 变为 1(0), 等价于从系统中加入/删除一个换热器。

3.2 解码方法

步骤 I: 将 $\{\phi_j\}$ 和 $\{s_i\}$ 及对应二叉树结合起来, 查找 $\{\phi_j\}$ 中等于 1 的元素, 如 $\phi_j=1$, 并且对应的 $s_j < s_{j-1}$, 则 $j-1$ 单元的分离没有冷凝器; 如果 $\phi_j=1$, 并且 $s_j > s_{j-1}$, 通过二叉树找到 s_j 的父节点 s_m , 则 m 单元的分离没有再沸器。

步骤 II: 如果 $T > N-1$, 由 $\{s_i\}$ 直接确定最终产品是否存在换热器及类型。方法是: 对于任一偶数编码 s_g , 分别查找到 2 个奇数编码 $s_p = s_g - 1$ 和 $s_n = s_g + 1$, 则 p 单元的分离没有再沸器, n 单元的分离没有冷凝器。

以 $\{s_i\}_3 = \{6, 5, 2, 1, 3, 7\}$ 和 $\{\phi_j\} = \{0, 1, 1, 1, 0, 1\}$ 为例, 按步骤 I 方法删除图 3(a) 中第 1、2、3 单元的冷凝器和 1 单元的再沸器, 对应的拓扑图形如图 3(b) 所示。由于 $\{s_i\}_3$ 含有 2 个偶数编码 6 和 2, 需要确定最终产品是否存在换热器及类型。按步骤 II 的方法删除第 2 单元的再沸器和第 6 单元的冷凝器, 第 4 单元的再沸器和第 5 单元的冷凝器。这样, 由最后确定得到的分离任务流程如图 3(c) 所示。该流程称之为分离任务流程, 其特征是其过程单元是分离任务而非塔, 每个任务包含一个精馏段(用 x 表示)和一个提馏段(用 x 表示)。

4 确定最终的分离任务流程

根据 $\{s_i\}$ 和 $\{\phi_j\}$ 变量包含的信息, 通过分割、合并和重组分离任务流程中的某些塔段创建一个最终的复杂流程。该流程含有 $N-1$ 个塔, 并且包括具体的塔或流程的构形, 如侧线汽提塔、侧线精馏塔, Petlyuk 或预分馏塔以及各种单元的混合结构等, 具体实施可参见文献[8]。以图 3(c) 为例, 最后可得到图 3(d) 的复杂流程。

5 结论

提出一种新的可以描述带有热耦合的多组分精馏流程的编码表达法。通过将复杂流程的结构特征用分离任务序列和换热器方案两部分来描述, 通过二叉树方法建立编码序列和流程结构之间的映射关系, 用本编码方法可以产生和描述一系列带有不同塔段数目和换热器数目的广泛的热耦合流程结构。本方法可以同进化方法及随机优化(如遗传算法和模拟退火算法等)来结合实现复杂分离流程综合或优化设计。

参考文献

- [1] Floquet P, Pibouleau L, Domenech S. [J]. *Comput Chem Eng*, 1994, 18(6): 1141.
- [2] Wang K F, Qian Y, Yuan Y, et al. [J]. *Comput Chem Eng*, 1998, 23(1): 125-136.
- [3] 陈中洲, 袁希钢, 钟志军. [J]. *计算机与应用化学*, 1997, 14: 247-252.
- [4] 陈中洲, 袁希钢, 陈丽. [J]. *计算机与应用化学*, 1997, 14(增刊): 189-193.
- [5] Marcoulaki E, Kokossis A. [J]. *Chem Eng Res Des*, 2001, 79: 25-32.
- [6] Yuan X G, An W Z. [J]. *Chinese J Chemical Industry and Engineering*, 2002, 10(5): 495-507.
- [7] Agrawal R. [J]. *Ind Eng Chem Res*, 1996, 35: 1059-1071.
- [8] 安维中. 基于随机优化的复杂精馏系统的综合研究[D]. 天津: 天津大学, 2003. ■

上证 50 成份股首次评级, 中国石化获得 AAA 级最高信用级别

2004 年 6 月中旬, 大公国际资信评估有限公司发布了其对“上证 50 指数”成份股公司的信用评级报告。上证 50 成份股公司中, 44 家公司达到“安全”级别, 其中中国石化等 3 家公司获得 AAA 级最高信用级别, 上海石化等 14 家公司获得 AA 级信用级别。