

图像思维在化工原理教学中的应用^①

秦正龙, 刘 飒, 黄芳敏

江苏师范大学 化学化工学院, 江苏 徐州 221116

摘要: 化工原理计算通常包括设计型计算和操作型计算两种类型。操作型计算变量多且通常又是非线性的、知识应用灵活、计算复杂, 学生难以掌握。研究了图像思维在化工原理操作型计算中的具体应用, 该方法直观、易学、快速、实用。

关键词: 化工原理; 图像思维; 教学方法; 教学质量

中图分类号: G642

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)07-0189-04

化工原理是一门重要的工程技术基础课程^[1-2], 是江苏师范大学化学化工学院(本文简称“我院”)应用化学、环境工程、制药工程和材料科学等专业必修的一门主干课, 它主要讲述化工生产过程中单元操作的基本原理、特点和典型设备的结构、操作性能及计算^[3-4]。化工原理的计算一般分为两类, 一类是设计型计算, 即根据要求的生产任务计算合适的设备; 另一类是操作型计算, 即对某个过程或已有设备在一定条件下完成的任务进行计算或者核定某些操作参数^[5]。有关图像思维在化工原理设计型计算中的应用报道较多^[6-7], 而在操作型计算中的应用报道则不多。操作型计算由于变量多、变量之间的关系往往又是非线性的、知识应用灵活、计算复杂而成为化工原理计算的难点之一^[8-9], 学生对此难以理解和掌握。而用图像思维求解该类问题, 学生则易于接受和掌握, 教学效果明显提高。

图像思维在认识论和方法论中也称形象思维, 它是通过直观生动的图像来显现、思考、分析和解决问题, 是思维的形象化反映^[10]。用图像思维进行操作型计算, 关键有 3 点: 一是无论原工况还是新工况, 物料衡算和热量衡算不能违背; 二是明确比较、计算的标准; 三是计算得到的数值要与给定的相符合^[11]。本研究通过 3 个具体例子, 说明图像思维在化工原理教学中的应用。

1 图像思维在换热器操作型计算中的应用

常见的换热器操作型计算有两类, 第一类是已知换热器的传热面积 A 及有关尺寸, 冷、热流体的物理性质, 冷、热流体的流量和进口温度, 以及流体的流动方式, 计算冷、热流体的出口温度; 第二类是已知换热器的传热面积 A 及有关尺寸, 冷、热流体的物理性质, 热流体的流量和进、出口温度, 冷流体的进口温度及流动方式, 计算冷流体的流量及出口温度。例如有一逆流操作的换热器, 热流体走管外, 其进、出口温度分别为 T_1 和 T_2 , 质量流量、定压比热依次为 q_{m1}, C_{p1} , 该侧的给热系数为 α_1 ; 冷流体走管内, 其进、出口温度分别为 t_1, t_2 , 质量流量、定压比热依次为 q_{m2}, C_{p2} , 该侧的给热系数为 α_2 , 管壁热阻可以忽略。当冷流体的进口温度减小时, 则热负荷 Q , 传热平均推动力 Δt_m 和冷、热流体出口温度怎么变化? 显然, 这是换热器操作型计算的第一类命题。由于冷、热流体的质量流量不变, 因此传热系数 K 不变。根据传热过程基本方程:

$$A = \frac{Q}{K\Delta t_m} = \frac{Q'}{K\Delta t'_m} \quad (1)$$

① 收稿日期: 2016-03-16

基金项目: 江苏省高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015B110); 江苏师范大学教育教学课题资助项目(JYY201409)。

作者简介: 秦正龙(1963-), 男, 江苏苏州人, 教授, 主要从事化工原理教学和物质的定量构效关系研究。

其中 Q' 和 $\Delta t'_m$ 依次是新工况的热负荷及传热平均推动力. 因为换热器的换热面积 A 是一个常数, 由(1)式可知新工况只可能出现两种情况, 一种情况是 $Q', \Delta t'_m$ 均增大, 另一种情况是 $Q', \Delta t'_m$ 均变小. 再根据热量衡算方程:

$$Q' = q_{m1}(T_1 - T'_2) = q_{m2}C_{p2}(t'_2 - t'_1) \quad (2)$$

式中: T'_2 是新工况时热流体的出口温度; t'_1, t'_2 分别是新工况时冷流体的进、出口温度. 显然 $\frac{q_{m2}C_{p2}}{q_{m1}C_{p1}}$ 是一个常数, 故原、新工况的操作线平行. 当冷流体的进口温度减小时, 新工况时热流体出口 T'_2 有可能出现不变、增大和变小 3 种情况. 如果 T'_2 不变, 则由(2)式可知 Q' 不变, 再由(1)式可知 $\Delta t'_m$ 也不变. 如果 T'_2 增大, 则由(2)式可知新工况时冷流体出口 t'_2 变小, Q' 也变小, 由(1)式可知 $\Delta t'_m$ 也应变小. 那么这两种情况是否成立呢? 采用图像思维的方法, 原、新工况的操作线见图 1(a) 和图 1(b), 在这两种情况下的 $\Delta t'_m$ 都是增大的, 所以这两种情况不成立. 如果 T'_2 变小, 原、新工况的操作线见图 1(c), 可见 t'_2 也变小, 由(2)式可知 Q' 增大, 根据(1)式 $\Delta t'_m$ 也应增大, 再由图 1(c) 可知, $\Delta t'_m$ 确实增大, 所以这种情况是正确的. 即当冷流体的进口温度减小时, 则热负荷增大, 平均推动力增大, 冷、热流体出口温度均下降.

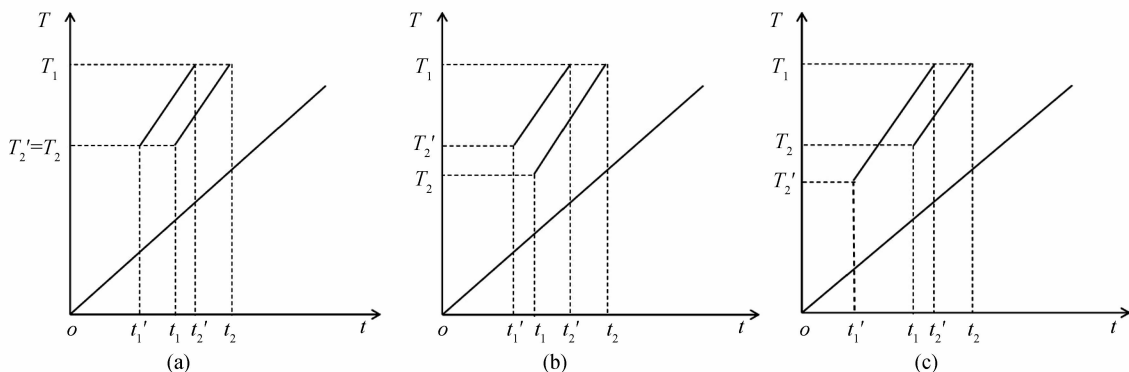


图 1 冷流体进口温度对传热过程的影响

2 图像思维在精馏操作型计算中的应用

精馏操作型计算是在设备(全塔理论板数和加料板位置)一定的条件下, 根据指定的操作条件预测精馏的结果; 或者为了达到指定的精馏结果确定必要的操作条件. 在实际工业生产中可以用来预测产品质量及为了保证产品质量应该采取什么措施等. 例如由 A, B 组成的理想溶液, 在连续操作的精馏塔中分离, 如果进料组成 x_f 、进料热状态 q 、塔顶产品产出率 D/F (塔顶产品流量 D 与进料流量 F 之比) 和全塔理论板数 N_T 不变, 只增大回流比 R , 那么塔顶产品浓度 x_D 、塔底产品浓度 x_w 怎么变化? 根据全塔物料衡算:

$$Fx_f = Dx_D + (F - D)x_w$$

即

$$x_f = \frac{D}{F}x_D + \left(1 - \frac{D}{F}\right)x_w \quad (3)$$

由于 $x_f, D/F$ 一定, 因此由(3)式可知会出现 3 种情况. 第 1 种是 x_D, x_w 均不变; 第 2 种是 x_D 变小、 x_w 增大; 第 3 种是 x_D 增大、 x_w 变小. 那么哪一种是正确的呢? 采用图像思维的方法, 3 种不同工况的操作线见图 2. 由图 2 可清楚地看出, 在第 1 种和第 2 种工况下, 全塔的理论板数 N_T 均减少, 说明这两种情况是不可能的; 而第 3 种工况, 全塔的理论板数 N_T 保持不变, 符合条件, 即增大回流比, 塔顶产品浓度增大、塔底产品浓度变小.

3 图像思维在吸收塔操作型计算中的应用

在实际生产中, 吸收塔的操作型计算是经常遇到的. 常见的吸收塔操作型计算也有两类: 第 1 类是给定吸收塔的高度 H 和其他有关尺寸, 气、液两相的摩尔通量 G, L , 气、液两相的进口浓度 y_1, x_2 , 相平衡常数 m 及流动方式, 气相总体积传质系数 aK_y , 计算气、液两相出口浓度 y_2, x_1 ; 第 2 类是给定吸收塔的高度

H 和其他有关尺寸, $G, y_1, y_2, x_2, m, aK_y$ 和流动方式, 计算 L 及 x_1 . 例如在一逆流操作的低浓度气体吸收塔中, 增大吸收剂的用量, 则吸收剂和气体出口浓度怎么变化? 显然, 这是吸收塔操作型计算的第 1 类命题. 根据吸收的特征方程:

$$H = H_{OG} N_{OG}$$

(4)

(4) 式中 H_{OG}, N_{OG} 分别是气相传质单元高度、气相传质单元数.

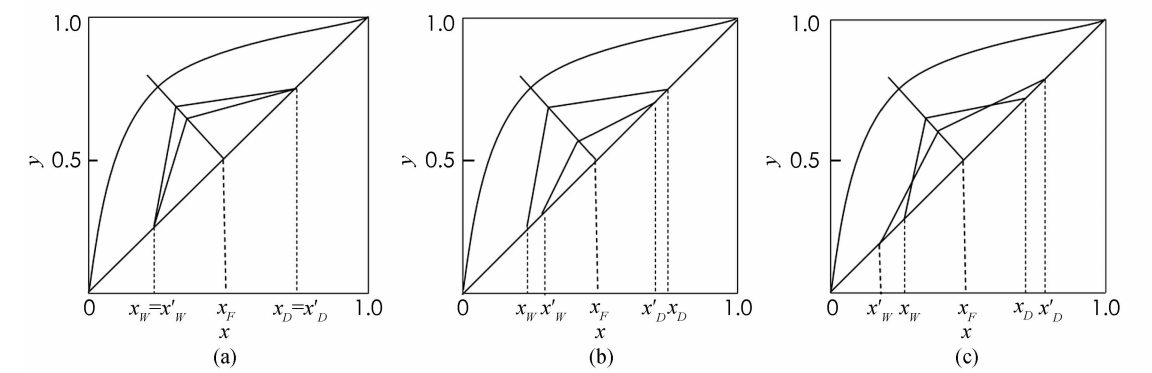


图 2 回流比对精馏结果的影响

而

$$H_{OG} = \frac{G}{aK_y}$$

(5)

因为 G, aK_y 不变, 由 (5) 式可知, H_{OG} 也不变. 由于 H_{OG}, H 不变, 由 (4) 式可知, N_{OG} 也不变. 即

$$N_{OG} = N'_{OG} = \frac{H}{H_{OG}} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_m} = \frac{y_1 - y'_2}{\Delta y'_m}$$

其中: y_m, y'_m 依次为原、新工况吸收的平均推动力; N'_{OG}, y'_2 分别是新工况气相传质单元数、气体出口浓度.

查传质单元数图(图 3)^[12], 则不难发现:

$$\frac{y_1 - mx_2}{y_2 - mx_2} < \frac{y_1 - mx_2}{y'_2 - mx_2}$$

故 $y'_2 < y_2$, 即气体出口浓度下降. 吸收剂出口浓度怎么判断呢? 同样采用图像思维的方法, 根据 x_2, y_1 不变, $y'_2 < y_2$, L/G 增大, 最多可画出 3 条新的操作线(图 4).

在图 4(a) 中 $y_1 - y'_2$ 增大, $\Delta y'_m$ 变小, N'_{OG} 必然增大, 故不可能. 在图 4(b) 中 $y_1 - y'_2$ 增大, $\Delta y'_m$ 变小, N'_{OG} 同样增大, 也不可能. 在图 4(c) 中 $y_1 - y'_2$ 增大, $\Delta y'_m$ 增大, N'_{OG} 保持不变, 符合要求, 即吸收剂出口浓度变小.

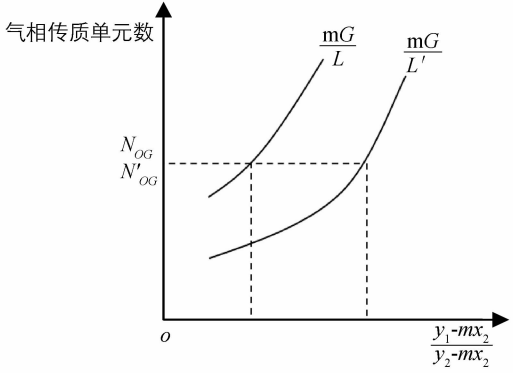


图 3 传质单元数图

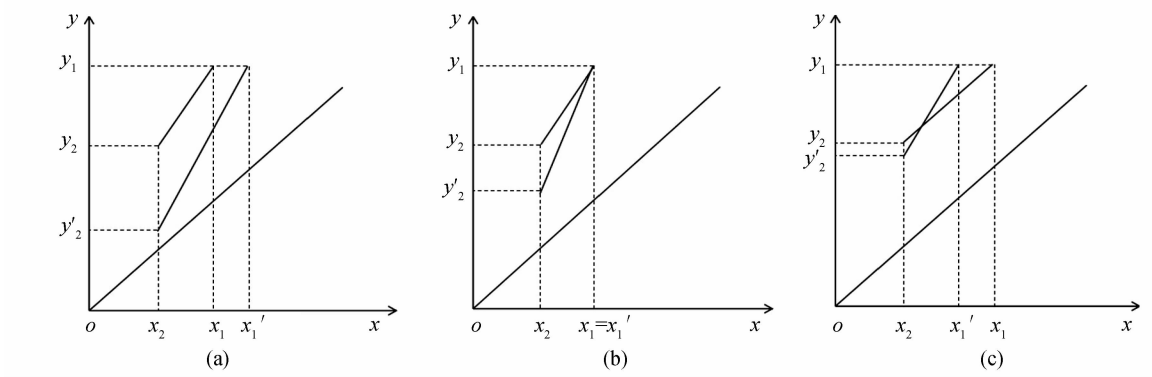


图 4 吸收剂用量对吸收结果的影响

4 结 语

运用图像思维法求解化工原理中有关操作型计算, 解题过程清晰、直观、快速, 使复杂的操作型计算得以简化, 易于学生理解和掌握, 也有利于帮助学生克服对化工原理学习的畏难情绪, 提高学生学习的主动性、积极性, 培养他们分析和解决问题的能力。

参考文献:

- [1] 倪献智, 牟宗刚, 于 明, 等. 工程技术类课程教学中注重科学研究方法论的教育 [J]. 中国大学教学, 2010(12): 47—48, 88.
- [2] 王 明, 雷 洪, 马学兵. 以全国大学生化工设计大赛为契机探索“化工原理”课程的实践化教学改革 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(11): 170—173.
- [3] 冯尚华, 何国芳, 赵仁高, 等. 化工原理的案例教学 [J]. 化工高等教育, 2010(6): 79—81, 108.
- [4] 夏 清, 陈长贵. 化工原理 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2005: 1—8.
- [5] 高 俊, 贺文智. 加强操作型计算 提高综合应用能力 [J]. 化工高等教育, 1997(4): 54—55, 5.
- [6] 周传光, 赵 文, 韩方煜, 等. 反应精馏过程图解法设计策略研究 [J]. 高校化学工程学报, 2001, 15(4): 333—340.
- [7] 张 华, 张锦胜. 精馏塔进料位置图解法探讨 [J]. 化工生产与技术, 2006, 13(6): 31—33.
- [8] 王训道, 王秋丽. 用对比法求解换热器的操作型问题 [J]. 太原科技, 2008(1): 70—71, 74.
- [9] 钟 秦, 陈迁乔, 王 娟, 等. 化工原理 [M]. 3 版. 北京: 国防工业出版社, 2013: 251—152.
- [10] 朱淑芳. 图解法在生物解题中的应用 [J]. 基础教育研究, 2015(16): 59—60.
- [11] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等. 化工原理(下册) [M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2013: 79—81.
- [12] 冯 宵, 何潮洪. 化工原理(下册) [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2007: 52.

On Application of Image Thought in Chemical Engineering Principles Teaching

QIN Zheng-long, LIU Sa, HUANG Fang-min

School of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu 221116, China

Abstract: The calculation of chemical engineering principles usually involves two types of design calculation and operation calculation. The operation calculation involves a large number of nonlinear variables and the application of knowledge is flexible and complicated, so it is difficult for the student to master. In this paper, the application of image thought in operation calculation of chemical engineering principles has been introduced, which is intuitive, quick, practical and easy to learn.

Key words: chemical engineering principle; image thought; teaching method; teaching quality

责任编辑 潘春燕