

蒸馏塔的分散化控制

张红艺

(江西大学)

文传源

(北京航空航天大学)

摘 要

本文在不同的分散化信息结构下,对一个二元蒸馏塔分别给出了静态分散化和一阶动态分散化干扰解耦控制器的设计。结果表明,反馈后蒸馏塔的产品输出完全不受干扰量进料组分的影响。

关键词: 蒸馏塔,分散化,干扰解耦。

一、引 言

本文试图将分散化干扰解耦原理^[1]应用于一个二元蒸馏塔的多变量控制^[4]。在分散化信息结构下,结果表明,可以通过调节二个控制站的控制量(回流流速,汽化速度)使得二元蒸馏塔的产品输出(馏出组分,底釜产品)不受干扰量(进料组分)的影响。根据每个控制站所获得的信息结构,可以相应地设计出静态分散化控制器、一阶动态分散化控制器。而且,随着每个控制站所能获得信息数量的减少,分散化控制器阶数可能要相应地增加。最后对由9块塔板、1个冷凝器和1个再沸器组成的二元蒸馏塔进行了仿真实验。

二、分散化干扰解耦反馈控制器的设计

在理想条件下^{[2]-[5]},将一个二元蒸馏塔的运动方程在定态下线性化,可以获得一个具有二个控制站的线性状态方程^[4]

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= A\mathbf{x}(t) + B_1\mathbf{u}_1(t) + B_2\mathbf{u}_2(t) + E\mathbf{q}(t), \\ \mathbf{z}(t) &= D\mathbf{x}(t),\end{aligned}\tag{2.1}$$

其中 $\mathbf{x} \in R^n$, $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ 分别是馏出液组分和底釜产品组分, $\mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{n-1}$ 分别是塔板组分,且假定 $\mathbf{x}_f (2 \leq f \leq n-1)$ 是进料板组分; $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2$ 分别是回流流速变化和蒸汽流流速变化的控制量; $\mathbf{z} \in R^2$, $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2$ 分别是馏出液组分和底釜产品组分,它们为受控量。

选取

$$\begin{aligned}\mathcal{V}_1 &= \mathcal{V}_2 \cap \mathcal{V}_3, \quad \mathcal{V}_2 = \text{span}\{e_4, e_5, \dots, e_{n-1}\}, \\ \mathcal{V}_3 &= \text{span}\{e_3, e_4, \dots, e_{n-2}\}, \quad \mathcal{V}_4 = \mathcal{V}_2 + \mathcal{V}_3.\end{aligned}$$

同样可验证 $(\mathcal{V}_i, i \in 4)$ 是个 DSIS, 且 $\text{im}E \subset \mathcal{V}_1 \subset \mathcal{V}_4 \subset \ker D$. 于是根据文[1], 可以设计如下一阶分散化干扰解耦控制器:

$$\begin{aligned}\dot{w}_i(t) &= M_i y_i(t) + N_i w_i(t), \\ u_i(t) &= K_i y_i(t) + L_i w_i(t), \quad i = 1, 2,\end{aligned}$$

其中

$$K_1 = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & 0 \cdots 0 & k_{1,n-2} \end{bmatrix} \in R^{1 \times (n-2)}, \quad (2.5)$$

自由 固定 自由

$$K_2 = \begin{bmatrix} 0 \cdots 0 & k_{2,n-4} & k_{2,n-3} \end{bmatrix} \in R^{1 \times (n-3)}, \quad (2.6)$$

固定 自由

$$M_1 = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & 0 \cdots 0 & m_{1,n-2} \end{bmatrix} \in R^{1 \times (n-2)}, \quad (2.7)$$

自由 固定 固定

$$M_2 = \begin{bmatrix} m_{21} & 0 \cdots 0 & m_{2,n-5} & m_{2,n-4} & m_{2,n-3} \end{bmatrix} \in R^{1 \times (n-3)}, \quad (2.8)$$

固定 固定 自由

$$L_1 = \frac{1}{\mu} b_{22} a_{n,n-1}, \quad L_2 = \frac{1}{\mu} b_{n1} a_{23}, \quad (2.9)$$

$$k_{13} = -\frac{1}{\mu} b_{n2} a_{23} - L_1, \quad k_{2,n-4} = -\frac{1}{\mu} b_{21} a_{n,n-1} - L_2,$$

$$N_1 = (b_{31} + b_{n-1,1})L_1 + (b_{32} + b_{n-1,2})(k_{2,n-4} + L_2) + a_{n-1,n-1}, \quad (2.10)$$

$$N_2 = a_{33} + (b_{31} + b_{n-1,1})(k_{13} + L_1) + (b_{32} + b_{n-1,2})L_2, \quad (2.11)$$

$$m_{13} = m_{2,n-4} = N_2 - N_1, \quad m_{14} = m_{21} = a_{34},$$

$$m_{1,n-2} = m_{2,n-5} = a_{n-1,n-2}.$$

3) 如果继续减少每个控制站上的量测输出, 但只要每个控制站所具有的量测输出包括 e_f , 即对应进料板上的液体组分 x_f , 总可以找到一个 DSIS $(\mathcal{V}_i, i \in 4)$ 具有 $\text{im}E = \text{span}\{e_f\} \subset \mathcal{V}_1 \subset \mathcal{V}_4 \subset \ker D$. 于是由文[1]知, 总存在阶数不大于 $(\dim \mathcal{V}_4 - \dim \mathcal{V}_i, i = 2, 3)$ 的分散化控制器实现干扰解耦.

三、仿真结果

笔者对由 9 块塔板, 1 个冷凝器和 1 个再沸器组成的二元蒸馏塔进行了仿真实验. 该蒸馏塔的参数矩阵为^[4]

表 1 系统特征值

No.	$\lambda(A)$	$\lambda(A_k)$	$\lambda(A_c)$
1	-3.3294	-3.3549	-7.3361
2	-2.6839	-2.9771	-3.3549
3	-2.0218	-2.0427	-2.9771
4	-1.7409	-1.8173	-2.0427
5	-1.3320	-1.3213	-1.9561
6	-0.9419	-1.0087	-1.8173
7	-0.6095	-0.8314+0.0588i	-1.3213
8	-0.2838	-0.8314-0.0588i	-0.8314+0.0588i
9	-0.1485	-0.3305	-0.8314-0.0588i
10	-0.0486	-0.1710	-1.1842
11	-0.0188	-0.1083	-0.3305
12			-0.2123
13			-0.1141

参 考 文 献

- [1] 张红艺、文传源,分散化系统中的结构关联集及应用,自动化学报,16(1990),1,1—8.
- [2] Franks, R. G. E., Modeling and Simulation in Chemical Engineering, Wiley-interscience, 1972.
- [3] Holland, C. D., Fundamentals and Modeling of Separation Processes, Prentice-hall, 1975.
- [4] Takamata, T. and Kawachi, K., A Geometric Approach to Multivariable Control System Design of a Distillation Column, *Automatica*, 15(1979), 387—402.
- [5] Changlai, Y. S. and Ward, T. J., Decoupling Control of a Distillation Column, *AIChE J.*, 18(1972), 225.

DECENTRALIZED CONTROL OF A DISTILLATION COLUMN

Zhang Hongyi

(Jiangxi University)

Wen Chuanyuan

(Beijing University of Aero. and Astro)

ABSTRACT

The design of a decentralized static and dynamic disturbance decoupling controllers for a binary distillation column, under different information structures, is considered in this paper. The design results imply that the effect of the disturbance is completely rejected from the outputs of product by the use of decentralized feedbacks.

Key words: Distillation column; decentralization; disturbance decoupling.