

空分装置的模拟计算与调优

陈 红 沈国良

(辽阳石油化工高等专科学校化工系, 辽阳, 111003)

张述伟

(大连理工大学化工系, 大连, 116012)

摘 要 采用 ASPEN 系统模拟软件对某空分流程的设计工况和实际工况进行了模拟计算. 为了提高空分装置的氧气产量, 确定了模拟调优技术路线. 经过调优, 氧提取率可达 78%.

关键词 空气分离装置; 模拟软件; 调优; 模拟计算

中图分类号 TQ116.11

空气分离系统是将空气分离为氧、氮等气体的一个复杂过程, 目前应用较多的还是深冷技术. 某厂空分装置是从日本日立公司引进投产以来氧气产量一直没有达到设计值 $14000\text{Nm}^3/\text{h}$. 本文利用 ASPEN pLus 软件作平台, 以此装置为对象, 建立了空气分离系统的数学模型, 对此装置进行模拟计算及操作调优研究, 分析影响氧气产量因素, 找出生产瓶颈, 提高氧气产量.

1 空分系统流程简介

某空分系统是采用可逆式热交换器的全低压工艺. 原料空气经除尘后, 经空压机压缩至 0.68 MPa, 87.5°C , 经冷却塔喷淋冷却到 25°C , 进入可逆式热交换器, 被返流气体冷却, 除去空气中的二氧化碳和水, 进入下精馏塔. 大部分空气经下精馏塔初步分离成富氧液空、纯氮、液氮和馏分氮. 下精馏塔顶部的气体氮在主冷凝蒸发器中被上精馏塔底部沸腾的液氧冷凝、抽出. 从下精馏塔中部抽出的馏分氮, 经过冷器过冷后节流进入上塔顶部, 作为回流液. 富氧液空从下精馏塔底部抽出, 除去烃类, 在过冷器中被来自上精馏塔顶部的污氮过冷后节流进入上塔中部喷淋. 在上精馏塔中, 液体空气和馏分氮被分离成产品氧气和污氮,

品氧气从上塔底部抽出. 污氮气从上塔顶部抽出, 经两个过冷器回收部分冷量后进入切换式换热器, 走原料空气通道, 被加热到大约环境温度并将通道内的固体水和二氧化碳干冰挥发或升华, 与污氮一起放空.

2 空气系统的热力学模型

空气是由多种气体组成的混合气体, 经脱除二氧化碳、水分及灰尘等杂质后, 基本上可看作 N_2 - Ar - O_2 三元系统处理, 关于此三元物系的热力学计算方法, 国外主要有 Harmens^[1], P-R^[2], SHBWR^[3], Bender 等方程, 国内张占柱^[4]、陈长青^[5]等学者也在这方面做了大量的工作. 本文对这些方法进行了分析, 采用 ASPEN pLus 中推荐的 P-R (Peng-Robinson) 方程, 其形式为:

$$P = RT / (V_m + b) - a / [V_m(V_m + b) + b(V_m - b)]$$

$$b = 0.07780RT_c / P_c$$

$$a = \alpha(T) 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c^2}$$

$$\alpha(T) = [1 + m(1 - T_r^{0.5})]^2$$

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2$$

采用的混合规则是:

$$b = \sum_i x_i b_i$$

$$\alpha = \sum_i \sum_j x_i x_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - k_{ij})$$

K_{ij} ——二元相互作用系数

ASPEN pLus 的物性选择集中给出了 P—R 方程的二元相互作用参数值, 见表 1.

本文采用以上二元相互作用参数进行了空分流程的模拟计算, 结果发现它只对下塔符合较好, 而对上塔的计算存在较大偏差.

为使 P—R 方程能更准确的计算空分系统的热力学性质, 有必要对方程中的二元相互作用参数进行修正.

采用深冷手册中发表的二元实验数据进行了热力学一致性检验, 从中选取了一致性较好的 39 个数据点, 以 $\sum (K_{exp} - K_{(a)})^2$ 为目标函数, 重新进行了回归, 其值见表 1.

表 1 二元相互作用参数 K_{ij} 取值

项 目	N ₂ - Ar	N ₂ - O ₂	Ar- O ₂
ASPEN pLus 默认值	- 2. 6e- 3	- 0. 0119	0. 0104
文献回归值	- 4. 071e- 3	- 0. 01238	0. 01396
本文修正值	- 4. 071e- 3	- 0. 01238	0. 0265

修正后的 P—R 方程能够较好地描述氮、氧、氩三元物系的热力学相平衡, 计算精度符合要求, 可用于空分流程的模拟计算.

在 ASPEN PLUS 平台上建立了空分精馏模拟计算系统, 对某厂空分装置的三种设计工况进行了模拟计算, 结果如表 2.

3 空分系统的模拟计算

表 2 设计工况主要模拟计算结果与设计值比较

	设计工况(一)		设计工况(二)		设计工况(三)	
	设计值	计算值	设计值	计算值	设计值	计算值
进料流量/ Nm ³ /h	83750	83750	91625	91625	91750	91750
温 度/ °C	- 170. 7	- 170. 9	- 170. 1	- 170. 6	- 170. 1	- 170. 7
主冷器热负荷/ Mcal/h	3340	3450	3660	3886	3350	3498
产品气氧流量/ Nm ³ /h	13887	13879	15276	15274	13876	13892
产品液氧流量/ Nm ³ /h	113	115	124	122	124	121
氧纯度/ %	99. 5	99. 6	99. 5	99. 6	99. 5	99. 7
产品气氮流量/ Nm ³ /h	20300	20298	21500	21497	27300	27297
产品液氮流量/ Nm ³ /h	350	350	350	350	700	700
氮纯度/ %	99. 999	99. 999	99. 999	99. 999	99. 999	99. 999
馏分氮流量/ Nm ³ /h	17752	17816	20204	20304	13772	13807
液空流量/ Nm ³ /h	45348	45782	49571	49982	49978	50089

从表 2 可以看出, 设计工况下, 计算结果与设计值吻合较好. 同时可以看出, 设计工况(二) 情况下, 氧产量较高, 为 15276Nm³/h, 此时馏分氮量较大, 为 20204Nm³/h, 也就是说, 多产氧时, 主冷器热负荷大 3660M cal/h).

4 实际工况的模拟

针对该套装置产氧量一直达不到设计值 14000Nm³/h 的问题, 我们应用此模拟系统对该装置的三种有代表性的实际工况进行模拟计算, 得到较好结果. 计算结果见表 3.

表3 实际工况主要模拟计算结果与实测值比较

	设计工况(一)		设计工况(二)		设计工况(三)	
	设计值	计算值	设计值	计算值	设计值	计算值
空气量/ Nm^3/h	84000	84000	83000	83184	82000	82138
温度/ $^{\circ}\text{C}$	-170.5	-170.2	-170.0	-170.4	-170.5	-170.7
主冷器热负荷/ Mcal/h		3070		3030		2900
产氧量/ Nm^3/h	11600	11600	11500	11500	11000	10999
氧纯度/ $\%$	99.5	99.7	99.5	99.5	99.5	99.6
产氮量/ Nm^3/h	20300	20297	19500	19498	19500	18614
氮纯度/ $\%$	99.999	99.999	99.999	99.999	99.999	99.999
馏分氮/ Nm^3/h	15000	15037	15000	15000	13500	13506

结合对实际工况分析,认为影响氧产量低的原因是下塔馏分液氮采出量偏低和主器换热小.增加下塔馏分液氮采出量,氧气回收率从原操作工况的65%左右提高到78%左右,增加了13个

百分点,基本接近设计值(79.4%),结果见表4.由此可见,增加下塔馏分液采出量和增大主冷器热负荷,可较大幅度提高氧产量.

表4 实际工况调整优后计算值

工况	进料温度 $/^{\circ}\text{C}$	馏分氮量 $/\text{Nm}^3/\text{h}$	主冷器 热负荷 $/\text{Mcal}/\text{h}$	产氧量 $/\text{Nm}^3/\text{h}$	氧纯度 $\%$	原氧提 取率 $\%$	调优后氧 提取率 $\%$
(一)	-170.2	18704	3400	13900	99.5	67.4	80.2
(二)	-170.3	17752	3280	13313	99.5	67.5	78.2
(三)	-170.3	17472	3230	13129	99.5	65.4	78.1

5 调优措施

通过前面的计算,为获得较高氧气产量,可以采取以下调整优措施:

- (1) 保证系统稳定操作前提下,逐步提高馏分氮回流量.
- (2) 保证主冷器液面高度, $\geq 80\%$.
- (3) 尽量增加上下塔的压力差,即提高下塔压力,使得主冷器传热温差增大,增加主冷器传热量,也就相当于增加了上下塔的回流量.

6 结论

(1) 本文在 ASPEN plus 操作平台上建立了空分装置的模拟系统,对某空分装置的精馏塔进行了模拟计算,模拟结果与设计值以及实际装置的实测均符合较好,说明此模拟系统可用于空分装置的模拟研究.

(2) 对三种实际工况进行模拟调优计算,通过调节馏分氮回流量等措施,可以提高氧气产量,氧气回收率可达78%,基本接近设计值(79.4%),有希望解决生产中氧气产量偏低问题.

参考文献

- 1 Harmens A, A cubic equation of state for prediction of N_2 - Ar - O_2 phase equilibrium, Cryogenics, 1977, 17: 519.
- 2 Peng DY, Robinson DB, Ind. Eng. Chem. Fundam, 1976, 15: 59.
- 3 Starling K E, Han MS, Hydroc Proc, 1972, 2(51): 129
- 4 张占柱等,空气分离装置精馏系统的计算机设计,深冷技术,1983(4): 1~ 4
- 5 陈长青.空气流程设计的模拟软件简介,深冷技术,1995(1): 12~ 15

(下转第15页)

$$\int_{C_0}^C -dC = \int_0^t C_0 k t$$

或

$$C(t) = C_0 - C_0 k t \quad (6)$$

方程(5)和(6)即为该酯化反应在本实验条件下的动力学方程的微分式和积分式。

4 结论

利用均匀设计方法安排设计试验,当所选变量中包括浓度和时间变量时,都可以通过回归分析方法建立目标反应的动力学方程。由于是在数学模型基础上得到的,而数学模型经过方差理论分析和实际试验验证在指定条件下是正确的。因此,用这种方法建立的动力学方程具有一定的可靠性。UST 技术把均匀设计思想与数理统计分析相结合,将为从事化学动力学研究人员提供一个新的有利工具。

参考文献

- 1 方开泰. 均匀设计与均匀设计表. 北京: 北京科学出版社 1994.

A Method for Establishing Chemical Reaction Kinetic Equation by Uniform Design

He Guangliang

(Tian Cheng Company, Liaoyang Petrochemical College, Liaoyang 111003)

Abstract In this article, the experiment plan was done according to the theory of Uniform Design and the mathematical model of the targeting reaction was obtained by the method of regression analysis. Further, the kinetic equation was deduced from the model.

Keywords Uniform Design; Mathematical model; Kinetics; multiregression

(上接第 11 页)

Simulation and Optimization of Air Separation Unit

Chen hong Shen Guoliang

(Chemical Engineering Department, Liaoyang Petrochemical College, Liaoyang 111003)

Zhang Shuwei

(Chemical Engineering Department, Dalian University of Technology, Dalian 116012)

Abstract Design and real process of air separation flow sheet were simulated on the basis of ASPEN software system. Optimization ways were decided to improve the output of O₂ and by optimization the yield of O₂ is 78%.

Keywords Air separation unit; software; Optimization; Simulation