

# 乙醇偶合制备 C4 烯烃

曹正好<sup>1</sup> 周佳怡<sup>2</sup> 俞克勤<sup>3</sup> 张汉龙<sup>4</sup> 刘梦婷<sup>5</sup>

(1.2.3.4. 安徽省马鞍山市雨山区皖江工学院 243000)

(5. 广东省广州市从化区温泉镇温泉大道中山大学南方学院 510000)

**摘要:** 资源短缺不断加剧, 寻求新型可再生替代资源以制取 C4 烯烃, 成为当下研究热点。面对巨大的新型化工能源市场, 本文从生产条件、生产成本考虑, 建立了多元线性回归模型, 借助 SPSS 等工具对数据进行可视化处理。建立拟合模型后, 辅助以 POS-ELM 粒子优化算法进行模拟验证。并最终得到了温度、催化剂组合等生成 C4 烯烃的最佳配比。

针对问题一, 对附件 1 中乙醇转化率、C4 烯烃选择性和温度的关系问题进行了简化。选取装料方式 I 的 A 组和装料方式 II 的 B 组, 使用 SPSS 软件进行多元线性回归建模, 对可视化图像分析。在 350 度之前乙醇转化率、C4 烯烃的选择性随温度升高而升高; 反之降低。借助 Excel 图表分析, 得到在 240min 时 C4 烯烃选择性达到最高 40.32%。

针对问题二, 本文对该问题进行了简化。利用信号与系统、自动控制原理等学科知识, 构建出输入变量与输出变量的关系模拟框图, 利用微分方程模型构建状态变量, 得出在 A1 组催化剂组合、温度为 300 到 350 度时, C4 烯烃的选择性最好约为 47%。以温度为研究对象, A1 催化剂组合的 C4 烯烃选择性最好; 以节约能源的角度来说, A2 相比于 A7 催化剂组合在乙醇转化率中具有更高的市场应用前景。

针对问题三, 采用决策树算法来拟合出一个大致的温度和催化剂选取范围。由控制变量, 得出在 A3 催化剂组合、400°C下 C4 烯烃收率达到了最大值 4472.81%。后利用 SPSS 软件, 构建出恒温、催化剂组合改变的模型图。得出低于 350 度条件下, 把 Co 的负载量控制在 2wt%, Co 的负载量和 HAP 的质量比为 1:1, 且乙醇按每分钟 1.68ml 加入时, C4 烯烃的收率最大为 2654.10%。并采用 POS-ELM 粒子优化算法进行验证, 得到模拟结果与实际分析结论相同。

针对问题四, 为使上述结果更加合理, 采取 350 度为关键点分析如何选取催化剂组合等因素使 C4 烯烃的收率最高。通过建立机器学习-随机森林回归算法模型, 针对各个因素进行拟合。采用控制变量法对在 350 度左右的温度梯度进行分析, 在其他条

件不变的情况下, 当温度约为 340 到 350 度、Co/SiO<sub>2</sub> 和 HAP 装料比保证在

(2:1,1:1,1:2)、乙醇按每分钟 1.68ml 加入、乙烯选择性(7.61%)、乙醛选择性(13.82%)、碳数为 4-12 脂肪醇-选择性(15.16%), 可以得出 C4 烯烃收率最大化的结论。

通过乙醇偶合制备 C4 烯烃建模的研究, 我们得到了最优的制备方案, 为工业化生产 C4 烯烃提供了一种更高效的方案。同时, 我们期待未来有更多的清洁能源被制造出来, 让我们的生活变得更加绿色、环保、高效, 让建模思想在其它领域也能大放光彩。

**关键词:** POS-ELM 粒子优化算法、随机森林回归算法模型、C4 烯烃制备、乙醇偶合

## 一、问题分析

### 2.1 问题一的分析

我们首先需要对每种数据进行数据清洗与线性回归统计分析, 通过对模型摘要的 R 方数据进行分析, 观察值是否大于 10%, 分析其数据拟合效果。在对数据显著性进行探究是否小于 0.05。根据德宾-沃森检验和共线性检验, 附件一数据是否独立。再根据残差分析该数据与模型是否匹配。

### 2.2 问题二的分析

利用 Excel 进行控制变量数据处理。在一定的温度条件下, 不同的催化剂组合对反应速率的影响。同时利用线性系统构建模型体系。简化反应关系, 如图 1 所示。



图 1: 乙醇偶合制备 C4 烯烃示意图

### 2.3 问题三的分析

乙醇是工业中非常常见的工业原料之一, 通过脱水缩合就能得到烃, 因此我们可以用乙醇制备 C4 烯烃。我们目前要研究的是应该怎样选择催化剂组合和温度才能使 C4 烯烃收率尽可能高, 以及在低于 350 度时我们又应该怎样选择温度与催化剂组合, 求出最优解。

Ethanol coupling to produce C4 olefin

Abstract

With the increasing shortage of resources, the search for new renewable alternative resources to produce C4 olefin has become a research hotspot. In the face of the huge new chemical energy market, this paper establishes a multivariate linear regression model from the production conditions and production costs, and visualizes the data with SPSS and other tools. After the fitting model is established, the POS-ELM particle optimization algorithm is used for simulation verification. Finally, the optimum ratio of C4 alkene was obtained by temperature and catalyst combination.

For problem 1, the relationship between ethanol conversion rate, C4 olefin selectivity and temperature in Annex 1 is simplified. Group A of loading mode i and group B of loading mode ii were selected. SPSS software was used for multiple linear regression modeling and visual image analysis. Before 350 °C, the conversion of ethanol and the selectivity of C4 olefin increased with the increase of temperature. And vice versa. With the help of Excel chart analysis, the selectivity of C4 olefin reached the highest 40.32% at 240min.

For problem 2, this paper simplifies the problem. Using the knowledge of signal and system, automatic control principle and other disciplines, a simulation block diagram of the relationship between input variables and output variables was constructed, and a differential equation model was used to construct the state variables. It was concluded that the selectivity of C4 olefin was about 47% when the A1 group catalyst was confirmed and the temperature was 300 to 350 degrees. Taking temperature as the research object, A1 catalyst combination of C4 olefin selectivity is the best. From the point of view of energy saving, the A2 phase catalyst combination has a higher market application prospect than the A7 catalyst combination in ethanol conversion.

For problem 3, the decision tree algorithm was used to fit a rough range of temperature and catalyst selection. According to the control variables, the yield of C4 olefin reached the maximum value of 44.72 81% under the combination of A3 catalyst and 400°C. Finally, SPSS software was used to build the model diagram of constant temperature and catalyst combination change. The results show that the maximum yield of C4 olefin is 2654.10% when the load of Co is controlled at 2wt%, the mass ratio of Co and HAP is 1:1, and ethanol is added at 1.68ml per minute under the condition of less than 350 degrees. The POS-ELM particle optimization algorithm is used for verification, and the simulation result is the same as the actual analysis conclusion.

For question 4, in order to make the above results more reasonable, 350 degrees was taken as the key point to analyze how to select catalyst combination and other factors to achieve the highest yield of C4 olefin. The machine learning - random forest regression algorithm model was established to fit each factor. The control variable method is used to analyze the temperature gradient at about 350 degrees. Under the condition that the other elements are unchanged. When the temperature is about 340 to 350 degrees, the Co SiO2 and HAP loading ratio is guaranteed (2.1:1.1:1.2), ethanol is added at 1.68ml per minute, ethylene selectivity (7.61%), acetaldehyde selectivity (13.82%), and carbon number is 4-12 Fatty alcohol-selectivity (15.16%), it can be concluded that C4 olefin yield maximization.

Through the study on modeling of C4 olefin preparation by ethanol coupling, we obtained the optimal preparation scheme, which provides a more efficient scheme for industrial production of C4 olefin. At the same time, we expect more clean energy to be generated in the future, making our lives greener, more environmentally friendly, more efficient, and allowing modeling ideas to shine in other areas as well.

Keywords: POS-ELM particle optimization algorithm, Random forest regression algorithm model, C4 olefin preparation, ethanol couple

2.4 问题四的分析

本题是开放性实验，我们需要根据前面 3 个问题，提出相应的问题并给出结论。

二、模型假设

3.1 模型建立与假设 1.假设所用催化剂存放在密封的环境下。

2.所在实验室的环境温度,湿度不会对本次实验有影响。

3.所用装料用具在装料前保持干净卫生。

4.选用乙醇的制取原料的各项指标要一样。

5.进行实验的玻璃用具不会对本次实验有影响。(某些玻璃制品含本次所用催化剂成分)

6.测量催化剂的质量仪器误差要小。

7.每分钟加入的 1.68 毫升无残留。

三、符号说明

符号	物理意义
$Z(t)$	
$Y(t)$	
$E(t), F(t), G(t), I(t)$	输入变量
$J(k), M(k)$	输出变量
$L, U$	常数
$q, \bar{q}$	常数
$V, \bar{V}$	$Q$ 维空间上限和下限
$q_{min}, q_{max}$	$Q$ 维空间最小速度和最大速度
$S, \bar{S}$	学习因子
$1, 2$	随机数
$M, \bar{M}$	可观测随机变量
$1, 2$	
$Y$	

四、模型建立与求解

4.1 对于问题一的分析与处理

4.1.1 模型构建与处理

通过对问题的分析我们可以用多元线性回归计算模型进行数据处理。

模型的构建，一般地，影响试验指标的因素不只是一个，本文则是温度与催化剂组合对乙醇转化率、C4 烯烃选择性的影响，利用微分方程模型构建状态变量，得出在 A1 催化剂组合、温度为 300 到 350 度时，C4 烯烃的选择性最好。以温度为研究对象，A1 催化剂组合的 C4 烯烃选择性最好。

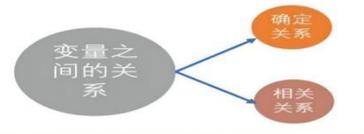


图 2：相关关系图

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim (0, \sigma^2) \quad (1)$$

为可观测的随机变量， $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  为非随机的可精确观测的变量。 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  为  $k+1$  个未知变量， $E(\varepsilon) = 0, D(\varepsilon) = \sigma^2 > 0$  为了估计未知参数  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  和  $\sigma^2$  我们对  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  和  $Y$  做  $n$  次观测取  $n$  次观测值  $(x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jk}, Y_j) (j=1, 2, 3, \dots, n)$ 。

他们满足关系式：

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \beta_2 x_{j2} + \dots + \beta_k x_{jk} + \varepsilon_j, \quad (j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

其中  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$  相互独立,且与  $\varepsilon$  同分布的随机变量。为了用矩阵表示上式，我们构建如下矩阵关系式：

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

那么式(2)变为下式， $X$  为  $n*(k+1)$  矩阵

$$Y = XB + \varepsilon \quad (4)$$

$$E(\varepsilon) = 0, \text{COV}(\varepsilon, \varepsilon) = \sigma^2 J_n \quad (5)$$

一般称(4), (5)为  $K$  元线性回归方程。并简单记作  $(Y, XB, \sigma^2 J_n)$ 。主要考虑的问题

有未知参数  $\beta$  和  $\sigma^2$  做假设性检验和点估计。从而建立起  $Y$  与  $x_k$  的关系，做预测与控制。

接下来我们将用 SPSS 软件进行模型检验。

5.1.2 利用 SPSS 软件进行模型检验

本文主要对附件一 A1,A2 两种催化剂组合数据进

行可视化分析处理，借助于 SPSS 软件线性回归分析，我们首先要假设该样本独立，变量之间不存在共线性。分析图示

数据 R 方的值，分析拟合程度好坏。同时也对显著性进行分析，最后通过图示数据检验数据的有效性。统计结果如下图 3 到图 8 所示。(其余组合分析图示已放入附录一整理文件夹题 1.docx)

a: A1 催化剂组合模型摘要图，如图 3、图 4 所示：

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的误差	德宾-沃森
1	.965 <sup>a</sup>	.932	.910	4.10321	2.211

a. 预测变量: (常量), 温度

b. 因变量: 乙醇转化率(%)

图 3: A1 催化剂组合中乙醇转化率与温度的模型摘要

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的误差	德宾-沃森
1	.887 <sup>a</sup>	.787	.716	3.66627	1.827

a. 预测变量: (常量), 温度

b. 因变量: C4 烯烃选择性(%)

图 4: A1 催化剂组合中 C4 烯烃选择性与温度的模型摘要

通过观察图 3，图 4。R 方的值为分别为 93.2%，78.7% 远大于 10%，可以知道回归

线的拟合程度较大，值的大小可以表示回归模型的精度，R 方越高，说明回归模型越

精准。同时也可以反映出乙醇转化率、C4 烯烃选择性与温度的关系较强。

b: 显著性检验图，如图 5、图 6 所示：

模型	B	未标准化系数		标准化系数		t	显著性	共线性统计	
		标准误差	Beta	容差	VIF				
1	(常量)	-84.074	15.678			-5.362	.013		
	温度	.333	.052	.965	6.419	.008	1.000	1.000	1.000

a. 因变量: 乙醇转化率(%)

图 5: A1 催化剂组合乙醇转化率与温度的显著性检验图

模型	B	未标准化系数		标准化系数		t	显著性	共线性统计	
		标准误差	Beta	容差	VIF				
1	(常量)	-3.242	14.009			-.231	.832		
	温度	.154	.046	.887	3.329	.045	1.000	1.000	1.000

a. 因变量: C4 烯烃选择性(%)

图 6: A1 催化剂组合 C4 烯烃选择性与温度的显著性检验图

在显著性水平 p=0.05 的情况下，常记为 p<0.05，温度与乙醇转化率、C4 烯烃选择性间的差异显著。由图 5，图 6 还可以得到如下回归方程式(6)(7)：

$$\text{乙醇转化率} = -84.074 + 0.333 * \text{温度}(T) \quad (6)$$

$$\text{C4 烯烃选择性} = -3.242 + 0.154 * \text{温度}(T) \quad (7)$$

由题目已知数据可以知道公式(8)：

$$\text{乙醇转化率} = \frac{(\text{乙醇进气量} - \text{乙醇剩余量})}{\text{乙醇进气量}} \times 100\% (\text{单位时间内}) \quad (8)$$

对比图 5、图 6 德宾-沃森(D-W)值和共线性统计值该样本数据相互独立，x 一般要求

D-W 检验值在 2.0 左右被认为样本独立，共线性统计值中 VIF 小于 5，所以变量之间不存在多重共线性。

c: A1, A2 催化剂组合回归标准化残差，正态 P-P 图，如图 7、图 8 所示：

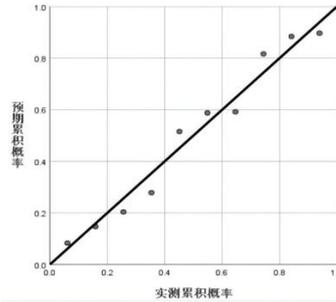


图 7: A1、A2 催化剂组合乙醇转化率回归标准化残差正态 P-P 图

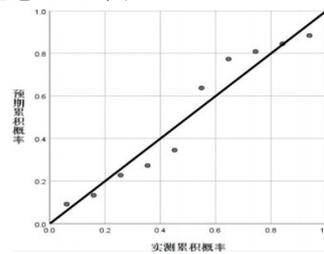


图 8: A1、A2、C4 烯烃转化率回归标准化残差正态 P-P 图

由图 7、图 8 可以看出样本出现线条性分布，有较好的线性相关关系。观察残差 P-P 图模型虽然不满足正态分布

### 5.1.3 350 度时不同时间测试结果

借助 Excel 进行数据分析，结果如下图 9 所示：

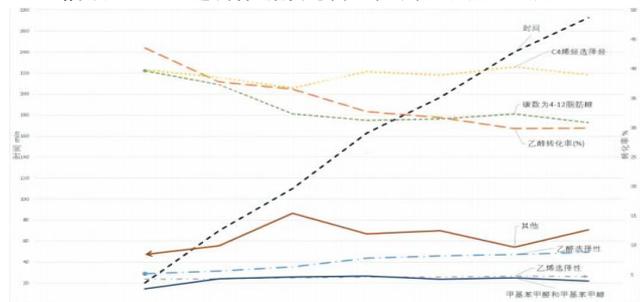


图 9: 350 度下给定的催化剂组合在不同的时间的结果

图 9 反映了在给定某种催化剂，温度为 350 度时，乙醇转化率，C4 烯烃选择性，碳数为 4-12 脂肪醇，乙醇选择性，乙烯选择性，甲基苯甲醛和甲基苯甲醇等其他物质 作为因变量，时间作为自变量，随着时间的加

长, 这些物质呈现出一种非线性变化。时间越久, 乙醇转化率, C4 烯烃选择烃, 碳数为 4-12 脂肪醇则呈下降趋势, 乙烯选择性, 甲基苯甲醛和甲基苯甲醇基本不随着时间的变化而变化, 而乙醛选择性则有点上升的趋势。

5.2 问题二的分析与求解

5.2.1 不同温度和催化剂对于反应的影响

当温度一定时探究催化剂对其的影响当温度为 300 度, 350 度时催化剂效果最好(其余温度已放附录二整理文件夹)中, 本文研究 300 度时不同催化剂和温度对反应的影响。如图 10 所示:

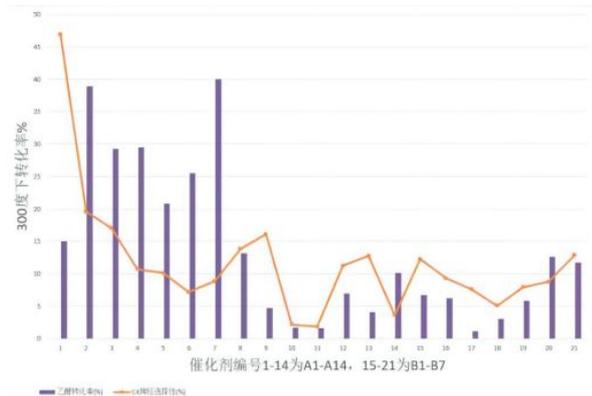


图 10:300 度下催化剂反应对结果的影响

由图 10 可知, 在 300 度下催化剂反应对结果的影响, 200mg 1wt%Co/SiO<sub>2</sub>- 200mg HAP-乙醇浓度 1.68ml/min(A1)的 C4 烯烃选择性较高, 其选择性先减再增, 有降低趋势, 50mg 1wt%Co/SiO<sub>2</sub>- 50mgHAP-乙醇浓度 0.3ml/min(A7)和 200mg 2wt%Co/SiO<sub>2</sub>- 200mg HAP-乙醇浓度 1.68ml/min(A2)的乙醇转化率较高, 曲线趋势有降低趋势。对比乙醇转化率较高的两种催化剂组合, 我们能够发现当 Co/SiO<sub>2</sub> 和 HAP 装料比为 1: 1 且乙醇浓度为 1.68ml/min, 转化率较好。从节约能源的角度来说, A7 催化剂组合具有较好的应用前景。

5.2.2 分析该问题时我们可以建立如下线性微分方程数学模型

首先, 分析附件一, 提取 A1, A2, B1, B2 数据进行分析可知, 需要建立输入与输出二者变量的关系, 同时要在给定的系统下进行化学反应, 我们可以对该模型进行简化, 运用线性 LTI (线性时不变系统)微分方程, 同时也可用差分方程求解, 建立模拟框图如图 11 所示:

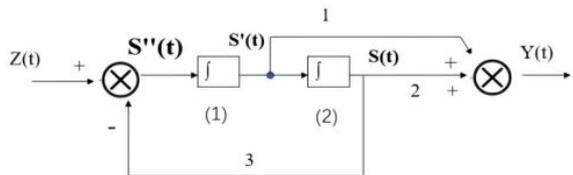


图 11: 微分方程模拟框图

(1)设立辅助变量 S(t);再通过微分方程的推导, 找到输入变量与输出变量的关系, 可知:

$$S''(t) = Z(t) - 3S(t) \tag{9}$$

$$S''(t)+3S(t) = Z(t) \tag{10}$$

$$Y(t)=3S'(t) + Z(t) \tag{11}$$

消去中间变量得:

$$S''(t) + 3S(t) = Z'(t) + 2Z(t) \tag{12}$$

上述中 Z(t)表示输入变量, Y(t)表示输出变量, 中间 ∫ 加方框为积分器, 通过对该系统的建立联系, 使用这些变量远远不够, 这时我们要引入一个状态变量 U(t), 通过描述一个系统的动态行为需要 n 个状态变量, 那么这些状态变量的分量构成的向量就叫做该系统的状态向量, 记作:

$$\begin{aligned} &u_1(t) \\ &u_2(t) \\ U(t) = &u_3(t) \tag{13} \\ &\dots \\ &[u_n(t)] \end{aligned}$$

本文构建状态向量, 实际上将带有物理意义式子或状态变量, 转化为一个 n 维空间的一个坐标, 便于我们观察状态变量随时间的变化规律。由上述材料, 我们可以推广到一般系统状态空间描述的常用基本概念状态方程。

$$\dot{u}(t) = Z [u(t), S(t), t] \tag{14}$$

$$\text{或 } U(tk+1) = Z [u(tk), S(tk), tk] \tag{15}$$

系统状态空间输出方程描述系统输出变量与系统状态变量和输入变量之间函数关系的代数方程, 其一般形式为:

$$\dot{y}(t) = H [u(t), S(t), t] \tag{16}$$

$$\text{或 } y(tk) = H [u(tk), S(tk), tk] \tag{17}$$

系统状态空间表达式, 又称为动态方程,其一般形式为:

$$\dot{u}(t) = E(t)u(t) + F(t)x(t) \tag{18}$$

$$y(t) = G(t)u(t) + I(t)x(t) \tag{19}$$

对于离散时间系统,由于实践中常取 tk=kT (T 为采样周期),其状态空间表达式一般

形式为:

$$u(k+1) = J(k)u(k) + M(k)x(k) \tag{20}$$

$$y(k) = G(k)u(k) + I(k)x(k) \tag{21}$$

由此可以看出来该系统相当于温度和催化剂输入变量的引用, 输出变量的乙醇和 C4 烯烃输出变量,模型假设成立。

5.3 问题三的分析与求解

5.3.1 相同实验条件下烯烃收率分析与求解

本题将附件一中的数据进行整理分析, 整理后的其余文件放在附录 3 整理.xlsx 中。

建立一个不同催化剂组合和 C4 烯烃收率的函数图，还建立一个以温度为自变量，C4 烯烃收率为因变量的线性图，这样我们可以很直观的看出自变量和因变量之间的关系，进一步确定如何去选择催化剂的组合以及温度的范围。如图 12、图 13 所示：

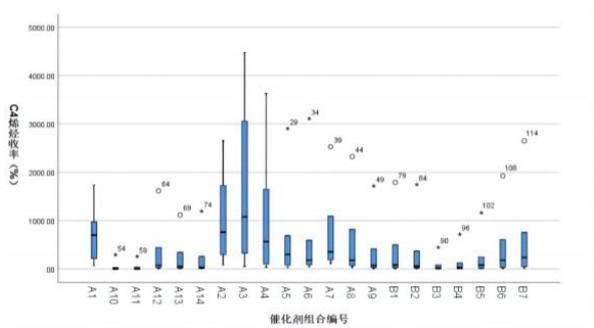


图 12:催化剂组合与 C4 烯烃收率的关系

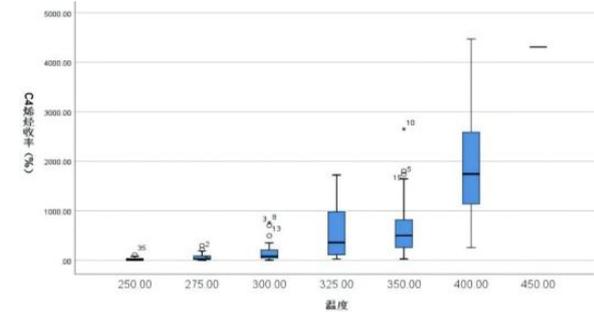


图 13:温度与 C4 烯烃收率关系

通过 SPSS 软件表而得出来的图形，我们可以看出在催化剂不变的情况下，温度越高，C4 烯烃收率越高，温度升高使分子的运动变得剧烈，从而使反应加快。若控制反应的温度低于 350 度，要想尽可能使 Co 的负载量控制在 2wt%，Co 的负载量和 HAP 装料比约等于 200mg 比 200mg，且乙醇按每分钟 1.68 毫升加入时，C4 烯烃的收率才是几乎最大化。

5.3.2 低于 350 度烯烃收率分析与求解

本文将对低于 350 度时进行最近邻分析借助 SPSS 软件，通过各案例的相似性来对个案进行分析。类似个案相互靠近，不同的个案相互远离。从图中我们可以看出，与催化剂组合 A3 相近的有 A4,说明 A3 的 C4 烯烃收率更高。从而得出 A3 效率更高的结果。如图 14、图 15 所示：

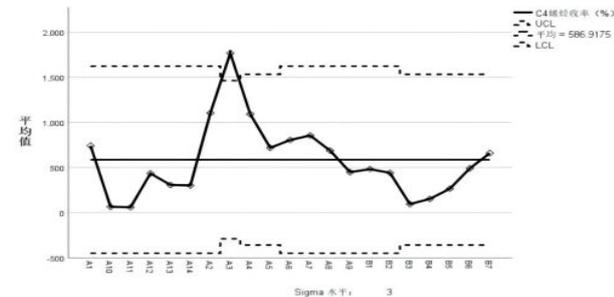


图 14:个案相似分析平均图与 C4 烯烃收率关系

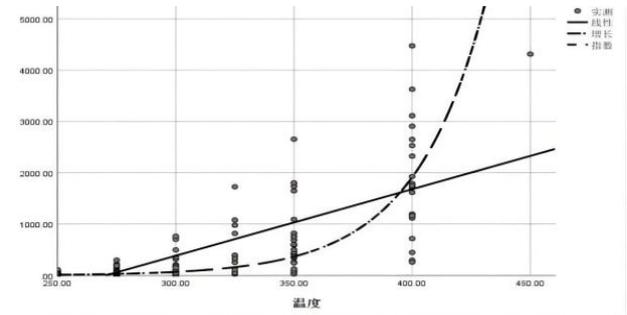


图 15:个案相似分析散点图与 C4 烯烃收率关系

如上图所示我们剔除异常的数据，考虑到生产成本与能源消耗，进行分析可得在温度为 325 度时催化剂组合为装料方式 I 催化剂组合为 200mg 1wt%Co/SiO<sub>2</sub>-200mg HAP-乙醇浓度 1.68ml/min。

利用粒子群算法处理大量的数据，从而推断出一个更准确的结果。决策树算法是一种类似离散函数的方法，对大量数据进行处理，利用归纳法而形成的数，决策树的根结点就是我们要预测的结果，利用这种方法将一些无规则的数据整理出来，让它们形成有规律的粒子图。

参考文献：

- [1]余成波,张莲. 自动控制原理[M]. 第3版. 北京:清华大学出版社, 2018: 4-5.
- [2]严蔚敏. 数据结构[M]. 第2版. 北京:人民邮电出版社, 2015: 100-200.
- [3]吴大正,杨林耀. 信号与系统[M]. 第5版. 北京:高等教育出版社, 2019: 27-72.
- [4]曾璐璐. 改进的 PSO 优化 ELM 算法在医学图像分割中的应用研究[D]. 广西: 广西师范学院, 2016.
- [5]吕绍沛. 乙醇偶合制备丁醇及 C4 烯烃[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- [6]罗坚,王声决. C 语言程序设计[M]. 第3版. 北京:中国铁道出版社, 2009: 1- 104.

作者简介: 1.姓名: 曹正好, 出生年: 1999 年, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽省霍邱县, 职称: 学生, 学历: 本科, 研究方向: 电气工程及其自动化  
 2.姓名: 周佳怡, 出生年: 2001 年, 性别: 女, 民族: 汉, 籍贯: 安徽省合肥市, 职称: 学生, 学历: 本科, 研究方向: 电气工程及其自动化  
 3.姓名: 俞克勤, 出生年: 2000 年, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽省滁州市天长市秦栏镇天扬北路 6 号, 职称: 学生, 学历: 本科, 研究方向: 电气工程及其自动化  
 4.姓名: 张汉龙, 出生年: 2001, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 安徽安庆, 职称: 学生, 学历: 本科, 研究方向: 电气工程及其自动化  
 5.姓名: 刘梦婷, 出生年: 2002 年, 性别: 女, 民族: 汉族, 籍贯: 湖南邵阳, 职称: 学生, 学历: 本科, 研究方向: 会计