

# 响应面法优化 Zn-Mn-Co/HZSM-5 催化乙醇脱水制乙烯

王伟<sup>1,2</sup>, 程可可<sup>2</sup>, 薛建伟<sup>1</sup>, 张建安<sup>2</sup>

1 太原理工大学精细化工研究所, 太原 030024

2 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084

**摘要:** 采用响应面法研究温度、乙醇浓度、质量空速对锌、锰、钴改性的 HZSM-5 催化乙醇脱水制备乙烯过程中乙烯收率的影响。结果表明反应温度对乙烯收率影响最大, 并且各因素之间存在交互作用。用响应面方法确定乙醇脱水制备乙烯的最佳工艺条件是: 温度 261.3 °C, 乙醇浓度 34.4%, 质量空速 1.18 h<sup>-1</sup>, 在该条件下乙烯收率达到 98.69%。

**关键词:** 乙醇, 脱水, 乙烯, 响应面法, HZSM-5

## Optimization of ethylene production from ethanol dehydration using Zn-Mn-Co/HZSM-5 by response surface methodology

Wei Wang<sup>1,2</sup>, Keke Cheng<sup>2</sup>, Jianwei Xue<sup>1</sup>, and Jian'an Zhang<sup>2</sup>

1 Institute of Fine Chemical, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

2 Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract:** The effects of reaction temperature, ethanol concentration and weight hourly space velocity (WHSV) on the ethylene production from ethanol dehydration using zinc, manganese and cobalt modified HZSM-5 catalyst were investigated by response surface methodology (RSM). The results showed that the most significant effect among factors was reaction temperature and the factors had interaction. The optimum conditions were found as 34.4% ethanol concentration, 261.3 °C of reaction temperature and 1.18 h<sup>-1</sup> of WHSV, under these conditions the yield of ethylene achieved 98.69%.

**Keywords:** ethanol, dehydration, ethylene, response surface methodology (RSM), HZSM-5

乙烯是最重要的有机化工原料之一, 被用于生产聚乙烯、环氧乙烷、二氯乙烷等。目前乙烯主要来自高级烃的裂解, 例如石脑油、液化石油气的裂解<sup>[1-2]</sup>。这一过程的能耗高, 并且还要排放大量的

Received: July 20, 2010; Accepted: October 20, 2010

Supported by: National Science and Technology Pillar Program during the Eleventh Five-Year Plan Period (No. 2006BAC02A17).

Corresponding author: Jianan Zhang. Tel/Fax: +86-10-89796086; E-mail: zhangja@tsinghua.edu.cn

“十一五”国家科技支撑计划 (No. 2006BAC02A17) 资助。

CO<sub>2</sub><sup>[3]</sup>。与这种传统的乙烯合成方法相比,乙醇脱水制备乙烯由于反应温度低,乙烯收率、纯度高,分离提纯相对简单而使得乙醇脱水制备乙烯更有吸引力<sup>[4-5]</sup>。此外乙醇可以来自可再生资源,这就使得乙烯生产可以不依赖于石油资源<sup>[2]</sup>。目前,生物乙醇作为一种生物能源主要用来代替汽油,其利用方法有两种:一种是与汽油直接混合使用;另一种是用生物乙醇来制取乙基叔丁基醚(ETBE)添加到汽油中使用<sup>[6-7]</sup>。生物乙醇制乙烯开辟了生物乙醇利用的新途径,如能使其工业化会使得生物乙醇的需求量增加,进而加快生物乙醇生产技术改进的步伐。近些年来,对催化乙醇脱水制备乙烯的催化剂的研究比较多<sup>[8-11]</sup>。在这些报道中,几乎都是通过单因素的方法考察实验因素对乙醇转化率和乙烯选择性的影响,而未考察各因素间的交互作用,因此,仅仅靠常规单因素分析不足以考察整个过程并得到优化结果。

响应面分析法,简称 RSM,是利用合理的试验设计并通过实验得到的一定数据,采用多元二次回归方程来拟合考察因素与响应值之间的函数关系,通过对回归方程的分析来寻求最优工艺参数,解决多变量问题的一种统计方法<sup>[12]</sup>。其中中心复合设计(CCD)和 Box-Behnken 设计(BBD)是最常用的两种设计方法,而 BBD 被认为是在响应面分析法中一个高效的选择和 CCD 理想的替代<sup>[13]</sup>。此外 BBD 还具有实验次数少、回归精度高等优点。但该方法应用于乙醇脱水制乙烯工艺的研究在国内外至今尚未见报道。因此本文利用 BBD 对锌、锰、钴改性的 HZSM-5 催化乙醇脱水制乙烯的影响因素进行研究和分析,为优化乙醇脱水制乙烯最佳工艺提供预测模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂和材料

HZSM-5 分子筛(Si/Al=25, 相对结晶度≥95%, 孔径: 5Å), 由南开大学催化剂厂提供; 无水乙醇(分

析纯), 由北京化工厂提供; 50% 硝酸锰溶液、六水合硝酸钴和六水合硝酸锌(分析纯), 由广东, 汕头市西陇化工厂提供; 标准气体(乙烯、丙烯、正丁烯、丙炔), 由北京海普气体公司提供。

### 1.2 催化剂的制备

配制一定浓度的硝酸锰、硝酸钴、硝酸锌溶液, 然后将 HZSM-5 分子筛与该溶液按照固液比 1:10 (g/mL) 加入反应釜中 150 °C 盐浴 4 h。反应完冷却至室温抽滤, 将固体于 120 °C 干燥; 再将干燥后的固体置于马弗炉中焙烧 5 h, 制得锌、锰、钴改性的 HZSM-5 催化剂。最后将该催化剂在 16 MPa 下压片、研磨、过筛筛选 20~40 mesh 的催化剂用于反应。

### 1.3 实验装置与方法

乙醇脱水制乙烯的反应在固定床反应器中进行。取 4 g 粒径为 20~40 mesh 的锌、锰、钴改性的 HZSM-5 催化剂装入反应管中。以不同浓度的乙醇为原料, 经预热段汽化后通过催化剂层进行反应, 再经冷凝器冷却分离, 分别收集气相和液相组分进行色谱分析。反应温度和质量空速分别采用精密温度自控仪和通过蠕动泵的转速来调节。气相产物用岛津 GC-2010 气相色谱进行分析, 色谱条件: GDX-103 填充柱, FID 检测器, 检测器 150 °C, 进样口温度 120 °C, 柱温 120 °C; 液相产物用液相色谱仪分析, 色谱条件: 色谱柱 HPX-87H 有机酸分析柱, 柱温 65 °C, 流动相为 0.005 mol/L 稀硫酸, 检测器 RID-10A。

乙烯收率的计算式如下:

$$Y_{C_2H_4}(\%) = \frac{W_{C_2H_4}}{F_{C_2H_5OH}} \times 100$$

式中:  $Y_{C_2H_4}$  为乙烯收率;  $W_{C_2H_4}$  为生成乙烯的物质的量;  $F_{C_2H_5OH}$  为乙醇的进料的物质的量。

### 1.4 实验设计

在单因素的基础上对影响乙烯收率的反应条件(反应温度、乙醇浓度、质量空速)进行了初步的确定。根据 Box-Behnken 的实验设计原理设计了三因素三水平的实验来确定获得高乙烯收率的最佳因

素的组合。在统计计算中,变量编码按照下式进行:

$$x_i = (X_i - X_0) / \Delta X_i$$

式中:  $x_i$  为代码值;  $X_i$  为因素的实际值;  $X_0$  为因素的平均值;  $\Delta X_i$  为步长变化值。其实验因素及水平见表 1。

表 1 响应面分析参数水平

Table 1 Factors and levels of response surface design

Independent variables	Code	Factor level		
		-1	0	1
Concentration (%)	A	10	52.5	95
Temperature (°C)	B	200	250	300
WHSV (h <sup>-1</sup> )	C	0.5	2.0	3.5

WHSV: weight hourly space velocity.

## 1.5 统计分析

用响应面回归程序对表 2 数据进行分析使其符合以下的二阶多项式模型<sup>[13]</sup>:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_{ii} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{ij} \beta_{ij} x_i x_j$$

上式中  $Y_i$  为预测响应值,  $x_i$  和  $x_j$  为自变量,  $\beta_0$  为偏移量,  $\beta_i$  为线性系数,  $\beta_{ii}$  为平方系数,  $\beta_{ij}$  为两因素的交互作用系数。

表 2 Box-Behnken 实验表和结果

Table 2 Experimental design of Box-Behnken design and corresponding results

Run	Independent variables			Yield (%)
	A	B	C	
1	-1	0	-1	91.36
2	0	0	0	94.69
3	0	0	0	94.42
4	0	-1	-1	91.68
5	0	0	0	92.38
6	0	1	-1	42.58
7	0	-1	1	6.23
8	0	0	0	93.30
9	1	1	0	31.37
10	1	0	-1	50.86
11	0	1	1	83.31
12	-1	1	0	98.69
13	1	0	1	91.20
14	-1	0	1	23.88
15	0	0	0	94.39
16	1	-1	0	25.33
17	-1	-1	0	4.37

本实验是采用 Design Expert 7.0 对实验数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型建立及方差分析

本实验采用 Design Expert 7.0 软件对实验结果进行多元回归拟合, 得到乙烯产率 ( $Y$ ) 与乙醇浓度、反应温度和质量空速之间的拟合模型, 本次实验中自变量的编码分别为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ , 则二次多项式回归模型方程为:

$$Y = 93.84 - 2.44A + 16.04B - 8.98C - 22.07AB + 26.96AC + 31.55BC - 22.76A^2 - 31.14B^2 - 6.75C^2$$

回归模型的方差分析见表 3, 由  $F$  检验时该模型有较大的  $F$  值 ( $F=10.86$ ) 和较小的  $P$  值 ( $P_{\text{model}} > F=0.0026$ ) 可以看出二次回归模型高度显著。模型的拟合优度由复相关系数 ( $R^2$ ) 检验<sup>[14-15]</sup>。因此, 相关系数的值 ( $R^2=0.9315$ ) 表明实验中乙烯收率只有 6.85% 的数值不能用该模型解释。校正复相关系数 ( $R_{\text{adj}}=0.8434$ ) 也说明了模型显著。模型的性噪比高于临界值 4 说明模型是可行的<sup>[16]</sup>。失拟项高度显著表明试验中可能存在一些系统性变化而没有考虑到二次回归模型中<sup>[17]</sup>。

表 4 的回归系数显著性检验结果表明, 温度 ( $B$ ) 对乙烯产率有显著影响, 各因素对乙烯收率的影响大小顺序为:  $B > C > A$ , 即: 温度 > 质量空速 > 乙醇浓度; 并且温度与乙醇浓度, 温度与质量空速, 乙醇浓度与质量空速之间的交互作用对乙烯收率影响显著。

### 2.2 响应面优化乙醇脱水制乙烯的工艺条件

图 1~3 是依据模型方程所作的响应面的三维图及等高线图, 利用该图可以分析实验中考察的因素与响应值之间的交互关系以及确定各因素的最佳水平范围。响应面三维图的对称形状进一步说明了各因素间的交互作用对乙烯收率的影响是显著的<sup>[15]</sup>。

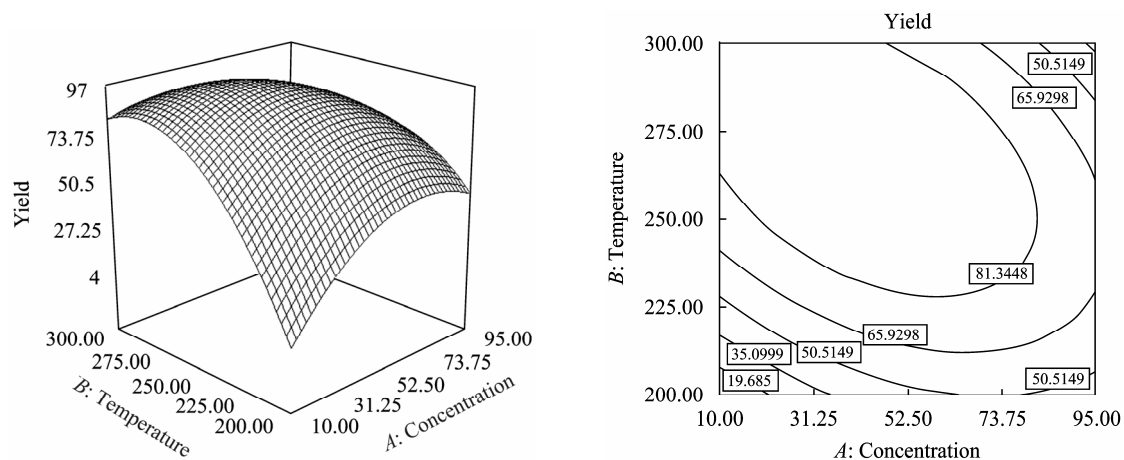


图 1 温度和浓度对乙烯收率影响的响应面和等高图

Fig. 1 Surface layer and contour plots of the mutual-affecting of temperature and concentration on ethylene yield.

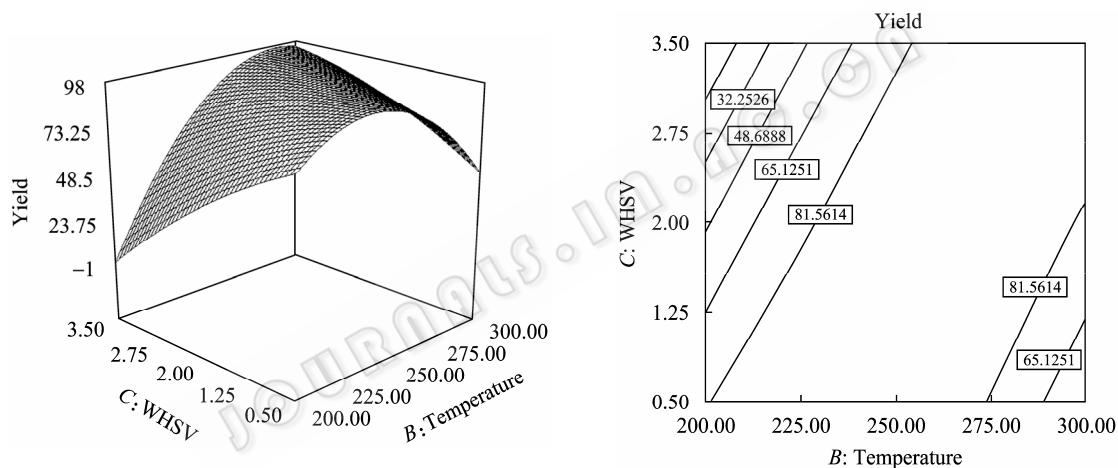


图 2 温度和质量空速对乙烯收率影响的响应面和等高图

Fig. 2 Surface layer and contour plots of the mutual-affecting of temperature and WHSV on ethylene yield.

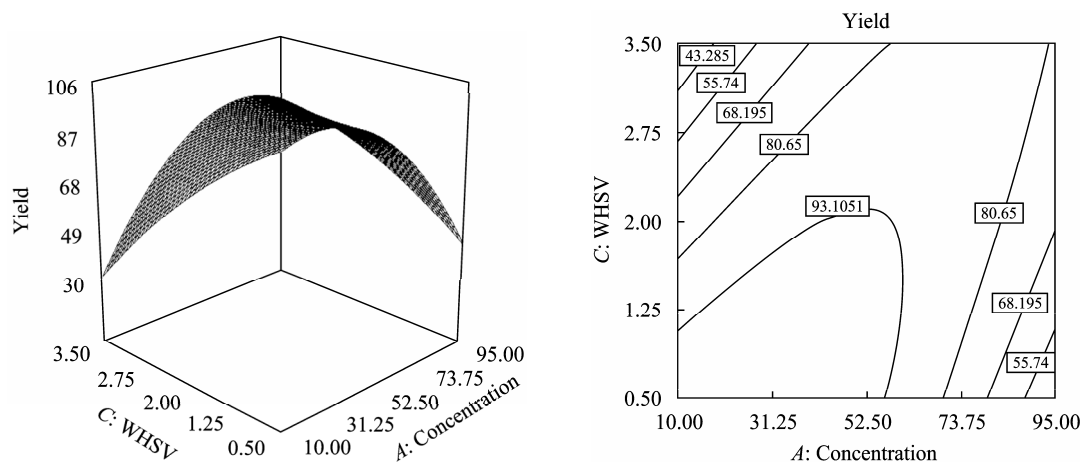


图 3 乙醇浓度和质量空速对乙烯收率影响的响应面和等高图

Fig. 3 Surface layer and contour plots of the mutual-affecting of concentration and WHSV on ethylene yield.

表 3 回归模型的方差分析

Table 3 ANOVA of quadratic polynomial model

Source	Sum of square	df	Mean square	F value	P value
Model	18584.61	9	2064.96	10.58	0.0026
Residual	1366.69	7	195.24		
Lack of fit	1326.90	3	454.30	480.17	<0.0001
Pure error	3.78	4	0.95		
$R^2=0.9315$		$R_{adj}^2=0.8434$		Adeq precision=9.641	

表 4 回归方程系数显著性检验表

Table 4 Significance test of regression coefficient

Parameter	Estimate	df	Sum of square	Mean square	F value	P value
A	-2.44	1	47.73	47.73	0.24	0.6361
B	16.04	1	2058.89	2058.89	10.55	0.0141
C	-8.98	1	645.48	645.48	3.31	0.1119
AB	-22.07	1	1948.34	1948.34	9.98	0.0160
AC	26.96	1	2906.29	2906.29	14.89	0.0062
BC	31.55	1	3980.35	3980.35	20.39	0.0027
A <sup>2</sup>	-22.76	1	2181.22	2181.22	11.17	0.0124
B <sup>2</sup>	-31.14	1	4081.77	4081.77	20.91	0.0026
C <sup>2</sup>	-6.75	1	191.87	191.87	0.98	0.3545

图 1 是质量空速为  $2.0 \text{ h}^{-1}$  时乙醇浓度和反应温度对乙烯收率的影响。温度在  $200 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 265 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，乙醇浓度在  $10\% \sim 73.75\%$  之间时，乙烯收率随着温度升高和乙醇浓度的增大而增加。当浓度保持不变时，乙烯产率随温度的升高而升高，这是因为温度较低时乙醇脱水以生成乙醚为主，随温度升高乙醇脱水生成乙烯的速率增加。乙醇浓度增加对乙烯收率影响不大，但要在同一等高线（即乙烯收率相同）上时增大乙醇浓度所需反应温度要降低，这表明要达到相同的乙烯收率时，高浓度的乙醇比低浓度的乙醇需要的反应温度低。这是由于乙醇比水的汽化温度低，保证在气相反应时高浓度乙醇吸收的热量要比低浓度乙醇吸收的热量少。

图 2 是乙醇浓度为  $52.5\%$  时温度和质量空速对乙烯收率的影响。当温度在  $200 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  之间时，乙烯收率随着空速的增大而减小，随温度的升高而增加；当温度在  $275 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  之间时，乙烯收率随着质量空速的增大而增加，随温度的升高而减小，

这说明在  $250 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 275 \text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内乙烯收率存在最大值。从图中可以看出温度与质量空速有一定的关系：在同一等高线（即乙烯收率相同）时，提高反应温度，相应的质量空速也有所提高。这说明提高反应温度，质量空速负载增大。这是因为提高反应温度反应速率加快，单位时间内可以反应乙醇的量增多而保持乙烯收率不变。

图 3 是温度为  $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时，质量空速和乙醇浓度对乙烯收率的影响。随着乙醇浓度的增加，乙烯收率呈现先增大后减小的趋势。当乙醇浓度较低时，乙烯收率随空速的增大而减小，这与乙醇溶液中的水存在有关，当空速增大时，低浓度乙醇在反应过程中水蒸气的流量较大，使得乙醇与催化剂的活性位接触不充分；当乙醇浓度较高时，乙烯收率随空速的增大而增加，这是由于浓度较大时水蒸气的气流较小，乙醇能与催化剂的活性位充分接触，此时提高空速有利于乙烯的生成。从图中还可以看出，当乙醇浓度在  $10\% \sim 60\%$ 、质量空速在  $0.5 \sim 2.0 \text{ h}^{-1}$  之间时，乙烯收率能达到最大值；在同一等高线时，提高乙醇浓度需要相应的提高空速，这是因为水在催化剂的活性位的吸附能力强，低浓度乙醇反应时由于水与催化剂活性位接触而使得能与乙醇接触的活性位减少，空速越大未反应的乙醇越多，因此需要较低的空速以保证乙醇的转化率。

### 2.3 模型优化和验证实验

利用已经建立的二次回归模型，通过求解方程  $Y$  的最大值，得到乙烯产率最大时所对应的工艺参数值。优化后的乙醇脱水制乙烯工艺条件是：反应温度为  $261.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，乙醇浓度为  $34.4\%$ ，质量空速为  $1.18 \text{ h}^{-1}$ ，乙烯收率可达到  $100\%$ 。在该条件下进行了 3 次验证实验，测得乙烯收率为  $98.69\% \pm 0.53\%$ ，这与预测值吻合的相当好，说明响应面优化得到的乙醇脱水制乙烯的工艺条件参数是可行的。

### 2.4 负载金属氧化物作用机理

HZSM-5 分子筛催化乙醇脱水制备乙烯时催化剂的活性与催化剂所含有 B 酸中心数量有关<sup>[4,18]</sup>，

而 HZSM-5 分子筛的酸中心主要存在于孔内, 还有一些存在于沸石的外表面, 尽管只有很小一部分, 但对产物的分布却又很大影响。外表面的无选择性反应和外表面酸中心引起的异构化会导致选择性降低<sup>[19-20]</sup>。负载的锌、锰、钴的氧化物可以覆盖沸石外表面的强酸活性中心, 使外表面失活, 抑制副反应的发生从而提高乙烯的选择性。此外在改性时可以使一定量的锌、锰、钴进入 HZSM-5 分子筛骨架中, 分子筛能很好地保持原有的骨架结构, 使得 HZSM-5 分子筛上的 B 酸中心减少, L 酸中心减少, 改变分子筛的酸性、微孔结构和表面状态, 从而有利于乙醇催化脱水制得乙烯<sup>[21]</sup>。

### 3 结论

采用响应面法建立了乙醇脱水制乙烯工艺条件的二次多项式数学模型, 得到最佳工艺条件: 反应温度 261.3 °C, 乙醇浓度 34.4%, 质量空速 1.18 h<sup>-1</sup>; 在该条件下乙烯收率达到 98.69%, 与模型预测值吻合; 所建立模型合理可靠, 拟合程度良好。回归系数显著性检验结果表明, 温度对乙烯收率影响显著; 各因素对乙烯收率影响的主次顺序系为: 反应温度 > 质量空速 > 乙醇浓度, 并且各因素之间的交互作用对乙烯收率影响显著。响应面和等高线图分析结果表明, 要达到相同乙烯收率时, 提高乙醇浓度就要相应降低反应温度或增大质量空速; 提高反应温度就要相应增大质量空速。

### REFERENCES

- [1] Ouyang J, Kong FX, Su GD, et al. Catalytic conversion of bio-ethanol to ethylene over La-modified HZSM-5 catalysts in a bioreactor. *Catal Lett*, 2009, 132(1/2): 64-74.
- [2] Zhang X, Wang RJ, Yang XX, et al. Comparison of four catalysts in the catalytic dehydration of ethanol to ethylene. *Microporous Mesoporous Mater*, 2008, 116(1/3): 210-215.
- [3] Ramesh K, Hui LM, Han YF, et al. Structure and reactivity of phosphorous modified HZSM-5 catalysts for ethanol dehydration. *Catal Commun*, 2009, 10(5): 567-571.
- [4] Takahara I, Saito M, Inaba M, et al. Dehydration of ethanol into ethylene over solid acid catalysts. *Catal Lett*, 2005, 105(3/4): 249-252.
- [5] Varisli D, Dogu T, Dogu G. Ethylene and diethyl-ether production by dehydration reaction of ethanol over different heteropolyacid catalysts. *Chem Eng Sci*, 2007, 62(18/20): 5349-5352.
- [6] Yang BL, Yang SB. Production of ethyl tert-butyl ether using low-grade ethanol. *Petrochemical Technology*, 2000, 29(12): 897-900.  
杨伯伦, 杨三八. 低浓度乙醇制乙基叔丁基醚. *石油化工*, 2000, 29(12): 897-900.
- [7] Shen YM, Wu J, Zhang ZX. Study on catalysts for gas-phase synthesis of ethyltert-butyl ether (ETBE) from ethanol and tert-butyl alcohol. *Shenyang Institute of Chemical Technology*, 2004, 18(2): 103-107.  
申延明, 吴静, 张振祥. 乙醇与叔丁醇气相合成乙基叔丁基醚催化剂的研究. *沈阳化工学院学报*, 2004, 18(2): 103-107.
- [8] Chen GW, Li SL, Jiao FJ, et al. Catalytic dehydration of bio-ethanol to ethylene over TiO<sub>2</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts in microchannel reactors. *Catal Today*, 2007, 125(1/2): 111-119.
- [9] Talukdar AK, Bhattacharyya KG, Sivasanker S. HZSM-5 catalysed conversion of aqueous ethanol to hydrocarbons. *Appl Catal A: Gen*, 1997, 148(2): 357-371.
- [10] Li Y, Chen XC, Sun W, et al. Experimental study of the catalytic dehydration of ethanol to ethylene on a γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. *J Beijing Univ Chem Technol: Natural Sci Ed*, 2007, 34(5): 449-452.  
黎颖, 陈晓春, 孙巍, 等. γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上乙醇脱水制乙烯的实验研究. *北京化工大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(5): 449-452.
- [11] Hu YC, Huang H, Shi HF, et al. Catalytic dehydration of ethanol to ethylene using transition metal modified HZSM-5. *Chemistry & Bioengineering*, 2007, 24(2): 19-21.  
胡耀池, 黄和, 施海峰, 等. 过渡金属改性 HZSM-5 催化乙醇脱水制乙烯. *化学与生物工程*, 2007, 24(2): 19-21.
- [12] Thompson D. Response surface experimentation. *J Food Process Pres*, 1982, 6(3): 155-188.

- [13] Fu JF, Zhao YQ, Xue XD, et al. Multivariate-parameter optimization of acid blue-7 wastewater treatment by Ti/TiO<sub>2</sub> photoelectrocatalysis via the Box-Behnken design. *Desalination*, 2009, 243(1/3): 42–51.
- [14] Celebi N, Yildiz N, Demir AS, et al. Optimization of benzoin synthesis in supercritical carbon dioxide by response surface methodology (RSM). *J Supercrit Fluids*, 2008, 47(2): 227–232.
- [15] Kshirsagar AC, Singhal RS. Optimization of starch oleate derivatives from native corn and hydrolyzed corn starch by response surface methodology. *Carbohydr Polym*, 2007, 69(3): 455–461.
- [16] Güven G, Perendeci A, Tanyolaç A. Electrochemical treatment of deproteinated whey wastewater and optimization of treatment conditions with response surface methodology. *J Hazard Mater*, 2008, 157(1): 69–78.
- [17] Aziz HA, Yusoff MS, Adlan MN, et al. Application of response surface methodology (RSM) for optimization of ammoniacal nitrogen removal from semi-aerobic landfill leachate using ion exchange resin. *Desalination*, 2010, 254(1/3): 154–161.
- [18] Takahara I, Saito M, Matsushashi H, et al. Increase in the number of acid sites of a HZSM-5 zeolite during the dehydration of ethanol. *Catal Lett*, 2007, 113(3/4): 82–85.
- [19] Horniakova J, Mravec D, Joffre J, et al. Selective alkylation of biphenyl over H-MOR and H-BEA zeolites: analysis of experimental results by computational modelling. *J Mole Catal A: Chem*, 2002, 185(1/2): 249–257.
- [20] Tawada S, Sugi Y, Kubota Y, et al. Ceria-modification of H-mordenites: the deactivation of external acid sites in the isopropylation of biphenyl and the isomerization of 4,4'-diisopropylbiphenyl. *Catal Today*, 2000, 60(3/4): 243–253.
- [21] Pan F, Zhang JA, Liu DH, et al. Ethanol dehydration to ethylene over HZSM-5 catalyst modified by Zn and Mn. *Chin J Proc Eng*, 2007, 7(3): 490–495.
- 潘峰, 张建安, 刘德华, 等. Zn 与 Mn 复合改性 HZSM-5 催化低浓度乙醇脱水制乙烯. *过程工程学报*, 2007, 7(3): 490–495.

## 父亲和我们

——纪念中国首批青霉素的研制者和命名者樊庆笙教授百年诞辰

本书作者樊真美以女儿的视角叙述了父亲坎坷的不平凡的一生，也记录了儿女们受父母的影响和教育曲折的成长过程。凸显了父亲这样一个老一代知识分子赤诚的爱国之心，为实现强国梦付出毕生心血的奉献精神 and 历经磨难的不屈不挠的奋斗精神。本书由北京时代文献出版社出版。

定价：38 元

邮费：1 本 5.5 元、2 本 7 元、3 本 9 元（一律加挂号费 3 元）

需购者请与作者樊真美联系。

地址：南京嫩江路 20 号四季园 23 号 402 室 邮编 210036

电话：025-83418856