

研究论文

## 二元液体混合物的过量体积模型

丁舒静

(浙江工业大学化学工程学院, 浙江 杭州 310014)

沈晓燕 刘国杰

(华东理工大学化学系, 上海 200237)

**摘 要** 按照提出的含醇溶液形成的热力学模型, 采用释放和充入组分间引力势能的方法建立了一个过量体积方程, 表明含醇溶液的过量体积主要取决于组分解缔和它们间交叉缔合引起的焓变以及模型中释放或充入的组分间引力势能. 该方程有良好的通用性, 不仅适用于含醇溶液, 也适用于非含醇溶液. 广泛的检验表明, 它能满意地关联各种二元液体混合物的过量体积随组成变化的实验数据.

**关键词** 含醇溶液 二元液体混合物 过量体积 热力学模型

**中图分类号** TQ 013.1

**文献标识码** A

**文章编号** 0438-1157 (2004) 07-1041-06

## EXCESS VOLUME MODEL OF BINARY LIQUID MIXTURES

DING Shujing

(College of Chemical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, Zhejiang, China)

SHEN Xiaoyan and LIU Guojie

(Department of Chemistry, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract** According to the thermodynamic model of formation of the solutions containing alcohol proposed in this work, an equation of excess volume was established by adopting the approach to releasing and charging attractive potential energy between two components. It indicated that the excess volumes of solutions containing alcohol were mainly dependent on changes of enthalpies caused by the dissociation of components and cross-association between them and attractive potential energy released or charged in this model. This equation showed good generality and was not only applicable to the solutions containing alcohol, but also to the solutions not containing alcohol. Extensive test proved that it could be used to correlate experimental data of variation of excess volume with composition for all kinds of binary liquid mixtures satisfactorily.

**Keywords** solution containing alcohol, binary liquid mixture, excess volume, thermodynamic model

### 引 言

过量体积不仅是溶液非理想性的一个重要标志, 而且是化工计算必不可少的基础数据, 文献已积累了大量实验数据, 而且还在不断地增长着. 可是, 迄今还没有一个理论或半理论模型能够满意地

用来关联这些数据. 文献中广为应用的 Redlich-Kister 方程<sup>[1]</sup>

$$V^E = x_1(1-x_1) \sum_{j=0}^k A_j(1-2x_1)^j \quad (1)$$

完全是一个经验的多项式, 其系数  $A_j$  没有任何物理意义. 本工作旨在以含醇溶液形成的热力学模型

为基础发展一个过量体积方程, 该方程能推广适用于各种液体混合物.

### 1 模型的建立

从热力学的观点, 含醇溶液的形成可设想分两步完成: 第一步为醇的缔合液体 (1) 与组分 (2) 的混合, 变成体积可加的混合物. 其中组分 (2) 可以是自缔合或非缔合物质. 假设在这一步中醇和组分 (2) 的缔合状态都保持不变, 即混合纯粹是一个物理过程, 形成的是醇的缔合液体与组分 (2) 的物理混合物. 第二步为醇的缔合体在组分 (2) 的作用下解缔, 并与之交叉缔合, 从而导致组分 (2) 的解缔. 这是一个氢键破坏和重组的纯化学过程, 随之系统的摩尔体积由  $V_0 = x_1 V_{m,1} + x_2 V_{m,2}$  变成  $V_m$  的含醇溶液, 即假定含醇溶液的过量体积是由第二步产生的. 按照这个设想, 含醇溶液的过量焓当为这两步焓变之和

$$H^E = \Delta_{\text{mix}} H_m = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (2)$$

然而, 要实现这一设想, 必须在第一步物理混合的同时从系统中适量地释放掉组分分子间的引力势能. 这是因为组分分子间的引力势能是导致醇和组分 (2) 解缔的原因. 不难想像, 在指定的温度和压力下, 当在醇的缔合液体中加入组分 (2) 时, 随着醇的缔合体周围组分 (2) 分子的增多, 后者对前者的吸引作用不断加强, 正是在这种组分间的吸引作用下, 致使醇的缔合体逐渐解体. 同理, 醇对组分 (2) 的吸引作用亦是组分 (2) 解缔的原因. 故要实现第一步组分间的物理混合, 适量释放组分间的引力势能是必不可少的. 现若在物理混合后再将第一步释放的组分间的引力势能如数地归还或充入已形成的物理混合物, 那么混合物中的氢键必将破坏和重组, 这便是设想中的第二步. 因此, 利用释放和充入组分间的引力势能便能使上述热力学模型得以实施.

模型的示意图见图 1. 图中  $-\Delta u$  即为第一步释放的组分间的引力势能, 它如数地归还给了第二步. 鉴于引力势能为负值, 故用  $-\Delta u$  表示. 本工作便是根据这个热力学模型建立含醇溶液的过量体积方程.

按照这个模型, 含醇溶液的过量焓应表示为

$$H^E = \Delta H_1 + \Delta u + \Delta H_2 - \Delta u \quad (3)$$

式中  $\Delta H_2 - \Delta u$  为第二步在充入引力势能后系统所引起的焓变. 含醇溶液的过量体积仅与这一过程有关. 由于第二步在充入组分间的引力势能后混合物中将发生氢键的破坏和重组, 这一过程将同时伴随系统的内能和体积的改变. 现若将系统的内能  $U$  围绕物理混合物对体积  $V$  进行 Taylor 级数展开, 则

$$U_m = U_0 + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_{T,0} (V_m - V_0) + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial V^2}\right)_{T,0} (V_m - V_0)^2 + \dots \quad (4)$$

式中 下标 0 表示物理混合物的相应物理量. 考虑到一般液体混合物的过量体积  $V_m - V_0$  不会很大, 将上述级数中的  $V_m - V_0$  的高次项截去亦无妨, 因此

$$U_m - U_0 \approx p_{i,0} V^E \quad (5)$$

式中  $p_{i,0} = (\partial U / \partial V)_{T,0}$ , 为物理混合物的内压;  $V^E = V_m - V_0$ , 为含醇溶液的过量体积.

不难看出,  $U_m - U_0$  即为第二步在充入组分间引力势能后系统所引起的内能增量, 其值近似地等于其焓变, 即

$$U_m - U_0 \approx \Delta H_2 - \Delta u$$

因此, 由式 (5) 可得

$$V^E = (\Delta H_2 - \Delta u) / p_{i,0} \quad (6)$$

式中  $\Delta H_2$  是第二步的焓变. 在作者的新近工作中<sup>[2]</sup>已经得到这一步的焓变为

$$\Delta H_2 = h x_1 x_2 \exp(B x_1^2) \quad (7)$$

式中  $h$  为 1 mol 醇在组分 (2) 作用下解缔, 并与之交叉缔合, 进而导致组分 (2) 解缔所引起的焓变;  $B$  是一个决定醇在组分 (2) 中解缔率大小的特征参数, 亦称为化学相互作用参数.

式 (6) 中的  $\Delta u$  是充入第二步的组分间引力势能的绝对值. 由于  $\Delta u$  涉及到组分间的相互作用, 其值必同时取决于两个组分的摩尔分数, 且当任一组分的摩尔分数趋近于零时  $\Delta u$  的值亦趋近于零. 进一步考虑到两个组分在结构上的差异, 它们间的相互作用应是不对称的. 据此可以推测,  $\Delta u$  应有如下形式

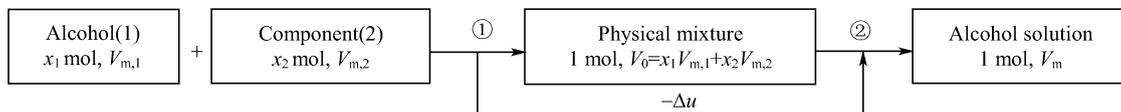


Fig. 1 Schematic diagram of formation for solutions containing alcohol

$$\Delta u = \frac{Cx_1x_2}{1-\beta x_2} \quad (8)$$

式中  $C$  是一个具有能量量纲的比例系数,  $\beta$  是一个不对称因子. 由式 (8) 可见, 当  $\beta=0$  时,  $\Delta u$  随组成的变化是对称的; 反之, 当  $\beta \neq 0$  时, 则是不对称的.

现若将式 (7) 和式 (8) 代入式 (6), 则得

$$V^E = x_1x_2[a \exp(Bx_1^2) - b/(1-\beta x_2)] \quad (9)$$

式中  $a = h/p_{i,0}$ ,  $b = C/p_{i,0}$ , 它们都具有摩尔体积分量纲. 鉴于  $p_{i,0}$  为物理混合物的内压, 是一个假想态的液体混合物的内压, 不可能通过实验得到, 故只能武断地将它视为一个与组成无关的量, 且视第一步释放的组分间引力势能的多少, 其值可负亦可正. 这样,  $a$  和  $b$  就是式 (9) 中的两个体积参数, 式 (9) 便是本工作建立的含醇溶液的过量体积方程.

然而, 应该指出, 式 (9) 虽是含醇溶液的过量体积方程, 但它也能经验地推广到非含醇溶液, 用来描述各种液体混合物的过量体积随组成的变化规律. 这是因为式 (9) 具有很强的适应性. 为了表明这一点, 可将式 (9) 与经验的 Redlich-Kister 方程即式 (1) 相比较.

Redlich-Kister 方程是一个经验的多项式, 它可展开成如下形式

$$\begin{aligned} V^E &= x_1(1-x_1) \sum_{j=0}^k A_j(1-2x_1)^j \\ &= A_0x_1x_2 + A_1x_1x_2^2 - A_1x_1^2x_2 + A_2x_1x_2^3 - 2A_2x_1^2x_2^2 + \\ &\quad A_2x_1^3x_2 + A_3x_1x_2^4 - 3A_3x_1^2x_2^3 + 3A_3x_1^3x_2^2 - A_3x_1^4x_2 + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

式中包含了各种  $x_1^n x_2^m$  项 (除了  $n, m=0$  外), 这便是该方程能够满意地关联各种二元液体混合物过量体积的原因.

本工作建立的式 (9) 亦同样具有这个特征. 倘若将式 (9) 中的两项进行级数展开, 不难得到

$$\begin{aligned} V^E &= x_1x_2[a \exp(Bx_1^2) - b/(1-\beta x_2)] \\ &= x_1x_2[a(1+Bx_1^2+B^2x_1^4/2+\dots) - b(1+\beta x_2 + \\ &\quad \beta^2x_2^2+\beta^3x_2^3+\beta^4x_2^4+\dots)] \\ &= (a-b)x_1x_2 - b\beta(1-\beta^2)x_1x_2^2 + aBx_1^2x_2 - b\beta^2x_1x_2^3 + \\ &\quad (2b\beta^3 - aB)x_1^2x_2^2 + \\ &\quad (aB^2/2 - b\beta^3)x_1^3x_2 - b\beta^4x_1x_2^4 + b\beta^4x_1^2x_2^3 - aB^2x_1^3x_2^2 + \\ &\quad b\beta^5x_1^4x_2 - (b\beta^4 - aB^2/2)x_1^3x_2^3 + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

比较式 (11) 与式 (10), 可以看出它们之间在形式上极为类似. 由于式 (10) 已被证明能用来关联各种二元液体混合物的过量体积, 故式 (11) 亦不例外.

## 2 检验与讨论

式 (9) 是一个 4 参数方程, 除了 2 个体积参数  $a$  和  $b$  外, 还有  $B$  和  $\beta$ , 它们都有一定的物理意义, 这些参数的值可通过拟合过量体积随组成变化的实验数据获得. 表 1 是对 30 个二元含醇溶液过量体积的关联结果. 表中除了列出温度  $T$ 、数据点数目  $N$  和数据来源 Ref. 外, 还列出了参数值和标准偏差

$$\sigma = \left[ \sum (V_{\text{cal}}^E - V_{\text{exp}}^E)^2 / N \right]^{1/2}$$

可见, 关联结果很令人满意.

Table 1 Correlation results of excess volumes for solutions containing alcohol

System	$T/K$	$N$	$a$ / $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$B$	$b$ / $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$\beta$	$\sigma$ / $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	Ref.
methanol/ethanol	298.15	9	0.1420	0.2562	0.1296	-0.2092	0.0000	a
methanol/1-propanol	298.15	9	0.3335	0.2193	0.1283	0.3028	0.0001	a
methanol/2-butanol	298.15	9	0.5814	0.1033	0.1956	0.3910	0.0001	a
ethanol/1-butanol	298.15	9	0.2065	0.1929	0.1533	0.1779	0.0001	a
ethanol/nonane	298.15	9	11.8826	0.6771	19.8967	-1.3055	0.0102	a
1-butanol/cyclohexane	298.15	9	17.6063	0.2364	20.4719	-0.3948	0.0143	a
1-butanol/heptane	298.15	9	15.8127	0.1623	18.2606	-0.3229	0.0078	a
methanol/ethyl acetate	298.15	10	1.4176	-0.5322	1.2905	0.3193	0.0026	b
methanol/isopropyl ether	298.15	11	-0.0685	3.9501	3.3144	0.2995	0.0119	b
methanol/triethylamine	298.15	15	-0.4329	0.4274	11.1031	-0.6913	0.0154	b
methanol/pyridine	298.15	12	0.6511	-2.5638	2.9336	-0.5522	0.0097	b
ethanol/nitromethane	298.15	13	2.9713	0.8037	8.5142	-2.7394	0.0052	b

Table 1 (continued)

System	T/K	N	$a$ /cm <sup>3</sup> · mol <sup>-1</sup>	B	$b$ /cm <sup>3</sup> · mol <sup>-1</sup>	$\beta$	$\sigma$ /cm <sup>3</sup> · mol <sup>-1</sup>	Ref.
2-methyl-2-propanol/benzonitrile	303.15	9	1.2200	-11.3977	0.6118	-3.6543	0.0027	c
methanol/propylamine	298.15	12	13.2540	0.2505	24.0005	-0.2809	0.0029	d
methanol/N-methylacetamide	303.15	9	-1.5604	0.3122	0.0102	1.0769	0.0040	e
2-methyl-2-propanol//N-methylacetamide	303.15	10	-0.1611	4.0198	0.0731	1.0047	0.0097	e
1-propanol/water	298.15	10	-0.9088	0.9111	0.7960	0.8957	0.0127	f
1-pentanol/methyl isobutyl ketone	298.15	9	0.2473	-1.2755	0.4615	0.1599	0.0064	g
ethanol/monoethanolamine	303.15	9	10.9653	0.2404	17.0391	-0.3297	0.0027	h
ethanol/dimethyl sulfoxide	298.15	11	-0.0953	2.7183	1.1502	0.2742	0.0083	i
1-propanol/ethylene glycol	298.15	25	2.0059	-0.3189	2.3815	0.3635	0.0019	j
2-pentanol/benzylamine	298.15	9	-1.2740	-0.2000	0.6541	0.3345	0.0176	k
ethanol/vinyl acetate	303.15	9	2.5551	0.7040	4.9582	-2.0040	0.0017	l
1-propanol/1,4-dioxane	298.15	14	1.3825	-0.3338	0.7350	0.2126	0.0038	m
methanol/water	298.15	12	-5.9500	-0.2470	-1.1373	0.5730	0.0189	n
2-ethoxyethanol/hexane	298.15	9	19.2843	0.1671	21.8459	-0.3462	0.0098	o
2-ethoxyethanol/acetonitrile	298.15	9	3.7642	0.2912	6.0242	-0.2837	0.0076	o
2-methoxyethanol/tetrachloroethylene	303.15	9	16.8210	0.1948	18.5245	-0.3248	0.0010	p
ethanol/chloroform	298.15	9	1.3238	-2.9509	1.4871	-0.2304	0.0051	q
ethanol/acetonitrile	298.15	12	2.1793	-0.0570	2.7124	-0.4101	0.0024	r

a. Lide D R, et al. CRC Handbook of Thermophysical and Thermochemical Data. Boca Raton: CRC Press, 1994

b. Nakanishi K, et al. Bull. Chem. Soc. Jpn., 1970, **43**, 1634

c. Franjo C, et al. J. Chem. Eng. Data, 1995, **40**: 68

d. Papaioannou D, et al. J. Chem. Eng. Data, 1995, **40**: 202

e. Pikkarainen L. J. Chem. Eng. Data, 1983, **28**, 381

f. Mikhail S Z, et al. J. Chem. Eng. Data, 1963, **8**: 323

g. Riggio R, et al. J. Chem. Eng. Data, 1986, **31**: 235

h. Lee M J, et al. J. Chem. Eng. Data, 1995, **40**: 336

i. Nikam P S, et al. J. Chem. Eng. Data, 1996, **41**, 1028

j. Pal A, et al. J. Chem. Eng. Data, 1998, **43**: 532

k. Weng W L, et al. J. Chem. Eng. Data, 1999, **44**: 994

l. Pan I C, et al. J. Chem. Eng. Data, 2000, **45**: 1012

m. Contreras M. J. Chem. Eng. Data, 2001, **46**: 1149

n. Noda K, et al. J. Chem. Eng. Data, 1982, **27**: 326

o. Aminabhavi T M, et al. J. Chem. Eng. Data, 1995, **40**: 632

p. Ripple D, et al. J. Chem. Eng. Data, 1997, **42**: 360

q. Wei I C, et al. J. Chem. Thermodyn., 1984, **16**: 391

r. Cibulka I, et al. J. Chem. Thermodyn., 1984, **16**: 159

作者亦广泛地检验了式(9)对非含醇溶液的适用性,得到了同样满意的结果(见文献[3]).

图2~图7是其中6个有代表性的含醇和非含醇二元液体混合物过量体积与组成的关系图.图中▲为实验值,曲线为式(9)计算结果,含醇溶液的数据来源和计算的参数值见表1,非含醇溶液则见图注.

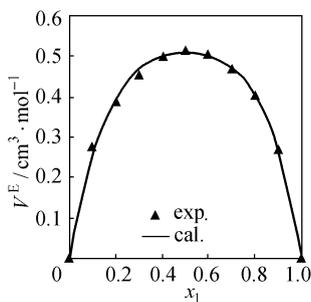


Fig. 2 Excess volumes of ethanol/nonane mixture at 298.15 K

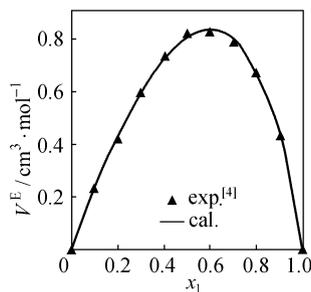


Fig. 3 Excess volumes of cyclohexane/ethyl acetate mixture at 293.15 K  
 $(a=0.5578 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}, B=-0.7456,$   
 $b=-5.2406 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}, \beta=-1.8111)$

从这些表和图可见,无论是混合后体积增大还是减小,或者体积随组成的改变兼增大又减小(即 $V^E-x_1$ 曲线呈S形),式(9)都能够准确地适用.

式(9)不仅形式简单,而且物理意义明确.它由两项构成:一项代表氢键的破坏和重组等特殊

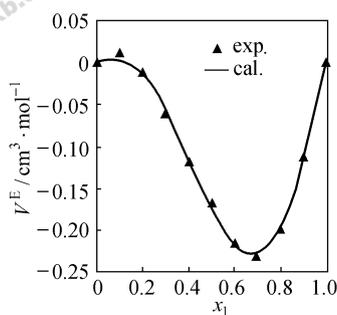


Fig. 4 Excess volumes of ethanol/chloroform mixture at 298.15 K

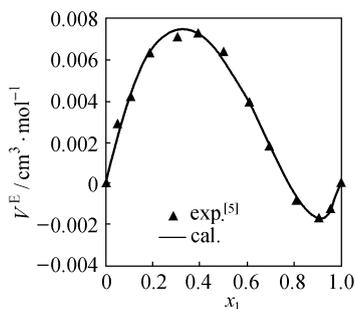


Fig. 5 Excess volumes of tetrahydrofuran/chlorocyclohexane mixture at 298.15 K

( $a = -0.0110 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $B = 1.9038$ ,  
 $b = -0.0305 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\beta = 0.5308$ )

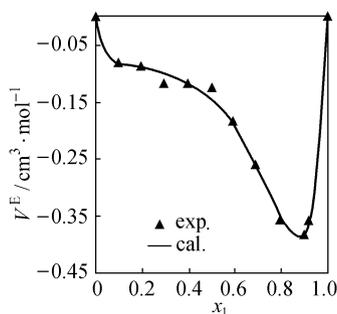


Fig. 6 Excess volumes of 2-methyl-2-propanol/  
N-methylacetamide mixture at 303.15 K

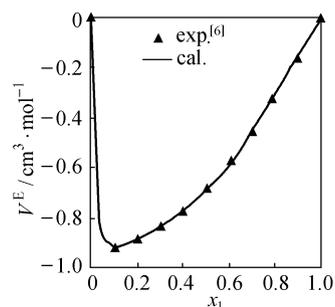


Fig. 7 Excess volumes of *N,N*-dimethylformamide/  
chlorobenzene mixture at 303.15 K

( $a = 1.6348 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $B = -7.6092$ ,  
 $b = 1.5617 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\beta = 0.9618$ )

作用的贡献；另一项为第二步充入的组分间引力势能，即 van der Waals 作用力的贡献。正是这两种贡献的相对大小决定了过量体积随组成变化曲线的形状。

### 3 结 论

(1) 采用释放和充入组分间引力势能的方法，使含醇溶液的形成分两步完成：第一步为组分间的物理混合；第二步为氢键的破坏和重组。据此建立了一个 4 参数过量体积方程，它能准确地描述各种含醇溶液的过量体积随组成的变化规律。

(2) 该方程有很强的适应性，亦能经验地推广到非含醇溶液，用来关联各种二元液体混合物的过量体积实验数据，因此是一个普适的过量体积方程。

(3) 方程形式简单，物理意义明确，适合工程计算所需。

### 符 号 说 明

- $A_j$ ——式 (1) 系数,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $a, b$ ——体积参数,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $B$ ——化学相互作用参数
- $C$ ——能量比例系数,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\Delta H$ ——焓变,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $H^E$ ——过量焓,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\Delta_{\text{mix}} H_m$ ——摩尔混合焓,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $h$ ——1 mol 醇与组分 (2) 的化学作用焓,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $N$ ——数据点数目
- $p_{i,0}$ ——物理混合物内压,  $\text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$
- $T$ ——热力学温度, K
- $U_m$ ——摩尔内能,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $U_0$ ——物理混合物摩尔内能,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\Delta u$ ——释放或充入的组分间引力势能,  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $V^E$ ——过量体积,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $V_m$ ——摩尔体积,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $V_0$ ——物理混合物摩尔体积,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- $x$ ——摩尔分数
- $\beta$ ——不对称因子
- $\sigma$ ——标准偏差,  $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

### References

- 1 Redlich O, Kister A T. Thermodynamics of Nonelectrolytic Solutions. Algebraic Representation of Thermodynamic Properties of the Classification of Solutions. *Ind. Eng. Chem.*, 1948, **40**: 345
- 2 Zhang Lihui (章丽辉), Shen Xiaoyan (沈晓燕), Liu Guojie

(刘国杰). Study on Thermodynamics of Solutions Containing Alcohol · I · Excess Enthalpy Model. *Acta Chimica Sinica* (化学学报), 2002, **60**: 617

3 Shen Xiaoyan (沈晓燕). Study on the Thermodynamic and Transport Properties of Liquid Mixtures; [dissertation] (学位论文). Shanghai: East China University of Science and Technology, 2003

4 Aminabhavi T M, Patel R C, Bridger K. Viscosity Studies of Some Binary Liquid Systems. *J. Chem. Eng. Data*, 1982, **27**: 125

5 Ramadevi R S, Venkatesu P, Rao M V P. Viscosities of Binary Liquid Mixtures of *N, N*-dimethylformamide with Substituted Benzenes at 303.15 and 313.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, 1996, **41**: 479

6 Rodriguez S. Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Some Cyclic Ethers + Chlorocyclohexane at 298.15 and 313.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, 1997, **42**: 1285

## 《化工进展》2004 年第 7 期目次

### 进展与述评

离子交换树脂在过氧化氢净化中的应用进展 .....	栾国颜	高维平	姚平经
液膜分离技术在生化产品提取中的应用进展 .....	吕宏凌	王保国	
NaA 型分子筛膜合成及应用进展 .....	罗彦	仲盛来	林晓
超临界抗溶剂技术及其在药物方面的应用 .....	王鈇艳	刘宗章	张敏华
双酚 A 催化剂技术进展 .....	秦金来	张文雯	何明阳
低温等离子体杀菌消毒技术的应用进展 .....	李莹	李柯	陈杰榕
同时消除柴油机尾气排放炭颗粒和 NO <sub>x</sub> 催化剂的研究进展 .....	王虹	赵震	徐春明
基于超高分子量聚乙烯及其复合材料摩擦学研究进展 .....	雷毅	彭旭东	张雁翔

### 研究开发

组合式再生燃料电池双效氧电极催化剂制备与表征 .....	戴莺莺	龚强	刘振泰	马紫峰
非自然环境中制备 PMMA 梯度材料的研究 .....	孟庆云	斯颖		
强酸离子交换纤维对碱性氨基酸的吸附性能研究 .....	杨海燕	冯长根	曾庆轩	
低黏度光敏预聚物聚乙二醇二缩水甘油醚二丙烯酸酯的合成 .....	黄笔武	黄树槐	莫健华	
大粒径纳米二氧化硅的制备技术 .....	许念强	顾建祥	罗康	郑松保

### 应用技术

天然气-煤共气化制备合成气新工艺 .....	欧阳朝斌	宋学平	郭占成	段东平	于宪溥
废水催化湿式氧化处理中的催化剂失活问题 .....	陶润先	李光明	王华	黄菊文	赵修华
热扩散法分离氙同位素级联设计及应用 .....	李良君	李虎林	杜晓宁	陈仙送	
0.44dtex 聚丙烯腈纤维生产技术的研发 .....	陆峰	于红	宋玉国		
大型乙烯裂解炉辐射传热研究 .....	何琨	马紫峰	吴德荣	朱海峰	

### 专栏(石化科技与管理)

硫铵装置用能分析与优化改进 .....	朱泽华	蒙启鹏	胡跃华	陈清林
高浓度己内酰胺在磁稳定床反应器中加氢精制研究 .....	罗耀邦	傅送保		
熔喷非织造布生产应用及专用料的制备 .....	洪粲			
聚己内酰胺切片生产中干燥工艺的研究 .....	湛军	刘浩		
浅析蒽醌法双氧水生产后处理工艺 .....	王剑			
4R 在己内酰胺营销管理中的应用 .....	王亚男	于坤章		
脱硫液中溶解 CO <sub>2</sub> 含量测定存在的问题及改进方法 .....	刘岩	郑荣		

### 产品与市场

生物转化法制取琥珀酸及其衍生物的前景分析 .....	王庆昭	吴巍	赵学明	
----------------------------	-----	----	-----	--