文章编号:1001-7631 (2010) 04-0309-06

# 纳米镁铝水滑石热分解机理及其动力学

邓 欣' 方 真' 曾虹燕' 廖凯波' 邹大鹏'

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部生物能源组,云南 昆明 650223;
2. 湘潭大学化工学院,湖南 湘潭 411105; 3. 湖南建长石化股份有限公司,湖南 岳阳 414012;
4. 大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院钻井液分公司,黑龙江 大庆 163413)

摘要: 以尿素为沉淀剂制备纳米镁铝水滑石 (LDH),结合 X 射线衍射 (XRD)、傅里叶变换红外光谱 (FT-IR)、扫描电子显微镜 (SEM) 和热重-差热分析 (TG-DTA) 表征方法,研究了纳米 LDH 的热分解 过程及其动力学。结果表明,纳米 LDH 热分解存在两个阶段:当热分解温度在 410~527 K 时,纳米 LDH 失去表面吸附水和层间结合水,其热分解动力学方程为随机核化 Aurami 方程 I;当温度在 604~768 K时,纳米 LDH Brucite 层脱去羟基, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>以 CO<sub>2</sub> 形式逸出,其热分解动力学方程为三维扩散 球形对称 Jander 方程。

关键词: 水滑石;动力学;热分解;机理;表征 中图分类号: O642 文献标识码: A

水滑石(LDH)是一种层状双羟基阴离子粘土,是一类具有层状结构的新型无机材料。其层状 结构中部分 M<sup>2+</sup>(如 Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>等)被 M<sup>3+</sup>(如 Al<sup>3+</sup>和 Fe<sup>3+</sup>等)同晶取代而使层板带正电 荷,层间充填的阴离子起平衡电荷作用。该结构使水滑石具有碱性、层板上阳离子可调配性和层间阴 离子可交换性,因此可作为酯交换和氧化还原催化剂以及催化剂载体等,在吸附、离子交换、合成材 料、日用化工、催化、超导以及环境保护等方面具有巨大的应用潜力,成为国内外的研究热点<sup>[1-5]</sup>。 纳米 LDH 催化活性相对较弱,高温煅烧后,层间阴离子和结晶水脱附,层状结构被破坏,形成均匀 复合金属氧化物。由于其活性组分高度分散,具有较大的比表面和微孔道结构,在吸附、催化、阻燃 剂和水处理等方面有广阔的应用前景<sup>[6~9]</sup>。因此,系统研究纳米 LDH 的热分解过程尤为重要。目前, 纳米 LDH 的热分解过程主要集中在以 NaOH 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 为沉淀剂制备的 LDH 上,有关以尿素为沉 淀剂制备的 LDH 热分解动力学报道很少。本工作以尿素为沉淀剂制纳米 LDH,结合热重-差热分析 (TG-DTA)、X 射线衍射(XRD)、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)和扫描电镜(SEM)等表征手段, 考察了不同煅烧温度下纳米镁铝 LDH 晶体结构和表观状态,分析其热分解机理,并建立热分解动力 学模型。

# 1 实验部分

1.1 纳米 LDH 制备

称取适量的尿素、Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>・6H<sub>2</sub>O和Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>・9H<sub>2</sub>O,加入盛有250 mL去离子水的三 口烧瓶中,将三口烧瓶置于105℃油浴中,强力搅拌,恒温反应数小时后,在100℃下微波晶化,以 保证尿素分解完全(尿素分解后,水溶液 pH值趋于恒定,同时产生大量气泡,可制备出高结晶度和 高比表面积的LDH),然后抽滤,将所得产物置于100℃下干燥18 h。

收稿日期: 2010-02-24; 修订日期: 2010-08-01

作者简介:邓 欣(1982一),男,博士,助理研究员;方 真(1963一),男,博士生导师,通讯联系人。E-mail;zhenfang@xtbg.ac.cn 基金项目:国家高技术研究发展计划资助项目(2003AA214061);中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-YW-G-075)

其主要反应方程式为:

$$CO (NH_2)_2 + 2H_2O \longrightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

$$(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_3 \uparrow + CO_2 \uparrow + H_2O$$

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow 2H^+ + CO_3^{2-}$$

 $2OH^{-} + x/2CO_{3}^{2-} + (1-x)Mg^{2+} + xAl^{3+} + yH_{2}O \longrightarrow [Mg_{(1-x)}Al_{x}(OH)_{2}](CO_{3})_{x/2} \cdot yH_{2}O$ 

1.2 表征方法

采用日本岛津 DT-40 型 TG-DTA 分析仪分析纳米 LDH 热分解过程,在 N₂ 气氛中(流速20 mL/min), 升温速率分别为 10 K/min 和 20 K/min;采用日本理学 D/MAX-3C 型粉晶 XRD 仪分析纳米 LDH 晶 体结构,X 射线源为 Cu Ka,电压 40 kV,电流 30 mA,扫描速率为 2 °/min;采用美国 PE 公司 Spectrum One B 型 FT-IR 仪进行 IR 分析(KBr 压片法),波数范围为 400~4 000 cm<sup>-1</sup>;采用日本电 子株氏会 JSM-6360LV 型 SEM 仪分析样品形貌,高真空分辨率3.0 nm,低真空分辨率4.0 nm。

2 结果与讨论

### 2.1 煅烧温度对 LDH 的影响

2.1.1 XRD 表征

不同煅烧温度下得到的纳米 LDH 的 XRD 图谱见图 1。可知,随着煅烧温度升高,(003)晶面衍 射峰逐渐减小,当煅烧温度达到 773 K 时,该衍射峰消失。这是由于(003)晶面决定 LDH 晶体中 间层的层间距大小,随着煅烧温度升高,表面吸附水和层间自由水挥发,Brucite 层脱去羟基,同时 柱撑阴离子 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>以 CO<sub>2</sub> 形式逸出,使层状结构坍塌,从而使(003)晶面逐渐消失。由图 1 还可以 看出,在煅烧温度为 423~773 K 时,(110)晶面衍射峰无显著变化。说明纳米 LDH 晶体晶胞原子 排列密度变化不显著。此外,2*6* 为43.46 °处峰宽随煅烧温度的增加而减小。这些现象有待进一步研究。



图 1 不同煅烧温度下纳米 LDH 的 XRD 图谱 Fig. 1 XRD patterns of LDH calcined at different temperature



图 2 不同煅烧温度下纳米 LDH 的 FT-IR 图谱 Fig. 2 FT-IR spectras of LDH calcined at different temperature

2.1.2 FT-IR 表征

不同煅烧温度下得到的纳米 LDH 的 FT-IR 图谱见图 2。可知,纳米 LDH 在 3 300~3 600 cm<sup>-1</sup> 出现红外吸收峰。这是由吸附水的弯曲振动和层板间一OH 的伸缩振动引起的。由于 LDH 表面吸附 水与 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 通过氢键作用,因此其振动波数比自由态水的一OH 低,而随着煅烧温度升高,吸收的能 量使表面吸附水与 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的氢键作用被破坏,吸附水挥发,一OH 的振动吸收峰强度逐渐减小。由图 还可以看出,随着煅烧温度升高,1 660~1 720 cm<sup>-1</sup>的红外吸收峰逐渐减小。这是由于该区间的吸 收峰是由层间结合水的弯曲振动产生,而煅烧温度升高,使该部分结合水减少。这与赵芸等<sup>[10]</sup> 报道 的(煅烧温度达 773 K 时,层间结合水吸收谱带仍然存在,只是振动强度较弱)不同。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的 3 个 吸收带对应纳米 LDH 柱撑阴离子的 D<sub>3h</sub>平面,当煅烧温度达到 623 K 时,LDH 在 1 270~1 650 cm<sup>-1</sup> 的红外吸收峰显著下降,说明 LDH 中 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>减少。这是由于煅烧温度达到一定值后,CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>以 CO<sub>2</sub> 形式逸出。同时还可以看出,当煅烧温度为 523 K 时,在1 620 cm<sup>-1</sup>出现一个新的吸收谱带,这是由 层间 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的 v<sub>1</sub> 振动模式产生。说明层间水和部分碳酸根脱除改变了 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的对称性<sup>[11~13]</sup>。 2.1.3 SEM 表征

不同煅烧温度下得到的纳米 LDH 的 SEM 结果见图 3。可知: 煅烧温度为 323 K 时,纳米 LDH 呈良好的层状结构,且结构均一; 煅烧温度为 423 K 时,层状结构部分塌陷,层状结构重叠,部分层 状晶体结构破坏,但还清晰可见层状结构; 煅烧温度为 523 K 时,层状晶体结构部分破坏,纳米 LDH 呈不均匀团状颗粒,有少量层状和棒状结构存在; 煅烧温度为 623~723 K 时,层状结构几乎完 全消失。这是由于随着煅烧温度升高,纳米 LDH 表面吸附水挥发,Brucite 层脱去羟基,柱撑阴离子 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>以 CO<sub>2</sub> 形式逸出,纳米 LDH 层状结构逐渐被破坏; 当煅烧温度达到 773 K 时,纳米 LDH 层 状结构完全破坏,镁铝 LDH 呈块状结构,表面粗糙。SEM 表征结果与 XRD 和 FT-IR 表征结果一致。



图 3 不同煅烧温度下纳米 LDH 的 SEM 结果 Fig. 3 SEM images of LDH calcined at different temperature

# 2.2 纳米 LDH 热分解机理及动力学方程

从不同煅烧温度下纳米 LDH 的 XRD, FT-IR 和 SEM 可知,热分解过程中伴随热量和质量变化。为系统研究纳米 LDH 的热分解过程,采用 TG-DTA 热分析和动力学计算对纳米 LDH 在 323~773 K的热分解行为及其机理进行研究,并利用 TG-DTA, XRD, FT-IR 和 SEM 等表征手段分析纳米 LDH 的热稳定性、晶体结构、表观状态以及动力学参数,确定其动力学模型。

可用以下方程[14]来描述固态物质热分解过程和动力学方程:

A (s) 
$$\longrightarrow$$
 B (s) +C (g)

式中:A为水滑石,B为热分解金属复合氧化物,C为CO2和H2O。

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}t} = kf(a) \tag{1}$$

式中: a 为t 时刻物质 A 的分解程度;  $a = (M_{y_0} - M_t)/(M_{y_0} - M_{y_0})$ ;  $M_{y_0}$  为开始分解前对应的质量;  $M_{y_0}$  表示随着温度的升高,质量不再变化时对应的质量;  $M_t$  为t 时刻对应的质量; k 为反应速率 常数。

反应速率常数(k) 与绝对温度(T) 的关系可用 Arrhenius 方程表示:  

$$k = A \exp(-E/(RT))$$
 (2)

式中的 A 为表观指前因子, E 为表观活化能。

令升温速率为
$$\beta$$
,  $\beta = \frac{dT}{dt}$ 。

则由式(1)和式(2)可得:

$$\ln\left[\frac{\beta da}{f(a)dT}\right] = \ln\frac{A}{\beta} - \frac{E}{RT}$$
(3)

由式 (3) 可知,  $\ln\left[\frac{\beta da}{f(a) dT}\right]$  与  $T^{-1}$  成线性关系,得到一组  $\ln\left[\frac{\beta da}{f(a) dT}\right] - T^{-1}$  曲线,其中线性拟 合最好的曲线为最概然机理函数曲线。

不同升温速率下的 TG-DTA 曲线见图 4,常见固体热分解反应机理及其动力学方程见参考文献[14]。 从图 4 可知,在 410~527 和 604~768 K 的 TG 曲线有明显的差别,表明 LDH 在这两个温度范围有 不同的热分解机理及其动力学模型。根据图 4 的数据,作  $\ln\left[\frac{\beta da}{f(a) dT}\right] - T^{-1}$ 图,根据曲线计算 E 和 A,其结果见表 1。





图 4 不同升温速率下纳米 LDH 的 TG-DTA 分析 Fig. 4 TG-DTA curves of LDH calcined at different temperature-rise rate

<i>f</i> (a)	$R_{1}^{2}$		$E_1/$	٨	$R_2^2$		$E_2/$	Δ.
	β=10 ℃/min	β==20 °C/min	$(kJ \cdot mol^{-1})$	$A_1$	β=10 ℃/min	β==20 ℃/min	$(kJ \cdot mol^{-1})$	A2
$0.5 a^{-1}$	0.956	0.937	197.3	1.5×10 <sup>8</sup>	0.976	0.970	302.5	7. $2 \times 10^{11}$
$-1/\ln(1-a)$	0.962	0.986	153.6	8.0×10 <sup>8</sup>	0.986	0.989	278.1	1.1×10 <sup>11</sup>
$1.5(1-a)^{3/2} [1-(1-a)^{1/3}]$	0.986	0.972	155.6	3.4×10 <sup>4</sup>	0.991	0.989	227.3	3.9 $\times$ 10 <sup>8</sup>
$1.5[(1-a)^{1/3}-1]$	0.966	0.854	104.1	4.4×10 <sup>6</sup>	0.955	0.990	241.6	1.3×10 <sup>8</sup>
1 - a	0.992	0.986	87.3	7.3 $\times$ 10 <sup>7</sup>	0.889	0.917	269.2	3.6×10 <sup>6</sup>
$(1-a)[-\ln(1-a)]^{1/2}$	0.997	0.993	92.7	6.5×10 <sup>6</sup>	0.966	0.854	114.7	2.2×10 <sup>4</sup>
$(1-a)[-\ln(1-a)]^{2/3}$	0.987	0.806	76.8	5.7×10 <sup>8</sup>	0.914	0.944	246.9	3.9×10 <sup>8</sup>
$2(1-a)^{1/2}$	0.976	0.970	101.7	7.3×1011	0.910	0.939	307.4	7.9 $\times 10^{12}$
$3(1-a)^{2/3}$	0.939	0.990	98.3	5.6×10°	0.886	0.993	287.3	1.3×10 <sup>8</sup>

表 1 纳米 LDH 热分解动力学参数 Table 1 Thermal decomposition kinetic parameters of nano LDH

Note: The data of  $R_1^2$ ,  $E_1$  and  $A_1$  were obtained at the first phase (410-527 K) and the data of  $R_2^2$ ,  $E_2$  and  $A_2$  were obtained at the second phase (604-768 K).

由表 1 可知,第一阶段,在不同升温速率下,  $\ln\left[\frac{\beta da}{f(a) dT}\right] - T^{-1}$ 的关系曲线中,其线性最好的均为函数  $(1-a)\left[-\ln(1-a)\right]^{1/2}$  所对应的曲线,由此可得 LDH 第一阶段的热分解机理符合随机核化 Aurami 方程 I,即 f(a)为  $(1-a)\left[-\ln(1-a)\right]^{1/2}$ 。其动力学模型为:

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}t} = kf(a) = 6.5 \times 10^{6} \exp(-\frac{9.27 \times 10^{4}}{RT})(1-a) \left[-\ln(1-a)\right]^{\frac{1}{2}}$$

第二阶段,在不同升温速率下, $\ln\left[\frac{\beta da}{f(a) dT}\right] - T^{-1}$ 的关系曲线中, $\beta$ 为 10 °C/min 时,其最佳线性 拟合方程为 1.5(1-a)<sup>3/2</sup>[1-(1-a)<sup>1/3</sup>]; $\beta$ 为 20 °C/min 时,其最佳线性拟合方程为 3(1-a)<sup>2/3</sup>。综

合考虑,取最佳相关性方程 1.5(1-a)<sup>3/2</sup>[1-(1-a)<sup>1/3</sup>]。由此可判断,LDH 第二阶段的热分解机理 符合三维扩散球形对称 Jander 方程。其动力学模型为:

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}t} = kf(a) = 3.9 \times 10^8 \exp\left(-\frac{2.27 \times 10^5}{RT}\right) \cdot \frac{3}{2}(1-a)^{\frac{3}{2}} \left[1-(1-a)^{\frac{1}{3}}\right]$$
$$= 5.85 \times 10^8 \exp\left(-\frac{2.27 \times 10^5}{RT}\right)(1-a)^{\frac{3}{2}} \left[1-(1-a)^{\frac{1}{3}}\right]$$

结合 XRD, FT-IR 和 SEM 表征结果可知, 煅烧温度为 410~527 K 时, 纳米 LDH 第一阶段热分 解失去表面吸附水和层间结合水,其热分解动力学方程为随机核化 Aurami 方程 I 。煅烧温度 604~768 K时,纳米 LDH 第二阶段热分解是 Brucite 层脱去羟基,同时 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 以 CO<sub>2</sub> 形式逸出,其 热分解动力学方程为三维扩散球形对称 Jander 方程。

# 3 结 论

a) 随煅烧温度的升高,纳米 LDH 的 d(003)和 d(006)峰逐渐消失,柱撑阴离子 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的对称性 降低,层状结构坍塌。纳米 LDH 在煅烧温度为 410~527 K 阶段,热分解失去表面吸附水和层间结 合水,其热分解机理符合随机核化 Aurami 方程 I。

b)纳米 LDH 在煅烧温度为 604~768 K 阶段,热分解 Brucite 层脱去羟基,同时 CO<sub>3</sub><sup>2~</sup>以 CO<sub>2</sub> 形式逸出,其热分解机理符合三维扩散球形对称 Jander 方程。

#### 参考文献:

- Zeng H Y, Feng Z, Deng X, et al. Activation of Mg-Al Hydrotalcite Catalyst for Transesterification of Rapeseed Oil. Fuel, 2008, 87 (13-14), 3071~3075
- 2 Zeng H Y, Deng X, Wang Y J, et al. Preparation of Mg-Al Hydrotalcite by Urea Method and Its Catalytic Activity for Transesterification. American Institute of Chemical Engineers, 2009, 55 (5): 1229~1235
- 3 邓 欣,曾虹燕,冯 震. 纳米晶镁铝水滑石制备机理及抗毒性研究. 功能材料, 2007, 38 (6): 965~971 Deng Xin, Zeng Hongyan, Feng Zhen. Preparation Mechanism and Anti-Toxicity Study on Nanocrystalline Mg-Al Hydrotalcite. Function Materials, 2007, 38 (6): 965~971
- 4 曾虹燕,邓 欣,廖凯波等. 纳米晶镁铝水滑石固定化脂肪酶性质研究. 化学反应工程与工艺, 2008, 24 (5): 455~460 Zeng Hongyan, Deng Xin, Liao Kaibo, et al. Properties of Immobilized Lipase on Nanocrystalline Mg-Al Hydrotalcite. Chemical Reaction Engineering and Technology, 2008, 24 (5): 455~460
- 5 邓 欣,曾虹燕,屈叶青. 一维阵列银纳米线的制备及其微观结构. 化学反应工程与工艺, 2007, 23 (5): 446~449, 461 Deng Xin, Zeng Hongyan, Qu Yeqing. Preparation and Microstructure of Ag Nanowire with One Dimensional Array. Chemical Reaction Engineering and Technology, 2007, 23 (5): 446~449, 461
- 6 曾虹燕,邓 欣,冯 震等. 生物柴油的生产方法. 中国, CN 101029243A. 2007
- 7 邓 欣,方 真,曾虹燕等. 生物柴油的连续化生产装置. 中国, CN 201280541Y. 2009
- 8 邓 欣,曾虹燕,冯 波.固定脂肪酶催化制备生物柴油条件优化. 天然产物研究与开发, 2008, 20 (1): 113~116 Deng Xin, Zeng Hongyan, Feng Bo. Optimization Preparation of Biodiesel on Immobilized Lipase Catalyst. National Product
- Research Development, 2008, 20 (1): 113~116 9 邓 欣,曾虹燕,冯 波等. 纳米镁铝水滑石结晶动力学. 功能材料, 2008, 39 (2): 341~345
- Deng Xin, Zeng Hongyan, Feng Bo, et al. Discussion on Crystallization Kinetics of Nanocrystalline Mg-Al Hydrotalcite. Function Materials, 2008, 39 (2): 341~345
- 10 赵 芸,何 杨,金忠宝. 镁铝复合氧化物在醇醚合成反应中的催化性能. 北京理工大学学报, 2009, 29 (4): 360~363 Zhao Yun, He Yang, Jin Zhongbao. Catalytic Properties of Calcined Mg-Al Layered Double Hydroxides in the Synthesis of Glycol Ethers. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2009, 29 (4): 360~363
- 11 Zeng H Y, Deng X. Characterization of the Lipase Immobilized on Mg-Al LDH for Bio-Diesel. Process Biochem, 2009, 44 (8): 791~798
- 12 邓 欣,方 真, 胡远飞等. 微水相超声波协同纳米 Ca-Mg-Al 固体碱催化制备生物柴油. 石油化工, 2009, 38 (10): 1074~1078

Deng Xin, Fang Zhen, Hu Yuanfei, et al. Preparation of Biodiesel on Nano Ca-Mg-Al Solid Base Catalyst under Ultrasonic Radiation in Microaqueous Media. Petrochemical Technology, 2009, 38 (10): 1074~1078

13 邓 欣.纳米晶镁铝水滑石超微结构可控制备及应用:〔学位论文〕. 湘潭:湘潭大学,2007

14 胡荣祖,史启铮. 热分析动力学. 北京:科学出版社, 2001. 50~57

# Thermal Decomposition Mechanism and Kinetics of Mg-Al Hydrotalcite

Deng Xin<sup>1</sup> Fang Zhen<sup>1</sup> Zeng Hongyan<sup>2</sup> Liao Kaibo<sup>3</sup> Zou Dapeng<sup>4</sup>

(1. Biomass Group, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

 School of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China; 3. Hunan Jianchang Petrochemical Limited Liability Company, Yueyang 414012, China; 4. Daqing Drilling Engineering Technology Research Institute Drilling Fluid Company, Daqing 163413, China)

Abstract: Nano Mg-Al hydrotalcite (LDH) was prepared by coprecipitation using urea as precipitation agent and was characterized by means of X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectra (FT-IR), scanning electron microscope (SEM) and thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA). Thermal decomposition mechanism and kinetics of nano Mg-Al hydrotalcite were also investigated. The results showed that the first phrase (410-527 K) was due to the dehydration of loosely bound water on the surface and in the interlayer space and the mechanism was conformed to stochastic equation of nuclear Aurami I. The second phrase (604-768 K) was due to the removal of hydroxyl groups in the metal hydroxide layers and CO<sub>2</sub> generation resulting from the decomposition of  $CO_3^{2-}$  presented in the interlayer space as charge-balancing anion, and the mechanism of thermal decomposition was conformed to three-dimensional diffusion spherical symmetry Jander equation.

Key words: hydrotalcite; kinetic; thermal decomposition; mechanism; characterization

# Lanxess/Gevo 合作生物丁醇下游产品开发

德国特殊化学品生产商 Lanxess 已向美国生物燃料和生化公司 Gevo 投资 1 000 万美元,计划与 后者在利用可再生资源生产异丁烯方面进行合作,致力于寻找异丁烯的替代品(生产丁基橡胶时所需 的主要原料)。

异丁烯通常产于蒸汽裂解装置,以石油衍生物为原料。作为选择,Gevo公司已开发出生物丁醇 生产工艺。Gevo和 Lanxess 计划使用其技术专长,通过丁醇脱水来生产异丁烯。目前正优化脱水工 艺,该工艺已在实验室中获得成功。目前,Gevo公司的首套 100万 gal/a 生物丁醇示范装置已经投 产,该装置基于对美国密苏里州 St Joseph 地区现有乙醇装置的翻新改造。Gevo公司力求证实,用该 公司技术改造现有乙醇装置生产生物丁醇是可行的。Gevo的生物丁醇工艺采用了一种有利于生物丁 醇生产的酵母代替生产乙醇的酵母,还开发出一种专利分离工艺技术用于该产品的回收。翻新改造的 装置将具有既生产乙醇又可生产丁醇的灵活性。除 Gevo公司外,BASF,DSM,Wacker Chemie 以 及 Dupont 等公司也在研发生化法化学品技术。

### 李雅丽 摘自 英 ICIS, 2010-6-18