

## 红外光谱研究 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂的表面结构

胡勇仁\*\* 张兰新

(石油化工科学研究院, 北京 100083)

辛 勤 高兴涛 应品良

(中国科学院大连化学物理研究所催化基础国家重点实验室, 大连 116023)

**摘要** CO 和 NO 吸附或两者竞争吸附在 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上的红外光谱可以给出 Pt 和 Re 的表面结构信息. 本文研究的催化剂为低金属载量的 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和工业型 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 其中 Pt 含量 0.22%, Re 含量 0.43% (质量分数). 实验结果表明, 用 NO 与 CO 双分子竞争吸附的红外光谱实验方法可分别表征还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂上 Pt 表面和 Re 表面, 并视需要可对 Pt 表面和 Re 表面进行半定量分析. 在还原态工业型 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂表面上, 没有明显迹象表明有 Pt-Re 合金形成.

**关键词:** 红外光谱, CO, NO, 催化剂, 铂, 铼, 表面结构

研究工业型 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂的表面结构, 对认识其活性中心的本质及进一步研究其表面结构与催化选择性的关系有重要的意义, 也是 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂目前研究的前沿课题之一 [1].

还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂表面上有否 Pt-Re 合金形成的问题一直存在争议. 程序升温还原 (TPR) 法研究 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂取得了直接的证据表明催化剂上 Pt 和 Re 的行为并不是各个组分 (单 Pt 和单 Re) 的总和, 而认为催化剂上有 Pt 和 Re 合金或原子簇形成 [2-3]. 铼加入 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂对甲基环戊烷和甲基环己烷重整反应影响研究表明铼直接影响了铂, 并认为 Pt, Re 之间形成合金 [4]. Augustine 等用环戊烷氢解反应和同位素氢交换反应来研究 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和一系列 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, 认为还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上有大量 Pt-Re 双金属颗粒存在 [5].

红外光谱研究 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的结果表明没有 Pt-Re 合金形成, Pt 和 Re 在表面上的行为似乎是无关的 [6]. 同样, 催化的证据对分离的分散有利; Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的物理混合床的催化行为与共浸的 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的相似, 而没有迹象表明 Re 发生了转移 [7]. 光电子能谱 (XPS) 和 X-射线吸收谱 (XAS) 的研究发现还原态催化剂中 Pt<sup>0</sup> 和 Re<sup>+1</sup> 是主要物种, 而没有发现有 Pt-Re 合金形成 [8]. 还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上有否 Pt-Re 合金存在的问题, 涉及到催化剂的活性中心本质和催化行为的解释, 因此进一步阐明这个问题有重要的意义.

本文用双分子探针竞争吸附的红外光谱法来研究还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂最表面层结构, 试图说明催化剂表面上有否 Pt-Re 合金存在的问题.

1994-07-01 收到初稿, 1994-12-05 收到修改稿. 联系人: 辛 勤. \*\* 现在广州石油化工总厂研究所, 广州 510726

## 1 实验方法

用催化剂的自支撑片进行红外研究, 样品片直径为 15mm, 重约 40mg. 样品的预处理和还原均在用  $\text{CaF}_2$  盐片作窗口的石英红外池<sup>[9]</sup>上进行, 还原池为内加热式, 温度范围为室温至 600°C.

实验用 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂为长岭炼油厂催化剂分厂生产的工业型重整催化剂, 商品名为 CB-7, Pt 含量为 0.22%, Re 含量为 0.43%; 氯含量为 1.20%; Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂为用该厂生产的工业型  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , 采用与 CB-7 相似制备条件在实验室制备的, 金属含量和氯含量与 CB-7 同.

红外实验前催化剂样品均在原位池里经氮气,  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 200°C 干燥 1 小时, 接着切换经脱水, 脱氧的氢气,  $40\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , 500°C 干燥 2 小时, 然后临氢自然降至室温.

真空抽去原位池中氢气, 真空度为  $10^{-3}\text{Pa}$ . 在 2.7kPa CO 或 NO 记录红外光谱. 先记录 CO 红外光谱, 室温真空抽去气相 CO, 再进 NO, 记录的红外光谱记作 CO 与 NO 竞争吸附红外光谱; 先记录 NO 红外光谱, 真空抽去气相 NO, 再进 CO, 记录的红外光谱记作 NO 与 CO 竞争吸附红外光谱.

所有红外实验及数据处理均在美国伯乐公司生产的 FTS-65A 红外光谱仪上进行, 分辨率为  $2\text{cm}^{-1}$ , 扫描次数 64, 扫描速度为 20kHz.

## 2 结果与讨论

红外光谱实验中, 催化剂片重均预先用天平称量, 约 40mg. CO 与 NO 的红外吸收强度均对催化剂片重进行归一化.

图 1 的红外光谱为 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂分别经氮气 200°C 干燥 1 小时、氢气 500°C 还原 2 小时后, CO 吸附的红外光谱和紧接着真空抽去气相 CO, 再进 NO 后采集的 CO 与 NO 竞争吸附红外光谱. 图中约  $2200\text{cm}^{-1}$  的小吸收峰是 CO 吸附在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  载体上的响应; 约  $2214\text{cm}^{-1}$  和  $2237\text{cm}^{-1}$  的吸收峰是 NO 吸附在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  载体上的吸收峰. 图中 CO 和 NO 各吸收峰的波数、吸收强度及归属列于表 1.

表 1 图 1 中 CO 和 NO 各吸收峰的波数, 吸收强度和归属

Table 1 Frequency, intensity and assignment of IR spectra of adsorbed CO and NO in Fig.1

Catalyst	Term	ad. CO	Coal. CO+NO				
			CO band		NO band		
Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	2055.7	2069.6		weak		
	$I(\text{A/g}\cdot\text{cat})$	0.73	0.7				
	Assignment	Pt	Pt				
Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	2026.8	1969.1	2032.2	1938.4	1870.2	1765.4
	$I(\text{A/g}\cdot\text{cat})$	0.51	0.44	0.44	0.28	0.35	1.14
	Assignment	Re	Re	Pt	Re	Re	Re
Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	2061.9	2065.3		1863.8	1766.7	
	$I(\text{A/g}\cdot\text{cat})$	2.00	0.91		0.18	1.32	
	Assignment	Pt, Re	Pt, Re		Re	Re	

Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂, CO 在  $2055.7\text{cm}^{-1}$  的强度吸收峰是 CO 在 Pt 表面上线式吸附的响应. CO 与 NO 竞争吸附时, CO 强吸收峰为  $2069.6\text{cm}^{-1}$ , 明显向高波数移动; NO 在

1806.2 $\text{cm}^{-1}$  处有一个弱吸收峰。CO 在与 NO 竞争吸附前后的吸收强度没有显著改变。这表明还原态 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂表面上的大部分 Pt 表面吸附 CO。

Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂, 在 2026.9 $\text{cm}^{-1}$  和 1969.1 $\text{cm}^{-1}$  处明显有两个吸收峰。CO 在 2026.9 $\text{cm}^{-1}$  的吸收峰是 CO 在 Re 表面上线式吸附的响应, 在 1969.1 $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰是 CO 在 Re 表面上桥式吸附的响应<sup>[6]</sup>。CO 与 NO 竞争吸附时, NO 在 1765.4 $\text{cm}^{-1}$  处有一强吸收峰, 在 1870.2 $\text{cm}^{-1}$  处有一个弱吸收峰; 而 CO 在 2026.8 $\text{cm}^{-1}$  和 1969.1 $\text{cm}^{-1}$  处仍有两个明显的吸收峰。这表明还原态 Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂在 CO 与 NO 竞争吸附时, 部分 Re 表面吸附 CO, 部分 Re 表面吸附 NO。

Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂, CO 吸附时仅在 2061.9 $\text{cm}^{-1}$  处有一个强吸收峰。CO 与 NO 竞争吸附时, CO 在 2065.3 $\text{cm}^{-1}$  处有一个强吸收峰, NO 在 1766.7 $\text{cm}^{-1}$  处有一个强吸收峰。对 CO 与 NO 竞争吸附, 与 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂 CO 与 NO 竞争吸附的红外光谱比较, CO 在 2065.3 $\text{cm}^{-1}$  的吸收峰应包含部分 Pt 表面和部分 Re 表面吸附 CO 的红外响应, 而 NO 在 1766.7 $\text{cm}^{-1}$  的吸收峰则主要是 Re 表面吸附 NO 的红外响应。上述结果表明 CO 单分子探针的红外光谱确实不能反映还原态 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂的表面结构或组成的变化, 而 CO 与 NO 双分子探针竞争吸附的红外光谱则可反映出较多的表面结构信息。

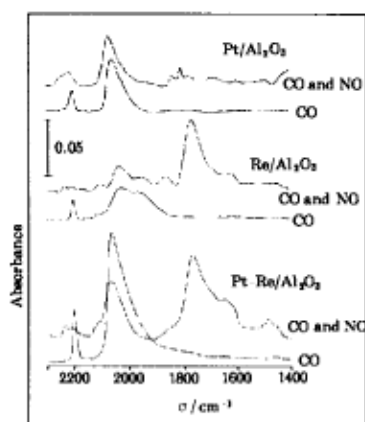


图 1 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂经氮气 200 $^{\circ}\text{C}$  干燥 1 小时, 氢气 500 $^{\circ}\text{C}$  还原 2 小时后, CO 吸附和 CO 与 NO 竞争吸附的红外光谱图

Fig.1 IR spectra of adsorbed CO and coadsorbed CO and NO on Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalysts after drying in  $\text{N}_2$  at 200 $^{\circ}\text{C}$  for 1h and reduction in  $\text{H}_2$  at 500 $^{\circ}\text{C}$  for 2h

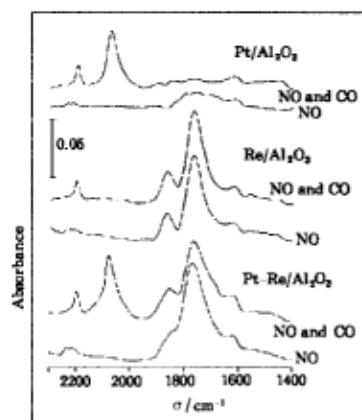


图 2 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂经氮气 200 $^{\circ}\text{C}$  干燥 1 小时, 氢气 500 $^{\circ}\text{C}$  还原 2 小时后, NO 吸附和 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱图

Fig.2 IR spectra of adsorbed NO and coadsorbed NO+CO on Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalysts after drying in  $\text{N}_2$  at 200 $^{\circ}\text{C}$  for 1h and reduction in  $\text{H}_2$  at 500 $^{\circ}\text{C}$  for 2h

图 2 的红外光谱为 Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  催化剂分别经 200 $^{\circ}\text{C}$  氮气干燥 1 小时, 500 $^{\circ}\text{C}$  氢气还原 2 小时后, NO 吸附的红外光谱和紧接着真空抽去气相 NO, 再进 CO 后采集的 NO 与 CO 竞争吸附红外光谱。图中各 CO 和 NO 吸收峰的波数, 吸收强度及其归属列于表 2。

Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, NO 吸附时, 在 1600-1850cm<sup>-1</sup> 间有一弱吸收带. NO 与 CO 竞争吸附时, NO 的弱吸收带消失, 而 CO 在 2076.9cm<sup>-1</sup> 处有一强吸收峰. 这表明对还原态 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, NO 与 CO 竞争吸附时, Pt 表面主要吸附 CO, 也即 Pt 表面吸附 CO 的键强度比吸附 NO 的强. 这点与图 1 和表 1 反映的一致.

Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, NO 吸附时, 在 1866.5cm<sup>-1</sup> 和 1769.1cm<sup>-1</sup> 处 CO 有两个强吸收峰. NO 与 CO 竞争吸附时, NO 在 1864.8cm<sup>-1</sup> 和 1770.3cm<sup>-1</sup> 处有两个强吸收峰, 这两个吸收峰与单独 NO 吸附时的两 NO 吸收峰比较, 波数和强度均变化不大; 很明显, 在 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱中没有发现 CO 吸附的红外响应. 这表明对 Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, 先吸附 NO, 再进 CO 与之竞争吸附时, Re 表面完全被 NO 吸附, 与 CO 没有明显关系, 即 Re 表面吸附 NO 的键强度比吸附 CO 的强. Re 表面的这种特性对表征 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的表面结构非常重要.

Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂, 单分子 NO 吸附时, 在 1772.6cm<sup>-1</sup> 处, NO 有一个强吸收峰. NO 与 CO 竞争吸附时, CO 在 2081.0cm<sup>-1</sup> 处有强吸收峰; NO 在 1856.0cm<sup>-1</sup> 和 1765.9cm<sup>-1</sup> 处有两个强吸收峰. NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱, 依据上述 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂 NO 与 CO 竞争吸附的研究, CO 吸收峰应归属于 Pt 表面, 而 NO 吸收峰应归属于 Re 表面. 这表明用 NO 与 CO 竞争吸附红外光谱可分别表征还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上 Pt 表面和 Re 表面.

表 2 图 2 中 CO 和 NO 各吸收峰的波数, 吸收强度和归属

Table 2 Frequency, intensity and assignment of IR spectra of adsorbed CO and NO in Fig.2

Catalyst	Term	ad. NO	Coad. CO+NO			
			CO band	NO band		
Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	weak	2076.9	—		
	$I(\text{A/g-cat})$		0.85	—		
	Assignment		Pt	—		
Re/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	1866.5	1769.2	—	1864.8	1770.3
	$I(\text{A/g-cat})$	0.46	1.24	—	0.49	1.36
	Assignment	Re	Re	—	Re	Re
Pt-Re/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	1772.6		2081.0	1856.0	1765.9
	$I(\text{A/g-cat})$	1.61		1.05	0.47	1.29
	Assignment	Pt、Re		Pt	Re	Re

还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂表面上有 Pt-Re 合金或原子簇形成时, 金属 Pt 和 Re 的电子特性必然为另一金属的影响而变化<sup>[6]</sup>. Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的红外研究表明金属 Pt 和 Re 对 CO 和 NO 的吸附性有较大的差别. 若还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂表面上有 Pt-Re 合金或原子簇形成, 也许这种 Pt-Re 合金或原子簇对 CO 和 NO 的吸附性应与单金属 Pt 和 Re 有明显差别, 这种差别应在 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱上反映出来. 实际上 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱就象是 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的简单叠加 (见图 2).

上述结果表明, 双分子探针 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱研究获得的直接证据表明还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂表面上没有明显的 Pt-Re 合金或原子簇存在, Pt 和 Re 在催化剂的表面上分离地分散. 用双分子探针 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱法可分别表征还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂表面上 Pt 表面和 Re 表面.

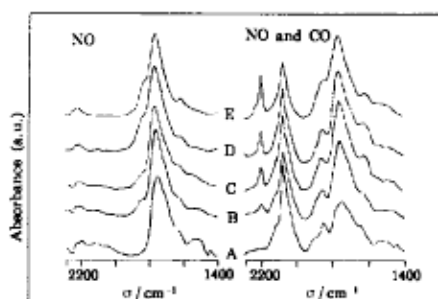


图 3 Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂经氮气 200°C 干燥 1 小时, 氢气不同温度还原 2 小时后, NO 吸附和 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱图

Fig.3 IR spectra of adsorbed NO and coadsorbed NO+CO on Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reduced at (A) 300°C; (B) 400°C; (C) 450°C; (D) 500°C; (E) 600°C, for 2h, respectively

催化剂的表面组成随还原温度变化的趋势, 并且是合理的. 所以, 用 NO 与 CO 竞争吸附红外光谱法来分别表征还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上 Pt 表面和 Re 表面是可行的.

表 3 图 3 中 CO 和 NO 各吸收峰的波数, 吸收强度和归属

Table 3 Frequency, intensity and assignment of IR spectra of adsorbed CO and NO in Fig.3

T/°C		300	400	450	500	600
ad. NO	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	1760.1	1764.9	1769.3	1772.6	1773.7
	I(A/g-cat)	0.68	1.12	1.45	1.61	1.74
	Assignment	Pt, Re	Pt, Re	Pt, Re	Pt, Re	Pt, Re
Coad	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	1753.8	1758.7	1762.7	1765.9	1773.1
	I(A/g-cat)	0.45	1.01	1.11	1.29	1.52
	Assignment	Re	Re	Re	Re	Re
NO + CO	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	1845.3	1853.1	1853.5	1856.0	1851.7
	I(A/g-cat)	0.26	0.39	0.40	0.47	0.68
	Assignment	Re	Re	Re	Re	Re
CO band	$\sigma/\text{cm}^{-1}$	2074.0	2077.0	2077.5	2081.0	2080.2
	I(A/g-cat)	0.78	0.85	0.93	1.05	1.04
	Assignment	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt

### 3 结论

分子探针红外光谱法是表征催化剂最表面层的结构和组成. 本文探索了用双分子探针红外光谱法表征工业型 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 重整催化剂的最表面层结构和组成, 结果表明, 在本文实验条件下, 还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的表面上没有明显的 Pt-Re 合金或原子簇存在, Pt 和 Re 在催化剂表面上是分离地存在; NO 与 CO 竞争吸附红外光谱法分别表征还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂上 Pt 表面和 Re 表面是可行的. 预处理和还原条件的变化导致还原态 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催

图 3 为 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂经 200°C 氮气干燥 1 小时, 分别于 300°C, 500°C, 600°C, 氢气还原 2 小时后, NO 吸附 (左图) 和 NO 与 CO 竞争吸附 (右图) 的红外光谱. 图中 CO 与 NO 各吸收峰的波数、吸收强度和归属列于表 3. 表 3 的结果显示对 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的 Pt 表面, 随着还原温度升高而增大, 500°C 最大. 还原温度再升高到 600°C, Pt 吸附 CO 的面积并没有明显变化, 表明经 500°C, 2 小时还原后铂氧化物已被完全还原, 而还原温度为 300°C 时, 铂氧化物的还原度已达 74%. 这与程序升温还原的研究结果是一致的. 对 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂中的 Re 表面, 随着还原温度升高而增大, 还原温度从 300°C 升到 600°C, 铼氧化物的还原程度增加了 3.4 倍, 表明高温有利于铼氧化物的还原 [2,3]. 可见, NO 与 CO 竞争吸附红外光谱法可反映 Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催

化剂上 Pt 和 Re 的表面结构和组成的变化可以用双分子探针 NO 与 CO 竞争吸附的红外光谱法来表征, 对进一步研究制备条件, 表面结构和催化选择性之间的关系有重要的意义.

### 参 考 文 献

- 1 Anabtawl J A, et al. *Fuel Science and Technology International*, 1991, 9:1
- 2 Malet P, et al. *J. Catal.*, 1987, 115:567
- 3 Augustine S M, et al. *J. Catal.*, 1989, 116:184
- 4 Jossens L W, Petersen E E. *Catal.*, 1982, 76:256
- 5 Augustine S M, et al. *J. Phys. Chem.*, 1987, 91:5953
- 6 Peri J B. *J. Catal.*, 1978, 52:144
- 7 Bertolacini B J, et al. *Catalyst Deactivation*, B. Delmon and G. F. Froment, Eds., Elsevier, Amsterdam, 1980, 73
- 8 Onuferko J H. *Appl. Surf. Sci.*, 1984, 19:227
- 9 辛 勤等. 石油化工, 1980, 9:461

### Infrared Studies of the Surface Structure of Commercial Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reforming Catalyst

Hu Yongren Zhang Lanxin

(The Research Institute of Petrochemical Processing, Beijing 100083)

Xin Qin Gao Xingtao Ying Pinliang

(State Key Laboratory of Catalysis, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023)

**Abstract** Infrared studies of adsorbed CO and NO on Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were made to obtain information on the surface properties of Pt and Pt-Re reforming catalysts. The Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts with very low concentration of supported metals and commercial Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst have been studied. The concentration of Pt is 0.22%, and Re is 0.43%(mass fraction). The results indicate that the infrared spectra of competitively adsorbed probe molecules NO and CO can be used to characterize the surface structure of Pt and Re on reduced Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst, and to make semiquantitative analysis. More direct evidence of infrared spectra of competitively adsorbed NO and CO indicates that there is no formation of Pt-Re alloys or metallic clusters on the surface of reduced Pt-Re/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst.

**Keywords:** Infrared spectroscopy, CO, NO, Pt, Re, Surface structure