

文章编号 : 0253-2409(2007)01-0091-07

镁铝复合氧化物载体的制备与性质研究

张振莉, 周亚松, 宗海生, 李长喜, 徐春明

(中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:以硝酸镁和硝酸铝为原料,用氨水溶液作为 pH 调节剂,采用共沉淀法制备了镁铝复合氧化物载体,研究了制备过程中镁铝比、pH 调节剂种类、水解过程 pH 值的大小、反应温度、焙烧温度及回流晶化温度对复合氧化物载体理化性质的影响。并以 RFCC 汽油加氢脱硫为探针反应,考察了以镁铝复合氧化物为载体的催化剂选择性加氢脱硫性能。实验结果表明,在镁铝分子比为 10、反应温度为 80 °C、pH 值为 9.5 条件下制备的镁铝复合氧化物载体具有适宜的比表面积和均匀的孔分布,且晶型较完整,结晶度高。以该复合氧化物为载体制备的催化剂具有良好的 RFCC 汽油选择性加氢脱硫反应性能。

关键词:镁铝复合氧化物;载体;RFCC 汽油;选择性加氢脱硫

中图分类号:TE624 文献标识码:A

Preparation and property of magnesium-aluminum composite oxides

ZHANG Zhen-li, ZHOU Ya-song, ZONG Hai-sheng, LI Chang-xi, XU Chun-ming

(State Key Laboratory of Heavy Oil Processing, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The supports of magnesium-aluminum composite oxides were prepared by co-precipitation method using magnesium nitrate and aluminum nitrate as starting materials with ammonia solution as pH agent. The effects of magnesium-aluminum ratio, the kind of pH agent, pH value in the hydrolytic process, reaction temperature, calcination temperature, and crystallization temperature on the physicochemical characteristics of the magnesium-aluminum composite oxides were studied systematically in this paper. The selective hydrodesulphurization (SHDS) properties of the catalyst supported on the magnesium-aluminum composite oxides were investigated with the SHDS of residual fluid catalytic cracking (RFCC) gasoline as probe reaction. The results showed that the support of magnesium-aluminum composite oxides which was prepared at the ratio of magnesium to aluminum (Mg/Al) being 10, reaction temperature of 80 °C and the pH of 9.5, had proper specific surface area, uniform pore distribution and integrated crystal structure with high degree of crystallization. The catalyst supported on this kind of composite oxides performed well for SHDS of the RFCC gasoline.

Key words: magnesium-aluminum composite oxides; support; RFCC gasoline; SHDS

汽油中的硫和烯烃会带来尾气中有害物质的排放,所以国内外在降低汽油硫质量分数和烯烃质量分数方面做了大量的研究工作,也取得了一些进展^[1,2]。针对中国催化裂化汽油中硫和烯烃质量分数较高的特点,开发出具有良好选择性的加氢脱硫催化剂具有重要的实际意义。其中,催化剂载体材料的选取与制备是该研究工作的基础。国内外围绕以氧化铝为载体的选择性加氢脱硫催化剂开展了大量的工作^[3,4]。

基于催化裂化汽油加氢过程中硫化物和烯烃在催化剂表面的吸附和反应性质差异的认识,调变载体的酸碱性是提高催化剂脱硫选择性的有效方法之一。水滑石类化合物(镁铝复合氧化物)是近年来颇受青睐的新型催化材料^[5-7],它具有阳离子可交换性、酸性可调及孔道可控的特点,而且以其为载体

的催化剂具有使活性组分 Mo、Co 高度分散的优点。这些特性使水滑石具有作为性能良好的选择性加氢脱硫催化剂载体的可能。Bodily 等^[8]报道,以水滑石类化合物为前驱物制备的加氢脱硫催化剂的性能优于以传统的 Al₂O₃ 为载体的催化剂。但如何提高催化剂的脱硫选择性和此类催化材料的物理化学性质,以及催化剂性能的影响规律,还需进行深入和全面的研究。

本研究通过对不同条件下制备的镁铝复合氧化物进行比表面积、孔特征和晶型的分析表征,考察了不同制备因素对镁铝复合氧化物的理化性质的影响,并在连续加氢微型反应装置上对以该复合氧化物为载体的催化剂进行了加氢脱硫反应性能的综合评价。

收稿日期:2006-05-21;修回日期:2006-08-07。

基金项目:国家自然科学基金(20276040);国家重点基础研究发展规划(973 计划 2004CB217807)。

作者简介:张振莉(1976-),女,山东东营人,博士研究生,化学工程与技术专业, Tel:010-89733501, E-mail:zhzhl0204415@163.com。

1 实验部分

1.1 载体及催化剂的制备

1.1.1 镁铝复合氧化物载体的制备 将一定量的硝酸镁与硝酸铝溶于一定量的去离子水,将溶液加热到预定温度得溶液 A;另将一定量的氢氧化钾溶于去离子水或者取一定量的氨水溶液作为溶液 B;

在搅拌和恒温下,将溶液 B 滴加到溶液 A 中,经一定时间的水解反应后得到白色糊状沉淀,然后在预先设定的温度下回流晶化,晶化后的沉淀经洗涤后 120 °C 下干燥 10 h,制得镁铝复合氧化物载体前驱体,制备流程见图 1。

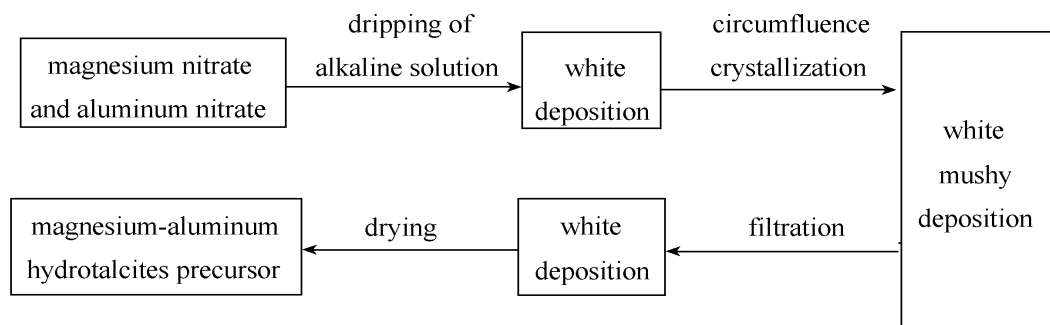


图 1 镁铝复合氧化物载体前驱体的制备过程

Figure 1 Preparation of magnesium-aluminum composite oxides support precursors

制备的镁铝复合氧化物前驱体在一定温度下焙烧后就得到镁铝复合氧化物载体,表示为 MA- n , n 为氧化镁和氧化铝的分子比。

1.1.2 催化剂的制备 以硝酸钴和钼酸铵溶液为浸渍液,采用常规的等体积浸渍法,在室温下将浸渍液与载体混合浸渍 4 h,120 °C 干燥 5 h,再于 500 °C 焙烧 3 h,经过成型、研磨后取粒径 3.0 mm ~ 4.0 mm 的颗粒作为 RFCC 汽油选择性加氢脱硫的催化剂。

1.2 载体与催化剂的表征 比表面积、孔容和孔径的测定采用 BET 方法,仪器为 ASAP2405 全自动物理吸附仪。

晶型 XRD 晶型分析是在 DMAX-2400 型多晶粉末衍射仪上完成,光源波长 1.54 nm。铜靶 X 射线管工作电压和电流分别为 40.0 kV 和 100.0 mA。

1.3 催化剂的活性评价 催化剂的活性评价在连续加氢微反装置上进行。反应原料为锦西重油催化

裂化汽油,催化剂的装填量为 2 mL,催化剂在反应前先进行催化剂的预硫化,硫化条件为:以 2% CS₂ 的环己烷溶液为硫化剂,硫化温度 300 °C,硫化压力 4.0 MPa,硫化时间 4 h。催化剂活性评价的反应条件为:温度 240 °C ~ 300 °C,压力 1.0 MPa ~ 3.0 MPa,氢油比 600(体积比),液时空速 1 h⁻¹ ~ 4 h⁻¹,反应每 2 h 取样一次进行硫质量分数和烯烃质量分数的分析。

2 结果与讨论

2.1 晶化方法对复合氧化物性质的影响 镁铝复合氧化物的制备过程中,沉淀的晶化方法有回流晶化和水热晶化。赵瑞玉等^[9]研究表明,水热晶化制得的镁铝复合氧化物的晶形较完整,晶粒尺寸较大,沉淀易于分离。二种晶化方法对复合氧化物性质及沉淀分离状况的影响见表 1。

表 1 晶化方法对复合氧化物性质的影响

Table 1 Effect of crystallization method on the characteristics of composite oxides

Crystallization method	Specific surface area $A/m^2 \cdot g^{-1}$	Pore diameter d/nm	Relative sedimentation rate	Sedimentation interface
Circumfluence crystallization	149.7	16.1	1	illegibility
Hydrothermal crystallization	101.6	13.2	10	clear

从表 1 可以看出,回流晶化制备的复合氧化物

比表面积可达 149.7 m² · g⁻¹,而水热晶化方法制备

的复合氧化物比表面积只有 $101.6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。在复合氧化物沉淀的形成过程中,包含着微晶的生成及晶核的长大两个过程,由于加料方式直接影响沉淀的生成速度及均匀性,回流晶化是为了提供充足的再结晶时间,使晶型发生转变、晶粒长大、晶形更完整。作为石油馏分加氢精制催化剂载体,必须能够提供尽可能大的比表面积,所以本研究选用回流晶化的方法制备镁铝复合氧化物。

2.2 制备因素对镁铝水滑石前驱体性质的影响

2.2.1 反应温度的影响

水解速率对复合氧化物的晶相会产生重要的影响,影响水解速率的因素之一是水解反应温度,在初步选定的反应温度 $60 \text{ }^\circ\text{C} \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的基础上,考察了反应温度 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 对镁铝水滑石前驱体晶形的影响,结果见图 2。

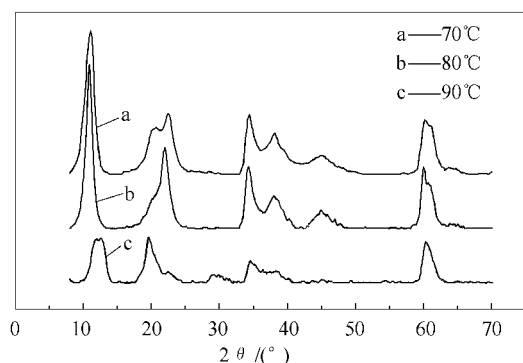


图 2 反应温度对镁铝水滑石前驱体晶形的影响

Figure 2 Effect of reaction temperature on the crystal structure of the magnesium-aluminum hydroxide precursor

从图 2 可以看出, $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 下制备的镁铝水滑石有相似的谱图,但 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 下制得的样品的衍射峰强度较大,峰形较窄,说明载体的晶形较完整,结晶度较高。当反应温度为 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,制备样品的峰强度较低,峰形较差,说明其结晶度和晶形不好,这与高温不利于形成沉淀物结晶相吻合。因此, $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 是最佳的水解温度。

2.2.2 水解 pH 值的影响

MA-*n* 复合氧化物的制备过程中, pH 值影响水解和晶化速率,进而影响复合氧化物的晶相。本文考察了制备 MA-10 复合氧化物过程中溶液 pH 值对镁铝载体前驱体晶形的影响。pH 调节方法是往水解体系中滴加氨水。图 3 是溶液 pH 值为 8.5、9.0、9.5 和 10.0 下制得的镁铝水滑石前驱体的 XRD 谱图。从图 3 可以看出,随着溶液 pH 值的增加,衍射角为 11° 和 22° 的水滑石的特征峰强度先增高后降低。当溶液的 pH 值为 9.5

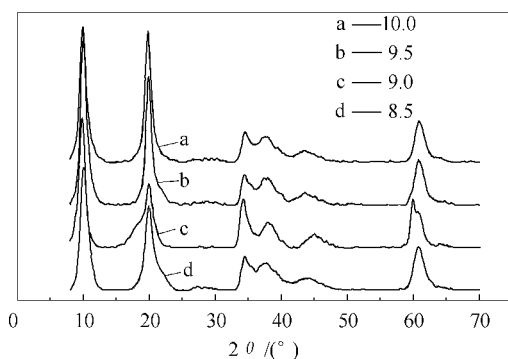


图 3 溶液 pH 值对镁铝水滑石前驱体晶形的影响

Figure 3 Effect of pH value on the crystal structure of the magnesium-aluminum hydroxide precursor

和 10.0 时,两种镁铝水滑石的 XRD 谱图相近,与溶液 pH 值为 10.0 的水滑石样品相比,溶液 pH 值为 9.5 的水滑石样品在衍射角为 11° 和 22° 时的峰强度较强,并且峰形较窄,说明其晶形好于溶液 pH 值为 10.0 的水滑石样品。

2.2.3 pH 调节剂的影响

由上面的实验得出,在 MA-*n* 复合氧化物的制备过程中,碱性溶液调节水解过程的 pH 值需控制在 9.5。但不同碱性溶液的使用可能对制得的复合氧化物性质有一定的影响,因此,考察了氨水和氢氧化钾溶液对镁铝水滑石前驱体性质的影响。以氨水为 pH 调节剂,在制得的 MA-*n* 载体中没有杂质离子的残留,不会对催化剂的性质产生负面影响;以氢氧化钾为 pH 调节剂,有可能因钾离子的残留而对载体及催化剂的性能产生一定的影响。图 4 是以氨水和氢氧化钾为 pH 调节剂制备的镁铝水滑石前驱体的 XRD 谱图。

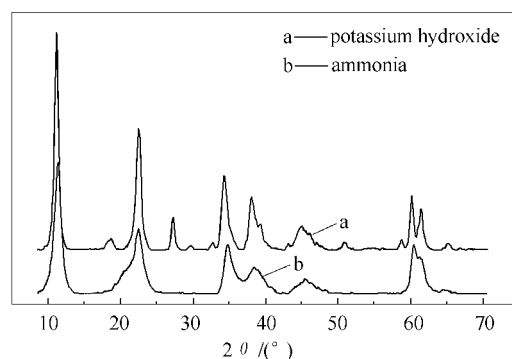


图 4 碱性溶液对镁铝水滑石前驱体晶形的影响

Figure 4 Effect of pH agent on the crystal structure of the magnesium-aluminum hydroxide precursor

从图 4 可以看出,使用两种碱性溶液调节 pH 值制得的产物的 XRD 谱图的主要特征峰与水滑石的 XRD 标准谱图一致^[10],说明所得产物为镁铝水

滑石,且合成产物的晶相特征不受 pH 调节剂种类的影响。但以氢氧化钾作为 pH 调节剂所制得载体的晶形要好于以氨水作为调节剂制得的载体。由于采用水洗的方法不能完全洗去钾离子,因而,在 XRD 谱图的 2θ 为 19° 、 27° 以及 51° 处出现了其他杂原子峰,使得制备过程的重复性变差,所以选择以氨水作为 pH 调节剂较为适宜。

2.3 制备因素对镁铝复合氧化物载体性质的影响

2.3.1 镁铝分子比的影响 按照实验部分的方法制备了不同镁铝分子比的复合氧化物载体 MA- n , 比表面积和孔容数据见表 2。

表 2 不同镁铝分子比的复合氧化物载体的比表面积、孔容和孔径

Table 2 Specific surface area, pore volume and pore diameter of the composite oxides support with different Mg/Al ratios

Support	MA-4	MA-6	MA-8	MA-10	MA-12
Specific surface area $A / \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	122.0	141.1	159.6	161.7	183.7
Pore volume $v / \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	0.32	0.37	0.43	0.44	0.57
Pore diameter d / nm	8.9	9.3	9.4	9.8	10.2

由表 2 可见,制备的复合氧化物具有较大的比表面积和孔容,且随着镁铝分子比的增加,载体的比表面积、孔容和平均孔径均呈上升趋势,具备作为催化裂化汽油加氢精制催化剂对载体材料的基本要求。

复合氧化物作为加氢精制催化剂载体的性能除了与比表面积、孔容和孔径有关外,还与载体的晶形有很大的关系,因而对上述制备的不同镁铝分子比的复合氧化物载体晶形进行了表征和分析。图 5 是不同镁铝比复合氧化物载体的 XRD 谱图。

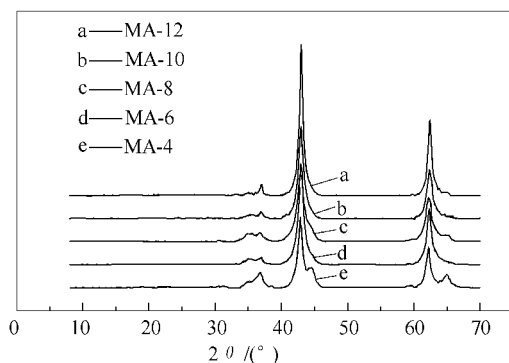


图 5 不同镁铝分子比的复合氧化物载体的 XRD 谱图

Figure 5 XRD spectra of the magnesium-aluminum composite oxides support with different Mg/Al ratios

从图 5 可以看出,焙烧后的镁铝系列复合氧化物只呈现 d 值为 2.432、2.103 和 1.487 的衍射峰,根据文献报道^[11],这些样品归属于氧化镁物相。这表明焙烧后得到的镁铝载体中,铝原子高度分散在氧化镁的结构中,结合镁铝复合氧化物载体的比表面积和孔结构的数据可知,在氧化镁中引入铝后,有利于提高氧化镁的热稳定性。

2.3.2 反应温度的影响 由于制备复合氧化物过程中,反应温度对水解速率的影响最为显著,进而会影响复合氧化物的性质,笔者考察了在 70°C 、 80°C 和 90°C 下制得的 MA-10 的比表面积、孔容和孔径的差异,实验结果见表 3。

表 3 复合氧化物的比表面积和孔容孔径

Table 3 Specific surface area, pore volume and pore diameter of the composite oxides support

Reaction temperature $t / ^\circ\text{C}$	70	80	90
Specific surface area $A / \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	161.7	144.5	137.7
Pore volume $v / \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	0.44	0.42	0.38
Pore diameter d / nm	8.8	9.4	9.4

由表 3 可见,随着反应温度的升高,复合氧化物的比表面积和孔容呈下降的趋势。因为沉淀过程包括微晶的生成及晶核长大为晶体的两个过程。低温、溶液过饱和度大,有利于迅速形成大量细小的晶粒,而细小晶粒以及非晶物质的存在,能够提供较大的比表面积。随着溶液温度的升高,溶液过饱和度降低,不利于形成微小的晶粒,同时由于高温也会引起细小晶粒的再度溶解,在大颗粒上形成晶体,复合氧化物的比表面积就会减小,由于晶粒变大,复合氧化物载体的平均孔径增加,孔容减小。因此,控制溶液的反应温度有利于调控镁铝复合氧化物载体的比表面积和孔结构。

2.3.3 pH 调节剂的影响 使用氨水和氢氧化钾溶液两种碱性溶液调节 pH 值制得的镁铝水滑石前驱体 550°C 焙烧 3 h 后得到的镁铝复合氧化物载体的 XRD 谱图见图 6。

由图 6 的谱峰特征可以看出,采用氢氧化钾为 pH 值调节剂制得的载体,即使经过焙烧,在衍射角 27° 处,仍可发现钾原子衍射峰的存在,而且催化剂性能评价的实验结果显示,微量的钾氧化物存在会影响催化剂的脱硫活性和选择性,不利于定量控制载体以及催化剂中的氧化钾质量分数。因此,为避免杂质对催化剂性能的影响,氨水是较为理想的 pH 值调节剂。

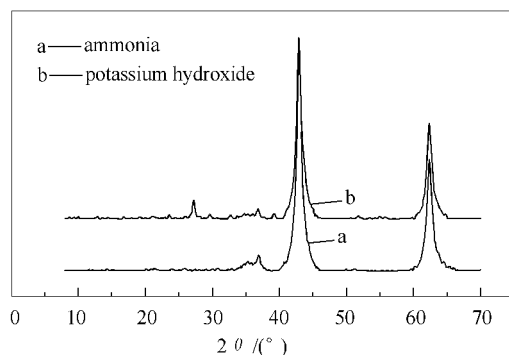


图 6 不同沉淀剂对载体性质影响的 XRD 谱图

Figure 6 Effect of precipitator on the crystal structure of the support

2.3.4 回流晶化温度的影响 回流温度也是影响载体晶形的一个重要因素,随着反应体系的不同以及反应条件的差异,回流温度对沉淀物的物理性质有着不同的影响。图 7 是回流温度为 70 °C 和 90 °C 制得的载体的 XRD 谱图。

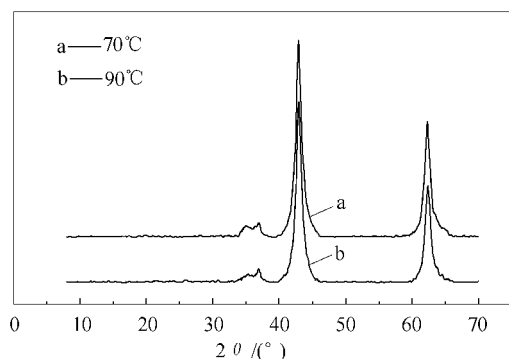


图 7 不同回流温度制备的载体的 XRD 谱图

Figure 7 XRD patterns of the supports prepared in different reflux temperatures

从图 7 可以看出,回流温度的变化对镁铝复合氧化物载体的晶形并没有产生显著的影响,说明在上述优选的回流温度范围内,回流温度的变化对复合氧化物的晶形影响不大,选择 70 °C 为回流温度是可行的。

2.3.5 焙烧温度的影响 焙烧温度对镁铝复合氧化物载体的孔结构稳定性会产生一定的影响,从而影响载体的比表面积和孔容大小。表 4 是不同焙烧温度下 MA-10 载体的比表面积和孔容。

从表 4 可以看到,随着焙烧温度的提高,载体的比表面积变化不大,而孔容稍有下降,平均孔径略有增加。这说明复合氧化物载体经过高温焙烧后发生了一定程度的颗粒团聚及毛细孔坍塌。而相同条件下制得的纯氧化镁经 600 °C 焙烧后,其比表面积仅

为 $77 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,孔容为 $0.34 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$,因此,镁铝复合氧化物载体比纯氧化镁有更好的热稳定性。

表 4 焙烧温度对载体比表面积和孔容孔径的影响

Table 4 Effect of calcination temperature on specific surface area, pore volume and pore diameter

Calcination temperature $t / ^\circ\text{C}$	500	550	600
Specific surface area $A / \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	138.2	144.5	140.3
Pore volume $v / \text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	0.44	0.42	0.38
Pore diameter d / nm	9.0	9.4	9.6

2.4 以镁铝复合氧化物为载体的催化剂选择性加氢脱硫性能 RFCC 汽油选择性加氢脱硫催化剂的活性金属组元多采用 Co-Mo 组合,Co 的加入对加氢脱硫反应起着促进作用,对异构烯烃的加氢饱和有轻微的抑制,而正构烯烃的加氢饱和则受到 Co 的强烈抑制^[12-14]。本研究以 Co、Mo 为活性金属组分,制备了不同镁铝分子比的催化裂化汽油加氢脱硫催化剂 CMMA-4、CMMA-6、CMMA-8、CMMA-10 和 CMMA-12,以锦西炼油厂重油催化裂化汽油为原料,进行催化剂的加氢脱硫性能和烯烃饱和性能评价。图 8 是 CMMA- n 系列催化剂在反应温度 280 °C,反应压力 3.0 MPa,液时空速 2 h^{-1} ,氢油比 60(体积比)下的加氢脱硫性能(HDS)和烯烃饱和性能(HYD)的对比结果。

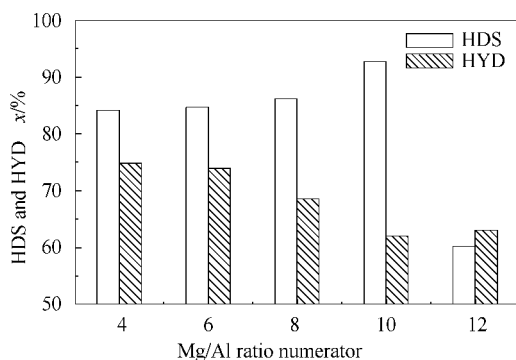
图 8 CMMA- n 系列催化剂的 HDS 和 HYD 性能

Figure 8 Performance of HDS and HYD of the catalysts CMMA- n

从图 8 可以看出,随着镁铝分子比的增加,催化剂的加氢脱硫活性先增加后减小,镁铝分子比为 10 时达到最大值 92.7%。烯烃饱和性能与加氢脱硫性能正好相反,其趋势是先减少后增加,同样在镁铝分子比为 10 时,其烯烃饱和性能最小。由表 2 中载体的比表面积和孔容孔径数据可见,具有较大比表面积、孔容和孔径的 MA-10 载体能够提供较多的活性中心,有利于反应物分子在活性位上吸附与反应。所

以 CMMA-10 催化剂具有较好的加氢脱硫选择性。

另外,与常规的以 Al_2O_3 为载体的催化剂相比,镁铝复合氧化物中由于镁的存在使载体单位面积上有了较多数量的碱性中心,从而抑止烯烃的吸附与加氢饱和反应,提高了催化剂对 RFCC 汽油的脱硫选择性。表 5 列出了 CMMA-10 催化剂与常规氧化铝催化剂(CM- Al_2O_3)在反应温度 280 °C、反应压力 2.0 MPa、液时空速 2.0 h⁻¹、氢油比 600(体积比)时的选择性加氢脱硫结果。

从表 5 可以看出,采用常规氧化铝制备的催化剂(CM- Al_2O_3)和 CMMA-10 催化剂对锦西 RFCC 汽油加氢脱硫后,油品性质有了较大的变化。采用 CMMA-10 催化剂时,烷烃质量分数增加了近 18%,烯烃质量分数降低 14%,芳烃质量分数也下降 4%,说明加氢脱硫的同时,部分烯烃和芳烃被加氢饱和

为烷烃;硫质量分数从 257×10^{-6} 下降到 36.5×10^{-6} ,脱硫率达到 85.8%,RON 从 92.7 降到 92.1,下降了 0.6。而采用氧化铝催化剂(CM- Al_2O_3)时,烯烃饱和程度高,辛烷值的损失大,所以 CMMA-10 催化剂对锦西 RFCC 汽油表现出较好的加氢脱硫活性和选择性。同时也可以看出,由于 CMMA-10 催化剂对烯烃的加氢饱和性能较差,汽油中的烯烃质量分数较高,所以 RFCC 汽油的选择性加氢精制的目的只是解决硫质量分数高的问题。如果要使成品汽油达到欧 III 标准,需要在选择性加氢脱硫后的汽油中调和其他汽油组分,如烷基化、重整汽油等,或进一步对 RFCC 汽油进行处理将其中的烯烃转变为具有较高辛烷值的异构烷烃、芳烃或醚类化合物,以实现脱硫、降烯、保辛烷值的目的。

表 5 锦西 RFCC 汽油处理前后性质对比

Table 5 Property of Jinxi RFCC gasoline after hydrotreatment

Property	Jinxi RFCC gasoline	Gasoline after hydrotreatment(CM- Al_2O_3)	Gasoline after hydrotreatment(CMMA-10)
Paraffin w/%	10.8	38.8	28.4
Olefin w/%	54.1	21.6	40.5
Aromatics w/%	35.1	39.6	31.1
S w /10 ⁻⁶	257	30.1	36.5
RON	92.7	88.6	92.1
Loss of RON	-	4.1	0.6

3 结 语

采用共沉淀方法制备镁铝复合氧化物载体,以硝酸铝和硝酸镁为原料,氨水为 pH 值调节剂,溶液 pH 值控制在 9.5,沉淀反应的温度为 80 °C,回流晶化温度为 70 °C 时,可以制得比表面积大、晶形较好的镁铝复合氧化物载体。

复合氧化物的比表面积和孔容随着镁铝分子比的增加而增大,随着反应温度的升高,复合氧化物的比表面积和孔容下降。复合氧化物的热稳定性较氧化镁有了显著提高。

溶液 pH 值、水解温度和镁铝比对水解速率有显著的影响,从而影响复合氧化物的结晶状态;复合氧化物的 XRD 谱图表明,铝原子高度分散在氧化镁的结构中,有利于提高氧化镁的热稳定性。

以镁铝复合氧化物为载体,担载活性金属组分 Co-Mo 制备的催化裂化汽油选择性加氢脱硫催化剂 CMMA-10,对锦西 RFCC 汽油进行全馏份加氢脱硫处理,可以将催化裂化汽油的硫质量分数降至 36.5×10^{-6} ,辛烷值从 92.7 下降到 92.1,仅损失 0.6,催化剂具有良好的脱硫选择性。

参考文献:

- [1] 郇潍芳, 欧阳福生. FCC 汽油脱硫降烯烃技术最新进展 [J]. 工业催化, 2004, 12(8): 6-10. (HUAN Wei-fang, OUYANG Fu-sheng. Latest advanced in hydrodesulfurization and olefin-reducing techniques for FCC gasoline [J]. Industrial Catalysis, 2004, 12(8): 6-10.)
- [2] BRUNET S, MEY D, PEROT G, BOUCHY C, DIEHL F. On the hydrodesulfurization of FCC gasoline: A review [J]. Appl Catal A, 2005, 278(2): 143-172.
- [3] 龚树文, 陈皓侃, 李文, 李保庆. $\beta\text{-MO}_2\text{N}_{0.78}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 催化剂的制备及其噻吩加氢脱硫活性的研究 [J]. 燃料化学学报, 2004, 31(1): 7-11. (GONG Shu-wen, CHEN Hao-kan, LI Wen, LI Bao-qing. Studies on synthesis of $\beta\text{-MO}_2\text{N}_{0.78}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst and its catalytic behavior for thiophene hydrodesulfurization (HDS) [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2004, 31(1): 7-11.)
- [4] OKAMOTO Y, OCHIAI K, KAWANO M, KUBOTA T. Evaluation of the maximum potential activity of Co-Mo/ Al_2O_3 catalysts for hydrodesulfurization [J]. J Catal, 2004, 222(1): 143-151.

- [5] REICHLER W T. Catalytic reactions by thermally activated synthetic anionic clay minerals[J]. J Catal , 1985 , **94**(5) : 547-550.
- [6] 罗青松, 李蕾, 王作新, 段雪. 镁铝水滑石层板与层间阴离子相互作用的理论研究[J]. 无机化学学报, 2001 , **17**(6) : 836-842. (LUO Qing-song , LI Lei , WANG Zuo-xin , DUAN Xue. Theoretical study of the layer-anion interactions in magnesium aluminum layered double hydroxide[J]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry , 2001 , **17**(6) : 836-842.)
- [7] 杨锡尧, 夏晓球, 吴念祖. 以钼酸盐阴离子柱撑镁铝水滑石为前驱物的加氢脱硫催化剂: I MoO₃/Mg(Al)O 中 MoO₃ 的化学状态和分散度[J]. 催化学报, 2001 , **22**(4) : 358-360. (YANG Xi-yao , XIA Xiao-qiu , WU Nian-zu. Molybdate anion pillared Mg-Al hydrotalcite as precursors for HDS catalysts :I Chemical state and dispersity of MoO₃ in MoO₃/Mg(Al)O[J]. Chin J Catal , 2001 , **22**(4) : 358-360.)
- [8] BODILY D M , DUGAN P R , QUIGLEY D R. Processing and utilization of high-sulfur coals IV[J]. Fuel Process Technol , 1992 , **30**(3) : 262-267.
- [9] 赵瑞玉, 殷长龙, 赵会吉. 镁-铝水滑石及其衍生复合氧化物的合成[J]. 石油大学学报(自然科学版) , 2003 , **27**(3) : 93-97. (ZHAO Rui-yu , YIN Chang-long , ZHAO Hui-ji. Synthesis of magnesium-aluminum mixed oxide from hydrotalcite and its performances as catalytic support[J]. Journal of the University of Petroleum , China , 2003 , **27**(3) : 92-94.)
- [10] 上官荣昌. 焙烧温度对镁铝水滑石焙烧产物物性影响的研究[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版) , 2002 , **1**(1) : 67-73. (SHANGGUAN Rong-chang. Effects of calcine temperature on the thermal stability of calcine product obtained from magnesium-aluminum hydrotalcites[J]. Journal of Huaiyin Teachers College (Natural Science Edition) , 2002 , **1**(1) : 67-73.)
- [11] SHEN J , KOBE J M , CHEN Y. Synthesis and surface acid/base properties of magnesium aluminum mixed oxides obtained from hydrotalcites [J]. Langmuir , 1994 , **10**(10) : 3902-3906.
- [12] LAPINSKI M P , RILEY K L , HALBERT T R , LASKO W , KAUFMAN J L. Selective hydrodesulfurization process(HEN 9601) [P]. US : 6126814 , 2000-10-03.
- [13] JACQUIN Y , Le PAGE J-F. Process for the selective desulfurization of olefin IC CUTS[P]. US : 4334982 , 1982-06-15.
- [14] SUDHAKAR C , CESAR M R , HEINRICH R A. Selective hydrodesulfurization of naphtha using selectively poisoned hydroprocessing catalyst [P]. US : 5525211 , 1996-06-11.

《燃料化学学报》征稿简则

《燃料化学学报》是由中国科学院主管、中国化学会和中国科学院山西煤炭化学研究所主办。刊载国内外燃料化学基础研究及其相关领域的最新研究成果和进展, 涵盖煤炭、石油、油页岩、天然气、生物质, 以及与此相关的环境保护和催化等方面的内容。

栏目设置

研究论文 报道学术价值显著、实验数据完整的研究成果, 全文一般不超过 6000 字。

研究快报 迅速报道学术价值显著的最新进展, 全文一般不超过 4000 字。

研究简报 报道研究工作中的部分或阶段性的研究成果, 全文一般不超过 4000 字。

综合评述 一般为预约稿(不超过 8000 字)。

投 稿

1. 本刊热忱欢迎国内外学者投稿, 中英文稿均可。

2. 来稿请附投稿申请表(网上下载 www.sxicc.ac.cn / 科技出版物/《燃料化学学报》简介/投稿申请表) 和本单位推荐信, 说明文稿无泄密和一稿多投。

3. 来稿请寄一式两份(打印) , 尽可能 E-mail 投稿。

4. 稿件请寄“山西太原桃园南路 27 号《燃料化学学报》编辑部” 邮编 030001 电话 : (0351) 2025214 4066044 传真 : (0351) 2025214 E-mail : rlhx@sxicc.ac.cn

稿件及出版

(1) 审理结果一般在 3 个月内通知作者, 对不宜采用的稿件尽快通知。不刊用的稿件恕不退还。

(2) 刊出的稿件通知作者交论文发表费。期刊印出后 酌致稿酬, 并赠期刊 2 份和分装本 10 份。

(3) 从 2000 年起本刊已入编中国学术期刊光盘版、网络版, 均不再另外通知和另付稿酬。凡不愿加入者, 请投稿时说明。