

合成气一步制取低碳烯烃铁基催化剂的研究进展

夏航, 杨霞珍, 霍超*, 刘化章
(浙江工业大学工业催化研究所, 浙江杭州 310014)

摘要: 综述了合成气一步制取低碳烯烃铁基催化剂的研究进展, 重点介绍了催化剂反应机理、载体、助剂和新的制备方法等方面的研究现状。最后指出了催化剂存在的问题并对以后的研究工作进行了展望。

关键词: 合成气; 费托合成反应; 铁基催化剂; 低碳烯烃

中图分类号: O643.3; TQ221.2

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)08-0019-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.08.005

Research progress of iron-based catalyst for direct conversion of synthesis gas to light olefins

XIA Hang, YANG Xia-zhen, HUO Chao*, LIU Hua-zhang

(Institute of Industrial Catalysis, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The recent progress of iron-based catalysts for direct conversion of syngas to light olefins is reviewed. The current status about reaction mechanisms, supports, promoters and new preparation methods of the catalyst are highlighted. The existing problems of the catalysts are pointed out. The prospects about the future research work are also put forward.

Key words: syngas; Fischer-Tropsch synthesis; iron-based catalysts; light olefins

低碳烯烃是有机化工产品的重要原料。目前低碳烯烃主要来源于石脑油或者轻柴油的催化裂化。由于国际形势和石油能源的不可再生性, 开发替代传统烯烃生产的新工艺技术具有重要意义, 由合成气通过费托合成直接制取低碳烯烃则是一条重要的替代路线。与目前的甲醇制烯烃和二甲醚制烯烃技术相比, 由合成气直接制取低碳烯烃路线简化了生产工艺流程, 具有更高的经济效应。

目前费托合成制液体燃料使用的催化剂主要为钴基和铁基催化剂, 由于铁比钴更廉价, 对低碳烯烃的选择性高, 对温度的适应范围广, 高温下甲烷选择性低, 而且铁基催化剂还能促进水汽变换反应的发生, 对生物质基和煤基合成气具有很好的适应性, 因此目前对合成气制低碳烯烃的研究主要以铁基催化剂为主^[1]。

1 由合成气直接制取低碳烯烃的反应机理

费托反应体系中发生的反应十分复杂, 主要包括生成烷烃、烯烃的反应, 以及水汽变换反应、生成醇的反应和 Boudouard 反应, 如式(1)~式(5)所

示。对于合成气在铁基催化剂上的费托合成反应机理, 不同学者对一氧化碳在铁基催化剂上的加氢反应机理持有的观点不尽相同。目前被广泛接受的主要是表面碳化物机理^[2-3], 即 CO 首先在催化剂表面解离, 形成表面碳化物, 然后与表面 H 反应, 形成“CH₂”中间态, 并以此为基础进行链增长, 然后发生 β-H 消除或者加氢生成烯烃或烷烃, 具体如图 1^[2]所示。生成的烯烃特别是低碳烯烃容易在催化剂表面相关活性位再次吸附而发生链增长及加氢反应, 具体如图 2 所示^[4]。

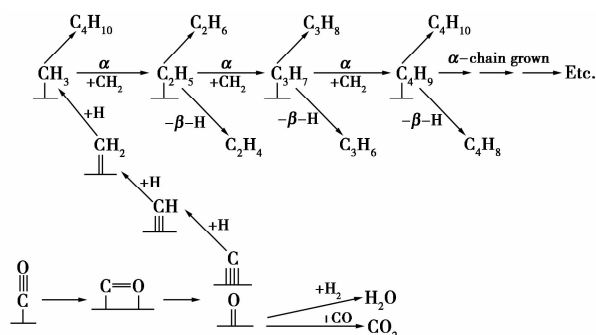


图1 费托合成表面碳化物机理

收稿日期: 2015-12-28

基金项目: 浙江省教育厅科研项目(Y201326527)

作者简介: 夏航(1989-), 男, 硕士生, 研究方向为工业催化; 霍超(1971-), 女, 教授, 研究方向为催化剂工程和纳米催化材料, 通讯联系人, 0571-88320815, chaohe@zjut.edu.cn。

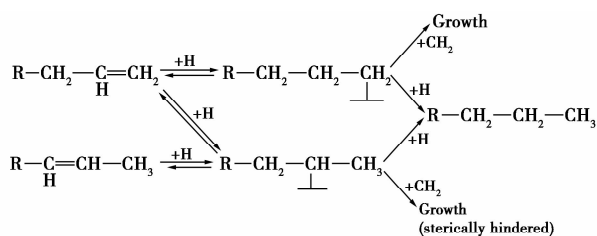
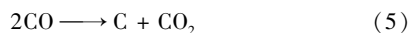
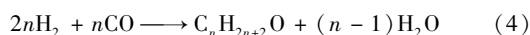
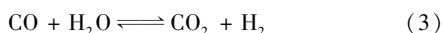
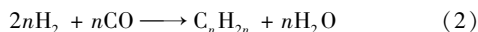
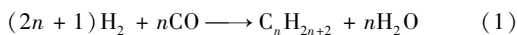


图 2 烯烃在催化剂表面二次吸附反应机理



因此,要有效提高低碳烯烃的选择性,就需要考虑在提高催化剂活性的同时,降低链增长 α 值,减少烯烃的二次吸附反应以及甲烷化作用,这些因素受到催化剂本身以及反应工艺条件的共同影响。本文中主要从铁基催化剂的影响方面对近期的研究进展做出概述。

2 铁基催化剂的研究

2.1 催化剂载体

在合成气制低碳烯烃铁基催化剂的制备中,合适的载体可以提供适宜的比表面积、孔道结构、表面酸碱性以及载体-活性相的相互作用,这有利于催化剂的活性、稳定性和低碳烯烃选择性的调控。常用的载体主要包括氧化物载体、碳载体和分子筛载体。

可作为合成气制低碳烯烃铁基催化剂载体的氧化物主要包括碱土金属氧化物、 Al_2O_3 、 SiO_2 等。碱土金属氧化物可以提高催化剂表面碱性。徐龙伢等^[5]研究了碱土金属氧化物负载 Fe-Mn 催化剂的性能,发现碱土金属氧化物载体提高了催化剂活性和低碳烯烃选择性,主要是因为该类型载体可以抑制乙烯歧化和丙烯加氢反应的发生。 SiO_2 和 $\gamma-Al_2O_3$ 一样,都是具有强金属-载体相互作用的载体,也被称为抗还原性载体^[6]。Liu 等^[7]采用经过乙二醇处理后的具有不同孔径硅胶为载体,等体积浸渍制备了 Fe-Mn/ SiO_2 催化剂,在温度为 $300^\circ C$, $H_2/CO = 1, 1.0 MPa$ 的条件下,较大孔径载体的催化剂 CO 转化率为 50.5%,低碳烯烃的选择性可达 54.6%,高于载体孔径小的催化剂,他们认为较大孔可以抑制烯烃二次加氢反应。Galvis 等^[8]研究了 $\alpha-Al_2O_3$ 和 $\gamma-Al_2O_3$ 为载体的铁基催化剂的费托合

成反应性能,在相同评价条件下发现以 $\alpha-Al_2O_3$ 为载体的铁基催化剂的费托反应活性以及低碳烯烃的选择性远高于以 $\gamma-Al_2O_3$ 为载体的催化剂,他们认为这与载体和活性相之间的相互作用有关, $\alpha-Al_2O_3$ 与活性相之间的相互作用较弱,有助于催化剂的还原和碳化。

碳载体在费托合成催化剂中被作为惰性载体,其与活性相的作用较弱,有助于活性相的还原,由于其负载的铁基催化剂具有较高的低碳烯烃选择性,因此碳材料特别是新型碳材料受到广泛关注。Lu 等^[9]研究了掺氮的 N-CNTs 和普通 CNTs 对 Fe-CNTs 催化剂性能的影响,在相同评价条件下发现 N-CNTs 负载的铁基催化剂具有更高的活性和低碳烯烃选择性(46.7%),他们认为主要原因是氮掺杂为催化剂表面提供稳定的碱性位。Schulte 等^[10]对比了 N 和 O 功能化的 CNTs 负载铁基催化剂的性能,当铁负载量为质量分数 40% 时,评价结果表明,虽然二者的 $C_3 \sim C_6$ 烯烃选择性在 85% 以上,但是 N 功能化的 CNTs 负载的铁基催化剂活性更高,稳定性更好。最近 Chen 等^[11]采用豆荚状的 CNTs 为载体,制备了活性相铁全被密封在 CNTs 内和有活性相暴露在 CNTs 外的 2 种催化剂,催化剂均在 $P = 0.5 MPa, T = 320^\circ C, CO/H_2 = 1:2, GSHV = 3\ 500 h^{-1}$ 条件下评价,通过对比发现虽然 2 种催化剂的低碳烯烃选择性都达到 40% 以上,但是活性相铁全在 CNTs 内的催化剂具有更好的稳定性,主要是因为 CNTs 的管壁起到了稳定和保护作用,抑制了活性相纳米粒子的团聚和积碳。同时该研究团队提出的“铠甲”催化的概念对费托合成一步制低碳烯烃铁基催化剂的设计具有重要指导意义。

分子筛载体由于具有较大的比表面积、特定尺寸的孔大小、孔结构,以及可调节的表面酸碱性,有利于催化剂活性相的分散和产物分布的调节^[12]。Kang 等^[13]以不同硅铝比的 ZSM-5 为载体,采用浸渍法制备 Fe-Cu-K/ZSM-5 催化剂,当 $n(Si):n(Al) = 25$ 时,低碳烯烃选择性和烷烃比值最高,表征发现主要是因为催化剂表面具有最多的弱酸性位和最少的强酸性位,抑制了烯烃的进一步转化,而过多的强酸性位则是不利的。Feyzi 等^[14]以 ZSM-5 为载体,采用等体积浸渍法制备了 8% Fe/2.4% Mn/2.0% K/ZSM-5 催化剂,ZSM-5 中 $n(Si):n(Al) = 54$,催化剂在 $270^\circ C, 0.1 MPa, H_2/CO = 2$, 空速 $2\ 600 h^{-1}$ 条件下评价,CO 转化率为 87.4%,甲

烷选择性 6.1%, 低碳烯烃选择性达到 53.1%。

2.2 助剂

由于单铁催化剂的活性、选择性及稳定性均不理想, 添加适当的助剂可显著改善铁基催化剂的费托合成反应性能。助剂主要通过和活性相产生新的活性位、促进活性相还原、提高活性相的分散度、增强电子迁移或者电子相互作用等方式, 改善费托合成反应的活性、选择性和稳定性。

碱金属助剂是费托合成反应中常用的助剂, 其中钾是研究最多的助剂。钾的阳离子相当于活性相铁的电子供体, 能够削弱 C—O 键, 加强 Fe—C 键, 促进 CO 的化学吸附, 使得催化剂活性表面由于覆盖有大量 CO 分子, 而且催化剂表面碱性增加, 这些因素使得低碳烯烃二次加氢反应减弱, 但是也会造成催化剂在反应条件下的积碳^[15-16]。其他碱金属元素对催化剂性能的影响大致与碱度呈正比。Das 等^[17]研究了 K 的量对 Fe—Cu/SiO₂ 催化剂的影响, 发现当 K 的负载量为质量分数 1.0% 时, 催化剂具有最高活性, 继续增加负载量催化剂活性下降, 但是产物中气态烃烯烷比以及高碳烃选择性提高, 主要是因为 K 增强了链增长能力, 同时抑制烯烃二次加氢。Li 等^[18]研究了 Na 助剂对铁基催化剂费托合成直接制取低碳烯烃的影响, 他们采用共沉淀-焙烧-浸渍的方式制备 Na—Fe—Mn 催化剂, 表征发现, 钠助剂的加入降低了催化剂的比表面积, 有助于铁的碳化, 过量负载钠会阻碍活性相的还原, 他们发现 Na/Fe 的摩尔比在 2.8% 时, 催化剂活性和低碳烯烃的选择性最高。Li 等^[16]采用 CO 脉冲法研究了碱金属对 100Fe/5Si 催化剂 CO 吸附和费托反应性能的影响, 发现碱金属的加入抑制了 CO 加氢, 同时抑制了甲烷的生成, 碱金属的加入能一定程度提高低碳烯烃的选择性, C₅ + 的选择性也增加, 主要是因为碱金属增强了催化剂对 CO 的吸附, 降低了催化剂表面 H 的浓度, C—C 键偶联作用增强, 加氢作用减弱, 这种作用随着碱金属碱性的增强而逐渐显著; 他们还发现 K 和 Rb 能促进 Fe 的碳化, 而 Li 和 Na 却对 Fe 的碳化起抑制作用。

适量的 Mn 助剂可以显著提高低碳烯烃的选择性, 抑制甲烷生成。Mn 助剂的加入, 能够提高催化剂的表面碱性, 和 K 一样, Mn 同样是一种电子助剂, 提高活性相对 CO 的解离吸附, 使得低碳烯烃的选择性和 C₅ + 产物的选择性增加^[19]。同时 Mn 也起到结构助剂的作用, 由于铁与锰的离子半径相近,

有利于形成均相的氧化物。而这种固溶相有助于抑制晶粒的生长, 获得更小的活性相晶粒尺寸^[20]。但是 Mn 也会在焙烧或者还原的过程中由体相向表面迁移, 对催化剂的还原和活性位数量带来负面影响, 这与制备条件和 Mn 的含量有很大关系。Li 等^[21]研究了 Mn 含量对合成气制低碳烯烃沉淀型 Fe—Mn 催化剂的影响, 结果表明, 适量 Mn 的加入能够减小催化剂的晶粒尺寸, 提高催化剂的比表面积和孔容, 抑制铁的碳化物被氧化, 提高催化剂的活性; Mn 助剂增强了催化剂的表面碱性, 使得低碳烯烃和 C₅ + 产物的选择性提高, 但是过量 Mn 助剂会在催化剂表面富集, 显著抑制催化剂的还原和碳化, 使催化剂的活性下降。Tao 等^[22]研究了焙烧温度对 Fe—Mn 催化剂的影响, 发现当提高焙烧温度以及升温速率时, 催化剂的比表面积降低, 并且会使 Mn 在催化剂表面高度富集, 低升温速率的低温焙烧有助于催化剂活性相的碳化以及催化剂活性的提高, 而低升温速率的高温焙烧使 Fe—Mn 催化剂对低碳烯烃以及 C₅ + 选择性提高, 同时抑制了甲烷的生成。

一般而言, 人们对硫的认识都是硫是催化剂的毒物。然而越来越多的研究表明, 硫可以作为催化剂的助剂, 比如提高催化剂的活性、选择性等。通过控制硫的剂量和添加方式, 毒物作用与助剂作用便可能互相转变^[23]。Bromfield 等^[24]将质量分数 0.05% ~ 2% 的 Na₂S 加入到沉淀铁催化剂中, 当 S 的质量分数为 0.05% 时, C₂ ~ C₄ 范围内的产物有较高烯烷比, 而且费托反应活性增加, 当 S 的含量继续增加, 会对催化剂产生毒性, 催化剂的活性明显降低, 他们称 S²⁻ 会对催化剂的比表面积和还原能力产生影响, 而作为催化剂助剂起作用的硫的形式为 SO₄²⁻。Galvis 等^[25]认为 S 可以选择性地掩蔽部分加氢活性位, 同时削弱催化剂表面 Fe—CO 键, 使催化剂活性和低碳烯烃选择性提高。Zhou 等^[26]研究了 S 助剂对质量分数 10% Fe/α-Al₂O₃ 催化剂合成气制低碳烯烃反应性能的影响, 通过选用合适的铁源, 排除杂质钠的干扰, 催化剂在低压条件下评价, 发现微量 S 的加入能提高催化剂活性, 抑制甲烷的生成, 当 S 的量为质量分数 0.08% 时, 低碳烯烃的选择性达 68%。

此外, 助剂之间会产生一定的协同作用, 对催化剂的活性和选择性产生影响。陈嘉宁等^[27]研究了 K、Mn 之间的协同作用对 CO 加氢制低碳烯烃的影响, 发现 K—Mn—Fe 催化剂具有高的活性和低碳烯

烃选择性,同时甲烷的选择性较低,主要是因为 K、Mn 助剂的共同作用除了表现出各自单独作用的一些特性外,K 能减少 Mn 以氧化物的形式出现,促进 α -Fe₂O₃ 的分散,提高 FeMn 固溶相晶体缺陷,有助于碳化物形成。Galvis 等^[25]发现质量分数 0.2% Na 助剂和微量 S 助剂(质量分数 0.03%)共同作用于质量分数 5% Fe/ α -Al₂O₃ 催化剂时才能得到高的催化活性和低碳烯烃选择性,认为 Na 和 S 之间产生了协同作用,使各自单独存在时的影响得到平衡,同时 Na 对 S 起到了锚定作用。

2.3 催化剂制备方法

合成气制低碳烯烃铁基催化剂的制备方法包括传统浸渍法、沉淀法、溶胶凝胶法和本课题组前期深入研究的熔融法,以及特殊的激光热解法、超临界流体法等。近期文献报道了采用溶剂热法制备的 Fe₃O₄ 催化剂具有较高的活性和低碳烯烃选择性,这种方法主要来源于磁性纳米四氧化三铁材料的合成。Zhang 等^[28]采用溶剂热一锅法,制备出一系列助剂修饰的多孔 Fe₄O₃ 微球,发现 Na 修饰的 Fe₄O₃ 催化剂 CO 转化率为 93.2%,低碳烯烃选择性达 40.6%,但是催化剂稳定性较差,他们认为这与 Na 和 Fe 之间的弱约束作用以及催化剂在反应过程中结构的改变有关。Liu 等^[29]采用溶剂热法制备出无孔结构 Fe₄O₃ 微球,然后通过浸渍 Mn(NO₃)₂·4H₂O 的乙二醇溶液得到表面被 Mn 均匀修饰的 Fe₄O₃ 微球,当 Mn 的量为质量分数 6.0% 时,CO 的转化率为 41.5%,低碳烯烃选择性达 60.1%,而且催化剂较稳定,表征发现,催化剂中 θ -Fe₃C 相多少对低碳烯烃的生成产生重要影响。

同时 Casavola 等^[30]开发出新方法,制备出负载单分散 Fe 和纳米 Fe₂O₃ 的 Fe-CNTs,并使活性相粒径分布均匀而且粒径大小在 3~20 nm 范围内可控,催化剂具有很好费托反应活性以及低碳烯烃选择性,而且纳米尺度的活性相非常稳定。这一研究为设计可控尺度的纳米铁基催化剂研究带来新的思路。

3 结语

随着低碳烯烃的需求量日益增加,全球石油资源逐渐减少,由合成气制取低碳烯烃这一途径将会越来越受关注。我国是一个煤炭资源丰富的国家,采用合成气经费托合成反应一步制取低碳烯烃能够提高煤炭资源的高效清洁利用,而且也符合国家能

源结构调整战略,因此开发出高效的铁基费托合成制低碳烯烃催化剂显得尤为重要。目前的铁基催化剂在性能上还不能达到工业化的要求,主要存在催化剂的失活,产物分布受 Anderson-Schulz-Flory 模型限制,即提高低碳烯烃的选择性时甲烷化严重,以及催化剂重复性差等问题。要解决目前催化剂的不足,一方面要寻求更加科学的催化剂设计和制备方法,以及新的催化材料和更有效的助剂的使用,提高催化剂的性能;另一方面要加快对合成气制低碳烯烃铁基催化剂的反应机理和助剂作用机理的研究,特别是要更加透彻地研究 K、Mn、S 等在催化剂表面的作用机理。另外还需要对反应工艺流程和反应器的设计进行积极地探索和改进,将科研成果和生产实际紧密相连,加快铁基费托合成制低碳烯烃催化剂的工业化进程。

参考文献

- [1] Torres Galvis H M, de Jong K P. Catalysts for production of lower olefins from synthesis gas: A review [J]. ACS Catalysis, 2013, 3 (9): 2130-2149.
- [2] Davis B H. Fischer-Tropsch synthesis: Reaction mechanisms for iron catalysts [J]. Catalysis Today, 2009, 141 (1): 25-33.
- [3] Van Santen R A, Markvoort A J, Filot I A W, et al. Mechanism and microkinetics of the Fischer-Tropsch reaction [J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2013, 15 (40): 17038-17063.
- [4] Sage V, Burke N. Use of probe molecules for Fischer-Tropsch mechanistic investigations: A short review [J]. Catalysis Today, 2011, 178 (1): 137-141.
- [5] 徐龙伢,王清遐. 碱土金属氧化物担载 Fe-MnO 催化剂的 CO 加氢反应制低碳烯烃性能 [J]. 燃料化学学报, 1995, 23 (2): 125-130.
- [6] Mogorosi R P, Fischer N, Claeys M, et al. Strong-metal-support interaction by molecular design: Fe-silicate interactions in Fischer-Tropsch catalysts [J]. Journal of Catalysis, 2012, 289: 140-150.
- [7] Liu Y, Chen J F, Zhang Y. The effect of pore size or iron particle size on the formation of light olefins in Fischer-Tropsch synthesis [J]. RSC Advances, 2015, 5 (37): 29002-29007.
- [8] Galvis H M T, Bitter J H, Khare C B, et al. Supported iron nanoparticles as catalysts for sustainable production of lower olefins [J]. Science, 2012, 335 (6070): 835-838.
- [9] Lu J, Yang L, Xu B, et al. Promotion effects of nitrogen doping into carbon nanotubes on supported iron Fischer-Tropsch catalysts for lower olefins [J]. ACS Catalysis, 2014, 4 (2): 613-621.
- [10] Schulte H J, Graf B, Xia W, et al. Nitrogen- and oxygen-functionalized multiwalled carbon nanotubes used as support in iron-catalyzed, high-temperature Fischer-Tropsch synthesis [J]. Chem Cat Chem, 2012, 4 (3): 350-355.
- [11] Chen X, Deng D, Pan X, et al. Iron catalyst encapsulated in carbon

- nanotubes for CO hydrogenation to light olefins[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2015, 36(9): 1631 - 1637.
- [12] Jahangiri H, Bennett J, Mahjoubi P, *et al.* A review of advanced catalyst development for Fischer-Tropsch synthesis of hydrocarbons from biomass derived syn-gas[J]. Catalysis Science & Technology, 2014, 4(8): 2210 - 2229.
- [13] Kang S H, Bae J W, Woo K J, *et al.* ZSM-5 supported iron catalysts for Fischer-Tropsch production of light olefin[J]. Fuel Processing Technology, 2010, 91(4): 399 - 403.
- [14] Feyzi M, Khodaei M M, Shahmoradi J. Preparation and characterization of promoted Fe-Mn/ZSM-5 nano catalysts for CO hydrogenation [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2015, 40(43): 14816 - 14825.
- [15] Ngantsoue-Hoc W, Zhang Y, O'Brien R J, *et al.* Fischer-Tropsch synthesis: Activity and selectivity for group I alkali promoted iron-based catalysts[J]. Applied Catalysis A: General, 2002, 236(1): 77 - 89.
- [16] Li J, Cheng X, Zhang C, *et al.* Effects of alkali on iron-based catalysts for Fischer-Tropsch synthesis: CO chemisorptions study[J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2015, 396: 174 - 180.
- [17] Das S K, Mohanty P, Majhi S, *et al.* CO-hydrogenation over silica supported iron based catalysts: Influence of potassium loading[J]. Applied Energy, 2013, 111: 267 - 276.
- [18] Li J B, Ma H F, Zhang H T, *et al.* Sodium promoter on iron-based catalyst for direct catalytic synthesis of light alkenes from syngas [J]. Fuel Processing Technology, 2014, 125: 119 - 124.
- [19] Tao Z, Yang Y, Wan H, *et al.* Effect of manganese on a potassium-promoted iron-based Fischer-Tropsch synthesis catalyst[J]. Catalysis Letters, 2007, 114(3/4): 161 - 168.
- [20] Tao Z, Yang Y, Zhang C, *et al.* Study of manganese promoter on a precipitated iron-based catalyst for Fischer-Tropsch synthesis[J]. Journal of Natural Gas Chemistry, 2007, 16(3): 278 - 285.
- [21] Li T, Wang H, Yang Y, *et al.* Effect of manganese on the catalytic performance of an iron-manganese bimetallic catalyst for light olefin synthesis[J]. Journal of Energy Chemistry, 2013, 22(4): 624 - 632.
- [22] Tao Z, Yang Y, Ding M, *et al.* Effect of calcination behaviors on precipitated iron-manganese Fischer-Tropsch synthesis catalyst[J]. Catalysis Letters, 2007, 117(3/4): 130 - 135.
- [23] McCue A J, Anderson J A. Sulfur as a catalyst promoter or selectivity modifier in heterogeneous catalysis [J]. Catalysis Science & Technology, 2014, 4(2): 272 - 294.
- [24] Bromfield T C, Coville N J. The effect of sulfide ions on a precipitated iron Fischer-Tropsch catalyst [J]. Applied Catalysis A: General, 1999, 186(1): 297 - 307.
- [25] Galvis H M T, Koeken A C J, Bitter J H, *et al.* Effects of sodium and sulfur on catalytic performance of supported iron catalysts for the Fischer-Tropsch synthesis of lower olefins[J]. Journal of Catalysis, 2013, 303: 22 - 30.
- [26] Zhou X, Ji J, Wang D, *et al.* Hierarchical structured α -Al₂O₃ supported S-promoted Fe catalysts for direct conversion of syngas to lower olefins [J]. Chemical Communications, 2015, 51(42): 8853 - 8856.
- [27] 陈嘉宁, 刘永梅. K, Mn 助剂协同效应对 Fe 基催化剂上 CO 加氢制低碳烯烃反应性能的影响[J]. 燃料化学学报, 2013, 41(12): 1488 - 1493.
- [28] Zhang Y, Ma L, Tu J, *et al.* One-pot synthesis of promoted porous iron-based microspheres and its Fischer-Tropsch performance[J]. Applied Catalysis A: General, 2015, 499: 139 - 145.
- [29] Liu Y, Chen J F, Bao J, *et al.* A Manganese modified Fe₃O₄ Microsphere catalyst with effective active phase of forming light olefins from syngas[J]. ACS Catalysis, 2015, 5: 3905 - 3909.
- [30] Casavola M, Hermannsdörfer J, de Jonge N, *et al.* Fabrication of Fischer-Tropsch catalysts by deposition of iron nanocrystals on carbon nanotubes [J]. Advanced Functional Materials, 2015, 25(33): 5309 - 5319. ■

赢创工业化生产生物表面活性剂

2016年7月,来自赢创中国的消息称,赢创工业集团正工业化生产生物表面活性剂。

迄今为止,表面活性剂几乎完全是经合成工艺生产的。最常用的原材料是石油和热带油,例如棕榈仁油和椰子油。但事实上,微生物(例如酵母和细菌)也可以生产表面活性剂。赢创是全球第一家使用生物技术批量生产高品质表面活性剂的企业。该成果是赢创生物技术、工艺工程和界面化学领域的专家历时5年多研发工作的结晶。公司主要将这种新型生物表面活性剂推向具吸引力的增长市场,应用于民用和个人护理产品。

首款含有赢创生物表面活性剂的家用清洁剂已在超市中有售。该产品含有槐糖酯,这种物质由酵母天然产生,也存在于雄峰的蜂蜜中以及其他来源。赢创位于斯洛伐克 Slovenská L'upča 的工厂在生产槐糖酯。赢创计划与主要的国际客户紧密合作,加速槐糖酯的应用。公司的科学家们亦在努力改进生产工艺,以期实现更大规模地生产。

赢创还计划开发并推广另一种生物表面活性剂——鼠李糖酯。该物质具有优异的发泡性,有望开辟新的应用领域。目前,位于 Slovenská L'upča 的生产基地正建设试点工厂,将通过发酵的方式生产鼠李糖酯。(施嘉)