

一、个人简历

申文杰，男，1966年10月生，工学博士，研究员，博士生导师。1988年毕业于国防科技大学，获理学学士学位；1991年毕业于太原理工大学，获工学硕士学位；1995年毕业于中国科学院山西煤炭化学研究所，获工学博士学位；1996-1998年韩国化学研究院博士后；1998—2001年日本经济省工业技术研究院（AIST）大阪工业技术研究所产业技术研究员；2001年入选中科院“百人计划”，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催化反应化学课题组长、研究员、博士生导师。《催化学报》、《科学通报》、《燃料化学学报》、《工业催化》编委。

主要从事催化材料和催化反应过程的应用基础研究，针对能源和环境的重要反应过程涉及的催化剂的高活性、高选择性、高稳定性，开展催化材料制备化学、结构分析表征、反应机理及动力学研究。在催化材料制备方面以调控催化组分的尺寸和形貌为导向，系统研究催化剂制备的溶液化学、粒子尺寸和形貌的可控合成、金属-载体相互作用机制。涉及的主要催化材料包括：贵金属纳米粒子、氧化铈及其复合氧化物、过渡金属（Fe、Co、Ni）及其氧化物、固体酸碱金属氧化物。催化反应化学研究着重于能源和环境的关键过程，包括：生物质衍生化合物催化制氢和精细化学品、甲醇/二甲醚催化转化制醋酸系列化合物、甲烷催化裂解制氢、低碳含氧化合物低温氧化、精细化学品选择加氢/脱氢。自2001年以来，共发表研究论文109篇。其中以通讯联系人或第一作者在国际催化和材料刊物发表论文56篇。截至2010年9月，被引用1104次。关于四氧化三钴纳米催化的形貌效应研究发表在《自然》（Nature 458 (2009) 746-749）杂志上。作为主要组织者之一参与主持大型国际催化会议两次，与李灿院士、Prof. K. Domen、Prof. D. Trimm共同以客座编辑主编Catalysis

Today 三卷。

近年来，作为项目负责人主持科技部 973 项目子课题 1 项，国家自然科学基金优秀国家重点实验室研究项目 1 项，国家自然科学基金 3 项，英国石油公司（BP）和美国通用汽车公司（GM）的国际合作项目 6 项。

二、主要科研工作简述

针对多相催化反应的活性位调控，结合材料科学的最新进展，开展催化材料制备技术，在纳米尺度上调变金属和金属氧化物粒子尺寸和形貌，提高活性位的优先暴露和表面密度；跟踪反应过程中活性位的变化规律，优化催化材料的化学组成和物理结构（尺寸和形貌），实现催化材料在真实反应条件下的高活性、高选择性、高稳定性；结合原位动态表征技术和化学动力学剖析催化材料在反应条件下的微观结构和化学性能，建立催化材料结构性质和反应性能的关联；将尺寸和形貌可控的催化材料用于能源和环境过程的重要反应过程，提高催化反应的整体效率。

代表性工作之一：负载型催化剂中纳米粒子的尺寸效应

多相催化本质上是发生在纳米尺度上的化学现象，如体相的金属或金属氧化物材料往往非常稳定但不具有明显的催化活性，当其空间的某一个或几个维度减小到纳米尺度时，表现出与催化反应直接相关的表面效应和量子尺寸效应。由于表面原子配位不饱和，产生很多活性中心、结构缺陷等，表现出表面效应；粒子尺寸减小到纳米级时，其费米能级附近的电子能级也将发生离散现象，表现为量子尺寸效应。这种尺寸效应取决于纳米粒子的大小及其粒度分布、化学组成等。研究了常用

的负载型催化剂体系，发现金属粒子和氧化物载体都具有明显的尺寸效应，两种组分纳米尺寸的变化引起金属-载体界面结构（晶粒间界或多相界面）和相互作用方式的改变，进而影响催化反应性能，主要结论分述如下。

1.1 金属-载体相互作用方式决定反应性能

考察了 Cu/CeO₂ 催化剂中金属与载体的相互作用方式，发现：① 在一定的铜含量范围内，CuO 和 CeO₂ 可以形成稳定的固溶体结构并产生大量氧空穴，具有较高的氧化还原能力，在甲醇重整制氢反应过程表现出很高的活性和氢气选择性。② Cu/CeO₂ 催化剂的金属-载体相互作用方式与制备过程中形成的结构密切相关，具有较强的 CuO 与 CeO₂ 相互作用和氧化还原能力的催化剂表现出很高的 CO 氧化活性；催化性能和表面 Cu 的价态密切相关，铜物种的化学状态取决于金属-载体相互作用程度（如图 1 所示）。

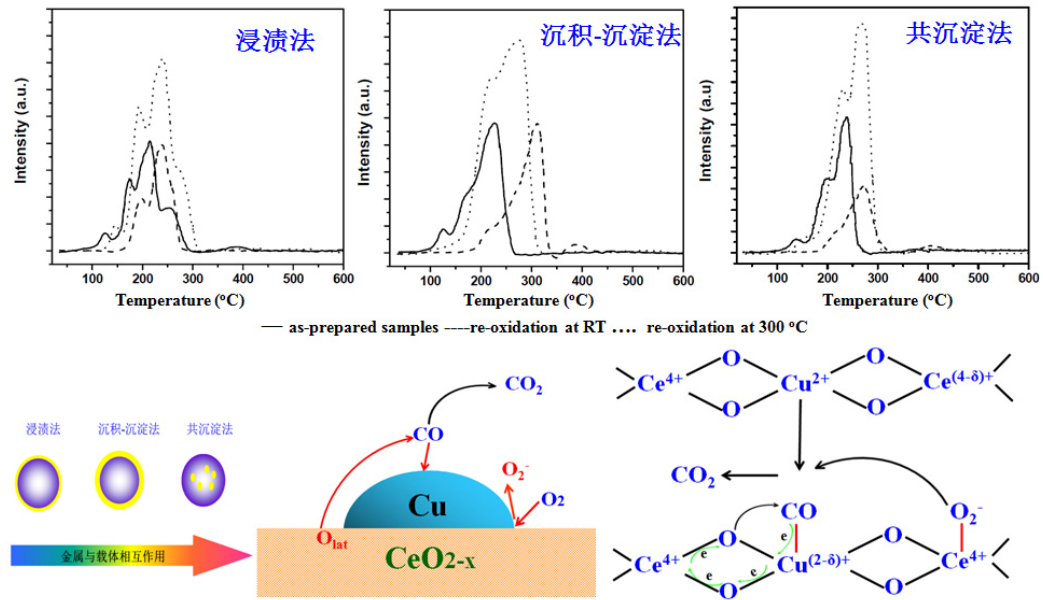


图 1 CuO/CeO₂ 催化剂的氧化还原过程及相互作用机制

相关工作发表在 *Applied Catalysis A: General* 246 (2003) 1-9; *Chemistry of Materials* 15 (2003) 4761-4767; *Journal of Catalysis* 228 (2004) 206-217; *Catalysis Letters* 97 (2004) 163-169; *Catalysis Today* 93 (2004) 191-198; *Applied Catalysis A: General* 288 (2005) 116-125; *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 235 (2005) 122-129 等刊物上。截至 2010 年 9 月, *Carbon monoxide oxidation over CuO/CeO₂ catalysts* (*Catalysis Today* 93 (2004) 191-198)一文被引用 69 次; *Oxidative steam reforming of methanol on Ce_{0.9}Cu_{0.1}O_y catalysts prepared by deposition-precipitation, coprecipitation, and complexation-combustion methods* (*Journal of Catalysis* 228 (2004) 206-217) 一文被引用 64 次; *Structural characteristics and redox behaviors of Ce_{1-x}Cu_xO_y solid solutions* (*Chemistry of Materials* 15 (2003) 4761~4767) 一文被引用 61 次; *CuO/CeO₂ catalysts: Redox features and catalytic behaviors* (*Applied Catalysis A: General* 288 (2005) 116-125) 一文被引用 42 次。

1.2 载体有效稳定细小金属纳米粒子

生物质乙醇制氢具有环境友好和能量利用率高等特点, 乙醇重整制氢反应的本质是 C-C 键断裂、在 C 原子上加氧脱氢的过程, 因此要求催化剂能够在较低温度下断裂 C-C 键, 并具有很好的甲烷重整和水汽变换性能, 同时也要有一定的活化水分子和分子氧的能力, 能够产生活性氧物种以移除催化剂表面的积炭。据此, 开发了新型高效 Ir/CeO₂ 催化剂。①在乙醇水汽重整、部分氧化、氧化重整制氢反应中均表现出了很高的活性和稳定性, 即使在化学计量比的反应条件下, 923 K 反应 60-300 小时后催化剂也没有明显积炭生成 (见图 2)。② 2-3 nm 的金属 Ir 粒子在较低温度下即可有效活化 C-C 键, CeO₂ 载体快速活化分子水和氧, 并通过金属-载体相互作用保持金属 Ir 粒子在反应条件下的高度分散, 有效抑制了金属粒子的聚集。③ 催化剂的结构在长时间 (300 h) 测试后发生了重构, Ir 粒子(2-3 nm)仍然高度分散在载体上, 但

载体 CeO₂的形貌发生了改变，由反应前 6 nm 的球形粒子转变成 22 nm 的多边形立方体。这种多边形立方体结构的 CeO₂ 暴露更多活性的表面（{110}和{100}），虽然粒子尺寸有所增大，但其氧化还原性能由于这些高活性晶面的暴露并没有降低，甚至还略有提高，因此保持了持续的反应稳定性。

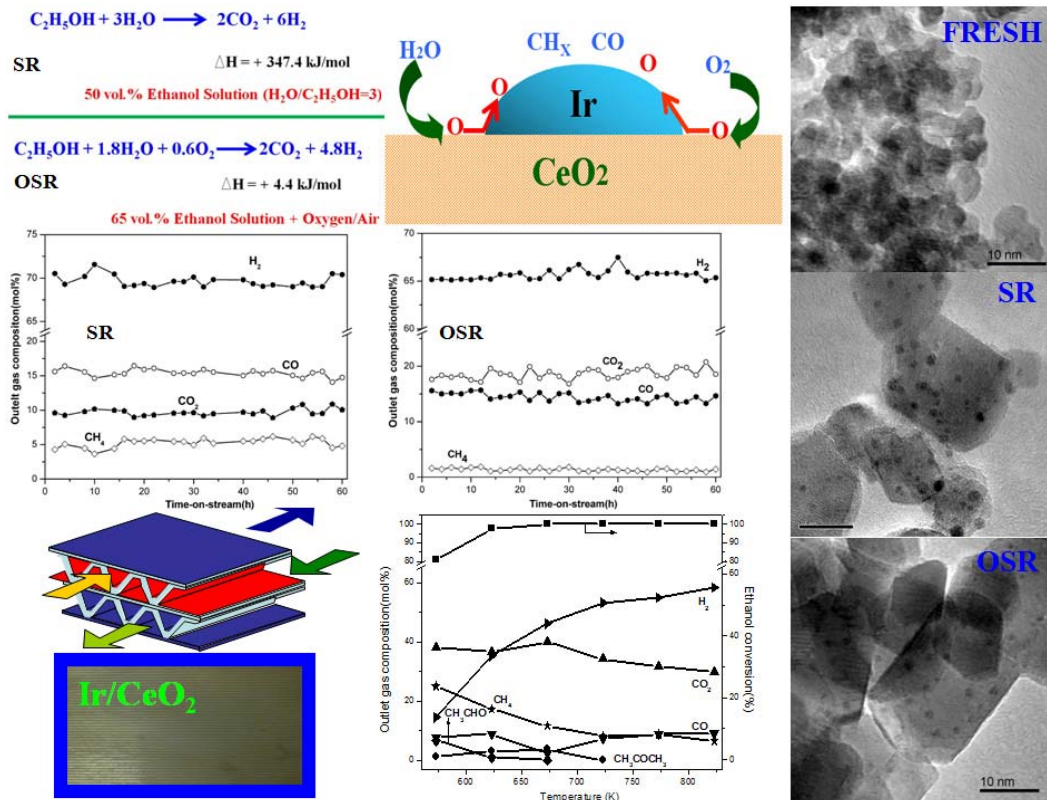


图 2 Ir/CeO₂催化剂上乙醇水汽重整(SR)和自热重整(OSR)反应

相关工作发表在 *Catalysis Communications* 7 (2006) 367-372; *Catalysis Communications* 8 (2007) 1588-1594; *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007) 2367-2373; *Journal of Catalysis* 257 (2008) 96-107; *Catalysis Today* 138 (2008) 152-156; *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 4377-4386; *Topics in Catalysis* 51 (2008) 22-38; *Catalysis Today* 146 (2009) 31-36等刊物上。截至2010年9月，*Hydrogen production from steam reforming of ethanol and glycerol over ceria-supported metal catalysts* (*International Journal of Hydrogen Energy* 32

(2007) 2367-2373)一文被引用**60**次, *Steam reforming of bio-ethanol for the production of hydrogen over ceria-supported Co, Ir and Ni catalysts (Catalysis Communications 7 (2006) 367-372)*一文被引用**42**次; *Hydrogen production from ethanol over Ir/CeO₂ catalysts: A comparative study of steam reforming, partial oxidation and oxidative steam reforming (Journal of Catalysis 257 (2008) 96-107)*一文被引用**16**次, 并入选2008年度中国百篇最具影响国际学术论文。

1.3 金属粒子尺寸不仅影响反应活性而且还影响产物选择性

对S-脯氨酸 (S-proline) 修饰的Pd/MgO催化剂, 研究了Pd粒子大小对异佛尔酮不对称加氢生成3,3,5-三甲基环己酮 (TMCH) 的影响规律。发现钯粒子尺寸不仅影响反应速率, 而且还是决定反应产物立体构型的关键因素, 提出了钯催化剂上异佛尔酮不对称加氢反应的可能机理 (见图3)。① 在脯氨酸修饰的钯催化剂上, 观察到了钯粒子的尺寸效应。当钯粒子小于4 nm时S-TMCH产物过量; 当钯粒子大于10 nm时R-TMCH产物过量。② 明确提出了异佛尔酮不对称加氢反应途径取决于金属钯粒子的大小: 在Pd粒度较小(< 4 nm)的催化剂上, 异佛尔酮倾向于快速加氢得到S-TMCH; 而在Pd粒子较大(>10 nm)的催化剂上, 异佛尔酮优先与脯氨酸形成中间物, 后者再在催化剂表面不对称加氢, 得到R-TMCH产物。上述结果表明金属粒子的尺寸效应在多相手性加氢反应中不仅影响反应活性而且还影响产物选择性。

相关工作已经发表在 *Catalysis Communications 8 (2007) 1239-1243; Catalysis Today 131 (2008) 347-352; Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 304 (2009) 88-94*。申请中国专利一项 (可调控金属粒度的催化剂及其在控制立体构型中的应用, 申请号: 200810010792.5)。

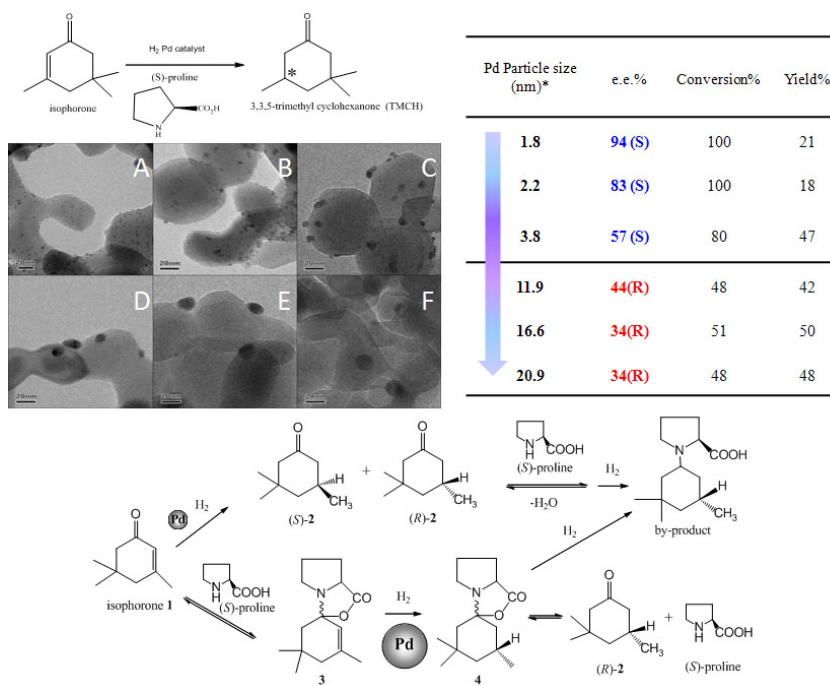


图3 Pd/MgO催化剂上Pd粒子大小对异佛尔酮不对称加氢性能的影响

代表性工作之二：纳米催化中的形貌效应

如上所述，调变纳米粒子尺寸会改变反应物的吸附和活化状态，从而影响催化反应性能，这也是多年来纳米催化研究的重点领域。但是，纳米材料的物理化学性质不仅依赖于其尺寸效应，而且也跟其形貌密切相关。不同形貌的纳米材料暴露的晶面不同，对应的原子间距和配位数也不同，表面性能各异，因此活化反应物的能力也会有所不同，进而导致催化反应性能的差异，即纳米催化中的形貌效应。就其实质而言是纳米晶面的择优取向效应。近年来系统研究了金属和金属氧化物纳米棒、纳米线、纳米立方体等一维结构的形貌效应，并对其催化本质有了较为深入的理解和认识，重要结论分述如下。

2.1 形貌效应提高金属粒子的稳定性

纤维 Ni 纳米材料: 对于非负载型金属镍催化剂，由于没有载体的分散和保护作用，采用传统方法制备的球形氧化镍纳米粒子在高温氢气还原条件下很容易聚集，形成活性很低的大尺寸纳米粒子。利用形貌效应调节金属镍粒子尺寸，发现：①在乙二醇溶液中沉淀醋酸镍可得到具有类水滑石稳定结构的 α -Ni(OH)₂，在 573-1073K 焙烧后得到纤维状结构的氧化镍(3.0-8.1nm)；经氢气还原后即可得到纤维状的金属镍(9~11 nm)，见图 4。②将这类新型的纤维镍用于粒子尺寸敏感的甲烷裂解反应，碳纳米纤维的收率可以达到 503 g C/g Ni，这是目前该反应中最高积碳量之一；③在反应初期 11 nm 的镍粒子下迅速长大到 18 nm，随后一直稳定在 20 nm 左右；金属镍在碳纤维的顶端以梨形的形式存在，且暴露{100}和{111}活性晶面，利于甲烷裂解。

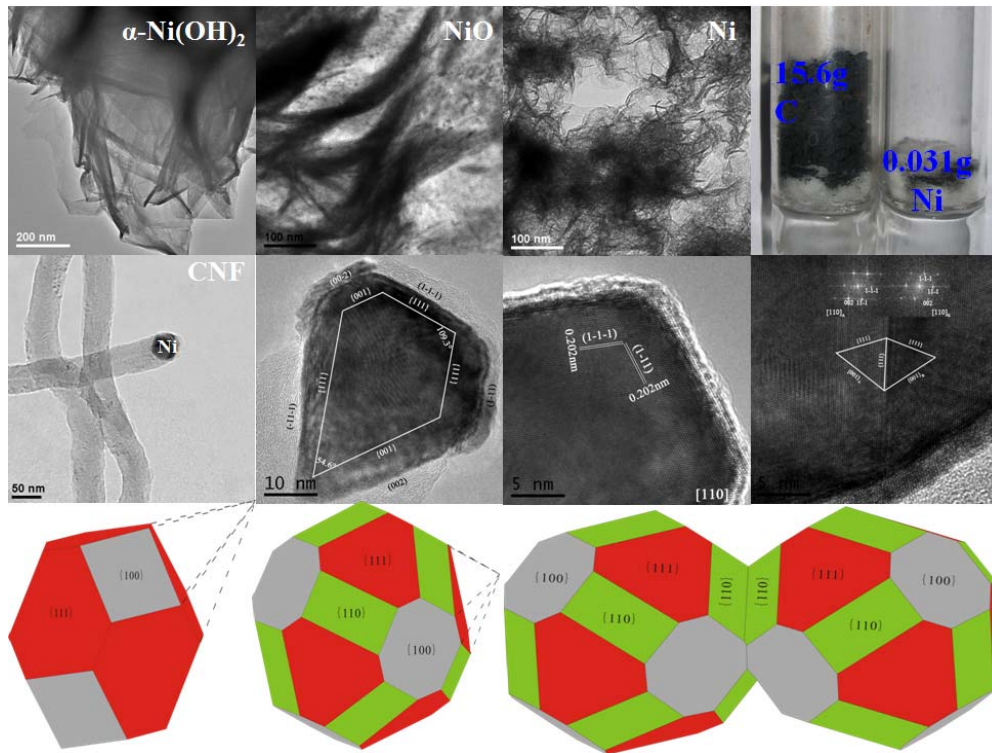


图 4 非负载型金属镍催化剂上的甲烷裂解制氢和碳纳米纤维

相关工作发表在 *Journal of Catalysis* 238 (2006) 412-424 (截至2010年9月, 已被引用36次); *Materials Letters* 60 (2006) 750-753; *Chemical Engineering Journal* 136 (2008) 398-408等刊物上。申请美国专利三项 (*Ni and Ni/NiO core-shell nanoparticle*, 美国专利公开号 (US20070166455 A1, 公开日期: July 19, 2007); *Method of making NiO and Ni nanostructures*, 美国专利公开号 (US20080019901 A1, 公开日期: January 24, 2008, 申请号: 11/488596, 世界专利公开号: WO2008/011256 A1; 公开日期: January 24, 2008, 申请号: PCT/US2007/072439); *Nickel oxide nanoparticle as catalyst precursor for hydrogen production*, 美国专利申请号: 11/069324, 世界专利公开号: WO2007/100333 A1; 公开日期: September 7, 2007, 申请号: PCT/US2006/ 007688)。授权专利一项 (*Nickel oxide nanoparticles as catalyst precursor for hydrogen production*, 美国专利号: US 7,470,647; 授权日期: December 30, 2008)。

金属 Co 纳米材料: 以硬脂酸等为表面活性剂, 采用溶剂热合成方法制备了 Co、CoNi、CoCu 合金等形貌可控的纳米材料 (如图 5 所示)。结果表明: ① 溶液碱度对 Co 纳米材料的形貌有决定性的影响, 在较低的碱度下, 形成 Co 纳米棒和长达 1000 nm 的纳米线; 对生长机理的研究表明, 硬脂酸钴和烷氧基钴中间相在反应的起始阶段生成, 控制 Co 晶粒的成核并沿着 [001] 方向生长成纳米线; Co 纳米线可有效催化丙三醇氢解制丙二醇, 丙三醇的转化率和丙二醇选择性分别达到 83%和 61%。② 以有机胺为结构导向剂, 通过醇热还原的方法合成了由纳米棒组装成的 Co 纳米花二级结构; 通过选择有机胺碳链长度和有机胺的浓度, 可以调节纳米花的尺寸。③ 通过制备条件的精细控制, 特别是利用硬脂酸浓度和温度等控制溶液中 Co^{2+} 的还原和蚀刻平衡, 合成了具有空心结构的由纳米棒组成的 Co 微球和巢状结构。

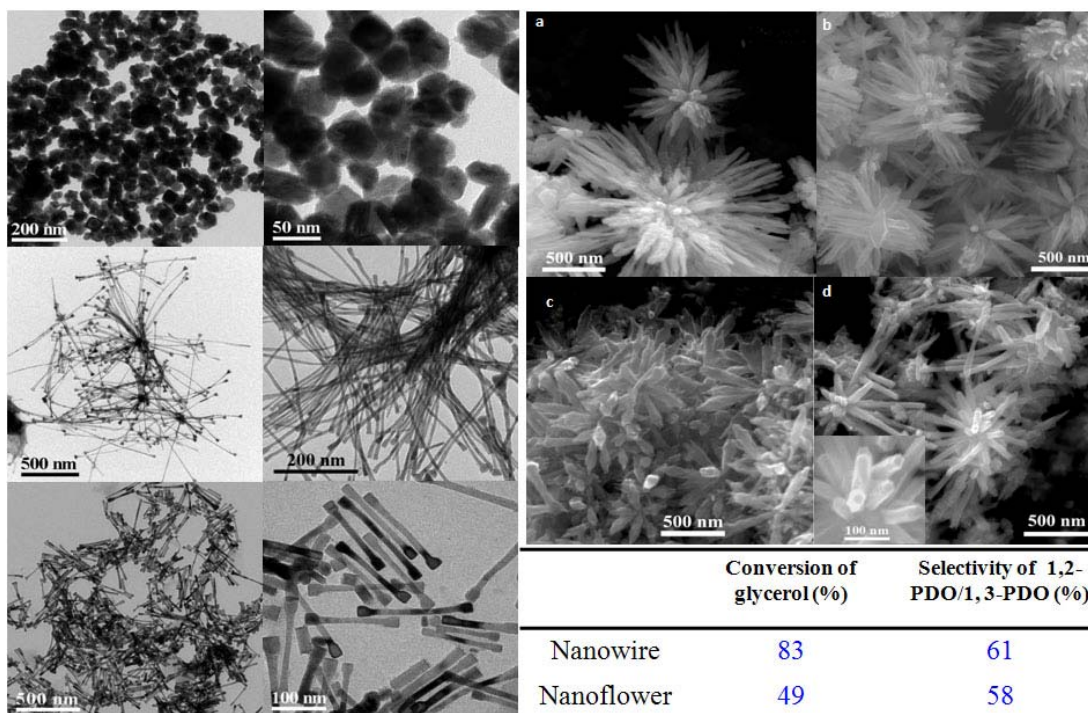


图5 形貌可控的金属钴纳米材料

相关工作发表在 *Nanotechnology* 19 (2008) 365608 (9pp), *The Journal of Physical Chemistry C*, 113 (2009) 3436-3441; *Langmuir* 25 (2009) 6425-6430; *Materials Letters* 63 (2009) 1407-1409; *Applied Catalysis A: General*, 371 (2009) 108-113 等刊物上。

2.2.形貌效应通过晶面择优提高表面活性位密度

通过对多元醇制备技术的精确调控，制备了优先暴露{110}晶面的 Co_3O_4 纳米棒（图 6），其表面积约占整个表面的 40%。而通常所制备的纳米粒子则优先暴露{111}晶面。在 Co_3O_4 晶体结构中，{110}晶面含有 Co^{3+} ，是 CO 氧化反应的高活性晶面，而{111}晶面由于仅有 Co^{2+} ，其 CO 氧化能力较低。这种优先暴露高活性{110}晶面的 Co_3O_4 纳米棒即使在 196 K 的低温条件下，CO 转化率仍可达到 100%，并具有很高的催化稳定性，表现出比纳米金催化剂更好的低温 CO 氧化性能。动力学实验表明这是一个表面反应控制的催化反应过程，纳米棒的高活性在于暴露较多的活性位。

Co₃O₄ 纳米棒上 CO 氧化的反应速率是 Co₃O₄ 纳米粒子的 8-10 倍。再生实验表明，Co₃O₄ 纳米棒的可逆失活是由于在反应过程中表面碳酸盐的累积，经过 10 次再生循环后仍然表现出很高的活性和稳定性，特别是在接近汽车发动机冷启动的条件下可以高效催化 CO 和低碳烃氧化。通过调节催化剂粒子尺寸来提高反应性能是纳米催化研究的常规方法，该工作从原子、分子尺度上证明了催化材料的形貌也是设计和制备高效催化剂的关键因素。通过改变催化剂的形貌可以定量的设计和优先暴露高活性晶面，进而提高活性中心的表面密度。这种通过形貌控制优先暴露活性晶面的方法还可以适用于其他金属氧化物体系，对纳米催化的基础研究和开发新一代高性能的金属氧化物催化剂提供了重要的理论和实践基础。

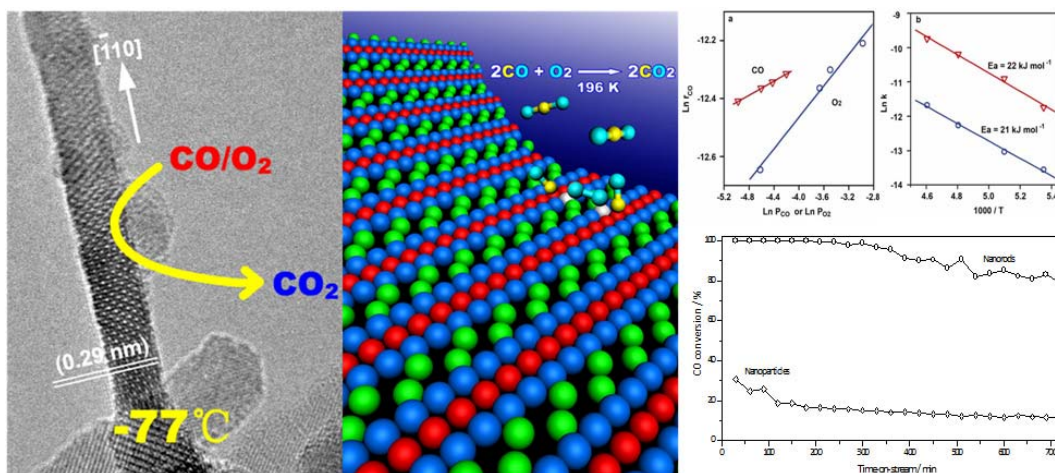


图 6 Co₃O₄ 纳米棒催化 CO 低温氧化反应

相关研究工作发表在 *Nature* 458 (2009) 746-749; *Nanoscale* 1 (2009) 50–60 (Feature Article); *The Journal of Physical Chemistry C* 114 (2010) 2116–2123 等刊物上。*Chemical & Engineering News*、*Nature China*、*Nature Asia Materials*、*Nature Chemistry* 等均进行了相关报道。自 2009 年 4 月 9 日《自然》杂志发表后，到 2010 年 9 月，该文已被引用 58 次。

2.3. 形貌效应调变金属氧化物的氧化还原性能

CeO₂ 纳米材料: CeO₂ 具有独特的氧化还原性能, 广泛应用于多相催化反应中。小尺寸、大比表面积 CeO₂ 纳米颗粒表现出了较高的催化活性, 即纳米催化中的粒子尺寸效应。但是 CeO₂ 的催化性能不仅与粒子大小有关, 而且与其形貌也密切相关。采用液相合成方法制备了 CeO₂ 纳米棒、纳米立方体、纳米粒子 (图 7), 纳米棒的长度为 100-300 nm, 直径为 10-20 nm, 纳米粒子和立方体的粒径分别在 10-20 和 20-60 nm 之间。纳米棒和纳米粒子具有相近的晶体尺寸, 分别是 13 nm 和 15 nm, 但是纳米棒由于显露较多的 {110} 晶面而较纳米粒子具有很高的储氧量。这三种不同形貌的 CeO₂ 纳米材料的 CO 氧化活性依次为: 纳米棒 > 纳米粒子 > 立方体, 证实了 CeO₂ 纳米材料的形貌效应。在此基础上, 还制备了氧化铈纳米线, 由于其较高的长径比和暴露更多活性 {110} 和 {100} 晶面, 表现出较纳米棒更高的氧化还原性能和低温 CO 氧化、水气变换活性。更为重要的是这种暴露较多 {110} 和 {100} 晶面的氧化铈纳米线与金纳米粒子有很强的粘合力, 负载的金粒子即使经过 773 K 焙烧后仍然保持在 2-5 nm, 这是以往氧化铈纳米粒子 (主要暴露 {111} 晶面) 负载的金催化剂难以比拟的。由此得到的 Au/CeO₂-wire 催化剂不仅具有优异的低温 CO 氧化和 WGS 活性, 而且具有很好的反应稳定性, 其原因在于氧化铈纳米线表面的活性晶面通过强相互作用抑制金纳米粒子在反应条件下的聚集。

相关工作发表在催化学报 29 (2008) 823-830; 催化学报 29 (2008) 1170-1172; Catalysis Today 148 (2009) 179-183 等刊物上。其中“纳米尺度 CeO₂ 在多相催化反应中的形貌效应 (催化学报 29 (2008) 823-830) 一文是应邀为《催化学报》撰写的综述性文章。

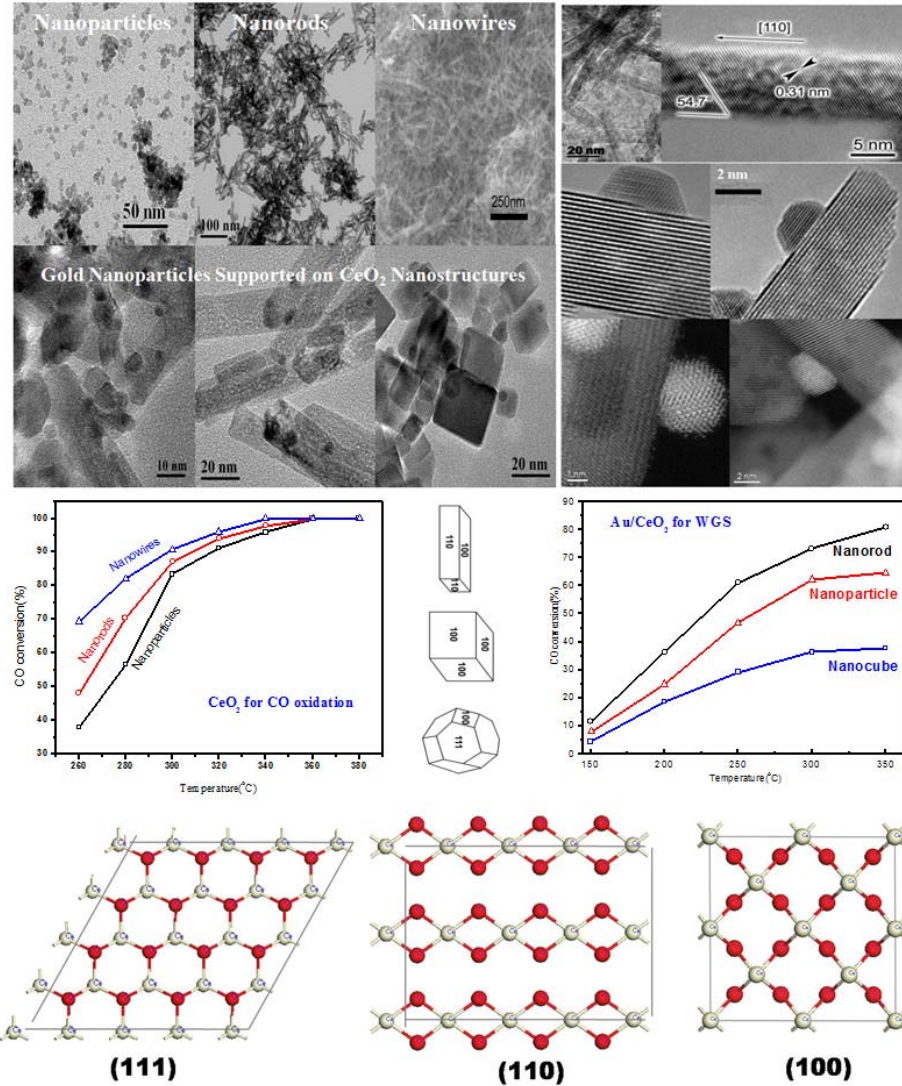


图 7 形貌可控的氧化铈纳米材料

Fe_2O_3 纳米材料: 氧化铁是重要的多相催化材料，但大都是作为球形纳米粒子或者负载于特定的载体上用于催化反应。通过对铁盐水解速度和沉淀速度的精确控制，制备了 $FeOOH$ 纳米棒前驱体。对上述前驱体进行高温焙烧得到了多孔结构的 $\alpha-Fe_2O_3$ 纳米棒；通过对后处理条件的精确调控还可以得到多孔状的 $\gamma-Fe_2O_3$ 纳米棒（图 8）。这种多孔状的一维氧化铁纳米棒具有优异的 NH_3 -SCR $DeNO_x$ 催化性能和良好

的结构稳定性。在 373 K 开始催化 NO_x 消除反应，NO_x 转化率在 443 K 达到 80%。即使在 673 K，NO_x 转化率仍然维持在 80%。如此宽的操作温度窗口是已有 DeNO_x 催化剂难以比拟的。在模拟机动车尾气组成的反应条件下，该氧化铁纳米棒经多次温度升降变化，均没有表现出催化性能的下降；长时间（100 h）稳定性测试也表明其结构非常稳定，反应后样品的电镜分析没有发现晶体结构和暴露晶面的变化。这种结构稳定的 γ -Fe₂O₃ 纳米棒表面及孔道内暴露较多的高指数晶面，同时也暴露一定量的铁原子，有利于反应底物氨气和分子氧的吸附活化，因而提高了与 NO_x 的反应性能，是潜在的高性能 NH₃-SCR DeNO_x 催化剂。

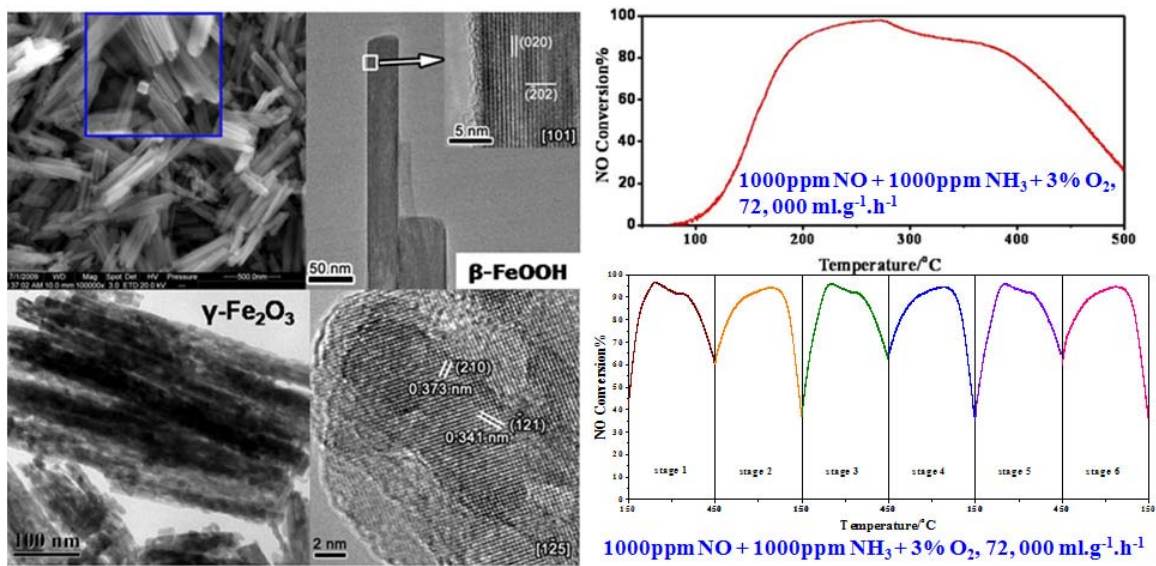


图 8 多孔氧化铁纳米棒的可控合成

2.4 形貌效应调变金属氧化物的酸碱性能

在上述材料中得到证实的纳米催化中的形貌效应，不仅适应于具有氧化还原性能的金属氧化物，而且也适用于具有酸碱性能的金属氧化物催化材料。比如，所制备 La₂O₃ 纳米棒由于表面暴露晶面的不同，其表面碱性较通常的纳米粒子高出许多（见图 9）。纳米棒优先暴露的{110}晶面氧配位数小，具有较强的碱性，这不仅有利

于反应底物的吸附活化，而且还有利于负载金属纳米粒子的取向落位，形成特定晶面上的高活性区域。 La_2O_3 纳米棒负载的铜纳米粒子（约 4 nm）在一级醇氢转移脱氢反应中表现出非常高的活性和选择性，在 423 K 即可催化非常难以活化的一级脂肪醇，如 1-己醇、1-庚醇、1-辛醇、正癸醇，发生脱氢转移反应生成相应的醛。而目前报道的催化剂体系用于一级脂肪醇的转移脱氢反应时活性普遍较低，最高收率不超过 20%。这类新型结构催化剂不仅使得醛的收率达到 75-95%，同时还具有稳定的循环使用特性。氧化镧纳米棒的这种优异性能在于其表面暴露的 {110} 晶面具有较多的碱性位，一方面有利于醇的吸附活化，另一方面也促进了纳米铜粒子的脱氢能力，二者的协同效果实现了目标反应的高性能。

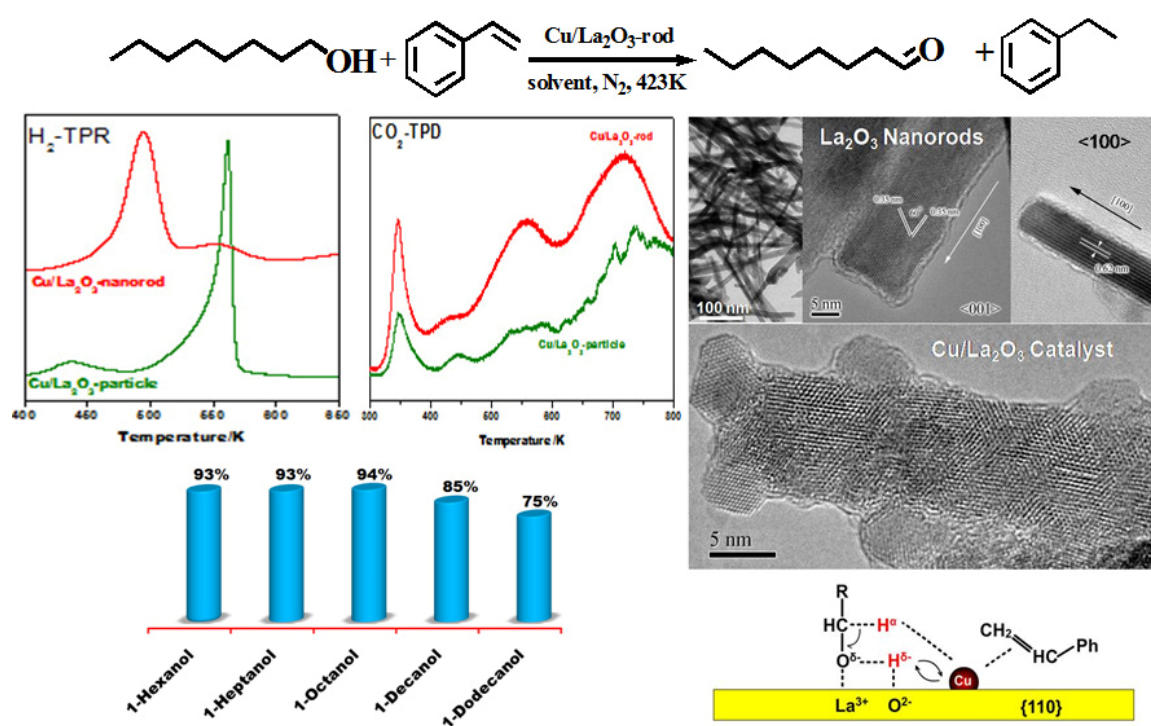


图 9 $\text{Cu}/\text{La}_2\text{O}_3$ 纳米棒催化剂上的一级醇脱氢反应

相关工作发表在催化学报 28 (2007) 106-108; *Catalysis Communications* 11 (2009) 306-309;

Green Chemistry 12 (2010) 108-113; 催化学报 31 (2010) 626-630 等刊物上。

利用纳米催化剂材料的可控合成和结构性能的原位动态表征认识催化反应的活性位是多相催化的核心问题。从上述内容可以看出，申请人近年来对纳米催化中的尺寸效应、形貌效应等关键问题进行了深入的研究。这些工作建立在催化材料的可控制备，特别是对纳米粒子的尺寸、形貌的可控合成。制备了金属粒子尺寸可控的负载型催化剂，系统研究了纳米粒子大小、表面形态、表面结构以及金属-载体相互作用机制对其催化性能的影响；通过对金属及金属氧化物的形貌控制，实现了活性晶面的优先暴露和活性位的表面富集，大幅度提高了催化反应性能，建立了催化剂的形貌、结构与催化性能的关联，为利用形貌控制的概念设计和制备新一代高效催化剂提供了理论分析和实践基础。

三、代表性论文和/或授权专利（限十篇）

1. Xiaowei Xie, Panju Shang, Zhiquan Liu, Yongge Lv, Yong Li, **Wenjie Shen***, Synthesis of Nanorod-Shaped Cobalt Hydroxycarbonate and Oxide with the Mediation of Ethylene Glycol, *The Journal of Physical Chemistry C* 114 (2010) 2116-2123.
2. Xiaowei Xie, Yong Li, Zhi-Quan Liu, Masatake Haruta, **Wenjie Shen***, Low-temperature oxidation of CO catalysed by Co_3O_4 nanorods, *Nature* 458 (2009) 746-749.
3. Qiying Liu, Xiaohui Guo, Yong Li, **Wenjie Shen***, Hierarchical Growth of Co Nanoflowers Composed of Nanorods in Polyol, *The Journal of Physical Chemistry C* 113 (2009) 3436–3441.
4. Qiying Liu, Xiaohui Guo, Yong Li, **Wenjie Shen***, Synthesis of Hollow Co Structures with Netlike Framework, *Langmuir* 25(2009) 6425–6430.
5. Xiaowei Xie, **Wenjie Shen***, Morphology control of cobalt oxide nanocrystals for

- promoting their catalytic performance, *Nanoscale* 1 (2009) 50–60.
6. Weijie Cai, Fagen Wang, Ensheng Zhan, A. C. Van Veen, Claude Mirodatos, **Wenjie Shen***, Hydrogen production from ethanol over Ir/CeO₂ catalysts: A comparative study of steam reforming, partial oxidation and oxidative steam reforming, *Journal of Catalysis* 257 (2008) 96-107.
 7. Junli Chen, Xingfu Tang, Junlong Liu, Ensheng Zhan, Juan Li, Xiumin Huang, **Wenjie Shen***, Synthesis and Characterization of Ag-Hollandite Nanofibers and Its Catalytic Application in Ethanol Oxidation, *Chemistry of Materials* 19 (2007) 4292-4299.
 8. Baocai Zhang, Xiaolan Tang, Yong Li, Yide Xu, **Wenjie Shen***, Hydrogen production from steam reforming of ethanol and glycerol over ceria-supported metal catalysts, *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007) 2367-2373.
 9. Yong Li, Baocai Zhang, Xiaowei Xie, Junlong Liu, Yide Xu, **Wenjie Shen***, Novel Ni catalysts for methane decomposition to hydrogen and carbon nanofibers, *Journal of Catalysis* 238 (2006) 412–424.
 10. Xingfu Tang, Yonggang Li, Xiumin Huang, Yide Xu, Huaqing Zhu, Jianguo Wang, **Wenjie Shen***, MnO_x–CeO₂ mixed oxide catalysts for complete oxidation of formaldehyde: Effect of preparation method and calcination temperature, *Applied Catalysis B: Environmental* 62 (2006) 265–273.