


## 中科院大连化物所“优秀青年博士人才”申请表

姓 名	焦峰	性 别	男	出生年月	1990.12	
出生地	安徽	婚姻状况	未婚	政治面貌	团员	
毕业学校及专业	中国科学院大学 物理化学		学历/学位	博士		
工作单位及职务	无					
联系方式	电话：13842892801 邮箱：jiaofeng@dicp.ac.cn					
<p><b>学习及工作经历：</b>                  （从高中开始填起，内容包括时间、单位、学位、所学专业、从事专业、专业技术职务情况，时间段要连续，准确到月份，在职学习请注明）</p> <p><b>2013年9月-2018年5月</b> 中国科学院大连化学物理研究所，博士学位，物理化学专业；</p> <p><b>2009年9月-2013年6月</b> 中国科学技术大学，学士学位，物理化学专业；</p> <p><b>2006年9月-2009年6月</b> 安徽省马鞍山市第二中学，高中。</p>						

如内容较多，本栏目填不下时，可另纸接续（下同）。

### 主要学术成就、科技成果及创新点：

合成气作为煤、天然气、生物质高效利用的平台可以被催化转化为高附加值的化工产品，其研究意义重大并一直受到人们的广泛关注和研究。近百年来，合成气转化的研究主要集中在经典费托合成及其改性路径上，虽然取得了许多进展，但也暴露出费托路径的一些缺陷：一方面费托路径使用金属或金属碳化物作为催化剂，C-O 键活化与 C-C 偶联在同一个表面进行，导致这两个关键步骤的精确控制难以兼顾，转化率与选择性往往存在“跷跷板效应”；另一方面费托过程遵循表面链增长机理，产物的碳数分布宽，一般符合 ASF 模型分布，因而其目标产物的选择性存在理论瓶颈，限制了该过程的工业应用。要突破传统费托合成的不足，实现合成气高效转化利用，只有从原理出发，抛弃传统费托路径，寻找新的合成气转化的路径。申请者在大连化物所攻读博士期间，围绕非费托路径合成气转化展开，开发了一系列高性能双功能催化剂，并对反应机理进行了系统深入的研究，主要学术成就、科技成果及创新点如下：

#### **1、提出 OX-ZEO 催化剂设计概念，创制 $ZnCrO_x$ -MSAPO 双功能催化剂，实现了合成气一步法直接转化，高选择性制取混合低碳烯烃。**

低碳烯烃包括乙烯、丙烯和丁烯，是最重要的大宗化工产品之一，被广泛应用于塑料、涂料、医药和化妆品等领域。过去近百年的研究表明，合成气可以通过费托过程一步法直接制备低碳烯烃，但是低碳烯烃选择性最高只有 60% 左右。申请者从原理上摒弃了传统费托合成路线，进行了大量的实验探索，终于创制了由金属氧化物与介孔分子筛耦合形成复合催化剂，实现了合成气一步法直接转化高选择性地生成混合低碳烯烃， $C_2$ - $C_4$  烯烃选择性达到 80%， $C_2$ - $C_4$  总烃选择性高达 94%，突破了传统费托合成路线中 ASF 分布的理论最高值。在优化的催化剂及反应条件下，可以进一步提高催化剂性能并稳定运行近 3000 小时。基于此形成了有别于传统费托路线的合成气制烯烃的过程：该过程原理上可以不用高耗水高耗能的水煤气变换过程，减少用水，减少单元操作，缩短工艺流程。

申请者通过设计一系列模型实验并与他人合作结合先进的同步辐射近常压原位 X 射线光电子能谱、同步辐射真空紫外光电离质谱以及理论计算等手段对双功能的作用原理、CO 的活化及加氢、反应中间体以及分子筛孔道限域作用等机理进行了探索，提出了活性金属氧化物为部分还原状态、乙烯酮可能

是反应中间体以及分子筛对产物选择性具有择型效应。基于上述研究结果，申请者提出 OX-ZEO 催化剂设计概念，将合成气转化中两个关键步骤 C-O 活化与 C-C 偶联的活性中心分离，有可能突破传统催化反应中活性和选择性的跷跷板关系，并可能应用于合成气制其他化学品的过程。相关工作以第一作者发表在 *Science*, 2016, 351(6227), 1065-1068 (文章一经发表受到了国际同行的高度评价： *Science* 同期刊发了多相催化领域专家 K.P. de Jong 教授题为“Surprised by Selectivity”的评述文章，认为该过程未来在工业上将具有巨大的竞争力； C&E news 采访了费托领域著名专家 Eric van Steen 教授和 K.P. de Jong 教授并刊发了题为“Improved route from syngas to light olefins”，认为该过程比 MTO 和费托过程更有竞争力；何鸣元院士、刘忠范院士、王野教授等专家也分别发文对 OX-ZEO 过程给予高度评价)；以共同作者在 *ACS Catalysis*, 2017, 7(4), 2800-2804 发表文章。并已申请一系列中国专利： 201510676457.9； 201610600945.6； 201710129643.X； 201710408018.9； 201711089864.5； 201810079249.4； 201810079238.6 和 PCT 专利： PCT/CN2015/092091； PCT/CN2017/114446。

## 2、基于 OX-ZEO 催化剂设计理念，构建了 ZnCrO<sub>x</sub>-MOR 双功能催化剂，实现了合成气一步法直接转化，高选择性制取乙烯。

过去近百年的合成气研究中，高选择性直接获取 2 个碳原子以上单一组分产品从未有人报道过。这是由于过去的研究集中在对费托催化剂的优化改性方面，费托过程产物分布服从 ASF 模型分布，以 C<sub>2</sub> 为例，烃类产物中 C<sub>2</sub> 选择性的理论极限只有 30%。前述工作中，申请者成功的实现了高选择性低碳烯烃的合成，但是其中单组份乙烯选择性也不超过 30%。同时在申请者文章报道后，后续关于上述复合催化剂的研究报道中，对气相中间体仍然存在争议。

申请者基于提出的 OX-ZEO 概念，经过大量的实验探索，构建了 ZnCrO<sub>x</sub>-MOR 双功能催化剂，在 CO 转化率 5 % 时，单组分乙烯在烃类中选择性最高可达 83 %，混合低碳烯烃选择性高达 92 %；经吡啶修饰后，可以进一步优化催化性能，在 CO 转化率 26 % 时，乙烯选择性 73 %。该结果不经远高于过去所有合成气转化的乙烯选择性 (<30%) 也高于例如 MTO 过程的乙烯选择性 (一般不超过 60 %)。通过选择性屏蔽不同孔道内的 B 酸位以及系列不同

中间体转化模型反应，研究了 C-C 偶联的活性位、活泼中间体的吸附转化，证明了 MOR 的 8 元环边袋中 B 酸是合成气制乙烯的活性中心，使反应沿乙烯酮为活性中间体的路径进行，从而高选择性地生成乙烯；即 MOR 分子筛两种孔道中的 B 酸在 OX-ZEO 过程中对气相中间体的特殊择型效应是实现了合成气高选择性直接制乙烯的关键。相关工作作为第一作者以 Hot paper 形式发表在 *Angewandte Chemie-International Edition*, 2018, 57(17): 4692-4696. 同时已申请一系列中国专利：201710129620.9；201710382261.8；201710382250.X；201810079244.1；201810081280.1；201810081164.X；201810079670.5；201810149622.9 和 PCT 专利：PCT/CN2017/115389；PCT/CN2017/115576；PCT/CN2017/115536。

### 3、将 OX-ZEO 概念，拓展合成气制其他高附加值化学品。

申请者进一步拓展 OX-ZEO 概念，将金属氧化物 ( $ZnMnO_x$  或  $ZnCrO_x$ ) 与具有十元环孔道的 SAPO-11 组成双功能催化剂，实现了合成气一步法转化，高选择性制取汽油。初步对金属氧化物与分子筛的组成与结构进行了调变，使用  $ZnCrO_x$ -cSAPO-11 复合催化剂，可实现 CO 转化率 36%， $C_{5-12}$  选择性 77%，甲烷选择性仅 3%。反应性能与双功能催化剂的组成和结构相关。其中  $ZnMnO_x$  二元金属氧化物比单元 ZnO 与  $MnO_x$  表现出更高的 CO 转化率和  $C_{5-12}$  选择性；酸量多，有利于低碳烃类生成；酸性强，有利于低碳烷烃的生成；酸性弱，有利于低碳烯烃的生成。双功能之间的匹配影响反应性能：组成、结构和距离。我们提出双功能催化剂的设计需要根据具体反应特点合理设计复合方式，而不是简单的“越近越好”的理念。相关工作正在整理待投稿，同时已申请一系列中国专利：201610609012.3；201610727837.5；201710408016.X；201710407761.2；201710407762.7。通过进一步调变催化剂，申请者与他人合作使用  $ZnCrO_x$ -ZSM-5 复合催化剂实现合成气一步转化制芳烃过程，相关工作以共同作者发表在 *Chemical Communication*, 2017, 53(81): 11146-11149. 同时已申请中国专利：201610397763.3 和 PCT 专利：PCT/CN2016/089725。

申请人一系列的研究结果表明 OX-ZEO 为一条全新的合成气转化路径，基于金属氧化物与分子筛双功能催化剂，将合成气转化过程中 C-O 活化与 C-C 偶联拆分在不同活性中心上进行，进而绕开了传统费托合成中产物 ASF 分布的限

制，实现高选择性的合成气转化过程，并有可能为打破催化反应中转化率与选择性的跷跷板效应提供一条新思路。

#### **4、参与合成气直接制烯烃放大实验**

基于申请人博士期间在合成气 OX-ZEO 过程直接制混合烯烃的研究基础，包信和院士、潘秀莲研究员团队与刘中民院士、朱文良研究员团队合作，共同推进合成气直接制烯烃的放大实验。申请者也作为其中一员参与了相关放大实验，主要承担包括小试催化剂的改良和性能评价以及参与实验室中试放大实验。已经完成了上千小时的小试寿命实验以及百克级催化剂的实验室中试考察。该成果对于实验室成果转化，推进 OX-ZEO 过程的工业应用具有重要的意义。

主要论著目录:

(1.论文作者、题目、期刊名称、年份、卷期、页、总引次数、他引次数、期刊影响因子; 2.著作: 著者、书名、出版社、年份)

目录列表最后请注明论文总引次数、他引次数、期刊影响因子的查询截止时间和查询数据库。

已发表(或正式接受)的学术论文:

[1] **Feng Jiao**<sup>†</sup>, Jinjing Li<sup>†</sup>, Xiulian Pan<sup>†\*</sup>, Jianping Xiao, Haobo Li, Hao Ma, Mingming Wei, Yang Pan, Zhongyue Zhou, Mingrun Li, Shu Miao, Jian Li, Yifeng Zhu, Dong Xiao, Ting He, Junhao Yang, Fei Qi, Qiang Fu, Xinhe Bao\*, Selective conversion of syngas to light olefins, *Science*, 2016, 351(6227), 1065-1068.总引次数: 119, 他引次数: 116, 期刊影响因子: 37.205, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集;

[2] **Feng Jiao**<sup>†</sup>, Xiulian Pan<sup>†\*</sup>, Ke Gong, Yuxiang Chen, Gen Li, Xinhe Bao\*, Shape-Selective Zeolites Promote Ethylene Formation from Syngas via a Ketene Intermediate, *Angewandte Chemie-International Edition*, 2018, 57(17), 4692-4696(hot paper). 总引次数: 0, 他引次数: 0, 期刊影响因子: 11.994, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集;

[3] Yifeng Zhu, Xiulian Pan\*, **Feng Jiao**, Jian Li, Junhao Yang, Minzheng Ding, Yong Han, Zhi Liu, Xinhe Bao\*, Role of Manganese Oxide in Syngas Conversion to Light Olefins, *ACS Catalysis*, 2017, 7(4), 2800-2804. 总引次数: 10, 他引次数: 9, 期刊影响因子: 10.614, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集;

[4] Junhao Yang, Xiulian Pan\*, **Feng Jiao**, Jian Li, Xinhe Bao\*, Direct conversion of syngas to aromatics, *Chemical Communication*, 2017, 53(81), 11146-11149. 总引次数: 2, 他引次数: 2, 期刊影响因子: 6.319, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集;

[5] Xingyun Li, Xiulian Pan\*, Liang Yu, Pengju Ren, Xing Wu, Litao Sun, **Feng Jiao**, Xinhe Bao\*, Silicon carbide-derived carbon nanocomposite as a substitute for

mercury in the catalytic hydrochlorination of acetylene, *Nature Communications*, 2014, 5, 1-7. 总引次数: 58, 他引次数: 58, 期刊影响因子: 12.124, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集;

[6] Fan Zhang, **Feng Jiao**, Xiulian Pan\*, Kang Gao, Jianping Xiao, Shuo Zhang, Xinhe Bao\*, Tailoring the Oxidation Activity of Pt Nanoclusters via Encapsulation, *ACS Catalysis*, 2015, 5(2), 1381–1385. 总引次数: 17, 他引次数: 15, 期刊影响因子: 10.614, 查询截止时间: 2018.5.2, Web of Science 核心合集。

### 参加国内国际会议

[1] **焦峰**, 潘秀莲, 郭淑静, 包信和, 十七届全国催化会, 墙报, 杭州, 2014.

[2] **Feng Jiao**, Jinjing Li, Xiulian Pan,\* Yifeng Zhu, Jian Li, Junhao Yang, Jianping Xiao, Haobo Li, Xinhe Bao\*, The 16th International Congress on Catalysis, Poster, Beijing, China, 2016 July.

[3] **Feng Jiao**, Xiulian Pan\*, Ke Gong, Minzheng Ding, Yifeng Zhu, Jian Li, Junhao Yang and Xinhe Bao\*, The 25th North American Catalysis Society Meeting, Oral, Denver, USA, 2017 June.

### 主持(参与)科研项目及申请专利:

(项目来源、项目名称、经费、个人在其中的作用)

博士论文期间, 参与了导师多项项目:

1. 基金委重大研究计划重点项目, 项目名称: 合成气直接转化制烯烃的选择性控制原理, 经费 320 万, 个人的作用: 催化剂制备及催化反应机理的研究;
2. 中国科学技术部国家重点研发计划纳米科技重点专项课题三, 名称: 合成气转化制低碳烯烃的催化新体系及工业示范, 经费到账 360 万, 个人的作用: 催化剂制备、反应机理的研究以及放大实验。

### 已申请专利:

- [1] 潘秀莲, 张帆, 包信和, **焦峰**, “一种 Pt@CNTs 催化剂及其制备和应用”, 中国专利: 201410668839.2 (已授权)
- [2] 潘秀莲, 李津京, **焦峰**, 包信和, “一种催化剂及由合成气一步法直接制备低碳烯烃的方法” 中国专利: 201510676457.9
- [3] Xiulian Pan, Jinjing Li, **Feng Jiao**, Xinhe Bao, “一种催化剂及由合成气一步法直接制备低碳烯烃的方法”Patent Application Number: PCT/CN2015/092091
- [4] 潘秀莲, 杨俊豪, **焦峰**, 朱义峰, 包信和, “一种催化剂及合成气直接转化制芳烃的方法”中国专利: 201610397763.3
- [5] Xiulian Pan, Junhao Yang, **Feng Jiao**, Yifeng Zhu, Xinhe Bao, “一种催化剂及合成气直接转化制芳烃的方法”Patent Application Number: PCT/CN2016/089725
- [6] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, 丁民正, 朱义峰, 李健, “一种催化剂及合成气直接转化制低碳烯烃的方法”中国专利: 201610600945.6
- [7] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, 丁民正, “一种催化剂及合成气直接转化制液体燃料联产低碳烯烃的方法”中国专利: 201610609012.3
- [8] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, 丁民正, “一种催化剂及合成气直接转化制液体燃料联产低碳烯烃的方法”中国专利: 201610727837.5
- [9] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, 丁民正, “一种催化剂及合成气直接转化制低碳烯烃的方法”中国专利: 201611101851.0



- [10] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, 丁民正, 谭大力, “一种带内衬管自平衡衬管内  
外压力的高温高压多相反应器及使用方法”中国专利: 201611114842.5
- [11] 潘秀莲, 丁民正, 包信和, **焦峰**, “一种催化剂及一氧化碳加氢直接转化  
制低碳烯烃的方法”中国专利: 201710129643.X
- [12] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, “一种催化剂及合成气直接转化制乙烯的方法”中  
国专利: 201710129620.9
- [13] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, “一种碱修饰的催化剂及一氧化碳加氢反应制乙  
烯的方法”中国专利: 201710382261.8
- [14] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, “一种双功能催化剂及一氧化碳加氢制乙烯的方  
法”中国专利: 201710382250.X
- [15] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, “一种催化剂和合成气直接转化制液体燃料联产  
低碳系统的方法”中国专利: 201710408016.X
- [16] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, “一种催化剂及合成气直接转化制低碳烯烃的方  
法”中国专利: 201710408018.9
- [17] 包信和, **焦峰**, 潘秀莲, “一种催化剂及合成气直接转化制液体燃料联产  
低碳烯烃的方法”中国专利: 201710407761.2
- [18] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, “一种催化剂与合成气直接转化制液体燃料联产  
低碳烯烃的方法”中国专利: 201710407762.7
- [19] 潘秀莲, **焦峰**, 包信和, “一种含 CeZr 氧化物的催化剂一氧化碳直接转化  
制低碳烯烃的方法”中国专利: 201711089864.5
- [20] Xinhe Bao, **Feng Jiao**, Xiulian Pan, “一种双功能催化剂及一氧化碳加氢  
制乙烯的方法” Patent Application Number: PCT/CN2017/115389
- [21] Xiulian Pan, **Feng Jiao**, Xinhe Bao, “一种碱修饰的催化剂及一氧化碳加  
氢反应制乙烯的方法” Patent Application Number: PCT/CN2017/115576
- [22] Xinhe Bao, **Feng Jiao**, Xiulian Pan, Minzheng Ding, “一种催化剂及合成  
气直接转化制低碳烯烃的方法” Patent Application Number:  
PCT/CN2017/114446
- [23] Xinhe Bao, **Feng Jiao**, Xiulian Pan, “一种催化剂及合成气直接转化制乙  
烯的方法” Patent Application Number: PCT/CN2017/115536

- [24] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, 李根, “一种担载催化剂及合成气直接转化制低碳烯烃的方法”中国专利: CN201810079249.4
- [25] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, “一种催化剂及合成气直接转化制乙烯的方法”中国专利: CN201810079244.1
- [26] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, “一种碱修饰的复合催化剂及一氧化碳加氢反应制乙烯的方法”中国专利: CN201810081280.1
- [27] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, 李娜, “一种催化剂及合成气直接转化制低碳烯烃的方法”中国专利: CN201810079238.6
- [28] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, 陈羽翔, “一种含 LF 型 B 酸催化剂及合成气直接转化制乙烯的方法”中国专利: CN201810081164.X
- [29] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, “一种有机碱修饰的复合催化剂及一氧化碳加氢制乙烯的方法”中国专利: CN201810079670.5
- [30] 潘秀莲, 焦峰, 包信和, “一种选择性脱去 MOR12 元环 Al 的催化剂及一氧化碳加氢反应制乙烯的方法”中国专利: 201810149622.9

**获科技奖情况：**

（项目名称、奖项、获奖时间、本人在其中的作用及排名、获奖总人数）

**获各类荣誉奖情况：**

2017 年 中国科学院院长特别奖

2017 年 博士生国家奖学金

2016 年 延长石油优秀博士生奖学金一等奖

2016 年 DNL-Topsoe 博士生奖学金

2016 年 中国科学院大学-BHPB 奖学金

2016 年 中国科学院大学三好学生