



附表 1

## 完成人合作关系说明

### 1. 合作基本信息

本项目由第一完成人高亚男负责，其余完成人共同参与，合作起始时间为2020年7月，团队以西北化工研究院有限公司、西安工程大学为核心依托单位，围绕轻烃催化裂解国产化催化剂的创制及相关工艺技术开发合作。各完成人之间的合作成果体现在共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范等。

### 2. 合作分工与技术贡献

#### （一）高亚男（排名1）

技术成果的总负责人，负责项目整体统筹管理及产业化推广工作，协调现场生产、实施，对本项目关键技术点的提出提供技术支持；为本技术“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”（附件1-1）、“一种含分子筛类催化剂气相补铝再生方法”（附件1-3）、“一种含磷ZSM-5分子筛的合成方法”（附件2-3）等核心专利第二发明人。

#### （二）韩磊（排名2）

作为项目执行负责人，负责开展本项目国产化催化剂小试、中试及产业化推广过程的催化剂合成、表征、评价、分析、及数据处理等工作。为本技术“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”（附件1-1）、“一种提升ZSM-5分子筛水热稳定性的改性方法”（附件1-2）等核心专利第一完成人；作为第一起草人起草并发布企业标准《轻烃催化裂解平衡剂反应活性测定法》（附件2-9）。

#### （三）刘树伟（排名3）

作为核心技术骨干参与本项目国产化催化剂小试、中试及产业化推广过程的催化剂合成、表征、评价、分析、优化及数据处理等工作，为本技术“一种含磷ZSM-5分子筛的合成方法”（附件2-3）第一完成人、“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”（附件1-1）、“一种提升ZSM-5分子筛水热稳定性的改性方法”（附件1-2）等核心专利主要共同发明人。

#### （四）车远军（排名4）



作为本技术成果核心技术骨干，完成轻烃催化裂解过程热力学平衡分析、动力学模拟及轻烃催化裂解制低碳烯烃反应路径模拟工作，参与催化剂产业化推广及工业试验工作。SCI 收录论文“Molecular coupling behavior of relay catalytic upgrading of heavy oil fast pyrolysis vapor to produce light olefins”第一作者（附件 2-8），作为主要共同起草人起草并发布企业标准《轻烃催化裂解平衡剂反应活性测定法》（附件 2-9）。

#### （五）程秋香（排名 5）

作为核心技术骨干全程参与了本项目催化剂合成、表征、评价、中试放大和产业化推广工作，对本项目关键技术做出了贡献，为本技术“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”（附件 1-1）、“一种提升 ZSM-5 分子筛水热稳定性的改性方法”（附件 1-2）等核心专利主要共同发明人、企业标准《轻烃催化裂解平衡剂反应活性测定法》（附件 2-9）主要共同起草人。

#### （六）张小琴（排名 6）

作为核心技术骨干全程参与了本项目催化剂合成、表征、评价、中试放大和产业化推广工作，对本项目关键技术做出了贡献，为本技术“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”（附件 1-1）、“一种提升 ZSM-5 分子筛水热稳定性的改性方法”（附件 1-2）等核心专利主要共同发明人、企业标准《轻烃催化裂解平衡剂反应活性测定法》（附件 2-9）第二共同起草人。

#### （七）牛鑫（排名 7）

作为核心技术骨干全程参与了本项目催化剂合成、表征、评价、中试放大和产业化推广工作，为本项目的顺利开展及基础研究提供有力保障，为本技术“一种含磷 ZSM-5 分子筛的合成方法”（附件 2-3）、“一种含分子筛类催化剂气相补铝再生方法”（附件 1-3）、“一种含分子筛类催化剂补铝再生方法”（附件 2-4）等专利主要共同发明人。

### 3. 合作成果汇总

#### （一）专利及论文成果

项目团队组建后持续开展技术攻关，形成了系列知识产权与学术成果。累积授权发明专利 13 件，包含“一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法”、“一种提升 ZSM-5 分子筛水热稳定性的改性方法”、“一种含分子筛类催化剂气



相补铝再生方法”、“一种具有平衡剂活性提升平衡功能的烃类催化裂解工艺方法”等核心专利，授权“一种多功能催化剂制备的装置”、“一种催化裂解催化剂水热老化装置”等实用新型专利 8 件，共发表论文 10 篇，其中 SCI 期刊论文 5 篇。

## （二）标准与技术规范

制定并发布企业标准 2 项：《轻烃催化裂解平衡剂反应活性测定法》、《沸石分子筛的表面酸性测定》。

## （三）立项与获奖

### （1）立项：

1. 陕西省重点研发计划《轻烃催化裂解制低碳烯烃关键技术研究》（编号 2022GY-131）；
2. 延长石油集团科技投资计划《轻烃催化裂解多产低碳烯烃关键技术研究》（编号：ycsy2020ky-A-24）；
3. 延长石油集团 2022 年科技投资计划《催化裂解平衡剂活性提升技术研究》（项目编号：ycsy2022hz-B-01）。

### （2）获奖：

2026 年陕西石化科技进步一等奖，轻烃催化裂解多产低碳烯烃国产化催化剂创制及应用；

2025 年陕西石化科技进步一等奖，含分子筛催化裂解平衡剂活性提升技术及应用；

2025 年延长石油集团科技成果二等奖，轻烃催化裂解多产低碳烯烃专属催化剂制备技术；

2025 年陕西省企业“三新三小”创新竞赛一等奖，含分子筛类催化剂气相补铝再生技术开发及应用。

第一完成人签名：



完成人合作关系情况汇总表

| 序号 | 合作方式   | 合作者/项目排名                          | 合作起始时间  | 合作完成时间  | 合作成果                     | 证明材料   |
|----|--------|-----------------------------------|---------|---------|--------------------------|--------|
| 1  | 共同知识产权 | 高亚男/1、韩磊/2、刘树伟/3、程秋香/5、张小琴/6      | 2016.11 | 2025.12 | 一种轻烃催化裂解制低碳烯烃催化剂及其制备方法   | 附件 1-1 |
| 2  | 共同知识产权 | 韩磊/2、刘树伟/3、程秋香/5、张小琴/6            | 2016.11 | 2025.12 | 一种提升 ZSM-5 分子筛水热稳定性的改性方法 | 附件 1-2 |
| 3  | 共同知识产权 | 韩磊/2、高亚男/1、张小琴/6、程秋香/5、牛鑫/7、刘树伟/3 | 2016.11 | 2025.12 | 一种含分子筛类催化剂气相补铝再生方法       | 附件 1-3 |
| 4  | 共同知识产权 | 刘树伟/3、高亚男/1、韩磊/2、程秋香/5、张小琴/6、牛鑫/7 | 2016.11 | 2025.12 | 一种含磷 ZSM-5 分子筛的合成方法      | 附件 2-3 |
| 5  | 共同知识产权 | 韩磊/2、高亚男/1、张小琴/6、刘树伟/3、程秋香/5、牛鑫/7 | 2016.11 | 2025.12 | 一种含分子筛类催化剂补铝再生方法         | 附件 2-4 |
| 6  | 共同知识产权 | 韩磊/2、刘树伟/3、程秋香/5、张小琴/6、牛鑫/7       | 2016.11 | 2025.12 | 一种含分子筛废催化剂骨架补铝复活再生方法     | 附件 2-5 |
| 7  | 共同     | 韩磊/2、刘                            | 2016.11 | 2025.12 | 一种纳米 SAPO-34 分子          | 附件 2-6 |



|    |                                 |                                                                 |         |         |                                        |         |
|----|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------|---------|----------------------------------------|---------|
|    | 知 识<br>产 权                      | 树伟/3、高<br>亚男/1                                                  |         |         | 筛的制备方法                                 |         |
| 8  | 共 同<br>知 识<br>产 权               | 韩磊/2、刘<br>树伟/3                                                  | 2016.11 | 2025.12 | 一种硅磷铝分子筛的制备<br>方法                      | 附件 2-7  |
| 9  | 共 同<br>参 与<br>制 定<br>标 准<br>规 范 | 韩磊/2、张<br>小琴/6、刘<br>树伟/3、高<br>亚男/1、程<br>秋香/5、车<br>远军/4          | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解平衡剂反应<br>活性测定法                   | 附件 2-9  |
| 10 | 产 业<br>合 作                      | 高亚男/1、<br>韩磊/2、刘<br>树伟/3、车<br>远军/4、程<br>秋香/5、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7 | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解多产低碳烯<br>烃国产化催化剂创制及应<br>用 科技成果鉴定 | 附件 2-10 |
| 11 | 共 同<br>立 项                      | 刘树伟/3、<br>高亚男/1、<br>韩磊/2、程<br>秋香/5、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7           | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解制低碳烯烃<br>关键技术研究                  | 附件 2-12 |
| 12 | 共 同<br>立 项                      | 韩磊/2、刘<br>树伟/1、程<br>秋香/5、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7                     | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解多产低碳烯<br>烃关键技术研究                 | 附件 2-13 |
| 13 | 共 同<br>获 奖                      | 韩磊/2、刘<br>树伟/3、高<br>亚男/1、车<br>远军/4、程<br>秋香/5、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7 | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解多产低碳烯<br>烃国产化催化剂创制及工<br>业应用      | 附件 2-14 |



|    |          |                                                       |         |         |                           |         |
|----|----------|-------------------------------------------------------|---------|---------|---------------------------|---------|
| 14 | 共同<br>获奖 | 高亚男/1、<br>韩磊/2、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7、刘树<br>伟/3、程秋<br>香/5 | 2016.11 | 2025.12 | 含分子筛催化裂解平衡剂<br>活性提升技术及应用  | 附件 2-15 |
| 15 | 共同<br>获奖 | 韩磊/2、高<br>亚男/1、刘<br>树伟/3、程<br>秋香/5、张<br>小琴/6、牛<br>鑫/7 | 2016.11 | 2025.12 | 轻烃催化裂解多产低碳烯<br>烃专属催化剂制备技术 | 附件 2-16 |
| 16 | 共同<br>获奖 | 韩磊/2、张<br>小琴/5、牛<br>鑫/6                               | 2016.11 | 2025.12 | 含分子筛类催化剂气相补<br>铝再生技术开发及应用 | 附件 2-17 |

**承诺：**本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：