陕西省科学技术进步奖公示信息

（2024年度）

**一、项目名称**

百万吨浆态床费托合成工艺及高端蜡制备关键技术开发与工业化应用

**二、提名者及提名意见**

**提名单位：**陕西省化工学会

**提名意见：**煤炭清洁高效利用是“双碳”目标下保障国家能源安全、化工原材料需求和推动新型能源体系构建的重要路径。《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》将开发煤基重要化学品、研究高效催化剂体系和先进反应器列为重点任务。

该项目以国家“863”“973”等研究课题为支撑，攻克了煤间接液化核心技术与关键技术研发、系统集成与工程放大、长周期运行等世界性难题，取得一系列重大创新成果：1首创高效铁基催化剂低温费托合成富产高值蜡基材料技术，2开发了国内系列高熔点费托合成蜡制备技术，3首次建立低温费托与高端费托合成蜡系统集成与优化技术，4建成了100万吨/年的低温费托合成及10万吨/年高端费托蜡生产工业化装置，所生产的115#高熔点蜡填补国内高端费托合成蜡产品的空白。本项目有效推进了煤炭利用方式的重大变革。

该项目获授权专利40件，制定国标行标4项，发表论文27篇，出版专著1部。多项关键技术被鉴定为“国际先进”水平，其核心技术获得包括2017年中国煤炭工业协会科学技术特等奖、中国专利银奖、2023年陕西石化科学技术一等奖等多项奖励，近三年新增销售额49.49亿元。

该项目高度契合习近平总书记在陕西考察时指示“要提高煤炭作为化工原料的综合利用效能，促进煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展”的要求，对推动煤炭清洁高效利用、重要能源化工产品生产具有重大意义。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

**三、项目简介：**煤基费托反应（F-T）是增强我国能源自主保障能力、推动煤炭清洁高效利用的重要途径之一。促进煤基费托技术高端化、多元化、低碳化发展，是提升其产品竞争力的关键，其中低温费托工艺产品烷烃含量高、碳链分布宽，含蜡馏分的含量占比高，可以作为生产费托蜡的基础原料，是石油路线难以合成的高附加值产品，符合“错油发展”的方向。

低温费托项目在技术开发和工程化过程中面临很多问题和挑战，一是费托合成工艺中的催化剂传质和传热问题，费托合成是一个放热反应，通过催化剂开发以及反应器设计改善传质条件以及有效的传热管理，并实现工程化放大，始终是费托过程研究的重点；二是产品结构单一影响经济性的问题，低温以及高温费托合成联产系统虽然能够提高产品附加值，增强抵抗市场波动的能力，但在低油价以及油价波动剧烈时期，以油品生产为目标的费托合成技术可能面临竞争能力不足和经济性差的问题；三是系统操作难度和系统稳定性问题，浆态床铁基中低温费托合成技术由于反应器系列多、规模大、配置复杂，导致装置操作难度大，反应器之间及与下游装置间的相互影响和干扰较大，系统运行的稳定性有待提高。

在国家“863”“973”等科技计划支持下，本项目历经十多年持续研发，创造性地开发了百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术。针对上述技术难题，本项目开展多项技术攻关，主要创新成果为：

1.首创了高效铁基低温费托合成催化剂制备技术及其工业化生产成套技术。自主开发了低温费托合成铁基催化剂制备技术及工业化生产关键技术与成套技术，建设了国内首套3000吨/年低温费托合成催化剂工业生产装置，催化剂活性、选择性、寿命、机械性能等各项指标均优于国内外同类催化剂。

2.首创了大型低温浆态床费托合成反应器内构件技术和反应器整体技术，实现了超大型工业反应器放大设计制造的重大突破。创造性地开发了大型低温浆态床费托合成反应器液固分离装置、移热装置、气体分布装置、固体浓度均布装置、气液（固）分离装置等内构件技术和反应器整体技术。建设了直径9.8米、高52米、重量2560吨、产能75万吨/年的超大型浆态床低温费托合成反应器，尺寸、重量和生产能力均为世界第一。

3.首创了百万吨级费托合成反应器“安、稳、长、满、优”高效运行匹配技术。开发了在线添加催化剂保护性气体喷射技术、费托合成烃类物质梯级分离技术、费托余热高效回收与再利用技术，与创新点2高效匹配，实现百万吨级费托合成反应器“安、稳、长、满、优”运行。

4.首创了国内115℃高熔点蜡的高端费托合成蜡生产工艺技术。成功开发“两级薄膜蒸发+三级分子蒸馏”高效分离费托合成蜡工艺技术，生产出115℃高熔点蜡产品，同时可生成液蜡、33#蜡、45#蜡、60#蜡、70#蜡等多种费托合成高端蜡产品。

5.成功建设并高效长周期运行了国内首套百万吨级煤间接液化工业示范装置并配套运营10万吨级高端费托蜡工业示范装置，运行指标达到国家能效和资源消耗指标要求。首次创造性地集成了大型空分、煤气化及净化、费托合成、油品加工、整体尾气循环发电（IGCC）及公用工程等工艺系统，建成并高效长周期运行了国内首套百万吨级煤间接液化工业示范装置、10万吨级高端费托蜡装置；产品中柴油选择性>75wt%，十六烷值>75，无硫、无氮，优质清洁；生产的33#、45#、60#、70#、115#蜡产品各项指标达到行业、国家标准要求，其中115#蜡打破国外垄断，填补了我国高端特种蜡的市场空白；系统总能效≥45.2%、煤耗≤3.59吨标煤/吨油、水耗≤6.5吨/吨油、催化剂消耗≤4.0kg/吨液体产品，废水近零排放，生产工艺绿色清洁。

该项目获授权发明专利24项；获省部级科技进步奖特等奖1项、一等奖1项、优质工程奖1项，获中国专利银奖1项、优秀奖1项；发表论文27篇；出版专著1部；参与制定国家标准1项、行标3项。该项目近三年新增销售收入49.49亿元。通过本项目的实施，实现了产品的高值化迭代升级，进一步延伸了煤化工产业链，是落实习近平总书记“不断扩大我国在煤炭加工转化领域的技术和产业优势”重要批示精神的又一重要成果。

**四、客观评价：**1.2005年1月29日，中国石油和化学工业联合会对“低温费托合成煤间接液化技术”进行成果鉴定，鉴定意见：“所开发的‘低温费托合成煤间接液化技术’，采用自主开发的高效微球状铁基催化剂、气体分布器、移热装置及液固分离系统的三相浆态床反应器以及费托合成催化剂在线还原、补充和分离技术等，形成了全套煤间接液化核心技术。该技术具有生产强度高、催化剂性能好、液固分离过程可靠等特点，整体工艺流程先进、合理并具有创新性”。

2.2013年8月7日，中国石油和化学工业联合会对“低温费托合成工艺过程动态模拟与操作员培训系统研究开发”进行成果鉴定，鉴定意见：“该项成果具有显著的创新性，整体技术水平达到国际领先，为工业示范装置成功提供了可靠的保证”。

3.2016年01月20日，中国石油和化学工业联合会对“铁基浆态床费托合成催化剂开发研究与工业应用”进行科技成果，鉴定意见：“该研究成果实现了铁基浆态床费托合成催化剂实验室制备、放大和工业生产的关键技术与成套集成技术的成功开发，为大型工业化煤制油装置提供了可靠的催化剂及其工业化生产技术，催化剂性能指标达到国际领先水平”。

4.2023年6月15日，陕西省石油和化学工业联合会组织对“百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用”项目进行了成果鉴定，鉴定报告指出：该项目实现了24个月长周期连续稳定运行，吨产品合成气消耗5571Nm³、新鲜水消耗6.222m³、耗电192.63kw•h，精制蜡产量16万吨/年，115#高端蜡占比约38%。鉴定委员会一致认为：该技术居国际先进水平。

**五、应用情况：**①陕西未来能源化工有限公司应用该项目技术，投资建设了国内首套百万吨级低温费托合成煤间接液化工业示范装置，生产能力100万吨/年，该装置于2015年8月19日投产。②陕西未来清洁化学品有限公司应用该项目技术，投资建设了10万吨/年费托蜡精加工项目，该装置于2020年10月17日投产。

以上生产装置应用该项目整体技术已满三年以上，取得了显著的经济效应和社会效应，有效推动了我国现代煤化工技术和产业的发展。

**六、主要知识产权和标准规范等目录**：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类 别 | 知识产权  具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 一种用合成气生产液体燃料的工艺方法 | 中国 | ZL 2003 1 0108146.X | 2006年10月25日 | 第290728号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；赵东志；耿加怀；王信；韩晖；褚宏春 |
| 2 | 发明专利 | 一种连续操作的气液固三相浆态床工业反应器 | 中国 | ZL 03 1 51109.0（有误） | 2005年12月28日 | 第242371号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；朱继承；耿加怀；王信；韩晖 |
| 3 | 发明专利 | 一种浆态床反应器分离不同粒径催化剂的装置及其使用方法 | 中国 | ZL 2017 10792742.6 | 2023年4月21日 | 第5901915号 | 陕西未来能源化工有限公司 | 董正庆；张浩；田佰起；王亚军 |
| 4 | 发明专利 | 一种微球状费托合成铁基催化剂及其制备方法 | 中国 | ZL 03 1 51108.2 | 2005年12月28日 | 第242370号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；耿加怀；王信；张高博；杨文书；周标 |
| 5 | 发明专利 | 一种由费托合成产品生产高熔点蜡的方法 | 中国 | ZL 2015 1 0094959.0 | 2016.12.07 | 第2309969号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；杨正伟；张宗森 |
| 6 | 发明专利 | 一种用于三相浆态床反应器液固分离的自动过滤/反冲装置 | 中国 | ZL 03 1 50742.5 | 2005年12月28日 | 第241781号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；朱继承；耿加怀；王信；褚宏春 |
| 7 | 发明专利 | 一种用于三相浆态床反应器的气体分布器 | 中国 | ZL 03 1 51229.1 | 2005年12月28日 | 第242712号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；朱继承；韩晖；庞利峰 |
| 8 | 发明专利 | 费托合成尾气热钾碱溶液的净化再生方法及其装置和应用 | 中国 | ZL 2021 1 0814820.4 | 2023年9月01日 | 第6291222号 | 陕西未来能源化工有限公司 | 叶盛芳；柳永兵；张雨；田佰起；王帅立；王广柱；薛蓉；张艳；盖延浩 |
| 9 | 发明专利 | 一种费托合成反应水中非酸性含氧有机物的分离回收方法 | 中国 | ZL 2011 1 0315419.2 | 2015年03月11日 | 第1602669号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；李希勇；李伟；杨正伟；蒋凡凯；陈立才；张宗森 |
| 10 | 发明专利 | 一种从费托合成尾气中回收低碳烃的方法 | 中国 | ZL 2006 1 0030848.4 | 2009年12月30日 | 第584959号 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 孙启文；朱继承；岳建平；田基本；赵东志；庞利峰 |

**七、主要完成人情况（1-15名）**：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 姓名 | 职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 1 | 孙启文 | 总经理 | 研究员 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 项目总负责人，主持项目整体规划、关键技术攻关和全面实施。创新开发了低温费托合成催化剂技术、大型浆态床反应器技术、费托合成和产物加工技术；开发了百万吨级煤间接液化系统集成技术与设计平台，全面组织和领导了百万吨级煤间接液化装置和10万吨/年高端费托蜡工业生产装置设计、建设及运行。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 2 | 祝庆瑞 | 总工程师（化工） | 研究员 | 山东能源集团有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，组织百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用，负责指导项目总体规划和设计，协调推进项目进展及重点问题解决工作。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 3 | 马洪光 | 总经理 | 正高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员。组织协调百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 4 | 柳永兵 | 总工程师 | 高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，负责项目总体技术方案论证，技术路线选择与确定，重点负责费托合成反应系统在线添加催化剂保护性气体喷射技术攻关与应用。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 5 | 叶盛芳 | 技术专家 | 研究员 | 山东能源集团有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，组织协调百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用，技术方案牵头，技术实施总负责。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 6 | 张浩 | 副总经理 | 高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，负责微米级液固分离装置在浆态床反应体系内实现完全再生、连续稳定、选择分离技术研究与应用。对创新点一、三做出了重要贡献。 |
| 7 | 杨兴彦 | 副总工程师 | 高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，负责费托合成反应系统在线添加催化剂保护性气体喷射技术攻关与应用。对创新点一、二、三做出了重要贡献。 |
| 8 | 张宗森 | 副总经理 | 正高级工程师 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 项目主要研究人员，共同开发了铁基低温费托合成催化剂及其工业化生产技术，提出了催化剂工业化生产放大规律；参与了百万吨级煤间接液化工业装置、千吨级铁基费托合成催化剂生产装置的设计、投料试车工作。对创新点一、三做出了主要贡献。 |
| 9 | 田佰起 | 部长 | 高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，全程参与百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用技术攻关，现场实施。对创新点一、二做出了重要贡献。 |
| 10 | 刘继森 | 副总经理 | 高级工程师 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 项目主要研究人员。共同开发了低温浆态床费托合成反应器及其内构件技术，提出了液固分离装置自动控制程序；参与了国内首套百万吨级煤间接液化工业示范装置的设计、投料试车与运行。对创新点一、三做出了主要贡献。 |
| 11 | 张雨 | 主任 | 高级工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，具体负责百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用项目现场实施。对创新点一、三做出了主要贡献。 |
| 12 | 王亚军 | 主管工程师 | 工程师 | 陕西未来能源化工有限公司 | 陕西未来能源化工有限公司 | 项目主要研究人员，具体负责百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用项目现场实施。对创新点一、三做出了主要贡献。 |
| 13 | 吴建民 | 主任 | 高级工程师 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 项目主要研究人员。提出了费托合成反应体系热力学数据、浆态床反应器内传质、传热等流体力学关联式，共同开发了浆态床费托合成反应器内构件及其整体技术和费托合成工艺技术；参加了国内首套百万吨级煤间接液化工业示范装置的设计、开车运行工作。对创新点一、三做出了主要贡献。 |
| 14 | 黄志富 | 部长 | 高级工程师 | 陕西未来清洁化学品有限公司 | 陕西未来清洁化学品有限公司 | 项目主要研究人员，主要负责薄膜蒸发－分子蒸馏耦合高端费托合成蜡加工技术研究与应用。对创新点二、三做出了主要贡献。 |
| 15 | 孙燕 | 主任 | 高级工程师 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 | 项目主要研究人员。共同开发了费托合成催化剂制备技术及其工业化生产技术，负责了低温费托合成催化剂配方、制备工艺和制备条件优化工作；参加了3000吨/年低温费托合成催化剂工业生产装置的首次开车运行工作。对创新点一做出了主要贡献。 |

**八、主要完成单位及创新推广贡献**：

|  |  |
| --- | --- |
| 第一完成单位 | 陕西未来能源化工有限公司 |
| 对本项目贡献 | 1.首创了国内百万吨级费托合成反应系统在线添加催化剂保护性气体喷射技术，从根本上解决了催化剂积碳粉化问题，为系统长周期运行提供保障。  2.革新了10m级直径浆态床三相反应体系均匀分布技术，实现高浓度浆液在直径10m、容积2000m3的反应器内均匀分布，缩小反应器床层温差、提升反应效率。  3.突破低温环境下费托合成反应速率提升研究，该技术应用实现产能提升16万吨/年。  4.首创费托合成烃类物质梯级分离技术，实现产物高效分离、净化循环组分、降低系统阻力、产能提升13万吨/年。  5.浆态床反应器内置微米级液固分离装置在高温、高固反应体系内实现完全再生、连续稳定、选择分离的技术，突破过滤元件运行周期瓶颈。  攻克了油化结合新化工产品开发与应用技术瓶颈问题，实现装置产能提升、实现经济稳定连续运行，补充完善百万吨级费托合成技术工艺，为国家能源技术提供有力技术保障。 |
| 第二完成单位 | 上海兖矿能源科技研发有限公司 |
| 对本项目贡献 | 作为该项目主要技术研发单位和国家“863”计划课题主要协作单位，全面负责了大型煤间接液化关键和系统集成成套技术的基础理论、工程放大、工程转化和工程实践等工作，参与了项目调研、论证立项、方案制订、组织实施及成果总结，成功开发了百万吨级煤间接液化关键技术与系统集成成套技术。对该项目的创新点一、二、三均有突出贡献。  （1）开展了万吨级低温费托合成中试装置设计、建设和中试研究工作，获得了大型工业化煤间接液化制油装置基础设计数据。  （2）成功开发了百万吨级煤间接液化关键和系统集成成套技术和配套蜡加工生产技术，包括：①开发了适用于百万吨级低温费托合成煤间接液化装置的催化剂及工业化生产技术；②开发了三相浆态床低温费托合成反应器内构件技术和反应器整体技术，提出了优化的大型浆态床费托合成反应器设计准则；③开发了费托合成油品加工过程的RTF/RCF催化剂及加工工艺技术；④开发了百万吨级低温费托合成煤间接液化系统集成技术与优化集成设计平台；⑥开发了高端费托合成蜡加工生产关键技术。  （3）在国内首套3000吨/年铁基费托合成催化剂工业化生产装置和国内首套百万吨级煤间接液化工业示范装置的设计、建设、运行和技术支持等方面发挥了核心的作用。  （4）负责完成项目科技成果鉴定、专利申请、论文发表等一系列相关工作。 |
| 第三完成单位 | 山东能源集团有限公司 |
| 对本项目贡献 | 山东能源集团有限公司是山东省国资委、省政府于2020年7月联合重组原兖矿集团、原山东能源集团，组建成立的大型能源企业集团。  山东能源集团有限公司作为本项目的主要完成单位，为项目研究创新、资金经费支持、技术推广应用提供了重要支持，尤其是在工艺流程开发、系统流程方案等方面起到了积极的推进作用。  近年来，针对低温费托合成和高温费托合成技术，山东能源集团有限公司先后设立多项重大科技攻关项目；同时，在项目研究过程中，多次组织专家进行交流讨论，保障了项目顺利运行，并将项目成果应用于煤炭间接液化开发实践，加快了项目成果转化。 |
| 第四完成单位 | 陕西未来清洁化学品有限公司 |
| 对本项目贡献 | 开发了“薄膜蒸发+分子蒸馏”耦合分离装置，首次实现了国内生产115#熔点高端费托合成蜡。  负责建设并运营10万吨/年费托蜡精加工项目。本项目主要是利用陕西未来能源化工有限公司成品车间稳定加氢分馏塔塔顶1#软蜡为原料，利用原料中各组分沸点及分子自由程不同，采用连续式高真空分子蒸馏技术对原料进行精细分离得到不同熔点、不同牌号的高附加值费托蜡系列产品，可生产国内其他煤制油项目无法获得的115℃的高熔点蜡，实现了产品的差异化和高端化。精制分离后生产的70℃蜡和115℃蜡能与沙索的H-系列、壳牌的SX105蜡媲美，可以完全取代进口。  项目于2019年10月开工建设，2020年10月初完成单体试车、联动试车并具备开车条件，10月17日一次性投料试车成功并产出合格产品，10月28日系统实现满负荷运行。2021年初装置由试生产期转入正式生产期，2022年6月中旬通过陕西省石油和化学工业联合会关于费托蜡装置的72小时性能考核。随着装置的不断优化升级改造，目前日均产量达410吨，装置运行平稳，系统具备较高负荷生产能力。自项目成功实施以来，各指标均在合格范围内，产品质量合格率达100%。 |

**九、完成人合作关系说明**：

项目主要由孙启文、祝庆瑞、马洪光、柳永兵、叶盛芳、张浩、杨兴彦、张宗森、田佰起、刘继森、张雨、王亚军、吴建民、黄志富、孙燕15人共同完成，期间的合作主要是共同开展项目技术研发、工艺包设计、总体方案设计及项目建设实施应用与改进、合作申报科学技术奖励、共同知识产权等方面，具体见完成人合作关系情况汇总表。

完成人合作关系情况汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果 |
| 1 | 科技成果 | 孙启文，岳建平，张宗森，吴建民，刘继森 | 2008 | 2013 | “低温费托合成工艺过程动态模拟与操作员培训系统研究开发” |
| 2 | 科技成果 | 孙启文，张宗森，刘继森，孙燕 | 2003 | 2016 | “铁基浆态床费托合成催化剂开发研究与工业应用” |
| 3 | 共同获奖 | 孙启文，孙燕，张宗森，刘继森，陈昂俊，岳建平 | 2004 | 2019 | “高温费托合成催化剂开发研究与工业应用” |
| 4 | 科技成果 | 祝庆瑞，叶盛芳，马洪光，柳永兵，张浩，杨兴彦，田佰起，张雨，王亚军，黄志富 | 2011 | 2020 | “百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用” |
| 5 | 共同获奖 | 祝庆瑞，叶盛芳，马洪光，柳永兵，张浩，杨兴彦，田佰起，张雨，王亚军，黄志富 | 2024 | 2024 | “百万吨浆态床费托合成工艺及其高端蜡制备关键技术开发与工业化应用” |
| 6 | 共同获奖 | 孙启文，祝庆瑞，叶盛芳，吴建民，柳永兵，黄志富，张宗森，刘继森 | 2018 | 2020 | “高端费托合成蜡关键技术” |