

“十四五”国家重点研发计划“煤炭清洁高效利用技术”重点专项 2023 年度项目申报指南

(征求意见稿)

1. 煤炭高效清洁发电

1.1 新型动力循环发电基础研究(基础研究类, 青年科学家项目)

研究内容: 建立可满足低碳、灵活、高效、清洁等多目标需求的燃煤发电复合工质循环和系统, 研究能量的有序梯级利用、物质流和能量流与循环的优化匹配; 研究复合工质循环中清洁燃烧、二氧化碳捕集及快速变负荷的新方法; 研究复合工质基础热物理性质及流动传热特性; 研究复合工质的热功转换机理。

考核指标: 完成复合工质燃烧原理的实验验证, 实现燃烧室压力 ≥ 8 MPa, 热功率 ≥ 100 kW, 燃烧效率 $\geq 99\%$; 完成复合工质热物理性质测量, 验证复合工质热物性计算模型, 预测误差 $\leq 3\%$; 获得 1-2 项实现多目标优化的燃煤发电新系统方案设计, 300 MW 级燃煤发电新系统实现高效低碳(同时实现净效率 $\geq 50\%$ 和碳捕集率 $\geq 90\%$), 或者高效灵活(同时实现净效率 $\geq 50\%$ 和调峰速率 $\geq 5\%/min$)。

有关说明: 拟支持 1 项基础研究, 同时支持 1 项青年科

学家项目：

研究内容：构建可满足二氧化碳捕集、快速变负荷功能的高效动力循环，研究热源和循环的优化匹配，研究动力循环的灵活性，研究二氧化碳等物质流和能量流的时空分布特性。

考核指标：开发出灵活高效新循环和新系统，完成 300 MW 新型发电系统方案设计，额定负荷时净效率 $\geq 50\%$ ，并实现负荷变化速率 $\geq 5\%/min$ 和碳捕集率 $\geq 90\%$ 。

关键词：动力循环，低碳，灵活，高效。

1.2 低碳煤气化氢电联产系统研究（青年科学家项目）

研究内容：研究煤气化发电和制氢系统的耦合规律；研究氢电联产系统内能量梯级利用原理；研究碳组分自然富集、燃烧前碳捕集过程与煤气化发电系统的匹配规律，开展低能耗碳捕集技术研究；研究不同氢电比下的电力调峰性能，构建低碳氢电耦合系统。

考核指标：掌握低碳灵活的煤气化氢电联产系统集成规律，形成 100 MW 等级低碳灵活的煤气化氢电联产系统设计方案，碳捕集率 $\geq 90\%$ ；优化氢电比以实现系统发电灵活调峰，形成氢电联产系统效率评价方法。

关键词：煤气化，氢电联产，碳捕集。

1.3 高碱煤燃烧发电关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究高碱煤碱金属在快速变负荷工况下的迁

移、富集和成灰特性，研究高碱煤燃烧特性和锅炉受热面沾污特性量化表征；开发新型高碱煤燃烧器和锅炉关键技术，深度优化高碱煤锅炉燃烧设计与工况关联的运行控制策略；研究高碱煤燃烧污染物生成特性和变负荷工况下的超低排放控制技术；开展燃用 100%高碱煤的锅炉工程验证。

考核指标：掌握高碱煤燃烧发电技术，在 300 MW 级及以上煤粉锅炉机组上完成工程验证，实现锅炉全负荷燃用 100% 高碱煤（入炉物质为纯煤，且灰分碱金属氧化物含量 $\geq 4\%$ ）的结焦、沾污特性安全可控，连续运行 ≥ 1000 小时，负荷运行范围 30%-100%，全负荷范围烟尘排放满足超低排放标准。

关键词：高碱煤发电，安全，超低排放，工程验证。

1.4 高碱煤燃烧系统在线监测与诊断技术（青年科学家项目）

研究内容：研究变负荷工况下煤粉炉内高碱煤碱金属迁移转化特性、火焰位置、炉膛热负荷的实时准确测量技术；开发基于炉内测点数据的高温受热面结渣倾向及超温预测技术；研究高碱煤燃烧系统在线监测与运行工况的关联策略；开发融合多元监测数据的全工况受热面安全管控平台。

考核指标：形成高碱煤燃烧系统在线监测与诊断技术装备，并完成验证试验，针对不少于 5 项核心监测及诊断指标的测量误差 $\leq 10\%$ ；建立一套运行安全管控的软硬件平台，实现燃高碱煤锅炉受热面超温及积灰结渣风险的提前预警，准确率

≥90%。

关键词：高碱煤，燃烧，在线监测，诊断。

2. 煤炭灵活智能发电

2.1 亚临界机组灵活发电关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究提高机组灵活性的系统能量优化匹配新方法；开发变负荷锅炉燃烧、蒸汽参数协同控制与受热面安全控制技术；开发变负荷锅炉烟气常规污染物（SO₂/NO_x/PM）超低排放控制技术；开发灵活调峰机组安全保障技术；开展亚临界燃煤机组适应锅炉、汽轮机快速变负荷的主辅机匹配与系统集成研究，进行工程验证，开展全工况机组运行经济性评估研究。

考核指标：锅炉最低稳定燃烧负荷达到 20%额定负荷，锅炉稳定燃烧及各级受热面稳定运行且不超温；形成亚临界燃煤机组宽负荷快速灵活调峰及系统集成技术，在 300 MW 及以上机组上完成纯凝工况工程验证，负荷调节范围 20%-100%，变负荷速率 ≥5%/min，实现机组全工况安全运行，20%负荷连续安全稳定运行 ≥4 小时，供电煤耗增加值不高于额定负荷供电煤耗的 35%。

关键词：燃煤发电，灵活调峰，快速变负荷，工业验证。

3. 煤炭清洁转化

3.1 煤制清洁燃料关键反应和催化基础研究（基础 research 类）

研究内容：研究煤直接液化油初级产品结构组成，研究煤直接液化油品精制航空煤油组分的基元反应，研究加氢、烃类分子结构重排等关键反应的定向控制；研发煤直接液化初级油品制备航空煤油组分催化剂；研究反应工程基础，开展过程优化，提升航煤组分油品质。

考核指标：揭示煤直接液化油品精制过程中稠环芳烃选择加氢和 C-C 键定向断裂的调控机制；开发高效催化剂，航空煤油组分收率 $\geq 85-90\%$ ；航空煤油组分热氧化安定性（ 325°C ，2.5 h）管壁评级 < 3 ，芳烃（体积分数） $< 5\%$ ，烟点 $\geq 25\text{ mm}$ ，密度 $\geq 825\text{ kg/m}^3$ ，硫含量 $< 10\text{ ppm}$ ，氮含量 $< 2\text{ mg/kg}$ ，净热值 $\geq 42.9\text{ MJ/kg}$ ，冰点 $\leq -55^\circ\text{C}$ ，单一金属离子含量 $< 0.1\text{ ppm}$ 。

关键词：直接液化，航煤组分，定向调控。

3.2 煤制化学品关键反应和催化基础研究(基础研究类)

研究内容：发展合成气转化制 C_4 烃、芳烃和 C_6+ 高碳醇新过程：研究合成气 C-O 键的活化、初始 C-C 键的形成和 CO 插入机制，研究影响碳链增长和 CO 插入的关键因素；研究反应热力学和动力学，建立定量的催化剂构效关系；设计和构筑合成气制 C_4 烃、芳烃和 C_6+ 高碳醇的高效催化剂。

考核指标：掌握合成气制备 C_4 烃、芳烃和 C_6+ 高碳醇过程碳链增长和反应选择性调控机制；获得合成气转化制 C_4 烃、芳烃和 C_6+ 高碳醇高活性、高选择性催化剂，合成气转化反应单程转化率 $\geq 30\%$ ， CO_2 选择性 $< 20\%$ ，烃类产物中 C_4 烃选择性

≥55%，芳烃选择性≥85%，C₆+高碳醇选择性≥50%。

关键词：合成气转化，选择性调控，C₄烃，芳烃，C₆+高碳醇。

3.3 新型合成气制醇类化学品关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究合成气定向转化制醇过程中CO活化、插入及碳链形成与增长的协同反应机制；开发合成气制C₆+烃醇与C₆+烯烃羰基合成醇催化剂和反应工艺；研发合成气制C₂-C₅低碳醇新工艺；开发聚甲醛和甲缩醛制聚甲氧基二甲醚新型高效催化剂，突破产品分离精制与反应器工程化关键技术。

考核指标：掌握合成气定向转化制醇催化剂活性中心结构动态演变规律，建立量化的催化剂构效关系；完成合成气制C₆+高碳醇百吨级中试试验，CO总转化率≥85%，C₆+醇选择性≥50%；开发新型合成气制C₂-C₅低碳醇催化剂及配套工艺，完成万吨级工业验证，CO总转化率≥85%，总醇选择性≥75%，总醇中C₂+醇选择性≥70wt%；完成聚甲醛和甲缩醛制聚甲氧基二甲醚新工艺万吨级工业验证，聚甲醛转化率≥90%，产品收率>93%。

关键词：合成气转化，醇醚含氧化合物，工业验证。

3.4 新型合成气制可降解塑料关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究合成气制可降解塑料单体合成：开发草酸

二甲酯加氢制乙醇酸（酯）高选择性、高稳定性催化剂与反应工艺，突破聚乙醇酸（PGA）单体合成技术；开发高效高稳定性合成气制碳酸二甲酯催化剂，突破聚碳酸丁二醇酯（PBC）单体制备关键技术；研究费托尾气 C₄ 烃制丁二酸、丁二醇催化剂放大制备，研究产品分离与精制关键技术，突破聚丁二酸丁二醇酯（PBS）单体合成技术。

考核指标：完成草酸二甲酯加氢制乙醇酸（甲酯）万吨级工业验证，催化剂寿命大于 8000 小时，时空产率 ≥ 0.25 g/(mLg)，乙醇酸（甲酯）产品纯度 $\geq 99.5\%$ ；合成气制碳酸二甲酯催化剂寿命 > 4000 小时，吨产品消耗合成气（折有效气） ≤ 2000 标方；完成费托合成 C₄ 烃制备丁二酸（酐）和丁二醇催化剂吨级制备放大，催化剂寿命 ≥ 8000 小时，丁二酸（酐）时空产率 ≥ 0.18 g/(mLg)，丁二醇时空产率 ≥ 0.16 g/(mLg)；完成万吨级工业验证，产品纯度 $\geq 99.8\%$ 。

关键词：合成气转化，可降解塑料单体，工业验证。

3.5 煤炭直接定向调控制备高端精细化学品技术（共性关键技术类）

研究内容：针对富油煤种，开发高效催化剂，研究煤中化学键定向裂解技术，形成煤直接转化制油品新型工艺；开发煤直接制备芳香族化合物和环烷基油品的催化反应分离一体化新技术。

考核指标：在低于 450°C 和 10 MPa 条件下，完成煤炭分

级液化技术万吨级示范装置验证和 72 小时连续运行考核，油收率格金值 $\geq 150\%$ ，煤制油品综合能效 $\geq 60\%$ ，煤炭直接转化产品中芳香族化合物的液体收率 $\geq 50\text{wt}\%$ ；完成百吨级油品直接制备芳香族化合物装置稳定运行，单一产品纯度 $\geq 99\%$ 。

关键词：煤炭直接转化，芳香族化合物，环烷基油品，催化剂。

3.6 大规模煤转化灰渣资源化利用关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究煤气化灰渣碳灰大规模经济分离新方法；研究煤气化渣铝、锂、镓等金属元素高效富集及梯级提取过程；研究煤气化灰渣高效活化调控制备碳硅复合多孔材料高值利用技术；研究煤气化渣惰性铝硅酸盐多聚体多场活化，研究气化渣低成本大掺量制备低碳水泥或无机连续纤维技术。

考核指标：形成气化灰渣大规模经济碳、灰分离技术，灰烧失量 $< 3\%$ ，建立 10 万吨装置，并稳定运行；实现 1~2 种高附加值产品（铝、锂、镓等）分离提取技术，实现百吨级试验装置验证；形成气化灰渣制碳硅复合多孔高比表面积材料制备技术，多孔材料比表面积 $> 400 \text{ m}^2/\text{g}$ ，建立千吨级示范线，实现复合材料的工业应用；在 10 万吨及以上生产示范线开展工程验证，灰渣掺混量 $> 60\%$ ，达到 42.5 标号水泥要求，或在万吨级及以上无机连续纤维工程验证，单丝拉伸强度 $\geq 1800 \text{ MPa}$ 。

关键词：煤气化灰渣，金属提取，碳硅材料，低碳水泥，无机连续纤维。

3.7 合成气直接制乙酸甲酯（青年科学家项目）

研究内容：发展合成气直接转化制乙酸甲酯新过程：认识合成气转化和目标产物选择性控制的关键影响因素和调控机制，深入探索反应机理和失活机理，构建合成气转化制乙酸甲酯反应网络；研究反应的热力学和动力学，建立催化剂微化学环境、关键中间过程/物种与催化活性之间的构效关系，开发高性能合成气制乙酸甲酯催化剂。

考核指标：阐明合成气直接转化制乙酸甲酯反应过程的转化率和产物选择性调控机制；设计和构筑高效、高稳定性的催化剂体系，实现合成气单程转化率 $\geq 30\%$ ，乙酸甲酯选择性 $\geq 85\%$ （有机产物中），烃类副产物选择性 $< 5\%$ ，乙酸甲酯时空收率 $\geq 0.25 \text{ g}/(\text{gcat} \cdot \text{h})$ 。

关键词：合成气直接转化，乙酸甲酯，催化剂体系。

3.8 合成气制燃料和化学品过程 C₂-C₃ 尾气芳构化技术（青年科学家项目）

研究内容：研究合成气制燃料和化学品过程 C₂-C₃ 尾气芳构化反应机理，探明催化剂结焦行为，建立催化剂活性物种结构与反应性能的定量关系；设计和构筑高选择性、高稳定性催化剂，突破催化剂规模化放大制备和成型技术；研究反应热力学和动力学，开发高效反应器，形成低碳烷烃芳构化新技术。

考核指标：阐明合成气制燃料和化学品过程 C₂-C₃ 尾气活化与芳构化的协同反应机制；完成公斤级催化剂规模化制备，低碳烷烃转化率 ≥70%，芳烃选择性 ≥70%，单程寿命 ≥70 小时；完成催化剂装量立升级反应器模式试验，实现稳定运行。

关键词：C₂-C₃ 尾气，芳构化，催化剂规模化制备，反应器。

3.9 煤炭直接定向调控制备高端精细化学品技术（共性关键技术类）

研究内容：针对低阶煤直接定向转化的需求，研究富油煤的定向裂解和分质高效利用等关键技术。主要包括两条技术路线：

（1）针对富油煤种，开发高效催化剂，研究煤中化学键定向裂解技术，形成煤直接转化制油品新型工艺；开发煤直接制备芳香族化合物和环烷基油品的催化反应分离一体化新技术。

（2）针对新疆哈密富油煤，开发煤粉高效低温热解技术、焦油定向转化技术、热半焦分离与输送技术、热解热半焦粉耦合燃烧灵活发电技术，形成分质高效转化利用系统关键技术。

考核指标：

（1）在低于 450° C 和 10 MPa 条件下，完成煤炭分级液化技术万吨级示范装置验证和 72 小时连续运行考核，油收率格金值 ≥150%，煤制油品综合能效 ≥60%，煤炭直接转化产品

中芳香族化合物的液体收率 $\geq 50\text{wt}\%$ ；完成百吨级油品直接制备芳香族化合物装置稳定运行，单一产品纯度 $\geq 99\%$ 。

(2) 形成煤粉热解、热半焦分离与输送、热解工艺与热半焦燃烧深度耦合梯级利用关键技术，完成 10 万吨/年级煤粉热解与热半焦燃烧深度耦合关键技术工程验证，热解油气收率 $\geq 30\%$ ，燃烧效率 $\geq 98\%$ ；焦油加工产品 50%以上为芳烃或者环烷基特种油品。

关键词：富油煤，煤炭直接转化，低温热解，耦合发电，芳香族化合物、环烷基油品、催化剂

4. 二氧化碳捕集利用与封存

4.1 燃煤电厂百万吨级 CO_2 捕集与地质利用封存关键技术开发（共性关键技术类）

研究内容：开发高效低能耗 CO_2 吸收剂技术；开发高通量、低压降塔内件和超大型、紧凑型 CO_2 分离设备；研究 CO_2 捕集耦合发电系统控制策略、变负荷动态运行技术；开展 CO_2 捕集及地质利用封存的全流程工程设计；开展燃煤电厂百万吨级 CO_2 捕集及地质利用封存全流程工程验证。

考核指标：掌握低能耗百万吨级 CO_2 捕集关键技术，形成煤电厂百万吨级 CO_2 捕集及地质利用封存系统工艺包，完成工程验证，实现 CO_2 捕集量 ≥ 100 万吨/年， CO_2 纯度 $\geq 95\%$ ，再生热耗 ≤ 2.2 GJ/t CO_2 ，吸收剂损耗 ≤ 1.0 kg/t CO_2 ，捕集电耗 ≤ 70 kWh/t CO_2 （不含压缩电耗）， CO_2 地质封存量 ≥ 50 万吨/年。

关键词：百万吨级，CO₂捕集，地质封存，工程设计。

4.2 用于 CO₂ 捕集的高活性低能耗固体吸附材料及技术 (共性关键技术类)

研究内容：研发新型高活性低能耗非胺基 CO₂ 固体吸附材料，建立规模化制备方法及技术；研究 CO₂ 吸附工艺热质传递、气固流动和反应过程的耦合特性，研发多反应器间固体颗粒循环监测与调控、热量高效转移与回收等关键技术，构建吸附过程强化策略与工程放大方法；研发 CO₂ 捕集全流程的能质匹配与集成优化技术，开发固体吸附捕集 CO₂ 的工艺包。

考核指标：开发 3 种以上新型固体吸附材料，碳捕集能力 ≥ 0.11 kg/kg，研制 10 吨级/年制备样机。建成 CO₂ 捕集能力百吨级/年的实验装置并进行吸附材料验证，CO₂ 捕集率 $> 90\%$ ，CO₂ 浓度 $> 95\%$ ，固体淘析率 $< 0.05\text{wt\%/小时}$ ，稳定运行时间不小于 500 小时。形成百万吨级固体吸附捕集 CO₂ 的工艺包，捕集能耗 < 2.0 GJ/t CO₂。

关键词：非胺基，固体吸附材料，CO₂ 捕集，吸附工艺。

4.3 CO₂ 驱油及封存安全监测技术 (共性关键技术类， 青年科学家项目)

研究内容：研发基于完井多参数信息在线监测技术与装备；研发驱油及封存 CO₂ 空间展布地震监测技术；研发缓冲层、浅层及近地表水质 CO₂ 泄漏取样监测技术；开展驱油过程 CO₂ 运移及矿化规律研究；开展 CO₂ 驱油及封存全流程安全监测系

统集成研究，应用于 CO₂ 驱油封存工程。

考核指标：在 CO₂ 驱油封存工程应用验证：多参数监测压力精度 0.5%FS、应变精度 20 με；CO₂ 空间分布地震监测空间分辨率 10 米；CO₂ 泄漏监测缓冲层内 CO₂ 浓度精度 1000 ppm、水质主要离子浓度精度 10 mg/L；CO₂ 运移及矿化模拟预测精度 ±10%；建立具有自主知识产权 CO₂ 驱油与封存信息化、智慧化安全监测系统。

拟支持 1 项常规项目，同时支持 1 项青年科学家项目。青年科学家项目针对共性关键技术内容开展前沿探索，具体研究内容与考核指标如下：开发基于完井的温度、压力、应变一体化监测装备，温度精度 ±0.1℃、压力精度 0.2%FS、应变精度 10με；开发完全自主产权 CO₂ 有效封存量与地层安全预测数值模型，预测精度 ±10%。

关键词：CO₂ 驱油及封存，监测装备，安全预警技术，现场验证。

4.4 加压富氧燃烧关键技术及装备（共性关键技术类）

研究内容：研究加压富氧条件下燃烧组织及热负荷分配技术；开发氮氧化物炉内控制技术；研究加压富氧燃烧锅炉高效换热技术，开展实炉传热部件测试；研发煤加压富氧燃烧关键设备及系统集成工艺。

考核指标：完成百千瓦级加压富氧燃烧换热样机研制，炉侧压力 ≥1.0 MPa；完成兆瓦级三种以上典型煤种的加压富氧燃

烧试验，压力 ≥ 0.6 MPa，连续运行 ≥ 72 小时，干烟气中 CO_2 浓度 $\geq 92\%$ ，炉膛出口氮氧化物排放比常压富氧燃烧降低 20% 以上；在兆瓦级试验装置上实测换热系数；完成 300 MWe 级加压富氧燃烧锅炉设计方案，锅炉效率 $\geq 95\%$ 。

关键词：加压，富氧燃烧，换热技术，系统集成工艺。

4.5 加压富氧燃烧换热样机研制（青年科学家项目）

研究内容：研究适用于加压富氧燃烧的热量转移技术，探究高压下物料流动及热质传递机制，开发耦合超临界二氧化碳循环的高效炉内换热器。

考核指标：形成高压、高浓度二氧化碳氛围下耦合流动的传热模型，误差 $\leq 15\%$ ；完成百千瓦级加压富氧燃烧换热样机研制，炉侧压力 ≥ 1.0 MPa，管内换热工质（超临界二氧化碳）压力 ≥ 10 MPa。

关键词：加压，富氧燃烧，换热技术。

4.6 CO_2 加氢制芳烃关键技术（共性关键技术类）

研究内容：开发 CO_2 加氢制芳烃工业催化剂，研究芳烃产品调变机制；研究 CO_2 加氢制芳烃过程的气固流动、传递与反应器放大规律；研发产品分离技术及 CO_2 与 H_2 循环转化技术，开发 CO_2 加氢制芳烃的全流程工艺；实现催化剂与反应装置的工业规模验证。

考核指标：实现 CO_2 加氢制芳烃催化剂百吨级制备，催化剂寿命 > 8000 h， CO_2 单程转化率 $> 60\%$ ，CO 的选择性 $< 20\%$ ，

芳烃在碳氢化合物中选择性 > 70%，BTX 在总芳烃中选择性 > 60%；实现 CO₂ 加氢制芳烃循环转化，CO₂ 回收利用率 > 90%；实现千吨级/年规模工业装置验证。

关键词：CO₂ 加氢，制芳烃，关键装备，流程工艺。

4.7 太阳能直接驱动 CO₂ 干重整制合成气技术（青年科学家项目）

研究内容：研究太阳能直接驱动的 CO₂ 干重整制合成气技术，开发太阳能全光谱高效捕获吸收、CO₂ 高效转化的催化材料；研究反应过程中的 CO₂ 活化、重构、键合等过程；发展局域温度、载流子输运等多物理场一体化原位测试方法；研究能量与物质耦合输运 CO₂ 转化的机理、调控与增效方法，研发太阳能直接驱动 CO₂ 干重整的新型反应器件/系统。

考核目标：CO₂ 转化率 ≥ 90%，太阳能-化学能转化效率 > 40%。构建吨级 CO₂ 干重整反应器，实现催化剂连续稳定工作大于 100 小时。

关键词：太阳能，二氧化碳，干重整，催化。