

## **“煤炭清洁高效利用技术”重点专项 2022 年度项目申报指南**

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“煤炭清洁高效利用技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：推进煤炭利用清洁低碳、灵活智能转型，在有效满足经济社会对能源需求的同时，保障国家能源安全，为能源系统平稳转型及碳达峰碳中和目标的实现提供科技支撑。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕煤炭高效清洁发电、煤炭灵活智能发电、煤炭清洁转化、二氧化碳捕集利用与封存 4 个技术方向，拟启动 22 项指南任务，安排国拨经费 2.34 亿元。其中，拟部署 8 项青年科学家项目，拟安排国拨经费 2400 万元，每个项目不超过 300 万元。原则上，基础研究类（含青年科学家项目）不要求配套经费，共性关键技术类项目要求配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，实施周期不超过 5 年。除特殊说明外，申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过

4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性关键技术类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 煤炭高效清洁发电**

### **1.1 新型高效紧凑型换热器技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：面向燃煤超临界二氧化碳循环发电，探索流动和换热新机制，发明气—气新型高效紧凑型换热器，进行原理样机实验验证。

考核指标：样机在传热、减阻、通道尺寸微型化以及工质适应性等方面性能优越，换热器摩擦阻力系数不大于 0.08，换热器效率  $\geq 93\%$ ，单个紧凑型换热器热负荷不小于 100kW，表面积/体积的比值大于  $5000\text{m}^2/\text{m}^3$ 。

## 1.2 近零排放的燃煤污染物深度脱除技术（共性关键技术类）

研究内容：研发面向近零排放的高效低成本烟气污染物（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物等）深度脱除技术；研制烟气多污染物经济高效深度脱除成套技术和设备；开展近零排放的烟气多污染物深度脱除技术的工业验证。

考核指标：形成深度脱除全套工艺技术，在 100MW 等级以上燃煤机组完成工业验证，颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 排放均小于 1mg/Nm<sup>3</sup>，SO<sub>3</sub> 脱除率不低于 95%，重金属的脱除率不低于 90%，综合成本不高于现有超低排放系统。

## 1.3 循环流化床锅炉宽负荷调峰超低排放关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究循环流化床宽负荷下硫氮污染物协同控制方法与策略；开发循环流化床燃烧炉内 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 联合控制技术；开发循环流化床快速变负荷调节技术；开展循环流化床低成本宽负荷超低排放系统集成优化研究，进行工程验证。

考核指标：掌握循环流化床调峰及污染排放控制技术，完成 300MW 等级循环流化床锅炉宽负荷和快速变负荷超低排放的工程验证，负荷范围 25%~100%，负荷变化速率 ≥ 2.0%/min；在 25%~100% 负荷变化范围内实现 N<sub>2</sub>O 原始排放 ≤ 80mg/m<sup>3</sup>、NO<sub>x</sub> 原始排放 ≤ 50mg/m<sup>3</sup>。烟尘排放 ≤ 5mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> ≤ 35mg/m<sup>3</sup>。

## 1.4 超临界二氧化碳燃煤发电系统关键技术（共性关键技术类）

研究内容：开展超临界二氧化碳基础物性研究；研究燃煤超

临界二氧化碳循环发电系统构建方法，研究循环系统动态特性及快速调峰控制策略；超临界二氧化碳燃煤锅炉关键技术；超临界二氧化碳压缩机及透平关键技术；超临界二氧化碳回热器关键技术；开展燃煤 600℃等级 20MWe 以上超临界二氧化碳机组系统集成优化研究，进行工业验证，开展发电系统瞬态特性及灵活性试验研究。

考核指标：完成燃煤 600℃等级 20MWe 以上超临界二氧化碳燃煤发电机组的工业验证。具体指标如下：（1）形成燃煤超临界二氧化碳循环发电系统设计方法；（2）超临界二氧化碳燃煤锅炉效率  $\geq 92\%$ ，回热器效率  $\geq 90\%$ ，稳态额定参数下发电效率不低于 40%；（3）负荷变化速率 6%/min 以上；（4）性能考核连续运行时间不小于 168 小时，累计运行时间不低于 1000 小时。

### **1.5 650℃以上高参数高效燃煤发电技术及示范(共性关键技术类)**

研究内容：研究开发 650~700℃高参数机组关键部件的选材及制造、加工、焊接工艺，进行关键部件及材料验证；研究高参数热力循环关键参数及热力系统技术；研究大容量高参数锅炉燃烧与水动力耦合特性、受热面布置及汽温调节方式和紧凑经济的锅炉布置型式；开发高参数汽轮机，研究汽轮机制造工艺、气动设计及整体结构方案；开发超高参数阀门，研究高温阀门气动特性、结构设计和制造工艺；进行 650℃以上等级发电机组的工程示范。

考核指标：建成基于国产材料的 650℃等级超超临界蒸汽发

电机组示范工程。具体指标如下：（1）开发出高温国产材料部件及形成加工制造工艺；（2）锅炉效率 $\geq 95\%$ ，汽轮机热耗率不高于 $6850\text{kJ/kWh}$ ，机组供电效率 $\geq 48\%$ ；（3）完成高温阀门自主设计及制造；（4）性能考核连续运行时间不小于168小时，累计运行时间不低于2000小时。

## **2. 煤炭灵活智能发电**

### **2.1 燃煤灵活智能发电基础问题研究（基础研究类）**

研究内容：针对燃煤发电机组深度调峰和快速变负荷需求，研究热力系统多时空动力学特性及智能化建模理论方法；研究智能控制理论方法、智能诊断算法及多目标协同优化控制策略；锅炉超低负荷的稳燃机制及污染物超低排放控制方法；机炉部件损伤机理、安全调控、寿命预测及评价。

考核指标：构建深度灵活调峰机组多时空动力学模型、智能控制算法、智能诊断算法及机组优化协调控制方法，形成自感知、自学习及自决策的智能系统，实现机组深度调峰快速变负荷工况下的全程自动化运行；建立燃煤发电机组灵活智能发电控制理论，构建提升灵活运行的安全环保稳定性指标体系，完成变负荷速率达到 $5\%/min$ 的深度调峰发电系统的初步设计。

### **2.2 新型燃煤发电锅炉快速调峰技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究煤粉燃烧快速变负荷方法和技术，研究煤粉快速变负荷燃烧稳定性和燃尽特性，进行实验验证；研究变负荷

速率与燃烧速率和传热速率间的动态匹配特性，研究燃煤发电锅炉快速变负荷技术方案。

考核指标：形成无助燃的煤粉燃烧快速变负荷方法和技术，完成 MW 级中试验证，实现负荷运行范围 20%~100%，升降负荷速率不低于 6%/min。完成 300MW 级亚临界燃煤发电锅炉及相关辅助系统快速变负荷技术的方案设计。

有关说明：同时支持 2 个不同技术路线的项目。

### **2.3 智能燃煤电站关键技术研发（共性关键技术类）**

研究内容：开发燃煤发电智能控制系统，支持燃煤发电过程的自主感知、灵活调节、运行优化和智能决策；研究智能化状态监控和故障诊断方法，开发实时及历史数据处理技术，研究工业数据挖掘和知识推理等算法及应用，开发智能调控、故障诊断测试平台；适应电厂应用与运维的轻量化边缘云平台，以及边缘云与中心云的协同互动技术。

考核指标：燃煤电站实现包括自启停控制（APS）的全程智控，在无人工干预情况下连续运行 168 小时；测试平台上状态监控和故障诊断涵盖 > 20 种典型常见的故障识别，误报和漏报率均低于 15%；开发出轻量化电厂边缘云平台，实现智能交互，支撑 10 个以上的核心功能业务。

### **2.4 超（超）临界机组宽负荷快速灵活调峰关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：开发深度调峰锅炉汽温调节和受热面安全控制技

术；研究直流锅炉深度调峰干/湿态转换机理及控制，开发高效宽负荷自动巡航、自适应和自调节技术；开发深度调峰、快速变负荷及启停的机组安全保障技术；开展超（超）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，锅炉各级受热面稳定运行且不超温；锅炉干湿态转换平顺且可自动完成；形成超（超）临界燃煤机组宽负荷快速灵活调峰及系统集成技术，在 300MW 以上超（超）临界纯凝机组上完成工程验证，负荷调节范围 20%~100%，变负荷速率达到 2.5%/min，实现机组全工况安全运行，20%负荷时煤耗的增加值不高于现有深调至 20%负荷机组煤耗增加值的 70%。

### 3. 煤炭清洁转化

#### 3.1 煤直接制纳米金刚石材料技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：探索煤制纳米金刚石材料的热力学机制与动力学转化过程，研究粒子能量等工艺条件对纳米金刚石材料的晶粒尺寸、晶体质量、生物相容性、结构中缺陷种类及浓度、机械性能等的影响，开发煤直接制纳米金刚石材料技术。

考核指标：开发煤炭转化为金刚石材料的技术，实现金刚石材料生长速率  $\geq 3\mu\text{m/h}$ ，单台设备年产量  $\geq 20\text{g}$ ，金刚石材料拉曼峰半高宽  $\leq 10\text{cm}^{-1}$ ，金刚石材料热导率  $\geq 1800\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，强度  $\geq$

75GPa。

### 3.2 合成气转化制可降解材料非贵金属加氢催化剂的开发 (基础研究类, 青年科学家项目)

研究内容: 开发高效稳定的合成气制可降解材料前聚体乙醇酸甲酯技术, 进行高选择性非贵金属加氢催化材料的合理设计与可控制备, 降低催化剂成本, 解决催化剂结焦难题。形成催化剂规模化制备技术并进行模式试验验证, 实现高效乙醇酸甲酯合成。

考核指标: 实现高效非贵金属加氢催化剂规模化制备, 催化剂在模式装置上稳定运行  $\geq 1000$  小时, 乙醇酸甲酯收率  $\geq 90\%$ 。

### 3.3 温和条件下煤炭定向裂解制备高端精细化学品技术 (基础研究类, 青年科学家项目)

研究内容: 开发在温和条件下 ( $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ) 对煤炭进行定向裂解、直接制备、分离缩合芳香族化合物等高端精细化学品的技术。研究煤种、催化剂和溶剂对煤定向裂解的影响机制; 研究影响煤中有机质大分子裂解后可溶物收率的因素; 研究所选用的溶剂和催化剂回收和循环使用技术。

考核指标: 完成单批次 10kg 级煤炭处理装置稳定运行, 重现性误差  $\leq 5\%$ ; 温和条件下, 所得煤炭的溶剂可溶物收率  $\geq 80\%$ , 溶剂和催化剂回收利用率  $\geq 98\%$ , 目标产品纯度  $\geq 99\%$ , 分离得到缩合芳香族化合物等高端精细化学品 5 种以上。

### 3.4 低 $\text{CO}_2$ 排放的新型煤间接液化成套技术 (共性关键技术类)

研究内容: 开展 Fe-C-O 高效活性结构动态稳定化调控、费



托合成反应 (FTS) 和水气变换反应 (WGS) 协同作用机制研究, 开发高活性、高稳定性、低 CO<sub>2</sub> 选择性的新型费托合成催化剂; 研究气液固三相体系流场分布、换热网络、高效液固分离, 开发超大规模浆态床反应器及配套装置; 耦合集成煤气化、中间产品制超清洁油品技术; 形成高效、低 CO<sub>2</sub> 排放的新型煤炭间接液化成套技术。

考核指标: 费托合成催化剂模式实验条件下, 时空产率  $\geq 2.5$  克 C<sub>3+</sub> 烃/(克催化剂·小时), CO<sub>2</sub> 选择性  $\leq 13\text{mol}\%$ ; 费托合成催化剂工业应用条件下, 时空产率  $\geq 1.2$  克 C<sub>3+</sub> 烃/(克催化剂·小时), 产油能力  $\geq 1200$  吨 C<sub>3+</sub> 烃/吨催化剂, CO<sub>2</sub> 选择性  $\leq 14\text{mol}\%$ ; 形成百万吨级新型煤间接液化工艺技术包, 单台浆态床反应器产能  $\geq 80$  万吨/年, 系统能效  $\geq 49\%$ , CO<sub>2</sub> 排放  $\leq 4.5$  吨/吨产品。

### 3.5 大规模新型煤直接液化技术 (共性关键技术类)

研究内容: 开发高活性、高分散、低水耗煤直接液化新型催化剂; 开发煤直接液化高效供氢溶剂制备技术; 开发超大规模煤直接液化新型反应器; 开发大处理量、稳定性好、防沉积结焦新型反应系统; 开发煤基一体化通用燃料关键制备技术; 形成大规模、长周期、高效的新型煤直接液化工艺技术。

考核指标: 完成吨/日级新型直接液化催化剂中试试验验证, 吨催化剂水耗  $< 0.5$  吨; 循环溶剂供氢指数  $> 22\text{mg/g}$ ; 在百公斤级煤直接液化连续实验装置上, 煤的转化率  $\geq 89\%$ , 油收率  $\geq 55\%$ ; 煤基一体化通用燃料完成陆、海、空典型装备发动机台架

试验验证，十六烷值 $\geq 45$ ，闪点 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ ，冰点 $< -47^{\circ}\text{C}$ ；形成 200 万吨新型煤直接液化工艺技术包，单系列煤直接液化装置油品产能 $> 200$  万吨/年，能源转化效率 $\geq 60\%$ ，单位反应器体积煤浆处理量提高 10%以上（与现有工业装置相比）。

### 3.6 合成气直接转化制长链 $\alpha$ -烯烃关键技术（共性关键技术类）

研究内容：开发合成气直接转化制  $\text{C}_{6+}$ 长链 $\alpha$ -烯烃关键技术；开发规模化高选择性、高稳定性催化剂制备技术；开发长链 $\alpha$ -烯烃的分离和精制技术；开展全流程工艺系统优化研究，实现装置稳定运行。

考核指标：完成长链 $\alpha$ -烯烃合成催化剂吨级制备；煤基长链 $\alpha$ -烯烃制备和分离精制技术完成万吨级验证，累计运行时间不低于 3000 小时， $\text{CH}_4$ 产率 $< 5\%$ ，液体产品产率 $\geq 45\%$ ，液体产品中  $\text{C}_{6+}$ （含  $\text{C}_6$ ） $\alpha$ -烯烃 $\geq 55\%$ ，聚合级 1-己烯产品纯度 $\geq 99\%$ 。

### 3.7 煤转化过程中 VOCs 低温高效转化去除技术（共性关键技术类）

研究内容：主要针对煤转化过程中合成气净化单元排放废气，开发新型高效耐硫催化剂，实现 VOCs 的低温高效转化；开发与催化剂相匹配工艺技术；开展过程控制研究，优化过程控制方案和运行配置；开发关键核心设备；进行 VOCs 低温高效去除成套技术工业试验。

考核指标：完成  $10000\text{m}^3/\text{h}$  以上规模废气中 VOCs 去除装置的建设并实现稳定运行；废气中烃类转化温度 $\leq 550^{\circ}\text{C}$ ，转化率

≥95%，出口非甲烷总烃浓度≤80mg/Nm<sup>3</sup>，耐硫催化剂实际使用寿命≥2年。

### 3.8 煤基先进功能碳材料制备关键技术（共性关键技术类）

研究内容：开发以煤为原料直接制备电池负极材料、电容炭等碳功能材料的关键技术；开发以含碳煤转化残渣为原料制备电池负极碳、电容炭、吸附碳等碳功能材料的关键技术。

考核指标：完成年千吨级煤基 Na/Li 离子电池负极材料制备，材料比容量≥300mAh/g，首次库伦效率≥85%，循环寿命≥10000次；完成年百吨级煤基电容炭材料制备，材料有机系电解液比电容≥120F/g，一万次容量保持率90%，耐受电压≥3.2V；完成年万吨级煤转化含碳残渣分离制备富集炭和富集炭制备吸附碳材料，并实现成套技术示范，吸附碳比表面积≥300m<sup>2</sup>/g。

## 4. 二氧化碳捕集利用与封存

### 4.1 新型低能耗 CO<sub>2</sub> 捕集材料及机制（基础研究类）

研究内容：研究新型低能耗 CO<sub>2</sub> 捕集材料定向设计方法；研究基于新型捕集材料的 CO<sub>2</sub> 捕集过程热质传递机理及过程强化；研究烟气组分对 CO<sub>2</sub> 捕集的影响规律及 CO<sub>2</sub> 捕集材料再生机制；研究 CO<sub>2</sub> 捕集全系统能量匹配规律，形成新型低能耗 CO<sub>2</sub> 捕集原理。

考核指标：研制出 2~3 种新型高性能 CO<sub>2</sub> 捕集材料，明确其烟气 CO<sub>2</sub> 捕集特性和作用规律，形成系统的低能耗碳捕集新体系，CO<sub>2</sub> 捕集率 > 90%，捕集能耗 < 2.8GJ/tCO<sub>2</sub> 或再生热耗 < 2.0GJ/tCO<sub>2</sub>，捕集材料再生损耗 < 0.7kg/tCO<sub>2</sub>。

## 4.2 CO<sub>2</sub> 定向转化制含氧化学品反应机制与新途径（基础研究类）

研究内容：开发 CO<sub>2</sub> 合成有机酸、醇、酯等高附加值化学品新途径；开发 CO<sub>2</sub> 定向转化高效催化剂；研究基于碳氧键断裂、物种插入与转移的 CO<sub>2</sub> 活化机制和基于 CO<sub>2</sub> 化学键定向重构的产物选择性调控机制；揭示 CO<sub>2</sub> 定向转化过程的热力学和动力学规律，形成 CO<sub>2</sub> 转化利用新体系。

考核指标：开发出 2~3 条 CO<sub>2</sub> 转化制高附加值含氧化学品的反应新途径和新方法并揭示其反应机制，形成 CO<sub>2</sub> 定向转化高效催化剂制备方法，实现 CO<sub>2</sub> 总转化率  $\geq 60\%$ ，单一产物选择性  $\geq 80\%$ 。

## 4.3 CO<sub>2</sub> 捕集与原位催化转化技术研究（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究具有 CO<sub>2</sub> 捕集与原位催化转化性能的双功能材料设计与制备方法，研究 CO<sub>2</sub> 捕集与原位催化转化制高值化学品系统集成及过程强化工艺，研究原位催化转化过程中 CO<sub>2</sub> 捕集、活化与催化转化机制，形成 CO<sub>2</sub> 捕集与原位催化转化制高值化学品技术。

考核指标：形成用于 CO<sub>2</sub> 捕集与原位催化转化的双功能材料规模化制备方案，建成年产百公斤级规模 CO<sub>2</sub> 捕集与原位转化装备，实现捕集容量  $\geq 0.85\text{molCO}_2/\text{kg}$ ，CO<sub>2</sub> 原位转化率  $\geq 60\%$ 。

## 4.4 电催化还原 CO<sub>2</sub> 制 C<sub>2+</sub>基础化学品探究（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：开发电催化 CO<sub>2</sub> 转化高效催化剂，揭示电催化作

用下 CO<sub>2</sub> 精准活化及可控碳碳偶联机制，研究 CO<sub>2</sub> 催化转化制 C<sub>2+</sub>醇/烯烃过程强化规律，构建高效稳定的 CO<sub>2</sub> 电催化系统。

考核指标：建立电催化 CO<sub>2</sub> 制备低碳醇/烯烃系统，年产 C<sub>2+</sub>醇/烯烃达到百公斤级，实现 500mA/cm<sup>2</sup> 大电流密度下稳定运行大于 100h，单一醇/烯烃产物选择性大于 60%。

#### 4.5 CO<sub>2</sub> 矿化联产高值产品技术（共性关键技术类）

研究内容：开发多组分煤基固废的钙镁组分高效活化和 CO<sub>2</sub> 深度矿化新技术；开发高适用性、高固碳率、高固废掺杂的 CO<sub>2</sub> 矿化联产高附加值碳酸盐、建材等产品新工艺；开发 CO<sub>2</sub> 矿化与废渣、废水协同资源化利用技术；研发 CO<sub>2</sub> 吸收与矿化反应一体化的气—液—固多相深度矿化的高效传质与反应设备；进行 CO<sub>2</sub> 矿化联产高值产品技术工业试验。

考核指标：形成适用于多组分的煤基固废 CO<sub>2</sub> 矿化联产高值产品关键技术，建立 CO<sub>2</sub> 矿化吸收能力 ≥ 50000 吨/年且联产高值产品的 CO<sub>2</sub> 矿化工业装置，在工业试验装置连续稳定运行 2000 小时的基础上进行 72 小时性能试验考核，矿化反应器 CO<sub>2</sub> 转化利用率不低于 90%，CO<sub>2</sub> 矿化净封存利用率 ≥ 70%，固废活性组分综合利用率不低于 50%。