

附件 1

煤炭重大专项 2026 年度公开项目申报指南

煤炭重大专项立足于以煤为能源主体的基本国情，突破与可再生能源耦合的煤炭清洁高效开发利用关键核心技术，推进煤炭绿色智能开发、煤炭灵活高效发电、低碳高效煤制油气、碳捕集利用与封存技术创新与进步，全面推动煤炭与可再生能源的相互融合、共同发展，增强可再生能源的大规模消纳能力和基础能源保供能力，加快培育和发展新质生产力，为保障我国能源安全稳定供应和低碳转型提供科技支撑。

煤炭重大专项 2026 年度通过公开竞争方式部署 23 项指南任务。其中，拟部署 8 项青年科学家项目。项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。原则上每个指南任务拟支持项目数 1 项。申报项目的研究内容须覆盖指南所列的全部研究内容和考核指标。申报项目的参与单位须在项目中承担实质性研究任务，有明确的考核指标，研究任务和经费要相互匹配。技术开发类项目实施周期原则上不超过 4 年，下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。应用示范类项目实施周期原则上不超过 5 年，下设课题数不超过 6 个，项目参与单位总数原则上不超过 15 家，对于研发示范任务重，确需多方力量协同攻关且配套经费比例较高的项目可适当增加参与单位数量，总数应控制在 20 家以内，参与单位超过 15 家的项目应提供确需超过的必要性说明。项目应整体申报，设 1 名项目负责人，每个课题设 1 名负责

人，项目负责人可担任其中 1 个课题的负责人。项目负责人及课题负责人原则上应为 1966 年 1 月 1 日以后出生。项目研究骨干人员中，40 岁以下青年科技人才比例不低于 50%。

煤炭重大专项坚持发挥中央财政经费的战略引导和资金牵引作用，采用前补助和后补助相结合的方式对项目进行中央财政经费支持。技术开发类项目除已在指南中明确为事前立项事后补助方式的项目外，其他项目一般采用事前立项事前补助方式。应用示范类项目除已在指南中明确为事前立项事后补助方式的项目外，其他项目中涉及以科技成果产品化、工程化、产业化为目标任务的课题，主要采用后补助方式，其他课题可采用前补助方式。技术开发类项目配套经费与中央财政经费比例不低于 3:1，应用示范类项目配套经费与中央财政经费比例不低于 4:1。

青年科学家项目中央财政经费不超过 300 万元/项，采用事前立项事前补助方式。项目不再下设课题。项目参与单位总数不超过 3 家，实施周期不超过 3 年。青年科学家项目设 1 名项目负责人，项目负责人应为 1986 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。

指南中包含有关说明的，以说明为准。

1. 煤炭绿色智能开发

1.1 大型高效智能选煤关键技术与装备（应用示范类）

研究内容：研发模块化宽粒级大型预排矸关键技术与装备；研发细粒煤高效干法分级分选关键技术与装备；研发煤炭重力分选复合流场调控及精细旋流分选关键技术与装备；

研发煤岩组分精深浮选强制矿化及快速分离关键技术与装备；研发重选和浮选等关键工艺参数精准检测与分选指标智能控制技术；开展大型高效智能选煤关键技术与装备工程示范。

考核指标：模块化预排矸跳汰机单机有效分选粒度范围 1.5 mm~300 mm，吨煤循环水用量减少 10%~20%，分选效率 $\geq 90\%$ ；大型智能化干(风)选机单位面积处理能力提升 30%，矸石带煤 $\leq 3\%$ ，无人值守；重介分选装备有效分选粒度范围 150 mm~1 mm，可能偏差 $E \leq 0.03 \text{ g/cm}^3$ ；浮选湍流矿化装备处理量达到 1000 m³/h，浮选数量效率 $\geq 80\%$ ；煤炭分选关键环节多工艺协同响应时间 $\leq 10 \text{ s}$ ，智能控制精度误差 $\leq 5\%$ ，工艺参数检测准确率 $\geq 90\%$ ；建成不同技术路线的工程示范 2 个，选煤生产人员效率提高 20%。

关键词：排矸分选，重介分选，细粒浮选，智能控制

1.2 特大型露天煤矿连续化智能高效开采关键技术与装备（应用示范类）

研究内容：研究适用于特大型露天煤矿连续化开采效能提升、工艺匹配与数智管控关键技术；研究露天矿煤层高效连续挖掘关键技术，研制特大型露天煤矿 15 Mt/a 采煤用紧凑型智能轮斗挖掘机；研究露天煤矿岩石高效破碎关键技术，研制万吨级可移式智能剥离用破碎站成套装备；研究露天煤矿连续化、电气化高效运输关键技术，研发适配特大型露天煤矿的大倾角连续化运输装备、煤岩立体交叉运输系统等可移式智能成套装备；研究露天煤矿高效连续排土关键技术，

研制两万吨级智能排土成套装备；开展特大型露天煤矿连续化智能高效开采工程示范。

考核指标：构建多工艺系统协同开采三维数字孪生模型，可实现不少于3种工艺和330 Mm³/a采剥总量条件下的工艺系统演化过程仿真与智能决策；紧凑型智能轮斗挖掘机年生产能力达到15 Mt，挖掘线切割力达到220 kN/m；剥离用破碎站生产能力达到10000 t/h，最大破碎硬度达到200 MPa；煤岩立体交叉运输系统最大物料通过能力达到7500 t/h，成套装备移动轨迹偏差≤0.5 m；排土机生产能力达到20000 t/h，自平衡允许最大纵向偏移量≥300 mm；完成15 Mt/a轮斗采煤连续系统、30 Mm³/a剥离半连续系统、30 Mt/a及以上规模特大型露天煤矿运输系统工程示范，采煤系统吨煤能耗降低30%。

关键词：特大型露天煤矿，智能高效开采，采煤连续装备，剥离半连续装备，立体交叉运输

有关说明：本项目中央财政经费采用事前立项事后补助支持方式。

1.3 矿井水高效处理利用技术与装备（应用示范类）

研究内容：研究采空区冒落岩体对矿井水净化机制与调控技术；研发高氟矿井水井下高效低成本处理技术与模块化装备；研发高矿化度矿井水井下分级分质处理利用技术与模块化智能装备；研发高矿化度矿井水地面低成本软化、高倍率浓缩技术与智能化处理装备；研发矿井水浓盐水井下处置技术，研发地面浓盐水与矿区煤泥水/煤基固废协同处置利用

技术；开展矿井水高效处理利用工程示范，研究黄河流域典型矿区矿井水处理利用技术方案。

考核指标：采空区矿井水悬浮物去除率 $\geq 95\%$ ；开发高氟矿井水处理材料不少于2种，处理成本低于现行处理技术，井下处理后 $F^- \leq 1 \text{ mg/L}$ ；高矿化度矿井水井下脱盐模块处理规模 $\geq 2000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，处理后水回收率 $\geq 75\%$ ；高矿化度矿井水地面软化成本在同等水质条件下降低20%，高倍率浓缩后总溶解性固体含量（TDS） $\geq 120000 \text{ mg/L}$ ；形成浓盐水井下/地面低成本处置利用工艺包，吨干煤泥消纳固体盐量 $\geq 0.1 \text{ kg}$ ，浓盐水煤基固废制备的固化材料盐固化率 $\geq 90\%$ ；建设高氟矿井水井下处理利用示范工程1处，处理能力 $\geq 10000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，处理后 $F^- \leq 1 \text{ mg/L}$ ，建设高矿化度矿井水井下、地面处理利用示范工程各1处，处理能力均 $\geq 10000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，处理后达到地表水III类标准，相关示范矿井矿井水利用率 $\geq 85\%$ ，制定黄河流域典型矿区矿井水处理利用技术方案，为黄河流域矿井水利用率达到80%提供技术支撑。

关键词：高氟矿井水，高矿化度矿井水，浓盐水，井下地面协同处理，矿井水高效利用

1.4 煤矿低浓度瓦斯高效利用及近零排放关键技术与装备（应用示范类）

研究内容：研发乏风瓦斯氧化销毁新工艺；研发低成本催化剂构筑方法及乏风瓦斯蓄热催化氧化稳定增效技术；研发低浓度瓦斯大通量输运与稳定燃烧技术及装备；研发低浓度瓦斯高效吸附提浓技术与装备；构建煤矿生产全流程的甲

烷排放与利用精准监测核算体系；研究煤矿低浓度瓦斯利用技术工艺全效评价方法及煤矿瓦斯全浓度综合利用技术方案，建设煤矿低浓度瓦斯利用示范矿井，实现低浓度瓦斯高效利用、乏风瓦斯近零排放。

考核指标：形成单台处理能力 $\geq 100000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 乏风瓦斯（甲烷浓度 $< 0.2\%$ ）氧化技术和装备，氧化率 $\geq 95\%$ ；形成最大处理能力 $\geq 100000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 乏风瓦斯（甲烷浓度 $0.2\% \sim 0.4\%$ ）低成本蓄热催化氧化技术和装备，氧化率 $\geq 95\%$ ；形成低浓度瓦斯（甲烷浓度 $3\% \sim 8\%$ ）安全稳燃装置，热能利用效率 $\geq 90\%$ ；形成单台处理能力 $\geq 10000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 的低浓度瓦斯（甲烷浓度 $3\% \sim 8\%$ ）分离提浓装置，甲烷回收率 $> 90\%$ ；形成空天地甲烷浓度监测仪器设备，地面精度优于 1 ppb ；形成甲烷浓度 8% 及以下瓦斯利用技术，建成抽采瓦斯利用率 $> 90\%$ 、乏风瓦斯近零排放的示范矿井，制定煤矿瓦斯全浓度综合利用技术方案，支撑全国抽采瓦斯利用率 $\geq 55\%$ 。

关键词：催化氧化，安全稳燃，高效提浓，精准监测

1.5 矿震对井下储水挡水坝体损伤机理研究（青年科学家项目）

研究内容：研究矿震扰动下储水坝体多场耦合力学响应机理与非线性时效损伤本构关系，揭示矿震与矿井水驱动下储水坝体“应力-渗流-损伤”失稳致灾机制，基于相似模拟实验，研发融合深度学习的储水坝体多模态损伤感知技术与安全风险智能评估系统。

考核指标：建立矿震条件下坝体损伤本构模型，损伤特

征表征准确度 $\geq 90\%$ ，基于坝体震动失稳致灾机理提出新型坝体防震结构类型 ≥ 2 种，构建震后坝体安全风险智能评估系统，评价指标 ≥ 3 个，震后坝体安全评判时间 ≤ 30 s。

关键词：井下储水坝体，矿震扰动，损伤机理

1.6 面向煤矿时空数据的大模型建模理论研究（青年科学家项目）

研究内容：研究煤矿地质、测量、采掘、监测、设备等多源时空数据统一表征体系以及融合煤矿时空信息的文本、音频、视频、图形、图像等多模态数据对齐机制，实现煤矿包括矢量图形在内的多模态时空数据协同表达，设计煤矿物理规律约束下高可用时空大模型训练范式，支撑煤矿安全生产复杂场景下精准、高可信时空推理需求，突破大语言模型在煤矿等工程领域矢量时空数据处理困难和适用性不足的难题。

考核指标：建立面向煤矿时空数据的大模型训练数据集，其中煤矿多模态时空矢量数据规模不低于 TB 级别，实现图形、图像、音频、视频与文本模态数据的对齐与统一建模，构建煤矿多模态时空语义一致性标准评测集，其多模态时空语义一致性匹配准确率 $\geq 95\%$ ，完成面向煤矿时空数据大模型训练架构与范式验证，构建煤矿时空数据智能处理标准评测集，其模型理解与问答准确率 $\geq 95\%$ 。

关键词：煤矿时空数据，煤矿大模型，多模态

2. 煤炭灵活高效发电

2.1 耦合煤电的热化学储能关键技术及验证（技术开发

类)

研究内容: 研究提升储/放热循环寿命和反应速率的方法和机理, 开发长寿命、高活性和高能量密度的高温热化学储能材料配方; 研究高温热化学储能材料成型及规模化制备技术; 研究储能成型材料的耐温、耐压和运行损耗特性, 建立储能材料长周期服役关键参数检测试验平台; 研究高温热化学储/放热过程中物质与能量转化及传递规律, 研制储/放热装置; 研究耦合煤电机组的高温热化学储能技术, 建立高温热化学储热、放热试验验证平台, 形成耦合煤电的热化学储能工程技术方案, 并进行经济性、灵活性和安全性评价。

考核指标: 形成高温热化学储能材料配方, 储能粉末材料最高温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$, $500^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 储能密度 $\geq 550 \text{ kJ/kg}$, 1000 次循环后储能密度降低 $\leq 10\%$; 形成批量化生产工艺流程方案, 储能材料批次产量 ≥ 10 吨; 建立储能成型材料长周期服役关键参数检测评价方法, 在模拟工况下耐温 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ 、耐压 $\geq 1 \text{ MPa}$; 掌握高温热化学储/放热试验装置的启停和 $20\%\sim 100\%$ 额定功率范围内升降负荷运行方法并完成试验验证; 建立 MW 级储/放热与蒸汽发生联合试验验证平台, 完成试验验证, 储放热系统热效率 $\geq 90\%$ (不包含系统辅助设备电耗), 可连续产出 $\geq 600^{\circ}\text{C}$ 的高温蒸汽, 持续时间 $\geq 2 \text{ h}$, 形成具有可研深度的耦合煤电热化学储能工程技术方案, 且耦合后相比原机组变负荷速率提高 $1\% \text{ Pe/min}$ 以上、最低负荷降低 $10\% \text{ Pe}$ 以上。

关键词: 热化学, 储热材料, 长寿命, 储热装置, 灵活

性

2.2 耦合煤电的高温固体颗粒储能关键技术及验证（技术开发类）

研究内容：研究高温固体颗粒的破损特性与高低温交变稳定特性，开发固体颗粒筛选、制备及物性参数优化技术；研究高温固体颗粒的流动特性，开发高温固体颗粒输运及调控技术；研究高温固体颗粒储热系统热质传递特性，开发高效储放热技术；研究耦合煤电机组的高温固体颗粒储热技术，建立高温固体颗粒储/放热试验验证平台；开展耦合燃煤发电系统的高温固体颗粒储热工程技术方案研究，并进行经济性、灵活性和安全性评价。

考核指标：形成高温固体颗粒制备技术，储热介质最高温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ ， $400^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 储热密度 $\geq 500\text{ kJ/kg}$ ，100 次循环之后颗粒损耗率 $\leq 10\%$ ；研制储热系统高温输运装置，固体颗粒输运量 $\geq 7\text{ t/h}$ ，最高输运温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ ；研制储/放热热质交换装置，换热效率 $\geq 90\%$ ；建立 MW 级高温固体颗粒储/放热试验验证平台，完成试验验证，储放热系统热效率 $\geq 90\%$ （不包含系统辅助设备电耗），可连续产生 $\geq 600^{\circ}\text{C}$ 的高温蒸汽，持续时间 $\geq 2\text{ h}$ ；掌握耦合燃煤发电系统的高温固体颗粒储热系统设计方法，形成具有可研深度的耦合煤电高温固体颗粒储热工程技术方案，且耦合后相比原机组变负荷速率提高 $1\% P_e/\text{min}$ 以上、最低负荷降低 $10\% P_e$ 以上。

关键词：高温固体颗粒，热质传递，高效储放热，高温蒸汽

2.3 “热力电池”技术开发及工程示范（应用示范类）

研究内容：研究“热力电池”系统异质能流的跨时间尺度能量转化和传递机理，提出适应耦合煤电灵活性提升、退役煤电机组改造再利用、新能源基地绿电消纳、园区多能源供应等不同场景的“热力电池”系统构型；研究高效“热力电池”系统构建和集成方法，开发 MW 级“热力电池”试验验证平台；开发“热力电池”电-热高效转化、高效传热关键技术，研制压缩机、透平、换热器等核心装备；研究与“热力电池”系统匹配的新型储热技术，开发适应多场景需求的储放热系统；研发多场景下能量循环动态匹配和优化控制技术；开展 50 MW 级“热力电池”系统集成并进行工程示范，开展 200 MW 级“热力电池”技术方案研究。

考核指标：掌握适应耦合煤电灵活性提升、新能源基地绿电消纳等 2 种及以上场景“热力电池”构型，完成“热力电池”系统多层次动态仿真模型构建，形成满足可行性研究深度的上述构型技术方案，工程示范方案的动态仿真模型计算结果与运行数据偏差 $\leq \pm 5\%$ ；完成 MW 级（以储电功率计）

“热力电池”系统试验验证平台，具备压缩机、透平、换热器等关键装备和储热系统的验证能力；形成电-热高效转化的压缩机和透平、换热器等核心装备设计、制造方法；掌握“热力电池”系统集成工艺，额定工况下储电侧压缩机出口工质温度 $\geq 570^{\circ}\text{C}$ ；形成“热力电池”多场景动态优化控制技术，建立多尺度协同安全控制方法；完成单套 50 MW 级（以储电功率计）工程示范，储热时长 $\geq 6\text{ h}$ （以储电功率计），低

温热源温度 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ，电-电效率 $\geq 60\%$ （不计入厂用电），储电侧变负荷速率 $\geq 8\% P_e/\text{min}$ （ P_e 为额定储电功率），完成单套 200 MW 级“热力电池”技术方案。

关键词：热力电池，压缩机，透平，换热器，新型储热

有关说明：可支持 2 个不同技术路线的项目。

2.4 一体化熔盐蒸汽发生器关键技术研究（青年科学家项目）

研究内容：提出集预热器、蒸发器、过热器于一体的熔盐蒸汽发生器创新构型，揭示熔盐与气液两相流瞬态耦合流动传热规律，研究抑制压力和温度等参数波动的调控方法，研制一体化熔盐蒸汽发生器原理样机，研究一体化熔盐蒸汽发生器与煤电机组耦合的集成工艺。

考核指标：研制一体化熔盐蒸汽发生器样机并完成测试，入口给水过冷度 $\geq 50^{\circ}\text{C}$ 条件下，单个补汽周期 10 分钟内峰值功率为 100 kW，升降负荷速率均为 20 kW/min，出口蒸汽过热度 $\geq 100^{\circ}\text{C}$ ，出口蒸汽温度波动 $\leq 5\%$ ，形成耦合 600 MW 级煤电机组的熔盐系统放热侧一体化熔盐蒸汽发生器工程方案。

关键词：熔盐储热，蒸汽发生器，瞬态流动传热，气液两相流

2.5 宽负荷富氧煤燃烧技术研究（青年科学家项目）

研究内容：研究氧注入方式、比例和负荷变化对煤燃烧火焰结构、稳定性、污染物排放及燃烧器烧蚀结焦的影响，研发高效低氮富氧燃烧模拟及优化设计技术，开发富氧浓度、

宽负荷稳定的煤粉高效低氮燃烧器，研究氧注入的自适应协调控制逻辑与安全联锁策略。

考核指标：形成氧助燃的宽负荷煤燃烧火焰稳定方法与技术，单燃烧器热负荷 20%~100%可调，相比额定负荷，20%负荷工况下 NO_x 生成浓度增加不超过 100%，构建燃烧与 NO_x 生成的多物理场仿真模型，预测误差小于 15%，完成百千瓦或以上的氧助燃煤粉燃烧器试验验证，燃烧器应无烧蚀、结焦现象，提出富氧燃烧器氧注入的自适应协调控制逻辑与安全联锁策略。

关键词：富氧燃烧，低氮燃烧，超低负荷稳燃

2.6 宽温域高能量密度非熔盐液体储热技术研究（青年科学家项目）

研究内容：研究非熔盐液体储热介质在储放热过程中原子团簇结构或分子结构的演变机制，构建储热介质的能量密度调控与热物性改性机理，建立储热材料微观结构变化与储放热性能参数变化之间的构效关系，揭示储热介质与容器材料之间的腐蚀与钝化保护机制，研发与储热材料适配的高效储/换热元件，设计百千瓦时级热储能试验系统并完成系统搭建与动态储换热性能验证，开展耦合燃煤发电系统的非熔盐液体储热技术方案研究。

考核指标：调控改性后的储热介质储热温度下限 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ ，温度上限 $\geq 650^{\circ}\text{C}$ ，质量储热密度 $\geq 540 \text{ kJ/kg}$ ，体积储热密度 $\geq 0.75 \text{ MJ/m}^3$ ，对所选容器材料在 650°C 的腐蚀速率 $\leq 150 \mu\text{m/a}$ ，完成储热试验系统设计、搭建与测试，储热量

≥ 100 kWh，释热装备的额定功率 ≥ 20 kW，形成耦合燃煤发电系统的非熔盐液体储热技术方案。

关键词：宽温域，高能量密度，非熔盐液体储热，动态储换热性能

2.7 燃料清洁高效燃烧过程多物理场智能感知技术（青年科学家项目）

研究内容：研究面向多源燃料清洁高效燃烧过程的高精度非接触式多物理量诊断方法，开发温度场、流场及活性自由基、非常规污染物（如 N_2O 、 NH_3 、卤化物、 CO 等）等关键组分浓度场的精准测量技术，研发适用于多源燃料燃烧的多模态检测与物理信息识别的智能感知系统。

考核指标：研制适应于多工况与多源燃料的同步诊断系统，在高温（ $800^{\circ}C\sim 1600^{\circ}C$ ）及强扰动工况下稳定运行，实现温度场、流场及污染物浓度场 $ms\sim mm$ 量级时空分辨率的同步测量，温度测量误差 ≤ 10%、速度场测量误差 ≤ 5%、浓度场测量误差 ≤ 10%，构建适用于多源燃料燃烧的多物理场智能感知模型，实现燃烧模态及污染物生成特征的识别准确率不低于 95%，在多源燃料燃烧的典型场景开展验证。

关键词：多源燃料燃烧，组分浓度测量，多物理场智能感知

3. 低碳高效煤制油气

3.1 煤制油气过程模拟与优化软件开发（技术开发类）

研究内容：开展煤制油气过程的流程模拟软件需求分析和架构设计；研究煤制油气工艺过程物性计算和预测的理论

及方法，构建相关物质物性数据库；研究煤制油气过程传递、反应与分离过程的专有热力学模型与计算方法，构建原料预处理、反应、分离、换热、传输等单元设备模块模型库，研究高效、稳健的单元及流程级复杂数学模型求解方法，基于实际运行装置的物料平衡、能量平衡及工艺参数等关键数据，研究人工智能辅助的混合模型方法；开展煤制油气过程模拟软件的可信度验证和标定。

考核指标：完成煤制油气过程模拟与优化软件架构设计，涵盖直接液化、间接液化、煤制天然气等 3 种及以上技术路线；建成国内主力煤田典型煤种煤质数据库；形成煤制油气工艺过程物性计算和预测的理论及方法，建成面向煤制油气过程的专有物性数据库，包含 8000~10000 种典型煤制油气相关纯组分物质及其混合物传递、热力学和相平衡数据；形成煤制油气过程传递、反应与分离过程的专有热力学模型与计算方法，针对所述煤制油气过程的典型传递、反应与分离设备，模拟结果与稳态工况下工业运行数据误差 $\leq 5\%$ ；形成煤制油气工艺过程原料预处理、反应、分离、换热等所有单元设备模块模型库，实现煤制油气过程关键工艺全流程模拟，关键工艺指标参数模拟精度 $\geq 95\%$ ，形成人工智能辅助的混合模型方法；进行流程模拟与优化软件在十万吨级以上规模的煤制油气生产工业装置上应用验证，关键工艺指标参数模拟精度 $\geq 95\%$ 。

关键词：煤制油气，物性数据库，热力学模型，单元模块模型库，过程模拟

3.2 甲烷化高水气比高温循环气压缩机及副产蒸汽关键热工设备（应用示范类）

研究内容：开展压缩机内高温气体流场分析，开展高温气体环境中压缩机材料性能研究，开发干气密封技术，开展结构优化设计；开展甲烷化废热锅炉中蒸发器、过热器和汽包的工艺性能研究，开发蒸发器柔性管板结构应力分析及制造技术，开发蒸发器尾部工艺气精准控温方法，开发刺刀管高温高压过热器多层绝热嵌套结构制造技术，开展非对称结构设备及管道布置热应力及安全性分析，开发蒸发器整体消应力质量提升工艺。

考核指标：开发出甲烷化装置用高水气比高温循环压缩机，压缩机进口温度 $\geq 180^{\circ}\text{C}$ ，设计点多变效率 $\geq 84\%$ ，机组振幅 $\leq 25.4\ \mu\text{m}$ ，通过10亿方/年甲烷化装置工业应用验证及考核，压缩机连续运行时间 $\geq 3000\ \text{h}$ ；废热锅炉系统适用于工艺气温度 $\geq 625^{\circ}\text{C}$ ，产生过热蒸汽温度 $\geq 455^{\circ}\text{C}$ ，过热蒸汽进出口温差 $\geq 180^{\circ}\text{C}$ ，蒸发器出口温度控制精度控制在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内，甲烷化废热锅炉系统整体能量传递效率 $\geq 96\%$ ，通过10亿方/年甲烷化装置工业应用验证，完成72 h考核。

关键词：甲烷化，循环气压缩机，蒸发器系统

有关说明：本项目中央财政经费采用事前立项事后补助支持方式。

3.3 适用于煤制天然气新型固定床气化技术开发（技术开发类）

研究内容：开展块煤加压固定床内气化反应特性、碱金

属与氯迁移行为、灰渣烧结、液态熔渣特性及连续排渣过程流动传热特性等基础研究，研发液态无渣池连续排渣气化炉及工艺过程等关键技术及装备；开展加压固定床煤气水起泡、煤气水中盐类化合物迁移等基础研究，研发加压固定床煤气水减量回炉等关键技术及装备，开发加压固定床煤气水减量化技术，并开展中试研究；研究氧气与空气点火控制工艺及CO₂返炉工艺，研究新型外置煤锁阀、灰锁阀、焦油渣分离设备，开发高效粗煤气气液分离器，研究大型加压固定床气化布气规律，开发工艺设计软件包，开展大型高压固定床气化工程验证。

考核指标：建成新型连续排渣加压固定床熔渣气化中试装置，处理能力 ≥ 24 t/d，碳转化率 $\geq 99\%$ ，冷煤气效率 $\geq 83\%$ ；煤气水回炉率 $\geq 90\%$ ；大型高压固定床气化验证运行，压力 ≥ 4.0 MPa，单台气化炉生产有效气（CO+H₂+CH₄） ≥ 63000 Nm³/h、CH₄含量 $\geq 12\%$ 。

关键词：固定床气化，连续排渣，煤气水减量化

3.4 煤化工与绿电绿氢绿热耦合系统优化调控技术研究 (青年科学家项目)

研究内容：针对煤化工降碳与新能源消纳的需求，研究绿电、绿氢、绿热与煤化工耦合系统的优化配置方法；研究电-氢-化-储-热多能源多过程系统耦合交互机制与多时间尺度灵活调控技术，提出多元市场环境下系统调控策略；搭建系统智能调度平台并进行仿真验证。

考核指标：形成电-氢-化-储-热多能源系统优化配置方法，

实现煤化工项目降碳率 $\geq 25\%$ 条件下用能成本上升不大于 15%，区域负荷有功功率裕度 $\geq 8\%$ ，无功功率裕度 $\geq 8\%$ ；构建耦合系统多时空尺度（周-日前-日内-实时）灵活调控策略，新能源利用率 $\geq 95\%$ ，参与多元市场交易品种不少于 3 种；搭建智能调度平台并基于百万吨级煤化工与百万千瓦级新能源耦合场景完成仿真验证，实现耦合系统多时间尺度优化决策与频率稳定控制功能，日内前瞻调度时窗 4~6 h 可调，AGC 控制合格率大于 96%。

关键词：煤化工降碳，多能耦合，调控策略，仿真平台

4. 碳捕集利用与封存

4.1 十万吨/年级吸附法燃烧后 CO₂ 捕集技术及工程示范（应用示范类）

研究内容：开发高吸附容量和高选择性的新型非胺基吸附材料，开展材料综合性能测试评价；研究规模化制备过程场效应与材料性能之间的协同规律，开发吸附材料连续规模化制备技术，研制材料规模化制备装置；研发吸附法燃烧后 CO₂ 捕集工艺系统；研发适配于新型吸附材料的碳捕集关键设备；开展十万吨/年级吸附法燃烧后 CO₂ 捕集技术工程示范。

考核指标：开发出新型非胺基固体吸附材料，在燃煤电厂真实烟气组分条件下，循环吸附量 $\geq 2.9 \text{ mol}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ，CO₂/N₂ 选择性 ≥ 180 ；建成千吨/年级吸附材料规模化制备装置；完成十万吨/年级吸附法碳捕集工艺包设计；建成十万吨/年级吸附法燃烧后 CO₂ 捕集示范工程，累计运行时间不少于 2000 h，磨损率 $\leq 0.02 \text{ wt\%/h}$ ，并进行 72 h 连续运行性能考核测试，

达到如下指标： CO_2 捕集率 $\geq 90\%$ ， CO_2 纯度 $\geq 95\%$ ，捕集能耗 $\leq 1.6 \text{ GJ/tCO}_2$ 。

关键词：燃烧后 CO_2 捕集，吸附法，高吸附容量，高选择性

有关说明：支持非 MOFs 晶态材料的吸附法燃烧后 CO_2 捕集的技术路线。

4.2 耦合绿电的 CO_2 电催化还原技术与装备（技术开发类）

研究内容：开展高性能、高稳定性的 CO_2 电还原制乙烯、乙醇等多碳燃料/化学品的催化剂和电还原反应器的研发工作，建立 CO_2 高效电还原制乙烯、乙醇等催化剂的放大制备技术以及催化剂与电还原反应器的耦合机制与方法；开展耦合绿电的电催化还原 CO_2 制乙烯、乙醇等的系统集成工艺研究，建立波动性可再生能源调制与 CO_2 电还原工艺的柔性适配方案；开展千吨级 CO_2 电还原制绿色乙烯、乙醇等燃料/化学品工程示范。

考核指标：揭示 CO_2 电还原制乙烯、乙醇等多碳燃料/化学品的理论机制，研发出高性能催化剂并实现均一化、单批次公斤级制备；研制与乙烯、乙醇等多碳分子选择性合成相统一的电催化还原反应器，构建 CO_2 电还原制多碳燃料/化学品新型反应体系，在负荷 30%~130% 的范围内研究新能源负荷变动对催化反应性能的影响规律，进而构建负荷变动与催化反应性能的对应关系；建成耦合绿电的 CO_2 电还原制多碳燃料/化学品千吨级工业化装置，在不低于 300 mA/cm^2 的电

流密度下，乙烯、乙醇等碳二产物选择性 $\geq 60\%$ ，法拉第效率 $\geq 65\%$ ，全电池能量效率 $\geq 35\%$ ；稳定运行 ≥ 1000 h，完成现场 72 h 考核。

关键词：CO₂ 电化学还原，多碳燃料/化学品

4.3 基于煤基固废的 CO₂ 矿化利用关键技术与十万吨级工程示范（应用示范类）

研究内容：研究煤基固废等复杂体系下 CO₂ 溶解扩散、活性离子析出、次生矿相演变、多孔结构吸附等关键矿化传质过程，开发热活化/机械活化/电化学活化、吸附-矿化反应耦合等先进 CO₂ 矿化强化技术；研究基于矿物分子解构的 CO₂ 间接矿化技术，探索研发大理石、霏石等矿化产物矿相演变规律及碳酸盐产品的物性定向调控技术；研究基于原生矿相的 CO₂ 直接矿化技术，研发 CO₂ 直接矿化联产轻质保温砌块、建筑基材和矿区回填材料等产品及其深度矿化技术；研制 CO₂ 间接矿化、直接矿化等大型反应器，开发复杂应用环境下的 CO₂ 矿化原位保真检测技术；开发 CO₂ 矿化高效节能与集成工艺，形成年十万吨级 CO₂ 矿化工艺包，开展 CO₂ 间接矿化、直接矿化工业示范。

考核指标：形成 2 种及以上先进 CO₂ 矿化强化方法；间接矿化实现钙/镁离子转化率 $\geq 75\%$ ，直接矿化实现煤基固废活性组分转化率 $\geq 60\%$ ；研制 1 套及以上大型捕集矿化一体化反应器，二氧化碳单程矿化转化率不低于 70%；建设间接或直接矿化示范工程，单体示范工程矿化能力 ≥ 10 万吨 CO₂/年，在 1000 h 稳定运行的基础上通过 72 h 现场连续运行工

业验证，CO₂矿化净封存率 ≥ 80%，矿化固碳率 ≥ 120 kg CO₂/吨固废活性组分；矿化产品性能达到相关行业标准。

关键词：CO₂矿化，反应器，集成工艺

4.4 CO₂规模化农业利用新技术及工程示范（应用示范类）

研究内容：针对煤炭利用排放的CO₂，研究规模化农业利用中CO₂水相纳微分散稳定机制，开发强化CO₂水相纳微分散技术及装备；研发CO₂水相纳微分散体系滴灌系统及稳压输运智能控制关键技术及装备；开发CO₂水相纳微分散体强化微藻固碳与碱性土壤修复一体化技术；研究CO₂水相纳微分散体提升光合效率、增产作物和改良土壤机制及配套农艺技术，建立CO₂农业利用过程碳足迹评价方法；开发强化CO₂水相分散体制备、稳压输运滴灌及作物增产土壤改良农艺成套技术，并建立大田农业工程示范。

考核指标：建立单套覆盖1000亩的强化CO₂水相纳微分散装置，常压连续制备的CO₂水相分散体pH值 ≤ 6.0，且稳定10天以上，所制备的CO₂水相分散体中携带CO₂总量 ≥ 2 kg/m³；同位素示踪法CO₂利用率 ≥ 70%；开放式培养微藻固定CO₂速率不低于0.22 kg/m³(藻液)/d，封闭式培养微藻固定CO₂速率不低于0.85 kg/m³(藻液)/d，研发微藻增产增殖关键工艺技术不少于1项，开展微藻生态修复（土壤）示范面积达千亩级，微藻年增产 ≥ 10%；研发CO₂水相分散体增产作物改良土壤关键农艺技术 ≥ 3个，形成符合碳市场监测、报告、核查（MRV）要求的CO₂水相分散体农业利用

过程碳足迹评价方法 1 套；建立外场强化 CO₂ 水相分散体制备、稳压输运滴灌、农作物增产农艺成套技术的大规模农业工程示范，总示范面积 ≥ 1 万亩，每亩年新增固碳（CO₂）0.18 吨以上，相比常规井水灌溉，典型作物年增产 ≥ 15%，土壤碱分当季降低 ≥ 15%。

关键词：CO₂ 水相纳微分散体，外场强化，农作物增产，微藻固碳

4.5 基于绿氢的 CO₂ 转化制甲醇技术与工业示范（应用示范类）

研究内容：开发基于绿氢的 CO₂ 加氢制甲醇低温高效催化剂体系，研究催化剂表面反应过程规律、催化剂活性位点的动态变化和抗失活机制；研究催化剂的成型技术及规模化制备工艺，在中试装置上进行催化剂耐久性验证；开发新型反应器及反应与分离集成技术，形成短流程、高能效反应/分离耦合过程；开发耦合光电或风电、绿氢制备的甲醇合成技术；完成 10 万吨/年甲醇合成工业示范装置建设与运行，并进行技术经济分析，编制 50 万吨/年 CO₂ 加绿氢制甲醇工艺包。

考核指标：研制出温度 ≤ 230°C 的 CO₂ 加绿氢制甲醇低温高效催化剂；完成百吨级催化剂制备，成型催化剂颗粒侧压强度 ≥ 220 N/cm，在中试装置验证催化剂耐久性，实现甲醇时空收率 ≥ 550 g·Lcat⁻¹·h⁻¹，运行 1000 h 下降不超过 3%；新型反应器与工艺结合，在示范工程中实现反应热利用率 > 90%，反应器压降 < 20 kPa；针对光伏/风电波动性，工业装

置可在 30%~120%负荷范围调控运行，负荷调整速率 $\geq 1.5\%/min$ ；甲醇产能规模不低于 10 万吨/年，装置稳定运行不低于 72 h， CO_2 总转化率 $\geq 99\%$ ，氢总转化率 $\geq 95\%$ ，甲醇选择性 $\geq 99\%$ ，现场考核验收，形成技术经济分析报告，编制 50 万吨/年 CO_2 加绿氢制甲醇工艺包。

关键词：绿氢， CO_2 ，甲醇，低温催化剂

4.6 以 CO_2 为碳基源的非均相氢甲酰化高效催化剂开发 (青年科学家项目)

研究内容：研发适用于 CO_2 与烯烃氢甲酰化反应的高效非均相催化剂，研究二氧化碳 C-O 键低温高效活化机制，探究 C=C 键插入与目标产物构型调节机理，构建关键反应中间体 (*CO、*CHO 等) 的生成与转化路径，发展 CO_2 加氢与烯烃加氢等竞争反应调控规律；开发多位点协同催化策略，明确其对反应中间体稳定与活化影响规律，结合限域结构及表面疏水性设计，探究其在中间体扩散、转化路径选择性的微观调控机制；开展催化剂放大研究，形成具有高活性、高选择性与优异循环稳定性的催化剂制备方案，实现催化剂公斤级制备；研究工艺条件对反应活性与产物选择性的影响规律，优化工艺参数，形成非均相催化 CO_2 与烯烃氢甲酰化制备醛类化合物新工艺。

考核指标：研发出 CO_2 与烯烃氢甲酰化制醛类化合物非均相催化剂，实现在中低温条件下烯烃高选择性转化；烯烃转化率 $\geq 60\%$ ，醛类产物中正构/支链比 (1/b) $\geq 10:1$ ，化学选择性 $\geq 90\%$ ；催化剂循环使用 ≥ 10 次，性能衰减 $\leq 5\%$ ，反

应溶剂中铈含量（流失量）不超过 50 ppb；实现催化剂公斤级制备；完成 1~5 L 釜式反应器中 CO₂ 与烯烃氢甲酰化制备醛类化合物的验证。

关键词：CO₂，非均相氢甲酰化，醛类化合物，催化剂制备，反应耦合强化

中南大学 A00058