

“碳达峰碳中和关键技术与示范”重点专项

2022 年项目申报指南

“碳达峰碳中和关键技术与示范”重点专项面向国家碳达峰碳中和重大需求，聚焦社会发展和二氧化碳难减排行业关键技术突破，综合提升我国应对气候变化技术研发能力。到“十四五”末时，使我国在该领域技术研发总体上取得重要突破，并与其他领域重点专项形成互补，为我国二氧化碳 2030 年前碳达峰提供重要的技术支撑、2060 年前实现碳中和提供技术储备，为全球气候治理提供技术贡献和系统解决方案。

2022 年，本专项立足碳达峰碳中和问题的复杂性和迫切性，跨领域综合交叉形成重大科技创新，拟重点解决其他重点专项难以统筹考虑的碳中和共性支撑技术研究示范、低碳/零碳工业流程再造工艺技术与示范、面向碳中和的前沿和颠覆性技术创新与研发、面向碳中和的创新体系与全球气候治理技术等关键问题原则/要求，围绕面向碳中和的脱碳模型构建与决策支持系统、面向碳交易检测和监测关键核心技术研发、新型二氧化碳捕集、化学利用、区域封存安全性评价、生物质负排放技术、非二氧化碳温室气体减排、钢铁行业的富氢气体还原冶炼、钢-化联产技术、水泥行业耦合碳捕集利用封存流程再造技术、碳中和的前沿和颠覆性技术、非二氧化碳温室气体监测、碳中和技术发展路线图与创新支撑体系、碳中和进程重大治理策略、全球气候治理关键问题与应对等方向，按照基础前沿技术、共性关键技术、示范应用，拟支持 17 个研究方向。同一指南方向下，除特殊说明外，原则上只支持 1 项（青年科学家

项目除外), 仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时, 可同时支持 2 项, 并建立动态调整机制, 根据中期评估结果, 再择优继续支持。

本重点专项所有项目均应整体申报, 须覆盖全部研究内容和考核指标 (青年科学家项目除外)。项目实施周期 3-4 年。一般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 名负责人, 每个课题设 1 名负责人; 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 名负责人, 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。

本专项鼓励产学研用联合申报, 项目承担单位需推动研究成果转化应用和支持专项数据共享。

1. 碳中和共性支撑技术研发示范

1.1 面向碳中和的脱碳模型构建与决策支持系统

研究内容: 提出基于全国分城市/行业详细排放清单的地区与行业减排进程与成效监测评估指标体系和数据采集体系, 构建碳达峰碳中和脱碳成本模型, 并实现应用示范; 针对重点控排企业, 开发融合多源数据和基于先进算法的分布式企业碳排放数据智能核查信息管理系统, 形成碳排放的监管动态监测预警系统; 研究数据驱动的碳中和转型路径与关键不确定性评估方法, 建成国家碳中和决策支撑系统; 集成上述研究成果, 在典型区域和城市开展系统的落地示范。

考核指标: 研发面向碳达峰/碳中和的进程与成效监测评估的技术方法及指标体系 1 套; 构建多维度的脱碳成本模型, 并实现示

范应用；研发分布式企业碳排放数据采集与核证综合信息管理系统1套，并被政府管理部门采用；完成国家碳中和决策支持系统，具备“平战结合”的全域管控与决策支持能力，系统应急响应时间小于6小时，并被政府管理部门采用，集成以上系统在典型区域和城市示范应用。

1.2 面向碳交易检测和监测的关键核心技术研发

研究内容：针对代表性排放源和产业技术的升级迭代，开展以二氧化碳为主体的持续检测，获得具有产业和技术特征的排放因子集，形成面向碳交易的系列碳排放核算的国家标准；针对国家、省市与工业园区碳排放复杂性和随机性，研究车载走航二氧化碳、甲烷及其碳 ^{13}C 的同位素在线监测技术，实现典型区域二氧化碳、甲烷浓度分布以及高浓度区域碳来源监测；研发无人机超光谱温室气体遥感监测设备和反演算法，实现对目标区域二氧化碳、甲烷等温室气体的多时段米级分辨率水平空间分布遥测，构建融合实测信息的高分辨率大气垂直分布先验廓线数据库；突破红外多波段下高精度、高覆盖率、高时空分辨的多源超光谱卫星温室气体（二氧化碳、甲烷等）联合反演技术，形成典型区域碳排放的点-线-面-区域全方位监测解决方案，发展区域和工业园区碳排放快速精准核算方法。

考核指标：构建代表性行业持续检测体系，形成代表性排放行业排放因子集，形成8-10项面向碳交易的碳排放核算国家标准，较现有方法精度提高10%以上；监测体系中，二氧化碳测量范围：380~1000ppm，二氧化碳测量精度0.1ppm， $\delta^{13}\text{C}$ -二氧化碳测量精度1%，甲烷测量范围：0~100ppm；甲烷测量精度1ppb+5%， $\delta^{13}\text{C}$ -

甲烷测量精度 1‰；无人机超光谱遥测设备，10ppm~100ppm 空间探测分辨率≤10 米，单格点探测时间分辨率≤10 秒；通过卫星的联合反演算法中，获取每日覆盖率>30%，分辨率为 2 公里×2 公里的甲烷、二氧化碳浓度数据集，形成区域和工业园区碳排放快速精准核算方法体系。

1.3 新型二氧化碳捕集技术研发和示范

研究内容：研究新型相变吸收剂、非水溶剂吸收剂、复合吸收剂等二代溶剂吸收法碳捕集技术和高效固体吸附法碳捕集技术，开展关键材料的设计、宏量制备和生产技术研究，开展示范工程设计、建设和运行；研发用于直接空气捕集的新型吸收剂/吸附新材料，开发强化吸收/吸附分离的技术和样机，完成技术验证；研发二氧化碳捕集-转化一体化的可行途径，开发吸附-催化多功能新材料，建立集成工艺，优化过程参数，形成与典型排放源紧密结合的新型碳减排集成方案，完成技术验证。

考核指标：形成新型吸收法碳捕集关键技术，建设和运行万吨级示范线 1 套，二氧化碳捕集率大于 90%，能耗小于 2.2 吉焦耳(GJ)/吨二氧化碳；形成吸附法碳捕集关键技术，二氧化碳捕集率大于 90%，能耗小于 2.1 吉焦耳(GJ)/吨二氧化碳，并建设和运行万吨级示范线；研发并验证具备大规模推广潜力的直接空气捕集技术 1 项，创制百吨级样机并实现稳定运行；建立百吨级二氧化碳捕集-转化一体化验证装置 1 套，二氧化碳捕集率大于 90%，转化率大于 90%。

1.4 二氧化碳高值化化学利用关键技术与示范

研究内容：开展二氧化碳高效化学转化合成高附加值化学品研

究，构建高活性、高选择性以及高稳定性的反应体系；探明二氧化碳高效合成醇酯类化学键断裂重构规律及表界面微观反应机理，阐明提高碳-氧双键活化的关键因素和传递反应耦合强化机制；探索新型可再生能源驱动的二氧化碳高效利用新途径，实现低成本、规模化应用的技术突破。

考核指标：开发构建新型高效二氧化碳化学转化装置 2-3 套，建设和运行十万吨级示范 1-2 套，二氧化碳利用率大于 90%，产物选择性大于 80%，完成新型二氧化碳光电催化转化关键技术验证，并具备较好的经济效益。

1.5 二氧化碳地质封存风险监测、评价与控制技术集成示范

研究内容：面向二氧化碳地质封存潜力评估和安全需求，解决地质封存二氧化碳潜力、泄漏和力学稳定性等问题。开展主要盆地-重点区块的封存潜力评估，深化场地与各行业集中排放源的动态匹配分析；深化二氧化碳在地层及井筒内的迁移机制及泄漏规律研究，研发封存过程大规模高效数值模拟软件；开发集成陆上地质封存安全系统。

考核指标：形成我国区域与行业封存潜力的评估报告和图集；完成实际场地千万网格非均质模型高效计算软件及陆上封存安全评价方法 1 套；形成陆上二氧化碳封存安全监测系统 1 套，地表空气二氧化碳质量分数遥测量程 20000ppm 浓度、误差小于读数的 2%，浅层水溶解二氧化碳质量分数监测量程 30000ppm 浓度、误差小于读数的 2%（20~300 米深度区间），深层水溶解二氧化碳质量分数监测量程 60000ppm 浓度、误差小于读数的 2%（1500~2000 米深度区间），上述评价、模拟和监测技术需要通过规模万吨级以上、深

度大于 1500 米的现场试验进行检验。

1.6 碳负排放的生物质综合精炼研究与示范

研究内容：针对我国农林生物质废弃物体量大、种类复杂和资源化利用率低等问题，开展生物质超微结构解译，建立典型农林生物质结构信息数据库，研究生物质微观结构、区域化学、键合机制在不同预处理环境下的时空演变规律与应答机制；研究纤维素酶解过程调控技术及基于纤维素糖利用的连续发酵技术，开展基于微生物集群效应的生物膜催化体系研究，降低发酵周期，提高总糖利用效率，开发面向木质纤维素成分的发酵强化与连续化技术；研究木质素组分的高效改性技术和选择性催化解聚的反应规律，开发木质素分离提取及高值材料化利用技术，实现传统生物炼制废弃物木质素的工业示范应用；研究生物质完全拆解系列生物基工业原料产品关键技术与装备，建立生物质利用高效可持续的碳负排放集成示范。

考核指标：建成百吨级秸秆高效预处理示范装置，实现高品质木质素与棕纤维的高效分离，木质素得率 $\geq 60\%$ ，纯度 $\geq 90\%$ （残糖 $< 3\%$ ，灰份 $< 5\%$ ），混合糖得率 $\geq 80\%$ ；形成生物质完全拆解单宁、纤维素、木质素、糖、糖醛酸、糠醛、氨基酸、微生物肥等系列生物基产品成套关键技术，生物质原料干物质利用率 100%；建立生物质综合精炼的万吨级示范线 1-2 条，并具有较好的经济效益。

1.7 分布式生物质光热转化制氢或合成气

研究内容：发展利用太阳能全裂解生物质制氢气或合成气的方法，建立全套太阳能光热生物质转化的集光吸热连续反应装置。具体内容包括：发展高效的多种来源生物质的预处理方法，高收率低能耗获得能用于太阳能光热转化的混合糖液；开发混合糖液光热转

化的光催化剂，将混合糖液全裂解转化为氢气或合成气，并探究糖类碳-氢和碳-碳键的断裂机理和光催化剂表界面微观反应机理。开发太阳能分光谱利用技术，研究高光透性的流动式反应器，建立集光吸热的太阳能光热连续反应系统，实现大规模的糖液全裂解转化制氢气或合成气的工艺流程。

考核指标：形成成套分布式生物质光热转化制氢或合成气技术，建立集光吸热的太阳能光热连续反应系统，日处理混合糖 50 公斤，实现连续稳定运行时间大于 200 小时。按混合糖计算，当目标产物为氢气时，每吨混合糖的氢气产量不低于 80 公斤；当产物为氢气和一氧化碳时，每吨混合糖的氢气和一氧化碳产量分别不低于 30 公斤和 550 公斤。

2. 低碳/零碳工业流程再造工艺技术与示范

2.1 富氢气体及氢气直接还原技术研发与示范

研究内容：针对直接还原-电炉熔分短流程低碳炼铁技术体系需突破的关键科技问题，研究富氢气体及氢气还原铁矿粘结机理与过程强化规律，研究直接还原竖炉氧化球团技术、竖炉直接还原技术和流化床直接还原技术、高能电炉生产技术及装备，开发气基竖炉和流化床直接还原成套工艺及装备，开展工程示范。

考核指标：发展铁矿气基直接还原过程强化技术，形成 1-2 项气基直接还原铁（DRI）成套关键技术与装备；建成不低于 50 万吨 DRI/年富氢气体竖炉直接还原生产线，DRI 金属化率 $>92\%$ ，富氢气体消耗折合能耗不高于 11 吉焦耳（GJ）/吨-DRI，二氧化碳排放不高于 0.7 吨/吨-DRI，完成竖炉直接还原-电炉熔分成套技术示范。建成 1 万吨 DRI/年流化床氢气直接还原示范装置，DRI 金属化率 $>$

92%，氢气消耗折合能耗不高于 10.5 吉焦尔（GJ）/吨-DRI。

2.2 钢铁行业二氧化碳气体发酵技术研发与示范

研究内容：针对钢铁行业尾气，针对将二氧化碳、氢气混合气体生物发酵法转化为乙醇等有机化学品实现工业化应用需要突破的关键技术问题，研究针对不同气体组分的气体净化技术，研究不同氢气比例对二氧化碳生物发酵过程转化的影响规律，研究二氧化碳、氢气混合气体高效生物发酵关键工艺参数控制技术，研究气体发酵-蒸馏耦合膜系统技术，研究高效气液传质发酵反应器装备；研究发酵菌体蛋白高值化利用技术，开发二氧化碳气体发酵制乙醇成套系统集成工艺技术，开展万吨级二氧化碳发酵制乙醇工业化示范。

考核指标：开展二氧化碳、氢气混合气体发酵制乙醇中试规模试验，二氧化碳利用率 $\geq 60\%$ ，氢气利用率 $\geq 75\%$ ，乙醇选择性 $\geq 80\%$ ，实现连续稳定运行时间大于 200 小时，二氧化碳综合减排不少于 2 吨/吨乙醇，单级发酵乙醇浓度不小于 20 克/升；开发气液强化传质及高效发酵技术，形成 1-2 项成套发酵关键技术装备；形成二氧化碳生物发酵制乙醇集成工艺技术路线；建成万吨级二氧化碳发酵制乙醇工业化示范装置。

2.3 钢厂尾气制乙醇技术及 20 万吨工业示范

研究内容：研发钢厂尾气（焦炉气、转炉气、高炉气）为原料的甲醇制乙醇技术，实现钢厂尾气的高价值环保转化利用。具体内容包括：特定结构高性能二甲醚羰基化催化剂的可控合成；高性能乙酸甲酯加氢催化剂的开发；催化剂放大制备及对催化剂性能的影响，以满足长期运行的需要；研究两步反应串接及一氧化碳、氢气

循环利用工艺，有效解决工业化过程中反应热的撤离问题，并在此基础上进行反应器的设计和优化；完成不小于 20 万吨/年规模钢厂尾气制乙醇技术的工业示范。

考核指标：研制开发甲醇制乙醇技术高效催化剂，二甲醚羰基化催化剂单程寿命一年以上（ >8000 小时），乙酸甲酯时空产量 ≥ 0.45 /小时，乙酸甲酯选择性 $\geq 99\%$ ；研制开发高效乙酸甲酯加氢催化剂，乙酸甲酯单程转化率 $\geq 90\%$ ，乙醇总选择性 $\geq 98\%$ （相对于理论值），催化剂寿命 ≥ 1 年；编制不小于 20 万吨/年规模的钢厂尾气制乙醇技术工业示范装置工艺包，并实现装置投产和运行，综合技术经济指标达到国际领先水平。

2.4 低钙高胶凝性硅酸盐水泥熟料制备关键技术与低碳水泥生产及应用示范

研究内容：针对水泥行业碳中和迫切需求，以减低水泥生产中石灰石消耗，减少二氧化碳排放为目标，研究直接减少石灰石用量的低钙高胶凝性熟料新型物相体系设计与亚稳态结构调控，建立物相形成热动力学模型，形成高胶凝性新型熟料制备关键技术；研究替代原料/被替代原料间的物理化学耦合效应及调控机制，开发典型富钙固废大比例替代石灰石关键技术与装备，形成熟料矿相调控及其品质与环境安全保障等综合技术体系。构建全流程低排放、低环境负荷的低碳水泥新体系及其评价技术体系，并实现规模化生产与应用示范。

考核指标：低钙高胶凝性熟料体系石灰石用量较传统硅酸盐水泥熟料降低 15%以上；富钙固废替代石灰石的比例不低于 30%。熟料 28 天抗压强度不低于 58 兆帕，制备的 42.5 等级通用硅酸盐水

泥的熟料系数不高于 0.75。熟料二氧化碳排放减少 150 公斤/吨以上，水泥二氧化碳排放减少 25%以上。编制相关标准（草案）3 项，成果在 3 条不低于 3000 吨熟料/天规模化生产与应用示范。

3. 面向碳中和的前沿和颠覆性技术创新与研发

3.1 二氧化碳光/电催化前沿新材料与新技术试验验证

研究内容：研发用于二氧化碳电催化还原转化的新型催化剂材料和气体扩散电极，建立低成本、规模化催化剂合成和电极制备技术；开展先进原位波谱表征技术，探究二氧化碳电催化还原过程中催化剂的演化过程和电极反应动力学；建立二氧化碳电还原制备高附加值化学品的试验验证。研发新型高效稳定光催化二氧化碳还原材料，构建新型光催化二氧化碳还原验证器件。设计构建高效光电催化二氧化碳还原全器件，并评估其实际运行稳定性等参数。

考核指标：电催化二氧化碳还原：研发高效、稳定运行时长 ≥ 1000 小时的催化剂材料和气体扩散电极；揭示电催化二氧化碳还原过程中催化剂演化过程和电极反应动力学；实现电催化二氧化碳还原制备高值化学品的试验验证，产物选择性 $\geq 80\%$ ，能量转换效率 $\geq 50\%$ 。研发新型稳定高效光催化二氧化碳还原材料 1-2 种；揭示光催化二氧化碳还原转化机制；实现太阳能到燃料转化效率 $\geq 3\%$ 。开发新型高效光电极材料和电催化剂材料 2-3 种；构建高效光电催化二氧化碳还原全器件，实现太阳能到燃料转化效率 $\geq 5\%$ ；揭示光电催化过程中光生电荷分离和传输机制及光电极材料和助催化剂协同工作机制。

3.2 变革性高能量密度、低成本水系液流电池储能技术

研究内容：在碳中和背景下，面向以新能源为主体的新型电力

系统对电化学储能技术的重大需求，探索开发高安全、低成本、高能量密度液流电池新体系，构建以无机多电子转移电对为活性物质的电化学储能新过程，研究水系多电子转移体系电化学反应机制，电解液中离子的输运机制和规律；离子跨膜输运机制及关键膜材料的选择与设计，电解液稳定调控机制等。突破高选择性、低成本离子传导膜、高活性电极、高稳定性电解液制备技术，高功率密度单体电堆设计和集成技术，开发新一代高能量密度、低成本液流电池新体系，开展 100 千瓦级系统示范，推动液流电池储能技术的可持续发展。

考核指标：研究探索新一代高能量密度、低成本多电子转移的液流电池新体系，阐明多电子转移体系电化学反应机制。突破其关键材料和电堆的规模放大技术，推动示范应用。新体系液流电池单电池在 80 毫安/平方厘米恒流充放电条件下，能量效率 $\geq 85\%$ ，能量密度 ≥ 200 瓦时/升。

3.3 面向碳中和相关的颠覆性技术研究（青年科学家项目）

研究内容：面向国家碳达峰碳中和重大需求和世界科技前沿，开展非二氧化碳温室气体监测、源头解决温室气体排放、可再生能源与传统化石能源化工衔接、能源和工业流程低/零碳改造等颠覆性技术研究；开展大数据、人工智能、生物技术等与新能源、新材料、高端装备融合颠覆性技术研究；开展氢能、光伏、核能等清洁能源替代颠覆性技术研究；石油基产业向可循环生物基产业转型的颠覆性技术研究；碳基产业替代产品颠覆性技术研究；其他方向具有颠覆性特征的技术探索等。

有关说明：通过评审，拟部署前沿颠覆性技术 5-10 项青年科

学家项目。

6. 面向碳中和的创新体系与全球气候治理关键技术研究

6.1 碳中和技术发展路线图与创新支撑体系研究

研究内容：面向 2060 年碳中和目标，研究关键行业和产业发
展的低碳/零碳技术需求，形成碳中和关键技术发展评估与预测方
法体系、行业领域数据库和综合分析评估模型；围绕电力、非电能
源、工业、建筑、交通、负排放技术、系统集成优化等大类技术领
域，根据技术发展状况与趋势研究提出近中远期部署重点和实施路
径；研究重点技术路线的中长期跨系统影响，提出高精度产业部署
路径和高分辨率空间布局；编制和更新碳中和技术发展路线图；围
绕碳中和技术发展路线图的实施，研究提出面向技术、行业和产业
等多维度协同推进碳中和技术创新体系方案。

考核指标：形成关键行业碳中和技术评估预测方法学 5-8 套，
技术数据库 5-8 套，综合评估模型 1 套；形成 5-8 个行业领域碳中
和技术路线图和总体技术路线图一套；3-5 个重点产业碳中和部署
路径和空间布局方案；提出推进碳中和创新体系方案 1 套。

6.2 我国碳中和进程重大治理策略研究

研究内容：研究分析气候变化科学进展、国际政策及碳中和进
程对我国技术创新、产业发展、环境治理和经济社会的综合影响，
定量评估有关国际组织和国家碳边境调节措施、国际贸易与全球产
业链中的碳排放标准等对我国相关产业与经济发展、产业链和供应
链安全的影响，研究技术解决方案和应对策略；系统评估我国绿色
低碳技术推广应用面临的行业性和区域性政策瓶颈，模拟研究技术
创新政策、产业发展政策、财税金融政策、环境经济政策等对协同

推进碳达峰碳中和的效果及综合影响，研究提出政策优化方案；统筹发展和低碳关系，开发面向行业和区域碳达峰碳中和进展评估体系，引导行业和区域稳健推进；针对重点行业和区域开展协同碳达峰碳中和与环境质量改善的技术路径识别和综合方案模拟研究。

考核指标：形成国际气候政策及碳中和进程对我国综合影响评估模型 1 套；形成 5-8 个重点行业受碳边境调节措施和产业链排放标准影响等评估和应对策略；提出绿色低碳技术发展政策评估体系 1 套及相关政策建议 4-6 套；形成碳达峰碳中和进展评估体系并应用于 5-8 个行业和区域；形成碳达峰碳中和与环境质量改善协同的模型 1 套。

6.3 全球气候治理关键问题与应对研究

研究内容：开展全球碳中和进程下气候治理体系发展趋势研究，提出我国参与全球气候治理的策略；围绕联合国气候变化框架公约与航空海运等国际组织与碳中和相关的谈判议题开展综合影响研究并提出中国方案；研究以贸易、航运、制造业分包与来料加工等跨境业务为基础的气候治理国际合作新路径，形成以碳中和目标与经济发展深度结合的合作机制；开展对主要发达国家、发展中国家和国际组织气候、创新动向与合作需求研究，形成有针对性的双多边合作策略；开展进程与重大脱碳技术创新对我国经济社会与产业发展的影响和机遇研究。

考核指标：提出全球气候变化治理中多双边气候合作战略、低碳和脱碳技术创新与产业机遇、技术合作与贸易、参与气候变化谈判策略等重大问题的策略方案 15 套。