**2022年度国家自然科学基金专项项目**

**《面向碳中和实现路径的自然-社会系统多尺度模式耦合关键理论和技术预研究》项目指南**

　　为认真贯彻落实党中央国务院关于“双碳”重大决策部署，加快构建碳达峰碳中和“1+N”政策体系，国家多部委联合编制印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030年）》（下文简称《实施方案》）。2022年7月18日国家自然科学基金委员会发布了《“双碳”基础研究指导纲要》（下文简称《纲要》），强调了系统性和综合性研究对碳中和战略路径选择的重要性。为贯彻落实《实施方案》和《纲要》的重要战略部署，积极应对涉及多层面、多尺度的复杂系统科学研究范式变革，对国家“双碳”政策提供定量化、动态化的科学支撑，国家自然科学基金委员会交叉融合板块决定设立“面向碳中和实现路径的自然-社会系统多尺度模式耦合关键理论和技术预研究”专项项目，以激励多学科交叉研究的引领和原创突破。

**一、科学目标**

　　鉴于碳中和问题的复杂性，迫切需要以系统科学的研究方法，并遵循地球科学、能源科学、材料科学与工程、运筹学、经济科学、管理科学、计算机科学等多学科理论，发展自然-社会系统多尺度模式耦合关键理论和技术，搭建地球系统模式与综合评估模型的耦合框架，实现“人为及自然碳源汇变化”“能源结构-非化石能源替代-储能布局”“产业结构”“政策管理”和“经济社会”在全球与区域尺度上双向耦合运行，为国家碳中和实现路径提供决策支撑平台。

**二、关键科学和技术问题**

**（一）自然-社会系统多尺度相互作用模式耦合原理与算法**

　　1. 针对碳在自然-社会耦合系统的循环，各分支系统内部有待完善的关键过程及建模技术：气候变化和微观气象条件改变对能源结构、产业结构、经济社会变化的多层次影响及反馈过程；刻画大规模间歇性可再生能源、氢能、储能、零碳负碳等能源深度转型所需各类能源技术特征的精细化建模方法；产业转移与技术演进路径对产业结构转型和政策的关键影响机制及激励兼容政策的算法设计等。

　　2. 各分支系统间多尺度相互作用原理及建模技术：碳交换的时空及分辨率匹配方法和多模式语言协调技术；开放可扩展的耦合模式框架与灵活接口技术；多模式耦合原理与算法，以及异常运行状态监测技术等。

**（二）支持耦合系统运行的数据融合技术**

　　1.支撑自然-社会耦合模式平台的数据库构建技术，数据库主要包括：可识别气候风险和可再生能源供给情况的高时空分辨率、格点化的气候变化数据；面向复杂耦合系统、观测与模式相结合的生态碳汇数据；能源、产业、经济和社会发展变化数据等。

　　2.数据同化再分析技术：数据质量控制与偏差订正技术；人为碳排放和自然碳交换复杂同化反演技术；多元数据智能融合与联合同化再分析技术等。

**（三）战略路径优化选择辅助决策支持技术**

　　1.面向碳中和实现目标战略路径优化选择的辅助决策功能设计技术：能源结构调整、工业脱碳、产业转型与经济社会发展路径预测技术；温室气体减排对减缓气候变化的贡献机制分析技术等。

　　2.支撑面向碳中和实现路径的自然-社会耦合模式平台发展的底层支撑技术：气候变化归因、敏感因子识别、集合预测、模拟系统误差分析技术；考虑气候变化约束、成本效益、公平效应、技术创新效应、规避风险等多指标综合分析技术等。

**三、主要研究方向**

　　本专项旨在构建以具有开放架构的新一代地球系统模式为载体，深度耦合社会科学领域各分系统的、开源共享的复杂系统模型。主要研究方向拟资助1个总课题及5个子课题，总课题与子课题间应围绕核心目标，有机联系。总课题与子课题具体包括：

**（一）自然-社会系统多尺度相互作用模式耦合和决策支撑研究的顶层设计（总课题）**

　　研究可反映高分辨率、格点尺度气候变化信号对能源结构、产业结构、经济社会变化影响机理的建模方法；研究碳中和约束下，可刻画风能、太阳能资源间歇性、波动性和不确定性的建模方法；研究可体现土地利用和微气象条件影响的可再生新型能源电力装机布局的建模方法；以地球系统模式为核心、以碳循环为边界、以气候变化和碳源汇变化为桥梁，研究自然系统与社会系统的多层面、多尺度双向耦合建模技术；研发自然-社会模式时空及分辨率匹配技术、高运算复杂度的模式双向反馈快速求解技术；研究构建开放、简洁、模块化、易封装、易扩展的自然-社会耦合模式开发框架。

　　构建可提供碳中和约束下，小时级时间分辨率及10 km空间分辨率的气候变化格点数据支撑系统；研发面向复杂耦合系统、观测与模式相结合的生态系统碳交换模拟支撑系统；研究不同尺度人为碳排放和自然碳交换复杂同化反演技术，构建支撑自然-社会耦合模式平台的多元数据联合同化反演碳源汇数据监测核校支持系统；研究多源、多维度、异质长序列数据背景误差协方差优化估计等方法；研发碳源汇再分析系统；构建可支持能源-产业-经济-社会数据预测机制理解的数据支撑系统。

　　开发可动态支撑我国未来不同时期碳中和路径实现、保障经济社会高质量发展，能够刻画以煤电转型为主的新型电力系统布局与发展、工业脱碳、产业转型、低碳城市建设、绿色发展的经济社会发展路径选择和政策与市场需求的支撑平台；此平台可同时支撑气候变化国际谈判，以及回答气候变化科学亟待解决的重大问题。

**（二）以煤电转型为主的中国能源结构变化建模及预测研究（子课题1）**

　　研究碳中和约束下，可体现我国煤基能源全过程、分级分质有序转化，水电因地制宜，核电安全有序发展，以及与新能源耦合降碳技术应用的建模方法和预测技术。

**（三）面向能源结构转型的中国储能布局预测研究（子课题2）**

　　研究碳中和约束下，将储能、氢能等纳入能源系统整体优化的建模方法；研究基于能源大数据的储能智能调控方法及快速响应规律；研究储能技术变革对整体能源系统的影响规律及深度重构策略；研究多能互补储能柔性系统的时空多尺度布局及动态优化和预测方法；研究能源大系统的安全风险评估及防控策略。

**（四）中国碳中和实现路径的预测研究（子课题3）**

　　研究碳中和约束下经济社会发展、产业转型、人口迁移与结构变化情景下能源转型路径的预测与优化；研究能够刻画经济发展、产业结构转型、产业转移以及能源技术发展演进对能源转型与碳中和路径影响的建模方法；研发可体现技术创新效应、土地利用变化、基础设施和公共治理需求变化对能源转型与碳中和路径影响的建模方法。

**（五）中国及全球能源转型风险、金融风险、资源风险和气候损失等建模和预测研究（子课题4）**

　　研究碳中和约束下，考虑各产业供应链安全的能源双控、碳双控的总量设定与目标分解建模；研究能够刻画碳中和进程中金融风险、资源安全风险的建模方法；研究全球主要国家和地区以能源价格、经济成本为约束的未来能源转型、自主贡献更新、绿色增长与产业转型路径；研究区域尺度气候变化对劳动生产率、水资源、粮食种植、区域经济转型、产业链等影响过程的建模方法。

**（六）碳中和产业转型与经济社会系统变革的政策驱动机制与异质性建模研究（子课题5）**

　　研究碳中和约束下，高碳产业转型与低碳、零碳、负碳产业发展的驱动机制与复杂路径；针对不同阶段碳减排与碳中和方案的激励兼容政策设计与优化，开展建模研究；识别异质性企业主体条件下多重政策的交互机制与不确定性特征，刻画产业链风险传导特征和价值链重构路径。

**四、其他研究方向**

　　本专项同时资助培育项目，鼓励探索新原理、新技术和新方法。培育项目研究内容应聚焦以下某一具体研究方向：

　　（一）研究可定量刻画自然-社会耦合系统中不同行业、产品碳足迹全生命周期的建模方法。

　　（二）研究面向自然-社会耦合系统的次网格过程参数化方法，及参数不确定性评估方法。

　　（三）研究耦合系统的稳定性测试和改进方法；研究耦合系统运行状态自动监测、诊断等测试技术。

　　（四）研究多源海量数据捕捉、集成与处理的自然-社会耦合系统数据汇聚、共享技术。

　　（五）研究碳中和约束下极端气候变化、气候风险及可再生能源等高时空分辨率格点数据构建及汇聚共享技术。

　　（六）研究自然-社会耦合系统关键信号提取及检测归因技术。

　　（七）研究基于集合预测和模拟系统误差分析的决策平台不确定性评估技术。

**五、资助计划**

　　拟资助“主要研究方向”总课题和每个子课题各1项，共资助6项；其中，总课题的直接费用资助强度为2000万元左右，子课题4的直接费用资助强度为800万元左右，其他各子课题直接费用资助强度为400万元左右。

　　拟资助“其他研究方向”培育项目共8项左右，直接费用资助强度为60万元/项左右。

**六、申请要求及注意事项**

　　申请人在填报申请书前，应当认真阅读本指南和《2022年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

**（一）申请条件**

　　申请人应当具备以下条件：

　　1.具有承担基础研究课题或者其他从事基础研究的经历；

　　2.具有高级专业技术职务（职称）或者具有博士学位。

　　正在博士后流动站或者工作站内从事研究工作、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得申请本项目。

**（二）限项规定**

　　1.本专项项目从申请开始直到国家自然科学基金委员会做出资助与否决定之前，不计入申请和承担总数范围，获资助后则计入申请和承担项目总数范围内。

　　2.申请人和主要参与者申请或参与申请本专项“主要研究方向”中的总课题、子课题以及“其他研究方向”的培育项目的总数限1项。

　　3.申请人和主要参与者同年只能申请或参与申请1项专项项目中的研究项目。

　　4.“主要研究方向”中的总课题合作研究单位数量不得超过4个；“主要研究方向”的子课题以及“其他研究方向”的培育项目合作研究单位数量不得超过2个。

**（三）注意事项**

　　1.申请人应登录科学基金网络信息系统https://grants.nsfc.gov.cn/，采用在线方式撰写申请书；没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户。

　　2．申请书中的资助类别选择“专项项目”，亚类说明选择“研究项目”，附注说明选择“科学部综合研究项目”。项目研究期限为3年，起止时间：2023年1月1日—2025年12月31日。**以上选择不准确，将不予受理**。

　　3.鼓励跨科学部申请。“申请代码1”须选择地球科学部（D）、管理科学部（G）或交叉科学部（T）的下属代码；“申请代码2”根据研究领域自主选择相应的申请代码。**未按要求选择“申请代码1”，将不予受理**。

　　4.申请人应按照“申请书撰写提纲”撰写申请书。此外，补充要求如下：

　　（1）申请书正文开头应首先说明申请本指南的具体研究课题或研究方向名称，如：[本申请针对“面向碳中和实现路径的自然-社会系统多尺度模式耦合关键理论和技术预研究”专项项目指南中“主要研究方向”子课题1“以煤电转型为主的中国能源结构变化建模及预测研究”撰写，……。]，以便评审专家清楚了解申请人所针对的研究题目和内容。

　　（2）整体申请“主要研究方向”的团队，应分别提交总课题申请书和各子课题申请书。总课题申请人在申请书中应明确说明总课题与子课题之间的分工与联系，并附上“整体申请项目承诺函”（附件）；子课题无需提供承诺函。

　　5.申请人完成申请书撰写后，务必于2022年11月18日—2022年11月25日16时期间通过科学基金网络信息系统，在线提交电子申请书及附件材料。总课题提供的整体申请项目承诺函和各课题申请材料中所需的附件材料（有关证明信、推荐信和其他特别说明要求提交的纸质材料原件），全部以电子扫描件上传。

　　6.依托单位应对本单位申请人所提交申请材料的真实性、完整性和合规性进行审核，对申请人编制项目预算的目标相关性、政策相符性和经济合理性进行审核，并在规定时间内提交申请材料至国家自然科学基金委员会。具体要求如下：

　　（1）应在专项项目申请截止时间（2022年11月25日16时）前通过科学基金网络信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，无需报送纸质申请书。项目获批准后，将申请书的纸质签字盖章页装订在《资助项目计划书》最后，一并提交。签字盖章的信息应与电子申请书严格保持一致。

　　（2）依托单位完成电子申请书及附件材料的逐项确认后，应于申请材料提交截止时间前通过科学基金网络信息系统上传项目申请清单和本单位科研诚信承诺书的电子扫描件（请在信息系统中下载模板，打印填写后由法定代表人签字、依托单位加盖公章；若当年集中申请阶段已上传本单位科研诚信承诺书的电子扫描件，则不用再重新提交），无需提供纸质材料。材料不完整的，国家自然科学基金委员会将不予受理。

　　7.鼓励团队整体申请“主要研究方向”的总课题及其子课题；对不能组织团队整体申请，但对某一课题确有研究优势的也可单独申请，单份申请也有可能获得资助，该申请获准立项后申请人将归入整个项目团队。

　　8.对于申请“主要研究方向”总课题、各子课题的项目，经函评后，择优推荐上会答辩。接到答辩通知的申请人须亲自参加答辩，未能按时参加答辩者视为自动放弃申请。经评审专家组评议，国家自然科学基金委员会计划择优资助一个团队（可能会择优组合团队）。

　　9.对于申请“其他研究方向”的培育项目，经函评后，择优推荐上会（无须答辩）。经评审专家组评议，由国家自然科学基金委员会做出资助决定。

　　10.最终获得资助的各子课题及培育项目，应配合总课题的要求，在填写计划书时进一步优化研究方案，以形成具有密切联系的专项项目集群。

**七、咨询方式**

　　（一）填报过程中遇到的技术问题，可联系国家自然科学基金委员会信息中心协助解决。联系电话：010-62317474。

　　（二）国家自然科学基金委员会项目材料接收工作组负责接收申请材料，如材料不完整，将不予接收。联系电话：010-62328591。

　　（三）其他问题可咨询相关科学部。联系电话：010-62328511（地球科学部）、010-62327152（管理科学部）和010-62328382（交叉科学部）。

[附件：整体申请项目承诺函](https://www.nsfc.gov.cn/Portals/0/fj/fj20221024_01.docx)