

附件 9

“地球系统与全球变化”重点专项 2024 年度项目申报指南

为落实“十四五”时期国家科技创新的有关部署，国家重点研发计划启动实施“地球系统与全球变化”重点专项。根据本重点专项“十四五”实施方案的安排，现发布 2024 年度项目申报指南。

“地球系统与全球变化”重点专项总体目标是：通过多学科交叉研究，深入认识地球系统和全球环境演变历史、规律和未来变化趋势，探索地球深部动力过程、地表及地球外圈层、人类活动三者及其互相作用对全球变化的影响机理，获取原创性的科学数据，创新地球系统和全球变化研究的方法体系，构建一批全球和区域性数据产品，发展新的理论体系，满足应对全球变化领域的需求，服务于国家经济和社会发展战略。

2024 年度指南围绕以下 7 个重点任务进行部署：1) 地球宜居性演化的关键因素；2) 地球圈层分异及其相互作用对地球宜居性的控制作用；3) 全球变化基础数据采集、集成、挖掘、同化研究与综合数据平台研发；4) 全球变化特征、机理与关键过程研究；5) 全球/区域海陆气耦合模式、地球系统与区域地球系统模式优化与大数据分析研究方法研究；6) 全球变化影响评估和风险预估；7) 全球变化适应理论与技术研究。

2024 年度指南包括 28 个方向，拟择优支持不超过 22 个常规项目，安排国拨经费概算不超过 4.4 亿元。同时，拟支持 20 个青年科学家项目，安排国拨经费概算 0.6 亿元，每个项目 300 万元。

常规项目统一按照指南二级标题（如 1.1）的方向申报。每个指南方向最多支持 1 项（有特殊说明的除外）。申报单位根据指南方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部研究内容。常规项目实施周期一般为 5 年，下设课题数原则上不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

青年科学家项目支持青年科研人员承担国家科研任务，本指南 28 个项目方向均可作为青年科学家项目组织申报，但不受研究内容和考核指标限制，也不要求指南内容全覆盖。青年科学家项目参与单位总数不超过 3 家，不再下设课题。项目设 1 名负责人，负责人年龄男性 38 周岁以下（1986 年 1 月 1 日以后出生），女性 40 周岁以下（1984 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。

1. 地球宜居性演化的关键因素

1.1 典型大陆碰撞带精细结构及物质循环的过程和效应

研究内容：针对大陆碰撞带复杂的边界结构和物质循环过程，开展地球物理和地质地球化学综合研究，约束重要界面和碰撞带精细结构，建立地球浅部-地壳-上地幔多尺度地球物理模型，

查明大陆碰撞带精细结构和变质-交代-岩浆作用以及从俯冲/碰撞到张裂阶段的精细地质记录，揭示俯冲古洋壳和大陆地壳物质的循环过程，阐明大陆碰撞带化学地球动力学机制及其对地球宜居环境的影响。

考核指标：建立典型大陆碰撞带高精度（地球浅部结构横向分辨率优于 5 km，地壳结构横向分辨率优于 15 km，上地幔结构横向分辨率优于 30~50 km）、多参数（包括地震波速、各向异性、电阻率）综合地球物理学模型，查明俯冲和碰撞过程中熔流体活动与壳幔相互作用的联系，揭示大陆碰撞带不同构造演化阶段中的变质-深熔-岩浆作用的过程和机制，建立典型大陆碰撞带化学地球动力学的定性-定量模型及其精细过程，阐明大陆俯冲/碰撞带古洋壳和陆壳物质循环规律及其对地球宜居环境的影响。

有关说明：研究成果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：大陆碰撞带结构，熔流体活动，壳幔相互作用，物质循环

1.2 显生宙大陆地壳演化的深部驱动及地表环境效应

研究内容：针对大陆俯冲-碰撞过程典型研究区，聚焦大陆地壳，开展正演动力学数值模拟与地球物理、地质学等天然观测联合约束的系统研究，解读大陆地壳的分层结构与熔-流体分布情况，约束大陆地壳演化的时空规律；认识控制大陆地壳演化的深部动力学过程与机制，剖析下地壳拆沉、地壳重熔、俯冲侵蚀等

机制的贡献比例及其反应的地球深部运行机制；约束大陆地壳与地理-生态环境演化的时空关联，理解大陆地壳演化对地球宜居性的影响。

考核指标：建立大陆地壳高精度（横向分辨率优于 15 km）、多参数（包括地震波速度、衰减结构、各向异性）分层结构模型，约束其中的熔-流体分布情况；构建区域动力学演化模型，模拟下地壳拆沉、地壳重熔、俯冲侵蚀等深部机制，量化各类机制的贡献比例及与深部熔-流体、相变间的关系；查明大陆地壳演化与区域地貌及环境演化之间的关联。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：显生宙大陆地壳演化，大陆地壳分层结构，下地壳拆沉，大陆地壳重熔，浅表宜居性响应

1.3 大洋板块俯冲背景下地幔过渡带挥发分的汇聚与释放

研究内容：研究含挥发分（C-H-F-Cl）矿物在地幔过渡带（410~660 km）的物理化学性质（包括状态方程、化学调控、电导率、弹性波速），明确其赋存和转化形式；探测地幔过渡带间断面相变精细结构，厘定挥发分空间分布，揭示地幔过渡带结构对挥发分分布的调控作用；研究含挥发分大洋板块在俯冲过程和地幔过渡带的相变和迁移规律，明确不同类型板块俯冲引起过渡带挥发分富集的效率 and 差异；示踪地幔过渡带挥发分组成和迁移，研究不同挥发分共生耦合过程及其活化释放机制；构建大洋

板块俯冲与地幔过渡带相互作用系统框架，阐明地幔过渡带挥发分的汇聚和释放机制。

考核指标：精确获取含挥发分（C-H-F-Cl）矿物在地幔过渡带（深度范围包含 410~660 km；温度范围 $\geq 1300\sim 2400$ K）的状态方程、电导率、弹性波速等地球物理参数，厘清挥发分引发的结构相变和耦合机制；在典型海域布设 ≥ 30 台宽频带地震台阵，构建地幔过渡带间断面精细结构模型（垂向分辨率优于 5 km）；建立板块俯冲引起地幔过渡带挥发分富集机制和模型，估算其存储规模；构建地球物理、地球化学、实验和数值模拟证据约束的地幔过渡带挥发分迁移和释放模式。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：地幔过渡带，挥发分，相变，存储规模，释放模式

1.4 地球早期演化模拟方法研究与应用

研究内容：围绕地球早期地壳、地幔及地核各圈层分异过程，利用高温高压实验重现地核及深下地幔的温度压力条件，回收超高压实验样品，建立其微量元素、尤其是挥发性元素的高精度测量方法；应用深度学习算法，围绕第一性原理计算的大数据集，建立训练原子势能的方法，实现大体系二相平衡的分子动力学数值模拟；揭示早期各圈层的关键生命元素分布，探讨深下地幔熔融及结晶、地核形成的动力学过程。

考核指标：建立微纳尺度上的挥发分测量方法，适用于深下

地幔主要矿物及铁合金，空间分辨率优于 1 μm ；实现高精度、大体系的分子动力学模拟，原子势能训练精度优于每原子 10 meV，体系为十万至百万个原子；获取关键生命元素在核幔分异和岩浆洋结晶过程中的分配行为并探讨其动力学意义。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：地球早期，高温高压实验模拟，第一性原理计算，动力学机制

1.5 中新生代之交陆地生态系统与宜居环境演化

研究内容：聚焦白垩纪重要生物群，综合多门类分析，解析现代陆地生态系统起源的时间、标志和成因；分析白垩纪末大灭绝和古新世-始新世之交极热事件等对陆地生物及其生境的作用，研究这些极端事件对现代陆地生态系统演化的影响；开展综合地层学研究，构建可靠的年代学框架，开展多重古环境指标的研究，并分析生物群落的演化；对重要生物群开展埋藏学研究，解析埋藏的偏差效应并进行校准，开展古生态重建。

考核指标：构建白垩纪至古近纪植物、鸟类、昆虫等重要生物类群的系统发育树、关键特征演化及宏观演化趋势；揭示白垩纪陆地革命初期不同纬度的生物群面貌；确立白垩纪末大灭绝和古新世-始新世之交极热事件等对不同陆地生物类群演化的影响；构建白垩纪至古近纪重要陆地生物群演化的综合年代框架。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数

据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：白垩纪-古近纪，陆地生态系统，埋藏学，综合地层学，宏演化

1.6 地球-火星宜居性演变的类比研究

研究内容：从比较行星学的角度，开展深时地球大气、辐射、矿物与生命的协同演化过程研究，认识可能孕育生命的宜居环境特征，定量揭示驱动地球生命起源与演化的热力学机制；研究地球生命在极端条件下的产生、演化与适应过程，获得不同环境条件驱动上述过程的非平衡态能量转化机制；构建多尺度、高精度的涵盖火星大气、地表及地层等环境条件的立体地质填图，获得潜在生命痕迹信号与其载体的相互依存关系以及与环境相互作用关系，提出受火星环境约束下的生命元素的赋存、转化及迁移途径和机制；在上述研究基础上，获得生命与宜居环境协同演变的系统认知。

考核指标：此项目属于“科学目标导向型”的探索性研究，不设考核指标。

有关说明：研究成果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：比较行星学，行星宜居性，生命起源，生命演化

1.7 特征时期地球深部与表层氧化协同演变及生命效应

研究内容：围绕关键时期大气氧气含量和生命演化的关系，基于地表和大气相互作用等指标定量重建氧气含量演变历史，评

估特征时期火山作用岩浆及其地幔源区氧化还原状态的变化，限定其向大气输入还原性物质的通量；研究陆源营养盐输入及生物光合作用效率的变化，限定海洋光合作用生物产氧量，揭示氧气源-汇的协同变化，理解大气氧含量与生命演变耦合关系的深部驱动机制。

考核指标：建立基于陆地风化过程的大气氧含量演变的指标体系；厘清关键时期火山及其地幔源区的氧化还原状态变化，建立深部还原性物质向地表的输出及对氧气消耗的定量模型；揭示关键时期深地过程与大气氧含量变化的耦合机制，建立大气-海洋氧交换与生命协同演化的新模型。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：大气氧气含量，地球深部氧化还原状态，海洋生物光合作用，深浅过程协同变化

2. 地球圈层分异及其相互作用对地球宜居性的控制作用

2.1 新生代古大气环流和水汽来源重建与模拟

研究内容：基于不同地质-生物记录的交叉验证、现代过程和数值模拟研究，确立针对亚洲季风-干旱环境的大气环流及水汽来源示踪的指标和方法体系，研究新生代亚洲主要环境单元在构造-轨道-千年-百年-年代际尺度上大气环流格局及水汽来源的演变，认识不同时间尺度外部强迫与气候系统内部变率的影响过程与机制，建立新生代全球增温影响能量收支、大气环流、水汽来源

与输送的物理框架。

考核指标：此项目属于“科学目标导向型”的探索性研究，不设考核指标。

有关说明：研究结果、数据须按照相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：新生代，亚洲季风演变，大气环流，水汽来源

2.2 元古宙重大突变期地球系统内外耦联过程

研究内容：聚焦元古宙早期与晚期地球表层增氧和气候突变等重大事件，开展多尺度、高精度的地质学、地球生物学和地球化学等多学科综合研究，重建增氧和气候变化等发生的时间和幅度；揭示突变期地球深部岩浆作用性质和规模，探索地球深部挥发份释放过程；重建突变期地球表生过程的演化特征，查明其对地球表层系统挥发份浓度和生物演化的影响；从地球系统内外联动的角度揭示元古宙重大突变期成因、过程与机制。

考核指标：建立元古宙早期和晚期重大增氧事件和极端气候事件演变的精细过程；建立地球深部岩浆作用的演变过程并约束地球深部过程对地表挥发份储库的影响；定量约束地质微生物过程调控地表挥发份储库的途径和通量；提出地球系统内外联动调控元古宙增氧和降温的新认识。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：大氧化事件，雪球地球气候，挥发份，地质微生物，

岩浆过程

2.3 古亚洲洋石炭-二叠纪重大生物-气候事件及资源效应

研究内容: 聚焦北方中纬度地区古亚洲洋构造域石炭-二叠纪关键转折期,开展重大气候-生物-化石能源事件关联机制的研究。通过综合地层学、地质年代学和全球地层对比等研究年代地层框架,研究海陆生物多样性演化的模式,揭示古亚洲洋关闭过程对全球气候和环境演变的影响过程,阐明晚古生代地球系统演变过程中有机质富集与油气等化石能源形成的机制。

考核指标: 建立古亚洲洋区域石炭-二叠纪高精度时间框架和陆地生物多样性模式,刻画环境演化的精细过程,揭示晚古生代北方中纬度地区古地理演变对全球气候、环境和生物的影响,查明油气等化石能源时空分布规律与重大气候-生物-环境事件的关联机制,揭示大洋关闭对油气资源富集分布的控制规律。

有关说明: 研究成果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词: 晚古生代大冰期,生物多样性,综合地层对比,古亚洲洋,油气资源

2.4 俯冲碰撞改造克拉通的圈层相互作用与成矿耦合机理

研究内容: 围绕受新元古代以来(或中生代以来)大洋俯冲和新生代印度-亚洲大陆碰撞改造的扬子克拉通及周缘的岩石圈演和矿床发育,采用地质学(矿床学)、地球化学、地球物理(地震学、大地电磁等)和数值模拟等多学科交叉融合方法,研究俯

冲碰撞与克拉通相互作用的关键深部过程，探索克拉通改造过程与深部物质演变；刻画成矿金属在岩石圈储库的孕育与活化过程；追踪成矿流体在浅部岩石圈的上升通道和侵位特点；揭示从俯冲碰撞到陆内伸展过程中深部驱动与浅部成矿的耦合机制。

考核指标：获取跨越扬子克拉通及周缘重要成矿带3条 ≥ 100 km长岩石-地球化学剖面及壳幔精细结构（包括地震波速度和电阻率，横向分辨率优于2 km）；模拟俯冲、拆沉、热蚀与浅部响应机制，构建软流圈/岩石圈的热-化学交互模型；建立克拉通被俯冲碰撞改造过程中含矿岩浆形成演化及成矿物质迁移富集模型，揭示REE、Cu-Au和W-Sn等金属大规模成矿机制。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约2000万元。

关键词：成矿物质迁移与富集，岩石圈精细结构，克拉通及其周缘

2.5 地幔柱-俯冲板片相互作用与深部物质循环

研究内容：针对深俯冲引发的地幔柱系统，以南海为关键研究区进行岩石学、地球化学、地球物理、高温高压实验和数值模拟综合研究，揭示化学地幔柱的启动机制、上涌方式与物质组成，多尺度探测地幔结构与间断面性质，刻画地幔柱与俯冲板片相互作用的时空演化特征，阐明系统中关键元素（尤其 C-H-O-N-S）配分行为与深部物质循环，建立化学地幔柱综合判别体系，揭示其浅表岩浆-构造响应与机制。

考核指标: 构建南海地幔柱-俯冲板片的三维速度(探测深度达 1500 km, 横向分辨率优于 50 km)和各向异性模型(横向分辨率优于 50 km); 揭示化学地幔柱的形成机制, 建立化学地幔柱的综合判别体系; 阐明化学地幔柱的浅表岩浆-构造响应与机制, 形成化学地幔柱跨圈层相互作用的理论框架。

有关说明: 研究方法、数据、结果和模型须公开发表, 并按照国家科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词: 化学地幔柱, 地幔柱-俯冲板片相互作用, 跨圈层, 深部物质循环, 南海

3. 全球变化基础数据采集、集成、挖掘、同化研究与综合数 据平台研发

3.1 陆气相互作用关键要素的卫星定量遥感反演

研究内容: 基于光学、微波和重力等多传感器卫星, 特别是国产遥感卫星数据, 研制高时空分辨率融合、多星多模式立体观测协同等基础遥感数据处理关键技术, 建立新的多圈层关键要素遥感反演体系, 实现多圈层碳水交换过程参量的精确监测与反演; 基于多模式三维遥感机理模型和机器学习等手段, 发展陆气关键要素遥感反演算法和矢量辐射模型, 提升时空分辨率和反演精度, 构建高精度、标准化、长时间序列产品。

考核指标: 全球多圈层关键要素新型遥感反演模型、算法与产品, 包括: 植被光学和微波三维遥感机理模型耦合仿真数据库,

数据库记录数 ≥ 1 万条；10 m植被精细类型产品以及农作物灌溉季产品，精度 $\geq 80\%$ ；30 m森林三维结构产品；1985~2020年10 km²以上湖库月水储量产品，精度 $\geq 70\%$ ；时间跨度 ≥ 40 年、空间分辨率不低于5 km的积雪面积；时间跨度 ≥ 60 年的极地冰盖和冰川变化及储量产品；全球4 km逐小时的全天时云物理特性产品，全球时间跨度 ≥ 6 年，其中中国地区时间跨度 ≥ 15 年；发展矢量辐射模型，建立适用于不少于2颗国产卫星辐射传输仿真模拟系统。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约2000万元。

关键词：植被类型及三维结构，云物理特性，农田利用与灌溉，冰冻圈

3.2 全球海-陆-气多源数据挖掘、融合与耦合同化技术研究

研究内容：研发支撑全球变化研究的大气、陆面和海洋等多圈层及跨圈层、多尺度、多源数据采集、质控、挖掘、融合、同化的新技术和新理论，建立多圈层统一的耦合同化框架，发展多尺度弱耦合同化技术，搭建同化系统；开展多圈层资料耦合同化试验，同化海-陆-气-冰等多源观测数据，研发多圈层协同变化的再分析资料集；在自主数值模式与自主大气与海洋卫星观测数据基础上，发展高分辨率、多参数遥测技术以及多源数据同化和融合技术，提高有效信息的估计精度和实时性，研发长序列、高精度气候变化及效应数据集（库）；整合联网观测、控制实验、模式模拟结果，构建支撑全球变化研究的大数据平台框架，开展应

用试验。

考核指标：构建全球多圈层观测质量控制预处理和数据挖掘方法；建成一套陆-气、海-气等多个界面的多源数据实时融合分析和同化方法及其应用系统，空间分辨率达到 5~10 km，时间频次达到逐小时，时间延迟不高于 3 小时；建立一套时空连续的、内部协调一致的长序列多圈层再分析产品，序列长度达到 40 年以上，相关产品技术指标达到或接近国际同类产品。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：多源数据融合，耦合同化，数据挖掘，再分析

3.3 全球变化大数据耦合计算与信息共享网平台研发

研究内容：围绕多源异构全球环境变化数据的智能构建与协同在线分析，开发多源数据汇聚和时空数据存储管理、混合云架构和超融合存算一体技术，构建地球系统科学海量数据分级存储和计算框架，实现分布式高时空分辨全球变化大数据的智能构建；建立多学科融合应用的数据描述模型，实现全球变化大数据协同计算、可视化服务和智能应用，形成云共享平台在线分析与耦合集成能力；建成一个体系健全、持续更新、快速应用的数据共享网。

考核指标：基于数据库接口与Web服务的多源数据自动汇聚，存储能力 ≥ 100 PB，注册用户能力 ≥ 10 万人；分布式计算环境下不同类型数据的自动处理，文件型和对象型数据的转换能力 ≥ 10000

Mbps; 分布式空间海量异构数据的动态存储和智能构建能力, 计算能力 ≥ 1000 万亿次/秒; 支持跨域数据发现、访问、互操作、重用及分布式协同计算, 用户并发访问能力 ≥ 100 万; 多时相数据三维数据增强现实和虚拟现实可视化; 服务不同主题全球变化研究项目 ≥ 2 项。

有关说明: 软件代码、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约2000万元。

关键词: 多源数据自动汇聚和处理, 海量异构数据时空数据存储管理, 跨域协同计算和分析, 多维地理空间数据协同处理, 三维数据增强现实和虚拟现实可视化

4. 全球变化特征、机理与关键过程

4.1 春播季重大持续性气候异常的机制、影响及预测

研究内容: 分析全球变暖背景下我国春播季持续性气候异常的多尺度变化特征, 研究海-陆-冰-气耦合过程对春播季重大持续性气候异常的影响机理, 检测人类活动和自然外强迫的影响; 研究春播季持续性气候异常对我国主要粮食产区农作物春播、生长发育等的影响及机理, 改进作物模型; 发展客观预测和约束预估方法, 预测春播季持续性气候异常的未来变化及对农业的影响。

考核指标: 揭示我国春播季持续性气候异常多尺度变化的物理机制并构建概念模型; 阐明春播季持续性气候异常对春播、粮食作物生理过程等的影响及机理, 改进作物模型; 发展客观预测与约束预估方法, 预估不确定性至少降低 10%; 构建春播季持续

性气候异常及其影响的预测模型，预估 2030~2050 年持续性气候异常的演变趋势及其对农业的影响，预测预估产品空间分辨率不低于 25 km。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：持续性气候异常，变化机制，预测，未来变化预估

4.2 平流层地球工程的气候效应及对生态环境的影响

研究内容：构建不同的平流层气溶胶注入地球工程方案，模拟分析中国水热配置和极端气候的响应与主要物理过程；研究平流层地球工程对中国陆地生态环境格局和功能的影响与机制；集成多源代用资料，结合数值试验，研究过去千年火山爆发（平流层人为气溶胶注入的自然类比）背景下中国气候和陆地生态环境的变化及机理；综合比较自然火山爆发与平流层地球工程气候和生态影响的异同，评估平流层地球工程的潜在风险及不确定性。

考核指标：建立不同的平流层气溶胶注入方案（时间、地点和路径）试验数据集；给出平流层地球工程方案下中国水热配置、极端气候（高温、干旱等）、陆地生态环境（植被、农作物等）响应的空间特征，空间分辨率不低于 50 km；绘制过去千年火山爆发后中国温度、降水、植被等变化的空间分布图；构建平流层地球工程影响中国气候-生态-环境的综合物理模型；完成气候干预决策咨询建议 1 份。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数

据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：平流层地球工程，火山爆发，水热配置，陆地生态环境，动力学机制

4.3 青藏高原冰冻圈快速变化对水文循环和水资源的影响

研究内容：针对青藏高原冰冻圈快速萎缩现象，开展冰冻圈内部温度探测及热动力过程研究，认识其内部变化机理；发展基于冰冻圈全物理过程的高寒水文模型，结合实地观测，刻画冰冻圈变化对水文过程的影响；开展典型跨境流域冰川-冰湖灾害链一体化监测，研究冰湖溃决灾害的机制和水文动力过程，预估未来风险；预估冰冻圈流域径流变化的“拐点”，评估冰雪洪水等极端水文事件对区域可持续发展的影响。

考核指标：不同气候区冰冻圈钻孔温度曲线（超过 100 m 深度的不少于 8 条）；建立冰冻圈不同要素互馈和多圈层相互作用的高寒水文模型；建立典型跨境流域冰川-冰湖灾害链监测体系，提交喜马拉雅高分辨率（<10 m）的冰湖变化和高危冰湖未来风险评估数据集各 1 套；预估融水径流变化的“拐点”时间，量化冰冻圈变化对水资源的贡献。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：青藏高原，冰冻圈变化，冰川-冰湖灾害链，水资源

4.4 高寒泥炭地演化及其对气候变化的响应与适应机制

研究内容：反演全新世以来高寒泥炭地的环境与生物演化过

程，探明其碳累积过程的关键调控因素；认识高寒泥炭地碳库的稳定性及其生物地球化学调控机制，包括碳降解及甲烷产生与氧化的微生物代谢途径与机制；聚焦温度和水位变化等因素，揭示高寒泥炭地表层和深层对气候变化的响应与适应机制；提出不同气候变化情景下高寒泥炭地的可持续管理策略。

考核指标：此项目属于“科学目标导向型”的探索性研究，不设考核指标。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：高寒泥炭地，碳库稳定性，响应与适应，气候变化

4.5 全球变化背景下河口海岸生态系统演变与多样性维持机制

研究内容：聚焦珠江口、长江口、黄河口等典型河口海岸系统，研究流域-河口-海岸连续体生态系统演变、突变及发展趋势，揭示河口海岸生态系统对全球变化的多尺度响应机理；研究人类活动和气候变化及其叠加作用对河口海岸生态系统结构和功能的影响，解析河口海岸生物多样性维持机制；开展地表水-地下水-生态系统动态监测，研发流域-河口-海岸连续体水动力过程与生态效应耦合模型，研究河口海岸生物多样性提升的陆海统筹调控原理。

考核指标：定量解析不少于 3 个典型河口海岸生态系统近百年演变过程及对全球变化的响应机制，形成包括物理、化学和生

物指标的近百年数据集，关键性指标涵盖水动力、溶解氧、水温、无机氮、活性磷酸盐、重金属、新兴污染物、物种多样性、 α 多样性等；构建无损、高通量、长序列、分类型的河口海岸生物多样性监测技术，并形成技术指南（行业或团体标准）1项；构建1套流域-河口-海岸连续体水动力过程与水生态效应耦合模型，主要物理、化学和生物指标模拟精度达到80%以上；揭示全球变化背景下河口海岸生物多样性维持机制，提出不少于3个典型河口海岸生物多样性提升的陆海统筹调控方案。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约2000万元。

关键词：河口海岸，生态系统演变，生物多样性维持机制，陆海统筹调控

5. 全球/区域海陆气耦合模式、地球系统与区域地球系统模式优化与大数据分析研究方法研究

5.1 关键海气交换参数化方案发展及其在全球和区域海气耦合模式中的应用

研究内容：基于海上固定平台和浮标等，开展不同海况下海气交换精细化科学实验以及长期连续观测，结合AI等新技术，发展适用于全球和区域海气耦合模式的海气动量、感热和潜热交换以及太阳辐射等新型参数化方案；构建海洋飞沫生成函数，开展飞沫在海气碳、氮物质交换中的作用研究；相关参数化方案支撑自主全球和区域大气-陆面-海浪-海洋-海冰耦合模式发展；基于

上述耦合模式开展模拟试验，揭示海浪在海-气交换及气候系统中的作用。

考核指标：项目执行期内每年不少于三分之一时长的海气界面过程长期观测；发展包含动量交换、潜热和感热交换、海面反照率、海洋内部短波穿透等不少于 4 套新型参数化方案；新型参数化方案在不少于 2 个的自主海气耦合模式中应用，全球模式的全球平均 SST、ENSO、季风爆发等关键要素模拟能力提升不低于 5%，区域模式的台风强度模拟能力提高不低于 10%。

有关说明：研究成果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：海浪，海气动量交换，海气潜热和感热交换，海表短波辐射，碳氮物质交换。

5.2 共享开放、自主可控的多圈层耦合地球系统模式研发与应用

研究内容：研发全球多圈层多过程耦合的地球系统模式 (ESM)；研制包括农业和城市的人类活动模式 (HSM)，刻画人类生产生活与气候环境间的动态互馈过程；研发从地表到低热层的中高层大气模式 (HAGCM)，研究中高层大气与对流层的互馈机制；研究地球系统模式在国产高性能计算机上的适配技术，实现全球-区域双向嵌套；开展气候变化模拟与预估，评估气候变化对未来中国及全球气候和生态环境的影响；探讨机器学习优化地球系统模式参数化方案和建模方法。

考核指标：耦合的 ESM 自主可控，包含大气、海洋、海冰、陆面、大气化学、陆地和海洋地球生物化学、动态植被、大陆冰盖、人类活动等过程，水平分辨率优于 50 km，大气高度不低于 100 km。HSM 提供与 ESM 耦合相匹配的物质能量精细时空分布；HAGCM 高度不低于 150 km。ESM 中大气和海洋模式在 3 种不同指令级国产处理器超算系统百万核并行效率不低于 30%。量化模拟全球大气 CO₂ 分布及海气和陆气碳通量，结果参与 CMIP7，提供未来气候变化下全球植被分布和自然碳源汇变化的预估数据集。

有关说明：耦合地球系统模式代码、研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：地球系统模式，人类活动模式，碳通量，动态植被，国产超算

6. 全球变化影响评估和风险预估

6.1 寒区陆地生态系统突变的机制、影响及区域联动

研究内容：揭示青藏高原与泛北极等典型寒区陆地生态系统关键要素（高寒草地、北方森林、湿地与多年冻土等）分布格局及温室气体源汇功能的演变特征，解析其对全球变化（升温与极端事件等）的非线性响应过程与机制，阐明寒区植被格局与温室气体源汇功能反转的关键驱动因子及其阈值，探讨寒区生态系统反转通过生物物理与生物地球化学反馈对区域-全球气候系统的

影响及青藏高原与泛北极的联动效应。

考核指标：研制近 40 年寒区植被分布与多年冻土关键参量数据集（空间分辨率 $\leq 1\text{ km}$ ）；构建天空地一体化温室气体监测平台，形成近 20 年逐月温室气体通量数据集（空间分辨率 $\leq 10\text{ km}$ ）；发展包含寒区关键过程的生态系统模型及区域陆气耦合模式，提供寒区生态系统反转的气候情景清单，评估至少 5 个排放情景的寒区生态系统反转风险及其区域气候效应。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：寒区陆地生态系统，植被分布格局，温室气体源汇功能，反转点，气候反馈

6.2 全球变化背景下关键区域生物入侵的影响及风险评估

研究内容：聚焦自然保护区、生态保护红线、滨海湿地等关键区域，研究外来入侵物种分布规律及其扩散限制的关键环境因素，解析外来入侵物种与全球变化的关系；研究多环境要素作用下外来入侵物种和本地物种种间/多物种的相互作用机制，阐明生物因子和环境要素影响入侵扩散的机理；研发多物种关系耦合多环境要素的生态模型，预判全球变化下重大外来入侵物种扩散风险及其对关键区域生物多样性的威胁。

考核指标：此项目属于“科学目标导向型”的探索性研究，不设考核指标。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数

据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：外来入侵物种，分布格局，物种模型，入侵风险，关键区域

6.3 气候变化对我国可再生能源开发利用的风险评估和预测预警技术研发

研究内容：开展全球变化背景下，我国可再生能源资源的时空变化特征和形成机理研究，开发风能、太阳能资源的长时间序列评估/预估数据集；探究高比例风光可再生能源电力系统的气候风险及其形成机理；研究极端性、持续性天气气候异常事件对我国可再生能源开发利用的风险评估技术；研发基于风险的多时间尺度风光新能源功率预测-预警技术方法，支撑“双碳”目标下的能源安全建设。

考核指标：建立覆盖我国陆地和近海的高时空分辨率（公里级、小时级）风光资源长时序评估（涵盖过去 30 年以上）和预估（涵盖未来 40 年以上）数据集，风速和总辐照度均方根误差分别 $\leq 2\text{ m/s}$ 和 120 W/m^2 ；明晰我国风光资源长期变化的时空异质性及其对可再生能源电力系统的影响机理；建立风光可再生能源开发利用的气候风险评估模型，评估可信度 80%以上；建立基于风险的风光新能源功率预测预警技术方法，预测预警的时效在两周以上。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：可再生能源开发利用，风险评估，基于风险的预测预警

7. 全球变化适应理论与技术研究

7.1 典型干旱区气候变化与经济社会适应

研究内容：研究干旱区水资源演变及对气候变化响应机制，揭示水资源变化与社会经济系统的耦合机制，提出多目标耦合的水资源气候变化适应性策略；揭示气候变化影响农牧业的机制，构建农牧业气候变化监测模型、适应性技术体系，提出适应性策略；评估 40 年来气候变化对旅游资源的影响，识别影响关键区，提出适应性策略，开展气候变化情景模拟技术研发与示范；揭示城市化与气候变化交互影响机理，研发适应性城市可持续性评估模型，提出气候适应型宜居城市建设路径。

考核指标：提交气候变化对于干旱区社会经济系统（农牧业、旅游业和城市化）的影响机制和适应性综合研究报告 1 份；构建干旱区气候变化-水资源-经济社会适应性数据库 1 套；研发气候变化下水资源模拟模型 1 套；研发农业和牧业气候变化灾害监测模型 1 套；构建气候变化背景下旅游影响关键区适应性技术 1 套；提出典型气候适应性城市建设模式 1~2 个；建立适应气候变化的示范区 2~3 个；提出相关咨询报告 2~3 份。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：干旱区水资源风险，农牧业，旅游，城市化，气候

变化适应性

7.2 全球变化对生物多样性影响的复合性和级联性风险及应对技术

研究内容：聚焦陆地野生动植物及种质资源多样性，研究全球变化背景下极端天气气候事件、土地利用活动和环境污染对生物多样性影响的复合性和级联性风险，揭示不可逆转后果的形成机制；解析极端气候事件及人类介导的环境变化（如土地利用转变、生境破碎化和环境污染等）下物种迁移和微进化、群落和生态系统转变等变化特征，揭示生命系统的适应性策略和韧性特征，探索对复合性和级联性风险的适应限制机制；评估当前保护措施对气候变化适应的有效性，建立基于生态系统方法（EbA）和基于自然解决方案（NbS）的适应途径；研发防范复合性和级联性风险的适应性技术，开展示范应用。

考核指标：建立 1 套全球变化背景下极端天气气候事件、土地利用和环境污染对生物多样性复合性和级联性影响的风险评估技术方法，形成技术指南（行业或团体标准）1 项；量化解析全球变化对 3 个以上典型关键区域的生物多样性影响，揭示影响的复合性以及级联效应，阐明极端事件及人类介导的环境变化下生物多样性的韧性特征与风险适应限制机制；建立 1 套防范复合性和级联性风险的 EbA 和 NbS 适应途径及方案；构建 1 套综合适应技术体系，选择 3 个以上自然保护区或国家公园开展应用示范。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：复合性和级联性风险，生物多样性韧性，适应限制，基于生态系统的方法和基于自然的解决方案，适应技术

7.3 低云辐射干预地球工程及其气候效应理论与技术研究

研究内容：研发低云遥感探测反演技术，形成全面综合的低云三维特征认知；开展多尺度、多场景的气溶胶-低云相互作用研究，探索其规律和机理，构建低云辐射干预方案的理论框架；发展多区域、多尺度低云特征对气溶胶变化的响应模型，量化区域和全球尺度气溶胶-低云相互作用的气候效应；构建不同气候变化减缓目标的低云辐射干预实施方案，研究全球不同区域气候和极端事件对各实施方案的响应，综合评估各实施方案的潜在影响与风险。

考核指标：发展多源遥感反演新算法，建立 1 套至少 20 年 5 km 分辨率的气溶胶、云、潜热和辐射等综合数据集；揭示气溶胶-低云相互作用的关键影响因子、规律和机理，建立低云辐射干预基础理论；发展适用于不同气候背景的低云对气溶胶响应模型，量化区域辐射强迫响应；明晰不同低云辐射干预方案的气候效应和不确定性，完成气候干预决策咨询建议 1 份。

有关说明：研究结果、数据须按照科技部的相关规定进行数据汇交、开放共享。国拨经费概算参考数约 2000 万元。

关键词：地球工程，低云辐射干预，气溶胶-低云相互作用，辐射强迫，气候效应