

## “十四五”生态环境领域科技创新专项规划

针对我国主要生态环境问题与重大科技需求，依据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，制定本规划。

### 一、形势与需求

#### （一）我国生态环境保护面临的形势与挑战。

党的十八大以来，党中央以前所未有的力度抓生态文明建设，全党全国推动绿色发展的自觉性和主动性显著增强，美丽中国建设迈出重大步伐，我国生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化。但是，我国生态环境结构性、根源性、趋势性压力尚未根本缓解，与美丽中国建设目标要求及人民群众对优美生态环境的需求相比还有不小差距。

“十四五”期间，我国生态环境领域科技创新面临新的挑战。一是生态环境监测、多污染物协同综合防治技术水平尚无法支撑更高效率、更加精准地深入打好污染防治攻坚战。二是传统生态环境修复技术难以满足山水林田湖草沙系统治理的要求。三是常规污染物和新污染物问题叠加，环境健康和重大公共卫生事件环境应对等研究需要加强。四是部分环保装备国产化水平不高，环保技术装备产业竞争力不强。五是生态环境新材料、新技术整体处于跟跑阶段，新技术与生态环境领域融合不足。六是温室气体减排压力空前突出，支撑碳达峰碳中和目标如期实现和应对气候变化面临重大技术挑战。

#### （二）国际生态环境科技发展趋势。

国际污染防治技术研发向多污染物全过程协同治理方向转变，突出解决复杂生态环境的系统问题。近年来，全球主要国家的大气、水、土壤和固体废物污染防治向全过程精细化转变，实现精准施策。水、固废等污染控制由安全处置上升到循环利用新阶段，污水和固废资源化利用研究成为热点。快速有效生态环境监测、多污染物多行业全过程控制、资源循环利用以及经济高效的环境友好型技术开发成为生态环境科技创新的重点。

针对全球问题和区域协同治理的绿色技术研发日渐成为社会关切，谋求社会、经济 and 环境的均衡、协调和可持续发展。随着生态环境问题的全球化，以全球环境公约为代表的全球协同治理更加广泛。世界各国围绕联合国确立的 17 个可持续发展目标，将系统解决全球性的气候变化、环境履约及跨国界污染等作为重点，加强绿色技术研发，应对全球生态环境挑战。

更加关注生态环境与健康风险防控，积极推动绿色替代技术创新。随着公众对生态环境质量要求日趋严格，人群健康风险、生态安全等成为研究热点。在生态环境健康风险评估体系及更高分辨率暴露评价模型基础上，建立了大气污染物急、慢性暴露与人群健康损害的暴露反应关系，为世界卫生组织提高环境空气质量基准/标准提供科学依据。各类新型污染物治理、危险废物全生命周期生态环境管理、化学品全过程生态环境风险防控、各种绿色替代材料和功能材料开发成为发达国家生态环境管理和研究重点。

学科交叉与技术融合特征更加明显，多领域取得颠覆性技术突破，技术装备呈现智能化趋势。随着大数据、云计算、5G、生物技术、新材料、信息技术、人工智能等多种新兴技术手段飞速发展，多学科交叉显著推动了生态环境科技进步。生态环境监测向高精度、动态化和智能化发展；基于大数据和人工智能的定向、仿生及精准调控资源技术成为重要战略发展方向；信息技术在生态环境监测、智

智慧城市、生态保护和应对气候变化等领域得到广泛应用；环保装备向智能化、模块化方向转变，生产制造和运营过程向自动化、数字化方向发展。

### （三）“十四五”我国生态环境科技发展需求。

为积极应对“十四五”期间我国生态环境治理面临的挑战，需要加快生态环境科技创新，构建绿色技术创新体系，推动经济社会发展全面绿色转型，建设美丽中国。

深入打好污染防治攻坚战需要科技创新解决污染治理中难啃的“硬骨头”。针对区域流域生态环境系统性治理不足，高精度生态环境监测不足，生态环境全链条监管、多污染协同治理及综合防控技术薄弱等问题，在重大国家战略发展区域突破生态环境协同治理与绿色发展技术，强化生态环境监测监管科技创新，重点开展细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）和臭氧（O<sub>3</sub>）协同防治、土壤—地下水生态环境风险协同防控、减污降碳协同等关键技术研发，加强多污染物协同控制和区域协同治理，守住自然生态安全边界，促进区域流域自然生态系统质量整体改善，形成多介质生态环境污染的综合防治能力。

生态环境治理体系与治理能力现代化需要构建服务型科技创新体系，提升环保产业竞争力。针对固废资源属性识别不足、风险溯源与精准调控困难，难利用固废产排量大、资源化利用率低，新型废旧物资报废问题凸显，环保产业高质量发展不足等短板，推动产品生态设计、过程清洁生产、产业链接利用、区域废物协同处置利用等重大技术创新与转化应用，建立废物源头减量与多层次资源高效循环利用技术体系，发展环境生物、环境材料、智能环境等前瞻新技术，提升支撑生态环境治理与高质量发展的环保装备产品供给能力，壮大环保产业。

应对气候变化等全球共同挑战需要通过科技创新提出中国方案。针对全球气候变化模型评估等基础研究落后，支撑碳达峰碳中和关键技术亟需加强，全球气候治理及国际环境公约履约能力有待提升等问题，加大对地球系统模式、重点领域温室气体减排关键技术创新，提升生态系统碳汇能力和城乡建设、农业生产、基础设施等适应气候变化能力，建设性参与和引领气候变化国际合作，提升全球气候治理和环境履约能力。

改善生态环境质量、保障公众健康需要依靠科技创新提升生态环境健康风险应对水平。针对有毒有害化学物质危害性数据、暴露评估和绿色替代技术、新污染物评估分类方法不足等问题，推进化学污染物、病原微生物、耐药细菌等生态环境风险识别与管控技术创新，研发化学品生态环境健康风险评估与控制技术方法，提升危险废弃物、有毒有害化学物质生态环境监管和风险防范能力，强化重大公共卫生事件生态环境应对，支撑健康中国建设，推进人与自然和谐发展。

## 二、指导思想和基本原则

### （一）指导思想。

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻习近平生态文明思想，深入贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，以生态环境质量改善和提升风险防控能力为目标，以解决“十四五”污染防治攻坚战的关键难点为突破口，坚持需求导向、前瞻布局、交叉融合，统筹政府和市场资源，把握好生态环境学科与其关联学科、自主研发与国际合作的关系，着力加强生态环境系统认识与调控的源头创新，重点突破生态环境保护关键核心技术，引领构建技术转化应用创新体系，为提升我国生态环境治理能力，促进我国发展方式绿色转型，加快生态文明建设提供科技支撑。

## （二）基本原则。

坚持系统治理、重点突破。坚持山水林田湖草沙生命共同体系统观念，强化生态环境各领域各要素协同治理，面向国家重大发展战略和深入打好污染防治攻坚战要求，围绕重点区域、流域、海域和热点难点问题，系统部署科技创新重点任务，集中资源，攻坚突破。

坚持深化改革、协同创新。强化生态环境领域科技创新机制改革，着力推进科技创新与政策创新深度融合，加强科技部门与行业部门和地方的协同，探索实施生态环境科技创新与国家重点区域/重大工程建设、生态环境管理与产业发展政策的联动机制。

坚持政府引导、市场发力。加强各类资源的整合利用，充分发挥市场配置创新资源的作用，构建多主体融合、多渠道汇集的生态环境科技创新格局与协同机制，推动生态环境问题协同解决与环保产业高质量发展。

坚持学科交叉、国际合作。强化生态环境领域技术与信息、生物、材料等变革性技术的交叉融合创新，探索建立推动生态环境科技创新的新机制与新模式，实施更加开放包容、互惠共享的国际科技合作战略，在全球气候变化、国际履约等领域着力构建全方位、多层次的国际合作新格局。

## 三、发展目标

### （一）总体目标。

以改善生态环境质量、防范生态环境风险为重点目标，深化生态环境健康、化学品安全、全球气候变化等重大生态环境问题的基础研究；研发环境污染防治、生态保护与修复、固废减量与资源化利用、生态环境监测预警与风险控制等关键核心技术，形成高端新技术、新材料、新装备，引领环保产业跨越式发展和国际竞争力提升；完善适合生态环境学科、产业特点的科技创新模式，构建面向现实与未来、适应不同区域特点、满足多主体需求的生态环境科技创新体系。

### （二）具体目标。

生态环境监测与预警方面，突破一批高精度、多成分污染物多介质综合监测技术，大幅提升分析仪器关键元器件的自主知识产权水平，高通量、高灵敏、便携式大气污染监测设备实现地面至 10 千米智能立体探测，臭氧预报准确率大幅提升；构建覆盖有毒有害化学物质和生物、耐药细菌/基因、生态环境监测指标的智能化生态环境状况监测和风险预警技术体系，为生态环境监管、治理成效评估及科学研究提供先进技术手段。

生态保护修复与生态安全方面，创新人与自然耦合生态系统演变机制、生态产品开发与价值实现模式、流域/区域生态系统完整性构建理论及技术体系，研究山水林田湖草沙系统保护恢复与治理、城市生态修复和功能提升、地上一地下与陆海统筹生态保护修复、流域控制性水库群联合生态调度、生态安全监管与风险管控、生物多样性保护和生物入侵防控等技术，支撑重要生态系统保护和修复重大工程建设，建成 3~4 个面积大于 100 平方公里典型示范区，着力提升生态系统自我修复能力和稳定性。

多介质环境污染综合防治方面，聚焦水、大气、土壤、固废、生态等重点领域，突破多污染物、多尺度、跨介质复合污染监测预警—精准管控—系统治理—生态环境修复全链条理论与技术瓶颈，强化细颗粒物和臭氧协同控制、污水资源化利用、土壤和地下水污染风险管控等技术与示范，大幅提升消除区域重污染天气调控准确率，研制一批挥发性有机物（VOCs）治理源头替代材料，建立涵

盖绝大部分未定标高关注污染物风险管控标准，显著提高场地安全利用率，为精准、科学、依法治污提供支撑，助力打好蓝天、碧水、净土保卫战。

固废减量与资源化利用方面，深入认识区域物质代谢转化规律及废物资源生态环境属性交互作用机理，突破可持续产品生态设计、无废工艺绿色环境过程、多源复杂固废协同利用等重大技术与装备，攻克制约废物源头减量减害与高质量循环利用的关键材料、核心器件及控制软件，提升装备的绿色化、智能化水平，形成多套跨产业、多场景综合解决方案，显著提高新增废物资源化利用率，支撑污染显著减排与资源循环利用体系构建。

新污染物治理与国际履约方面，加强高危害化学物质与新污染物危害机理、追踪溯源与综合评估模式等基础研究，加强新污染物有关化学品的绿色替代标准与技术创新，开发一批高通量/高内涵毒性测试与计算预测技术，构建国家化学物质生态环境危害和暴露信息数据库，突破病原微生物、耐药细菌核酸与活性快速定量检测等技术瓶颈，构建新污染物/化学品/病原微生物/耐药细菌/耐药基因生态环境与健康风险的识别、评估和管控技术体系，建立典型区域、流域、废物、新污染物的全过程生态环境风险控制技术体系。

应对气候变化方面，开展重点领域低碳零碳负碳技术研发，重点突破零碳工业流程再造、碳捕集利用与封存（CCUS）等技术示范。开展非二氧化碳温室气体减排与替代技术研发，加强碳中和前沿颠覆性技术探索，开展百万吨级 CCUS 全流程工程示范。加强全球气候变暖对我国承受力脆弱地区影响的观测与评估，加强气候变化风险研究，推动我国气候变化适应技术创新与示范。

## 四、重点任务

### （一）生态环境监测。

#### 1. 大气 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 污染综合立体监测技术。

突破大气 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 及其主要前体物的精准探测、智能关联感知、天空地一体化遥感技术；自主研发高时空分辨大气立体观测技术装备、现场快速监测为主的污染源监测技术、便携式仪器设备及大气汞监测技术装备；重点突破在用汽油车高蒸发排放 VOCs 识别、柴油车和非道路高 NO<sub>x</sub> 快速检测及面向国六车的分布式车载诊断检测和在线监控大数据管理应用等技术和设备；研究大气恶臭污染在线监测、影响评价、精准溯源技术；构建业务化立体观测网络，建立基于立体监测的大数据融合分析平台，形成大气多要素智能立体监测—质量控制和保证—大数据综合分析技术体系；研发全组分环境空气挥发性有机物和臭氧层消耗物质监测技术与质量控制方法，在典型地区开展业务化应用示范，满足新时期大气 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 协同防控需求。

#### 2. 水生态环境先进监测装备及预警技术。

研发地表水多指标自动监测设备、部件与配套标准样品，重点研发免/少试剂小型监测设备；发展污染源偷漏排预警与污染溯源技术；研究水污染物通量监测关键技术，构建河流—入海口—海湾/海岸带协同的水质/生态环境监测技术体系；研发空间大尺度遥感监测与反演技术，建立全流域及近海的监测—预警—预测信息平台。

#### 3. 区域生态环境保护修复天空地协同综合监测与评估技术。

开展多源遥感、实时监控等大数据协同分析，研究重要生态环境空间人类活动干扰快速识别技术，建立生态环境破坏影响评估技术方法；构建区域生态环境保护修复成效监测及评估技术体系；突破天空地一体化监测和数据融合技术，研究建立标准化、规范化的生态环境遥感和地面监测指标体系和技术方法；实现地

面点监测数据与遥感监测数据的有机融合，形成高可信度、高精度、可业务化的区域生态环境监测技术与方法体系；在典型地区开展综合监管与评估业务化应用示范。

#### 4. 污染源多要素智能化协同监测技术。

开发高灵敏度高稳定性智能化污染源自动监控设备，重金属大气污染物排放自动监测设备，场地土壤重点污染物原位在线检测技术与智能设备，地下储罐、管道周边土壤与地下水污染隐患快速检测设备，场地污染现场检测与监管一体化技术与移动式装备；研发基于薄膜界面探测技术的污染地块现场检测技术，场地土壤中恶臭物质识别、检测和控制关键技术，完善卫星遥感、走航观测与污染源自动监测等协同执法监测技术；研究建立污染源多维度自动监控技术及全过程质控体系。

#### 5. 天空地温室气体监测技术。

开展典型工业过程和产品使用源排放、城市碳排放监测关键技术研发；开展区域尺度碳排放通量监测评估关键技术研究；加强温室气体自主监测设备研发，开展碳监测卫星遥感关键技术研究，开展星地协同高精度温室气体遥感自主反演及多源卫星数据融合同化研究，开展受控温室气体泄漏风险现场试验。

#### 6. 生态环境应急多源数据智能化管理技术。

整合水质、水文和生物等多源数据和预警模型，构建基于物联网、大数据、人工智能等技术的生态环境风险分级预警、应急监测响应的智能化技术平台；研究重大突发生态环境事件有毒有害化学物质及典型新污染物的溯源解析技术、监测方法和评价标准；开发卫星遥感、无人机、无人船、便携、走航等生态环境应急监测新技术与新装备并开展示范应用。

### **（二）水污染防治与水生态修复。**

#### 1. 城镇水生态修复及雨污资源化技术。

研究气候变化等多重胁迫下区域水生态环境响应机制，研发基于海绵城市建设理念的排水系统及绿色基础设施建设范式；开发城镇韧性排水管网运行维护技术及雨污水、污泥绿色低碳处理与资源化技术；建立城镇排水系统与水生态环境过程模拟技术平台，研发厂—网—河—湖—岸联动的水环境治理与水生态修复技术，在典型城市开展水污染治理、水生态修复、水资源保护的“三水”协同治理示范工程。

#### 2. 农业面源污染治理技术。

研发农业面源径流污染源头阻断技术，提升农村生活污水、养殖废水与废弃物处理及资源化技术水平，建立基于农牧业生产特点的污、废污染协同治理与资源化利用模式；研究高关注农药等污染物多尺度多介质输移过程和转归机制，突破农牧业生产中面源污染控制技术，构建小流域污染综合治理及生态环境恢复模式；开展典型小流域/区域应用示范，形成自然融合的美丽乡村水生态环境建设范式。

#### 3. 工业废水污染防治与资源化利用技术。

构建以生物毒性及特征污染物控制为目标的工业废水达标排放可行技术体系；开展高毒废水致毒物质甄别，建立工业废水中高致毒化学品清单；发展难降解有机物强化氧化技术与绿色分离装备，开发废水源头减排、资源回收、能源利用与毒性削减多目标协同处理技术；研发高盐废水处理和资源化利用适用技术，创新废盐资源化与利用途径；建立工厂废水与园区综合废水协同处理与高效回用新模式并开展示范。

#### 4. 饮用水绿色净化与韧性系统构建技术。

研究建立不同流域不同类型水源风险污染物优控清单，开发水源地水质预警、调控与修复技术；研发少药剂、短流程、自动化、智能化工艺与装备及特殊水源的可持续净化技术；开发管网水质稳定维持及漏损检测控制与龙头水质保障技术；研究高韧性供水系统理论，开发供水系统全过程模拟基础模型，发展新型智慧化供水系统建设与运维技术并在典型地区开展示范。

#### 5. 地表—地下统筹水生态环境修复与智慧化管控技术。

开发河湖库及地下水物理与数值模拟基础模型，突破水系统健康诊断与病因识别及预测预警技术；研究重点流域、重点湖泊水循环及地表、地下水生态环境耦合作用与演化机制、地下水污染扩散机制及风险管控技术；突破地上一地下统筹的生态环境实体与数值模拟及治理关键技术，研发地表—地下水生态环境协同修复及地下水安全回补技术；突破多目标优化的智慧管控模型及算法，研究多尺度水生态环境精准溯源、实时模拟、前瞻评估和智慧管控一体化技术及示范。

#### 6. 水生态完整性保护修复技术。

研发重点流域水生态完整性评估技术，突破流域“水文—水动力—水质—水生物”多过程协同的系统耦合模拟预测技术，研究梯级水库拆除、水生生境改变、航运、十年禁渔政策等人类活动对水生态完整性和生物多样性影响，着力研发河湖自然缓冲带恢复、湖泊藻类水华控制、生态保育功能湿地构建、水源涵养区生态屏障构建、自然岸线稳定修复等技术。

### （三）大气污染防治。

#### 1. 动态源清单与大气环境自适应智能模拟技术。

研发污染源多污染物化学组份原位检测、便携式检测和在线质控技术；建立关键活性物种源排放表征和校验技术，构建颗粒物和 VOCs 源排放化学特征谱库，开发动态源排放清单平台和数据产品；构建多尺度自适应环境大气动力学模式与再分析数据集，研发臭氧和细颗粒物智能预测和溯源仿真技术，实现 7~14 天多尺度空气质量逐时预报预测。

#### 2. 多尺度大气复合污染成因与跨介质的耦合机制。

阐明  $PM_{2.5}$  与  $O_3$  的污染成因、耦合机制及与前体物排放的非线性关系，构建基于大气氧化性调控的  $PM_{2.5}$  与  $O_3$  协同控制原理；揭示多污染物在大气—地表过程中的相互作用，解析氮碳硫汞等循环过程对区域空气质量和调控策略的影响；量化气候变化对污染排放和不利气象条件的影响及其对重污染的贡献，提出气候友善的空气质量持续改善策略。

#### 3. 大气复合污染健康损害机制与生态环境风险防控技术。

阐明大气污染组分和生物气溶胶的人体暴露特征、健康危害及其机制，构建居民对大气污染响应的全系列健康效应谱，研究大气生态环境质量标准的科学确定原理及方法；研发高精度近地面道路交通特征污染物暴露评价技术，评估大气污染的疾病负担；研究大气沉降对生态环境系统的影响机制与剂量—响应关系以及大气典型污染物生态环境基准制定的理论与方法；突破室内多污染物检测、调控及净化技术与核心材料，构建面向突发事件的室内空气净化与病原体消杀技术。

#### 4. 多污染物源排放全流程高效协同治理与资源化技术。

重点突破移动源近零排放、非电行业  $NO_x$  超低排放、VOCs 多源全过程控制和超低排放监测监管等关键技术，研发多污染物全流程高效协同治理与资源化、污染与温室气体协同减排等关键技术和智能化装备，构建多污染物低成本超低排

放与温室气体协同减排技术体系，选择重点行业和工业园区开展工程示范，支撑重点行业实现多污染物超低排放。

#### 5. 多污染物多尺度跨行业区域空气质量调控技术。

开展大气污染物与温室气体减排的费效评估，突破多目标协同减排路径优化、多部门跨区域协同调控、重污染过程预警与实时评估等关键技术，开发能源—大气环境精细化动态耦合与减污降碳评估模型，构建 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 协同控制智慧决策支持平台。

### （四）土壤污染防治。

#### 1. 土壤复合污染成因、风险基准与绿色修复机制。

明确我国土壤复合污染时空特征、扩散转化过程及驱动机制；研究土壤抗生素及抗性基因、微塑料、纳米颗粒材料、全氟化合物、病原菌等新污染物的赋存特征和毒性机制，评估优先控制污染物的生态环境风险和人体健康风险，建立不同区域土壤和地下水主要污染物的生态环境基准，构建土壤复合污染多介质协同治理与绿色可持续修复理论及方法。

#### 2. 农用地污染修复和可持续安全利用技术。

研发农用地土壤重金属长效钝化和减量化、有机物污染土壤协同增效生物修复、无机—有机复合污染土壤联合修复技术等，建立农用地土壤污染分区精准治理与可持续安全利用技术模式；发展经济高效安全的农用地土壤白色塑料、微塑料及其他添加剂污染治理技术；因地制宜形成“源头减量—循环利用—过程拦截—末端治理”的农业源污染防治成套技术模式。

#### 3. 土壤污染精准识别与智能监管技术。

研发高精度、多功能、弱扰动的土壤与地下水现场原位采集技术；研发土壤污染科学评估、多维精细刻画和精准预测预警技术；开展土壤污染物的累积变化趋势及预测预警方法研究；开展土壤和地下水中典型有毒有害污染物和新污染物的检测方法比选，建立健全标准化测试方法；建立土壤生态环境大数据与信息化监管平台，实现拟建、在产和退役场地土壤污染全链条智慧监测与防控。

### （五）固废减量与资源化利用。

#### 1. 固废风险智能感知与数字化管控技术。

研究固废污染跨介质迁移转化与阻断调控机制，形成多场景跨尺度风险溯源调控技术；突破固废 4D 断层扫描、痕量元素灵敏感知、大尺度区域废物精准探测等关键技术，开发固废不同利用处置场景生态环境风险智能感知与管控技术；研发绿色低碳循环多目标协同优化技术，完善资源、经济、生态环境效应综合预测评价方法体系。

#### 2. 典型产品生态设计与绿色过程调控技术。

针对塑料包装、汽车等重点产品，研究全生命周期生态设计与评价方法，突破可降解塑料高效制备等关键技术，开发可降解塑料降解产物分析检测技术，研发固废资源化产品及原生产品的碳标签评价基准方法；针对冶金化工行业，突破湿法冶金反应过程危废原位减量、冶炼铁渣还原熔炼梯级利用、硫氯化工过程强化废盐减量等清洁生产关键技术与装备，形成成套化标准体系。

#### 3. 工业固废协同利用与产业循环链接技术。

开发高精度光电识别分选、杂质多场强化分离、有价值组分富集分离、全量化利用等关键技术，形成尾矿、磷石膏、气化渣、煤基固废、冶炼渣、复杂废盐、油基渣泥、有机固废等大宗工业固废/危废安全增值利用技术；攻克高温在线检测元器件、耐蚀耐温炉衬等关键材料与部件，开发自适应协同熔炼、高温等离子

转化、超声/微波场强化等核心装备，形成大宗多金属工业固废、城市矿产等多源金属固废协同利用与产业循环链接成套技术。

#### 4. 废旧物资智能解离装备与高值循环利用技术。

开发手机、平板电脑、家电等废旧集成产品智能拆解装备与高值利用技术，以及废旧高铁机车、飞机、风电机组等重型装备关键零部件智能拆解与再制造核心装备；攻克耐蚀炉衬、烟气净化等关键材料，突破废旧复合材料高效解离装备及有价金属清洁提取技术；研发城市低值可回收物的高值化回收利用技术、废旧高分子材料精细分选装备及高效解聚再造技术，以及原料深度提纯装备与高值循环技术。

#### 5. 生活垃圾及医疗废物高效分类利用技术及装备。

加强生活垃圾分类处理技术装备研发和集成示范应用，推动解决小型焚烧处理、焚烧飞灰处置等问题；探索适合我国厨余垃圾特性的处理技术路线，提高厨余垃圾资源化利用水平；研发畜禽粪便、农作物秸秆等城乡多源有机废物高效厌氧发酵—沼气重整集成技术，开发城市污泥—秸秆能源梯级化利用装备；研究应急状态下生活垃圾协同处置医疗废弃物关键技术，攻克高危感染性医疗垃圾安全处置技术与特殊场景移动式处置装备。

#### 6. 固废资源化技术集成与综合示范。

突破城市群多源垃圾集约化利用、城市/工业危废园区化利用等产城融合协同处置与多场景匹配集成技术；研发新能源、新材料等产业集聚区多源固废源头减量—过程控制—高端利用全链条综合利用集成技术；开发应急、生态环境修复、海洋等特殊场景固废快速减容—闭合循环技术及集成系统；建立重点区域集成示范，形成绿色低碳循环集成技术体系。

### （六）多污染物跨介质综合治理。

#### 1. 场地土壤与地下水污染协同治理和绿色修复技术。

针对重点区域的重点行业、工业园区、矿区、垃圾填埋场与危险废物处置场等典型污染场地，研发经济、长效、绿色的场地土壤与地下水污染阻控和修复新型功能材料；开展场地土壤与地下水中苯系物、卤代烃、石油烃、全氟化合物、六价铬等污染物的关键管控与修复技术研究；开发场地土壤—地下水多介质复合污染协同治理和绿色可持续修复技术与智能装备。

#### 2. 多介质复合污染协同治理技术。

推进碳—氮源多介质污染治理与资源化利用协同管控技术研究；构建都市区跨介质复合污染和生态环境全要素监测预报与协同防控集成技术，建立人群健康安全保障及污染暴露途径管控体系；研发区域生态环境治理协同增效技术，构建空地一体生态环境感知—多介质生态环境实体模拟—生态环境智能响应决策技术。在京津冀、长三角、珠三角等地加强多介质复合污染协同治理技术集成与综合示范。

#### 3. 减污降碳协同治理技术。

研究大气污染物与温室气体减污降碳协同技术，突破区域典型工业污染物全过程精准控制及无害化资源化技术；研究突破减污降碳陆海协同精准管控技术。

### （七）生态系统保护与修复。

#### 1. 人与自然耦合生态系统演变机制。

研究我国生态环境质量演变规律与成因，建立生态环境基准理论与方法；研究多尺度人与自然耦合生态系统演变特征、驱动力和反馈机制，发展人与自然耦合系统生态复杂性理论和稳定性调控方法；阐明生物个体/种群对人类活动干扰

的响应与适应机制；明确城市化过程和生态景观格局相互作用机制，开展生态系统模拟研究与应用。

## 2. 生物多样性保护与生物入侵防控技术。

研究典型地区生物多样性维持，珍稀濒危动植物保护、脱危与繁育，高附加值生物资源合理开发利用技术；研发国家公园与自然保护地体系规划、构建与管理技术；开发全球变化背景下生物多样性变化预警系统；发展入侵物种危害评估、智能监测与防控技术体系，加强对入侵物种认定标准、扩散规律、危害机理、损失评估等研究；研发生物多样性保护关键区域及濒危野生动植物保护与栖息地恢复技术。

## 3. 重要生态系统及脆弱区系统保护修复技术。

研发国家生态安全空间构建技术，建立生态风险监测评估预测预警和生态安全维护关键技术，开发生态保护红线与自然保护地监管、评估技术，重大建设项目生态风险诊断方法；重点研发荒漠化、石漠化、森林退化、水土流失综合治理新模式，建立基于山水林田湖草沙生命共同体的生态问题诊断方法、恢复力评价、系统修复技术体系、系统稳定性和质量提升技术体系及保护修复综合效益评估技术体系。

## 4. 城市生态环境修复和生态系统服务提升技术。

揭示城市生态环境问题形成过程、机理及健康效应，开展基于生态环境约束的城市可持续发展综合研究；发展生态空间格局优化方法、城市绿地生态功能修复与提升技术、旧城生态环境改造与生态环境健康社区构建技术；发展城市及城市群生态风险评价和管控技术；建立城市生态系统智能管理体系和调控模式，支撑生态环境智慧城市建设。

## 5. 生态产品开发与价值实现技术。

建立基于生态系统完整性和生态系统服务提升的生态保护和修复工程综合绩效评估技术体系；发展生态产品价值与生态系统生产总值核算的技术体系；重点研发不同类型生态服务产品的开发技术，探索重点生态功能地区生态保护与经济社会协调发展模式；建立保护者受益、使用者付费、破坏者赔偿导向的生态产品价值评估平台，开发基于生态产品与服务关联的跨区域生态补偿厘定技术。

### （八）新污染物治理。

## 1. 化学品高通量毒性测试和精细化暴露评估技术。

发展高通量/高内涵毒性测试技术，构建基于本土生物的毒理测试与毒性通路的多层次整合评估技术体系；发展基于计算毒理学与定量构效关系的虚拟筛选技术；发展识别污染物毒性作用路径的靶向测试技术；构建精细化暴露评估技术体系；筛选内暴露及早期健康效应标志物；构建化学品生态环境暴露、毒性效应的多维数据库；开展生态环境有害微生物定量组学研究，突破微生物及其感染活性检测新原理；开展基于深度学习和分子模拟的风险计算模拟和智能预测。

## 2. 化学品优先排序及分级分类、绿色替代合成技术。

开展化学品筛查、排序、分级分类研究，完善高产量高关注化学品的鉴别标准，提出我国优控化学品名录；研究优控化学品管理数据库和基本工具；研究基于构效关系与毒性基团的高风险化学品关键致毒机理；研究化学品分子结构设计与绿色合成替代技术，研发不少于 50 种绿色替代品。

## 3. 生态环境健康风险分级分区与管控技术。

开展饮用水、大气和土壤污染物复合暴露健康风险评价研究，研发风险分级分区和地图表征技术，健康风险削减及控制技术；研发放射性污染监测评估与安

全防控技术；发展室内空气净化及健康风险控制技术；构建基于生态环境健康风险的优先管控技术体系和监管平台。

#### 4. 新污染物生态环境健康风险全过程防控技术。

研究多介质环境中新污染物快速筛查方法、追踪溯源、监测检测技术，探索新污染物危害与人体健康作用机理，研究新污染物的人群暴露基线与敏感人群的暴露特征，构建新污染物危害属性、暴露参数等基础数据库，开发新污染物生态环境健康风险评价模型；开发企业一园区一区域/流域的新污染物健康风险全过程防控技术，新污染绿色替代技术与产品；揭示新型生态环境有害微生物环境赋存、传播和变异规律，研究健康风险预警及阻控技术。

#### 5. 噪声与人体健康风险基准及评估技术。

研究城市交通、工业、社会生活、施工等噪声引发人体健康风险的基准阈值，建立噪声对听力损失、心脑血管、神经行为功能等生理、心理指标的剂量一效应关系及其决定因素；研究声景干预对患者、老年人等敏感人群健康效益的影响机理，研发公园、广场、历史街区等城市公共空间的声景优化关键技术，构建人群主观感受与城市生态环境规划均衡发展的声景规划与设计技术，营造健康人居环境。

### （九）应对气候变化。

#### 1. 气候变化大数据与地球系统模式关键技术。

发展多元数据同化、融合技术，建立气候变化风险和适应数据共享平台；研发地球系统多分量耦合同化技术，发展高精度地球系统模式，建立气候生态环境预测系统；构建气候一水文一生态一环境一健康跨领域风险评估模式、气候一生态环境一政策一社会经济动力学模式，发展气候生态环境风险预估技术。

#### 2. 气候变化影响评估、风险预警关键技术。

发展气候变化和极端气候事件的多尺度影响评估和风险预估指标体系及量化、动态化分析技术；研发高精度气候变化风险定量识别评估技术；构建适应气候变化技术定量认证指标体系，开展适应技术的效果测度；研发集气候变化风险识别一评估一预警一转移为一体的气候变化风险早期预警平台。

#### 3. 重点领域碳达峰碳中和关键技术。

研究火电、钢铁、水泥、化工、有色金属、交通等行业深度脱碳技术和数字化与低碳化协同的分布式能源系统支撑技术；开展重点工业、交通、建筑部门近零排放/净零排放示范工程，典型区域碳中和技术集成示范工程，建立示范工程的碳排放和碳减排评估技术方法及相关数据库；研究甲烷、氢氟碳化物、氮氧化物等排放监测与减排替代技术和产品。

#### 4. 碳捕集、利用与封存（CCUS）技术。

开展二代碳捕集、CO<sub>2</sub>利用关键技术研发与示范，基于CCUS的负排放技术研发与示范、碳封存潜力评估及源汇匹配研究，海洋咸水层、陆地含油地层等封存技术示范，百万吨级大规模碳捕集与封存区域示范，以及工业行业CCUS全产业链集成示范，建成中国CCUS集群化评价应用示范平台。

#### 5. 重点领域适应气候变化关键技术。

研发粮食主产区气候智慧型农业核心技术；研发畜牧业主产区适应气候变化核心技术；研发缺水地区水资源再生及生态环境效应检测技术；构建城市（群）内涝防控技术及平台；研发京津冀、长三角气候风险与生态环境污染监测预警技术和平台；研发海岸带生态环境修复技术；发展脆弱生态系统、人群健康、重大工程等适应气候变化技术。

## 6. 全球气候治理支撑技术。

建立基于大数据、物联网技术的温室气体排放核算方法和技术体系，加强自上而下碳排放核算等方法研究，加强高精度温室气体排放因子研究与数据库建设，研究《联合国气候变化框架公约》《巴黎协定》履约中的关键问题，开发新一代综合决策支持模型，评估相关技术大规模应用的社会经济影响与潜在风险。

### （十）支撑国际生态环境公约履约。

#### 1. 持久性有机污染物公约履约支撑技术。

研发受控氟（溴）代持久性有机污染物（POPs）的替代品，建立受控 POPs 的替代评估技术系统；研发无意产生的 POPs 和常规污染物协同减排技术以及受控 POPs 废物识别与无害化处置技术；筛选评估潜在 POPs 并研判社会经济影响，研究新增列 POPs 的履约方案。

#### 2. 巴塞尔公约管控废物综合防治与成效评估技术。

研发公约管控废物的快速鉴别、特性分析和资源生态环境属性评估技术；研究废物越境转移风险评估、溯源和防控方法，开发公约管控废物名录增列预警、新管控废物回收利用及高毒废物脱毒与安全处置技术；构建废物分级分类管控技术体系，研究建立新增列受控废物履约成效评估方法。

#### 3. 保护臭氧层公约履约成效评估与预警技术。

研发《保护臭氧层维也纳公约》及其《蒙特利尔议定书》受控化学品减排技术，受控化学品的绿色安全替代品和替代技术，以及回收、再生、销毁技术；研发面向我国及周边地区的臭氧层耗损物质（ODS）排放溯源、履约成效评估和预测预警、替代品及其降解产物的生态环境影响评估、潜在增列 ODS 及其生态环境问题应对技术；开发 ODS 在线检测技术，建立国家和区域履约成效评估方法。

#### 4. 生物多样性和荒漠化履约支撑技术。

结合我国履行《生物多样性公约》及议定书的重大需求，研发生物多样性状况评估技术、现代生物技术及其产品的生态环境安全评价技术、生态系统服务功能量化技术、退损生态系统高效恢复技术；研究海洋生物多样性及遗传资源保护利用技术并建立相关数据库；研究土地退化零增长目标评估技术，建立荒漠化、石漠化防治决策支持技术体系。

#### 5. 汞污染监管与生态环境风险防控技术。

开发汞化合物在线监测、多维溯源和动态监管技术，开展汞废物阈值及生态环境风险评估方法研究；研发汞污染生态环境风险评估方法和履约成效评估模型；研发管控产品、工艺和排放源的替代、减排技术及废物/污染场地无害化处理技术；建立我国汞物质流向图并提出汞公约履约策略。

## 五、保障措施

### （一）创新组织实施机制。

加强科技部门、行业部门与地方的协同，探索实施生态环境科技创新任务部署与国家重点区域/重大工程建设、生态环境管理与产业发展政策多方联动机制。构建科技项目责任机制，由科技主管部门与行业主管部门、地方政府、示范企业、研发单位等签订多方协议，各负其责协同发力，实现重大生态环境问题的技术解决方案、示范工程、生态环境标准、技术推广政策、产业培育一体化突破。改进科技项目组织管理方式，征集有意愿有条件的地方政府和骨干企业作为工程建设组织和依托单位，采取“揭榜挂帅”等方式激发创新活力，遴选有实力、有优势的研发单位，通过国家重点研发计划、科技创新 2030—重大项目等予以分批支持。

## （二）构建绿色技术创新体系。

加快构建以企业为主体、以市场为导向的绿色技术创新体系，营造“产学研金介”深度融合、成果转化顺畅的生态环境技术创新环境。发展一批由骨干企业主导、多主体共同参与的专业绿色技术创新战略联盟，构建跨学科、开放式、引领性的绿色技术创新基地平台和智库服务中心。加快发展绿色技术银行，促进绿色技术创新成果与金融服务、人才支持的贯通发展，形成承接变革性绿色技术产业创新、成果落地转化和国际转移的综合运作服务体系，加快试点示范并全面推广面向首台（套）重大技术装备的保险补偿、税收优惠等支持政策。完善重点领域绿色技术标准，推进绿色技术创新评价和认证，强化产品全生命周期绿色管理。鼓励企业实施期权、技术入股，完善科技成果知识产权、投融资、激励及风险机制，加快推进技术成果的产业化进程。

## （三）加强基地平台建设和人才培养。

面向重点区域和流域生态环境保护和生态安全的重大国家需求，进一步整合当前生态安全及生态系统保护和修复领域重要团队和顶尖科学家，发挥生态环境领域全国重点实验室、国家技术创新中心、生态监测研究台站网络作用，开展长期稳定连续观测、试验研究性科技示范，推动科学数据中心和信息共享平台建设发展。加大对多学科交叉的高层次科技人才、创新团队、技术经理人队伍的培养和支持力度，形成支撑国家重大需求、具有全球视野和国际水平的生态环境领域战略科学家、高水平创新团队、青年科学家和技术经理人队伍。

## （四）完善多元投入。

完善资金投入结构，拓宽生态环境领域科技融资渠道。充分发挥中央财政科技资金的引导作用，通过财政直接投入、税收优惠等多种财政投入方式，引导金融机构加大支持创新的力度，激励企业增加生态环境科技研发经费支撑，鼓励社会以捐赠和建立基金等方式多渠道投入，形成政府、市场、社会协同联动的科技稳定投入新机制。加大生态环境领域冷门学科、基础学科和交叉学科的长期稳定支持，加强基础研究投入，注重提升生态环境科技原始创新能力。建立对非共识的探索性风险资助机制，增加企业资金、风险基金、金融投资等资本对本领域发展的投资渠道。

## （五）深化生态环境国际科技合作。

加强国际双多边科技合作与人才交流，开展应对气候变化、区域生态环境污染治理等研究合作，积极构建与国际接轨的技术标准体系；推进中欧气候变化与生物多样性旗舰计划、中德应对气候变化联合研究、中加清洁技术工作组、中新（加坡）水资源联合研究、中挪环境保护及可持续发展合作等国际合作计划。开展可持续发展南南合作、营造良好合作环境，多角度谋划开展科技合作，打造“一带一路”创新共同体，加强创新成果共享。