

附件 2

“大气与土壤、地下水污染综合治理”重点专项 2022 年度项目申报指南

为支撑深入打好污染防治攻坚战，推动“十四五”期间大气、土壤污染防治两大行动计划实施，科技部、教育部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、交通运输部、水利部、中科院、气象局共同制定了国家重点研发计划“大气与土壤、地下水污染综合治理”重点专项实施方案，统筹部署大气细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）协同控制和土壤与地下水污染协同防治科技创新工作。

本专项紧密围绕大气与土壤、地下水污染综合防治的科技需求，拟解决大气二次污染和区域土壤/地下水多介质污染的形成机理、气水土污染的相互影响两个基础科学问题，突破多要素立体监测预警、污染源实时智能监管、大气污染全流程高效协同治理、土壤复合污染绿色修复、能源—环境—健康—气候综合调控等五大核心防治技术，建立PM_{2.5}与O₃双降、污染场地土壤与地下水协同治理、大气与土壤、地下水污染协同综合治理等三类集成示范区，形成气候友善型区域多污染物跨行业高效治理的“中国模式”。

本专项执行期为 2022—2026 年，按照分步实施、重点突出原则，2022 年度指南拟在监测监管技术、成因机理研究、治理修复技术、决策支撑技术和典型区域实践等 5 个方面启动 39 个研究任务，拟安排国拨经费不超过 8.1 亿元，其中青年科学家项目 10 项，每项 300 万元。

本专项指南（青年科学家项目除外）要求以项目为单元整体组织申报，需覆盖所申报指南方向二级标题（例如 1.1）下的所有研究内容和考核指标，项目实施周期为 3~4 年。企业作为项目牵头申报单位，其他经费（包括地方财政经费、单位出资及社会渠道资金等）与中央财政经费比例不低于 2:1。指南各方向拟支持项目数原则为 1 项（有特殊说明的除外），若同一指南方向下采取不同技术路线，评审结果相近，可以择优同时支持 2 项，根据中期评估结果择优再继续支持。除特殊要求外，每个项目下设课题数不超过 5 个，参与单位数不超过 10 个。

青年科学家项目要求由青年科学家作为项目负责人领衔担纲，覆盖指南中 1 项内容即可，项目实施周期为 3 年，项目不下设课题，参加单位原则不超过 3 家，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，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

本专项2022年度项目申报指南如下。

1.监测监管技术

1.1O₃及前体物多源卫星高分遥感与集成解析技术

研究内容：突破高气溶胶和中等云覆盖率下高空间分辨的O₃垂直廓线及其前体物（二氧化氮（NO₂）及多组分挥发性有机物（VOCs））对流层柱浓度的多源卫星遥感反演技术，获取全国范围内公里级的空间分布，识别平流层入侵引发的臭氧污染；重构卫星遥感历史数据集，定量我国对流层O₃及其前体物的时空演变规律，发展近实时人群健康风险预警技术；以卫星遥感观测为基础，利用人工智能、大数据分析技术，融合地基、无人机等多平台立体遥感及地面原位监测、大气化学模式等多源数据，发展臭氧污染成因和来源集成解析新技术，开展重点区域百米级分辨率的O₃及其前体物三维空间分布的实时监测和集成综合解析，在典型区域针对重点污染源开展快速识别和溯源及健康风险预警应用示范。

考核指标：卫星遥感全国范围O₃垂直廓线及其前体物(NO₂，甲醛、乙二醛等多组分VOCs，甲烷（CH₄）等）柱浓度的空间分辨率达到公里级，与地基遥感和探空对比误差<15%，CH₄与地基遥感对比误差<1%，历史数据集不少于10年，集成分析产

品实现近实时发布（24小时内）；研发超光谱无人机遥感和地基成像遥感设备，实现对苯系物、醛类、酮类和酯类等VOCs等污染气体的探测，探测限达到ppb量级，工作环境适应-10℃~40℃，空间分辨率 $\leq 10\text{m}$ ，单目标成像时间分辨率 $\leq 15\text{min}$ ，数据采集时效性 $\leq 10\text{min}$ ，自动化无故障工作时间 $\geq 3000\text{h}$ ；集成分析技术实现重点区域白天 O_3 及其前体物三维分布观测数据的水平和垂直分辨率均优于100m，时间分辨率达1小时；实现重点区域内臭氧污染前体物污染区精细化溯源，典型园区识别率达90%；对公众健康风险预警达到近实时级别，建立5个以上示范点；发布我国对流层 O_3 及其前体物的遥测时空历史演变状况蓝皮书；形成臭氧及其前体物多源卫星高分遥感和集成分析技术指南和规范3~4份。

1.2 大气有机过氧自由基和克氏中间体的精准测量技术

研究内容：突破多类型大气有机过氧自由基（ RO_2 ）和克氏中间体（CIs）的高分辨率筛分技术，有效区分由不同种类挥发性有机物大气氧化生成的多种 RO_2 和CIs，研发适用于超痕量浓度水平的 RO_2 和CIs高灵敏度、低干扰探测技术，建立 RO_2 和CIs浓度测量的高准确度标定方法，建成大气 RO_2 和CIs分类分物种在线测量设备和平台，实现对实际环境大气化学反应过程中含

有不同官能团RO₂和CIs的高精准同步测量。

考核指标：建成大气RO₂和CIs的分类分物种在线测量设备和平台，实现对不少于4种RO₂和3种CIs的同步在线探测，能够示踪典型人为源和天然源挥发性有机物的大气氧化途径，典型RO₂和CIs物种的检测限<2ppt，测量误差<20%，时间分辨率5min，设备适合外场观测。

1.3 大气反应活性精细化监测与定量表征技术

研究内容：突破大气卤素自由基（OCIO, OIO, IO）的高精准在线检测技术，研发小型化、抗干扰、高精准度的大气OH、HO₂和NO₃自由基在线检测技术与设备，研制自由基总反应性的分类在线检测测量设备，建立高准确度标定方法，构建移动式大气反应活性精细化综合监测平台，实现对实际环境大气中自由基浓度和反应速率的精细化同步检测，并在典型城市和城郊地区开展技术应用示范，实时解析大气污染过程中大气反应活性的构成和主要来源。

考核指标：大气卤素自由基（OCIO, OIO, IO）浓度检测限达到10ppt，时间分辨率<60s，测量误差<20%；大气OH、HO₂和NO₃自由基检测限分别达到0.02ppt、0.2ppt和3ppt，测量误差<10%，实现大气OH和NO₃自由基总反应性的在线检测测量，检

测限达到 0.5s^{-1} ，测量误差 $<15\%$ ，设备时间分辨率 $<30\text{s}$ ，可适用于移动式平台。研发设备在至少2个典型城市和城郊地区的技术示范时间（包括夏季）不少于半年，设备运行稳定率达95%，形成自由基及其反应活性测量设备应用和质控技术规范及综合数据集。

1.4挥发性有机物激光雷达与便携式质谱探测技术与装备

研究内容：突破挥发性有机物(VOCs)面源和无组织排放源的激光雷达和质谱便携高精度快速走航测量技术，基于自主原创性研发，发展专用激光光源和色质联用核心方法，自主研发高时空分辨率三维立体监管设备和便携式气相色谱-四极杆质谱联用仪，形成VOCs排放源的精确定位能力及污染物实时定性定量测量能力；研究排放通量与总量精确测算方法，研发系列化VOCs激光雷达排放通量监测技术装备和小型化VOCs排放通量实时高频测量设备，建立相关标定、质控技术体系，形成不依赖园区条件快速灵活部署的监测系统和精细化监管平台，实现对典型面源和无组织源立体精确定位和监测监管，并开展应用示范。

考核指标：研发挥发性有机物面源和无组织源的系列化激光雷达设备，至少实现对短链烷烃\烯烃\炔烃\芳香烃类各1种的

空间分布监测和排放源定位能力，空间分辨率达20m，时间分辨率 $< 2\text{min}$ ，测量误差 $< 20\%$ 。研制的VOCs排放源原位测量便携设备，具备内置独立供电电池，要求三边长度之和 $< 100\text{cm}$ ，重量 $< 20\text{kg}$ ，色谱流量 $\geq 1\text{mL/min}$ ，VOCs测量质量范围2~520amu，浓度范围0.1ppb~100ppm，浓度测量精度 $< 10\%$ 。VOCs排放通量与总量估算误差 $< 30\%$ ，排放通量测量频率30min，可测VOCs种类 > 50 种，占地面积 $< 60\text{cm} \times 100\text{cm}$ 。基于自主原创性研发，并取得知识产权，适合外场观测和移动平台，可在园区外灵活部署独立开展监测工作，在2个不同类型园区开展6个月以上的应用示范，并形成相应的观测规范（征求意见稿）。

1.5 固定污染源超低排放高精度监测与质控技术

研究内容：研究固定源可凝结 $\text{PM}_{2.5}$ 、前体物及温室气体等高精度监测与质控技术，构建烟羽环境演化系统，开发电力、钢铁、建材、工业锅炉等固定源超低排放改造后可凝结 $\text{PM}_{2.5}$ 及其前体物（三氧化硫（ SO_3 ）、氨气（ NH_3 ）、氯化氢（ HCl ）、挥发性有机物（VOCs）等）的高精度监测与在线质控技术设备，研制适用于固定源烟气的 CO_2 、 CH_4 、 $\delta^{13}\text{CO}_2$ 等温室气体和烟气流量的高灵敏在线监测技术设备，研发固定源 CO_2 捕集系统有机胺逃逸在线监测质谱仪，开发颗粒物发生、检测等准确标定与

在线质控技术设备，构建固定源超低排放高精度监测平台，在重点污染源开展应用示范。

考核指标：形成具有自主知识产权的固定源超低排放高精度监测和在线质控技术设备，满足国家固定源超低排放管理的新需求，建立相应的技术规范。自主研发的固定源可凝结PM_{2.5}监测设备检出限<0.2mg/m³，气体吸收偏差<5%；SO₃检出限<0.3mg/m³，NH₃、HCl、VOCs检出限<0.1ppm；CO₂、CH₄、CO检测限分别可达1ppm、0.1ppm和0.5ppm，δ¹³CO₂检测精度优于±2‰，烟气流量测量相对误差<±2%；有机胺检出限可达10ppt，时间分辨率达1分钟；形成质控所需的微米、亚微米和纳米颗粒物发生和检测技术和在线装备；核心技术自主化率90%以上，在不少于四类固定源（电力、钢铁、建材、工业锅炉等）在产企业进行示范性验证；形成现场测量量值传递技术方法指南和在线质控技术规范。

1.6大气污染源全组分谱库建立及排放清单编制

研究内容：建立适用于主要排放源类的细颗粒物组分、活性氮、全挥发性区间有机物及全相态汞（Hg）、氯（Cl）的采样和源谱测量和质控方法；构建覆盖全挥发性区间的有机物和全相态Hg、Cl的综合排放源成分谱库，研究重点源的氮、汞同

位素指纹；建立全国尺度包含上述化学成分的全物种动态排放清单及在线技术平台，评估排放时空变化趋势、成分演变特征及驱动因素。

考核指标：形成构建主要排放源全组分成分谱的采样分析与评价技术规范2项，建成包括超过300条成分谱的全组分源谱库；建立包含颗粒物全组分、活性氮、500种以上不同挥发性区间有机物及全相态Hg、Cl的全国大气污染源排放清单并通过在线技术平台公开共享，颗粒物组分不确定度在30%以内，挥发性有机物不确定度在50%以内，空间分辨率3公里，重点区域达到1公里，实现逐年动态更新，并在科研院所和环境监测业务部门得到长期应用示范，支撑臭氧和PM_{2.5}模拟及源解析工作。

1.7O₃和PM_{2.5}智能精准预测技术与污染过程调控系统

研究内容：集成环境大气—地表跨层关键过程机制表征和溯源新技术、智能化的全尺度空气质量预报模式和多元资料同化技术，支撑全球—区域—城市—园区空气质量的精准预报预测；研制并集成PM_{2.5}和O₃双降和基本消除重污染天气等多目标的大气污染物容载量高分辨率动态估算技术和跨界传输高精度动态预测技术，实现超标天气下的精确评估和提前预测；研究区域污染过程臭氧和细颗粒物协同影响机制和智能耦合模拟新

方法；形成预测集成平台和污染过程调控系统，在典型地区开展示范应用。

考核指标：实现多污染物预报由城市尺度向园区尺度、由日均浓度向日变化小时峰值预报的转变，精准溯源预报落实到点源和街区；自主研发的基于全尺度空气质量预报模式和大气化学资料同化的精准预测系统，确保安全可控，支撑全球—区域尺度空气质量14天预测、城市—园区尺度空气质量实现小时日变化的智能精准预报，全球尺度水平分辨率达0.5度，城市尺度水平分辨率达1公里，臭氧4天预报准确率达到70%；污染过程的大气污染物容载量（包括氮氧化物、二氧化硫、挥发性有机物、氨气和大气细颗粒物等）估算和调控指标空间精度到市/县，跨界传输溯源覆盖全球、区域、城市到园区，时间尺度到天，预报时效 ≥ 7 天，在国家重点区域和重点城市实现技术示范。

1.8 场地土壤重金属现场快速检测技术与智能设备

研究内容：针对有色金属采选冶等重点涉重行业场地土壤污染物现场快速检测的需求，研发高灵敏度和稳定可靠的汞、铅、砷、镉、铬、镍、铜、锌等重金属现场在线检测技术及设备；研发高效实用、稳定可靠、满足现场检测需求的可移动便携式重金属检测设备；开发基于北斗定位、智能网络、大数据

等信息化技术的传感监测、数据处理及传输模块，形成系列监测与预警标准方法、技术与智能设备；在重点行业污染场地开展现场在线检测验证。

考核指标：研发半导体探测器、X射线管和高压电源等土壤重金属快速检测设备核心硬件，核心器件基于自主研发，确保安全可靠；开发土壤重金属现场在线检测设备和便携式快速检测设备，现场在线检测设备可实现长期小时级连续监测，10分钟内检出限低于场地土壤污染物风险筛选值的1/10，检测误差<30%；便携式快速检测设备的检出限低于国家土壤环境质量的1/5，检测误差<30%，响应时间不超过10分钟；构建数据采集、实时传输与智能分析系统，现场在线检测设备连续稳定运行6个月以上，并验证上述技术指标；编写相关技术规范（征求意见稿）1~2份。

1.9地下水典型有机污染物原位实时在线监测技术与装备

研究内容：针对石化、农药、有机化学原料制造、焦化等重点行业在产场地地下水污染实时在线监测的需求，研发高灵敏、高选择性的特征有机污染物传感器及快速响应在线检测技术；开发小型化、低成本的实时在线检测设备；构建地下水有机物污染信息采集、数据传输与处理的可视化监测平台，在典

型区域开展示范应用。

考核指标：开发地下水污染原位实时在线检测传感器及设备，监测指标涵盖重点行业特征有机污染物5种以上，检出限低于地下水质量标准（Ⅲ类）的1/10，检测误差<30%，设备成本较主流同类产品降低30%，原位在线检测传感器核心元器件基于自主研发，确保安全可靠；建设集数据实时采集、多源融合、可信传输、智能预警、多维分析的地下水污染可视化监测平台，兼容不同传感器端口类型，实现10分钟内监测数据采集并使用多种主流通信方式进行无误差传输；选择石化等在产企业的典型区域开展示范应用；编写相关技术规范（征求意见稿）2~3份。

2.成因机制研究

2.1二次颗粒物生成与老化及其对大气辐射的影响机制

研究内容：结合外场观测、实验室和数值模拟实验，量化多元前体物的新粒子生成及增长对颗粒物污染的贡献，阐明气态硫酸、氨气、有机胺、有机酸、高含氧有机物等前体物的作用；开展不同粒径有机气溶胶及前体物精细溯源，在分子水平上揭示人为源和生物源挥发性、半挥发性有机物等相互作用下生成二次有机颗粒物的机理；弄清非均相反应对颗粒物污染形

成和物化性质的影响机制，明晰颗粒物无机和有机组分在增长过程中的相互作用；研究吸光颗粒物老化过程中理化特性的演变，揭示其对吸湿性和云凝结核活性的影响，定量表征老化过程对大气辐射的影响。

考核指标：量化不同环境条件下多元前体物新粒子生成与增长机制及对颗粒物污染贡献；获得人为源和生物源挥发性、中等挥发性、半挥发性有机物生成二次有机气溶胶分子水平气相氧化机制，明确颗粒物无机组分和有机组分相互作用机理；参数化吸光颗粒物老化过程中理化特征及云凝结核活性演变规律，定量表征老化过程对颗粒物吸湿性、相态、光学性质及其大气辐射影响。

2.2 大气活性氮化合物收支及其PM_{2.5}和O₃污染形成作用机制

研究内容：选择典型区域，开展大气活性氮化合物Nr（Nr：NO、NO₂、NO₃、N₂O₅、NH₃、HONO、HNO₃、PAN等）的精细测量，掌握Nr的演变规律，在分子水平上厘清大气中Nr各物种之间的相互转化机制；开展选择区域的典型下垫面（农田、森林或城市）的Nr地气交换通量研究，结合人为排放源和大气转化机制，量化大气Nr或主要物种的收支平衡及关键过程；定

量表征大气Nr对大气氧化性增加（自由基浓度及去除速率）的影响机制，建立大气Nr循环与PM_{2.5}和O₃污染形成的定量关系与调控原理。

考核指标：建成典型区域大气活性氮Nr科研观测网络（包括不少于2个超级站、5个城市与区域站、3个通量站），积累1年以上在线观测数据，其中：在传统6参数的基础上，城市、区域站及通量站测量指标涵盖Nr的主要物种、超级站涵盖与Nr关联的主要氧化剂、含碳污染物和含硫污染物等。主要Nr物种大气浓度测量误差低于10%，通量测量误差低于30%；形成大气Nr转化机理和收支模型，明确影响区域大气氧化性的关键Nr物种、转化机制和主要来源；量化大气Nr浓度及转化机制对臭氧和PM_{2.5}污染形成的作用，提出实现臭氧和PM_{2.5}协同控制的活性氮承载力，形成典型区域调控技术方案，在典型地区开展示范应用并形成调控技术指南（征求意见稿）。

2.3 PM_{2.5}和O₃污染形成的天气耦合机制及协同控制原理

研究内容：研究大气环流及边界层气象要素变化对PM_{2.5}与O₃影响差异，突破PM_{2.5}与O₃污染形成的天气耦合机制和双向反馈原理，揭示多尺度PM_{2.5}与O₃耦合机制与天气气候变化的相互作用关系；建立评估平流层-对流层-大气边界层的跨层污染物

交换过程和机制分析平台，量化天气气候因素在PM_{2.5}与O₃变化趋势及污染过程中的多尺度（垂直和水平）影响，开展月、季度尺度O₃污染事件预测研究；阐明大气复合污染与气象条件影响机理，支撑PM_{2.5}与O₃复合污染成因与来源综合解析，提出量化气候变化和天气要素在协同控制中的作用和调控原理并示范应用。

考核指标：建成含括全国各典型区域气候变化、多维气象垂直观测、细颗粒物、臭氧及其前体物垂直廓线和模式模拟集成数据集，时间跨度不少于30年（包括但不限于1995—2025年），大气边界层内不少于5层；明确PM_{2.5}与O₃耦合机制与天气气候变化的相互作用，具备月、季度尺度臭氧污染事件预测能力，形成大气复合污染天气气候影响的量化评估技术体系；量化典型季节大气复合污染与气象过程之间的相互影响，提出协同应对的技术途径；形成相应的技术规范3~4项，在国家或重点区域实现业务化运行和调控示范。

2.4区域土壤重金属污染的环境效应和风险管控

研究内容：针对雄安新区等国家级新区或工业聚集区、有色金属采选冶炼影响区土壤重金属污染生态环境效应及机理不明等问题，研究典型重金属的土壤生物暴露途径和毒性效应；筛

选区域典型重金属污染风险识别生物标志物，明确不同类型土壤生物在系统、群落、物种、细胞、分子水平上的重金属污染多维度响应机制和保护性调控原理；研究基于土壤污染特征、重金属生物地球化学过程、生物响应机制等大数据分析方法的区域土壤重金属污染风险表征方法，研究重金属污染环境效应的区域变化规律，研发区域重金属污染分级分类技术、污染风险刻画与预测技术；研究区域土壤重金属污染风险管控技术，提出相应的环境管理对策。

考核指标：探明区域土壤重金属污染的生物暴露途径、毒性效应；筛选出不同重金属的生物标志物不少于5种，揭示土壤生物多样性和群落结构的影响机制，阐明重金属污染的土壤生物多维度响应机制与调控原理，并开展区域验证；建立区域土壤重金属污染风险识别及表征方法，实现区域尺度重金属污染风险百米级精度的空间分布模拟与预测，编制相关技术规范（征求意见稿）1~2项；构建区域重金属污染分级分类技术指标体系，形成相应的技术标准（征求意见稿），并进行县域尺度示范应用；建立区域土壤重金属污染风险管理技术体系，被政府部门采纳并应用。

2.5 场地土壤有机污染物微界面多过程耦合降解机制与表征

技术

研究内容：针对有机污染物土壤微界面多过程耦合降解途径及中间产物尚不清楚等问题，研发土壤典型有机污染物多介质微界面迁移过程的模拟芯片装置，研究土壤多介质微界面间有机污染物及降解产物的分布特征；研发土壤自由基、电子等活性组分的生成机制、原位表征方法及实时成像技术；探讨土壤微界面活性组分诱导下典型有机污染物生物—化学多过程耦合降解机制、主控因子及调控原理。

考核指标：研发多环芳烃、氯代烃等典型有机污染物在土壤多介质微界面迁移转化的高分辨率原位观测模拟芯片装置，实现亚纳米级原位观测，检测限低于建设用地土壤污染风险筛选值一类用地标准，阐明5种以上有机污染物及主要降解产物在场地土壤多介质微界面的分布特征；建立土壤微界面自由基、电子等活性组分原位表征方法及纳米级实时成像技术各1套，阐明土壤活性组分生成的分子机制；形成场地土壤微界面典型有机污染物生物—化学多过程耦合降解机制及调控技术，开展示范性验证，实现土壤有机污染物降解净化效率提高30%以上。

3.治理修复技术

3.1燃煤电站烟气非常规污染物短流程高效耦合协同碳减排

技术装备

研究内容：针对碳中和之前燃煤电站低碳清洁化的技术需求，在现有超低排放技术的基础上，研究常规和非常规污染物短流程多技术高效耦合治理与二氧化碳协同减排技术与装备，重点突破非常规污染物（可凝结颗粒物/三氧化硫/汞/砷/铅/镉/铬等）高效脱除、二氧化碳协同减排、治理工艺过程智能调控等关键技术，显著降低系统运行能耗，并开展工程应用示范。

考核指标：建立主流典型机组应用示范工程，连续稳定运行2000h，常规污染物（NO_x/SO₂/颗粒物）满足项目验收时的国家最新超低排放限值要求，并协同减排非常规污染物，实现三氧化硫和氨的排放浓度<2mg/Nm³，汞/砷/铅/镉/铬五种重金属总排放浓度<30μg/Nm³，烟气污染治理系统运行能耗整体下降10%以上。建立污染物与二氧化碳协同减排技术工程化验证平台，实现二氧化碳协同减排30%以上。

3.2工业锅炉烟气多污染物低能耗高效协同治理技术及装备

研究内容：针对作为我国重要热能动力设备的工业锅炉燃料类型多、负荷波动大、非常规污染排放浓度高等特征和能源清洁高效利用的重大需求，优化提升现有NO_x、SO₂、颗粒物常规污染物的超低排放工艺，突破三氧化硫、重金属汞/砷/铅/镉/铬、

VOCs以及CO等非常规污染物高效协同脱除关键材料和技术瓶颈，开发氨逃逸等次生污染物精准控制关键技术和核心设备，研发全流程智能化控制系统，降低运行能耗并协同降碳，形成工业锅炉烟气多污染物、全流程、高效协同治理技术与装备，在不同燃料类型主流锅炉开展工程应用示范。

考核指标：完成2~3个35吨/小时及以上规模不同燃料类型主流锅炉应用示范工程，连续稳定运行2000h，常规污染物（NO_x/SO₂/颗粒物）满足项目验收时国家最新工业锅炉超低排放标准，三氧化硫排放浓度 $\leq 5\text{mg/Nm}^3$ ，氨排放浓度 $\leq 2\text{mg/Nm}^3$ ，重金属汞/砷/铅/镉/铬、VOCs以及CO的排放浓度满足国家最新排放标准，降低运行能耗10%。

3.3典型溶剂型产品挥发性有机物（VOCs）源头替代技术与产业化应用

研究内容：聚焦水性涂料、油墨、光固化涂料等产品应用过程突出污染排放，开发污染物深度净化治理技术，在典型行业完成技术升级工程示范。针对工程机械、金属防腐、木器涂装、交通运输等典型溶剂型产品应用行业，研制VOCs源头替代新技术新产品，突破有机/无机杂化水性树脂设计合成等原料规模制备技术，开发多相均匀复合、新型功能填料制备、碳纤维

涂装等关键技术，研制超低VOCs含量水性涂料与智能封闭涂装工艺，创制零VOCs含量无溶剂型绿色涂装技术体系，建立规模化产业生产基地，完成行业示范应用。

考核指标：针对水性涂料、油墨、光固化涂料等3种以上类型环保型产品使用过程和喷涂工艺，完成污染治理示范工程，连续稳定运行2000h，排放气体中VOCs含量达到行业现有国家排放标准值的30%。水性改性树脂生产规模达到年产2万吨以上，涂料产品总VOCs含量<30g/L，防腐水性涂料耐盐雾>3000h，在轨道交通、工程机械、金属防腐等行业实现规模应用；无溶剂产品VOCs含量达到未检出水平，生产规模达到年产1万吨以上，在典型行业应用规模达到5万平方米/年以上。

3.4在用机动车高污染成因诊断与治理关键技术研发及示范

研究内容：开展大样本全车型的实验室台架和实际道路测试，涵盖所有重要污染物类别和有机物排放全挥发性区间，建立在用车的控制技术、工况条件和油品特征代表性完善的机动车污染物高分辨率化学成分谱和排放模型系统；研究融合年检、车载自动诊断系统（OBD）、在线监控、路边监测等多技术、大数据的城市在用车污染评估技术方法，开发精准高效的高污染车辆成因识别与诊断关键技术；重点解决高效催化剂、后处

理及蒸发系统安装匹配与控制等技术难点，研发适用于在用机动车（汽油车、柴油车、天然气车）污染治理的低成本、安全可控、耐久可靠的集成式后处理技术、设备及系统；在大气污染重点区域开展城市在用车治理与远程监控示范，形成可复制可推广的城市在用车污染治理技术体系与排放监管模式。

考核指标：建立在用机动车排放高分辨率化学成分谱（测试不少于300辆次），实现典型在用车重要污染物类别和有机物排放全挥发性区间的定量识别；获取20个以上典型城市在用机动车排放大数据，实现车辆覆盖率不低于50%；建立100万辆以上的高排放车辆样本库，实现污染成因的快速识别和精准诊断能力；完成适用于在用车治理的后处理和蒸发全系统开发，并在不少于2000辆在用车上实现减排治理示范与在线监控，主要污染物在达到国家机动车排放标准基础上，VOCs和氮氧化物（NO_x）平均再减排50%以上；形成识别—诊断—治理—监管—评估在用污染综合治理综合解决方案，提出不少于5项国家相关标准、规范和指南建议，其中不少于2项正式征求意见或发布，在大气污染防治重点区域开展不少于5个城市的示范应用。

3.5碳基VOCs吸附材料提质增效、结构优化与再生应用关键技术

研究内容：针对医药、精细化工等行业反应性VOCs（烯烃、丙烯酸等）吸附浓缩、高值挥发性介质（丙酮、含氯溶剂等）高效回收等迫切需求，设计研制高热稳定性、高强度、高吸附性能的新型碳基吸附材料，研究孔结构定向设计、功能协调耦合、高吸附-脱附、工业成型等创新方法，突破活性炭再生循环利用、过程节能降耗、超低排放等核心技术，形成工业规模应用成套工艺装备与集成技术；建立VOCs污染源分散治理—集中收集—再生循环应用综合治理技术体系，在重点区域工业集聚区完成示范应用。

考核指标：研制3~4种新型碳基或复合碳基吸附材料，比表面积 $\geq 1000\text{m}^2/\text{g}$ ，CTC $\geq 65\%$ ，丁烷工作能力(BWC) $\geq 13\text{g/dl}$ ，苯饱和吸附容量 $\geq 50\%$ ，碘值 ≥ 950 ，强度 $\geq 98\%$ ；在医药、化工等规模企业完成应用示范工程3~5项，出口VOCs含量 $< 30\text{mg/m}^3$ ，满足国家最新排放标准。在重点区域工业集聚区或典型工业园区，建立碳基吸附材料分散治理—集中处置再生应用综合治理技术方案和运行示范验证，连续稳定运行2000小时，再生活化工艺碳基材料骨架重量单次再生损失率 $\leq 10\%$ ，比表面积单次再生损失率 $\leq 5\%$ ，形成年再生规模产能 ≥ 10 万吨。

3.6非点源异味及低浓度VOCs污染溯源与治理关键技术

研究内容：针对区域非点源存在的异味（恶臭）及低浓度VOCs污染溯源、收集与治理难题，研发工业园区和畜禽养殖区等非点源异味快速监测诊断技术，明确异味污染特征、污染范围、主要来源，建立精细化污染源谱和精准溯源模式，开展异味及低浓度VOCs溯源追踪的工程验证；研发工业园区异味及低浓度VOCs废气高效低耗的收集和输配技术，研发生物法等高效绿色安全治理技术装备，依据溯源结果开展工程治理示范；研究针对畜禽养殖大风量低浓度废气去除效率高和无二次污染的绿色经济型深度处理技术，并建立工程示范。

考核指标：建立典型工业园区异味及低浓度VOCs精细化污染源谱、复杂微气象条件下的精准溯源模式、异味快速检测诊断系统各1套，源谱典型种类不少于20种，不确定度<50%，溯源模式误差<30%，诊断准确率>60%。形成非点源异味及低浓度VOCs多污染物协同治理净化技术，完成1家工业园区（含企业10家以上或园区规模年产值500亿元以上）、1家畜禽养殖区（规模以上）等非点源异味及低浓度VOCs污染溯源追踪技术工程验证和治理示范工程。示范工程气量规模不小于20000Nm³/h，工业园区废气非甲烷总烃和臭气浓度（无量纲）去除效率大于90%，畜禽养殖区处理后尾气臭气浓度<70（无量纲），满足相

应的国家排放标准。制定相关VOCs治理设施技术标准或指南。

3.7微纳高效还原功能材料规模化制备关键技术及装备

研究内容：针对微纳还原功能材料易氧化团聚失活，规模化、低成本制备技术和装备缺乏，制约工程化应用等短板问题，研发低成本短程宏量制备、材料表面稳定化控制等关键技术；研制微纳还原功能材料绿色低碳、安全高效制备成套装备；研究构建微纳还原功能材料性能评价技术指标，建立环境安全性综合评估方法；编制微纳高效还原功能材料产品标准与工程应用技术指南；选择典型的重金属或卤代烃污染场地，开展规模化工程应用示范。

考核指标：建成微纳还原功能材料低碳、安全、高效的短程宏量制备成套装备，包含材料制备、表面稳定性控制、惰性封装等单元，基于自主研发，确保安全可靠，单机产能大于10吨/天，材料粒径 $d_{50}<300\text{nm}$ ，实现6个月以上以上制备运行，生产装备及微纳还原功能材料成本较市场现有同类产品降低40%以上，生产能耗降低30%以上；开发出高活性微纳还原功能材料安全稳定储运技术及设备，材料储存60天以上，性能维持率大于80%；建立微纳还原功能材料性能评价方法与环境安全性评估技术；编制微纳高效还原功能材料产品标准与工程应用技术

指南（征求意见稿）；选择不少于2个重金属或卤代烃污染场地开展规模化应用示范，修复后污染物浓度达到国家相关标准。

3.8高硫矿区地下水污染过程与协同治理技术

研究内容：针对高硫煤矿与有色金属矿山的酸性矿坑水生态环境危害问题，研究采矿阶段与闭坑后地下水污染与水质演化的水-岩相互作用机制；刻画采矿与闭坑后矿区地下水动力场与水化学场演化过程，研发多尺度裂隙地下水污染多场耦合模拟预测技术；研究酸性矿区矿坑水生态环境风险表征方法，研发高硫矿区地下水污染低成本、可持续原位协同治理与防控技术；选择典型矿区，开展酸性矿坑水污染协同治理示范。

考核指标：建立高硫矿区水—岩作用与酸性矿坑水成因模型，揭示高硫背景下的酸性矿坑水成因机理与过程；创建多尺度裂隙地下水多场耦合三维可视化数值模型与软件系统，刻画精度达到米级；发展酸性矿区矿坑水生态环境风险表征方法；开发高硫矿区酸性矿坑水地下水污染原位多技术协同治理与防控体系，实现高硫矿区酸性矿坑水低成本、可持续治理；选择不同类型高硫矿区，建立矿坑水原位协同治理示范工程不少于2个（单个面积 $>10\text{km}^2$ ），连续运行6个月以上，且修复后示范区地下水水质达到相应功能区的相关国家标准，运行成本降低30%以

上；编制相关技术规范（征求意见稿）。

3.9 区域土壤与地下水污染绿色生态修复技术及应用

研究内容：针对区域土壤与地下水污染构成、环境要素复杂，绿色低碳修复及生态功能恢复难以实施等问题，识别区域土壤与地下水有机复合污染分布特征与空间异质性；研究自然衰减与稳定化水平的空间演变机制，构建自然衰减与稳定空间分布与分级模型；研发强化衰减与稳定耦合的绿色生态化修复技术与可持续评估方法，研究构建区域污染修复全生命周期效益评估体系；选择典型区域，开展土壤和地下水污染绿色生态修复技术应用示范。

考核指标：厘清复合污染物自然衰减与稳定化空间异质及演变机制，建立区域土壤与地下水复合有机污染绿色生态修复模式；构建自然衰减与稳定空间分布及分级模型，实现生态自净能力空间分布与分级演化的高精度刻画，达到米级空间分辨率；开发强化降解与稳定化功能材料，卤代烃等挥发性有机污染物衰减速率提高2倍以上，重金属稳定化率达95%以上；形成绿色生态修复技术与评估体系，选择2个以上典型区域开展技术应用示范，单个区域面积不少于10km²，与常规技术相比，总能耗降低50%，修复成本降低30%，次生污染物释放通量降低95%，

治理效果达到风险管控或修复标准；编制相关指南或技术规范（征求意见稿）2项以上。

3.10工业集聚区土壤—地下水有机污染综合防治技术及应用

研究内容：针对精细化工等工业集聚区土壤与地下水中有有机污染物多介质多界面迁移过程精准刻画难、单一技术难以解决跨介质复杂污染等问题，查明典型工业集聚区主要特征有机污染物时空分布，解析污染源及有机污染物跨介质迁移转化过程；研发区域尺度土壤—地下水系统有机污染物跨介质迁移转化数值模拟模型；建立工业集聚区土壤—地下水污染的分区分类分级评价方法，优选绿色、高效、低碳的修复技术和防控技术；构建工业集聚区土壤—地下水多介质有机污染物理—化学—生物修复协同综合防治技术体系，实现工业集聚区土壤—地下水有机污染分区分类分级精准防治，开展典型工业集聚区应用示范。

考核指标：阐明精细化工等工业集聚区土壤—地下水多介质卤代有机物、石油烃等有机污染物多界面迁移转化机制；创建区域土壤—地下水系统有机污染物跨介质迁移转化三维可视化数值模型与软件系统，模拟误差 $< 20\%$ ；建立工业集聚区土壤

—地下水污染分区分类分级评价方法；形成工业集聚区土壤—地下水多介质有机污染综合防治技术体系，提出绿色、高效、低碳的分区分类分级精准防治方案，选择典型工业集聚区（面积 $>10\text{km}^2$ ）开展示范，场地土壤与地下水污染风险管控达标，工业集聚区污染场地治理的总体能耗降低30%，场地土壤再开发安全利用率95%以上；编制相关指南或技术规范（征求意见稿）2项以上。

3.11移动式场地污染快速检测与处置技术及其装备

研究内容：针对突发性污染事故场地应急处置、工业集聚区分散点状污染场地快速处置的需求，开发苯系物、芳香烃、石油烃、重金属等污染物现场快速检测和数据分析单元，快速评估污染类型及其环境风险；研发污染阻隔等应急防控材料，创新药剂快速注入与混合单元；创建集污染物快速检测、高效快速处置/扩散阻控、尾气/废水净化功能于一体的移动式快速修复装备；围绕不同典型污染场地情景，开展工程示范和适用性评估，形成突发性事故污染场地应急防控及工业集聚区分散点状污染场地快速处置技术体系。

考核指标：开发苯系物、芳香烃、石油烃、重金属等污染物快速检测和数据分析模块，主要指标响应时间不超过2小时；

研发绿色高效阻隔材料，与传统材料相比，阻隔性能提升30%以上；研制场地污染快速防控装备，涵盖污染物快速检测、气相抽提、药剂注入/混合、尾气/废水净化等模块，核心设备基于自主研发，确保安全可控，污染土壤处理规模不低于2吨/小时，实现污染物小时级快速高效阻控与处置；选择2个以上不同场景和类型的污染场地开展应用示范，与常规技术相比，相同规模土方处置时间缩短60%以上；形成突发性事故污染场地应急防控及工业集聚区分散点状污染场地快速处置技术体系与方案，编制相关技术规范或操作指南（征求意见稿）2项以上。

4.决策支撑技术

4.1大气污染全组分暴露测量技术

研究内容：以暴露组学思路发展大气污染的全组分暴露测量与分析技术，突破生物样本（血液、尿液、呼出气）中内暴露标志物监测与检测、个体暴露的多种气态污染物测量技术和颗粒物毒害组分测量技术难题，实现大气颗粒物全组分表征并识别毒害组分，结合现有的大气污染人群健康影响的队列研究，自主建立人口密集地区评估大气污染健康的颗粒物全组分、高时间分辨率数据集，开展示范应用。

考核指标：1套包括但不限于生物样本（血液、尿液、呼出

气) 中内暴露标志物的测量技术, 包括具有明确健康影响或指示作用挥发性有机物 (VOCs)、半挥发性有机物如多环芳烃、硝基芳香烃等, 以及与体内生物分子反应生成的代谢产物等, 实现不少于500种有机物检测并识别潜在的暴露生物标志物。1套用于个体暴露测量的多种气态污染物测量技术和大气颗粒物全组分测量技术, 气态污染物的个体暴露测量目标污染物为臭氧、氮氧化物、一氧化碳、二氧化硫、以及VOCs和醛酮等有机物, 时间分辨率为10分钟。大气颗粒物个体暴露全组分测量针对的颗粒物粒径为PM_{2.5}和PM_{1.0}, 目标物质包括颗粒态重金属、半挥发性脂/水溶性全有机组分 (从不少于1000种有机分子中筛选出关键危害组分或来源指示物), 时间分辨率为1小时至1天; 开展1年的技术示范, 形成1套适用于典型城市群地区大气污染健康影响评估的颗粒物全组分、高时间分辨率的暴露测量参数集和技术指南 (征求意见稿) 2~3件。

4.2 中国居民对大气污染响应的全生命过程健康效应谱

研究内容: 基于高精度全国尺度关键大气污染物同化数据集、多组分观测和暴露评价新技术, 开展高时空精度、覆盖全生命周期的暴露评估关键技术标准化研究 (包括方法、参数)。整合全国尺度、大样本人群健康监测平台和代表性队列, 采用

国际标准化暴露评价技术，定量阐明我国居民全生命周期大气污染暴露特征和多系统健康效应谱。结合我国大气污染治理进程、人口年龄构成变化和经济发展趋势，构建适合我国人群疾病负担测算的综合暴露—反应模型；创新评估和预测大气污染多系统健康风险，开展脆弱人群（包括儿童和青少年、孕产妇、老年人等）健康风险预警预报技术研究。集成并突破高精度暴露评估和健康风险预测预警技术，开展环境与健康综合监测和评估技术体系示范研究。

考核指标：1套覆盖全国的居民大气污染暴露健康风险双嵌套时空分布数据集，包含5类易感人群（包括儿童和青少年、孕产妇、老年人、慢性病患者等），空间分辨率达1km，时间上从日到10年尺度。1套我国居民全生命周期大气污染暴露的多系统健康效应谱，健康效应谱包括但不限于大气污染暴露与8类疾病（循环、呼吸、生殖、发育、神经、免疫、肿瘤、代谢等疾病）相关的不少于20个生物指标，包括呼吸与循环系统炎症因子、内皮功能及氨基酸、脂质代谢分子等的暴露效应关系；以及这8类疾病发病率和死亡率的暴露反应关系。大气污染暴露包括3种污染物的暴露：颗粒物、臭氧和氮氧化物。生命周期覆盖6个年龄段，包括孕期及胎儿、婴幼儿（0~3岁）、儿童（3~14岁）、

青少年（14~18岁）、成年（>18岁）、老年（>60岁）。发现我国大气污染物（颗粒物、臭氧和氮氧化物）长期（不少于1年）和短期（小时尺度到周尺度）暴露影响人体呼吸（哮喘、慢阻肺等）、心血管（缺血性心脏病、高血压、动脉硬化等）和代谢（糖尿病等）系统疾病发病和发展的重要生物学机制至少3条。建成超大城市高精度大气污染与健康监测、预警及预防干预示范应用平台，空间分辨率到街区，预报时长3天，典型疾病门诊发病率48小时预测准确度达70%。发布覆盖全生命周期的暴露评估关键技术标准指南（征求意见稿）2~3项。

4.3室内空气净化与病原体消杀技术

研究内容：针对室内空气净化和病原体消杀技术需求，创建微生物无损采集、生物气溶胶远程采样、特定病原体和空气毒性实时在线检测技术，开发耐热型快速灭菌、空气净化和病原体消杀新材料和耦合功能组件，突破有机毒性和氧化活性细颗粒定量评价、有机污染物识别阵列与数字传输技术；揭示通风气流组织对室内空气净化与病原体驱除效果的机理，研究室内生物气溶胶、室内外交换、人为污染源动态变化规律、多相耦合作用机制与健康效应；研制室内超细颗粒捕集、半挥发性有机物（SVOCs）空气净化、病原体消杀、高效通风除湿去污、

降碳节能等空气质量调控关键技术，形成室内空气净化与病原体消杀系统解决方案并示范应用。

考核指标：建立微生物气溶胶无损采样标准，比Andersen采样器效率高3~5倍；生物气溶胶采集流量>600L/min，切割点<0.6 μ m，实现基于ATP的生物气溶胶实时在线监测，响应时间<1min，达到批量生产能力。有机物识别阵列技术可识别5种以上气体污染物，灭菌材料热稳定性>200 $^{\circ}$ C,病毒（ 10^7 pfu）抑制率>99%（1h），空气净化设备对PM_{1.0}、SVOCs和生物气溶胶捕集效率>99.99%，达到批量规模生产。建立低能耗高产水组件与装备规模生产线（>30000m²/年），空气吸水分离量>2.5 L/m²d，可有效支撑室内空气净化与病原体消杀示范工程需求。在典型区域公共建筑，开展室内空气净化与病原体消杀系统技术示范，室内污染物平均浓度降低量>20%，节能>30%，并形成技术指南2~3项。

4.4面向减污降碳协同增效的四大结构调整优化技术

研究内容：厘清能源供需全过程链对大气多污染物与温室气体排放的动态驱动机制，建立不同能源利用途径的全过程周期多污染物排放及大气环境影响评估技术，空间量化结构调整的环境效益；构建钢铁、有色、建材、石化、煤化工等重点行

业技术转型与结构调整措施的大气多污染物与温室气体减排及成本核算模型，阐明近30年重点行业的多污染物排放趋势及其驱动因子，并建立长时间序列特征数据库；研究产业链与运输链协同的区域物流行业运输结构清洁低碳优化方法，构建关键运输节点能源转型和效率提升等交通基础设施绿色转型方案；突破减污降碳协同增效效益评估方法，研发“能源、产业、交通与用地”四大结构调整优化集成技术，开发经济能源系统与大气环境系统的动态耦合模型，提出推动高质量发展的结构调整减污降碳路径。

考核指标：构建涵盖能源供需全过程大气污染物和温室气体排放空间生命周期评估模型，空间分辨率达到公里级，排放评估不确定度<30%；提出典型区域的四大结构调整关键技术方 案编制指南；构建长时间序列（近30年）大气污染物与温室气体协同减排特征数据库，空间达市县尺度；建立经济能源系统—大气污染物和温室气体排放系统—大气环境系统精细化动态耦合减污降碳评估模型，在国家重点区域和重点城市实现技术示范；提出到2060年分阶段的协同减排的产业、能源、交通运输结构调整路径，并被国家部委有关主管部门采纳。

4.5环境空气质量评估与标准制修订关键技术及应用

研究内容：开展现行GB3095-2012《环境空气质量标准》评估，分析标准要求与经济社会发展的适应性，以及可借鉴的国际经验，研究提出适合我国的环境空气质量评估新方法；依据我国的健康研究成果，突破污染物项目选取、保护对象与功能划分、平均时间与限值水平、分区域分阶段保护目标设立、数据统计有效性规定、监测和评价方法等标准关键技术，形成科学合理、服务于“美丽中国”目标的环境空气质量评估和标准制修订技术方法，实现从基于国控站空气质量评估向全地域人口分布系统集成评估的转变，并制定相应的基于我国人群健康队列数据的空气质量新标准；研究重点区域分阶段设立管控目标值的可行性，以及相应的管控策略；研究配套的环境质量评价方法以及政府环境质量目标考核方法；分析空气质量标准协同减排温室气体的潜力。

考核指标：发布GB3095-2012《环境空气质量标准》实施评估报告，提出空气质量标准修订关键技术指南建议稿；发布基于颗粒物、臭氧等主要污染物暴露特征的我国人群健康风险评估蓝皮书；提出适合我国全地域人口的环境空气质量评估技术指南建议稿；发布我国重点区域、主要污染物分阶段空气质量目标及达标策略研究报告，提出空气质量评价考核技术规范建

议稿；提出适合“美丽中国”目标的《环境空气质量标准》修订建议稿，定量确定协同减排温室气体的潜力；空气质量标准制修订及配套技术指南、技术规范建议稿不少于3份被国家有关主管部门采纳。

4.6重点行业场地优先控制污染物及其复合污染风险机制

研究内容：针对我国石化、有色等重点行业场地优先控制污染物名录尚待建立的需求，研究建立基于“生产—排放—污染—累积”情景模拟的污染形成、土壤与地下水复合污染分析方法与模型；基于重点区域重点行业企业场地污染对人居安全、饮水安全、生态安全的风险机制，研究优先控制污染物名录建立方法；开发产业集群区、工业集聚区在产企业用地土壤与地下水污染预警技术体系；开展重点区域重点行业在产企业优先控制污染物风险防控综合示范，提出优先控制污染物防控关键技术对策建议。

考核指标：形成重点行业在产企业优先控制污染物名录构建方法，明确全国排名前10重点行业场地优先控制污染物名录；建立土壤-地下水复合污染过程与演化的分析方法和模型2套，开展示范验证，预测误差低于30%；制订10个重点行业在产企业场地优先控制污染物土壤与地下水污染预警与协同防控技术指南

（征求意见稿）；提出重点区域重点行业在产企业场地优先控制污染物防控对策建议（被政府部门采纳）；选择长三角和粤港澳等重点区域，建立产业集群区、工业集聚区在产企业用地区域土壤与地下水污染综合预警体系2套以上，提出重点区域重点行业在产企业场地优先控制污染物防控技术体系与对策建议（被政府部门采纳）。

4.7 场地未定标特征污染物甄别、风险评估与分级方法

研究内容：针对我国场地检出的大量特征污染物缺乏环境标准，制约场地环境风险精准评估的问题，通过健康生态效应、证据权重与环境归趋研究，建立我国场地未定标特征污染物清单与优先度排序；选择典型高风险未定标特征污染物，研究全过程多介质暴露途径，构建污染物迁移与受体暴露耦合场景体系与模型，开展暴露量预测及验证；识别敏感受体及生物标志物，建立生物测试与敏感靶点验证方法体系，获得剂量-效应关系；综合考虑健康风险和生态风险，建立未定标污染物精细化环境风险表征与评估方法体系，形成场地高风险特征污染物的分级分类方法。

考核指标：构建我国场地高风险未定标特征污染物清单，建立场地污染物分级分类方法体系，形成未定标优先污染物名

录，覆盖我国场地高风险未定标特征污染物>90%；构建高风险未定标特征污染物暴露精准预测模型，选择2~3种典型污染物开展场地尺度验证，预测误差<20%；形成生物测试与敏感靶点效应验证方法体系，精准评价50种以上未定标特征污染物的效应特征和环境风险水平；制定相关技术指南（征求意见稿）5项。

4.8场地污染修复技术绿色低碳全过程评估技术

研究内容：针对现有场地土壤与地下水修复技术的环境友好性、经济性、能耗效益评估方法缺乏的问题，分析现有修复技术能耗指标与应用效果，研究修复技术全生命周期碳排放测算的理论、方法与评价技术框架；综合考虑环境安全、碳排放、能耗物耗、环境净效益等指标，构建修复技术绿色、经济和低碳评估数据库，研发评估指标体系与评估方法；选择典型场地开展技术评估与实例验证。

考核指标：形成涵盖数据、模型、分析三大模块的修复技术绿色低碳全过程评价框架；构建修复技术绿色、经济和低碳评估数据库与方法；推荐适用于不同类型典型场地土壤与地下水修复的绿色高效低碳技术或集成技术；选择5种以上现有主流技术和5个以上不同区域的典型场地，开展现场监测、评估与验证，编制降碳30%以上的绿色低碳修复技术指南（征求意见稿）。

5.典型区域实践

5.1 PM_{2.5}和O₃污染协同防控的工程化模式系统与支撑平台

研究内容：针对我国PM_{2.5}和O₃污染协同防控科技支撑体系未实现系统化、工程化应用的难题，重点突破成因解析—精准溯源—科学决策的数值模式工程化和标准化等核心技术，发展大气环境多源异构数据的融合分析应用方法，自主研发安全可控的大气二次污染成因和溯源的高效工程化数值模式系统及其业务化支撑系统，建立涉VOCs和NO_x排放重点企业治理技术信息数据库，研发基于人工智能等技术的智慧监管和支撑技术平台，从污染特性、时空分布、管控对象和重点措施等方面实现快速精准解析和多学科跨部门会商诊断。

考核指标：建成PM_{2.5}和O₃协同防控工程化模式系统及其支撑平台，包括但不限于（1）大气环境管理和科研综合数据库，满足业务需求；（2）全国和重点区域NO_x、VOCs、SO₂、NH₃和一次PM近实时排放清单数据库，时间滞后不超过1个月，工业源实现全点源化，面源空间分辨率达到公里级；（3）重点行业VOCs和NO_x排放深度治理技术和应用成效案例库2个，涵盖双碳路径下的能源措施、源头替代及末端治理技术的备选措施技术库；（4）PM_{2.5}和O₃协同防控工程化模式系统实现自主研

发，确保安全可靠，空间分辨率达 $1\text{km}\times 1\text{km}$ ，覆盖重点城市群；

（5）大气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 复合污染成因实时精准溯源分析系统，实现未来7天准确到市县和行业的来源解析预报；（6）基于多源数据融合和人工智能的智慧监管平台，涵盖工业、交通和面源，监管空间分辨率到乡镇，时间分辨率到天，满足生态环境主管部门监管和执法需求；（7） $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 协同防控方案优化与效果快速评估系统，调控指标空间精度到市/县，时间尺度到天，未来7天协同防控方案优化和评估系统运行时间 <3 小时，方案优化误差 $<30\%$ 。以上模式软件实现标准化，基于自主原创性研发，并取得知识产权。平台在国家和重点区域实现业务化技术示范，可有效支撑典型区域和城市 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 污染精细化实时来源解析、应急减排措施优化、防控措施成效快速评估，被国家部委有关主管部门采纳。

5.2 环杭州湾大石化聚集区臭氧污染防控与技术示范

研究内容：针对环杭州湾（简称湾区）突出的 O_3 污染治理难题，建立追踪石化产业特征污染物的区域立体监测技术体系，开展湾区 O_3 等二次污染物及前体物空地一体化观测，阐明湾区臭氧污染特征、来源成因与演变规律。以湾区石化产业聚集区为对象，构建主要生产装置的源成分谱，识别湾区重点石化

园VOCs排放特征，建立活性VOCs实时排放清单。集成同位素、受体、数值模式等溯源技术方法，定量识别湾区臭氧污染过程中各石化园VOCs排放和区域植被来源贡献，研究海陆风等气象过程对湾区O₃等污染物传输和累积的影响规律。开展碳减排约束下的湾区O₃污染防治对策研究，建立O₃与前体污染物区域监测、预警和评估技术体系和示范平台，提出湾区O₃污染治理技术方案和联防联控机制建议。

考核指标：制定追踪环杭州湾石化产业特征污染物的立体监测网络设计方案（包括区域站、海岛站、海上走航、边界层顶站）和监测技术规范（征求意见稿）；编制基于主要生产装置的湾区活性VOCs动态排放清单，研制湾区O₃污染溯源预警综合集成模式系统和决策平台，实现7~10天的O₃预警和动态来源识别；明确湾区O₃污染的形成机制，量化典型气象条件和各园区排放对臭氧和PM_{2.5}协同生成影响，提出O₃污染综合防治策略和控制重点；形成湾区O₃与前体污染物监测、预警和评估技术示范平台，提出湾区具有共识的O₃污染预警联动和联防联控响应机制，选择不少于2个石化园开展污染控制对策措施应用示范，实现园区VOCs和NO_x协同减排不低于30%。

5.3典型城市和区域机动车污染智慧管控技术集成与示范实

践

研究内容：突破城市和区域车队构成交通流量管控与污染排放之间复杂关系的解耦技术，协同绿色交通和智能交通管理，实现典型城市和区域机动车污染排放密集区和高峰排放时段的精准减排；集成多种实际道路排放智能感知技术，构建多源大数据质控方法体系，开发重型车实时动态监管平台，实现重型车污染排放实时监管并在典型区域示范；研究以运输结构调整和低碳能源转型为重点的车—油—路一体化控制政策和技术路径，构建多目标协同和多污染物深度减排的优化方法，融合机器学习和动态规划等在线大数据技术开发机动车污染控制智慧决策平台，开展典型城市机动车污染“排放削减—浓度改善”的全路网实时动态仿真的业务化应用；提出一市/区域一策的PM_{2.5}与O₃协同改善的交通行业综合治理方案，在大气污染防治重点城市和区域开展示范实践。

考核指标：建成典型城市和区域绿色交通与污染高排放时段精准减排评估模型（城市分辨率达到“小时—百米级”，区域分辨率达到公里级）；建成区域/城市重型车实时动态监管平台，融合至少2种实际道路排放感知技术，实现至少2个城市重型车队监管覆盖率不低于70%（或10万辆）；建成机动车污染

控制智慧决策平台，实现典型城市和区域机动车污染“排放削减—浓度改善”的全路网实时解析，应急管控期间实现96小时逐时预报；提出不少于3项指南、规范或标准，提出一市/区域一策的综合治理方案，在至少1个大城市和1个区域开展机动车多污染物深度减排的示范实践。

5.4华北农灌区地下水污染防治关键技术集成及示范

研究内容：针对华北典型农灌区地下水污染与安全利用，查明区域地下水中氮、磷、砷、氟、新污染物等污染物的时空分布特征；建立灌溉模式、灌溉水质与地下水水质的动态响应机制、水质预测和健康风险评估模型；研发地下多孔介质原位改性的关键修复材料、装备与技术；创建区域地下水动力场调控与污染物去除耦合的原位修复技术；形成农灌区地下水污染防治与修复方法及技术体系，开展典型区域工程示范。

考核指标：农灌区地下水污染物的快速探测与识别技术；特征污染物三维动态分布可视化模型与软件系统，模拟误差<20%；农灌区地下水水质预测与健康风险评估模型；地下多孔介质原位改性的绿色、经济、低碳的关键修复材料、装备基于自主研发，确保安全可控；工程示范区面积不少于10km²，其中不同技术的示范工程不少于3个且稳定运行2年以上；修复后地

下水中特征污染物浓度降低 90%以上，水质达到Ⅲ类标准；农灌区地下水污染防治与安全利用技术规范（征求意见稿）。

6. “青年珍珠链”项目（青年科学家项目）

6.1 大气复合污染追因与治理前沿技术

研究内容：突破大气汞和烟气汞高精度在线测量与质控技术、生物气溶胶多组分高灵敏度监测技术、甲烷及其碳同位素高精度在线探测技术、全边界层PM_{2.5}关键组分遥测反演新算法等高精监测预警技术；围绕大气复合污染的来源成因核心技术原理，开展硫转化机制与同位素示踪技术、VOCs液相与固相氧化机制及分子识别技术、新粒子生成与增长机制与量化模拟技术研究；面向尖端治理技术前沿，布局运输排放靶向监管与控制技术、工业烟气非常规有机污染物协同催化控制新材料、稀燃式天然气车排放控制关键材料与新技术。

考核指标：聚焦关键科学难题，实现和技术突破，技术原理独特，突出自主原创性研发，在大气污染高精监测预警技术、来源成因核心原理、迁移扩散预测模型、尖端治理技术前沿等方面取得原创性成果。

拟资助项目数：不超过7项。

6.2 场地土壤与地下水新污染物识别及风险防控

研究内容：土壤与地下水中新污染物组成识别、精细刻画及风险防控技术；土壤与地下水中抗生素、激素、消毒剂等防疫化学品快速筛选与检测技术，典型防疫化学品迁移扩散的预测模型、生态风险评价及防控技术；土壤与地下水中典型病原体的高通量识别方法及环境胁迫响应机制，环境高风险病原体增殖传播模型、人群健康风险及防控技术。

考核指标：聚焦关键问题，在新污染物检测方法、迁移扩散预测模型、生态风险评价及防控技术、病原体环境胁迫响应机制等方面取得原创性成果。

拟资助项目数：不超过3项。