

# “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 (征求意见稿)

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，科学技术部、教育部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、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 PM<sub>2.5</sub> 和臭氧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<sub>2.5</sub> 与臭氧双降、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 41 个研究任务。

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，所含单位数不超过 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，可不要求指南内容全覆盖，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。基础研究领域项目，青年科学家项目团队年龄要求男性 35 周岁以下，女性 38 周岁以下；其他领域项目，要求男性 38 周岁以下，女性 40 周岁以下。指南各方向拟择优支持 3~10 项。

本专项 2022 年公开发布项目申报指南如下。

## 1.监测监管技术

## 1.1 臭氧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  $O_3$  垂直廓线及其前体物 ( $NO_2$  及甲醛、乙二醛、 $CH_4$  等含碳化合物) 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  $O_3$  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  $O_3$  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  $O_3$  垂直廓线及其前体物 ( $NO_2$ 、甲醛、乙二醛、 $CH_4$  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小于 15%， $CH_4$  与地基遥感对比误差小于 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  $-10^{\circ}C\sim 40^{\circ}C$ ，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 $\geq 3000$ 小时；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 $100\text{ m}$ ，时间分辨率达 $1$ 小时；实现重点区域内臭氧污染前体物溯源到典型园区，准确率高于 $90\%$ ；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 $3\sim 4$ 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（ $CI_s$ ）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 $CI_s$ ，研发适用于超痕量浓度水平的 $RO_2$ 和 $CI_s$ 高灵敏度、低干扰探测技术，建立 $RO_2$ 和 $CI_s$ 浓度测量的高准确度标定方法，建成大气 $RO_2$ 和 $CI_s$ 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 $RO_2$ 和 $CI_s$ 的高精准同步测量。

**考核指标：**建成大气 $RO_2$ 和 $CI_s$ 的分类分物种在线测量设备和平台，实现对不少于 $4$ 种 $RO_2$ 和 $3$ 种 $CI_s$ 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 $RO_2$ 和 $CI_s$ 物种的检测限小于 $2\text{ ppt}$ ，测量误差小于 $20\%$ ，时间分辨率 $5\text{ min}$ ，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、高精度度的大气 OH、HO<sub>2</sub> 和 NO<sub>3</sub> 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 10 ppt，时间分辨率小于 60s，测量误差小于 20%；大气 OH、HO<sub>2</sub> 和 NO<sub>3</sub> 自由基检测限分别达到 0.02 ppt、0.2ppt 和 3ppt，测量误差小于 10%，实现大气 OH 和 NO<sub>3</sub> 自由基总反应性的在线检测测量，检测限达到 0.5s<sup>-1</sup>，测量误差小于 15%，设备时间分辨率小于 30s，可适用于移动式平台。

#### 1.4 挥发性有机物激光雷达与便携式质谱探测技术

**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，攻克自主可控的专用激光光源和色质联用核心方法，研发自主可控的高时空分辨率三维立体监管设备和便携式气象色谱-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，时间分辨率小于 2min，测量误差小于 20%；完成 VOCs 排放源原位测量设备研制，色谱流量 $\geq 1\text{mL}/\text{min}$ ，VOCs 测量质量范围 2~520amu，浓度范围 0.1ppb~100ppm，浓度测量精度小于 10%；排放通量与总量估算误差小于 30%，排放通量测量频率 30min，可测 VOCs 种类  $> 50$  种，包络  $\leq 60\text{cm} \times 100\text{cm} \times 200\text{cm}$ ，体积  $40 \times 39 \times 23\text{cm}^3$ ，重量不超过 17kg（不含电池）；以上技术装备的国产化率均不低于 90%，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。

### 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、建材等固定源超低排放改造后可凝结  $\text{PM}_{2.5}$  及其前体物（ $\text{SO}_3$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、VOCs 等）的高精度监测与质控技术设备，研制适用于固定源烟气的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\delta^{13}\text{CO}_2$

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<sub>2</sub> 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<sub>2.5</sub> 监测设备检出限小于 0.2mg/m<sup>3</sup>，气体吸收偏差小于 5%；SO<sub>3</sub> 检出限小于 0.3mg/m<sup>3</sup>，NH<sub>3</sub>、HCl、VOCs 检出限小于 0.1ppm；CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO 检测限分别可达 1 ppm、0.1 ppm 和 0.5 ppm，δ<sup>13</sup>CO<sub>2</sub> 检测精度小于±2‰，烟气流量测量相对误差小于±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装备；现场测量量值传递技术方法指南和质控技术规范 1 套。

## 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 Hg、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，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。

### 1.7 臭氧和细颗粒物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<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 双降和基本消除重污染天的等多目标大气承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；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；形成自主可控的基于全尺度空气质量预报模式的精准预测系统，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，臭氧 4 天预报准确率达到 70%；污染过程的容载量估算

和调控指标空间精度到市/县，时间尺度到天，并在国家级平台实现区域示范。

### **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核心硬件，实现 100%国产化；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，检测误差小于 30%；便携式快速检测设备的检出限低于国家土壤环境质量标准的 1/5，检测误差小于 30%，响应时间不超过 10 分钟，实现 100%国产化；构建数据采集、实时传输与智能分析系统，实现示范化运行与验证。

### **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、炼焦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验证。

**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，检测误差小于 30%，设备成本较国际同类产品降低 30%，原位在线检测传感器核心元器件国产化率 100%；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；选择石化等在产企业的典型区域开展示范性验证；编写相关技术规范（征求意见稿）2~3 份。

### 1.10 区域重金属污染全过程精准识别与通量评估技术

**研究内容：**针对我国区域重金属污染过程与通量不清等问题，研究区域尺度基于行业特征的重金属排放和归趋时空演化规律，建立区域重金属污染源排放清单；建立基于区域土壤重金属“源-径-汇”关系的布点监测方法，研发区域大气-土壤-水体重金属多介质迁移全过程示踪技术及污染表征溯源方法；建立区域土壤重金属输入输出途径与过程评估方法，构建区域重金属通量估算模型；基于重金属行业和区域排放特征与污染通量分析，构建大气-土壤-水体重金属污染精准动态诊断与智能监管技术方案。

**考核指标：**建立区域重金属污染源排放清单与监测体系；构建大气-土壤-水体重金属多介质一体化监测技术方法体系，开发区域重金属全过程示踪与高精度表征溯源方法不少于1套；开发场地重金属多介质污染过程精细刻画与预测软件；建立县域尺度重金属通量估算模型，数据空间分辨率达到1:5万，实现百米级精准定量表征；形成典型区域重金属污染精准动态诊断与智慧监管方案，并选择2个以上典型县域开展示范应用，编制相关技术规范1~2项(征求意见稿)。

## 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的耦合作用；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<sub>2.5</sub> 和臭氧污染形成作用机制

**研究内容：**选择典型区域，开展大气活性氮化合物 Nr（Nr：NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>、HONO、HNO<sub>3</sub>、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<sub>2.5</sub> 和臭氧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 观测网络或综合观测站，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<sub>2.5</sub> 污染形成的作用，提出实现臭氧和 PM<sub>2.5</sub> 协同控制的活性氮阈值调控区

间及主要措施。

### 2.3 PM<sub>2.5</sub>和臭氧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<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>影响的异同特征，突破PM<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>污染形成的天气耦合机制和双向反馈原理，揭示多尺度PM<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>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<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>变化趋势及污染过程中的多尺度（垂直和水平）影响；阐明应对碳达峰碳中和减排背景下大气复合污染与气象条件影响机理，支撑PM<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>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1995—2025年但不限于），大气边界层内不少于5层；明确PM<sub>2.5</sub>与O<sub>3</sub>耦合机制与天气气候变化的相互作用，形成大气复合污染天气气候影响的量化评估技术体系；量化碳中和减排背景下大气复合污染与气象条件之间的相互影响，提出协同应对的技术途径；形成相应的技术规范3~4项，在国家级平台上实现业务化运行和区域示范。

### 2.4 区域土壤重金属污染的环境健康效应和风险管控

**研究内容：**针对工业聚集区与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，研究污染重金属的土壤生物暴露途径、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健康风险表征方法，研究重金属污染健康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；建立区域土壤重金属污染风险识别及模型模拟技术，构建区域重金属污染分级分类技术指标体系，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。

## 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、石油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，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；探明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原理。

### 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/硒/铅等）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，并在典型主流机组

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，常规污染物（NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub>/颗粒物）满足国家最新超低排放标准，三氧化硫和氨的排放浓度小于 2 mg/m<sup>3</sup>，汞/砷/硒/铅四种重金属总排放浓度小于 30 μg/m<sup>3</sup>，烟气污染治理系统运行能耗整体下降 10%以上，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烟气排放特征和能源清洁高效利用的重大需求，优化提升现有 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、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/硒/铅、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，在不同类型主流锅炉开展工程应用示范。

**考核指标：**常规污染物（NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub>/颗粒物）满足国家最新工业锅炉超低排放标准，三氧化硫排放浓度≤5 mg/Nm<sup>3</sup>，氨排放浓度≤2 mg/m<sup>3</sup>，重金属汞/砷/硒/铅、VOCs 以及 CO 的排放浓度满足国家最新排放标准，降低运行成本 10%以上，降低运行能耗 10%；完成 2~3 个不同类型主流锅炉应用

示范工程。

### 3.3 典型溶剂型产品 VOCs 源头替代技术与产业化应用

**研究内容：**开展有机/无机杂化水性树脂设计合成研究，突破多相复合、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，实现规模化生产，在轨道交通、工程机械、金属防腐等行业示范应用。创制零 VOCs 含量无溶剂型新产品新技术，实现在人造板材涂装、聚合物粘结等领域的工程应用，建立规模化产业生产基地。研究水性涂料、油墨、光固化涂料等产品应用过程的排放特征，开发污染物高效预处理、深度净化治理技术，实现 VOCs 近零排放。

**考核指标：**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 $<30\text{g/L}$ ，防腐水性涂料耐盐雾 $>3000\text{h}$ ，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，在人造板涂装行业应用规模达到 5 万  $\text{m}^2/\text{年}$ 以上。针对 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，排放气体中 VOCs 含量达到现有直排标准值的 30%。

### 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全化学成分谱和排放模型系统；研究融合年检、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、自主可控、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全化学成分谱 1 套（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，实现不少于 2000 辆在用车的减排治理示范与在线监控，主要污染物 VOCs 和 NOx 协同减排 50%以上；形成识别-诊断-治理-监管-评估在用车污染治理综合解决方案，提出不少于 5 项标准、规范和指南，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：**设计研制高热稳定性和多级孔骨架结构的新型碳基或复合碳基吸附材料，研究提高碳基材料比表面积、疏水性、热稳定性和高效定向吸附的创新制备及工业成型技术，阐明碳基吸附材料在失效和再生过程中表面和结构的演变规律，提出具有普适性的碳基吸附材料再生活化流程和方案，突破碳基材料稳定、长效、安全运行与再生应用关键技术，形成工业应用验证的成套工艺装备，在医药、化工等行业完成规模应用。建立碳基材料分散吸附治理-集中收集-再生循环利用综合治理技术方案和运行管理机制，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 $\geq 1000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，CTC $\geq 65\%$ ，碘值 $\geq 950$ ，强度 $\geq 98\%$ 。在再生活化工艺中，骨架重量单次再生损失率 $\leq 10\%$ ，比表面积单次再生损失率 $\leq 5\%$ ，形成量产规模年再生碳基材料 $\geq 10$ 万吨。在重点区域或典型工业园区（含企业 50 家以上）完成活性炭分散治理-集中处置再生应用综合治理技术方案和运行示范验证。

### 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准确的大气污染物监测诊断技术，建立精细化污染源谱及高分辨率排放清单，结合数值模拟开展异味及低浓度 VOCs 智能诊断、溯源与预警体系的工程验证；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，并进行工程示范；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：**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（规模以上）等非点源异味及低浓度 VOCs 污染溯源技术的工程验证和治理示范工程。示范工程气量规模不小于 20000 Nm<sup>3</sup>/h，工业园区废气净化效率大于 90%，畜禽养殖区处理后尾气臭气浓度小于 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，装备国产化率 100%；建立制备产能大于 10 吨/天生产线，材料粒径  $d_{50} < 300 \text{ nm}$ ，实现 3 年以上制备运行，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 20%~30%；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；研究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，能够深层次揭示成因机理与过程；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；开发酸性矿坑水地下水污染原位协同治理与防控技术，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 $>10\text{ km}^2$ ），地下水水质达到相应国家标准；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；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，选择典型区域开展技术应用示范，与现有技术相比，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；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 km<sup>2</sup>）开展示范，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，核心设备国产化率 100%，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；选择不同场景和类型的污染场地开展工程化示范；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。

### 3.12 大型在产石化企业污染场地风险防控与综合治理技术

**研究内容：**针对大型在产石化企业场地有机污染物种类多、浓度高、环境风险大、管控要求高、安全修复难等问题，研发场地特征有机污染物高精度准确识别与风险筛选技术；研发快速响应、高灵敏度实时在线监测技术及装备，建立场地污染智能监控及预警平台；研发场地污染高性能阻隔、阻控、修复材料与技术；开发满足边生产、边修复需求的防控技术及装备；研发场地污染风险管控、原位修复及长期监管综合防治技术体系及系统解决方案；选择典型大型在产石化企业，开展技术集成与工程示范。

**考核指标：**建立大型在产石化企业场地高风险有机污染物高精度准确识别筛选技术，识别准确率大于 95%；研发场地有机污染物现场在线智能监测装备与预警平台 2 套，监测指标涵盖石化行业全部特征有机污染物，检出限低于建设用

地土壤污染风险管控标准或地下水质量标准(III类)的 1/10; 开发场地污染高性能新型原位阻隔、阻控与修复材料 5 种以上, 性能提升 30%以上, 实现工程应用; 创建满足边生产、边修复需求的防控技术 5 种以上, 开发低净空垂直阻隔智能施工装备和强化传质智能化原位修复装备各 1 套, 装备国产化率 100%; 提出大型在产石化企业场地污染风险管控、原位修复及长期监管综合防治技术体系及系统解决方案; 选择大型在产石化企业污染场地, 建立综合治理和风险管控技术体系的示范工程(示范总面积>100 hm<sup>2</sup>), 场地特征有机污染物指标达到国家相关环境质量标准; 形成相关技术规范(征求意见稿) 2~3 份。

#### **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, 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:** 一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 PAHs、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；一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<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>1.0</sub>，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；一套适用于人口密集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技术体系和参数集。

#### 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体系示范研究。

**考核指标：**一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，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）。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。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性因子、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 类疾病的发病率和死亡率的暴露反应关系。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。我国居民的大气污染暴露健康风险双嵌套时空分布数据集，包含六类易感人群（包括儿童和青少年、孕产妇、老年人、慢性病患者等），从百万级人口的典型城市、千万级人口的重点区域到全国覆盖，空间分辨率达 1km，时间上从日到十年尺度。建成特大

城市高精度大气污染与健康综合监测、预警及预防干预示范应用平台，空间分辨率达 100 米，预报时长 3 天。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、兼具空气净化和病原体消杀性能的环保功能新材料，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；揭示适应性贴附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、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>600 L/min，切割点<0.6 $\mu$ 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），室内空气净化设

备对  $PM_{1.0}$  和生物气溶胶捕集效率  $>99.999\%$ ，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，空气吸水分离量  $>2.5 L/m^2d$ 。适应性贴附通风的污染物平均浓度降低量  $>20\%$ ，换气次数降低量  $>15\%$ 。

#### 4.4 面向污染物全过程周期协同减碳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“能源、产业、交通与用地”四个结构调整的优化集成技术方案与效益评估方法，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；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，空间达到市县尺度；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；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：**发布环境空气质量标准评估报告、标准制订关键技术方法研究报告；提出适合我国的全地域人口的环境空气质量评估技术指南；构建重点区域、关键污染物分阶段

空气质量目标值及管控策略，形成配套的监测、评价与考核方法体系；提出适合“美丽中国”目标的环境空气质量新标准；定量确定协同减排温室气体的潜力。

#### 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、有色金属采选冶炼、精细化工等重点行业场地优先控制污染物名录尚待建立的问题，研究基于“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；提出重点区域重点行业优先控制污染物防控关键技术对策建议。

**考核指标：**形成重点行业场地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；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预警体系 2 套以上。

#### 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；形成生物测试与敏感靶点效应验证方法体系 1 套，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 套。

#### 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<sub>2.5</sub> 和臭氧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<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 污染协同防控科技支撑体系未实现系统化、工程化应用难题，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，研发自主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<sub>x</sub> 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执法技术平台，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<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 协同防控工程化模式系统及其支撑平台，包括但不限于大气环境管理和科研综合数据库，全国和重点区域 NO<sub>x</sub>、VOCs、SO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> 和一次 PM 近实时排放清单数据库，重点行业 VOCs 和 NO<sub>x</sub> 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，PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 协同防控工程化模式系统，大气 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 复合污染成因实时精准溯源分析系统，包括但不限于人工智能等新技术手段的污染源智慧监管和执法技术系统，PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 协同防控方案优化与效果快速评估系统。平台实现典型区域和城市 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 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，可有效支撑国家和重点区域空气质量管理 和重污染应对业务需求。

## 5.2 环杭州湾大石化聚集区臭氧污染防控与碳协同减排

**研究内容：**杭州湾大湾区世界级石化产业区密集，区域性 O<sub>3</sub> 污染突出，以环杭州湾石化和化工产业聚集区（包括但不限于上海和浙江沿海城市石化园区）为对象，提出适用于我国石化化工产业园区的特征污染物监控网络技术规范 and 精细化预警方案；识别湾区重点石化园区 VOCs 及温室气体排放特征，构建生产装置源成分谱，并建立以企业为单位和基于石化工艺过程的常规污染物、活性 VOCs 及温室气

体实时排放清单；突破化工园区海陆空走航、雷达观测、扫描遥测等监测技术，开展环杭州湾区 O<sub>3</sub> 及前体物、温室气体天空地一体化观测，阐明环杭州湾石化污染分布特征、成因与规律；集成碳同位素等多种溯源技术方法，定量识别人为 VOCs 排放和植被来源贡献；研究海陆风动力学机制对杭州湾区污染物传输和生成的影响规律，结合多尺度扩散模型的耦合分析，研究跨湾区大尺度及重点产业园区小尺度的 O<sub>3</sub>、VOCs、NO<sub>x</sub>、温室气体输送影响规律和排放贡献；开展碳减排约束下的湾区污染排放控制技术与对策措施研究，形成湾区 O<sub>3</sub> 污染防治与前体污染物减排监控、预警和评估体系，从污染监测、智慧预警、源头甄别、精准治理和成效评估等方面，提出 O<sub>3</sub> 联防联控机制和减排路径。

**考核指标：**制定环杭州湾石化产业特征污染物监控网络设计方案，实现以装置为单元的特征污染物预警溯源，编制石化园区特征污染和温室气体监测技术规范；以复合型大气污染成因研究和温室气体跟踪评估为目标，建成区域代表性的海岛站、边界层顶站和海上走航船各 1 套，形成 1 套数据集成系统，实现跨区域 O<sub>3</sub> 预警和动态来源识别；编制湾区 O<sub>3</sub> 前体物和温室气体动态排放清单，精细化到生产装置，清单因子包括 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、VOCs（含活性 VOCs 组分）、NH<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等组分；搭建多尺度扩散模拟集成决策平台，建立湾区 O<sub>3</sub> 污染预警联动和联防联控响应机制；

发布海陆风系统影响下环杭州湾海陆石化污染迁移传输特征与转化特征蓝皮书，明晰海陆大气垂直和水平交互界面传递和交换对臭氧和  $\text{PM}_{2.5}$  协同生成影响；提出湾区石化产业“减污降碳”实施路径，开展不少于 2 个园区的碳减排约束下 VOCs 和  $\text{NO}_x$  污染控制对策措施应用示范。

### 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，实现区域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  $\text{PM}_{2.5}$  与  $\text{O}_3$  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：**典型城市绿色交通与污染高排放时段精准减排技术；建成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，实现典型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，实现典型城市机动车污染“排放削减-浓度改善”的全路网实时解析（分辨率达到“小时-百米级”，应急管控期间 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控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控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；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、装备国产化率 100%；工程示范区面积不少于 10 km<sup>2</sup>，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<sub>2.5</sub> 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，突出自主可控，在大气污染高精监测预警技术、来源成因核心原理、尖端治理技术前沿等方面取得原创性成果。

**拟资助项目数：**10 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、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：**3~10 项