

# 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 2024 年度项目申报指南

(征求意见稿)

本专项面向持续改善我国生态环境和建设“美丽中国”的重大需求，瞄准大气  $\text{PM}_{2.5}$  与臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 污染和土壤—地下水复合污染的科技前沿，聚焦精准治污、科学治污和依法治污，阐明多污染物多尺度跨介质的污染成因，创新大气与土壤、地下水污染防治核心技术与装备，构建多学科跨行业精细化治理技术体系和产业化新模式，创建  $\text{PM}_{2.5}$  与臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 双降及碳达峰示范区和污染场地土壤与地下水协同治理示范区，支撑“十四五”期间大气、土壤污染防治两大行动计划，为基本消除重污染天气、实现大气  $\text{PM}_{2.5}$  与臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 协同控制和全面提升土壤与地下水安全利用水平提供关键科技支撑。

2024 年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 个方面拟部署 23 个研究任务，12 个青年科学家项目。

本专项 2024 年度项目申报指南如下。

## 1. 监测监管

### 1.1 多污染物跨圈层空天地一体智能观测技术集成与应用

**研究内容：**综合集成陆基、海基、空基和天基等多种探测技术手段，突破多污染物跨圈层立体探测与原位观测技

术，研发大气边界层-对流层-平流层全覆盖的臭氧、气溶胶廓线协同立体探测装备；突破海气界面与滨海湿地等复杂下垫面物质通量高频观测技术，研制氮等同位素溯源与湿地横向碳通量评估模型；开展全球范围臭氧廓线、典型挥发性有机物的每日多时段高分辨反演研究，在中国区突破国内外高低轨多源卫星联合的大气成分反演技术，实现覆盖全国区域、全天时的高时间分辨率反演；开发跨圈层多元数据时空融合与交互孪生技术，模拟再现不同环境条件污染物跨圈层传输和转化过程；在东部沿海、西部生态脆弱区等地开展综合集成示范，实现多污染物多成分在大气、水和土壤等圈层中迁移转化观测，支撑构建统筹生态环境综合监测的科学范式与体系。

**考核指标：**近地面到平流层气溶胶与臭氧廓线探测系统，探测高度不低于 30km，平流层垂直分辨率优于 300m，时间分辨率 10-30min，探测误差优于±15%。海气界面及滨海湿地污染气溶胶和 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 通量测量系统，探测频率优于 100Hz，海水溶解 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 测量精度分别优于 0.1ppm 和 1ppb；氮同位素原位在线监测系统，测量效率不低于 0.13cpm/Bq/m<sup>3</sup>，满足水下 100m 原位在线监测。建成滨海湿地横向碳通量评估模型，预测精度不低于 75%。全球大气 O<sub>3</sub> 廓线（垂直分辨率 3km）、甲醛、乙二醛的空间分辨率 5km，观测频次不低于每日 2 次；中国地区日夜连续 O<sub>3</sub> 垂直廓线、氨气、过氧乙酰硝酸酯、甲酸产品的时间分辨率不低于 2 小时，空间分辨率不低于 12km；O<sub>3</sub> 垂直廓线和对流层 O<sub>3</sub> 反演误差优于 15%（通过地基垂直遥感验证），氨气、过氧乙酰硝酸酯、甲酸反演误差优于 20%。多元跨圈层数据时空融合和孪生产品包括主要大气污染物（气溶胶、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NH<sub>3</sub>、O<sub>3</sub>、甲醛、乙二醛、过氧乙酰硝酸酯、甲酸等）和温

室气体（CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>）浓度、排放与沉降通量以及跨圈层传输量，全球产品水平分辨率50km，中国区域水平分辨率3km，实现每小时跨圈层天空地观测数据融合更新。集成陆基、海基、空基和天基等探测能力，在东部沿海、西部生态脆弱区等地开展不少于45天的综合集成示范。核心技术自主可控，形成相应的技术规范。

**关键词：**大气污染物跨圈层探测，天空地一体技术集成，数据时空融合

## 1.2 基于生态环境大模型的土壤-地下水污染监测监管与风险预警体系

**研究内容：**面向我国土壤与地下水快速精准监测监管的重大需求，构建国内外土壤与地下水监测预警及监管行业大模型特征和规律的知识库；研发基于开闭源、多模态的土壤与地下水污染监测及风险预警的生成式人工智能大模型；研究人工智能和开闭源数据融合、具备多场景良好泛化能力的土壤与地下水污染监测及风险预警模型优化技术，并结合典型应用场景开展应用示范，形成基于大模型的土壤与地下水污染精准预测与应用于多种监管任务的综合解决技术方案。

**考核指标：**建立不少于5万个案例的土壤与地下水调查、监测、预警及监管等行业特征的智能知识库，并形成土壤与地下水领域不少于1亿个有效Token的语料库。开发专用的土壤与地下水案例数据标注辅助、多模态数据增强、训练数据提取与清理、监测点位与频率优化等工具包或核心算法4套。研发基于开闭源数据融合的土壤与地下水污染态势生成式人工智能大模型，具有土壤与地下水领域文献、舆情、报告、图像等多模态数据理解推理能力。开发土壤与地下水监测、监管与风险

预警智能问答应用，自然语言交互准确率 90% 以上，行业知识问答准确率 80% 以上。选择典型城市或大型工业园区开展应用示范，与实测值相比，点位的土壤与地下水污染风险识别和污染物迁移预测结果一致率均大于 80% 且统计学差异不显著。辅助指导提升监测网优化监测频次或监测指标，相同采样频次下比未优化前节省 50% 采样成本。通过示范，完善优化应用系统，达到可工程化推广状态，并被省级及以上生态环境部门采纳。

**关键词：**大模型，风险预警，综合解决方案

## 2. 成因机理

### 2.1 大气污染物跨介质迁移转化机理及其地球系统环境影响

**研究内容：**针对大气中碳氮硫等主要污染物，重点突破冠层内外大气沉降通量和介质间交换通量精准测量技术，开展我国典型区域大气氧化剂和碳氮硫磷等的气-土-水-生跨介质综合观测；精细解析揭示大气污染物跨介质沉降、扩散、转化、排放等关键物理、化学和生物过程，阐明大气污染物土-水-生迁移转化过程机理及大气污染物沉降对土壤、水体的环境影响机制；研制高分辨生物地球化学动力学模式，合理表征大气污染物在气-土-水-生多介质中迁移转化，并实现与地球系统模式的耦合；模拟跨介质交换对区域大气污染生消过程及地球系统环境影响。

**考核指标：**重要碳氮硫磷污染物的气-土-水-生跨介质综合观测，包括森林、湖泊等 2 类典型区域，观测时段需代表夏季和冬季，持续观测时间和有效数据不少 1 个月，提交完整的数据库。揭示大气污染物在土-水-生迁移转化的沉降和理化生消纳过程机理（吸附、生物同化等），并实现关键过程机理的参数化。研制高分辨生物地球化学动力学过程模式，可合理模拟

气-水-土-生关键过程及生物地球化学过程的日变化规律，提供基于动力学过程的可快速计算、精度高的共享计算代码，使碳氮硫污染物在气水土介质中模拟的分辨率达到公里级至百米级，时间分辨率达小时。实现与地球系统模式耦合，提交完整的模拟系统 1 套。量化跨介质交换对区域大气、土壤和水体等地球系统环境的影响，提交评估长期累积效应的报告 1 套。

**关键词：**生物地球化学动力学模式，大气污染跨介质传输，地球系统环境影响

## 2.2 土壤与地下水新污染物风险诊断与管控技术研究

**研究内容：**针对我国典型化工园区及周边区域土壤-地下水中全氟类和抗生素类新污染物管控重大需求，建立复杂水文地质条件和复杂土壤基质背景下新污染物高通量非靶向分析筛查技术体系；识别土壤与地下水新污染物种类、浓度、分布及污染边界，揭示土壤与地下水两大类新污染物赋存形态与迁移转化机制；构建基于计算毒理预测和暴露实验的新污染物危害识别和危险表征方法，研选具有潜在环境风险的优先管控新污染物；基于新污染物环境危害评估和暴露评估，建立典型化工园区及周边区域新污染物环境风险筛查技术体系和风险评估数据库，创制新污染物长效风险管控技术方案。

**考核指标：**开发出土壤与地下水全氟类和抗生素类新污染物非靶向筛查技术，建立 2 大类 30 种以上新污染物的危害属性和暴露参数基础数据库。形成场地新污染物环境暴露和风险诊断的量化评价方法，并确定 2 大类 10 种以上新污染物的环境风险阈值，形成场地新污染物风险诊断技术文件，被有关政府采纳或应用。针对全氟类和抗生素类新污染物污染场地，构建长效风险管控技术体系。选择 2 个典型工业园区及周边区域

分别开展全氟类和抗生素类新污染物风险诊断与长效管控示范，单个场地面积 $>5\text{ km}^2$ ，确定新污染物风险水平，管控周期不少于 6 个月，风险水平降低 50%。

**关键词：**新污染物筛查，风险诊断，风险管控

### 3. 低碳治理

#### 3.1 有色冶金复杂废气多污染物低能耗高效协同治理技术及示范

**研究内容：**围绕有色冶金（含再生有色金属冶金）高尘、高湿、高硫等复杂烟气及无组织排放废气的多污染物低能耗高效协同治理需求，重点研发高碱尘高湿烟气除尘脱硝耦合余热利用、大气量低浓度气态氟硫污染物协同治理、高硫高尘烟气多重金属梯级脱除与回收、高尘多污染物含能废气资源化利用、无组织排放低能耗治理等核心技术与装备，构建有色冶金复杂废气低能耗短流程深度净化方法，形成低能耗高效协同治理创新工艺及成套装备，并在国家大气污染防治重点区域内开展工程应用示范。

**考核指标：**在主流有色冶金工艺建立应用示范工程 4 项以上，单项工程处理能力 $\geq 80000\text{ m}^3/\text{h}$ ，连续稳定运行 2000h，冶金烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别 $\leq 10\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $35\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{ mg}/\text{m}^3$ ，其他废气污染物排放浓度比国家标准特别排放限值降低 20% 以上，CO 产品粉尘浓度 $< 1\text{ mg}/\text{m}^3$ ，杂质气体浓度 $< 1\text{ mg}/\text{m}^3$ ，符合化工原料气要求。吨金属生产无组织排放比例降低 20%。废气污染治理系统运行能耗整体下降 20% 以上。废气治理技术成套装备自主化率高于 80%。

**关键词：**有色冶金，梯级回收，多污染物低能耗协同治理

**有关说明：**本指南方向由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。

### 3.2 化工园区减污降碳协同治理与技术集成示范

**研究内容：**针对化工园区大气污染源种类多、排放呈间歇性或无组织、废气成分复杂、治理难度大等问题，研究园区物质流和能量流对大气污染物排放的影响，耦合园区生产工艺链、污染控制链和监测监管链，构建针对园区减污降碳协同治理的整体解决方案。重点研发生产工序的污染物源头减量、多污染物高效协同净化、污染物高效回收与资源化利用、全流程智能优化控制与能源梯级利用等耦合技术，形成挥发性有机物、卤化物、氨等污染物高效低能耗协同治理技术与装备，集成开发复杂组分污染物和温室气体排放精细治理的园区减污降碳协同治理支撑技术系统及智能管控平台，并开展工程应用示范。

**考核指标：**在 2 个及以上典型化工园区实现示范应用，减污降碳协同治理的示范工程处理规模要代表并覆盖国家典型化工园区，挥发性有机物、卤化物、氨等污染物排放浓度比现有国家排放标准限值降低 50% 以上，且满足项目结题时的最新国家标准，污染物治理系统整体运行能耗降低 20% 以上，并建立园区减污降碳协同治理智能管控平台，园区单位工业增加值污染物排放量下降 30% 以上、单位工业增加值碳排放量下降 20% 以上。编制园区废气治理技术指南（团体标准）不少于 2 项。

**关键词：**化工园区，多污染物高效协同净化，减污降碳协同治理

**有关说明：**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。

### 3.3 近零排放汽油车及油电混合车后处理关键技术及集成

**研究内容：**研发面向未来汽油车、油电混动车近零排放控制技术体系，重点突破后处理催化材料（三效催化剂、电加热催化剂、氨氧化催化剂等）、高目数超薄壁载体、小孔径与超高捕集率颗粒捕集器、冷启动/混动车发动机频繁启停等过渡工况和实际行驶条件下污染物排放（RDE）控制技术、燃油蒸发控制技术以及系统集成技术，实现自主可控的汽油车、油电混动车排放控制技术产品的规模化应用。

**考核指标：**满足未来温室气体排放法规限值的前提下，近零排放控制技术使汽油车主要污染物排放在全国 VIb 限值的基础上降低 50%，并满足 RDE 的排放要求。实现至少两类典型技术路线混动车的近零排放控制技术示范应用。规模化应用的后处理装备自主化率高于 70%，实现 100 万台满足国 VIb 标准的整车应用。

**关键词：**汽油车，油电混动；近零排放，实际行驶条件下污染物排放控制

**有关说明：**本指南方向由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。

### 3.4 地下水污染风险管控与绿色低碳修复关键技术



**研究内容：**围绕我国地下水复合有机污染环境风险有效管控与减污降碳协同的绿色修复重大需求，研究地下水复合有机污染修复全过程的碳排放效应，揭示地下水复合有机污染风险管控与绿色修复协同机制；研发绿色长效缓释材料，建立低碳风险管控与绿色修复协同模式；研究多场耦合强化传质与低碳修复技术，开展低碳模式的风险管控与绿色修复技术验证与示范应用。

**考核指标：**建立复杂介质地下水有机污染物传输与碳排放量化模型，识别出碳排放通路与关键限制性因子。研发出复合有机污染地下水低碳释放的绿色长效缓释修复材料，长效缓释性能和修复效能比同类材料提高 30% 以上。开发出多场耦合强化传质、风险管控与低碳修复技术体系，并选择典型地下水污染管控区，开展工程规模化应用示范，示范面积不少于 20 hm<sup>2</sup>，与国际同类技术相比，碳释放通量减少 50%，环境风险有效管控，地下水实现安全利用，形成先进可实施的低碳排放与绿色修复技术方案，得到推广应用。

**关键词：**地下水污染，风险管控，绿色低碳修复

### 3.5 大型金属矿山污染场地精准管控与治理关键技术

**研究内容：**针对我国大型金属矿山场地环境复杂、复合重金属污染突出、管控与治理难度大的问题，研究大型金属矿山场地复合重金属污染源-径-汇精准诊断方法；建立复合重金属污染风险分区分类分级评估技术体系，研发复合重金属污染源头管控和资源化利用的绿色低碳技术；研究建立大型金属矿山复合重金属污染智慧管控模式与决策系统，创建矿区土壤与地下水多介质全过程协同治理技术体系；选择典型大型金属矿山开展应用示范，形成可推广可应用的治理模式。

**考核指标：**形成大型金属矿山场地复合重金属污染精准溯源与通量核算方法，方法误差  $\leq 10\%$ ；建立大型金属矿山场地污染分区分类分级方法，并应用于我国大型金属矿山污染防控与管理。开发绿色低碳复合重金属污染源头管控、多介质污染协同治理创新技术不少于 3 项，构建出大型金属矿山污染场地精准管控与治理技术体系，并选择 2 个以上典型大型金属矿山开展工程规模应用示范，单个示范面积不低于  $10 \text{ km}^2$ ，治理后土壤与地下水环境质量满足安全利用要求。形成我国可大型金属矿山场地污染分区分类分级精准防治方案，并得到推广应用。编制相关行业技术指南或规范（征求意见稿）。

**关键词：**大型金属矿山，多介质协同治理，精准管控

### 3.6 地下水污染物跨介质传输观测与多界面阻控技术

**研究内容：**针对地下水系统污染物跨介质复杂传输和高效阻控问题，解析跨介质关键界面污染物传输机制，揭示多尺度跨介质污染扩散界面行为；构建地下水污染物跨介质扩散多维复杂大型仿真与立体观测系统，研发跨介质污染行为的高精度刻画现代数字系统；研究污染物跨介质扩散的多界面协同阻控技术，开发具有协同阻控功能的修复材料，突破阻控材料协同的技术瓶颈，开展示范性验证与应用。

**考核指标：**完成污染物跨介质传输多维多要素大型仿真与立体观测系统设计、建设与运行，具备跨介质模拟、多维感知、复杂系统响应等功能，实现不少于 6 个月的系统连续有效运行。构建出复杂跨介质多界面污染过程现代数字模拟系统，突破数据转换、结构优化、核心算法等关键技术瓶颈，具有高精度（cm 级）多维刻画污染物跨介质扩散能力。开发出功能协同的跨介质多级阻控创新性材料与技术，实现创新性材料规模化

生产和推广应用。选择典型地下水污染场地，开展规模化应用示范，示范面积不少于 10 hm<sup>2</sup>。与国际同类材料与技术相比，跨介质多级多界面阻控性能提高 50% 以上，实现地下水安全利用。

**关键词：**跨介质传输，现代数字系统，多级多界面协同阻控

## 4. 决策支撑技术

### 4.1 重点行业低碳超低排放改造关键技术集成与示范

**研究内容：**针对钢铁、焦化、水泥等重点行业超低排放改造与低碳发展的需求，系统调研行业全链条低碳超低排放改造技术及措施，实测和评估不同技术路径下 NO<sub>x</sub>、VOCs、氨逃逸、可凝结颗粒物（CPM）及 CO、CO<sub>2</sub> 等多污染协同控制成效，研究建立多工序基于“源头物料调控—过程节能控制—末端低碳治理—碳污智慧管控”的全过程低碳超低排放治理技术数据库；构建成本、能耗、环境效益等多目标约束条件下的碳污协同减排评价指标体系和评价方法，评估重点行业全过程低碳治污技术碳污协同效益；优化集成关键工序低碳超低排放改造关键技术，提出重点行业全链条低碳超低排放改造建议方案，开展典型企业低碳超低治理集成技术示范应用，提出相关技术指南和规范（建议稿）。

**考核指标：**构建钢铁、焦化、水泥等重点行业全链条绿色低碳超低排放改造关键技术数据库，已应用技术不少于 300 条，完成不少于 30 家典型企业的 NO<sub>x</sub>、VOCs、氨逃逸、CPM 及 CO、CO<sub>2</sub> 排放浓度现场检测，形成重点行业全链条污碳协同治理技术评价指标体系与优化评价方法；提出不少

于 5 个重点行业全链条低碳超低排放改造建议方案，开展不少于 10 个工序的低碳超低排放改造集成技术示范；形成重点行业全链条低碳超低治理技术指南或技术规范（建议稿）不少于 3 项。

**关键词：**重点行业，低碳治理，超低排放，技术集成

## 4.2 大型枢纽港口减污降碳协同治理与技术示范

**研究内容：**针对大型枢纽港口船舶、堆场、罐区、港区作业、货物集疏运方式和车辆等全流程排放，评估各类大气污染控制技术（按工序、工艺）的有效性和协同减碳效果，开展实测验证，研发港区减排潜力和减排效果评估模型，建立全流程治理关键技术推荐清单；突破疏运车辆及港口船舶远程在线监测关键技术与装备，构建集港区重点源排放和港区及边界空气质量为一体的污碳高分辨智能化在线监测技术体系，建立包括近岸船舶在内的全口径大型枢纽港口碳污排放清单，发展 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>x</sub> 和 VOCs 精准溯源技术，评价港区大气污染排放对港区、周边城市和区域的影响；研发建立“监测-评估-预警-溯源-治理-反馈”港区综合大气污染精准防控技术平台，研究港区分区域、分场景、分类型污碳减排优化提升方案，并在京津冀、长三角、珠三角等区域大型枢纽港口示范应用。

**考核指标：**开发集疏运车辆及港口船舶远程在线及综合立体监测技术设备不少于 3 套，其中港口船舶黑烟智能抓拍系统不少于 1 套，准确识别率不小于 95%，黑度误差 < 0.2 级，港口 LNG 动力船甲烷逃逸在线监测与立体遥测样机不少于 1 套，逃逸率精度不低于 0.1%。构建集疏运车辆高排放精准管控系统，实现港区和重要进出港通道国六标准集疏运车辆覆盖率不低于 80%、高排放预警准确率不低于 90%。构建集疏

运车辆新能源化成本效益模型，形成集疏运车辆新能源化转型综合方案和全流程治理关键技术推荐清单。建成港区污染溯源及空气质量在线监测系统，大气污染监测网络实现高分辨率智能化监管，以及港口散货污染高值预警和实时溯源。构建涵盖机动车、船舶等集疏运车辆及港口船舶新能源推广应用方案和闭环智慧决策平台。在京津冀、长三角、珠三角等区域 3 个大型枢纽港口开展示范应用，形成港口集疏运减污降碳协同治理相关管理指南、规范或标准不少于 3 项。

**关键词：**港口集疏运，减污降碳协同治理，立体监测与综合治理，全流程闭环管控，低碳转型，示范应用

### 4.3 强渗透性地层污染扩散优势通道识别与风险管控技术体系

**研究内容：**针对强渗透性地层污染物快速迁移扩散引起的地下水污染风险和环境危害，研究建立强渗透、非均质地层优势通道高精度识别方法，解析污染羽流扩散与迁移动力学机制；构建污染物扩散通量评价模型，高精度量化多维空间污染物扩散通量；研究污染快速扩散实时监测与风险预警技术，研发控源-截获-净化高效协同的污染通量削减与污染风险管控技术体系；选择典型区域开展技术集成与应用示范。

**考核指标：**形成高精度刻画地下水污染扩散优势通道多维度识别方法，刻画精度达到厘米级。建立强渗透、非均质地层污染迁移扩散通量评估模型，时间步长 $\leq 12$ 小时，示范性验证的预测误差 $\leq 20\%$ 。建立污染快速扩散实时监测与风险预警响应系统，形成控源-截获-净化高效协同污染风险管控技术体系，开展工程规模的示范应用，示范面积 $> 100 \text{ hm}^2$ ，

连续运行时间不少于 6 个月，监测预警特征指标不低于 10 项，响应时间 $\leq 24$  小时，污染物扩散通量降低 90% 以上。编制相应的技术文件，被有关政府部门采纳或应用。

**关键词：**非均质地层，污染扩散机制，长效管控

#### 4.4 地下水水源地环境安全与可持续利用技术体系

**研究内容：**针对水源地环境安全与可持续利用的关键技术问题，研发大型地下水水源地含水系统水位、水质、水量动态耦合数值模拟预测技术，构建地下水可持续利用评估技术体系；识别地下水水源地环境风险要素，构建基于地下水可持续利用的环境风险筛查与分级防控技术体系；建立多要素约束下的水源地地下水环境安全利用模式，选择不同类型的大型地下水水源地，开展环境安全评估与可持续利用技术集成示范。

**考核指标：**选择存在污染风险的日开采量不少于 5 万  $m^3$  的孔隙水、岩溶水、裂隙水等大型地下水水源地，建立水位、水质、水量动态耦合的数值模拟模型和多目标模拟优化模型，模型识别和检验误差均小于 10%，形成地下水水源地可持续利用决策支持系统，且应用案例不少于 3 项。基于经济社会、资源环境、生态安全多重约束，建立地下水水源地污染风险筛查与饮用水源安全的定量评价及分级防控技术体系。选择 3 类典型区开展集成示范应用，示范验证 1 年以上，消除地下水污染风险，实现地下水源地可持续开采，形成多要素约束的地下水源地环境安全的可持续利用方案并推广应用。编制相关行业技术指南或规范（征求意见稿）不少于 2 项。

**关键词：**大型地下水水源地，饮用水源安全，可持续利用

#### 4.5 场地复合污染健康风险评估方法

**研究内容：**针对我国重点行业场地复合污染健康风险评估方法缺失的问题，筛选包括重金属复合、有机-无机复合、不同类型有机污染物复合的典型场地复合污染及其健康风险暴露场景，解析复合污染健康风险暴露剂量与途径；研究复合污染物的联合健康效应，定量确定健康危害与复合污染物各自浓度的响应关系，构建复合污染剂量-效应关系；分析污染物复合效应作用机制、作用靶点与暴露途径间的耦合关系，建立场地复合污染健康风险评估与表征方法；选择典型高风险复合污染场地，开展健康风险评估方法示范。

**考核指标：**筛选我国场地复合污染高风险场景不少于 5 个，阐明各复合暴露情景下的关注污染物组分、暴露途径及健康效应靶点。选择 2~3 组典型高风险复合暴露污染物，分别建立复合污染剂量-效应关系。探明污染物复合效应作用机制，建立作用靶点与暴露途径间的耦合关系，形成我国场地复合污染健康风险评估模型，在不少于 2 个复合污染场地开展应用示范，精准刻画出示范场地复合污染健康风险水平。基于复合污染健康风险制定的场地修复、管控目标被主管部门采纳。制定出相关地方或行业技术指南（征求意见稿）。

**关键词：**场地，复合污染，健康风险评估

## 4.6 在产工业园区土壤与地下水污染综合治理技术体系

**研究内容：**针对在产工业园区土壤—地下水污染分布异质性强、修复管控需求差异大、单一技术难以解决等难题，梳理与凝练专项修复与管控技术；研究建立综合治理技术、材料与装备评估标准体系和绿色创新治理模式；研究形成污染修复—污染阻控—风险管控综合治理技术原理与方法体系，创制综合治理技术、材料、装备等工程化应用系统，研究建立污染风险防控与预测预警技术体系，开展工业园区技术应用示范。

**考核指标：**凝练专项管控修复与风险评估成果各3项，制定污染综合治理与安全利用成套技术方案；建立风险防控与治理技术评估方法，形成评估标准5套，提出综合治理技术体系与创新模式；建立高效精准监测监管、绿色可持续修复与风险管控智慧决策系统，政府采纳或推广应用，选择长三角、珠三角典型工业园区研究制定土壤—地下水污染综合治理与安全利用系统解决方案，场地土壤安全利用率95%以上，地下水水质达到Ⅲ类标准，治理总体能耗降低30%，提出我国在产工业园区土壤—地下水污染防治战略路线图，并得到国家相关政府部门批复和采纳。

**关键词：**绿色创新治理模式，综合治理体系，标志性成果

## 5. 典型区域实践

### 5.1 京津冀及周边地区空气质量持续改善治理技术集成示范

**研究内容：**面向京津冀及周边地区“2+36”城市空气质量持续改善、基本消除重污染天气的需求，以京津冀周边的晋鲁豫蒙为拓展区域，综合运用外场立体观测、数值模拟等手



段，科学研判  $PM_{2.5}$  中度污染的时空演变规律、污染形成机理、来源成因和跨界传输影响；构建  $PM_{2.5}$ 、VOCs、 $NO_x$ 、 $NH_3$  等主要污染物的近实时精细化排放管控融合清单，突破空气质量模型融合人工智能等技术，研制区域污染过程管控评估精细溯源预报系统；开展钢铁、焦化、建材等重点行业  $PM_{2.5}$ 、VOCs 和  $NO_x$  等深度治理技术适用性评估，提出基于区域协同控制下的重点行业创 A 技术提升方案，开展农业  $NH_3$  排放与治理、区域清洁采暖效果评估研究，提出区域  $NH_3$  排放治理及清洁供暖稳定持续运行政策建议；聚焦机动车排放控制系统自国六排放标准实施以来被人为篡改、屏蔽、失效等问题，研发智能化的机动车超低排放控制系统失效识别诊断工具包，形成适合我国国情的机动车排放失效监管关键技术，系统构建可支持环境管理和现场执法监管的技术体系；优化京津冀与周边拓展区域的联防联控机制，构建区域空气质量持续改善和基本消除重污染天气目标约束下的协同防控精细化管治技术方案，并在京津冀晋鲁豫蒙七省（市、自治区）同步开展应用示范。

**考核指标：**更新完善区域  $PM_{2.5}$ 、VOCs、 $NO_x$  等主要污染物排放清单 1 套，时间序列 2013~2025 年，空间分辨率 1km，近实时清单更新频率不低于 1 天。区域污染过程调控溯源评估实时预报系统，主要污染物组分浓度预报准确率不低于 80%，溯源至园区和重点源。构建区域大气污染传输通道的立体观测数据集一套，定量化京津冀及周边晋鲁豫蒙扩展区以城市为单元按季节、分行业  $PM_{2.5}$  和  $O_3$  来源和相互影响。提出晋鲁豫蒙重污染应对分级管控清单，要求适用于区域治理现状、不少于 4 个重点行业和领域  $PM_{2.5}$ 、VOCs、 $NO_x$  协同治理创 A 技术提升方案。提出京津冀农业  $NH_3$  排放治理技术方案、清洁供暖评估与持续稳定运行方案。形成涵盖软硬件的机动车超低排放控制系统失效识别和监管方案，在京津冀区域推广应用。提出进一步提升区域大气污染联防联控

优化机制和区域  $PM_{2.5}$  持续改善、基本消除重污染天气的协同管控路径和联合减排政策建议 3~5 份。

**关键词：**京津冀及周边拓展区，精细化融合清单，预警预报，成因机理，治理与监管，精细化管治技术方案

## 5.2 天山北坡城市群大气污染防治支撑技术集成示范

**研究内容：**以天山北坡城市群基本消除重污染天气、空气质量持续改善等为重点，构建区域天-空-地立体动态综合观测体系，开展天山北坡坡地—峡口独特地形下特殊气象条件对区域  $PM_{2.5}$  重污染形成机制研究，量化重污染形成的主要驱动力；建立基于深度学习和大气模拟耦合的多源数据融合的空气品质实时预报技术方法和业务化系统，提升区域重污染过程仿真、溯源和预警预报能力；研究区域重点行业、领域和重点园区结构调整和多污染物深度减排监管技术，优化重污染应对分级管控方案；提出区域低碳转型和清洁发展方案；集成经济、社会、能源、环境、气象等多源多模态数据，研发区域大气环境管理智能数字信息和决策支撑平台；研究打破兵-地和州-市行政边界和部门壁垒的区域大气污染防治联防联控优化机制，提出“双碳”背景下天山北坡城市群冬季重污染天气消除和中长期空气质量改善路径。

**考核指标：**区域大气  $PM_{2.5}$  重污染过程精细化预警预报准确率不低于 80%、溯源至园区和重点源，技术被相关业务部门采用。建立天山北坡地区重点城市群逐小时、百米级立体观测数据集 1 套，实现污染过程三维立体重现。建立区域动态更新的高时空分辨率污染源排放及管控清单一套，提出区域重点领域/行业多污染物协同深度治理、应急管控措施库及区域产业低碳发展方案。大气环境管理智能决策数字信息

平台实现业务化运行，被自治区生态环境厅采用。提出复杂地形下兵-地大气污染联防联控机制优化、基本消除重污染天气综合解决方案、区域空气质量持续改善方案等政策建议 3~5 份，被自治区、兵团等省级政府部门采纳应用。

**关键词：**天山北坡，坡地峡口地形—冬季重污染气象影响机制，重点领域深度治理，地方与兵团联动联控机制

### 5.3 湘赣鄂区域滞留型大气污染综合治理技术与应用

**研究内容：**选择湘赣鄂区域滞留型污染过程，开展区域天地空多要素综合立体外场闭合观测，揭示区域臭氧和  $PM_{2.5}$  污染生消过程和滞留机制，明确区域和城市的污染成因，定量解析人为源与天然源排放、本地排放与区域传输、化学转化与气象过程的贡献；围绕长沙、南昌、武汉等城市空气质量改善目标，构建适合湖陆交错复杂山地的区域高精度在线监测与环境模拟预报系统，创新污染传输贡献和污染减排主体责任的量化评估方法，构建滞留型区域重污染联防联控应对技术业务化体系；提出消除重污染天气和空气质量改善联合减排技术方案并开展示范应用。

**考核指标：**定量解析湘赣鄂区域  $PM_{2.5}$  污染的行业和区域来源，获得不利气象条件下  $PM_{2.5}$  污染的本地和区域贡献量。区域高精度环境模拟系统水平分辨率达 1km，对滞留型污染过程持续时间和污染程度模拟准确度超 90%，7 天区域污染过程预报准确率达到 80% 以上。区域重污染天气联合应对技术体系，集成监测分析、预报预警、成因分析、应急调控、效果评估等功能，联合应对技术体系示范运行不少于 1 年，并在长沙、南昌和武汉实现业务化。提出湘赣鄂滞留型污染区域防治方案，形成  $PM_{2.5}$  浓度持续降低、消除重污染

天气管控路径、应急联动机制和联合减排政策建议 2~3 份，被湖北、湖南、江西省政府采纳应用。

**关键词：**湘赣鄂区域，滞留型大气污染，重污染天气消除，区域联防联控

#### 5.4 中原城市群重污染精准溯源与多污染物协同治理

**研究内容：**以中原城市群及鲁皖豫交错带  $PM_{2.5}$  和臭氧协同管控和空气质量持续改善等为重点，开展太行山大地形和南北气候交汇下大气重污染过程闭合观测试验，揭示区域大气氧化性和活性碳氮组分特征、演变规律和作用机制；开发企业-园区-交通智能监管技术，构建 VOCs 多组分、 $NO_x$ 、HONO、 $NH_3$  等主要前体物天然和人为源融合动态排放和管控清单，研发 AI 技术融合的区域空气质量高精度模拟和溯源业务化系统，定量评估局地生成与区域传输、人为源与天然源排放的贡献，估算  $PM_{2.5}$  和臭氧协同控制的环境容载量；开展重点行业和民用排放减污降碳协同治理技术与减排潜力评估，提出低碳减排方案；集成工业 VOCs 全过程精细化治理技术和高效农牧业氨排放控制技术，在典型工业园区和典型地区示范；提出区域绿色低碳转型和空气质量持续改善的协同技术方案，支撑  $PM_{2.5}$  浓度快速下降和区域空气质量尽早达标。

**考核指标：**阐明区域污染高排放、复杂地形和气候交汇条件下大气氧化性和二次污染物的耦合机制，应用于模型系统和减排方案。建成大气  $PM_{2.5}$  和  $O_3$  复合污染快速精准溯源与评估诊断业务化系统 1 套，可即时定量解析复合污染的影响因素和来源贡献，在省市生态环境部门得到应用。形成 VOCs 多组分、 $NO_x$ 、HONO 和  $NH_3$  等主要污染物动态排放

清单 1 套，时空间分辨率达到 1 km 和 1 天。建立区域和城市大气污染智能监管业务化平台，实现对污染及排放高值溯源和工业交通管控效果的实时智能监管。构建煤电、钢铁、有色、建材、化工五大行业和民用燃烧源多污染物协同治理技术体系，减排潜力数据库包含从源头到末端处置的分工序多参数治理技术与措施，数据不少于 600 条。在典型工业园区（含企业 10 家以上）技术示范 1 年，综合减排效率不低于 80%。农牧业氨排放高效控制技术集成示范 1 年，其中：典型农田示范面积不少于 2000 亩，氨排放量降低 30-40%；规模化养殖企业示范不少于 2 个，氨排放量降低 40% 以上，示范成果在行业得到应用。区域空气质量达标及污碳协同减排技术方案被省政府采纳应用。

**关键词：**中原城市群，鲁皖豫交错带，PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 协同防治，污染源智能监管，VOCs/氨减排技术与示范

## 5.5 全国空气质量协同调控原理与关键技术体系示范

**研究内容：**针对“美丽中国”建设和 2030 年碳达峰的重大需求，聚焦大气 PM<sub>2.5</sub> 与 O<sub>3</sub> 污染防治的科技前沿，提出国家层面空气质量协同调控原理和系统治理思路，阐明“四大转变”过程中多污染物多尺度跨圈层的相互作用机制，构建污染实时监测预警、成因精细解析、排放低碳治理和过程精细调控等关键技术体系，创建业务化产业化新模式，开展多学科跨行业污染治理示范。在一个大气框架下，聚焦 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、温室气体及毒害污染物协同防控，以大气自净力为主线，剖析多污染物在区域污染中的演变规律、各类环境问题的融合机制及全球变化的驱动力，探索区域空气质量改善与国际履约的内在关联，研判大气环境系统治理的重大问题、关键

挑战和科技需求，提出区域空气质量和全球变化协同应对方略和协同治理方案，构建国际科技合作新架构，推进绿色技术创新技术在“一带一路”沿线国家的推广应用。

**考核指标：**建成监测监管、污染成因、低碳治理、决策支撑和区域实践等 5 个关键技术平台，在国家和区域开展示范，可有效支撑“十四五”基本消除重污染天气和区域臭氧与 PM<sub>2.5</sub> 双降。形成全国各典型区域空气质量协同管理与多学科跨行业精细化治理技术体系，出版系列专著并发布蓝皮书及在国际刊物发表系列综述性文章，提交成套展示系统（演示软件、宣传册、视频、展板或沙盘）。厘清一个大气框架下各类环境问题的融合机制及多尺度协同调控原理，提出区域大气污染与全球变化协同应对方略和“十五五”大气环境领域科技创新路线图，召开与发达国家和“一带一路”沿线国家等参与的高端国际学术研讨会至少 2 次，提交协同解决全球-国家-区域大气环境问题的战略对策咨询报告 1 份，并向党中央、国务院、生态环境部报送 3 份以上政策建议。

**关键词：**五个协同，空气质量调控，关键技术平台，低碳治理，消除区域重污染，国际合作，战略布局

## 5.6 在产石化企业场地污染管控与修复技术集成及示范

**研究内容：**针对在产石化企业污染管控与修复的重大需求，开发特征污染物渗泄漏实时快速、高灵敏度智慧感知技术与平台；开发高精度、无扰动的企业场地土壤和地下水污染羽刻画与污染溯源技术方法体系；研选高效的土壤和地下水污染原位阻隔与修复材料及技术，构建场地污染羽原位阻隔与修复体系；选取大型在产石化企业，构建土壤和地下水污

染智慧感知平台与管控修复系统，开展技术集成与应用示范。

**考核指标：**研制在产石化企业场地地下管网与储库等渗泄漏检测关键技术与装备，探测精度 $\leq 1\text{m}$ 。形成渗泄漏多维监测与智慧感知系统，且应用案例不少于 5 项。研发企业场地高精度有机污染羽精细刻画技术，精度达到亚米级。构建在产企业场地土壤和地下水有机污染快速、精准溯源方法体系，溯源精准度 $\geq 95\%$ 。研选场地污染高性能新型原位阻隔与修复材料与技术方法 6 种以上，构建场地污染原位阻隔、修复与水动力屏障系统，污染物阻隔和净化率 $\geq 95\%$ 。选择大型在产石化企业，开展土壤和地下水污染溯源与管控修复技术集成示范，示范总面积 $> 100\text{hm}^2$ ，污染空间规模缩小 80% 以上，消除地下水污染羽流外溢风险，地下水达标并安全利用。形成在产石化企业污染场地土壤和地下水修复技术路线图，编写石化企业场地土壤和地下水污染管控与修复技术方案，被省级及以上生态环境部门采纳并推广应用。

**关键词：**在产石化企业，智慧感知，管控修复

**有关说明：**本指南方向由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。

## 5.7 西北旱区土壤微塑料污染生态风险与管控技术及应用示范

**研究内容：**针对西北旱区工农业用地微塑料污染生态风险与防控的重大需求，构建土壤基质中微塑料筛查与精准识别技术，明确微塑料的污染特征和时空分布规律，建立土壤微塑料全要素时空数据库；开展微塑料与土壤-生物-环境系统的互

作过程与机制研究，建立微塑料污染对动植物的剂量-效应关系，构建生态风险评估模型和指标体系；研发绿色低碳的土壤微塑料消减与控制技术，在典型污染区开展示范应用，形成西北旱区土壤微塑料污染的精准筛查、识别与管控系统解决方案。

**考核指标：**建立适用于西北旱区土壤中微塑料（ $\geq 10$ 种）分离与鉴定技术3项以上，识别率大于90%，建立土壤微塑料污染全要素时空数据库，包含5个以上典型区域，大于2000个样本点。研发微塑料生态风险评估技术方法，开发出微塑料生态环境风险预测模型。研发土壤微塑料全生命周期管控技术体系，选择3个以上典型区域开展示范应用，面积不少于5 km<sup>2</sup>，厘清土壤微塑料含量（数量与质量）及粒径分布，确定微塑料生态风险水平，土壤微塑料含量与风险降低30%以上。形成农用地膜安全利用与全生命周期管控技术规程，并被有关部门采纳或应用。编制相关行业技术指南或规范2-3项（征求意见稿）。

**关键词：**西北旱区，微塑料，全生命周期，风险评估

## 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：**针对大气污染协同控制原理与精细化治理技术体系中原创性理论创新比重小、核心瓶颈技术突破慢等问题，以多污染物多介质交互作用为主线，研究多污染物跨介质不同环境问题相互关联和深度融合的核心科学问题，突破高精监测预警技术和尖端治理技术瓶颈，探索多污染跨介质综合治理的新思路。每个研究方向1个项目，共6个项目：



**高精度在线探测技术：**1)大气含氟温室气体关键组分垂直廓线同步遥感探测技术，实现关键组分高时间分辨率的连续稳定准确遥感观测；2)烟气 VOCs、NH<sub>3</sub> 及 CO<sub>2</sub> 等污碳协同原位传感技术。

**来源成因核心原理：**3)污染物跨介质溯源模拟技术，突破多尺度自适应双向耦合技术和多元同位素解析技术；4)亚热带及超低排放地区大气污染形成机制及调控原理，阐明关键成分天然源和人为源相互作用机制机理，定量本地、区域和跨境输送影响。

**前沿治理技术：**5) 氢氨内燃机近零排放控制关键材料与 技术，开发多污染物协同催化控制净化新技术，提出适用于氢氨燃料内燃机的近零排放控制技术路线；6) 甲醇内燃机排放控制关键技术与材料，建立百公斤级的小试合成设备，提出针对甲醇燃料不同燃烧方式的后处理技术路线，满足机动车国 VIb 排放标准。

**考核指标：**聚焦关键科学难题，实现技术突破，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、跨介质迁移扩散溯源模型、尖端治理技术前沿等方面取得原创性的基础理论和技术创新引领。

## 6.2 土壤与地下水新污染物全生命周期环境效应与碳足迹

**研究内容：**针对场地土壤与地下水中全氟化合物、短链氯化石蜡、酞酸酯类等未定标新污染物全生命周期环境效应认识的不足，研究新污染物多组分、多过程、多介质与多尺度土壤-地下水迁移扩散模型；解析化学-生物耦合下的新污染物降解机制及中间产物，评估土壤与地下水中耦合“污染源-迁移-扩散-降解-受体”的新污染物全生命周期生态风险；研究基于生态系统碳排放影响评估的土壤与地下水新污染物碳足迹。

**考核指标：**聚焦关键科学难题，在土壤与地下水新污染物全生命周期环境效应等方面取得原创性成果，创建新污染物土壤-地下水迁移扩散预测模型，提出土壤与地下水系统中 10 种以上新污染物全生命周期的生态风险及碳足迹。

**拟资助项目数：**三类新污染物各资助 1 项，不超过 3 项。

### 6.3 土壤与地下水新污染物防控材料与技术

**研究内容：**针对场地土壤与地下水中全氟化合物、短链氯化石蜡、酞酸酯类等新污染物治理修复的关键技术难题，研发场地土壤新污染物绿色高效降解材料与技术；研发地下水原位低碳修复材料与技术；开发农田土壤新污染物高效富集与定向无害化转化材料及技术，研究修复材料与技术长效性及安全性评价技术指标。

**考核指标：**聚焦关键问题，在土壤与地下水新污染物高效修复材料、绿色修复技术等方面取得原创性成果，创制土壤与地下水全氟化合物等新污染物高效选择性修复材料 3 种以上，在保持土壤与地下水生态功能的前提下实现新污染物高效选择性去除。

**拟资助项目数：**三类新污染物各资助 1 项，不超过 3 项。