

附件 1

京津冀环境综合治理国家科技重大专项 2026 年度 公开竞争择优项目申报指南

京津冀环境综合治理国家科技重大专项(以下简称京津冀重大专项)力求突破京津冀生态环境关键科学问题和技术难题,研究开发区域系统治理理论方法、关键技术、重大装备和重要标准,形成京津冀全区域生态环境问题的系统解决方案与科技创新重大工程体系,科技支撑“人与自然和谐共生”的中国式现代化建设的先行区、示范区,为其他区域生态环境质量的持续改善和精准防控提供可借鉴的技术解决方案。

京津冀重大专项重点围绕天空地海一体化环境感知网、跨介质复合污染调控模拟器、空气质量改善和重点行业深度减排、水生态环境全面改善、美丽绿色生态样板城、区域生态安全与农业农村系统提质增效、跨介质系统治理、生态环境管理创新八个板块,拟设置 86 个项目和 2 个珍珠项目群,所有项目均通过公开竞争择优方式立项,拟安排中央财政经费约 28.93 亿元,资金支持方式包括前补助和事前立项事后补助。其他来源资金与中央财政资金比例按照各指南要求执行。对于通过答辩评审的项目,如中央财政资金预算被评审核减,在签订任务合同书时原承诺的其

他来源资金总额不得减少。项目承担单位须推动研究成果转化应用和支持专项数据共享。部分项目实行标志性成果总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。珍珠项目群（含青年科学家项目）按指南要求申报。

京津冀重大专项 2026 年度项目指南如下：

板块一：天空地海一体化环境感知网

1.1 京津冀大气源汇一体多源感知关键技术研究与应用

研究内容：

针对大气排放源现场监测数智化程度低、活动水平感知技术不全面、烟羽通量核算装备及技术缺失、精细化源汇关系感知技术不足等问题，研发大气源汇一体化感知技术装备及应用系统，突破污染源快速精准感知技术，集成基于无人机、机器狗等智能机器人平台的固定源巡查监测技术及设备，开展固定源 SO_2 、 NO_x 、 VOCs 、 CO_2 、颗粒物等物质排放的无人化智能监测，形成固定源智能机器人监测成套设备及典型行业无人化巡查监测技术，研发基于低成本传感器及多源数据的源活动感知技术，开展生产设施小时级别的活动感知；研发固定源烟羽排放通量快速量化设备及反演算法，快速量化烟羽中颗粒物、 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 等污染物的排放强度，形成基于地基雷达、走航、无人机等多平台的固定源有组织排放口烟羽排放通量实时监测反演能力；集成京津冀

重大专项“天空地海一体化跨介质环境感知网”部署的大气污染物和温室气体感知技术装备，开展区域综合观测并形成数据集；研发大气一体化智能感知系统，整合排放源活动水平、气象、空气质量等多源动态信息和国产自上而下的温室气体排放通量核算算法，形成空气质量形势分析、源汇关系解析、污染物排放通量核算等数智化产品；在京津冀区域内开展钢铁、水泥、火电、化工等重点行业技术装备应用验证，在区域、城市、园区尺度实现京津冀大气一体化智能感知系统稳定运行。

考核指标：

1. 智能机器人监测成套设备 1 套，污染物指标至少包括 SO_2 、 NO_x 、 VOCs 、 CO_2 、颗粒物，检出限满足钢铁、水泥、火电、化工等重点行业排放标准限值的要求，相对标准偏差优于 $\pm 10\%$ ，智能机器人平台组合作业续航能力 $\geq 120 \text{ min}$ ，自组网通信距离 $\geq 5 \text{ km}$ ，多源融合定位算法可支持不少于 4 种传感器定位需求，在不少于 3 类工业园区完成技术验证，申请或授权发明专利至少 1 项，企业采用智能机器人设备开展自行监测工作成本降低 30% 以上，智能机器人成套设备在现场无人干预的场景下，自主完成企业有组织污染物排放监测任务成功率 $\geq 80\%$ ；排放源活动水平低成本感知技术 1 套，排放源至少覆盖工业涂装、家具、化工、橡胶、电子器件等行业和散煤、餐饮等源项，工业企业活动水平

数据精确到生产线或生产设施，时间分辨率达到小时级，散煤活动水平数据空间分辨率不低于区县，时间分辨率达到日级，餐饮活动水平数据精确到治理设施，时间分辨率达到小时级，单套感知设备成本低于 3 万元，无故障运行时间不少于 6 个月，有效数据获取率 $\geq 90\%$ 。

2. 污染物排放通量地基雷达遥感监测设备 1 套，可监测污染物包括烟粉尘、 SO_2 、 NO_x 、VOCs（组分 > 400 种）及 NH_3 ，单次完整测量流程时间 ≤ 60 min，污染物识别准确率 $\geq 90\%$ ，VOCs、 SO_2 、 NO_x 、CO 柱浓度探测精度优于 5%，通量反演误差优于 $\pm 10\%$ ，授权发明专利至少 1 项；面向排放源烟羽立体感知的无人机协同组网、数据融合和排放通量核算算法 1 套，支持地面站、移动走航车和不少于 15 架无人机组网和数据融合，支持 3D 空间建模与污染梯度识别，气态污染物、颗粒物和温室气体浓度剖面建模与通量反演算法误差优于 $\pm 30\%$ ，在不少于 3 类工业园区完成技术验证，编制固定源烟羽排放通量地基雷达遥感/无人机航测反演技术方法各 1 套。

3. 京津冀大气综合观测数据集 1 套，数据集指标涵盖京津冀重大专项“天空地海一体化跨介质环境感知网”部署的大气污染物和温室气体感知技术装备指标，以及氨氮同位素、碳同位素、颗粒物数浓度和颗粒物有机组分（POA 和不同氧化态 SOA），时

间分辨率日级及以上，覆盖时段不少于 4 个季节，覆盖范围不少于 3 个地级及以上城市，形成大气污染成因综合观测分析报告不少于 6 期，氨氮同位素观测标准技术规范 1 份，得到京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

4. 京津冀大气一体化智能感知系统 1 套，具备动态汇集京津冀区域排放源、气象、空气质量等多源数据的能力，排放源感知数据时滞性不超过 6 h，空气质量自动监测数据时滞性 ≤ 20 min，支持不少于 30 个（包括地面、走航和低空传感器）节点的自动组网、数据融合功能；动态感知不少于 3 类工业园区的源汇关系，空间分辨率 ≤ 100 m，时间分辨率 ≤ 20 min；国产自主自下而上的温室气体排放通量核算算法 1 套，时间分辨率优于 1 h，京津冀区域空间分辨率优于 3 km，时效性不超过 1 个月，不确定性 $\leq 30\%$ ；形成空气质量形势分析、污染成因来源解析等数智化产品不少于 5 类。

5. 典型行业智能机器人设备无人化巡查监测技术方法至少 1 项，获得京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门应用证明不少于 2 份；选取钢铁、水泥、火电、化工等重点行业的 10 家工业企业（每个行业不少于 2 家），开展硬件装备性能测试验证，应用验证时间不少于 6 个月；在京津冀区域 3 个地级及以上城市和 3 类工业园区开展大气一体化智能感知系统功能测试验证。

证，验证尺度包括区域级、城市级、园区级，验证系统在不同空间尺度下源汇关系感知、污染形势预判的可靠性，形成多尺度功能验证报告，并获取京津冀区域内省部级及以上生态环境用户单位应用证明至少 1 份。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

1.2 大气污染物数智化感知关键技术装备研发与应用示范

研究内容：

针对京津冀区域大气多相态组分监测精度不足、数智化水平低、关键监测国产设备匮乏、大气监测运维无人化水平低、运维成本高等问题，开展硫酸盐、碳质气溶胶等高分辨率立体遥感监测技术研究，研发细颗粒物多组分（包括有机和无机）实时同步在线监测的低成本国产化高性能质谱技术装备；开发新型国产化高精度 NO、NO₂、O₃、CO 无人机搭载的监测传感器，研发具备本地 AI 模型部署能力的 NH₃、H₂S、甲硫醇等恶臭气体识别系统，突破高稳定性低功耗 CO₂/CH₄ 温室气体传感技术，研发国

产高精度低成本快响应光谱法氨气分析装备，开发采样效率高、测量误差小的被动氨采集装备；研制无组织排放氨气便携式快检装备，开发低流速、非均匀流场下便携式烟气流速快检装备，开展低检出限高重复性小型化离子色谱技术研究，研制硝酸盐、铵盐、硫酸盐、氯盐等现场便携式快检装备，突破高温工况下湿度监测及标定技术，研发湿度在线监测装备及高精度标准湿度发生标定设备；研制原位采样-称量一体化无人化的颗粒物滤膜称量技术装备，开展“端-边-云”三位一体高效无人运维和审核的VOCs智能运维质控技术攻关和监管装备研发；在京津冀区域开展包含城市环境大气固定站点监测、源排放区域评估、无人机空基监测、典型工业企业监测的多场景示范应用，支撑京津冀大气污染精准防控。

考核指标：

1. 高分辨率大气颗粒物组分激光雷达遥感监测技术装备 1 套，搭建光学系统仿真、核心器件建模和测试验证系统的激光技术体系，构建大气颗粒物组分特征库 1 套，申请或授权发明专利不少于 1 个，散射体后向散射相矩阵探测参数不少于 16 个，识别组分类别至少包括硫酸盐、碳质气溶胶、沙尘等 5 类，与传统设备相比，硫酸盐、元素碳等关键组分识别准确率 $\geq 90\%$ ，浓度反演误差 $\leq 20\%$ ，整机防护等级不低于 IP66；低成本国产化细颗

颗粒物中非难溶性组分在线监测装备 1 套,核心元器件国产化率 $\geq 90\%$,空气动力学透镜粒径传输范围 $50\text{ nm}\sim 2.5\text{ }\mu\text{m}$, 50 nm 颗粒物传输效率 $\geq 85\%$,飞行时间质量分析器质量分辨率 ≥ 4000 、质荷比范围 $1\sim 300\text{ amu}$ 、动态范围 ≥ 5 个量级, 1 min 下检出限(3σ):硝酸盐 ($0.13\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)、硫酸盐 ($0.07\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)、铵盐 ($0.32\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)、有机物 ($0.64\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)、氯盐 ($0.13\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$),测量误差 $\leq 10\%$ 、时间分辨率 $\leq 1\text{ min}$,成本相较于国际同类型产品降低 40% ,配套数据采集、分析软件,形成数据集 1 套,建立基于质谱方法细颗粒物化学组分在线监测质量控制技术指南 1 套,被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

2. 高精度 NO 、 NO_2 、 O_3 、 CO 气体传感器监测装备 1 套,检出限分别不高于 5 nmol/mol (NO 、 NO_2 、 O_3) 和 $0.1\text{ }\mu\text{mol/mol}$ (CO),交叉干扰率优于 $\pm 1\%$ FS,系统核心部件国产化率达到 100% ,申请或授权发明专利不少于 1 个;多因子恶臭气体识别装备 1 套,同时支持 ≥ 8 种典型恶臭因子检测,测量误差优于 $\pm 20\%$,检测限 $\leq 2\text{ nmol/mol}$,响应时间 $t_{90} \leq 5\text{ s}$,恶臭因子识别准确率 $\geq 80\%$,最高采样频率 $\geq 1\text{ 次}/2\text{ min}$;低功耗 CO_2/CH_4 传感装备 1 套, CO_2 检出限 $< 2\text{ }\mu\text{mol/mol}$, CH_4 检出限 $< 0.3\text{ }\mu\text{mol/mol}$,响应时间 $< 5\text{ s}$,日漂移控制优于 $\pm 2\text{ }\mu\text{mol/mol}$,具备温压补偿机制,误差控制优于 $\pm 1\%$,光程长度 $\geq 9\text{ m}$,噪声水平优于 10 nmol/mol ,

核心传感模块功耗 $\leq 2\text{ W}$ ，建立机载传感器分类分级指标体系及评估方法 1 套，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；国产高精度光腔衰荡光谱法氨气分析装备 1 套，测量池温度和压力控制分别在 $\pm 0.005^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.0002\text{ atm}$ 范围内，实现 NH_3 检测下限优于 270 pmol/mol (100 s 平均)，精度优于 200 pmol/mol (10 s 平均) 和 90 pmol/mol (100 s 平均)，响应时间优于 $(t_{10}\sim t_{90}/t_{90}\sim t_{10})\ 50\text{ s}$ ，成本相较于国际领先产品降低 30%；扩散吸附被动氨采样装备 1 套，氨采样效率 $\geq 90\%$ ，检测限 $\leq 0.02\text{ }\mu\text{g/m}^3$ ，测量误差 $\leq 15\%$ ，建立标准化操作规程和质量控制体系 1 套，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

3. 便携式氨气环境泄漏监测装备 1 套，检测限 $\leq 0.05\text{ mg/m}^3$ 、量程覆盖 $0\sim 200\text{ mg/m}^3$ 、测量值 $\geq 100\text{ mg/m}^3$ 时，准确度优于 3% F.S.，测量值 $< 100\text{ mg/m}^3$ 时，准确度优于 $\pm 5\text{ mg/m}^3$ ，分辨率达到 0.01 mg/m^3 ，重复性 $\leq 1\%$ ，重量 $\leq 4.5\text{ kg}$ ，申请或授权发明专利不少于 1 项；便携式离子色谱监测技术装备 1 套，现场可检测离子指标需包括 SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 Cl^- 、 F^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，检出限 $\leq 0.002\text{ }\mu\text{g/mL}$ (以 Cl^- 计)，重复性 $\leq 2\%$ (以 Cl^- 计)，淋洗液消耗 $< 0.3\text{ mL/min}$ ，申请或授权发明专利不少于 1 项；便携式烟气流速监测装备 1 套，在 1 m/s 的流速下的测量相对误差优于 $\pm 2\%$ ，核心部件国产化率 $\geq 90\%$ ，申

请或授权发明专利不少于 1 项，固定源废气流量监测技术方法 1 项，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；废气湿度在线监测装备 1 套，在高温（ $\geq 180^{\circ}\text{C}$ ）环境下的湿度检出限 $< 0.5\%$ ，装备重量 $\leq 10\text{ kg}$ ，申请或授权发明专利不少于 2 项；便携式湿度发生标定装备 1 套，发湿稳定时间 $\leq 5\text{ min}$ ，绝对误差 $\leq 1\%$ ，最大发湿流量 $\geq 3\text{ L/min}$ ，系统总重量 $\leq 20\text{ kg}$ ，核心部件国产化率 $\geq 90\%$ ，申请或授权发明专利不少于 1 项。

4. 原位采样-称量一体化无人化颗粒物滤膜称量装备 1 套，配置通用滤膜载具接口，可自动识别并对接标准化滤膜载具，能够实现单批次 ≥ 15 个滤膜样本的自动流转，基于射频识别系统自动识别滤膜信息，准确率 $> 99\%$ ，数据时效性提升 75%，样本处理能力提升 200%，手工监测网络覆盖率提升 50%；VOCs 在线监测智能运维质控装备 1 套，可识别质控数据、数据缺失等 10 类以上故障诊断报警，报警触发时间 $\leq 3\text{ s}$ ，色谱质谱单装备单小时监测数据积分完成时间 $\leq 30\text{ min}$ ，积分准确率 $\geq 90\%$ ，单装备单小时数据审核完成时间 $\leq 1\text{ s}$ ，审核结果误判率 $\leq 10\%$ ，支持多装备标定、空白等无人值守远程操作指令 ≥ 7 类，系统人工干预度 $\leq 5\%$ ，建立多参数 VOCs 在线监测状态智能诊断技术指南方案 1 套，并获得京津冀区域内省部级以上生态环境主管部门采纳。

5. 在京津冀区域城市环境空气站点监测、源区域排放评估、无人机飞行监测、农业面源监测 4 类应用场景，根据装备特点部署无人化滤膜称量系统（ ≥ 4 套），高精度 NO、NO₂、O₃、CO 气体传感器监测装备（ ≥ 15 套），多因子恶臭气体识别装备（ ≥ 3 套），低功耗 CO₂/CH₄ 传感装备（ ≥ 3 套），高分辨率大气气溶胶组分激光雷达，低成本国产化细颗粒物中非难溶性组分监测装备，VOCs 在线监测智能运维质控装备，国产高精度光腔衰荡光谱法氨气分析装备，扩散吸附被动氨采样装备（ ≥ 15 套）开展示范应用；在京津冀区域内选择钢铁、水泥、火电、化工等重点行业的 10 个工业企业部署便携式氨气环境泄漏监测装备、便携式离子色谱监测技术装备、便携式烟气流速监测装备、废气湿度在线监测装备，每个行业选取不少于 2 家企业开展示范应用；满足真实场景稳定运行至少 6 个月，形成第三方测试验证报告，出具生产运行台账并提交用户应用评价证明。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，采用事前立项事后补助方式，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 6:1，实施周期不超过 3 年。

1.3 京津冀大气污染传输智能立体感知技术与装备研发

研究内容：

针对单一卫星每天仅过境一次导致污染传输动态追踪不准确、空-地多平台协同观测与数据融合能力不足等问题，研发国产多源超光谱卫星多时段污染气体联合遥感技术，获取多组分污染气体在每日不同时间的变化，为污染传输动态追踪提供精准数据支撑；研制气溶胶、 O_3 及光化学关键物种的国产垂直遥感装备，研发消耗臭氧层物质（ODS）的垂直柱浓度探测技术，通过地基遥感组网，强化气溶胶和多组分活性气体的同步垂直探测能力；研发超光谱无人机遥感技术，研制车载流动观测系统，提升机动平台的溯源精度与污染热点捕捉效率，实现对污染关键区域的米级分辨率探测；优化大气氧化能力全链条探测技术，研发过氧自由基便携式光学探测技术，构建自由基旗舰超站，开发 OH 自由基活性便携探测技术及活性标准物质制备技术和方法，弥补大气氧化性原位测量和活性物质现场标定技术缺失的短板，提高自由基探测的精度与效率；基于天空地一体化观测，研发多源数据融合与区域传输智能解析技术，构建集成卫星遥感、垂直监测、机动探测等立体观测数据集的区域大气污染传输智慧监测与评估系统，动态识别区域大气污染传输特征，在京津冀及周边典型区域开展应用，验证技术效能，服务精准治污与科学决策。

考核指标:

1. 国产多源超光谱卫星上、下午多时段大气污染传输联合遥感技术 1 项, 实现高分 5 号 01A 星、高分 5 号 02 星、大气 1 号星等不少于 3 颗国产卫星 O_3 、 NO_2 、 HCHO 等污染气体的联合遥感反演, 多源卫星遥感全球反演结果的空间分辨率达到公里级, 时间分辨率不低于每天 3 次, 每颗卫星各组分反演结果与地基垂直遥感网络日内连续观测对比验证的偏差均优于 $\pm 20\%$, 并提交技术验证报告。

2. 气溶胶、 O_3 及光化学关键物种的国产垂直遥感装备 1 套, 构建基于国产装备的光化学关键物种垂直遥感网络, 其中垂直廓线探测组分包括气溶胶消光系数以及 O_3 、 HONO 、 HCHO 、 CHOCHO 、 NO_2 等活性气体, 气溶胶消光系数探测精度达到 0.1 km^{-1} , 活性气体探测精度达到 ppb 量级, 垂直分辨率达到 100 m, 时间分辨率达到 8 min, ODS 垂直柱浓度探测组分包括 CFC-11、HCFC-22、 ClONO_2 等, 时间分辨率 $\leq 10 \text{ min}$, 柱浓度测量误差 $\leq 10\%$ 。

3. 空-地机动平台大气污染传输超光谱遥感米级溯源技术与装备 1 套, 实现 HCHO 、 HONO 和 NO_2 等活性组分的超光谱无人机遥感, 空间分辨率 $\leq 5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 时间分辨率 $\leq 30 \text{ min}$, 探测精度优于 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 提交第三方检测报告, 实现 HCHO 、 HONO 、

CHOCHO、NO₂ 等活性气体垂直柱浓度的车载流动观测，探测精度优于 $1 \times 10^{15} \text{ mole cm}^{-2}$ ，水平分辨率达到百米级，时间分辨率 $\leq 10 \text{ s}$ 。

4. 研发大气氧化能力全链条探测技术 1 套，其中大气氧化能力原位在线探测技术的探测限达到 0.02 ppt/s ，时间分辨率 30 s ，过氧自由基便携式高频光学探测技术的探测限 0.2 ppt ，时间分辨率 1 s ，OH 自由基活性便携式探测技术的探测限 $\leq 0.6 \text{ s}^{-1}$ ，大气自由基旗舰超站集成技术的探测物种包括 OH、NO₃ 等关键自由基 ≥ 4 种，探测限 $\leq 0.2 \text{ ppt}$ ，测量误差优于 $\pm 15\%$ ，时间分辨率 $\leq 30 \text{ s}$ ；动态法超低痕量气体标准物质 1 套，浓度 ppb 级；活性标准物质制备技术和方法各 1 项，搭建计量标准装置和质控方法各 1 套。

5. 天空地一体化大气污染三维数据融合及区域传输智能解析技术 1 项，获取京津冀区域颗粒物及 O₃、NO₂、HCHO、HONO 等活性气体的三维立体分布数据集，水平分辨率 1 km ，垂直分辨率 100 m ，时间分辨率 1 h ，数据精度优于 70% ；基于立体监测的京津冀区域大气污染三维传输智能表征算法 1 套，获取大气污染传输特征的动态分布，识别污染事件的主要传输路径和主要输出源区；在京津冀区域部署大气污染传输智能监测与应用验证点不少于 5 个，每个应用验证点的应用验证时间不低于 6 个月，

空-地机动平台观测总计不少于 20 次，形成典型场景下大气污染传输评估的技术方法 1 套，申请或授权发明专利 1 项。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

1.4 京津冀区域典型流域地表水污染源汇一体多维感知关键技术研究与应用

研究内容：

针对流域水岸一体化穿透式污染管控能力不足、污染高值区及黑臭水体定位不准、污染源异常排放行为识别不清、污染路径刻画不明、突发环境事件特征污染物识别时效性不足等关键技术问题，研发“天-空-地”多模态数据融合的精准可靠光谱-地面传感器融合水质反演技术，研发联合无人机高光谱与亚米级卫星遥感的黑臭水体分布及周边土地利用类型智能识别定位技术和实时监测技术；研发多模态污染路径实时感知与定位技术，研制多传感器融合感知的污水管网缺陷快速诊断技术与装备，开发污水管网缺陷分级与定位建图技术，研制便携式水质荧光指纹快速污染源追查检测装备，开发污染源异常排放行为远程识别技术；研制国产化高灵敏在线监测-便携式快检双模式监测装备，开发特

征臭味物质质谱库，整合典型黑臭水体样本，构建可直接服务工程应用的臭味-黑臭多模态数据库，开发臭味智能识别算法，支撑异常臭味事件闭环管控；建立涵盖“源汇解析-路径刻画”的“天-空-地”一体化智慧监测体系，研发流域动态“源-汇”综合解析技术，研发流域污染智能识别与精准管控辅助决策算法工具箱，构建污染源综合管控与环境风险应急系统，在京津冀地区典型流域开展应用。

考核指标：

1. 融合“天-空-地”多模态数据的水污染指标高值区快速定位算法 1 项，其中水污染指标包括化学需氧量、高锰酸盐指数、总磷、氨氮、总氮等不少于 5 种，水污染高值区识别准确率 $\geq 80\%$ ，多模态数据融合的问题水体识别处理时长 ≤ 1 h，问题水体定位误差 ≤ 100 m；黑臭水体分布无人机高光谱遥感智能识别算法 1 套，小微黑臭水体分布现场识别精度 $\geq 80\%$ ，空间分辨率优于 0.1 m，黑臭水体类型 ≥ 3 类；黑臭水体分布无人机高光谱遥感实时监测系统 1 套，黑臭水体识别结果时间延迟 ≤ 5 min；黑臭水体分布及周边人类开发活动的亚米级卫星智能识别算法 1 项，精度 $\geq 75\%$ ，识别与排水有关土地利用类型包括居民地、农田、污水处理厂等不少于 3 种。

2. 污染路径实时感知与定位技术 1 项，实现对污染传输路

径的精准刻画，污染排口定位精度 $\leq 10\text{ m}$ ；污水管网缺陷快速诊断技术 1 项，支持摄像头、声呐、雷达和惯性测量单元 4 类及以上的异构数据融合，支持结构化、半结构化、非结构化 3 类数据融合，缺陷诊断准确率 $\geq 90\%$ ；污水管网缺陷快速诊断装备 1 套，多传感器信号同步采集误差 $\leq 250\text{ ms}$ ，数据传输丢包率 $\leq 3\%$ ，装备的主控芯片、关键传感器等核心部件的国产化率 $\geq 90\%$ ；污水管网缺陷分级与定位建图技术 1 项，管网缺陷分类不少于 4 类，缺陷分类识别准确率 $\geq 80\%$ ，缺陷定位误差 $\leq 1\text{ m}$ ，缺陷重建完整度 $\geq 80\%$ ；便携式水质荧光指纹污染源追查检测装备 1 套，装备重量 $\leq 10\text{ kg}$ ，信噪比 $\geq 250:1$ ，污染源感知与数据解析总时长 $\leq 15\text{ min/次}$ ，建立京津冀地区 30 个典型污染源的当量水质荧光指纹数据库 1 个；污染源异常排放行为远程识别技术 1 项，实现污染源浓度超标、排放总量超标、数据造假、处理设施不正常、违规偷排等至少 5 类异常事件的远程智能识别，污染源预警准确率 $\geq 70\%$ ，制定相关标准或技术指南（征求意见稿）1 项，并被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

3. 高灵敏臭味在线监测装备 1 套，装备核心零部件国产化率 $\geq 90\%$ ，单样测试周期 $\leq 30\text{ min}$ ，其中二甲基异茨醇和土臭素的定量限 $\leq 6\text{ ng/L}$ ，硫醚等典型臭味物质定量限 $\leq 10\text{ ng/L}$ ，测量误差优于 $\pm 20\%$ ，制定被京津冀区域内省部级及以上生态环境主

管部门采纳的相关标准或技术指南（建议稿）1项；便携式臭味快速识别装备1套，支持硫醚等5类以上黑臭特征污染物的现场快速检测，单样检测时间 ≤ 8 min，黑臭水体臭味类型判别准确率 $\geq 80\%$ ；水体臭味4级强度分级标准1套，明确硫醚等特征物质阈值，得到京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；臭味-黑臭物质多模态数据库1个，包含 ≥ 2000 种化合物质谱数据，不小于50组京津冀地区黑臭水体样本的联用质谱数据及臭味等级与水质参数；智能质谱解析算法模型3个，实现全自动质谱数据分析；质谱与高阶表征特征污染物匹配算法1个，在标准样本测试中的目标化合物识别准确度 $\geq 85\%$ ；跨模态的质谱与结构匹配算法1个，质谱库外臭味污染物结构鉴定准确度 $\geq 75\%$ 。

4. 流域穿透式“源-汇”关联构建算法1套，实现受纳水体-排口-主要污染源的一体化感知，源-汇解析（污染溯源+路径刻画）综合准确率达到75%以上；污染源精细化智能化综合管控与环境风险应急算法工具箱1套，包括污染源信息库、水质荧光指纹数据库、污染溯源案例库、水环境异常排污事件案例库等，流域水环境异常污染排放事件识别准确度达到70%以上；在京津冀重点流域的2个及以上典型区域（白洋淀流域和秦皇岛入海河流等）开展地表水污染源汇一体多维感知关键技术应用，完成6个

月以上业务化运行，提交运行记录及应用报告 1 份，形成可推广的技术方案和管理策略。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

1.5 京津冀土壤-地下水环境感知网络关键技术研究

研究内容：

针对京津冀土壤与地下水环境监测网络存在的时空分辨率不足、监测尺度与目标单一、综合监测统筹能力薄弱等问题，研究省域-市域-县域-地块多尺度嵌套的土壤生态环境高效监测网络构建理论与方法，开发土壤风险点位及周边监测点位布设和优化技术，建立面向风险预警、污染溯源、质量评价、健康评估的土壤监测指标及评价方法；研究含水层非均质性与水力联系对地下水监测网络效用的影响机制，研发兼顾空间代表性与时间灵敏度的区域监测网络布点方法和面向“一区两场”（化工园区、垃圾填埋场及危险废物处置场重点区）的监测指标与点位优化方法，研发高泵速低耗水量洗井装备和采样技术，构建覆盖山前冲洪积

扇、冲积平原、滨海平原的多目标监测技术体系；研发感知土壤污染、植被和土地利用的天空一体卫星遥感与无人机高光谱协同监测装备与调查方法，开发移动式土壤污染地面探测装置，建立协同便携式探地雷达等多源地球物理技术的复杂地层刻画及污染物渗漏与分布识别物探系统，构建“从天空到地下”多手段感知体系；研究多技术集成的溯源监测体系，开发土壤与地下水污染指纹图谱数据库及源头指纹匹配算法，构建融合地统计与机器学习方法的源头精准定位技术，研发原位土-水-气多介质协同的三维追踪监测技术，形成集成监测-源识别-预警的动态感知与决策模式；构建监测数据融合技术，建立“十三五”“十四五”融合监测数据集和案例库，研发京津冀土壤与地下水环境智慧监测系统，构建区域尺度全链条监测组网技术，提出应用场景驱动的监测模式，并在京津冀典型区域和重点行业开展组网技术、溯源预警与感知装备的应用验证，形成监测技术规范，为数智化监测提供场景化解决方案。

考核指标：

1. 土壤环境监测网络布设及优化技术 1 套，涵盖土壤性质和污染风险的空间异质性，点位空间均匀变异指数 <0.5 ，并形成行业文件 1 个，在国家土壤环境监测网中应用；区域土壤环境质量变化评价模型 1 套，模型可信度 $R^2 \geq 0.7$ ；重点污染源监测点

位布设方法 1 套，覆盖有色金属冶炼、化工等重点行业，实现质量变化的溯源和高效预警，污染热点识别率 $\geq 90\%$ ；面向风险预警、污染溯源、质量评价、健康评估等多维度土壤监测评价方法 1 个，形成咨询报告，被国家生态环境行业主管部门采纳应用。

2. 面向区域和“一区两场”等重点污染源地下水的监测指标与点位优化方法 1 套，建立“流场刻画-水质评估-污染源解析”全覆盖的地下水监测评价方法 1 套，形成咨询报告，被国家生态环境行业主管部门采纳应用于支撑国家地下水环境监测网建设和地下水环境质量考核；融合智能变速抽提技术的高泵速低耗水量洗井装备 1 套，单井洗井时间较低流量采样方式缩减 30% 以上。

3. 无人机搭载高光谱成像设备 1 套，高光谱波段数大于 300 个，工业地块变化遥感信号和污染源周围多介质潜在污染特征响应关系和调查方法 1 套，土壤重金属和石油烃污染分布反演误差较传统地统计方法降低 30%；移动式土壤环境光电传感微扰动地面探测装备 1 套，申请或授权发明专利 1 项，测量行驶速度 ≥ 3.6 km/h，实现土壤盐分、酸碱度和重金属等 ≥ 10 个指标的检测，核心零部件国产化率 $\geq 90\%$ ；抗干扰探地雷达装备及协同多源物探的地层结构刻画及地下水污染渗漏识别技术 1 套，实际探测深度 ≥ 20 m，污染渗漏识别精度可达 80%。

4. 京津冀地区土壤和地下水污染指纹图谱数据库各 1 套，

样品特征指纹数量合计 ≥ 500 ；结合地统计及机器学习技术的污染源精准定位与感知算法 1 套，源识别率 $\geq 90\%$ ；挥发性有机污染物多介质协同原位监测技术 1 套，融合跨介质迁移模型的地下环境污染源识别模型 1 套，追踪监测成本较单一介质技术降低 30%以上；多元数据融合解析、多技术协同的溯源监测技术体系 1 套，编写相关技术规范 1 套；构建集成监测-源识别-预警的动态反馈的多目标融合预警技术体系 1 套，预警响应时间 ≤ 24 h，监测预警特征指标 ≥ 5 种。

5. 京津冀土壤与地下水监测数据融合与集成算法 1 套，包含多模态监测数据接入、传输与集成管理功能，土壤与地下水监测融合数据集 1 套，数据时间跨度 > 10 年(含 2015 至 2025 年)；京津冀土壤与地下水生态环境监测智慧系统 1 套，具备灵敏感知、污染溯源与风险预警等核心功能，支持 ≥ 1000 用户并发访问，系统响应时间 ≤ 5 s，在京津冀土壤和地下水环境监测中稳定运行 6 个月以上，提供考核评估、溯源执法、预警应急等应用场景的系统运行报告；在京津冀开展监测组网技术应用，土壤组网涵盖农用地、林地、建设用地等 3 种以上用地类型，地下水组网囊括山前冲洪积扇、冲积平原、滨海平原等 3 类以上水文地质条件，累计应用面积 ≥ 2 万 km^2 ，并在省部级及以上生态环境监测工作中应用；在京津冀区域选择化工园区、垃圾填埋场和危险废物处

置场开展重点源装备、溯源预警技术以及土壤与地下水协同监测业务化应用，累计应用面积 $\geq 100 \text{ km}^2$ ；土壤和地下水监测技术规范 1 套，含冶炼、化工等重点行业技术规定或指导手册 ≥ 5 个，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 3 年。

1.6 京津冀区域生态质量智慧感知关键技术研究与应用

研究内容：

针对京津冀区域生态质量监测中存在的监测网络体系不完善、样地尺度区域生态质量参数感知能力不足、物种识别智能化水平低等问题，研究及时有效的生态监测站点布局及优化方法，研究京津冀区域生态质量监测指标与标准化方法，研发区域生态质量监测全流程质量控制技术、多源数据融合技术；面向样地尺度的区域生态质量参数感知，研发植物群落结构参数的智能提取算法、植物物种智能分类与识别技术，研制植被结构、物种信息等自动化感知与识别装备，研制植物三维日光诱导叶绿素荧光

(3D-SIF) 成像技术与装备; 面向生态质量综合监测站的定位监测, 研发声像联动的动物监测与识别关键技术及装备, 建立涵盖鸟类、哺乳动物等京津冀地区常见动物图像、声纹数据库, 研发动物声像大模型识别技术, 集成研发原位自动连续监测一体化装备, 研发实验室自动化淡水-海洋底栖重要指示生物识别技术装备; 构建京津冀区域生态质量综合评估方法体系, 建设京津冀地区兼顾生物多样性的区域生态质量监测网络综合管理与分析评价系统, 实现生态风险与问题的主动监测与研判, 并在京津冀地区的森林、草地、湿地、海洋、城市等生态质量综合监测站开展应用。

考核指标:

1. 京津冀区域生态质量监测网络站点布设及优化方法 1 套, 京津冀地区兼顾生物多样性、生态安全的区域生态质量监测指标与标准化方法 1 套, 京津冀区域生态质量监测网络建设方案建议稿 1 份, 主要包括生态质量样地与综合监测站的点位布设、设备选型、监测指标、监测频次、监测技术规程、运行维护, 被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳, 重点生态区域生态网络监测覆盖率提升到 90%; 覆盖“布点-采集-传输-处理-分析-应用”的区域生态质量监测全流程的质量控制技术报告 1 份, 被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳; 区域

生态质量遥感与地面监测的多模态数据融合模型 1 套，京津冀典型区域 3 类以上生态监测数据的融合与同化数据集 1 套，数据精度 $\geq 80\%$ 。

2. 样地尺度植物群落结构参数的智能提取模型 1 套，植物物种智能分类与识别技术体系 1 套，样地尺度植被结构、物种信息等自动化感知与识别技术装备 1 套，对森林、灌丛、草地的植物群落结构关键参数（乔木层多度、高度、胸径、冠幅、郁闭度等，灌木层多度、高度、基径、丛幅、盖度等，草本层多度、高度、盖度等）提取的平均准确率 $\geq 80\%$ ，对本地和外来的植物物种智能分类与识别准确率 $\geq 80\%$ ，并申请或授权不少于 1 项发明专利；三维日光诱导叶绿素荧光（3D-SIF）成像装备 1 套，系统信噪比（SNR）达 5~10，与地面标准光谱仪的交叉验证结果一致性优于 $R^2 \geq 0.8$, $RMSE \leq 0.25 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

3. 声像联动动物智能监测装备 1 套，反应速度 $\leq 1 \text{ s}$ ，至少支持 50 倍光学变焦，可在 10 s 内对静止无遮挡目标连续拍摄 ≥ 9 张；京津冀地区物种的图像数据库 1 套、声纹数据库 1 套，涵盖不少于 300 种常见鸟类、哺乳动物等物种，含高质量声纹特征数据 ≥ 5 万条；动物声像大模型 1 套，75%以上常见或重要物种分类（种）识别准确率 $\geq 80\%$ ；针对生态质量综合监测站的原位自动连续监测一体化装备 1 套，可同步实现植被、土壤、气象等

类别共不少于15种指标的监测,边缘侧数据质控覆盖度 $\geq 90\%$,装备搭载主体相比传统塔基建设综合成本降低30%及以上;实验室淡水-海洋底栖生物自动识别装备1套,具备正面、侧面等多角度同步成像功能,成像分辨率 ≥ 500 万像素,底栖生物图像识别准确率(属水平) $\geq 90\%$,对不少于100种重要指示物种的识别准确率 $\geq 95\%$;"风险阈值-政策响应"联动模型1套,可实现 ≥ 7 类情景(保护区、禁渔期、限额捕捞、气候变暖、建设工程、增殖放流、海洋牧场等)的政策响应。

4. 京津冀区域生态质量综合评估方法体系1套,得到京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用;京津冀地区兼顾生物多样性的区域生态质量监测网络综合管理与分析评价系统1套,具备监测数据异常报警、数据质量报告自动生成、数据自动分析、区域生态质量评价报告自动生成等功能,响应时间 ≤ 5 min;在京津冀地区森林、草地、湿地、海洋、城市等5种不同类型生态质量综合监测站及其代表的典型生态区域,开展区域生态质量智慧感知技术与装备的应用,空间上涵盖北京、河北、天津典型区域,运行时间不少于6个月。

申报说明:

本项目实行总承包单位负责制,项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类,其

他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 3 年。

1.7 京津冀国产环境卫星数据驱动的生态感知与质量控制 关键技术研究

研究内容：

针对我国生态监测评估面临的国外卫星遥感数据依赖度高、反演模型本地化程度低、国产环境卫星生态监测产品体系构建与质量控制不完善、技术方法自主可控程度不高等突出问题，开展环境二号卫星、大气环境监测卫星、高光谱综合观测卫星等多源数据的自适应辐射一致化与高精度大气校正方法研究，引入时空动态辐射传递模型、基于深度神经网络的传感器响应重建等方法，形成面向参数反演等多任务场景的跨传感器高精度一致性反射率标准产品体系，开展跨传感器智能融合、跨模态信息对齐、多尺度协同匹配融合模型研究，研究跨模态匹配机制，研发深度学习驱动的稠密匹配与二、三维协同表达方法；开展国产空基遥感平台与地基多源异构传感网的一体化感知数据在高维非线性特征空间下的协同表征与智能耦合机理研究，融合感知-认知-算法，研发国产卫星遥感多源异构数据耦合的生态系统多维表征参数反演全链路（从地表反射率到最终应用产品）技术栈，研发对其

时空连续体属性的动态感知与确定性评估技术，研发基于深度学习模型的多参数相互制约的同时提取技术，研究基于地面验证的产品质量控制及提升技术；耦合国产卫星遥感数据产品和生态监管大语言模型专题信息，构建生态状况评估参数库，研发“遥感-地面-统计”数据协同的多模态生态参数数据空间一致性处理技术，研发生态服务功能评估参数-模型智能映射与动态匹配技术，构建满足区域生态质量评价和生态状况定期评估需求的精细化评估技术体系；研究融合多源卫星、近地面激光雷达与实地调查的重要保护物种栖息地参数智能提取方法，研究栖息地及迁徙通道分布干扰类型精细化识别技术，研发多源数据驱动的重要保护物种栖息地及迁徙通道分布高精度识别技术；搭建可稳定运行的国产卫星驱动的星地协同生态智能感知产品生产系统，构建多模态生态感知智能数据库，建设国产卫星生态关键参数产品体系及质量控制体系，开展数据与机理双路径驱动的京津冀生态质量高精度评价、生态状况定期评估、保护修复成效定量化评估、重要保护物种栖息地及迁徙通道智慧监测等应用。

考核指标：

1. 多源国产卫星及十米级新载荷数据全链路预处理技术体系 1 套，包含不少于 3 个预处理产品，精度优于 85%，几何偏差中误差优于 1 个像元，辐射校正差异 $<5\%$ ，气溶胶光学厚度提取

精度优于 $0.03 \pm 10\%$ ，大气校正精度优于 85%；多源国产卫星数据多模态融合技术 1 套，融合多源国产卫星数据源不少 5 种，区域尺度空间分辨率不低于 16 m，重要保护空间和城市尺度空间分辨率不低于 2 m，异源光学影像配准精度优于 1 像素，光学与合成孔径雷达（SAR）数据以及 SAR 数据相互之间配准精度优于 2 个像素，三维建模精度优于 5 个像素。

2. 融合国产卫星与地基多源异构传感网一体化感知数据的生态系统多维表征参数机理模型算法 1 套，涵盖不少于 5 个参数的模型算法；生态系统多维表征参数反演全链路（从地表反射率到最终应用产品生产）技术 1 套，生态系统时空连续体属性的动态感知与确定性评估技术 1 套，产品时间分辨率不低于月度，验证精度 $\geq 85\%$ ；天空地协同验证监测技术 1 套、质量控制技术方法 1 套，形成技术指南 1 套得到京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；基于深度学习模型的多参数相互制约的同时提取技术不少于 3 项，参数不少于 5 个，提取精度 $\geq 85\%$ 。

3. 面向国家尺度生态服务功能精细化评估的分区分类参数体系 1 套（包含水源涵养、土壤保持等重要服务功能的关键参数），参数信息完整度 $\geq 85\%$ ；面向重点区域二级精细化分区分类参数体系 1 套，参数信息完整度 $\geq 70\%$ ；生态系统服务功能评估参数空间一致性处理技术 1 套，申请或授权发明专利 1 项，其中“遥

感-地面-统计”三类数据像元的空间一致覆盖率 $\geq 80\%$ ，针对水源涵养、土壤保持等至少 2 类生态系统服务功能类型，建立模型算法与分区分类参数匹配关键技术，形成参数-模型映射数据表，映射匹配度 $>85\%$ 。

4. 基于多源卫星、近地面激光雷达与实地调查数据的栖息地完整性与冠层高度、树冠密度、冠层复杂性等精细尺度三维结构参数提取技术方法 1 套，参数不少于 7 个，空间分辨率不低于 10 m，时间分辨率达到年度；基于多源时序卫星遥感的重要保护物种栖息地及迁徙通道分布干扰类型识别技术方法 1 套，类型不少于 10 种，精度达到 85%，空间分辨率不低于 10 m，时间分辨率达到年度；融合多源数据的重要保护物种栖息地及迁徙通道智能识别技术方法 1 套，涉及重要保护鸟类、哺乳动物 ≥ 10 种，栖息地识别精度 $\geq 90\%$ ，迁徙通道识别精度 $\geq 80\%$ ，涵盖关键停歇地、资源点和迁徙瓶颈等重要节点，空间分辨率不低于 10 m，时间分辨率达到年度，申请或授权发明专利 1 项。

5. 融合星地协同智能感知的国产卫星生态系统多维产品生产评估系统 1 套，具备国产卫星生态关键参数、生态功能产品生产、重要保护物种栖息地及迁徙通道智能监测等模块；国产环境卫星数据驱动的生态关键参数产品体系及质量控制体系 1 套，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；多模态

感知-混合评估双驱型动态数据库，包括生态系统关键参数产品数据集 1 套、生态系统服务功能评估数据集 1 套、重要保护物种栖息地迁徙通道监测数据集 1 套，形成包含基础数据、参数产品、评估产品、专项监测评估产品的国产卫星核心产品体系，支撑国家生态保护修复监管核心业务；基于国产卫星的京津冀生态质量、生态状况、保护修复成效精细化评估等多场景业务化应用，应用遥感数据空间分辨率由 500 m~1 km 提升至不低于 16 m，应用报告不少于 3 份，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；重要保护物种栖息地及迁徙通道干扰动态智慧监管应用场景不少于 2 处，涵盖不少于 10 种重要保护物种栖息地及迁徙通道。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 3 年。

1.8 京津冀堆存固废快速排查溯源关键技术研究与应用示范

研究内容：

针对京津冀地区建筑垃圾、一般工业固废等固废非正规堆存问题发现慢、发现难、鉴定慢、溯源困难等问题，围绕非正规堆存固废“筛查”“分类”“鉴别”“溯源”关键环节，研究构建涵盖“固废堆存点位卫星快速排查-固废类型无人机详查-固废工艺来源现场快速鉴定-固废堆存证据链构建”的堆存固废快速排查溯源关键技术体系，构建典型固废多传感器卫星遥感样本库和知识库，研发融合多源空间数据的堆存固废排查大模型构建技术，研究自监督学习支持下的堆存固废排查大模型参数优化技术，研发大语言模型和知识驱动的堆存固废快速判别技术；研发堆存固废“图谱合一”无人机调查装备，研发固废无人机图谱样本统一标注技术，开发固废种类精准判别技术，研究多源信息实时处理分析技术；研发固废现场快速检测与数据库构建技术，研究固废指纹特征识别与图谱构建技术，研究复杂固废工艺来源快速精准鉴定技术，开展固废工艺来源鉴定技术装备集成研究；研发固废来源企业清单构建技术，开发融合多源异构数据的固废产排异常智能诊断方法，建立堆存固废的多模态证据链融合技术方法；构建堆存固废“卫星排查-无人机详查-现场快检-证据追溯”的固废排查溯源业务模式，研究固废快速排查溯源技术标准规范，研发京津冀固废智慧感知业务系统，在京津冀开展堆存固废排查溯源技术集成应用示范，开展固废非正规堆存综合分析和对策建议

研究。

考核指标：

1. 堆存固废多传感器卫星遥感样本集 1 套，传感器包括光学、雷达等，无标签样本 ≥ 10 万个，语义分割样本 ≥ 5 万个；典型堆存固废卫星排查知识库 1 套，知识检索准确率 $\geq 90\%$ ；耦合多源空间数据的堆存固废排查大模型 1 套，面向固废成像特征的模型适配器 ≥ 3 个；自监督学习支持下的固废排查大模型参数优化技术 1 套，自监督学习策略 ≥ 2 种；大语言模型和知识驱动的堆存固废快速判别技术 1 套，固废判别准确率 $\geq 80\%$ ，卫星固废排查效率 $\geq 20 \text{ km}^2/\text{min}$ ；技术支撑生态环境部固废遥感排查业务，申请或授权发明专利 ≥ 1 项。

2. 堆存固废无人机调查装备 1 套，具备多源信息采集、定位与数据传输能力，可实现点式光谱与图片融合功能；无人机固废样本集 1 套，其中图片样本数量 ≥ 10 万个，空间分辨率优于 0.1 m ，光谱样本数量 ≥ 1 万条，光谱分辨率优于 3 nm ；空谱融合固废快速分类模型 1 套，分类准确率 $\geq 85\%$ ；多源信息实时处理分析技术 1 套，模型剪枝率 $\geq 50\%$ ；申请或授权发明专利 ≥ 1 项。

3. 便携式固废快速采样检测设备 1 套，至少可同步获取固废气味、pH、含水率等 6 种基础指标数据；典型固废多模态特

征数据库 1 套,包括微观结构、宏观照片等图片特征和元素含量、浸出浓度等数值型特征;工艺来源固废指纹特征图谱 1 套,涵盖京津冀区域 85%以上的行业,指纹特征识别准确率 $\geq 90\%$;固废工艺来源鉴定技术集成装备 1 套,现场检测至初步工艺来源鉴定结果输出时间 $\leq 30\text{ min}$,不明来源固废工艺来源鉴定准确率 $\geq 85\%$;申请或授权发明专利 ≥ 1 项。

4. 京津冀地区固废来源企业清单构建技术 1 套,包括固体废物产生特征与来源企业之间的映射规则;固废数据异常智能诊断方法 1 套,实现对固废处置量和去向异常的智能识别,识别准确率 $\geq 85\%$;固废堆存多源证据链融合技术方法 1 套,集成卫星遥感、现场快检、企业申报等多源数据,证据链至少关联 3 类数据,多源证据相互矫正识别准确率提升 $\geq 30\%$ (与单一证据相比)。

5. 堆存固废“卫星排查-无人机详查-现场快检-证据追溯”排查溯源业务模式 1 套,被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用;堆存固废排查溯源相关行业标准或技术指南 ≥ 2 项,被生态环境部采纳;堆存固废智慧感知业务系统 1 套,全流程自动化处理率 $\geq 90\%$,支持多源样本复用,支持主流国产卫星影像接入,集成至生态环境部固体废物执法平台实现数据互联互通,业务化运行一年以上;在京津冀全域开展堆存固废排查与溯源应用示范,形成堆存固废一张图,更新频次不低于一个季

度，成果接入京津冀区域内省部级及以上固体废物管理信息系统，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；堆存固废快速排查溯源研究报告被生态环境部采纳 ≥ 2 项。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

1.9 京津冀陆海过渡带关键生态区碳汇协同监测与核算关键技术研究与应用示范

研究内容：

针对京津冀陆海过渡带陆域部分的关键生态区碳汇协同监测能力不足、可达性差和监测盲区多、碳汇参数反演算法精度有限、碳汇核算方法及效益评估体系不完善等问题，提出针对湿地、森林、农田等生态系统的碳通量及环境参数定位监测与多尺度协同观测方案，明确布点原则、观测指标、数据质控等，基于“生态绿屏-河流廊道-滨海湿地”的碳汇监测网络，开展碳通量及环境要素长期定位监测，实现野外在线设备集成与数据实时同步；研制基于开放光路（OP）-可调谐二极管激光吸收光谱技术（TDLAS）技术的原位在线、高精度光腔衰荡光谱技术（CRDS）

的水域巡测、小型化量子级联激光（QCL）-TDLAS 无人机航测的碳通量观测设备，开发多系统集成的碳通量计算方法及全过程数据质量控制流程，并研发近全碳大气污染物闭合以及城市碳与温室气体排放的智能化监测技术；融合卫星与无人机遥感数据，开发“卫星-无人机-样方”三级协同的生态系统碳汇参数反演算法，编制碳汇参数估算技术规程，明确数据处理、反演算法、质量控制等标准化流程，实现区域尺度碳汇参数精准估算；开发多源数据驱动的碳动态模型，建立融合多源监测数据的区域生态系统碳汇核算方法，并支持多源监测数据的动态更新，提出适合于陆海过渡带重大生态修复工程的多维度碳汇效益综合评估框架，编制碳汇核算和效益评估技术规范，开展区域尺度生态系统碳汇核算与碳汇效益评估；制定区域生态系统碳汇“监测-评估-管理”全链条示范方案，开发集成数据管理与决策支持功能的碳汇服务系统，在京津冀典型区开展应用示范，验证多源协同监测与碳汇核算的运行能力。

考核指标：

1. 含定位监测与“卫星-无人机-样方”三级协同的碳通量及环境参数监测方案 1 套，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；生态系统碳通量及环境要素专题数据集 1 套，依托国家生态质量综合监测站，在京津冀陆海过渡带“生态绿屏-

河流廊道-滨海湿地”设置不少于 5 处长期定位观测点(每个示范区内 ≥ 1 处),开展 CO_2 和 CH_4 通量、气象、水文、土壤、植被等要素连续观测,以及植被和土壤碳库动态监测,连续观测时间 ≥ 1.5 年,专题数据集需含连续观测要素 ≥ 25 项,时间分辨率 30 min,碳通量年均有效数据 $\text{CO}_2 \geq 270$ 天, $\text{CH}_4 \geq 150$ 天;多设备集成化智能管理平台 1 套,支持 ≥ 8 类异构设备的标准化接入与数据远距离无线传输,跨设备数据同步误差 < 60 s,满足真实场景稳定运行至少 6 个月,出具生产运行台账并提交用户应用评价证明。

2. 基于 OP-TDLAS 技术的在线、基于 CRDS 技术的水域巡测、基于 QCL-TDLAS 技术的无人机航测碳通量观测系统各 1 套,其中开放光路设备单光程 $\geq 1\text{km}$, CO_2/CH_4 测量精度分别为 0.1 ppm/5 ppb,响应频率 10 Hz;水域巡测设备 CO_2/CH_4 测量精度分别为 0.1 ppm/0.5 ppb,响应时间 ≤ 120 s,无人机设备重量 ≤ 2.5 kg,续航 ≥ 4 h,响应频率 10 Hz, CO_2/CH_4 精度分别为 0.1 ppm/0.5 ppb,所有设备的核心零部件国产化率 $\geq 90\%$,开放光路通量碳设备可稳定运行 30 天,水域巡测设备可实现连续 100 km 的连续巡航观测或 30 天的原位连续观测,无人机通量设备可实现至少 30 天航测;多系统集成的碳通量计算方法及全过程数据质量控制流程 1 套,形成系统校准标定和操作方法,与同一生态

系统的地面通量塔/箱式法直接观测数据相比，开放光路、水域巡测和无人机航测的碳通量估算误差分别不超过 30%、20%和 30%；基于 CRDS 技术的近全碳大气污染物闭合观测技术 1 套，实现 CO₂、CH₄、CO、H₂O 等至少 4 种温室气体及污染物的同步监测，CO₂/CH₄/CO/H₂O 精度为 0.1 ppm/0.5 ppb/10 ppb/100 ppm，无机碳组分闭合误差 ≤20%；支持无人机航测与物联网数据融合的排放热点识别与动态评估的城市 CO₂/CH₄ 排放智能化监测技术 1 套。

3. 研制跨生态系统碳汇参数反演算法 1 套，以长期定位观测点为基准，每个生长季开展不少于 3 次的无人机航测，累计单点年观测样地面积 ≥500 公顷，支持与 3 种以上卫星数据的标准化处理与融合，卫星-无人机空间配准误差 ≤10 m，无人机-地面控制点误差 ≤1 m，NEE、GPP、NPP 等碳汇参数反演算法需适用于湿地、森林、农田等不少于 3 种生态系统，与地面验证数据相比碳汇参数的反演误差不超过 20%，且较单一卫星遥感方法的反演精度相对提升幅度 > 15%，空间分辨率 ≤250m；碳汇参数估算技术规程 1 份，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；覆盖京津冀陆海过渡带区域 ≥10000 km² 的碳汇参数产品 1 套，空间分辨率 ≤250m，时间分辨率 ≤8 天。

4. “植被-土壤”碳动态耦合模型 1 个，实现小时尺度碳通量

模拟，在站点尺度的模拟误差 $\leq 25\%$ ；涵盖湿地、森林、农田等生态系统的碳汇核算方法 1 套，核算结果空间分辨率 $\leq 250\text{ m}$ ，时间分辨率 $\leq$ 月度，碳汇核算精度较单一遥感方法提升 10%；碳汇效益综合评估指标体系 1 套，编制碳汇核算和效益评估技术规范 1 份，指标体系和技术规范通过领域专家评审，得到京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳应用；包含不少于 10 年的碳汇时空变化、归因分析、政策效益等内容的综合评估报告 1 份，评估京津冀陆海过渡带关键生态区碳汇变化趋势，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

5. 可复制推广的区域碳汇“监测-核算-评估”全链条示范模式方案 1 套，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；结合长期定位观测点与示范方案，在天津七里海湿地、北大港湿地、河北南大港湿地及周边大型水库开展为期不少于 1 年的业务化示范运行，示范区范围 $\geq 20\text{ km}^2$ /处，示范期内数据获取时间完整率 $\geq 80\%$ ，并建成 1 个集成数据管理与决策支持功能的碳汇服务系统，具备定制化展示、查询、下载等功能；开展示范区生态系统碳汇核算评估，与地面碳通量实测数据相比核算精度 $\geq 80\%$ ，明确具体生态保护措施碳汇效益。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费

比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

1.10 京津冀多介质典型污染物智能监测关键技术研究与应用

研究内容：

针对复杂环境中包括全氟化合物、环境内分泌干扰物、抗生素等在内的典型污染物提取分析效能低下，高通量自动化智能监测技术与感知识别能力匮乏，不同介质污染物迁移转化路径不清，多源异构数据有效融合与协同分析缺乏，不同类型污染源现场智能监控系统缺失等问题，研发多介质环境样品采集智联直读技术与装备，建立集成样品自动化前处理与全谱污染物非靶标高通量检测于一体的关键分析技术，开发基于效应导向研究策略的复杂介质中高风险典型污染物的筛选与甄别技术；构建复杂介质中典型污染物及关键反应中间体的痕量靶标分析方法与测试质控技术，建立化学结构-色谱质谱行为-生物毒性的多维标准化数据库，实现典型污染物的高通量智能感知定量分析；研究建立京津冀典型污染物“产-排-汇”全过程智能解析理论，开发污染物迁移路径预测模型与生态风险动态评估算法，优化异常监测数据的自动识别算法，构建多源典型污染物现场智控监测系统；精准识别京津冀不同行业主要污染源的关键成分谱，摸清典型区域不同介质污染物的环境本底和空间分布，整合其环境持久性、迁移转化行

为、生物毒性等多维信息，提出包括全氟化合物、内分泌干扰物、抗生素等在内的高风险污染物全谱清单；选择京津冀典型区域，开展入海典型污染物“产-排-汇”高通量现场实时监测技术、废水废气等污染源的智能化可控监测关键技术应用，采用深度学习融合多源异构数据，研发污染物环境风险识别方法与定量监测系统，形成京津冀地区有毒有害化学物质环境暴露途径智能识别监测与环境风险评估技术体系。

考核指标：

1. 废水、废气中污染物一体化智能采样直读装备各 1 套，实现 COD、氨氮，SO₂、NO_x、烟尘等参数的直读传输，数据直采传输准确率 ≥ 99%；底泥、大气细颗粒物等自动化样品预处理样机 1 套，集成加速溶剂萃取仪、全能样品前处理设备、多维滑轨机械臂的自动化预处理系统，实现样品制备、提取、净化、浓缩全流程自动化，形成技术验证报告 1 份；基于深度学习的全谱污染物质谱特征挖掘算法 1 项，申请或授权发明专利 1 项，优化形成全谱污染物非靶标高通量检测技术，准确率 ≥ 85%；兼容主流 3~5 种质谱数据格式的智能筛查体系 1 项，实现跨平台数据的标准化分析与快速处理，单样品全流程（含数据清洗与特征提取）处理时间 ≤ 10 min；化学物质危害评估技术 1 套，涵盖针对内分泌干扰效应、免疫毒性等 30 余个毒性靶点的分级测试生物分析

方法；高通量自动化成组毒理快速筛选检测装备 1 套，识别复杂介质中多靶点毒性效应污染物 3 类以上，每批次筛选 8~10 个样品，实现复杂样品单批次测试时间 ≤ 12 h，形成组分分离-毒性识别-化学结构鉴定的高风险特征污染物识别技术文件 1 项，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳。

2. 痕量靶标先进分析测量技术至少 3 套，针对大气、地表水及土壤环境介质中的全氟化合物、内分泌干扰物、抗生素等 3 类 100 种以上典型污染物及其反应中间体，检测精度达 1~10 ng/L 或 ppt 级，形成痕量污染物分析标准方法 1 项，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；3 类以上典型污染物靶标分析质控体系 1 套，研制典型污染物的环境标准参考物质 1~2 项；实时动态更新的多维标准化数据库 1 个，至少覆盖 200 种污染物，包含污染物结构、理化性质、色谱质谱行为、毒性等数据信息 2000 条以上；连续进样高通量靶标分析技术 1 项，基于多级质谱数据挖掘开发至少 3 类 100 种以上特征污染物智能解析与定量分析模块，实现多介质环境样品高通量快速检测，分析通量至少达 20 个样/h。

3. 多介质迁移扩散模型 1 套，涵盖 10 种以上特征污染物，模拟结果与观测数据的决定系数 $R^2 \geq 0.9$ ，量化污染物在水体-悬浮颗粒物-沉积物中的分配系数 (K_d)，分配系数的预测值与

实测值相对误差优于 $\pm 10\%$ ；典型污染物陆海耦合多介质迁移模型 1 套，空间分辨率 $\leq 5\text{ km}$ ，时间分辨率 $\leq 2\text{ h}$ ，与实测轨迹对比，迁移路径预测误差优于 $\pm 10\%$ ；多污染源典型污染物的现场智能可控监测管理系统 1 套，包括记录电子化技术方案与智能终端，污染源多来源监测数据交叉核查验证模型 1 套，异常数据识别准确率达到 75%以上。

4. 不同行业典型污染物清单 3 个，针对京津冀区域化工、养殖业、制药等 3 个以上不同行业废水、废气、废渣等主要污染源，每个行业识别 50 种以上典型污染物；高风险典型污染物数据库 3 个，定量分析污染源周边与远距离地区汛期与非汛期地表水、土壤、大气细颗粒物、生物等 800 余个环境样品中污染物的浓度水平与时空分布特征，收集整理至少 50 种典型污染物的环境持久性、迁移转化与生物毒性数据 1000 条以上；优控污染物的监测管控方案 3 个以上，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳，在 50 种典型污染物中筛选出至少 30 种，形成京津冀典型区域高风险污染物清单。

5. 在天津滨海新区入海河口开展典型污染物高通量现场实时监测技术业务化应用，应用期 6 个月，在重点关注应用区设置监测点位 1~2 个，每个点位同时监测典型污染物不少于 3 类；在京津冀地区开展多污染源典型污染物的现场智能可控监测关键

技术应用，应用期不少于 6 个月，涵盖废水、废气样品 ≥ 200 个，形成可推广的技术方案，被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳；人工智能的毒性预测算法 1 项，涵盖目标应用研究区域至少 3 类 100 种以上有毒高风险典型污染物，毒性预测准确率 $\geq 90\%$ ，构建环境污染分析-毒性预测联动风险评估体系 1 套。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

板块二：跨介质复合污染调控模拟器

2.1 京津冀城市水环境系统多过程协同仿真模型研发

研究内容：

面向社会经济活动高强度、水生态环境高压力的京津冀城市区域，研究 C、N、P 多形态及内分泌干扰物、全氟化合物、抗生素、重金属等污染物在城市水环境系统中的迁移转化机制，系统解析其在地表径流输移、雨污管网输送、污染控制设施处理、城市水体自净等关键过程中的物理-化学-生物耦合动态行为，构建基于迁移转化机制和耦合动态行为的污染物迁移转化关键数理方程体系；研究基于动态尺度变换的城市社会-工程-自然复合

水环境系统多尺度水文-水质模拟框架，开发数据-模型同化的模型实时校正技术，构建适应监测数据稀缺、低信噪比条件的城市地表径流-管网水动力与水质模拟模型；研究污染排放、水动力、水质和水生态高效耦合框架和算法，突破多过程时空域混合网格数值模拟技术，开发建立地块-雨污管网-处理回用设施-城市水体双向耦合的城市水环境系统多过程协同仿真模型；开发多种数据条件下复杂模型参数、超参数优化与模型不确定性分析技术，研发专门工具箱，开展实体观测与场景模拟相结合的城市水环境系统多过程仿真模型效果验证、参数校准与应用优化；融合机理模拟与人工智能，开发汛期污染与内涝联合预警预报、断面水质超标溯因与达标支撑、冲击负荷下城市水体评估与预警等管理决策支持工具集。

考核指标：

1. 城市水环境系统多过程多污染物迁移转化机制数理方程 1 套，包括：COD、BOD₅、氨氮、硝氮、总氮、总磷等传统污染物及内分泌干扰物、全氟化合物、抗生素、重金属 4 类不少于 8 种新污染物在地表径流、雨污水管网输送、处理再生、城市水体自净等多过程中迁移转化的动力学方程。机理方程准确性达到平均绝对百分比误差（MAPE）低于 15%或痕量污染物平均绝对误差（MAE）与检测再现性限可比。

2. 城市地表径流-管网水动力与水质模拟模型 1 套，水力学指标模拟结果纳什效率系数（NSE）不低于 0.75，水质类指标模拟结果平均绝对百分比误差（MAPE）低于 10%或痕量污染物平均绝对误差（MAE）与检测再现性限可比，水量水质地块-汇水区-管网跨尺度耦合质量守恒误差小于 2%，较现有同类成熟模型计算时间缩短 30%以上，计算加速比不小于 3，同化数据利用率不低于 70%。

3. 城市社会-工程-自然复合水环境系统多过程仿真模型 1 套，涵盖地块-雨污管网-处理回用设施-城市水体各模块水量水质双向耦合，不同模块间计算交互通讯时间小于分钟级，模型模拟最小时间步长为 5 min，空间分辨率达到 10 m，局部达到 1 m，可同时实现事件驱动模拟与长期连续模拟。

4. 选择不少于 50 km²分别覆盖京津冀典型城市区域 3 处、不少于 5 场典型降雨过程（大暴雨、暴雨、大雨、中雨、小雨）开展验证，与同类模型应用相比，参数与超参数优化效率提高 20%，模型在验证集和测试集上的差异减少 20%；水力学指标模拟结果纳什效率系数（NSE）不低于 0.85，水质类指标模拟结果平均绝对百分比误差（MAPE）低于 10%或痕量污染物平均绝对误差（MAE）与检测再现性限可比。

5. 开发菜单式水质管理决策支持工具集 1 套，支撑管理部

门业务化应用。其中，汛期污染与内涝联合预警预报模型水量水质指标平均绝对百分比误差（MAPE）低于 25%，预警时空准确率达到 80%，提前预警时间不少于 2 h；断面水质超标溯因与达标支撑模型溯因准确率不低于 80%，能够实现达标方案快速生成与效果模拟；多类型冲击负荷胁迫下城市水体评估及预警时效达到场次级。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

2.2 闸控河流水动力-水质-水生态“三水”融合模拟模型研发

研究内容：

针对京津冀区域闸控河流面临的河流水文过程碎片化、水质持续恶化与水生态功能系统性退化等多维度复合胁迫问题，研究闸控河流宽窄相间河道三维水动力学特性和时空动态演变规律，开发多维水动力模型紧密自适应嵌套耦合方法，研发闸控河流非恒定水动力高精度模拟技术，基于有限体积法研建嵌入闸坝运行的三维高效精细化水动力模型；研究基于水动力过程的闸控河流碳-氮-磷-氧等关键物质在气、水、泥、生物等多介质中的迁移转化循环机理，研究新污染物物理化学生物过程演变机理，研发闸控河流多指标污染物跨介质迁移转化流动过程机理模型，实现耦合闸坝调控的水动力-水质过程动态高效模拟；结合闸控河网水力联系中断、水流停滞-脉冲交替等特征，研究闸控河流水动力条件和水质过程对水生态过程的影响，构建河流水生态机理模型，从生境、河段、河流系统 3 个尺度模拟多个营养级物种生长繁殖衰亡过程；集成河道水动力模型、水质模型和水生态模型，研究多源数据融合的闸控河流水动力-水质-水生态高效耦合框架与 AI 优化算法，实现“数据+机理”双驱动的水动力-水质-水生态“三水”融合模拟；选择京津冀区域大清河、永定河、潮白河等典型闸控河流开展多场景的验证与应用。

考核指标：

1. 闸控河流河网-河道-河漫滩多维（一维、二维、三维）

水动力耦合模型 1 套。一维水动力模型稳态条件下和非恒定流情况下计算精度均达到 90%以上，二维水动力学模型模拟混合流态转换时的计算精度达到 90%以上。一维和二维水动力模型断面流量模拟精度达到 90%以上，平面二维空间分辨率达到 10 m，局部小于 1 m。发展多维水动力模型并行算法框架，提升水动力模型运算效率 5 倍以上。

2. 河流污染物迁移转化机理模型 1 套。机理模型考虑地表水水质达标考核指标，包括 COD、BOD₅、氨氮、硝氮、总氮、总磷等常规污染物，同时包括京津冀河流中内分泌干扰物、全氟化合物、抗生素等不少于 8 种典型新污染物。水动力-水质耦合模拟的水质指标平均绝对百分比误差（MAPE）低于 10%，模拟响应时效达到小时级。

3. 河道水生态机理模型 1 套。构建水文过程-食物网响应模拟模型，从生境、河段、河流系统 3 个尺度模拟 3 个以上营养级物种生长繁殖衰亡过程。水生态关键指标时空分布预测精度达到 80%。建立跨尺度河流非平稳态生态流量评估技术体系 1 套，形成河流生态流量监管方案。

4. 跨时空尺度闸控河流水动力-水质-水生态耦合模拟模型 1 套，模拟时间分辨率达到日尺度，在气象预报模型支持下达到小时级。建成适用于京津冀区域水动力-水质-水生态耦合模拟模

型的多源数据库 1 个，形成 30 种以上模拟指标的京津冀本地化成套参数。

5. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

2.3 机理与智能融合的通用空气质量模型开发与应用

研究内容：

面向京津冀地区对空气质量高分辨率、高精度模拟的科技需求，研发多圈层耦合的大气污染-天气气候高频动态反馈模拟技术，构建京津冀复杂地形垂直理化结构精细模拟技术，研发跨尺度关键理化过程智能协调算法，构建京津冀区域气候变化-空气质量无缝隙耦合模式；开发大气颗粒物中金属和有机气溶胶多组

分的毒性演变模拟技术，研究气溶胶关键毒性组分的浓度和形态变化驱动下的气溶胶毒性潜势建模方法，研发大气颗粒物毒性效应来源解析与健康风险评估技术，量化京津冀地区一次和二次颗粒物的毒性效应、来源贡献与健康风险；开发京津冀地区全流程涉气综合措施数据库与减排情景智能构建方法，实现差异化减排措施自动优选，突破以空气质量和健康效应为导向的多污染物协同减排路径快速优化技术，优化协同目标下京津冀地区区县级精细行业措施级别减排路径；研发基于人工智能技术、兼容 CPU 与 GPU 架构的污染物平流、扩散、化学反应、干湿沉降、辐射反馈、来源解析、过程分析、情景分析等模块，将其融入国产空气质量数值模型，实现各个过程的物理一致性与可解释性模拟，研制机理与人工智能混合的新一代通用空气质量模型；建立气候-气象-排放-化学传输-预报-溯源-调控模型并行耦合技术，实现各模块数据在线交换和双向反馈，将大气模型各模块研发成果与通用空气质量模型进行耦合，形成 100%自主可控的气候-气象-排放-化学传输-预报-溯源-调控通用集成模型，构建规范化模型开发和评估体系，提升空气质量模型准确性，在京津冀及周边地区开展高分辨率评测验证与应用。

考核指标：

1. 基于多圈层耦合的大气污染-天气气候反馈模拟技术 1 套，

实现污染与天气气候双向反馈动态交互，PM_{2.5}和O₃浓度模拟偏差与单向反馈模拟相比降低20%。研发京津冀地区复杂地形理化机制垂直适配的多层大气耦合模拟技术1套，模式层顶高度不低于50 km，重污染天气下的PM_{2.5}和O₃的模拟误差与当前业务化模型相比分别降低15%和10%。建立基于跨时间尺度关键理化过程智能协调的无缝隙模拟技术1套，3~6个月污染趋势预测同比变化幅度预测不确定性降低20%，实现未来30~50年中长期减排情景下气候-空气质量预测；实现模式并行计算与异构加速，计算效率提升30%。

2. 大气有毒金属多粒径多组分高精度模拟技术1套，模拟Hg、As、Pb等组分在不同粒径段的气粒分配和化学转化过程，PM_{2.5}中Hg、As、Pb等重金属浓度误差小于30%；大气有机气溶胶多组分老化过程毒性演变模拟技术1套，形成至少7类化学物种生成的细胞毒性指标参数化方案，表征大气长时间氧化过程中的毒性演变规律；京津冀地区一次和二次细颗粒物细胞毒性参数数据库1套，涵盖至少5类排放源；京津冀地区大气颗粒物毒性模拟、来源解析与健康风险评估技术1套，大气颗粒物氧化潜势等毒性指标模拟偏差小于50%，实现大气颗粒物毒性来源和健康风险定量评估。

3. 京津冀地区社会发展-能源消耗-控制措施-污染排放涉

气综合措施数据库与措施智能优选技术 1 套，数据库覆盖京津冀地区社会经济、能源结构、污染源类型、控制措施等全流程多维度，不少于 30 个二级分类，覆盖至区县级，细化至重点行业，涉气污染控制措施种类数量 ≥ 500 项，具备多污染物协同控制措施快速评估能力，可同时评估不同措施对不少于 6 种组分排放的影响，响应速度达到分钟级；京津冀地区全流程海量减排情景自动构建和效果实时评估技术 1 套，包含 100 个以上控制变量或减排措施，自动生成超过 200 种具有广泛覆盖度的减排情景；污染物浓度实时响应模拟结果相对于主流数值模型的平均偏差不高于 10%；京津冀地区空气质量和健康导向的多污染物协同减排路径优化技术 1 套，优化调控对象涵盖 SO_2 、 NO_x 、PM、全挥发性范围有机物、 NH_3 等主要大气污染物和 CO_2 ，调控措施精准到设施/园区和具体工序，涵盖从结构调整到末端治理 500 条以上措施，调控目标涵盖空气质量、健康及生态效应。

4. 基于机理与人工智能混合的新一代架构的通用空气质量模型 1 套，代码国产化率达到 100%，满足国内外主流处理器架构部署需求，基于人工智能提升 5 个以上物理输送与化学转化关键过程模块模拟效率，计算速度相较机理模型提升 10 倍以上，过程变量模拟精度与物理机制模型相差 $< 10\%$ ，实现对 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 、 O_3 、二次无机气溶胶、全挥发性范围有机物、重金属等化

学组分的模拟，模型在京津冀地区城市尺度 $PM_{2.5}$ 浓度秋冬季平均误差在 10%以内、月均模拟误差在 20%以内、污染过程模拟误差在 25%以内，臭氧日最大 8 小时浓度月均模拟误差 20%以内、污染过程误差 25%以内。

5. 排放-气象-化学传输-预报-溯源-调控模型并行耦合技术 1 套，实现各模块数据在线交换、复杂反馈过程刻画、时空分辨率优化以及模块插拔式替换，各模块间数据交换效率相对于文件离线耦合提升 20 倍；自主可控、模块化、适配国产处理器架构平台的排放-气象-化学传输-预报-溯源-调控集成通用模型系统 1 套，实现大气模型各模块研发成果与通用空气质量模型的耦合，实现集成通用模型系统的一体化自动稳定运行，实现面向京津冀地区空气质量预报、重污染应急、中长期调控等业务场景的整体性智慧化应用，在京津冀及周边开展 1 年以上的高分辨率评测验证。规范化的模型开发和评估体系 1 套，实现集成通用模型的公益化，模型开发文档、部署流程和评估方法实现公开透明并定期更新，模型代码、文档及数据向国内科研机构免费开放使用。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认

可。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

2.4 京津冀污染过程智能调控决策模型与平台研发

研究内容：

面向京津冀地区大气污染过程精准调控与智能决策需求，研发人工智能与理化机制融合的气象-排放-空气质量快速响应模拟技术，开展对京津冀地区各行业排放、环境气象要素、大气氧化性因子与 $\text{PM}_{2.5}$ 及主要组分浓度时空变化间高维复杂非线性关系的快速模拟，提出针对京津冀区域大气污染发生-发展-消散全过程的精准调控理论与核心实现途径；以消除中-重度 $\text{PM}_{2.5}$ 污染天气和提升重大活动空气质量为目标，研发基于人工智能的污染过程调控情景自动生成技术，实现京津冀区域内主要污染传输通道沿线不同城市减排目标与调控时段的差异化分配，研发基于费效优化的污染过程调控情景智能推演技术，构建区域和重点行业调控成本-效益最大化的情景优选技术并应用于京津冀区域污

染过程精准调控方案编制；基于企业生产工艺/工序、绩效分级等多源数据和生成式人工智能，构建企业绩效分级的全过程监管和符合性智能审核技术与差异化减排措施清单自适应生成技术，调控方案达到设定减排目标并显著提升清单编制效率；基于污染源实时监控监管大数据，研发逐日推送和反馈闭环的污染异常排放问题线索人工智能识别算法，建立重点行业货运量、流向“一张图”并提出管控方案，构建机制与智能融合驱动的多维度调控成效快速响应技术，量化减排措施对 $\text{PM}_{2.5}$ 和关键组分浓度“削峰降速”的贡献；构建污染天气应对的学科知识图谱，开发调控需求解析与任务链分解技术，建立“任务解析-模型调用”自动化运行的模块结构化调用机制，构建“需求解析-情景优化-措施筛选-动态评估-对策建议”的管理支撑技术链，开发京津冀区域大气污染过程智能调控决策模型和业务化平台，提升污染天气应对水平。

考核指标：

1. 研发人工智能与理化机制的气象-排放-空气质量快速响应模拟技术 1 套，支持区县尺度快速响应模拟，空间分辨率不低于 1 km，具备不少于 10 个重点行业、100 项减排措施、10,000 种情景组合的模拟能力，单个情景模拟响应时间达秒级；量化减排措施与 $\text{PM}_{2.5}$ 及二次组分的定量响应关系，实现不少于 3 种气

象参数和 5 种污染物的影响因素解析；污染物浓度快速响应模拟结果相对于主流数值模型的平均偏差不高于 10%。

2. 研发基于费效优化的调控情景智能推演技术 1 项，针对京津冀区域典型污染过程或重大活动空气质量目标，自动生成联防联控区域范围、具体城市与时段、西南/东南/偏东传输通道沿线城市减排目标分档、调控起止时刻到小时的调控情景 ≥ 3 套；以区域和重点行业调控成本-效益为主线，生成优选的调控方案；响应时间 ≤ 6 h，与现行方案相比费效提高 50%以上。

3. 研发差异化减排措施清单的自适应生成技术 1 项，可在 10 分钟内生成响应不同减排比例要求的企业生产和货物运输调控措施清单，包括不同预警等级下的应急减排措施，以及强化协商减排措施；工业源精确到企业或生产工序，移动源精确到道路或车辆，产业集群不低于园区，民用燃烧、生物质燃烧等不低于区县，减排方案达到设定减排目标；主要污染物包括一次 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_x 、 SO_2 、 VOCs 、 NH_3 等，污染排放的时间分辨率不低于 1 天，空间分辨率不低于区县，形成业务化产品；绩效分级的全过程监管和符合性审核 $\geq 80\%$ 由人工智能技术完成，应用于全部重点行业。

4. 开发污染源监控监管多指标校核的异常排放问题线索识别算法 1 个，重点行业超低排放改造和工业企业、柴油车（机）、

面源等调控措施落实问题线索识别准确率 $\geq 70\%$ ；货物运输量和流向“一张图”精准到企业并逐日更新；构建多维度校验的污染过程调控成效动态评估技术体系，实现减排措施对 $\text{PM}_{2.5}$ 和关键组分浓度下降的定量评估，滞后时间 ≤ 1 天。

5. 建成京津冀区域大气污染过程智能调控决策模型和平台（PC 端和移动端）1 个，满足国内外主流处理器架构部署需求。污染过程应对、重大活动空气质量保障的任务分解和模型调用实现人工智能处理工作量 $> 80\%$ ；调控决策输出时间 < 24 h。智能调控决策模型和管理平台在区域性污染过程应对或重大活动期间大气污染联防联控中得到不少于 10 次应用，支撑空气质量目标实现，成果得到省部级和京津冀三地生态环境主管部门采纳应用。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其

他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

2.5 燕山太行山大梯度复杂地形有限元自适应网格大气模型研发

研究内容：

针对燕山太行山大梯度复杂地形下污染气团精准模拟预测的实际需求，开展燕山太行山大梯度复杂地形有限元自适应网格大气模型研究，精准刻画京津冀复杂地形（高山至海洋）三维环流结构及高浓度污染烟羽区域传输过程；研发复杂地形切割网格有限元大气污染传输动力框架，消除传统规则网格地形平滑效应的影响，精准表征燕山太行山陡坡等大梯度复杂地形下的污染动力传输特征；研发污染气团三维时空自适应网格靶向加密技术，依托动态非结构化网格，实现污染气团从千米至十米级的跨尺度分辨率动态模拟，合理刻画燕山太行山山前大梯度复杂地形下污染气团强度突增、滞留消散等动态演变过程；研发多尺度化学机制模拟优化技术，突破影响污染期间大气氧化能力的克氏中间体模拟技术，提升夜间大气污染物峰值浓度的模拟能力；突破京津冀复杂地形影响下区域-设施级变分辨率模拟技术，研究工业聚集区设施群排放与国控站点受体响应的耦合机制，实现从污染源

设施到单个国控站点污染传输一体化模拟；基于上述关键技术，构建京津冀大气三维自适应数值模拟底座，集成适合燕山太行山山前大梯度复杂地形自适应网格的大气湍流、辐射传输及气溶胶-气象双向反馈机制的模拟方案，研发 $\text{PM}_{2.5}$ 峰值浓度精准预测技术系统，显著提升污染气团路径与强度模拟精度。

考核指标：

1. 形成复杂地形切割网格有限元大气污染传输动力框架 1 套，实现燕山太行山沿线地形陡坡特征保留率 $> 90\%$ ，陡峭地形下气压梯度力模拟误差 $< 5\%$ 。精细刻画京津冀复杂山地山谷/河谷/过山坡等立体环流和污染传输特征，山地-平原-湖泊交接带静稳边界层高度模拟误差降低 10% ，风速模拟误差降低 20% ，风向偏差降低 20% 以上、不超过 20° ， $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度模拟误差降低 15% 。

2. 污染气团三维时空自适应网格靶向加密不少于 3 个物理或化学变量（如污染物浓度梯度、温度风矢量梯度、地形坡度），实现瞬变过程及突发区域网格自动加密。关键加密区域（如污染源边界、化学转化区、燕山太行山山前大梯度复杂地形区）的模拟水平分辨率和垂直分辨率分别达到百米和 10 m ，自适应时间分辨率优于 10 min ；模型模拟范围覆盖京津冀，加密区域的移动范围聚焦燕山太行山山前。网格压缩比总网格数较全局加密减少

≥60%，模式自由度减少 ≥30%。

3. 构建适合百米-十米级模式分辨率的模拟方案，新增克氏中间体（CIs）等不少于 10 物种，化学反应过程不少于 20 个；污染期间夜间 NO_3^- 和 $\cdot\text{OH}$ 自由基模拟误差降低 20%，夜间 $\text{PM}_{2.5}$ 峰值浓度模拟误差降低 10%。

4. 区域-园区-设施一体化模拟覆盖京津冀，模拟 ≥30 个工业园区、150 个相关设施，空气质量模拟的区域分辨率 ≥1 km，工业园区周边分辨率 50 m，污染设施出口分辨率 30 m。

5. 形成燕山太行山大梯度地形三维自适应网格大气模式，实现业务化运行，可高保真模拟燕山太行山山前污染传输带和污染烟团的传输场景。构建适合三维自适应网格模拟不少于 4 个复杂下垫面理化机制（包括大气湍流、辐射传输及气溶胶-气象双向反馈机制等）的耦合方案，空间分辨率跨度适合十米-千米级；模型并行效率达到 60%。京津冀区域污染事件中的燕山太行山山前城市 $\text{PM}_{2.5}$ 小时峰值浓度模拟误差 ≤25%，区域污染的空间落区模拟准确率提升 20%，模拟水平和垂直精度到十米级，在京津冀及周边开展 ≥1 年的评测验证应用。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等

版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

2.6 京津冀大气臭氧精准模拟技术与模型研发

研究内容：

针对京津冀大气自由基来源转化过程和臭氧精准模拟难题，围绕 OH、HO₂、RO₂ 和 NO₃ 等全谱系自由基，构建适合京津冀多种过氧自由基分物种的精准测量模拟技术，开展野外综合观测与箱式/区域模型闭合实验，建立京津冀区域专属光解截面与光量子产率数据库，实现活性碳氮化合物光解速率精准计算；构建京津冀典型 VOCs 物种谱和高反应活性物种数据库，研发区域专属详细归并化学机理，解析 VOCs 转化中有机自由基动力学机制，实现 Cl 自由基全流程模拟，并依托典型观测站点开展多自由基及中间活性物种验证；聚焦城市群-农田-水体-PM_{2.5} 界面，构建 VCPs 溶剂、HONO 和人为源单萜烯等排放模块，建立城市/森林/农作物/湿地干沉降速率动态数据库，研发渤海湾海陆风影响下

的沉降通量模拟技术，研究界面交互特征及演变规律，开发典型表界面的跨介质参数模块；研制 AI 与模型驱动的平流层入侵高精度反演技术，建立动态耦合的大气臭氧和总氧化剂生消演变过程模型，构建涵盖大气臭氧和总氧化剂的平流层入侵、光化学产生去除、非相化学转化和沉降去除全过程的一体化模拟体系；研制京津冀高温热浪与区域环流协同驱动的臭氧污染预警防控工具，突破大气氧化性机制解析-区域模拟-溯源决策-应急调控模拟技术，构建数值模型和 AI 融合驱动的臭氧溯源管控智能模型，形成京津冀臭氧与总氧化剂精准调控示范技术体系，支撑臭氧与 PM_{2.5} 协同改善技术路径。

考核指标：

1. 构建以 OH、HO₂、RO₂ 和 NO₃ 等全谱系自由基为核心的京津冀大气臭氧和总氧化剂生消过程表征系统，完成覆盖京津冀区域典型下垫面的春夏秋冬四季示范观测数据集 1 套，自由基及总氧化剂物种测量误差 ≤ 15%；构建本地化光解速率精准快速模拟技术 1 套，光解速率模拟误差 ≤ 15%，覆盖物种 ≥ 30 种。

2. 构建京津冀有机自由基来源与转化归并化学机理 1 套，有机自由基化学机理覆盖物种 ≥ 50 种；NO_x、NO₂、PANs、OH、HO₂、总 RO₂、VOCs、NO₃、N₂O₅、ClNO₂、Cl₂ 及 RO₂ (≥ 10 种) 分物种模拟误差 ≤ 20%，O_x 模拟误差 < 10%；构建 HONO

和人为源单萜烯精细化模拟技术 1 套，模拟误差 $\leq 30\%$ ；研发基于人工智能的京津冀大气自由基精准预测模型，模拟误差 $\leq 20\%$ ，具有物理和化学可解释性。

3. 构建覆盖京津冀典型环境（城市建筑表面、农田土壤/冠层、水体、PM_{2.5} 表界面、森林冠层等）的跨介质大气自由基化学转化过程参数化模块 10 套以上，覆盖气相-液相-颗粒相等主要介质，定量表征 OH、HO₂、RO₂、NO₃ 等自由基关键反应路径；构建多源观测数据和过程模型的干沉降速率精准模拟技术 1 套，定量模拟 NO_x、O₃、NH₃ 等典型气体污染物的沉降速率，臭氧和总氧化剂的干沉降速率模拟误差 $\leq 20\%$ ，下垫面覆盖类型 ≥ 6 种。

4. 构建京津冀大气臭氧和总氧化剂生消演变过程一体化数值模型 1 套，采用排放与大气过程集成耦合通用模式 EPICC 底座，接入京津冀环境模拟器，实现版本管理，编码技术规范统一；开发 AI 增强的地形-排放-化学耦合模拟技术 1 套，臭氧平流层入侵通量模拟较传统化学传输模型准确性提高 30%，提升臭氧浓度高值区的识别分辨率至 1 h 和 1 km；研发基于实测数据、AI 和动力模式驱动的臭氧溯源管控大模型 1 套，产出溯源管控方案的所需时间小于 15 min，溯源精度达 50 米级，覆盖主要工业及 VOCs 主要行业，并推广应用。

5. 实现项目自主研发的各模型与通用空气质量模式的耦合

集成，模型校准期 ≥ 5 年，京津冀及周边水平分辨率为3 km，京津冀区域为1 km，时间分辨率为1 h；京津冀及周边各城市臭氧8小时浓度日平均值模拟误差 $< 10\%$ ；区域污染过程模拟 ≥ 30 个，小时峰值误差在15%以内。研制臭氧动态优化管控模块1套，开展为期一年的预报试验，实现72小时臭氧污染预报准确率90%以上；生成3套面向2030年的臭氧与PM_{2.5}协同改善路径，提出2套高温热浪等极端气象条件下的适应性调控预案。模型模拟范围覆盖京津冀全域，支持至少10个城市动态验证，应用于京津冀主要区域污染过程调控。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化x86/64位架构CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于1:1，实施周期不超过3年。

2.7 京津冀碳减排与多介质环境改善协同调控与规划模型 研发

研究内容：

针对京津冀地区碳减排与多介质环境改善高时空精度、强时空异质性精准协同的调控需求，研发碳污排放全链条高分辨率驱动力解析技术，形成多维度刻画碳-污-能多要素迁移转化规律的跨介质流动数据图谱；建立行业-工序-排放节点全链条碳排放与多介质环境污染物协同减排技术谱系，研发协同减排技术动态成本模拟与预测技术，优选识别一批碳污一体化治理、经济高效技术；刻画解析京津冀区域环境质量对气候变化、政策迭代、技术演替的响应机制，模拟社会经济复合系统对碳污治理的多重响应规律，建立覆盖多环境要素、面向多评价维度的协同效应系统解析技术，形成互馈响应标准化模拟评估流程工具；研发多尺度空间单元自适应的碳污协同目标分配技术及碳污负载限值核算技术，构建减污降碳协同潜力评估模块，设计规划模型集成架构与数据接口集，开发耦合“迁移表征-分区目标-技术迭代-工程设计-碳污排放-成本效益-路径规划”的全链条碳污协同减排模拟与规划模型，实现多尺度海量路径全局寻优及重大治理工程迭代设计，提出跨介质多领域主要污染物和碳减排协同优化路径；在区域、城市、园区等多层级开展技术示范与实证研究，支撑京津

冀区域省-市制定“十五五”以及中长期减污降碳协同治理策略与规划。

考核指标：

1. 研发碳污排放高分辨率驱动机制解析技术 1 项，建立能源、碳排放、主要污染物排放的跨介质流动数据库 1 套，至少覆盖水、气、固等介质，在区域、城市、园区尺度的解析空间分辨率达到 10 km、3 km 和 500 m，高空间分辨率下的演化特征时间分辨率达到小时级，覆盖部门行业碳污排放量占比超过 80%，并实现逐行业独立解析。

2. 建成京津冀工序级碳污协同治理技术谱系，不少于 6 个领域 10 个以上行业，涵盖减排技术达 500 项，技术参数 6000 项；构建碳污减排内外部成本一体化综合评估体系，减排技术内部成本集成 > 500 项，外部成本量化算法参数 > 20 项。建立成本内生学习机制 1 项，包含主要技术链未来 30 年成本学习曲线，优化识别一批碳污一体化治理、经济高效技术，相对常规单一要素治理技术实现单位碳污协同减排成本下降 > 20%。技术至少涉及水、气、固等介质，涵盖 NO_x、VOCs、CO₂、COD、总氮、农业废弃物等，技术成熟度 ≥ 7 级。

3. 研发气候环境跨系统复合效应响应与模拟技术评估方法 1 项，实现碳污治理对气候环境作用及社会经济复合系统对碳污

治理多重响应的效应一致性评估模拟。多维效应响应综合评估指标体系覆盖大气、水、固体废物多要素，面向气候、环境、生态、健康、经济多维度，包含至少 20 项生态环境与社会经济指标，指标本地化比例超过 90%。研发时空自适应的协同效应响应动态模拟评估技术，动态更新政策实施进程，空间精度不低于 10 km（城市级），其中重点行业空间精度不低于 1 km（企业级）。

4. 开发区域碳减排与多介质环境改善协同规划模型 1 套，模型包含迁移规律表征、分区目标迭代、治理技术模拟、工程设计优化、碳污排放核算、成本效益测算、协同潜力评估、协同路径规划等功能模块；其中减污降碳协同潜力评估模块覆盖京津冀 13 个城市，评估量化 10 个以上重点行业/领域减排潜力，模拟误差 < 15%；对碳污协同负载限值核算的空间尺度精细至城市级（10 km），实现京津冀城市-行业-工厂多尺度、10 万组级路径的快速模拟及全局-局部优化平衡，形成 PM_{2.5} 全面达标、碳排放达峰，协同固废资源化利用和水质改善等目标的京津冀区域多污染物协同减排路径方案，社会费用效益较单目标路径降低 20% 以上。

5. 开发区域减污降碳协同治理决策支撑系统 1 套，适合区域、城市、园区等多用户减污降碳协同治理的应用场景，考虑气、水、固等多介质交互效应，覆盖电力、工业、交通、民用、农业、

环境基础设施等 6 个以上重点领域，开展实证案例研究，实现业务化运行，基于决策平台提出 3 套以上差异化调控方案并被省部级政府采纳。以京津冀区域 2030 年前碳达峰、美丽中国先行区建设目标为导向，提出区域能源及典型高排放行业结构调整路径方案。

6. 项目产出的模型、软件、平台、数据库等具有自主知识产权，并部署到总承单位；提交源代码和用户手册；模型兼容国产化 x86/64 位架构 CPU、GPU。研发阶段规避开源、商业软件等版权问题。技术指标考核通过总承单位统一测试认证和书面认可。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

板块三 重点行业碳污协同深度减排及资源化技术与装备体系

3.1 钢铁长流程碳氢耦合驱动降碳减污关键技术与示范

研究内容：

针对钢铁工业高炉-转炉长流程冶炼过程中存在的能源消耗强度大、污染物排放强度高等核心问题，研究碳氢能源在高炉内的动态竞争与协同行为，构建面向长流程的碳氢耦合低碳冶炼多尺度基础理论，研发满足低碳冶炼工况的长寿命喷吹装备，开发高炉低碳冶炼智能调控系统；开发生物质炭与合成气定向制备技术，研究生物质气炭联产与高炉冶炼耦合新工艺，开发生物质炭与合成气复合喷吹技术，研发生物质高效压块与炉内应用技术与装备；开发高炉煤气、转炉煤气等多源煤气高效低耗净化技术，研发煤气管线稳压关键技术，研发基于惰性气体分离的高效低碳煤气提质技术，开发安全长寿命新型煤气加热技术；研发高效稳定的二氧化碳转化催化剂，研究二氧化碳电催化制合成气、甲烷转化行为及其关键影响因素，开发二氧化碳催化转化制高值还原气技术，开展电催化反应器放大研究；研究低碳高炉原燃料关键性能指标体系，开发低碳冶炼全过程智能协同控制平台，开展集成高炉碳氢耦合冶炼、生物质基炉料制备、煤气调质强化等关键技术的长流程降碳减污示范应用。

考核指标：

1. 揭示碳氢耦合协同作用机制，开发高炉低碳冶炼多介质喷吹技术及装备，高炉富氢介质应用比例 $\geq 15\%$ ；突破低碳冶炼

操作及智能调控技术，开发高炉低碳冶炼智能调控系统，系统稳定率 $\geq 99\%$ 。

2. 突破生物质炭与合成气定向制备技术，生物质喷吹炭固定碳 $\geq 70\%$ ，可磨性指数 ≥ 60 ；探明生物质炭成块机理，形成生物质炭成型压块技术，生物质炭成型块强度 $\geq 2000\text{ N}$ ；突破生物质气炭联产与高炉冶炼耦合工艺，形成生物质基炉料高效应用技术，生物质炭喷吹量 $\geq 50\text{ kg/t}$ 。

3. 突破高炉煤气多级除尘底层技术，形成高效低耗煤气净化提质工艺及核心装备，炉顶煤气粉尘 $\leq 2\text{ mg/Nm}^3$ 、 $\text{HCl} \leq 20\text{ mg/Nm}^3$ ，提质煤气 CO_2 含量 $\leq 2\%$ ，运行能耗 $\leq 0.75\text{ MJ/Nm}^3$ ；突破多源煤气加热析碳控制技术，形成安全、长寿命煤气加热技术，富氢含碳煤气加热温度 $\geq 1200^\circ\text{C}$ 。

4. 突破高效、稳定的 CO_2 转化催化剂制备底层技术，形成 CO_2 高效催化转化制高还原性煤气技术， CO_2 电催化制合成气转化率 $\geq 75\%$ ，产品气 CO_2 含量 $\leq 5\%$ ， CO_2 电催化产品气能耗 $\leq 6\text{ kWh/Nm}^3$ ，在京津冀地区建设 $\geq 100\text{ t/年}$ 的 CO_2 电催化转化中试线。

5. 集成高炉低碳冶炼调控技术、生物质基炉料制备、多源煤气调质强化成套技术及装备，在京津冀地区完成 1000 m^3 级碳氢耦合低碳高炉工程示范，稳定运行时间超 720 h ，高炉吨铁

化石燃料消耗减少 ≥ 170 kg/t，实现化石燃料消耗削减 40%，吨钢碳排放强度降低 30%，典型污染物（颗粒物和 NO_x ）排放强度降低 20%。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.2 钢铁冶炼固废中战略金属靶向富集纯化与全质利用技术与示范

针对钢铁冶炼原料越来越复杂、伴生大宗和稀贵金属综合利用率低、冶炼渣全量化和高值化利用难等问题，开展钢铁冶炼固废中战略金属靶向富集纯化与全质利用技术研究及应用示范。研究钢铁冶炼过程全元素演变规律与定向调控机制、固废资源化利用新路径与模拟器、固废协同处置三维绩效评价方法；研发中低品位含锌物料重介旋流高效锌铁分离、高氯氧化锌流态化深度脱杂、分离提纯生产高纯锌产品等变革性技术与成套设备；开发钢铁冶炼中间物料与废酸协同高效浸出、梯级置换、介质循环、萃取分离提纯稀贵关键金属等新技术；研究钢铁冶炼熔融液态渣外

场强化组分调控、铁定向结晶等高效贫化新技术，研发冶炼渣与多源固废协同制备胶凝材料、耐温耐腐蚀陶瓷管道等高值利用技术；研究钢铁多源固废资源化尾渣的污染特征，开展环境风险评估，研发重金属靶向改性材料、固碳\固氮生态修复菌剂，形成重金属靶向改性回填协同废弃地生态修复技术和大宗固废的生态回归利用新模式。

考核指标：

1. 建立钢铁冶炼含锌烟尘、钢铁尘泥、冶炼渣等 3 类固体废物化特征数据集，形成钢铁冶炼固废战略金属回收、大宗利用和生态回归处置的全量化利用新路径模拟系统；建立钢铁渣尘泥资源化利用三维绩效评估方法，评估的固废资源化利用工艺不少于 3 种。

2. 形成钢铁冶炼中低品位含锌物料重介旋流高效锌铁分离、高氯化锌流态化深度脱杂技术及成套设备 2 台套以上，锌挥发率 > 90%，钢铁全流程锌综合回收率 > 95%；高氯化锌分离提纯生产高纯锌产品纯度 > 99.99%；建成年处理 30 万吨含锌烟尘的工程示范 1 项。

3. 形成钢铁冶炼中间物料与废酸协同利用、稀贵关键金属梯级置换、分离提纯等新技术 3~5 项，战略金属回收种类达到 8 种以上，其中，钾、钠等轻金属回收率大于 85%，铟、铋、镓、

铷、铯等稀有金属回收率大于 95%，贵金属富集比大于 20 倍、回收率大于 98%；建成年处理万吨级钢厂渣尘泥回收稀贵金属示范工程 1 项。

4. 形成钢铁冶炼渣短流程贫化技术，铁贫化回收率 50%、铁品位达到 60%；多源固废协同制备的胶凝材料 28 天抗压强度 ≥ 30 Mpa，陶瓷管道耐温达到 200℃；研制高温在线检测仪器 1 种，高温工况条件下参数测量误差小于 10%；建成年处理十万吨级多源固废制备高值材料工程示范 1 项。

5. 编制钢铁多源固废环境污染特征及风险评估报告，提出多源固废分级分类治理清单；研发重金属靶向改性材料 2~3 种，固废改性后 Pb 浸出浓度 ≤ 0.5 mg/L、Cr 浸出浓度 ≤ 1.0 mg/L、Tl 浸出浓度 ≤ 2.5 ug/L；研制固碳/固氮系列生态修复菌剂 3~4 种，生态修复固废基质改良后有机碳含量提升 50%以上、主要指标满足《绿化种植土壤》（CJ/T 340-2016）要求；形成重金属靶向改性回填协同废弃地生态重建等低值难用固废全量化回填利用关键技术，开展单批次不小于 5 吨的规模化钢铁多源固废生态回归分类分级利用中试验证；编制钢铁多源固废回填和生态修复技术规范，相关成果被省级及以上行业主管部门采纳。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来

源资金与中央财政经费比例不低于 5:1，实施周期不超过 3 年。

3.3 京津冀钢铁行业重型货车清洁运输关键技术研发与示范

研究内容：

钢铁行业重型货车大宗物料运输是京津冀区域碳污排放的主要来源，针对京津冀钢铁行业原料及产成品运输格局不清晰及体系化清洁运输转型策略缺失、新能源重型货车推广后使用效率低、补能设施布局不完善、车路能协同不足、车辆运输过程监管难及系统协同能力弱等问题，研发钢铁行业多模态货运数据和广域尺度运输需求深度融合技术，建立融合数据驱动与因果知识的运输需求预测方法，开发京津冀钢铁行业货物运输动态热力图，形成可实施的清洁运输差异化转型方案和实施路径；研发高续航、强动力新能源重型货车电池及电机技术，建立基于钢铁行业典型物料比和不同应用场景的新能源货车总体拥有成本（TCO）分析体系，形成适用于钢铁行业可规模化推广的新能源货车应用解决方案，研发适用于钢铁行业运输特征、耦合实际工况的瞬态燃烧过程及后处理动态控制技术，并在典型场景开展应用验证；研发适用于钢铁行业的兆瓦级充换电一体化互济补能技术及核心设备，建设兆瓦级充电、换电试点，开发面向京津冀钢铁行业补能

需求的综合解决方案；突破新能源货运交通流、能量流、信息流耦合优化技术，研发企业级充换电干线路网的车路能协同调度平台，提升清洁运输效率和可靠性；研发车辆-货物-运输全过程动态监测和智慧调度技术，在唐山、邯郸等典型城市及京津冀钢铁全行业开展清洁运输转型多层级应用示范，建立“企业-城市-区域”清洁运输智慧监管与调度平台，提升钢铁行业清洁运输减污降碳综合效能。

考核指标：

1. 绘制 2025 年区域钢铁行业货物运输网络动态热力图 1 套，实现京津冀区域钢铁企业全覆盖，车辆不少于 50000 台，涵盖货运车辆轨迹、车载自动诊断系统（OBD）、交通流量调查、货车称重、企业门禁等 5 种及以上数据源，其中车辆轨迹、OBD 数据更新间隔不超过 24 小时；开发基于产业发展、交通区位和政策条件的钢铁行业运输需求预测模型 1 套，运输需求预测精度 $\geq 85\%$ ；编制面向钢铁行业清洁运输转型方案 1 套，转型方案至少覆盖临港口型、临铁路型、公路依赖型等 3 类典型企业，在京津冀地区开展方案适用性验证，并制定相关行业标准/团体标准不少于 1 项，相关成果得到省级及以上相关主管部门采纳应用。

2. 研发适用于钢铁行业的超低和零排放车辆技术，常温环境下电池剩余电量（SOC）从 20% 充到 80% 的时间 ≤ 30 min、新

能源货车综合续航不少于 400 km、0~80 km/h 换挡加速时间 ≤ 50 s、1 挡最大爬坡度 $\geq 30\%$ 、单位载质量消耗量 (EKG) ≤ 0.29 Wh/km·kg、新能源货车总拥有成本 (TCO) 不高于柴油货车，在京津冀钢铁行业建立示范车队，运营时间不低于 6 个月，车辆不少于 10 台；建立传统重型货车/发动机动态测试循环，实际行驶场景覆盖率 $\geq 95\%$ ，车辆驾驶循环运动学特征相对实际行驶过程差异 $\leq 5\%$ ，优化的 SCR 催化剂低温 ($\leq 180^{\circ}\text{C}$) 脱硝效率 $\geq 80\%$ ，基于新研制的动态测试循环与后处理动态控制技术的发动机油耗降低 2%，整车测试 NO_x 排放小于 200 mg/kWh，PM 排放小于 8 mg/kWh，在京津冀钢铁行业建立示范车队，车辆不少于 5 台。

3. 结合货运发展需求和多种新能源重卡渗透率，预测补能设施潜在需求的时空热力分布，识别潜在补能重点干线廊道；开发适配钢铁行业运输特征的补能设备，具备不少于 1.5 兆瓦大功率输出能力，构建兆瓦级柔性充换电技术，实现动态可调、高效协同的智能补能模式，充放电转换响应时间 < 100 ms，建设 1~2 个兆瓦级充换电试点；开发京津冀钢铁行业中重型货车的能源基础设施实时监控技术 1 套，连接不少于 200 个补能设施，实现充电桩编号、充电状态、换电可用备用电池数据等关键指标的实时采集，数据更新间隔不超过 5 min；基于京津冀钢铁行业特性，

提出适用性综合补能解决方案，被不少于 5 家钢铁企业采纳。

4. 开发新能源重卡路段级能耗预测模型 1 套，构建实时路网能耗热力图，数据更新间隔 $\leq 5 \text{ min}$ ，预测误差 $\leq 15\%$ ；开发京津冀重卡充换电站和路径补能强度预测模型 1 套，预测误差 $\leq 15\%$ ；研发新能源重卡车路协同运输调度技术 1 套，具备车队运输组织、路径规划、补能调度等功能，应用示范钢铁企业 ≥ 5 家，支持协同调度车辆数 ≥ 2000 ，调度策略的生成时间 $\leq 30\text{s}$ ，清洁运输周转量占比提升 $\geq 15\%$ 。

5. 在唐山、邯郸等典型城市开展钢铁行业新能源重型货车应用示范，建设 1~2 个零排放货运廊道，新增充换电站 ≥ 5 座，示范建设总里程 $\geq 500 \text{ km}$ ；建立运输车辆动态监测技术系统，实现时空轨迹、能耗排放、运行状态及异常行为智能识别与风险预警，动态监测时间 ≥ 6 个月，对京津冀钢铁行业重型货车实时监控覆盖率 $\geq 50\%$ ；建立面向“企业-城市-区域”三级联动的钢铁行业清洁运输智慧监管与调度平台，平台联网企业数量 $\geq$ 京津冀钢铁企业的 90%，数据更新间隔 $\leq 1 \text{ h}$ ，业务化运行时间 ≥ 6 个月，得到省级及以上管理部门采纳应用。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来

源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.4 京津冀工业窑炉协同利用固废适配性与重金属防控技术研究及示范

研究内容：

针对京津冀地区典型工业窑炉协同利用多源固体废物适配性不足，重金属跨介质迁移分配规律不明，缺乏针对性防控技术与管理标准规范等问题，开展钢铁、煤电与建材行业工业窑炉协同利用固废适配性与重金属防控技术研究。研究典型工业窑炉协同利用固废过程重金属迁移分配与释放规律，并构建重金属预测模型，开发固废类型与窑炉适配性评价技术，研究区域多源固废工业窑炉协同利用优化路径；研发适用于典型工业窑炉的激光诱导击穿光谱、X 射线荧光法重金属实时检测技术与装备；研发钢铁窑炉协同利用固废过程重金属定向富集固化技术，开发除尘灰有价金属高效分离与回收技术；研究燃煤锅炉协同利用固废燃烧优化技术，建立流程工艺中重金属迁移转化的数字孪生系统，开发烟气中重金属与其他污染物协同脱除强化技术；研发水泥、砖瓦等建材窑炉协同利用多源固废高效配伍技术，研发基于多级孔结构和界面协同调控的吸附材料，开发基于人工智能的重金属污染防治专家系统，并在京津冀区域开展工程示范。

考核指标:

1. 建立涵盖钢铁、煤电、建材等行业典型工业窑炉的重金属产排污清单 1 个,覆盖京津冀 80%以上窑炉类型,包含汞、铬、镉、砷、铅、铊和锑等重金属,被生态环境部相关司局采纳应用;构建工业窑炉协同利用固废过程重金属排放预测模型 1 套,预测相对误差 $\leq 20\%$;形成固废类型-窑炉适配性评价方法,提出京津冀区域多源固废分行业窑炉协同利用优化路径,指导工业窑炉示范工程特征重金属污染物排放强度相比基线年 2025 年降低 40%以上;形成工业窑炉与固废适配性目录 1 项和政策建议 ≥ 2 项,相关成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

2. 形成重金属实时检测技术,开发实时检测装备 ≥ 1 套(含硬件、控制软件、光谱数据库及算法模型),涵盖气、液、固相中汞、铬、镉、砷、铅、铊和锑等目标重金属,固相中检出限 ≤ 1 mg/kg(其中汞、铊、镉 ≤ 0.2 mg/kg),液相中检出限 ≤ 0.01 mg/L(其中汞、铊 ≤ 0.001 mg/L),气相中检出限 ≤ 0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;响应时间:废气中重金属 ≤ 30 秒,废水/固废(需预处理)中重金属 ≤ 120 秒,装备技术成熟度达到 7 级,MTBF ≥ 800 h,在京津冀区域完成示范工程 2~3 项。

3. 形成钢铁窑炉协同利用固废过程多元合金相界面调控重金属定向富集技术,铬、锰、钒、镍、砷、铊、汞等目标重金属

产品/灰渣富集率 $\geq 95\%$ ，除尘灰中铅、锌、铈等有价元素综合回收率 $\geq 90\%$ ，在京津冀区域年产千万吨级钢铁窑炉设施上完成固废协同利用过程重金属富集回收工程示范 1 项，固废处理量 ≥ 1000 t/d，制定钢铁窑炉协同利用固废污染控制国家标准/行业标准 ≥ 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

4. 形成燃煤锅炉协同利用固废燃烧过程重金属调控与强化脱除技术，建立融合入炉原料、燃烧工况与末端控制等多源数据的燃煤电厂重金属污染预警的数字孪生系统 1 套，对烟气汞排放超标预警准确率 $\geq 98\%$ ，预警提前量 ≥ 15 分钟；颗粒物团聚协同脱除技术对烟气中汞脱除率 $\geq 80\%$ ，铅、砷脱除率 $\geq 90\%$ ；研发湿法脱硫调质剂 ≥ 1 种，对烟气中铅、汞、砷脱除率 $\geq 70\%$ ；在京津冀区域 300 MW 以上燃煤机组完成固废协同利用过程重金属脱除工程示范 1 项，固废处理量 ≥ 300 t/d，烟气重金属、氯化氢、氟化氢、二噁英排放满足 DIRECTIVE 2010/75/EU 限值，制定燃煤锅炉协同处理固废污染控制国家标准/行业标准 ≥ 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

5. 形成建材窑炉协同利用固废配伍及烟气重金属控制技术，开发多源固废配伍方案 1 套，产品中砷、锌、铬、镉、铅的浸出浓度降低 $\geq 20\%$ 且满足建材产品标准；开发多级孔道吸附材料 ≥ 2 种，烟气中重金属综合脱除效率 $\geq 90\%$ ；开发重金属全流程

防控专家系统 1 套，具备原料配伍自动优化、窑炉参数自整定和末端净化系统智能控制功能；在京津冀区域完成示范工程 2~3 项，每个示范工程固废处理量 ≥ 300 t/d，固废种类 ≥ 5 种，制定建材窑炉协同处置固废污染控制国家标准/行业标准 ≥ 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 4 年。

3.5 京津冀石油石化行业无组织 VOCs 深度治理与智能管控技术及示范

研究内容：

本项目以石油石化行业 VOCs 深度治理与智能管控为核心，针对不同工序/节点无组织排放的 VOCs 轻重组分种类多、流量浓度波动大、安全稳定达标难的挑战，开发吸附-吸收高效回用和吸附-催化深度氧化技术与装备，构建全过程 VOCs 智能管控体系，在京津冀典型油田站场和石化园区示范。研究不同轻重组分 VOCs 在多级孔炭材料的吸附/吸收与回收机理和低载量贵金属/非贵金属协同催化氧化机制，研发疏水基团改性、硬酸位点调控的低成本石油焦基炭材料和贵金属减量化/非贵金属催化材

料制备技术，开发改性炭材料高效成型和催化剂低成本涂覆工艺，实现核心吸附/催化等材料的规模化生产；研发油田站场轻组分 VOCs 的分类精准收集技术，开发低成本、安全的吸附/吸收工艺和关键装备，突破甲烷、乙烷等轻组分难以回收、含氧等低热值 VOCs 处理成本高等瓶颈，在京津冀区域内开展油田站场储罐及装卸等 VOCs 吸附/吸收高效回用工程示范；对石化园区无组织 VOCs 排放典型位点进行高精度监测，研发浓度均化和级配催化氧化技术与装备，突破低碳烃高效氧化、催化剂中毒失活等难题，在京津冀石化园区开展大型储罐、污水处理场等 VOCs 集中安全催化净化工程示范；研究氧同素异形体活化形成活性氧物种促进 VOCs 矿化机制，开发低能耗 O_3 等辅助催化氧化技术与装备，构建适用于污泥、污水处理的密闭/半密闭空间低浓度 VOCs 治理工艺，并进行集成示范；建立基于红外热成像、LDAR 检测等典型 VOCs 组分响应基准数据库和泄漏速率响应因子库，开发炼化装置 VOCs 组分泄漏定量及溯源技术，研发智能快速高精度预警和溯源技术体系，构建石油化工有限公司 VOCs 无组织排放管控与异味评价系统，并在京津冀区域内典型石油石化企业应用示范。

考核指标：

1. 研发适配不同排放特征的高效低成本 VOCs 氧化催化剂，形成年产能不低于 500 m^3 的蜂窝催化剂生产线；在 VOCs 进口浓

度 4000~5000 mg/m³、空速 15000~20000 h⁻¹条件下，催化剂性能需满足：甲苯 99%去除率温度（T₉₉）≤200 °C，乙酸乙酯 T₉₉≤250 °C，甲烷 T₉₉≤450 °C，乙烷 T₉₉≤400 °C；研发适用于高湿度 VOCs 吸附的低成本石油焦基炭材料，比表面积 ≥1500 m²/g，强度 ≥98%，碘值 ≥950 mg/g，四氯化碳吸附率 ≥65%，着火点 ≥400°C；在相对湿度 80%条件下，甲苯吸附量较不含水蒸气条件劣化 ≤30%。

2. 形成低成本高效吸附/吸收材料技术及装备，在京津冀区域内储罐、装卸等不同场景的油田站场示范应用，VOCs 去除率 ≥90%，非甲烷总烃排放浓度 ≤80 mg/m³，核心工艺装备实现 100% 国产化，VOCs 吸附/吸收设备可稳定运行 2000 小时以上。

3. 形成 VOCs 级配催化氧化技术及装备，在京津冀区石化园区内大型储罐（15000m³/h）、污水处理场等示范应用，VOCs 去除率 ≥98%，非甲烷总烃排放浓度 ≤20 mg/m³，甲烷去除率 ≥90%，VOCs 催化氧化设备可稳定运行 2000 小时以上。

4. 形成低能耗 O₃ 等协同催化氧化治理技术与工艺设备，在京津冀区域内石油石化行业污泥间、污水处理场等封闭、半封闭空间进行示范应用，VOCs 去除率 ≥95%，非甲烷总烃排放浓度 ≤20mg/m³。

5. 基于红外热成像等技术，建立炼化装置不少于 20 种典型

VOCs 组分的响应因子，扫描泄漏量与实际泄漏量平均误差不高于 $\pm 30\%$ ，构建石化领域 VOCs 排放监管平台及无异味园区评价体系，在京津冀区域内典型油田站场和石化园区开展无组织 VOCs 治理工程示范应用，实现厂区内监控点处的非甲烷总烃瞬时浓度 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ 。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.6 京津冀煤电深度调峰下污染物减排与清洁高效碳捕集技术及工程示范

研究内容：

针对煤电煤种变化和深度调峰引发负荷频繁波动下烟气污染物协同深度治理难度大、碳捕集过程中吸收剂消耗大及能耗高等问题，开展烟气多污染物深度净化与清洁高效碳捕集协同控制材料、技术和装备研发，并在京津冀开展工程示范。研究煤电深度调峰下硫、硝、尘、汞等污染物排放特性，研发高活性、高选择性、宽温窗深度脱硝协同控制 SO_3 、 N_2O 、汞的核心催化材料，开发脱硫除尘脱汞强化与硫资源化利用技术；开发低能耗、高稳定胺吸收剂及其韧性强化关键技术，研制低成本的吸收剂多相传

质强化及解吸反应调控关键技术及装备,研发碳捕集-电解制氢-甲醇合成一体化碳捕集利用技术,开展适用于煤电工况的强韧性低能耗燃煤烟气胺法碳捕集及利用关键技术的中试验证;研究影响胺吸收剂性能的主要污染物组分及其累积特性,探究胺吸收剂降解、中毒过程抑制机理与热稳定性盐等杂质组分生成规律,开发烟气碳捕集后胺逃逸控制与回收技术装备;解析超低排放耦合胺法碳捕集过程“能-污-碳”迁移转化路径,研究污染物深度净化耦合清洁碳捕集技术与工艺,开发热质传递强化与余热分级利用装备,并开展集成化中试验证;构建超低排放耦合胺法碳捕集的能-污-碳协同优化工艺系统,并在京津冀区域大型煤电机组进行示范应用。

考核指标:

1. 深度调峰下(烟温 240~420℃),脱硝协同脱汞催化剂:脱硝效率>90%、 $\text{NO}_x < 25 \text{ mg/Nm}^3$, SO_2/SO_3 转化率<0.8%, Hg^0 氧化率>80%;深度脱硫除尘脱汞与硫资源化技术: SO_2 排放浓度<10 mg/Nm^3 , 颗粒物排放浓度<3 mg/Nm^3 , 汞脱除率>90%, 硫资源化率>90%。

2. 典型燃煤烟气条件下,碳捕集胺吸收剂再生热耗<2.3 GJ/t CO_2 , 胺吸收剂和解吸催化剂寿命>6 个月;碳捕集-电解制氢-甲醇合成耦合利用技术,转化率>50%, 甲醇选择性>80%。

3. 胺吸收剂降解组分净化及胺液回收技术：热稳定性盐（酸根离子与金属离子等）净化效率 $>90\%$ ，胺液回收剩余废水 $\text{COD}<500\text{ mg/L}$ ，有效胺损耗 $\leq 0.5\text{ kg/tCO}_2$ ，氨排放量 $<3\text{ mg/Nm}^3$ 。

4. 污染物深度净化耦合清洁碳捕集技术与中试装置：烟气体积流量 $>2000\text{ Nm}^3/\text{h}$ ， SO_2 排放浓度 $<3\text{ mg/Nm}^3$ ，逃逸胺浓度 $<10\text{ mg/Nm}^3$ ，形成50万吨/年胺法碳捕集工艺包。

5. 单台1000MW及以上规模煤电机组烟气污染物减排与清洁高效碳捕集示范工程： CO_2 捕集量 >50 万吨/年，运行2000小时以上，碳捕集效率 $>90\%$ ，吸收剂中热稳定性盐 $<0.5\%$ ；“热力循环-碳捕集-污染物控制”系统智能化投运率 $\geq 95\%$ ，系统整体能耗降低5%以上。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于5:1，实施周期不超过3年。

3.7 典型建材行业氢能利用关键装备开发及示范

研究内容：

针对典型建材行业如水泥、玻璃产能集中且制造过程高度依赖化石燃料，环境污染大，减碳成本高的难题，研究水泥、玻璃行业燃料绿色转型关键技术，实现行业协同减污降碳。立足于当

前水泥、玻璃行业能源、资源现状，提出采用氢能燃烧技术，进行熔窑氢能应用工艺、氢能窑炉结构及关键装备的研究，实现清洁燃料替代。研究氢能燃烧玻璃熔窑流场特性，构建玻璃熔制氢能燃烧数学仿真模型，研究 H_2 高热值瞬态燃烧、与天然气协同燃烧的动力学过程及火焰燃烧特征、辐射传热效率的影响规律，定量评估掺氢比例与燃烧过程减污降碳的映射关系，优化熔窑氢能热工制度，研究氢能燃烧产物对窑炉火焰空间、耐火材料、玻璃质量的影响规律，开发适配氢能燃烧的窑炉架构和熔制工艺；解析玻璃窑炉氢能燃烧火焰分层及热力场不稳定性规律，开发智能化高均匀度掺混装备，研究针对氢气特点的玻璃窑用装备系统，实现玻璃窑炉高掺量安全用氢，形成玻璃窑炉成套设计方案和数字化控制系统；研究电直热非稳态工况多相流能质可控传递技术，解析电加热悬浮煅烧的热传递过程及化学反应热动力学机制，开发基于悬浮煅烧工艺的焦耳热发生装备，解析氨氢燃烧热力学调控水泥熟料矿物演变过程的跨制度耦合机制，开发面向水泥回转窑的高热力强度、长火焰形态的旋流结构调控燃烧器；开展玻璃、水泥氢能应用示范和中试，实现玻璃制造过程的协同减污降碳，开展电直热耦合氨氢燃烧能源分级利用水泥生产中试系统，为水泥清洁能源替代提供具备工程化应用的系统解决方案；开展绿氢/绿电替代化石燃料对建材行业协同减污降碳影响研究，构建数

据规模超过 10T 的建材行业绿色燃料利用装备开发及应用专业数据集。研究新能源替代化石燃料生产系统减排计算及预测模型，进行综合减排效果评价，研究建材行业基于清洁能源利用的协同减污降碳推进政策。

考核指标：

1. 开发玻璃氢能燃烧数学模型，建立基于能量、动量、质量传递的模型预测系统，温度、压力、烟气产物、气氛分布、碳排放等结果与示范线实测结果的一致性与吻合程度 $\geq 85\%$ ；研发成套涵盖工艺设计匹配、热工控制参数等核心技术的系统工艺包，涵盖氢能利用设备定型、全窑材料结构匹配方案、氢能窑炉工程建造图、智能化运行参数系统；形成一整套氢能燃烧熔制工艺及玻璃表面 OH 变化规律集合，并完成基于多燃料的氢能窑炉系统数据库建设。

2. 研发组合式截流元器件，实现独立通道单独控制，燃料/氧气延迟混合燃烧，开发玻璃窑氢能应用混合装备及不同掺氢比例的氢能燃烧器，燃料含氢比例 5~100% 连续可调，燃烧器燃烧能力 100~500 Nm^3/h ；研发天然气高掺氢系统，混气能力 3000 Nm^3/h ，氢气含量 0~40%连续可调，氢气泄漏率 $\leq 8 \text{ ppm}$ ；混合气体均匀度 $\geq 95\%$ ，混气装备防爆达到 CT6 级，氢泄漏应急响应时间 $\leq 0.5 \text{ s}$ ；研发数字化控制系统，可重复性 $\geq 99\%$ ，无人工干

预情况下，关键参数连续稳定时长 ≥ 72 h。

3. 开发水泥窑炉适用的氨氢区域差异化旋流强化燃烧器及焦耳热发生装置，单支燃烧器及焦耳热发生装置额定热负荷不低于 5 千瓦，功率调节范围 20~100%，分解炉内温度波动在 $\pm 5\%$ 范围内。提出电直热-氨氢混烧能源分级联用的技术方法、工艺参数，形成 ≥ 2500 吨熟料/天的零碳燃料水泥生产工艺方案包。

4. 建设 1 条规模 100 t/d 以上玻璃窑生产示范线，综合能耗 ≤ 180 kgce/t，成本不高于应用天然气的玻璃窑炉水平，燃料含氢比 30%时，降低过程 CO_2 排放 15%左右，减少烟气排放量 $\geq 30\%$ ，玻璃综合成品率 $\geq 92\%$ ，优质加工级率 $\geq 85\%$ 。研制产量 ≥ 50 kg/d 的水泥窑炉电气化直热耦合氨氢燃烧试验系统，无故障运行 72 h，系统氮氧化物排放不高于 50 mg/m^3 （折算），熟料矿物组分符合国家硅酸盐水泥熟料标准，游离氧化钙 f-CaO $\leq 1.5\%$ ，单位产品碳排放强度降低 40%以上。

5. 形成建材行业绿色燃料利用装备开发及应用专业数据库 1 个，数据规模不低于 10 T；制订典型建材行业清洁能源利用相关国家/行业/地方标准或指南 2 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来

源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.8 智能驱动的原料药生产工艺绿色化低碳治理生物技术集成与示范

研究内容：

针对京津冀地区重要医药原料维生素、甾体激素、天麻素等化学催化生产模式中因合成工艺复杂导致副产物多、过量使用有机溶剂、VOCs 和恶臭处理难度大等问题，建立以生物技术为核心的“源头减量-过程控制-末端治理”全程绿色化工艺。研发基于半理性设计和机器学习驱动的酶定向进化技术获得高活性突变酶，研发菌种 AI 智能迭代技术获得产量与性能偶联的高产工业菌株；开发固定化酶/细胞反应工艺，研制流式反应器和高效率逆流萃取等管道化反应及后处理装置，开发可定向增强产物合成的智能化动态自调控技术，将生产过程调控前置化，建立新一代原料药全生物合成绿色工艺；基于智能算法开发菌群功能设计与互作预测的数字模型，筛选制药行业典型挥发性污染物降解菌株，构建高效降解菌群，开发融合菌群定向降解-碳减排协同的废气生物治理技术；研发具有微生物载体和吸附功能的新型材料，开发智能监控管理的新型 VOCs 生物治理装备与水气一体化治理的解决方案，研发典型原料药产品碳足迹量化技术，开展制药工

艺全程低碳生物治理技术的集成示范。

考核指标：

1. 建立蛋白质大语言模型和机器学习技术体系 1 套，获得新型酶催化剂 3 个以上，在底物浓度 50 g/L 条件下，转化时间小于 48 h，转化率达 95%；新工艺的合成步骤减少 20%，三氯甲烷等难降解有机溶剂用量减少 30%；新型反应装置的时空产率较釜式反应器提高 20%，建立甾体化学品生物催化工艺，CO₂ 排放减少 20%，VOCs 减少 30%。

2. 获得具有自主知识产权的核心工业菌种 2 个以上，实现 72 小时红景天苷发酵水平达 45 g/L、天麻素发酵水平达 40 g/L，通用有机溶剂取代含溴含酚有机溶剂，且使用量减少 50%，CO₂ 排放减少 20%，VOCs 减少 20%。

3. 开发 3 株以上维生素类的智能生产菌及其绿色合成工艺，与现有工艺相比，有机溶剂使用量减少 90%以上，碳源转化率提高 50%以上，高碳氮有机废水减少 30%以上，VOCs 减少 30%，生产成本降低 10%以上。

4. 构建可模拟兆亿级菌间互作能力的菌群数字模型 1 个，获得可高效降解典型挥发性污染物的功能菌株 10 株以上，构建可降解典型原料药 VOCs 的功能菌群 4 种以上；载体材料对典型 VOCs 组分(如苯、甲苯、乙酸乙酯等)的饱和吸附容量>200 mg/g；

研制 $>5000\text{ m}^3/\text{h}$ 废气处理装置 1 套以上,开发和编制 VOCs 及恶臭去除-碳减排协同的生物法废气处理技术 1 套。

5. 建设百吨级维生素、50 吨级甾体激素、吨级天麻素和红景天苷等 4 个生产示范工程,通过源头减量、过程控制与水气一体化治理的技术集成,实现达标排放(明确技术现状与后面考核指标的增量,明确现有工艺流程和项目实现技术先进性),VOCs 和恶臭异味去除率 $>90\%$,臭气浓度 ≤ 1000 (无量纲),硫化物 $\leq 0.1\text{ mg}/\text{m}^3$ 。废水处理时间缩短 $>30\%$,污泥减量 $>50\%$,水资源回用率 $\geq 70\%$,综合运行成本降低 50%,形成原料药全程绿色化生产与智能低碳治理新模式 1 个。

6. 建立 1 套制药工艺中固定点源及无组织排放现场测量方法,不确定度优于 5%和 25%;提出基于实测的典型原料药碳足迹量化方法,全生命周期关键环节实测数据占比 $\geq 80\%$,实测数据误差 $\pm 5\%$,形成 1 套绿色评价指标体系。

申报说明:

项目类型为应用示范研究类,其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1,实施周期不超过 3 年。

3.9 京津冀精细化工污染全过程控制关键技术与工程示范

研究内容:

针对京津冀精细化工产业存在的碳污产排现状不清与绿色发展路径缺失、化石资源依赖与环境友好型产品匮乏、传统工艺高污染与高排放、末端治理技术不完善与资源化利用差等问题，开展精细化工污染全过程控制关键技术与工程示范研究。构建出京津冀地区精细化工产业生产过程碳污数据集和“碳污一张图”，提出京津冀精细化工产业系统性绿色发展路径和监管政策建议；研发生物发酵法乌头酸、环境友好生物基长链醇、乌头酸与生物基长链醇酯化反应的清洁生产技术，研究高盐高有机酸废水资源化利用及污染物多介质协同治理技术，形成全生物基乌头酸酯类增塑剂清洁生产工艺并进行规模化生产示范；研发氨氧化替代硝酸硝化制备硝基烷烃、固体碱催化硝基丙烷连续缩合制硝基醇的源头多介质协同减排技术，建立硝基烷烃/氨基醇类化合物清洁生产工艺并工程示范；研发基于高效催化和反应热利用的苯加氢制环己烯源头降碳减污技术，开发低温法环己烷脱氢制苯和氢气绿色循环再利用技术，构建环己酮生产过程降碳减污集成工艺并工程示范；研发半导体电子特气生产过程中电解废渣源头减量技术，开发含氟废气高效吸收与资源化装备，构建含氟和高值金属固废协同资源化新技术，并开展工程示范。

考核指标：

1. 建立京津冀年产 1000 吨以上精细化工产品生产过程碳污

数据集 1 个、碳污产生图 1 份，涵盖年产 1000 吨以上产品种类 $\geq 80\%$ ；建立京津冀年产 1000 吨以上精细化工产品系统性碳污减排路径和清洁生产技术推荐清单各 1 份，形成政策建议 1 个。

2. 形成乌头酸酯类全生物基增塑剂清洁生产技术，建成 50000 吨/年乌头酸酯类全生物基增塑剂示范工程并达到下述指标：乌头酸 100% 由生物质经微生物发酵制备，生物基长链醇纯度 $\geq 99.0\%$ ，乌头酸酯类增塑剂产品纯度 $\geq 98\%$ ；根据 OECD 301B 标准，28 天内生物降解率 $\geq 60\%$ ；增塑性能优于传统邻苯二甲酸酯类增塑剂 DOP，增塑效率 ≤ 0.92 （以 DOP 为 100% 作基准值）；较化学合成方法，乌头酸生产过程废弃物产生强度降低 $\geq 30\%$ （减少至 0.4 吨/吨乌头酸）；较石化工艺，生物基长链醇生产过程降低水耗 $\geq 20\%$ （减少至 0.1 吨/吨长链醇）、能耗 $\geq 20\%$ （减少至 0.25 吨标煤/吨长链醇）。

3. 形成氨氧化法生产硝基烷烃/氨基醇技术，建成 5000 吨/年氨基醇连续生产示范工程并达到下述指标：氨氧化反应制 2-硝基丙烷工艺，2-硝基丙烷选择性 $\geq 85\%$ ，较硝酸硝化工艺，减少氮氧化物生成 $\geq 95\%$ （减少至 0.01 吨氮氧化物/吨 2-硝基丙烷）、副产物生成 $\geq 50\%$ （减少至 0.25 吨/吨 2-硝基丙烷）、废水产生 $\geq 25\%$ （减少至 9 吨/吨 2-硝基丙烷）；2-硝基丙烷和甲醛连续缩合工艺，催化剂寿命 > 1000 小时，较液体碱催化工艺，减少固废产

生量 $\geq 80\%$ (减少至 8 公斤//吨氨基醇); 废水湿式氧化反应温度 $\leq 180^{\circ}\text{C}$ 、能耗 $\leq 80 \text{ kWh/吨废水}$, 氧化后废水 $\text{B/C} \geq 0.3$ 、集中处理后实现 100%回用。

4. 形成环己酮生产过程降碳减污清洁生产工艺, 建成 ≥ 27 万吨/年示范工程并达到下述指标: 达到苯单程转化率 40%时, 环己烯选择性 $\geq 85\%$, 消耗苯 ≤ 0.88 吨/吨环己酮, 消耗氢气 $\leq 425\text{Nm}^3/\text{吨环己酮}$, 环己烷 100%循环利用; 蒸汽消耗减少 20% (减少至 6.1 吨/吨环己酮), 外排废水减少 50% (减少至 0.5 吨/吨环己酮), 二氧化碳排放减少 15% (减少至 2.2 吨/吨环己酮)。

5. 建立半导体电子特气减污增效生产技术, 实现三氟化氮电解能耗降 10% (减少至 38 度/kg 三氟化氮), 含氟/重金属污染物源头生成量减 20% (减少至 0.28 kg/kg 三氟化氮); 含氟废气氟化铵回用率 $\geq 95\%$; 固废资源化(氟回收率 $\geq 95\%$ 、纯度 $\geq 97\%$; 镍回收率 $\geq 98\%$ 、纯度 $\geq 95\%$); 建成 2000 吨/年含氟及重金电解固废示范工程并达到下述指标: 处理成本较现有技术降 25%, 末端废水氟离子浓度 $< 2 \text{ ppm}$ 、镍离子浓度 $< 0.1 \text{ mg/L}$ 。

申报说明:

项目类型为应用示范研究类, 其他来源资金与中央财政经费比例不低于 5:1, 实施周期不超过 4 年。

3.10 冀东采选行业污染全过程治理关键技术与应用示范

研究内容：

针对冀东煤铁采选行业高比例“水体”下开采与区域地下水亏空叠加、采矿废水大量外排与区域缺水叠加、污染治理效能不高与资源循环利用率偏低叠加等问题，开展采选行业全过程污染治理关键技术研究及应用示范。研究采选废水和固废产排规律及污染特征，建立废水和固废排放生态环境风险评估方法，研发采选行业废水和固废污染防治技术，开发采选行业减污降碳协同治理智慧化系统；研究井下开采破坏阻隔壳产生涌水机制，研发潜在涌水点精准探测技术，开发微裂隙灌注悬胶材料再造阻隔壳减水技术，开展采矿废水原位削减工程示范；研究井下原煤干法分选宽粒级物料气动规律，开发多级双流井下智能干法深度排矸技术，研发采矿废水辅助煤矸石活化快速胶凝技术，开展煤矸石-采矿废水井下协同减排技术工程示范；研究乳化油及塑料纤维等新污染物对采选废水处理工艺的影响，开发悬浮物、乳化油和塑料纤维同步直滤装备，研发短流程处理及低成本脱盐技术，开展采选废水高质、全量安全利用技术工程示范；研究采选废水-矸石基质-微生物作用下植物对盐分胁迫的响应机制，研制高品质煤矸石基无机硅钙镁钾复合肥、活化煤矸石的耐盐抗旱促生功能菌，开发水-肥-菌协同增强复垦地生态功能技术，开展采选行业水-固高效协同生态利用技术工程示范。

考核指标:

1. 建立采选行业废水、固废排放生态环境风险评估方法,形成污染防治技术指南,得到省级及以上相关管理部门采纳应用;建设采选行业减污降碳协同治理智慧系统 1 套,比现有综合治理成本降低 15%以上;制(修)订煤矿采选废水处理相关国家标准 1 项,得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

2. 研发矿井涌水点空地瞬变电磁探测与多场分析技术,探测准确率 90%以上,研制的钠基悬胶材料能够灌注入 0.05 mm 以下微裂隙, 60°C 高温下堵水能力衰减 $\leq 10\%$,实现阻隔壳再造和采矿废水源头减排 85%以上;在冀东建成矿井涌水原位削减 30000 t/d 示范工程 1 个。

3. 开发多级双流井下干法智能深度排矸技术装备及矿井水-煤矸石协同减排技术,实现 300~2 mm 宽粒级分选(选矿装备的标准描述,指选矿设备入料的粒径范围从 2 mm 到 300 mm),选出原煤中 80%矸石进行井下填充,矿井水辅助煤矸石胶凝时间不超过 2 h,矿井水与煤矸石减排体积达到 1:1;在冀东煤矿开展矿井水和煤矸石井下协同减排规模为 1000 t/d 的示范工程 1 个。

4. 研发矿井水短流程处理技术,大通道有机金属膜直滤装备一体化去除悬浮物、乳化液和塑料纤维,无混凝剂投加,出水悬浮物浓度 $< 1 \text{ mg/L}$,对乳化油和塑料纤维去除率高于 90%;研

发矿井水低成本脱盐技术，有机质改性偏铝酸盐复合药剂协同脱除硅、氟和钙的药剂成本低于 1.5 元/吨水，水通道改性反渗透膜脱盐成本低于 5 元/吨水；在冀东建设规模为 1000 t/d 的废水高质量回用示范工程至少 1 个、规模为 10000 t/d 的采选废水全量利用示范工程 1 个。

5. 研发的煤矸石基无机硅钙镁钾复合肥，肥料利用率提高到 40%，获批肥料登记证；研发的耐盐抗旱促生菌活化煤矸石，主要指标满足《绿化种植土壤》（CJ/T 340-2016）要求；研发矿井水、复合肥、促生菌协同增强复垦地生态功能技术，土壤微生物群落多样性比不采用增强技术提升 30%，管护用水中矿井水占 80%以上，矸石复垦地 3 年植被覆盖度提高到 50%以上；在冀东建设土地面积超过 50 亩的矿井水和煤矸石协同增强生态修复效果示范工程 1 个。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 5:1，实施周期不超过 3 年。

3.11 京津冀区域多源供热碳污协同减排关键技术及示范

研究内容：

围绕京津冀区域供热行业清洁低碳转型的重大需求，针对当前供热结构以燃煤为主、碳污排放强度高，低碳供热能力不足，

多源供热系统协同调控难等问题，开展京津冀区域多源供热碳污协同减排关键技术研究及示范。研究热电联产机组煤基复合燃料清洁燃烧、快速变负荷工况下烟气污染物高效稳定脱除等技术，开发燃煤灵活供热-碳污全过程减排的智能调控技术；研究燃气供热锅炉宽负荷自适应低氮燃烧、烟气冷凝余热深度回收利用等技术，研究生物质供热锅炉燃料提质耦合燃烧优化、烟气短流程高效治理等关键技术；研究高能效可再生能源电热转化-储热关键技术与装备，研发高性能相变材料，开发波动性可再生能源-储热-稳定热源柔性耦合的低碳供热系统；研究燃煤、燃气、可再生能源、工业余热、储热等多热源系统集成及供需动态匹配技术，构建多源供热系统数字孪生模型，开发“能-碳-污”协同优化决策与灵活调控等关键技术及智慧管控平台；研究供热系统“能-碳-污”量化评估方法，提出京津冀区域不同阶段的供热行业清洁低碳转型整体方案和管理策略。

考核指标：

1. 研发适应煤基复合燃料/快速变负荷的碳污协同减排及智能调控技术，在 220 t/h 及以上等级燃煤热电联产机组上实现应用示范，锅炉热效率 $\geq 93\%$ ，机组供热调节能力 $\geq 2.5\%/min$ ，供热负荷 30~100% 内 $PM \leq 5 \text{ mg/m}^3$ 、 SO_2 排放浓度 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 、 NO_x 排放浓度 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$ 、氨逃逸 $\leq 2 \text{ mg/m}^3$ 、 $SO_3 \leq 2 \text{ mg/m}^3$ ，单位

供热量碳排放强度下降 15%以上。

2. 研发生物质、燃气供热锅炉宽负荷污染物深度减排及节能降碳技术，在 35 t/h 及以上等级生物质供热锅炉上实现应用示范，锅炉热效率 $\geq 90\%$ ，30~100%负荷内 $\text{PM} \leq 5 \text{ mg/m}^3$ 、 SO_2 排放浓度 $\leq 15 \text{ mg/m}^3$ 、 NO_x 排放浓度 $\leq 40 \text{ mg/m}^3$ ；在 20 t/h 及以上等级燃气供热锅炉上实现应用示范，锅炉热效率 $\geq 99\%$ ，20~100% 负荷内 NO_x 排放浓度 $\leq 25 \text{ mg/m}^3$ ，单位供热量碳排放强度 $\leq 56 \text{ kgCO}_2/\text{GJ}$ 。

3. 开发风光等可再生能源驱动的高效电热转化-存储技术及装备，在供热面积百万平方米以上的区域得到应用，可再生能源供热类型不少于 3 种，可再生能源供热量占比 $\geq 70\%$ ，储热容量 $\geq 10 \text{ MWh}$ ，材料储热密度 $\geq 250 \text{ kJ/kg}$ ，单位供热量碳排放强度 $\leq 15 \text{ kgCO}_2/\text{GJ}$ 。

4. 开发多源联网的城市热网智慧优化调度系统平台，在京津冀百平方公里以上典型供热区域实现应用，供热源种类不少于 5 类，千万平方米级多源联网供热系统热源切换再平衡时间 $\leq 2 \text{ h}$ ，源网协同调度优化的决策周期 $\leq 10 \text{ min}$ ，供热系统智能调度与控制闭环自主运行投运率达到 95%以上，单位供热量碳排放强度下降 10%以上。

5. 研发供热系统“能-碳-污”量化评估工具 1 套，编制多

源供热行业减污降碳相关行业标准或团体标准不少于 3 项；提出京津冀区域不同阶段的供热行业清洁低碳转型整体方案和管理策略 1 套，差异化实施路径集不少于 4 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.12 京津冀医疗“三废”全过程风险识别及控制技术研发与应用示范

研究内容：

针对京津冀医疗行业“三废”中病原微生物、耐药基因及抗生素等药物类新污染物现有风险因子识别不精准、靶向控制能力不足，多介质风险污染物全过程管控路径不清晰等问题，开发风险因子高通量侦测方法，揭示高风险因子在“固-液-气”中的跨介质传输机制，构建京津冀重点区域高风险污染物清单和风险图谱；研发医疗废物智能识别与源头精准分选技术，研发基于源头分选的医疗废物安全化-分质资源化提取技术体系，形成医疗废物应急安全处置路径与装备；研究病原微生物与耐药基因的同步靶向去除技术，研发生化出水/污泥中残留病原微生物、耐药基

因和抗生素等药物类新污染物的多过程强化同步控制及应急消毒技术；研发新型高效催化氧化灭菌材料及病原微生物应急去除技术，研制气溶胶高风险病原微生物-耐药基因协同控制技术与装备；研发基于医疗废物产生-转移-处置的全过程风险信息追踪技术，研究县城、乡镇及山区偏远地区的医疗废物管理的优化路径，搭建医疗“三废”关键点位高风险污染物监测数据传输的智能监管平台，并进行集成应用。

考核指标：

1. 研发病原微生物高通量检测技术，实现 10 种病毒和 35 种病原菌的同步检测；形成多类别耐药基因同步识别技术，实现 β -内酰胺类、磺胺类、碳青霉烯酶、多粘菌素、氨基糖苷类、喹诺酮类、四环素类、大环内酯类、万古霉素类等 9 大类常见耐药基因同步检测；形成 100 种抗生素等药物类新污染物高通量快速检测，污染物同步方法检出限可达 $0.1\sim 1\ \mu\text{g/L}$ ；形成京津冀三地重点区域（面积不少于 $100\ \text{km}^2$ ）病原微生物、耐药基因和抗生素等药物类新污染物风险因子赋存状态基础数据集和风险热力图谱各 1 套。

2. 医疗废物源头智能识别分选技术与装备，可在线识别的高风险废物种类 ≥ 10 种，识别测试周期 $\leq 5\ \text{s}$ ，医疗废弃塑料、金属等具有资源回收潜力废物源头分类准确率达到 95% 以上；

开发医疗固废非焚烧应急处理关键技术与装备,实现处理后残渣减容率 $\geq 80\%$ 、减重率 $\geq 30\%$,高风险病原微生物去除率 $\geq 6 \log$,样机处理能力 $\geq 1 \text{ t/d}$ 。

3. 形成不少于 2 种废水中病原微生物、耐药基因和抗生素等药物类新污染物高效去除技术路径,实现高风险病原微生物、耐药基因高效去除(检测结果低于定量 PCR 检出限),高风险抗生素等药物类新污染物去除率 $\geq 90\%$;形成污泥病原微生物-耐药基因高效协同去除预处理技术,通过预处理单元实现医疗污泥中高风险病原微生物去除率 $\geq 4 \log$,耐药基因去除率 $\geq 2 \log$;研发污水病原微生物源头应急非氯消毒技术,实现病原微生物去除率 $\geq 4 \log$ 。

4. 形成用于病原微生物杀灭、耐药基因高效去除的新型抗菌材料不少于 3 种;单位小时内病原微生物去除率 $\geq 2 \log$,耐药基因去除率 $\geq 90\%$;研发形成基于臭氧的废气气溶胶病原-耐药协同控制技术与装备,实现废气气溶胶单位小时病原微生物去除率 $\geq 2 \log$,废气处理装置出口的耐药基因检测浓度较处理前降低 $\geq 90\%$,臭氧残留 $\leq 50 \text{ ppb}$;应急条件下通过多技术协同优化实现相同时间下病原微生物去除率 $\geq 3 \log$ 。

5. 建设医疗“三废”智慧化监管平台,监管平台可覆盖医疗废物全生命周期处理过程关键节点 5 个以上,并在京津冀省级

环境管理部门应用；形成京津冀医疗机构“三废”多介质风险管控技术路径，编制医疗“三废”病原微生物、耐药基因及抗生素等药物类新污染物管控技术标准规范，被京津冀省级环境管理部门采纳；在京津冀三地三甲综合医院分别开展风险识别与管控技术示范。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

3.13 工业园区废水“厂-园”协同治理与水盐资源化技术研发与示范

研究内容：

针对工业园区废水水量水质波动大、处理难度高、资源回收效率低等问题，开展园区废水“厂-园”协同治理与水盐资源化技术研发与集成示范。研究基于碳氮比（ BOD_5/TN ）的工业园区多源工业废水精准调配策略，创建企业预处理及园区集中处理的废水分质处理与资源化循环利用全系统优化调控与实施模式，形成基于技术-经济-环境效益多目标优化的废水“厂-园”协同治理最优路径；开发废水毒性预警监测及特征污染物精准识别技术，研发原位氧化废水深度降毒除碳技术、高氮废水复合共生菌群能质强化降碳脱氮技术，形成难降解毒性物质氧化-生化-吸附协同

深度去除技术与废水再生利用成套工艺，降低园区集中处理工艺的能耗和物耗、提高废水再生利用率；研发高盐废水脱溶、除硬、氧化、吸附等分步杂质脱除与定向分盐资源化技术与成套工艺，开发基于物相调控的高盐废水分步除杂、高浓高盐废液除杂浓缩-喷雾焚烧处理等关键技术与装备；开发废盐有机物极限脱除-结晶分离精制技术及成套装备，研发工业杂盐双重电置换制备碱和铵盐技术及一体化设备，形成废盐预处理-精制除杂-高值转化成套工艺，实现工业废盐分质处理与高值资源转化；在天津、河北等地开展难降解废水深度处理与再生利用、高盐废水源头资源化、末端废盐高值资源化、碳基吸附材料再生利用等技术集成与示范。

考核指标：

1. 形成园区废水“厂-园”协同治理多目标优化技术 1 项，创建京津冀区域工业园区的“企业预处理-园区集中处理-水盐资源回收”的废水分质处理与资源化全系统优化调控与实施管理模式，实现企业预处理成本 $\leq$ 原预处理成本的 70%、污水厂收益(包括废水处理费、资源回用收益等) $\geq$ 新增运维成本的 90%；编制工业园区废水“厂-园”协同治理与水盐资源化利用技术的指南/规范 1 项，编制基于水质优化调配的废水集中处理差异化收费方案 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

2. 形成工业园区废水毒性动态监测预警及特征污染物精准识别技术 1 项, 预警响应时间 ≤ 12 min、最低测量阈值 ≤ 2 RLU, 建立典型工业园区水污染物排放数据库 1 个, 包括特征污染物来源、浓度、排放强度、毒性风险等要素; 形成废水中难降解毒性有机物氧化-生化-吸附协同深度去除关键技术 1 项, 毒性有机污染物综合去除率 $\geq 95\%$, 出水 COD 达到 30 mg/L 以下, 脱氮负荷 ≥ 0.4 kgTN/m³·d, 综合水处理成本每吨降低至少 1 元; 园区废水集中处理达标率 $\geq 100\%$, 特征污染物去除率 $\geq 90\%$, 再生水回用率 $\geq 75\%$ 。

3. 形成基于物相调控的高盐废水分步杂质脱除关键技术 1 项, 实现有机污染物深度去除, 出水 COD ≤ 10 mg/L, COD 去除综合成本 ≤ 30 元/kg COD; 盐分资源转化率达到 95%以上, 回收盐 TOC 残留 ≤ 30 mg/kg, 盐中钙镁离子等金属杂质总量 ≤ 3 g/kg, Si 含量 ≤ 15 mg/kg; 形成高浓高盐废液 (TDS ≥ 100 g/L、COD ≥ 120 g/L) 除杂浓缩-喷雾焚烧处理关键技术 1 项, 有机物焚毁率 $\geq 99.999\%$, 回收盐 TOC 残留 ≤ 10 mg/kg, 热效率 $\geq 75\%$ 。

4. 形成废盐及碳基材料有机物极限热解脱除关键技术 1 项, 实现废盐热解温度 400~600℃, 停留时间 < 30 min, 有机物去除率 $\geq 99.5\%$ 或残留 TOC ≤ 15 mg/kg; 碳基材料性能恢复率 $\geq 90\%$, 损耗率 $\leq 5\%$, 循环再生次数 ≥ 8 次。

5. 形成杂盐双重电置换制备碱和铵盐关键技术 1 项及一体化设备 1 套，一体化装备处理能力达到 10 吨/天，实现杂盐不用分离纯化一步实现盐转化率>95%，钠基盐产品达到《GB/T 1606-2025 工业碳酸氢钠》或《GB/T 210-2022 工业碳酸钠》一级品技术指标，铵盐产品满足《GB/T 2946-2018 氯化铵》农用级标准，吨盐处理成本降低 15%，实现 100 元/吨盐以上盈利。

6. 建成难降解有机物深度去除及废水再生利用技术示范工程 1 项，规模 ≥ 1 万吨/天，深度处理出水 COD 去除率 $\geq 90\%$ 或稳定达到 30 mg/L，总氮等去除率 $\geq 75\%$ ，废水再生利用率 $\geq 75\%$ ，物耗能耗降低 20%；建成高盐废水分步除杂-浓缩结晶-分盐资源化示范工程 1 项，规模 ≥ 2000 吨/天，蒸发结晶出水 COD<50 mg/L，蒸发出盐有机物指标合格率>99%；建成高浓废液喷雾焚烧/废盐热解-精制除杂-高值转化示范工程 1 项，规模 ≥ 1 万吨/年，全流程综合成本<900 元/吨，产品盐 TOC 含量 ≤ 15 mg/kg，产品质量一次达标率>98%；建成废碳基材料热解再生利用示范工程 1 项，规模 ≥ 1 万吨/年，碳基材料性能恢复率 $\geq 90\%$ ，损耗率 $\leq 5\%$ ，能耗降低 20%，全流程综合成本<600 元/吨。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 5:1，实施周期不超过 4 年。

3.14 城镇污泥环境风险防控与绿色低碳资源化关键技术研发及示范

研究内容：

针对京津冀地区城镇污泥环境风险不明、处置技术路线不清、资源化产品出路不畅等问题，识别污泥产排特点、泥质特性与污染特征（常规与新污染物），研究“脱水干化-资源转化-产品应用”全过程的环境、经济效应，梳理评估现有处理处置技术，研究针对不同场景的污泥处理处置与资源化路线；研发基于强化电子传递的污泥厌氧消化、铁基材料强化污泥好氧发酵等关键技术，突破污泥生物高质转化协同新污染物降解技术瓶颈，创建污泥资源化产品土地利用过程生态环境风险评估方法体系，建立京津冀污泥产品土地安全利用及长效监管模式；研发低碳余热干化及高掺量协同焚烧技术与装备，研究泥质特性对焚烧系统的影响机制，研发协同焚烧二次污染控制技术，研发灰渣晶相重构与类土壤化利用成套技术；研发污泥深度脱水耦合定向催化热解关键技术和智能装备，研发污泥热解过程污染控制技术与热解产物制备环境功能材料技术，研究污泥处理处置全流程碳排放与生态环境风险评估方法并形成规范标准；针对京津冀污泥科学监管与区域协同治理的需求，研发污泥处理处置全过程数智化监管系统，建立跨

区域/跨部门/跨产业协同资源化利用、污染物生态环境风险监管与智慧运营模式，形成京津冀污泥绿色低碳资源化与减污降碳协同的系统解决方案。

考核指标：

1. 构建包括京津冀 10 个以上典型城镇的污泥产排特点、泥质特性、污染特征（含常规与新污染物等）及处理处置技术的数据库，开展污染物来源解析；解析处理处置及资源化过程重点监控特征污染物，包括持久性有机污染物（PFAS 类等）、抗生素（喹诺酮类、大环内酯类、氯霉素）、抗性基因、邻苯类物质、壬基酚类物质、重金属、微塑料等的迁移转化规律，建立 1 套安全转化预测模型；结合京津冀不同环境容量特征，编制不同场景下京津冀区域协同的污泥处理处置与资源化技术方案。

2. 研发基于强化电子传递的污泥厌氧消化技术 1 项，含固率提升至 10%~15%，容积减小为 1/3，沼气热电联产产热量和耗热量比值高于 120%；研发铁基材料强化污泥好氧发酵技术，发酵周期缩短 10%~15%，发酵产物腐殖酸含量提升 20%以上，抗生素、抗性基因等新污染物去除率 $\geq 90\%$ ；提出污泥生物转化-土地利用-特色芦竹种植新模式，研究全过程、全生命周期污染物（重点关注喹诺酮类、大环内酯类等抗生素及 PFAS 类）迁移转化规律，研究污泥产品土地利用过程的生态环境风险评估方法，

形成技术指南或标准 2 项, 相关成果被省部级及以上相关主管部门采纳; 明确污泥产品土地利用场景和前提条件并在北京、天津和河北省分别开展万亩土地利用示范各 1 项(特色芦竹种植单体示范不少于 3 万亩); 研发污泥类土基质制备关键技术 2 项, 基质养分等关键指标满足《绿化种植土壤》(CJT340-2016) 要求, 并开展污泥类土基质制备与生态修复利用示范工程 1 项, 示范面积不少于 1 万亩。

3. 研发煤电锅炉协同焚烧的节能干化装备, 余热干化污泥含水率在 10%~40% 范围内可调, 干化能耗 ≤ 2800 兆焦/吨水, 形成 1 套污泥低碳余热干化-高掺量协同焚烧工艺与装备系统, 烟气排放实现 SO_2 浓度 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$, NO_x 浓度 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$; 在冀中地区污泥日产千吨以上城市的主城区, 新建污泥低碳余热干化及其与燃煤电厂协同焚烧示范工程 1 项(污泥处理能力 300 吨/日以上, 含水率 80% 计), 稳定运行时间 6 个月以上, 直接运行成本 < 220 元/吨。

4. 研发污泥深度脱水耦合定向催化热解新技术, 污泥减量化达到 $\geq 90\%$, 抗生素类、PFAS 类、微塑料等新污染物去除 $\geq 95\%$; 开发污泥脱水以及土壤应用的污泥热解碳产品, 并开展应用示范, 污泥脱水至 60% 以下, 脱水剂添加量 $\leq 5\%$; 土壤调理剂(固碳率 $\geq 55\%$, 磷回收率 $\geq 85\%$) 示范面积不少于 500 亩。

5. 形成 1 套涵盖技术、监管与政策多个维度的京津冀地区污泥绿色低碳安全资源化系统解决方案，包括 1 套可跟踪、可溯源的污泥数智化全过程监管系统（包含污泥产生、运输、处理与资源化各环节），且在示范工程上稳定运行 3 个月以上，形成 1 套污泥处理处置碳排放评估模型，1 套生态毒理安全评估规范和 1 个京津冀城镇污泥系统解决方案。形成 2 项以上京津冀区域协同地方标准，标准被三地省级环境主管部门采纳，申请核心技术国家发明专利 ≥ 5 件。形成 1 份京津冀区域污泥资源化与安全处置政策建议，相关成果被省级及以上相关主管部门采纳。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 3 年。

3.15 低值废塑料催化裂化/气化制备绿色石化产品关键技术与示范

研究内容：

针对混杂于生活垃圾、陈腐垃圾、造纸厂废弃物等低值废塑料，开展数字化平台搭建-高效智能分选-化学回收与循环技术-

环境污染防控全链条研究与示范。开发基于深度学习的废塑料品类高精度识别技术，搭建覆盖京津冀全域及资源-产业-市场信息的废塑料循环利用数字化平台；研发低值混杂废塑料多光谱视觉智能识别技术，开发面向复杂形态垃圾的多模态感知与自适应控制技术，研制深度融合光电分选的机械臂式智能分拣设备；研发混杂废塑料固定床热解气化高效制合成气与费托合成选择性制富含异构烷烃 C8-C16 航煤馏分等关键技术与装备，形成基于全系统优化的废塑料经合成气制高品质航空煤油系统集成技术；开发含聚氯乙烯废塑料快速液化深度脱氯-催化裂化组合制备可持续车用燃料和聚丙烯合成树脂成套技术与装备；开展全链条环境风险识别及污染控制研究，并在京津冀滨海工业带大型石化产业聚集区开展工程示范。

考核指标：

1. 研发混杂塑料现场快速检测智能化识别技术及移动终端，至少可同步获取废塑料 3 种特征指标数据，秒级响应，续航时间 ≥ 24 h，塑料品种识别精度 $\geq 90\%$ ；建立覆盖京津冀全域面向市场交易服务的废塑料回收再利用数字化服务平台 1 个，交易信息匹配准确率 $\geq 85\%$ ，形成物流、资金流、合同流、发票流等交易全链条数据，生成可信的区块链存证和电子供应链票据，实现废塑料年交易量不低于 500 万吨，并实现商业化运营。

2. 废塑料智能分拣与清洗和减容设备中机械臂式分拣速度不低于 4000 次/小时,分拣精度达 97%以上,响应时间 ≤ 0.5 秒;回收率不低于 90%,分选减量后塑料制品的质量分数大于 30%,混合塑料中氯含量不高于 500 ppm,分选操作费用不高于 1000 元/吨;聚酯类物质质量分数不高于 1.0%,非塑料物质质量分数不高于 1%,建成混杂废塑料分选回收能力不低于 2 万吨/年的示范工程 2 个。

3. 针对生活垃圾/陈腐垃圾等中的混杂废塑料,合成气有效气含量($\text{CO}+\text{H}_2$) $\geq 80\%$,脱氯率 $\geq 99\%$,焦油含量 $\leq 0.5 \text{ g/Nm}^3$,净化后合成气满足费托合成原料要求; CO 综合转化率 $\geq 90\%$,绿色航煤综合选择性 $\geq 75\%$,催化剂寿命 ≥ 1500 小时;航煤馏分产品满足 ASTM D7566 附录标准; CO_2 总排放量 $<1\%$ (按废塑料中总碳元素计算);费托系统整体能效 $\geq 65\%$,建成每年 2 万吨废塑料热解气化-费托合成制备航煤工程示范。

4. 针对纸塑、生活垃圾等含聚氯乙烯废塑料,基于干基无灰的废塑料转化后的气相和液相产品总收率不低于 90%;快速液化深度脱氯过程脱氯率大于 95%,氯含量小于 50 ppm,粘度小于 2000 cp (280°C);基于液化塑料进料,按照质量平衡法实现汽油+液化气收率 $>70\%$,丙烯不小于 10%,所产丙烯经精制处理符合聚丙烯原料要求,在百万吨级催化裂化及万吨级聚烯烃装置

上改造完成快速液化深度脱氯-催化裂化-聚丙烯组合装置，协同处置废塑料能力达 5~10 万吨/年，实现废塑料兼产可持续车用汽油和绿色聚丙烯炼化一体化工程示范。

5. 废塑料成型工艺的 VOCs 排放，应符合国家无组织《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）中对 VOCs 的排放指标要求；废塑料热解气化工工艺 VOCs 含量不高于 0.5 mg/m³，PM_{2.5} 不高于 20 mg/m³，NO_x 不高于 100 mg/m³；废塑料深度脱氯-催化裂化工工艺产生的废气和废水经处理后需满足《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）指标要求，形成国家标准或行业/地方标准不少于 2 项，商业化运营模式 1 套，区域性低值废塑料的系统性解决方案 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 6:1，实施周期不超过 3 年。

3.16 大型规模化养殖场氨及温室气体协同管控关键技术与示范

研究内容：

针对大气面源污染精准治理需求产生的京津冀区域大型规模化养殖场减污降碳协同管控难题，通过开展典型生猪、家禽等

大型规模化养殖场圈舍-粪污处理-粪肥还田多环节全链条中的氨、恶臭及温室气体（氧化亚氮、甲烷）原位高频监测，系统阐明融合产生特征及其碳、氮、硫等关键元素的迁移转化规律，构建以氨为核心的大型规模化养殖场“环节-工况-环境参数”一体化融合排放清单和高精度物质流动态质量平衡模型；开发畜禽圈舍端适合水（尿）泡粪系统的原位保氮固碳复合菌剂，研究局部精准化智能通风技术，研发养殖场舍内智能化清粪工艺装备，研发生物安全型除氨墙、氧化亚氮催化转化技术，开发污染物资源化回收装备，形成耦合工艺，开发适用于楼房养殖的模块化大风量物理-生物-化学协同净化装置；研发液态固态粪污处理端减氨固碳的快速水解、高压脱水及纳米膜堆肥等技术，开发液态粪肥氨碳分离回收和精准施用技术及装备，研发沼气中甲烷高效提纯与资源化技术，开发基于水解-脱水-分离-堆肥-施用的畜禽粪污处理及还田碳氮排放源多介质控制技术与装备；研发大型规模化养殖场感官-环境-排放-管控响应复杂模拟系统，评估氨排放管控对周边大气 $PM_{2.5}$ 影响，提出畜禽养殖场氨排放限值及减排技术指南，构建基于排污许可的畜禽养殖氨排放管控体系；建立氨-恶臭-温室气体排放优化调控技术，在包括新型楼房养殖场在内的大型规模化养殖场及集中还田区开展集成示范。

考核指标：

1. 大型规模化养殖场“环节-工况-环境参数”一体化氨、恶臭（硫化氢、三甲胺等）与氧化亚氮、甲烷融合排放清单制定技术指南 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用；覆盖圈舍、固/液态粪污贮存与处理、粪肥还田全环节碳、氮、硫多元素跨介质高精度物质流动态质量平衡模型 1 套。

2. 研发水泡粪环节氨和温室气体减排菌剂产品 1 种，氨减排 30%，甲烷和氧化亚氮减排 20%；畜禽舍局部通风技术及系统 1 套，末端排放风量较常规畜禽舍降低 40%以上；研发养殖场舍内智能化清粪工艺装备，氨和甲烷减排 20%；畜禽舍排放气体氧化亚氮催化转化、生物除氨技术 2~3 项，氮素回收 50%；楼房养殖排放气体高效净化技术及装备 1 套，氨气去除率 80%、温室气体减排 20%。

3. 研发密闭式畜禽粪污高压脱水技术系统 1 套，实现氨减排 20%以上；筛选堆肥专用菌剂 1~2 种，开发畜禽粪污纳米膜堆肥技术 1 套，实现氨和氧化亚氮减排 30%以上；开发液态粪肥精准还田系统及装备 1 套，实现氮损失较传统漫灌降低 20%以上，氨和氧化亚氮减排 30%和 10%以上；集成畜禽粪污处理及还田碳氮排放源多介质控制技术与装备 1 套。

4. 畜禽养殖全链条、全环节、多污染物的感官-环境-排放-管控响应复杂模拟系统 1 套，量化氨-恶臭-温室气体减排对大气

PM_{2.5} 等跨介质污染物浓度的影响；建立恶臭暴露-嗅觉烦恼评估模型 ($R^2 \geq 0.8$)；提出畜禽养殖行业氨排放限值及对应的减排技术指南各 1 项，排放限值包括氨排放口浓度、场界浓度与企业氨排放强度 3 类，得到省级及以上相关管理部门采纳应用；构建基于排污许可的畜禽养殖氨排放管控体系 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用；支撑平急两用、适用于企业治理与政府管控的畜禽行业氨排放智能监管平台 1 套。

5. 大型规模化养殖场氨-恶臭-温室气体排放优化调控技术 1 套，在京津冀地区生猪、家禽等大型规模化畜禽养殖场开展示范应用，示范地区不少于 5 个重点城市，单场规模不低于 5 万个年出栏猪当量，示范养殖场总规模不低于 400 万个年出栏猪当量，其中示范生猪养殖场总规模不低于年出栏量 300 万头，且示范楼房生猪养殖场规模不低于年出栏量 15 万头，实现精准还田 10 万亩，其中示范田不低于 1 万亩，项目牵头单位自有示范量不低于上述示范总规模的 85%。完成多环节多场景减排效率评价及环境质量改善效益评估，形成可复制、可推广的跨介质协同减污降碳示范模式一套。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 3 年。

板块四：水生态环境全面改善与绿色水处理技术及其装备体系

4.1 密云水库流域环境风险预警、污染防控和生态修复关键技术与示范

研究内容：

面向华北地区最大饮用水源地、水资源战略储备基地保护需求，针对总氮浓度偏高、流域污染来源复杂、污染防控系统性不强等多重问题，系统解析密云水库流域水资源、水环境、水生态长期演变规律，基于多元数据响应关系解析总氮时空变化驱动机制，构建湖库型水源地流域水生态健康评价指标体系；研发水质快速监测-精准溯源一体化装备，研究高氮场景下流域智能溯源监测网络构建的技术体系，解析气候变化和人类活动双重胁迫下入库河流氮素迁移转化机制，研究构建流域精细化溯源技术路径与方法体系；研究密云水库水动力、热力、生化和生态过程与耦合作用，评估水库沉积物淤积分异特征及其内源污染释放风险，构建融合原位模拟与模型预测的水库消落带与库滨带污染影响评估技术，研发河库统筹的营养物基准标准构建关键技术，针对高氮低磷特殊生境提出水库营养物标准值，形成源-径-汇全过程营养物管控目标；研发径流-泥沙调控与坡地总氮截留技术、低

碳氮比水域多生境修复技术，构建小流域尺度多过程-多介质面源污染削减与河流水域生态功能提升的协同调控技术体系，建立小流域污染防控和生态修复示范区，形成流域系统解决方案；研发多源异构数据智能融合与协同分析技术，研究河（库）滨带多场景风险智能识别方法，构建基于 AI 的汛期水质污染精细化预测预警技术，研发流域“立体监测、风险预警、污染溯源和智能决策”一体化技术支撑平台，并在密云水库流域开展业务化应用示范。

考核指标：

1. 建立数值模拟与情景分析、沉积物反演和 eDNA 技术相结合的水资源-水环境-水生态演变规律识别技术 1 套，形成密云水库库区及主要干流水资源-水环境-水生态系统演变年代表；建立基于机理-数据驱动融合的流域水文-水质响应关系研究技术 1 套，对主要入库河流流量、总氮等主要参数的模拟误差不超过 20%；提出适用于密云水库流域，涵盖水资源、水生态、水环境等多要素的湖库型水源地水生态系统健康评价指标体系 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

2. 研发水质快速监测-精准溯源一体化设备 1 套，硝酸盐氮检测周期小于 1 min，测量相对误差 $\pm 15\%$ 以内，溯源准确率 $\geq 80\%$ ；形成高氮场景下的流域智慧溯源监测网络构建技术体系 1

套,包括指标设置、点位布设、装备筛选、组网集成等确定技术,涵盖手工、自动、遥感、移动走航及智能传感器等不少于 5 类监测手段;形成基于多源大数据融合的流域氮素迁移转化过程耦合解析技术 1 项,多源数据种类不少于 5 种,识别密云水库流域不同河段氮转化微生物群落组成不少于 100 种(属);构建流域氮精细化源解析技术体系 1 套,耦合 4 种以上不同源解析技术,识别的污染源类型不少于 6 种,溯源空间精度达到公里级,形成流域氮(点源、面源)排放清单。

3. 建立密云水库的水动力-热力-生化-生态过程解析技术 1 项,实现水温垂向平均误差 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$ 、总氮月均值误差 $\leq 30\%$;获得水库底泥淤积总量及特征,绘制底泥污染风险分区图;提出覆盖水库 126~160 m 高程范围的密云水库水生态安全保障对策,形成兼顾水资源-水环境-水生态安全的综合调控方案 1 个,得到水库相关管理部门采纳应用;建立基于营养物生态效应等归因分析技术的水库营养物基准推导技术 1 项,提出密云水库营养物基准值、标准值 1 套并给出管控目标建议,形成河库统筹营养物基准制定技术指南 1 项,得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

4. 形成径流-泥沙调控的坡地污染物截留技术 1 项,针对识别出的流域重点区域开展示范,实现中到大雨条件下坡地示范地块较未治理地块总氮通量削减 20%以上,示范地块面积不少于

2000 m²；形成低碳氮比水域总氮自净与生物恢复协同的多生境修复技术 1 项，实现示范点河流总氮潜在脱氮速率不小于 5.0 μmol/(kg·h)，示范河流面积不少于 1 公顷；建立小流域污染防控和生态修复集成技术 1 套，在白河流域（赤城县、密怀延地区）、潮河流域（丰宁满族自治县、滦平县、密云区）等重点区域选择不少于 1 处小流域开展技术示范，流域面积不小于 1000 公顷，实现小流域治理后控制断面总氮浓度削减 10%以上，示范段河道生境多样性提高不少于 1 个等级，编制流域污染防控与水生态保护系统解决方案 1 套并被水库相关管理部门采纳应用。

5. 建立基于知识图谱的流域点位信息数据集 1 套，耦合多源数据 ≥ 10 类，覆盖常规地面水环境、水资源和水生态监测点位 ≥ 200 个，自动监测点位 ≥ 80 个，溯源监测一体化点位 ≥ 10 个等；形成不少于 6 类流域水环境风险和近库（岸）带风险精准识别算法，风险识别精确度 ≥ 80%；形成基于 AI 的汛期水质污染预测预警分析技术 1 项，实现未来 3 天逐日、未来 1 天逐小时预警，平均指标预测精度优于 85%，预警误报率低于 15%；形成密云水库饮用水源地风险监管与智慧决策支撑平台 1 套，在省级生态环境部门开展业务化应用，示范应用时间不少于 6 个月。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位

提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

4.2 渤海湾氮跨介质精准识别与陆海协同管控技术与示范

研究内容：

针对渤海湾氮生态响应阈值不清、跨介质源项不明与流域海域统筹不足等关键瓶颈，开展渤海湾浮游植物群落结构与环境因子现场观测与控制试验，构建常态及强降雨、持续高温等极端天气下营养盐-浮游植物响应关系，揭示浮游生态系统稳态转化的时滞特征和关键驱动机制，建立激活增强神经网络-常微分方程耦合的生态动力学模型，辨识浮游生态系统模态转换的关键物种与氮敏感阈值；融合质谱图谱与污染源异构图，开发图神经网络算法提升有机及复合污染源识别能力，耦合稳定同位素差异因子与通量模型建立无机主导路径(大气、地下水)的定量归因方法，量化不同来源氮形态及通量时空变化，突破氮的多介质、跨行业精细识别难题；建立海域与流域氮管控指标非线性映射关系，基于“以海定陆”原则提出总量和浓度结合的治理指标，开发反演推理算法，实现治理目标从海域到流域、子流域、控制单元及排口的逐级定量分解，构建以流域目标分解、区域空间分区与污染源责任量化为核心的协同管控关键技术；建立面向农业种植源的

田块级削氮试验平台，开展控肥、控灌、滞留、拦截、深施等典型单项及组合措施的多介质削氮效应观测，构建覆盖源头、过程与末端的多源多类型治理措施库，开发措施配置的成本、效益、碳效应协同优化决策工具；整合“污染识别-路径追踪-责任分解-工程配置”等关键模块的多源数据与算法模型，构建面向流域-海域一体化治理的知识图谱与智能决策引擎，在永定新河-潮白新河-蓟运河开展陆海统筹总氮治理全链条示范。

考核指标：

1. 研发激活增强神经网络-常微分方程耦合的生态动力学模型 1 套，具备与京津冀模拟器协同开发接口，24 h 沿海重点水域叶绿素 a 浓度预测 $R^2 \geq 0.8$ ，均方根误差（RMSE） $\leq 4 \mu\text{g/L}$ ，72 h 沿海重点水域叶绿素 a 浓度预测 $R^2 \geq 0.75$ ，RMSE $\leq 6 \mu\text{g/L}$ ；量化识别渤海湾春季、夏季藻华爆发的总氮浓度控制阈值。

2. 构建长时间序列（20 年及以上）总氮多介质（涵盖地表水、地下水、土壤、海水、沉积物）时空分布数据集，提出谱图-图结构融合驱动的氮溯源识别技术 1 项，溯源精度 $\geq 80\%$ ；编制总氮污染溯源技术指南（征求意见稿）1 份，覆盖氮来源包括农业、养殖、生活污水、工业排水、地下水、大气输入不少于 6 类，获省级及以上生态环境主管部门采纳应用。

3. 构建多级反演推理驱动的海域-流域管控指标非线性映

射与责任逐级分解技术 1 项，拟合 $R^2 \geq 0.8$ ，DIN 与 TN 映射误差 $\leq 15\%$ ；研发可支撑“流域-子流域-控制单元-排口”四级空间的责任拆解算法体系 1 套，支持 $\geq 90\%$ 的控制单元、排口具备明确 TN 管控目标量化值 (kg/a)；“以海定陆”原则下渤海湾陆海统筹氮管控指标目标建议方案 1 份，内容涵盖目标制定逻辑、责任归属规则、指标分解标准等，获省级及以上生态环境主管部门采纳并纳入试点示范。

4. 提出基于田块级响应平台的氮治理措施组合效益评估与配置优化技术体系 1 项，设计田块级实验平台 $300 \sim 2000 \text{ m}^2$ /组合单元，设置控肥、控灌、滞留、拦截、深施等 ≥ 5 类治理技术，得到 ≥ 30 组田块级治理组合措施的多介质削氮效应观测实验数据集，形成农业面源污染治理相关地方标准 1 项(征求意见稿)；在维持作物面积产量不低于当地前三年平均水平的前提下，试验田单项技术削氮率提升 $\geq 15\%$ ，组合措施削氮率提升 $\geq 30\%$ ，单位面积氮肥施用量降低 30%，单位面积氮素损失量降低 20%；研发基于效益-适应性-成本约束的治理措施优选决策工具 1 个，可支撑输出控制单元尺度治理措施最优配置方案。

5. 选取典型入海河流流域进行示范应用，完成 1 个具备闭环链路的治理示范区，治理路径包括识别、归因、责任分解与工程配置全流程，覆盖至少 3000 km^2 的“陆-河-口”单元，其中农

业面源污染治理技术示范区面积不少于 20000 亩，并开展不少于 4 类工程示范；示范区总氮排放总量较前两年平均水平减少 $\geq 10\%$ ；相近降雨特征下示范区典型入海河流总氮汛期污染强度下降 $\geq 15\%$ 。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

4.3 官厅水库水源地问题诊断与库滨带生境重构技术研究 与示范

研究内容：

面向官厅水库饮用水水源地功能恢复需求，聚焦常规污染物与新污染物协同防控以及水岸协同治理难题，开展官厅水库及其上游流域点源、地表-地下水多介质生物-非生物全要素同步监测，解析物质通量变化规律与水生态环境演变机制，识别潜在环境风险及主要胁迫因子；构建流域特征污染物分区分源精准识别方法，研发以高分辨质谱非靶向大数据为核心的多污染物协同溯源技术，建立流域特征污染物多维定量溯源方法；解析水文扰动-污染脉冲-生物网级联效应，研发复杂场景下库区物质能量流动及

失衡过程阻断方法，集成基于能量流动驱动的水生态系统稳定性提升技术，形成应对多模式扰动的功能类群定向扩繁与适应性栖息地修复技术；解析基流交换与垂向渗漏的地表-地下多介质交互过程，揭示河流旱雨季转换中的污染物源汇转化机制与传输路径，研发入河入库污染通量模拟与调控技术，明晰地表、地下不同过程对入库通量的贡献与关键阻控路径，构建以通量削减为目标的流域用地格局、产业结构、水质保障多目标协同优化方案；研发库滨带滞蓄-交换-净化复合结构功能优化技术，开发微地形-植物网络-人工强化相结合的近自然多层次生境重构技术，形成库滨带功能分区污染导控技术，实现污染负荷削减与生境质量协同提升，在官厅水库库滨带进行工程示范。

考核指标：

1. 建立生物-非生物全要素监测技术体系，涵盖微生物、藻类、底栖动物和鱼类等 4 大类生物监测指标，以及生源物质、无机元素、天然有机物和新污染物等 300 余种非生物要素指标；开发生物-非生物全要素监测大数据深度挖掘技术，基于宏基因组测序的低丰度基因组重建数量提升 1 倍，低丰度基因功能识别率从每个宏基因组 10^2 个提升至 10^3 个，基于高分辨质谱大数据的污染物注释准确率大于 80%；研发多物质耦联-生物响应解析技术，涵盖生物-非生物要素种类不少于 400 种，构建响应模式不

少于 3 类。

2. 构建流域特征污染物分区分源精准识别方法，特征污染物清单分辨率小于 1 km；开发以高分辨质谱非靶向大数据为核心的氟化物、COD 和典型新污染物等多污染物协同溯源技术，同时溯源的污染物浓度跨 6 个数量级 (ng/L~mg/L)，溯源时间从数天缩短到数小时、定量误差 $\leq 10\%$ ；在官厅水库流域示范，形成流域不同类型污染物特征指纹图谱不少于 2 万种。

3. 建立多模式水文扰动下水生态韧性网络重构技术，研发关键功能类群恢复及定向扩繁工艺 ≥ 2 种，生物量产率提升 15%，实现水文扰动下水生态系统完整性指数提升 20%，扰动后优势底栖动物种类数恢复至基线水平 80%所需时间 ≤ 35 天。

4. 开发官厅水库流域地表-地下耦合的污染物迁移过程模拟模型，模型输出空间精度优于 100 m，污染通量模拟的年均误差控制在 $\pm 15\%$ 以内，污染负荷突增识别准确率 $\geq 85\%$ ；建立基流交换与垂向渗漏参数识别方法，明确其对入库污染通量的贡献比例，误差控制在 $\pm 15\%$ ，旱雨季转换情景下源汇动态转化模拟精度 $\geq 85\%$ ；形成官厅水库流域用地格局、产业结构和水质保障多目标协同优化方案，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

5. 研发库滨带多功能基质强化径流污染高效导控及复合生境重构技术，在官厅水库开展示范工程 1 项，示范面积不小于

10 万 m²，实现示范区域生物适宜栖息地生境质量指数较本底值提高 20%以上，中雨条件下（24 h 内降雨量 10 mm ~ 24.9 mm）示范区域对颗粒态 TP 平均截留率 ≥ 20%、颗粒态 COD 平均削减率 ≥ 30%。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

4.4 城市水体污染防控与生态安全保障技术与示范

研究内容：

针对京津冀地区城市水体抗冲击能力差、雨后持续性黑臭隐患大、疏浚导致浊度抬升等问题，研究多源污染（空气、地表、管网、底泥等）与环境要素叠加影响下，城市水体生物-化学响应特征及雨后水质恶化与持续性黑臭演化机制，解析汛前降水水位与湿沉降对持续性黑臭形成的影响与贡献，提出季节性水质恶变及旱-雨急转型水体的黑臭风险监控预警指标体系及预防干预策略；研究长降雨间隔期、不同排水系统类型及运行工况下的雨污水管网出流污染特征及污染物赋存形态，研发针对高水位管网水力扰动的轻质有机组分快速清通技术，开发速通型、大通量出流

污染快速净化成套技术及装备；解析城市水体底泥污染物赋存形态与细微颗粒物分布特征，研究水体干式清淤过程的细微颗粒物高效清除技术，研发适用于高水位亲水水体的低扰动清污、恶臭控制、泥水就地分离与余水处理一体化技术及装备；分析管网出流污染净化污泥与疏浚底泥的有机无机组分特征、营养物赋存形态及生物利用潜力，研发净化污泥/疏浚底泥有机无机组分分离碳源提取技术及装备；选择排涝河道（景观、排涝等）、亲水水体（游船、游泳等）等典型城市水体，分类开展污染主动防控、精准治理、黑臭预警防控与生态安全保障技术的应用验证，构建城市水体污染精准诊断与数智化管控技术体系并进行应用示范。

考核指标：

1. 建立城市水体雨后持续性黑臭过程水质演化与预测预警模型，指标值突变预警模拟精准度大于 80%，提出汛前降水水位恶臭事件形成的边界阈值（涵盖污染物浓度、水位和窗口时间等边界条件不少于 6 种）；提出汛前恶臭控制策略与雨后持续性黑臭预防干预策略 1 套，得到省级及以上管理部门采纳。

2. 研制基于出流流速与 SS 浓度双参数协同感应自触发的瞬时采样系统，实现降雨排水事件全过程动态覆盖采样与水质极值捕获，峰值捕获率 $\geq 95\%$ （对比模拟过程基准值），从出流感知到采样触发的响应延迟不超过 10 s，采样误触发率与漏触发率不

高于 5%。

3. 提出针对高水位管网水力扰动的雨污水管网轻质有机组分快速清通技术，水力扰动清通段后的水相 COD 或 SS 较清通段前增长 30%以上，或 VSS/SS 提高 20%以上。

4. 研发面向雨水入河排口和溢流口的速通型、大通量、短停留时间出流污染快速净化技术装备，单机最大处理能力不低于 2000 m³/h，总体停留时间不超过 8 min，污染高峰时段 SS 去除率不低于 85%，出水中处理药剂残余量不超过投加量的 2%。

5. 研发水力扰动与曝气扰动融合的亲水型水体生态清污技术装备，可作业水深不小于 10 m，清污过程不影响水体正常的亲水功能，作业点 10 m 范围水面 SS 增加值不超过 10 mg/L 或透明度降低不超过 10%，空气中典型恶臭物质浓度值不超过《恶臭污染物排放标准》（GB14554-2018）一级的要求，或不超出本底值的 10%；清出物 VSS/SS 较底泥增幅不小于 50%或回填层 VSS/SS 较底泥降低 50%；余水回补水体水质（COD、TN、TP）不低于受纳水体水质目标要求，形成低扰动生态清污技术导则 1 项。

6. 研发城市排涝水体低水位或干式清淤过程细微颗粒物分离与恶臭控制技术装备，清淤后表层底泥粒径中位值增大 50%以上，底泥可挥发硫化物、氨等典型恶臭物含量较清淤前降低

20%，恢复通水后水体透明度恢复至清淤前状态的时间不超过 1 天。

7. 研发排口净化污泥与河道底泥有机无机组分高速扰动剥离与水力涡流防再凝聚技术装备，提取物 VSS/SS 不低于 60%，或较原泥增长 50%以上，COD/TN 不低于 20；在不少于 3 个场景中进行技术验证。

8. 在京津冀选择至少 1 个城市片区开展示范应用，覆盖亲水和排涝两类水体，亲水水体水域面积不低于 100 万 m^2 ，排涝河道示范长度不少于 20 km，涵盖水质风险预警、管网有机组分快速疏通、出流污染快速净化、低扰动底泥清污等综合技术示范；形成城市水体污染防控与安全保障技术导则 1 项，包含风险预警、主动干预、问题防控等内容；在示范区域内，建立数智化管控平台 1 个，涵盖基于多源污染风险识别的水体水质恶化或黑臭风险监控预警系统、基于排水管网水力扰动疏通的管道污染物主动防控系统，以及综合风险预防和风险控制策略的城市水体污染防控决策支持系统。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，

实施周期不超过 3 年。

4.5 京津冀美丽河湖水生生态完整性保护与功能提升技术研究 与示范

研究内容：

围绕京津冀美丽河湖保护与建设目标与路径不明确、水生生态完整性保护关键技术薄弱、措施不精准等问题，研究河湖水质-水量-水生态多维要素时空演变规律与协同机制，攻克多类型美丽河湖水生生物及栖息生境等关键指标调查评估、退化机理诊断及期望值确定技术，研究京津冀水生态修复成效评估方法，构建京津冀美丽河湖保护与建设差异化评估技术与实施路径；研制水生生物及栖息生境自动化、智能化监测技术及装备，研发水源涵养和岸线功能监测评估技术及系统，建立美丽河湖绿色低碳技术筛选与评估方法，构建覆盖美丽河湖建设全流程的适用技术库，研究水污染物排放控制、水生态保护修复标准体系优化及长效管理政策，开发具备“问题识别-技术匹配-成效评估”全链条管理功能的智能决策支持系统；针对生态保育型河湖，解析水生态本底与干扰机制，开发水生态优先保护对象识别技术，研究河湖水生生态退化风险评估与预警技术，突破多功能仿生复合生境构建与修复技术，建立河湖生境保护与水生生态退化防控技术体系；针对

约束提升型河湖，研究多源补水背景下复杂混合污染物交互影响与复合生态效应评估方法，研发基于食物网结构与能级耦合的土著物种恢复技术，构建多功能适应型亲水空间营造技术，形成健康风险防控与水生态修复技术体系；针对统筹治理型河湖，研发生态修复与农业面源污染精准协同治理技术，解析咸化背景下滨海河湖生态响应机制，突破盐碱胁迫区底质生境修复与植物群落构建关键技术，建立水-岸统筹治理与水生态功能提升的一体化技术体系，在永定河、潮白河等京津冀典型流域开展技术应用示范。

考核指标：

1. 建立京津冀多类型美丽河湖水生生物类（以底栖动物为主）及栖息生境等指标调查评估技术 1 项，提出京津冀不同类型美丽河湖调查评估指标体系 1 套，美丽河湖类型 ≥ 3 种，调查指标 ≥ 9 项；研发京津冀美丽河湖评估指标期望值确定技术 1 项，重复评估稳定性强且误差 $\leq 10\%$ ，提出永定河、潮白河等水体的目标期望值，得到地方相关管理部门采纳；构建京津冀美丽河湖保护与建设成效动态评估技术 1 项，模型评估结果与实际状态吻合度 $\geq 85\%$ 。

2. 研发水生生物自动化监测技术装备 1 套，具备大型底栖动物、鱼类、水生植物等 3 类生物群体的同步监测能力，水下视

频流处理速率 ≥ 5 FPS，目标检测和分类识别时间 ≤ 1.5 s，单次单点位从采样到输出结果完成时间（底栖动物、鱼类、水生植物同步） ≤ 20 min，物种识别准确率 $\geq 95\%$ ；研发水源涵养和岸线功能监测评估技术及系统 1 套，可在 10 min 完成 5 km^2 范围内水源涵养和岸线功能测算，自然岸线识别精度达到亚米级，误差率 $\leq 5\%$ 。

3. 编制美丽河湖生态保护修复技术规范与指南 ≥ 7 项，内容涵盖水生生物及栖息生境调查监测、状况评估、退化机理诊断、底栖动物/水生植物/鱼类保护修复、成效评估等方面，得到省级及以上相关管理部门采纳；提出京津冀美丽河湖保护与建设、水生态保护修复、协调机制、水生态产品价值转化路径等相关政策建议 ≥ 5 份，得到省级及以上相关管理部门采纳；研发京津冀美丽河湖智能管理系统 1 个，集成问题识别-技术匹配-成效评估与风险预警功能，整合 ≥ 50 项治理技术，系统平台全流程响应时间 ≤ 10 min，连续稳定业务化运行时间 ≥ 1 年。

4. 研发水生态优先保护对象识别技术 1 项，识别准确率 $\geq 85\%$ ；研究河湖水生态退化风险评估与预警技术 1 项，模型评估指标 ≥ 10 项，预警级别 ≥ 3 级；研发多功能仿生复合生境修复多孔基质，实现定植率 $\geq 80\%$ ，底栖动物多样性提升 $\geq 20\%$ ；集成生态保育型河湖生境保护与水生态退化防控技术体系 1 套。

5. 建立多水源背景下传统与新污染物协同/拮抗效应评估模型，关键污染物覆盖率 $\geq 80\%$ ；研发多水源背景下传统与新污染物复合生态效应评估技术 1 项，构建包含水生态毒性、生态系统响应、水生态完整性的复合指数，识别 ≥ 3 类新污染物生态阈值且阈值准确率 $\geq 85\%$ ；研发多营养级食物网靶向调控技术，底栖动物状况指数提升至良好水平及以上；构建多功能适应型亲水空间营造技术体系，包含近自然岸线修复技术、多层次亲水空间构建技术等；集成约束提升型河湖健康风险防控与水生态修复技术体系 1 套。

6. 研发盐碱胁迫下底质生境修复与植物群落恢复技术 1 项，突破植物-微生物共生体系基因设计技术，底质生境改善周期较传统技术缩短 20%，沉水植物总磷吸收速率 $\geq 3 \text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{d})$ （干重计）；研发生态修复协同农业面源污染精准治理修复技术 1 项，突破磁性生物炭耦合功能菌群协同强化缓冲带修复技术，典型场景主要面源污染入河量削减 20%以上；集成统筹治理型河湖水-岸协同治理与水生态功能提升技术体系 1 套。

7. 在北京、天津、河北的永定河、潮白河等流域分别选择 1 个国家或省级美丽河湖清单内水体开展工程示范，各类水体示范长度均 $\geq 10 \text{ km}$ 、底栖动物状况指数达到良好水平及以上，其中生态保育型示范水体生物多样性提升 $\geq 10\%$ ，约束提升型示范水

体恢复土著物种 ≥ 2 种，统筹治理型示范水体主要面源污染入河量削减 $\geq 20\%$ 。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

4.6 城市厂网一体化低碳智慧管控及运行效能提升技术与示范

研究内容：

针对城市排水系统低碳安全、高效智能运行管控的技术需求，研究排水管网甲烷等温室气体产生、排放与逸散规律及其影响机制，研发耦合污染物输移反应与温室气体产排及跨介质逸散过程的数值模拟算法，建立排水管网温室气体排放因子核算方法并开展规模化示范应用，开发关键节点温室气体产排控制技术并进行工程验证；研究复杂条件下排水管网运行状态的耦合感知和解译方法，开发多源入流渗入及溢流的诊断评估技术，研发管网流速与沉积同步监测技术及设备，开发管道塌陷风险智能预警技术及装备并开展实际管网应用验证；研究连续流致密污泥强化处理技术，研发致密污泥筛选、富集与培育方法，开发快速颗粒化和碳

氮磷同步去除工艺及其全流程智慧调控技术，实现降雨过程污水厂原位应急扩容并开展示范验证；研发排水管网雨污水智能分流技术，构建雨污水收集与输送全过程高精度耦合模拟与数字孪生实时仿真技术，建立排水管网-污水/再生水厂-河道全系统实时智能运行调控系统，并开展多厂联动大规模应用示范；开发溢流污水应急强化快速处理及系统调蓄控制技术，开展大型城市重力流排水系统的厂网调蓄调度及厂网河一体化调控集成示范，提出城镇排水系统韧性效能提升策略及评价方法，构建可复制可推广的智慧排水运行模式。

考核指标：

1. 开发排水管网甲烷等温室气体水-固-气三相耦合产排逸散数值模拟算法，甲烷产生及逸散浓度实时模拟准确度 $\geq 80\%$ ，模拟实时响应时长 $\leq 30\text{ min}$ ；开发排水管网、化粪池等关键节点甲烷等典型温室气体产排通量测量方法及设备 1 套，甲烷排放通量测量分钟响应精度 $\leq 0.05\text{ g 甲烷/m}^2\text{ 污水面}$ ，在京津冀区域超大城市排水管网主城区全域示范应用；提出排水管网甲烷排放因子核算方法，编写排水管网温室气体核算相关国家（或团体）标准 1 部（征求意见稿）；开发排水管网、化粪池等关键节点甲烷产排高效控制系统 1 套，关键节点示范甲烷减排 $\geq 70\%$ 以上（甲烷排放浓度 5000 ppm 以上为基准）。

2. 开发基于简易水量水质耦合监测的排水管网多源漏渗动态同步解析技术及设备 1 套, 同步解析区分管段入流入渗量及溢流量, 入流入渗及溢流评估准确度 80%以上, 在京津冀城市开展不小于 1 km²排水管网区域应用示范; 研发排水管网塌陷防控安全预警技术及装备 1 套, 排水管道塌陷风险点位预警准确度 $\geq 80\%$; 研发排水管网流速、泥位一体同步在线监测设备 1 套, 流速监测精度 ≤ 0.05 m/s, 管道沉积泥位在线监测精度 ≤ 2 cm; 研发基于多模态数据融合的排水管道缺陷智能检测技术及设备 1 套, 视频声呐信号协同实现水上水下同步检测, 提高管网单信号常规检测作业效率 30%以上, 具备井下连续带水作业 20 个以上检查井管段功能, 适用 1 m 以上管径半管以下水深带水检测作业。

3. 开发连续流致密污泥快速颗粒化和碳氮磷同步去除的技术工艺 1 套, 与常规设计相比, 汛期 SVI 稳定在 70 mL/g 以下; 开发融合新型工艺的致密污泥筛选富集培育成套智能装备 1 套, 污泥中位粒径达到 130 μm 以上, 超过 200 μm 粒径的致密污泥占比 15%以上; 开发污水厂致密污泥智能预测与控制系统 1 套, 开发多模态动态模拟技术, 形成融合图像数据与水质传感器数据的图谱库和方法学 1 套, 进出水氨氮和化学需氧量预测值与实际值的拟合优度 $R^2 \geq 0.85$, 单次模拟计算时间 ≤ 30 秒/小时数据段, 控制策略生成时间 ≤ 5 min; 在京津冀区域建成处理规模 5000 t/d

以上开展示范工程 1 项，与常规设计相比，连续流致密污泥工艺处理系统原位扩容 2 倍（或生物池停留时间 $< 10\text{ h}$ ），二沉池出水主要指标（COD、TN、TP、氨氮）达到国家一级 A 排放标准。

4. 研发低功耗智能截流装备 1~2 套，具备多要素感知及智慧运行功能，核心部件功率 $\leq 150\text{ W}$ （以 D400mm 截流管径计），设备成本降低 20% 以上（以同规模机械动力智能截流装置成本为基准计）；构建排水管网全过程高精度动态实时仿真模型 1 套，排水管网检查井数 ≥ 20 万个，在同等排水管网规模下较传统模型计算效率提升 $\geq 50\%$ ，小时降雨模拟时长 $\leq 5\text{ min}$ ；构建厂网一体化智慧调度系统 1 套，在模拟管网覆盖面积为 200 km^2 时，获得小时降雨方案计算时长 $\leq 5\text{ min}$ ，并在京津冀大型城市开展典型区域示范应用，实现不少于 3 座厂、总处理规模 100 万 t/d 以上的厂网一体化调度。

5. 研发模块化溢流口末端水质应急处置装备 1 套，单体模块占地 $\leq 20\text{ m}^2$ 、处理规模 $\geq 200\text{ m}^3/\text{h}$ ，SS 去除率 $\geq 50\%$ ，COD 去除率 $\geq 50\%$ （以京津冀地区管网溢流污水典型浓度 SS $>100\text{ mg/L}$ 、COD $>250\text{ mg/L}$ 计），具备模块化运输、部署及扩容功能；在京津冀城市开展厂网河一体化调控典型区域示范，实现不少于 3 座污水厂、涵盖排水管网区域 40 km^2 以上、处理能力 30 万 t/d 规模以上厂网河一体化调控，调蓄能力不少于 8 万 t/d，降雨过

程提升溢流污染削减能力 20%以上(以污水厂总设计处理规模为基准);构建厂网河一体化调控效能评价指标体系 1 项,应用于城市排水业务管理。

申报说明:

本项目实行总承包单位负责制,项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类,其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1,实施周期不超过 3 年。

4.7 京津冀城市客水水源安全保障关键技术与示范

研究内容:

针对南水北调中线客水水源与雄安新区等京津冀城市水生态系统水质水生态耦合风险控制、持续健康保质与协同增效问题,研究中线干渠水质水生态风险耦合机制、有机物赋存形式及时空演化规律,研发水体纳米至微米尺度颗粒物物理流变与溶解性有机物生物活性动态监控设备,开发水体颗粒物聚酯-碳纤维过滤与溶解性有机物靶向生物降解协同消减技术,开展动态监控与协同消减工程示范;研发干渠纳米至亚米全生命尺度浮游和自游生物优势物种群、功能群及尺度群智能识别技术,构建全生命尺度浮游和自游生物优势类群生消转换谱;量化干渠纳米至微米生命尺度浮游生物优势类群与溶解性有机物相互作用强度,创建纳米病

毒至亚米鱼类全生命尺度食物网模拟技术，研发浮游和自游生物优势类群营养食谱调理技术，开发病毒调节水生态健康保育技术，开展水生态系统自我调节与人工调控健康保育综合示范；研发干渠/调蓄库池土著生物激活低温期提质与纳米气泡应急控质技术，创建中线客水水源与京津冀城市水系统联控保质适配技术体系，开展联控保质验证示范；研发干渠/调蓄库池-生态补水河流水生态连通性智能预测预警技术，开发中线客水水源驱动的生态补水河流“水系连通-生境改善-生物可塑性”协同提升技术，创建中线客水水源驱动的雄安新区等京津冀城市水系统供水效益提升技术范式，评估中线客水水源对京津冀城市健康发展的综合效益和生态价值。

考核指标：

1. 研发水体纳米至微米尺度颗粒物物理流变与溶解性有机物生物活性在线动态监控设备，颗粒物类型不少于 5 种，电化学指纹图谱不少于 300 个，电化学信号基线漂移率小于 5%，颗粒物物理形貌观测精度 90%以上，溶解性有机物生物活性观测精度 80%以上，在不少于 3 个渠段开展验证示范；形成干渠颗粒态和溶解性有机物赋存形式季节性演化清单，有机质分子特征和生物活性清单物种数不少于 3000 种；研发水体颗粒物聚酯-碳纤维过滤与溶解性有机物合成微生物群落靶向降解协同消减技术装备，

在不少于 2 个渠段开展样板工程示范，水量不少于 5 万 m^3/d ，高锰酸盐指数消减 20%以上或小于 2.0 mg/L 。

2. 研发流式细胞术、显微成像和环境 DNA 融合的纳米至微米生命尺度浮游生物优势物种群、功能群及尺度群精细识别技术，识别精度 60%以上；研发光、声和 DNA 融合的毫米至亚米生命尺度浮游生物优势物种群、功能群及尺度群智能识别技术装备，在不少于 3 个渠段开展验证示范，识别精度 75%以上；构建干渠输水典型基准年不少于 8 个渠段的常规设计流量（350 m^3/s ）输水期纳米至微米生命尺度浮游生物环境 DNA 优势物种群和流式细胞分选尺度群生消转换季谱，设计最大流量（420 m^3/s ）输水调减期环境 DNA 优势物种群和粒径分级尺度群生消转换周谱；形成 2022~2028 年每年不少于 8 个渠段的全生命尺度浮游和自游生物优势物种群、功能群及尺度群的基因组、基因谱、图像谱和质量谱的季谱。

3. 提出纳米至微米生命尺度浮游生物优势类群与溶解性有机物相互作用强度量化指数，溶解性有机物组分变化指征精度 60%以上；构建纳米病毒至亚米鱼类全生命尺度浮游生物、自游生物和营养食谱精细计量的食物网模型，营养传递效率计量精度提升 30%以上；形成干渠全生命尺度浮游和自游生物优势类群营养食谱清单，有机碎屑和全生物体分级计量营养食谱不少于 5 种；

研发病毒调节水生态健康保育技术,宿主生物密度降低 10%以上;在不小于 5 km 的示范区开展干渠水生态系统自我调节与人工调控健康保育综合示范,生物完整性指数提升 5%以上。

4. 研发干渠/调蓄库池土著生物激活低温期提质技术装备并示范,富集成高产木质纤维素酶耐低温土著生物群落不少于 2 种,运行能耗小于 0.3 kWh/m³,水量不少于 3 万 m³/d,高锰酸盐指数消减 20%以上;研发干渠/调蓄库池纳米气泡应急控质技术装备并示范,纳米气泡单元产气能力不小于 5×10⁷ 个/mL,水量不少于 2000 m³/d,浮游生物密度消减 50%以上,高锰酸盐指数消减 25%以上;研发干渠/调蓄库池-京津冀城市水系统联控保质复合功能材料与适配技术并验证,载氧-富菌-吸附复合功能材料吸附容量不小于 50 mg/g,颗粒物消减不低于 30%,高锰酸盐指数消减率不低于 30%,臭味物质低于 10 ng/L。

5. 研发干渠/调蓄库池-生态补水河流水生态连通性“天-空-地”智能预测预警技术,连通性识别率 95%以上,水质反演精度 80%以上,实现水质水生态风险 72 h 预测预警,预警准确率 90%以上;研发中线客水水源驱动的生态补水河流“水系连通-生境改善-生物可塑性”协同提升技术并验证,生物完整性指数提升 10%以上;创建客水水源驱动的雄安新区等京津冀城市水系统供水效益提升技术范式,形成中线客水水源对京津冀城市健康

发展的综合效益和生态价值评估报告，得到中线客水水源水质安全与供水安全保障相关责任主体或管理部门采纳。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 3.5 年。

4.8 首都多水源供水全过程安全韧性提升关键技术与工程示范

研究内容：

针对水源变化条件下首都本地水-外调水与地表水-地下水交织的复杂供水格局以及供水系统韧性不足等问题，研究水源风险全景式快速筛查评估技术，揭示水源中断/锐减、水质污染、藻类暴发等多因子胁迫机制，开发耦合生物操控与水力调控的多水源系统风险过程防控技术，提出不同胁迫下优化调配方案，构建水量-水质动态优化调配技术体系；探究水源藻类、淡水壳菜等风险冲击下水厂不同工艺组合的效能变化模式，阐明老旧管线物理结构与水力性能演化规律，建立水厂脆弱工艺辨识与管线状态诊断技术，形成供水系统韧性量化指标体系，明确系统韧性瓶颈；研发降低饮用水消毒副产物/残余铝以及应对水源高藻/高有机物/高臭味等的关键处理技术，开发基于在线监测-人工智能等

耦合的水厂净化-水质保持-供水安全多级屏障技术，研究揭示多水源-水厂-管网系统耦合机制，构建涵盖水源调配-水厂处置-管网调度的联防联控联控应急技术体系；研发管网状态感知、异常识别的风险监测预警关键技术和装备，开发基于人工智能的管网水力模拟方法，构建“水-能-碳”协同优化的管网调控技术，形成供水系统韧性提升及绿色输配技术体系；构建水源-水厂-管网协同应急响应机制，形成城市供水安全质量管理体系和高品质供水服务评估准则，集成生物安全、系统韧性及水-能-碳协同技术，建设供水系统智慧管理平台，并在首都开展示范应用。

考核指标：

1. 形成水量-水质协同调控的多源来水动态联合优化调配技术体系，水源风险快速识别方法 > 3 种，多水源风险防控技术手段 > 2 类，生物、化学、毒理等防控表征指标不低于 3 项，胁迫场景下多水源复杂输配系统优化调配响应时间缩减 50% 以上，多目标优化综合效益提升 15% 以上。

2. 建立水厂脆弱工艺辨识技术，构建原水突变等情景下不少于 3 类组合工艺的效能衰减模型，模拟值与水厂历史运行数据趋势吻合度 $R^2 \geq 0.85$ ；建立基于多源数据融合的管线状态诊断技术，涵盖静态管网资产数据、动态运行数据与历史运维数据，模拟风险排序与真实事故发生率排序一致性不低于 85%；构建供水

系统韧性量化指标体系，涵盖系统缓冲能力和恢复能力等维度，支撑不少于 3 类典型扰动场景下供水系统的韧性评估。

3. 建立水源高藻/高有机物/高臭味等特征下的净水厂应对关键技术，实现高藻期消毒副产物生成量降低 20%以上、余铝含量降低 30%以上，出厂水水质关键指标不低于《城市供水厂水质关键指标控制工作指南》一级标准，编制从水源到水厂全流程系统运维技术规范 1 项；建立多水厂-清水池-管网联合调度技术，形成应对自然灾害、水源污染致水厂关停等典型极端情景下的调度预案 1 套。

4. 建立基于人工智能的管网状态模拟与优化技术，压力估计平均绝对误差不超过 1 m，压力均衡度提高 10%以上；制定管网节水、节能优化维护改造方案 1 套，应用于管网改造示范工程。

5. 编制极端条件下水源-水厂-管网全局协同的联调联控技术指南 1 项，提出制约韧性的隐患管道清单并更换管道不低于 300 km，构建基于流量、压力、水质和漏失噪声的态势感知体系，监测点位不少于 500 处，管网异常状态识别准确率不低于 85%，单位供水能耗降低 2%以上，管网漏损率降至 7.5%以下。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，以企业

牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

4.9 再生水补给河湖水体多功能保障提升关键技术和示范

研究内容：

针对京津冀区域再生水的河湖生态补给过程中水质考核指标和水功能需求不匹配导致的生态效益滞胀、多功能协同提升技术难适应滨水经济发展等问题，开展“基准构建-低碳调控-功能提升-示范应用-水价值增长”全链研究。开展以生态安全和人群健康风险为约束的多功能水体水质基准研究，解析再生水补给城市水体的生态、景观、娱乐与赛事多功能协同保障的关键因子，揭示营养盐、病原微生物、有机污染等在河湖系统中赋存特征与水功能关键联系，提出城市水体多功能保障的再生水排放及受纳水体水质标准；开展再生水营养盐、有机物和病原微生物绿色低碳协同控制材料与技术研究，研发稀土基羟基氧化物高活性位的可再生吸附材料和掺杂型铝基多金属氧化物的可再生型臭氧催化氧化材料，实现磷酸盐高容量吸附回收与有机污染物的宽谱、高效、低碳去除，研发基于物理辐照-分子渗透-氧化损伤多原理作用的病原微生物低耗高效消杀技术，实现低消毒副产物下病原微生物的高效削减；解析污染物在“控源-调控-转化”中的通量

变化对水质作用机制，研发雨污冲击下水体功能快速恢复与缓冲技术体系，构建生物链调控与植-菌-藻耦合系统对有机物和病原微生物近自然降解集成技术；建立再生水补给水体病原微生物监测数据库，研发典型再生水补给水体多功能维持与排水水质多级联调模型，开发娱乐和赛事功能的健康风险警示系统，在亮马河、小龙河、昆玉河等多区域实现再生水补给水体多功能应用示范；研究水生态、景观、娱乐和赛事功能多维度评估和价值核算方法，分析多种水质控制技术路径的成本效益，开展娱乐和赛事功能区触水人群的水介流行病跟踪研究，明晰再生水景观功能价值提升潜力。

考核指标：

1. 建立基于生态安全和人群健康风险评估并满足水体功能的水环境质量目标管控污染物筛选与推导技术体系，筛选涵盖 ≥ 1000 种污染物，技术体系应包含中国本土暴露参数并满足 WHO 指南要求；实现再生水出水水质（达到准 IV 类）提升至国际水上赛事要求功能水质，编制城市河湖的生态、景观、娱乐、赛事功能水质标准（国标、行标、地标或团标）1 项（征求意见稿），再生水相关排水水质标准（国标、行标、地标或团标）1 项（征求意见稿）。

2. 研发的新型材料饱和磷吸附容量 $\geq 100 \text{ mg P/g}$ ，出水总磷

浓度达到富营养化协同控制阈值,较常规化学除磷污泥产生量减少 $\geq 80\%$,工艺成本节省 $\geq 20\%$;研发病原微生物-消毒副产物双控高效协同消毒技术,对典型抗性微生物(消毒抗性菌、抗生素抗性菌/抗性基因、病毒等)灭活率 $\geq 4 \log$ 、余氯波动率 $<30\%$,病原微生物复活率较常规紫外技术降低不小于 $2 \log$;实施消毒及新污染物控制等技术工程验证,总规模 ≥ 30 万 t/d,消毒副产物生成量较常规氯消毒技术下降 50% ,再生水中药物、内分泌干扰物等新污染物的去除率 $\geq 90\%$;新型吸附-催化氧化材料对药物、内分泌干扰物等新污染物的去除率 $\geq 90\%$,吨水运行成本较常规活性炭技术下降 $\geq 30\%$ 。

3. 构建京津冀典型城市再生水补给多功能水体原位稳定调控与绿色低碳维持技术体系,雨污冲击快速恢复与缓冲系统对营养盐、有机污染负荷峰值削减效率分别 $\geq 60\%$ 和 $\geq 70\%$,系统恢复时间 ≤ 24 h;生物链调控与植-菌-藻耦合系统,稳定维持 ≥ 90 天,菌群多样性指数 ≥ 3.5 ;原位碳氮磷平衡调控系统碳氮磷利用率 $\geq 80\%$,再生水补给水体功能保障率提升 200% ;建立“产-输-用”系统水量水质调控预测模型,预测准确率 $\geq 85\%$,示范区水体多功能典型指标稳定维持周期 ≥ 90 天,系统运行成本不高于现行平均水平。

4. 在娱乐和赛事水体中构建风险预警系统(示范区不低于3

个), 集成大肠杆菌和肠球菌在线监测系统, 方法检出限 >20 拷贝/100 毫升, 响应时间 ≤ 35 min, 预警响应维持时间 ≥ 60 min; 在生态景观水体示范区布设藻华暴发风险监测预警系统, 预警提前期 ≥ 7 天, 中试或现场预报准确率 $\geq 70\%$, 综合示范面积 ≥ 3 万 m^2 , 水生态稳定期 ≥ 6 个月。

5. 建立河湖水体多功能价值核算模型与健康风险定量评估工具, 开发河湖娱乐水体水质健康风险预测系统 1 套; 以处理工艺出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 准 IV 类的成本, 实现国际水上赛事标准功能水体水质要求的示范案例, 完成再生水价值提升与滨水发展政策建议报告至少 1 份, 得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明:

本项目实行总承包单位负责制, 项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类, 其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1, 实施周期不超过 3 年。

4.10 京廊高端产业区再生水绿色低碳处理与循环利用研究与示范

研究内容:

针对京津冀高端产业发展面临的生态与资源双重约束, 厘清

京廊高端产业区水资源供给格局与高端产业水足迹特征，构建水资源“经济-资源-生态”多维价值核算方法，解析水循环过程与产业空间演化之间的互馈机制，阐明水量-输配能耗、水质-碳排放的耦合关系，提出经济发展与生态保障双重约束下的多源水资源优化配置策略；针对高端产业区再生水循环利用作为计算中心冷却水面临的水质标准缺失、微生物长效控制困难等突出问题，开展关键水质控制指标遴选研究，阐明冷却水中微生物增长与水质特性的响应关系与长效抑制原理，研发高性能生物基抑菌阻垢剂，构建基于反渗透和抑菌阻垢剂协同的绿色低碳水媒冷却技术工艺，研究反渗透浓水毒性产生机制与高效控制原理，研发反渗透浓水绿色低碳处理技术，提高循环冷却系统能效；针对高端产业区再生水循环利用作为显示面板超纯水水源面临的污染组分复杂、有机小分子去除效能低等突出难题，揭示有机物分子结构特征与其可处理特性的关联机制，研发基于反渗透与紫外氧化的面板超纯水制备工艺，开发反渗透产水高效能紫外协同氧化技术；针对高端产业区再生水循环利用作为芯片超纯水水源面临的杂质极尽去除难题，阐明反渗透、紫外氧化、树脂吸附等不同深度处理工艺的协同原理，研发再生水极净处理与芯片超纯水制备工艺，开发树脂共聚物强化交联与螯合官能团修饰等关键材料制备技术，实现对再生水中痕量污染物的极限去除；形成适于京廊高

端产业区并可在其他缺水地区推广复制的再生水高值循环利用技术体系与关键标准，并开展应用示范。

考核指标：

1. 建立京廊高端产业区水资源供给与典型高端产业水足迹清单，覆盖再生水、地表水、地下水等不少于 3 类典型水源，及数据中心、显示面板、芯片制造等不少于 3 类重点产业；清单应具备月尺度及以上的时间分辨率，水量水质等关键数据准确度不低于 90%。

2. 构建水资源“经济-资源-生态”综合价值核算方法，完成不少于 3 类典型水源的单位综合价值评估及敏感性分析，形成覆盖核算边界、价值维度与评价指标的综合核算体系 1 套，核算结果覆盖研究区 $\geq 90\%$ 的供水单元，核算区域空间分辨率不低于村镇行政区，时间分辨率不低于月尺度，明晰水资源价值热点与风险区域。

3. 形成覆盖不少于 3 类水源与 3 类用水主体的区域水资源模拟模型，不同水源的可用量预测值与实测值误差 $\leq 10\%$ ，不同主体用水量预测值与实际值误差 $\leq 10\%$ ；构建资源-经济-生态三重约束下的多源水资源优化配置模型，提出水资源优化配置方案 1 套，在满足高端产业用水需求与区域生态基流保障的前提下，提高区域水资源综合效益，相比优化配置前的基准情景，水资源

循环利用率提升 $\geq 10\%$ ，水资源综合效益提升 $\geq 10\%$ 。

4. 针对高端产业区再生水循环利用于高性能计算中心冷却，研发生物基无磷抑菌阻垢剂，保障系统运行 15 天内，冷却水 TDS 变化 $<10\text{ mg/L}$ ，菌落总数变化 $<30\text{ cfu/mL}$ ；冷却水循环使用 4 次以上，确保计算中心 PUE(数据中心总能耗/IT 设备能耗) ≤ 1.5 ，比现有计算中心 PUE 降低 30%以上；研发反渗透浓水脱毒处理技术，与现有技术相比，浓水生物毒性削减率由 60%提高至 80%，处理成本降低 10%。在京廊地区建成一套计算中心基础设施再生水制备冷却水（闭式循环系统）示范工程，再生水处理规模 $\geq 8000\text{ m}^3/\text{d}$ ，制备的冷却水浊度 $\leq 1\text{ NTU}$ ，化学需氧量 $\leq 5\text{ mg/L}$ ，氯离子 $\leq 60\text{ mg/L}$ ，TDS $\leq 150\text{ mg/L}$ ，总硬度 $\leq 60\text{ mg/L}$ ，可生物同化有机碳（AOC） $\leq 50\text{ }\mu\text{g C/L}$ ，吨水处理电耗 $\leq 2\text{ kWh}$ ，系统运行成本 $\leq 1.65\text{ 元/m}^3$ ，与现有技术相比，吨水处理电耗与运行成本下降 10%，膜系统以及抑菌阻垢剂整体国产化率 $\geq 80\%$ ；建立反渗透浓水脱毒预处理示范工程，处理规模 $\geq 100\text{ m}^3/\text{d}$ ，处理出水的活性污泥抑制率 $\leq 20\%$ 。

5. 针对高端产业区再生水循环利用于显示面板超纯水制备，研发反渗透膜功能层网络交联密度提升技术，提高反渗透膜对小分子有机物的截留率并降低有机碳溶出，膜产品典型小分子有机物（异丙醇）截留率（以 TOC 计） $\geq 92\%$ ，比常规反渗透膜提

高 10%以上，过水通量 $\geq 41 \text{ m}^3/\text{d}$ 。研发高能紫外线协同氧化技术，对易穿透反渗透膜的电荷中性难去除有机物的去除率 $\geq 90\%$ ，能耗降低至 $\leq 2.5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ，比现有紫外线氧化技术降低 10%以上。在京廊地区升级改造一个再生水制备显示面板超纯水示范项目，处理规模 $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，制备超纯水的 $\text{TOC} \leq 30 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ ，电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ ， SiO_2 浓度 $\leq 5 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ ；反渗透膜、紫外线灯管的整体国产化率 $\geq 60\%$ 。

6. 针对高端产业区再生水循环利用于芯片超纯水制备，研发树脂螯合官能团修饰与无机组分特异吸附技术，提升树脂对痕量无机组分的吸附性能，除硅交换容量 $\geq 1.8 \text{ mg-SiO}_2/\text{mL}$ ，出水 SiO_2 浓度 $\leq 0.5 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ ；除硼交换容量 $\geq 0.6 \text{ meq}/\text{mL}$ ，出水硼浓度 $\leq 20 \text{ ng}/\text{L}$ ，处理成本 $\leq 0.42 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。在京廊地区新建或升级改造一个再生水制备芯片超纯水示范工程，处理规模 $\geq 3000 \text{ m}^3/\text{d}$ ，制备超纯水 $\text{TOC} \leq 0.8 \text{ }\mu\text{g-C}/\text{L}$ ，典型含氯副产物等新污染物 $\leq 0.2 \text{ }\mu\text{g-C}/\text{L}$ ，电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ ， SiO_2 浓度 $\leq 0.5 \text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ ，硼浓度 $\leq 20 \text{ ng}/\text{L}$ ；高效吸附树脂的整体国产化率 $\geq 50\%$ 。

7. 提出高端产业区再生水绿色低碳处理与循环利用技术体系与标准体系框架，制定相关国家/地方/行业/团体标准 1~2 项（征求意见稿），国际标准 1 项（征求意见稿）。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 3 年。

4.11 京津冀智慧水地图构建关键技术与系统集成

针对京津冀复杂人-水系统跨尺度、多维度演化规律认知不足，面向区域水系统多要素耦合与智能化决策需求，开展京津冀智慧水地图构建关键技术研究，支撑重点水系优良水体比例提升策略识别、重要水体水生态系统变化趋势解析与生境恢复、复杂变化环境下水资源时空均衡诊断与区域多水源优化配置、京津冀水系统重构技术方案制定。

任务 1

研究内容：

围绕京津冀区域高质量发展和美丽中国先行区建设需求，开展复杂水系统重构技术方案研究。阐明区域水系统演变规律，解析自然-社会复合因子对水系统的作用路径与机理，开发面向情景驱动的系统重构多目标适应性路径优化技术；提出京津冀区域水系统可持续发展战略愿景，明确不同阶段的构建目标、主要标志与挑战，建立可持续发展指标体系，研发具备空间差异与时序演化能力的“愿景-指标-目标”映射推演方法，实现战略愿景在

流域-城市多尺度、近期-远期多阶段的量化表达；开展系统重构关键技术预测，综合考虑技术发展规律、经济成本与社会可接受度，构建水系统重构技术筛选模型，提出最佳可行技术清单；确定永定河、大清河-白洋淀、潮白河、北运河流域及渤海湾海陆交汇带等重点区域水系统可持续发展量化指标与关键技术清单，开展系统重构的综合影响评估，提出差异化实施路径与重点方向，形成各区域系统重构重大任务部署方案；研究智能体驱动的智慧水地图总体技术框架与顶层设计方案，建立面向区域水系统“数据-知识-认知-智能”全链条智能治理框架，构建智能推理的逻辑结构与算法框架，研究高可用、高性能与高并发环境下算例生成、存储管理与网络架构的协同优化技术，制定水地图软硬件基础设施配置方案，建立水地图推理质量评估技术体系，提出水地图系统运维、安全防护、风险评估与可持续演进机制，保障京津冀智慧水地图长期稳定运行。

考核指标：

1. 京津冀水系统自然-社会复合驱动因子清单 1 份，关键因子对系统功能指标累计贡献度 $\geq 75\%$ ；系统重构多目标适应性路径优化技术 1 项，生成方案的敏感性较情景分析法降低 $\geq 20\%$ ；京津冀区域水系统重构方案 1 套，支撑京津冀环境综合治理国家科技重大专项任务设计与成果集成。

2. 京津冀水系统可持续发展战略愿景 1 套,明确构建目标、主要标志与挑战;水系统可持续发展指标体系 1 项,含指标定义、计算方法与数据需求各 1 份;“愿景-指标-目标”多层次映射推演技术 1 项,目标-指标关联强度平均 $R^2 \geq 0.7$,空间分解与时间推演误差 $\leq \pm 20\%$ 。

3. 水系统重构关键技术演化预测模型 1 项,核心技术 5~10 年性能指标预测与专家评估一致率 $\geq 85\%$;重构技术多维筛选模型 1 项,在 ≥ 3 类典型情景中应用;重构最佳可行技术清单 1 份,涵盖技术类别、性能指标、适用区域、应用场景、实施成本及对系统优化的贡献。

4. 永定河、大清河-白洋淀、潮白河、北运河及渤海湾海陆交汇带等重点区域水系统可持续发展评估报告、重构关键技术清单、重大任务部署列表与重构综合影响评估报告各 1 份,由省级及以上管理部门采纳或国家级行业协会/学会发布。

5. 水地图整体架构及实施方案 1 份,涵盖战略目标、科技需求、功能定位、技术路线、组织模式与管理机制,明确总体实施路径、关键技术节点、各阶段重点任务布局、标志性成果产出、协作机制及验收要求。

6. 区域水系统“数据-知识-认知-智能”全链条智能治理框架 1 套,明确智能体架构、模块接口设计、输入输出规范、交互

流程及协同机制；数据整合、知识生成、系统认知、复杂推理 4 项核心方法，在 ≥ 4 类典型管理场景中应用，智能体推理流程完整性与协同可行性 $\geq 85\%$ 。

7. 水地图基础设施配置方案 1 份，包括 CPU/GPU 算力核心数、存储容量、网络带宽及安全措施。

8. 水地图推理质量评估体系 1 套，基于策略、知识与推理结果的评价方法 1 项，在 ≥ 4 类典型管理场景的可行性 $\geq 85\%$ ；标准化测试场景 ≥ 15 个，调整策略验证准确率 $\geq 90\%$ ；水地图知识动态更新-推理逻辑调整-策略迭代优化机制设计 1 项，在 ≥ 3 类标准化场景中应用验证。

9. 水地图系统运维、安全防护、风险评估及可持续演进机制 1 项，长期稳定运行可靠性 $\geq 99\%$ 。

任务 2

研究内容：

面向区域水系统少资料、非线性难题及多过程耦合下的污染精准防控科技需求，整合京津冀流域水资源和水环境长期监测资料、原位试验与增补实验数据，构建包含水资源、污染物浓度和形态及多介质界面关键参数等的高精度数据集；汇聚多源异构监测与既有研究成果，研发汛期污染等污染过程快速解构与关联链条重建技术，构建跨尺度、跨学科的区域水污染源-径-汇关联路

径集合，解析污染来源、途径与受体间的时序因果关系，建立污染过程关联链条知识体系；研发融合物理约束、数据驱动与迁移学习的污染迁移及环境风险预测技术，推演关键污染物在水环境无监测情景下的时空分布及变化趋势；研发多尺度地下水污染源识别与源清单构建技术，建立融合物理机制约束与人工智能算法的地下水污染特征识别与动态演化预测技术；构建涵盖环境风险分级、关键污染物时空分布格局的京津冀水环境专题图集。

考核指标：

1. 京津冀区域水环境水资源高精度数据集 1 套，涵盖 ≥ 2 种不同形态碳污染物、 ≥ 2 种不同形态氮污染物、 ≥ 2 种不同形态磷污染物浓度，关键污染物吸附解吸、沉降再悬浮、水-沉积物分配、生物降解等 ≥ 4 类归趋过程参数，水位、流量等，包括 ≥ 500 个点位。

2. 京津冀区域水污染归趋结构化知识体系 1 项，覆盖水污染“源-径-汇”的因果关联链条，支持 ≥ 10 起汛期污染事件的快速解构与链条重建，汛期污染关键贡献区识别准确率 $\geq 85\%$ 、迁移路径解析准确率 $\geq 70\%$ 、污染负荷解析结果的平均绝对百分比误差（MAPE） $\leq 10\%$ 。

3. 少资料、强非线性、多过程条件下的污染迁移及环境风险预测技术 1 项，迁移学习框架支持 ≥ 3 类小流域向目标流域知

识迁移，迁移后模型输出最小时间步长为小时，空间分辨率不低于 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，碳、氮、磷等不同形态污染物模拟结果 MAPE 低于 15%。

4. 京津冀重点区域地下水污染源清单构建方法 1 套，覆盖 ≥ 3 大类、 ≥ 8 小类典型污染源，适用尺度从 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 场地到 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 区域；融合物理约束与人工智能算法的地下水污染特征识别、动态预测与风险分区评估技术 1 项，对典型场景中地下水中硝酸盐等污染物空间分布的预测结果 MAPE 较现有模型降低 20%。

5. 京津冀水环境专题图集 1 套，空间分辨率不低于 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，时间分辨率达到月尺度，涵盖区域流域内碳、氮、磷等不同形态污染物的时空分布格局、环境风险分级，支持交互式查询、分层更新（更新周期 ≤ 1 个月）和可视化展示。

任务 3

研究内容：

针对京津冀区域水生态系统在快速城市化和气候变化双重胁迫下面临的生态系统本底不清、关键物种缺失、功能稳定性下降等问题，开展京津冀典型水体水生态多维数据整合及系统性补充调查，研究多重压力及空间差异性驱动下物种分布格局、群落结构与功能特征的时空演化规律，构建支撑水生态知识图谱与智

能分析的多维数据库；突破基于丰度或优势度的传统物种判定思路，研究面向复杂生态网络级联效应与系统稳定性的网络核心物种判别理论与识别方法；研究高强度人类活动与极端气候耦合胁迫下核心物种及其群落结构的多尺度动态响应模式，建立生态系统早期崩溃信号识别方法，预测压力胁迫下水生态稳定性与风险时空演变格局；突破高异质性时空稀疏数据填补与尺度对齐关键方法，建立基于生境适宜性变化的水生生物分布推断技术；形成涵盖核心物种分布、群落功能及生态风险的多尺度专题图集，支撑重要水体水生态系统变化趋势解析与生境恢复整体方案。

考核指标：

1. 京津冀水生态多维数据库 1 套，含环境 DNA 参考库、标准化物种名录与高清影像数据库等，其中环境 DNA 参考库覆盖鱼类、浮游动物、浮游植物、底栖动物等 ≥ 1000 种，高清影像数据库包含形态、栖息地、关键行为的影像 ≥ 10000 张。

2. 基于生态网络拓扑与功能耦合的核心物种识别方法 1 项，形成核心物种名录 1 份，覆盖鱼类、浮游动物、底栖动物等 ≥ 30 种；使用 2 种已有方法交叉验证的一致性率 $\geq 70\%$ 。

3. 水生态早期崩溃信号识别方法 1 项，筛选早期预警指标 ≥ 8 个，指标对压力因子响应强度 ≥ 1.2 ；建立不少于 2 类极端气候情景（如干旱、暴雨）下 ≥ 3 种核心物种的响应路径。

4. 基于生境适宜性变化的水生生物分布推断技术 1 项，核心物种相对丰度空间分辨率不低于 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，重建平均绝对误差低于 40%。

5. 京津冀水生态专题图集 1 套，空间分辨率不低于 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，涵盖区域流域内生态本底、结构功能、核心物种与生态风险空间格局，支持交互式查询、分层更新和可视化展示。

任务 4

研究内容：

面向京津冀地区水系统与社会经济系统高度耦合的特征，构建多部门、多主体水行为-技术数据集，辨识用水、排水及技术采纳等行为的主体异质性特征，研究节水、污染治理等技术演化时空规律，识别技术-行为关联关系；研究机理-数据双驱动的多主体行为决策分析技术，解析群体行为自适应机制，阐明水行为模式与水技术演进、水环境质量改善及社会经济系统转型之间的交互机制，量化行为决策关键影响因子与作用路径；研发行为驱动的技术演化扩散仿真技术，评估技术演化扩散对水系统的综合影响，识别技术-社会水系统的交互路径；建立水满意度评价指标体系，研究不同流域水满意度差异特征，识别其关键驱动因子，构建水行为-技术-满意度响应关联图集。

考核指标：

1. 多源多主体水行为-技术数据集 1 套，覆盖至少 3 类主体和部门的 ≥ 5 类行为特征因子，至少 2 类技术的 ≥ 5 类性能特征因子，时间分辨率不低于月。

2. 机理-数据双驱动的多主体行为决策分析与水系统影响评估技术 1 项，量化分析 ≥ 3 类主体、5 种行为决策影响因子的决策贡献度及其作用路径，社会总用水量、主要污染物排放量等关键水系统性能指标的模拟结果 $\text{MAPE} \leq 20\%$ 。

3. 行为驱动的技术演化扩散仿真与水系统影响评估技术 1 项，选择 ≥ 2 个典型区域、3 个典型水技术进行模拟验证，技术扩散时间动态变化率、技术空间分异系数、社会总用水量、主要污染物排放量等指标的模拟结果 $\text{MAPE} \leq 20\%$ 。

4. 水满意度评价方法 1 套，涵盖资源保障、生态质量、服务可及、公众获得感等 ≥ 4 个维度，包含指标定义、计算方法与数据需求各 1 份；在京津冀重点区域开展评估，样本量 $\geq 10^5$ 条/年，时间分辨率不低于年尺度，空间精度达区县级及以上，形成评估报告 1 份，由国家级行业协会/学会发布。

5. 京津冀水行为-技术-满意度关联图集 1 套，时间分辨率不低于年尺度，空间分辨率不低于区县级，涵盖 ≥ 5 个水社会-技术系统关键要素关联图层，支持交互式查询、分层更新和可视化展示。

任务 5

研究内容：

针对京津冀区域水系统信息多模态、异质性及跨要素耦合特征，研究以机理为基础的复杂系统多模态数据整合与重组方法，系统接入水环境、水生态、水资源监测及重大专项科技进展数据，构建多层级、多形态数据质量控制算法链，形成水系统多要素数据流程化归集方案；研究基于概念内涵、时空属性与机理规律的水系统特征跨要素关联解析和语义对齐方法，突出时空耦合与治理约束导向，实现水系统知识的系统化提取与规范化定义；解析水系统要素间的因果链式传递机制，结合多模态信息与相关机理，研究因果关系识别与干预验证技术，建立多要素、多尺度因果模型，揭示要素间的因果逻辑与作用路径；研发因果链条驱动的跨模态序贯推理方法，开发面向数值、文本与图像等数据的统一表征技术，构建多要素数据-多过程机理推理技术体系，研制京津冀水系统知识图谱。

考核指标：

1. 基于水系统领域特征的多模态信息整合与重组方法 1 项，实现监测、工程运行、科研成果及专项数据的流程化统一归集，总量 ≥ 10 TB，条目数量 ≥ 50 万个，全流程自动化比例 $\geq 90\%$ 。
2. 水系统跨要素异质化数据的特征关联解析与语义对齐技

术 1 套，水系统多要素多维特征指标体系 1 项，累计指标数量 ≥ 200 个，统一语义嵌入集规模 ≥ 100 万个向量，实现数值观测、文本资料、图像遥感和水生态监测的高维映射，在典型工程-社会复合治理场景中验证平均召回率和准确率均 $\geq 85\%$ 。

3. 区域水系统因果结构重建路径 1 套，在多源高维混合数据上实现因果结构重建，因果结构识别准确率和完整性均 $\geq 80\%$ ，并通过 ≥ 3 类典型工程-社会复合治理场景验证；多尺度水系统因果模型 1 项，模型拟合均方误差 ≤ 0.3 ，阐明系统内 ≥ 100 个特征间的直接与间接影响路径，并开展典型调控措施下干预验证，模型推演结果平均相对误差 $\leq 15\%$ 。

4. 京津冀水系统因果链条驱动的序贯推理路径生成技术 1 项，生成覆盖水文、水质与水生态过程的跨模态推理路径 ≥ 1000 条，推理结果统计拟合优度 $R^2 \geq 0.8$ ，在水污染、水生态、水技术场景的不同时间、空间或状态下完成规律迁移验证 ≥ 200 次，验证成功率 $\geq 80\%$ 。

5. 京津冀水知识图谱 1 套，涵盖京津冀水系统专属的资源循环、污染迁移、生态演变等环境过程机理知识，规模 ≥ 500 万个结构化知识单元，支持因果链条检索 ≥ 3000 条，验证准确率 $\geq 90\%$ 。

任务 6

研究内容：

面向京津冀区域水系统跨要素协同治理需求，研发水系统知识图谱因果链条抽提技术，解析水环境-水生态-水行为的关联关系与多维耦合机制，开发刻画“社会经济驱动-气候条件约束-土地利用变化-水系统结构演变-水生态功能响应”耦合关系的思维链构建技术；研究基于水系统因果链框架与机理约束的思维链条强化学习模型，设计综合考虑预测精度、机理一致性、可解释性与管理收益的复合奖励函数，构建具有鲁棒性与可解释性的京津冀区域水系统认知思维链条；研发思维链强化学习参数的自动优化自适应调整技术，建立思维链迭代更新与动态优化机制，实现跨时空、跨要素的水系统关键过程动态解析；研究基于迁移学习的泛化能力评估与认知异质性检验方法，识别并校正多场景应用中的尺度依赖性与区域适应性偏差，研制适用于京津冀区域的水认知引擎。

考核指标：

1. 京津冀水系统因果链条抽提技术 1 项，完成 ≥ 500 组跨水环境-水生态-水行为复合过程的时序衔接、空间补展、尺度对齐的成套数据贯通演化；刻画“社会经济驱动-气候条件约束-土地利用变化-水系统结构演变-水生态功能响应”耦合关系的思维链构建技术 1 项，机理一致性检验通过率 $\geq 90\%$ 。

2. 京津冀水系统思维链强化学习模型构建技术 1 项，在不少于 4 个典型流域 ≥ 5 类典型工程-社会复合治理场景下与传统因果发现相比推理一致性提升 $\geq 20\%$ ，推理速度较机理过程模型提升 $\geq 80\%$ ，不少于 3 项水系统功能性指标推理 MAPE 较机理过程模型降低 $\geq 20\%$ 。

3. 思维链强化学习参数的自动优化自适应调整技术 1 项，在不少于 4 个典型流域 ≥ 5 类典型工程-社会复合治理场景下，京津冀水系统思维链强化学习模型超参数优化时间较传统网格搜索方法降低 $\geq 30\%$ 。

4. 基于迁移学习的泛化能力评估与认知异质性检验方法 1 项，生成覆盖水资源、水环境与水生态过程规律的多要素推演路径 ≥ 1000 条，推理结果统计拟合优度 $R^2 \geq 0.8$ ；在不少于 4 个典型流域 ≥ 5 类典型工程-社会复合治理场景下完成跨要素规律迁移验证 ≥ 200 次，验证成功率 $\geq 80\%$ 。

5. 京津冀水认知引擎 1 个，具有在机理约束下的多模态认知、分析和推理能力，在不少于 4 个典型流域 ≥ 5 类典型工程-社会复合治理场景中完成综合验证，水系统功能性指标推理 MAPE 较机理过程模型降低 $\geq 20\%$ 。

任务 7

研究内容：

针对京津冀区域水系统综合治理由信息化、数字化向智能化、智慧化转型的发展趋势，研究跨要素治理需求解析与语义映射方法，构建符合区域水系统特性的需求语义解构框架与结构化表达体系，建立覆盖水资源、水环境与水生态等过程的语义模型与逻辑链路，开发复杂治理需求的精细化拆解与多维度表征技术；研究复杂治理需求驱动下的多响应路径生成与任务调度方法，突破跨任务结果聚合、矛盾冲突消解与动态反馈优化等技术难题，建立多任务、多路径、多反馈一体化的动态调度机制与闭环适应技术；研发京津冀水地图智能体群自适应协同优化方法，构建自适应跨要素耦合治理的运行体系，研制京津冀水地图中枢智能体，形成复杂管理需求任务拆解、调度、汇总展示的核心平台。

考核指标：

1. 京津冀水系统跨要素复杂需求解析与语义映射方法 1 项，形成覆盖 ≥ 10 类典型治理任务的需求解构与结构化表达框架，跨任务指标对齐匹配率 $\geq 95\%$ ，典型矛盾信息的消解成功率 $\geq 85\%$ 。

2. 京津冀水系统多响应路径生成与任务调度方法 1 项，实现 ≥ 5 类典型场景下的任务分解与路径规划，任务执行正确率 $\geq 90\%$ ，任务图与调度方案一致性检验正确率 $\geq 90\%$ ；跨任务结果聚合、冲突消解与反馈优化技术 1 项，建立覆盖多场景的智能体

推理结果评估方法 1 项,推理结果机理一致性检验通过率 $\geq 85\%$ 。

3. 京津冀水地图中枢智能体 1 个,具备复杂需求研判、推理链生成与动态优化功能,实现复杂场景下智能体群集成联调与混合计算,在 ≥ 5 类复杂情景下实现跨要素的协同调度与综合优化,多任务调度一致性、端到端执行完整性和结果有效性 $\geq 85\%$,在 ≥ 5 类新情景水系统治理任务中保证泛化迁移可靠性 $\geq 80\%$ 。

任务 8

研究内容:

面向京津冀水系统多水源统筹与水量-水质-生态要素协同下跨区域公平高效配置的需求,研究耦合水质约束与自然水文过程的区域水资源量预测方法集,评估地表水、地下水、外调水及非常规水源等多类水源在不同气候情景下的多尺度水资源量与水质状况,为中枢智能体提供从日到年尺度、区县到流域级别的多情景水资源推理能力;构建融合行为演化机制与社会经济动态的区域用水量预测方法集,建立涵盖不同社会经济特征、技术行为演变及公众满意度的水资源利用情景集,预测生活、工业、农业和生态等用户在不同情景下的需求规律与相应水质要求;研究跨流域、跨行政单元的多目标优化匹配技术,量化未来调水量与极端气候事件等关键外部驱动因子的影响,研发支持多目标、多路径、多策略协同的水资源配置策略生成方法;研制支撑“复杂

变化环境下水资源时空均衡诊断与区域多水源优化配置”的功能智能体，形成面向复杂管理需求的智能拆解与认知匹配支撑体系。

考核指标：

1. 区域变时空尺度水资源量预测方法集 1 套，涵盖从日到年尺度、区县到流域级别的地表水、地下水、外调水及非常规水资源量预测算法 ≥ 12 项，在 ≥ 3 类关键外部驱动因子情景下对水资源量与水质等级进行联合推理，对过去 10 年水资源量回溯预测的平均相对误差 $\leq 10\%$ 、水质类别判断准确率 $\geq 85\%$ 。

2. 区域用水预测方法集 1 套，基于不同社会经济特征、技术行为演变及公众满意度的水资源利用情景集 ≥ 100 个，对过去 10 年用水量回溯预测的平均相对误差 $\leq 10\%$ 。

3. 跨流域、跨行政单元的水资源配置多目标优化匹配技术 1 项，生成 ≥ 50 个通过机理一致性校验的水资源配置策略，所有策略在帕累托前沿上的分布均匀性指数 ≥ 0.8 。

4. 京津冀水资源时空均衡诊断与区域多水源优化配置智能体 1 个，在永定河等不少于 4 个流域 ≥ 5 类典型水资源管理场景下执行成功率 $\geq 95\%$ ，推理结果机理一致性检验的通过率 $\geq 90\%$ ，跨场景迁移可靠性 $\geq 85\%$ 。

任务 9

研究内容：

针对京津冀优良水体比例提升难度大等挑战，构建多重气候变化与社会经济发展情景下重点污染物时空分布与演变综合解析体系，识别水质变化的主要影响因子与作用机制，揭示重点污染物在多因素驱动下的演变路径及其不确定性特征；研发面向流域尺度的多污染源解析算法簇，覆盖河流干流-支流-断面-排口等空间尺度，并兼顾年际、水期及事件尺度的时间变化，系统解析固定源、城市面源、农业面源等多类污染源的时空贡献格局，揭示在不同时间和空间尺度下的多污染源叠加效应及关键控制环节的不确定性传递机制；建立耦合社会经济约束的污染削减与水质改善多目标优化算法簇，算法簇支持优良水体比例、污染负荷、水环境质量、治理成本及社会满意度等多目标的灵活组合，能够在不同情景及空间-时间尺度下生成多路径调控策略；集成多主体水行为数据集、水技术演化规律及水满意度反馈信息，开发支撑“重点水系优良水体比例提升策略制定”的功能智能体，实现面向多场景、多时空精度的多路径动态比选与策略自适应生成，形成智能化治理方法体系。

考核指标：

1. 重点水体污染物时空分布解析方法 1 项，覆盖 ≥ 5 类典型气候变化与社会经济发展情景，关键水质指标预测拟合优度 $R^2 \geq 0.85$ ，主要污染物时序偏差控制在 $\pm 15\%$ 以内，在 ≥ 3 类典型

气候与社会经济组合情景下，识别出 ≥ 5 个主要水质变化驱动因子并形成因子贡献排序结果。

2. 流域多污染源解析算法簇 1 项，开展河流干流-支流-断面-排口等空间维度，以及年际、水期和典型事件等时间维度，场景总数 ≥ 12 个，对固定源、城市面源、农业面源等主要污染源识别准确率 $\geq 85\%$ ，不同污染源贡献度排序一致性 $\geq 90\%$ ，主要污染物浓度预测偏差控制在 $\pm 15\%$ 以内；在 ≥ 3 类典型气候与社会经济情景下，能够量化关键控制环节对整体污染负荷的不确定性贡献，并形成可解释的传递机制分析报告。

3. 耦合社会经济约束的污染削减与水质改善多目标优化算法簇 1 项，涵盖工程治理、生态修复、水行为调控与水技术应用等治理策略，能够耦合社会经济约束并支持优良水体比例、污染负荷、水环境质量、治理成本及社会满意度等多目标的灵活组合，在 ≥ 5 类典型水环境治理情景及 ≥ 3 类不同空间-时间尺度下生成 ≥ 50 条调控策略，生成策略在典型情景下对优良水体比例、主要污染物浓度及社会满意度等指标的预测偏差 $\leq \pm 15\%$ 。

4. 京津冀优良水体比例提升策略制定智能体 1 个，在永定河等不少于 4 个流域 ≥ 5 类典型水环境治理场景下实现多路径动态比选与策略自适应生成，执行成功率 $\geq 90\%$ ，生成策略在典型情景下机理一致性检验通过率 $\geq 85\%$ 。

任务 10

研究内容：

针对京津冀区域气候变化及人类活动胁迫加剧、流域水生态风险韧性不足、水生态安全压力骤增等问题，构建覆盖干流-支流等空间尺度及年际、季节、极端事件尺度的水生态系统多尺度韧性变化解析方法，系统刻画群落多样性、优势种比例及关键生态功能指标的时空演变特征，评估不同水文、污染及社会经济情景下的生态响应差异；揭示关键环境因子对生态系统韧性衰减的驱动机制，量化各因子在不同空间-时间尺度下对群落多样性、优势种比例及生态功能指标的相对贡献率，研发“自然-社会”系统耦合下水生态风险变化推演技术，量化生态风险在干流-支流各层级的传播、累积及放大过程；构建涵盖生态调水、污染负荷精准削减、栖息生境优化等多源管理路径的综合调控算法簇，研发多目标、多路径的水生态修复与生境恢复方案生成策略，支持包括群落结构改善、优良水体比例提升、水质改善、治理成本控制及社会满意度提升等多目标的灵活组合，实现在不同水文、污染及社会经济情景下选择适宜目标组合生成调控路径；开发支撑“重要水体水生态系统变化趋势解析与生境恢复”的决策支持功能智能体，实现面向多场景、多空间-时间尺度的生态系统动态研判、风险预警、修复措施比选及生境优化策略生成，为京津

冀流域水生态系统管理和生态风险应对提供智能化、可扩展和可推广的决策工具。

考核指标：

1. 水生态系统多尺度韧性变化解析方法 1 项，覆盖 ≥ 5 类典型流域水文、污染及社会经济情景，系统刻画群落多样性、优势种比例及关键生态功能指标的时空分布特征，关键生态指标拟合优度 $R^2 \geq 0.7$ ，主要指标预测偏差控制在 $\pm 20\%$ 以内。

2. 流域生态驱动因子-群落结构响应模型簇 1 项，完成永定河流域不少于 4 个流域 ≥ 30 个典型断面的水生态数据解析，量化各关键环境因子在不同空间-时间尺度下对群落多样性、优势种比例及生态功能指标的贡献率，关键因子识别准确率 $\geq 75\%$ ；

“自然-社会”系统耦合下水生态风险变化模拟技术 1 项，实现生态风险在干流-支流各层级的传播、累积及放大效应动态量化，预测与观测数据拟合优度 $R^2 \geq 0.7$ 。

3. 面向生境重构与生态修复的多目标优化算法簇 1 项，涵盖生态调水、污染负荷冲击、栖息生境优化及多源管理路径，在 ≥ 5 类典型水生态修复情景及 ≥ 3 类不同空间-时间尺度下生成 ≥ 50 条调控策略，生成策略在典型情景下对群落结构改善、优良水体比例提升等指标的预测偏差 $\leq \pm 25\%$ 。

4. 京津冀水生态系统变化趋势解析与智能修复决策支持智

能体 1 个，在永定河等不少于 4 个流域 ≥ 5 类典型水生态恢复场景下实现多路径动态比选与策略自适应生成，执行成功率 $\geq 80\%$ ，生成策略在典型情景下的量化一致性检验通过率 $\geq 85\%$ 。

申报说明：

本项目实行总承单位负责制，项目申报团队需符合总承单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，承担单位不超过 8 家，下设课题数不超过 10 个，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 0.5:1，实施周期不超过 3 年。

4.12 永定河北京段水系统功能提升与水风险防控关键技术研究与示范

研究内容：

针对多源补水（本地水、再生水、引黄水、引江水）驱动下永定河北京段水系统多功能协同难题，开展水质安全、生物多样性、水量保障与生态韧性等功能现状及变化过程研究，识别主要驱动因子及作用路径，构建以水资源-水环境-水生态-水安全综合效益最优为导向的永定河水系统功能评估体系，建立基于动态权重自分配与情景自适应的水系统功能调控方法，研发融合图像、在线监测等多模态数据融合的水系统功能关键指标动态感知技术，研发水系统功能快速识别与流域水功能预测模型；针对永定

河生物多样性恢复滞缓与外来物种入侵风险叠加问题，解析多水源水量与水质差异性叠加驱动下的水文-水质-水生态过程耦合机理，研发多要素联动的生态流量精准调控与多水源最优配置模型，建立面向多水源补给背景下外来物种入侵预判与风险评估方法，阐明多源补水、季节性洪水与极端气候事件对生物多样性、群落结构与功能稳定性的作用机制及其关键调控因子，构建基于指示性物种的生态阈值响应识别技术；针对永定河季节性高流速对水生态韧性冲击问题，揭示人工引导与自然演替协同作用下食物网络响应机制，研发半封闭水体水生态系统定向构建技术，突破河湖湿地污染物深度迁移与通量调控技术，形成适应于河流半封闭水体生态构建系统解决方案；针对永定河非补水期斑块化水体生境连通不足问题，研究关键生物类群对连通性变化的响应机制，研发多级水体系统纵向连通性自适应调控技术，研发基于功能性滩地再自然化的横向连通性增强技术，重构“主河道-滩地湿地-岸带植被”多界面耦合格局；选取永定河北京段进行技术集成与示范，形成水系统功能提升与水风险防控关键技术体系，构建面向京津冀地区的河流生态安全模式。

考核指标：

1. 水系统功能评估指标体系 1 套，涵盖水量保障、行洪调蓄、水质安全、生物多样性与生态韧性等核心要素（核心指标≥

12 个); 动态权重分配与情景自适应调控方法 1 套, 各功能权重动态调整幅度 $\geq \pm 20\%$, 自适应调控情景不少于 3 种, 支撑集成示范。

2. 融合图像、在线监测等多模态数据的水系统功能关键指标动态感知技术 1 套 (数据更新周期 ≤ 3 天), 水系统功能指标识别准确率 $\geq 80\%$; 流域水功能实时感知预测模型 1 套, 预测误差小于 15%。

3. 多源补水驱动下多要素联动的生态流量精准调控方法与多水源最优配置模型 1 套, 模型拟合精度 $\geq 80\%$, 多水源生态调控配置方案 ≥ 1 套, 在 ≥ 2 个典型断面得到验证, 生态流量过程模拟相对误差小于 15%。

4. 多水源补给背景下外来物种入侵预判与风险评估方法 1 套, 覆盖 ≥ 2 类外来物种入侵类群 (含鱼类、底栖动物); 关键水文或生境调控因子 ≥ 3 个, ≥ 5 种永定河指示性物种与水文-水质响应关系, ≥ 3 个调控指标的生态阈值, 指示性物种特异性和占有率 ≥ 0.85 , 阈值误差小于 20%。

5. 半封闭水体生态系统定向构建技术 1 套, 其中多介质强化耦合型湿地技术在设计流量下, 对 TN、TP、COD 等典型污染物平均去除率 $\geq 20\%$ 。在永定河园博园段开展技术集成与工程示范, 其中示范工程面积 ≥ 2 ha, 自然岸线比率提升 $\geq 20\%$, 示范

一年后水生生物香农-威纳多样性指数提升 $\geq 20\%$ 。

6. 斑块化水体纵向连通性自适应调控技术和基于功能性滩地再自然化的横向连通性增强技术 ≥ 2 种，示范后纵向、横向连通性指数提升 $\geq 20\%$ ；在永定河三家店-梁各庄段开展集成示范，示范河段面积 ≥ 10 ha，河段岸线长度 ≥ 5 km，示范后水陆生境多样性指数提升 30%，底栖动物物种数增加 10%。

7. 水系统功能提升与水风险防控综合模式 ≥ 1 套，包含评价指标、技术路径及运行机制等，在多源补水背景下实现示范区水资源利用效率、水环境改善、水生态修复、水安全保障综合效益相比示范前提升 $\geq 15\%$ ，并形成可复制、可推广的技术指南 1 份，得到北京市行政主管部门或流域机构采纳。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

板块五：美丽绿色生态样板城

5.1 雄安新区城市多维智慧感知与生态环境风险预警技术与示范

研究内容：

面向雄安新区绿色发展城市典范建设中智慧化、精细化生态环境风险管控的重大需求，围绕多维智慧感知与智能决策两大核心，重点突破生态环境要素的多维参数化表征、智能解译与全生命周期建模技术，研发动静一体智能感知与跨模态生成式 AI 融合建模方法，集成人流、车流、产业园区物流等多维物质能量流信息，通过构建融合地面移动车辆与空天遥感平台的城市生态环境参数立体感知网络，并在现有数字城市模型基础上打造耦合生态环境信息的高精度实景三维基座；研发产业园区“能-碳-污”多基协同感知与智能监测技术，构建多源数据融合与污染风险精准调控模型，发展多情景智慧调控策略推演技术，制定基于数字孪生的污染风险管理标准规范；融合秒级交通轨迹、温室气体和污染物排放、空天遥感等多源数据，研发热暴露环境下的交通污染风险动态感知技术，识别污染重点通道，发展基于运输需求的绿色低碳调控技术，构建基于城市功能区的交通排放生态环境风险分类分级评估体系；开发模拟城市热岛效应、洪涝、水环境污染等的机理模型，构建适应城市生态环境韧性与气候适应性的综合评估体系，研发动态阈值智能预警算法与多情景环境承载力评估技术，耦合高分辨率气候模式，实现对城市生态环境风险的精准诊断与溯源；在雄安新区数字城市平台基础上，新增生态环境智慧模拟决策平台，研发生成式 AI 驱动的生态环境对象三维建

模与多情景模拟技术，依托城市信息模型研发生态环境信息模型，构建产业园区、交通系统与气候适应性的生态环境风险智能体和智慧决策模块，实现多类生态环境风险的仿真模拟、动态演化和智能推演，并开展应用示范。

考核指标：

1. 基于融合空地平台的城市生态环境参数立体感知网络体系，不少于三种空地传感器平台，目标重建率 $>85\%$ ，融合精度 $<5\text{ cm}$ ；建成基于雄安新区三维数字城市模型的生态环境信息高精度三维基座，空间分辨率 $\leq 0.1\text{ m}$ ；实现城市环境动态目标速度反演精度 $\geq 90\%$ ，支持 10 类参数化生态环境要素的三维自动生成，综合精度 $\geq 92\%$ 。

2. 产业园区“能-碳-污”多参数同步测量误差 $\leq 10\%$ ，异常溯源准确率 $\geq 80\%$ ，多模态数据融合准确率 $\geq 98\%$ ；构建“能-碳-污”耦合污染风险模拟与调控模型，多情景预测拟合度 >0.9 ，推演技术实现分钟级策略响应；编制基于数字孪生的环境污染风险管理相关国际标准（含草案）1 项。

3. 建立交通污染动态感知和基于数字孪生与多智能体协同决策的交通绿色低碳调控技术体系。在城市核心区覆盖交通尾气、蒸发和磨损的全排放过程，空间分辨率达到百米级，尾气排放感知的时间分辨率达到分钟级，单个决策情景评估的响应速度达到

分钟级；识别不少于 7 类典型城市代谢场景下的交通流归因，对城市三级以上道路覆盖率 $\geq 90\%$ ，交通排放生态环境风险评估适配不少于 3 类城市功能区，考虑不少于 15 种污染要素的环境影响；提出 3 套及以上绿色出行调控方案，实现交通绿色低碳出行调控的污碳减排 $\geq 10\%$ ，主要交通运输场景减排比例 $\geq 20\%$ 。

4. 研发城市热岛效应、洪涝、水环境污染模拟模型，具备参数自动率定功能，模拟精度误差 $\leq 35\%$ ，满足情景模拟、预测预警与决策方案优化等典型应用需求；构建城-淀-河一体化水资源监测与调度系统，具备实时监测、模型模拟、调度决策支持三大功能，支撑防洪调度、水质改善和生态补水等典型调水方案，并获业务化应用；生态环境风险动态阈值预警时间分辨率达分钟级，准确率 $\geq 80\%$ ，环境承载能力评估不确定度 $\leq 20\%$ ；实现城市热岛效应、洪涝、水环境污染生态环境风险评估与污染源溯源准确率 $\geq 70\%$ ，空间分辨率 $\leq 30\text{ m}$ 、时间分辨率优于日尺度。

5. 研发雄安新区生态环境智慧模拟决策平台，具体包括：构建生态环境信息模型，实现 ≥ 30 典型植物物种的三维自动生成，模拟 ≥ 10 项生态参数，可视化空间分辨率 $\leq 0.1\text{ m}$ ，单参数误差 $\leq 5\%$ ，建模响应时间 $\leq 10\text{ s}$ ；构建 ≥ 3 类风险仿真模拟场景，形成 ≥ 3 套知识图谱，研发 ≥ 10 个辅助场景风险评估的自动算法模块，实现 ≥ 4 类典型城市生态风险过程的三维动态模拟，模拟

空间分辨率达百米级，具备分钟级运算响应能力；决策平台接入京津冀生态环境模拟器，并接入现有雄安数字城市平台并开展示范应用，实现稳定业务化运行 ≥ 6 个月，平台达到国际领先水平。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

5.2 雄安新区韧性城市水系构建与智慧管控关键技术与示范

研究内容：

面向雄安新区城市发展迅速、新建水系生态脆弱、极端事件频发等韧性提升挑战，统筹再生水厂绿色低碳运行与城市水系生态补水需求，研究不同功能片区的新型智慧排水管网构建方式，建立调蓄池等附属设施布局与规模的自适应协同优化算法，研发排水管网系统运行状态多维度实时感知与缺陷故障诊断技术及装备，构建适应新建片区特征的排水管网数智化精准管控技术体系；研发适应新区再生水厂高效污水处理的新药剂与新材料，开发面向全地下或半地下再生水厂绿色低碳运行的全流程智慧管控方法，构建基于城市水系功能需求的城镇污水再生处理高效低耗深度脱氮技术；开展多情景（如暴雨、干旱等）城市水系响应

模拟推演，研究白洋淀-新城水系双向水力连通机制及反向补水可行性，研发基于韧性提升的城市水系智能调度决策支持系统，形成与新区生活、生产相融合的韧性城市水系构建技术；解析城淀水系通联条件下氮、磷等关键物质通量变化及输移规律，构建城淀交互带水文-水质-水生态环境行为模拟模型，研发近自然修复技术，形成差异化的生态廊道建设与生物多样性提升技术；选择新区启动区、起步区等区域开展技术集成与综合示范，制定雄安新区韧性城市水系综合评估方法，建立可推广的韧性城市水系构建技术体系。

考核指标：

1. 提出新建片区不同功能区的排水系统布置技术方案 1 套，雨水管网设计重现期达标率 $\geq 95\%$ ，污水管网 BOD_5 有效输送率 $\geq 73\%$ ；研发调蓄池布设优化算法 1 项， 5 km^2 片区内计算时间控制 $\leq 30\text{ min}$ ；研发排水管网运行故障智能诊断技术 1 项，研制管网实时智巡检测设备 1 台/套，缺陷分类识别准确率 $\geq 90\%$ ，典型结构缺陷量化分级判读准确率 $\geq 80\%$ ；构建适应新建片区特征的排水管网异常状态智能化诊断模型 1 套，目标管段运行故障（冒溢、淤堵等）智能诊断准确率 $\geq 80\%$ ，排水管网问题智慧报警模型 1 项，再生水厂进水水质异常预警及时率 $\geq 85\%$ 。

2. 研发适应新区再生水厂特殊环境（全地下或半地下等）

的新型高效碳源产品 1~2 种，标准状态下反硝化速率 $\geq 2.0 \text{ mg NO}_3^- \text{-N/ (g MLVSS} \cdot \text{h)}$ ，有效利用率 $\geq 75\%$ ；研发适用于污水深度净化的高效吸附材料 1 种，出水 COD 稳定在 20 mg/L 以下，典型抗生素 (≥ 5 种) 去除率超过 50% ，出水色度 ≤ 10 度、浊度 $\leq 1 \text{ NTU}$ ，运行成本 (电耗或药耗) 较臭氧催化氧化降低 10% 以上；开发包括基于前馈和反馈的按需供氧和智慧加药 (碳源、除磷剂等) 的污水再生处理全流程智慧管控技术，同等条件下曝气量较北方地区先进污水处理厂下降 5% 以上、药剂投加量下降 10% 以上；开发针对全地下或半地下再生水厂的深度脱氮关键技术，在进水碳氮比 (sCOD/TN) > 6 、水温高于 20°C 、无外加碳源时出水 TN 稳定 $\leq 5 \text{ mg/L}$ ；碳氮比 $3 \sim 6$ ，水温高于 20°C 时，出水总氮 $\leq 10 \text{ mg/L}$ ；碳氮比低于 3 时，出水达标情况下，碳源投加量较传统工艺下降 10% 以上。

3. 提出雄安新区城市水系生态流量阈值范围，时间分辨率达到月精度，空间分辨率达到子流域尺度 ($\leq 10 \text{ km}^2$)；形成韧性城市水系构建技术 1 套，得到雄安新区政府或相关部门采纳应用；开发融合水量-水质-水生态-水灾害“四水”多目标协同的城市水系数智化模型以及基于韧性理论的城市水系智能调度决策支持系统 1 套，响应时间 $\leq 60 \text{ min}$ ；提出与雄安新区高质量发展相适应的城市水系多水源 (地表水、再生水、雨水、外调水) 调度

方案 1 套，包括制定分级分类调度预案 ≥ 3 项，覆盖枯水期、丰水期、平水期等典型情景，实现生态补水效能提升 $\geq 20\%$ ，生态流量保障率 $\geq 95\%$ ，水资源利用效率提升 $\geq 15\%$ ，得到雄安新区政府或相关部门采纳应用。

4. 构建水文-水质-水生态多过程耦合的城淀交互带污染物多介质环境行为模型，COD、氨氮、总氮、总磷等关键水质指标预测精度 $\geq 80\%$ ；研发藻类梯级生态拦截与生物降解联控等水生态风险防控技术 2 项，对特定藻类（以蓝藻计）捕获率 $\geq 20\%$ ，总氮降解率 $\geq 25\%$ ，典型抗生素（ ≥ 5 种）去除率 $\geq 30\%$ ；建立城淀交互带生态廊道功能分区与差异化构建技术 1 套，明确各分区主导生态功能、适宜植被配置等，得到雄安新区政府或相关部门采纳应用。

5. 构建城市水系生态韧性多维评价指标体系 1 套，涵盖水生态系统结构与连通、水文水量、水体自净、生物多样性、自然景观等维度，提出不少于 25 个核心量化指标；制定雄安新区韧性城市水系构建技术导则、雄安新区韧性城市水系运行管理方案、雄安新区韧性城市水系构建成效评估技术方法各 1 套，得到雄安新区政府或省部级及以上相关部门采纳应用。

6. 在雄安新区开展规模不小于 2 万 t/d 再生水厂技术示范，出水稳定达到地表水准Ⅲ类标准（其中，总氮 ≤ 10 mg/L，悬浮

物 $\leq 5\text{ mg/L}$), 运行费用较同类污水处理厂降低 10%, 配套管网规模不低于 3.0 km; 在雄安新区开展韧性城市水系技术综合示范, 河道示范长度不低于 2.0 km, 生态流量保障率达到 90%以上, 水质基本达到地表水Ⅲ类标准, 水生生物多样性较示范前提升 20%以上。

申报说明:

本项目实行总承包单位负责制, 项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类, 其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1, 实施周期不超过 3 年。

5.3 白洋淀上游绿色流域构建关键技术与示范

研究内容:

针对白洋淀上游流域水文过程调控不协同、排污与消纳能力不平衡、水生态功能供需不匹配等问题, 研究流域水循环演化对区域生态环境演变进程的驱动机制, 构建定量、定界调控的生态安全操作阈值体系, 提出流域经济社会发展绿色转型技术路径, 形成自适应调控的绿色流域构建理论体系; 解析流域干旱和洪涝事件的时空演变规律及其对生态环境的影响机理, 开发干旱和洪涝场景下生态需水评估技术, 研发基于大数据、卫星影像的城市内涝风险节点识别技术, 提出面向绿色流域建设的极端水文事件

全过程协同调控技术；构建污水厂碳指纹核算技术与预测模型，研发耦合精细化运营与动态化改造的污碳协同调控技术，解析雨污管网-调蓄池-污水厂-排污口的协同级联响应关系，开发空气耦合超声全聚焦成像的管网病害精准检测装备，研发流域抗冲击的地下雨污一体化调蓄池和污水厂协同管控技术；揭示河-岸生态系统中水文调节、水质净化和生境供给等核心功能的耦联机制，研发适应水文节律的近岸湿地原位调蓄净化技术，开发生物链修补和群落结构优化相结合的近自然河-岸生境联动恢复技术；构建城乡多源污染信息化系统，研发基于安全操作空间的优化决策支持技术系统，集成洪旱智慧调控、多源污染防治、生境联动恢复等绿色流域构建技术并开展综合示范。

考核指标：

1. 构建耦合气候驱动-水文过程-生态响应多向互馈的流域机理模型 1 套，生态响应模拟精度不低于 90%，提出水循环演化对生态环境演变的驱动路径不少于 5 条；构建定量、定界调控的绿色流域生态安全操作阈值体系 1 套，涵盖绿色流域抗干扰、抗冲击与自恢复等至少 3 个维度，包含水文情势变异指数、河-岸耦合生态指数、关键物种恢复率等不少于 20 个核心指标；形成流域经济社会发展绿色转型总体实施路线图 1 套，分类指导方案 3 套（工业园区、河流、城镇等），得到省级及以上相关管理部

门采纳应用；形成融合多目标平衡与自适应调控的绿色流域构建理论体系 1 套，包括韧性响应方法、目标量化体系、精准调控技术库各 1 套。

2. 建立干旱与洪涝时空演变规律及生态环境影响机理模型 1 套，时间重构精度 ≤ 1 个月，洪涝参数模拟准确率 $\geq 90\%$ ；研制干旱与洪涝场景下生态需水评估技术 1 套并示范，重点断面来水量预测准确率 $\geq 90\%$ ，生态基流保障率 $\geq 95\%$ ；研发城市内涝风险节点识别与动态评估系统 1 套，风险图空间分辨率优于 5 m，风险识别与评估准确率 $\geq 90\%$ ；提出面向绿色流域建设的极端水文事件全过程协同调控技术 1 套并示范，突破汛前-汛中-汛后分级智慧调控方法，实现汛前监测预警命中率 $\geq 95\%$ ，汛中多单元调控响应时间 ≤ 0.5 h，汛后生态需水保障率 $\geq 90\%$ ；在不少于 3 条入淀河流且共计不少于 100 km² 范围内开展防洪和生态安全保障机制示范。

3. 构建污水厂多介质、多过程碳指纹核算技术与预测模型 1 套，开展至少 3 类工艺的 2 类因子（CH₄、N₂O）碳指纹核算和预测，核算精度不低于 90%，预测精度不低于 85%；研发耦合精细化运营与动态化改造的污碳协同调控技术 1 套，吨水碳排放量降低至 0.4 kg CO₂ 当量以下；形成雨污控制单元协同级联响应关系 1 套，提出不少于 4 条跨单元响应路径；研发空气耦合超声全

聚焦成像的管网病害精准检测装备 1 套，尺寸误差降至 2 cm 以下，数据采集时间 ≤ 11 s，示范长度不少于 10 km；研发雨污一体化调蓄池和污水厂协同管控技术 1 套，在调蓄池不低于 4 万 m^3 、污水厂不低于 10 万 t/d 的全地下系统内开展示范，初期雨水有效调蓄量不低于 10 mm，协同处理后悬浮物浓度降低 95% 以上，总磷浓度降低 80% 以上，总氮浓度降低 40% 以上，污水厂出水水质满足 $\text{COD} \leq 20$ mg/L，总氮 ≤ 10 mg/L，总磷 ≤ 0.2 mg/L。

4. 研发适应水文节律的近岸湿地原位调蓄净化技术 1 套，示范面积 ≥ 4 ha，湿地洪水调蓄量 ≥ 0.8 t/ m^2 ，总氮、总磷去除率分别提升 30%、20%；研发近自然河-岸生境联动恢复技术 1 套，示范面积 ≥ 20 ha，生态系统稳定性指数 ≥ 0.35 ，生境质量指数提高至少 1 个等级。

5. 形成白洋淀上游城乡多源污染信息化系统 1 套，覆盖面积不少于 2 万 km^2 ，包含流域各乡镇近 10 年工业、城镇生活、农村生活、种植业、畜禽养殖等污染源数据不少于百万条；研发基于生态安全操作阈值的优化决策系统 1 套，智能化决策快速响应水平为小时级，接入京津冀生态环境模拟器；形成绿色流域构建技术体系 1 套，在不小于 2500 km^2 的区域开展综合示范，实现示范区生态系统韧性提升 $\geq 18\%$ ，生态质量指数提升 $\geq 10\%$ 。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

5.4 千年秀林及关联区域生态空间优化和综合功能提升技术与示范

研究内容：

针对千年秀林及关联区域生态系统服务功能发挥不充分、生态产品价值实现不足等问题，解析基于多维监测网络的绿色生态空间格局与连通度演变特征，研究衔接“太行山脉-渤海湾”和“京南生态绿楔-拒马河-白洋淀”的近自然千年秀林生态廊道优化构建技术，研发综合千年秀林自然资源全要素保护与开发的近自然生态空间优化技术，建立以千年秀林为牵引的互通互联绿色生态空间格局；研发千年秀林重点鸟类、昆虫、两栖类、植物的智慧监测系统，构建“植物-动物”互作网络，研发基于重要野生动植物及其栖息地保护成效提升的生物多样性保护与生境优化关键技术；研究芦苇不同收割方式对水质和生物多样性的影响，研制适用于白洋淀台田-壕沟特征的智能化收割装备，研发低成本多用途新型芦苇产品，形成芦苇保护与资源化利用新模式；研发千年秀林生态系统服务全功能多尺度嵌套动态评估技术，构建

多时序生态系统服务供需匹配动态数据库，研发基于供需平衡和过程协同的生态系统服务功能整体提升关键技术，研发千年秀林生态产品价值智慧感知与管理系统，建立生态系统价值核算、适配林下经济、废弃物资源化处置和碳汇交易平台技术体系，建立以水源涵养、水土保持、碳汇能力为核心的生态产品价值实现与补偿多元化新模式；开展千年秀林近自然生态廊道连通度增加、生物多样性完整性提升、生态系统服务功能提升和生态产品价值实现技术集成与示范，构建“山水林田淀城”一体化保护修复技术体系。

考核指标：

1. 研发基于多维监测网络的绿色生态空间格局与连通度演变分析技术，“山水林田淀城”及绿色生态空间识别空间分辨率达亚米级，提取精度 $\geq 85\%$ ，历史回溯不晚于 2015 年，间隔不超过 5 年；提出近自然千年秀林生态廊道贯通方案，得到雄安新区政府或省级及以上相关部门采纳应用，支撑构建衔接“太行山脉-渤海湾”和“京南生态绿楔-拒马河-白洋淀”大尺度绿色廊道 3~4 条；针对 4~6 种不同立地条件，构建千年秀林生态廊道近自然度评估指标体系，评估次数不少于 2 次；提出基于自然资源全要素保护与开发的近自然生态空间构建技术，与 2026 年基准年相比，植被覆盖率提升幅度 $\geq 15\%$ ，乡土植物比例 $\geq 80\%$ ，生

物多样性指数（Shannon-Wiener）提升 0.5 以上，近自然度提升 30%以上。

2. 建立千年秀林鸟类、昆虫、两栖类、植物等生物类群智慧监测系统，识别准确率优于 85%，识别种类不少于 400 种，建立动态监测数据库，包含物种、分布信息与功能性状数据不少于 20000 条；编制系统提升鸟类、昆虫、两栖类、植物功能性类群的生物多样性完整性的机制分析与技术报告并应用；构建至少一个“植物-动物”互作网络，识别关键互作节点与生态角色；研发基于重要野生动植物及其栖息地保护成效提升的生物多样性保护与生境优化关键技术，应用场景不少于 3 种。

3. 研发芦苇清边、收割、打包智能装备 1 套，收净率达到 90%，收割综合成本降低 30%；研发芦苇基新产品 2 种以上，实现湿芦苇利用不低于 2000 吨/年，相关产品增值不低于 200 万元；形成芦苇保护与资源化利用新模式，得到雄安新区相关管理部门推广。

4. 研发千年秀林生态系统服务功能多尺度嵌套动态评估技术，模拟空间尺度 $\leq 10\text{ m}$ ；千年秀林多时序生态系统服务供需匹配动态数据库，历史回溯不晚于 2015 年，间隔不超过 5 年；实现 3~5 种千年秀林生态补偿应用情景；构建千年秀林生态产品价值智慧感知与管理系统，单木生理参数监测误差 $\leq 5\%$ ，生长

模拟置信度 $\geq 90\%$ (100 年预测), 万公顷 GEP 核算时效 ≤ 7 d, 生态风险贴现系数误差 ≤ 0.05 (α 值); 提出林下经济新模式 3~4 套, 林下种养殖和野生动物栖息地等多元生境 3 种以上, 木本废弃物原位粉碎+高效堆肥、草本废弃物近自然填埋等固碳和碳封存协同处理模式 3~4 种, 千年秀林凋落物产量估算精度 $\geq 80\%$, 固体废物综合利用率提升到 80% 以上, 丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数提升 5%~10%; 形成千年秀林生态产品价值核算标准规范, 提出以千年秀林为典型案例的城市森林碳汇核算方法和生态产品价值实现技术与方法体系, 建立千年秀林碳汇交易平台并实现业务化运营。

5. 开展生物多样性完整性、生态系统服务功能提升和生态产品价值实现技术集成与综合示范, 与 2026 年基准年相比, 千年秀林近自然生态廊道连通度提升 5%~10%, 建成不少于 4 处覆盖千年秀林重点鸟类、昆虫、两栖类、植物群落的生物多样性保护与栖息地质量优化恢复示范样地, 生态系统服务功能整体提升 50% 以上, 面积不小于 20 km²。芦苇单套炭化装备生产能力 ≥ 2 万吨/年。

申报说明:

项目类型为应用示范研究类, 其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1, 实施周期不超过 4 年。

5.5 首都城市圈噪声污染智能感知与靶向防控技术研究及示范

研究内容：

面向美丽城市对噪声污染精细化管理的需求，以“智能感知-精准模拟-靶向防控”为核心，研究城市噪声智能感知监测网络构建模型，研发匹配高密度溯源、高精度追踪等不同需求的噪声智能感知设备，构建适用于城市复杂环境的声纹库及精准溯源体系；研发城市“声源-传播-受声体”全链条高精度动态模拟技术，建立基于智能飞机运行构型驱动式多模型自适应算法的机场航空器噪声计算和预测仿真技术，研发噪声与人体健康风险基准及评估技术，揭示不同特征噪声与人群健康剂量效应关系，构建“噪声模拟-空间管控-精准治理”智能决策模型；针对重点工业行业大型设备设施，研究低频能量阻隔机制，研发亚波长轻质宽频复合降噪结构，研发低频宽带隔声装备、非线性薄层隔振以及准零刚度隔振装置和时变多模式智能调控通风消声装备，形成工业综合减振降噪成套技术；针对城市道路交通噪声控制技术与城市环境融合匹配不足等问题，研发透明屏体微孔-狭缝耦合共振吸声技术和生态绿植叶-茎-基质多级阻抗匹配复合吸隔声技术；针对轨道交通噪声振动控制系统性、协同性不足以及全寿命周期管控

难点问题，研究轮轨高频振动-噪声能量传递量化表征技术，研发轨道不平顺声振特征信号提取与噪声振动综合评价技术，构建轨道交通移动装备-基础设施-人居建筑环境噪声振动协同控制技术体系；相关技术在超大城市开展示范应用，形成“智能感知-精准溯源-决策评估-靶向治理”全链条噪声治理新模式。

考核指标：

1. 建立城市噪声监测网络构建模型 1 套，模型应考虑人口与地域类型、声环境质量与污染来源等因素；研发国产化监测智能 AI 芯片的噪声微型自动监测设备，在 100 ~ 8000 Hz 频率范围内满足 2 级声级计精度要求，动态范围不小于 30 ~ 120 dB，具备自动校准、城市复杂噪声场景下声纹智能识别边缘计算能力，监测设备成本 ≤ 5000 元；飞机噪声自动定位监测终端定位精度 < 10 m，航空噪声事件识别率达到 90% 以上，满足 1 级声级计精度要求。

2. 构建适用于城市复杂环境的声纹库，首都城市圈声纹数据 ≥ 25000 条，覆盖自然声、交通噪声、工业噪声、施工噪声和社会生活噪声等主要类型；声源分类智能识别及溯源算法对噪声异常事件的识别准确率 $\geq 90\%$ ，城市典型声源溯源准确率 $\geq 80\%$ 。

3. 建立城市动态噪声源强自适应模型，项目级传播模型的建筑群反射模拟精度误差 ≤ 2 dB，城市级混合传播模型在 10 km^2

范围内的预测误差 ≤ 3 dB 的区域占比达到 90%以上；研发机场航空器噪声计算和预测仿真软件，包括京津冀地区机场主要航空器功率-距离-噪声数据库，机型覆盖率达到 95%，航空噪声预测和实测的误差值 ≤ 2 dB (A)；首都城市圈噪声与人体健康的风险分级、分类管控阈值与健康风险评估模型应包括但不限于道路、轨道交通和航空器等 3 类噪声；智能决策模型包含不少于 50 种降噪材料/结构性能参数化的治理措施效果-成本算例集，具有“噪声模拟-空间管控-综合治理”三位一体功能。

4. 建立固定设备轻质低频亚波长隔声控制技术，声板材面密度 ≤ 13 kg/m²，低频 100 ~ 500 Hz 频段平均隔声量 ≥ 25 dB，计权隔声量 ≥ 35 dB；非线性薄层隔振装置厚度 ≤ 15 mm，固有频率 ≤ 10 Hz；准零刚度隔振装置满足工业设备大载荷承载要求且固有频率 ≤ 3 Hz；时变多模式通风型智能调控声学复合控制设备应实现常规、低能耗等 2 种及以上运行模式，常规模式插入损失不低于 15 dB (A) /m，低能耗模式通风阻力损失不超过常规模式通风阻力损失的 0.8 倍，低能耗模式插入损失不低于常规模式 8 dB (A)；管口噪声辐射主动调控技术在 100 ~ 500 Hz 频段降噪量增加 10 dB 以上。

5. 基于孔缝耦合共振吸声技术的透明屏体降噪系数 ≥ 0.60 ，计权隔声量 ≥ 30 dB，吸声面板抗弯刚度 ≥ 2 N·m²/m；叶-茎-基

质多级阻抗匹配的吸隔声生态绿植屏体降噪系数 ≥ 0.40 ，计权隔声量 ≥ 10 dB，形成道路交通景观型声屏障综合降噪技术。轮轨振动有效分析频率上限 ≥ 3000 Hz，振动幅值分析误差率 $\leq 8\%$ ，振动能量转化声能量效率的预测模型准确率 $\geq 90\%$ ；全寿命周期轨道不平顺声振信号提取识别准确率 $\geq 90\%$ ，噪声振动综合评价至少覆盖车辆、轮轨状态、减振降噪措施效果等 3 类指标；轮轨匹配参数优化技术降低全寿命周期平均振动响应 30%，轨道交通声屏障宽频降噪与长期性能保持技术附加降噪效果 ≥ 1 dB、10 年降噪效果衰减 ≤ 1 dB，人居建筑基础振动噪声一体化防控技术对轨道交通振动优势频率隔振效率 $\geq 90\%$ 。

6. 项目在首都城市区开展示范应用。城市一体化噪声感知网络示范点位不少于 500 个，城市核心区域内动态噪声地图刷新频率 ≤ 5 分钟/次、空间分辨率 ≤ 10 m；决策模型在不少于 50 个建设项目中示范应用，预估降噪效果与实际完成情况相差 ≤ 3 dB；超大型机场噪声感知点位不少于 30 个，机场周围区域声敏感建筑物禁止建设区和限制建设区分区管理策略得到省级及以上有关部门采纳应用；工业和社会生活固定源噪声治理示范工程不少于 5 处，道路交通项目声屏障示范工程不少于 2 个，降噪效果不低于 10 dB；轨道交通项目示范工程不少于 1 个，包括全寿命周期噪声振动综合评价技术、轮轨匹配参数优化技术及声屏障宽频

降噪技术等，声屏障示范应用长度 ≥ 5 km，包括全封闭、半封闭、折角式、直立式等不同结构类型，全封闭声屏障降噪效果不低于 18 dB；形成“智能感知-精准溯源-靶向治理”噪声防控技术体系。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 6:1，实施周期不超过 4 年。

5.6 京津冀超大城市港-城联动港口移动源综合治理关键技术与示范

研究内容：

针对京津冀港口群货运量大、港城关系及集疏运结构复杂、清洁运输转型系统性不足等问题，研究融合港-城-产多源异构数据的港口货运智能监测方法，构建港-城联动车辆运输物流智能识别技术，研发港城联动港口移动源污染排放高分辨率动态预测技术，提出系统减排与清洁化综合治理路径；研发港口清洁能源多主体交互运行与分布式微网协同调峰技术，研发高性能纯电动港作拖轮关键装备，研究“风光储充”一体化港口柔性互联充电系统关键技术及装备并示范；研究港-城联动深度减排集疏运结构优化、港口与集疏运通道补能设施布局优化与决策技术，构

建以超大城市及国际枢纽港口城市为核心、辐射周边的千公里级零排放补能干线；研发岸基港口水域移动源尾气捕集净化装备，建立锚地近零待时港口水上交通组织技术，创新船舶尾气成像遥感系统与超标排放智能识别算法，构建管控服一体化的港内船舶移动源综合治理体系并示范；研究港-城联动的港口移动源减污降碳效益量化评估方法及综合治理方案库，开发“监管-评估-仿真-决策”全链条的港口移动源智能管控平台，在京津冀主要港口及城市应用。

考核指标：

1. 提出港-城联动车辆运输物流智能识别技术，准确率不低于 90%；研发港口移动源污染排放高分辨率预测技术，预测排放清单空间分辨率达到或优于 1 km、时间分辨率达到或优于 1 h、逐日港区货运需求预测误差 $\leq 10\%$ ；提出相关政策建议 2 项，得到省级及以上相关管理部门采纳。

2. 开发港口风光资源发电潜力动态评估与高精度预测模型，评估因子数量 ≥ 5 ，72 h 风光发电功率预测误差 $\leq 10\%$ ；研发港口分布式微电网协同调峰技术并应用，典型负荷峰谷差降低率 $\geq 15\%$ ，形成能量流-作业流耦合的多主体交互运行策略并应用；研发高性能纯电动港作拖轮装备并应用，最大系柱拖力 ≥ 50 t，电池容量 ≥ 5000 kWh，满电状态下满足 ≥ 8 h 典型工况作业需求；

形成岸基智能供充电一体化装备并应用；提出相关政策建议或指南 ≥ 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳。

3. 建立港口群-港口-城市物流节点-集疏运通道多尺度运输结构优化减污降碳评估模型；研发新能源重卡充换电需求预测与补能设施资源动态匹配技术，形成新能源重卡运输路径规划决策支持智能化工具，涵盖功能模块 ≥ 3 个，形成货运通道重卡充换电站布局规划方案，提出相关政策建议或指南 ≥ 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳；以沿海超大城市及国际枢纽港口为核心建设零排放补能干线 ≥ 3 条，设置重卡充/换电站 ≥ 20 座，其中跨城市零排放补能干线 ≥ 2 条，至少1条通道长度达1500 km以上。

4. 开发岸基港口水域移动源尾气捕集净化装备，尾气处理量 $\geq 15000\text{ m}^3/\text{h}$ ，尾气捕获效率 $\geq 95\%$ ，PM、NO_x去除效率 $\geq 90\%$ ；构建港口水上交通组织系统，船舶从锚地等待到码头装卸的耗时缩减20%以上，尾气减排量超过10%；形成港口水域移动源超标排放监控预警系统示范，指标包含SO₂、NO_x、PM、HC，超标排放识别准确率 $>90\%$ ，示范港口遥测点位 ≥ 6 处；形成相关政策建议或标准 ≥ 2 项，到IMO或省部级管理部门采纳。

5. 构建集成“港-公-水”零排放技术的港-城联动港口清洁运输技术库，涵盖指标 ≥ 4 项；构建京津冀区域港口群监管技术

库，包括指标 ≥ 5 项；研发港口用能设施、港内车辆、集疏运船舶、集疏港运输车辆等多源异构数据深度融合技术，联网车辆数 ≥ 1000 台，联网用能设施 ≥ 100 个，优化调度船舶 ≥ 1 万艘次，构建涵盖数据采集、验证与融合的联网数据全流程质控方法体系；构建“监管-评估-仿真-决策”全链条的智能化平台，平台数据更新频率 ≤ 1 h，包含京津冀港口群清洁运输“结构优化-用能清洁-排放评估-效果评估”四维联动功能；在京津冀典型沿海主要港口及超大城市开展示范应用，形成零排放港口和零排放港口集疏运通道整体解决方案。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于5:1，实施周期不超过4年。

5.7 滨海超大城市生态系统韧性动态诊断与提升技术研究 与示范

研究内容：

针对滨海超大城市生态系统面临的韧性波动剧烈难以诊断、风险复杂多样难以防控、智慧管控能力不足及生态系统韧性提升需求，研发高分辨率京津冀城市生态系统观测技术，建立城市生态系统结构、功能、胁迫及服务价值数据集，构建多源数据融合

的城市生态系统韧性动态诊断技术体系，形成生态系统多要素韧性评估方法，评估重大生态修复工程对生态系统结构与功能的耦合提升效应；集成地面通量观测、多尺度卫星遥感观测数据，研究极端气候变化和人类活动双重胁迫下的城市生态系统“水-热-碳”关键要素影响与互馈效应，解析不同生态功能区生态风险动态变化，研究生态风险源精准识别、清单建立、风险评估与智能预警技术，形成“诊断识别-评估预警-防控应用”全链条生态风险阻控方案；研发城市生态廊道、海岸带等典型生态功能区空间优化模拟技术，集成开发核心种群与栖息地一体化生态修复技术体系，形成生态系统的连通性与多样性等结构韧性提升技术，基于城市卫星实时数据，提出滨海城市生态廊道优化连通互馈方案与缓解中心城市热岛效应对策方案并示范；研发城市滨水绿带、滨海湿地等典型生态功能区“水文调控-污染拦截-植被恢复”减污降碳协同治理技术、“生境功能-城市韧性”协同的生物多样性提升技术并示范；构建“数据-模型-决策”一体化城市生态系统韧性智慧管控系统，形成京津冀地区可复制、可推广的生态宜居城市建设范式。

考核指标：

1. 形成生态资源本底图 1 套，涵盖湿地、林地、草地、水域等至少 4 种类型；发射 1 颗高分辨率城市生态系统观测卫星，

涵盖 CO₂、CH₄ 浓度、植被指数等关键参数, XCO₂ 测量精度 10~20 ppm, XCH₄ 测量精度 20~50 ppb, 几何分辨率不高于 300 m, 观测频次 1 次/天; 形成多源卫星数据融合分析系统 1 套, 实现 CO₂、CH₄、城市热岛、植被指数、水体叶绿素等 5 类以上卫星观测数据的标准化处理与融合; 三维气象数据实时获取时空分辨率达到 0.5 km/15 min。

2. 形成生态风险源数据集, 涵盖生态风险源类型、胁迫因子特征、环境响应参数等属性 ≥ 3 类, 风险源三维 GIS 图谱可视化清晰度 $\geq 90\%$; 研发生态风险强度评估模型 1 个, 涵盖生态风险因子 ≥ 3 类, 每类风险因子的参数 ≥ 5 个区域特异性指标; 开发滨海超大城市生态系统风险源动态智能预警模型 1 个, 预警精度 $\geq 70\%$; 形成“诊断识别-评估预警-防控应用”全链条生态风险阻控方案, 得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

3. 形成典型生态功能区空间优化模拟模型 1 套, 涵盖至少两类生态功能区, 模拟结果与实际生态状况的拟合 $R^2 \geq 0.85$; 集成开发核心种群与栖息地一体化生态修复技术体系 1 套, 涵盖区域关键核心种群 ≥ 2 种; 提出滨海城市生态廊道优化连通互馈方案与中心城市热岛效应缓解生态格局对策方案共 2 份, 在面积 ≥ 10 ha 的示范区内应用, 示范区蓝绿生态空间连通度指数提升 20%, 夏季热岛效应缓解 $\geq 0.5^\circ\text{C}$ 。

4. 提出生态系统稳定运行临界参数的调控方案 1 份并示范，调控参数涵盖非生物环境参数、生物群落参数、干扰与驱动参数 3 类，示范区生态系统稳定性指数提升 $\geq 10\%$ ；形成“水文调控-污染拦截-植被恢复”协同的韧性提升技术并示范，示范区污染物去除率 $\geq 60\%$ 、碳汇增量 $\geq 0.5 \text{ t/ha}$ ；形成“生境功能-城市韧性”协同的生物多样性提升技术并示范，示范区生物多样性指数提升 $\geq 10\%$ ；选取城市滨水绿带、滨海湿地等地示范，3 处示范区总面积 $\geq 20 \text{ ha}$ 。

5. 形成“数据-模型-决策”数智驱动一体化滨海城市生态系统智能管理系统 1 套，多源异构生态数据 ≥ 10 项，预测精度 $\geq 85\%$ ，人机交互响应时间 $\leq 0.5 \text{ s}$ ；形成城市生态系统韧性成效评估规范 1 份、滨海超大城市生态系统韧性分级指南 1 份，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 5:1，实施周期不超过 3 年。

5.8 美丽城市绿色甲醇高效利用关键技术及应用示范

研究内容：

针对京津冀区域车船等交通运输领域绿色甲醇替代面临的

清洁高效燃烧难、碳污排放特征复杂、碳污减排技术储备不足、核心部件耐醇性能弱等问题，研究机动车甲醇缸内高压直喷/气道喷射稳定点火和高效燃烧技术，研发甲醇发动机极寒条件快速可靠超低温冷启动技术，研究甲醇混合气缸内燃烧碳污生成演化路径与机内调控方法，开发基于数据驱动的甲醇发动机综合性能预测模型和多参数协同优化技术；研究适用于甲醇燃料车当量比燃烧模式的专用三效催化剂（TWC），适用于稀燃模式的专用NO_x选择性催化还原（甲醇-SCR、NH₃-SCR）催化剂、氧化催化剂（HC氧化、CO氧化和NH₃氧化），匹配发动机排放特征开展多污染物协同净化性能优化，重点突破低温工况排放控制等难题，形成高效稳定低成本的后处理催化剂与碳污控制技术体系；研究船舶发动机高替代率下甲醇直喷柴油微引燃技术，开发高比例替代稳燃控制技术和甲醇灵活喷射燃烧系统，研究灵活喷射燃烧过程未燃甲醇、甲醛等非常规污染物缸内分布规律和调控技术，开发适配甲醇发动机尾排的专用高效稳定DOC、SCR和ASC等后处理催化材料，研发适应宽工况的大流量甲醇船舶专用尾气净化装置；研究甲醇燃料水分含量、杂质成分及温度等对车船关键材料的协同腐蚀机理与失效机制，研发涉醇部件新型材料和高耐腐蚀表面改性技术，研制兼具腐蚀抑制与润滑增强功能的多效添加剂，研发涵盖材料选型、表面改性、结构设计的甲醇腐蚀动态

防护技术；开展绿色甲醇生命周期碳排放评估方法研究，量化绿色甲醇本地化碳足迹排放因子，构建绿色甲醇碳足迹核算认证及管理体系，提出京津冀区域面向不同应用场景的车船等交通运输行业绿色低碳发展路径；在京津冀道路交通、内河/沿海船舶等典型场景开展绿色甲醇安全高效利用关键技术集成与应用示范，评估绿色甲醇在车船等交通运输行业的碳污减排潜力与经济效益，提出京津冀区域面向不同应用场景的车船等交通运输行业绿色低碳发展路径。

考核指标：

1. 机动车甲醇高压直喷动力系统 1 套，甲醇发动机额定功率 $\geq 85\text{kW}$ ，最高有效热效率 $\geq 45\%$ ，醇耗率 $\leq 410\text{ g/kWh}$ ；满足环境温度 -35°C 甲醇直接启动，单次冷启动时间 $\leq 5\text{ s}$ ；机动车甲醇气道喷射动力系统 1 套，甲醇发动机额定功率 $\geq 260\text{ kW}$ ，最高有效热效率 $\geq 45\%$ ，醇耗率 $\leq 410\text{ g/kWh}$ ；机动车甲醇发动机 NO_x 原排 $\leq 11\text{ g/kWh}$ ，未燃甲醇原排 $\leq 5\text{ g/kWh}$ ，甲醛原排 $\leq 5\text{ g/kWh}$ ；机动车甲醇发动机功率、醇耗率、原排 NO_x 、原排未燃甲醇、原排甲醛等预测误差 $\leq 5\%$ 。

2. 建立绿色甲醇燃料车排放控制关键材料、技术与装备体系，三效催化剂贵金属用量 $\leq 1\text{ kg/m}^3$ ，氧化催化剂贵金属用量 $\leq 0.36\text{ kg/m}^3$ ， NO_x 排放 $\leq 0.2\text{ g/kWh}$ ，CO 排放 $\leq 1.5\text{ g/kWh}$ ，HC

排放 ≤ 0.08 g/kWh, 形成绿色甲醇燃烧污染物排放标准/技术规程。

3. 兆瓦级船舶甲醇动力系统和高效尾气处理装置 1 套, 最高甲醇替代率 $\geq 95\%$, 最高热效率 $\geq 44\%$, 未燃甲醇排放量 ≤ 0.05 g/kWh, 甲醛排放量 ≤ 0.05 g/kWh, NO_x 排放满足 IMO Tier III 阶段要求; 百千瓦级船舶甲醇动力系统 1 套, 有效热效率 $\geq 38\%$, HC+NO_x 排放 ≤ 20 g/kWh; 至少 1 款船舶甲醇发动机获得中国船级社认证。

4. 研发适配甲醇燃料车船动力系统的防腐蚀材料, 发动机主要零部件材料磨损量 ≤ 0.02 mm/1000h; 表面涂层耐甲醇浸泡 1000 小时后无起泡; 密封材料在甲醇中的体积变化率 $\leq 5\%$; 专用醇基润滑油添加剂的缓蚀率 $\geq 95\%$ 。

5. 完成绿色甲醇生命周期碳排放评估技术指南及编制说明 1 项, 形成相关标准、规范或指南 (送审稿) 2 份。

6. 在京津冀道路交通、内河/沿海船舶等场景开展绿色甲醇安全高效利用技术集成与应用示范; N2 类商用车不少于 1 款, N3 类商用车不少于 2 款, 乘用车不少于 1 款, 示范车辆不少于 200 辆, 内河/沿海示范船舶不少于 2 艘; N2 类商用车, 7.5 吨中国工况 (CHTC-LT) 百公里醇耗 ≤ 28 L; N3 类自卸车, 31 吨中国工况 (CHTC-D) 百公里醇耗 ≤ 90 L; N3 类牵引车, 49 吨中国工况 (CHTC-TT) 百公里醇耗 ≤ 85 L; 甲醇乘用车, WLTC 工

况百公里醇耗 ≤ 9 L，一次加注续驶里程 ≥ 800 km；兆瓦级甲醇动力船舶，总载重 ≥ 2000 t，最高航速 ≥ 30 km/h，NO_x排放满足IMO Tier III 阶段要求；百千瓦级甲醇动力船舶，排水量 ≥ 2 t，航速 ≥ 60 km/h，满足船舶发动机排气污染物排放限值第二阶段要求。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

5.9 公共室内环境空气污染健康风险评估及控制技术与示范

研究内容：

面向京津冀典型城市群公共室内环境污染控制的需求，以健康风险评估与控制为核心，研发基于多源化学离子化高分辨质谱的新型污染物在线快速检测方法与病原气溶胶智能多维光谱在线快速检测技术和装备，实现典型公共室内场景空气新型污染物和高风险病原气溶胶的高通量在线快速检测；识别典型公共室内环境空气高风险污染物和异味物质，获取污染物存在状态、浓度水平等特征，研究通风对室内典型污染物的影响机制，开发典型情景下污染物影响人体健康感知的暴露-反应评估模型，量化室

内污染物的相对风险和危害商等健康风险水平，识别高风险污染物并构建优先控制名录；研发适用于公共室内环境高风险污染物的常温净化材料与技术，开发吸附催化一体化净化、氧化剂辅助的常温催化净化等高效控制材料和技术，开发材料成型和模块化技术，形成成套设备；研发适用于公共室内环境低阈值异味污染物的常温净化材料与技术，突破室温吸附催化、电催化氧化等高效控制材料和技术，开发材料成型和模块化技术形成成套设备；开展在线检测和控制技术/设备在典型公共室内环境的适应性和可靠性验证，并在京津冀典型公共室内环境进行空气污染物检测与控制技术的示范应用。

考核指标：

1. 开发适用于典型公共室内环境的基于多源化学离子化高分辨质谱的新型污染物在线快速检测方法，污染物识别种类 ≥ 300 种，检测时间 ≤ 60 min，内分泌干扰物、阻燃剂、杀虫剂等典型污染物检测限 ≤ 10 ng/m³；研发适用于典型公共室内环境的病原气溶胶智能多维光谱在线快速检测技术和装备，同时检测细菌和病毒病原体种类 ≥ 20 种，可同时识别病原气溶胶组分、活性和表型耐药性，识别准确性 $\geq 90\%$ ，病原细菌检测限 ≤ 100 CFU/mL，病毒检测限 ≤ 200 拷贝/mL，检测时间 ≤ 4 h，支持病原气溶胶样品预处理-高通量标记-多维检测-算法识别及报告预

警全流程操作,在 ≥ 3 环节流程实现装备自动化,形成装备1套。

2. 建立京津冀典型城市公共室内环境空气污染现状数据集1套,包括公共室内环境类型 ≥ 5 个,每个类型调查样本 ≥ 100 个,每个样本检测化学和生物污染物 ≥ 300 种;开发基于污染物内暴露浓度的空气污染物健康风险定量评估模型1个,输出基于小时分辨空气污染暴露量的污染物危害商数和致癌风险指标;提出空气化学与生物污染物(过敏原等)在皮肤、呼吸道等人体上皮屏障的跨尺度暴露-反应-沉积作用路径1条,筛选健康风险标志物 ≥ 5 种,开发非侵入式健康风险评估技术,检测时间 ≤ 12 h;提供京津冀区域 ≥ 20 种污染物的内外暴露水平,在国家级科学数据中心以专题网站形式公开共享,网站访问量不少于1万次/年,得到省级或以上管理部门采纳应用;建立室内异味污染与人员感知之间的定量关系模型1个,对感知气味强度的预测误差 $<15\%$;建立基于室内污染物内外暴露以及异味感官影响规律的风险评估方法1套,形成行业标准部门采纳的建议稿;基于污染物健康风险和异味感知评价形成京津冀典型城市群公共室内环境优先控制空气污染物清单1套,包括生物指标 ≥ 3 个、化学指标 ≥ 20 个。

3. 适用于公共室内环境优先控制污染物的常温高效催化净化材料和技术 ≥ 3 类,新型污染物如典型内分泌干扰物、阻燃剂、

杀虫剂的净化去除率 $\geq 95\%$ ，典型病原气溶胶 1 小时杀灭率 $\geq 99\%$ ，核心技术自主化率 $\geq 70\%$ 。形成适用于京津冀区域公共室内环境优控污染物的净化装备 1 套，单机功率 $\leq 100\text{ W}$ ，洁净空气量 $\geq 100\text{ m}^3/\text{h}$ 。

4. 适用于公共室内环境低阈值异味污染物的常温高效催化净化材料和技术 ≥ 2 类，异味如 NH_3 、 H_2S 、 NO_x 的净化去除率 $\geq 95\%$ ，核心技术自主化率 $\geq 70\%$ 。形成适用于京津冀区域公共室内环境低阈值异味污染物的净化装备 1 套，单机功率 $\leq 100\text{ W}$ ，洁净空气量 $\geq 100\text{ m}^3/\text{h}$ 。

5. 公共室内环境优先控制和异味污染物的成套控制装备 ≥ 3 类，在 30m^3 测试舱、优控和异味污染物初始浓度约为真实场景浓度 10 倍的情况下，对污染物净化能效大于 $1\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{w})$ ，在京津冀区域代表性城市（北京、天津等）开展不少于 5 个典型场景（大型会议室、地铁站、商场、学校、医院等）的污染物在线检测与控制技术装备示范应用，示范场景优控和异味污染物的浓度下降 $\geq 30\%$ 。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

5.10 气候变化下京津冀高环境健康风险污染物精准评估与管控技术示范

研究内容：

围绕京津冀城市水体及饮用水源地（含备用水源）中全氟化合物、多环芳烃、有机磷酸酯等典型新污染物，揭示超大城市水环境新污染物污染特征，研发以健康效应为导向的水环境高风险新污染物识别与筛查技术，建立高风险因子清单；结合流行病学、多组学和人工智能等方法，解析新污染物与心脑血管、代谢和肿瘤等疾病的暴露-反应关系，揭示关键机制通路，开发人群外暴露与内暴露模拟技术，明确城市人群饮用水、皮肤接触等涉水的關鍵暴露途径及其环境归因；突破多源-链式数据驱动的新污染物水环境健康风险识别-评估-模拟技术，攻克历史遗留重大风险源等水环境风险源解析技术，研发高环境健康风险源分布地图模型及高精度网格化风险分布地图；系统研究气象和气候因素与高健康风险新污染物对易感人群健康效应的耦合影响，开展极端天气频发的情景下关键暴露途径和暴露参数研究，提出针对性的健康调控干预措施；基于气候变化下动态演变数据，研发突发性和累积性耦合的风险评估和分级分区管控技术，构建人群环境健康效应技术标准，针对不同区域提出分阶段、分等级管控水质基准建议，并在石家庄滹沱河、北京官厅水库等地的城市水体及饮用

水源地开展示范应用。

考核指标：

1. 形成以健康效应为导向的水环境高健康风险新污染物的筛查和识别技术 1 项，识别京津冀水环境中不少于 200 种典型新污染物，形成京津冀区域典型污染物（如全氟化合物、多环芳烃、有机磷酸酯）水环境污染特征研究报告不少于 3 份（总数据量不少于 1 万条）；形成京津冀典型行业的重点风险因子清单 1 份（包含化工、制药、皮革、印染等 5 种以上行业，来源广泛、暴露水平高、健康危害大的关键水环境健康风险因子 ≥ 50 个），水环境健康风险因子清单被省市级新污染物治理行动方案等采纳应用。

2. 建立京津冀高水环境健康风险新污染物与人体健康的暴露-反应评估技术 1 套，达到国际前沿水平；形成新污染物与 8 类重大疾病（心血管、脑血管、内分泌、代谢、免疫、神经系统、肿瘤、呼吸）的暴露-反应关系曲线不少于 8~10 条；识别对人群健康具有长期、慢性和潜在影响的关键新污染物 ≥ 20 种，典型新污染物健康影响机制通路 ≥ 30 条，生物标志物 ≥ 200 个；形成京津冀高水环境健康风险新污染物与健康影响数据库 1 个（含 ≥ 1 万条数据）；形成高水环境健康风险新污染物内外暴露模拟技术 1 项，解析 ≥ 3 种疾病的环境归因。

3. 建立多源-链式数据驱动的水环境风险识别-评估-模拟

技术 1 套，模拟精度达到 85%以上，完成 ≥ 50 种新污染物风险评估，形成开放共享的数据库（涵盖水环境监测数据、污染排放清单、气象气候数据、人群健康暴露数据）；形成历史遗留重大风险源等水环境风险源解析技术 1 项，源解析准确度 $\geq 80\%$ ，识别京津冀历史遗留重大风险源 ≥ 30 个（明确其污染物类型、排放通量和影响范围）；形成重点区域水环境高健康风险污染物高精度（空间分辨率 $\leq 1 \text{ km}^2$ ）网格化风险源分布地图 1 份，提供 ≥ 2 份政策建议，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

4. 构建极端气候下高水环境健康风险新污染物的健康风险评估模型 1 套，模型预测准确率 $\geq 85\%$ ，识别出显著影响人群健康的极端天气与复合污染暴露事件组合 ≥ 3 种；研发暴露途径调控与干预技术 1 项，提出极端气候变化下高水环境健康风险新污染物精准调控方案（针对性健康干预措施 ≥ 10 项），提供 ≥ 2 份政策建议，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

5. 研发突发性和累积性耦合的风险评估和分级分区管控技术 1 项，涵盖 ≥ 3 类突发性因素（如暴雨、寒潮、高温等）和累积性因素（如历史遗留污染等）；形成人群环境健康效应相关技术标准 1 项（正式报批稿），达到国际先进水平；提出京津冀高水环境健康风险新污染物管控水质基准阈值及相关技术文件 ≥ 2 项，并获得生态环境部采纳或通过国家基准专家委员会评审；形

成健康风险导向的新污染物管控指导性技术规范 1 项(国家标准,正式报批稿),并在石家庄、北京等城市水体及饮用水源地开展集成技术示范,形成不同水环境的差异化管控路径建议。

申报说明:

项目类型为应用示范研究类,其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1,实施周期不超过 4 年。

5.11 渤海西岸城市群空气质量持续改善关键技术与应用示范

研究内容:

针对渤海西岸城市群半封闭内海复杂海陆环流叠加高强度污染排放的特点,研究构建面向工业集聚型湾区通道城市(天津、唐山、沧州)的“成因机制-精准溯源-区域协同调控-重点源治理”的区域空气质量持续改善关键技术体系。基于边界层高塔、海上平台以及走航协同探测的立体监测网络,形成“海洋-近岸-内陆”环境气象要素的水平梯度和垂直廓线、陆源污染物和活性氯等海洋活性物质浓度及排放通量等数据集,阐明海陆交界带大气复合污染成因与规律;构建渤海西岸空气质量模式,精细刻画海陆边界层热/动力结构以及边界层与大气污染的相互作用机制,精准模拟预测渤海西岸城市群污染过程演变规律,解析污染形成

驱动因素；构建钢铁焦化、建材、石化化工、装备制造、船舶等重点行业排放源成分谱库，基于同位素示踪、空气质量模式、受体模型耦合人工智能等多模型方法解析主要源类对细颗粒物与臭氧污染的贡献，揭示渤海西岸污染排放对京津冀区域大气污染时空分布的影响；面向区域空气质量持续改善需求，研究经济发展与污染防治协同条件下渤海西岸石化、化工、建材等重点行业及小产业集群的减排潜力，集成研发重点行业与小产业集群综合治理技术并在典型企业示范，环境效益与经济效益协同的综合排放绩效明显提升，基于煤-电-工业余热等多能互补技术研究典型城市冬季供暖系统的优化方案；构建渤海西岸气象资源动态评估方法，基于多目标优化模型，结合未来经济发展预测，研究气象资源约束下渤海西岸重点产业发展的适宜布局及规模，构建渤海西岸城市群空气质量动态调控技术，实现对活动水平、生产调控措施及落实情况的快速反馈。

考核指标：

1. 基于边界层高塔、海上平台以及走航协同探测的立体监测平台，形成至少包括海陆边界层热动力结构、PM_{2.5} 及其主要化学组分、臭氧、VOCs、活性含氮化合物、含硫化合物、活性卤素环境浓度和海洋排放通量等信息的数据集，阐明海陆交界带大气复合污染成因与规律。其中，污染物浓度数据应涵盖四个季

节（每个季节至少一个月），通量数据不少于 1 个月；不少于 5 次典型污染过程的海陆联合同步观测数据集 1 套。

2. 渤海西岸空气质量模式系统 1 套，污染过程主要大气污染物浓度模拟误差在 30%以内，污染辐合带预报准确率提高 10%；动态量化排放、大气物理及化学过程对污染形成的贡献。

3. 渤海西岸重点行业排放源颗粒物与 VOCs 成分谱库 1 套，VOCs 源谱包含 VOCs 与 S/IVOCs，满足源类样本数量不少于 5 个，源谱关键物种不确定性小于 30%的要求；耦合多模型方法解析主要源类对细颗粒物与臭氧的贡献，解析结果分辨率达到公里级，解析精细化至子源类，其中燃煤源细化至电厂、民用和工业燃煤，移动源细化至机动车、非道路机械、船舶、飞机等，工业源细化至具体行业。

4. 石化行业综合治理集成技术 1 套，示范企业综合排放绩效提升 10%；化工行业综合治理集成技术 1 套，示范企业综合排放绩效提升 20%；建材行业综合治理集成技术 1 套，综合能耗下降 5%，示范企业综合排放绩效提升 10%；适用于小产业集群的高效低成本 VOCs 治理技术，示范企业综合排放绩效提升 30%；提出多能互补的供暖系统优化方案，提交相关部门并获采纳。

5. 气象资源约束下渤海西岸产业发展适宜模式评估报告，量化渤海西岸气象资源、提出产业发展规模与布局的建议；渤海

西岸城市群空气质量动态调控关键技术 1 套，技术应用于频发性高值热点动态调控不少于 5 个，对活动水平、生产调控措施及落实情况的快速反馈，时间分辨率不低于 1 天。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

5.12 大型滨海油气采炼工业带“陆-海”协同“五废共治”关键技术与示范

研究内容：

聚焦滨海工业带美丽城市“产城融合”建设需求，以油气采炼产业与城市代谢废物的“协同治理-循环再生”为核心，基于物质流深度分析，绘制涵盖滨海工业带、城市系统与近岸海域的废物代谢节点关联图谱，精准识别关键耦合节点，量化物质交换、能量转化及环境风险；针对海上石油开采区，研发油田钻屑的高效热脱附、脱盐与土壤友好利用技术，实现固废资源化，为城市生态修复提供绿色土壤资源；针对海上油气开采产生的压裂返排液，研发电场-膜分离耦合与破乳-高级氧化工艺与装备，实现压裂返排液循环利用；针对陆上石油炼化区，聚焦炼化三泥（油泥、浮渣、剩余污泥）处置的难题，开发无 VOCs 排放的污/油泥旋

流自转干化技术，实现含油浮渣高效分离，研发城市生活垃圾焚烧飞灰与油泥的协同热解技术，回收热解油气并降低飞灰重金属浸出；开发耦合工业废热的低能耗碳捕集技术，研发新型 CO₂ 捕集吸收/吸附新材料及二氧化碳捕集-转化一体化技术，为工业园区提供化工原料；研发基于高级氧化的海洋和陆水环境有害生物和化学污染治理技术，研发船载海洋微藻海面抽取-管路杀灭-海面下沉降-海底储碳技术，保障滨海工业带城市近海水质；构建陆海统筹的油气采炼与城市废物共治技术库，集成高适配性、碳污协同治理模式，在典型区域示范应用，研发陆-海统筹废物减污降碳协同管理与智慧决策技术，为滨海工业带美丽城市可持续发展提供智慧支撑。

考核指标：

1. 构建面向油气采炼产业与城市代谢废物种类、数量、产排量的时空分布大数据平台 1 个；开发基于物质流和能量流的城市与油气采炼产业循环代谢识别技术 1 套，精准度 $\geq 80\%$ 。

2. 提出可用于滨海工业带城市生态建设的油田采炼大宗废弃物采油钻屑的资源化利用方案 1 套，油田钻屑脱盐后的 pH 值为 6.5 ~ 8.5，水溶性盐总量 $EC_{5:1} < 1.3 \text{ mS/cm}$ ，有机质 $\geq 12 \text{ g/kg}$ ，水解性氮 $\geq 40 \text{ mg/kg}$ ，有效磷 $\geq 8 \text{ mg/kg}$ ，速效钾 $\geq 80 \text{ mg/kg}$ ，制备的绿化土达到《天津市园林绿化土壤质量标准》

(DB/T29-226-2014) 标准。

3. 研发滨海工业城市炼化三泥减量及污/油泥旋流自转干化技术，炼化污水吨水处理的含油浮渣减量 95%，无 VOCs 排放，建立千吨级/天的浮渣减量废水处理示范项目；污泥干化能耗污泥 <130 kWh/t、油泥 <300 kWh/t，污/油泥含水率 $<15\%$ ，密闭处理，开发千吨级/年的污/油泥干化技术装备。

4. 开发耦合城市工业余热的低能耗碳捕集技术，能耗 <2.0 吉焦耳 (GJ) /吨二氧化碳， CO_2 分离成本 ≤ 180 元/t；建立 15 万吨 CO_2 /年二氧化碳捕集-利用一体化示范项目，二氧化碳捕集率大于 95%， CO_2 纯度达 99.99%；研发海洋微藻固碳-储碳技术，海洋微藻储碳成本 <70 元/t。

5. 构建滨海工业带-美丽城市系统-近岸海域废物共治技术库 1 套；建立陆海统筹碳污协同共治技术评估方法 1 套；构建智能识别、快速匹配与动态组合的典型油气采炼集成区技术模式集成管理平台 1 套，响应时间 ≤ 500 ms；至少在 1 个典型油气采炼集成区开展技术示范。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 6:1，实施周期不超过 4 年。

5.13 京津冀典型绿色发展区域“无废城市”建设关键技术与示范

研究内容：

针对京津冀典型绿色发展区域“无废城市”建设过程中路径不明、存量增量固废先进适用技术缺失、智慧化管理支撑不足等问题，研究典型固废资源属性和污染特性，开发固废循环利用潜力多维度评估方法，构建城市“无废指数”评估指标体系，研究京津冀主要城市类型与行业场景下的固废循环路径；针对城市绿色发展面临的存量固废问题，研发存量铝灰、钢渣场风险评估及资源化技术，研究有害组分去除及稳定化技术，研发铝灰基绿色建材制备与钢渣道路工程材料转化技术，研究铝灰、钢渣在预处理-转化-利用全过程环境风险控制技术，研发基于随钻无损揭露和长效修复的存量固废堆场防渗功能恢复技术；针对城市绿色发展面临的退役高值电子电器高质循环难题，研发退役高值电子电器复用性与资源价值评估方法，研发退役高值电子电器同级利用/再制造、梯级利用、再生材料全周期分质循环利用技术，开发拆解稀土与贵金属快速识别与绿色深加工技术；针对城市绿色发展面临的社会源危废数智化管理程度低的问题，研发基于扫码识别、快速比对、数据分析和物联网等技术的社会源危废快速识别与溯源管控技术，开发社会源危废快速识别与溯源装备，研究耦

合产品数据的社会源危废数据信息偏差校正技术；基于京津冀固废代谢网络图谱动态生成技术，构建智慧管控平台并开展应用示范，支撑“无废城市”建设。

考核指标：

1. 形成典型固废循环利用潜力多维度评估方法，固体废物种类 ≥ 30 种，覆盖京津冀固体废物产生量 $\geq 80\%$ ；形成“无废指数”评估指标体系1套，应用于“无废城市”建设 ≥ 3 个；构建覆盖京津冀主要城市类型与行业场景的固废资源循环战略路径集1套，包含循环利用路径 ≥ 20 种，得到生态环境部采纳应用。

2. 研发铝灰钢渣有害组分去除及稳定化技术工艺，特征污染物去除/固化稳定化率 $\geq 95\%$ ；形成铝灰基绿色建材与钢渣工程材料2~3种，符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）、《混凝土实心砖》（GB/T 21144-2023）质量要求；研发基于随钻无损揭露和长效修复的存量固废堆场防渗功能恢复技术并应用，存量固废堆场防渗层修复的作业面积 $\leq 0.75\text{ m}^2$ ，垂向距离定位精度 $\leq 0.2\text{ m}$ ，防渗层修复后渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{ cm/s}$ ，防渗层修复材料性能老化测试衰减率 $\leq 85\%$ ；形成典型存量固废利用全过程环境风险评估方法，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

3. 开发退役高值电子电器循环再利用复用性与资源价值评

估指标体系 1 套，覆盖卫健、科研、教育等行业退役仪器仪表类型 ≥ 10 个，推广应用的工程项目 ≥ 2 个；开发退役高值电子电器同级利用/再制造、梯级利用、再生材料全周期分质循环利用技术，整体资源综合回收率 $\geq 80\%$ ；研发高值退役电子电器中稀土与贵金属快速识别装备 1 套，实现无损检测，识别元素覆盖全部管制稀土与贵金属，检出限 $\leq 0.1\%$ ，检测时间 ≤ 15 s；开发退役高值电子电器有价金属制备纳米材料的绿色深加工成套技术及装备 1 套，其中，Au、Ag、Pt、Pd 制备成纳米材料，回收率 $\geq 95\%$ ；开展退役高值电子电器循环利用与再制造示范工程 1 项，规模 ≥ 1000 台/年。

4. 形成京津冀区域社会源危废分级分类数据库，涵盖社会源危废种类 $\geq 80\%$ ，数据库在京津冀省部级固体废物信息管理系统应用 ≥ 1 个；开发社会源危险废物快速识别及溯源技术装备 1 套，识别准确度 $\geq 90\%$ ，溯源准确度 $\geq 90\%$ ；形成数据采集、传输、存储和校核等标准规范 1 项，得到生态环境部采纳应用；建成 1 个社会源危废全过程数智化管控技术应用平台，完成 2 个区域应用示范，社会源危险废物规范收集率提高 $\geq 20\%$ 。

5. 形成预测与监测互促反演的京津冀固废代谢网络动态图谱，包含固体废物种类 ≥ 50 种，覆盖京津冀固体废物数量 $\geq 80\%$ ；建立多源固废智慧管控平台 1 个，在京津冀省部级固体废物信息

管理系统示范应用 ≥ 1 个，支撑京津冀 2~3 个“无废城市”建设。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

5.14 区域性中心城市固体废物减量-控源-共治关键技术研究 与示范

研究内容：

针对京津冀绿色低碳美丽城市建设过程中面临的固废类型复杂、协同共治途径不畅等难题，研究区域性中心城市固废产生、消纳特征及人工智能驱动的产业、技术、政策等响应模型，解析固废消纳过程“物质-能量-碳”耦合代谢规律，提出五废耦合调控机制及“五废共治”技术途径；研发城市典型行业清洁生产固废减量技术，开发农药高盐水有机组分与溴素回收利用-废盐深度净化的“水-固”共治技术与装备，构建生活垃圾焚烧烟气二噁英高能粒子解毒技术装备及飞灰重金属与氯盐同步矿化利用的“气-固”共治技术；研发京津冀区域典型固废治理过程控源技术，研究飞灰水洗废水 CO_2 脱钙-催化电解全量制备水处理消毒剂的“固-水”共治技术，构建制药行业菌丝渣热解气化-催化制备碳纳米管及生物炭的“固-气”共治技术；研发城市典型行

业固废减量协同控源共治技术，构建皮革行业富铬污泥深度脱水-制备再生铬鞣剂-再生残余物热解制备水处理生物炭的“固-水-能-碳”共治技术，研发坯革与成品革精准修边-革屑制备再生革基布的“固-气-能-碳”共治技术；开展城市“五废共治”工程示范，建立城市固废全过程智慧监管与调控平台，形成基于“物能协同-智慧调控-管理驱动”城市“五废共治”模式。

考核指标：

1. 构建典型城市全工业门类产废系数和核算方法 1 套，工艺级产废系数误差 $\leq 20\%$ ，编制城市固废普查技术手册，得到省级及以上相关管理部门采纳应用；建立固废产生消纳响应模型，预测精度 $\geq 90\%$ ；形成城市固废产生消纳的“物质-能量-碳”代谢科学知识图谱 1 套，固废种类覆盖率 $\geq 80\%$ ，“五废共治”技术途径涵盖消纳量 $\geq 90\%$ ，科学知识图谱得到省级及以上相关管理部门应用。

2. 形成典型城市“水-气-固”减量共治技术路径图 1 套；研发农药行业高溴盐水有机组分连续萃取与精馏塔式装置 1 套，净化后盐水低沸点组分含量 $\leq 0.5\%$ ；开展工程示范 1 项，日处理量 ≥ 2 吨（按溴盐计），利润率 ≥ 2000 元/吨产品；成果应用于《废盐利用处置污染控制技术规范（农药行业）》（HJ1360-2024）修订，获生态环境部标准修订立项或征求意见稿。

3. 研制飞灰二噁英高能粒子解毒装备 1 套，二噁英去除率 $\geq 90\%$ ；飞灰重金属和氯盐协同矿化产物中重金属和可溶性氯盐含量满足《生活垃圾焚烧飞灰污染控制技术规范（试行）》（HJ1134-2020）要求，成果应用于 HJ1134 修订，获生态环境部标准修订立项或征求意见稿；建设飞灰高能粒子二噁英解毒协同氯盐矿化利用示范工程 1 项，飞灰利用规模 ≥ 4 万吨/年，直接成本 ≤ 500 元/吨。

4. 形成典型城市“固-气-水”控源共治技术路径图 1 套，应用于“无废城市”建设；飞灰水洗废水脱钙后钙离子浓度 ≤ 100 mg/L，洗脱液全量析氯催化电解制备消毒剂成本 ≤ 50 元/吨，水洗废水“水洗-脱钙-电解”成本 ≤ 500 元/吨飞灰；研发菌丝渣热解定向催化制备生物碳及碳纳米管技术，与焚烧处置相比污染物排放强度降低 $\geq 60\%$ ，菌渣炭转化率 $\geq 80\%$ ，碳纳米管纯度 $\geq 70\%$ ，生物炭得率 $\geq 20\%$ 。

5. 形成典型城市“固-气-水-能-碳”减量协同控源共治技术路径图 1 套，形成政策建议 1 项并被省级及以上相关管理部门采纳。构建皮革行业富铬污泥深度脱水-制备再生铬鞣剂-再生残余物热解制备水处理生物炭的“固-水-能-碳”共治技术，富铬污泥减量 $\geq 10\%$ ，铬鞣剂有机杂质（以 TOC 计） ≤ 200 mg/kg，无机杂质 $\leq 8\%$ ，铬鞣剂中 Cr_2O_3 含量 $\geq 24\%$ ， Cr^{6+} 含量 ≤ 2 mg/kg；

再生残余物热解炭碘吸附值 ≥ 300 mg/g；开展工程示范 1 项，规模 ≥ 2000 吨/年。

6. 研发坯革与成品革精准修边-革屑制备再生革基布的“固-气-能-碳”共治技术，坯革与成品革革屑减量 $\geq 5\%$ ，再生革基布含铬废皮革（坯革与成品革革屑）使用量 $\geq 60\%$ ，抗张强度 ≥ 6 N/mm²，柔软度 ≥ 5.5 mm，Cr⁶⁺含量 ≤ 3 mg/kg；开展工程示范 1 项，含铬废皮革利用规模 ≥ 4000 吨/年。

7. 建设典型城市固废全过程智慧监管与调控平台，具备固废申报数据自动核准、去向适配性评估、流向追踪与应急调度等功能，平台结果输出响应时延达到分钟级，去向适配性评估合理率 $\geq 90\%$ ；形成城市固废协同“水-气-能-碳”治理模式，应用后典型城市危险废物填埋率降低 2%。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

板块六：区域生态安全与农业农村系统提质增效

6.1 京津冀北部山区洪涝灾害生态风险防控与韧性修复关键技术及示范

研究内容：

针对怀柔、密云、承德等京津冀特大暴雨洪涝重灾区生态风险预警精度不足、生态影响机制不清等问题，研究突发洪涝灾害应急监测与多源数据深度融合技术，构建链式灾害生态风险精确识别与综合评估模型，建立洪涝灾害生态损失定量评估技术体系，揭示极端降水事件形成、演变规律及其与洪涝灾害的关联机制，明确灾害风险触发的临界阈值、关键节点与扰损模式；针对河道水毁堵塞导致的灾害级联放大过程生态防控技术缺乏的问题，研究洪流条件下漂堵物输移与集聚规律，揭示“产生源区-输移通道-易堵断面”洪流堵溃链式灾害生态风险触发机制，研发“拦截-导漂-缓冲”生态挡流多元协同新结构新技术，形成“源头减量-过程调控-末端缓冲-应急清障”的分级防洪减损技术体系，提升关键节点行洪安全水平与防治工程生态功能；针对洪涝水毁区生态修复韧性技术不足的问题，研究抗干旱/耐淹涝气候多适型功能植物优选方法，开发植物介导防洪稳定群落构建技术，研发强降雨坡体抗蚀加固生态护坡、强侵蚀河段仿生加固韧性护岸、洪堵河道生态胶结坝等生态防护结构与技术，形成“冠层截留-地表消能-根系调蓄”等水毁坡面/河岸生态修复韧性提升技术体系，实现水毁区生态加固补强与韧性防护功能提升；针对防洪调蓄与跨域调控功能不足的问题，识别“大气降水-地表水-地下水”转化路径，量化生态系统结构与功能恢复的关键阈值和时间，研

发生态修复目标量化模型，构建山区洪涝灾害生态修复目标图谱，研究灾后生态修复目标值制定技术，构建基于“地下储水-河流-湖泊”协同防洪网络的全过程综合调控技术体系；集成“云端+单机”联动耦合洪涝灾害生态风险预警、协同防控与韧性修复技术体系，开展技术示范与场景化工程应用，提出洪涝灾害生态风险防控与韧性修复策略。

考核指标：

1. 极端降雨洪涝生态灾损临界阈值识别技术 1 套，包括：洪涝灾害应急监测与多源数据融合技术，空间分辨率达亚米级，灾损空间识别准确率 $\geq 85\%$ ；洪流堵溃链式灾害生态风险识别与评估技术，产生源区识别精度 $\geq 90\%$ 以上，输移通道模拟偏差 $\leq 10\%$ ，易堵断面预警准确率 $\geq 85\%$ 。

2. 洪流堵塞拦截与分级生态减灾技术 1 套，包括条齿坝仿生导漂新结构、洪流分水消能沉砂技术，洪堵物拦截率 $\geq 50\%$ 、分水消能 $\geq 20\%$ 、沉砂率 $\geq 30\%$ 。

3. 水毁河岸生态修复韧性提升技术 3 套，包括植物介导防洪韧性修复技术 2 项，选育气候多适型功能植物 ≥ 10 种，植物介导防洪群落构建模式 ≥ 3 项，可抵御洪流冲刷 ≥ 5 m/s；仿生加固护坡技术 2 项，实现石笼网植生加固新结构新技术突破，可抵御洪流冲刷 ≥ 10 m/s；河道洪流缓冲生态胶结坝结构材料体系 1

套，包括坝体天然生物物质胶结材料 ≥ 2 项，实现遇水快速凝结、抗压强度 ≥ 17 MPa，水中抗压强度 ≥ 10 MPa。

4. 复合生态系统韧性管理与全过程调控技术 2 项。其中，“地下储水-沟道-河流-湖泊”水系联通模型 1 套，支撑“大气降水-地表水-地下水”转化路径识别与最大泄洪量计算，实现河湖水系三流四维模型量化，模型精度 $\geq 75\%$ ；山区洪涝灾害生态修复目标制定技术 1 项，涵盖生态系统服务功能目标值、结构稳定性临界阈值及动态恢复路径量化指标，集成机器学习算法 ≥ 3 种，单算法精度 $\geq 90\%$ ，关键阈值量化误差 $\leq \pm 5\%$ 。

5. 山区洪涝灾害生态风险预警与韧性修复示范工程 3 处、技术规范或标准 2 项，示范工程包括怀柔国道 335 等公路沿线 15 km 水毁河道、密云黄下路等沿线 5 km 冲毁河道和边坡、承德和密云水库周边等洪泛湿地等三类典型区，示范面积 ≥ 3 km²，推广应用 30 km²；适应气候变化的生态风险防控技术标准或规范 2 项，包括洪涝灾害生态风险预警、韧性修复技术与设计等。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 4 年。

6.2 京津冀典型生态空间环境增容与稳定性提升关键技术

及应用

研究内容：

针对京津冀生态空间环境容量下降、生态修复与环境增容协同度低、生态系统结构功能稳定性差等问题，选择典型区域开展环境增容与稳定性提升关键技术研究及应用。阐明典型污染物在生态系统中的流通动力机制与生态响应，研制生态空间多要素多维度环境容量核算模型，建立生态空间结构多样性与环境增容协同效应评估方法，开展生态空间环境增容潜力评估及潜力区域辨识研究；探明生态空间功能多样性与生境替代的匹配补偿关系，研发河流湖库等水陆立体空间微生境营造、过渡区节点强化、功能植被配置技术，构建滨海湿地水沙连通和生物连通技术，研发生态空间拓展与碳汇扩增协同技术，建立陆海统筹的生态空间环境增容技术体系；探明触发典型生态系统自组织的关键要素和过程，评估不同区域生态修复技术的自然属性，建立生态修复与环境增容权衡优化的费效分析方法，筛选基于自然的生态修复技术模式；研发生态-环境-资源耦合的区域承载力阈值确定技术，构建典型生态系统稳定性演变与生态陷阱的非线性模型，研发稳定性失衡风险评估预警技术；研发区域发展规模、生态空间格局和保护策略耦合的环境增容和生态系统稳定性提升技术，构建社会-生态网络优化调控技术，集成生态空间环境增容与稳定性提升

的“评估-修复-预警-调控”技术体系，选择典型区域开展应用示范。

考核指标：

1. 编制京津冀生态空间多要素环境容量核算技术指南 1 项，并被省部级行业主管部门采纳；研发生态空间结构多样性与环境增容协同效应评估方法 1 项，涵盖 ≥ 3 类生态功能提升和 3 种污染物削减的目标指标；研发生态-环境-资源多要素融合的环境增容潜力评估技术 1 项，准确度 $\geq 85\%$ ，绘制京津冀生态空间环境增容潜力分布图 1 套。

2. 研发河流湖库微生境智能化营造技术装备 1 套，过渡区节点强化路径 5 套，不同类型功能植被配置参数 ≥ 10 个，单位生境立体空间水质净化效率 $\geq 60\%$ ；构建滨海湿地水沙连通技术 1 项，水沙阻力系数 ≤ 0.4 ，构建生物连通模式 ≥ 5 种，生物连通强度指数 ≥ 0.6 ；研发生态空间拓展与碳汇扩增协同技术 1 套。

3. 构建基于自然的生态修复技术库 1 个，入库技术 ≥ 50 项；形成生态修复与环境增容权衡优化的技术筛选方法 1 项；针对典型生态系统类型形成基于自然的生态修复技术操作手册 ≥ 3 份，编制生态修复技术定额核算标准 1 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

4. 研发区域承载力阈值确定技术 1 项，承载力阈值表征参

数 ≥ 10 个，阈值准确度 $\geq 90\%$ ；建立稳定性失衡风险评估预警技术1项，准确度 $\geq 90\%$ ；构建典型生态系统生态陷阱核心数据库3套，提出维持生态空间稳定性的控制指标及其阈值10项。

5. 研发稳定性导向的社会生态网络优化调控技术1项，社会网络节点数 ≥ 10 ，社会-生态网络匹配度提升 $\geq 50\%$ ；形成生态空间环境增容与稳定性提升系统解决方案1套；选择2个地市级尺度开展环境增容和稳定性提升技术综合应用示范，应用区域生态空间环境容量整体提升 $\geq 15\%$ ，稳定性整体提升 $\geq 15\%$ 。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于2.5:1，实施周期不超过3年。

6.3 渤海湾海洋塑料垃圾源解析与污染防治技术及应用

研究内容：

针对陆源塑料在“排水系统-径流-河口-近岸”多级体系中迁移机制不明、源解析精度不足及输移模型考虑因素单一等问题，融合多源数据探究迁移转化界面作用机制，研制多级空间单元耦合的源贡献定量化模型，构建渤海湾海洋塑料污染的源解析技术体系；针对海洋塑料垃圾遥感光学机理不明、无人机探测性能不足等问题，解析复杂底质环境下海洋塑料垃圾的图谱特征，构建

面向多模态无人机传感器仿真测试环境，研究海洋塑料垃圾弱目标识别算法，开发海洋塑料垃圾探测的无人机专用装备；针对传统光电分选准确率低、环境适应性差、可区分塑料种类有限及响应时间长等问题，开发基于深度 AI 算法的多模态图像识别技术，研发多模态传感器模块，实现塑料特征差异的精准解析，突破耐腐蚀材料应用等关键技术，结合多模态识别传感技术优化分拣流程，研发模块化、移动式海洋塑料垃圾分选装备；针对海水浸泡塑料脱盐成本高、盐分综合洗脱率低、杂质残留率高及对复杂污染物去除效果差等问题，系统评估海水浸泡对塑料物理性能的影响，探究复杂污染物脱附机制，研发高效清洗与脱盐工艺，构建塑料再生预处理技术体系；针对海洋塑料垃圾“源解析-监测-分选-利用”协同污染防治不足的现状，研发关键技术与装备的全链条系统集成方法，构建渤海湾海洋塑料垃圾源解析与污染防治智慧化管控平台，在省级生态环境主管部门开展应用示范，形成融合“天地协同、智能感知与陆海联动”的系统化综合治理模式，支撑美丽海湾建设。

三、考核指标

1. 研发陆源塑料垃圾源解析模型 1 套，构建“排水系统—径流—河口—近岸”多级耦合源贡献定量化模型，空间单元识别分辨率优于 300 m，迁移过程模拟可覆盖 4 类环境介质，输移通量

预测误差 $\leq 15\%$ 。

2. 建立 ≥ 5 类复杂底质与不同老化进程塑料垃圾的光学关联数据库，构建覆盖地形、光照、海况、垃圾分布等 ≥ 4 类场景及光学、热红外、视频等 ≥ 3 种模态的无人机仿真平台，针对 $\geq 10\text{ cm}$ 条带状、块状等不同形状的海洋塑料垃圾自动识别精度 $\geq 90\%$ ，无人机探测设备实现塑料垃圾实时检测，延迟时间 $\leq 300\text{ ms}$ 。

3. 研发海洋塑料垃圾多模态传感器 1 套，可区分 PE、PP、PVC、PS 等塑料 ≥ 4 类，在湿度 $\geq 90\%$ 、杂质占比 $\leq 30\%$ 的环境下分选准确率 $\geq 97\%$ ，响应时间 $\leq 0.5\text{ s}$ 。研发模块化移动分选装备 1 套，耐盐雾等级 $\geq 1000\text{ h}$ ，单机日处理能力 ≥ 2 吨，系统自动化率 $\geq 85\%$ ，连续稳定运行时间 $\geq 720\text{ h}$ ，适配多场景下的快速部署。

4. 构建海洋塑料清洗脱盐生产线 1 套，盐分综合洗脱率 $\geq 98\%$ ，盐分及生物膜等污染物去除率 $\geq 99\%$ ，最终产品杂质含量 $\leq 2\%$ ，脱盐成本降至 500 元/吨以下。

5. 在渤海湾不少于 3 个“美丽海湾”建设单元应用示范，覆盖海湾岸线长度 $\geq 150\text{ km}$ ，实现 95% 以上区域动态监测，海洋塑料回收率和资源化利用率提高 30%，构建智慧化管控平台实现数据联动。

四、申报说明

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

6.4 京津冀生态屏障区生物多样性重要物种识别与关键生境协同恢复技术与示范

研究内容：

针对京津冀生态屏障区人类活动剧烈导致的生态系统退化、生境劣质化、生态功能发挥不充分等问题，聚焦燕山-太行山重要生态功能区，研发生物多样性优先保护区域及关键生境因子的识别技术，开发人类干扰活动下重要生态系统功能退化关键阈值确定及预警技术，构建基础设施建设对关键区域生物多样性的影响与评价技术体系，开展气候变化风险预测和综合评判、气候适应性措施优化和韧性提升路径研究，研发新污染物和多重污染胁迫的生态恢复与响应关键阈值确定方法；针对重要物种底数不清问题，研发重要物种全要素问题诊断以及关键生境退化的问题识别技术，识别重要指示物种潜在栖息地，构建指示物种丧失预警和恢复成效评估技术体系，提出京津冀生态屏障区重要物种清单及保护恢复方案；针对重要物种保护关键节点识别困难和多营养级生物种群协同保护不足的科技问题，研究关键物种与不同营养

级生物的互作机制，构建关键物种互作网络并识别关键节点，研发基于多类型生物种群密度调控的营养级联构建技术；针对重要物种多生境协同恢复的缺失难题，研发面向生态系统完整性的关键指示物种生境连通技术，提出关键指示物种多生境协同恢复技术方案；选择典型区域开展生境恢复与生物多样性提升技术示范，构建优先保护区域空间格局优化、生境质量改善、生态功能提升的成效评估技术体系，建立区域多生境协同综合恢复与监管范式。

考核指标：

1. 研制京津冀生态屏障区生物多样性优先保护区域智慧识别模型 2 个，空间精度优于 100 m；建立京津冀生态屏障区多类群物种分布数据库 1 个，生物类群包括高等植物、哺乳类、鸟类、鱼类、昆虫、大型真菌等；绘制京津冀生态屏障区生物多样性优先保护区域分布图 1 套；建立生态系统功能退化关键阈值确定及预警技术模型 1 个；基础设施建设对关键区域生物多样性的影响与评价技术指南 1 项；重要物种对多重胁迫响应关键阈值确定模型 1 套。

2. 建立京津冀生态屏障区重要物种清单 1 份，被省级主管部门采纳；重要物种关键生境退化问题识别技术 1 套，识别准确率大于 90%；形成珍稀野生动物栖息地识别技术，空间识别误差率 < 10%，野生动物迁徙通道识别误差率 < 20%。

3. 研发京津冀生态屏障区生境格局优化与营养级联构建协同技术 1 套,研究区生物营养级联能量流动效率、食物网链接数、连通度较技术应用前提升 15%。

4. 建立典型重要栖息地生态廊道连通技术 1 套,生态系统完整性提升 30%以上。

5. 建立 3 个生物多样性保护与生境恢复关键技术示范区,每处面积 $\geq 300 \text{ km}^2$,重要珍稀濒危野生动植物有效保护率提升 15%。形成生物多样性保护与生境恢复成效评估技术 1 项。

6. 京津冀生态屏障区生物多样性重要物种识别与关键生境协同恢复行业标准立项 ≥ 2 个,相关政策建议 ≥ 2 项,得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明:

项目类型为应用示范研究类,其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1,实施周期不超过 4 年。

6.5 京津冀工业污染地块绿色低碳风险管控与可持续修复关键技术及应用

研究内容:

针对京津冀水文地质条件复杂、典型退役工业污染地块绿色低碳风险管控手段不足、可持续修复关键技术缺乏、智慧化决策

机制缺失等问题，研发适配多组分、宽动态、抗盐碱的土壤与地下水重金属、有机物现场快速检测小型化传感器及装备，建立污染时空轨迹数据智慧分析与预警模型，构建“立体感知-智慧解析-动态预警”三位一体的水土污染智能监测体系。选取京津冀地区典型重金属污染地块，研究“源头阻控-过程固持-长期稳定”的综合防控机制，研发基于功能菌群的原位成矿固化技术模块，开发适用于复杂地质条件的原位注入优化技术与模块化装备，构建低成本微生物原位成矿土水共治修复技术体系，并开展工程化综合示范。选取京津冀典型有机物污染地块，研发污染源区有机污染物多相界面润湿性调控高效清除技术，基于含水层中氧化还原亚稳态矿物活性调控，研发污染羽区生物地球化学电池强化可持续修复技术，形成原位物理-化学-生物耦合的大型地块管控和修复技术体系，开展综合示范应用。选取京津冀典型重金属-有机物复合污染地块，阐明风险防控-低碳修复的驱动机制，研发重金属-有机物复合污染的低扰动原位协同修复与生物强化技术，构建适用于大型复杂污染地块的绿色低碳修复与近自然恢复相耦合的技术体系，开展全链条可持续的工程技术集成示范。建立污染地块风险管控与修复全过程绿色低碳评估技术体系，构建适合京津冀水文地质特征的工业污染地块绿色低碳管控和可持续修复知识库，并开发智慧决策平台，提出多目标、多要素协同的

污染地块绿色低碳风险管控与可持续修复对策。

考核指标：

1. 研发土壤与地下水重金属、有机物现场快速监测传感器及装备不少于 4 种，覆盖重金属和有机物指标 10 种以上，全程检测时间 ≤ 5 分钟，土壤有机物、重金属检测限低于建设用地一类筛选值（误差 $\leq 25\%$ ）；地下水有机物、重金属检测限低于地下水标准 III 类限值 $1/10$ （误差 $\leq 25\%$ ），可检测污染物浓度动态范围 4 个数量级，污染物羽边界模拟误差半径 $\leq 20\text{m}$ ，扩散风险预警准确率 $\geq 85\%$ 。

2. 开发模块化菌液扩培与注入一体化装备 1 套，功能菌群现场存活率 $\geq 90\%$ ，成矿固化效率 $\geq 90\%$ ，土壤残渣态比例提升 $\geq 40\%$ ，地下水重金属离子浓度长期满足地下水 IV 类标准，修复效果保持期 ≥ 18 个月，修复综合成本 ≤ 300 元/ m^3 ；在不少于 600m^2 典型地块开展验证示范，形成微生物原位成矿土水共治修复技术体系 1 套。

3. 研发污染源区界面润湿性调控高效清除技术 1 种，污染羽区生物地球化学电池可持续修复技术 1 种，污染物转化有毒有害次生产物累积量低于国际同类技术 20%，碳排放较现有技术降低 20%。在不少于 1000m^2 典型地块开展验证示范，修复综合成本低于 300 元/ m^3 。

4. 研发重金属-有机物复合污染的低扰动原位协同修复与生物强化技术 1 套，建立重金属-有机物复合污染修复技术模式，建设技术集成应用示范工程，在不少于 2000 m² 典型地块开展验证示范，修复综合成本低于 300 元/m³，碳排放较现有技术降低 20%。

5. 建立污染地块管控修复与开发全过程的绿色低碳评估技术体系 1 套，数据库本地化率 ≥ 80%，碳排放核算不确定性 ≤ ±20%；开发本地化碳核算工具，支持 ≥ 5 类修复技术的碳排放快速评估，单次评估时间 ≤ 4 h。

6. 构建适合京津冀水文地质特征的工业污染地块绿色低碳管控和修复知识库 1 个，包括技术库、制度库和案例库，知识图谱存储数据大于 20000 条，开发典型行业风险管控智慧决策平台 1 个，包含数据智能分析、管控与修复效果智能评估和管控与修复方案智慧化决策等功能，实现稳定运行 12 个月以上。

7. 形成京津冀工业污染地块绿色低碳风险管控与可持续修复对策建议 1 份，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 3 年。

6.6 京津冀设施农业土壤复合污染风险评估与综合防控技

术及应用

研究内容：

针对京津冀设施农业土壤新污染物富集、复合污染严重和连作障碍影响土壤可持续利用等问题，开展京津冀设施农业农膜、有机肥、农药等大宗农用投入品溯源及投入品中重金属、农药、塑化剂、抗生素等污染物含量调查研究，探明污染物在潮土、褐土等典型土壤类型环境中的释放迁移路径、过程机制、主控因子及农产品中降解转化、累积与健康风险，提出源头削减控制对策措施；研发土壤和农产品中微塑料、抗生素及抗性基因等典型新污染物检测方法，探明京津冀设施农业土壤新污染物和复合污染特征及跨介质迁移转化机制；揭示京津冀设施农业土壤新污染关键生态过程、生态系统服务功能影响等生物生态健康风险成因，开发新污染物和复合污染生态健康风险定量预测评价方法，提出土壤中污染物安全阈值及设施农业土壤环境质量标准；研究设施农业土壤重金属/抗生素等复合污染协同削减和阻控原理，研发复合污染快速削减、钝化阻控和农艺调控等绿色、高效、广谱型关键材料与技术，构建京津冀设施农业土壤复合污染削减缓解管控协同技术体系并开展示范应用；研究京津冀设施农业复合污染土壤退化和连作障碍过程与机制，研发土壤连作障碍的微生物调控、氮肥缓释、有机肥高效缓解、水肥高效利用等材料与技术，

构建土壤退化和连作障碍缓解调控技术体系并开展示范应用。

考核指标：

1. 提出京津冀设施农业农产品及农膜、有机肥、农药等投入品清单 1 份，构建农业投入品中污染物含量及施用量数据库 1 个，包括典型农产品 ≥ 50 种，农膜、有机肥、化肥、农药等农业投入品 ≥ 100 种，重金属、农药、酞酸酯、抗生素等污染物 ≥ 50 种，农业投入品中污染物含量数据 ≥ 10 万条。

2. 编制设施农业投入品质量控制标准 1 项（地方或行业标准），提出设施农业投入品源头削减控制和替代性、迭代升级性综合对策措施解决方案 1 套，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

3. 研发设施农业土壤及农产品中微塑料、塑化剂、新型农药、抗生素及抗性基因等典型新污染物检测方法 ≥ 3 套，可检测污染物 ≥ 50 种，土壤中塑化剂检测限 0.05 mg/kg ，新型农药和抗生素检测限 0.01 mg/kg ，农产品中塑化剂、新型农药、抗生素等污染物检测限低于 0.01 mg/kg ，土壤和农产品中微塑料检测限 $5 \mu\text{m}$ ，抗性基因检测限 10^4 copies/kg 。

4. 完成京津冀 ≥ 20 类典型设施农业农产品生产地土壤复合污染状况和污染物赋存状态检测调查，包括土壤和农产品样品 ≥ 1000 个、污染物 ≥ 50 种，污染物浓度数据 ≥ 5 万条。

5. 构建设施农业土壤中复合污染物暴露量-生物生态健康效应的定量关系与精准预测模型 1 套, 提出新污染物和复合污染源头及过程控制技术方案 1 套, 得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

6. 开发新污染物对设施农业土壤微生物群落和生态系统服务功能影响等生物生态风险评估方法 1 套, 提出设施农业新污染物风险管控清单 1 份, 确定 ≥ 20 种污染物的生物生态健康风险安全阈值, 编制国家或行业设施农业土壤相关标准 1 项。

7. 研制绿色高效广谱型复合污染修复和退化缓解调控材料 ≥ 3 种, 性能比现有材料提升 30%, 并建设年产 3000 t 生产线 1 条, 成本下降 30%以上。

8. 研发设施农业土壤多污染物协同控制与钝化阻断关键技术 ≥ 2 项、重金属/抗生素等复合污染快速削减和农艺调控技术 ≥ 3 项, 形成可复制可推广的设施农业土壤复合污染协同治理技术体系, 并在 $\geq 1 \text{ km}^2$ 设施农业区域开展示范应用, 土壤污染物生物有效浓度降低率大于 50%, 农产品质量达标率 $\geq 98\%$, 年均综合治理成本较现有技术下降 20%以上。

9. 研发设施农业氮肥缓释、有机肥高效缓解、水肥高效利用技术 ≥ 3 项, 建立土壤调理、施肥、耕作方式、土壤微生物调控等综合调控技术 ≥ 2 项, 构建设施农业退化土壤生态恢复和连

作障碍缓解阻控协同技术体系，并在 $\geq 1 \text{ km}^2$ 设施农业土壤退化和连作障碍区域开展示范应用，农产品产量恢复至正常水平，年均综合治理成本较现有技术下降 20%以上。

10. 集成京津冀设施农业土壤质量改善和安全利用技术体系 1 套，提出相关对策建议 ≥ 2 项，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 4 年。

6.7 京津冀土壤生态环境健康诊断与调控关键技术及应用

研究内容：

针对京津冀土壤生态环境健康评价指标体系和诊断方法缺失、障碍形成机制不清、多目标协同防控技术滞后等问题，研究重金属、有机污染物等典型障碍因子与土壤微生物、植物和动物健康指标之间的剂量-效应关系与交互效应，构建融合土壤微生物-植物-土壤动物等多目标耦合的土壤生态环境健康诊断方法以及多维度评价指标体系，明确面向多目标保护的土壤生态环境健康阈值；明晰土壤典型障碍因子的形成机制、时空演变特征及迁移转化过程，定量解析环境因子与人为活动的耦合驱动作用，

识别关键驱动因子；研制土壤生态环境健康障碍消减的多功能修复材料，研发土壤生态环境健康障碍的物理-化学-生物原位定向消减技术，构建土壤障碍消减和土壤生物多样性恢复协同技术体系；研发人工智能与大数据驱动的多模态土壤生态环境健康障碍精准识别与智能诊断系统，开发高精度数字土壤健康制图技术，建立土壤生态环境健康智慧监管平台；集成构建土壤生态环境健康诊断与调控关键技术体系，并在典型区域开展应用示范，分类提出京津冀中长期土壤生态环境健康管理技术路线图。

考核指标：

1. 阐明京津冀地区重金属（Cd、Cr）及有机污染物（PAHs、卤代烃）等引发的土壤生态环境健康障碍形成机制，形成基于多目标阈值的土壤生态环境健康系统诊断理论；建立基于微生物-植物-土壤动物多目标的土壤生态环境健康诊断指标体系 1 套，涵盖微生物生物量、微生物多样性、微生物活性、植物生理生化指标，以及土壤动物丰度、繁殖率与多样性等多维度参数；提出基于微生物、植物、土壤动物的敏感参数为指标的重金属（Cd、Cr）与有机污染物（PAHs、卤代烃）的土壤生态环境健康阈值各 1 套。

2. 研发京津冀土壤生态环境健康障碍定向消减技术 2 项以上：有机污染物去除率 $\geq 90\%$ ，重金属生物有效性降低 $\geq 80\%$ ；

关键功能修复材料吨级成本低于 0.5 万元；构建具备多功能协同效应的合成微生物菌群 ≥ 3 组。

3. 研发京津冀土壤生态环境健康障碍智能诊断系统 1 套，其中，智能诊断系统由硬件和软件组成：硬件的重金属污染识别准确率 $\geq 80\%$ ；软件包括人工智能与大数据驱动的障碍诊断模型 1 套、 ≥ 1000 个样本的土壤重金属污染数据库 1 套等。

4. 建立京津冀土壤生态环境健康智慧监管平台 1 个，其中，平台具备囊括京津冀主要土壤利用方式、主要污染物的监管覆盖能力；开发高精度数字土壤生态环境健康制图技术 1 套，健康指数空间分辨率 ≥ 30 m，预测精度 $\geq 70\%$ 。

5. 在河北、天津等区域建立万亩级示范区，提出分区分类的京津冀中长期土壤生态环境健康管理技术路线图 1 套。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 4 年。

6.8 京津冀特色生物资源保护与生态产品开发协同增效技术及示范

研究内容：

针对京津冀特色生物资源（动物、植物、微生物、遗传资源

等)及其衍生的生态系统服务在生态产品监管技术缺乏、跨区域保护不足、产业化水平低、保护与利用协同度不够等方面存在的问题,研发构建“综合监管-跨域保护-产业化利用-协同增效-示范应用”全链条技术体系。综合运用遥感、物联网、环境 DNA 与 AI 识别技术,研究京津冀特色生物资源调查和生态产品分类体系,构建低成本、全天候、高精度动态识别与监管系统,研究特色生物资源保护监管体系,探明资源与产品数量、质量与演变趋势;研制特色生物资源跨区域协同保护评价模型,系统评估京津冀特色生物资源空间分布、关键指示物种跨区域迁徙和栖息地变化、重要生态系统受干扰状况等,揭示特色生物资源与生态系统各要素互馈关系,识别特色生物资源跨区域保护影响因素,构建特色生物资源跨区域保护最优模式,制定京津冀特色生物资源跨区域保护技术方案;开展京津冀生态产品开发利用分区研究,评估识别特色生物资源产业化利用制约因素,建立高附加值生态产品开发技术体系与产业链图谱,分类构建京津冀物质供给类、生态调节类、文化服务类特色生物资源生态产品的产业化利用模式;研究构建特色生物资源保护与利用协同增效评价模型,建立协同增效评估指标体系与方法,开展太行山、燕山、坝上高原、白洋淀、渤海湾等特色生物资源保护与利用成效评估,识别制约特色生物资源保护与利用协同增效的主要因子,制定京津冀特色

生物资源富集区域的生物资源保护与可持续开发利用协同增效技术路线图;选取京津冀特色生物资源富集区域(涵盖北部山区、南部平原、东部滨海),开展特色生物资源保护与生态产品开发协同增效综合示范,形成产业化推广应用模式,提出特色生物资源保护与生态产品开发协同增效管理对策。

考核指标:

1. 京津冀特色生物资源生态产品分类体系 1 套,涵盖动物、植物、微生物和遗传资源,实现京津冀 85%以上特色生物资源生态产品收录,附生境、保护等级、经济价值等属性参数;京津冀特色生物资源生态产品动态数据库 1 个,年度更新 ≥ 1 次,历史追溯 ≥ 5 年;编制京津冀重要生物遗传资源保护本土化规范 1 项;开发特色生物资源生态产品智能监管系统 1 套,集成遥感、物联网、环境 DNA 等多源数据,识别目标准确率高于 90%,实现 80%以上京津冀特色生物资源生态产品的动态监管。

2. 京津冀特色生物资源跨区域协同保护评价模型 1 套,涵盖气候、地理、人类活动和生态系统服务等模块,跨区域协同保护评价场景 ≥ 3 个;京津冀特色生物资源跨区域保护技术方案 1 项,明确优先区划定、生态廊道布局、修复技术清单等,附高精度(优于 1:25 万)专题图。

3. 形成 ≥ 3 项京津冀特色生物资源生态产品开发利用技术,

每项技术参数 ≥ 20 个；高附加值特色生物资源生态产品产业链图谱 1 套，收录生态产品 ≥ 100 种；京津冀特色生物资源生态产品的产业化利用模式 1 套，覆盖物质供给类、生态调节类、文化服务类生态产品各 ≥ 3 种；编制特色生物资源生态产品开发利用技术规范 ≥ 2 项。

4. 特色生物资源保护与利用协同增效评价模型 1 套，提供多场景增效与预警模块，可量化特色生物资源开发强度阈值；编制典型流域或重点区域特色生物资源保护与生态产品开发协同增效技术方案 1 项，涵盖 $\geq 80\%$ 特色生物资源生态产品，可支撑实现生态产品价值提升 $\geq 10\%$ ，生物多样性维护等生态服务功能提升 $\geq 15\%$ 。

5. 在京津冀北部山区、南部平原、东部滨海等地区选择不少于 3 个典型区域开展应用示范，每处应用示范面积 $\geq 100 \text{ km}^2$ ，生态产品开发效益提高 $\geq 30\%$ ，形成可推广的特色生物资源生态产品产业化模式 ≥ 3 个，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 3 年。

6.9 雄安新区退役油井群地下水污染风险管控与精准监管

技术及示范

研究内容：

针对雄安新区退役油气井封堵后污染物组分不明、差异化地质条件水土污染边界不清等问题，研究适用于雄安新区地质空间特征污染物快速识别技术，揭示地下水污染物运移与传输机制，研发“空-地-井”跨尺度多要素协同监测与“流域-井群-井场”多尺度跨介质污染风险预警技术，定量评估不同封堵工艺差异化地质环境油井群不同尺度地下水污染风险，明确雄安新区油井群地下水污染风险边界及其对“蓝绿空间”生态环境影响；针对退役油井污染物沿井筒窜流运移风险防控及其绿色封堵技术缺乏的问题，构建封井塞长期密封完整性寿命预测模型，研制适用于复杂地质环境的绿色胶凝封井材料，研发“井筒-储层”近井地带绿色封井工艺，构建“寿命预测-封堵材料-工艺设计”相结合的绿色封堵技术体系，实现退役油井长效密封和稳定；针对退役油井群地下水污染物多相共存下修复技术缺乏的问题，揭示井群地下水污染物水动力调控运移机制，研制水动力调控技术及多目标智能修复管控系统成套装备，研发具有多功能界面调控的改性生物炭基修复材料及其微生物固定化协同修复技术，构建基于井群水力循环-微生物降解-高效净化的地下水多相有机污染物协同修复技术体系，实现废弃油气井地下空间多相污染物渗漏风险

防控及长效污染修复；针对退役油井群地下水污染风险监管技术缺乏的问题，揭示套管破损、封井渗漏等多污染场景下特征污染物迁移过程，量化污染物跨层迁移与赋存形态规律，研发“井深结构-地质条件-水位波动”多要素智能监测、污染风险诊断与靶向阻控技术，构建退役井群地下水污染“风险分区-精准阻控-智慧监管”一体化技术体系，提出退役油井地下水污染精准管控策略；开发退役油井群地下水污染风险管控与精准监管决策平台，集成“绿色封井-协同修复-精准管控”等技术，开展工程场景技术应用与工程示范，提出退役油井群地下水污染风险管控与精准监管对策，支撑美丽雄安“蓝绿空间”本底生态安全。

考核指标：

1. 废弃油井地下水污染快速监测技术 1 项，涵盖地球化学同位素追踪、非靶向有机物分析及环境 DNA 化学与生物污染物指纹分析方法等 ≥ 3 种，特征污染物识别率 $\geq 90\%$ ，构建多污染物关联模型 1 项，模型精度 $\geq 90\%$ ，构建“流域-井群-井场”多尺度污染物运移及风险预测模型 1 项，针对污染物运移预测模拟误差 $< 20\%$ ，特征污染物风险阈值 ≥ 3 类；形成退役井场“空-地-井”协同监测技术 1 套，关键影响指标识别率 $\geq 90\%$ ；建立多要素监测预警平台 1 项，实现地下水环境监测预警，模型精度 $\geq 90\%$ ，响应时间 $< 1\text{ d}$ ；研发退役油井群地下水污染风险分类控制技术 1

项，多源污染物跨区域、多边界地下水污染风险识别评价模型 1 套，模型精度 $\geq 90\%$ 。

2. 油气井封堵塞长期密封完整性量化分析及寿命预测模型 1 套，模型精度 $\geq 90\%$ ；油气田绿色长效封堵材料体系 1 套，包括绿色长效封井材料 ≥ 2 项，G 级水泥含量 $\leq 50\%$ ，耐地层水腐蚀能力提高 30%，渗透率 $\leq 5 \times 10^{-3} \text{ mD}$ ，90 天强度衰退率 $< 20\%$ ，可自修复。

3. 构建油气探采井场尺度地下水水力调控技术 1 项包括研发成井材料、封隔材料、强化修复功能材料 ≥ 5 项，针对特征污染物去除效率 $\geq 90\%$ ，材料成本降低 30%；研发基于垂向水力调控的地下水多相有机污染物同步处理技术 1 项，包括场地地下水土污染生物炭基修复材料 ≥ 2 项，微生物固定化效率提高 30%，场地尺度下原位去除效率 $\geq 90\%$ ，修复成本降低 30%。

4. 构建井群污染渗漏多参数智能监测系统 1 套，包含不少于 10 种监测指标；构建基于强化人工智能算法及多场景井群污染渗漏风险管控措施的数智决策平台 1 项，涵盖套管破损、封井渗漏、污染跨层等应用场景不少于 3 种；形成雄安新区退役油井群地下水污染风险精准监管技术行业指南 1 项。

5. 研发雄安新区退役油井群地下水污染风险管控与精准监管智能决策模型 1 套，包含污染自动识别、修复技术智能匹配与

智慧监管模块；示范废弃井 ≥ 100 口，编制废弃油气井污染地下水地下空间风险管控与精准监管协同增效技术行业规范或标准 ≥ 2 项。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于4:1，实施周期不超过4年。

6.10 津冀盐碱区土壤生态安全与分区分级综合利用技术及应用

研究内容：

针对津冀盐碱地水盐肥污共存的显著特征，围绕生态环境风险形成机制不清、水盐肥污分级协同防控技术缺乏等问题，研究在盐分的胁迫下，水-盐-氮磷-污染物交互作用机理、耦合机制及迁移转化规律，构建盐碱地水盐肥污运移模型，揭示盐碱地综合利用与生态恢复过程中多要素多介质耦联机理和响应关系；辨识盐碱地生态环境风险影响因子及特征污染物输移途径，确定生态环境风险防控目标，研究盐碱地土壤-地下水环境风险形成机制，建立盐碱地开发利用全过程生态环境风险评估方法，研发定量评估模型，形成生态环境风险分级分区方法；选取典型高生态环境风险盐碱区，基于水土资源配置和生态环境承载力，研究盐

碱地绿色利用空间格局优化调控技术，研发盐碱等主要障碍因子消除阻控技术，开发耐盐植物种植等绿色生态修复技术，集成高生态环境风险盐碱区“空间优化-降碱抑盐-生态修复”协同提升技术体系；选取典型中低生态环境风险盐碱区，研发水肥盐与微生物耦合降碱抑盐技术，研究盐碱地肥盐分域结构营建与增碳培肥技术，开发微咸水安全利用节水增效技术，集成“土壤改良-水质改善-安全利用”协同防控技术体系；开发基于多源数据融合的津冀盐碱区动态监测与盐渍化趋势评估技术，构建区域监测、风险评估、智能决策为一体的盐碱地生态环境安全智慧监管平台，并在津冀典型区域开展示范应用。

考核指标：

1. 构建津冀盐碱区水-肥-盐-污相互作用及迁移转化理论，建立盐分对氮磷转化抑制阈值和污染物-盐分反馈阈值。研发盐碱地土壤-地下水系统水-盐-养分-污染物耦合运移模型 1 个，实现盐碱地综合利用与生态恢复过程中土壤-地下水水盐养分污染物运移过程精准定量解析，模型验证误差 $\leq 20\%$ 。

2. 形成分区分类的水土资源时空匹配方案 1 套；构建津冀盐碱地生态风险评估体系 1 套，研发生态风险评估模型 1 个，建立盐碱地生态风险识别清单 1 套，实现盐碱地生态风险分级分区定量评估，分区单元 $\leq 1 \text{ km}^2$ ，边界定位误差 $\leq 100 \text{ m}$ ，确定不同

分级分区盐碱地生态环境风险阈值。

3. 提出高生态环境风险盐碱区控盐降碱减污协同调控方案。研发盐碱地绿色利用空间格局优化调控技术 ≥ 2 项，以耐盐植物种植为核心的绿色生态修复技术 ≥ 2 项，研发消除盐碱等主要障碍因子的协同阻控技术 ≥ 2 项，构建高生态环境风险盐碱区“空间优化-降碱抑盐-生态恢复”协同提升技术体系1套，制定行业或地方相关标准/技术规范 ≥ 2 项，在黄淮海平原、滨海盐碱区等典型区域示范应用 $\geq 3.5 \text{ km}^2$ ，京津冀高风险盐碱地土壤治理含盐量降至3‰以下。

4. 构建中低生态环境风险盐碱区盐碱地水-肥-盐-污协同防控技术模式，研发根-土界面水肥盐和微生物耦合的精细降碱抑盐技术不少于3项，盐碱地根层“肥-盐分域结构”营建与增碳培肥技术不少于3项，咸水微咸水安全利用节水增效技术不少于2项，构建中低生态环境风险盐碱区土壤“土壤改良-水质改善-安全利用”协同提升技术体系1套；制定相关标准/技术规范 ≥ 2 项，在典型区域示范应用且面积 $\geq 6.5 \text{ km}^2$ 。

5. 研发构建区域监测、风险评估、智能决策为一体的盐碱地生态环境安全智慧监管平台1套，并在京津冀地区共享业务化运行1年以上；构建多目标-多尺度-全链条的盐碱地综合利用管理决策系统1套，形成政策建议1份；京津冀盐碱地区水土环境质量

智慧监测评估技术 1 项：基于物理引导的数据驱动盐碱化监测模型 1 套，精度优于 10 m。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

6.11 京津冀农村季节性黑臭水体治理关键技术装备与应用示范

研究内容：

针对京津冀农村地区季节性黑臭水体成因复杂、治理后易返黑返臭等问题，研究基于多环境因子耦合作用下的季节性黑臭水体形成及返黑返臭机制，研发关键因子动态监测及特征污染物精准识别、高精度溯源、预测预警及返黑返臭防控技术；针对农村污染类型多样、治理设施适应性差等问题，研发区域适配型、抗冲击排放特征的农村生活污水生态化利用技术，开发低成本、易维护的粪污等多源废弃物协同资源化利用技术与装备，构建季节性农村黑臭水体污染源头精准防控技术体系；针对内源性返黑返臭等问题，开发土著微生物激活剂与高效增氧调控装备，研发以农业废弃物为基材的低成本功能性修复材料，构建黑臭水体原位快速修复技术并示范应用；针对生态系统脆弱、修复稳定性差等问题，选取典型农村黑臭水体，制定综合性治理方案，构建“陆

域-滨岸-水体”联动的韧性生态修复系统，选取京津冀三地具有代表性的典型农村黑臭水体开展工程示范，并建立长效运维机制。

考核指标：

1. 建立黑臭水体返黑返臭成因识别模型知识库和训练库，构建农村黑臭水体及周边污染源高精度识别关键技术 1 套，并嵌入省级及以上农村生态环境监管系统在京津冀地区进行验证(样本数量 ≥ 13 万个，训练指标至少包括水体周边土地利用类型、村庄人口数量、水体面积等，其中含有氨氮、溶解氧、透明度等样本量 ≥ 2000 个)，识别精度 $\geq 90\%$ 。

2. 构建适合于夏季多雨、冬季干旱的季节性农村黑臭水体污染源头防控技术体系，研发农村生活污水原位生态净化修复装备 ≥ 2 套，制备高效吸附、生物相容性高的廉价拦截材料 ≥ 2 种，研发典型的低温土著功能性微生物激活剂 ≥ 3 种，与现有技术相比，建设费用减少 20%以上，运维成本降低 60%以上，低温条件下主要污染物指标削减率提升 30%以上；研发畜禽粪污等多源废弃物的资源化利用工艺与模块化装备 ≥ 1 套，筛选高效腐熟菌种 ≥ 5 种，能耗节省 50%以上。

3. 研发分散式长距离增氧与有益菌藻激活调控协同装备 1 套，装备核心材料 100%国产，水体底层溶解氧浓度 ≥ 4 mg/L，能耗较表层集中式曝气技术降低 80%，底泥有机质半年内去除率

≥ 50%。

4. 构建适用于农村季节性黑臭水体的耐冲击韧性生态修复技术 2 套，受冲击后水质恢复期不超过 7 天。

5. 开发京津冀季节性黑臭水体治理工艺包 1 套，编制 ≥ 3 项行业或地方黑臭水体治理技术规范，提出政策建议 3 份，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

6. 在京津冀三地农村地区各开展 ≥ 2 项工程示范，达到黑臭水体治理标准要求，示范水域面积 ≥ 3 万 m²。示范项目中应用的自主研发技术数量 ≥ 5 种，且治理后水体稳定运行时间 ≥ 1 年。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他投入与中央财政投入比例原则上不低于 4:1，实施周期不超过 4 年。

6.12 海上风电与光伏开发生态安全保障技术及示范

研究内容：

针对京津冀区域海上风电、光伏开发存在的生态环境影响机理不清、监测评估技术薄弱、安全防控与监管手段缺乏等问题，探究海上风电、光伏开发与海洋生态环境的交互作用机理，解析海上风电、光伏设施关键环境影响因子与生物效应的响应关系；研发鸟类与重要海洋生物行为活动的智能监测与识别技术，开展

海上风电、光伏对鸟类活动的影响机制与碰撞风险研究，构建海上风电、光伏项目生态环境影响的跨介质立体监测体系；研发海上风电机组、光伏规模化布设的环境影响模拟技术，建立海上风电、光伏多要素环境影响指标评价体系与评估方法，形成多约束多目标下海上风电、光伏阵列布设优化技术；研究制定适用于海上风电、光伏工程建设运行及退役阶段的生态环境影响防控技术方案，开发海上风电、光伏设施的鸟类碰撞规避自主预警系统；绘制京津冀海上风电生物敏感性地图，建立海上风电、光伏开发全生命周期生态环境监管综合知识库，构建海上风电、光伏开发生态环境影响多维度智慧监管可视化平台，在京津冀地区海域开展多场景示范应用。

考核指标：

1. 揭示海上风电、光伏设施对生态系统结构与功能的非线性影响过程机理，其中海上风电覆盖不少于 3 类关键物种、海上光伏覆盖不少于 4 类关键物种；构建海上风电、光伏场区生物群落演替多压力响应机制的解析技术体系各 1 套，压力因子 ≥ 3 种，涉及生物功能群 ≥ 3 种。

2. 开发面向海上风电、光伏设施的多尺度鸟类与海洋生物活动行为在线监测平台，鸟类识别准确率 $\geq 90\%$ ，可识别 3 种以上关键海洋生物，识别准确率 $\geq 80\%$ ，在京津冀区域海上风电、

光伏场开展技术示范应用；构建京津冀区域典型海上风电、光伏项目生态环境影响监测数据集各 1 套，时间序列不少于 1 年，监测指标 ≥ 20 项，包含不少于 5 种生物对象的在线监测数据。

3. 提出海上风电场尾流-环境影响相关性评估体系，可耦合环境参数 ≥ 3 类，对风电场下游 10 km 范围内大气环境影响模拟误差 $\leq 15\%$ ；开发海上光伏阵列环境影响多物理场耦合模型，量化评估光伏阵列对光照强度、表面海水温度、溶解氧、流速和波高等不少于 5 个关键指标的影响，水文动力环境模拟的水平网格分辨率 ≤ 10 m，参数总数量 ≥ 10 项，模拟误差 $\leq 10\%$ ；形成可兼顾发电效率、建设成本、环境影响的多要素协同海上风电、光伏阵列布设优化方法。

4. 提出海上风电建设期施工打桩引起的水下噪声抑制技术，通过模型试验验证噪声降低 ≥ 8 dB (100~1k Hz)，建立海上风电电磁辐射环境影响评估模型；研发鸟类碰撞规避的智能预警系统，预警条件下鸟类碰撞率 $\leq 1\%$ ；研发适用于海上风电、光伏项目建设运行及退役阶段的生态环境影响防控技术方案，在京津冀地区单个项目规模海上风电 ≥ 300 MW、海上光伏 ≥ 200 MW 的海上风电、光伏场区开展技术示范。

5. 绘制京津冀区域海上风电生物敏感性地图，覆盖海域面积 $\geq 90\%$ ，网格空间分辨率 ≤ 3 km $\times$ 3 km，关键物种 ≥ 2 种，图

层要素不少于 6 类，至少包含 13 个海湾等信息；提出面向海上风电、光伏开发全生命周期监管的综合知识库 1 套，知识库问答召回率不低于 90%；构建京津冀海洋生态安全多源监测数据融合交互系统，研发多维度可视化信息平台，涵盖生态环境监测与评估、监管与决策等多环节，示范时间不少于 3 个月；形成 2 项以上生态环境管理政策建议并得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，采用事前立项事后补助方式，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 5:1，实施周期不超过 3 年。

板块七：跨介质系统治理

7.1 京津冀多介质有机胺排放及大气效应调控技术研究

研究内容：

面向京津冀多介质有机胺排放及大气效应调控中“精准识别-效应评估-协同调控”的关键技术需求，开展京津冀电力、钢铁等重点行业碳捕集烟气中有机胺排放测试，开发工业烟气有机胺排放因子数据库，研究有机胺多介质排放过程及影响因素，结合厂区与周边大气环境有机胺测试，评估有机胺排放对周边大气环

境浓度的影响；开展京津冀典型机动车尾气中有机胺排放测试，开发复杂车用条件下的有机胺排放因子数据库，结合道路边测试，评估机动车有机胺排放对道路边大气环境浓度的影响；开展京津冀农业面源、植物源、生活污水处理设施有机胺排放测试，研究有机胺多介质排放通量评估方法，开发典型面源有机胺排放因子数据库，评估典型面源有机胺排放对周边大气环境浓度的影响；研究有机胺在典型京津冀大气环境下的多相转化和清除过程，评估源排放有机胺的典型大气寿命和区域传输尺度，研究有机胺及其主要转化产物的毒性效应，开发有机胺多组分协同生成二次粒子的评估技术；构建京津冀有机胺高分辨率排放清单，研究有机胺大气三维立体浓度评估技术，量化工业源、交通源和面源等源排放、多相转化、清除过程对大气有机胺浓度的影响，解析各类有机胺排放源对二次粒子和大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献，发展京津冀多介质有机胺调控策略评估方法。

考核指标：

1. 京津冀重点行业烟气有机胺排放测试报告 1 份和有机胺排放因子数据库 1 套，测试电力、钢铁等重点行业碳捕集烟气中二甲胺、三甲胺、乙二胺、乙醇胺、哌嗪等不少于 5 个典型有机胺物种的排放浓度，气态有机胺检测浓度最低达 ppt 量级，时间分辨率优于 1 min，颗粒物中有机胺检测浓度最低达 ng 量级。

2. 京津冀机动车排放有机胺排放测试报告 1 份和有机胺排放因子数据库 1 套，测试汽油车、柴油车和天然气车等车型，涵盖国五和国六排放标准，测试车辆不少于 100 辆次，燃料类型、排放标准、运行工况和车辆负载等不同车用条件组合不少于 6 种，测试尾气中不少于 5 个典型有机胺物种的排放浓度，气态有机胺检测浓度最低达 ppt 量级，时间分辨率优于 1 s，颗粒物中有机胺检测浓度最低达 ng 量级。

3. 京津冀面源有机胺排放测试报告 1 份和有机胺排放因子数据库 1 套，测试面源包括畜禽养殖、农田、植被、化粪池、污水处理厂等，测试不少于 5 个典型有机胺物种的排放浓度，气态有机胺检测浓度最低达 ppt 量级，时间分辨率优于 1 min，颗粒物中有机胺检测浓度最低达 ng 量级；面源有机胺多介质排放通量评估方法 1 套，可实现有机胺跨介质迁移通量的测算。

4. 京津冀有机胺多介质转化过程模拟模型 1 套，融合京津冀有机胺浓度、气象等典型大气环境条件，包含不少于 5 种有机胺气相氧化和非均相界面反应过程，实现有机胺的大气寿命和区域传输尺度的评估；有机胺及其转化产物的预测毒性数据 1 套，包括皮肤刺激性、遗传毒性、致癌性等毒性指标；有机胺多组分协同生成二次粒子模拟模型 1 套，实现脂肪胺、醇胺、酰胺、脂环胺等不少于 4 类有机胺生成二次粒子潜力的量化评估，单个有

机胺评估时间小于 5 min，生成可用于三维数值模拟的京津冀有机胺生成二次粒子的参数化方案。

5. 京津冀及周边地区人为源和自然源有机胺排放清单 1 套，包括工业源、交通源、面源等排放源类别，不少于 5 种典型有机胺，包括实测的有机胺排放因子，空间分辨率达到 1 km，时间分辨率达到 1 h；有机胺大气三维立体浓度评估技术 1 套，量化源排放、多相转化、清除过程对京津冀大气有机胺浓度的影响，主要有机胺物种浓度预测误差在 50%以内；有机胺驱动二次粒子生成和诱发 $\text{PM}_{2.5}$ 增长的评估方法 1 套，评估不少于 5 种有机胺在三维大气空间中生成二次粒子的过程，评估主要有机胺排放源对二次粒子和 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响；京津冀多介质有机胺调控策略评估方法 1 套，覆盖工业源、交通源、面源等的多介质有机胺差异化管控措施。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政资金比例不低于 1:1，实施周期不超过 4 年。

7.2 南港石化园区减污降碳治理技术体系构建及示范

研究内容：

京津冀地区作为国家石化产业核心承载区，面临单位工业增

加值能耗高、污染排放强度大等结构性瓶颈。聚焦天津南港典型石化园区，从单元装置、工厂和园区三个维度，融合人工智能、化工过程强化和智慧管控等技术手段，构建石化园区绿色低碳转型的成套技术与管理体系。开发异质颗粒微通道破乳、低成本高效加氢催化、高硫容脱硫、旋流混合/吸收及旋流强化反应技术与材料，研制微通道分离器、旋流强化反应器与旋流混合/吸收器等装备，研发常减压、催化、加氢、焦化等装置的污油脱水、干气超深度脱硫、短流程/低能耗精馏分离等工艺并示范；开发废热集中储存及热网络互联优化利用技术、LNG 冷能与石化工工艺深度耦合技术、绿电安稳供给与“源-荷”柔性互动技术，实现园区多“源-汇”能源网络构建与调控；构建石化全流程水足迹核算方法与评价体系，开发装置区高浓度废水“高效预处理-压电催化制氢”源头减排技术，研发功能菌群协同智能曝气与污泥旋流分选的生化系统稳定运行技术，建立循环水泄漏溯源与管控系统，开发园区水网络水量-水质-能量协同优化系统，实现废水减量、水效与能效提升；建立石化园区特征危废数据库及分质利用技术体系，研制脱硫废渣非相变干化装备，开发废催化剂/吸附剂再生、高附加值组分回收及降级利用技术，研发基于园区现役生产装置的危废协同利用与处置技术，提升园区内部固废循环利用水平；研制石化园区大型罐区无组织排放通量监测及火炬

系统监控设备，研究大气污染排放管控体系、碳排放数字化评价体系，提出石化园区减污降碳协同增效路径、化学物质全生命周期管控技术路径，建立涵盖“能-气-水-风险”多维度智能绿色管控平台并在南港工业区应用。

考核指标：

1. 研发干气超深度脱硫技术及装备，实现有机硫脱除率 $\geq 98\%$ ，脱硫液吸收效率 $\geq 90\%$ ；研发 C5/C6 资源高值化利用技术，产品异戊烷和正戊烷纯度 $\geq 99\%$ ，异己烷纯度 $\geq 98\%$ ，较常规技术能耗降低 15%，碳排放量降低 15%。建立典型石化过程旋流强化低碳集成技术工程示范，实现园区原油加工损失量减少 2000 吨/年；单一装置废催化剂减量 30%；现有炼化装置单元能耗和物耗降低 10%、吨油碳排放强度降低 10%。

2. 开发综合能源协同控制平台技术，分布式终端响应时间 ≤ 0.2 s；建立园区多能源超深度耦合技术工程示范，实现冷热电全局能量耦合优化，降低综合能耗 2.35 kgoe/t（降幅超 4%），降低二氧化碳排放 14 万吨/年以上（降幅超 2%）；自备电站电驱替代改造应用不低于 10 MW。

3. 研发园区水网络集成优化与智能管控技术并应用示范，实现水网络水量-水质-能量优化模型相对误差 $\leq 15\%$ ，动态活性污泥动力学、高级氧化动力学等模型 $R^2 \geq 0.7$ ，水效较现有先进

水平提升 $\geq 5\%$ ，万元产值用水量 $\leq 0.56 \text{ m}^3$ ，能效提升幅度超过 5% ，减少碳排放 6500 吨/年以上；研发高浓度废水“高效预处理-压电制氢”源头减排技术，实现污水压电催化产氢能耗较电解水产氢降低 70% ，产氢成本 $\leq 150 \text{ 元/kg H}_2$ ；研发污泥旋流自转分离活化技术，实现回流污泥平均沉降指标（SVI） $\leq 60 \text{ mL/g}$ ，脱氮负荷 $\geq 0.3 \text{ kg N/ (m}^3\cdot\text{d)}$ 。建成污水生化与循环水系统稳定运行技术工程示范，实现污水回用率 $\geq 73\%$ ，外排水 COD $\leq 30 \text{ mg/L}$ 、总磷 $\leq 0.3 \text{ mg/L}$ ，循环水系统能效提升 $\geq 5\%$ ，单位电耗降至 0.18 kWh/m^3 以下。

4. 研发废催化裂化催化剂制备脱硝催化剂技术并建成 $1000 \text{ m}^3/\text{年}$ 生产线，成本较常规烟气脱硝催化剂降低 30% 以上；建成千吨级废弃负载型加氢催化剂资源化回收及循环利用示范工程，实现高附加值材料回收率、回收产品纯度均 $\geq 95\%$ ，废加氢催化剂循环利用的产品回用率 $\geq 90\%$ ；建成 1 万吨/年 废吸附介质再生与高附加值利用工业示范装置，实现过程能耗较传统回转窑降低 $\geq 50\%$ ，综合利用率 $\geq 95\%$ ，吸附性能恢复率 $\geq 90\%$ 。

5. 研制 VOCs 排放通量、组成及浓度一体化走航监测设备 1 套，走航监测响应时间 $\leq 10 \text{ s}$ ，VOCs 排放通量监测不确定度 $\leq 25\%$ ，VOCs、异味溯源空间精度 $\leq 50 \text{ m}$ ，溯源时间 $\leq 4 \text{ h}$ ；研制 1 套火炬系统监控设备，响应时间 $\leq 10 \text{ s}$ ，燃烧效率达到 98% 以

上；形成石化园区减污降碳协同增效路径、化学物质全生命周期管控技术路径，建立石化园区智能绿色管控平台，在南港工业区应用。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 4:1，实施周期不超过 3 年。

7.3 区域高端制造产业园区协同共生与数智绿色赋能关键技术研究与示范

研究内容：

针对现代化大都市高端制造产业园区，打造以新质生产力为引领的产城协同绿色低碳样板，解析高端制造产业生态化和数智化协同演进机理并构建量化支撑体系，开发产业链物质流、能量流、信息流耦合解构模型，研发增量“碳-污-固”图谱数据溯源技术，解析园区上下游产业全生命周期特征污染物和温室气体“产生-迁移-转化-排放”的多介质迁移转化路径，构建高端制造产业新污染物来源识别筛选技术，编制高端制造业新污染物动态清单；研发多元数据智能匹配算法及“产-能-碳-流-智-环”动态协同评价预测技术，开发“源-网-荷-储-放”数据库，构建物理信息融合的资源“即插即用式”园区虚拟电厂一体化运行平

台，开发多燃料适应性固体氧化物燃料电池冷热电三联供分布式系统，研究基于虚拟电厂的园区能源协同调度策略和运筹优化算法；研究特征污染物和温室气体多介质一体化综合防控技术和管控方案，构建污染物多介质创绿评价技术指标体系，研发“工业上楼”污染垂直治理设施的集成优化技术，构建垂直产业链物质/能量流分析模型，研究垂直治理设施适宜性及优化方案，研制标准厂房光伏建筑一体化设备，研发数字孪生驱动的全生命周期模拟与智能调配技术；研究“水质-碳排-经济”协同增效评估模型，开发园区再生水高效利用与余热回收技术、废水低碳脱氮关键技术，构建面向新质生产力培育和减污降碳协同需求的高端制造产业园区生态环境绩效评估体系；构建基于数字孪生的环境治理数智中枢，集成园区能耗、碳排、污染物排放、水资源利用等多元数据，构建园区环境的全面感知和实时监控技术体系，研发支撑“产业共生-能（物）流优化-环境智管”的复杂系统智能体，实现园区环境治理全场景智能监控、预警和调控。

考核指标：

1. 建成覆盖“产-能-碳-流-智-环”多元产业数据底座1个，解构园区产业间物质流、能量流、信息流耦合机理；研发园区级增量“碳-污-固”图谱数据溯源技术1套，实现全产业链碳足迹追踪，追踪精度 $\geq 90\%$ ，重点企业碳核算效率提升 $\geq 40\%$ ；建立

高端制造产业园区新污染物清单 1 套,包括数据采集规范与数据更新机制;开发多元数据智能匹配算法及“产-能-碳-流-智-环”动态协同评价预测模型 1 套,识别驱动产业共生体系升级的核心因子 ≥ 15 个,形成 3 组以上高端制造产业协同耦合方案,产业链协同效率提升 $\geq 30\%$;解析产业生态化和数智化协同演进机理,形成可复制的产业生态化数智化发展技术指南 1 部,被省级政府管理部门采纳应用。

2. 开展高效分布式供能技术研发与应用示范,研发多燃料适应性固体氧化物燃料电池冷热电三联供分布式示范系统 1 套,适配天然气等 3 种以上燃料,发电效率 $\geq 45\%$,系统综合效率 $\geq 90\%$;构建基于大数据挖掘、人工智能、模式识别技术和运筹优化算法的能碳一体虚拟电厂调控平台 1 个,支持不少于 5 种聚合能源资源接入,支持多层级协调控制,优化控制平均响应时间 ≤ 15 s;开发能源精确匹配优化算法,实现对光伏、储能、燃料电池等分散异质能源资源的全域监控与调度,能源供给与时空用能需求匹配精度 $\geq 90\%$,形成零碳园区分布式供能技术方案 1 套。

3. 形成高端制造产业园区主要行业全生命周期特征污染物和温室气体“产生-迁移-转化-排放”的多介质迁移转化路径,建立多介质多污染物协同减排的标准化技术库,至少涵盖不少于 3 个高端制造行业;研发“工业上楼”污染垂直治理设施的集成

优化技术 1 套，覆盖 3 类及以上典型污染物平均去除率 $\geq 92\%$ ，构建垂直产业链物质/能量流分析模型 1 个，物质流核算精度 $\geq 90\%$ 、能量流计量精度 $\geq 90\%$ ；研发标准厂房光伏建筑一体化设备 1 套，光电转换率 $\geq 27\%$ ；开发楼宇级碳足迹智能监测技术系统 1 套，实现对光伏能源生产、楼层生产用能、污染治理排放全流程的碳足迹追踪，精度 $\geq 95\%$ 。

4. 构建覆盖园区“水源-管网-用水-处理-回用”的全链路数字孪生系统 1 套，关键节点物联感知设备覆盖率 $\geq 95\%$ ，数字孪生平台动态仿真精度 $\geq 90\%$ ；实现再生水梯级利用与分质供水（高品质水 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、电导率 $\leq 100 \mu\text{S/cm}$ ；低品质水 $\text{COD} \leq 50 \text{ mg/L}$ ），再生水回用率 $\geq 40\%$ ；开发园区废水的 MABR-Anammox 耦合低碳脱氮关键技术，常温条件下的总氮去除率 $\geq 90\%$ ，氮去除负荷率 $\geq 1.0 \text{ kgTN}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，较传统脱氮工艺的单位能耗降低 $30\% \sim 40\%$ 、运行碳排放强度降低 $40\% \sim 60\%$ ；构建“水质-碳排-经济”协同环境绩效评估体系，建成再生水示范工程 1 项，分质供水规模 $500 \text{ m}^3/\text{d}$ ，梯级用水匹配度 $\geq 90\%$ 。

5. 在高端制造产业园区示范应用 6 个月，构建基于数字孪生的环境治理数智中枢 1 套，至少包含环境治理智能化算法或模型 1 项，自主研发率达到 100% ；提供基于物联网+AI 的污染源智能监控与应急响应、园区级多能互补智能调度与优化、固废全

生命周期智能管理与溯源 3 种不同场景的环境治理优化方案，在典型高端制造园区建设中采纳；建立环境问题智能闭环管控流程，实现从问题发现、智能诊断、方案推荐到效果评估的全流程自动化管理；实现对园区未来短期能耗趋势的预测，精度 $\geq 70\%$ ；实现对园区能源、环境、水资源等关键要素的实时、全域感知，接入数据种类 ≥ 10 种，数据覆盖率 $\geq 85\%$ ；示范园区主要污染物排放量降低 $\geq 30\%$ ，能源利用效率提升 $\geq 20\%$ 。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，实施周期不超过 4 年。

7.4 海洋盐化工园区零废技术体系构建与示范

研究内容：

针对曹妃甸工业园区面临的海淡浓水、氨碱废液和盐泥等高含盐废弃物排放大、资源化场景单一且成本高等问题，耦合热力学数据集构建、定向分离转化及过程强化、流程优化及智慧管控等技术手段，构建涵盖复杂高盐溶液定向分离转化、资源循环高值化、固废减污降碳的零废技术与管理体系。研究复杂高盐溶液分离及定向转化过程多组分影响规律及回用标准，形成海洋盐化工园区零废技术发展路径；研发高截留率、通量可控膜组合超高

倍浓缩技术，构建融合分离/阻垢机理与多维运行数据的双驱动数字孪生模型，开发全流程工艺参数精准控制集成技术，建设海淡浓水深度净化及超高倍浓缩工程示范；研发高盐卤水选择性电渗析与动态变温高效结晶提钾技术、无氯氧化提溴技术和镁资源化制备电池级碱式碳酸镁技术；研发烟道气碳酸化-超重力强化的盐泥高效分离钙镁技术，突破硫酸镁溶液原位转化除钙精制技术，建设盐泥减污降碳协同治理与高值化利用工程示范；研究氨碱废液合成 α 高强石膏技术，开发 α 高强石膏专用转晶剂，建设氨碱废液资源化高效利用工程示范。

考核指标：

1. 建立园区高盐卤水专用数据集，数据量超过 2 万条，建立强非理想性高盐卤水体系热力学模型 ≥ 3 个；建立典型海洋盐化工行业减污降碳、高效资源回收、二次污染防控等多目标技术评估与优化方法模型，涵盖指标 ≥ 10 项，覆盖 6 类以上关键技术，量化零废园区减污降碳治理成效；制定高盐体系非常规水资源回用技术的标准规范 1 项（行标或团标），提出典型海洋盐化工零废园区减污降碳协同创新路径技术方案 1 份，被园区采纳应用。

2. 突破高截留率、通量可控膜组合超高倍浓缩技术，实现纳滤膜钙离子截留率 $\geq 88\%$ 、镁离子截留率 $\geq 97\%$ ，反渗透膜运

行压力 ≤ 9 MPa，浓缩后氯化钠浓度 ≥ 180 g/L；建立膜组合浓缩过程双驱动数字孪生模型，关键参数预测平均相对误差 $\leq 10\%$ ，膜污染预警准确率 $\geq 90\%$ ；建成高盐废水深度精制超高倍浓缩示范工程，利用海淡浓水非常规水资源量 ≥ 2000 万 m^3 /年，液体盐产能 ≥ 900 万 m^3 /年，折原盐成本 ≤ 150 元/吨。

3. 突破高盐卤水钾溴镁高效回收关键技术。其中，高盐卤水选择性电渗析钾分离回收技术实现 $\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}$ 选择性分离系数 ≥ 10 ，钾的回收率 $\geq 60\%$ ；动态变温高效结晶提钾技术实现产品 K_2O 含量 $\geq 60.5\%$ ，水含量 $< 1.5\%$ ， NaCl 含量 $< 2.5\%$ ，粒径分布 $D_{50} \geq 75$ μm ；无氯氧化提溴技术实现溴氧化率 $\geq 90\%$ ；靶向除杂制备电池级碱式碳酸镁技术产品达到电池级使用要求。

4. 突破烟道气碳酸化-超重力强化的盐泥高效分离钙镁技术，实现镁资源回收率 $\geq 90\%$ ，盐泥碳酸化镁液精制后钙离子浓度 ≤ 80 mg/L，镁的损失率 $< 20\%$ ；建成 1.5 万吨/年盐泥（干基）超重力强化碳酸化高效分离钙镁示范工程，固碳能力 ≥ 1500 吨/年，硫酸镁液（镁离子含量 ≥ 11 g/L）产能 ≥ 8 万 m^3 /年。

5. 突破微晶转化法合成 α 高强石膏技术，产品干抗压强度 > 60 MPa、白度 $\geq 92\%$ ，转晶剂成本 ≤ 1.5 万元/吨；建成 15 万 m^3 /年氨碱废液资源化高效利用制备高品质石膏工程示范， α 高强石膏产能 ≥ 3 万吨/年。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，以企业牵头组织申报，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 6:1，实施周期不超过 4 年。

7.5 京津冀温室气体排放高分辨率核算、预测与减排路径智能调控技术

研究内容：

针对温室气体排放核算精度不高、长周期动态预测能力有限、减排路径精准调控工具不足的关键技术瓶颈，开发京津冀区域排放清单、卫星遥感数据、企业披露信息与厂级监测数据等多源异构数据的高精度融合技术，构建电力、工业、交通、建筑、农林业等重点行业主要温室气体高分辨率排放清单，实施多源数据交叉比对，形成多尺度排放因子数据库，研发京津冀温室气体排放统一核算标准，开发服务于统一核算标准的数据采集与审核技术；开发排放因子数据库智能管理技术，构建具备信息自动抓取、数据动态更新与质量校验、知识集成推理与定制化输出等功能的多模态智能体系统，实现排放因子的全周期流程级管理与高适配性调用；结合人工智能技术，开发温室气体精准追踪与智能溯源算法，在稀疏数据和复杂过程条件下，实现温室气体排放的高精度溯源与多环节科学分配，识别重点行业、重点工厂与关键环节各

类温室气体排放的时空分布特征及其关联规律；开发涵盖用地-用水-技术-行为-设施-环境多系统的经济社会环境综合模拟技术，覆盖京津冀全经济部门，实现各类温室气体排放的长周期动态预测，研究用地演变、技术进步、设施更新等典型社会经济活动与温室气体排放、环境质量改善之间的响应机制；开发面向地理单元和产业单元的空间降尺度算法，实现重点行业关键过程的工厂级模拟、关键技术设施的高精度布局和温室气体排放的网格级预测；构建涵盖温室气体减排、经济发展、成本优化和环境效益提升等内容多维评估体系，研发支撑综合模拟模型多目标协同优化的智能算法，集成构建温室气体协同减排决策与绿色低碳发展路径的高精度智能调控技术。

考核指标：

1. 多源异构温室气体排放数据的高精度融合技术和缺失数据补全技术 1 套，产出温室气体高分辨率排放清单 1 套，覆盖 7 类主要温室气体（包括 CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆ 和 NF₃）和至少 5 个重点行业（电力、工业、交通、建筑、农林业），数据来源至少包含区域排放清单、卫星遥感数据、企业披露信息与厂级监测数据 4 类数据，输出结果的空间精度不低于 1 km×1 km，缺失数据填补所采用算法的补全准确率 ≥ 95%；京津冀温室气体排放统一核算标准 1 项和基于核算标准的数据采集与审核

技术 1 套，审核准入数据的准确率 $\geq 95\%$ 。

2. 基于多模态智能体系统的温室气体排放因子数据库智能管理技术 1 套，信息自动抓取和数据动态更新频率不低于每周 1 次，自动抓取的数据源不少于 1000 个，入库数据的可信度达到 90% 以上，智能体生成内容校验准确率 $\geq 90\%$ ，排放因子获取全流程时长相较传统人工方式缩短 70% 以上；在京津冀地方政府、行业协会、重点企业 3 类单位分别开展示范应用 1 个，制定行业/团体标准 1 项。

3. 基于人工智能技术的温室气体精准追踪与智能溯源算法 1 套，覆盖 7 类主要温室气体（包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、HFCs、PFCs、 SF_6 和 NF_3 ），关键空间管控单元实现 200 m $\times$ 200 m 网格级或工厂点源级溯源，识别驱动排放的重点工厂及关键过程环节的准确率 $\geq 90\%$ 。

4. 经济社会环境综合模拟模型 1 套，至少涵盖用地-用水-技术-行为-设施-环境 6 类要素，覆盖全经济部门，涵盖 7 类主要温室气体（包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、HFCs、PFCs、 SF_6 和 NF_3 ），实现温室气体排放的长周期动态预测，模型基年结果与现实数据的偏差 $\leq 5\%$ ，预测周期覆盖 2025~2060 年。

5. 适配综合模拟模型的空间降尺度算法和多目标协同优化算法各 1 套，降尺度算法支持将行政单元级各类要素参数细化至

1 km×1 km 网格级和工厂点源级，空间匹配精度 $\geq 90\%$ ，煤电、钢铁、水泥、化工、有色等行业的厂级数据产能覆盖率 $\geq 95\%$ ；多目标协同优化算法支持温室气体减排、经济发展、成本控制和环境效益提升等不少于 10 类指标的协同优化，具备处理 10^9 量级决策变量的求解能力。

6. 温室气体协同减排决策与绿色低碳发展路径高精度智能调控技术 1 套，内部集成综合模拟模型-空间降尺度算法-多目标优化算法，支持 35 种以上减排技术的协同评估，集成 25 余种政策管控措施，支持 1 km×1 km 网格级和工厂点源级调控，单次运行时间不超过 30 min；形成相关知识产权 3 项，制定京津冀温室气体排放高精度调控路线图 1 份，得到省级及以上相关管理部门采纳应用。

7. 以上模型自主知识产权 100%。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

7.6 京津冀河-湖-岸带多介质污染协同治理与生态系统增值技术

研究内容：

针对京津冀典型河-湖-岸带系统污染协同治理难度大、生态服务功能弱且价值转化途径不畅等系统性难题，构建多介质污染跨界面通量动态解析与生态账户，研发高频水动力扰动下多相态污染物（溶解态/颗粒态/胶体态 C、N、P）在河湖交汇区-水-沉积物-大气界面的原位同步监测技术，解析生物地球化学与水文过程的非线性耦合机制，开发融合碳汇固持、水质净化、生态健康、社会经济稳定发展的四维生态账户模型。研发节点污染负荷水-土-气-生协同阻断技术，开发基于水力优化-生态滤坝的污染负荷梯级削减技术，提升岸带截污能力；突破沉积物-水界面氧化还原调控技术，控制氮磷和底泥污染物释放，建立水生植被-微生物协同代谢网络，提升污染物降解效率。研究基于生态位调控的水生群落优化配置方案，开发高值生态服务系统，培育富碳型沉水植被与低累积经济物种，构建“净化-固碳-经济产出”复合功能系统。研究生态产业链多维度融合与增值技术，集成“水下森林-生态渔场-滨水文创”三圈层产业体，开发碳标签认证的生态渔产、低污染物水生蔬菜等高值产品，研发生态产业承载力评估模型。研究区域生态治理政策与市场化机制，研发生态资产智能交易平台并在京津冀开展验证与应用。

考核指标：

1. 水-沉积物-大气界面污染物（C、N、P）通量原位同步

监测技术 1 项，原位同步监测时空分辨率 $\leq 5 \text{ min}$ ，多介质同步误差 $\leq 12\%$ ；建立四维生态账户模型（碳汇-水质-生物多样性-社会经济）1 套，模型系统耦合度 $R^2 \geq 0.85$ 。

2. 节点污染负荷水-土-生协同阻断技术、水力优化-生态滤坝的污染负荷梯级削减技术各 1 项，关键节点（工业/农业汇流区）污染负荷削减率 $\geq 60\%$ ；沉积物-水界面氧化还原调控技术 1 项，底泥污染物释放量降低 $\geq 40\%$ ，河湖交汇区氮磷负荷削减率 $\geq 65\%$ ，沉积物-水界面氨氮通量抑制率 $\geq 45\%$ ，水体自净能力（以 COD 降解速率计）提升 $\geq 55\%$ 。

3. 基于生态位调控的水生群落优化配置方案 1 套、高值生态服务系统 1 套，培育富碳型沉水植被与低累积经济物种 ≥ 2 种，碳封存效率 $\geq 25 \text{ g C/m}^2 \cdot \text{d}$ ，碳汇增量 $\geq 2.5 \text{ t C/ha/yr}$ ，经济物种生产力 $\geq 8 \text{ t/ha/yr}$ ；底栖生物 Shannon-Wiener 指数提升至 ≥ 2.3 。

4. 生态产业链多维度融合与增值技术 1 项，碳标签认证生态产品（植物/作物、渔产、文创等） ≥ 3 类；生态产业承载力评估模型 1 项，模型系统耦合度 $R^2 \geq 0.85$ ；

5. 建立京津冀河-湖-岸带生态资产交易系统 1 项，在京津冀开展验证并在国际组织推广，平台年流通量 ≥ 300 万元，滨水文旅客流量增长 $\geq 30\%$ ，带动就业增长 $\geq 20\%$ ；验证区水质达标率 $\geq 90\%$ ，生态服务价值转化率 $\geq 10\%$ 。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

7.7 生态环境多智能体自适应治理引擎研发与应用

研究内容：

面向京津冀多场景协同治理需求，本项目构建生态环境多目标自适应治理引擎，实现典型场景下基于认知驱动的多智能体高效决策与执行。构建多智能体自主协同基座，实现智能体集群化任务处理与调度，具备协同机制优化、模型自学习与行为深度监测能力，设计短期、长期、元记忆层组成的三级存储模型，实现认知可解释、决策可信的自适应协同治理闭环；研究规则约束-思维链推理-人机交互协同的自适应智能审核算法，突破模型、过程、流、交换项四类核心基础数据的约束传播建模与结构化自校验、跨源数据交叉验证与异常检测、数据不确定性启发式交互触发等关键技术，开发国家碳强度因子数据辅助填报与智能审核智能体；研究多源异构线索数据智能融合与研判机理，突破跨模态语义精准对齐与动态知识图谱构建等关键技术，开发具备全域

线索自动感知、多源信息关联融合、智能研判与报告自主生成能力的生态环境保护督察智能体；研究企业环境信息依法披露多源数据的一致性交叉检验与差异溯源算法，建立校验算法的增量学习机制和持续优化体系，实现面向质检标准动态变化的校验规则热更新机制，构建质量对比、校验、追溯、复核、评分多智能体协同推理与可解释决策关键技术，开发企业环境信息依法披露数据审核智能体；研究多智能体动态协作与复杂推理算法，突破多模态数据智能标注、多层次智能图谱、跨模态多智能体协同调度等关键技术，开发水生态环境形势分析智能体；研究基于多模态知识更新的新化学物质信息智能补全与合规性检查算法，突破跨模态数据统一表征、多特征融合模态推理、可追溯透明式链条分析等技术，开发新化学物质申报审核智能体；研究企业生产、排污与能耗的实时联动分析算法，突破重污染天气应急涉气违法问题智能识别技术，开发京津冀重污染天气应急响应智能体；研究多模态环境应急数据融合生成式映射模型及环境应急方案生成算法，突破环境应急跨模态内容智能生成技术，开发京津冀区域一体化环境应急处置智能体。

考核指标：

1. 在多智能体协同模式下，领域任务完成质量相比单智能体提升 $\geq 15\%$ ，协同任务整体完成率 $\geq 70\%$ ，单轮交互响应时间

≤10 s；外部工具调用成功率 ≥80%，系统指令遵循准确率 ≥90%，实现跨场景工具的稳定调用与执行；规划能力优化后任务解决成功率提升 ≥20%，动作选择准确率提升 ≥30%；多智能体异常协同行为抑制率 ≥80%，系统故障恢复时间达到秒级，保障运行过程的高可用性；多智能体跨场景知识检索准确率 ≥90%；支持 ≥20 个并发智能体协同运行。

2. 研发国家碳强度因子数据辅助填报与智能审核智能体算法 1 套，并在国家对应业务系统中部署应用；实现碳强度因子核心基础数据智能辅助填报，基于约束传播建模的数据结构合规性自动检出率 ≥95%，智能辅助填报准确率 ≥90%，支持 ≥1000 条数据的并行辅助填报，系统响应时间 ≤5 s；实现碳强度因子核心基础数据质量的智能审核，上下文逻辑错误检出率 ≥90%，基于跨源数据交叉验证的数值异常检出率 ≥85%，审核时长较人工缩短 ≥75%；实现基于数据不确定性启发式触发的主动人机交互，人工反馈写回全局状态平均延迟 ≤30 s，高不确定性数据情景的主动交互触发率 ≥95%。

3. 研发生态环境保护督察智能体算法 1 套；提升生态环保督察线索覆盖度 ≥89%，线索采集效率提升 100%，违法违规定性准确率 ≥92%，线索报告生成时长平均缩短 80%以上，跨模态语义对齐准确率 ≥95%。

4. 研发企业环境信息依法披露数据审核智能体算法 1 套；实现多源数据一致性交叉检验与差异溯源，文本与表格语义逻辑一致性检出率 $\geq 90\%$ ，跨源差异溯源准确率 $\geq 85\%$ ；实现增量学习与持续优化，算法迭代周期 ≤ 1 周；实现质检标准动态适应，规则热更新机制支持新标准发布后 ≤ 3 天内完成校验规则自动扩展与上线，规则更新后的检出率稳定在 $\geq 90\%$ ；实现多智能体协同审核，覆盖质量对比、校验、追溯、复核、评分等全过程，协同任务流转延迟 ≤ 10 s，单篇文档的审核时长较人工缩短 $\geq 80\%$ ，机器审核时间 ≤ 30 s。

5. 研发水生态环境形势分析智能体算法 1 套，并在部委水生态环境信息化管理系统中部署应用；研发形成水生态环境高质量数据集 1 个，形成格式要求、质量评测等技术文件 ≥ 2 个；多应用场景下智能标注准确率 $\geq 80\%$ ；基于“分解代理-多源检索代理-决策代理”模式的协同推理准确率 $\geq 80\%$ ；单水体形势分析逻辑推理、协同计算响应时间 ≤ 15 s。

6. 研发新化学物质申报审核智能体算法 1 套，并在部委新化学物质管理信息系统中部署应用；实现新化学物质智能申报，基于跨模态数据统一表征技术，形成向量化的现有化学物质特性数据库 1 套，数据 ≥ 5 万条，申报时长较传统缩短 $\geq 25\%$ ；实现新化学物质智能审核，多特征融合模态推理的检索召回率 $\geq 85\%$ ，

可追溯透明式链条分析解释依据准确率 $\geq 90\%$ ，审核时长较传统缩短 $\geq 30\%$ 。

7. 研发京津冀重污染天气应急响应智能体算法 1 套，包括大型企业“生产工况-电力消耗-废气排放”重污染违法行为智能识别技术模型，未落实情况识别准确率提升至 60%，模型识别速度提升 20%；中小企业“生产工况-电力消耗”重污染违法行为智能识别技术模型，未落实情况识别准确率提升至 60%。

8. 研发典型突发环境事件应急智能体算法 1 套，并在部委环境应急指挥系统部署应用；支持 ≥ 3 类典型突发环境事件场景任务；实现自动生成突发环境事件应急处置方案、应急监测方案 and 环境影响报告关键内容，关键内容智能生成率 $\geq 60\%$ ，智能体生成方案错误率 $\leq 10\%$ ；报告编制总时间从传统大于 1 天缩短至 ≤ 6 h。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 2 年。

7.8 京津冀生态环境知识基座协同智能构建技术与应用研究

研究内容：

面向京津冀生态环境现代化治理对知识基座的迫切需求，研究突破京津冀跨层级、跨领域、跨要素的生态环境知识基座协同智能构建关键技术，建立协同智能平台并开展应用。针对复杂生态环境知识体系不完整、知识碎片化等问题，研究设计系统、完整且多层次的生态环境领域知识体系，建立生态环境领域本体，对生态环境领域核心概念及其属性、关系进行形式化表达，突破基于大模型知识体系引导下的生态环境领域本体更新补全技术，以及本体约束下的海量知识实例三元组自动识别与生成技术，构建形成高质量的生态环境领域知识图谱，并开展评估验证；针对基于多模态数据的生态环境知识抽取效率低的问题，全面解构多模态数据类型和特征，基于计算机视觉、自然语言处理、领域知识建模与人机交互技术，研发多模态生态环境数据自动化标注以及知识智能化抽取技术，开发智能化标注与抽取系统，为生态环境知识基座建设提供高效、精准的知识抽取技术支撑；针对国家-省-市等多层级知识和异构知识的整合集成需求，研究跨层级知识协同更新技术、多模态生态环境知识向量化方法及知识对齐融合技术，形成跨层级知识的高效协同更新和统一时空与语义的生态环境知识向量库；面向超大规模知识管理与高效服务的需求，研究基于分布式架构的子图关联存储与局部更新管理技术、向量检索引擎技术，基于知识图谱路径嵌入的多跳推理增强检索技术，

提升超大规模知识存储管理与检索应用效率；面向京津冀跨层级、跨领域、跨要素知识服务需求，研发生态环境知识基座协同智能构建与应用服务平台，制定跨层次知识协同构建与管理应用规范，推动跨层次的知识协同构建，建设形成覆盖大气、水、土壤、生态、工业污染源全过程控制等生态环境高质量数据集，服务生态环境垂直领域大模型构建，为京津冀生态环境智能化应用提供关键支撑。

考核指标：

1. 高质量生态环境领域知识图谱 1 套，涵盖大气、水、土壤、生态、工业污染源，以及对应的法律法规、标准规范等内容，三元组规模 > 5000 万；生态环境本体更新算法 1 套，概念、属性及关系类型更新准确率 > 80%；生态环境知识图谱自动化构建技术 1 套，三元组准确率 > 85%，形成基于知识图谱的生态环境大数据治理、生态环境风险预测预警、工业污染源全过程控制等典型应用技术体系。

2. 生态环境智能化标注与知识抽取系统 1 个，具备图片、影像、文字、视频和音频等多模态数据标注能力，标注数据量不少于 5 万个，相比传统人工标注效率提升 90%，跨模态一致率 > 90%，专家修正率 < 10%；不同模态知识的抽取准确率 > 80%。

3. 跨层次知识协同更新与生态环境异构知识向量化对齐融

合算法 1 套，实现“国家-省-市”不同层次多用户群体进行知识的在线协同创建与更新，并发协同用户不少于 2000 个，支持协同构建的知识版本控制与演化追溯，跨层级知识基座协同构建数据同步延迟 ≤ 3 min，跨模态生态环境知识对齐精度 $> 80\%$ 。

4. 超大规模生态环境知识存储与高效检索技术 1 套，知识基座最大支持实体规模 ≥ 1 亿级实体，亿级索引构建时间 ≤ 6 h，检索准确率 $> 80\%$ ，检索延迟 ≤ 900 ms，跨库联合检索延迟 ≤ 1500 ms，多跳推理准确率 $> 70\%$ ，支持跨模态图文语义检索，图文匹配准确率 $\geq 80\%$ 。

5. 生态环境知识协同智能构建与应用服务平台 1 个，具备多源、多模态生态环境语料汇聚清洗、自动化标注、本体协同构建、知识自动抽取、知识图谱检索可视化、知识推理与智能问答等功能；高质量知识涵盖生态环境领域专业问答对和思维链不少于 1000 万对；编制知识基座语料清洗与标注、本体与知识图谱协同构建技术规范 2 项，并通过行业标准立项批复；在京津冀生态环境部门开展生态环境知识图谱协同构建，以及基于知识图谱的京津冀生态环境大数据治理、生态环境风险预测预警、工业污染源全过程控制等典型应用与验证。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政

经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 2 年。

7.9 珍珠项目群：京津冀二次细颗粒物污染关键过程感知与溯源新技术

当前京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 污染形势依然严峻，污染治理进入深水区，以硝酸盐和有机气溶胶为代表的二次细颗粒物成为控制的重点和难点。本珍珠项目群下设 10 个珍珠项目，拟在京津冀选择典型站点，开展与二次细颗粒物污染密切相关的大气硝酸盐、黑碳、有机气溶胶、总自由基、毒性组分等重要对象的长期协同监测，发展黑碳精准测量新方法，开发硝酸盐全生命期溯源技术，研发有机气溶胶分子水平识别技术，探究大气边界层粒子成核机制，明晰气态污染物在颗粒物界面转化过程，量化颗粒物组分与毒性效应的响应关系，研发大气有机复杂体系全生命期多相耦合演化评估技术，发展细颗粒物关键组分垂直与区域传输量化技术以及多尺度大气物理过程对京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 污染演化贡献的量化解耦技术，形成相关技术规范，为京津冀大气 $\text{PM}_{2.5}$ 污染控制和健康效应改善提供科技支撑。

7.9.1 大气边界层二次粒子成核过程感知及前体物靶向调控新技术

研究内容：

针对大气不同高度新粒子形成的物理化学机制和环境影响不清这一关键科学问题，研发京津冀特大城市群大气边界层内不同高度的新粒子成核过程感知及前体物靶向调控技术。在京津冀地区同步开展近地面和边界层顶部附近新粒子生成和增长过程的观测，探究不同温压湿和前体物条件下的成核速率变化特征和成核化学机制，识别驱动边界层内新粒子粒径增长的关键前体物；开展实验室可控体系模拟，研究不同大气条件下多组分成核和粒径增长机制，识别成核和粒径增长过程中的关键分子和分子团簇，揭示酸-碱成核体系中不同碱性物种和有机物的化学行为，探明多种成核前体物之间的化学协同和竞争机制；基于电子尺度深度学习模型，发展适用于多种前体物成核体系的机器学习技术，建立能同时描述分子物理聚集和化学反应的新粒子成核机制高效模拟方案，构建多前体物新粒子成核速率百万级数据库，研发基于纳米颗粒物存活度的新粒子增长模型，量化评估边界层内新粒子形成对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的贡献，提出前体物靶向调控策略。

考核指标：

1. 在京津冀地区近地面和边界层上部各布设一个以上站点开展新粒子生成过程观测（低处站点的布设高度 $< 20\text{ m}$ ，垂直方向上的高处站点布设高度 $\geq 600\text{ m}$ ），总观测周期 ≥ 2 个月，覆盖至少 2 个季节；在线定量测量京津冀超大城市群大气边界层内酸

碱气体，测定高氧化态有机分子（HOMs），识别其分子组分 ≥ 200 种；近地面与边界层顶附近新粒子形成速率（ $J < 2 \text{ nm}$ ）的观测数据集 1 套（其中包含 ≥ 20 个典型个例）；最初增长（ $< 3 \text{ nm}$ ）阶段 HOMs 凝结过程的参数化方案 1 套，明确对新粒子粒径增长起关键作用的 HOMs 所对应的挥发性有机物前体物。

2. 近地面和边界层顶类似大气条件下新粒子形成速率（ $J < 2 \text{ nm}$ ）的实验室模拟数据集 1 套，揭示 ppt 浓度级别硫酸、硝酸、碘酸、甲磺酸与多元碱（有机胺：ppt 级别；氨气：ppb 级别）以及 HOMs 混合体系中成核速率的变化特征，量化酸-碱成核体系中不同碱性物种和 HOMs 的化学行为。

3. 基于电子尺度深度神经网络的临界核团簇高效筛选方法 1 套，实现分子物理聚集与化学反应耦合的成核过程高效模拟，三元（10 分子）临界核团簇筛选所需服务器核时缩减至 0.5 万以内；垂直方向复杂大气条件下的多前体物新粒子成核的理论模拟数据库 1 个，数据量在百万量级，并在开源网站共享；基于成核前体物和纳米颗粒物存活度的新粒子增长模型 1 套。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.9.2 京津冀大气细颗粒物界面光化学转化过程表征新技术 (青年科学家项目)

研究内容:

针对典型气体污染物 (NO_x 、 O_3 、 SO_2 和 VOCs) 在大气细颗粒物表面光化学转化路径和反应速率等关键信息缺乏的问题, 选取京津冀地区典型细颗粒物 (矿尘、黑碳和海盐气溶胶等), 开展气态污染物在典型细颗粒物界面的光化学转化过程研究。研发细颗粒物界面光化学高时间分辨原位表征技术, 实现关键中间体和产物的实时高精度识别, 解析不同条件下活性中间体的生消过程, 构建多条件下的产物分布数据库; 系统测量不同气态污染物在细颗粒物表面的光化学反应路径和速率常数, 研究复合气态污染物在颗粒物界面的光化学过程, 解析污染物间光化学竞争与协同作用对反应速率、产物分布和转化效率的影响, 构建覆盖光强、酸度、湿度等多种环境条件的界面光化学反应速率数据集; 研究界面光化学转化对颗粒物环境效应的影响, 分析大气颗粒物老化与气态污染物转化之间的反馈关系, 研发多路径耦合的界面光化学模型, 揭示细颗粒物界面光化学对空气质量的影响规律。

考核指标:

1. 气态污染物在单颗粒界面光化学反应原位表征技术体系 1 套, 涵盖沉积单颗粒与光、电悬浮单颗粒的表征方法, 粒径测

量分辨率 $\leq 10\text{ nm}$ 、时间分辨率达到秒级、湿度范围 0~99%、界面反应速率不确定性 $\leq 20\%$ ，实现颗粒物组分变化、粒径增长、光化学转化及界面反应动力学的动态解析。

2. 典型 VOCs 在颗粒物界面光化学反应中间体和产物光谱数据库（红外与拉曼）1 套，覆盖超过 80% 的产物种类，包含湿度 5~95% 和酸度 2~8 条件下的产物分布特征。

3. 结合单颗粒测量、流动管和烟雾箱实验，构建四类典型气体污染物（ NO_x 、 O_3 、 SO_2 和 VOCs）在三类典型颗粒物（矿尘、黑碳、海盐气溶胶）界面的光化学反应速率常数数据集 1 套，包含光化学耦合协同作用与主要环境因素（光强、湿度、酸度等）的影响。

4. 复合污染条件下、多路径耦合的细颗粒物界面光化学机理模型 1 套，适用于区域模拟的本地化参数化方案 1 套。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.9.3 大气硝酸盐全生命期转化机制的多同位素同步溯源新技术

研究内容：

针对京津冀区域大气二次硝酸盐颗粒物全生命周期溯源与化学生成转化机制不明问题，研发基于多同位素协同解析的大气硝酸盐来源与转化过程溯源技术。开发可满足高精度多同位素分析需求的同步采样和高效分离技术，建立覆盖关键前体物(NO_x)、氧化剂(O_3)、中间及转化产物(气态 HONO 、气态 HNO_3 、颗粒态 NO_3^-)的多同位素分析技术体系；在京津冀地区开展多时间尺度(季节-月-日-小时)氧化态氮组分及其多同位素联合观测，形成高时空分辨率数据集，量化燃煤、生物质、天然气、机动车和土壤等关键排放源及不同化学转化途径对大气硝酸盐的相对贡献，并将其用于通用空气质量模型的诊断与校验；研发可适配通用空气质量模型的全国产化硝酸盐多同位素溯源模块，将外场观测与实验室模拟获得的同位素分馏系数嵌入模型参数化方案，在京津冀开展应用评估。

考核指标：

1. 大气氧化态活性氮全组分(包括 NO_x 、 HONO 、 HNO_3 、 NO_3^-)同步采样技术 1 套，满足日-小时尺度的高时间分辨氮氧稳定同位素测试精度；全组分 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\Delta^{17}\text{O}$ 同位素比值测定的检出限降低 $\geq 30\%$ ， $\Delta^{17}\text{O}$ 测试精度优于 0.2‰ ， $\delta^{15}\text{N}$ 测试精度优于 0.2‰ 。
2. 在京津冀地区开展观测应用示范，设立监测点位 ≥ 4 个，

观测周期 ≥ 1 年，覆盖季节/月尺度，形成包含 NO_x 、 HONO 、 HNO_3 、 NO_3^- 质量浓度及其多同位素组成的综合数据集1套，覆盖雾、霾或沙尘等典型过程的小时尺度数据集1套；基于监测数据识别并量化燃煤、生物质、天然气、机动车和土壤排放及不同化学转化途径对大气硝酸盐的相对贡献，不确定性降低50%以上。

3. 适用于气固相分配中氮同位素分馏计算的采样装置1套；获得大气硝酸盐主要二次生成途径（包括 NO_3 与碳氢化合物、 N_2O_5 水解、 N_2O_5 与 HCl/Cl^- 反应）的同位素分馏系数；集成量子化学计算-同位素分馏-同位素混合的大气硝酸盐全生命周期同位素溯源算法1套；适应于京津冀地区燃煤、生物质、天然气、机动车和土壤等关键排放源的同位素源谱数据集1套。

4. 大气硝酸盐氮氧同位素溯源模型模块1个，实现代码100%国产化；排放-传输-化学转化一体化，并耦合同位素分馏系数的参数化方案1套；完成覆盖京津冀区域不少于1年的大气硝酸盐质量浓度及其同位素比值（ $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\Delta^{17}\text{O}$ ）的模拟，时间分辨覆盖季节、月以及典型污染事件，模拟偏差 $\leq 30\%$ ；实现硝酸盐质量浓度、来源及关键过程贡献定量模拟，准确度提升30%以上。

申报说明：

项目类型为前沿基础类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过3家，下设课题数不超过3个，实施周期不超过4年。

7.9.4 京津冀黑碳气溶胶多要素一体化感知与精准溯源新技术

研究内容：

针对黑碳气溶胶定量测量不确定性大、来源不清的难点问题，研发黑碳理化要素精准测量与感知溯源新技术。构建黑碳测量结果可靠性评估体系，揭示黑碳测量结果不确定性的主要来源与关键影响因素，研发适用于复杂排放源构成的黑碳测量方法，实现不同污染水平的膜样品中黑碳、有机碳的准确切分；构建黑碳气溶胶理化要素一体化感知技术体系，绘制黑碳气溶胶质量浓度与关键理化特性在污染演进过程中的动态变化图谱，揭示黑碳气溶胶对污染过程的驱动机制；构建黑碳气溶胶化学指纹库，提升 ^{14}C 技术方法体系的测量精度，建立碳同位素约束下的受体模型溯源方法，基于机器学习算法构建动态溯源模型，研发化学指纹、碳同位素、受体模型、机器学习等多技术融合的黑碳气溶胶精准溯源方法体系。

考核指标：

1. 适用于复杂排放源构成的黑碳气溶胶测量方法 1 套，与 ≥ 3 种国际主流方法开展比对，量化不同方法间黑碳定量结果换算关系；黑碳多原理测量结果融合技术 1 套，黑碳光吸收系数与

质量浓度换算因子数据集 1 套；在京津冀地区城市和港口各 1 个站点开展监测，观测时间 ≥ 1 年。

2. 黑碳气溶胶理化要素一体化感知技术规范（征求意见稿）1 份；京津冀地区黑碳浓度和理化参数的高分辨率数据集 1 套，其中理化参数涵盖光吸收系数、混合状态等，站点包括城市和港口各 1 个；时间分辨率达到小时，观测时长 ≥ 6 个月。

3. 融合化学指纹、碳同位素、受体模型、机器学习技术的黑碳溯源方法体系 1 套，其中化学指纹包括黑碳的焦炭与烟炱组成，黑碳 ^{14}C 的测量精度达到 $\leq 10\ \mu\text{g}$ 级别。

申报说明：

项目类型为前沿基础类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.9.5 京津冀大气有机气溶胶分子水平精细识别与溯源新技术

研究内容：

针对有机气溶胶分子组成信息时间分辨率低、精细溯源难度大、精准调控需求迫切等问题，开展京津冀大气有机气溶胶组成精细识别与溯源技术研究。研发有机气溶胶组分分子水平在线监测新技术与新装备，实现大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中重要有机组分（包括典型

一次和二次有机气溶胶源示踪物)的高时间分辨率定量表征;提出适用于大气有机气溶胶溯源的有机示踪物分子集,研发基于有机示踪分子的有机气溶胶溯源算法,以及基于有机气溶胶及其典型源示踪物在线监测数据,动态反映有机气溶胶来源,量化一次和二次来源的贡献比例;在京津冀典型城市和港口站点开展有机气溶胶分子水平识别与溯源应用,为构建区域性有机气溶胶业务化监测溯源网络提供科技支撑。

考核指标:

1. 有机气溶胶在线监测技术及装备 1 套,有机气溶胶在线监测时间分辨率 $\leq 2\text{ h}$,准确定量有机组分 ≥ 200 种,准确定量有机示踪物 ≥ 50 种;单个化合物检测限 $\leq 0.5\text{ ng/m}^3$;有机气溶胶示踪物在线定量结果与离线分析对比相对偏差 $\leq 20\%$;大气环境非靶向识别物种 ≥ 500 种,连续运行一周背景残留 $\leq 10\%$ 。

2. 有机气溶胶分子示踪物名录 1 套,覆盖重要一次有机气溶胶源(机动车、餐饮、燃煤、生物质燃烧、工业过程、船舶等)及其老化产物和二次有机气溶胶前体物(自然源挥发性有机物、芳香烃、挥发性化学品、中等/半挥发性有机物等)来源 ≥ 10 种。

3. 基于分子示踪物的有机气溶胶溯源技术 1 项,实现与在线观测同步的动态来源解析,时间分辨率 $\leq 2\text{ h}$;在京津冀典型城市和港口站点(各 1 个)开展有机气溶胶分子水平精细识别与

溯源应用，覆盖至少两个典型季节。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过3家，下设课题数不超过3个，实施周期不超过4年。

7.9.6 京津冀大气有机混合体系全生命期多相耦合演化及二次污染生成协同模拟技术（青年科学家项目）

研究内容：

针对当前空气质量模型中新有机物演化机理空白，多有机物、多氧化剂混合体系交互机理缺失，有机物不同相态化学机制相互脱节且不完整的关键技术瓶颈，研发大气有机混合物体系全生命期多相耦合演化及二次污染生成协同模拟技术。开展近实际大气浓度下多种传统及新有机物、多氧化剂和氮氧化物、硫氧化物共存的多相化学烟雾箱模拟，实现宽氧化度区间内关键中间体和产物的定量分子解析，揭示不同反应路径及环境参数对特征产物生成的影响机制，开展京津冀典型地点大气多相有机分子组成的立体观测和非靶向分析；解析大气有机混合物体系全生命期多相态分子级演化机制，表征气-粒-液相耦合下，多前体物-多氧化剂的反应链条交互，并实现碳-氮-硫元素的显式闭环跟踪；开展区域大气有机混合物体系多相耦合模拟并与外场观测对比验证，揭

示区域大气有机混合物体系多相演化对关键中间产物、臭氧、二次有机气溶胶的协同影响，为京津冀综合空气质量改善提供差异化有机物调控方案。

考核指标：

1. ppb 级浓度的单一和多氧化剂、多有机/无机前体物共存的烟雾箱模拟技术 1 套，包括 ≥ 4 类关键人为源（交通、工业、生活源等）和天然源挥发性有机物， ≥ 8 种有机物种及其混合体系（苯、甲苯、异戊二烯、硅氧烷、萜烯类等），等效氧化暴露时间 ≥ 7 天；氧化产物及多前体物交叉产物非靶向表征技术 1 套，实现 ≥ 100 种关键产物挥发性测量，量化交叉产物在二次有机气溶胶中占比；在京津冀 ≥ 2 个典型地点开展冬、夏季大气臭氧、氮氧化物、挥发性有机物和颗粒物组分外场立体观测，观测时长 > 60 天，识别挥发性有机物（包含烷烃、烯烃、苯系物、含氧挥发性有机物） ≥ 50 种，颗粒物组分非靶向识别 ≥ 100 种。

2. 大气有机混合物体系全生命期多相态分子级演化机制 1 套，涵盖苯、甲苯、异戊二烯、硅氧烷、萜烯类等有机物种及其混合物体系的全生命期分子级反应链条，满足碳-氮-硫质量守恒；可应用于箱式和区域空气质量模型的大气有机混合物体系多相化学耦合模块 1 套，箱式模拟关键分子浓度与实验对比的归一化平均偏差 $\leq 30\%$ 。

3. 大气有机混合物多相化学耦合模块接入本专项研发的通用空气质量模型，实现区域大气有机混合物体系多相耦合模拟和观测对比验证，接入新模块后氮氧化物、苯、甲苯、异戊二烯等一次污染物月均模拟误差在 20%以内，不低于 10 种关键有机产物（甲醛、乙二醛、甲基乙二醛、有机硝酸酯类等）月均模拟误差在 50%以内，二次有机气溶胶月均模拟误差在 30%以内。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.9.7 大气总自由基在线精准测量新技术

研究内容：

针对大气总活性氧自由基（ $RO_x=OH+HO_2+RO_2$ ）在线精准测量的需求，开展 RO_x 在线检测技术研发与观测示范。开发 RO_2 向 HO_2 高效转化技术，研制 RO_x 在线测量系统，解决现有技术对 RO_x 测量显著低估等问题；开发 RO_x 可靠标定技术，显著降低现有化学光度计法对 RO_x 标定定值的不确定性；利用研制的 RO_x 在线测量系统在京津冀典型城市和农村背景地区开展四季对比观测示范研究，揭示 RO_x 对臭氧和二次气溶胶形成的关键作用。

考核指标:

1. RO_x 在线测量系统 1 套, 实现大气 RO_x 总浓度测量, RO_x 检测限 ≤ 0.5 ppt, 测量不确定性 $\leq \pm 20\%$, 所测结果可代表 $\geq 95\%$ 的 RO_x 浓度水平 (与模拟结果对比)。其中, RO_2 转化为 HO_2 的产率 $> 90\%$, 化学放大反应链长 > 200 , 链传递试剂-高纯 CO 用量 ≤ 80 L/天; NO_2 检测限 ≤ 3 ppt, O_3 和 H_2O_2 对 NO_2 检测干扰 $\leq 5\%$, 测量不确定性 $\leq \pm 10\%$, 稳定响应时间 ≤ 2 min。

2. RO_x 可靠标定技术 1 套, 其中 RO_x 标定定值不确定性 $\leq \pm 10\%$ 。

3. 至少包括京津冀地区城市和农村背景站点的大气中 RO_x 、 O_3 、 HONO 、 H_2O_2 、 PAN 、 NO_x 、 VOCs 观测数据集, 每个站点观测数据集覆盖四个季节, 每个季节观测时间 ≥ 1 个月, 数据有效率 $> 90\%$, 量化不同站点不同季节 RO_x 对臭氧和二次气溶胶形成的贡献。

申报说明:

项目类型为基础前沿类, 以中央财政经费支持为主, 承担单位不超过 3 家, 下设课题数不超过 3 个, 实施周期不超过 4 年。

7.9.8 京津冀大气细颗粒物组分毒性效应定量评估与溯源新技术

研究内容：

针对 PM_{2.5} 毒性溯源技术缺乏问题，开展关键毒性组分有效识别和在线监测研究。发展 PM_{2.5} 毒性组分监测识别与量化技术，构建不同季节京津冀区域 PM_{2.5} 组分谱，评估关键组分的氧化潜势（OP）和细胞毒性，基于多种机器学习方法筛选 PM_{2.5} 关键毒性组分及特征标记物；研发 PM_{2.5} 毒性在线监测技术，开发自动化微流控检测模块，研制 PM_{2.5} 的 OP 高灵敏在线分析仪，研制呼吸道细胞在线暴露和毒性响应系统，动态量化 PM_{2.5} 暴露诱导的胞内活性氧（ROS）；发展毒性组分快速检测与溯源技术，研制便携式高通量的毒性组分及标记物检测设备，建立针对重金属、醌类等关键毒性组分的快速分析方法，形成大气 PM_{2.5} 关键组分、OP 和 ROS 时空数据集，开发基于特征组分及来源标记物的 PM_{2.5} 毒性溯源技术，解析 PM_{2.5} 毒性组分和毒性效应主要来源。

考核指标：

1. PM_{2.5} 毒性贡献量化与成分溯源技术 1 套，实现 PM_{2.5} 全组分总体毒性测量；京津冀大气 PM_{2.5} 毒性相关组分数据库 1 个，样品数量 ≥ 500 个，站点数量 ≥ 3 个、覆盖全部四个季节，识别组分均 ≥ 100 个并追溯其来源。

2. 基于细胞暴露和化学法的 PM_{2.5} 毒性在线监测系统各 1 套，基于细胞暴露的 ROS 监测系统细胞活性维持 ≥ 85%，毒性响应

时间 ≤ 60 min; 基于化学法的 $\text{PM}_{2.5}$ OP 监测仪二硫苏糖醇 (DTT) 响应速率检测限 ≤ 0.1 nmol/min/ m^3 , 毒性响应时间 ≤ 15 min。

3. $\text{PM}_{2.5}$ 毒性组分高通量便携式检测系统 1 套, 具备多通道快速检测能力, 单次检测样品数量 ≥ 50 个, 单样品检测速度 ≤ 1 min, 平行检测误差 $\leq 10\%$; 针对关键毒性组分重金属和醌类等关键毒性组分的分析技术 1 套, 可检测组分 ≥ 8 种。

申报说明:

项目类型为基础前沿类, 以中央财政经费支持为主, 承担单位不超过 3 家, 下设课题数不超过 3 个, 实施周期不超过 4 年。

7.9.9 京津冀大气细颗粒物关键组分垂直分布探测与传输量化技术

研究内容:

针对大气细颗粒物关键组分垂直分布规律认知不足和高精度立体探测技术缺乏问题, 构建多平台协同的垂直探测与传输量化技术体系, 揭示京津冀地区细颗粒物关键组分三维分布和传输规律。研发适用于多种激光雷达的黑碳气溶胶识别算法, 在京津冀典型城市依托超高层建筑物构建区域协同垂直探测平台, 开展 3 千米高度范围内黑碳、有机气溶胶等大气细颗粒物关键组分垂直分布测量; 构建基于物理约束和机器学习的多平台观测数据同

化算法，建立城市-区域-港口三维传输通道识别方法，研发物理与智能融合的污染源垂直贡献解析技术；建立不同稳定度条件下三维传输与气象要素的定量耦合模型，量化京津冀山前平原地形、海陆风环流等典型背景环境对大气细颗粒物关键组分垂直分布和垂直扩散的贡献。

考核指标：

1. 适用于 3 种以上激光雷达的黑碳识别与消光系数定量反演算法 1 套，黑碳消光系数廓线反演精度 $\geq 80\%$ ，3 km 高度范围内黑碳质量浓度垂直廓线识别精度 $\geq 80\%$ 。

2. 在京津冀地区典型城市布设协同垂直探测站点 ≥ 2 个（包括城市高层建筑和铁塔等），实现黑碳、有机物等污染物垂直廓线同步识别；开展城市边界层黑碳、有机气溶胶等关键组分质量浓度、数浓度、粒径分布及混合状态的垂直剖面原位、实时、同步探测，垂直分辨率 ≤ 30 m，时间分辨率 ≤ 15 min，测量误差 $< 20\%$ ，连续观测数据时长 ≥ 6 个月；大气细颗粒物关键组分协同垂直探测技术规范（征求意见稿）1 项。

3. 京津冀地区城市-区域-港口传输通道识别准确率 $\geq 80\%$ ，垂直传输贡献定量化相对误差 $< 25\%$ ，源解析因子识别准确率 $\geq 80\%$ ，污染源垂直贡献解析不确定性 $< 20\%$ 。

4. 不同稳定度条件下大气细颗粒物三维传输与气象要素的

定量耦合模型 1 个，空间分辨率 $\geq 1 \text{ km}$ ，可量化识别京津冀典型大气环境（含山前平原地形、海陆风环流）和复杂天气过程（含极端静稳、强风、深对流）对大气细颗粒物关键组分垂直分布和垂直扩散的贡献。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.9.10 多尺度大气物理过程对京津冀地区大气污染演化贡献的量化解耦技术

研究内容：

针对区域大气污染演化过程受多尺度大气物理复合过程影响、各类复杂过程相对贡献难以量化的关键问题，发展数据与机制融合驱动的多尺度大气物理过程贡献量化解耦技术，快速量化多尺度大气物理过程对京津冀地区区域和城市大气污染演化过程的贡献。量化主要环流模态在季节-月尺度上对区域污染物输送通道和大气环境容量的调制作用，识别影响污染长期变化的“前期信号”；研究不同天气系统（如高压脊、低压槽、锋面、静稳天气等）对污染物区域性输送、清除等作用，通过发展解耦技术，精准剥离各类天气过程在周-日尺度上对污染过程演变的

相对贡献；解析大气边界层结构及其逐时演化（如混合层发展、夜间稳定边界层、低空急流等）对污染物垂直扩散和水平输送的影响，量化边界层发展在日-小时尺度上对城市和区域污染物浓度快速变化的具体贡献，揭示重污染期间污染物在边界层内的累积与爆发机制，提出在不同地域和时段精准削减前体物排放和调控污染的科学方案。

考核指标：

1. 多尺度大气物理过程对大气污染演化贡献的量化解耦技术 1 套，可量化气候、天气过程、边界层发展等过程对大气 $\text{PM}_{2.5}$ 主要组分浓度时空变化的贡献，空间分辨率到城市，时间分辨率可自适应不同物理过程的时间尺度，最高到小时；模型具备近实时量化计算能力，单次区域污染过程量化解耦的计算速度 $< 1 \text{ min}$ ，可同步解耦 10 种以上不同尺度大气物理过程的贡献。

2. 气候尺度大气环流影响归因模型 1 套，可识别并量化东亚季风、ENSO 等大尺度环流模态对区域 $\text{PM}_{2.5}$ 季节及年际变化的贡献，模型量化的贡献率与物理模拟方法结果相差 $< 20\%$ 。

3. 天气尺度重污染过程诊断分析系统 1 套，对于静稳高压、槽前辐合等关键天气类型的客观识别准确率优于 90% ；对单次重污染过程中不同天气过程的相对贡献定量评估综合误差 $< 25\%$ 。

4. 边界层物理过程对大气污染演化贡献定量评估方法 1 套，

可量化边界层相关过程（如夜间稳定边界层、低空急流等）对城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化特征的贡献；对近地面 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度增长的相对贡献率评估与物理模型模拟偏差 $< 30\%$ ；针对 2015~2025 年间京津冀地区大气污染过程的量化解耦分析数据集 1 套，包含污染过程解耦案例 > 100 个。

申报说明：

项目类型为前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.10 珍珠项目群：多介质环境过程与治理技术及装备研究

本珍珠项目群聚焦气、水、土、固等多介质环境过程，旨在突破多介质精准感知与模拟、绿色高效治理等技术瓶颈，研发多介质环境治理与资源利用技术及装备，推动环境治理技术创新与产业升级。下设 10 个珍珠项目，为京津冀环境系统治理提供基础科技支撑。

7.10.1 京津冀饮用水源地胁迫毒性污染物高通量筛查鉴定关键技术研究与应用

研究内容：

针对饮用水源地内分泌干扰物与藻源污染物识别难、缺乏预警技术手段等问题，建立化学源内分泌干扰物高通量高准确率鉴

定方法，开发与核受体蛋白结构一致的阴性对照蛋白，研制匹配内分泌干扰物高通量鉴定需求的自动化水样采集-富集-加样预处理装备；开发藻源污染物及其合成功能基因的监测预警技术，建立融合系统发育基因与功能基因的藻源污染物高通量精准识别方法；研制“样品采集-DNA 提取-功能基因定量分析”一体化藻源污染物在线监测预警设备与“单细胞核酸制备-双基因融合”藻源污染物快速溯源设备；在京津冀典型饮用水源地开展应用验证。

考核指标：

1. 耦合高分辨液相质谱非靶向筛查与核受体蛋白纳米材料的内分泌干扰物筛查技术 1 套，覆盖 ≥ 3 类内分泌干扰物，单次筛查可识别 ≥ 50 种活性成分，准确率 $> 90\%$ ；一体化自动采样-富集-加样装备 1 套，单批处理 ≥ 5 个样品，耗时 < 2 h。

2. 样品采集-DNA 提取-功能基因定量分析一体化藻源污染物在线监测预警设备 1 套，覆盖 ≥ 3 种藻源污染物全自动采样及定量检测，单样品检测时间 < 4 h，可提前 3 天实现藻源污染物预警。

3. 单细胞核酸制备-双基因融合藻源污染物快速溯源设备 1 套，覆盖 ≥ 3 种藻源污染物，检测灵敏度 $\geq 1\%$ （产生来源相对丰度），溯源准确率 $\geq 95\%$ 。

4. 在京津冀地区不少于 1 个典型饮用水源地,开展不少于 1 年的藻源污染物在线监测预警应用验证;在京津冀地区 ≥ 10 个典型饮用水源地开展藻源污染物快速溯源与内分泌干扰物非靶向筛查应用验证;示范区藻源污染物识别结果 1 份、内分泌干扰物清单 1 份,包含 ≥ 3 种藻源污染物和 3 类内分泌干扰物的浓度水平与季节性变化,制定被京津冀区域内省部级及以上生态环境主管部门采纳的相关标准或技术指南 1 项。

申报说明:

本项目实行总承包单位负责制,项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类,以企业牵头组织申报,采用事前立项事后补助方式,其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1,承担单位不超过 3 家,下设课题数不超过 3 个,实施周期不超过 3 年。

7.10.2 基于厌氧氨氧化的半导体废水高效循环利用与污染控制技术研究

研究内容:

针对半导体废水具有高浓度氨氮和高 pH 值特征、含有特定化学品及重金属离子、缺乏微生物生长所必需的无机碳源、磷源和微量元素等抑制性与营养失衡问题,开展基于厌氧氨氧化的半

导体废水高效循环利用与污染控制技术研发与集成示范。研究基于厌氧氨氧化的碳氮污染物低碳去除关键技术，探究微生物增殖与活性激发所必须的营养元素，并形成半导体寡营养废水定制化“食谱”，开发复杂生态系统下微生物菌群定向调控方法，构建基于厌氧氨氧化的半导体废水高效深度脱氮工艺，筛选具有降解复杂有机物等特殊功能的微生物，构建基于微生物介导与强化的物化生化耦合除碳工艺；研究基于厌氧氨氧化的半导体废水处理配套装备与控制系统，研制均匀可调控水系统实现高氨氮和碱度的抗抑制快速均质化，研制高亲和性快速富集厌氧氨氧化菌的专性生物载体组件，研制厌氧氨氧化聚集体持留分选装置实现厌氧氨氧化菌的高丰度富集，构建基于进水水质波动条件下的智能控制系统；研究基于厌氧氨氧化的半导体废水高效循环利用集成技术，构建基于厌氧氨氧化高效脱氮耦合生物强化除碳与物理过滤的集成工艺，配备核心装备与智控系统，建成芯片等半导体废水处理与循环利用生产性示范工程。

考核指标：

1. 开发基于厌氧氨氧化的半导体废水定制化“食谱”和微生物菌群定向调控方法，脱氮效率 $\geq 0.25 \text{ kgN}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ，提升脱氮效率 80%以上，基于微生物介导与强化的物化生化耦合除碳工艺难降解有机物去除率 $\geq 60\%$ 。

2. 研制避免高氨氮和高 pH 抑制的均匀可调控水系统 1 套, pH 的空间变异系数 $\leq 1\%$; 研制专性生物载体组件 1 套, 厌氧氨氧化菌的绝对丰度 $\geq 1.0 \times 10^{11}$ copies/g VSS, 相对丰度 $\geq 30\%$; 菌体滞留分选装置 1 套, 200 μm 以上颗粒菌种滞留率 $\geq 95\%$; 搭建基于进水水质波动条件下的智能控制系统, 实现厌氧氨氧化系统平均总氮去除率 $\geq 80\%$ 。

3. 建成或改造芯片产业高氨氮废水厌氧氨氧化技术示范工程 1 项, 处理规模 ≥ 50 t/d, 厌氧氨氧化脱氮负荷 ≥ 0.6 kg N/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$); 脱氮电耗降低 50% 以上, 碳源投加量与剩余污泥产量降低 80% 以上, 直接处理成本 ≤ 12 元/吨, 与现有技术相比降低 50% 以上, 制定厌氧氨氧化技术相关标准 1 项。

申报说明:

项目类型为重大共性关键技术类, 其他来源资金与中央财政资金比例不低于 1:1, 承担单位不超过 3 家, 下设课题数不超过 3 个, 实施周期不超过 3 年。

7.10.3 工业废水高通量、长耐受盐水分离膜研制与应用 (青年科学家项目)

研究内容:

针对京津冀地区产业差异大与工业区典型高盐废水组分复

杂,选择性高效去除难度大、现有处理工艺能耗高且分离效率低、操作流程复杂及投资建设规模庞大等难题,开发耐盐、耐酸碱、耐腐蚀、耐高温、耐冲击且具有选择性高、通量大的埃米级精准筛分新型碳基功能复合膜材料;研发复合膜组件低压纳滤/埃米分离/高效去除的多级筛分技术;开展满足多场景需求的新型碳基功能复合膜材料的批量制备并研发配套的模块智能化装备,形成典型高盐废水精准分离场景的技术集成与应用示范。

考核指标:

1. 在连续高压长期运行超过 600 h 后,膜材料性能衰减 < 10%,膜材料污染恢复率 > 95%;膜筛分精度 0.1~0.3 nm,实现埃米级分离;可在 pH 值 1~14 的宽范围内稳定工作,且适用于盐浓度在 10000 mg/L 以上。

2. 复合膜组件低压纳滤/埃米分离/高效去除的多级筛分技术运行压力 < 0.5 MPa,膜通量 > 30 L/(m²·h),分离精度多价离子去除率 > 95%,总有机碳 (TOC) 去除率 > 90%。

3. 典型工业高盐废水精准分离场景的技术集成处理规模 ≥ 12000 t/d,膜组件运行维护清洗周期 ≥ 1 个月,超过 1 年免离线清洗,系统能效与回收率中综合吨水能耗 ≤ 35 kWh/m³,按 0.65 元/度电价算处理成本低于 22.7 元/m³,综合回收率 ≥ 90%,产水水质 TDS ≤ 400 mg/L, COD ≤ 30 mg/L,电导率 ≤ 800 μS/cm,产

品盐回收率 $\geq 85\%$ ，产品盐质量符合《工业盐》(GB/T 5462-2015) 二级标准，制定高盐废水处理及资源化行业标准 1 套。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政资金比例不低于 3:1，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.10.4 污泥土地利用有毒有害物质风险因子及溯源管控技术

研究内容：

针对制约污水污泥土地利用的有毒有害物质（重金属、持久性有机物、病原微生物等）来源不明、污水污泥处理过程转化机制不清等行业痛点，系统梳理影响污泥土地安全利用的风险因子、表征指标及测试方法（含水相、泥相），构建涵盖多类型有毒有害化学物质的风险因子清单及表征指标体系；梳理污泥土地利用的处理技术路线，研究不同技术路线和工艺控制条件下的有毒有害物质形态演变机制及转化去除效果，绘制不同类型有毒有害物质在污泥处理工艺过程中的形态演变路径图；研究污水中有毒有害物质在多元处理工艺链条上的定向迁移、形态转化与负荷削减机理，构建污水处理全流程有毒有害物质演变基础数据库；研究

污水污泥处理过程外加药剂、菌剂等所导致的土地利用有毒有害物质、土壤粘滞板结类物质迁移转化机制，构建土地利用有毒有害物质、粘滞板结类物质的环境风险阈值及预测模型，实现对投加药剂、菌剂环境风险的定量预测和管控；研究不同来源污水中有毒有害物质在污水污泥处理过程中的形态演替及去除路径，构建污水源头有毒有害物质与污泥风险因子的定量关联模型，形成有毒有害风险因子源头管控清单；研究“源头排入-污水处理-污泥处理”全过程土地利用有毒有害风险因子演替及迁移转化机制，构建基于不同水质特征及处理工艺的土地利用有毒有害风险因子数据库，形成适合京津冀地区的污泥土地利用有毒有害物质风险因子从源头至污水污泥处理全链条溯源及整体管控技术策略，为实现污泥土地安全利用提供基础支撑。

考核指标：

1. 研发京津冀区域污水污泥有毒有害物质分类筛查与溯源解析技术，构建涵盖重金属、有机污染物、病原微生物，以及土壤板结类药剂等污水污泥土地利用风险因子清单及指标体系。
2. 绘制 ≥ 5 种代表性有毒有害物质在污水收集、处理、污泥处理（土地利用类工艺技术）过程的形态演变路径图谱。
3. 研发污水处理、污泥处理等过程常用化学药剂的风险阈值曲线及预测模型，预测精度 $\geq 80\%$ 。

4. 建立污泥土地利用处理工程及其上游污水厂至少 1 个，管网节点（居民生活、商业活动、洗车或维修、餐饮服务、工业等）的土地利用风险因子数据库 ≥ 4 类。

5. 建立 ≥ 5 种不同来源、不同种类污水污泥处理常用药剂的有毒有害物质基础数据子库，以及常用药剂有毒有害物质在污水污泥土地利用处理工艺单元中的演变数据子库。

6. 形成不同来源生活污水以及污水污泥处理工艺的有毒有害物质风险因子去除路径及源头管控清单 ≥ 5 种。

7. 形成行业政策研究报告和建议 ≥ 2 份，得到省级及以上管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为前沿类，以企业牵头组织申报，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 3 年。

7.10.5 岩体裂隙系统数值再现与离散裂隙-连续孔隙介质污染物迁移耦合数值模拟系统研究（青年科学家项目）

研究内容：

针对裂隙岩体高度非均质各向异性特征和水运动与污染物迁移研究难点导致的岩体裂隙系统污染物迁移难以精准刻画问

题，构建岩体裂隙网络统计学模型，实现裂隙系统的高精度数值再现，预测污染物的扩散范围；建立裂隙系统各向异性渗透系数和弥散度等参数的解析计算方法，预测地下水的流动路径和污染物的扩散范围；推导断层、较大裂隙等岩体快速通道中流体和污染物的动量方程；研究在裂隙壁上水流和污染物的定量交换关系和模拟方法，实现裂隙壁物质交换的精准刻画；研发离散裂隙介质-连续孔隙介质三维水流与污染物反应迁移的耦合模拟模型，建立数值模拟方法并实现软件化，开展案例检验和应用，软件系统能够嵌入京津冀环境模拟器。

考核指标：

1. 建立岩体裂隙网络统计学模型，在面积 $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ 以上岩体上实现裂隙系统的数值再现，与实测结果的误差 $< 30\%$ 。
2. 建立裂隙系统各向异性渗透系数和弥散度的计算方法，计算精度比现有的孔隙介质替代方法提高 20% 以上。
3. 基于流态特征确定流体在断层等快速通道内的动量方程，包含达西流与非达西流两种类型，快速通道最大达到 3000 m 以上，模拟的数量在 500 条以上。
4. 建立离散裂隙介质与连续孔隙介质耦合的水流和污染物反应迁移数值模拟系统，可同时模拟的污染物组分不少于 10 种，模拟误差在 $10\% \sim 15\%$ 以下。

5. 完成至少 2 个标准案例的模型检验和 1 个实际污染场地的数值模拟和预测。

申报说明：

项目类型为基础前沿类，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 3 年。

7.10.6 京津冀复杂场景生态系统碳源汇精细模拟与溯源研究

研究内容：

针对京津冀“山-坝-淀-城”四类人类活动强烈、景观异质性高的复杂场景碳监测数据稀疏，难以精准刻画生态系统碳源汇的问题，基于生态水循环、能量平衡及碳循环的协同作用机制，构建水-热-碳协同的碳源汇动态模拟模型；整合多源地面传感器、多模态遥感与地理大数据，研发生态系统碳源汇空间智能模拟模型，开展京津冀地区碳源汇变网格精准核算，实现森林、草地、农田、湿地、城市绿地等的温室气体（CO₂、CH₄）源汇米级空间识别与小时级时间溯源；针对不同场景生态环境迥异、碳源汇应用需求差异显著的特性，开展生态系统多要素、多尺度数据集构建与整合，建立应用需求驱动的水-热-碳多维数据集；集成 AI 智能体技术、多模态大模型和场景驱动的多维数据集，创新

复杂场景生态系统碳源汇模拟预测技术，构建未来情景下的碳源汇时空格局及固碳潜力滚动预测方法；在京津冀高强度人类活动区开展验证应用，开发水-热-碳协同生态碳源汇动态模拟数智化系统，研发生态系统碳源汇模拟与溯源产品，并推动生态系统碳源汇管理向“精准调控”转型。

考核指标：

1. 京津冀高强度人类活动区水-热-碳协同生态系统碳源汇动态模拟技术空间分辨率 $\leq 5\text{ m}$ ，时间分辨率达到小时尺度，模拟偏差 $\leq 10\%$ 。

2. 水-热-碳循环多要素协同的 CO_2 、 CH_4 源汇精准识别与溯源技术精度 $> 85\%$ ，定量表征结果的不确定性 $< 15\%$ 。

3. 耦合多模态大数据和 AI 算法的复杂场景生态系统碳源汇变网格模拟技术，实现森林、草地、农田、湿地、城市绿化等多种生态系统碳源汇 $1\text{ m}\sim 1\text{ km}$ 变网格动态模拟。

4. 京津冀地区复杂场景水-热-碳循环多要素多尺度数据集构建技术，实现场景应用需求驱动下的水-热-碳多要素多源数据产品的收集、整理和重构，空间分辨率总体优于 10 m 。

5. 基于 AI 智能体模型的复杂场景多生态系统碳源汇模拟预测模型，模拟预测精度 $> 90\%$ 。

6. 围绕京津冀区域及典型复杂场景开展验证应用，场景类

型 ≥ 4 个，涵盖森林、草地、农田、湿地、城市等生态系统类型 ≥ 5 种，总面积 ≥ 3 万 km^2 。

申报说明：

项目类型为**基础前沿类**，以中央财政经费支持为主，承担单位不超过3家，下设课题数不超过3个，实施周期不超过3年。

7.10.7 京津冀典型农药污染场地土-气界面恶臭挥发跨介质过程与原位调控技术

研究内容：

针对典型农药污染场地恶臭物质在开挖过程中发生土-气跨介质迁移，导致异味散发的二次污染工程控制难题，系统研究典型农药类污染场地土壤中恶臭物质在土-气跨介质环境中的散发过程机制及原位调控技术；研究恶臭物质的成份种类、浓度水平、可氧化性等性质特征，阐明恶臭物质的挥发性、嗅阈值、毒性等理化性质参数，筛选嗅阈值低的强恶臭典型物质，探明典型强恶臭物质在土-气介质中的散发过程机制及土壤有机和矿物组份、含水率、孔隙结构等对散发过程的影响；研究绿色吸附材料（生物质基碳材料等）、天然绿色材料（膨润土、纤维素等）对典型强恶臭物质挥发的吸附、阻隔性能及作用规律，研发具有吸附、阻隔恶臭物质挥发双功能的绿色安全粉体抑制材料，建立低成本

绿色量产制备工艺；开发粉体材料的打浆高压旋喷注入、粉体直接低压旋喷注入等场地原位注入与调控技术及配套装备，研究打浆浓度、注入压力、注入流速等关键参数对抑制效果的影响，开展场地原位应用验证，实现农药类污染场地修复工程恶臭土壤开挖及运输过程中异味散发的有效控制。

考核指标：

1. 探明农药类污染场地恶臭土壤中异味物质的主要种类和散发机制，筛查出嗅阈值低于 0.05 ppm 的典型恶臭异味物质控制清单 1 份。

2. 研发具有吸附、阻隔功能的场地土壤恶臭异味物质挥发抑制粉体材料 1~2 种，生产成本低于 1.5 万元/吨。

3. 开发恶臭异味物质挥发抑制粉体材料的土壤原位注入与调控技术 1~2 项，经原位注入抑制后恶臭土壤散发的异味强度低于《农药污染地块土壤异味物质识别技术指南》（T/ACEF 027—2021）的 2 级标准。

4. 研发原位注入与调控装备 1 套，实现注入压力 0.5~2.0 MPa 可调、注入影响半径不低于 1.5 m，并形成配套关键工艺参数体系 1 套。

申报说明：

项目类型为**基础前沿类**，以中央财政经费支持为主，承担单

位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 4 年。

7.10.8 城市路检卡口高排放柴油车识别与监管机器人研发 研究内容：

针对城市路检卡口高排放柴油车流动性强、人工排放检测效率低、监管智能化水平欠缺等问题，构建集中红外激光多污染物遥测系统开发、深度学习轨迹追踪与虚拟布控、具身智能机器人研发为一体的高排放柴油车识别与监管机器人技术体系。开发基于中红外激光检测技术与空燃比反算模型的车道级遥测系统，实现对柴油车 NO_x 、CO、HC 等污染物的实时精准捕获；聚焦重型柴油车分级监管，构建动态监控分级算法及重点管控车辆清单，融合历史轨迹、实时路况、气象条件等多源特征，研发基于深度学习架构的高排放车辆行驶轨迹追踪与预测算法，构建城市虚拟路检卡口划定与动态布点技术体系，支持路检路查动态布点；开发基于知识图谱的关联分析引擎，集成多光谱视频监控、计算机视觉模块、多协议数据接口、场景化语音语义理解模型及便携式打印单元，研发“多维感知-智能筛查-动态交互”闭环的高排放车辆智能识别与监管机器人，实现目标筛查、身份识别、检测指引、结果告知等自动化功能，替代现场检测工作人员效能，在典型卡口开展示范应用，形成可推广的智能监管模式。

考核指标:

1. 研发基于燃烧方程和空燃比的扩散误差消除反算模型 1 项, 集成开发基于中红外激光的多污染物 (NO_x 、CO 和 HC) 半封闭式车道级遥测设备 1 套, 检测时间 $< 2 \text{ s}$; NO_x 的准确度 $\geq 85\%$; NO_x 的精确度 (RSD) 提高至 $\leq 5\%$; 支持与监管机器人进行数据交互。

2. 基于重型车监管业务实践的思维链技术, 构建重型柴油货车分级监管方法与动态分级管控清单 1 套, 重点监管高排放车清单动态更新频率 $\leq 24 \text{ h}$, 服务监管机器人的智能筛查。研发基于深度学习架构的高排放车辆行驶轨迹追踪与预测算法, 构建城市虚拟路检卡口划定与动态布点技术体系; 划定城市虚拟路检卡口 ≥ 500 个, 虚拟卡口动态布点调整响应时间 $\leq 1 \text{ h}$ 。

3. 研发高排放柴油车智能识别与监管机器人 10 套, 多光谱视频监控设备车辆信息识别率 $\geq 95\%$; 计算机视觉模块证件资料扫描识别准确率 $\geq 98\%$; 多协议数据接口支持与遥测设备、车辆信息数据库、执法数据库等 ≥ 3 类现有监测设备/系统直连, 数据读取响应时间 $\leq 1 \text{ s}$ 、传输完整性 $\geq 99.9\%$; 具备语音交互、结果打印、抬杆控制功能, 可在恶劣自然条件下稳定运行 $7 \times 24 \text{ h}$; 选取城市边界卡口 10 个, 开展高排放柴油车识别与监管机器人综合技术示范, 示范时间 ≥ 6 个月, 24 小时监管点位单点可替代

4~6 名检测工作人员效能，高排放车识别-检测-处置全流程耗时 ≤ 5 min。

申报说明：

项目类型为应用示范研究类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 3 年。

7.10.9 水-土-气多介质场景减污降耗与生态产品品质协同提升智能机器人系统

研究内容：

面向源环境集约型生态产品开发与高质量供给需求，聚焦水-土-气多介质场景，开展减污降耗与生态产品品质协同提升智能机器人系统研究与应用。开展土、水、肥、温等环境因子与生态产品跨介质物质迁移转化响应机制研究，建立环境因子-生态产品-污染物跨介质响应关系模型，在全生命周期视角下，研究生态产品能耗、物耗、污染降低与品质提升协同调控机理，建立能量-物质-污染-品质协同调控量化模型；研究适用于多介质复合场景的多模态自主感知技术和沉浸式协同调控智能体生成技术，突破分布式端侧原位跨介质多模态深度学习网络结构和训练推理一体化算力支撑技术，研制具备“自主感知-沉浸学习-协同控

制”能力的水-土-气多介质场景具身智能机器人系统；选择农作物作为典型生态产品，开展减污降耗与生态产品品质协同提升智能机器人系统应用验证。

考核指标：

1. 建立环境因子-生态产品-污染物跨介质响应数据库 1 套，涵盖环境因子 ≥ 6 种，污染物 ≥ 10 种。

2. 构建生态产品全生命周期能量-物质-污染-品质协同调控量化关联模型，揭示关键调控因子 ≥ 3 个，模型预测误差 $\leq 20\%$ 。

3. 多介质场景机理过程研究涵盖物质跨介质迁移转化过程、能耗控制过程、物耗控制过程、污染控制过程、产品品质过程等，形成机理过程知识库 1 项及语料库 1 项。

4. 自研分布式端侧原位跨介质多模态深度学习网络参数量 ≤ 2000 万，自研端侧训推一体算力成本 ≤ 3000 元，支持端侧训练推理一体化。

5. 自研沉浸式协同调控智能体生成技术平台，支持真实世界多介质场景机理过程学习超过 5 类机理过程，沉浸式协同调控智能体生成效率 < 100 个 RTX4090 GPU 小时，协同调控智能体语义推理准确率 $> 80\%$ 、协同调控动作命中率 $> 90\%$ ，支撑生态产品沉浸式模拟、协同调控推理需要。

6. 研制多介质复合场景生态产品全生命周期具身智能机器

人硬件装置 3 套，涵盖具身智能采编、计算、调控设施设备，BOM 成本 $\leq$ 5 万元/套。

7. 选择 2 类农作物作为典型物质供给类生态产品，开展减污降耗与生态产品品质协同提升智能机器人系统应用示范，达到能耗降低 15%、物耗降低 15%、氮磷污染物总量降低 20%，生态产品良品率提升 20%以上。

申报说明：

本项目实行总承包单位负责制，项目申报团队需符合总承包单位提出的技术和管理等要求。项目类型为重大共性关键技术类，以企业牵头组织申报，采用事前立项事后补助方式，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 3 年。

7.10.10 复杂环境恶臭污染智能感知与溯源诊断机器狗

研究内容：

针对现有恶臭污染监测手段效率低、覆盖面积小、溯源定位难、响应速度慢、无法应对复杂地形空间及多障碍区域等问题，开发恶臭气体智能感知与污染源溯源诊断机器狗。建立工业企业、畜禽养殖、市政设施等行业恶臭异味源谱，构建行业恶臭异味源谱微型电子鼻，开发“人类嗅觉感受-传感信号响应”映射模型，

研究电子鼻气味识别算法，实现复合恶臭气体精准识别与准确拟合；研发时空耦合臭气动态扩散与污染源位置反演技术，研究稀疏采样条件下高分辨率臭气分布动态建图与高效污染源搜寻方法，建立臭气嗅觉特征与环境视觉语义因果关联模型，研究臭气源快速自主取证方法；研究基于任务驱动的大尺度空地、多障碍区域、狭窄空间等非结构化环境的可达性设计与自主导航控制方法，并满足 IIB 级 1 区爆炸环境，研发具备恶臭污染“感知-溯源-辨识-取证”一体化机器狗。

考核指标：

1. 涵盖工业企业、畜禽养殖、市政设施的恶臭异味源谱不少于 20 个，构建的传感器阵列与人工嗅辨结果的拟合 $R^2 \geq 0.9$ ；建立不少于 20 种气味轮廓图，气味种类识别准确度 $\geq 90\%$ ，并在机器狗上完成验证。

2. 构建时空耦合气体动态扩散模型与污染源位置反演模型，臭气分布建图分辨率优于 3 m，臭气污染源定位精度优于 5 m、定位成功率 $\geq 90\%$ ，臭气溯源的空间尺度 ≥ 10 万 m^2 ，并在机器狗上完成验证。

3. 恶臭污染“感知-溯源-辨识-取证”一体化机器狗系统 1 套，符合防爆等级 Ex IIB T4 Gb，具备动态避障、自主导航和路径规划能力，支持野外、管廊、多楼层等多类复杂场景导航，导

航系统支持 ≥ 30 万 m^2 场景建模，运动时高程图分辨率 2 cm 以内，地理处理延迟 ≤ 20 ms，弱光环境鲁棒性 $\geq 90\%$ ，可攀爬最大坡度为 $\pm 35^\circ$ 的斜坡及连续 30 cm 高的台阶；完成“感知-溯源-辨识-取证”任务成功率 $\geq 85\%$ ，辨识污染源后取证时间 ≤ 2 min。在垃圾处理场、养殖场、化工园区等 ≥ 3 种典型场景的应用验证。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，承担单位不超过 3 家，下设课题数不超过 3 个，实施周期不超过 2 年。

板块八：生态环境管理创新

8.1 京津冀智慧环境应急管理关键技术研发及应用

研究内容：

面向京津冀区域突发环境事件的精准、高效事前预防和应急管理需求，研发企业环境风险源快速筛查和隐患节点管控技术、化工园区多米诺事故环境风险定量模拟技术、移动源事故次生突发环境事件诱发关键节点和演变过程解析技术，建立企业风险源分类分级动态清单和隐患节点管控优先序，识别典型化工园区群发链发事故场景和单元，构建移动源事故次生环境风险评估方法；结合京津冀区域高风险行业风险源与环境敏感目标的时空特征，

研究区域突发环境风险传导与感知机制，建立突发水、大气污染事件情景库，制定情景驱动的早期预警关键指标和快速判定标准，开发清单式、网络化快速响应技术，建立早期预警驱动的快速响应规则，形成突发环境事件快速响应技术体系；研发京津冀多源异构数据融合的突发环境事件应急处置技术方案库、应急监测特征因子库和设备装备应用工具包，确立基于可接受风险水平的典型突发环境事件应急控制目标制定方法，开发污染趋势智能研判、处置方案快速生成和应急效果动态优化技术，支撑环境应急信息化、智慧化决策指挥；构建多层级、多用户的环境应急能力评估方法，研发基于数字孪生的应急预案推演智能体建模技术，开发应急培训知识库，满足多用户、多场景实时交互应急演练培训需求；建设与国家环境应急平台贯通融合的京津冀环境应急智能决策与管理系统，选择京津冀区域典型化工园区、环境敏感区，开展数智化环境应急管理关键技术集成应用示范，支撑京津冀突发环境事件跨区域综合演练和应急实战，提出面向美丽京津冀建设和大安全大应急框架下智慧环境应急管理体系构建的技术规范与政策建议。

考核指标：

1. 企业环境风险源隐患筛查甄别周期缩短至小时级，准确率 $\geq 85\%$ ；建立京津冀重点区域企业环境风险隐患管控优先序动

态清单，得到国家或地方环境应急管理部门采纳应用；化工园区连锁事故次生污染风险动态模拟预测周期缩短至 30 min 以内，准确率 $\geq 85\%$ ；制定移动源事故次生突发环境事件风险评估技术规范，环境风险路段评估周期达小时级，技术规范得到省级及以上管理部门采纳应用；隐患筛查甄别和风险动态模拟模型接入京津冀生态环境模拟器。

2. 建立自然和人为诱因下突发环境事件模拟情景库及风险传导和动态感知模型，情景不少于 100 个，动态感知模型接入京津冀生态环境模拟器；事件风险动态感知数据类别不低于 10 种，自动化采集率 $\geq 60\%$ ；重大敏感突发环境事件态势提前预警时间 $> 2\text{ h}$ ，准确率 $> 60\%$ ；应急响应时效达分钟级；快速响应时效规则得到省级及以上管理部门采纳应用。

3. 建立基于可接受风险水平的环境应急控制目标制定方法和技术规范，得到省级及以上管理部门采纳应用，涵盖不少于 10 种京津冀典型突发环境事件情景；构建涵盖京津冀典型突发环境事件的应急处置案例库、技术方案库和应用工具包，其中案例库覆盖大气、水、土壤 3 类介质，应急监测特征因子库覆盖不少于 200 种污染物，应急处置技术方案智能生成缩短至 2 h 以内，应急处置方案智能生成技术得到省级及以上管理部门采纳应用，应用工具包覆盖通用技术、典型污染物处置技术、监测设备和仪

器、工程措施及典型场景处置要点。

4. 开发涵盖钢铁、石化、化工、危废处置、污水处理等行业、具有兵棋推演功能的企业级环境应急实景培训模块 1 套，内容超过现有应急预案要求；在潮白河、滹沱河等重点流域开展突发环境事件实战或跨区域综合演练，在园区、企业不同层级搭建至少各 1 个仿真应急演练考核示范应用场景，示范区应急演练考核频次提高至每半年 1 次，演练成本削减 80%以上；培训演练企业、政府及第三方相关人员不少于 10000 人次，培训演练效果得到省级及以上管理部门认可；编制培训演练案例集，得到省级及以上管理部门采纳应用。

5. 开发智慧环境应急管理集成应用示范平台以及移动终端应用 APP，接入京津冀生态环境模拟器；选择典型化工园区和环境敏感区开展关键技术综合应用示范不少于 2 个，编制匹配数智化环境应急体系的制度政策和标准规范不少于 5 项，支撑突发环境事件实战或跨区域综合演练应用不少于 5 次，相关政策、标准规范等得到省级及以上管理部门采纳应用，实战演练效果得到省级及以上管理部门认可。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 2:1，实施周期不超过 3 年。

8.2 京津冀区域重大水环境风险精准识别与智能应急技术及示范

研究内容：

聚焦提升京津冀环境风险防范和应对能力的科技需求，以永定河流域、大清河-白洋淀流域等为重点，按照风险“识别-诊断-评估-处置-防控”的技术框架，研究“自然-人为”耦合的重大水环境风险精准识别与智能应急技术并开展示范。解析气候变化导致的流域突发风险演变特征，形成自然灾害引发的次生水环境风险差异化识别与分级指标体系，研发典型流域和敏感水体多因素风险耦合动态预警技术；揭示“自然-人为”耦合风险成因与污染过程机制，研发突发污染事件中污染成因快速诊断技术，形成典型重金属污染物原态实时感知原型机，提出不同优先控制级别的有毒有害物质清单，构建覆盖流域石化、制药、纺织印染、金属电镀、规模化养殖等五类以上重点行业和重大风险企业的多因素风险耦合热力图 and 智能管控系统；研究京津冀长期气候变化趋势对水质安全影响，评估暴雨、强风、地震等极端条件下重大水环境风险发生、发展与演变规律，开展 Natech（自然灾害诱发灾难）事故仿真模拟与多米诺效应情景推演，构建智能化应急响应决策支持系统；研发适用于重点流域、工业园区等多场景的多

污染物应急协同处理绿色治理技术，建立以河流-河口-近海/海湾连续体为重点的突发污染事故应急优先管控污染物水质基准制定与应用技术体系，开展不同情景模拟演练和集成示范；开发全过程、多层级集成业务平台，构建覆盖“企业-园区-城市-区域”的四级风险防控体系，制定技术指南与标准化验证机制，探索可复制、可推广的京津冀流域水环境风险防控模式与应用路径。

考核指标：

1. 研发基于多源数据融合的水环境动态风险图谱构建技术，实现空间分辨率为 1 km^2 ，多源数据同化算法匹配精度 $\geq 90\%$ ，动态风险模型识别准确率 $\geq 85\%$ ；构建多尺度预警模型，暴雨-污染等复合事件预测准确率 $\geq 80\%$ 。

2. 研发风险成因诊断技术，实现典型污染物高通量快速识别，重大环境风险成因（污染物种类）识别时效 $< 2\text{ d}$ ，源解析模型准确率 $\geq 90\%$ ；提出京津冀不同优先控制级别的有毒有害物质清单，明确优先管控污染物 20 种以上；研制重金属原态实时感知原型机，支持不低于 3 种不同价态形态或相态重金属物种的检测，元素检测浓度满足国家相关标准限值要求，平均检测时间 $\leq 1\text{ 分钟/物种}$ ；构建流域重点行业及重大风险企业智能管控系统，覆盖流域石化、制药、纺织印染、金属电镀、规模化养殖等五类以上重点行业及重大风险企业，系统响应时间 $\leq 30\text{ min}$ ，形成通

过国家或行业审核的标准化管控技术指南 1 套。

3. 研发京津冀长期气候变化趋势风险与流域水环境风险多源异构数据驱动的复合演化过程识别与定量模拟技术,模拟准确率 $\geq 80\%$;建立包含 10 种典型污染情景的极端情景模拟库,构建京津冀地区中长期气候变异趋势与水环境复合风险数据集(2020~2100 年,空间分辨率为 1 km^2 ,时间分辨率为 5~10 年);开发应急方案智能生成系统,方案生成时间 $\leq 30\text{ min}$,措施匹配度 $\geq 90\%$,得到省级及以上管理部门采纳应用。

4. 研发 2 种以上污染物去除新材料,形成不少于 2 项具有自主知识产权的多污染物应急协同处理绿色治理技术,协同去除率 $\geq 95\%$;制定全氟化合物、锑、多环芳烃、多溴二苯醚、有机磷酸酯等 5 种以上突发污染事故应急的优先管控污染物应急水质基准阈值,得到生态环境部等主管部门认可;开展极端暴雨、强风、地震等不少于 3 种情景模拟和应急演练。

5. 建成京津冀“企业-园区-城市-区域”的四级水环境风险集成应用业务平台 1 套,实现四级防控体系协同运行与情景仿真推演,推演准确率 $\geq 80\%$;开发京津冀水污染控制示范标准化验证体系,完成应急基准、成因诊断等不少于 2 项自主研发技术的全流程标准化验证,单项技术验证周期 ≤ 3 个月,制定 3 项通过国家或行业审核的技术指南,完成不少于 2 条河流(永定河流域、

大清河-白洋淀流域) 的示范验证。

申报说明:

项目类型为重大共性关键技术类, 其他来源资金与中央财政经费比例不低于 3:1, 实施周期不超过 3 年。

8.3 京津冀生态安全区域协同防控体系构建与应对管理关键技术研发与应用

研究内容:

针对京津冀区域生态安全协同防控面临的形势复杂、复合因素影响机制不清晰、风险预警预测准确性低、多维度调控措施不精准、区域协同联动与保障决策支撑不及时等问题, 以生态安全防控跨领域、跨区域为视角, 研究新形势下区域生态安全内涵边界, 解析京津冀生态安全复合因素影响机理, 构建京津冀生态安全监测预警指标测算和风险评估技术体系, 开展京津冀生态安全形势分析研判, 构建京津冀生态安全战略基本思路 and 不同阶段的实施路径; 基于多源异构数据智能感知和多平台信息实时采集融合, 研发全领域生态安全指标阈值识别及预警等级量化技术, 识别京津冀生态安全风险分布情况, 研发多源数据融合的京津冀生态安全时空演变模拟技术, 制定预警网格及生态安全事件应对预案; 研究生态安全跨区域协同治理理论, 研发复合系统下多尺度

嵌套生态安全空间网络构建技术,开展京津冀生态安全空间优化配置和协同调控研究,建立京津冀生态安全分区精细化管理技术;开展宏观-中观-微观层面政策演化和适配性综合研判,开发生态安全与多领域安全耦合协同优化模型,建立京津冀生态安全多部门协同联动防控机制;开展京津冀生态安全综合调控和协同管理技术集成,构建京津冀生态安全“智慧大脑”决策支撑系统,实现京津冀生态安全数据汇交、存储计算、综合研判、预警预测、优化调控等智慧化、场景化、本地化应用功能,推动典型区域、流域、城市应用示范。

考核指标:

1. 建立多学科交叉视角下京津冀本地化基于动态耦合和协同演化的京津冀生态安全理论内涵解析方法 1 项,涵盖生态安全“生态空间、生态系统、人居环境、资源开发、自然灾害和突发环境事件、全球生态挑战应对”等领域,解析自然地理、生态环境、社会经济、资源消耗等领域生态安全风险因子不少于 10 项,并建立风险因子管控重要性排序清单 1 套;研发京津冀生态安全监测预警指标测算和风险评估技术体系 1 套,构建涵盖 6 大领域生态安全监测预警指标数据库(指标数不少于 90 个),形成京津冀生态安全风险识别、评估预警技术指南 2 套,形成京津冀生态安全风险监测预警能力建设方案 1 份;形成京津冀生态安全防控

战略路线图 1 套，涵盖生态、水、大气、土壤、气候变化、资源、人居等专项路线图 10 个以上；形成京津冀区域生态安全形势分析和战略路径研究报告 1 套，聚焦历史趋势分析、现状评估及多情景研判，构建京津冀生态安全面向短-中-长期不同阶段的实施路径方案 3 套以上，每条路径分解为不少于 5 项可落地的具体措施，共形成政策建议 3 份以上。以上相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

2. 研发京津冀生态安全多源异构数据智能感知和多平台信息实时采集融合技术，采集京津冀生态安全关键指标数不少于 50 个，动态更新数据延迟 ≤ 24 h；研发不少于 6 大领域的预警阈值识别及预警等级量化技术，预警等级验证回溯准确率 $\geq 80\%$ ；绘制京津冀区域生态安全风险分布与预警网格化地图，空间分辨率达到 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ ，时间分辨率达到月度；研发多源数据融合的京津冀生态安全时空演变模拟技术，构建风险演化模拟预测模型 1 套，模拟精度 $\geq 85\%$ ，开展长-中-短结合的生态安全风险预测，长期预见期为 10~15 年、中期预见期为 3~5 年、短期预见期根据预测对象覆盖月、季、年等尺度，综合风险等级预测准确率 $\geq 75\%$ 。编制分区分类的京津冀区域生态安全风险应对预案 3 套以上，得到省级及以上管理部门采纳应用。

3. 构建多系统复合影响的京津冀生态安全空间优化配置技

术 1 套，建立自然生态-社会系统双向耦合模型，动态模拟频次 ≥ 12 次/年，生态服务流模拟精度 $\geq 85\%$ ；研发降低跨区域生态安全风险、提升生态安全防护功能的综合协同调控技术 1 套，全域基础单元调控精度 $\geq 10 \text{ km}^2$ ，重点功能区单元调控精度 $\geq 1 \text{ km}^2$ ；形成与生态环境分区管控相衔接的京津冀生态安全分区管理精细化管理技术 1 套，与生态环境分区管控衔接匹配度 $\geq 95\%$ ，形成包含差异化措施不少于 8 类的生态安全分区管理方案，相关研究成果得到省级以上管理部门采纳应用。

4. 研发生态安全与多领域安全耦合解析模型 1 项，支持经济、资源、气候、灾害等 5 个以上领域耦合，政策兼容性验证情景 ≥ 10 类；形成面向美丽京津冀的跨部门生态安全协作机制设计方案 1 套、高效协同应对管理方案 1 套，方案量化可执行指标 ≥ 30 项，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

5. 构建京津冀生态安全智能管理数据库及决策平台 1 套，具备基于人工智能技术的多源数据汇交、数据融合解析、任务统筹调度等核心功能，收录数据量达到 PB 级别，数据汇交处理时间缩减率 $\geq 60\%$ ，数据人工校核成本下降不低于 60%；构建京津冀生态安全智慧决策管理场景应用不少于 6 类，包括但不限于区域生态安全形势研判、风险影响评估、预警信息推送、政策影响模拟、应急响应会商、研判处置调度等场景；实现预警响应处置

技术应用不少于 5 项，完成配套制度政策建议不少于 5 项，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

8.4 京津冀固定污染源排放许可精准管控关键技术研发与应用

研究内容：

面向美丽京津冀环境质量改善目标下固定污染源精准管控的需求，构建环境-经济-社会多维复杂网络耦合的固定污染源排放量管控制度实施绩效评估模型，多尺度、多要素、多维度解析排污许可制度与其他固定源环境管理制度间的交互作用机制，构建市场化手段与行政命令协同的排放量传递管控优化政策；针对京津冀地区跨行业量化管控技术方法不精准问题，研发京津冀典型生态环境分区管控单元跨行业量化评价技术，构建综合污染物排放最小-资源配置最优-宏观经济效益最高的多目标协同跨行业排放量分配模型，通过环境系统模拟验证差异化配额规则，支撑区域跨行业减排目标精准落地；针对不同行业区域固定污染源许可排放量与污染防控技术经济可行性、环境效益等方面的关联

性和差异性不足问题，建立重点行业固定污染源绩效分级策略，开发基于大数据的多层级差异化分配方法，构建高分辨率排放-环境质量响应模型，量化排放通量变化对区域质量目标的贡献弹性，实现技术评估-环境响应-管理决策全链条耦合；针对固定源量化管控静值恒态问题，开发面向复杂环境管理目标的许可排放量时序分解模型，建立季、月度动态分配机制，研发特殊时段许可排放量动态修正技术，开发以环境质量目标达成度为核心的自适应许可排放量调整算法，破解静态许可与动态环境质量管理目标脱节难题；研发许可排放量智能仿真决策系统，构建京津冀环境复杂系统多因子耦合框架，集成污染源-环境质量-气象水文等动态数据生成决策知识图谱，开发多源异构数据融合仿真引擎，耦合高精度排放清单与多介质传输模型，实现“管控单元-行业-企业”三尺度排放与质量响应推演，建设可视化智慧平台支撑京津冀“区域-城市-园区”三级示范应用。

考核指标：

1. 研发固定污染源排放管控制度实施绩效评估指标体系1套，构建环境质量约束-经济效益协同-社会效率最佳等多维度指标，指标数 ≥ 40 个；开发多主体固定源排放量政策仿真模型1项，可支持政府、企业、公众的多主体博弈行为，模型的仿真模拟精度 $\geq 85\%$ ；构建京津冀固定污染源排放管控制度协同优化

策略 1 套，包含区域开发建设活动在分区管控-环评-排污许可的排放量管控传递策略、排污权核定量与许可排放量协同耦合管理优化策略、市场化手段与行政命令协同的排放量传递管控优化政策各 1 项，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

2. 研发京津冀区域典型管控单元跨行业、多维度行业量化管控效能评价技术，涵盖火电、水泥等行业工艺装备绿色发展水平、污染治理技术和污染物排放绩效水平、环境质量改善潜力、经济贡献能力等主控因素不少于 10 项，目标匹配度 $\geq 85\%$ ；完成固定源排放量最小-资源配置最优-宏观经济效益最高的跨行业竞争性动态配额协同分配技术规范 1 项，开发基于知识图谱和大数据的固定源排放量跨行业竞争性动态配额生成式预训练模型，行业排放量分配精度 $\geq 70\%$ ，研发成果在京津冀区域不少于 2 个城市得到应用。

3. 完成基于排污许可大数据的多目标-多层级-多指标-多情景污染物排放量优化分配方法技术指南 1 套，构建高分辨率排放-环境质量响应模型 1 套，实现初步分配-响应-反馈-调整-许可的精准研判，重点行业许可排放量核算精度 $\geq 85\%$ ，研发成果在京津冀区域不少于 2 个城市得到应用，污染物排放量分配模型可支撑模拟器建设，应用于固定污染源量化管理。

4. 构建环境质量目标导向的排放总量时序分解机制 1 套，

重点区域污染物排放总量从年度精确分解到季、月度，重点时段分解到天；形成以环境质量改善目标达成度为导向的许可排放量自适应调整算法 1 套，构建大气主要污染物动态修正因子体系，实现在国家级重大活动保障和重污染天气等特殊时段固定污染源排污许可量化管控示范，研发成果在京津冀区域不少于 2 个城市得到应用。

5. 开发城市和园区级许可排放量智能仿真决策系统 1 个，实现排放量限值从管控单元-行业-企业的排放、传递和响应过程推演，系统核算企业许可排放量偏差 $\leq 15\%$ ，确定许可排放限值的时长缩短 80%，全年正常运行，平台界面友好、可视化程度高、可场景化应用推广，在京津冀重点区域、重点城市和典型产业园区 3 个尺度开展固定污染源精准协同管控技术集成和应用示范。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 3 年。

8.5 京津冀生态环境损害鉴定评估与赔偿关键技术研发与应用

研究内容：

针对京津冀区域生态环境损害赔偿过程中存在的混杂废物特征污染物识别和毒性鉴定难、损害情况精细刻画技术缺失、恢

复方案决策要素多、环境资源价值量化原则与参数不统一等问题，构建京津冀违规倾倒填埋类案件典型行业固体废物、废液及废水特征污染物清单与指纹图谱数据库，研发复合和未知混杂废物特征污染物快速识别技术，制定混杂废物有毒有害污染物鉴定标准与处置技术优选方法；研发基于高分率卫星和低空无人机遥感反演相结合的生态损害调查量化技术和多目标智能化恢复决策支持系统，建立京津冀区域典型受损生态系统特征基础数据库，制定适用于华北地区生态要素类损害评估技术标准与工作指南；研究生态环境损害价值量化评估方法，开展京津冀区域价值量化参数调查，基于典型案例开展差异化价值量化路径研究，构建标准化、规范化的生态环境损害价值评估技术体系；研发生态环境损害赔偿案件全流程智能化管理技术与平台，形成基于人工智能的线索高效检索筛查与简单案件快速智能评估技术，提升管理与环境司法效率；研究环境司法与生态环境等部门生态环境损害赔偿协同管理、赔偿资金管理使用创新机制，建设生态环境损害赔偿与生态产品价值实现一体化示范场地，形成可推广的生态环境损害鉴定评估与赔偿技术模式。

考核指标：

1. 建立符合京津冀区域违规倾倒填埋类案件特点的混杂废物特征污染物快速筛查识别技术方法，包含不少于钢铁、化工、

制药、石化、电镀、橡胶塑料等 10 个典型行业的固体废物、废液及废水特征污染物清单与指纹图谱数据库(不少于 300 种污染物, 包含高分辨质谱库); 制定基于污染指纹与生物毒性耦合技术的有毒有害物质鉴定技术标准(国家、行业、地方或团体标准), 制定混杂废物高效处置技术决策方法、倾倒填埋类案件生态环境损害鉴定评估工作指南, 方法和工作指南得到省级及以上管理部门采纳应用; 形成京津冀区域典型倾倒案件污染物性质鉴定与快速处置的应用案例不少于 3 个。

2. 研发针对生态破坏案件基于高分辨率卫星和低空无人机遥感反演相结合的生态损害快速调查方法, 缩短工作时间 30% 以上; 建立京津冀森林、草地、湿地等 3 类典型生态系统基线数据库, 开发融合人工恢复和自然恢复、面向基本恢复和补偿性恢复的多目标生态损害智能化恢复决策技术方法和决策支持系统, 相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用; 制定华北地区生态破坏案件损害评估技术标准(国家、行业、地方或团体标准)、多尺度生态环境损害遥感评估方法技术标准(国家、行业、地方或团体标准), 制定非法建设生态破坏案件损害评估工作指南, 得到省级及以上管理部门采纳应用; 开展不少于 3 个典型案件损害量化和恢复决策方法的应用。

3. 提出融合效益、成本、市场价值理论的生态环境损害价

值量化评估标准化技术方法，制定生态环境损害价值量化评估技术标准（国家、行业、地方或团体标准）2项；构建覆盖京津冀地区石化、化工、制药等典型行业（不少于10个）的废气、固体废物、废水单位治理成本以及典型地区生态系统（不少于4个）的生态环境修复单价、单位面积生态系统服务功能价值（不少于5类）等数据的标准技术参数库。

4. 研究基于深度学习和多模态融合的语义分析生态环境损害线索筛查技术，准确率 $>85\%$ ，实现案件线索筛查快速识别，线索核实移交时效提升至7天以内；研发针对简单案件的生态环境损害赔偿案件智慧办理、快速鉴定评估、生态环境恢复效果判定系统，生态环境损害鉴定评估工作周期缩短50%以上。

5. 制定京津冀生态环境损害案件跨地区联合办理与全过程监管管理办法、京津冀生态环境损害赔偿与恢复方案制定工作指南，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用；建设不少于2个生态环境损害修复与生态产品价值实现一体化示范场地，规模不少于3万 m^2 。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于1:1，实施周期不超过3年。

8.6 京津冀消耗臭氧层物质和氢氟碳化物排放管理技术及安全履约路径研究

研究内容：

京津冀作为消耗臭氧层物质（ODS）和氢氟碳化物（HFCs）重点使用地区，为提升保护臭氧层和应对气候变化双国际环境公约履约科技支撑能力，针对 ODS 和 HFCs 开展排放核算方法、替代减排技术评估及安全履约路径研究。研究二氟一氯甲烷（HCFC-22）生产企业三氟甲烷（HFC-23）排放及预警技术，建立京津冀本土化排放因子数据库，开发基于大气排放反演结果的排放清单优化方法，构建基于生产和消费的京津冀 ODS 和 HFCs 高分辨率排放清单，并对清单不确定性开展量化评估，开展行业领域 ODS 和 HFCs 的碳排放核算方法与省级温室气体清单衔接研究；完善区域背景大气监测空间布局，建立基于示踪剂的化工园区 ODS 和 HFCs 监测及质控方法，开发移动载体的监测设备，搭建监测数据管理及综合应用平台，实现京津冀高时空分辨率反演溯源，反演流程可视化、数据分析智能化，定量评估排放对国际履约和碳中和目标实现的影响；研究 ODS 和 HFCs 的回收、再生及利用等减排技术可行性，评估京津冀回收再利用的潜力、成本以及环境经济效益，识别潜在的实施障碍并开展示范项目效果验证，研究制定相关政策标准与技术需求；开展京津

冀地区 HFCs 及其替代品降解产物三氟乙酸的环境监测，构建 HFCs 及其替代品降解产物的环境影响评估和预测模型，评估和预测京津冀 HFCs 替代带来的环境影响，建立替代技术和替代品的评价体系，开展 HFCs 替代品的经济、技术和环境综合性评估，研究制冷空调含氢氯氟烃（HCFCs）的维修需求及应对方案，研究评估协同履行《蒙特利尔议定书》及气候变化公约的关键技术和政策需求，评估未来不同替代路径情景对中国碳中和目标实现的影响，制定 2035 年京津冀 HFCs 自主减排及安全履约的目标和路径。

考核指标：

1. 建立工业生产过程 HFC-23 等物质排放的定量方法学 2 套，包括不少于 2 种示踪剂和 2 套排放计算方法；形成不少于 10 类主要排放源的本土化排放因子数据库；建立基于生产消费的不低于 0.25 度×0.25 度逐月分辨率的排放清单；基于大气观测和反演模型的京津冀区域排放精准溯源方法 1 套，空间分辨率不低于 0.25 度×0.25 度，时间分辨率不低于逐月，基于不少于 3 种气象资料、3 种大气传输模型和 3 种反演算法比对实现对排放结果的量化评估；对于排放清单与反演存在显著差距的物质，研发差距弥合与归因模型方法 1 套，应用于不少于 2 种物质，实现清单与反演差距降低 70%以上；建立 ODS 和 HFCs 回收再生行业

环境绩效评价体系 1 套；提出行业领域 ODS 和 HFCs 的碳排放核算方法与省级温室气体清单核算体系衔接方法。以上研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

2. 能实现自动定位、大于 5 km 范围遥控采样、采样延迟时间 < 2 s、采样时长可调的自动化离线大气采样设备；可用于厂界内大气监测、监测物质不少于 5 种、时间分辨率 > 10 min、不确定度 $> 25\%$ 的现场快速便携设备；移动搭载的监测设备测量精度 $> 5\%$ ，样品分析时间 ≤ 90 min；建立基于示踪扩散实验的化工园区大气监测方法，利用不少于 2 种示踪剂开展化工园区大气监测；形成京津冀高时空分辨率反演的监测布局设计方案，得到省级及以上管理部门采纳应用；结合京津冀区域的特点，从蒙约受控清单包括的 8 大类 100 种卤代烃中筛选搭建不少于 50 种受控物质的监测数据管理及综合应用平台，集成数据管理统一化、数据分析自动化、质控流程可视化、数据应用集成化等功能，得到省级及以上管理部门采纳应用。

3. 提出 ODS 和 HFCs 回收再生利用的政策标准和技术体系建议，形成不少于 2 个行业的 CCER 减排方法学方案建议，1~2 个 ODS 和 HFCs 回收再生利用方向行业标准（国家、行业或地方标准征求意见稿），评估不少于 2 个行业的回收再利用潜力、成本及环境经济效益，开展至少涵盖 2 个行业、20 家企业的 ODS

和 HFCs 回收再生利用示范，实现不低于 100 吨 ODS 和 HFCs 回收（相当于不低于 10 万吨 CO₂ 当量减排）。

4. 构建 HFCs 及其替代品降解产物三氟乙酸的环境影响评估和预测模型，形成京津冀典型区域环境介质三氟乙酸的污染现状评估报告，以及不少于 5 种 HFCs 及其替代品降解为三氟乙酸的环境影响预测报告；涵盖《基加利修正案》受控 HFCs 的替代品评估报告和替代品名录的更新建议；制冷空调 HCFCs 的维修需求分析和应对方案；协同履行《蒙特利尔议定书》及气候变化公约的关键技术和政策建议；提出 HFCs 2035 年自主减排及碳中和目标路径建议。上述相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 4 年。

8.7 京津冀典型大气面源管理技术体系研究

研究内容：

针对秸秆露天焚烧、扬尘、畜禽养殖氨等典型大气面源排放底数不清、对空气质量影响不明、系统管控体系缺乏等问题，以智慧感知-精准评估-综合调控等关键技术为核心，开展京津冀秸秆焚烧、扬尘、畜禽养殖氨排放等面源管理技术体系研究，支撑

大气面源污染全链条防治体系建设。针对秸秆露天焚烧，基于京津冀地区耕地-农事-秸秆高精度动态数据库，分析环境因子与秸秆焚烧发生概率、排放强度的内在关联，构建秸秆焚烧风险评估模型，研发秸秆焚烧事件精准监测、精细化排放核算、环境影响精准预测及管控效果动态评估技术，形成秸秆综合利用方案，实现全链条精准监管与资源化调控；针对扬尘源，突破道路扬尘、施工扬尘与裸地扬尘动态化感知瓶颈，研发扬尘源的高精度定量表征技术，构建各类扬尘源差异化排放标准的制定方法及考核评估定量指标体系，建立全链条扬尘污染治理技术储备库，评估各类技术在不同应用场景下的适用性，编制道路扬尘、施工扬尘与裸地扬尘分类的精细化治理技术规范，开发扬尘污染数智化管控系统；针对畜禽养殖排放，阐明不同畜禽种类、不同生长阶段、不同养殖模式的氨气产生释放机理及其关键影响因素，研究在不同环境要素条件下氨、恶臭及温室气体的复合排放特征，开展本地化排放因子质控与校验，评估其对环境空气质量的影响，建立主要气体排放限值的确定方法，研究支撑排污许可证制度实施的氨、恶臭及温室气体综合减排核算技术及跨介质污染管控技术，筛选评估适用于不同类型养殖场氨、恶臭及温室气体协同减排的工艺及治理技术，形成方案库和技术指导目录。开展对重大专项其他大气面源项目相关成果的系统性集成研究，编制大气面源综

合管理技术体系建设方案。

考核指标：

1. 构建京津冀地区秸秆焚烧动态风险图谱，涵盖秸秆焚烧的潜在风险等级及其时空变化趋势等信息，明确重点预警时段及预警区域，空间分辨率为百米级，时间分辨率为小时级。构建星地协同监测技术，实现对秸秆焚烧事件的快速感知和智能识别，时间滞后 $< 10\text{ min}$ ，识别准确率 $> 90\%$ ，实现秸秆焚烧排放的高精度、近实时核算，空间分辨率 $\leq 10\text{ m}$ ，时间滞后 $< 10\text{ min}$ ，排放量核算误差 $< 30\%$ ，秸秆焚烧事件的环境影响预测涵盖影响范围、程度和持续时间，逐小时更新预测结果，预测准确率 $\geq 80\%$ ，管控效果评估更新频率 $< 2\text{ h}$ ；形成京津冀地区分区域、分类型、分时段的秸秆综合利用方案 1 套，得到省级及以上管理部门采纳应用。

2. 构建空-天-地融合的高精度扬尘源排放定量表征与智能快速识别技术。对于道路扬尘定量表征，时间分辨率达到小时级别；对于裸地扬尘定量表征，空间分辨率 $\leq 10\text{ m}$ ，时间分辨率达到小时级别；对于施工扬尘定量表征，以单个工地为基础，时间分辨率达到小时级别；实现小时级别、各扬尘子源类对不同空间区域的精准定量评估，对环境受体中扬尘贡献定量评估误差率 $\leq 30\%$ ；提出各类扬尘源差异化排放标准的制定方法及考核评估定

量指标体系，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

3. 构建全链条扬尘污染治理技术库，建立治理技术适配性及治理效果量化评估方法，涵盖治理及运行成本、环境效益、适用场景等；形成道路扬尘、施工扬尘与裸地扬尘分类的精细化防治技术规范；构建扬尘污染数智化管控系统，实现监测数据融合质控、扬尘来源三维重现、扬尘污染预警评估、智能生成防控措施及动态监管等功能。以上研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

4. 形成不同类型养殖场多场景、关键节点的氨、恶臭及温室气体排放因子库，提出基于多源观测数据的排放校验技术 1 套，实现排放因子动态更新，空间分辨率 $\leq 1 \text{ km}$ ，总体校验误差率 $< 30\%$ ；研发不同类型养殖场大气面源管控技术，支撑排污许可证制度实施；形成监测规范、排放限值、减排核算及综合效益评估、跨介质污染物减排调控等方面的技术指南、规范等政策建议或报告，制定不同类型养殖场氨、恶臭及温室气体协同减排方案库和技术指导目录 1 套，相关研究成果得到省级及以上管理部门采纳应用；提出重污染天气条件下畜禽养殖场氨排放快速应急减排优化组合工艺与策略，在不同养殖规模、不同养殖方式、不同养殖环节等不少于 3 类管理场景中得到应用。

5. 制定大气面源综合管理技术体系建设方案，涵盖大气面

源的监测-评价-治理-管控全链条防治体系，形成相应的排放标准、监测规范、治理和评价技术指南，相关成果得到省级及以上管理部门采纳应用。

申报说明：

项目类型为重大共性关键技术类，其他来源资金与中央财政经费比例不低于 1:1，实施周期不超过 2 年。