

“十四五”国家重点研发计划“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”重点专项 2021 年度项目申报指南

(征求意见稿)

长江、黄河是中华民族的母亲河。推动长江经济带发展和黄河流域生态保护和高质量发展是国家级重大区域战略。专项紧密围绕长江黄河流域水资源水环境水生态综合治理的科技需求,通过基础理论研究、关键技术与装备研发、流域管理创新、典型区域和小流域集成示范,支撑长江、黄河等重点流域水安全保障与治理能力的实质性提升,形成流域水系统治理范式,并进行推广应用。

2021 年指南拟围绕流域水系统健康诊断与病因识别、流域水资源系统调配与高效利用、流域水环境质量改善与综合治理、水源水质风险阻断与饮用水安全供给等 4 个技术方向,启动 17 个指南任务。

1.流域水系统健康诊断与病因识别

1.1 长江、黄河流域水生态环境质量监测与评价技术研究与示范

研究内容:选择长江流域高原、丘陵、平原河网区和黄河流域上游(三江源、祁连山、甘南)水源涵养区、黄河三角洲区域为典型研究区。1)在常规理化监测指标基础上结合指示生物组

织污染监测，构建有毒有害污染物筛查技术，提出有毒有害特征污染物清单，优化流域水环境监测技术体系；2) 确定基于水文过程的生态流量监测方法体系，建立国产化的流域水文模型与软件系统，实现生态流量从监测到考核的监管体系；3) 攻克基于图形识别技术、流式细胞计数技术、环境 DNA、遥感技术相结合的多手段、多尺度水生态监测新技术，形成适合流域的水生态在线监测技术体系；4) 筛选不同区域、不同水体类型的指示水生生物类群，给出流域指示水生生物名录并绘制其空间分布图；5) 统筹水环境、水资源、水生态，构建涵盖物理生境、水生生物、水体理化等要素，建立分区、分级、具有流域特色的水生态环境质量评价指标和评价标准。6) 建立流域水生态环境质量监测业务化平台网络，并在长江、黄河流域开展业务化示范，实现水生态环境质量由单一要素监测评估到生态系统结构监测评估的转变。

考核指标：水环境、水资源、水生态监测关键技术 3-4 项；水生态环境质量评价技术工具包 1 个；长江、黄河流域典型区域、水域指示生物名录（图谱）1 套；长江、黄河流域水生态环境质量监测与评价技术规范（征求意见稿）1 套；流域水生态环境质量监测业务化平台 1 个，在长江和黄河流域进行业务化运行，并提供一年以上业务化运行记录及应用示范报告 2 份。

1.2 长江水生态系统完整性退化与修复机制

研究内容：针对长江水生态系统完整性的显著差异性特点

与退化成因不同，选择长江干流（上游高坝大库、中游和下游河段）、长江典型支流（赤水河、沱江、汉江等重要支流）以及平原湖泊、通江湖泊和高原湖泊群等典型水体，开展水生态系统完整性退化的特征与关键影响因子识别，建立水生态完整性退化与长江流域水工程建设、水量变化驱动、水质退化、水生植被退化、食物网系统退化等人类活动的关联关系；研究水生态系统中多途径、多介质、多污染物迁移转化途径与控制原理，突破大型河流湖泊水生生物模拟预测关键技术，构建流域分布式水生态系统耦合模型，揭示不同尺度水体“水文-水动力-水质-水生生物”多过程耦合与交互影响机制，阐明变化环境下重点干支流、湖泊水生态退化成因与演变规律。研究长江干流及重点支流（湖泊）水生态完整性状态对环境压力因子的响应规律与机制，提出重点长江干流及重点支流（湖泊）水生态系统修复限制因子与调控原理。

考核指标：形成长江不同典型类型水生态系统完整性诊断关键技术体系（10项以上），涵盖河流、湖泊水生态完整性评估技术，河流、湖泊水生态数值模拟技术；建立河流湖泊分布式水生态完整性退化预测预警模型系统1套；明确不同类型河流、湖泊生态系统的主要指示生物，提出不同类型河流、湖泊生态系统的主要指示生物退化的主控因子，形成长江流域水生态完整性一张图；提出不同类型河流、湖泊生态系统优化调控原理等，编制河流湖泊生态系统损伤评估、生态系统修复等标准规

范征求意见稿 3-5 项；提出重点地区河流生态修复策略建议 2 套。

1.3 黄河水源涵养区环境变化径流效应及水资源预测

研究内容：研究地面、遥感、空中、雷达等多源数据融合技术，分析地表温度、降水、蒸发、径流等水循环要素的演变规律，揭示区域水资源及下垫面对气候变化的响应机理，研究水资源变化成因；分析水资源变化对流域水安全及脆弱性的影响，研究陆面水文过程与流域生态过程的相互作用，诊断流域生态环境对水资源的响应及其病因；建立分布式水资源模拟系统，预测未来不同变化情景下区域水资源变化趋势，分析变化环境下水资源承载能力及其对生态环境的可能影响；研究全球变暖对水资源综合利用的影响，提出黄河水资源涵养区适应气候变化的水资源利用与保护策略。

考核指标：提出多源数据融合技术及融合产品，提出流域分布式水资源模型及具有自主知识产权的软件系统，流域水文过程模拟精度提高 5%以上；提出流域生态环境退化诊断分析方法和黄河流域评价结果；定量预测 2035 年、2050 年黄河水资源涵养区水资源变化趋势及水资源保障情势，形成 2-3 份咨询报告，被流域管理机构或国家有关部门采用，并在流域水资源管理中得到应用。

2.流域水资源系统调配与高效利用

2.1 区域水平衡机制与国家水网布局优化研究

研究内容：研究区域水平衡基础理论、水资源安全度评价方法与现代水网规划方法；分析我国区域水平衡存在的突出问题及其成因，识别重点失衡或风险区；研究环境变化与经济社会发展对区域水平衡的影响与作用机制，科学研判全国和长江、黄河等重点流域及重大战略经济区 2035、2050 年水平衡发展趋势，开展水资源安全度评价；构建全国水资源均衡调配模型，研究提出国家和长江、黄河等重点流域及重大战略经济区水资源均衡调配重大措施，形成面向中远期水资源安全保障的国家水网优化布局方案。

考核指标：提出基于物理机制的区域水平衡基本描述方程 3 个以上，建立区域水平衡诊断分析系统，得到权威同行认可。构建有完全自主知识产权的全国水资源综合调配模型，实现业务化运行；形成全国及 5 个以上重点流域或地区的水平衡基础数据集和水资源安全度评价成果，提出国家水网优化布局方案和重大措施建议，形成 2-3 份咨询报告，被国家相关部门采信和认同，支撑国家水网重大工程建设。

2.2 长江流域水工程多目标协同联合调度技术研究与应用

研究内容：研究长江流域水资源、水环境、水生态调度需求和目标，提出水资源-水环境-水生态多目标融合协同调度关系；研究建立复杂水工程多目标协同联合调度风险决策评估指标体系；研究水库、调水工程、分蓄洪区、涵闸泵站等水工程多区域

协调防洪调度、联合供水调度、水环境保障及水生态调控技术；研究以“三水”多目标融合协同为重点的长江流域水工程联合调度方案；研究水工程多目标联合智能调度赋能技术，建立面向流域多区域防洪与水资源配置、水环境保护及水生态修复于一体的水工程多目标协同智能调度模型，并在长江流域开展示范应用。

考核指标：长江中下游防洪减灾效益提高 5%以上；长江流域水资源综合利用效益提高 3%以上；长江中下游干流主要控制断面枯期平均流量增加 1000m³/s 以上；增加长江上中游促进鱼类自然繁殖的生态调度区域 1 个；长江中游干流入洞庭湖“三口”的断流时间减少 5%；长江流域水工程多目标协同联合智能调度模型，在长江流域 100 余座水工程联合调度中应用示范；长江流域水工程多目标协同调度技术方案，并被流域机构采纳。

2.3 黄河流域多目标协同水沙调控关键技术

研究内容：研究黄河水沙变化和水资源梯级开发对河流生态环境的影响与累积效应，揭示水库群调度下水-沙-生态多维关联关系与耦合机制；兼顾防洪减淤、供水发电和生态环境等需求，提出不同来水情势下黄河重要断面（河段）的水-沙-温阈值和适宜水沙过程；研究水库群水-沙-生态多目标协同调度技术，建立复杂系统可持续运行的定向控制方法，创建梯级水库群多维协同控制原理及调度技术；优化水沙调控体系的适宜格局和功能配置、待建工程的功能定位和规模，提出多时空尺度、多维功能协同的全河水沙调控模式、原则和极端洪（枯）水沙情境应对策

略。

考核指标：黄河干流主要断面基本生态流量的保障程度提高10%以上，梯级水库综合调度效益提升5%以上；提出兼顾行洪输沙-生态环境-社会经济多过程的协同调度方案与梯级水库群联合运用规则，并在黄河流域3座以上大型水库调度中应用示范；提出适应未来水沙变化、支撑黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的水沙调控工程体系配置格局与中长期调控对策，并被流域机构采纳。

2.4 黄河宁蒙灌区节水-控盐-减污-生态保护技术与示范

研究内容：分析不同程度节水的生态响应和土壤盐渍化演变规律，研究灌区山水林田湖草系统的适宜结构和灌溉规模。研究秋浇/冬灌的科学定额，优化灌溉技术和灌溉制度，评价高效节水、面源削减、灌排协同和水肥一体化等技术的适用性。研发灌区生态水文模型，揭示水-盐-污-生交互作用机理和耦合机制、可基本维持生态屏障功能的灌区节水潜力、改善灌区尾间河湖水环境和水生态的排水方式、灌区的合理引黄水量；研究水权转让和水价等促进机制和政策；开展水肥调控、面源消减、灌排协同和种植结构优化的节水-控盐-减污-提质技术集成，构建灌区科学节水与退水示范区。

考核指标：提出宁蒙灌区宜农规模及节水技术集成体系和配套措施，并被流域和区域水行政管理部门采纳；建设灌域级节水

-控盐-减污-生态及水权转换典型示范区，面积分别不低于 50 万亩，耗用黄河水量减少 10%，灌溉水利用系数提高 10%以上，减污 10%以上。

2.5 城镇生活节水技术装备研发及集成示范

研究内容：研究不同类型城镇生活供用耗排水动态变化与驱动影响机制，分类提出城镇生活用水定额标准，分析评价城镇生活节水潜力；研发低成本、环保型节水新产品、新装备；研究城镇多水源均衡配置与厂网河湖一体化调度技术；研发城镇生活节水高性能国产化在线监测装备；建立基于大数据分析的城镇生活节水精准动态诊断与智慧监管平台；研究水资源刚性约束下强化城镇生活节水多层次政策保障体系和全要素供水价格机制；在重点流域和缺水地区开展集成示范。

考核指标：提出城镇生活用水定额和生活节水利用评价技术；研发城镇生活节水新产品装备 2 套；提出城镇多水源均衡配置与厂网河湖一体化调度技术指南；研发城镇生活节水国产化在线监测计量新装备 3 套，在线监测计量误差流量 $\leq \pm 3\%$ 、水位 $\leq \pm 1.5\text{cm}$ ，水温 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、PH 值 $\leq \pm 0.1\text{pH}$ 、COD $\leq \pm 5\%$ 、DO $\leq \pm 0.5\text{mg/L}$ ，综合性能与国外同类仪器差距明显缩小；提出强化城镇生活节水政策保障建议，支撑国家、地方政策性文件制订；在经济发达地区、缺水地区和水质敏感区城镇建立 3 处以上集成应用示范区，单个示范区覆盖范围 $\geq 50\text{km}^2$ 、生活用水规模 ≥ 500 万 $\text{m}^3/\text{年}$ ，构建城镇节水大数据分析智慧监管平台，降低缺水率 \geq

5%，提升综合用水效率 $\geq 10\%$ 。

2.6 黄淮海地区地下水超采治理与保护关键技术及应用示范

研究内容：针对黄淮海地区地下水超采及其引发环境地质灾害和自然湿地退化问题，研究不同类型超采区地下水位不断下降对气候变化和人类活动影响响应规律，揭示典型区地下水超采致灾风险形成危机机制；研究地下水资源功能、生态功能和地质环境功能的时空耦合关系，构建地下水超采致灾风险评价、预警和保护理论；研发经济合理、有效治理和智能精准管控的关键技术体系，根据不同类区地下水功能耦合特征，建立典型区地下水超采治理与有效保护技术方案，并选择不同类型（同上）超采区开展示范应用；提出适应气候变化和经济合理的区域地下水超采治理与保护策略。

考核指标：构建不同类型地下水超采致灾风险评价、预警和保护理论体系 1 套，研发地下水超采风险预警与智能精准管控的关键技术体系 1 套，包括不同类型超采区预警阈指标体系，显著提高我国应对地下水超采的有效管控能力；形成适宜不同类型地下水超采有效治理技术方案，并示范应用 3-5 处，提高超采区地下水应急保障能力 30%以上；提出 3-5 份咨询报告，被有关部门采用。

3.流域水环境质量改善与综合治理

3.1 面向高盐废水资源化的低成本膜集成系统研发与示范

研究内容:针对膜技术在高盐废水资源化利用中运行成本高、膜污染严重的问题,优选并研发适用于高盐废水处理的低污染、高通量的反渗透膜材料,优化膜组件结构,提高抗污染能力并降低运行能耗;研究纳滤膜一二价离子分离的关键影响因素和控制条件,优选并研发高性能纳滤膜组件;面向高盐废水资源化,开发多膜集成-蒸发结晶耦合系统,优化膜组合模式及操作条件,研发低成本高稳定性的蒸发结晶技术和装备;识别膜集成系统各运行过程中的膜污堵关键组分,研发有机物-无机物协同去除及膜污染控制技术,提高膜集成系统运行稳定性;开展面向高盐废水资源化的膜集成系统应用示范,形成可规模化推广应用的技术标准体系。

考核指标:开发出适用于高盐废水处理的反渗透膜和纳滤膜组件,工业用膜组件的通量和分离性能较现有膜产品提高10%以上;建立处理量不低于5000吨/天的高盐(盐浓度大于1%)废水资源化利用工程示范1项,膜集成工艺段的运行成本较现有膜系统降低10%以上,产品盐回收率85%以上,满足工业盐标准;编制面向高盐废水资源化的膜集成系统技术指南1部。

3.2 污水生物处理前沿技术研发与示范

研究内容:以提升污水生物处理能源回收效率为目标,突破新型碳功能材料介导加速种间电子传递理论与方法,开发新型生物物质材料强化种间协同以靶向提升互营产甲烷效率的厌氧生物处理技术,研制基于厌氧-膜集成的新型高效厌氧生物处理装备;

解析污水处理微生物胞外电子传递的基因元件，建立基因编辑、外源电子媒介等多种调控胞外电子传递的新方法，研发电活性微生物耦合物化处理新技术，提升污水资源化效率和有毒污染物的生物降解速率；解析厌氧氨氧化菌富集规律，突破厌氧氨氧化菌规模化培养新技术，研发适用于中国城市污水特征的短程反硝化耦合厌氧氨氧化深度处理技术；研究影响污水处理系统功能微生物竞争优势并减少温室气体产生和抗性基因释放的原理，突破污水中胶体态、溶解态碳源的生物回收效率低的技术瓶颈，研发微生物与生态耦合净化技术，在低电耗情况下大幅度提升碳源、氮和磷资源的回收效率。

考核指标：研制基于厌氧-膜集成的新型高效厌氧生物处理设备，研发能源回收耦合资源再生的污水厌氧生物处理技术，研发基于基因编辑的电活性微生物耦合物化处理新技术，开发基于部分厌氧氨氧化强化的城市污水深度处理工艺，形成技术标准5项；开展工程示范，规模不低于30000m³/d；污水中有机能源转化率不低于60%，磷回收率不低于50%，全流程能耗降低30%以上，代表性抗性基因释放量减少50%以上，温室气体减排50%以上。

3.3 沿江沿河化工园区废水近零排放技术与示范

研究内容：针对沿江沿河石化、化工、制药、造纸、印染、电力、钢铁等重点行业水资源消耗和废水排放强度大的问题，分析典型企业和工业园区水资源消耗、工业废水污染物组成及来源，

开发废水污染物低碳消减技术，构建多层次水资源高效利用模式；开发重点行业源头清洁生产与绿色升级技术，减少污染物的产生；研究高盐、高生物抑制性胁迫下多污染物协同转化功能菌群构建和调控机制，开发生物强化处理技术；开发低成本、耐高盐高级氧化材料及成套技术；研究功能性材料的高分子物理和化学特性，开发高性能抗污染的纳滤、反渗透、离子交换膜材料及膜组件；研究高盐废水预处理及资源化利用技术和装备，开发低成本废水综合治理近零排放成套技术；建立典型企业和工业园区水资源高效利用的技术体系并开展应用示范。

考核指标：开发重点行业源头减排技术、废水污染物低碳消减技术、废水生物强化技术、高盐废水预处理及资源化利用技术等5项以上，形成日处理千吨级以上废水近零排放工艺包2个以上，制定典型企业和工业园区废水近零排放处理设施建设规范；建立废水处理量不低于1000吨/天的近零排放工程示范1项，净化水回收利用率大于90%，废水中典型化学品回收率90%以上，运行考核大于168h。

3.4 城市污水资源化利用的关键技术研发与应用示范

研究内容：针对城市污水净化后作为工业用水、地下水补给等应用需求，研发适应于工艺用水、循环冷却水、地下补给水等不同回用标准的城镇污水低成本净化的关键技术与装置，突破低成本高性能膜生物反应器技术、新兴风险污染物安全去除技术、污水系统全流程智能化稳定运行调控技术；研发再生水地表地下

存储调控关键技术，突破痕量污染物高效去除、“地表-地下”耦合净化技术，构建多尺度循环利用的再生水输送-储存-再利用模式；选择黄河流域典型缺水城市开展再生水不同利用模式的工程应用示范，建立再生水水质和风险因子动态监控平台，研究多层次多模式城市污水资源化分类供给技术标准体系。

考核指标：开发低成本高性能膜生物反应器技术，出水水质的SDI指数小于2.5；开发低压反渗透膜耦合技术，保障新兴风险污染物的安全去除，满足不同净化水水质指标；开发污水系统全流程智能化稳定运行调控技术、污染物深度净化与生态风险协同控制技术、地表地下储存调控技术等3项以上；建立与区域社会发展目标相适应的城镇污水资源化工业回用、地下储存一体化的工程城市应用示范，吨水回收利用成本比当地自来水水价低10%；编制城市污水资源化系列技术标准1项，申请发明专利10项以上。

3.5 长江流域城市厂网河湖一体化提质增效背景下多源污水-污泥-生态统筹的资源化处置关键技术

研究内容：研发管网雨污混接、错接和破损的非开挖检测关键技术及装备，突破管网工程建设问题的非开挖识别和智慧管控技术瓶颈；研发溢流污染和初期雨水污染控制关键技术及装备，创新接纳河湖水体水环境容量耦合厂网河湖一体化提质增效技术；研发市政污泥、管渠底泥、河道底泥等多源污泥资源化处置关键技术及装备，实现多源污泥中能源转化回收和底泥资源化利

用；开展长江流域典型城市多源污水-污泥-生态统筹的资源化处置技术体系的综合应用，建设长江流域厂网河湖一体化提质增效的示范城市。

考核指标：开发工程实施便捷且精确度高的管网问题精确检测技术及装备 5-6 项（套），管网混接错接和破损问题定位准确率比现有技术提高 20%以上；开发溢流污水和初期雨水处理技术 3-5 项，放江次数比现在减少 50%；开发多源污泥处理与资源化转化技术及装备 3-5 项（套），多源污泥资源化利用比现有水平提升 20%以上；示范城市厂网河湖一体化提质增效面积不小于 100 平方公里，城市主城区水环境水质比现在提高 20%以上。

3.6 流域面源污染防控技术与应用示范

研究内容：选择长江流域山区、丘陵、平原河网区和黄河河套大型灌区为典型研究区，研发跨行政区断面流量和浓度同步观测的面源通量核算技术；突破自然径流、农业种植面源、分散畜禽养殖面源和城镇面源污染物同位素溯源、识别解析和负荷估算技术；集成种植业、畜禽养殖和农村生活污染控制与治理技术并成套化；研究不同区域面源管理模式和政策机制等进行示范应用；研究制定面源污染考核技术方法、指标体系、管理政策和制度；在长江与黄河流域，选择县级行政区，开展技术应用和监督管理综合示范。

考核指标：面源污染物监测和通量观测技术 2-3 项；面源污染物溯源与识别技术 2-3 项；污染负荷核算关键技术 2 项；面源

污染监测、溯源与负荷核算技术工具包 1 个；面源监测布点、通量观测、负荷评估技术标准或技术规范（征求意见稿）1 套；面源污染控制成套技术、政策制度集成报告 1 套；建立地方政府面源污染考核指标体系 1 套（征求意见稿）。

4.水源风险阻断与饮用水安全供给

4.1 饮用水源风险优控污染物清单与风险源分布热点图

研究内容：整合长江、黄河沿线工业园区布局、企业生产工艺及产品信息，结合不同河流断面的水质水量数据，对高风险污染物进行污染源解析，绘制流域高风险污染物的风险源分布热点图；针对流域断面及重点排污口筛查出的多种疾病相关生物效应，结合高分辨液相质谱技术高通量鉴定出主要风险物质，并以饮用水水质标准制定为约束条件开展毒理学研究；结合国控断面和重点排污口，针对长江、黄河全流域主要二级支流和集中式饮用水水源，利用高通量靶向分析与非定向分析手段研究高风险污染物的时空分布，制定流域优控污染物清单，并综合健康风险和饮用水贡献率构建优控污染物排序方法对优控污染物进行排序，为我国饮用水标准持续更新修订、行业排水毒性减排和风险因子管理提供科技支撑。

考核指标：建立饮用水 700 种风险污染物高通量分析方法，结合靶向分析与非靶向分析结果，提出长江黄河流域饮用水源优控污染物清单 1 份；明确长江黄河流域不少于 8 种健康相关的生物毒害效应分布特征，利用非靶向分析方法建立相关物质的高通

量鉴定方法，提交流域生物毒害效应物质清单；构建优控污染物排序方法 1 套，对不少于 20 种风险污染物进行排序；提出不低于 20 种高风险污染物的长江和黄河流域二级子流域负载图和流域潜在风险源热区图；提出水源高风险因子污染防控策略。

4.2 长距离调水过程水质安全保障关键技术研发与应用

研究内容：针对长距离输水工程沿线的藻类爆发和有毒有害污染物等问题，研究输入水与沿线水体掺混后的复合污染机制，研发基于生物毒性效应导向的风险污染物高通量测试技术，构建水质安全评价方法，甄别筛选优先控制有毒有害风险污染物；识别调水干线藻类爆发机制与关键因子，构建基于深度学习算法的多源数据藻类爆发预测预警模型，研制藻类爆发预警设备，实现智能预警和趋势预测；研究消毒副产物前体物、臭味物质、藻毒素等藻源污染物在调水干线中的迁移转化规律，突破藻类控制、氮磷深度削减、风险污染物阻断等生物生态控制关键技术；研发高效去除饮用水典型新兴污染物的深度处理关键技术，研制大剂量高级氧化设备、节能型纳滤膜组件等深度处理系统，开展长距离输水水质安全保障技术综合应用示范。

考核指标：形成长距离输水过程水质安全保障优控污染物溯源甄别技术及装备，建立包含毒性数据、离子碎片等质谱信息的重点风险污染物数据库，构建调水水质安全评价方法；开发长距离调水干线藻类爆发在线检测预警设备，实现 7 天、3 天的藻类变化预报；研发长距离输水过程风险物质阻控生物生态控制关键

技术并开展技术示范，规模不少于 10 万 m³/d，风险污染物削减 30%以上，处理成本降低 20%以上。开展南水北调饮用水深度处理技术示范，工程规模不少于 20 万 m³/d，典型新兴污染物消减 50%以上，饮用水深度处理装备的价格比国外同类产品降低 40%以上。