

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 2024年度项目申报指南

(征求意见稿)

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布2024年度项目申报指南。

本重点专项锚定全面提升国家水安全保障能力总体目标，立足“健康长江、幸福黄河”构建中的重大科技需求，坚持目标导向和问题导向相统一，面向水利行业能力提升、面向影响水利高质量发展和高水平安全的难点堵点问题、面向新技术引领、面向安全底线坚守，充分发挥新型举国体制优势，系统开展长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理实践亟需解决的重大关键科技问题研究，为长江经济带发展、黄河流域生态保护和高质量发展等国家重大战略提供科技支撑。

按照需求牵引、急用先行的原则，2024年度拟启动45个项目申报指南，包括拟支持集成项目10个、重点项目15个、青年科学家项目20个。其中，集成项目每项拟安排中央财政经费约1500万元，设1名项目负责人，承担单位不超过6个，每个项目下设课题数不超过4个，每个课题设1

名负责人；重点项目每项拟安排中央财政经费约 600 万元，设 1 名项目负责人，承担单位不超过 4 个，不下设课题；青年科学家项目每项拟安排中央财政经费 200~300 万元，设 1 名项目负责人，承担单位不超过 2 个，不下设课题。集成项目与重点项目负责人要求应为 1966 年 9 月 30 日以后出生；青年科学家项目负责人要求男性应为 1986 年 9 月 30 日以后出生，女性应为 1984 年 9 月 30 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

本专项指南要求以项目为单元整体组织申报，须覆盖所申报指南二级标题（如 1.1）下的所有研究内容和考核指标。项目实施周期为 3~4 年，每个指南方向拟支持项目数为 1 项。鼓励相关企业联合申报，深化产学研合作。

本专项 2024 年度项目申报指南如下。

1 集成项目

1.1 洪水高风险区雨水情监测预报预警关键技术装备研发及集成示范

研究内容：研究我国极端暴雨洪水的气象成因规律，构建暴雨洪水递进式预警技术和不同阶段预警指标分析方法；研究基于气象卫星与测雨雷达等多源监测感知信息的降水预报模型，开发基于 AI 的高精度长预见期动态雨量场预报方法；揭示典型流域产汇流机理，研发物理机制与 AI 相结合的变结构动参数水文预报模型，提出多尺度自适应水文模型参数优化算法；研发水文水动力学相结合的复杂防洪系统

超标准洪水模拟自适应建模技术及洪水风险评估方法，集成研发以小型化测雨雷达为载体的雨水情监测预警装备，建立考虑“三道防线”监测信息差异化的洪水高风险区防洪“四预”平台。

考核指标：建立基于国产气象卫星与测雨雷达监测信息的递进式降水预报预警技术体系，发展多因子约束的降水融合与预报新方法，降水预报空间分辨率 30m、时间分辨率 ≤ 1 分钟，降水量预报误差 $< 15\%$ 、暴雨落区精度 $\geq 70\%$ ；建立物理机制与 AI 相结合的变结构动参数洪水预报模型，示范区洪水预报精度提高 5%~10%；研发水文水动力学相结合的超标准洪水影响预报模型，计算效率由小时级提升至分钟级；雨水情监测预警装备，具备极端恶劣天气条件下预警信息播发功能；成果在我国南北方选择不少于 3 个中小河流等洪水高风险区开展应用示范，单个示范区面积 $\geq 600\text{km}^2$ ；授权国家/国际发明专利 2 项，编制标准或行业指导性文件 1 项。

1.2 中小型水库土石坝超标洪水防漫坝溃决技术与装备研发

研究内容：研究变化环境和强人类活动作用下水库设计洪水计算与洪水标准确定方法；研究中小型水库土石坝不同筑坝材料漫顶水流冲蚀特性及溃坝临界阈值，揭示漫顶冲蚀作用下中小型水库土石坝破坏机理，构建考虑流固耦合和强非恒定流冲蚀特性的土石坝漫顶溃决数值模拟方法；研究土石坝漫而不溃或漫而缓溃坝面防护新型结构及已建土石坝

泄洪能力提升改造关键技术；研发土石坝坝面快速防护、快速成槽安全泄流等防漫溃抢险技术、材料与装备。

考核指标：提出水文非一致条件下设计洪水计算与洪水标准确定方法，编制设计洪水计算指南 1 项；建立土石坝漫顶溃决阈值识别与数值分析软件 1 套；提出中低土石坝坝面防护新型结构型式 3 种以上，研发中小型水库泄洪能力提升改造技术，泄流能力提升 $> 50\%$ ；研发中低土石坝坝面快速防护与快速成槽泄流技术装备各 1 套，坝面防护新型结构型式、坝面快速防护技术装备防护漫顶水深 $\geq 0.50\text{m}$ ，防护时间 ≥ 5 小时；编制土石坝漫顶防护技术导则 1 项，授权国家发明专利 4 项、软件著作权 2 项，在 2 处坝高低于 30m 的中小型水库土石坝开展示范应用。

1.3 复杂筑坝条件下沥青混凝土心墙坝渗漏诊断与处置关键技术研发

研究内容：研究不同筑坝条件下沥青混凝土心墙坝坝体-坝基变形规律，揭示坝体-坝基-防渗体协同作用机理；研究高水头长期作用和裂缝等质量缺陷影响的沥青混凝土心墙性能演化特征，评价混凝土心墙的耐久性和安全性；研发适用于沥青混凝土心墙的超深部缺陷探测装置；研发坝体坝基微流场监测兼渗漏探测装备，提出监测-探测-反演融合互馈渗漏诊断技术、渗漏处置材料与工艺。

考核指标：研发高水头条件下沥青混凝土心墙坝渗漏探测装备和探测数据分析解译软件各 1 套，沥青混凝土心墙坝

坝肩、坝坡等人员难达部位高效全覆盖探测，全坝区无损探测深度达到 200m 级，探测浸润线与监测点对比误差 $< 3\%$ ，渗漏病害区域定位精度 5m 级；研制微流场监测兼渗漏探测装备 1 套，探测流速范围 $0\sim 30\text{mm/s}$ ，方位测量精度 $\pm 1^\circ$ ，最大工作水头 $\geq 150\text{m}$ ；研发沥青混凝土心墙坝渗漏处置技术、处置材料与工艺 1 套，坝体砂砾石料和覆盖层渗漏处置材料流动度 $> 150\text{mm}$ ，带水处置时材料留存率 $> 50\%$ ，处置后凝结体 28 天抗压强度 $> 5\text{MPa}$ ，平均透水率 $\leq 5\text{Lu}$ ；授权国家发明专利 2 项，相关技术和装备在 2 个以上典型工程渗漏探测及处置中应用。

1.4 智能大坝透彻感知体系构建及改造关键技术与设备

研究内容：研究新建大坝和已建大坝透彻感知、诊断预警、决策响应等应用场景下智能感知仪器装备布置原则与基本要求，构建基于“天-空-地-水-工”全要素信息的大坝智能感知-融合-诊断-防控理论方法体系；研制变形、渗流、应力应变等智能监测传感器以及智能感知预警现地终端，研究埋入式大坝监测仪器故障智能识别及监测数据缺失条件下的安全防控技术；研究大坝安全监测要素的量值智能溯源、计量检定方法与标准，研发关键监测要素计量标准装置；研究基于数据-机理-知识驱动的大坝安全性态自诊断与自适应预警技术；研发大坝运行风险态势智能感知和智能馈控协同平台，并开展大坝智能化改造示范应用。

考核指标：提出新建智能大坝与已建坝智能化改造透彻感知技术与方法；构建全国七大流域病险水库典型病害特征基础数据库与知识图谱，包括大中型水库 1000 座以上；提出多源异构数据智能识别方法，错值剔除准确率 $\geq 90\%$ ；建立大坝安全风险自适应诊断智能算法模型，诊断与预警准确率提升 20%；研制变形、渗流渗压、应力应变等大坝安全智能监测仪器 3 台（套），具备高精度、抗干扰、自诊断、自校准功能，使用寿命在高湿、温度变幅大等恶劣环境下较传统传感器提升至少 20% 以上（疲劳实验）；研发量值溯源、计量检定方法与装置 3 台（套）；研发多源数据智能感知预警现地终端装备 1 套，具备同时采集库水位、雨量、渗流、渗压、应力应变、视频等 6 类以上监测要素，MTBF $\geq 10000\text{h}$ ；建成大坝运行风险早期精准监测诊断及风险态势智能感知和智能馈控协同平台；授权国家发明专利 7 项、软件著作权 3 项，编制大坝安全智能监测、大坝智能化改造技术标准指南 1 项，在 2 座以上不同坝型大坝开展智能监测、智能诊断、智能馈控等智能示范应用。

1.5 水利行业大模型关键技术研究及河湖库监管示范应用

研究内容：研究数字孪生水利“天-空-地-水-工”感知监测数据融合技术，提出河湖流域下垫面数据采集与计算参数快速提取方法；构建以河湖库监管为重点、兼顾流域防洪的业务语料库和知识库；研究水利模型预训练与微调通用架

构，研究基于水利大模型的卫星遥感、无人机、视频监控多模河湖库地物智能识别模型、本底数据智能分析模型，实现河湖库四乱问题的主动发现，开展水利大模型在河湖库清四乱、防洪智能决策等典型场景的应用示范；研发基于大数据的跨部门多来源数据集成分析技术，研究高时空分辨率多模态信息获取与融合技术，提出河湖流域数据协同采集与多参数智能提取方法，建立青藏高原河湖关键要素提取识别技术体系；开展青藏高原典型河湖长期演变示范应用，预测预判河湖形态、河湖水量、输沙量等河湖关键信息的长期变化趋势，应对气候变化带来新增湖泊水体动态演变趋势和管控影响，实现对灾害和环境影响的“四预”智慧决策。

考核指标：提出数字孪生水利“天-空-地-水-工”河湖治理多模态时空变分辨率监测感知信息融合技术（不低于3类模态、空间分辨率和3类时间分辨率），河湖流域下垫面数据采集时效达小时级，典型河湖库地物识别率达80%，计算参数提取速度达分钟级；构建涵盖河湖库监管、流域防洪等不少于3类业务的水利行业语料库，提出数据驱动与机理模型融合建模框架（不少于3类模型）；提出基于水利大模型的河湖库监管、防洪智能决策场景化应用技术，构建大模型驱动的智能决策系统（单指令响应速度 < 30 秒、执行成功率 $\geq 80\%$ ），具备多任务指令识别能力，支撑模型编排、要素预报、调度预演、预案生成等，决策方案分钟级推荐，决策报告自动生成，河湖库“四乱”问题识别准确率提升1倍以

上，流域防洪智能决策效率明显提升；关键技术和平台业务化，关键软硬件国产化，建立 3 项技术标准、1 项水利大模型、1 套大模型驱动的智能决策系统（集成不少于 3 类 20 项模型），构建河湖库本底地物库 100 万条以上，提出 5 万条水利领域大模型微调训练数据；在青藏高原不少于 2 个典型区域开展无人区河湖智慧监管应用，构建原位观测数据集，数据规模达到TB数量级，观测要素包括但不限于水文气象、河湖形态、水量、流量、输沙量等，示范区河湖总面积 $\geq 2000\text{km}^2$ 。

1.6 水库生态系统演变与健康评价关键技术及应用研究

研究内容：基于水库生态系统演变与发育阶段，开展不同类型、不同龄级水库生态系统调查，研究典型水库地形底质、水文泥沙、水质、重要生物和生境特征，以及水库地貌-水沙-水环境-生物多要素耦合作用机理，阐明水库生态系统演变规律；研究重要生物生活史特征及其对水库建设运行的响应机制，揭示水库河湖相转换生境变化和重要生物演替过程；研究不同类型水库生态健康评价方法，构建水库生态系统健康评价指标和标准，提出水库生态保护目标确定技术框架；研发水库坝前静水区-坝后河段-入库支流等多区段重要生物栖息地修复和生态系统保护技术体系，研究过鱼设施、重要鱼类三场栖息地修复、生态调度等措施成效评价技术方法，在三峡等典型水库开展应用示范。

考核指标：建立不同类型水库地形底质-水文水动力-泥沙-水质-水生生物数据库，覆盖不少于 50 个不同类型、不同龄级典型水库；构建水库生态系统演变预测模型，模拟预测精度比现有水平提升 10%以上；编制水库生态系统健康评价技术、水库生态保护目标确定、水库保护修复措施成效评价标准各 1 项；研发水库重要生物栖息地修复和生态系统保护技术体系 1 套，平水条件下坝后河段及入库支流重要生物有效栖息地面积提升 10%以上，并在三峡等典型水库开展示范。

1.7 丹江口库区及上游流域水质安全保障关键技术研究 与示范

研究内容：研究水源区富营养化关键因子（氮、磷）和风险污染物（镉等重金属）分布特征及演变规律，明晰水源区降雨-产流产沙-污染物通量耦合作用关系，建立集水区、小流域、入库支流多尺度污染物通量高精度解析方法，揭示丹江口水库水质对污染源输入的响应机制与水环境容量；研究水源区氮磷“收支”过程和输出机制，建立基于源头减量增效—水系廊道多级拦蓄—氮磷循环利用的流域面源生态调控技术，提出农业种植区、农村生活区多场景面源污染调控效果评估技术及调控模式；研发典型风险源监控预报预警技术，集成流域污染物产输模型和已有丹江口水库水质多维多过程数字孪生模型，提出典型风险源污染事件预报-预警-预演-预案的全链条技术体系；选择典型区域开展多级面源

污染生态调控技术和模式应用示范，构建库区风险源信息系统，研发丹江口水质风险预警处置智能决策平台。

考核指标：研发水源区氮、磷和风险污染物通量高精度解析方法 1 套，构建基于流域降雨-产流-产沙-污染物通量多过程耦合的污染物产输模型 1 套，典型卡口断面污染物通量预报精度 > 70%，构建面源污染生态调控技术及模式 2~3 套，同等水文条件下总氮、总磷及风险污染物入库负荷削减率均 $\geq 30\%$ ，实现典型风险源污染事件情景下丹江口水库水质实时预报，水库典型断面水质预报精度 > 85%；编制技术指南或规范 ≥ 2 项，行政区域水源区保护管理策略或政策建议 1 份，获得业务主管部门采纳；建设面积约 200km² 的流域面源污染生态调控综合示范区，研发丹江口水质风险预警处置智能决策平台 1 套，并实现业务化运行。

1.8 水库湖泊疏浚淤泥低碳高质利用的关键技术与装备

研究内容：研发面向淤泥等淤积物特性与输移需求的生态清淤技术，研制大深度高浓度智能高效清淤关键装备；揭示不同流域湖库疏浚淤泥等大面积堆场快速脱水机理，开发低碳快速脱水扩容技术，开展工厂化填料化和多种高效成堤技术研究；围绕高消纳、低碳化、低成本的淤泥资源化利用需求，以淤泥为主要原料研发不同用途的高品质建材等产品，实现疏泥低碳高质多途径资源化利用；考虑湖库淤泥清淤、堆放、资源化利用产品生产和应用等多因素，提出基于疏浚

淤泥处置的综合评价体系和政策建议，指导疏浚淤泥多途径利用的产业化发展。

考核指标：针对淤泥等淤积物，提出大水深、高浓度、低扰动智能高效生态清淤技术，研发智能高效生态清淤装备1套，装备清淤深度 $\geq 50\text{m}$ ，疏浚能力达到 $1000\text{m}^3/\text{小时}$ 以上，吸浆浓度 $\geq 70\%$ ；提出低碳快速扩容新技术，堆场存储能力提升20%以上，形成系列高效填料化和多形态淤泥快速筑堤技术，淤泥高效成堤新工艺 ≥ 2 种，研发淤泥控尘集中填料化改良装备1套，产能 ≥ 500 吨/小时；提出高掺量淤泥多种高质建材化等产品的技术与工艺（淤泥掺量 $\geq 80\%$ ），研发疏浚淤泥建材化装备2套，其产品抗压强度达到 $50\text{MPa}\sim 70\text{MPa}$ ，生产工艺为零碳或低碳，价格低于同期同类产品市场价的5~10%，可产业化；建立示范工程 ≥ 2 个，总规模 ≥ 50 万 m^3 ，编制相关综合评价体系、技术标准或指南 ≥ 2 项，授权国家发明专利 ≥ 5 项，疏浚淤泥低碳高质利用技术及其产品 ≥ 5 种，其中淤泥掺量不低于80%的市场化建材等产品 ≥ 3 种，研发的相关技术产品销售额 ≥ 2000 万元。

1.9 三峡库岸危岩结构面性状劣化监测装备与灾害风险预警关键技术研究

研究内容：研究三峡库岸危岩结构面性状劣化与发育特征信号幅频特征分析及监测技术，研发电震幅耦合的库岸危岩立体监测装备；研究多孕灾源耦合作用下危岩结构面性状非线性劣化演变规律与致灾机制，研发危岩主控结构面及其

性状劣化隐患精准识别技术；研究库岸危岩结构面性状长效劣化的力学表征方法与多因子互馈耦联演进算法，研发岩体结构面性状劣化-危岩崩塌-涌浪链生灾害的三维非连续变形分析方法和全过程高性能模拟系统；研究岩体结构面性状劣化诱发危岩重大链生灾害的时空演化特征和成灾条件，提出基于数据-机理双驱动的危岩链生灾害风险评估方法，研发危岩链生灾害预警指标体系，构建包含监测预警、精准预测、高效推演、防治预案等在内的智能化场景推演系统，并在三峡库区开展示范应用。

考核指标：研发电震幅耦合的库岸危岩立体监测装备 1 套，包含电磁辐射、微动和震动等多源信号不少于 9 个通道，动态范围 120dB、信号测量误差 $< 0.5\%$ ，短路噪声 $< 0.5\mu\text{V}$ ；提出三峡库岸危岩结构面性状劣化多参数动态响应特征数据库 1 套，建立库岸危岩主控结构面及其性状劣化隐患精准识别方法，开发危岩隐患识别软件 1 套，识别精度提升 30% 以上；开发三维非连续变形分析高效计算分析软件 1 套，并建立库岸危岩灾害风险评估体系 1 套，评估准确率 $\geq 80\%$ ；建立库岸危岩灾害预警指标体系，形成包含监测预警、精准预测、高效推演、防治预案等在内的智能化场景推演系统平台 1 套，预警成功率 $\geq 80\%$ ，漏报率降低 20% 以上；研究成果在三峡库岸选择典型危岩开展隐患识别与灾害风险评估技术应用，在 3 个示范点开展库岸危岩灾害实时动态监测和预警。

1.10 黄河流域“四水四定”关键技术集成与示范

研究内容：研究黄河流域水资源、社会经济、生态环境时空协同演变规律，解析水、城、地、人、产、绿多要素交互作用机制，构建水资源刚性约束下水-城-地-人-产-绿耦合模拟模型，完善黄河流域“四水四定”理论和方法体系；研究黄河流域各主要河流水系水资源开发利用上限，各地市来自不同水源的可用水量，以及各地市各主要行业的水资源配置方案和用途管制要求，系统分析不同区域产业功能、生态保护及城市发展定位，开展多层次适水评价，分区确定产业结构、生态布局及城市发展规模阈值；研发集成生态保护、水权交易、水资源节约集约利用关键技术体系，提出黄河流域水-城-地-人-产-绿协同发展路径，优化配置黄河流域水资源、生态、能源与粮食格局；统筹“八七”分水方案优化调整，提出“四水四定”监控、评价、考核指标体系及方法，构建监管预警平台，完善覆盖全流域的取用水总量控制体系，提出流域及区域“四水四定”管理对策，并开展示范应用。

考核指标：研发黄河流域水-城-地-人-产-绿耦合模拟模型和“四水四定”调控模型各1套，模拟精度 $\geq 80\%$ ；明确黄河流域各主要河流水系的水资源开发利用上限指标值，提出各地级市在相关河流水系的可用水量及各主要用水行业的水资源配置方案和用途管制要求；提出黄河流域“四水四定”方案，确定黄河流域生态、能源与粮食适水发展格局，

研发生态保护、水资源节约集约利用关键技术体系各 ≥ 3 套；提出与水资源承载能力相协调的城市人口规模、耕地规模与灌溉规模、高耗水产业准入负面清单及管控要求，以及黄河流域科学绿化的合理规模；制定流域跨省（区）水权交易管理办法，提出黄河流域水资源监测体系建设方案，构建覆盖全流域的“四水四定”监管平台，并与流域水量调度系统融合运行；制定相关标准 ≥ 2 项，提出的流域、省区“四水四定”考核指标体系、监控评价、管理对策建议；选择不同区域建设“四水四定”示范区，示范区“四水四定”监测体系纳入数字孪生黄河“2+N”业务平台，水资源利用效率较2023年提高10%以上，地下水位较2021~2023年下降幅度减小10%以上。

2 重点项目

2.1 变化环境下海河流域水雨情“四预”平台建设关键技术

研究内容：研究水利工程群影响下的流域水文非稳态和累积效应，揭示变化环境下海河流域产汇流演变机理；研发适合不同下垫面条件的流域产汇流及洪水演进模型及参数自适应跟踪修正技术，建立适应海河流域高强度人类活动的分布式水文水动力并行计算模型；构建海河流域复杂水库-堤防-蓄滞洪区群组合的防洪知识图谱，研发自适应式预案生成引擎；研究洪水风险的快速推演与智慧调控，研发海河流域水雨情“四预”系统平台。

考核指标：海河流域分布式水文水动力学模型及软件系统 1 套、自适应式预案生成引擎 1 套、海河流域“四预”系统平台 1 套；主要断面洪水预报精度 $\geq 80\%$ ，洪水预警发布提前 3 小时；河系正向和反向预演并行计算时间 < 30 分钟、模拟精度 $\geq 85\%$ ；授权国家发明专利 2 项，成果在海河流域 7 个河系的重要预报断面和至少 5 个蓄滞洪区开展应用示范。

2.2 堤坝工程蚁穴隐患探查技术与装备研发

研究内容：研发堤坝工程白蚁等害堤动物隐患地表特征及其无人机、地面机器人快速识别发现技术；研究蚁穴声频脉冲识别算法，研发基于生物学特征的巢穴直接探测定位技术；开发基于白蚁等害堤动物巢穴-土体差异的超宽频自动识别地质雷达探测技术，研究地质雷达数据自动解译分析技术；研发堤坝工程白蚁等害堤动物隐患的智能锥探技术。

考核指标：研发堤坝白蚁等害堤动物生物学地表特征的无人机和地面机器人高效快速检查技术 1 项，检查效率 $\geq 10\text{km}^2/\text{h}$ ，蚁穴生物学特征初筛漏检率 $\leq 10\%$ ，设备持续使用时间 > 40 分钟；研发蚁穴声频脉冲探测设备 1 套，定位精度 $< 0.3\text{m}$ ，命中率 $> 60\%$ ，探测声波频率范围 $10\text{Hz}\sim 3000\text{Hz}$ ，设备全重 $\leq 20\text{kg}$ ；研制堤坝隐患三维地质雷达无人探测装备，探测效率 $> 10\text{km}/\text{h}$ ，数据传输速率 $> 1\text{Mbps}$ ，探测深度 $0\text{m}\sim 10\text{m}$ ，蚁巢识别准确率 $\geq 70\%$ ；研发数字智能探杆 1 套，自动判别堤坝巢穴等缺陷，锥探深度 $> 3.0\text{m}$ ，综合命中率 $> 80\%$ ；开发隐患探测数据挖掘解译软件 1 套，实现实时隐患标记；授

权国家发明专利 3 项，堤坝白蚁无人机和机器人高效快速检查技术在 10km² 以上堤防白蚁检查应用示范，堤坝隐患三维地质雷达无人探测装备、蚁穴声频脉冲探测设备和数据挖掘解译软件应用示范在 3 处以上堤坝上示范应用。

2.3 华北平原典型超采区地下水运动规律及深层水回补修复技术研究

研究内容：全面评估华北平原典型区地下水超采对地面沉降、海（咸）水入侵、堤防标准等方面的影响；构建典型区高精度三维立体水文地质结构与参数模型，提出适合开展深层地下水回补的优势通道和特征区域；在典型区利用优势通道开展深层地下水回补示范，分析实施深层水回补对地下水储量、地下水运动过程的影响；结合深层地下水回补水量、地下水水位、地下水储量等变化趋势，评价华北平原实施深层水回补对防治地面沉降、海（咸）水入侵的等生态环境效益。

考核指标：建立华北平原典型区山前-滨海长剖面三维水文地质结构模型，提出适合开展深层水回补的优势通道、区域特征及回补方案，并开展示范应用；提出深层水回补对典型地下水超采区的生态环境效益评估技术方法体系 1 套；提出因地下水超采导致的地面沉降、海（咸）水入侵、堤防损坏等灾害的防范技术建议或实施深层水回补的政策建议 2 份，被行业主管部门采纳；形成典型区近 20 年高分辨率地下水蓄变分析数据集 1 套；授权国家发明专利 5 项，编制技

术标准 2 项。

2.4 淮河流域闸坝水下典型表观缺陷检测关键技术研发与应用

研究内容：面向淮河流域“水-力-组分”多场扰动的低可见度复杂场景下闸坝工程水下缺陷检测，研究水下成像声-光信号物理传播机理，建立“水域场景-水下检测-缺陷模式”间的耦合关系，开展水下声-光融合成像检测技术与流域适应性推广研究；构建声-光成像点/线/面阵模型，提出浑浊扰动环境的水下声-光成像数据配准方法，实现声-光成像数据共享融合，进而研发基于类脑智能决策的闸坝工程水下缺陷目标数值识别方法，在水下声-光成像数据驱动下实现模型优化，提高数值识别方法对淮河流域水体环境的适应性；综合水下机器人走航作业，形成淮河流域复杂作业环境水下机器人成像检测作业范式，研发基于水下机器人平台的淮河流域闸坝工程缺陷检测诊断系统；选取淮河流域典型闸坝工程开展应用示范。

考核指标：针对淮河流域水体环境，构建淮河流域闸坝工程典型水下缺陷图像数据库及类脑智能决策模型，数据样本量满足模型普适性学习及水下缺陷数值识别方法优化的需要，形成适用于淮河流域全域闸坝工程水下结构缺陷的目标检测技术及应用系统，缺陷检测准确率 $>90\%$ ，缺陷检测分辨率达到毫米级，缺陷类别识别精度 $>90\%$ ，工程实际场景作业重复精度波动 $<10\%$ ，系统误差 $<2\%$ ，系统或数据库模型的诊

断响应速度 $<1s$ ；研发新软件 1 套，授权国家发明专利 3 项，相关成果在 2 个闸坝工程得到业务化应用示范。

2.5 黄河水库及河道高含沙水流流量泥沙在线智能监测关键技术研发与示范

研究内容：研发高含沙流速水深测量关键技术、基于声光电多源传感的接触式和非接触式流速水深在线监测仪器设备，研发大水深、大含沙量、大流速等复杂场景下散射光式泥沙监测仪器，构建断面、垂线、流速、含沙量、输沙量在线监测方法体系，建立高精度“点-线-面-场”融合的水文立体化监测方法；研究黄河水库河道高含沙水流水沙智能在线监测理论，构建高含沙水流水沙在线监测量值溯源方法体系；研发数据采集、多源融合、可信传输、多维分析、自校核和自清洗的流量-泥沙监测感知平台，构建黄河水库河道高含沙水流水沙在线监测技术并开展示范应用。

考核指标：研发流速水深在线监测成品设备 3 套、泥沙含沙量在线监测成品设备 3 套、泥沙粒度在线监测设备 3 套，其中接触式流速水深测量技术最大应用范围含沙量 $\geq 50kg/m^3$ ，流量监测时间缩短 ≤ 6 分钟；非接触式流速水深测量技术最大应用范围含沙量 $\geq 1kg/m^3$ ，流量监测时间 ≤ 5 分钟。散射光式泥沙在线监测设备实现含沙量、泥沙粒度级配在线监测，含沙量分辨力 $\leq 0.001kg/m^3$ ，常规承受的水压力 $\geq 1Mpa$ ；流速水深监测设备最大应用范围 $\geq 50kg/m^3$ ，实现水深大于 30m 情景下水库异重流测验；悬移质含沙量在线监测

设备最大含沙量测量范围 $\geq 1200\text{kg}/\text{m}^3$ ，流量泥沙人工智能监测融合平台数据采集频次 ≤ 6 分钟且可变频；上述设备平均无故障工作时间 ≥ 8000 小时，野外随机误差 $\leq 10\%$ ，系统误差 $\leq 2\%$ ，且具备北斗定位、设备健康诊断和远程运维功能。授权国家发明专利 ≥ 2 项，编制标准 ≥ 2 项；相关技术设备分别在黄河干支流重点水文站、模型黄河、小浪底水库异重流泥沙测验、小浪底水库排沙洞开展 9 次以上监测示范应用。

2.6 水文格局变化驱动下的太湖蓝藻水华防控关键技术与管理平台

研究内容：研究水文格局变化驱动下太湖浮游植物、大型水生植物群落结构的演变规律，构建基于机理过程和大数据驱动的太湖三维水动力-水质-水生态耦合模型，揭示水文格局变化驱动下太湖蓝藻水华暴发机制和大型水生植物退化机制；研发环太湖入湖河道外源负荷控制、底泥内源负荷控制、草藻菌调控等关键技术，研究基于太湖水生态系统健康的氮磷负荷协同调控技术；研发蓝藻水华防控的水工程群综合调控关键技术，构建融合物联网智慧感知和人工智能数据模型的蓝藻水华防控系统与管控平台并实现业务化运行。

考核指标：揭示水文格局变化驱动下太湖蓝藻水华暴发机制以及大型水生植物退化机制；构建太湖全湖区三维水动力-水质-水生态模型，水动力模拟空间分辨率 $\leq 500\text{m}$ ，大型水生植被模拟水平空间分辨率 $\leq 50\text{m}$ ，水动力水质与水生态模拟时长不低于 1 年，模拟决定系数 ≥ 0.85 ；研制大流量

高效控藻装备 1 套，处理能力 $\geq 5\text{m}^3/\text{s}$ ，控藻效率 $\geq 95\%$ ；以村镇为基本管控单元，提出太湖氮磷负荷协同调控方案 1 套，调控面积不小于 5000km^2 ；构建融合物联网智慧感知的蓝藻水华防控业务化运行平台 1 个；开展氮磷污染负荷调控和蓝藻水华防控水工程群综合调控示范，示范面积 $\geq 230\text{km}^2$ ；授权国家发明专利 5 项，编制蓝藻防控标准 1 项。

2.7 灌区全过程用水测-控-评关键技术研究及应用

研究内容：研究周期性过水渠道配水节点量测优化布设方法，建立基于点流速的断面平均流速定量表征方法；建立考虑渠道水力特性的运行控制方法，研发多级别多分水灌溉渠系的联控技术，研发灌区供-输-配-灌-排水全过程量测的现代化评价指标体系与评价平台；构建基于灌区用水全过程模拟的农田灌溉水利用系数评估方法，研发灌区复杂水流场景的量测水产品，选取引黄和引水库灌区开展量测水技术示范应用。

考核指标：研发灌区用水全过程模拟软件 1 套，实现国产化替代；研发基于流体力学算法的经济高效量测水技术产品，成本降低 30%；提出基于多源遥感技术的农田灌溉水利用系数相关指标核算方法；提出因地制宜的明渠量测水解决方案 1 套；形成关键产品 3 套，硬软件产品国产化率 100%，授权国家发明专利 3 项，编制标准 1 项；在不少于 2 类灌区进行示范应用，示范区供需适配率提高 15%。

2.8 取用水计量器具在线校准技术及装备研发

研究内容：基于多声道条件建立外贴超声时差测流参数体系，提出管道口径、探头间距、介质温度等关键参数修正方法以及适应现场复杂流场条件的平均流速计算方法，研发多声道换能器现场快速部署工艺，形成常规口径（ \geq DN300）管道流量计在线校准技术及在线校准装备；针对泵站机组水力特性及短直管段测流条件的特点，建立泵站进出口断面流速分布模型及沿程管路损失模型，提出基于旋浆流速法、超声时差法和压差法的测流校准及修正方法，实现泵站现场流量测量设备的高精度在线校准；运用超声时差原理，研发基于流量数据诊断模型和现场测流能力评价技术的明渠流量计在线校准技术，并建立不确定度评定模型；研发拆装便捷、适用性好的明渠流量计在线校准装备，实现常规宽度（ \leq 5m）明渠流量计的快速在线校准。

考核指标：研发在线计量关键技术与校准设备 3 套以上；常规口径（ \geq DN300）管道流量计在线校准装备，测量不确定度优于 1%；基于旋浆流速法和超声时差法的泵站在线流量测量装置，测量不确定度优于 1.5%；常规宽度（ \leq 5m）明渠流量计在线校准装备，测量不确定度优于 2%；编写计量技术标准 5 项，授权国家发明专利 3 项；选取 6 种以上典型测流工程场景进行在线校准示范。

2.9 水网建设背景下珠江三角洲水资源空间均衡调控技术研发及示范应用

研究内容：揭示珠江流域干旱-河口咸潮上溯链式传导

机制，研究重大水网工程和旱咸发展趋势下的珠三角城市群水资源供需格局演变与适应方向；研究南方丰水地区水资源空间均衡性评估技术，绘制珠三角城市群水资源供需失衡风险图集，提出多时间尺度旱咸链式灾害预测预警方法，评价重点城市供水安全风险；研发水资源空间均衡调控技术，建立流域-区域相协调的水资源空间均衡调控方案集；评估极端旱咸叠加条件下区域水网韧性，提出区域水网优化布局、水资源用途管制措施及韧性提升策略，并开展示范应用。

考核指标：研发多时间尺度河口咸潮快速预报模型，模型单次预报耗时 ≤ 30 分钟，在风速 $< 5\text{m/s}$ 的情况下重要取水口取淡几率的日（1-3天）、周（7天）、半月（15天）预报精度分别不低于85%、80%、75%；建立南方丰水地区水资源空间均衡性评估技术，绘制珠三角城市群多情景水资源供需失衡风险图集1套；建立水资源空间均衡调控技术，制定流域-区域水资源空间均衡调控方案集1套，区域水资源空间均衡度提高6%；提出完成区域水网优化布局、水资源管制措施及韧性提升建议1份，并被业务主管部门采纳；珠三角城市群供水保证率提高2%以上；授权国家发明专利4项，编制指南或标准2项，咸潮预报模型在流域管理机构，省、市水行政主管部门与城市供水企业开展业务化应用。

2.10 复杂地质深埋输水隧洞超深孔钻探关键技术与装备研发

研究内容：研究孔壁失稳机理和岩心损失机制。研发护

壁材料、护壁结构、取心工艺及钻具，实现易失稳地层安全高效取心作业。研究多元地球物理场地层信息智能感知方法，突破超深孔精细化探测关键技术，构建超深孔物探与钻探相结合的不良地质辨识与工程地质条件评价系统。研究现有钻探装备大深度升级改造关键技术，集成适应于深埋复杂地质、孔深 2000m 级的工程勘察钻探装备。

考核指标：取心钻具、孔内地球物理探测设备、新型护壁材料和护壁机具均适用于垂直深度 2000m 级超深钻孔；超深孔工程勘察钻探装备垂直造孔能力达 2000m 级，装备最大部件重量 $\leq 1500\text{kg}$ ，使现状工程地质钻探深度由 1000m 级，提升到 2000m 级；护壁材料和取心钻具适用于断层、破碎岩体、软弱地层等复杂地质条件；孔内地球物理探测设备具备探测孔壁电阻率、声波等多个地球物理量的功能。护壁材料在易失稳地层中的坍塌周期延长 $\geq 30\%$ 、封堵率 $\geq 85\%$ ，7d 破胶率 $\geq 60\%$ ，复杂地层岩心采取率 $\geq 85\%$ ，孔内地球物理探测设备综合最优分辨率达到亚米级，超深孔工程勘察钻探装备国产化率 $\geq 90\%$ 。研发超深孔工程勘察钻探装备 1 套，连续取心钻具 1 套，孔内地球物理探测设备 1 台以及适用不同地层条件的新型护壁材料和护壁机具；授权发明专利 ≥ 3 件；编制标准 2 项。护壁材料、取心机具、孔内地球物理探测设备在不少于 5 个深埋长隧洞工程勘探钻孔中应用；超深孔工程勘察钻探装备完成 1 个 2000m 级的超深垂直勘探孔。

2.11 水资源刚性约束下节水综合评价技术与应用

研究内容：建立全国水资源“供-用-耗-排”数据库，识别主要行业和重点区域供用耗排变化过程及其主要控制因素；研究水资源禀赋条件-经济社会发展-节水水平之间的影响机制，构建节水水平评价指标体系及其评价方法，定量评估全国不同层级节水现状水平；研究水资源刚性约束下节水潜力内涵及其主要影响因素，研发全国分区节水潜力动态评价模型，评价全国分区域分行业节水潜力，绘制全国节水潜力分布图；选取西北生态脆弱区、江淮丘陵区、平原水网区等不同类型区域，开展应用示范，提出节水调控策略和全国节水战略布局。

考核指标：建立全国以地市为单元的水资源供用耗排数据库 1 个，节水水平评价方法和节水潜力动态评价模型各 1 套，被业务主管部门采纳应用；绘制全国现状节水水平、节水潜力空间分布图集 1 套；提出以落实水资源刚性约束制度为目标的节水策略措施建议，为国家节水主管部门采信；授权国家发明专利 5 项，编制节水评价相关标准 1 项。

2.12 基于重力卫星的地下水监测与预警技术

研究内容：研究双重力卫星联合组网技术，提高重力卫星监测数据的地表覆盖率和时空分辨率；融合重力卫星、全球导航卫星系统（GNSS）、相干合成孔径雷达（InSAR）与水井等多源数据，研发地下水储量高精度反演方法；结合区域水文地质条件和海量涉水数据，突破重力卫星对不同深度地下水分层监测的制约，研究重力卫星监测地下水蓄变量垂直

方向的信号分离技术；建立盆地或流域尺度地下水蓄变量监测和预报系统，开展典型区域地下水储量与补给量变化规律研究，支撑国家智能水网业务化应用。

考核指标：提出双重力卫星星座联合反演的技术方案 1 套，时间分辨率 ≤ 15 天，较传统技术反演地下水蓄变量结果的精度提高 50% 以上；发展重力卫星、InSAR、地下水位监测数据融合方法，形成融合多源监测数据和深度学习模型的地下水监测数据 1 套，地下水蓄变量监测的空间分辨率 $\leq 20\text{km}$ ，时间分辨率约半月，与国家地下水观测结果误差小于 15%；在全国 5 个地下水典型超采区建立动态监测网，为地下水主管部门提供监测预警报告 5 份以上，形成调度决策与超采区治理 5 项措施建议；在不少于两个以上具有不同地质和气候条件的典型区域进行验证，模型误差 $\leq 15\%$ 。

2.13 黄河几字弯煤炭开发对地表水-地下水系统影响及矿井水高效利用关键技术

研究内容：研究煤层开采导致的上覆岩层扰动对生态水文系统的影响驱动机制，研发矿区地表水-地下水耦合模拟模型，提出矿井涌水量预测方法和多手段联合预测技术；研发主要充水含水层精细探勘与导水裂隙带智能探测识别技术，建立采煤对水资源影响评估集成技术体系，提出限采、缓采及保护开采管控区等分区划定方法；建立关键含水层导水通道封堵矿井水减排技术，研发矿区取用水过程精细化监测管理系统，形成多矿联采“水源-用户-过程”量质联动的

矿井水统一配置利用技术，并开展示范应用。

考核指标：建立矿区地表水与地下水耦合模拟模型与矿井水预测模型，模型精度 $\geq 75\%$ ；研发导水裂隙带智能探测识别技术，空间定位精度 $< 10\text{m}$ ；研发关键含水层导水通道封堵矿井水减排技术，单矿地下水资源量破坏 $\leq 20\%$ ；研发矿区取用水过程精细化监测管理系统，实现矿区取用水自动预报预警，矿井单位产品水耗降低 $0.02\text{m}^3/\text{t}$ ；研发量质联动的矿井水统一配置利用技术，在2处矿区进行示范应用，矿井水综合利用率 $> 90\%$ ；授权国家发明专利3项，编制行业/地方标准1项。

2.14 西辽河生态水文演变与生态复苏关键技术研究

研究内容：研究西辽河流域寒冷干旱自然环境下生态水文演变机理，解析流域产汇流机理、地表水和地下水转化、天然草地退化演替规律，厘清西辽河流域水资源衰减规律与断流成因；开展流域水资源承载力评价与预测，研究西辽河流域生态复苏指标体系和标准，确定地下水位和河流生态流量阈值，构建西辽河生态复苏目标体系；研发河道生态水量-水位双控技术和水资源保障成套关键技术，结合控制性枢纽和“东北水网”工程，提出水资源配置和调度方案，并示范应用。

考核指标：研制变化环境下西辽河流域水文水资源变化模拟预测模型，水文水资源演变精准模拟模型关键断面径流过程 Nash 系数在 0.7 以上，相对误差控制在 10% 以内，地表

径流、地下水位等变化过程模拟精度提升 15%；研发多目标-多维度-多尺度-多属性-多要素水资源承载力评估技术 1 套，提出西辽河河道生态水量-水位双控和地下水位和生态流量阈值序列 2 套；开发适应东北寒冷干旱特征的流域水源配置、河流控制性枢纽生态联合调度模型，模拟精度提高 10%以上；提出西辽河复苏的水资源优化配置和调度方案 1 套，并在“要力争实现西辽河干流全线过流”中得到应用。

2.15 长江上游生态航道保护及生境修复技术与示范

研究内容：研究变化环境长江上游通航河流水动力和泥沙输移特性变化，分析上游梯级水库运行下河势演变与河流生态系统适应性调整过程；研究气候变化新水沙条件下滩群河段航槽稳定性及其对航道整治工程响应机制，研发面向关键种群栖息地分布连续性的生态航道保护技术；研究长江上游典型滩险复杂流态及鱼类行为响应特征，研发浅滩-深潭型鱼类栖息地营造技术；研究水沙动力过程与生态系统物质流动过程耦合模拟方法，构建防洪航运生态协同综合管理系统，形成长江上游生态航道保护及生境修复技术并开展应用。

考核指标：研发长江上游航道治理与食物网演变过程耦合的动力学模拟技术，典型鱼类生境要素模拟精度不低于 60%；研发面向关键物种栖息地分布连续性的生态航道保护技术 1 套，浅滩-深潭型鱼类栖息地营造技术 1 套，适宜栖息地空间分布范围提升 30%以上；提出有利于河流生态系统物质流动的防洪航运生态协同综合治理模式。授权国家发明

专利 5 项，编制生态航道保护与生境修复技术相关标准规范 2 项。

2.16 典型河湖生态环境复苏标准与综合调控技术及示范

研究内容：选取实施母亲河复苏行动的典型河湖，研究气候变化与人类活动影响下河湖生态水文过程演变规律，科学提出河湖生态环境复苏概念与内涵，明确季节性河流和常年流水河流的判别方法。综合河湖生态用水（流量、水位）保障、生态系统结构稳定性维持、三生用水协调等需求，研究确定不同区域、河湖类型复苏的标准与判别方法，建立河湖复苏的指标体系。根据典型河湖取用水及流域水工程调控特征，研究不同复苏标准下的水工程多目标优化调度技术，建立河湖长效复苏的综合调控与适应性管理模式。基于北斗、大数据、AI 等新技术，耦合遥感、无人机与地面监测等，研发“天-空-地-水-工”一体化的河湖复苏成效监测评估技术。选取华北地区、南方丰水地区等典型母亲河进行应用示范。

考核指标：提出基于历史和现实变化环境下河湖生态环境复苏概念，构建全国季节性与常年性河流分类体系，提出河湖复苏标准和目标体系 1 套。提出适用于不同类型的典型河湖综合调控与适应性管理技术体系 1 套。形成“天-空-地-水-工”一体化的河湖生态环境复苏快速监测评估技术 1 套，响应时间 ≤ 24 小时。编制河湖生态环境复苏的行业标准 ≥ 2 项，技术示范区河流或湖泊 2 条（个），提出河湖生态环境

复苏年度报告不少于 2 份、政策建议不少于 2 份，被业务主管部门采纳。

2.17 金沙江下游梯级水库群数字孪生系统构建关键技术研究与应用

研究内容：面向金沙江下游梯级水库群防洪、水资源调配与管理等业务需求，研究融合卫星遥感、航空遥感、无人机（船）、工业物联网多信息源的流域“天空地水工”全要素实时精细监测感知技术，建立平衡算力需求与精度的数据底板；研究水利水电专业模型适配器标准和可视化模型构建技术，建立支撑水利业务模型、智能识别模型、可视化模型高效耦合的通用模型平台；研究融合多模态大数据的流域水利工程管理垂直领域知识库构建技术，构建水利典型业务领域知识图谱大模型；研究流域梯级水库群智慧业务数字孪生决策应用场景构建技术，实现流域防洪、供水、发电与大坝安全监测、发电机组故障预测等业务事件驱动的正反向互馈智能模拟。

考核指标：提出流域“天空地水工”全要素的数字信息模型构建技术 1 套；数据底板大坝应力仿真精度 $\geq 90\%$ ，大坝变形仿真精度 $\geq 95\%$ ，稳态工况下水轮机压力脉动仿真精度 $\geq 90\%$ ；建立通用模型平台，实现模型平台单指令响应时间 ≤ 30 秒；提出具有防洪、供水、发电等多目标协同方案推理能力的知识图谱大模型 1 套；提出梯级水库群智慧业务数字孪生决策应用场景构建技术 1 套，系统在金沙江下游梯级

水库群进行示范应用。

3 青年科学家项目

3.1 淮河流域超标准洪水动态预演与智能预案构建关键技术

研究内容：系统分析淮河流域不同超标准洪水发生频率及其暴雨时空特征；研发考虑极端情景的多库联调、蓄滞洪区运用等超标准洪水场景预演技术，以及基于精细化人口、资产分布的雨洪灾害损失动态评估技术；研发基于大模型技术的动态预案智能生成技术，研发具有超标准洪水动态预演与智能预案功能的数字孪生流域平台并进行示范应用。

考核指标：研发面向联防联控的流域水工程联合调度模型 1 套，调度方案生成响应时间达分钟级；研发流域超标准洪水预演和损失动态评估技术 1 项，损失评估准确率 $> 85\%$ ；研发具有超标准洪水动态预演与智能预案功能的数字孪生平台，并开展应用示范，示范区面积 ≥ 5 万 km^2 。

3.2 长江黄河百年尺度水资源与洪旱风险评估技术

研究内容：研究长江黄河流域水循环过程的自然波动与气候变化驱动机制，阐明气候变化和人类活动影响下流域水资源百年尺度的演变规律和分异特征；揭示大气升温与湿度约束下流域极端水文气候事件对气候变暖的响应机制，研究流域水文平均态和极端态演变向洪旱灾害传递的关键阈值和致灾过程；预估不同温升情景下流域未来到本世纪末水资源和社会经济洪旱风险。

考核指标：提出气候变化和人类活动影响下长江黄河水资源与洪旱风险评估技术 1 项；构建流域格点化和关键水文断面历史 100 年和未来 100 年水资源数据集 1 套，绘制流域未来 100 年洪旱社会经济风险图集 1 套，被相关部门采纳应用；授权国家发明专利 2-3 项。

3.3 高度城镇化地区应对极端暴雨的流域-区域-城市洪涝协同防治关键技术

研究内容：选择典型高度城镇化地区，研究变化环境下的流域-区域-城市洪涝演变规律；比较研究不同行业部门设计暴雨洪水计算和资料选择方法，提出流域-区域-城市洪涝防御协同调度方法和内涝智能快速模拟技术路径；研提流域-区域-城市协同条件下的城市防洪韧性提升策略并示范。

考核指标：揭示极端暴雨和下垫面变化情景下流域-区域-城市洪涝致灾互馈机理，提出流域-区域-城市洪涝协同防御机制；构建流域-区域-城市洪涝防御模拟模型，城市尺度在线模拟 2-24 小时洪涝风险过程，运行时间 < 1 分钟；编制城市暴雨协同防治相关技术指南 1 项。

3.4 黄土高原水土保持治理原真性研究方法与应用

研究内容：解析小流域水-土-沙-生多过程作用机制，揭示环境变化作用下的水土流失演变规律，提出小流域水土保持治理的原真性研究方法。开展淤地坝安全自适应、声波增雨等新技术的原真研发试验，建立科学调配小流域水、土、光、生等本地资源的水土保持技术方案。

考核指标：提出小流域水土保持治理的原真性研究方法 1 项，研发安全自适应淤地坝、小流域声波增雨等水土保持新技术不少于 2 项；建立水土保持治理的原真性研究方法案例小流域 2 个、水土保持新技术试验示范小流域 2 个。

3.5 山区河道水沙床耦合机理与山洪演进模拟技术

研究内容：研究强水流动力作用下宽级配泥沙运动机理和山区河道极端洪水过程的骤冲骤淤机理，研发基于水沙床耦合作用的山洪演进模拟技术，研究提出高含沙山洪预警指标确定方法。

考核指标：阐明山洪动力-泥沙输移-河床冲淤的耦合机理，建立水沙床耦合的山洪演进模拟数学模型 1 套，模拟相对误差 $\leq 25\%$ ，水位误差 $< 0.3\text{m}$ ，模型在不少于 1 处示范区应用；提出高含沙山洪预警指标体系确定方法，编制标准 1 项，并被业务部门采纳。

3.6 黄河流域水轮机过流部件磨蚀演化机制与监测预警关键技术

研究内容：研究高速含沙水流条件下水轮机过流部件动态特性及水力性能，揭示过流部件冲蚀失效机理和磨蚀协同破坏演化机制，构建化学涂覆结合冶金涂层、稀土掺杂硬质合金熔覆涂层与实时监测预警的技术体系，阐明水轮机效率提升与涂层防护增效机理。

考核指标：建立黄河流域水-沙-石耦合作用下水轮机仿真模型，揭示高速含沙水流条件下过流部件磨蚀机制，形成

水轮机关键风险防控技术 1 套，研制新型高分子涂层、稀土掺杂硬质合金涂层，高分子涂层与基体结合强度 $\geq 30\text{MPa}$ ，空蚀失重速率 $< 1\text{mg/h}$ ，抗冲磨强度 $> 200\text{h}/(\text{g} \cdot \text{cm}^2)$ ，稀土掺杂硬质合金涂层与基体结合强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，耐磨损、耐空蚀性能优异，过流部件寿命提升 50%以上；研发集振动、噪声、效率、磨损等多参数的一体在线监测设备 1 套，构建水轮机磨蚀防护实时监测预警平台。

3.7 面向集控的小水电站群安全运行精准感知及智能监管关键技术与示范

研究内容：研发面向各层级水行政主管部门的小水电群协同安全精准感知研判模型，研发小水电站群协同安全感知预警技术；构建小水电站（群）耦合安全与生态的监（检）测指标体系与综合评估方法，开展典型小水电站涉水水域公共安全与生态风险评估、预警及管控技术研究；研发小水电站安全生态监测监管与应急决策平台，并在典型流域示范应用，实现试点接入水电站具备安全运行性态在线监视及提醒、安全与生态流量监测仪器故障及异常监测信息提醒、隐患早期识别、安全性态综合研判等功能。

考核指标：构建面向各层级水行政主管部门的多源数据融合的小水电站（群）安全感知研判预警体系，提出水电站（群）耦合安全与生态的监（检）测指标体系与综合评估方法；研发可嵌套行业主管部门管理信息系统的小水电站群智能监管平台，并接入典型流域（区域）集成示范，试点覆盖

水电站数量 ≥ 500 座；硬软件产品国产化率 100%，模型采用国产化产品自主研发，核心信息更新（推送）频率 ≥ 1 次/48 小时；向国家和部委提交政策建议 1-2 份，编制小水电集控中心标准草案 1 份。

3.8 数字孪生水利中高精度地理空间数据密态计算方法研究与应用

研究内容：研究数字孪生水利场景中的高精度地理空间数据密码防护需求，提出基于数字孪生水利场景的高精度地理空间数据密态计算方法，构建适用于数字孪生水利场景的高精度地理空间数据密态计算技术体系；挖掘支撑数字孪生高精度地理空间数据计算的函数要求，提出现有密态运算精度提升模式与优化方案，并开展典型试点应用示范。

考核指标：提出基于数字孪生水利场景的高精度地理空间数据密态计算路线 1 种，形成适用于数字孪生水利场景的高精度地理空间数据密态计算国产化技术方案 1 个；提出面向数字孪生水利高精度地理空间数据的密码安全防护咨询建议 2 份；提出数字孪生计算所需要函数方法的密态模式，支撑现有数字孪生业务；支持密态运算模式下计算精度在现有密态运算技术模式精度的基础上提升 15%；密态数据计算性的加密速度达 20000 个数据项/s，解密速达度 20000 个数据项/s，密文计算速度达 10000 个数据项/s；选择 ≥ 1 个典型区域完成高精度地理空间数据密态计算模式应用示范，并编制水利行业标准规范 ≥ 1 项。

3.9 灌溉取用水智能监管关键技术与应用示范

研究内容：针对大范围农业灌溉取用水精准核算的难题，充分利用“天空地水工”多源监测数据，研发灌溉取用水多源数据融合与集成技术；研发灌溉水源与灌溉范围智能匹配技术；基于地面监测及时空分析，研究灌溉用水量时空动态核算技术；采用大数据及图像识别分析，研发违规取用水行为智能识别技术，选择南北方 2 个以上典型省份开展示范应用。

考核指标：形成灌溉取用水动态核算与智能监管技术体系，灌溉用水量核算精度 $\geq 90\%$ ，违规取用水识别精度 $\geq 80\%$ ，提升监管效率 $\geq 30\%$ ，可支撑大范围取用水监管业务实施；在南北方选择 2 个典型省份开展示范应用，编写标准或行业指导性文件 1 项。

3.10 气候变化对西北内陆河流域水资源的影响与水网建设适应性策略研究

研究内容：研究气候变化背景下西北内陆河典型流域水资源时空演变态势；研制水资源演变模拟与水安全风险评估模型，评估未来不同气候情景下水资源演变对流域水安全可能造成的威胁；研究跨流域跨区域水资源协同均衡调控方案与水网建设结构、规模优化策略，提高西北地区水资源安全保障能力。

考核指标：研制适合西北内陆河流域的水资源演变模拟与风险评估模型 1 套，模拟预测精度提升 10%以上；编写气

候变化背景下水资源演变不确定性分析技术文件 1 部；提出西北地区应对气候变化的水土资源布局适应性策略，形成优化配置方案和水网工程建议，被省级以上业务主管部门采纳。

3.11 南水北调中线工程沿线水质安全生态调控技术研究

研究内容：研究南水北调中线工程总干渠生态系统食物网结构特征及能量流动过程，研究中线总干渠生态系统稳定性维持机制及驱动因素，研究耦合闸控水文水动力条件的食物网结构及能量传递效率优化方法，研究保障中线工程沿线水质的生态调控关键技术，支撑中线总干渠的生物群落预警和防控平台构建。

考核指标：研发基于食物网稳定性和能量传递效率提升的关键生态调控技术措施不少于 3 项，形成水质安全保障成套技术 1 项，在中线总干渠的生物群落预警和防控平台构建中得到应用。开展长度不低于 3km 干渠食物网能量传递效率提升检验，能量传递效率提升 15%以上。

3.12 黄河流域地下水储备与保护关键技术

研究内容：解析黄河流域含水介质空间结构特征，查明流域地下水补排特征，分析流域地表水与地下水交互规律，揭示变化环境下黄河流域地下水循环演变机理；定量分析主要含水层储水与调蓄能力，结合流域水资源供需情势与保障风险，确定流域适宜地下水储备区。

考核指标：建立黄河流域地下水-地表水耦合模型 1 套，

创建黄河流域主要含水层地下水补给排泄动态变化、地表水-地下水交互动态数据集，分辨率 $1\text{km} \times 1\text{km}$ ；提出黄河流域地下水适宜储备区建议 1 套，包含地下水储备区空间分布、规模及储水能力，被流域管理机构采纳；提出含水层储水调蓄潜力及适宜性评估技术 1 套，储备动用风险预警技术 1 套，授权国家发明专利 2 项。

3.13 干旱条件下三峡水库调度与长江中下游补水研究与应用

研究内容：分析长江中下游干旱期来水量及用水需求，研究三峡水库分期旱限水位及其调度规则；研发长江中下游低水径流演进与长江口水盐模拟耦合模型；考虑三峡水库干旱期补水作用范围与补水能力，构建干旱条件下三峡水库多目标调控技术，并开展效果评估。

考核指标：提出应对不同量级干旱事件的三峡水库补水调度时机与分期旱限水位；编写针对长江中下干流极端低水的三峡水库抗旱补水应急技术标准，与现状调度方案相比，特枯情况下长江中下流补水量增加 50 亿 m^3 以上，减少干流、两湖以及长江口缺水 5% 以上，提升长江干流生态基流保证率 10% 以上。

3.14 平原水网区河湖水域生态修复目标确定技术

研究内容：研究平原水网区不同类型河湖生态空间结构与功能的时空特征，揭示不同类型河湖多因素耦合作用机制及主要影响因子，建立基于分区分类与响应机制的河湖生态

流量保障与水域生态空间修复目标确定技术。

考核指标：提出平原水网区不同类型河湖主要影响因子识别方法，提出平原水网区不同类型河湖多情景生态流量保障和水域生态修复目标确定技术，形成新技术和新装备不少于 2 种，编制技术规范或团体标准 1 套，技术就绪度达到 TRL8 级以上。

3.15 长江下游调水工程对河湖生境同质化影响及调控技术

研究内容：研究长江下游引江调水影响下受水河湖水质和浮游生物生境的时变规律，阐明受水河湖水质和浮游生物生境同质化过程及影响机制；构建引江调水工程水质和浮游生物同质化影响评价方法，厘清引江调水对受水湖泊水质和浮游生物的影响作用；解析调水工程对受水河湖水生态系统的累积影响，研发复杂引调水工程影响下受水河湖水质和浮游生物生境同质化风险调控技术，提出长江下游典型引江调水工程河湖生境同质化风险防控策略。

考核指标：建立引调水工程水生态影响评价方法 1 套，申请行业团体标准 1 项；研发复杂引调水工程影响下水生态风险调控技术；提出引调水工程影响下受水河湖水质和浮游生物生境同质化风险防控策略建议 1 份，并得到行业或地区水行政管理部门采纳。

3.16 湖库型水源地水生态环境风险智能化监管技术及设备研发

研究内容：针对我国湖库型水源地监督管理需求，集成开发藻类、水生生物、新兴污染物等指标的立体监测设备与数值模拟手段，研发面向湖库水生态风险管理的技术体系及配套算法，构建集“研发设备-监管技术-算法体系”的湖库型水源地监管系统平台。

考核指标：开发形成“研发设备-监管技术-算法体系”的湖库型水源地监管系统平台并开展应用，设备运行对环境不产生二次污染，国产化率 90%以上，关键算法自主可控，数据有效率 80%以上，制定团体或行业标准 1 项以上。

3.17 城镇河湖生态环境复苏的多水源耦合调控关键技术研究

研究内容：研究多水源补给城镇河湖生态环境复苏的标准与目标指标体系，研发城镇区域“源-网-河湖”污染溯源算法和智能装备，研究初期雨水调蓄工程模型与实时优化调度方法，形成多水源补给城镇河湖复苏调控技术，在典型城镇河湖开展应用与检验。

考核指标：提出城镇河湖生态环境复苏目标体系 1 套，产出河湖污染溯源智能装备 1 套，核心算法开源，硬件全部国产化，初期雨水调蓄工程量质模拟误差 $\leq 20\%$ ，调控技术应用于汇水面积不少于 100km^2 的城镇河湖数字孪生平台，制定行业或团体标准 1 项。

3.18 长江中下游河势控制与滩槽物理生境协同治理关键技术研究

研究内容：研究长江中下游干流水-沙-生源物质输移、滩槽演变及其物理生境演化的耦合作用机制，建立水沙情势剧变驱动的多过程耦合模型，构建多过程演变的防洪-河势-生源物质-物理生境综合效应评价方法，研发河床持续冲刷条件下长江中下游多目标河势控制与滩槽生境协同修复技术。

考核指标：建立长江中下游干流水-沙-生源物质输移、滩槽演变及其物理生境演化的耦合模型 1 项；构建多过程演变的防洪-河势-生源物质-物理生境综合效应评价体系 1 套；研发河床持续冲刷条件下长江中下游多目标河势控制与滩槽生境协同修复技术 3 项；选择 2 个长江中下游干流重点河段开展应用示范，实施后关键生态功能指标提升 $\geq 10\%$ 。

3.19 南水北调东线调蓄湖库群生态安全保障技术

研究内容：识别东线调蓄湖库群水质、水生态风险驱动因子，提出湖库群修复关键作用点。研发面向暴雨径流污染和平交河流水质风险防治的水陆统筹的多要素耦合模拟方法，创新输水刚性约束下调蓄湖库群水质保障和生态水量优化调控技术，提出不同输水需求情形下调蓄湖库群水质保障和生态水量调控方案，并开展应用示范。

考核指标：提出调蓄湖库群生态修复技术规范或指南与体制机制建议 1 份以上，为东线工程运管单位、省级行业主管部门或流域管理机构采纳。建立东线工程典型区段流域-湖泊耦合的水文-水质-生物数学模型 1 套，流域-湖泊耦合

的水文-水质-生物数学模型的空间分辨率不低于 100m，时间分辨率不超过 1 天，水量精度不低于 90%，水质水生态主要指标模拟精度不低于 80%。

3.20 农村供水病原微生物与消毒副产物风险管控技术

研究内容：解析农村供水系统水源病原微生物及管网消毒副产物分布特征，研究新国标下典型农村饮用水消毒方式的副产物生成水平及风险；研发长江黄河流域典型农村供水系统的绿色高效消毒方法与低维护消毒设备，研究适宜小型农村供水系统的微生物及消毒相关水质指标的自动化监测技术及设备，构建病原微生物与消毒副产物的协同控制技术。

考核指标：建立典型区域农村供水系统水源病原微生物风险图与数据库，准确率 $\geq 90\%$ ；研发典型应用场景下农村供水消毒与监测技术不少于 3 套，研发相应设备不少于 3 套，核心部件使用寿命 ≥ 3 年；提出病原微生物与消毒副产物的协同控制技术不少于 1 套，在 2 处及以上典型农村供水工程应用，水质微生物和消毒副产物指标稳定达标。