

数字孪生水利建设中应把握的要点

水利部信息中心 蔡阳

2023年5月24日

水利部将**推进智慧水利建设**作为推动新阶段水利高质量发展的**六条路径之一**。**数字孪生水利建设**是推进智慧水利建设的实施措施。水利部近两年先后从**行政、规划、工作、技术**四个层面制定印发了**系列文件**，明确了推进数字孪生水利建设的**时间表、路线图、任务书、责任单**。完成了顶层设计。

数字孪生水利建设是一项**技术难度大、管理复杂的系统工程**，存在技术和**管理方面的难点**，水利部通过开展**技术攻关和先行先试**，探索了解决**难点的思路举措**。

目 录

第一部分 把握数字孪生水利建设的目标任务

第二部分 把握数字孪生水利建设的重点与难点

一

是什么
定义定位

二

为什么
形势要求

三

建什么
目标任务

四

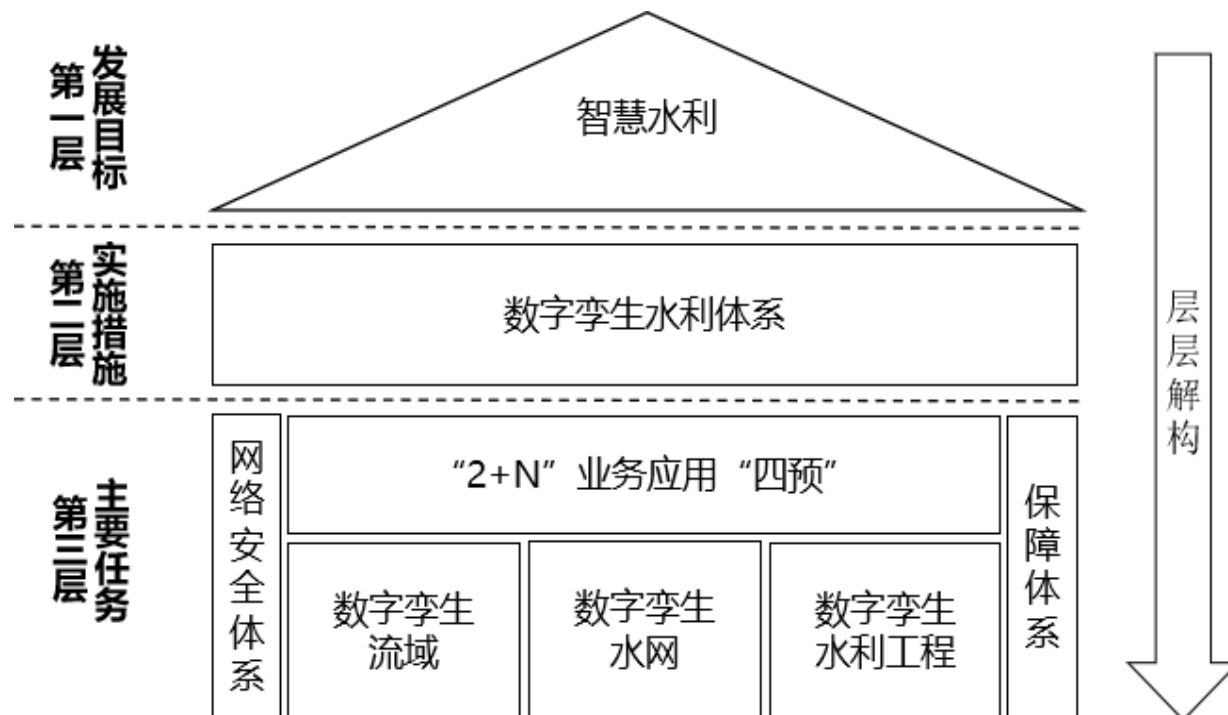
怎么建
实施路径

定义定位一定位

智慧水利——全局性大目标，是水利高质量发展的显著标志，是大方向和趋势。**推进智慧水利建设**是推动新阶段水利高质量发展的**六条路径之一**。

数字孪生水利——实施措施，统筹建设数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程，构建具有“四预”功能的数字孪生水利体系。

- ◆ **第一层：明确发展方向，即智慧水利**
- ◆ **第二层：实施措施，即建成具有“四预”功能的数字孪生水利体系**
- ◆ **第三层：主要任务，即“三个孪生”和“2+N”业务“四预”**



定义定位—定义

数字孪生水利是充分运用物联网、云计算、大数据、人工智能、虚拟现实等新一代信息技术，**建设数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程等新型基础设施**，实现流域防洪、水资源管理与调配等“2+N”业务应用“四预”（预报、预警、预演、预案）功能的综合体系，提升水利治理管理数字化、网络化、智能化水平，为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。

数字孪生流域是以物理流域为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，**对物理流域**全要素和水利治理管理活动全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演，与物理流域同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理流域的**实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施**。

数字孪生水网是以物理水网为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，**对物理水网**全要素和水利治理管理活动全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演，与物理水网同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理水网的**实时监控、联合调度、风险防范的新型基础设施**。

数字孪生水利工程是以物理水利工程为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，**对物理水利工程**全要素和水利治理管理活动全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演，与物理工程同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理工程的**实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施**。

一 定义定位—定义

预报

基本内涵是以流域为单元，遵循客观规律，在总结分析典型历史事件和及时掌握现状的基础上，根据业务需求，采用基于机理揭示和规律把握、数理统计和数据挖掘技术等数学模型方法，对水安全要素发展趋势**做出不同预见期（短期、中期、长期等）的定量或定性分析，提高预报精度、延长预见期。**

预演

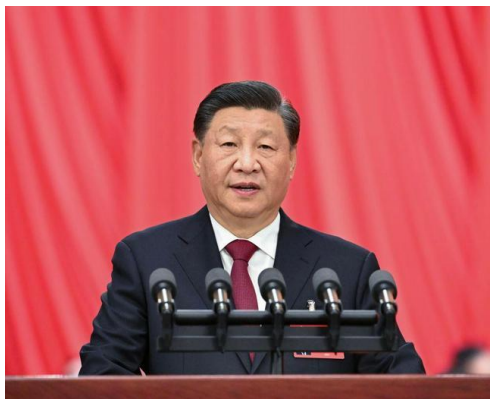
基本内涵是**在数字孪生流域中对典型历史事件、设计、规划或未来预报场景下的水利工程调度进行模拟仿真，正向预演出风险形势和影响，逆向推演出水利工程安全运行限制条件，及时发现问题，提出防风险措施，迭代优化方案。**

预警

基本内涵是**制定水利灾害风险指标和阈值，拓宽预警信息发布渠道，及时把江河洪水、山洪灾害、渍涝灾害、工程灾害、干旱灾害、冰凌灾害、供水危机、水域空间占用、水生态环境危害及相关次生灾害等预警信息直达水利工作一线和受影响区域的社会公众，及时采取应急处置措施，做好防灾避险准备。**

预案

基本内涵是依据预演确定的方案，预案的基本内涵是依据预演确定的方案，**制定执行预案**，主要包括水利工程运用次序、时机、规则和非工程措施，明确调度机构、权限和责任，以及信息报送流程和方式等，并**组织实施。**



习近平总书记强调，要推动数字经济和实体经济融合发展，把握数字化、网络化、智能化方向，推动制造业、服务业、农业等产业数字化，利用互联网新技术对传统产业进行全方位、全链条的改造，提高全要素生产率，发挥数字技术对经济发展的放大、叠加、倍增作用。（中共中央政治局第三十四次集中学习）

党的二十大报告

加快建设网络强国、
数字中国

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》

构建智慧水利体系，以
流域为单元提升水情测
报和智能调度能力

《国家“十四五”
新型基础设施建设
规划》

推动大江大河大湖数字
孪生、智慧化模拟和智
能业务应用建设

《数字中国建设整
体布局规划》

构建以数字孪生流域为
核心的智慧水利体系

二 形势要求—内在需要

水利的特点决定--流域性是江河湖泊最根本、最鲜明的特性

首先，流域是降水自然形成的以分水岭为边界，以江河湖泊为纽带的空间单元。水的自然属性决定了由流域内上下游左右岸干支流，地上地下的自然联系，**形成了天然的水系整体**，流域内山、水、林、田、湖、草、沙等各生态要素紧密联系，相互影响，相互依存，**构成了流域生命共同体**，所以强调要以流域为单元。

其次，我国水管理体制是以流域为单元的，全国层面设置七大流域管理机构进行流域管理，地方也在辖区设置不同级别的管理机构管理重点河湖，所以强调要整个流域统筹考虑。

再次，水利是一项涉及大尺度、多领域、全要素的工作，不可能在物理流域中试验不同方案，只能在数字空间进行反复预演，经过综合评估分析后选择最优方案，运用到实际工作中。

二 形势要求

水利现状和需求决定



六条实施路径：一要完善流域防洪工程体系，二要实施国家水网重大工程，三要复苏河湖生态环境，**四要推进智慧水利建设**，五要建立健全节水制度政策，六要强化体制机制法治管理。

水利是经济社会发展的基础性行业，面向高质量发展的要求，亟需以技术创新为驱动，推动传统水利的转型升级，提高水利治理的质量和效能。

智慧水利是水利高质量发展的**显著标志**。智慧水利建设是推进新阶段水利高质量发展的**6条实施路径之一**。

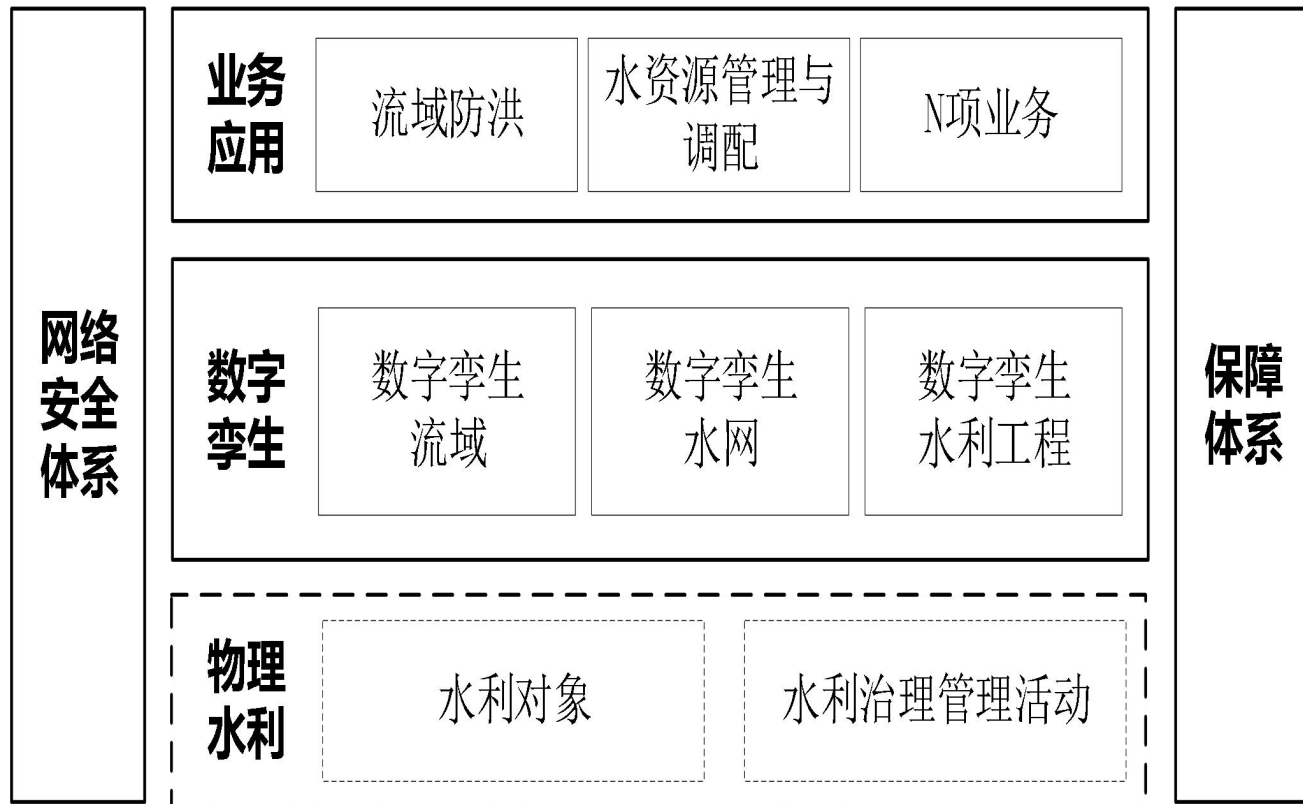
因此，通过数字孪生技术对物理流域、物理水网、物理工程的**实时监控、发现问题、优化调度**，最终达到**风险提前发现、预警提前发布、方案提前制定、措施提前实施**的目的。



目标任务一目标

(一) 总体框架

数字孪生水利：建设数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程等新型基础设施，实现“2+N”业务应用“四预”功能的综合体系，为水利决策管理提供前瞻性、科学性、精准性、安全性支持，为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。数字孪生水利体系主要由数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程、业务应用，以及网络安全体系和保障体系构成。



数字孪生水利体系结构

三 目标任务一目标

(二) 建设目标

至“十四五”末期，

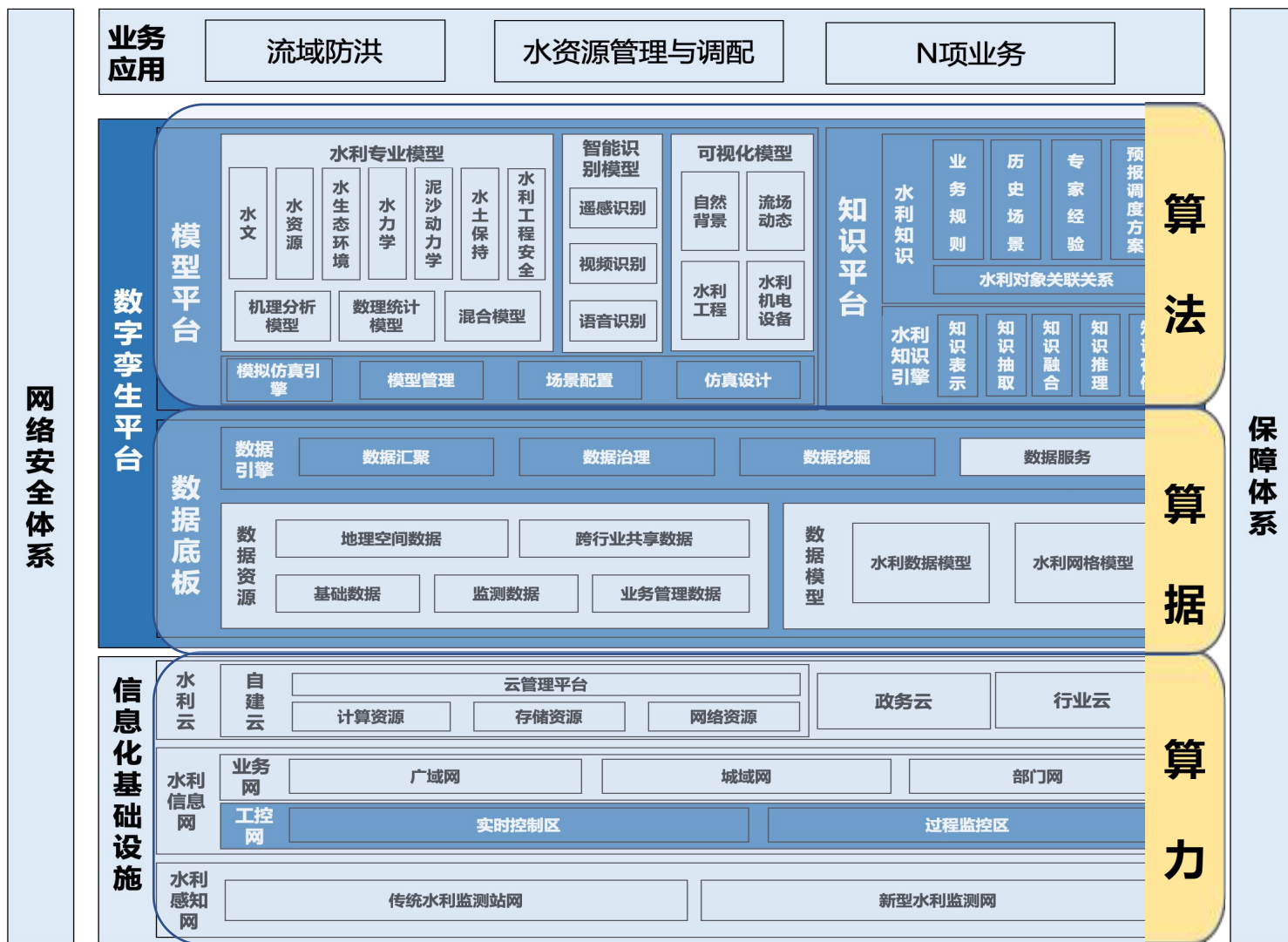
建成七大江河数字孪生流域；

骨干水网中的数字孪生南水北调中线基本建成，省级数字孪生水网取得突破；

大江大河重要控制性枢纽基本建成数字孪生工程；

在重点防洪地区实现流域防洪“四预”，在跨流域重大引调水工程、跨省重点河湖基本实现水资源管理与调配“四预”，N项业务智能应用水平大幅提升；

数据共享和网络安全防护能力明显增强；为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。



新建

升级改造

三 目标任务一任务

(三) 数字孪生流域

按照“突出重点、急用先建”的原则进行建设，“十四五”期间主要建设：**长江、黄河、淮河、海河、珠江、松花江、辽河、太湖**等干流，**180条**主要支流及重点河流，**20个**重点湖泊。



三 目标任务一任务

(四) 数字孪生水网

按照“**规划先行、先导推进**”的原则，“十四五”期间：

骨干水网：基本建成数字孪生南水北调中线，积极推进数字孪生南水北调东线；

省级水网：推进广东、浙江、山东、江西、湖北、辽宁、广西等**第一批省级先导区数字孪生水网建设**，并取得标志性成果，积极推进**第二批以及市、县级数字孪生水网建设**。



(五) 数字孪生水利工程

按照“重点提升、同步新建”的原则进行建设，“十四五”期间主要建设：**123个重点水库**，**98个行蓄滞洪区**，**140个重点水闸**，**48个大中型灌区工程**，**47个其他重点水利工程**等。



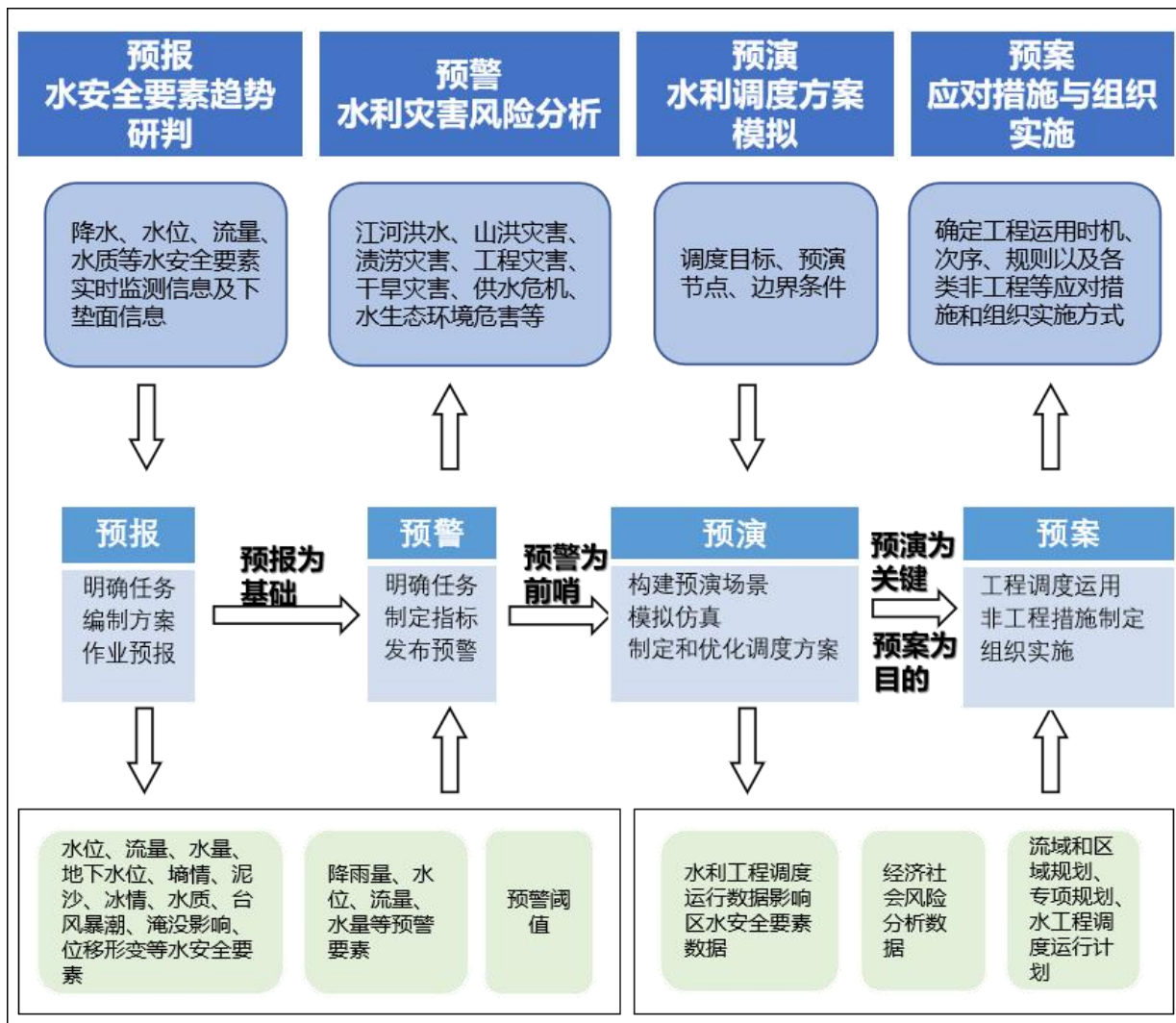
三 目标任务一任务

(六) 2+N业务应用

实现“2+N”业务应用的“四预”。

重点是构建**流域防洪、水资源管理与调配(2)**的智能应用，实现“四预”功能。此外，

水利工程建设与运行管理、河湖管理、水土保持、农村水利水电、节水管理与服务、南水北调运行与监督、水行政执法、水利监督、水文管理、水利行政、水公共服务(N)。



四 实施路径

顶层设计：从行政、规划、工作、技术等层面相继出台一系列文件、规范和技术要求，明确了推进数字孪生水利建设的**路线图、时间表、任务书、责任单**。

技术攻关：通过科技研发计划、水利部重大科技项目开展感知、模型、仿真、安全等技术攻关。

先行先试：根据各流域、区域实际需求，全面开展先行，重点在数据底板、模型平台、知识平台及流域防洪、水资源管理与调配等业务应用“四预”方面选择先试，以取得重点突破。其间，技术指导人、业务指导人、责任专家持续指导把关，去年底，水利部已完成各单位先行先试工作中期评估，并发布中期评估结果。

打造样板：在先行先试工作基础上，今年水利部将强化指导，加强调度，树立典型，努力打造样板，让大家学有榜样，追有方向。

推广应用：通过先行先试，特别是今年的样板打造，努力形成一批可复制、可推广的技术、方案、系统、案例等，为数字孪生水利全面建设打下坚实基础。

目 录

第一部分 把握数字孪生水利建设的目标任务

第二部分 把握数字孪生水利建设的重点与难点

一
技术方面的难点

算据

算力

算法

业务应用

网络安全

二
管理方面的难点

标准

工作协调

资金投入

人才培养

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

1. 算据方面（感知）

难点

传统监测不满足全要素、全过程数字化场景需要，无法支撑数字孪生流域与物理流域交互的精准性、同步性、及时性，特别是应对山洪灾害防御。

应对思路

通过数字孪生水利建设**牵引、倒逼**物理监测，**主要是构建天空地一体化感知网**，支撑数字孪生流域与物理流域交互的精准性、同步性、及时性。

一是升级改造传统水利监测站网。在水文、水资源、水利工程、水土保持等监测站网基础上，检视并修订不符合数字孪生建设要求的标准规范；完善优化站网布局，增设监测要素、增加监测频次，升级改造传统监测系统，实现自动在线监测；

二是构建新型水利监测网。加强多普勒（相控阵）雷达、卫星遥感、航空遥感、高清视频、无人机、无人船、地面机器人、水下机器人等新型监测手段应用，融合地面监测数据，支撑数字孪生流域与物理流域交互的精准性、同步性、及时性。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

1. 算据方面（底板）

难点

数据底板，尤其是地理空间数据差距大，L2级数据底板的水文大断面和水下地形更新频率不足（目前普遍5年左右更新一次，重点河段需要每年汛前更新1次），L2级数据底板的水面以上地形数据缺少，跨行业数据方面，防洪保护区、蓄滞洪区等区域村庄、经济社会、基础设施等数据不掌握。

应对思路

主要建设统一的多时空多尺度水利数据底板。

一是建设覆盖全国的一级数据底板。 汇聚流域和省区建设成果，满足整体形势分析、大区域情况研判以及分布式坡面产流、河网汇流模型等需要，形成统一的时空基准。**L1级数据底板**主要包括：SRTM30米格网DEM；全国陆域范围2米分辨率DOM；全国陆域范围30米格网下垫面地表覆盖数据。

二是建设重点河段重点区域的二级数据底板。 集成流域管理范围省区和工程管理单位建设成果，为流域和省区水利治理管理提供详实的工作底图，满足河道洪水演进、重点对象水土保持模型计算等需要。长度约5万千米、面积约18万平方千米。

三是建设覆盖重要水利工程的三级数据底板。 构建实体场景模型，为工程管理单位提供精准的信息支撑，满足水利工程安全监测评估、精准调度控制等需要。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

2. 算力方面

难点

计算资源，尤其是高性能计算资源严重缺乏，通信网络尚有差距。

应对思路

主要是满足数字孪生水利算力需求。

一是扩充计算资源，针对相控阵雷达、区域气候模式预报、分布式水文模型、格网化水力学模型等超大规模方程团迭代解算，以及精细化时空分析、海量数据挖掘分析、大场景渲染展示等情景所需的高性能海量计算需求，按照“集约高效、共享开放、按需服务”的原则，采用自建云、利用超算中心资源等方式，提升物理分布、逻辑集中、协同工作的高性能算力；

二是升级通信网络，实现水利系统网络无盲区无死角互联，满足各类信息及时高效传输，并充分利用通信卫星、北斗、5G等新一代网络技术，保障监测站网在极端恶劣环境下的安全可靠传输。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

3. 算法方面（模型平台）

难点

水利专业模型研发工作总体处于分散状态，模型水平不高，或者主要依靠国外模型的情况。遥感智能识别模型业务化运行存在差距。可视化模型处于空白状态。

应对思路

重点在防洪、供水、工程安全、泥沙分析等专业模型，及动态可视化模型等方面进行突破。

一是研究流域自然规律，对降雨-产流-汇流-演进全过程洪水形成演变规律，河道泥沙演变趋势及江湖关系变化机理，水库群及引调水工程泥沙冲淤规律，以及大坝渗流及变形的发展规律等进行研究，研发**机理分析模型**。努力打造通用的水利专业工程软件包，用于流域防洪、供水调度、工程安全、泥沙分析等专业，同时研发适用于各流域特点的实用模型。

二是创新升级现有模型，充分利用大数据、人工智能等技术，融合多源信息，升级改造流域产汇流、土壤侵蚀、水沙输移、水资源调配、工程调度等模型，研发新一代具有自主知识产权的**水利数理统计专业模型**，实现变化流场下数字孪生水利多维度、多时空尺度的高保真模拟。

三是研发智能识别模型，构建水利业务遥感、视频、音频等人工智能识别模型，实现河湖“四乱”问题、水利工程运行、应急突发水事件等自动识别，提高识别准确率，并实施业务化运行。

四是研发可视化模型，在水利专业模型计算的驱动下进行可视化计算，重点搭建自然背景、流场动态、水利工程、机电设备等可视化模型，在水利专业模型计算的驱动下进行可视化计算，实现仿真场景。

一 攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

3. 算法方面（知识平台）

难点

知识平台尚处于起步阶段，无成功经验可以借鉴。

应对思路

首先围绕流域防洪，构建支撑防洪调度、工程运行的水工程调度规则库，力争水工程联合调度知识图谱方面取得突破，在此基础上，再扩展到其他领域。

一是建设水利业务知识库，建设涵盖业务规则、历史场景、专家经验、预报调度方案等内容的知识库，聚焦水利工程体系科学精细调度，集成应用各类知识，推进预报调度一体化智能化、实体工程与数字孪生工程同步交互调度。

二是探索构建知识平台，利用知识图谱和机器学习等技术实现对水利对象关联关系和水利规律等知识的抽取、管理和组合应用，为数字孪生水利提供智能内核，支撑正向智能推理和反向溯因分析，主要包括水利知识和水利知识引擎，水利知识经知识引擎组织、推理后形成支撑研判、决策的信息。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

4. 业务应用方面

预报方面的难点

预报精度有待提高，预见期也有待延长。

应对思路

一是**延长预见期**：遵循“降雨—产流—汇流—演进”预报规律，实现气象水文预报耦合，完善以流域为单元的短中长期预测预报模式，**实现由过去落地雨预报到空中雨的预报，为预警、预演赢得时间。**二是**提高洪水预报精度**：建设降雨区域模式，提高预报精细化程度，充分融合水工程调度信息，建立预报模型参数在线率定业务机制。

预警方面的难点

预警时间不够长、精准不够、覆盖不广、发布渠道不畅。

应对思路

制定中小河流、中小水库洪水预警指标以及江河湖库干旱预警指标；加强北方地区以及局地暴雨区“以测补报”预警应用，**推广雷达短临暴雨预警应用**；推动通过三大“运营商”发布水情预警，实现**预警信息（动态调整阈值）直达防御工作一线、水库“三个责任人”、受影响的社会公众。**

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

4. 业务应用方面

预演方面的难点

水工程防洪调度预演能力不足、模拟反算功能不强。

应对思路

在数字孪生水利建设中对典型历史事件、设计规划或未来预报场景下的水工程调度进行模拟仿真，开发单库水位控制、单库补偿调度、**水库群联合补偿调度**等多种调度模式的“反算”功能和算法，实现基于下游调度目标要求的上游水库群防洪优化调度方案“反算”预演。

预案方面的难点

有宏观预案，但不落地，与实际工作需要存在差距。

应对思路

结合水工程运行状况、经济社会发展现状，评估防洪预案，完善落实水工程运行调度方案、工程巡查防守、人员转移避险等应对措施，**制定执行预案**，与基层组织已有应用打通，建立预案执行情况实时反馈机制，实现预案的执行落地。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

5. 网络安全方面

难点

数字孪生水利建设形成海量数据，安全应用面临严峻挑战；数据底板的部分高精度地理空间数据成果涉及秘密，但防汛等业务需要在非涉密环境应用。

应对思路

完善水利网络安全体系，增强关键信息基础设施和重要数据防护能力，确保数字孪生水利运行安全。

一是明确重要数据目录，针对数字孪生水利产生的重要数据，依据《水利数据分类分级指南》开展数据分类分级，认定重要数据并形成行业重要数据目录。

二是采取国家认定的地理信息保密处理技术进行处理并履行相应审查程序，在使用过程中结合密码保护和网络安全防护等多种技术手段加强数据安全保护，对数字孪生水利空间数据安全应用处理方案还要征得主管部门认可，确保重要数据，尤其是地理空间数据安全合规应用。**根据水利专业模型高程精度要求的实际需求，对于利用已有地形数据成果加工处理生成获取的河流断面数据，采用国家认定的地理信息保密处理技术进行处理，形成在非涉密环境下使用的数据成果。**

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

1.技术标准方面

难点

涉及数字孪生水利建设的标准缺失较多，传统标准不适应数字孪生水利的需要。

应对思路

围绕数字孪生水利对全要素、全过程水利治理管理活动的要求，补充修改完善技术标准体系。

- 一是补充或修订监测感知类标准；
- 二是编制数据底板、模型平台、知识平台以及资源共享类标准；
- 三是急用但还没有经过大规模应用的标准，先以技术文件形式印发，通过规模化应用，完善标准，成熟后再上升为行业技术标准。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

2.工作协调方面

难点

数字孪生水利建设涉及上下游、左右岸、地表地下，量大、面广，参战单位多，如何保证共建共享、不重不漏难度大。

应对思路

数字孪生水利建设靠一个单位无法完成，因此，要强化统筹规划，协同推进，**按照职责分工进行共建、按照业务履职需要开展共享**，协同建设数字孪生水利，共建共享、不重不漏，确保数字孪生水利建设全国一盘棋。

一是建立机制。出台数字孪生水利共建共享管理办法，**明确了**水利部、流域管理机构、地方水利部门、工程管理单位的**建设分工**、共享任务等内容和汇交方式、频次等要求，以及**共享方的责任、义务**。

二是构建平台。为实现各部门、各单位成果共享，构建数字孪生水利资源共享平台，为资源共享交换提供共建资源注册、审核、发布，以及共享资源申请、审核、获取等功能。

三是将共建共享情况作为数字孪生水利建设评估的重点内容，纳入最严格水资源制度考核和河湖长制督查激励。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

3.资金投入方面

难点

数字孪生水利需要必要的建设资金和运行维护资金的投入，但仅靠国家投入显然无法完成这么浩大的工程。

应对思路

数字孪生水利建设，需要建设和运维资金投入。

一是抓住水利基础设施加快建设的机遇，积极争取中央资金投入，推进建设方案所列重点项目前期工作。

二是坚持多轮驱动，充分发挥政府资金引导带动作用，在创新多元化投融资模式、更多运用市场手段和金融工具，扩大地方政府专项债券利用规模，更大力度利用中长期贷款和政策性开发性金融工具，深入推进水利基础设施政府与社会资本参与规范发展。水利部与政策性、商业性银行已出台金融支持政策。

三是结合国家水网建设推进已建水利工程智能化改造和在建水利工程智能化建设，确保新建水利工程在项目预算中安排数字孪生水网建设资金投入。

攻克数字孪生水利建设技术方面的难点

4.人才方面

难点

目前，数字孪生水利建设人才匮乏。

应对思路

数字孪生水利的建设必须有立足水利行业自身人才、队伍，才能真正实现实用、好用、管用。

一是通过技术培训、学习交流、示范带动，加强现有技术人才的培养。

二是引进高层次技术人才。

三是通过与高校、科研院所联合培养，选拔一批相当规模的既懂信息化又懂水利的高层次人才、复合型人才、运维型人才。

谢 谢



2023跨界融合创新应用合作发展大会

创新地理信息价值  服务数字中国建设

主办单位 ▶ 中国地理信息产业协会 中国旅行社协会 中国林业与环境促进会 中国气象服务协会 中国风景园林学会

2023.05.23-05.25 四川·成都



中国地理信息
产业协会**公众号**

感谢各位院士专家为2023跨界融合创新应用合作发展大会作精彩报告并授权分享！
请关注协会公众号，经报告人同意后，会后陆续分享报告PPT（提供下载）等大会精彩内容！转发请保留此页。分享请注明“来源：中国地理信息产业协会”。

—— 关注地信产业精彩 了解协会最新动态 ——