

国家水网智慧建设与
应用平行论坛

数字孪生水网顶层设计与初步实践

水利部信息中心 蔡阳

2023年9月12日

目 录

第一部分 数字孪生水网顶层设计

第二部分 防御海河“23·7”特大洪水的应用实践

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

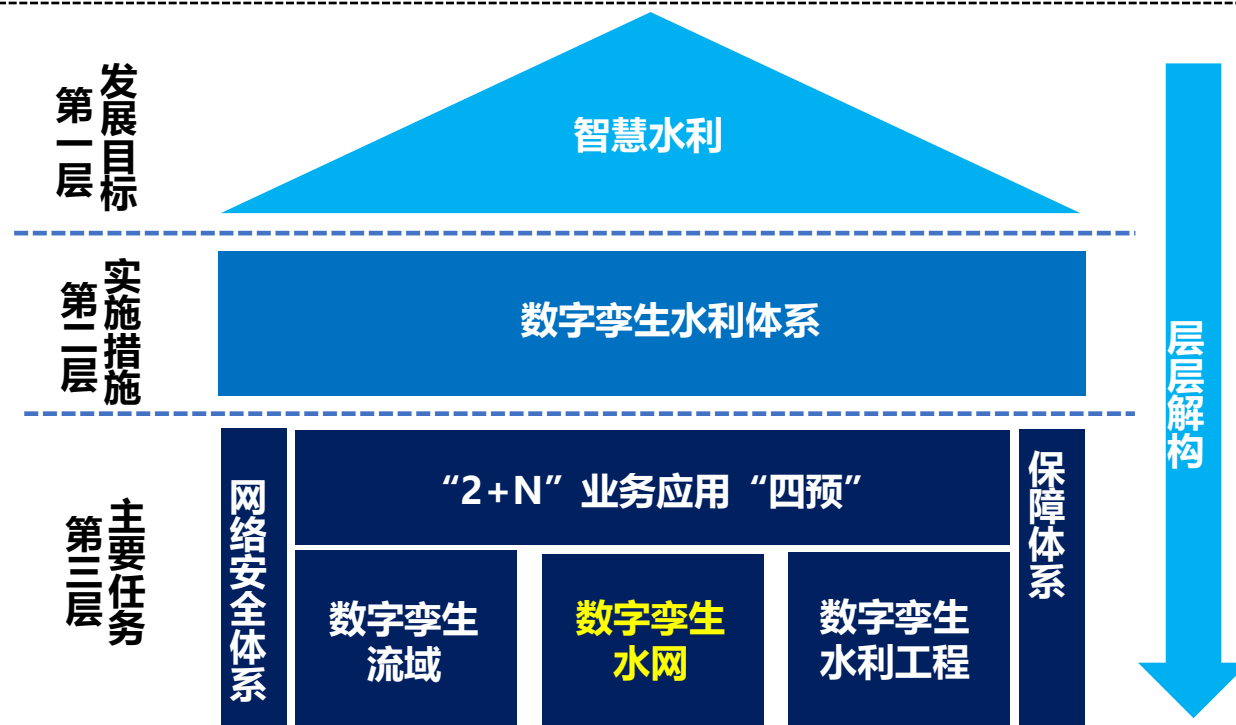
怎么建
实施路径

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。

建设数字孪生水利——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”**



一 定义定位—定义

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，与物理流域同步仿真运行、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**。

路径是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。**特征是**与物理水网同步仿真运行、虚实交互、迭代优化。**目的是**实现对物理水网的实时监控、联合调度、风险防范。**属于**水利业务与信息技术融合的**新型基础设施**。

定义定位一定义

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**。

“预报”是基础，为预警工作赢得先机；“预警”是前哨，为启动预演提供指引；

“预演”是关键，及时发现问题，迭代优化方案；“预案”是目的，制定执行预案，并确保预案的可操作性。

党的二十大报告

加快建设网络强国、
数字中国

推进南水北调
后续工程高质
量发展座谈会
明确提出加快
构建国家水网

2021年5月14日，习近平
总书记提出，加快构建的
“**系统完备、安全可靠，
集约高效、绿色智能，
循环通畅、调控有序**”
国家水网。

《数字中国建设
整体布局规划》

2023年，**中共中央、
国务院**印发的《数字中
国建设整体布局规划》
提出，**构建以数字孪生
流域为核心的智慧水利
体系**

《国家水网建设
规划纲要》

2023年5月25日，**中共
中央 国务院**公布的
《国家水网建设规划纲
要》提出，加快智慧发
展；**建设数字孪生水网**

二 形势要求—内在需要

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**，并将**实施国家水网重大工程**和**推进智慧水利建设**作为推动新阶段水利高质量发展的**重要实施路径**。

目标任务

“十四五”期间，按照“**规划先行、先导推进**”的原则：

◆一是建设数字孪生**国家骨干水网**。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。

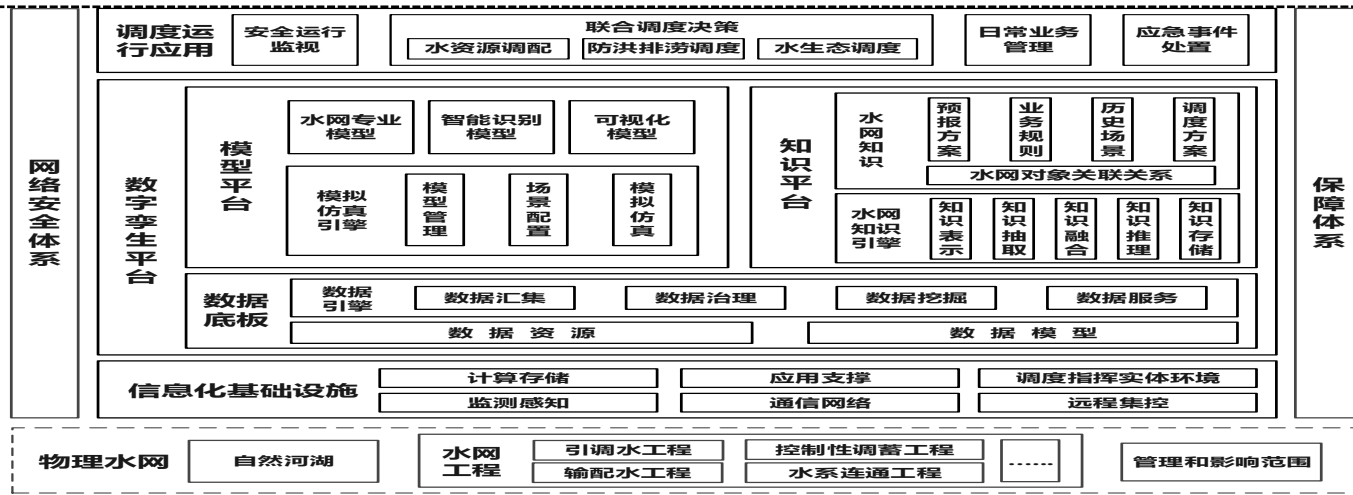
(加快编制数字孪生国家骨干网建设方案，构建覆盖水源、输水、调蓄、供水、排水等全链条，水量、水质、水生物等全要素的监测体系，加强对骨干网供水保障和工程风险隐患的前瞻性分析研判。要**率先建成数字孪生南水北调中线工程、数字孪生东线工程**-----数字孪生水利工作现场会)

◆二是建设数字孪生省级水网。**第一批省级先导区数字孪生水网建设**取得标志性成果，积极推进**第二批省级先导区以及市县建设**。

◆三是推进一批**重要引调水工程、灌区数字孪生建设**。



国家水网建设布局图



国家水网建设技术框架图

四 实施路径

顶层设计

从行政、规划、工作、技术等层面出台包括**数字孪生水网**在内的系列文件，明确了路线图、时间表、任务书、责任单。

先行先试

在国家骨干水网、省级水网开展数字孪生水网建设先行先试，重点针对数字孪生水网的建设路径、推动机制、资金筹措、调度运行以及关键技术等难点，探索形成一批可借鉴、可推广的典型案例和经验，示范引领数字孪生水网建设。**开展南水北调中线、东线工程，第一批省级水网建设先导区的7个省份和评出后的第二批省级水网建设先导区省、市、县数字孪生水网先行先试。**

技术攻关

通过重点研发计划、水利部重大科技项目开展数字孪生水网**监测感知、模型平台、仿真推演、网络安全**等相关技术攻关。

推广建设

充分发挥政府资金引导带动作用，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**推进已建水利工程数字化改造和智能化升级；同步推进新建水网工程数字孪生建设；逐步构建国家、省、市、县数字孪生水网。**

四 实施路径--难点

算据方面

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。

算法方面

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；涉及**水网需水及多目标调度模型欠缺**；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。

算力方面

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。

“四预”方面

预报精度有待提高，预见期也有待延长；**工程安全预警准确性不够**，预警时间不够长、精准不够、覆盖不广、发布渠道不畅；**水网、水量调度预演能力差距大**；预案基础薄弱。

目 录

第一部分 关于数字孪生水网

第二部分 防御海河“23·7”特大洪水的应用实践



雨水情特点



数字赋能防洪



应用成效

一 雨水情特点

7月28日至8月1日，受台风“杜苏芮”北上与冷空气交绥影响，**海河发生流域性特大洪水**，本次洪水呈现**降水范围广总量大、暴雨时空集中强度大、洪水并发量级大、洪水涨势猛演进快、径流总量大地下水回补多**等特点。

降水范围广 总量大

- **降水总量** 初估**494**亿立方米、面雨量**155.3**毫米，**超过海河流域“96·8”**（327亿立方米）、**“12·7”**（170亿立方米）、**“16·7”**（392亿立方米）、**“21·7”**（253亿立方米）；但低于**“63·8”**（**624**亿立方米）

暴雨时空集 中强度大

- **京津冀**地区平均累计降雨量**175**毫米，超过年平均降雨量的三分之一
- **北京**累计最大点雨量为门头沟清水**1014.5**毫米，实测最大1小时雨量为丰台千灵山站**111.8**毫米，超过2012年“7·21”（100.7毫米/小时）、2016年“7·19”（56.8毫米/小时）、2021年“7·12”（65毫米/小时）；**河北**累计最大点雨量为邢台临城县**1003**毫米，约为当地年降雨量的2倍

洪水并发 量级大

- 海河流域发生**流域性特大洪水**，大清河、永定河发生**特大洪水**，子牙河发生**大洪水**，北运河、漳卫河发生较大洪水
- **12小时内**（7月30日23时至31日11时）子牙河、永定河、大清河**相继发生编号洪水**
- 海河流域**5大水系22条河流发生超警以上洪水**，其中永定河及支流清水河、妫水河，拒马河支流大石河和白沟河、大清河系南支沙河及唐河支流通天河、滹沱河支流清水河等**8条河流发生有实测资料以来最大洪水**

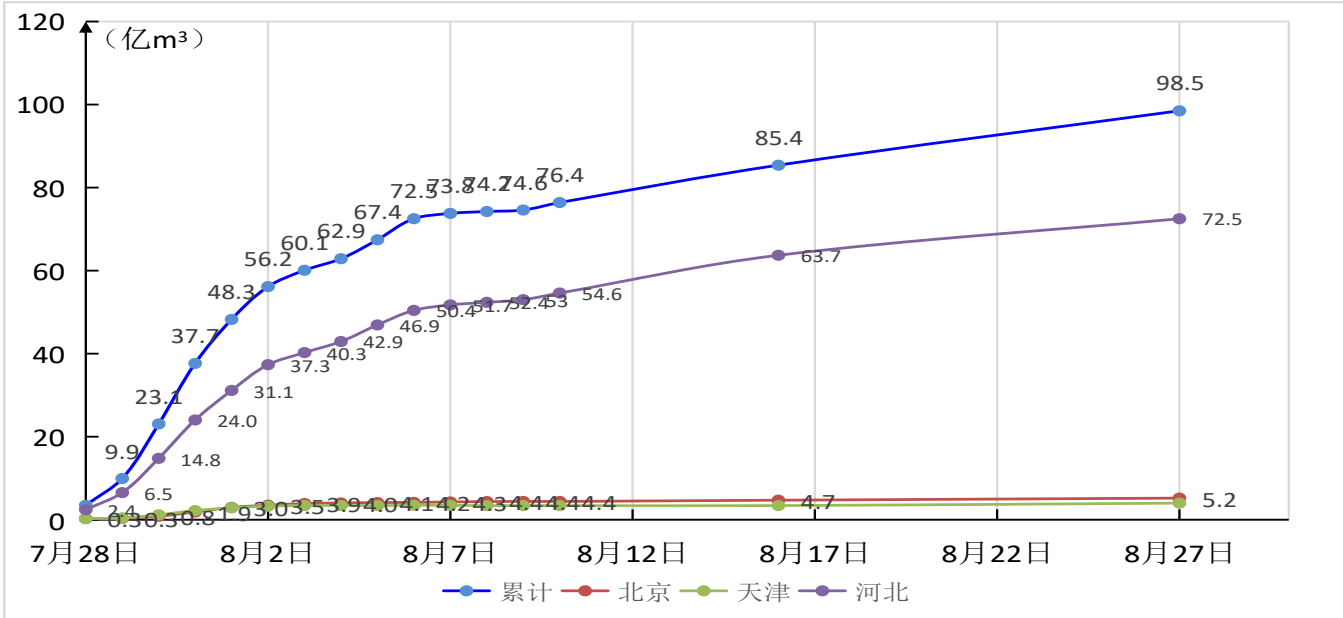
洪水涨势猛 演进快

- 卢沟桥枢纽流量1.5小时内流量涨幅高达3620立方米每秒
- 官厅水库至卢沟桥区间**雨峰洪峰**间隔仅3小时50分钟
- 大清河系大石河的漫水河水文站2小时左右流量涨幅高达3860立方米每秒，漫水河以上区间**雨峰洪峰**间隔仅2小时20分钟

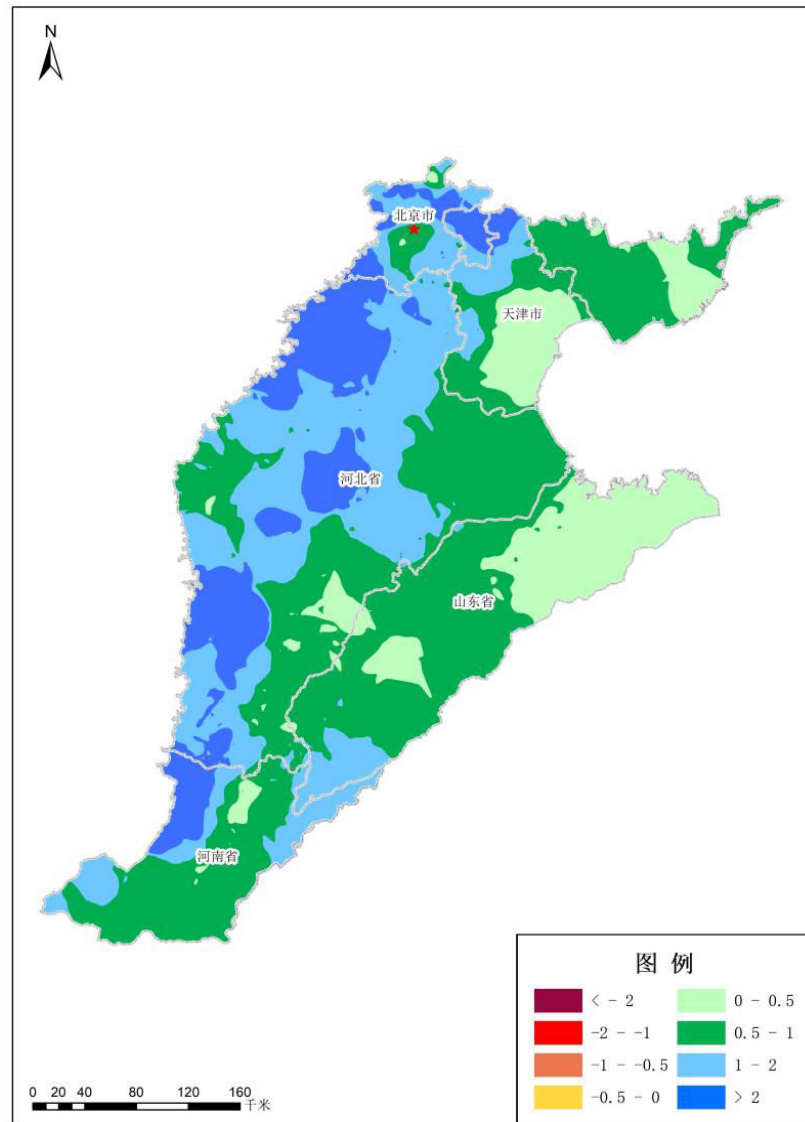
雨水情特点

径流总量大
地下水回补多

- **洪水过程径流总量**初估约 **200** 亿立方米，远超“96·8”流域性大洪水
- 截至9月11日，海河流域**浅层地下水**平均埋**深**较本次强降雨过程前平均上升**1.30**米，地下水蓄变量已增加**109.1**亿立方米；初步估算本次强降雨过程**地下水蓄变量**将增加**150**亿立方米。



海河平原地下水蓄变量累计变化情况



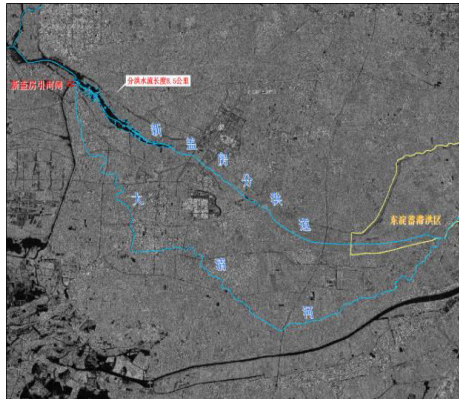
海河平原浅层地下水水位变幅图

二 解决算据不足--多源信息在线融合

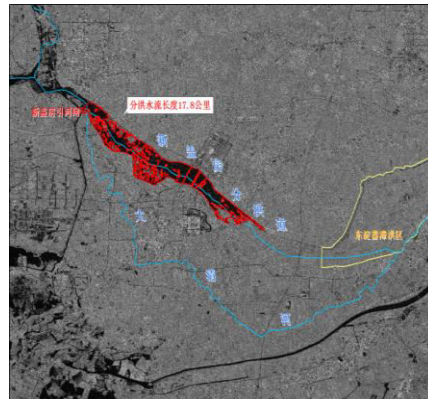
加强天空地一体化监测预警，全方位感知暴雨洪水态势。利用**气象卫星和测雨雷达**进行精细化降雨监测；利用12颗**雷达**、**光学卫星**遥感数据、20架次**无人机航摄**数据、8700多路**视频监控**点位滚动跟踪洪水演进动态；利用1874个**地面监测站**、280个**地面应急监测点**实时监测水情信息。**天空地多源监测信息**，对海河流域河道行洪、蓄滞洪区运用情况和工程险情等开展了持续跟踪监测，天空地多源信息在线融合应用，为海河洪水防御提供了不同时空尺度不同监测角度的立体信息支撑。

卫星遥感

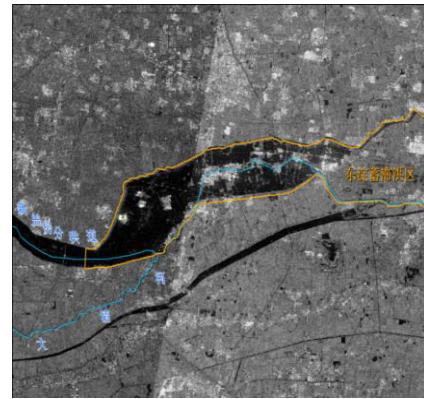
协调中国资源卫星应用中心以及商业卫星公司等卫星数据资源单位，获取覆盖8个启用蓄滞洪区的12颗卫星遥感影像共计101景，数据量约600GB



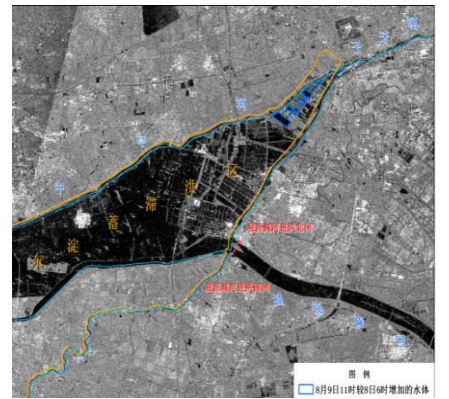
8月1日7时，大清河新盖房分洪道**泄流长度**约**8.5公里**



8月1日18时，**泄流长度**达**17.8公里**，**水头**距离**东淀蓄滞洪区****5.5公里**



8月3日10时，东淀蓄滞洪区内**水头**前进约**18公里**



8月9日11时，东淀蓄滞洪区**大清河以北**部分已**基本全部蓄水**

二

解决算据不足--多源信息在线融合

无人机

20余架次无人机航摄数据，包括照片49张、视频49个、全景影像17个、DOM12幅、DSM1个、激光点云模型1个，共129个文件、数据量约81GB数据量。

视频监控

通过水利部视频级联集控平台级联接入**北京**水利监视点位**2044路**、**河北省8753路**视频监视点位。

对白沟河东茨村左堤、滩里干渠等工程险情，东淀蓄滞洪区、永定河泛区等蓄滞洪区洪水动态，以及涿州市区淹没情况开展了精细化监测。

7月31日，调阅**卢沟桥拦河闸和分洪闸**监视视频，支撑卢沟桥枢纽下泄流量调度决策

8月1—2日，调阅**河北廊坊沿永定河**视频监视点，跟踪洪水行进过程，支撑永定河泛区和蓄滞洪区启用决策



4. 水利一张图融合应用

持续优化完善全国**水利一张图**各类专题应用模块，提升数据服务发布到**会商系统**调用多源信息、全流程的自动化、规范化水平。

实现影像数据服务即时发布。卫星影像、无人机、视频监视等动态影像数据的实时处理、动态发布；推动服务发布流程流程化、自动化。

实现多源信息融合服务。通过与全国水利一张图基础地理、自然水系、水利工程等多源数据叠加分析和深度融合，支撑全链条洪水过程的推演模拟，为调度预案制定提供近实时、准确的信息，支撑科学决策。

二

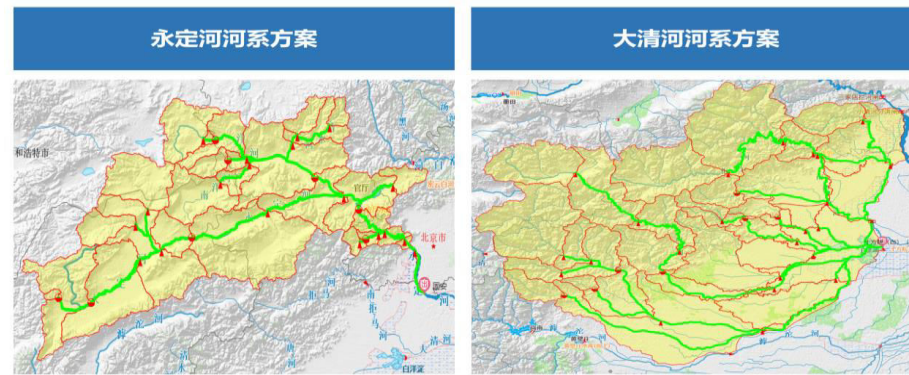
解决算法不足--数字孪生平台应用

加强数字孪生平台应用，为洪水防御提供基础支撑。利用激光雷达、倾斜摄影等构建海河流域高精度数据底板，实时汇聚更新2214条河流、28处国家蓄滞洪区、155座重点大中型水库、2160公里堤防等基础数据，完善蓄滞洪区一张图，搭建每秒58.3万亿次双精度浮点计算的高性能计算集群，为海河流域洪水防御提供了算据算力支撑。

构建了海河流域**9772个**自然汇流和人工设施相结合的**断面**上下游拓扑关联关系图谱，为海河流域**240个节点**的洪水预报方案构建提供了重要支撑。

构建了海河流域**一维、二维水动力学模型**，实现了相应区域7月30日至8月3日强降雨过程洪水演进过程模拟和淹没范围仿真。

构建数字孪生模型平台



永定河交汇区域二维水动力学淹没模型



二

解决算法不足--数字孪生平台应用

开发蓄滞洪区一张图

正式上线蓄滞洪区一张图并接入防汛会商系统，对海河流域**28处国家蓄滞洪区**蓄洪能力、工程设施、安全设施、监测预警、运用补偿等**12类数据**进行展示。

重点对本次启用的8个蓄滞洪区内**24处安全区**、**33处进/退洪口门**开发专题分析功能。

东淀蓄滞洪区口门空间分布



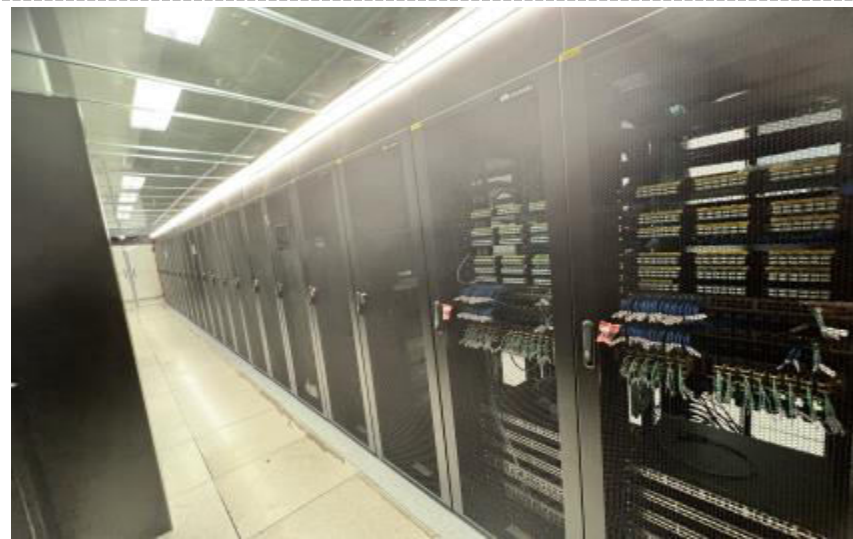
蓄滞洪区一张图在海河流域洪水防御中的运用



强化算力
环境保障

构建了每秒58.3万亿双精度浮点计算的**高性能计算集群**

持续优化完善**会商调度环境**，每日通过**视频**、**蓝信**等连线会商5~6次，及时沟通水库、堰闸等水工程对洪水预报的影响，特别是动态掌握蓄滞洪区启用时间、水头演进、滞蓄水量、淹没范围等调度运用状态，为海河流域洪水防御提供算力和会商支撑。



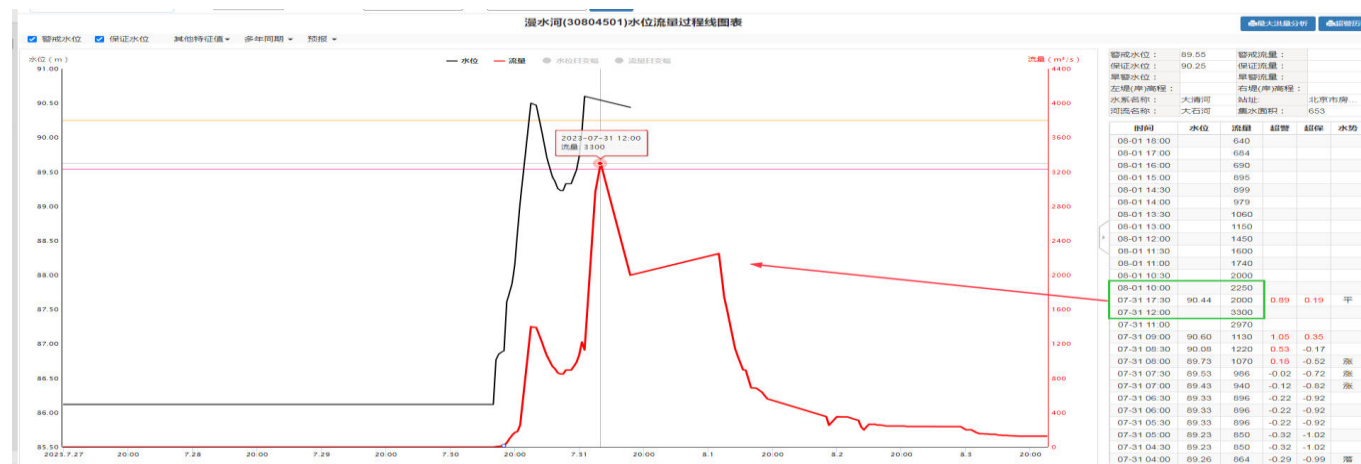
高性能计算集群



南水北调中线惠南庄视频连线

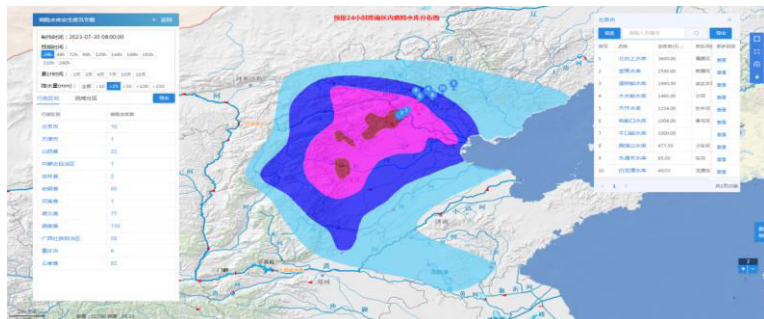
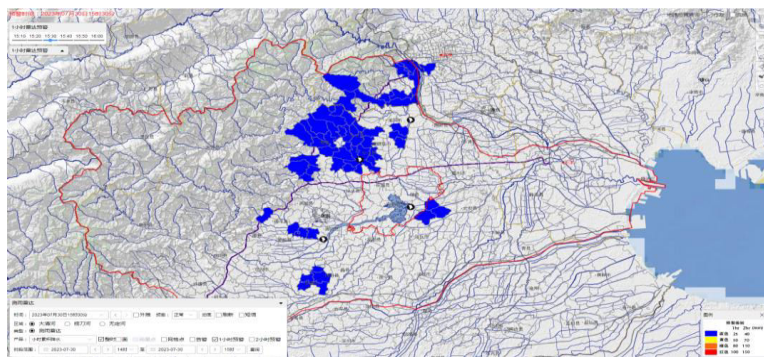
1. 预报

加强降雨预报和洪水预报耦合，有效延长预见期，提高精准度。依托多源空间信息融合洪水预报系统，第一次实现洪水预报由落地雨向空中雨转变，既**延长了预见期又提高了精准度**。累计制作发布139条河流洪水预报2035站次，依据预报，7月28日**启动洪水防御Ⅲ级应急响应**，7月30日把应急响应**提升至Ⅱ级**。7月27日**提前5天研判将启用6个蓄滞洪区**，关键期洪水预报精准度达到80%，为预案制订和超前精准部署洪水防御提供了重要支撑。

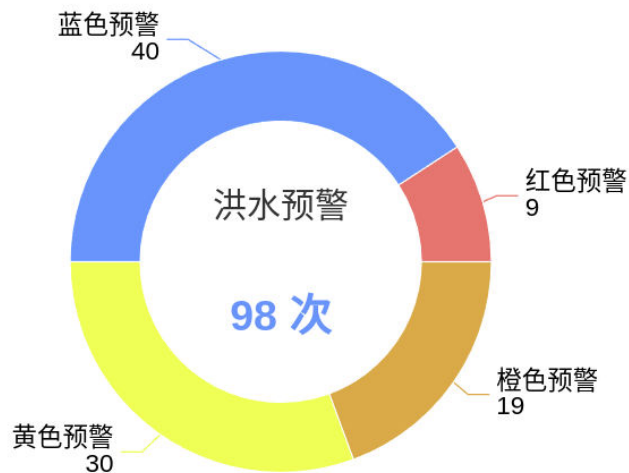


2. 预警

本次充分利用气象卫星、天气雷达和测雨雷达的监测信息，对未来3小时内可能发生强降雨地区进行自动风险预警。强降水过程期间通过蓝信累计发布各类预警2155次，涉及地市3096次、乡镇6100次、河流5807条次、水库2263座次，**涉及责任人5318人次**，信息直达防御一线人员。



洪水预警信息发布情况分级统计

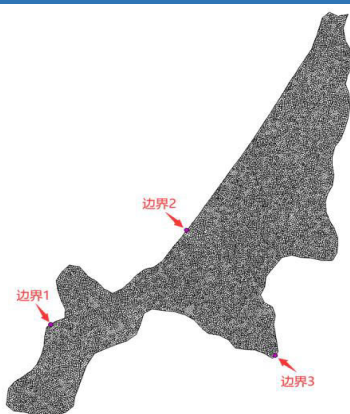


二 解决“四预”能力不足--及时发现问题、选出最优方案

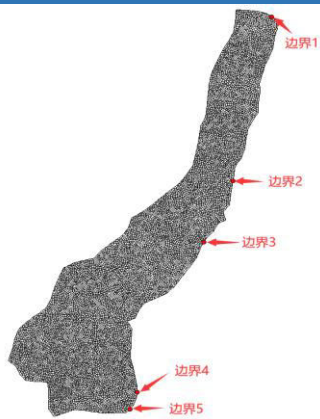
3. 预演

- 建立永定河、东淀、小清河、兰沟洼、大陆泽、宁晋泊、献县和共渠西等8个蓄滞洪区的二维水动力学洪水演进模型，参考卫星遥感、无人机航摄等数据，实时动态调整糙率等模型参数，实现洪水精准推演，为蓄滞洪区科学运用、人员转移、堤防防守等提供了技术支撑。
- 提前3~4天准确预测东淀蓄滞洪区水头演进过程及最大可能淹没范围；提前4天准确研判“不启用清南分洪区”；提前9~10天准确预测永定河、兰沟洼等蓄滞洪区退水时间。

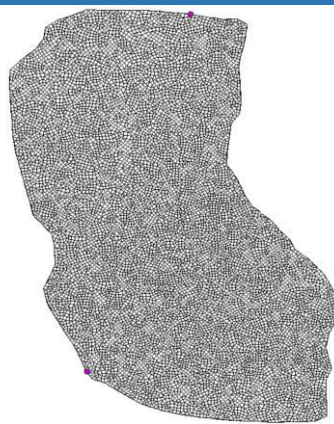
小清河泛区



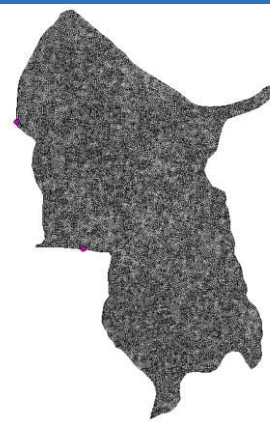
兰沟洼蓄滞洪区



大陆泽



宁晋泊



预演推演已启用蓄滞洪区(特别区)小清河、兰沟洼、永定河泛区、东淀)蓄滞洪区、退水时间。
洪水演进动态
【第10期】
胡岩

水利部信息中心 2023年8月9日

海河流域洪水演进概述

根据水文监测预报、高分三号卫星遥感影像、蓄滞洪区洪水演进模拟预报等，经综合分析和洪水推演研判：小清河分洪区内水体略有减少，水体面积减小3.28平方公里；兰沟洼与虹吸水位继续下降，水体范围略有增大，10日前后将达最大淹没范围；9日14时，通过大清河独流减河进洪闸的流量合计1325立方米每秒，较8日8时增加499立方米每秒，预计10日流量最大洪峰流量1400立方米每秒，第六堡最高水位将达5.50米左右(大沽高程)，低于清南分洪区启用高程(7.00米)，兰沟洼蓄滞洪区、永定河泛区、献县泛区内水体基本无变化。

4. 预案

- 根据预报预警预演结果，以水库、蓄滞洪区等水工程为对象，滚动制订和执行预案。依据预报，7月28日至8月4日洪水发生发展的关键时刻，水利部滚动会商，**制订15个预案，发布6个调令。**
- 精准调度流域防洪工程体系，84座大中型水库拦蓄洪水28.5亿立方米河道控制型枢纽有序分泄洪水，8处国家蓄滞洪区最大蓄洪25.3亿立方米；河北、天津、河南水利部门根据蓄滞洪区运用预案，指导地方**提前转移蓄滞洪区内群众99.26万人**；京津冀组织22万余人次上堤巡查，及时处置各类堤防险情131处。



取得成效

经初步分析，**本次洪水**的降水总量、洪水量级**均为1963年以来最大**，过程降水总量达494亿立方米，径流总量约200亿立方米。截止目前，流域平原区浅层地下水水位平均上升约1.30米，地下水蓄变量约增加109.1亿立方米。

流域**84座水库拦蓄洪水32.5亿立方米**，平均削峰率约为65%，增蓄水量**27.2亿立方米**；**8座蓄滞洪区最大滞洪约25.3亿立方米**；通过沿海4处防潮闸排入渤海洪水**35.8亿立方米**。

通过科学精细调度，没有出现群死群伤，**各类水库无一垮坝**，**重要堤防无一决口**，**减淹城镇24个**，**减淹耕地751亩**，**避免了462.3万人转移**，极大减轻了下游防洪压力，最大程度保障了人民群众生命财产安全。

An aerial photograph of a river delta, showing a network of water channels and landmasses. The water is a deep blue, and the land is a lighter, sandy blue. The Chinese characters '谢谢' (Thank you) are overlaid in the center in a bold, white, sans-serif font. The background is a solid blue gradient, and there are decorative square patterns in the bottom corners.

谢谢