

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

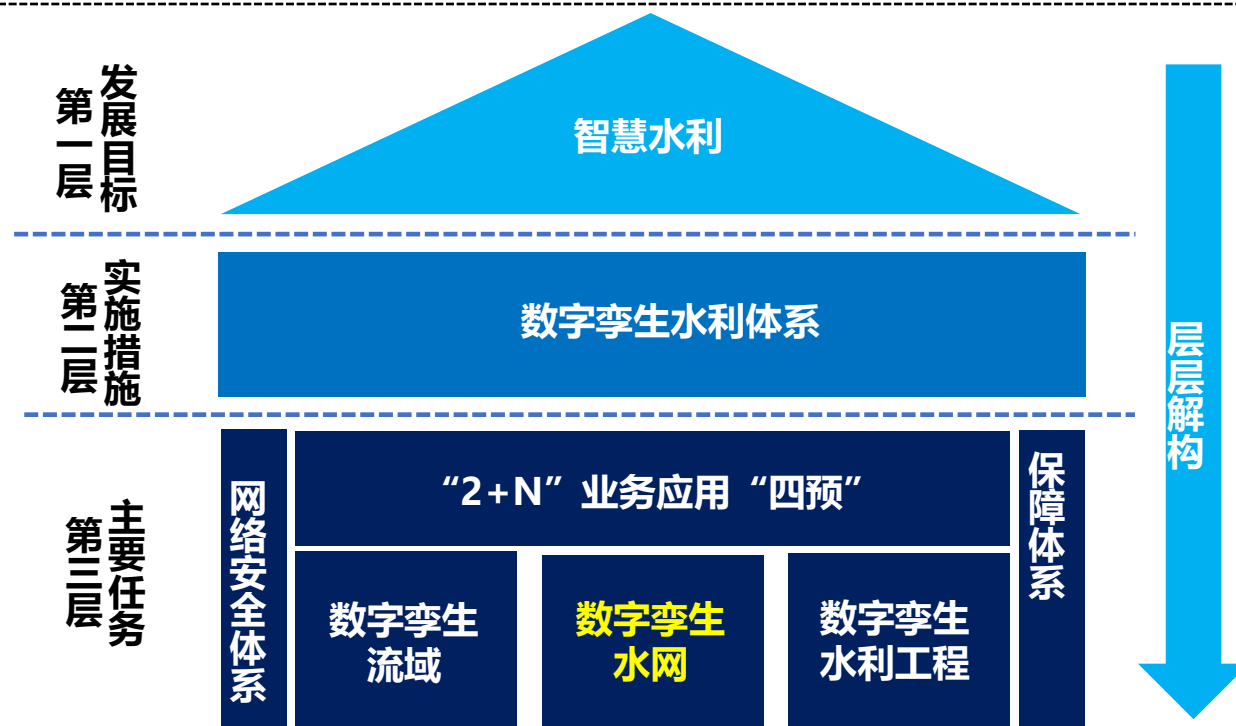
**怎么建**  
**实施路径**

# 定义定位—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”**



## 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—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**。



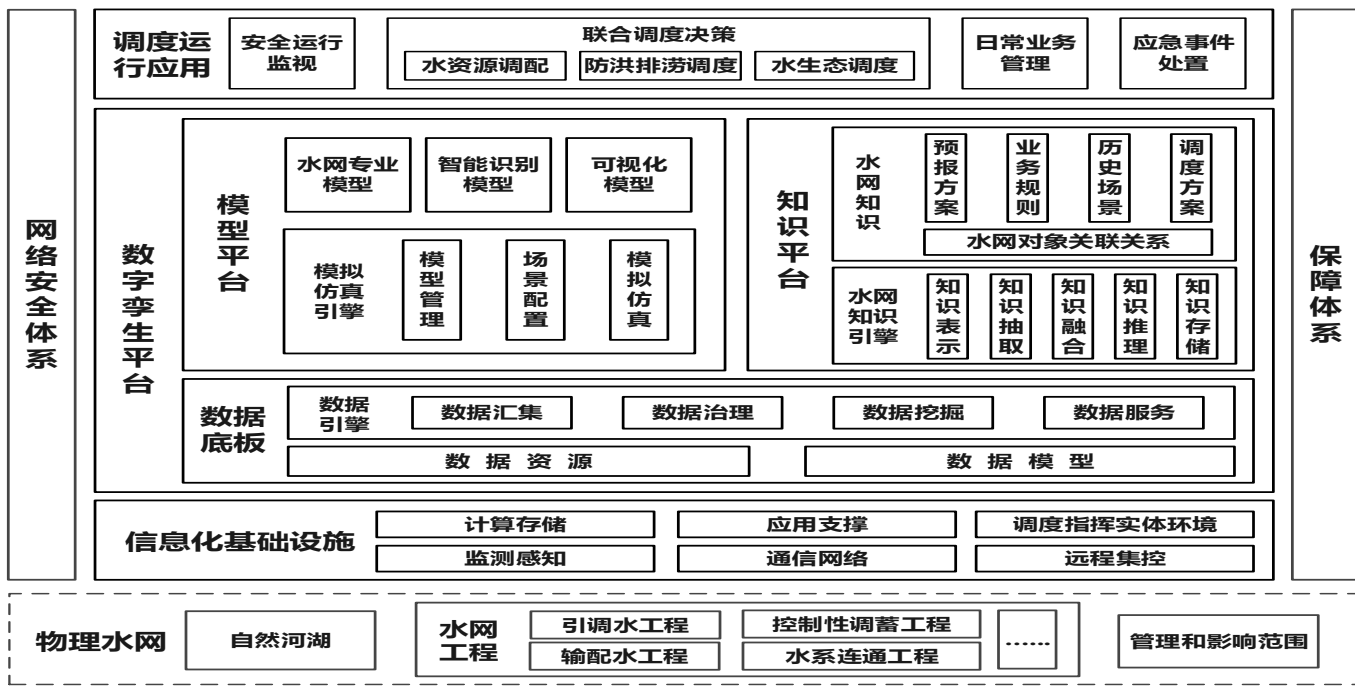
# 目标任务

“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。
- ◆ 二是建设数字孪生省级水网。浙江等**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级建设**。
- ◆ 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，特别是应对山洪灾害防御。

### 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。

### 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。

### “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**

一

雨水情特点

二

数字赋能防洪

三

应用成效

四

几点体会



# 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**

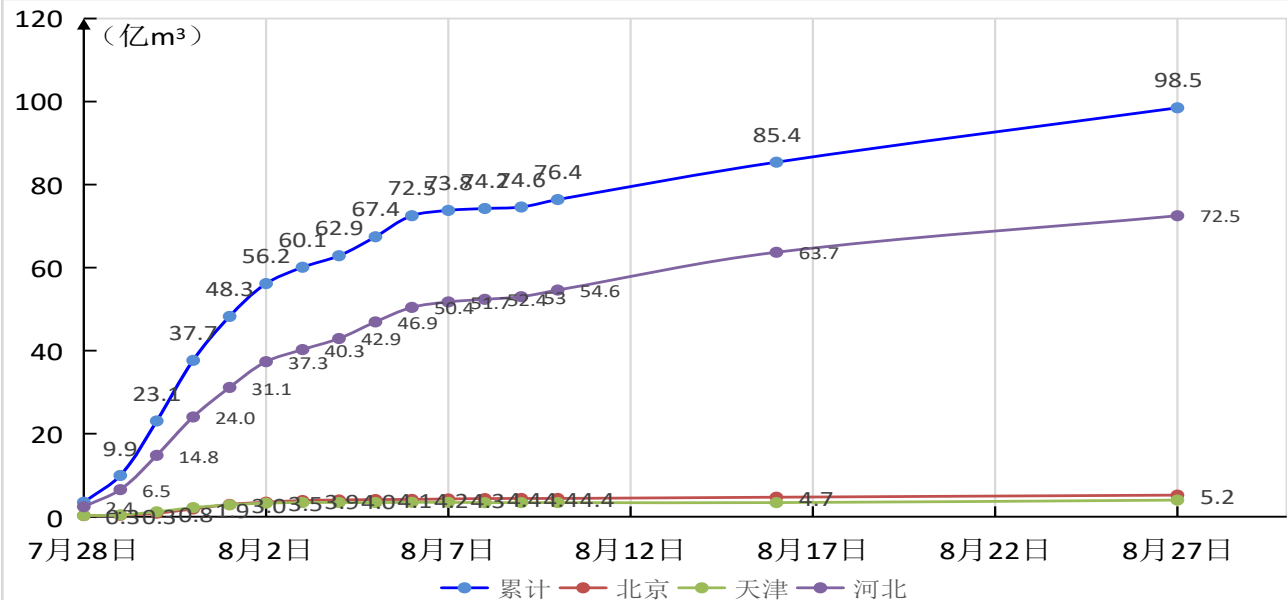
## 洪水涨势猛 演进快

- 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

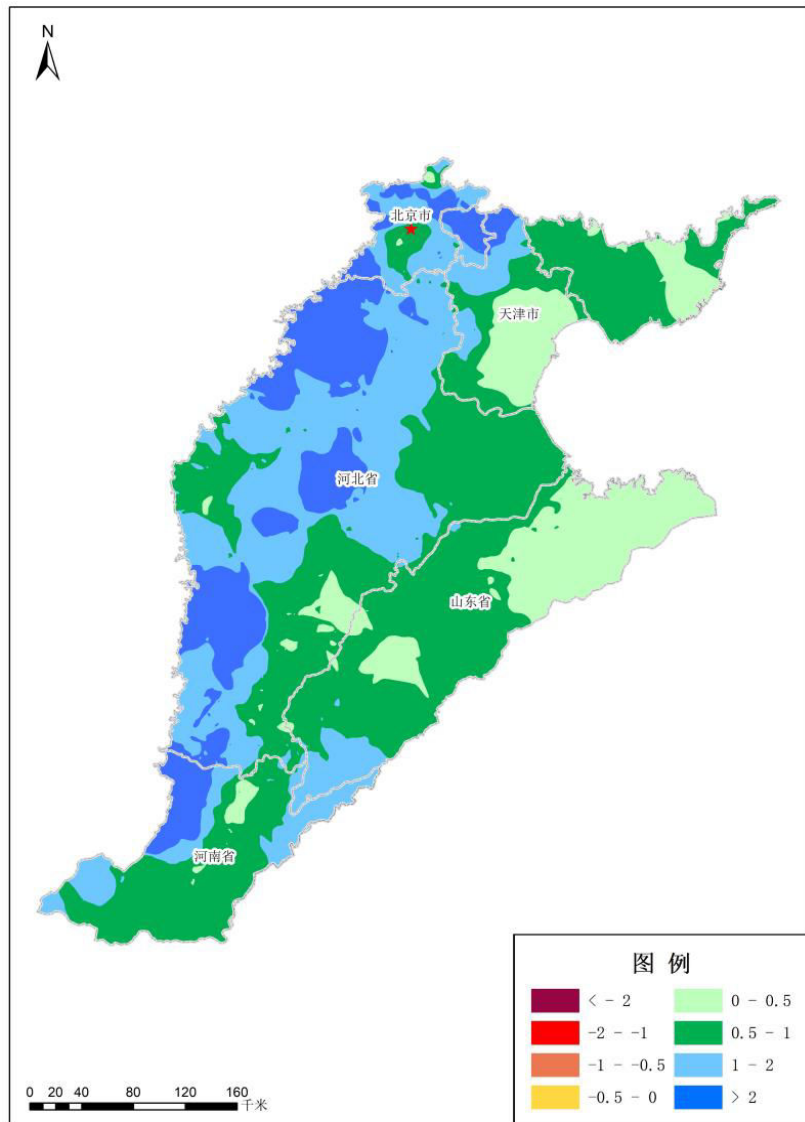
# 雨水情特点

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
- 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**1.27**米，地下水蓄变量已增加**98.5**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



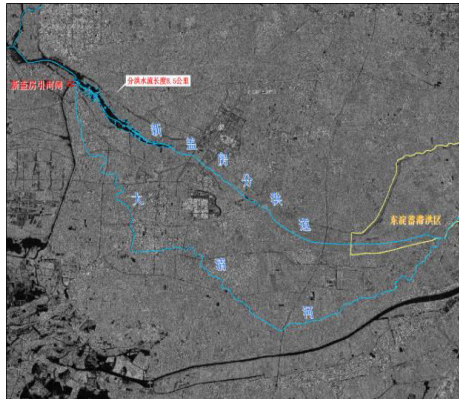
海河平原浅层地下水水位变幅图

## 二 解决算据不足--多源信息在线融合

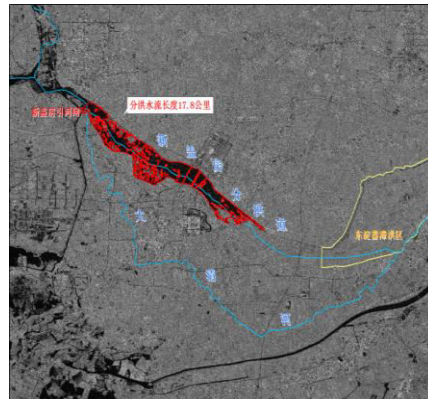
加强天空地一体化监测预警，全方位感知暴雨洪水态势。利用**气象卫星和测雨雷达**进行精细化降雨监测；利用12颗**雷达**、**光学卫星**遥感数据、20架次**无人机航摄**数据、8700多路**视频监控**点位滚动跟踪洪水演进动态；利用1874个**地面监测站**、280个**地面应急监测点**实时监测水情信息。**天空地多源监测信息**，对海河流域河道行洪、蓄滞洪区运用情况和工程险情等开展了持续跟踪监测，天空地多源信息在线融合应用，为海河洪水防御提供了不同时空尺度不同监测角度的立体信息支撑。

### 卫星遥感

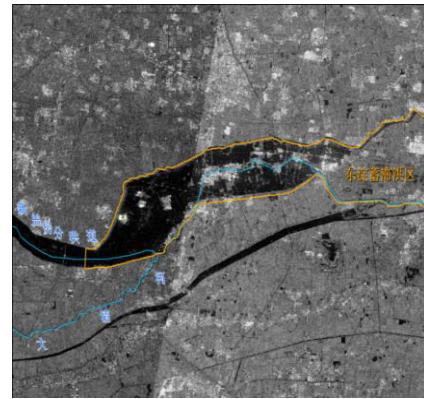
协调中国资源卫星应用中心以及商业卫星公司等卫星数据资源单位，获取覆盖8个启用蓄滞洪区的12颗卫星遥感影像共计101景，数据量约600GB



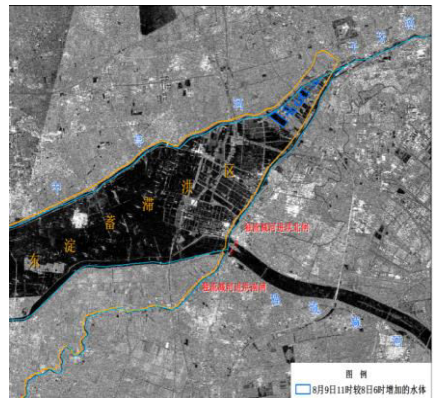
8月1日7时，大清河新盖房分洪道**泄流长度**约**8.5公里**



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. 水利一张图融合展示

持续优化完善全国**水利一张图**遥感监测专题应用模块，提升遥感影像数据服务发布到**会商系统**调用全流程的自动化和规范化程度。

**降低人工干预程度**，提升服务发布时效，全流程时效由2~3小时提升至**1小时**

**应急监测区域历史影像查询**，进一步优化影像服务发布算法，解决影像显示偏暗导致地物及水体辨识度不清晰问题，实现卫星遥感影像数据服务即时发布

**水利一张图融合**，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

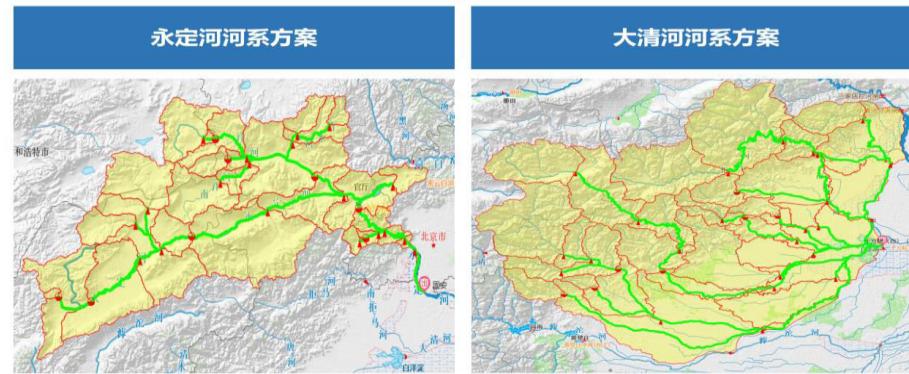
## 解决算法不足--数字孪生平台应用

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。

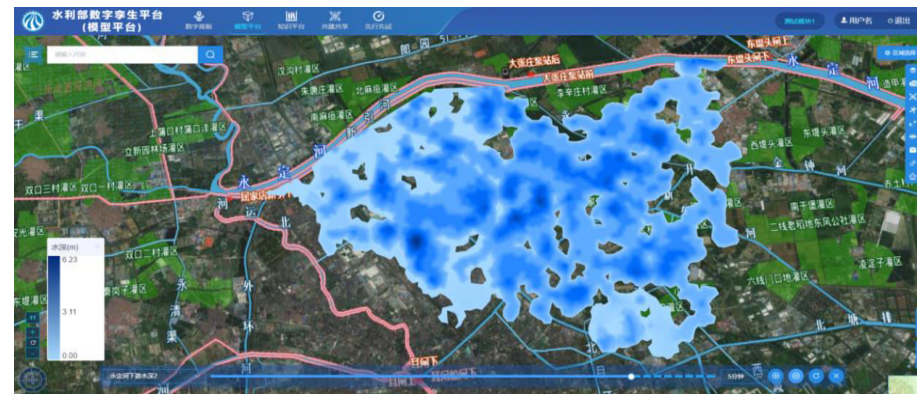
构建了海河流域**9772个**自然汇流和人工设施相结合的**断面**上下游拓扑关联关系图谱，为海河流域**240个节点**的洪水预报方案构建提供了重要支撑。

构建了**大清河流域一维、二维水动力学模型**以及**海河-永定河交汇区域的二维水动力学模型**，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。

### 构建子流域单元和模型平台



### 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

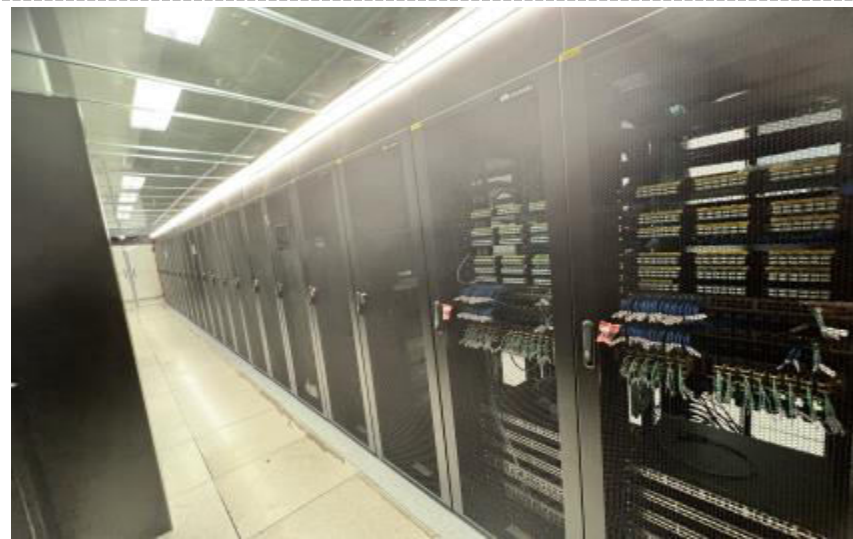




强化算力  
环境保障

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。



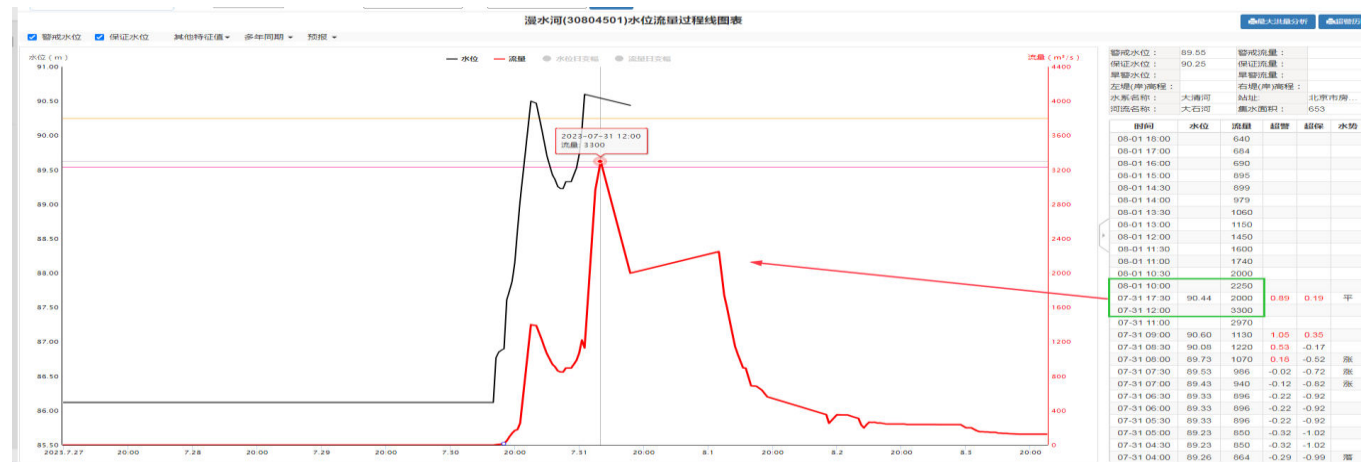
高性能计算集群



南水北调中线惠南庄视频连线

## 1. 预报

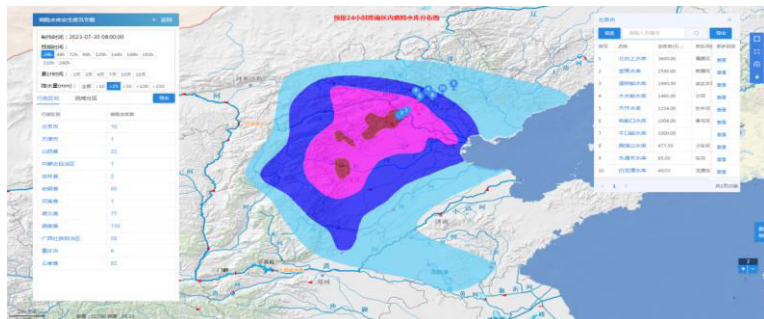
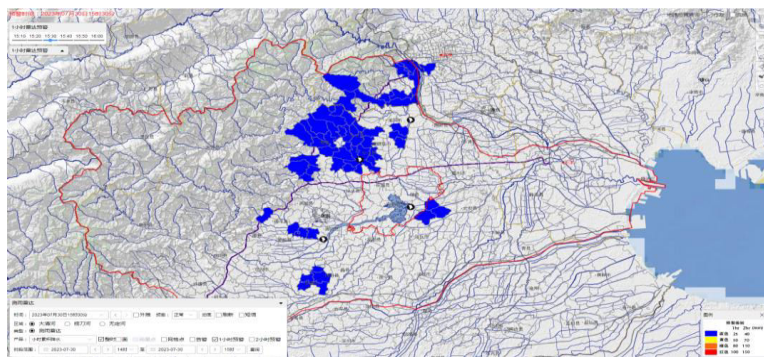
加强降雨预报和洪水预报耦合，有效延长预见期，提高精准度。依托多源空间信息融合洪水预报系统，第一次实现洪水预报由落地雨向空中雨转变，既**延长了预见期又提高了精准度**。累计制作发布139条河流洪水预报2035站次，依据预报，7月28日**启动洪水防御Ⅲ级应急响应**，7月30日把应急响应**提升至Ⅱ级**。7月27日**提前5天研判将启用6个蓄滞洪区**，关键期洪水预报精准度达到80%，为预案制订和超前精准部署洪水防御提供了重要支撑。



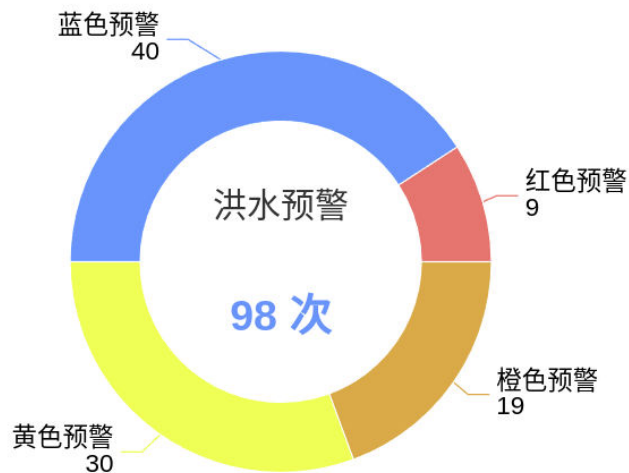


## 2. 预警

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



水利测雨雷达试点应用

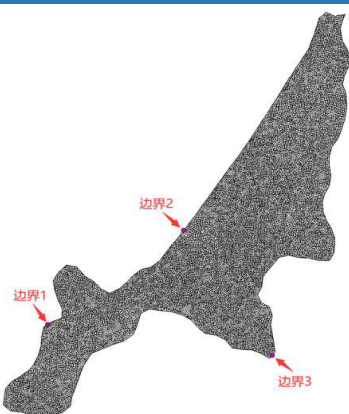
### 测雨雷达临近强降雨风险蓝色预警

7月30日15时30分，河北省保定市易县梁格庄镇、塘湖镇、西山北乡、桥头乡、流井乡、裴山镇、尉都乡、易州镇、高阳乡、白马乡、高村镇共11个乡镇将出现临近强降雨蓝色风险，其中，易州镇、梁格庄镇、裴山镇、塘湖镇、桥头乡、白马乡、流井乡、高阳乡、尉都乡未来1小时雨量将达30毫米，易州镇、梁格庄镇、裴山镇、塘湖镇、高村镇、桥头乡、白马乡、流井乡、高阳乡、西山北乡、尉都乡未来2小时雨量将达40毫米，请注意防范。

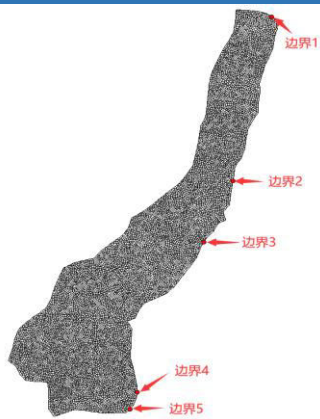
## 3. 预演

- 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。**

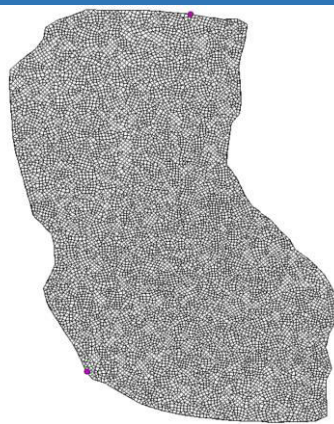
小清河泛区



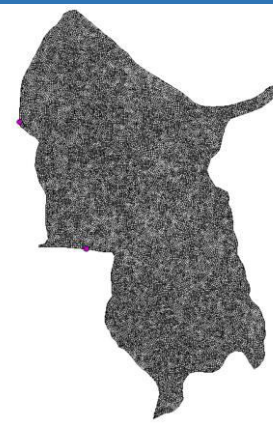
兰沟洼蓄滞洪区



大陆泽



宁晋泊



预演推演已启用蓄滞洪区(特别为小清河、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】

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；兰沟洼与红碱水水位继续下降，兰沟洼蓄滞洪区持续退水；东淀蓄滞洪区内水头向东北方向移动，水体范围略有增大，10日后将达到最大淹没范围；9日14时，通过大清河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日凌晨最大洪峰流量1400立方米每秒，第六重最高水位将达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。

## 二

# 解决“四预”能力不足——提升“四预”能力

## 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1.27米，地下水蓄变量约增加98.5亿立方米。

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。



# 四 几点体会

能打赢海河流域性大洪水：

有一套完备的**情报系统**（**天空地**采集、快速可靠传输、高性能处理-->汇聚到**水利一张图**）

有一组实用的**武器装备**（水利一张图-->**数字孪生平台**；**防汛会商调度系统**-->防洪“四预”）

有一套安全的**保障体系**（**态势感知决策指挥系统**）

有一支优秀的**人才队伍**（多专业、复合型：技术、业务；合作团队）

水利部签报

国第416号  
英 23年9月4日

水利部签报  
第 720 号  
2023年8月30日收

(2023) 号 密级:无 缓急:特急

领导批示

办公厅意见

唐长龙 8.30  
请唐虎同志核报。王鑫 8.28

会 签

主办司局 信息中心 蔡 2023.8.28

司局长审核 请蔡明同志核。见徐略

处室审核 尹志杰 8.28.

拟 稿 人 胡智丹、宫博亚、陶思铭

电 话 2576 孙嘉鹏

司局编号 信整〔2023〕24号

主 呈 李国英部长、王道席副部长、刘伟平副部长 刘伟平 8.30

事 由 关于海河“23·7”流域性特大洪水“四预”工作复盘检视的报告

附 件

1. 《海河“23·7”流域性特大洪水“四预”工作复盘检视报告》
2. 《海河“23·7”流域性特大洪水雨水情初步分析报告》
3. 《海河“23·7”流域性特大洪水“四预”工作复盘分析报告》
4. 《海河“23·7”流域性特大洪水水文监测工作复盘分析报告》
5. 《海河“23·7”流域性特大洪水天空地多源信息融合和数字孪生平台应用复盘分析报告》

密 级 无 保密期限 定密责任人

定密依据

备 注 已清并王道席副部长同意

An aerial photograph of a river delta, showing a network of water channels and landmasses. The image is predominantly blue, with the water appearing in various shades of light and dark blue. The landmasses are a slightly darker blue. In the center of the image, the Chinese characters '谢谢' (Thank you) are written in a large, white, sans-serif font. The background is a solid, deep blue color.

谢谢