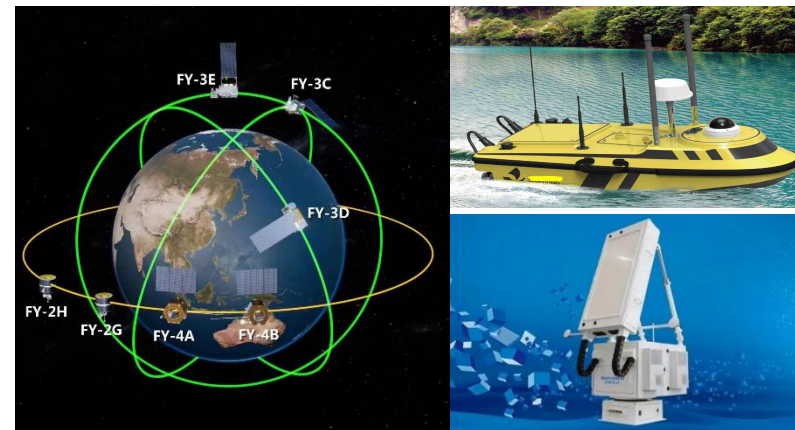




科技创新赋能水文精准监测预报的实践与思考



刘志雨

水利部水文司

2026年4月25日 · 湖北宜昌

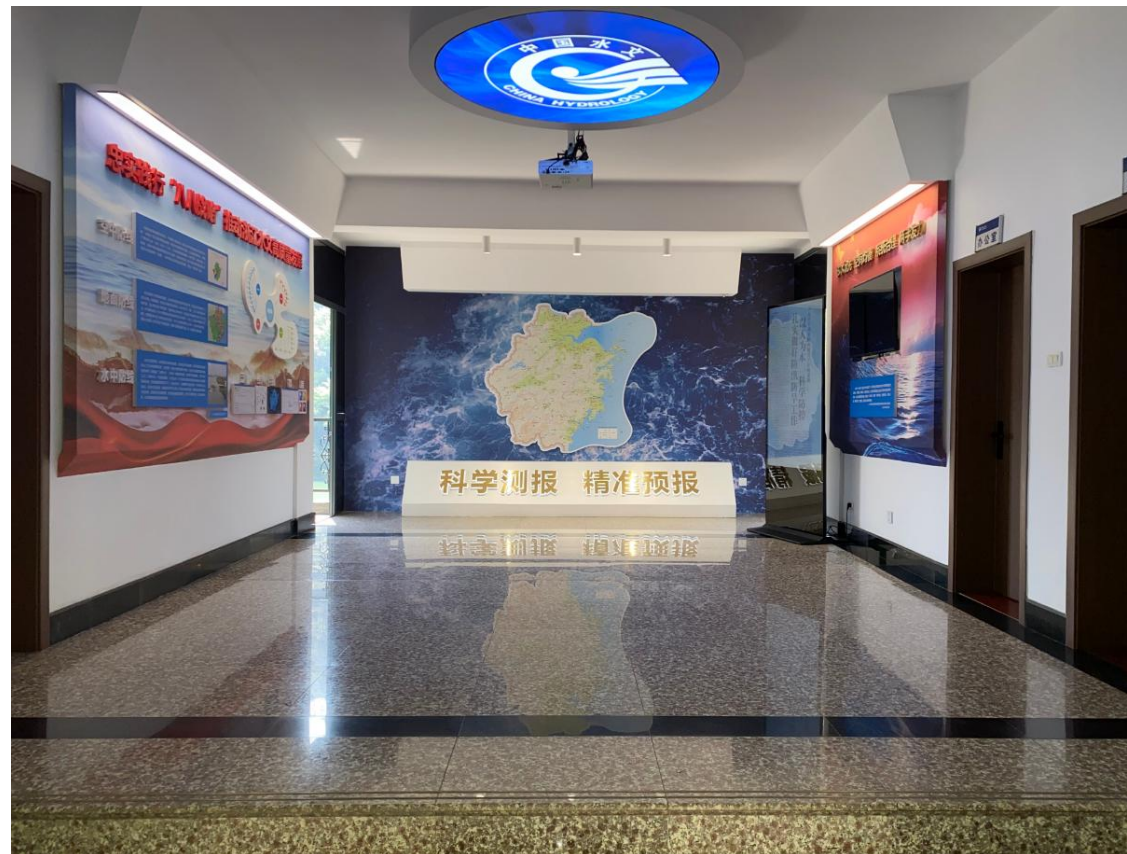
俯瞰中国大地

受季风气候 地形条件 河流走向 人口分布等影响

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一，防灾减灾救灾是一项长期任务，关键是坚持源头预防

习近平总书记高度重视监测预报预警工作

■ **精准测报！科学预报！** —2006年5月26日，时任浙江省委书记的习近平视察分水江水文站，对水文工作提出殷切嘱托



习近平总书记高度重视监测预报预警工作

- **科学精准预测预报。**要密切监视天气变化，**加强雨情水情监测预报预警**，加强汛情、灾情分析研判，强化应急值守和会商分析，**提前发布预警信息**，及时启动应急响应，把握防汛抗洪主动权

—2016年7月20日，习近平总书记关于做好当前防汛抗洪抢险救灾工作的重要讲话

- 要立足防大汛抗大灾，针对防汛救灾暴露出的薄弱环节，迅速查漏补缺，**补好灾害预警监测短板，补好防灾基础设施短板**

—2021年10月23日，习近平总书记在深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的重要讲话

- **要始终把保障人民生命安全放在第一位**，进一步**完善监测手段，提高预警精准度，强化预警**和应急响应联动，提高响应速度，突出防御重点，盯紧基层末梢，提前果断转移危险区群众，最大限度减少人员伤亡。

—2024年7月25日，习近平总书记在中共中央政治局常务委员会会议上的重要讲话



2018年4月25日，习近平总书记在湖南城陵矶水文站视察

水文是推动新阶段水利高质量发展的基础性和先行性工作

“十五五”时期，水利发展进入基本实现水利现代化夯实基础、全面发力的关键时期。党中央、国务院有关文件对加强水文监测预报预警工作提出明确要求，迫切需要科技创新打头阵，充分发挥战略先导和根本支撑作用



中国共产党第二十届中央委员会第四次全体会议审议通过
《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》



央办、国办印发
《关于全面推进江河保护治理的意见》

科技创新是以高质量发展推动水文现代化建设的核心引擎

近年来，我国极端极端水旱灾害事件频发多发。面对打赢现代化防汛战对超前、精准情报信息的迫切需要，面对新时代国家水安全保障对水文监测预报预警的更高要求，水文现代化亟需加快推进、加速攻坚，迫切需要科技创新打头阵

三箭齐发

基础研究

应用基础研究

高新科技研发

三型平台

原型

物理模型

数学模型

三方合一

科研院所

大学

企业

三位一体

教育

科技

人才

三项机制

产学研用融合
机制

科技创新与标
准重构机制

科技成果推广
机制

报告提纲

一

水文监测预报业务发展现状

二

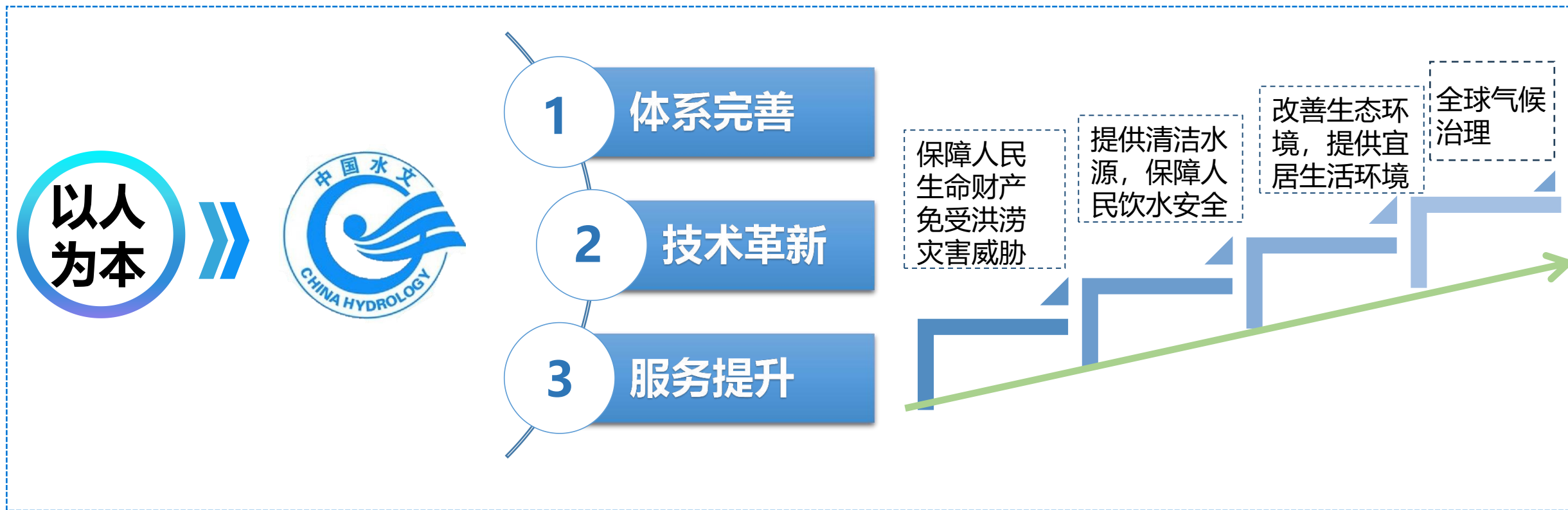
监测预报的理论与实践挑战

三

科技赋能水文精准监测预报

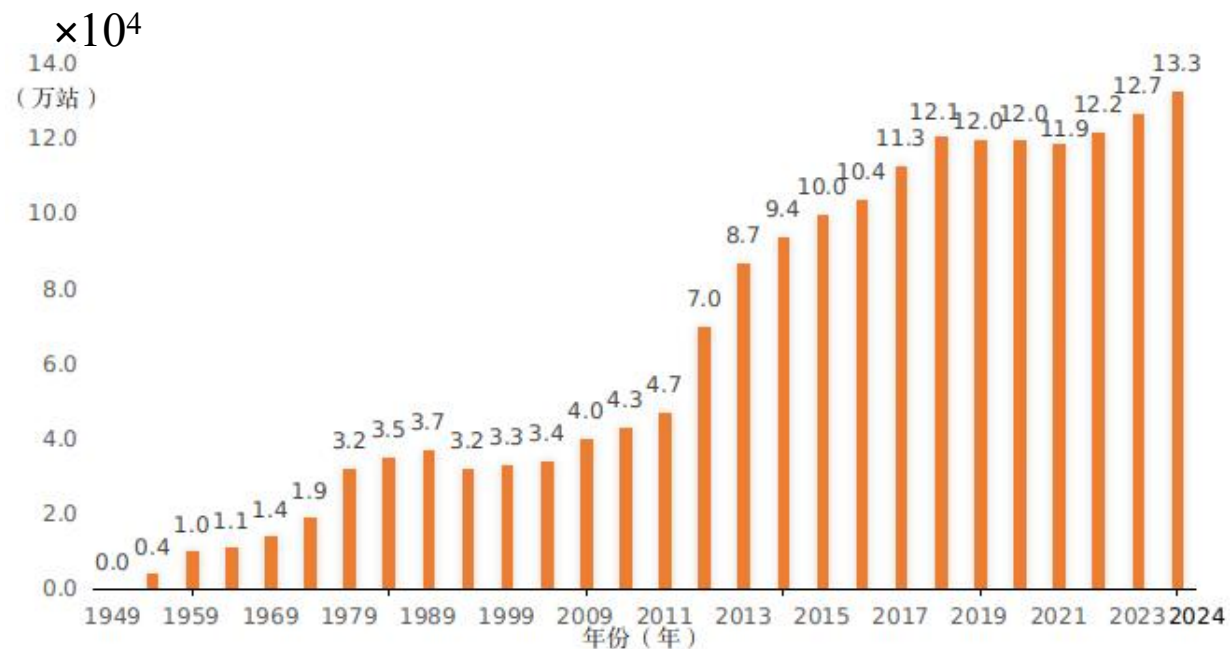
水文事业实现跨越式发展

- 1988年《水法》、2007年《水文条例》明确水文基础性公益性事业地位。近年来，我国水文事业在体系完善、技术革新、服务能力等方面实现了跨越式发展，成为支撑国家水安全、生态文明建设和全球气候治理的重要基础。



(一) 体系完善：一是完善国家水文站网体系

- 截至2025年底，全国水文部门共有各类水文测站**136,786处**（国家基本水文站3326处），较“十三五”末增加16,872处，**基本建成种类齐全、功能较为完善的水文站网体系**

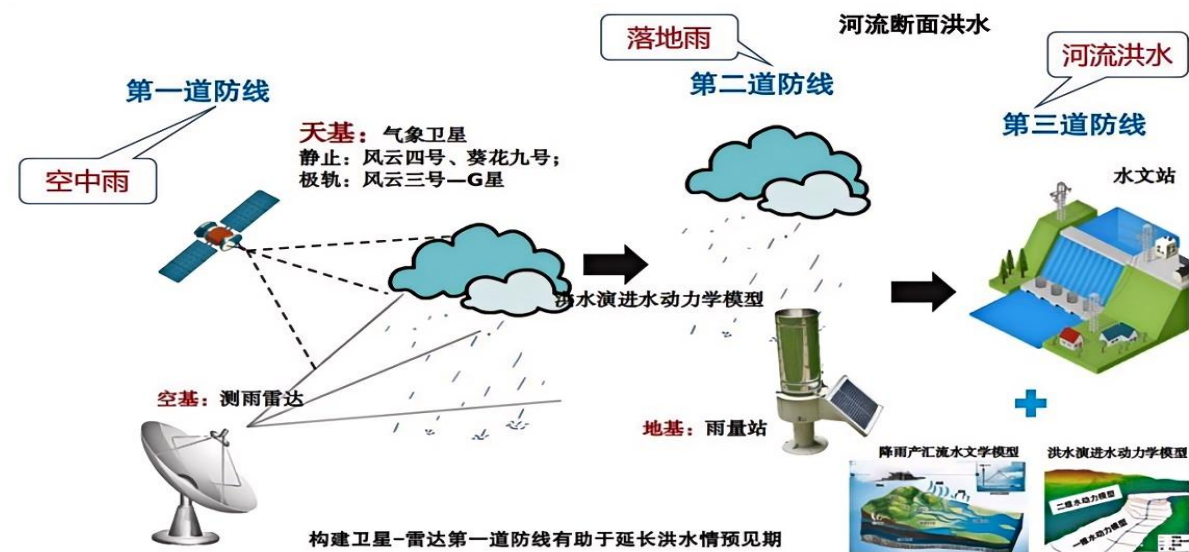


全国水文测站发展变化情况



(一) 体系完善：二是推进现代化雨水情监测预报体系

- 以“三道防线”建设为核心，构建以流域为单元，由气象卫星、天气雷达和水利测雨雷达网、雨量站网、水文站网 + “降水 - 产汇流 - 洪水演进”模型组成的雨水情监测预报体系，努力实现延长洪水预见期、提高预报精准度的有效统一



“三道防线”雨水情监测预报体系

“三道防线” 耦合贯通的雨水情监测预报体系加快构建

- 近年来，流域机构和辽宁、浙江、江西、山东、湖南、广东、四川等地，开展了雨水情监测预报“三道防线”耦合贯通试点建设，实现降雨-产流-汇流-演进全链条精细预报，汛期应用成效明显



雨水情监测预报“三道防线”耦合贯通

(一) 体系完善： 三是强化水文信息服务体系

- 目前，我国基本实现了中央、流域、省、市、县5级水情预警发布全覆盖，向社会发布洪水和干旱预报预警、水文年报/公报等信息，强化水文信息公共服务



Urban Hydrological Information Service
城市水文信息服务



Flood warning
洪水预警发布

(二) 技术革新：1. 监测技术

- 研发了遥感、雷达、声光电等先进技术设备，推动水文监测自动化、智能化
 - 自动监测率：流量、泥沙自动监测率从2020年的30%、5%分别提高到 2025年的65%、25%



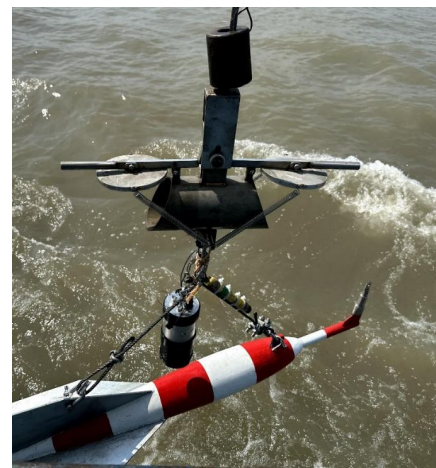
水利测雨雷达



相控阵水利测雨雷达



光电测沙仪

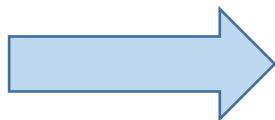


量子点光谱测沙仪



称重式雨量计

“人工或机械式监测”



“立体非接触式”

“智能运行”

(二) 技术革新: 1. 监测技术

■ 现代化水文站 - 卢沟桥 (北京)



卢沟桥水文站全要素水文监测

全要素
全量程
全自动

卢沟桥水文站观测项目包含水位、流量、泥沙、墒情、冰情、降水、蒸发等十余项测验要素。

水位平台-雷达水位计、视频识别水位计



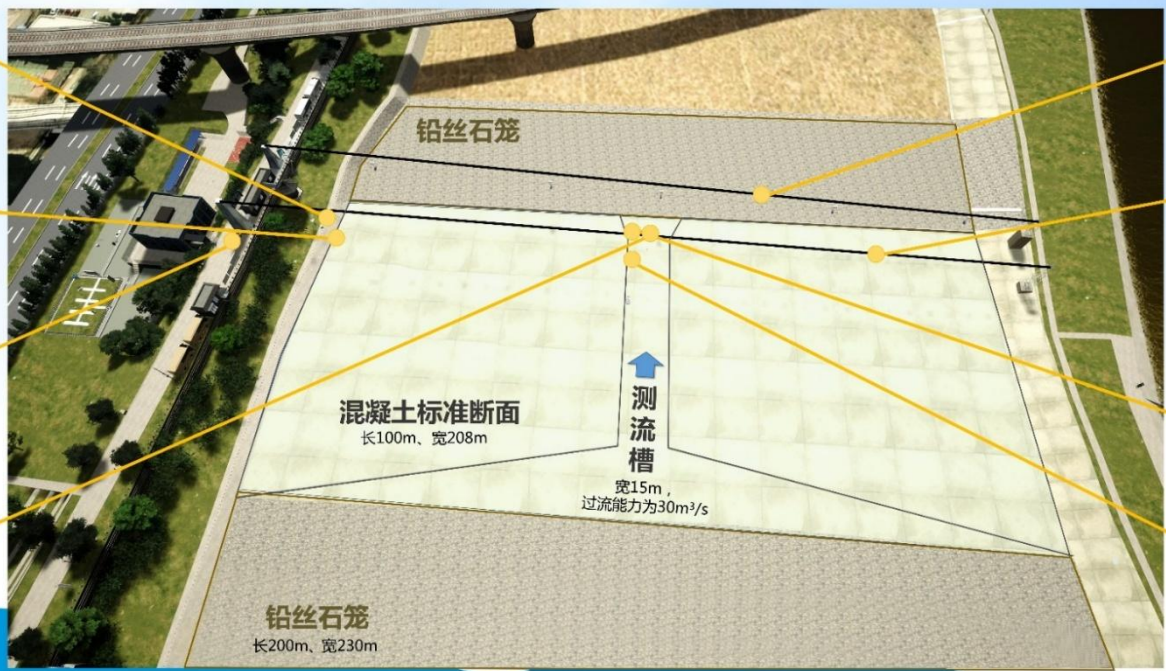
光电测沙仪
采用光学原理分析水的浑浊度, 该设备具有可移动、便捷的特点



侧扫雷达



三垂线座底式ADCP、地理水位计



C波段卫星电话




移动卫星电话

固定式五探头雷达流量计



铅鱼ADCP耦合雷达波



量子点光谱测沙仪
通过建立光谱数据与悬移质含沙量的数学关系精确测量小水泥沙含量



水环境侦察兵



(二) 技术革新: 1. 监测技术

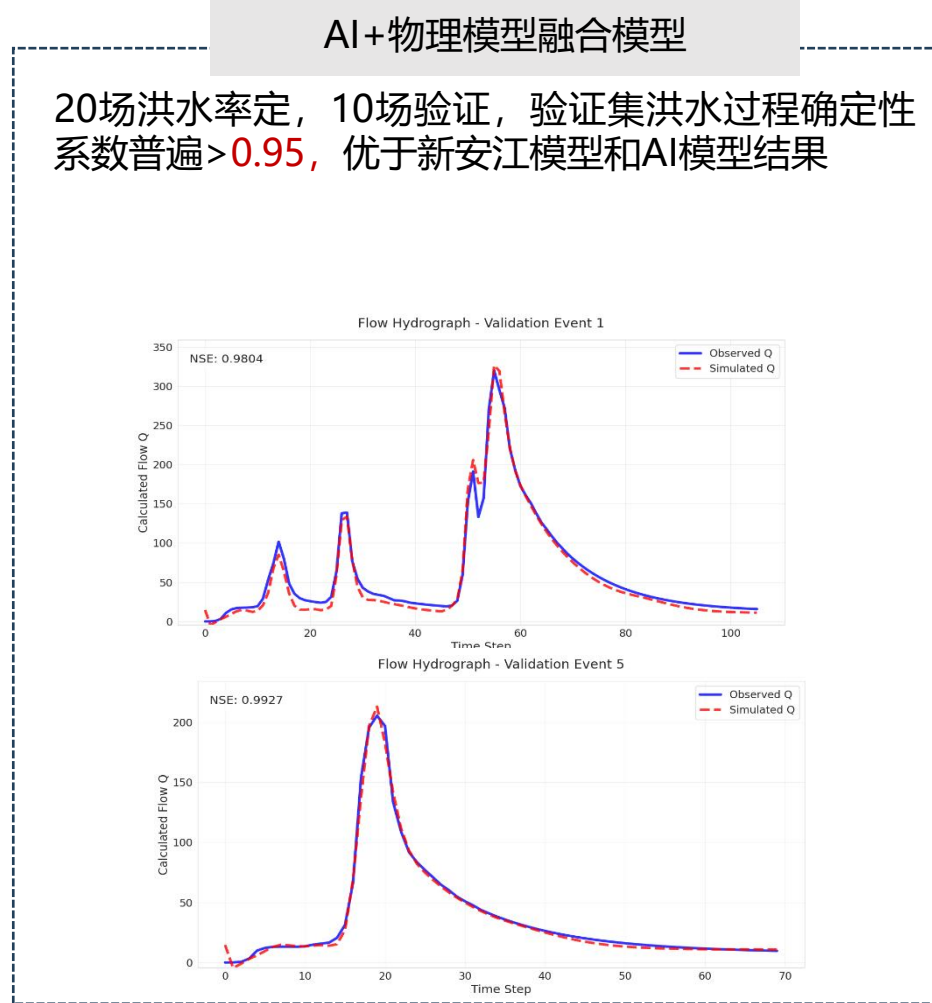
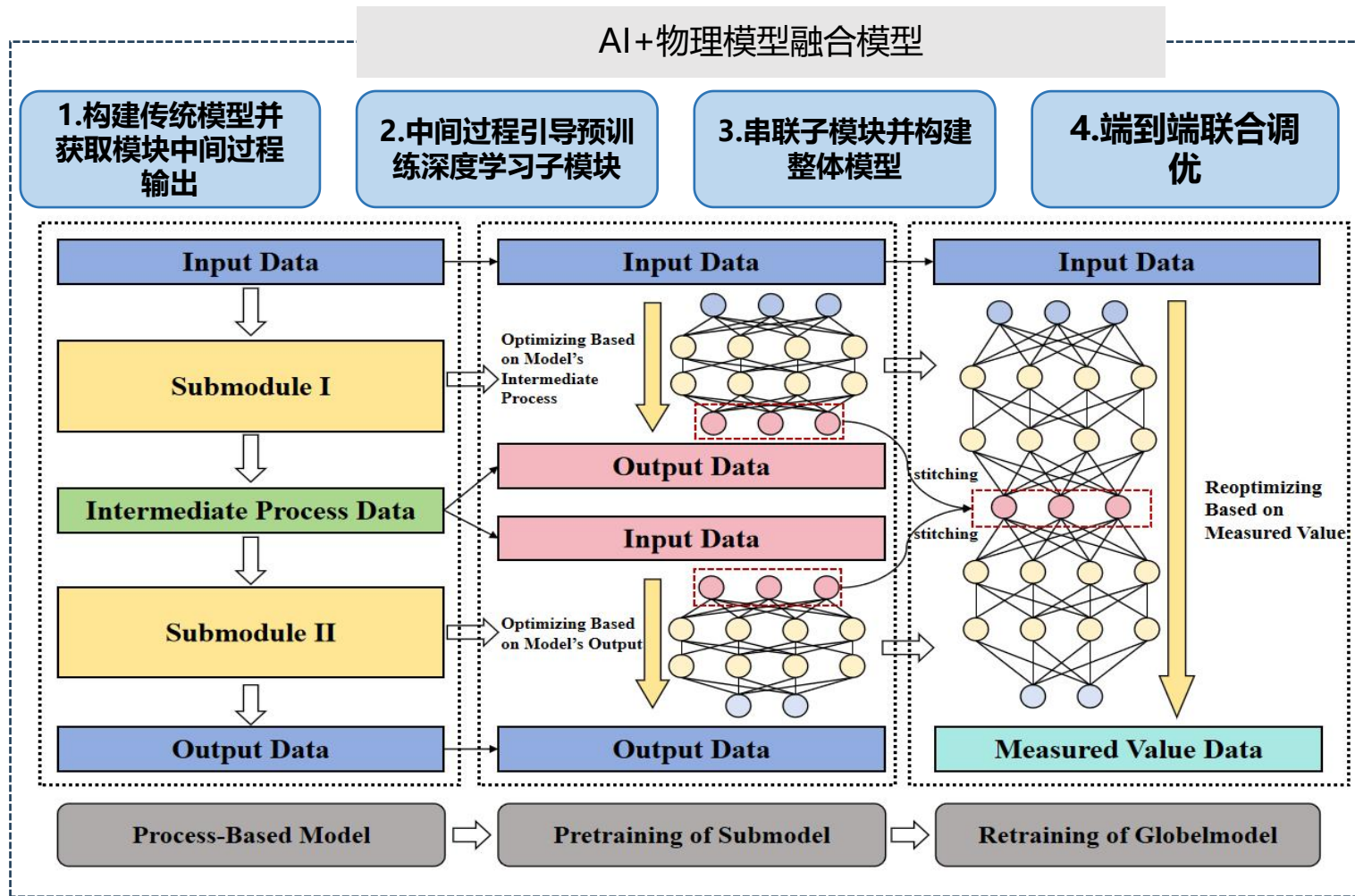
■ 现代化水文站 - 汉口 (长江委)

长江中游汉口水文站开展数字孪生水文站建设, 积极推进新技术、新装备应用, 充分利用卫星、雷达、遥感、智能传感等现代智能技术, 推进水文监测全要素、全量程、全天候自动监测



(二) 技术革新: 2. 预报技术

■ 从数据驱动、概念性集总模型升级为AI驱动+机理模型、分布式水文模型...



“单一机理” “经验模演”



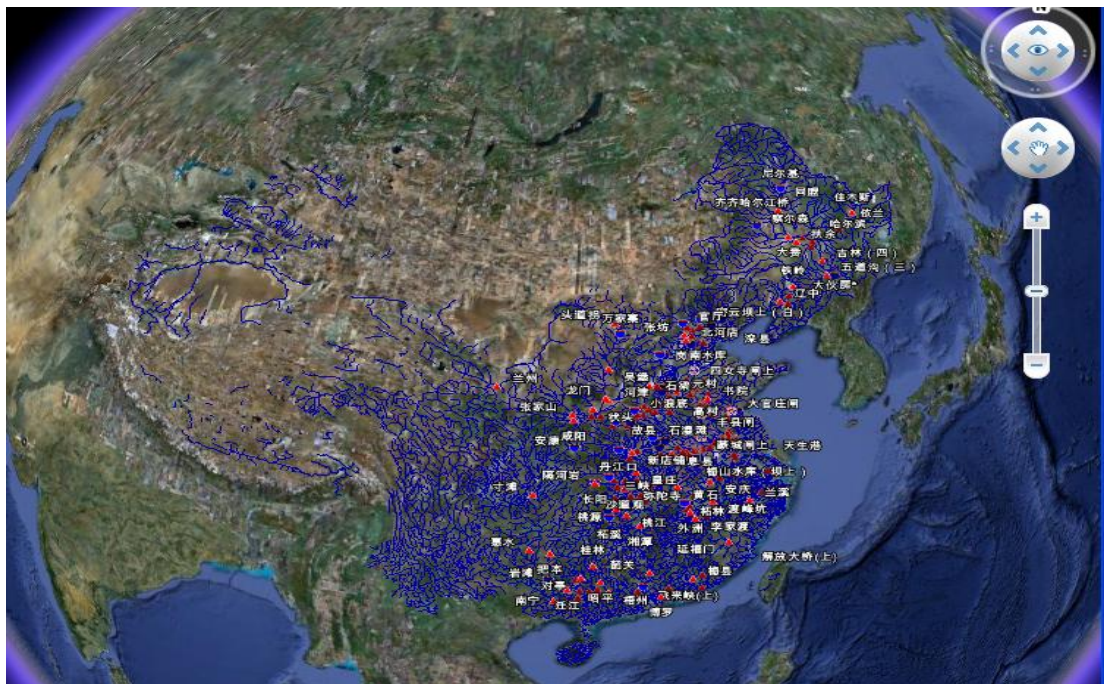
“混合模型”

“智能耦合”

(二) 技术革新： 3. 预报系统

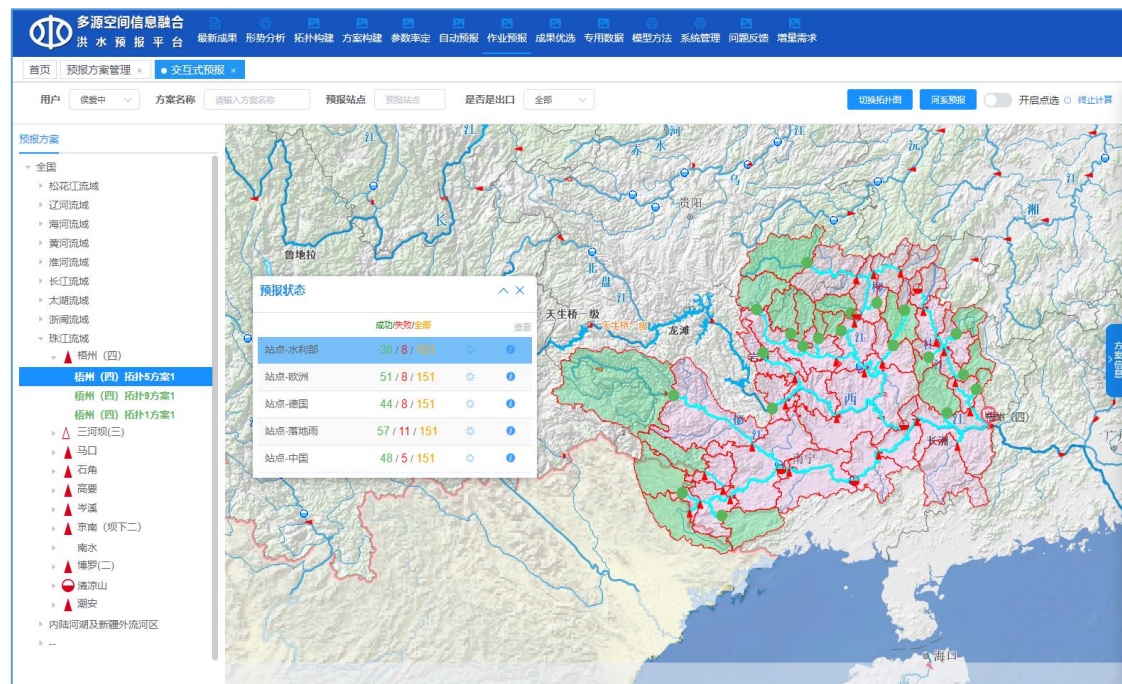
■ 水利部研发了多源信息融合的洪水预报系统，实现了向预报预警预演预案“四预”业务应用的智慧化升级

- 近2000条河流、4300预报断面
- 关键预报优良率超过90%，预见期从3天到10天以上



全国水文预报断面分布

• 预报-预警-预演-预案“四预”闭环



多源信息融合的洪水预报系统

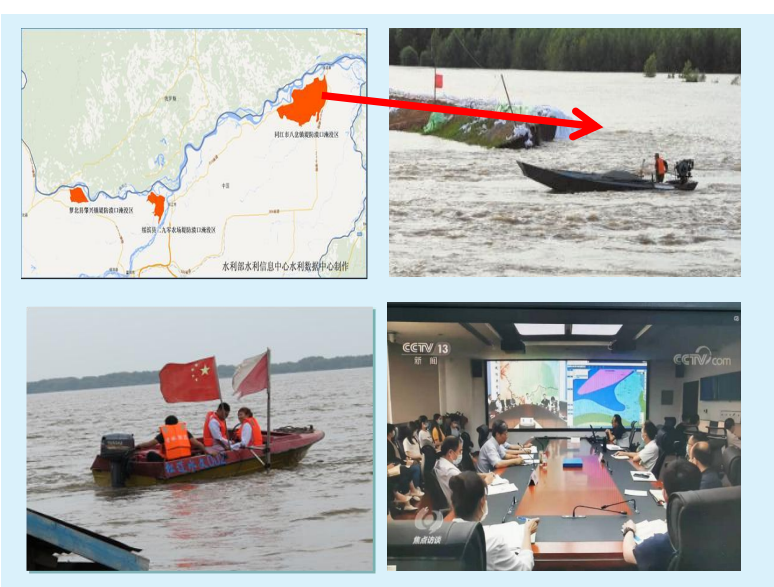
“监测预报贯通” “预报调度融合” 不足



“预报调度一体化” “四预” 闭环

(三) 服务提升: 1.民生水利

- 全国水文系统通过开展监测预报, 为水旱灾害防御、水资源管理、水生态保护、水工程运行等提供支撑服务



为应对大江大河大洪水及部分省区严重旱灾提供监测预报服务



开展生态补水水文监测分析与评估, 为京杭大运河贯通补水提供支撑



太湖蓝藻暴发开展应急监测

(三) 服务提升：2.经济社会

- 水文服务领域从水利逐步拓展到交通、海洋、能源等行业，为长江经济带高质量发展、黄河流域生态保护和高质量发展提供科学的水文依据



长江水文感知创新联盟



Global Database of Erosion and Sedimentation

报告提纲

一

水文监测预报业务发展现状

二

监测预报的理论与实践挑战

三

科技赋能水文精准监测预报

(一) 发展阶段对水文发展提出新要求

- 2024年习近平总书记专门对水利工作作出重要批示，强调“推动水利高质量发展，保障我国水安全”
- 高质量发展是新发展阶段新的发展主题，意味着水文工作要全面提升水文基础设施自动化和标准化水平，全面实现水文现代化



(二) 变化环境带来新挑战：我国极端暴雨洪水多发频发

- 暴雨洪水呈现突发性、极端性、反常性特点，致灾风险显著上升
- “十四五”期间，共有**3981**条河流洪水超警戒水位，大江大河**55次**编号洪水，防洪救灾压力持续加大；长江、珠江等流域出现历史罕见旱情



◆ 郑州“21.7”极端暴雨

◆ 海河“23.7”特大洪水



2025年我国超警以上洪水分布图（部信息中心）

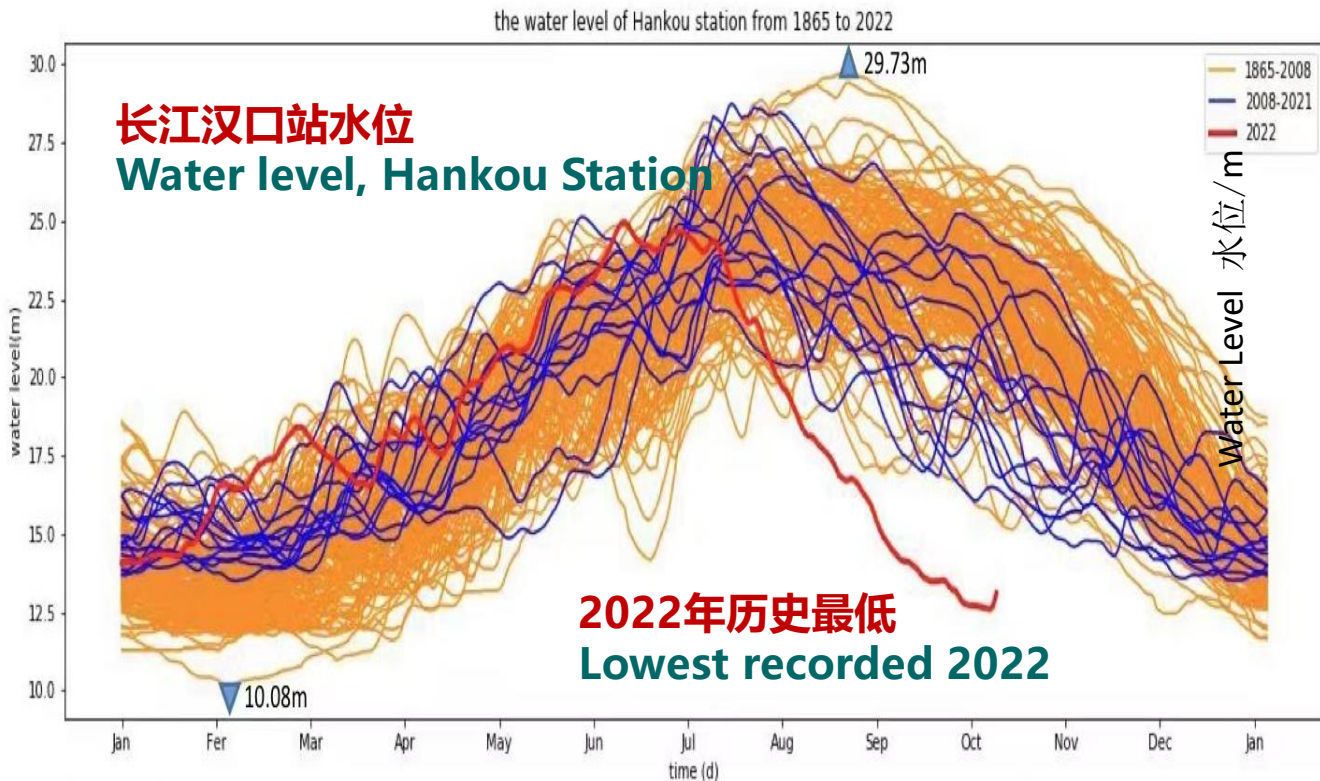
913 条河超警戒水位

海河“25.7”区域性大洪水

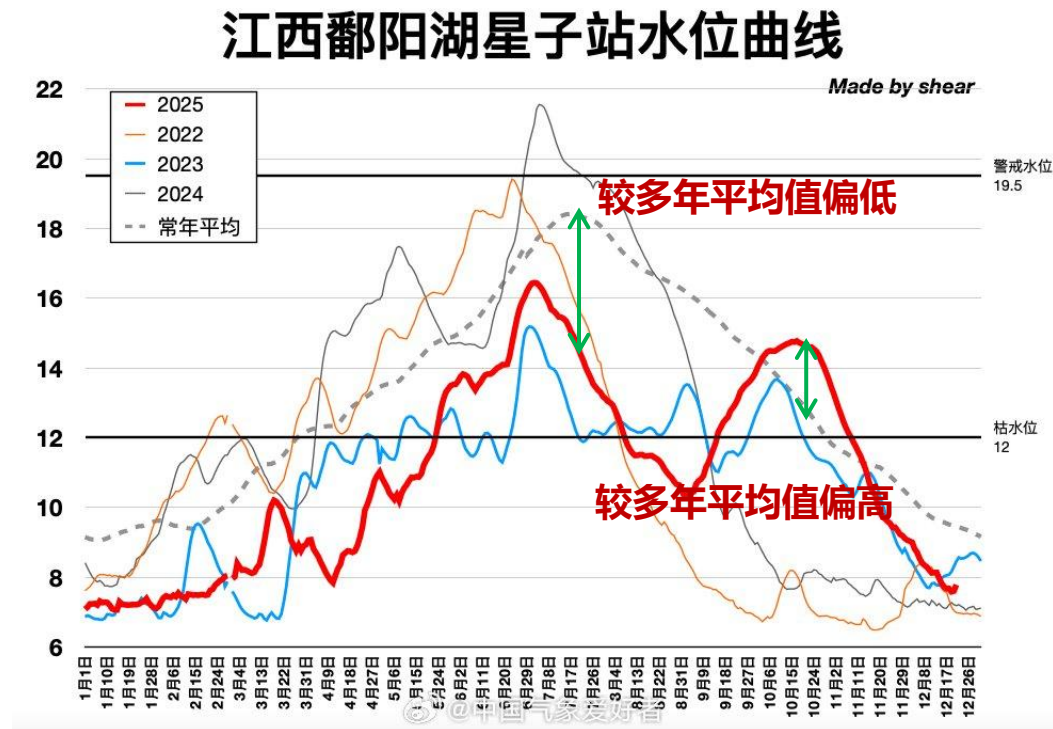
42条河出现历史极值

(二) 变化环境带来新挑战：我国极端干旱趋频趋广

- 干旱频率、强度和持续时间显著增加，向“发生更快”与“持续更久”不断演变，大范围干旱和“旱涝急转”时有发生



长江流域2022年发生全流域性极端干旱

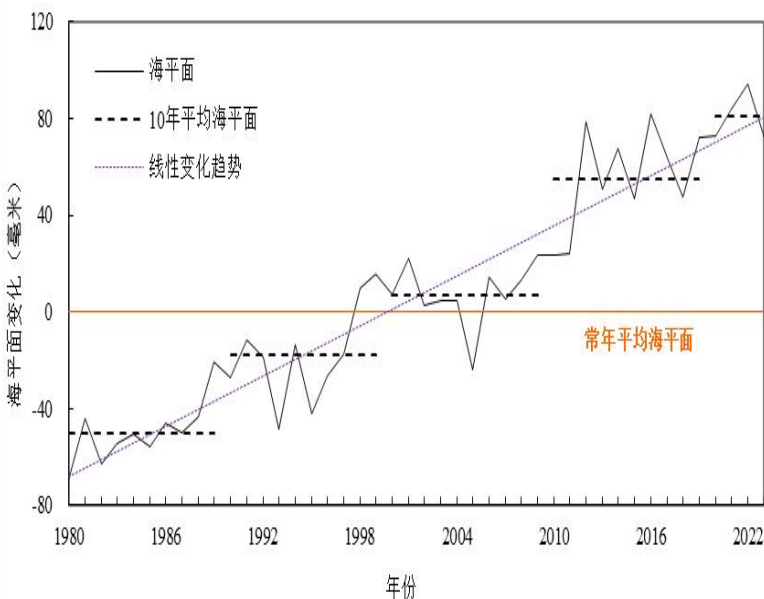


长江流域2025旱涝急转，6月份水位比多年平均低近30%，10月份水位比多年平均高近25%

(二) 变化环境带来新挑战：我国海平面上升速率超过全球

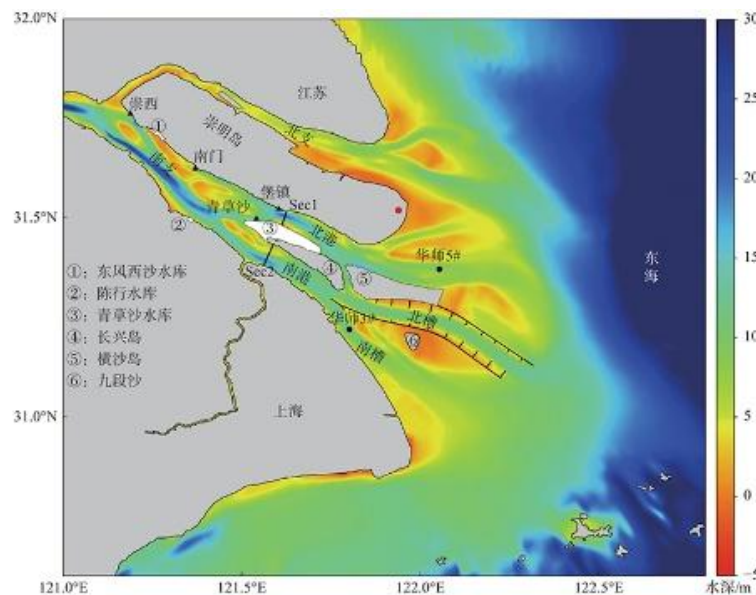
- 过去30年中国沿海海平面上升速率为**4.0mm/年**，高于同时期全球平均水平的**3.3mm/年**，导致海水入侵、咸潮上溯、基础设施损坏等问题日益突出，进一步加剧水资源问题

海平面上升



2023年，中国沿海海平面较常年高72mm

长江口盐水入侵



2024年长江河口发生15次海水入侵导致供水困难

海水养殖受损



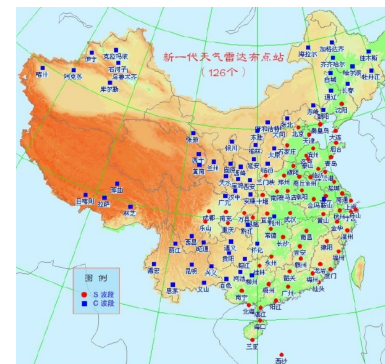
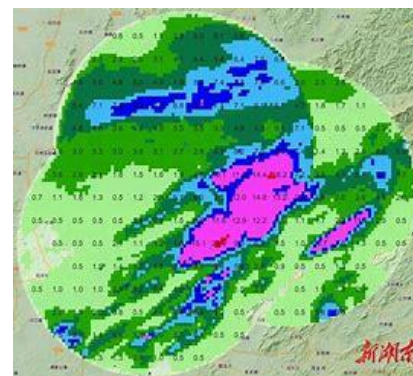
2023年，发生13次海洋灾害，造成直接经济损失25.07亿元

(三) 现代化雨水情监测预报体系建设应用的新挑战

■ 1. 站网体系有待完善、应急测报能力亟待提高

(1) 站网密度 (覆盖率) 不足 难以满足水旱灾害防御、水资源精细化管理需求

中西部等偏远地区、中小河流、山洪沟道站网密度低，有防洪任务的中小河流水文监测覆盖率仅73%，部分有防洪任务的县城和重要乡镇、跨省中小河流上游等存在监测盲区



(2) 测报标准和通信保障能力不足

- 监测设施防洪标准低、洪标准低。现有中小河流水文站大多按照30年一遇防洪标准、20年一遇测洪标准建设，建设标准偏低。部分引调水河流水文测站建设时以输水最大流量“测得到”为标准，无法抵御极端洪水的冲击
- 报讯网络，偏远地区通信条件差

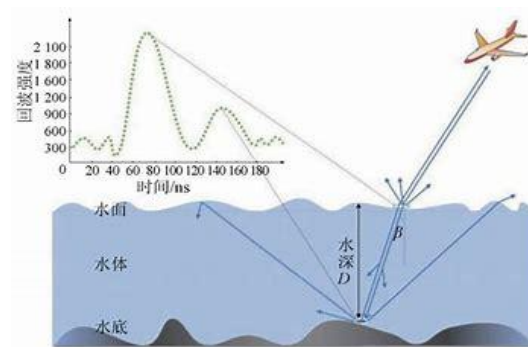


(三) 现代化雨水情监测预报体系建设应用的新挑战

■ 2. 新技术新设备研发应用滞后、科技自主创新待提升

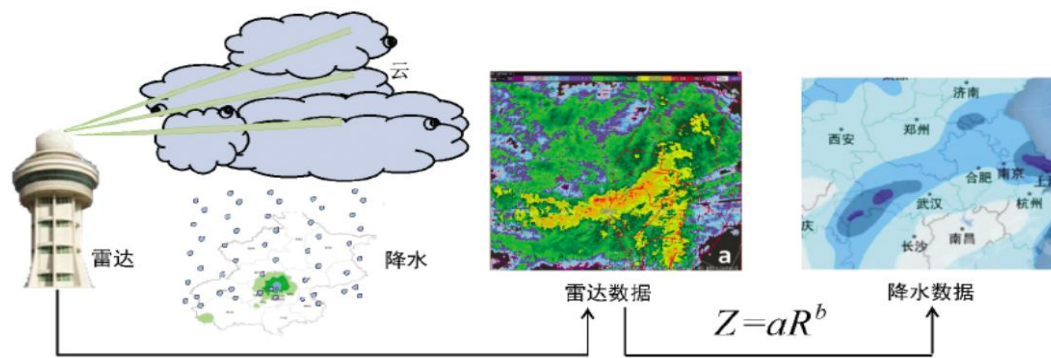
(1) 新技术新设备研发应用滞后

- AI、遥感、大数据、物联网、区块链等新技术与水文业务深度融合处于**起步阶段**
- 非接触测深、高含沙、低枯水测流、高寒、高海拔等**特殊环境监测技术需突破**
- 气象卫星、测雨雷达等技术**耦合待加强**



(2) 科技自主创新能力待提升

- 关键技术装备**国产率低**
- 水文新设备**创新不足**
- 产学研沟通**协作待加强**

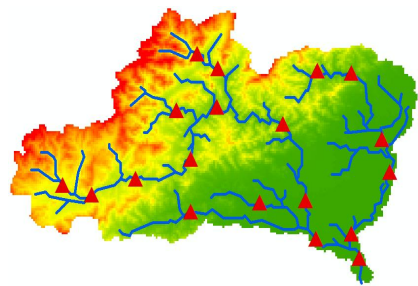


(三) 现代化雨水情监测预报体系建设应用的新挑战

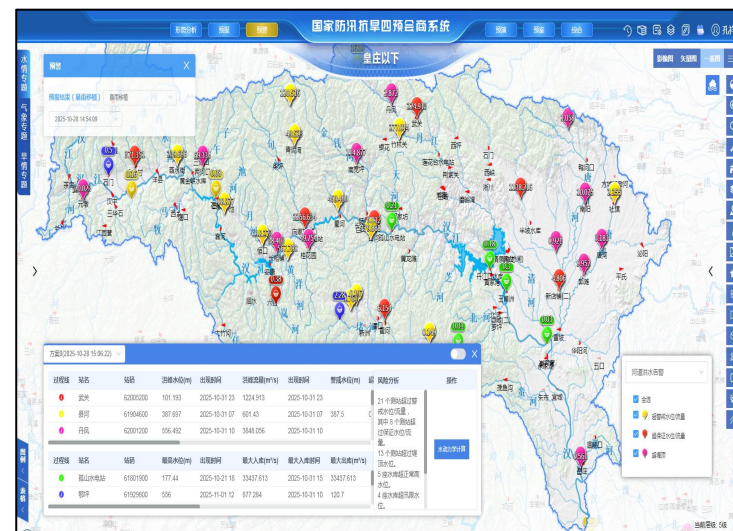
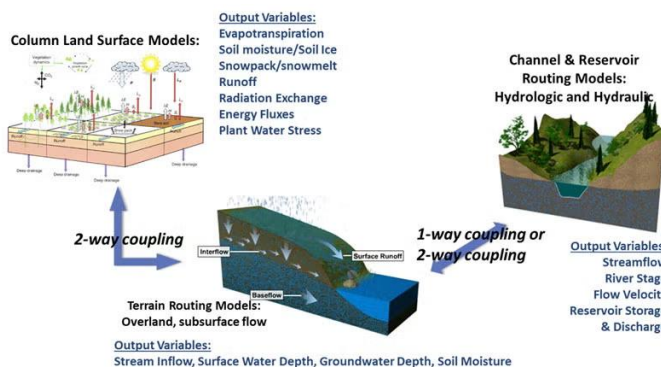
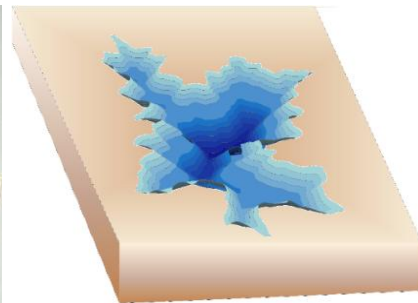
3. 传统半经验半物理过程的预报模型方法适用性不足

水利工程蓄泄、地下水超采等人类活动改变了天然产汇流规律，直接影响了传统固定参数和结构的水文水动力模型的预报精度，耦合“气象-水文”模型、数据与机理融合建模的方法待突破

兴建水库



地下水超采



(三) 现代化雨水情监测预报体系建设应用的新挑战

■ 4. 水文基础研究不足、水文服务有待拓展

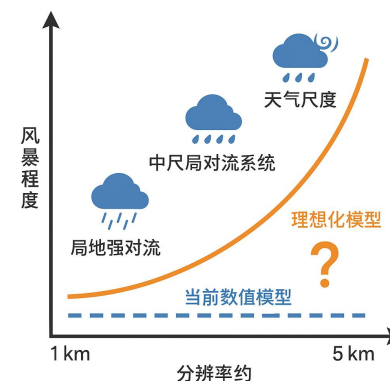
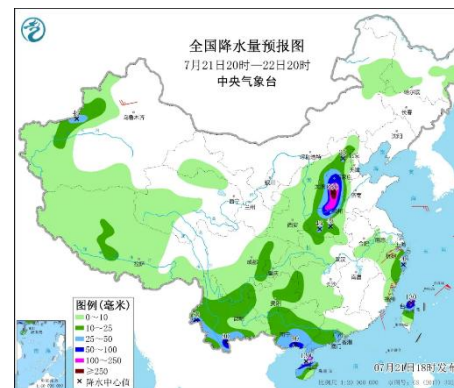
(1) 针对气候变化、人类活动影响的基础研究不足

- 原有水文站网监测数据**代表性下降**
- 降水到演进的水文**规律发生变异**
- 水文序列的**一致性收到挑战**
- 传统水文测验手段、水文计算方法**面临失效风险**
- 部分现行水文规范不能符合新变化、新需求的要求

(2) 水文服务支撑能力待提升

支撑民生水利能力不够
社会化服务能力和影响力不足
水文信息高质量全方位服务涉水水平不高

灾害类型	年均发生次数	趋势描述
暴雨/洪涝	30-40次	极端强度和局地性增强, 城市内涝风险上升
台风	7-10次	强台风比例上升, 路径更复杂



报告提纲

一

水文监测预报业务发展现状

二

监测预报的理论与实践挑战

三

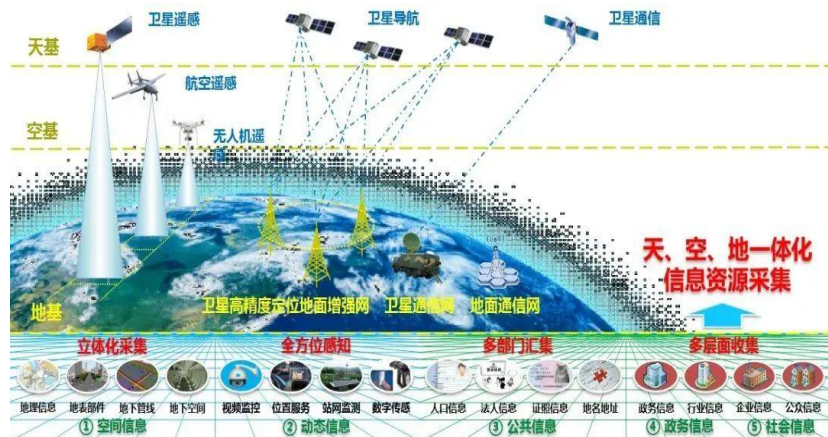
科技赋能水文精准监测预报

我国水文未来发展展望

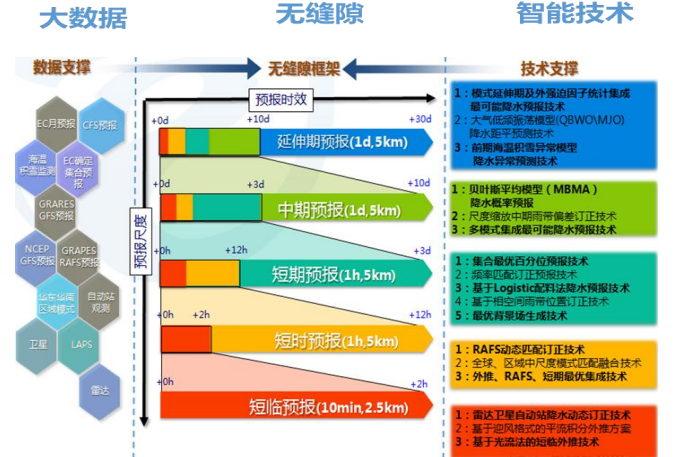
■ 以高质量发展推动**水文现代化建设**，为推动水利高质量发展、保障国家水安全提供坚实的水文支撑



现代化国家水文站网体系



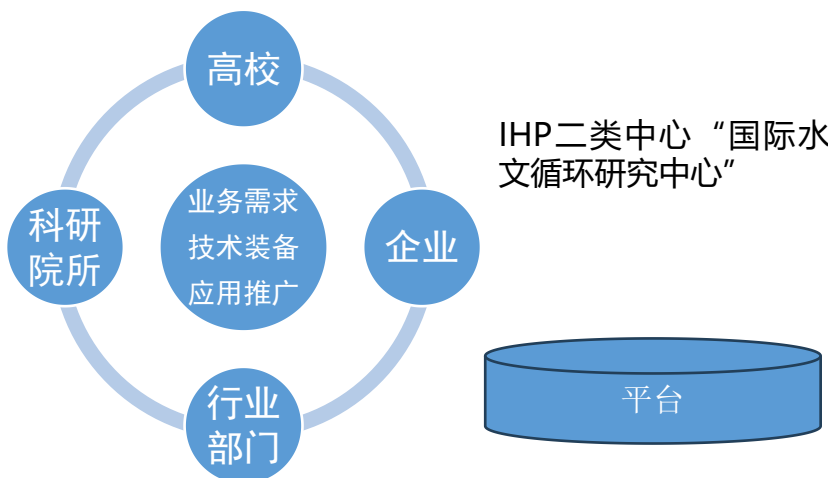
“天空地水工”一体化水文精准测报体系



短中长期无缝衔接的水文科学预报体系



支撑水利和经济社会高质量发展的水文精细服务体系



高水平自立自强的水文科技创新体系



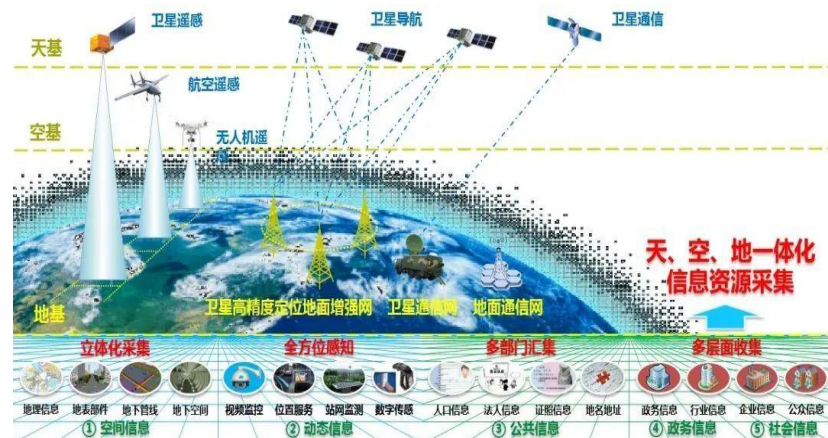
科学高效和规范有序的水文行业管理体系

科技赋能水文精准监测预报

■ 体系化推进、系统性提升水文科技创新能力，全面**赋能水文精准监测预报体系和能力现代化建设**，为推动水利高质量发展、保障国家水安全提供坚实的水文支撑

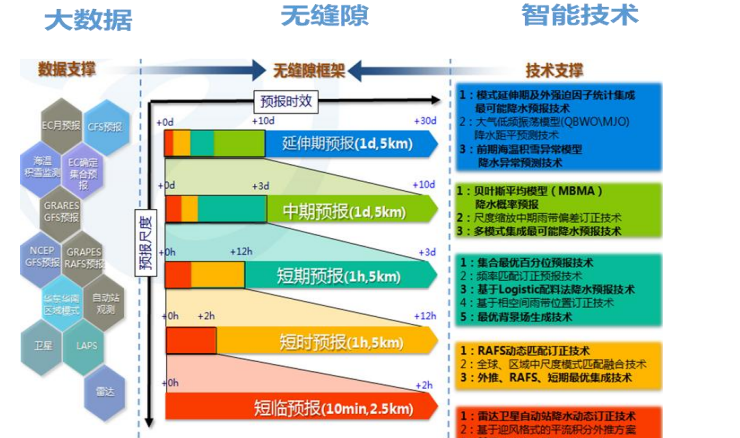


现代化国家水文站网体系



“天空地水工”一体化水文精准测报体系

赋能



短中长期无缝衔接的水文科学预报体系

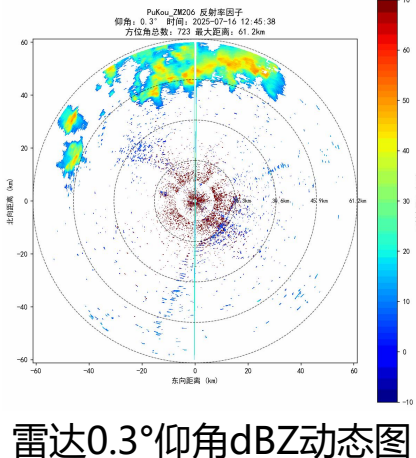
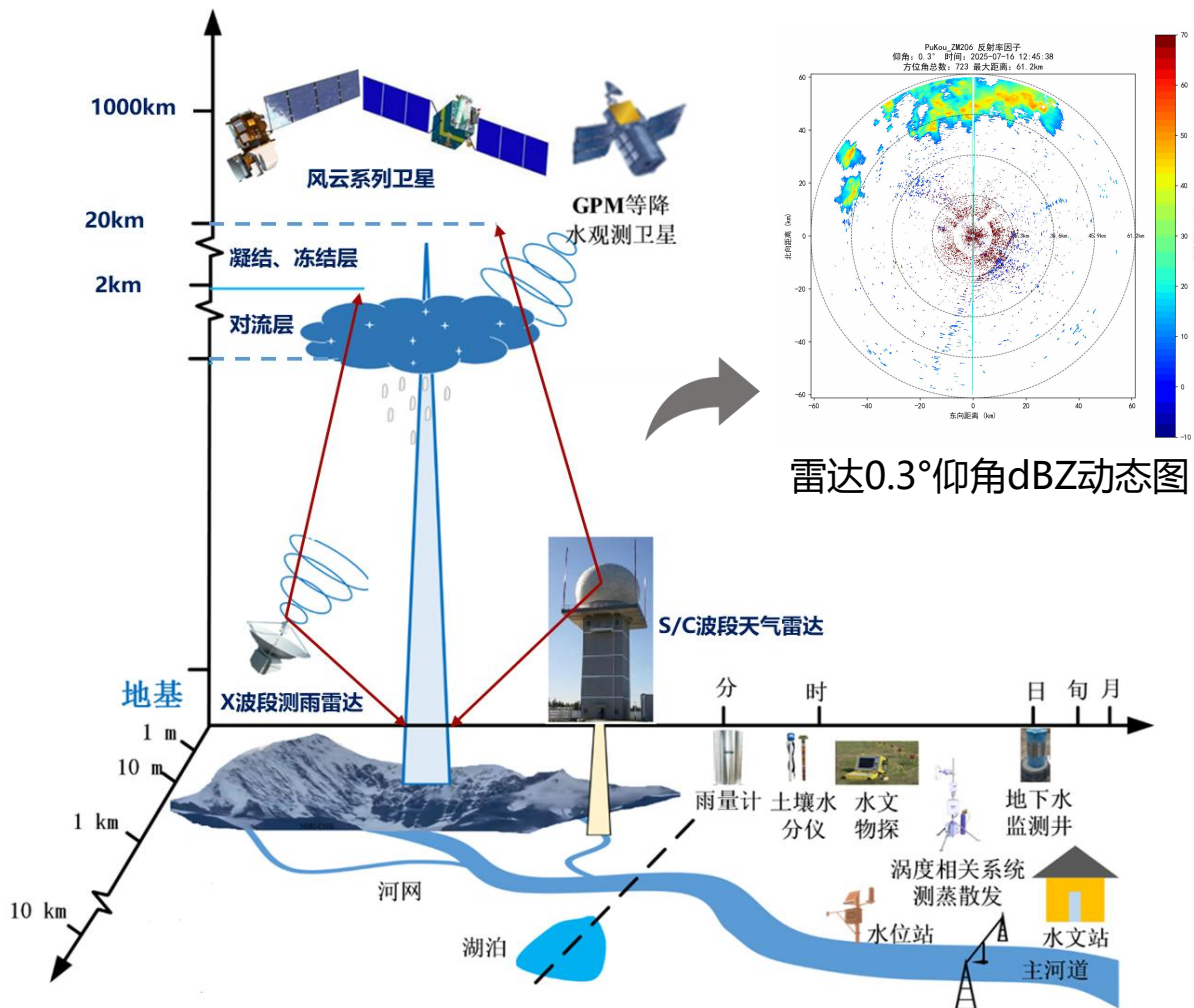
深化监测预报基础理论

发展专业模型

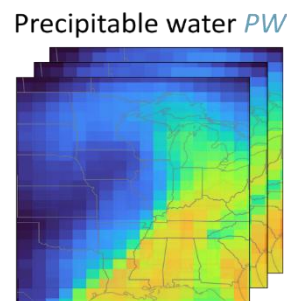
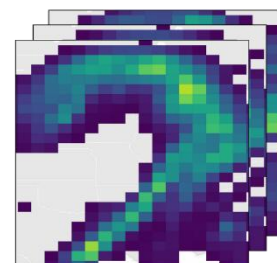
研制新型监测装备

(一) 深化监测预报基础理论：站网布局

■ 研究多源卫星、多体制测雨雷达、地面雨量站与水文站协同的雨水情监测预报“三道防线”感知设施协同优化布局理论

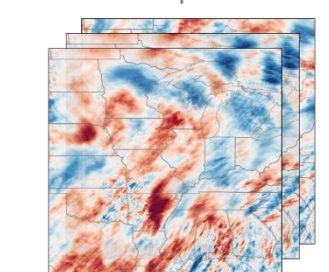
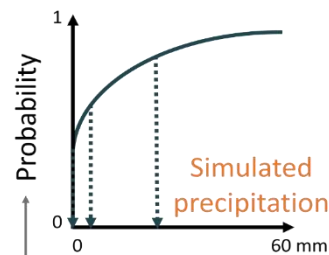


大尺度气候模式
模型变量：降雨

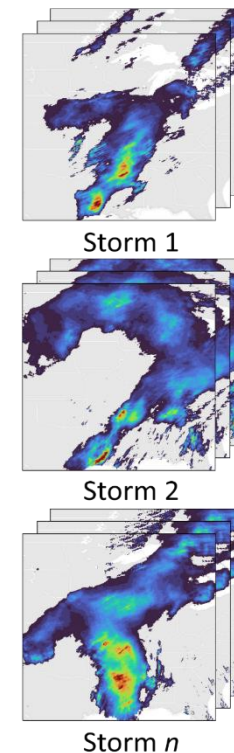


条件累积分布函数

$$P_{\text{rain}}(t) \sim f_1(\alpha_0 + \alpha_1 P + \alpha_2 PW)$$
$$\text{Mean } \mu(t) \sim f_2(\beta_0 + \beta_1 P + \beta_2 PW)$$



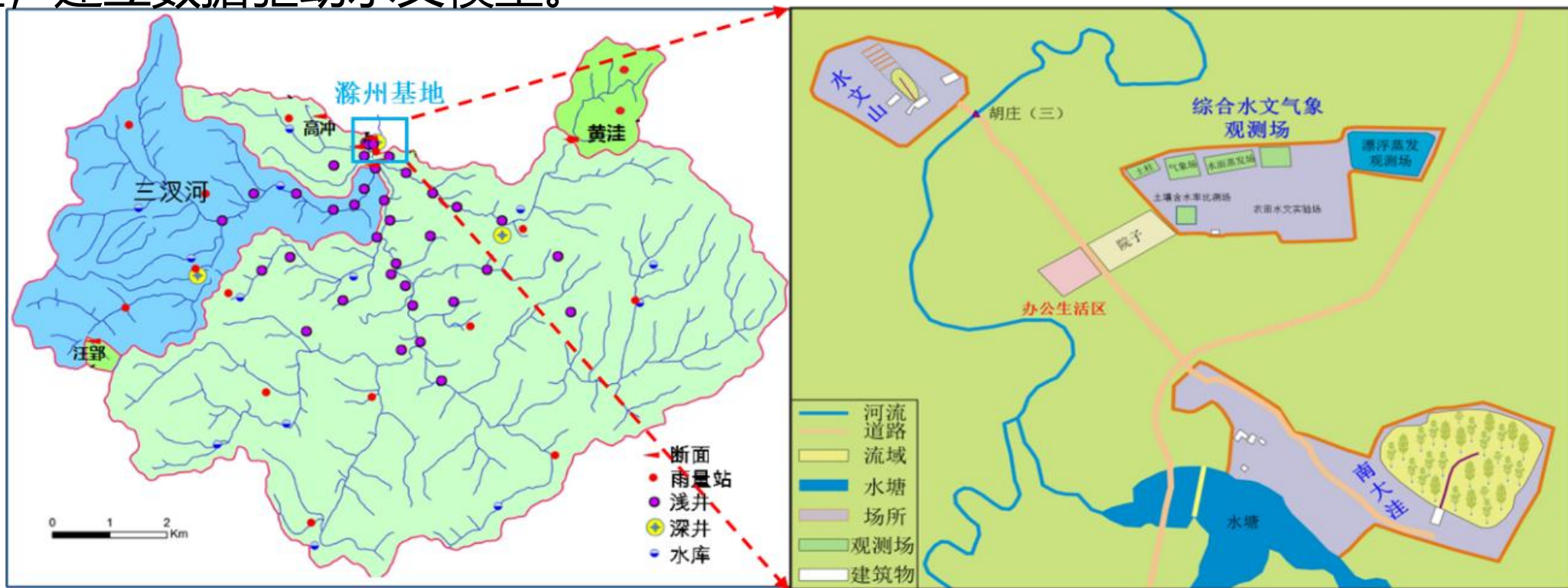
高分辨率降雨模拟



降雨场随机模拟工具 (以StormLab为例)

(一) 深化监测预报基础理论：产汇流

- 挖掘利用“水文实验站”作用，加强水文实验研究。滁州水文实验基地(1981年)、五道沟水文实验基地（1953年）等全国65个水文实验站的作用，揭示流域产汇流演变机理，建立数据驱动水文模型。



花山流域监测站网

三个核心实验场的分布

(一) 深化监测预报基础理论：耦合贯通

■ 论证“三道防线”实现目标的理论依据与基本要求，构建“三道防线”耦合贯通理论与技术框架

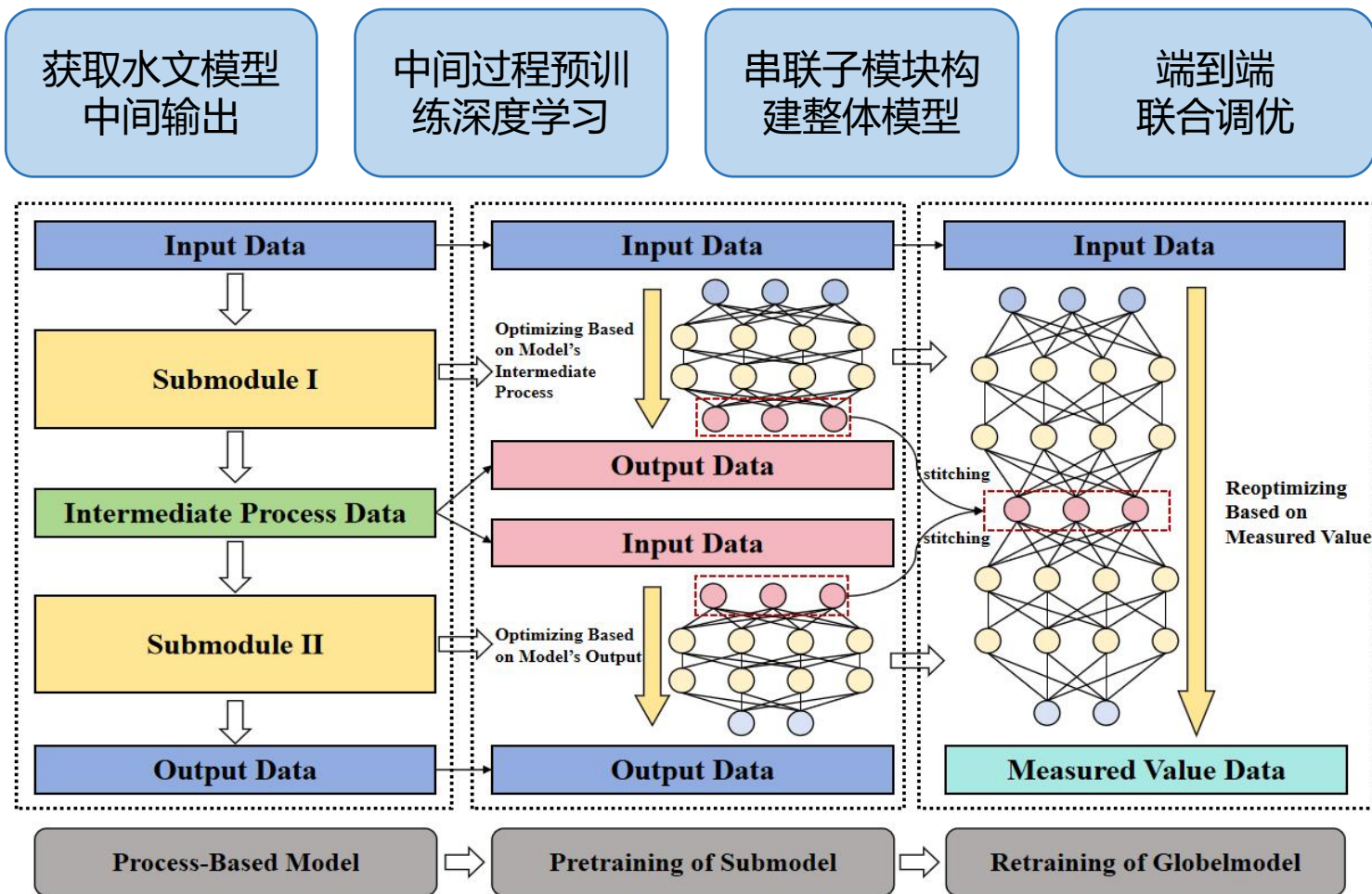
- 锚定“一个目标”
- 抓住“二个重点”
- 建设“三道防线”
- 支撑“四预”功能



*李国英部长在现代化雨水情监测预报体系建设现场推进会上的讲话（北京市门头沟，2024年6月3日）

(二) 发展专业模型：水文模型

■ 提出物理机制**水文模型与AI算法融合**的建模新策略，构建可解释性强、预报性能优越的物理-AI融合流域洪水预报模型



A Modeling Strategy Based on Module-Wise Pretraining of Process-Based Models

Input: Input data of Model X , Training target Y_{true} .

Output: Final integrated model Model_{final} , and its predicted output \hat{Y} .

//Step1: Construct the Process-Based hydrological model and obtain module outputs

1: Do construct

$$\text{Model}_{PB}(X, \Theta_{PB}) = \text{Model}_{PB}^1 \circ \text{Model}_{PB}^2 \circ \dots \circ \text{Model}_{PB}^n = f_{PB}^n(f_{PB}^{n-1}(\dots f_{PB}^1(X)))_{\Theta_{PB}}$$

$$2: \Theta_{PB}^* = \text{argmin}_{\Theta_{PB}} \mathcal{L}_{PB}(\text{Model}_{PB}(X, \Theta_{PB}), Y_{true}).$$

$$3: \text{Let } \hat{Y}_{PB} = \text{Model}_{PB}(X, \Theta_{PB}^*); Z_{PB}^i = f_{PB}^i(f_{PB}^{i-1}(\dots f_{PB}^1(X))), i < n.$$

//Step2: Construct and pre-train the deep learning sub-models

4: Do construct

$$\text{Model}_{DL}^1(X, \theta_1) = f_{DL}^1(X)\theta_1.$$

$$5: \theta_1^* = \text{argmin}_{\theta_1} (\mathcal{L}_{DL}^1(\text{Model}_{DL}^1(X, \theta_1), Z_{PB}^1) + \mathcal{L}_{Phy}^1(X, Z_{PB}^1)),$$

$$\text{in particular, } \mathcal{L}_{Phy}^1(X, Z_{PB}^1) = 0$$

6: for i from 2 to $n-1$ do

$$7: \text{construct } \text{Model}_{DL}^i(Z_{PB}^{i-1}, \theta_i) = f_{DL}^i(Z_{PB}^{i-1})\theta_i.$$

$$8: \theta_i^* = \text{argmin}_{\theta_i} (\mathcal{L}_{DL}^i(\text{Model}_{DL}^i(Z_{PB}^{i-1}, \theta_i), Z_{PB}^i) + \mathcal{L}_{Phy}^i(X, Z_{PB}^1, \dots, Z_{PB}^i)),$$

$$\text{in particular, } \mathcal{L}_{Phy}^i(Z_{PB}^1, Z_{PB}^2, \dots, Z_{PB}^i) = 0.$$

9: end for

10: Do construct

$$\text{Model}_{DL}^n(Z_{PB}^{n-1}, \theta_n) = f_{DL}^n(Z_{PB}^{n-1})\theta_n.$$

$$11: \theta_n^* = \text{argmin}_{\theta_n} (\mathcal{L}_{DL}^n(\text{Model}_{DL}^n(Z_{PB}^{n-1}, \theta_n), Z_{PB}^n) + \mathcal{L}_{Phy}^n(X, \dots, Z_{PB}^{n-1}, \hat{Y}_{PB})),$$

$$\text{in particular, } \mathcal{L}_{Phy}^n(X, \dots, Z_{PB}^{n-1}, \hat{Y}_{PB}) = 0.$$

//Step3: Assemble sub-modules to form the integrated model

12: Do construct

$$\text{Model}_{DL}(X, \Theta_{DL}) = \text{Model}_{DL}^1 \circ \dots \circ \text{Model}_{DL}^n = f_{DL}^n(g^{n-1}(f_{DL}^{n-1}(\dots g^1(f_{DL}^1(X))))_{\Theta_{DL}}.$$

Where g^i is a differentiable function, in particular, $g(X) = X$, then $\text{Model}_{DL}^i = \text{Model}_{DL}^i$.

$$13: \text{Let } \hat{Y} = \text{Model}_{DL}(X, \Theta_{DL}), \Theta_{DL}^{(0)} = \{\theta_1^*, \theta_2^*, \dots, \theta_n^*\}$$

//Step 4: End-to-end retraining of the integrated model.

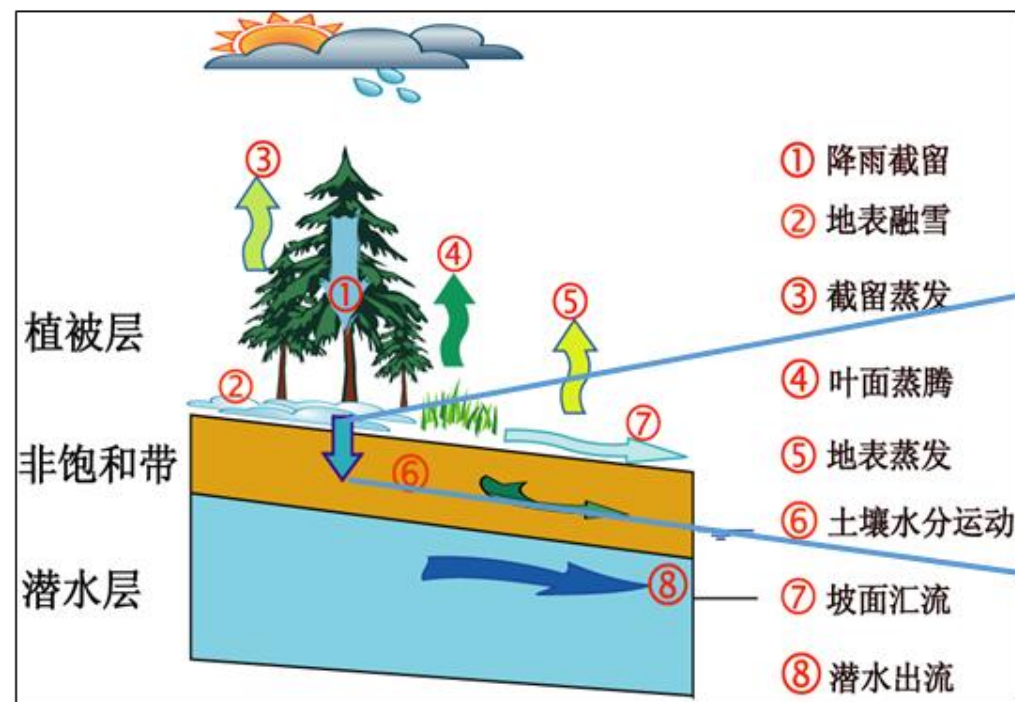
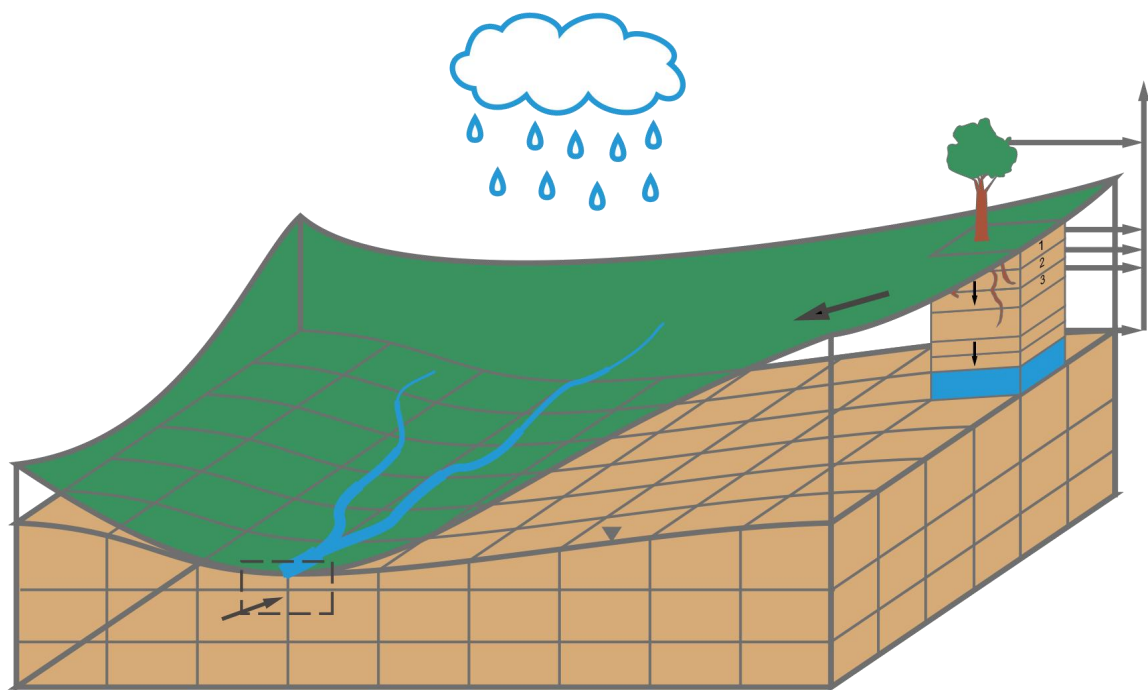
$$14: \Theta_{DL}^* = \text{argmin}_{\Theta_{DL}} (\mathcal{L}_{DL}(\text{Model}_{DL}(X, \Theta_{DL}), Y_{true}) + \sum_n^i \mathcal{L}_{Phy}^i).$$

$$15: \text{return } \text{Model}_{final} = \text{Model}_{DL}(X, \Theta_{DL}^*), \hat{Y} = \text{Model}_{final}(X).$$

明确了该建模策略下算法的数学形式表达

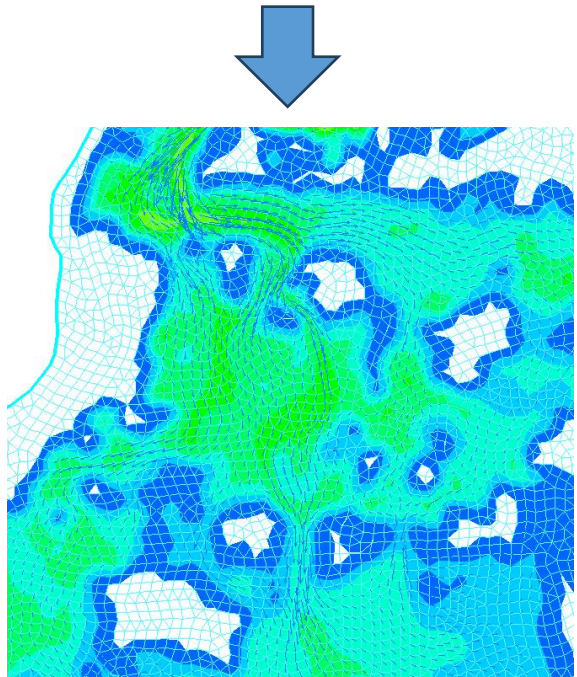
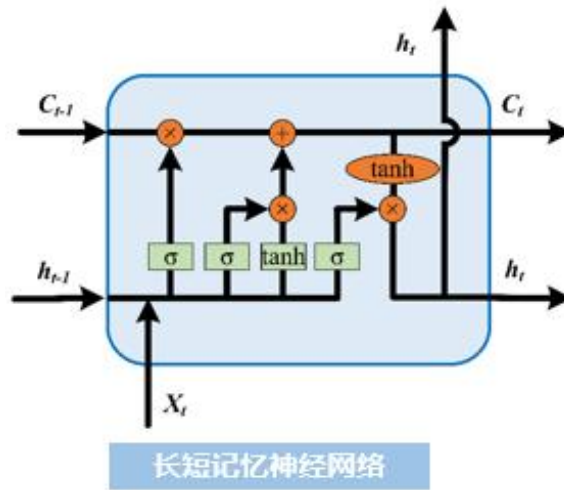
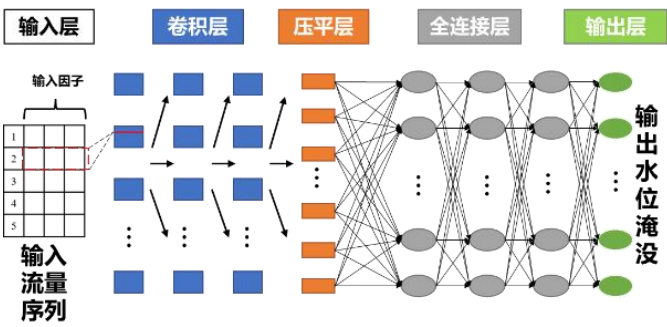
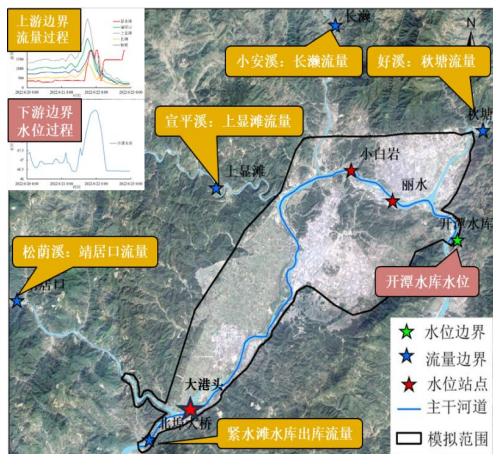
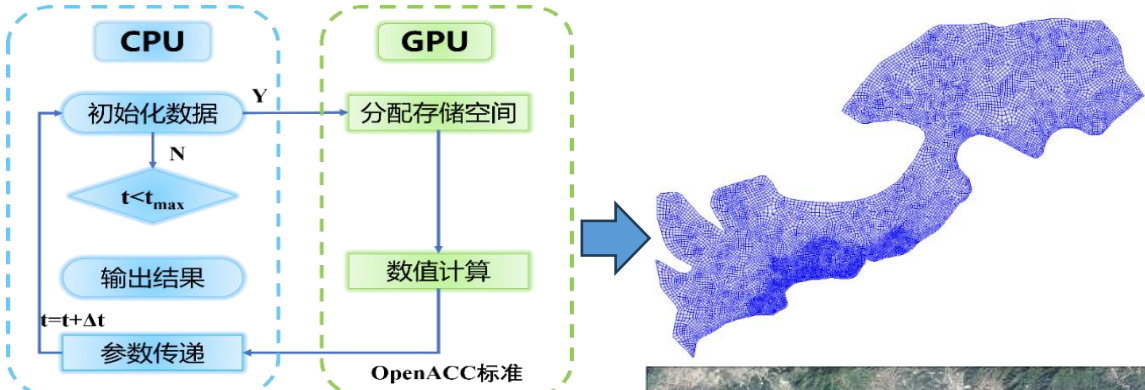
(二) 发展专业模型：水文模型

- 依托现代化雨水情监测预报体系建设，发展**适配高空间分辨率降雨信息的分布式水文模型**



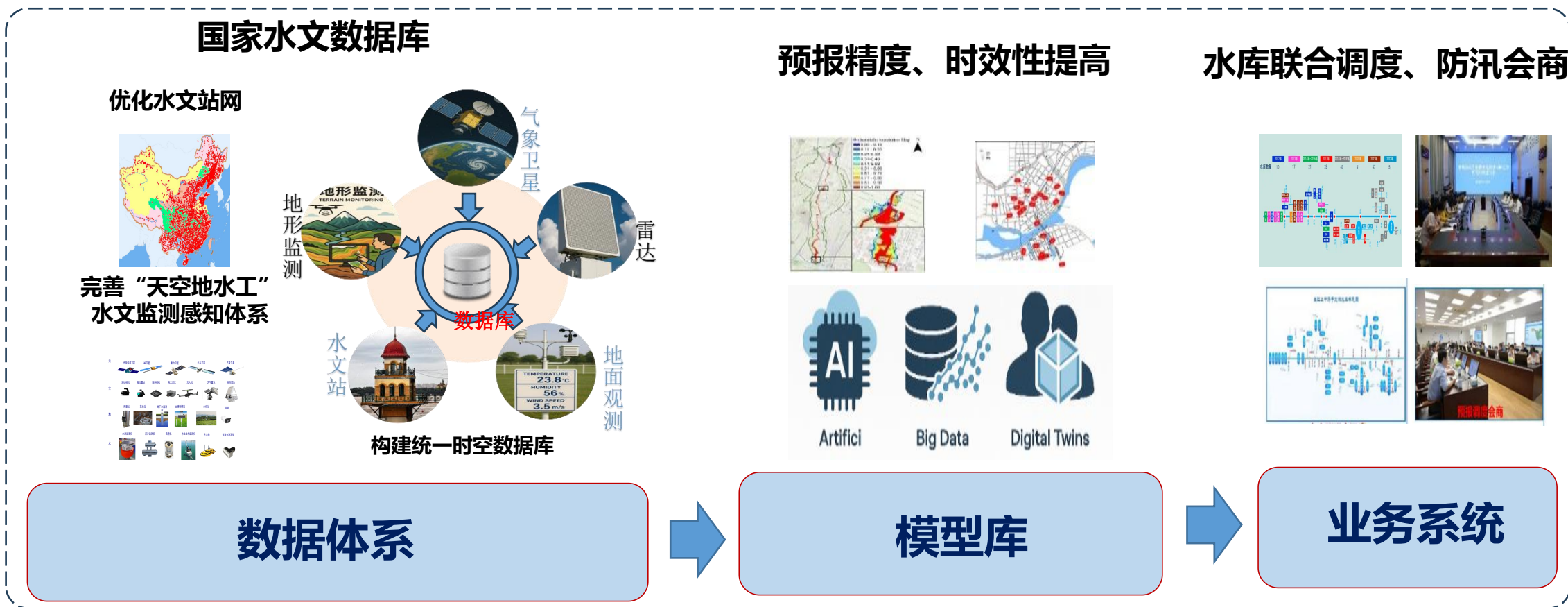
(二) 发展专业模型：水动力模型

- 基于CPU和GPU耦合并行加速技术，提升水动力学模型计算效率，解决洪水模拟计算时效性的问题。
- 发展基于物理机理的深度学习智能洪水演进模型，提升模型对复杂比边界适应能力和计算速度



(二) 发展专业模型：中国水模型

- **加快构建国家水模型。** 大力发展基于人工智能和大数据技术的智能预报模型，通过模块化组合，反映变化条件下产汇流机理，构建“变结构、动参数”自适应的“智慧化”**分布式水文模型**，构建**国家水文模型库**，推动建设国家水文数据库，不断提升预报精度与延长有效预见期。



(三) 研制新型监测装备：面雨量

- 引入全固态高功率雷达波发射技术，提高雷达基数据质量，研制具有**精度高、成本低、重量轻、免征地**等特点的国产测雨雷达装备

小型国产测雨雷达

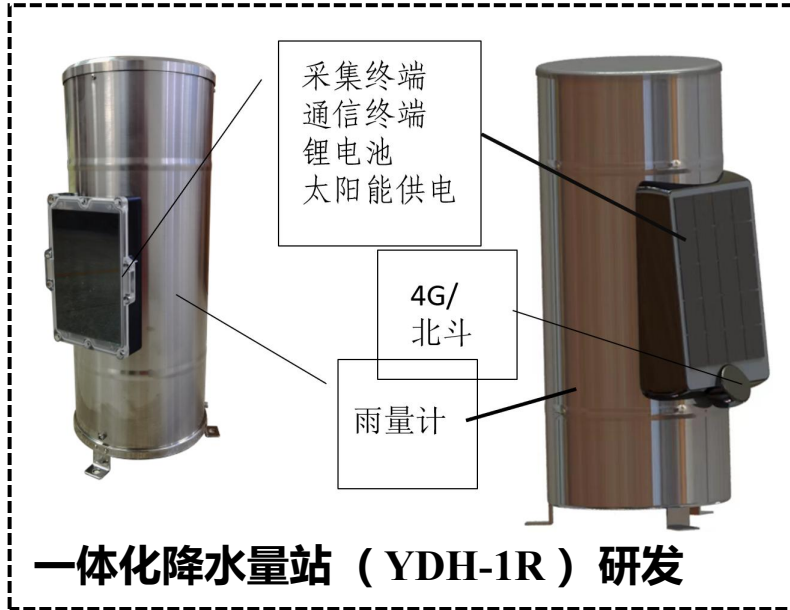
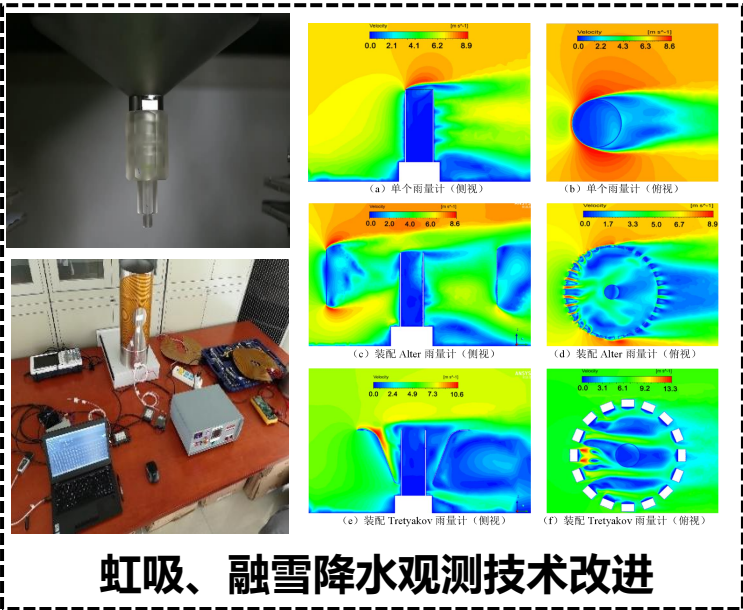


参数指标

功能	小型雷达
雷达体制	双偏振
探测距离	35km
近距离盲区	-
天线口径	0.8m
方位扫描角	360°
成本	100万
距离分辨率	30 m
发射机形式	窄脉冲 高功率
发射功率	20,000W
重量	<100kg

(三) 研制新型监测装备：降水

■ 改进虹吸式翻斗式雨量测量装置、融雪供电加热方式，解决固液态交替、强度多变、运维困难等难题，实现恶劣环境中稳定自动监测回传



(三) 研制新型监测装备：流量

- 研制流量连续监测侧扫雷达，适用于不同河流河流全天候、全量程流速流量连续监测分析，**推动流量向全自动化，无人值守发展**



Q Ridar-X (数字型)



Q Ridar-Y (分布式)



Q Ridar-Z (相控阵)

(三) 研制新型监测装备：其他要素

■ 系统攻克水深、土壤含水量、泥沙、冰情、水质等要素自动监测“卡脖子”难题，**拓宽监测量程、提升监测精度**

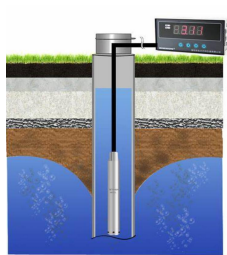
雨量站



蒸发站



地下水监测站



土壤墒情站



水保站



视频



水质监测仪



泥沙监测仪



流速仪



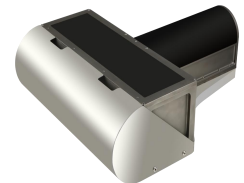
水生生物监测仪



无人船



多波束测深仪



(三) 研制新型监测装备：应急

- 研发无人机水深-水位-流速集成监测设备，适用于应急、机动观测，提升机动、应急监测能力、保障人员安全



无人机水深-水位-流速集成化监测设备



奴下水文站



古觉村河段

**全面推进江河保护治理，需要水文高质量发展支撑；
推动水文高质量发展，更需要科技创新驱动！**

水文事业大有可为、未来可期！

谢谢!

刘志雨

水利部水文司司长

