

浦东新区水文预报系统研究与应用

钟敏, 周全, 黄琳煜, 李迷

上海市浦东新区水文水资源管理事务中心, 上海

收稿日期: 2023年11月2日; 录用日期: 2023年11月27日; 发布日期: 2023年12月22日

摘要

依托水文、闸泵调度、河道工情等实时信息以及气象、潮位等相关预报信息, 实现快速水情形势分析和风险评估, 是区域防汛防台应急指挥工作亟待解决的问题。系统以浦东新区为研究区域, 引入先进、成熟的水文时序数据服务和数学模型实时模拟技术, 构建水文预报模型系统平台, 实现了内河水位的实时预报, 在作业预报及其预报精度上均取得了理想的成果, 为浦东防汛应急指挥工作提供了科学有效的辅助决策信息。

关键词

水文预报, 模型模拟, 防汛应急, 闸泵调度

Research and Application of Hydrological Forecasting System in Pudong New Area

Min Zhong, Quan Zhou, Linyu Huang, Mi Li

Hydrologic Survey and Resources Administration of Pudong New Area, Shanghai

Received: Nov. 2nd, 2023; accepted: Nov. 27th, 2023; published: Dec. 22nd, 2023

Abstract

Relying on hydrology, sluice and pump scheduling, river conditions, as well as weather and tidal levels real-time forecasting information, to achieve rapid analysis of water conditions and risk assessment is an urgent issue in regional flood control and emergency command work. The hydrological forecast system in the Pudong New Area introduces advanced and mature hydrological time series data services and real-time simulation techniques of mathematical models. The constructed hydrological forecasting model system platform is serving real-time forecasting of inland river water levels, which has achieved ideal results in operational forecasting and accuracy, providing scientifically effective auxiliary decision-making information for flood control and emergency command work.

作者简介: 钟敏(1979.5-), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 从事水文学水动力学模型, 水文分析计算研究, Email: 31879615@qq.com

文章引用: 钟敏, 周全, 黄琳煜, 李迷. 浦东新区水文预报系统研究与应用[J]. 水资源研究, 2023, 12(6): 595-604.

DOI: 10.12677/jwrr.2023.126065

Keywords

Hydrological Forecasting, Model Simulation, Flood Control Emergency, Sluice and Pump Scheduling

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

浦东新区属于平原感潮河网区，河网纵横密布，内河水位受人工闸门调控影响大，外围由长江口和黄浦江水域环抱，水位受沿海潮汐影响大，防汛排涝任务十分艰巨[1]。为了打造覆盖日常管理和应急处置的数字化应用场景，持续完善智能化应用支撑体系，提升全过程智能管理水平[2]，应当统筹推进水情服务能力建设，全面提高预测预报水平。本研究以浦东新区为研究区域，利用水文时序数据服务和数学模型实时模拟技术，构建水文预报系统平台，实现全自动实时内河水位模拟预报，为构建具有“四预”（预报、预警、预演、预案）功能的智慧水利体系提供智能化应用支撑。

2. 水文预报系统总体架构

以信息集成为基础，实时模拟为核心手段[3]，构建内河水位预报平台。平台根据气象或防汛预警信息进行

系统架构图

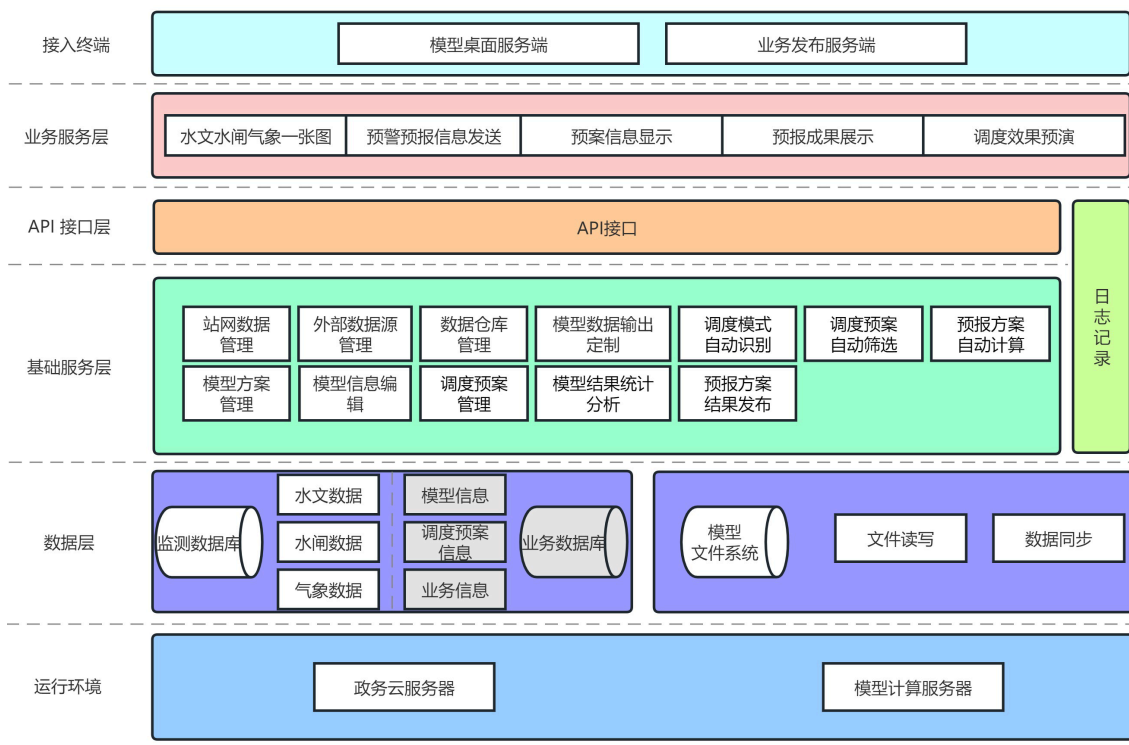


Figure 1. System architecture diagram

图 1. 系统架构图

预警模式判断，针对不同的预警模式调用相应的调度模式，在活水畅流模式、台风暴雨防汛模式下进行全自动实时内河水位模拟预报。

2.1. 总体框架设计

根据物理架构、使用对象和业务功能的不同，系统分为数据层、基础服务层、API 接口层和业务服务层，在不同层面上完成不同的功能，形成模型桌面服务端和业务发布服务端，系统架构图见图 1。

数据层包含两大核心：水水文时序数据服务中心和水文水动力数值模型；基础服务层用于后台服务，主要面向预报员，功能设计要求模块设置标准化，数据结构标准化，操作简便，配置灵活；API 接口层是后台服务层和前端展示层的中间件，完成前后台数据信息交互；业务服务层用于预报成果展示，调度效果预演。

2.2. 功能模块设计

系统采用模块化集成技术，核心是数据服务模块开发和模型模块集成开发应用。包含 1) 模型数据服务模块；2) 调度预案库管理模块；3) 调度模式识别监听程序；4) 预案模型自动预报服务模块；5) 水文水闸气象综合信息展示；6) 预案模型预报效果展示模块。系统功能图详见图 2。

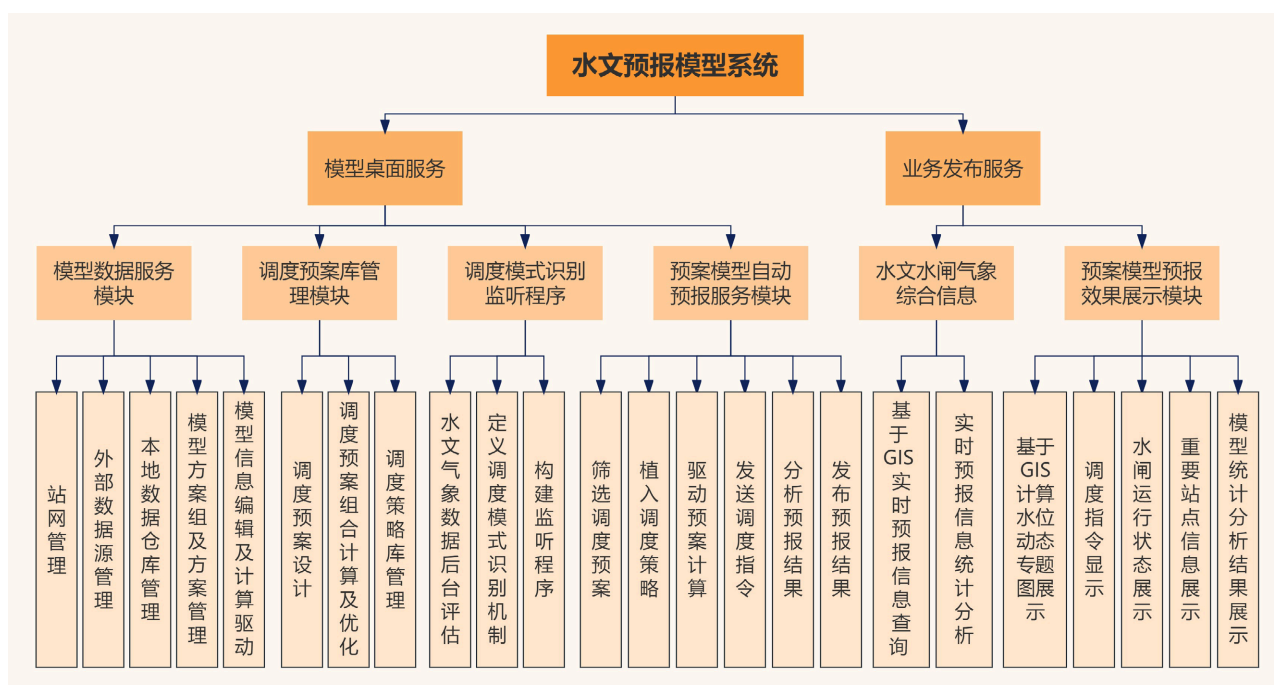


Figure 2. System function diagram

图 2. 系统功能图

3. 水文水动力数学模型构建与应用

本次研究采用的 MIKE11 软件是丹麦水环境研究所开发的商业模型软件，涉及的计算功能模块包括降雨径流模块和一维河网水动力模块。其中，降雨径流模块是一个集总式的确定性概念模型，用于模拟流域内的降雨产汇流过程。一维河网水动力模块是动态模拟河道水流运动的水动力学模型，能方便灵活地模拟水闸、水泵等各类水工建筑物，尤其适合应用于水工建筑物众多、控制调度复杂的情况[4]。

浦东水利片水文水动力数值模型概化后共包含河道 705 条段，计算点 4875 个，水闸 42 个，雨水泵站 77 个；共划分了 115 个水文模型计算分区，其中雨水排水系统 84 个，水文分区及河网断面概化见图 3。



Figure 3. Hydrological and hydrodynamic model hydrological zoning and river network overview map of Pudong water conservancy area

图 3. 浦东水利片水文水动力学模型水文分区和河网概化图

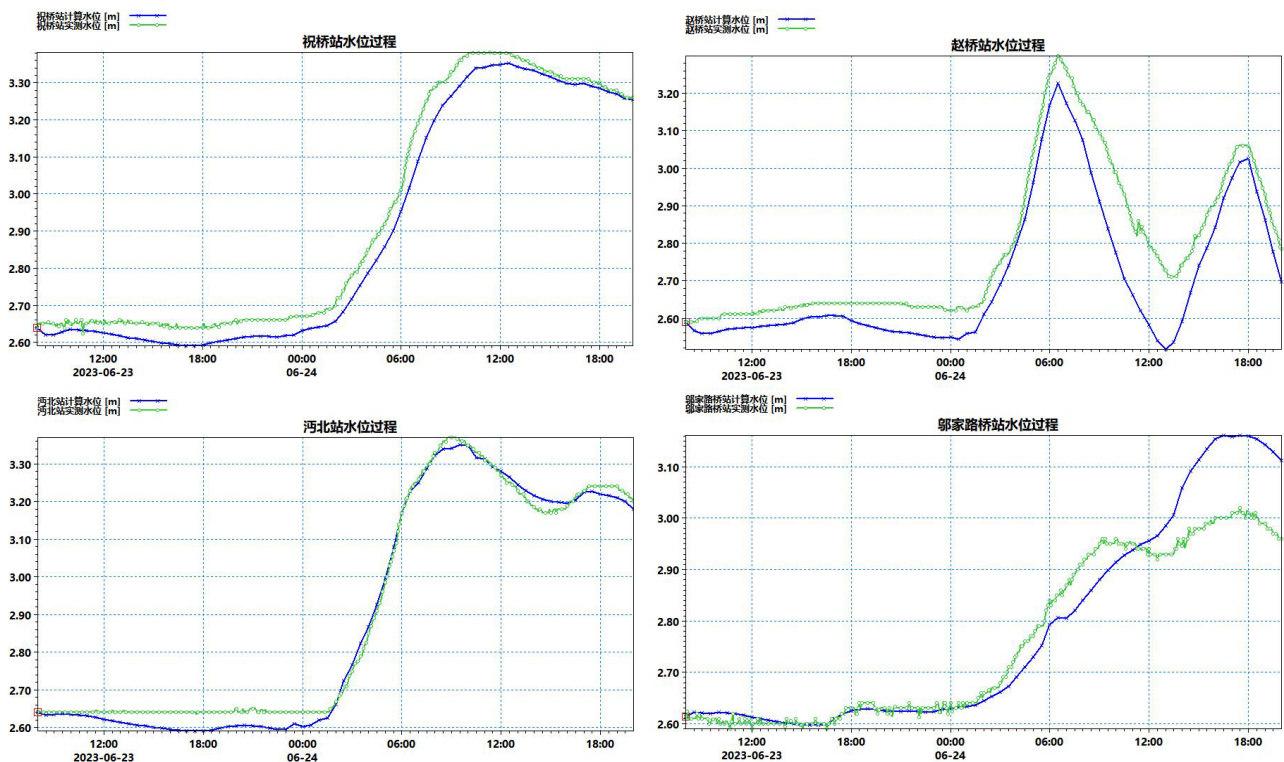


Figure 4. Model calculation and measured water level hydrograph of four representative stations during “6.24” rainstorm (blue is calculated value, green is measured value)

图 4. “6.24”暴雨期间四个代表站模型计算与实测水位过程线(蓝色为计算值，绿色为实测值)

系统在 2017 年~2023 年的汛期持续发挥作用,在台风、暴雨等特殊汛情出现时,多次预报,提前预警,为新区防汛提供数据参考,服务防汛。2017 年平台针对较长历时的普降暴雨发布 3 次预报;2018 年发布 7 次预报结果;2019 年发布 10 次预报成果;2020 年发布 3 次;2021 年发布 10 次;2022 年发布 8 次预报成果。2023 年汛期,针对 6.18、6.24、7.07、7.21 四场暴雨,以及“杜苏芮”台风,应用本系统开展内河水位预报工作,并将预报结果发布至业务端,服务区防汛应急部门,预报精度较高,起到了较好的防灾减灾效果。

本研究以 2021 年“烟花”、2022 年“梅花”台风和 2023 年“6.24”暴雨为例,分析典型台风暴雨期间浦东新区 40 多个水(潮)位点预报水位的模拟性能。“6.24”暴雨期间,最高水位预报误差代表站祝桥站为-3 cm、赵桥站为-10 cm、沔北站为-2 cm、邬家路桥站为 13 cm(见图 4)。代表水位点水位计算精度分析中,确定性系数最大可达 0.99,整体模拟精度较好,可满足作业预报应用的需求(详见表 1)。

Table 1. Accuracy analysis of water level calculation at representative stations of three typical rainstorm

表 1. 三场典型暴雨各代表站点水位计算精度分析

站点 确定性系数	2021 年“烟花”台风	2022 年“梅花”台风	2023 年“6.24”暴雨
祝桥站	0.91	0.98	0.98
赵桥站	0.71	0.96	0.76
沔北站	0.87	0.98	0.99
邬家路桥站	0.98	0.92	0.82

4. 水文预报系统模块构成

4.1. 模型桌面服务端

模型桌面服务端实现了模型输入数据从水文数据管理平台引入,模型方案组管理,模型输入数据检查和文件格式转换,能够更新内嵌模型边界,驱动内嵌模型模拟预报并进行计算结果的分析、入库和发布(界面见图 5)。

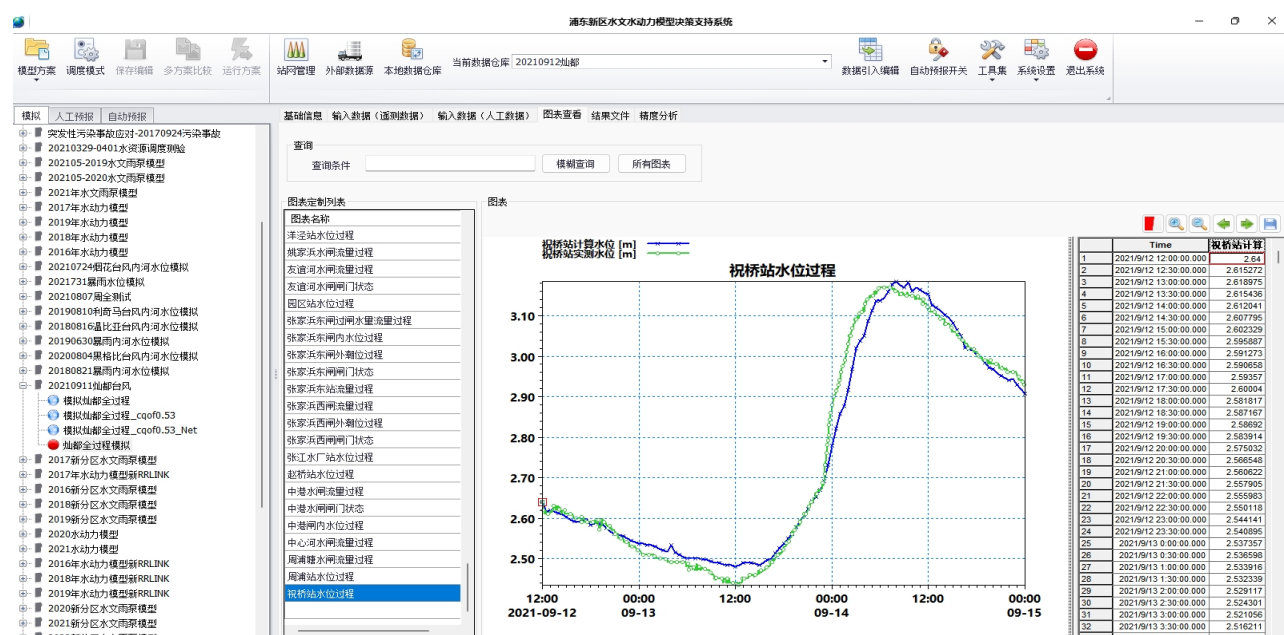


Figure 5. Desktop services

图 5. 桌面服务端

4.1.1. 水文数据服务模块

高质量的实时数据是预报系统的生命线。能自动获取实时、连续、高质量的水雨情数据是水文预报系统能自动预报、可持续发展的基础[5]。目前，浦东新区的水文时序数据服务管理的水文站点监测参数有：流量站 9 个，水位站 56 个，雨量站 71 个，潮位站 9 个。水情自动测报站监测频率为 5 min，每天大约有 5.4 万组数据，每月约有 165 万组数据，每年约有 1970 万组数据进入水文时序数据服务系统。同时，以流域概念跨部门跨区县接入涉水数据，范围覆盖浦东水利片(闵行区黄浦江以东区域、奉贤区)，主要包括：预报降雨、闸门调度、雨泵运行等数据。系统通过水文数据服务模块将外部数据、模型数据连通，形成完整数据链，实现数据的灵活配置、自动获取和自动拼接，完成自动预报的模型数据准备工作。

- 外部数据源管理：外部数据源管理实现系统内部水文站网与外部站网的匹配功能，通过水务水文数据服务接口访问完成现有各类遥测站属性信息的自动获取(见图 6)。其中设置了匹配方案，实现在不同的匹配方案中系统内部水文站点能匹配不同源的数据，如潮位站的预报数据，在常规匹配方案中匹配数据指向该站点的天文潮时间序列，在台风匹配方案中则指向风暴潮时间序列，供不同模式灵活调度使用。



Figure 6. External data source management

图 6. 外部数据源管理

- 本地数据仓库：本地数据仓库为模型计算提供输入数据存储服务，仓库可存储来自水文时序数据服务系统中的实测站点数据、预报站点数据，还可存储人工修改校核后的数据。按需为模型计算提供不同的计算场景服务(见图 7)。
- 模型方案编译：模型方案编译模块利用系统内置的数据拼接规则，将实测站点数据、预报站点数据按模拟模式和预报模式拼接组合，按数据补全规则弥补由于数据缺失导致的模型不可计算的问题。在方案编译中完成模型计算初始化条件和边界条件的自动化设置。

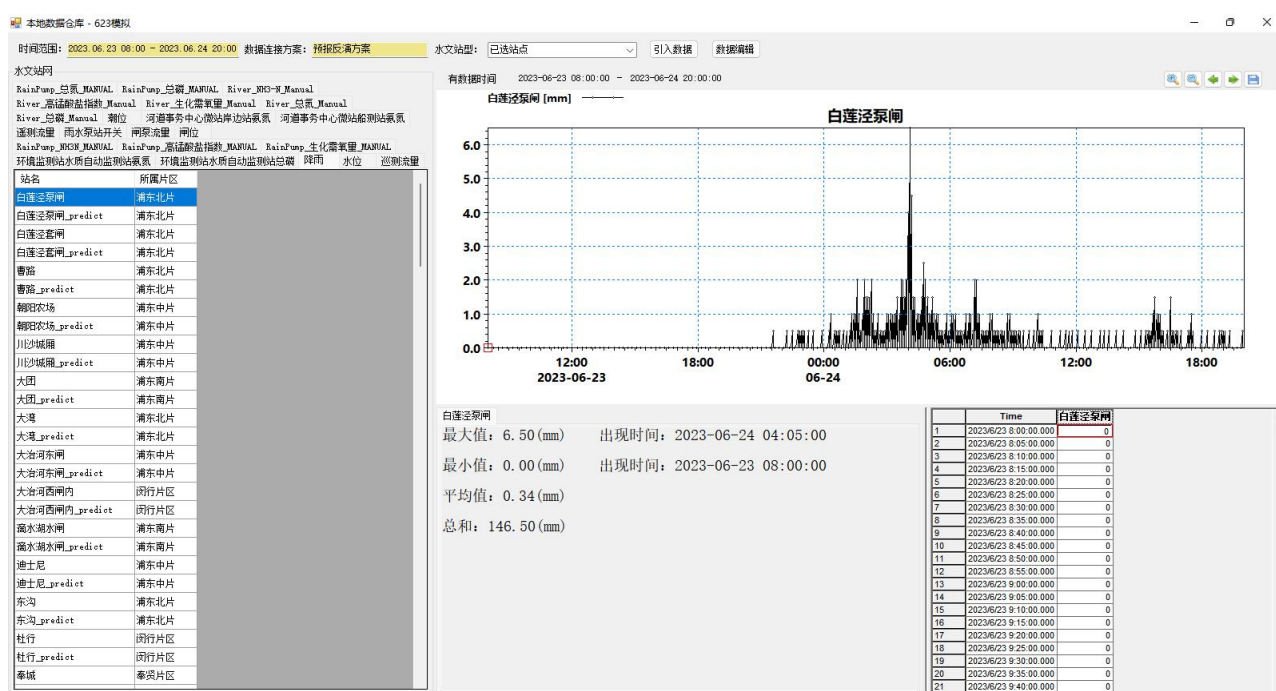


Figure 7. Local data warehouse management
图 7. 本地数据仓库管理

4.1.2. 调度预案库模块

调度预案库为系统在自动预报时提供了相应调度方式下可选择的最优调度规则。

调度预案库依据《上海市水利控制片水资源调度实施细则》制定。水闸控制运行分为防汛调度、活水畅流调度和专项调度[6]。浦东片活水畅流调度方式为：川杨河以北地区“东引西排”；川杨河以南、大治河以北地



Figure 8. Scheduling mode setting
图 8. 调度模式设置

区为“西引东排”；大治河以南地区为“北引南排、西引东排”。防汛调度方式下，根据各等级预警信息，预警不同等级水位，同时按相应要求预警执行水闸调度。图 8 为系统中进行调度模式设置的界面。

4.1.3. 调度模式识别监听模块

该模块是水文预报系统的“哨兵”，其根据抽象化读取到的气象预报降雨、预警等级、降雨时段等信息，设置数据报警规则，依据调度模式识别机制实时监听，并反馈给系统服务端进行相应调度预案的启动计算。监听流程见图 9。

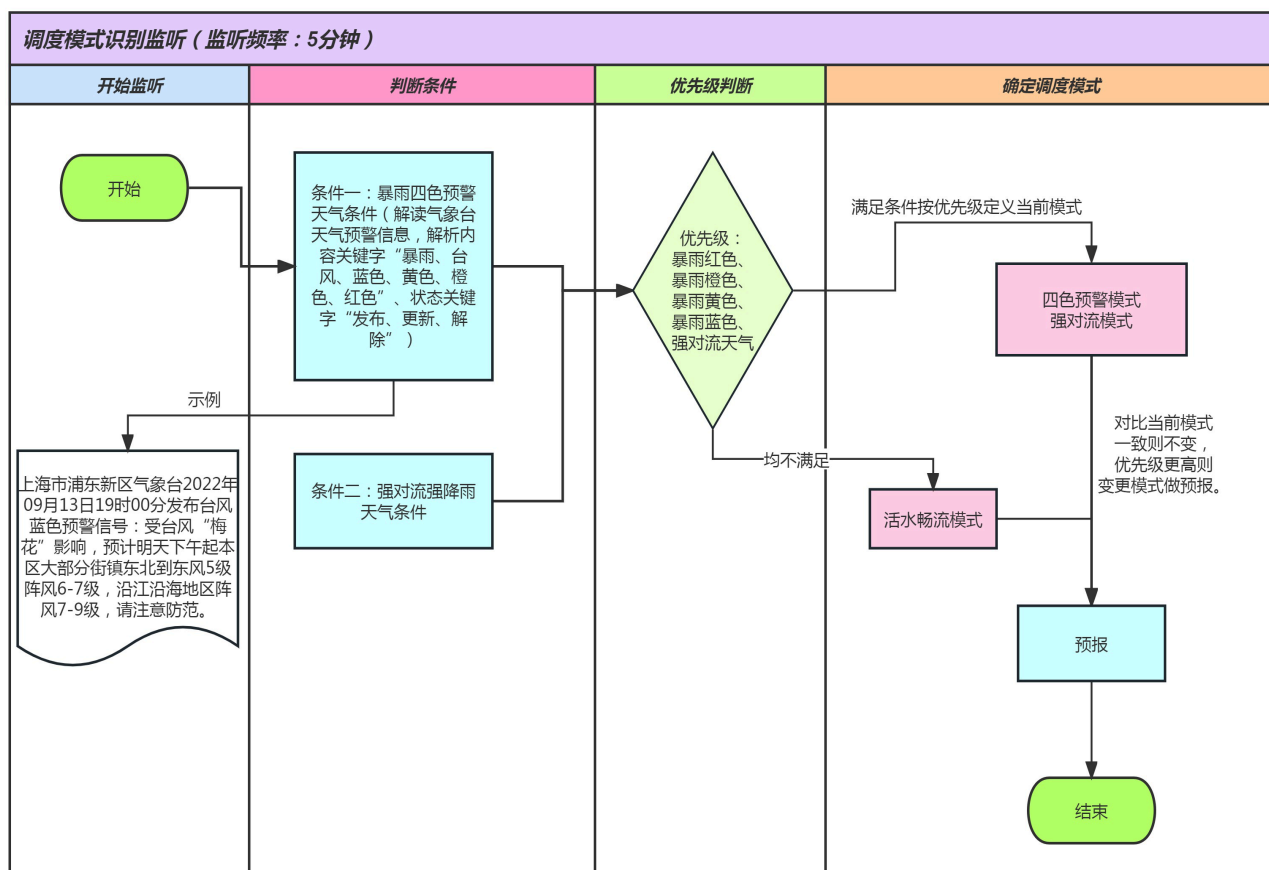


Figure 9. Scheduling pattern recognition monitoring module framework
图 9. 调度模式识别监听模块框架

4.1.4. 预案模型自动预报服务模块

模块功能包括接收调度模式，筛选调度预案、触发预案模型预报计算、发送调度指令、统计分析预报结果、发布调度方案相关结果信息。自动预报频率：活水畅流调度模式下，每日定时预报未来 12 h 调度结果；台风暴雨、强对流天气暴雨调度模式下，根据当时水雨情状态以及气象预报条件实时自动触发短历时预报。自动预报流程图见图 10。

4.2. 业务发布服务端

结合实时雨量、潮水位、闸门调度及预报降雨、潮位信息，业务发布服务端能实现快速水情形势查询、分析和调度预判，展示预案模型按调度指令进行调度后的未来数小时内的调度效果，动态显示预报水位和闸门开关等相关信息。界面见图 11。

自动预报流程

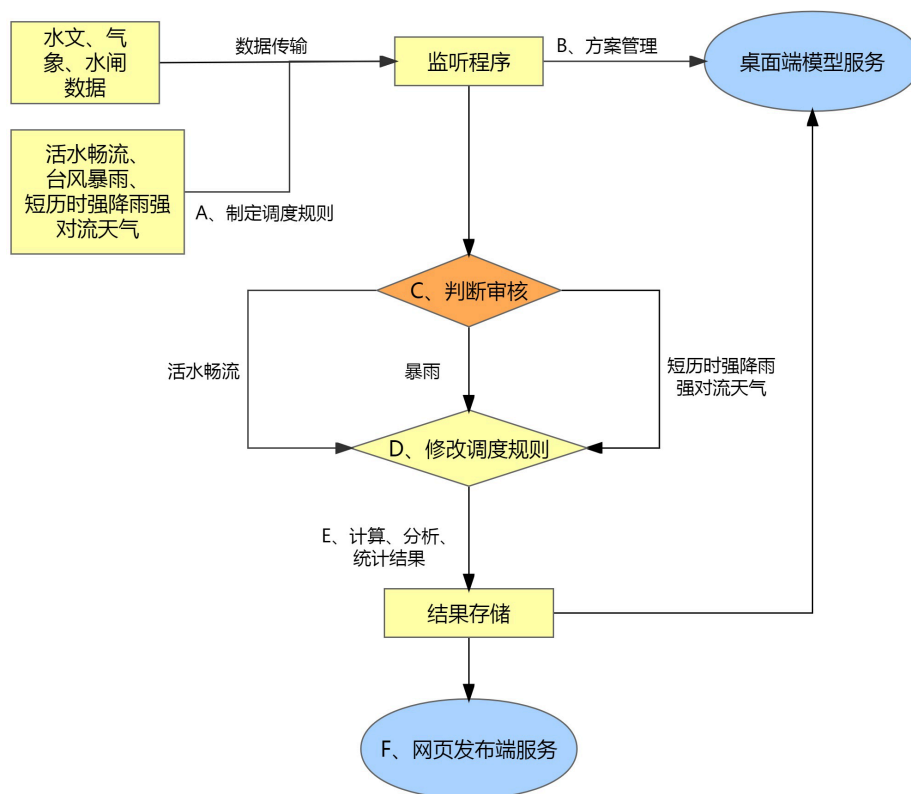


Figure 10. Automatic prediction module framework
图 10. 自动预报模块框架



Figure 11. Business publishing service
图 11. 业务发布服务端

- 基于 GIS 计算水位动态专题图展示：通过分级颜色动态渲染计算的河道水位信息。直观反映预报过程中河道水位的整体变化趋势。
- 调度要求以及指令显示：显示当前预警模式以及针对该预警模式的各个行政区的整体预案调度要求、具体每个闸门的调度指令。
- 水闸运行状态展示：根据预案模型预报结果，动态显示参与调度的水闸的运行状态，并展示预报时段内水闸开关闸的时间段。
- 重要站点信息展示：在地图中查询监测站点的实测数据、河道上任意点的计算水位、流量、统计分析类数据，通过图表曲线直观显示重要点位模型计算要素的计算数据。

5. 结语

系统通过模型技术预测未来河道水文现象，是从“测”到“预测”的高级提升，系统的建立将促进浦东现有水务信息系统的提升和完善，发挥水文在水务科技创新的引领作用。

水文预报系统的构建涉及学科范围广，包括水文学、计算水力学、GIS 技术、计算机软件系统开发技术、海量时序数据管理技术等。涉及的关键技术和难点包括：海量时序数据管理技术，基于模型软件的水文学水动力学模型建模技术以及针对模型软件组件的二次开发技术。

这是一个需要团队合作、长期维护的系统。预报团队中需要有稳定的时序数据质量掌控方，严格把控实时数据质量、实时监控数据管理系统，确保数据正常的上传下载路径；模型团队中需要有稳定的模型更新机制；根据实际河网状况定期调整模型拓扑、校核模型参数、训练模型精度；系统运维团队需要有力的技术支撑，能根据日益变化的业务需求适时地调整或新增系统功能，配合模型的更新及时修正可能由更新引发的程序缺陷，三者缺一不可。

参考文献

- [1] 上海市水务规划设计研究院. 浦东新区城镇雨水排水规划(2020-2035 年) [Z]. 2021. Shanghai Water Planning and Design Institute. Urban rainwater drainage planning for Pudong new area (2020-2035). 2021. (in Chinese)
- [2] 上海市水务局. 上海市水务海洋管理“十四五”规划(2019-2035) [Z]. 2021. Shanghai Water Affairs Bureau. The 14th five-year plan of Shanghai water marine management (2019-2035). 2021. (in Chinese)
- [3] 张恭肃, 曹韵霞, 朱星明, 等. 水情自动测报软件系统中的几个问题[J]. 水文, 1996(4): 40-43. ZHANG Gongsu, CAO Yunxia, ZHU Xingming, et al. Several issues in the software system for automatic hydrological monitoring and reporting. Hydrology, 1996(4): 40-43. (in Chinese)
- [4] 王领元. 丹麦 MIKE11 水动力模块在河网模拟计算中的应用研究[J]. 中国水运, 2007, 7(6): 106-107. WANG Lingyuan. Application of Danish MIKE11 hydrodynamic module in river network simulation calculation. China Waterway, 2007, 7(6): 106-107. (in Chinese)
- [5] 覃光华, 王建华, 赵英林. 实时洪水预报研究综述及展望[J]. 城市道桥与防洪, 1999(4): 35-39. QIN Guanghua, WANG Jianhua and ZHAO Yinglin. Review and outlook on real time flood forecasting research. Urban Roads and Bridges and Flood Control, 1999(4): 35-39. (in Chinese)
- [6] 上海市水务局. 上海市水利控制片水资源调度方案(沪水务[2020] 74 号) [Z]. 2020. Shanghai Water Affairs Bureau. Shanghai water conservancy control panel water resources dispatching scheme (Shanghai Water Affairs [2020] No. 74). 2020. (in Chinese)