

锡澄地区水工程预报调度 一体化系统的研究与设计

华 焯¹, 常 露²

(1. 无锡市水利发展和安全质量管理中心, 江苏 无锡 214031; 2. 无锡市河湖治理和水资源管理中心, 江苏 无锡 214031)

摘要: 研究从数据资源接入与整合、锡澄地区调度模型构建与预演场景研究、模型及数据标准接口服务、锡澄地区水工程预报调度一体化系统建设4个方面介绍了锡澄地区水工程预报调度一体化系统的研究与设计。为进一步提升江苏省智慧水利建设水平, 促进水利高质量发展先行探路。

关键词: 数字孪生; 智慧水利; 预报调度; 研究设计; 无锡市

中图分类号: TV675 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2022)Sup2-0022-06

Research and design of integrated forecasting and dispatching system for water engineering in Wuxi-Jiangyin Area

HUA Ye¹, CHANG Lu²

(1. Wuxi Water Resources Development and Safety Quality Management Center, Wuxi 214031, China;

2. Wuxi City River and Lake Treatment and Water Resources Management Center, Wuxi 214031, China)

Abstract: The study introduces the water engineering in Xicheng area of the design of integrated forecasting and dispatching system from four aspects: data resource access and integration, Xicheng area dispatching model construction and rehearsal scene research, model and data standard interface service, and Xicheng area water engineering forecasting and dispatching integrated system construction. In order to further improve the level of smart water conservancy construction in Jiangsu Province and promote the high-quality development of water conservancy.

Key words: digital twin; smart water conservancy; forecast dispatch; research design; Wuxi City

无锡市遵照江苏省数字孪生水网工程建设的顶层设计, 基于数字孪生流域及“四预”功能建设要求, 从流域统筹角度及地方工作实际需求出发, 设计开发锡澄地区水工程预报调度一体化系统。目前项目主要完成了数据资源接入与整合、锡澄地区

调度模型构建与预演场景研究、模型及数据标准接口服务、锡澄地区水工程预报调度一体化系统建设4个方面的建设内容, 实现了全要素的监测预报、全过程的动态预警、调度场景的预演预判、调度预案的跟踪管理, 能够为无锡市防汛调度提供技术支撑。

收稿日期: 2022-11-01

作者简介: 华焯(1983—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事河湖综合治理、水生态修复、水文化研究等工作。E-mail: 46720394@qq.com

1 项目概述

1.1 项目背景

项目建设在原有系统的基础上,以江苏太湖地区1(望虞河)+N(重点工程)为试点开展数字水网孪生底板建设,通过对典型区河湖水系、重点水利工程、流域下垫面、洪水影响重点对象等进行数字化建设,构建数字底板,打造数字孪生平台,整合信息资源,构建预报调度一体化业务平台,助力太湖地区防汛四预体系建设,保障太湖地区水安全。

1.2 主要研究内容

1.2.1 数据资源接入与整合

对接江苏省太湖地区气象、雨水工情信息,整合锡澄地区圩区、河湖水系、水利工程等基础信息,接入相关部门已有预报成果。

1.2.2 水文水动力精细化河网模型的构建

构建锡澄地区水文水动力一二维耦合精细化模型,模型具备河网多尺度分级智能模拟与基础数据动态更新功能,具体包括:适用不同下垫面特性

水文过程(降雨-产流-汇流)模拟;河道一维、湖泊二维水动力过程模拟;河网-管网耦合内涝积水退水过程模拟;闸泵涵工程群复杂调度过程模拟,洪水影响与损失评估模拟等。

1.2.3 模型接口的标准化服务

研发模型平台整体封装流程,制定对外服务标准接口;制定模型运行流程、明确数据访问对象和数据结构、定制模型访问接口;利用模型RESTful服务,自动获取模型参数、动态设置模型运行参数以及接入在线数据,驱动模型计算,实现定制关注对象并输出结果以及结果的后处理。

1.2.4 构建锡澄地区防汛“四预”业务体系

按照锡澄地区预报调度业务需求,结合水利一张图矢量数据以及重点防洪工程的数字化三维模型,构建系统的数据底板;采用数字孪生、三维建模、数值模拟和智能分析等技术手段,实现锡澄地区雨水工情的实时监测、洪水的预报预警、工程调度的预演以及预案的管理下发等业务功能。

1.3 技术路线

项目技术路线如图1所示。

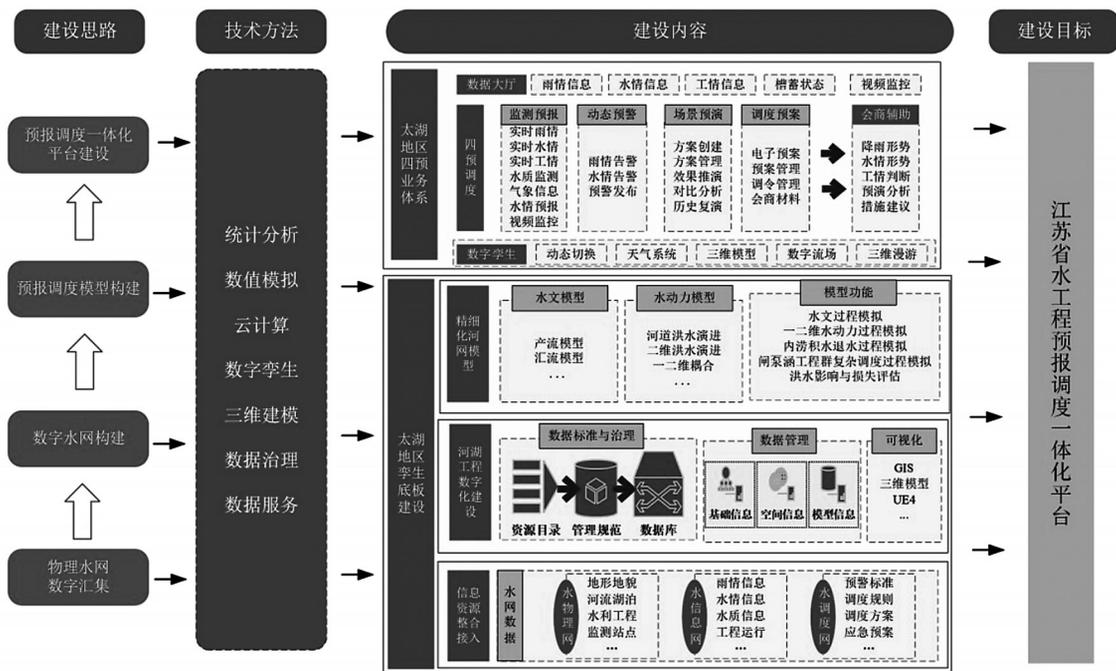


图1 锡澄地区水工程预报调度一体化系统项目技术路线

2 数字资源接入与整合

2.1 基础数据

基础数据主要包括河流水系、水利工程、河道堤防、河道断面、遥感等数据。

2.2 监测数据

监测数据主要包括实时雨水情监测数据、工程运行状态监测数据、气象监测数据、水质监测数据、视频监控数据等^[1]。数据类型、数据范围统计见表1。

表1 监测数据统计

数据类型	数据范围	数据来源	站点数量/个
实时雨水情数据	江苏省太湖地区	实时雨水情库	378
工程运行状态监测数据	沿江、环湖等重点水利工程、无锡大包围	实时雨水情库、太湖处、无锡市水利局	33
水质监测数据	太湖及望虞河沿线水质监测	太湖护水控藻监测数据	34
视频监控数据	重点水利工程视频监控	江苏省水利厅视频监控平台	28

2.3 业务数据

业务数据主要包括系统业务运行过程中产生的业务数据,包括动态预警数据、场景预演数据、调度预案数据、会商材料数据、调令数据、历史事件数据等。

2.4 跨行业共享数据

跨行业数据主要包括气象预报数据、水质监测数据等,其中气象数据主要包括卫星云图、雷达图、台风路径、气象数值预报数据等,其中气象数值预报数据覆盖江苏省太湖地区。水质监测数据包括太湖及望虞河沿线护水控藻数据。

2.5 地理空间数据

汇集的地理空间数据包括遥感影像(DOM)、数字高程数据(DEM)、矢量数据和倾斜摄影数据。目前已经收集无锡市144 km²大包围(含78.6 km²二级圩区)水系、圩区资料,水系及圩区分布见图2。

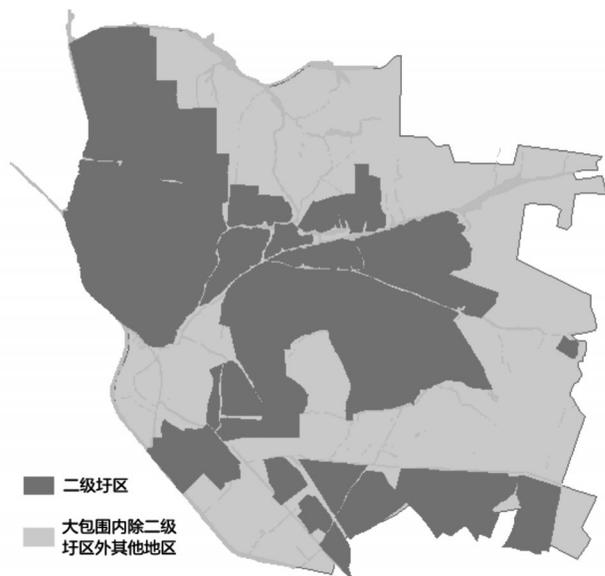


图2 无锡市大包围圩区分布

倾斜摄影数据采用对望虞河沿线61 km及河岸两侧各300 m范围进行三维无人机航拍的方式,形

成三维倾斜摄影数据,精度为5 cm。

2.6 数据管理

通过数据对接、数据收集等方式进行多源数据的汇聚,其中基础数据、业务数据等数据通过数据库的形式进行存储管理,监测数据、跨行业数据通过数据访问的方式进行数据获取,不单独管理,地理空间数据通过地理空间数据平台及文件形式进行管理。其中基础数据及业务数据通过数据表结果设计及构建进行管理,数字孪生底板数据通过融合构建形成UE4底板项目进行管理。

从基础数据、监测数据、业务数据、跨行业数据、地理空间数据等方面,完成锡澄地区底板数据的汇集与管理,集成了UE4引擎的渲染成果,涉及区域面、河道线、工程点等不同对象的可视化展示,包括枢纽工程高精度的三维建模、水体实时渲染及关注信息的动态标绘。

3 锡澄地区预报调度模型构建与预演场景研究

3.1 已有模型基础

依托洪水风险图在江苏省太湖地区洪涝调度中的应用研究构建的江苏省太湖地区模型成果,结合多尺度分级模拟技术,对区域进行建模,利用江苏省太湖地区模型为区域模型提供外边界。

3.1.1 模型范围

现有江苏省太湖地区精细化水文水动力模拟,面积约为1.96万 km²,包括苏州、无锡、常州市的全部和镇江市的部分区域^[2]。考虑以太湖流域为背景,洪水分析范围扩大到太湖流域黄浦江以西的区域,面积约为2.16万 km²。

3.1.2 模型网络库

断面数据导入:针对实测断面数据,首先将断面数据整理成特定格式,将其导入模型,并对其进行检查和修正,使其垂直与河道中心线。在模型构建过程中,对于河网交叉河道连接处、泵站、水闸连

接处需要内插断面。

断面创建与河道连接:河道断面导入模型后,对照编制区域的影像或水系底图,建立河道中心线,并以线创建断面,河道断面创建完成后,根据区域水系特点、水流方向,进行河网的连接^[3]。

圩区模型创建:针对圩区内部河道实测断面的精细化程度,本项目中对圩区划分为3类处理方式:(1)精细化构建。此类圩区主要分布在城区区域,河道清晰明显,且绝大多数河道均有实测断面资料。细致构建圩区内部河道、圩区边界水利工程(水闸、泵站)以及根据水利工程调度规则编写模型调度方案^[3]。圩区内部的集水区范围以圩区边界线为分界线,圩区内外降雨产生表面径流不相互连通,内部汇水区通过河道的汇水范围精细化。(2)半精细化构建。此类圩区主要分布在郊区地区,范围内不仅含有河道还有大量未与河道直接连通调蓄水面。对于此类圩区,有实测断面河道以及水利工程均精细化构建。此外,通过GIS对圩区内的水系面积进行统计分析,并与模型中构建面积进行对比,在模型中构建调蓄节点对缺少的调蓄水面进行补偿。圩区内部的集水区范围以圩区边界线为分界线,圩区内外降雨产生表面径流不相互连通,内部汇水区通过河道的汇水范围精细化。(3)概化构建。此类圩区主要分布在农村地区,由于此类圩区内部河道等级较低,均没有实测断面数据。通过GIS对圩区内部的水系面积进行统计分析,圩区内部河道刻画出一个与圩区水系调蓄节点,该调蓄节点与该圩区调蓄水面面积相同。此外,圩区的水利工程均按照实际进行构建。圩区内部的集水区范围以圩区边界线为分界线,集水区产水均进入调蓄节点。

创建水利工程及调度规则:对于水工建筑物,在创建对象之后,均输入建筑物对应的几何尺寸信息,然后对建筑物的运行规则进行设置。如,河道中的各种附属构筑物,包括闸门、涵洞等,都根据其相应的尺寸参数及过流计算参数创建调度规则;泵站的参数,包括水泵的数量、水泵流量扬程曲线及其启闭控制参数等^[3]。

3.1.3 模型逻辑库

模型网络构建完成后,编写模型中构建的水利工程(包括闸门、泵站以及涵洞)调度逻辑。

3.2 模型构建完善

3.2.1 建模范围

锡澄地区包含江阴市与无锡市区,由于锡澄地

区不具备封闭条件,锡澄地区模拟是基于江苏省太湖地区模型。

3.2.2 建设内容

(1)主要任务:在江苏省太湖地区模型的基础上,更新完善锡澄地区水文水动力模型,具体为收集锡澄地区圩区资料、更新完善模型中圩区信息,更新完善望虞河沿线水利工程以及调度方案。

(2)资料收集与处理:收集处理锡澄地区基础资料,对现有断面精度不能满足编制要求的开展必要的河道典型断面测量。所需的基础资料主要包括自然地理、水文气象、设计暴雨、设计洪水、水利工程及工程调度和历史洪水及灾害资料等^[4]。资料应满足可靠性、一致性、代表性和时效性要求。

(3)模型构建标准:对太湖区、杭嘉湖区(苏)、阳澄淀泖区(苏)、苏州张家港段江堤、武澄锡虞区、无锡市城区、太湖湖西区、苏州市城区以及常州市城区9个编制区域进行集成和模型二次开发。为了便于模型与系统对接,太湖流域模型在构建过程中需按照一定标准进行,主要包括河道断面命名标准、点命名标准、水利工程(水闸、泵站)命名标准、河段命名标准、堤防命名标准、道路命名标准、多边形命名标准、2D区间命名标准等。

(4)模型更新构建对象:模型范围东至望虞河(含),西至新沟河,南至太湖,北至长江,面积3 200 km²。主要包含:处理和梳理河网断面以及城市地下管网数据,构建无锡市一维河网-管网模型;处理城市下垫面数据,构建无锡市产汇流和二维模拟模型;根据收集处理的水利工程调度规则,构建无锡市水利工程调度模型库。

3.3 模型率定与验证

考虑到无锡市城市下垫面条件逐年更新,选取最近的2021年开展模型参数率定,并基于率定通过的参数开展模型验证。无锡市2016年7月1—7日,2017年9月23—29日,2021年7月25—31日降雨过程分别为长历时梅雨型、短历时对流型和台风雨型,具有典型降雨特征,因此选取以上3场降雨过程对应的太湖水位、无锡市区降雨以及长江沿线水位作为计算边界条件,开展率定验证工作。计算结果和实测数据对比显示,青阳站和无锡(大)的计算水位与实测数据吻合良好,但无锡(南门)与实测数据有一定误差。主要原因是无锡(南门)站点位于无锡市运东大包围内,大包围外围水利工程众多,在缺乏调度资料的情况下模型无法反应实况年的工程调度情况。总的来说,率定验证结果较好,为进一

步量化率定验证结果,表2列出了3场率定验证工况中青阳和无锡(大)站点的峰值水位、 R^2 以及NSE值。由表2中量化数据的对比可以看出,3场雨洪过程计算结果的水位峰值最大误差仅为0.05 m,为2021年无锡(大)站点,3场率定验证 R^2 均在0.95以上,NSE值均在0.7以上,表明率定验证结果较好。

表2 率定验证量化结果对比

年份	站点	水位峰值/m		R^2	NSE
		实测	计算		
2016	青阳	5.33	5.34	0.97	0.88
	无锡(大)	5.28	5.31	0.98	0.89
2017	青阳	5.42	5.41	0.96	0.76
	无锡(大)	5.31	5.34	0.97	0.81
2021	青阳	4.86	4.89	0.95	0.80
	无锡(大)	4.81	4.86	0.96	0.89

示,系统的主要功能包括数字大厅、孪生展示、“四预”调度、会商辅助等功能及各子功能,梳理开发的模型服务及数据服务如下:

4.1 锡澄地区数字大厅

可实现获取锡澄地区历史降雨、获取太湖地区实时水位、查询湖库槽蓄状态、获取锡澄地区工情信息、获取当前调度等功能。

4.2 孪生展示

可实现获取实时水面线、预演水面线、复演水面线、单个点水情信息(实时+预报)、单个点水情信息(预演模式)、单个点水情信息(复演模式)、预演场景工情状态、望虞河引排水情况等功

4.3 “四预”调度

4.3.1 监测预报

获取太湖地区降水量、太湖地区行政分区降雨量、太湖地区水位数据、单站点水位数据、最新水质信息、历史水质信息、气象预报等功能。

4.3.2 动态预警

获取暴雨预警信息、历史暴雨预警信息、实时水位告警信息、预报水位告警信息、已发布预警,以及预警发布等功能。

4.3.3 场景预演

雨量分配、初始水位、新建方案组、方案组新增方案、删除方案、删除多个方案、方案提交计算、方案组提交计算、方案状态查询、方案组状态查询、方案入库、查询计算方案列表、获取方案组详细信息、调度预演水情预警信息、方案对比等功能。

4 模型及数据标准接口服务

模型及数据标准接口服务主要为锡澄地区水工程预报调度一体化系统提供后台数据服务及模型交互服务,主要根据功能模块的需求进行数据接口开发,通过结构化数据生成,返回到前端进行展

4.3.4 调度预案

新增历史事件、修改历史事件、删除历史事件、获取历史事件信息、根据时间查询历史事件、获取历史事件详细信息、新增调令、根据时间查询调令等功能。

4.4 会商辅助

可实现会商方案入库、获取最新会商方案列表、最新入库的方案基础信息查询、最新入库的方案的关注点时间序列数据查询、会商方案执行等功能。

5 锡澄地区水工程预报调度一体化系统建设

5.1 总体架构

按照水利部关于数字孪生流域和“四预”功能建设的要求,设计锡澄地区预报调度一体化总体架构,主要分为物理水网层、基础信息数据层、数字孪生平台层和系统应用层。见图3。

5.2 功能架构

系统主要包括数字大厅、“四预”调度、孪生展示、会商辅助、系统管理等功能,功能架构如图4所示。

5.3 业务功能

5.3.1 数字大厅

数字大厅是抽取区域关键雨水工情信息,汇聚多源数据展示,以图表等形式集合呈现,达到多源融合、全局把握的效果。按照区域范围分为江苏省太湖地区水工程预报调度数字大厅与锡澄地区水

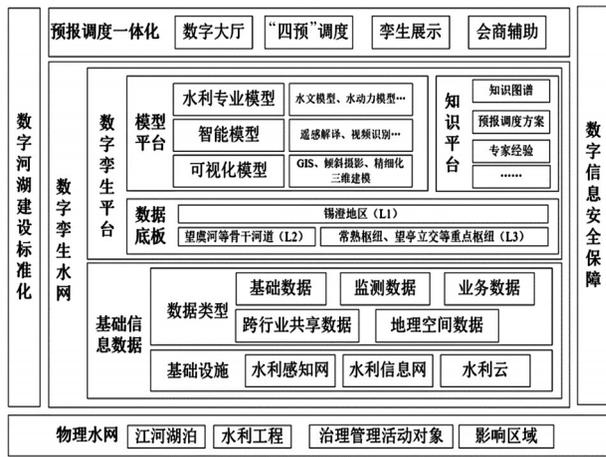


图3 锡澄地区水工程预报调度一体化系统总体架构

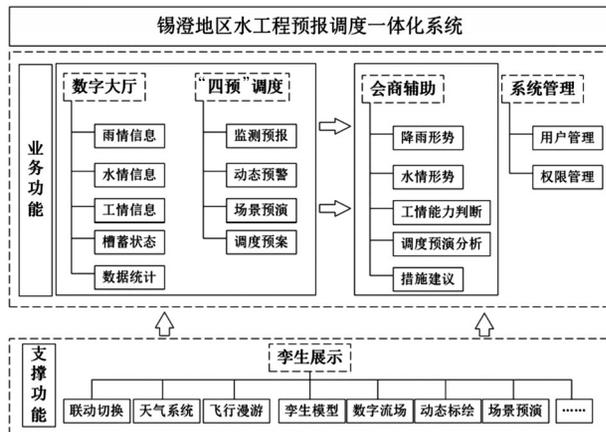


图4 锡澄地区水工程预报调度一体化系统功能架构

工程预报调度数字大厅。

5.3.2 孪生展示

数字孪生场景模块是建立在数据底板构建的基础上,利用高性能算力,实现了望虞河沿线物理对象全要素和调度管理活动全过程的数字化映射、智能化模拟,同步仿真运行、时空虚实交互,形成了可实时重现现在、预演未来、复演过去的数字孪生展示内容,包括全景展示、场景仿真和预演复演3个部分。

5.3.3 “四预”调度

“四预”调度模块以“四预”业务流程为依据进行系统功能设计,主要通过接入实时雨水工情、水质、视频、气象信息等进行监测展示;利用水文-水动力滚动预报模型进行长江潮位、太湖水位及河网内部水位预报;根据防洪指标信息及预警发布办法进行水雨情告警提示及水情预警信息发布;利用模型模拟预演分析水工程调度对防洪形势的影响;建立电子预案进行快速指令下发,及时调整调度策略。主要功能包括监测预报、动态预警、场景预演、调度预案。

5.3.4 会商辅助

根据降雨形势、水情形势、工情能力判断、调度预演分析,系统对应景风险进行识别,根据防汛应急风险研判信息,并结合GIS地图展示当前灾情地点,推荐附近最近队伍与物资所在地,并基于历史水工程调度大数据分析成果,推荐对应风险等级汛情所需的物资种类。

6 结语

从基础数据、监测数据、业务数据、跨行业数据、地理空间数据等方面,完成了锡澄地区底板数据的汇集与管理,集成了UE4引擎的渲染成果,涉及区域面、河道线、工程点等不同对象的可视化展示,包括枢纽工程高精度的三维建模、水体实时渲染及关注信息的动态标绘。

利用水旱灾害普查数据,更新了锡澄地区范围的圩区工程、闸泵工程、河道断面等基础数据,更新了各水利工程的调度规则;进一步率定验证模型,实现了与太湖地区的模型嵌套耦合,基于模型的二次接口开发封装,研发了基础数据与模型数据交互服务,解决了水文水动力耦合模型提供的数据与系统实现功能应用的数据在格式与配置方式等方面存在差异的问题,实现机理模型的在线化、业务化运行,有力支撑系统引江济太、防洪排涝等业务场景的实时模拟。

采用物联网技术、WebService技术、SOA体系结构、GIS技术、洪涝预报调度技术、一体化模型与系统数据实时交互技术以及动态洪涝风险实时渲染技术等开发了基于B/S架构的锡澄地区水工程预报调度一体化系统,系统具有数字大厅、“四预”调度、孪生场景、会商辅助等核心功能,实现了全要素的监测预报、全过程的动态预警、调度场景的预演预判、调度预案的跟踪管理。

参考文献:

[1] 陈磊,李璐.上海市农村地籍数据库更新研究[J]. 江苏科技信息,2018,35(33):4.

[2] 刘国庆,王蔚,范子武,等.平原河网区河道交叉口分流特性模型试验研究[J]. 水利水运工程学报,2020(1):8.

[3] 张小稳,刘国庆,范子武.基于水动力-水质同步原型观测的城市生态补水方案研究[J]. 水资源开发与管理,2019(4):6.

[4] 庄宝庆,张浩,柳杨,等.望虞河西控工程对区域防洪影响研究[J]. 水利规划与设计,2022(4):5.