

徐州市铜山区 数字孪生城区防洪指挥平台建设

佟保根¹, 黄屿隹², 梁礼永¹

(1. 徐州市铜山区水务局, 江苏 徐州 221116; 2. 河海大学 计算机与信息学院, 江苏 南京 210024)

摘要:徐州市铜山区水务局基于“数字孪生”理念与现有的信息化资源,利用知识图谱、机器学习等技术,研发智能模型耦合联动机制,建设了数字孪生城区防洪指挥平台,打造出具有铜山特色的防洪排涝联合指挥调度示范应用体系。该平台建设分为数据底板、模型库、水利知识引擎与防洪排涝联合调度系统建设4个部分,总体以城区防洪为目标,构建区域性、针对性的数字孪生,为实施大范围、多目标、多情景的数字孪生建设奠定基础,有助于构筑具有预报、预警、预演、预案“四预”功能的智慧城区防洪体系。

关键词:数字孪生; 城区防洪; 联合调度; 智能模型

中图分类号:TV22

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2022)Sup2-0032-06

Construction of digital twin urban flood control command platform in Tongshan District, Xuzhou City

TONG Baogen¹, HUANG Yucong², LIANG Liyong¹

(1. Xuzhou Tongshan Water Conservancy Bureau, Xuzhou 221116, China;

2. College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 210024, China)

Abstract: Based on the “digital twin” concept and existing information resources, Tongshan District Water Affairs Bureau of Xuzhou City uses knowledge graph, machine learning and other technologies to develop an intelligent model coupling linkage mechanism, build a digital twin urban flood control command platform, and create a Tongshan’s characteristic flood control and drainage joint command and dispatch demonstration application system. The construction of the platform is divided into four parts: the data baseboard, the model library, the water conservancy knowledge engine, and the joint dispatching system for flood control and drainage. The overall goal is to prevent floods in urban areas, and to build a regional and targeted digital twin for the implementation of large-scale, multi-objective, the multi-scenario digital twin construction lays the foundation for the construction of a smart city flood control system with the functions of forecast, early warning, rehearsal, and pre-plan.

Key words: digital twin; urban flood control; joint dispatch; intelligent model

收稿日期: 2022-11-01

作者简介: 佟保根(1966—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利工程工作。E-mail:baogen_tong@163.com

通信作者: 黄屿隹(1998—),男,硕士研究生,主要从事网络安全管理、智慧水利工作。E-mail:huangyc89757@163.com

数字孪生是一种物理模型与虚拟数据相结合的技术手段,通过数字化方式将物理系统映射到信息空间中的虚拟模型^[1-2],并借助各种传感器与通信设备收集实时数据,模拟系统在真实环境中的运行过程^[3]。

在水利行业中,数字孪生通常与智慧水利建设相关联。水利部在“十四五”规划中明确提出“智慧水利”建设是推动新阶段水利高质量发展的实施路径之一^[4],总体目标是对物理流域全要素和水利治理管理全过程进行数字化映射、智能化模拟,加快推进数字孪生流域建设,实现并强化预报、预警、预演、预案功能^[5]。其中数字孪生流域是“智慧水利”建设的重点。

近年来江苏省徐州市相应出台了“智慧水利”建设的指导意见。在水利信息化建设方面,徐州市铜山区以“双中台”(数据中台、应用中台)技术搭建了信息化平台,通过“水利大脑”对水利业务全流程进行多情景、可定制展示,有效支撑起核心业务的精准化决策调度,但仍然存在信息资源的深度整合不足与业务应用的智能化水平低等问题,在防

洪排涝方面体现得尤为明显。城市洪涝风险管理工作对于铜山区是重中之重,管理水平也亟待进一步提高。

数字孪生的引入在提升预报与预警精度的同时实现了预演与预案功能,是构建具有预报、预警、预演、预案“四预”功能的智慧防洪体系的重要举措^[6-7]。建设数字孪生城区防洪指挥平台,能够打破以往粗放式、人工经验为主的工程调度方式,提升水利工程智慧化调度水平,支撑构建科学、高效的城区防洪排涝管理体系,强化铜山区城市洪涝风险预警与决策调度能力。

1 建设内容

徐州市铜山区数字孪生城区防洪指挥平台建设以城区防洪排涝一体化为目标,在当前信息化建设的基础上,建设覆盖面更深、更广的物联感控网,升级数据中台与应用中台,建成数字孪生平台,实现城区防洪治涝的多元监控、智能诊断与科学决策,全面提升铜山城区水利综合调度与管理能力。平台总体框架如图1所示。

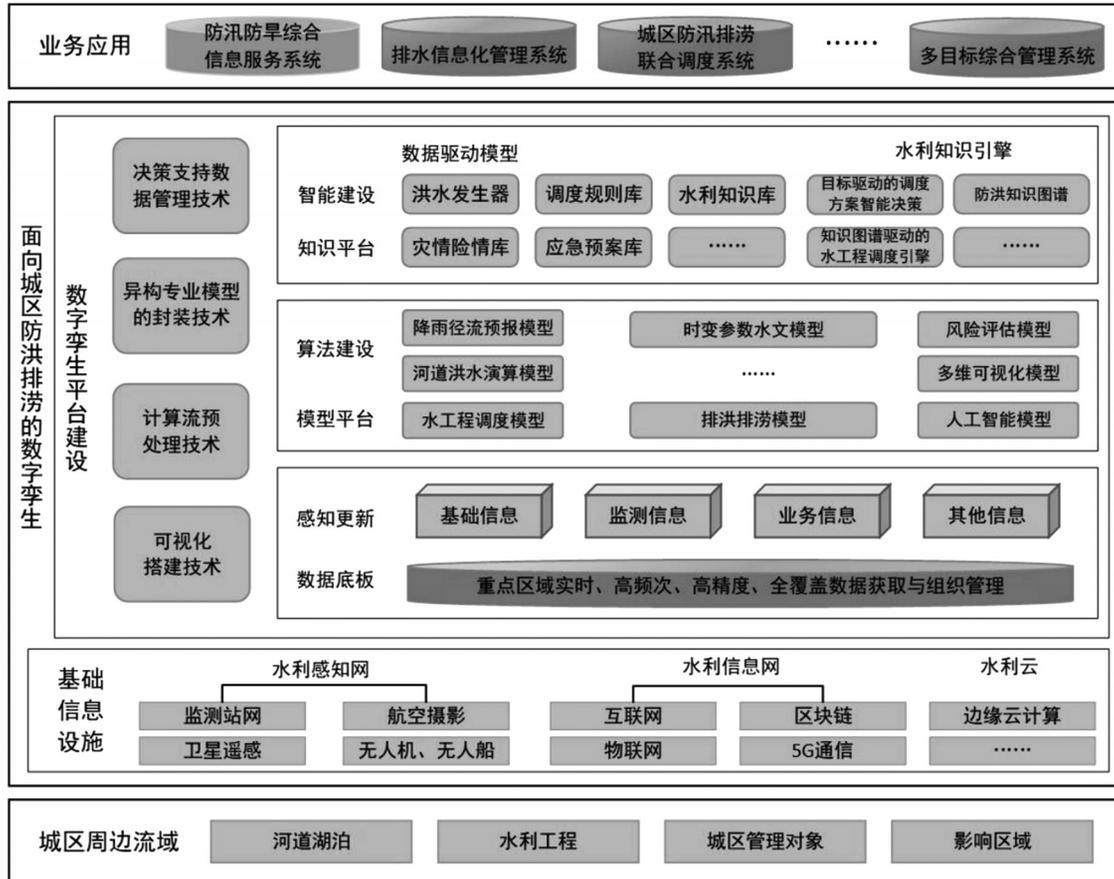


图1 徐州市铜山区防洪指挥平台总体架构

平台以城区水灾害防御为目标,充分基于已有信息化资源,升级改造数字化场景,利用知识图谱、机器学习等技术,研发模型耦合联动机制,提升预测、模拟适应客观物理变化的迭代及自更新能力,构筑具有“四预”功能的城区防洪防汛体系。具体包含以下3个部分:

1.1 前端感知体系

加强使用卫星遥感、无人机遥感、航空摄影等技术手段,结合已建成的监测监控体系,实现水利数据全方位透彻感知,为城区防洪排涝数据底板构建提供充分数据基础。

1.2 数字孪生平台

在已建数据中台、应用中台的基础上,重点建设数据底板、水利专业模型、水利知识引擎,多元化、精细化中台的数据底板,专业化、智能化中台的基础应用能力,将通用化的中台打造成水利行业的专业中台,以此作为数字孪生平台的核心。

1.3 智能化应用

在已有防汛抗旱综合信息服务系统的基础上,建设城区防汛排涝联合调度系统,实现具体业务的

专业化、智能化应用,满足铜山区水务局防洪、治涝等核心业务需求。

2 建设方案

铜山区目前已建成水务数据中台,对铜山水务局本级数据资源进行集成、治理与开发,同时建成应用中台提供服务治理,统一用户管理与地图管理等具体应用。在双中台的支撑下,铜山区数字孪生城区防洪指挥平台主要围绕数据底板、模型库、水利知识引擎与防洪排涝联合调度系统进行建设。

2.1 数据底板建设

数据底板是数字孪生防洪指挥平台的基础,主要是利用卫星遥感影像、无人机垂直(倾斜)航空摄影、断面、GIS数据等多源空间数据及数据中台的各类业务数据^[8],构建示范区数字孪生流域多层次数据底板,实现不同精度类型的场景还原以及河流、桥梁、建筑等地理实体的可视化展现。建设技术路线如图2所示,其中L1级建设范围为铜山区全区,L2级为铜山区城区,L3级为重点水利工程及其管理和保护的范围。

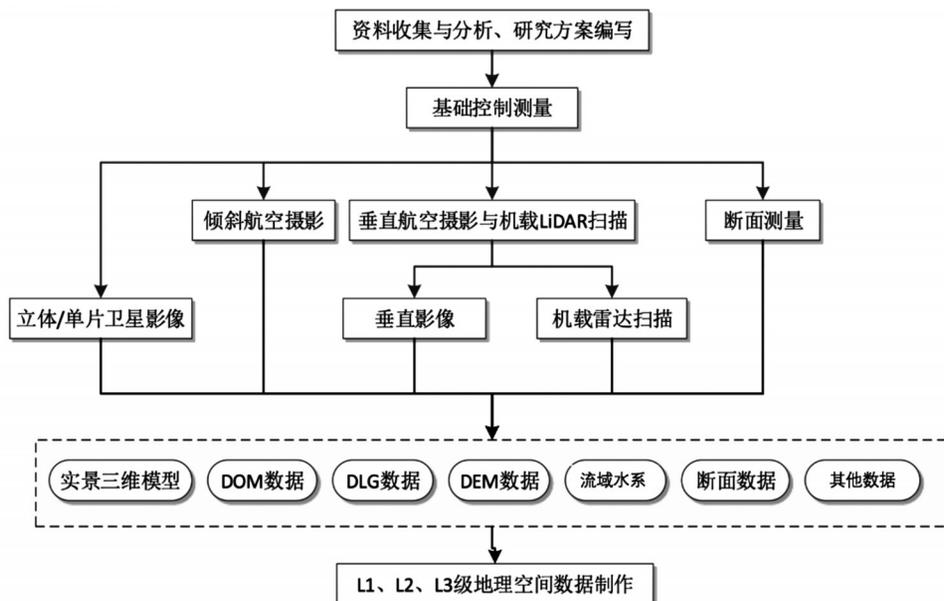


图2 数据底板建设技术路线

在本方案中,数据底板建设主要是基于数字孪生流域涉及的孪生数据的表示、分类等规范,研究通过主动抓取、专线推送和网络下载等多种方式,对多源异构卫星遥感数据和无人机、地面监测数据进行实时快速汇聚,以及基于云存储技术的多源多尺度天空地观测数据存储架构模型,构建多源时空

数据管理系统,实现数据高效检索、存储、访问和分发服务。在数据中台已有数据资源的基础上,通过共享水利部、流域机构L1和L2级基础数据底板,基于遥感技术、地理信息技术采集,构建重点防洪排涝区域L3级数据底板,为防洪数字化场景构建提供数据基础。

2.2 模型库建设

模型库建设是防洪指挥平台建设的核心,包括机理模型与数据驱动模型的研发,以及模型的集成与联动。同时,模型库的建设完全嵌入在已建设的应用中台,作为中台基础服务能力的强化与扩充。模型库是实现数字孪生的精准映射和虚实互动的核心,而单个或者单一类型的模型难以实现对决策全要素、全过程进行模拟和计算。此外,为了实时通过孪生体“反馈”指导现实业务的决策调度,对模型支撑“四预”的时效性提出了更高要求,因此,本项目的模型库建设具体分为以下3个方面:

2.2.1 机理模型建设

铜山区城区防洪工程体系是由河道堤防、水库、闸涵及泵站等组成的复杂系统。建设水利机理模型能够在水利工程体系概化的基础上,根据区内河网拓扑关系与水利工程功能、水文气象预报、实时监测信息,以水文学、水动力学为理论基础,将闸涵及泵站作为控制节点,通过对预报洪水、历史洪水或假设洪水进行模拟演算,推求出不同洪水的水力特征和影响效果,以此分析各水利工程的运行方式,进而生成多种调度预案,支撑防洪调度决策优化方案形成。

方案围绕城市防洪目标,构建机理模型库,主要包括洪水预报模型、洪水淹没模型与防洪排涝调度模型。整体采用“参数分离、对象解耦”方式,建立模型的通用化开发封装技术及模型的标准化接口,耦合多维多尺度数据模型结果,使机理模型能够通过自动适应外部环境变化自适应调整模型参数,满足实时计算、动态更新的需求。同时结合模型的耦合特性,通过模型服务相互调用,使不同机理模型能够进行深度融合,实现由降水与洪水形成到行、蓄、滞、排全过程模拟。

2.2.2 数据驱动的智能模型建设

相对于传统机理模型,数据驱动的智能模型能够更有效地应对数据样本量大、特征维度多、系统耦合度高的计算场景,并且更能有效利用模型误差信息对模型进行自适应反馈修正。目前此类模型在水利行业的应用日趋深入,并在重点事件的识别、分析、预警上取得了良好的应用效果,但对事件全要素过程的分析能力尚显不足,对事件结果的预测不准,所输出预案的可用性不高。

本方案关于数据驱动模型的研发首先集中在对防汛排涝相关重点事件的识别与预警,利用深度学习、云计算、人工智能等新信息技术对实时数据

与历史数据进行处理,提取出相关特征用于水体识别、目标检测等具体应用,确保识别与实时告警的准确性,辅助防洪排涝决策调度。模型总体结构如图3所示。在此基础上,利用机理模型对事件全过程(产汇流)进行精准模拟,生成丰富的可供模型训练的样本,再结合关键性参数,指导模型的训练,通过数据与机理模型的融合,构建出适用性强的分析预测模型。

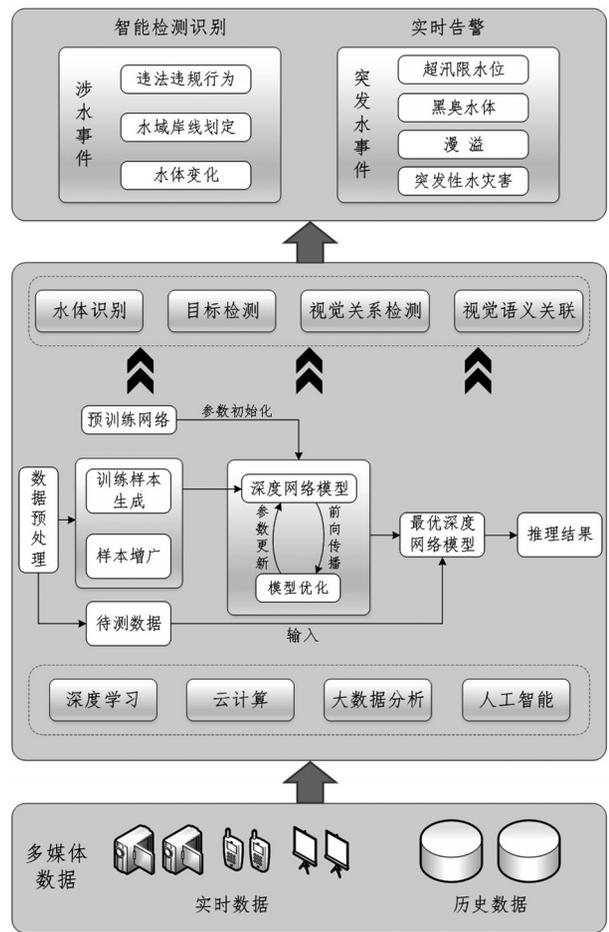


图3 面向防洪排涝的智能检测告警模型

2.2.3 模型智能管理

防洪排涝的专业模型涵盖领域广泛,种类繁多且各模型复杂程度不一,本方案构建了一套智能的模型管理模式,实现模型间的协同联动,并提供灵活的服务调用方式,支撑防洪调度智能决策。具体工作包括设计面向对象的分布式模型表示方法,研发基于信用值评价的模型链生成方法,实现面向业务的功能集成,构建面向防洪排涝决策调度度的多类异构模型服务体系,实现服务的可靠运行及灵活调用。

2.3 水利知识引擎建设

在水利知识引擎建设方面,方案充分利用数据挖掘和知识图谱等技术,对历史调度方案、专家经验知识进行组织,形成防洪排涝知识图谱。在此基础上,耦合机理模型与智能优化算法,并针对不同水、雨、工、险情特征,研发调度方案智能推荐与优化方法,形成防洪排涝事件驱动的调度规则库。

2.3.1 防洪知识图谱

知识图谱构建是在大量历史经验和知识的基础上,基于多源异构信息的标准化知识提取方法,构建专业逻辑知识与大数据知识融合的防洪领域知识库^[9]。该方案首先根据防洪工程群组与保护节点对象间的时空拓扑关系与调度协调互补机制,构建涵盖多对象、多层次、多属性单元的区域防洪知识体系,然后通过洪水场景模拟技术建立不同水情、不同工况下防洪工程调度影响与行洪状态要素变化在河段或区域的多级互馈映射关系,构建多维效用的防洪工程联合调度运用知识图谱。

2.3.2 调度规则库

调度规则库是构建智能调度系统的核心工具,该方案中调度规则库的构建步骤包括以下3步:

(1)调度规则特征要素提取。对联合调度方案抽象化处理,提取防洪对象、启动时机、调度方式等特征要素信息,建立各要素间语义逻辑关系将调度方案逻辑化。

(2)调度规则库知识化描述。基于思维导图与调度规则要素之间的逻辑关系,进一步细化构建水工程运行规则的知识化描述构架,形成调度规则库的原型。

(3)调度规则库框架构建及实例化。基于调度规则库原型对水工程与控制对象间的调度影响关系开展框架构建,反映调度规则的各项特征要素,以保证规则库的可读性和易用性,并支撑调度规则的解析和应用。在此框架上,将提取的调度规则特征值进行信息存储,实现调度规则库的实例化。

2.4 防洪排涝联合调度系统建设

系统建设以铜山区及毗邻河道为范围,紧扣防洪排涝目标,基于数据底板与模型库建设对“双中台”底板的强化,构建预报、演进、调度、风险分析一体化的智能调度指挥系统,实现不同降雨量级与不同排涝规模下的洪涝风险分析,在线滚动预报预警风险等级,并智能化生成调度推荐方案。系

统建设包括调度态势大屏、气象一张图、预演模拟、调度全流程管理、系统管理5个模块。整体框架如图4所示。

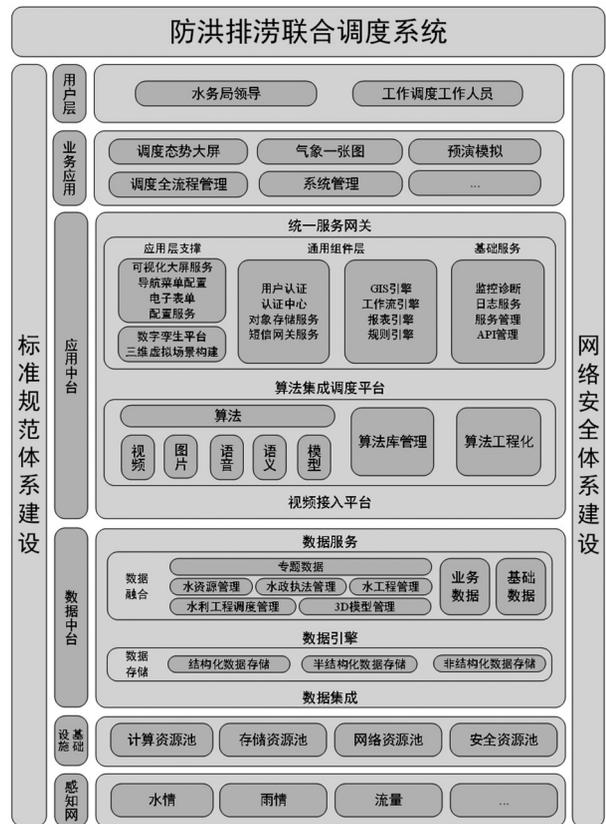


图4 防洪排涝联合调度系统技术框架

(1)调度态势大屏。基于数字孪生平台,利用三维可视化技术将数据实时展示在大屏上,构建具有“四预”功能的调度态势大屏,方便即时处理业务。

(2)气象一张图。通过常见类型的图表展示气象信息、降水预报信息等,实现对指标的逐层细化分析。

(3)模拟预演。根据实时预报监测信息进行工程调度预演,模拟各种情况可能造成的影响,生成最优调度方案,并对调度方案模拟结果进行评估。

(4)调度预案数字化管理。实现对各级各类调度方案的综合查询,有效提高调度预案编制和预案备案的管理水平。

(5)系统管理。实现对用户与分级权限的管理。

3 结语

徐州市铜山区数字孪生城区防洪指挥平台根据数字孪生流域以物理流域为单元、时空数据为底

座、数学模型为核心、水利知识为驱动的建设要求,结合已有的数据中台与应用中台建设数据底板与模型库,搭建水利知识引擎,并基于数据底板与模型库建设构建防洪排涝联合调度系统。平台各部分相辅相成,有效助力铜山区构建具有“四预”功能的智慧防洪体系,其创新与突破分别体现在以下4个方面:

(1)与数字孪生理念紧密结合,在满足数字孪生流域建设要求的前提下打破以往以人工经验为主的工程调度方式,提升水利工程智慧化调度水平。

(2)在已建数据中台、应用中台的基础上,重点建设数据底板、模型库与水利知识引擎,多元化、精细化中台的数据底座,专业化、智能化中台的基础应用能力,将通用化的中台打造成水利行业的专业中台,以此作为数字孪生平台的核心。

(3)建设过程中利用知识图谱、深度学习等技术,研发模型耦合联动机制,提升预测、模拟适应客观物理变化的迭代及自更新能力。

(4)基于数据底板与模型库建设构建预报、演进、调度、风险分析一体化的智能调度指挥系统,实现并强化预报、预警、预演、预案功能。

参考文献:

- [1] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.
- [2] TAO F, ZHANG H, NEE A. Digital twin in industry: state-of-the-art [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019, 15(4): 2405-2415.
- [3] 杨林瑶,陈思远,王晓,等.数字孪生与平行系统:发展现状、对比及展望[J].自动化学报,2019,45(11):2001-2031.
- [4] 曾焱,程益联,江志琴,等.“十四五”智慧水利建设规划关键问题思考[J].水利信息化,2022(1):1-5.
- [5] 李国英.在2022年全国水利工作会议上的讲话[J].中国水利,2022(2):1-10.
- [6] 宋利祥,张炜,田兆伟,等.西枝江流域数字孪生与防洪“四预”体系建设与探讨[J].中国防汛抗旱,2022,32(7):12-18.
- [7] 蔡阳,成建国,曾焱,等.加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J].中国水利,2021(20):2-5.
- [8] 夏润亮,李涛,余伟,等.流域数字孪生理论及其在黄河防汛中的实践[J].中国水利,2021(20):11-13.
- [9] WANG Q, MAO Z, WANG B, et al. Knowledge graph embedding: a survey of approaches and applications [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2017, 29(12): 2724-2743.