

# 一种面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式

严锡君<sup>1</sup>, 马辉<sup>2</sup>, 黄炜<sup>3</sup>, 严林波<sup>1</sup>, 张荣成<sup>4</sup>, 邓荣春<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南昌理工学院, 电子与信息学院, 江西 南昌

<sup>2</sup>水利部信息中心, 北京

<sup>3</sup>江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京

<sup>4</sup>中水三立数据技术股份有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年1月10日; 录用日期: 2023年2月7日; 发布日期: 2023年2月14日

## 摘要

推进智慧水利建设是“十四五”时期水利保障国家水安全的重点举措之一。在简要导读有关智慧水利政策, 简要介绍和分析智慧水利中数字新基建及新一代信息技术的领域运用基础上, 本文以数字新基建技术在智慧水利中复合型创新应用的视角开展研究, 与现有的水利业务驱动的智慧水利应用技术体系构建策略不同, 提出和构建一种以“广域覆盖的全要素状态监测感知”、“数据智能”为技术核心驱动的智慧水利应用技术体系。在此技术体系框架下, 按照基础设施、大数据中心、应用支撑、业务应用的分层级设计思想, 提出一种面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式, 为洪涝灾害防御信息化平台开发中总体架构设计提供一种基本的设计遵循。

## 关键词

智慧水利, 数字新基建, 洪涝灾害防御, 应用体系, 平台

# A Design Pattern of Smart Water Management Cloud Platform for Flood Disaster Prevention in Urban

Xijun Yan<sup>1</sup>, Hui Ma<sup>2</sup>, Wei Huang<sup>3</sup>, Linbo Yan<sup>1</sup>, Rongcheng Zhang<sup>4</sup>, Rongchun Deng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Electronics and Information, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi

<sup>2</sup>Information Center of the Ministry of Water Resources, Beijing

<sup>3</sup>Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing Jiangsu

<sup>4</sup>Zhongshui Sanli Data Technology Co., LTD, Hefei Anhui

Received: Jan. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Feb. 7<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 14<sup>th</sup>, 2023

文章引用: 严锡君, 马辉, 黄炜, 严林波, 张荣成, 邓荣春. 一种面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式[J]. 计算机科学与应用, 2023, 13(2): 219-225. DOI: 10.12677/csa.2023.132022

## Abstract

Promoting the construction of smart water management is one of the key measures to ensure the national water security during the 14th Five-Year Plan period. Based on a brief introduction to the policy of smart water management, a brief introduction and analysis to the application of new digital infrastructure construction and new generation of information technology in smart water management, by conducting research from the perspective of comprehensive innovative application of digital new infrastructure technologies in smart water management, and different from the existing construction strategies of smart water management application technology system driven by water conservancy business, this paper proposes and constructs a kind of smart water management application technology system driven by “all-factor state monitoring perception for wide area coverage” and “data intelligent” as the technology core. Under the framework of this technical system, according to the hierarchical design idea of infrastructure, big data center, application support and business application, a design model of the smart water management cloud platform for flood disaster prevention in urban is proposed. It provides a basic design compliance for the overall architecture design of flood disaster prevention information platform development.

## Keywords

Smart Water Management, New Digital Infrastructure Construction, Flood Disaster Prevention, Application System, Platform

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

《全国水利信息化发展“十三五”规划》明确提出：推动“数字水利”向“智慧水利”转变，为高质量社会经济发展“保驾护航”。《全国水利信息化发展“十四五”规划》进一步提出：推进智慧水利建设实施。“构建智慧水利体系，以流域为单元提升水情测报和智能调度能力”已被写入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》，水利信息化建设也随之进入了新的阶段[1][2][3][4]。

为加快推进智慧水利建设，推动新阶段水利高质量发展，2021年水利部发布了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》、《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》、《智慧水利建设顶层设计》、《“十四五”智慧水利建设规划》等系列文件，明确了推进智慧水利建设的时间表、路线图、任务书、责任单。《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》指出，推进智慧水利建设需要按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，以数字化、网络化、智能化为主线，以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径，以构建数字孪生流域为核心，全面推进算据、算法、算力建设，加快构建具有预报-预警-预演-预案“四预”功能的智慧水利体系[5]。水利部信息中心蔡阳等重点针对流域防洪核心业务应用，提出以数字孪生流域建设为核心构建了具有“四预”功能智慧水利体系[6]。水利部松辽水利委员会廖晓玉等分析讨论了松辽流域防洪以及水资源管理与调配的智慧水利建设方案[7]。水利部信息中心程益联等对构建智慧水利体系的关键要素进行了梳理以及对梳理形成的应用体系给出了初步评价[8]。

2022年以来,水利部先后发布《2022年推进智慧水利建设水资源管理工作要点》、《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》、《数字孪生水网建设技术导则(试行)》、《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》等系列文件,为各级水利部门智慧水利应用体系建设提供了基本技术遵循[2] [9] [10]。中国水利水电科学研究院刘昌军等针对淮河流域防洪预报、预警、预演、预案“四预”试点工作,提出了数字孪生淮河流域智慧防洪试点建设方案[11]。长江勘测规划设计研究院饶小康等结合湖北十堰市堵河流域水库群防洪联合调度管控,构建了数字孪生驱动的智慧流域平台[12]。珠江水利科学研究院宋利祥等对标数字孪生流域建设要求,对西枝江流域智慧防洪体系成果,从数据底板、模型平台、防洪“四预”(预报、预警、预演、预案)平台等方面进行了深入剖析探讨[13]。北京工业大学李文正探索了数字孪生流域关键技术以及端、边、云系统架构,提出了从流域碎片化感知到流域全局特征感知的数字孪生流域三角形设计模型[14]。

在城市洪涝灾害防御与智慧水务方面,深圳市水务科技信息中心朱晓庆等提出了城市智慧水务应用体系的三层组织构架[15]。北京师范大学水科学研究院叶陈雷等以福州市为例,构建了面向城市洪涝的数字孪生系统,以及在防洪排涝中的作用[16]。深圳、福州、东营等地开展了先行先试工作,对于智慧洪涝管理、智慧水务数据治理体系、知识图谱和水利模型构建融合、智慧水库多维调度模型决策分析、智慧排水智能分析场景化应用、水务工程BIM模型构建和应用等新技术做了积极的探索,积累了先行实践经验。

目前有关智慧水利应用技术体系的构建大多采用水利业务驱动的策略构建智慧水利应用技术体系,而较少从智慧水利是数字新基建各项技术在水利行业的综合型创新应用的角度开展研究。本文与现有的智慧水利应用技术体系构建策略不同,开展以“广域覆盖的全要素状态感知”、“数据智能”为技术核心驱动的智慧水利应用技术体系构建研究。在此技术体系框架下,研究提出一种面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式,以指导设计洪涝灾害防御信息化平台。

本文后续的内容组织安排:在政策导读和综述分析智慧水利建设和技术应用发展的基础上,简要介绍数字新基建(新型数字化基础设施建设)涉及的关键技术,然后介绍以“广域覆盖的全要素状态监测感知”、“数据智能”为技术核心驱动的智慧水利应用技术体系,介绍面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台总体架构。

## 2. 数字新基建技术在水利行业的综合型创新应用

数字新基建是指基于新一代信息技术(互联网、大数据、云计算、人工智能、5G(第五代移动通信技术)、物联网(Internet of Things, IoT)、工业应用软件、增强现实/虚拟现实、区块链)演化生成的基础设施建设。如,信息基础设施和通信网络基础设施:5G基建、物联网、工业互联网、卫星互联网,新技术基础设施:人工智能、云计算、区块链,算力基础设施:数据中心。数字新基建支撑传统基础设施转型升级进而形成面向领域应用的融合基础设施,诸如智慧城市基础设施、智能交通基础设施、智能政务基础设施、智慧能源基础设施、智慧水利基础设施等正在成为数字新基建各项技术融合应用的典型代表。

智慧水利是数字新基建各项技术在水利行业的综合型创新应用。智慧水利主要涉及3S(遥感、地理信息系统和全球定位系统)、5G、BIM(建筑信息化模型)、数字孪生(digital twin, DT)流域、数字孪生工程、云计算、物联网、水利大数据、AI(人工智能)、空天地一体化监测感知、知识平台和模型平台、AI计算基础设施建设等数字新基建和新一代信息技术在水利行业的融合应用。智慧水利应用目标的核心是提高水利业务和行政管理工作的质量和效率,主要体现为提升服务质量、节约服务成本、提高工作效率,通过水利知识发现(knowledge discovery in database, KDD)和进一步使用,在更高层次上达成目标[8]。

## 3. 构建智慧水利应用技术体系

智慧水利可以说是水利信息化的高级阶段。智慧水利应用主要包括四类应用:水利业务、行政管理、

决策支持和知识发现。水利业务包括水文、水资源、水环境水生态、水利工程、农村水利、水灾害(防汛抗旱)、水土保持和移民等。决策支持是在利用已知知识和数据基础上,在微观、中观、宏观等不同类型决策中提供关键信息,保障决策科学。水利知识发现应用,是在水利业务和决策支持应用等积累的真实过程和成果数据基础上,根据知识的不同类型,采用基于算法的方法和基于可视化的方法,帮助人们发现蕴藏于水利数据中的新知识[8]。

水利业务、行政管理、决策支持属应用基础,为水利知识发现应用形成有效数据积累,知识发现应用是实现传统水利应用转型升级进而形成智慧水利应用的关键。智慧水利支撑传统数据收集、汇总统计、决策支持及泛在化移动应用转型升级进而形成新知识的发现,并在此基础上运用新知识,从而提升智慧水利应用的水平和能力。基于空天地一体化感知的水雨情、工情等的自动监测,以及卫星遥感、图片、视频等人工智能分析与识别,显著提升了信息采集、汇聚和使用的方式与能力,包括对相关特征信息采集和揭示更详细的时空分布规律的水平和能力。数字新基建各项技术的融合应用,同样也深刻改变着水利业务和行政管理方式。大数据、数据智能等数据技术,为海量数据采集与管理提供了支持,同时也为在此基础上的知识发现奠定了坚实基础。机器学习、人工智能、数据挖掘、知识图谱等知识管理与发现技术,为智慧水利应用提供了先进有效的技术手段[8] [17]。

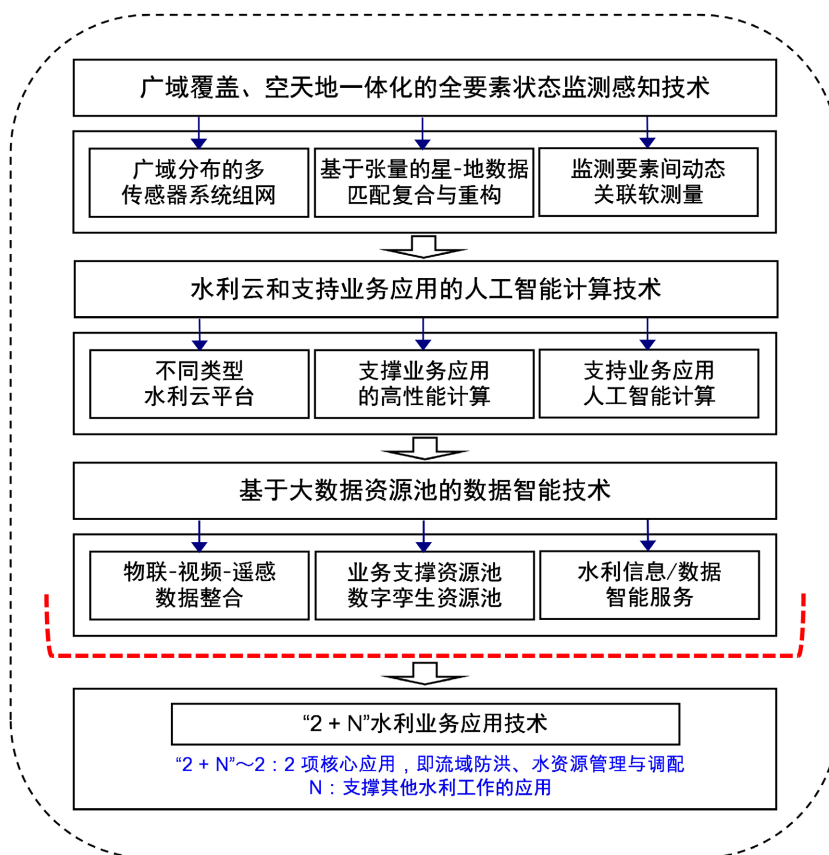


Figure 1. Application technology system of smart water management  
图 1. 智慧水利应用技术体系

基于“广域覆盖的全要素状态监测感知”、“数据智能”技术模块,构建的智慧水利应用技术体系(示于图 1)是一种服务于“2 + N”业务的技术体系。“2 + N”中,2 表示 2 项核心业务应用(即流域防洪

和水资源管理与调配), N 表示支撑其他 N 项水利工作的应用。

智慧水利应用技术体系可提炼形成四大技术模块: ① 广域覆盖、空天地一体化的全要素状态监测感知技术, ② 水利云和支持业务应用的人工智能计算技术, ③ 基于大数据资源池的数据智能技术, ④ “2 + N” 水利业务应用技术。各大技术模块又涉及若干子技术模块, 例如“广域覆盖、空天地一体化的全要素状态监测感知技术”包含“广域分布的多传感器系统组网”、“基于张量的星-地数据匹配复合与重构”、“监测要素间动态关联软测量”等子模块。

#### 4. 面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式

在上述构建的智慧水利应用技术体系框架下, 研究提出面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式。在该设计模式指导下的云平台总体架构可划分为基础设施层、大数据中心、应用支撑层、业务应用层等几个层级, 见图 2 示意。



Figure 2. Overall architecture of the cloud platform

图 2. 云平台总体架构

1) 基础设施层。主要包括水文、气象等空天地一体化监测, 积水监测, 窨井水位监测, 泵站测控, 网络/计算/存储/安全设施等, 为系统运行提供物理环境基础, 以及采用云技术搭建系统部署环境, 实现系统资源动态扩展。对于监测手段, 除了传统的监测站网监测, 还包括采用卫星遥感、高清视频、无人机、无人船、地面和水下机器人等新型监测手段。对于监测设备, 推荐使用一体化远程终端单元, 支持多类传感器, 融合多种功能, 支持 IPv6 协议, 并能实现远程统一管理[18] [19] [20] [21]。

2) 大数据中心。在汇集前端监测感知数据的基础上, 整合多源多模态(物联-视频-遥感)数据, 形成城市洪涝灾害防御大数据中心, 负责对数据进行分类、汇集、清洗、存储和共享, 通过数据资源目录对数据进行分类管理。大数据中心主要包括物联-视频-遥感数据整合和数据交换/共享平台, 基础信息数据库, 监测信息数据库, 遥感数据库、视频序列库, 业务信息数据库, 模型库(机理分析模型、数理统计模型、混合模型三类), 知识库(预警调控方案库、专家经验库、业务规则库等), 数据去噪脱敏库, 云数据库, 数字孪生资源池, 业务支撑资源池等。

3) 应用支撑层负责整个系统应用的基础平台级和服务级支持。主要包括算力支撑和 AI 计算基础设施,边与云协同计算,水利云服务(感知大数据云、模型云、计算云、决策支撑云、运维云)等。算力方面是智慧洪涝灾害防御云平台高效稳定运行的重要支撑,包括计算、通信、存储等基础设施资源。基于 IPv6 规模化部署和高效传输应用,建成各类水利云,支撑计算存储资源按需分配、弹性伸缩,为系统提供安全可靠算力保障。算法方面包括模型和知识等内容。建成模型和知识平台,提升模型的标准化和集约化水平,进一步加强与洪涝灾害防御业务的深度融合。智能识别模型方面包括遥感识别、视频识别和语音识别模型等。AI 计算基础设施开发建设方面,高速增长的海量数据与更加复杂的水利业务模型,为高性能计算带来更大的挑战。在开发建设智慧洪涝灾害防御云平台时,必须考虑当规模庞大的数据用于人工智能的训练学习时,数据量和深度学习训练过程将超出内存和处理器的承载上限。解决的方案包括改进复杂模型的 AI 训练及部署、打造敏捷易用的人工智能算法/模型、换置新一代人工智能服务器以及应用开发的软件环境等。

4) 业务应用层是对城市洪涝灾害防御业务应用的功能实现。主要包括三个应用部分:城市地区洪涝灾害监测预警,风险防控和河道、堤防、闸坝、排水管渠等工程设施联排联调。通过整合各部门防洪排涝管理相关信息,满足日常管理、运行调度、灾情预判、预警预报、防汛调度、应急抢险等功能需要。

## 5. 结束语

构建智慧水利体系已被写入国家“十四五”规划纲要,水利部提出将推进智慧水利建设作为推动新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一。目前,流域防洪、水资源管理与调配核心业务应用,以及水灾害、水资源、水工程、水监督、水行政、水公共、水生态水环境等业务应用的智慧水利建设都正处于快速发展阶段,本文对有关智慧水利政策和智慧水利技术应用体系研究现状的分析,以及智慧水利中数字新基建及新一代信息技术的领域运用做了简要介绍;提出和构建了一种以“广域覆盖的全要素状态监测感知”、“数据智能”为技术核心驱动的智慧水利应用技术体系。在此技术体系框架指导下,研究提出了一种面向城市洪涝灾害防御的智慧水利云平台设计模式,并分析了该设计模式中具体的功能模块和涉及的相关技术。

## 基金项目

本文得到江西省教育厅科学技术研究项目(项目编号: GJJ212105)的资助。

## 参考文献

- [1] 李臣明,曾焱,王慧斌,张丽丽. 全国水利信息化“十三五”建设构想与关键技术[J]. 水利信息化, 2015(1): 9-13.
- [2] 中华人民共和国水利部. 2022 中国水利发展报告[M]. 北京: 水利水电出版社, 2022.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[EB/OL]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm), 2021-03-13.
- [4] 王文. 我国水利信息化研究热点分析与趋势展望——基于 CiteSpace 和 VOSviewer 的知识图谱分析[J]. 水利信息化, 2022(3): 1-9.
- [5] 水利部信息中心. 关于大力推进智慧水利建设的指导意见[EB/OL]. [http://xxzx.mwr.gov.cn/xxgk/tzgg/202112/t20211227\\_1556995.html](http://xxzx.mwr.gov.cn/xxgk/tzgg/202112/t20211227_1556995.html), 2021-11-29.
- [6] 蔡阳,成建国,曾焱,张阿哲. 加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J]. 中国水利, 2021(20): 1-5.
- [7] 廖晓玉,高远,金思凡. 松辽流域智慧水利建设方案初探[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(2): 40-43.
- [8] 程益联,曾焱. 智慧水利应用体系及其应用梳理评价研究[J]. 水利信息化, 2021(6): 5-9.
- [9] 中华人民共和国水利部. 水利部部署数字孪生流域建设工作[EB/OL]. [http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211223\\_1556623.html](http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211223_1556623.html), 2021-12-23.

- 
- [10] 谢文君, 李家欢, 李鑫雨, 贺挺, 赵轩哲. 《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》解析[J]. 水利信息化, 2022(4): 6-12.
- [11] 刘昌军, 吕娟, 任明磊, 陈胜, 张晓蕾, 宋文龙, 张大伟. 数字孪生淮河流域智慧防洪体系研究与实践[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(1): 47-53.
- [12] 饶小康, 马瑞, 张力, 柳嘉. 数字孪生驱动的智慧流域平台研究与设计[J]. 水利水电快报, 2022, 43(2): 117-123.
- [13] 宋利祥, 张炜, 田兆伟, 胡晓张. 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.
- [14] 李文正. 数字孪生流域系统架构及关键技术研究[J]. 中国水利, 2022(9): 25-29.
- [15] 朱晓庆, 殷峻暹, 张丽丽, 付敏. 深圳市智慧水务应用体系研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(S2): 176-180.
- [16] 叶陈雷, 徐宗学. 城市洪涝数字孪生系统构建与应用: 以福州市为例[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(7): 5-11.
- [17] 徐梦溪, 施建强, 王丹华. 天地网一体的水环境监测数据整合关键技术[J]. 水利信息化, 2021(2): 29-33.
- [18] 李连国, 王丹华, 徐梦溪, 谭德宝, 文雄飞, 任康. 一种簇首选举优化与多跳机制结合的路由通信算法[J]. 计算机科学与应用, 2022, 12(7): 1801-1813. <https://doi.org/10.12677/csa.2022.127181>
- [19] 徐梦溪, 陆云扬, 谈晓珊, 施建强. 固态激光雷达传感器技术及无人机载测深应用[J]. 电子测量技术, 2021, 44(15): 89-96.
- [20] Xu, M., Wu, X., Zhang, Z. and Lu, Y. (2021) Compound-Eye Imaging Imitation-Based Whole-Feld Flow Measurement. *Computers and Electrical Engineering*, **92**, Article ID: 107141. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107141>
- [21] 詹全忠, 陈真玄, 张潮, 邹希. 《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》解析[J]. 水利信息化, 2022(4): 1-5.