

文章编号: 2097-096X(2022)-06-0492-05

智慧水利 DIS 体系构建研究与展望

蒋云钟^{1,2,3}, 刘家宏^{1,2,3}, 梅超^{1,2}, 王浩^{1,2,3}, 赵红莉^{1,2,3}, 王超^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 水利部数字孪生流域重点实验室(筹), 北京 100038;

3. 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要: 智慧水利是水利现代化的重要标志和新阶段水利高质量发展的重要实施路径。落实智慧水利总体方案, 有序推进水利“新基建”, 构建面向未来的水利基础设施体系是贯彻党中央关于“十四五”发展的决策部署的关键之举。本文提出了以自然水系数字化(Digitalization)、水利工程智能化(Intelligentization)、水利管控智慧化(Smartening)为主要内容的智慧水利 DIS 体系构建思路, 并结合不同的应用场景展望了 DIS 体系建设的关键技术。

关键词: 智慧水利; 新基建; 水利工程; 数字化; 智能化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20210321

1 研究背景

当前, 世界处于信息时代, 正经历着以“智慧化”为主要特征的第四次工业革命。物联网、大数据、云计算、人工智能、5G 等信息化新技术层出不穷, 快速更新迭代, 标志着信息时代正经历着巨变。世界各国都高度重视信息化, 着力推进各领域信息化发展^[1], 在水利现代化领域, 欧盟组织开发的欧洲洪水感知系统(EAFS)投入业务化运行, 美国建设了覆盖全国的国家洪水预警系统, 瑞典构建了全球范围的分布式水文模型^[2]。我国在智慧应用领域具有良好的发展基础, 国家在十四五和 2035 远景目标中, 把智慧化建设作为重要抓手, 视为实现国家治理体系与治理能力现代化的重要标志^[3]。我国作为一个水旱灾害频发、水问题最为复杂的国家, 水具有特殊重要地位, 不仅是经济社会发展的重要保障, 也是生态文明建设的重要基础^[4]。

智慧水利是新时代水利高质量发展的新行业形态, 以大数据、云计算、物联网、传感器等智慧科技和高新技术为引领, 带动水利行业的创新发展和升级跨越。随着国家经济社会的发展和水利事业的长足进步, 水利进入了高质量发展阶段, 智慧水利是水利现代化的重要标志和新阶段水利高质量发展的重要实施路径。在此背景下, 为了更好地践行“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路, 水利部大力推进智慧水利建设, 印发了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》^[5]和《智慧水利建设顶层设计》^[6]。“十四五”以来, 水利部制定了《“十四五”智慧水利建设规划》^[7]和《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》^[8], 将数字孪生流域和数字孪生水利工程作为当前的首要工作任务^[9]。未来一个时期, 我国智慧水利建设将进入一个重要的发展时期, 其发展水平直接关系到我国水治理体系和治理能力现代化水平^[10]。基于前期研究^[11], 本文对我国智慧水利体系构建的基本思路进行了初步探讨, 以为智慧水利建设提供参考。

2 智慧水利建设现状与发展需求

2.1 我国智慧水利建设现状 我国智慧水利建设从 20 世纪 90 年代开展水资源评价运用信息化手段开

收稿日期: 2021-12-28; 网络首发时间: 2022-08-03

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1788.TV.20220802.1702.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(52192671, 51739011); 国家重点实验室基金项目(SKL2022TS11)

作者简介: 蒋云钟(1969-), 博士, 正高级工程师, 主要从事水资源、智慧水利研究。E-mail: Lark@iwhr.com

始,经历了监测信息化、管理在线化、典型智能化三个阶段,目前正处于从典型智能化向部分智慧化迈进的关键阶段。

(1)监测信息化阶段。水利基础数据监测领域是最先开始信息化的,从1990年代开始,我国水文、水资源、水利工程建设领域逐步开展了信息化监测,如采用ADCP、航拍等手段进行监测,采用遥感反演等手段进行水资源、水旱灾害监测^[12]。2019年,汉口水文站第一个建成5G水文站,是这方面的优秀代表。这些工作的开展,一方面促使了基础数据的监测信息化水平提升,另一方面为后期智慧水利的推进奠定了良好基础。目前,我国部分涉水基础数据达到了信息化监测为主、人工校核为辅的状态,未来监测信息化在持续向更全面发展的同时,将与智慧水利建设深度融合发展。

(2)管理在线化阶段。随着水利工作的不断推进,水利管理日益复杂和系统化,迫切需要开展在线、实时、集约的管理,一些领域开始了管理在线化的实践,如“数字黄河”工程建设^[13],国家防汛抗旱指挥系统一期工程于2003年启动建设,国家水资源监控能力建设项目于2012年启动实施,一些省市开展了最严格水资源管理平台、河长制管理平台、水旱灾害管理平台等的建设,这些信息化工程的建设,促使水利管理在部分领域逐步实现了管理在线化,是智慧水利集成的雏形,极大地促进了智慧水利建设。

(3)典型智能化阶段。进入新时期,随着物联网、大数据、云计算、人工智能、5G等信息化新技术在水利领域的初步应用^[14],水利典型领域和典型工程实现了智能化,如南水北调中线调度系统、溪洛渡智慧大坝、深圳市智慧水务系统等,上述成果实现了某一方面的智能化管控,实现了综合性的智慧应用,是智慧水利的典型案列。

2.2 我国智慧水利发展需求 水利部历来高度重视水利信息化,并将推进智慧水利作为国家水治理体系和治理能力现代化的重要抓手。2017年,水利部印发《关于推进水利大数据发展的指导意见》,提出要推进数据资源共享开放,促进水利大数据发展与创新应用。2020年,水利部发布《关于开展智慧水利先行先试工作的通知》,在流域机构、省、市等不同层面选择了11个单位开展了36项智慧水利任务试点工作。2021年,水利部发布《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》,从八个方面提出了加快推进新时代水利现代化重要举措。

经过二十余年的水利信息化基础建设,以及近五年来在智慧水利方面的大力推动,我国智慧水利建设与应用取得了长足进步。部一级开展水利大数据中心建设稳步推进;长江、黄河、太湖等流域机构在水旱灾害、水量调度、水生态环境智慧化管控方面进行了长期探索;大量省市地方水行政部门开展了河长制、最严格水资源管理、水旱灾害防御、水利工程管理等方面的智慧化实践。

总体上,智慧水利建设与智慧城市等领域的智慧化应用水平仍存在一定差距,水利自身智慧化建设的需求还远未得到满足^[15],未来一段时期,我国智慧水利发展基本需求包括:

(1)基础信息透彻感知。水利信息化建设取得了长足进展,但是我国幅员辽阔、水利基础要素繁多,要实现全面信息化感知尚待时日。在全面感知的基础上,还需向透彻感知持续提升,不仅从一个时空维度上实现信息感知,还将需要从“天、地、空、水”“车、船、站、网”等不同时空维度,实现对基础信息要素的透彻感知。

(2)大数据智能互联。获取大量信息之后,水利大数据在动起来、活起来方面还存在较大差距,迫切需要通过智能化手段,打破各种看不见的数据壁垒、数据孤岛、数据烟囱,让数据能够智能的左右互通,上下联动,全域共享,协同作用。

(3)智慧水利全面应用。智慧水利应用当前处于初级的、局部的、非常态的状态,未来智慧水利的应用要向全面化发展,需要全面应用新技术,同时需要进行全面的水利知识萃取、认知、挖掘和分析,在此基础上提升水利应用的智慧化水平。

3 智慧水利 DIS 体系

智慧水利(SWP)以自然水系数字化(Digitalized)为基础,以水利工程智能化(Intelligence-oriented)

为载体,以水利管控智慧化(Smarthness-oriented)为目标,通过三者的有机融合,构建高水平的智慧水利(DIS)体系^[11]。

3.1 自然水系数字化 自然水系数字化旨在通过立体感知基础设施对自然水系要素的水量、水质状态进行全面感知,对自然水系要素的物理实体对象及其信息支撑设施的有机融合,通过高效云计算基础设施及智慧大脑基础设施对自然水系要素的现状进行评价、问题进行诊断、未来进行预测,实现自然水系要素过去、现在、未来状态的精细刻画,为水系自然要素的开发利用、节约保护提供可靠的数据支撑。自然水系主要是指自然形成的水系的物理载体,自然水系数字化的成果具体包括数字河流、数字湖泊、数字湿地、数字地下水、数字流域等方面。

3.2 水利工程智能化 水利工程智能化是对水利工程的物理对象及其信息支撑设施的有机融合,通过立体感知、高效云计算和智慧大脑等信息化基础设施,对水利工程过去、现在、未来状态进行精细刻画,实现水利工程全生命周期的智能感知、智能仿真、智能诊断、智能评价、智能预测和智能控制,重点是实现水利工程场景数字化。

水利工程智能化还要通过智能控制基础设施实现水利工程的远程自动控制、执行智慧管理体的决策与控制指令。水利工程智能化的最终目标是实现水利工程前期策划、规划设计、施工建设、运行管理全生命周期的智能感知、智能仿真、智能诊断、智能评价、智能预测和智能控制。工程智能化具体包括:智能大坝、智能水库、智能水电站、智能闸站、智能泵站、智能渠道、智能管道、智能堤防、智能分/蓄/滞洪区等方面。

3.3 水利管控智慧化 水利管控智慧化是在自然水系数字化、水利工程智能化的基础上,面向水利工程对象的前期策划、规划设计、施工建设、运行管理以及自然水系要素开发利用、节约保护的执行、监督与管理需求,分别构建行使监督管理职能、执行职能、技术支撑职能的智慧化水利管控体系,实现对自然水系要素、水利工程、水利业务的智慧化管控,重点是对不同情景的智能化模拟和水利管控的精准化决策支持。

水利工程对象的施行及运行管理,水资源开发利用、节约保护的工程、非工程措施施行,以及各类水行政管理业务的最终执行,都依赖水利管控智慧化。水利管控智慧化是建立在其所管控的自然水系数字化、水利工程智能化之上的,按照管理目标,对智能工程下达决策和控制指令,进而对自然水系施加影响。水利管控智慧化依托立体感知、高效云计算和智慧大脑等基础设施,实现对整个水利业务管控的智慧化。管控智慧化的对象按照行使行为不同又可划分为:智慧水行政主管部门、智慧工程建管部门、智慧技术支撑部门、智慧水务部门等。

4 智慧水利 DIS 体系技术需求

根据水利工作的主要领域,将智慧水利应用划分为水资源、水灾害、水生态环境、水工程和水管理五大应用场景,每一个应用场景都是在自然水系数字化、水利工程智能化的基础上,形成对水的自然-社会二元水循环过程的透彻感知和智能控制,进而实现对整个水利体系的智慧化管控,涉及到的主要技术也基本是围绕“感知、预测、决策”等方面^[16]。

4.1 水资源智慧应用场景关键技术 水资源是社会经济发展的重要基础,解决水资源问题的核心是“让相应水质和数量的水去到应该去的地方”,面对上述应用场景,水资源管理智慧应用应该在自然水系数字化和水利工程智能化的基础上,着重从水资源评价、配置、调度等方面进行智慧化管控,涉及到的关键技术主要包括:考虑动态特性的水资源多尺度智慧评价方法、水资源配置方案智慧决策技术、水资源多目标智慧调度技术等,并需要在多种关键技术的基础上,集成水资源智慧管控平台。

4.2 水灾害智慧应用场景关键技术 我国是水旱灾害最为频繁、水旱灾害损失最严重的国家之一,水灾害的主要应用场景是面向洪涝和干旱两类极端事件^[17],其关键技术包括:建设具有预报调度一体化、风险实时动态评估、分布式调度等功能的智慧防灾综合应对系统^[18],实现水旱灾害应对方案自动化生成、情景式推演、智慧化决策,推动由水旱灾害防治从人主导的“经验防灾”向计算机推送结合

人机互动的“智慧防灾”转变。

4.3 水生态环境智慧应用场景关键技术 水生态环境常态下的水利应用场景，其基础是生态环境因子的立体化、多尺度、全口径监测，在此基础上，实现对河湖健康状态的实现智慧化评价，智能化识别水生态、水环境风险，开展水生态、水环境风险应对智慧决策分析，集成监测、预警、计算等平台，形成智慧化水生态环境模拟、评估、决策软件体系。

4.4 水工程应用场景关键技术 工程智能化是智慧水利的神经末梢和双手，不仅通过监测传感器，进行工程状态、运行工况等全要素的感知，而且通过远程控制实现对工程的调度，对工程进行全景式智能感知和远程操控，主要涉及的关键技术包括水工程物联网技术、适应复杂恶劣条件下的智能监测传感器、工程智能监控信息融合远传技术、虚拟现实(VR)/增强现实(AR)技术等。

4.5 水管理应用场景关键技术 所有的水利决策最终都要通过水管理来实现，包括水利监督、河湖长制、水行政执法、水资源公报、水情信息发布等，上述内容的核心是基于水利大数据，进行水管理具体应用的数字化场景、智慧化模拟和精准化决策，包括典型场景数字化技术、大数据清洗与融合技术、智慧化模拟技术精准决策支持技术等，通过对典型场景的数字化和智慧化，服务于水管理综合分析研判与精准化决策，为行业提供高效的决策支持，为公众提出优质的水管理服务，同时为智慧城市、数字中国、相关行业升级等提供支撑。

5 结语

国家在“十四五”和未来一段时期，将把建设网络强国、数字中国、智慧社会作为推动各领域提档升级、促进国家现代化建设的重要内容。如何高效、安全、智慧地管好水，让水在适当的时候按照适当的水量和适当的水质流至适当的地方，需要大力加强水利信息化建设。经过多年持续努力，我国智慧水利建设取得了长足进步，正处于从部分智能化向全面智慧化升级迈进的关键阶段。本文提出了以自然水系数字化、水利工程智能化、水利管控智慧化为主要内容的智慧水利 DIS 体系，描绘了我国智慧水利的广阔发展前景，在此基础上，解析了智慧水利 DIS 体系的关键技术需求。未来一个时期，智慧水利 DIS 体系建设，需要大力推进物联网、大数据、云计算、人工智能、5G 等信息化新技术的应用，结合水利应用场景，落实智慧水利总体方案，不断提升水利智慧应用水平，以智慧水利助力实现国家现代化伟大进程的水安全保障。

参 考 文 献：

- [1] 李德仁, 龚健雅, 邵振峰. 从数字地球到智慧地球[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(2): 127-132, 253-254.
- [2] 侯爱中, 胡宏昌, 胡智丹, 等. 基于开源 GIS 的分布式全要素水文预报系统[J]. 中国水利, 2020(11): 43-46.
- [3] 张建云, 刘九夫, 金君良. 关于智慧水利的认识与思考[J]. 水利水运工程学报, 2019(6): 1-7.
- [4] 水利部网络安全与信息化领导小组办公室. 智慧水利总体方案[R]. 北京: 2019.
- [5] 中华人民共和国水利部. 《水利部关于大力推进智慧水利建设的指导意见》[R]. 北京: 2021.
- [6] 中华人民共和国水利部. 《智慧水利建设顶层设计》[R]. 北京: 2021.
- [7] 中华人民共和国水利部. 《“十四五”智慧水利建设规划》[R]. 北京: 2021.
- [8] 中华人民共和国水利部. 《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》[R]. 北京: 2021.
- [9] 水利部. 大力推进数字孪生流域建设推动新阶段水利高质量发展[N]. 人民网, 2021-12-24. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/1224/c1004-32315952.html>.
- [10] 蒋云钟, 冶运涛, 赵红莉. 智慧水利大数据内涵特征、基础架构和标准体系研究[J]. 水利信息化, 2019(4): 6-19.
- [11] 蒋云钟, 冶运涛, 赵红莉, 等. 智慧水利解析[J]. 水利学报, 2021, 52(11): 1355-1368.

- [12] 张学君, 马苗苗, 苏志诚, 等. 基于卫星降雨的辽宁省气象干旱实时监测研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2020, 18(1): 40-47.
- [13] 刘家宏, 王光谦, 王开. 数字流域研究综述[J]. 水利学报, 2006, 37(2): 240-246.
- [14] 张忠波, 张双虎, 耿思敏, 等. 大清河流域水工程联合防洪调度研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(6): 550-556.
- [15] 杨明祥, 蒋云钟, 田雨, 等. 智慧水务建设需求探析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(1): 133-136, 144.
- [16] 蒋云钟, 冶运涛, 赵红莉, 等. 水利大数据研究现状与展望[J]. 水力发电学报, 2020, 39(10): 1-32.
- [17] 刘昌军. 基于人工智能和大数据驱动的新一代水文模型及其在洪水预报预警中的应用[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(5): 11-22.
- [18] 付瑞平. 建智慧水利体系 提智能调度能力——访中国工程院院士, 水文学及水资源学家王浩[J]. 中国应急管理, 2021(8): 28-31.

Study on construction of digitalized, intelligence- and smartness-oriented water projects and its prospects

JIANG Yunzhong^{1,2,3}, LIU Jiahong^{1,2,3}, MEI Chao^{1,2}, WANG Hao^{1,2,3},
ZHAO Hongli^{1,2,3}, WANG Chao^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;*

2. *Key Laboratory of River Basin Digital Twinning of Ministry of Water Resources (preparation), Beijing 100038, China;*

3. *Engineering and Technology Research Center for Water Resources and Hydroecology of the Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China)*

Abstract: Smart water project (SWP) plays an important role in the water resources sector and is an important implementation path for the high-quality development of the water resources sector in the new stage. The implementation of the overall plan of SWP the promotion of “new infrastructure” in water projects and the construction of the water infrastructure systems in the future are the key to carrying out the CCP Central Committee’s decision and deployment on the development of the 14th Five-Year Plan. This paper comes up with the idea of constructing a water system that includes Digitalized natural river systems, Intelligence-oriented water projects and Smartness-oriented water resources management or DIS system. The key technologies of DIS system are discussed in the paper, considering different application scenarios.

Key Words: smart water project; new infrastructure; hydraulic engineering; digitalized; intelligence-oriented

(责任编辑: 王学风)