

农村水利工程“数智化”建设的 关键技术与推广研究

苏 慧¹, 朱明宇², 周陈新², 封宇乾², 陈文君²

(1. 金陵科技学院 建筑工程学院, 江苏 南京 211169; 2. 金陵科技学院 软件工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要: 围绕农村水利工程的“数智化”, 探讨关键技术与推广应用研究。在关键技术研究, 重点分析了无人机巡查、物联网(IoT)检测与网络升级、“一张图”业务协同及决策支持模型等核心技术的开发与集成应用; 在推广应用研究中, 本文结合实际案例, 探讨了“数智化”技术在南京市建邺区和江宁区关于河道养护、旱涝防治与灌溉养殖中的具体应用及其带来的显著效益。结果表明, “数智化”技术有效提升了农村水利工程的管理效率与决策能力, 为实现农村水利的现代化奠定了坚实基础。

关键词: 农村水利工程; “数智化”建设; 现代化; 集成应用

中图分类号: TV21

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2025)02-0038-0006

Research on key technologies and promotion of “digital-intelligent” construction of rural water conservancy projects

SU Hui¹, ZHU Mingyu², ZHOU Chenxin², FENG Yuqian², CHEN Wenjun²

(1. School of Architectural Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;

2. School of Software Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: Focusing on the “digital-intelligence” of rural water conservancy projects, the research on key technologies and promotion and application are discussed. In the research of key technology, the development and integrated application of core technologies such as unmanned aerial vehicle inspection, Internet of Things (IoT) detection and network upgrade, “one map” business collaboration, and decision support models were analyzed in detail; In the research of promotion and application, this article combines practical cases to explore the specific application of “digital-intelligent” technology in river maintenance, drought and flood prevention, irrigation and aquaculture in Jianye District and Jiangning District of Nanjing City, and the significant benefits it brings. The results indicate that “digital-intelligent” technology has effectively improved the management efficiency and decision-making ability of rural water conservancy projects, laying a solid foundation for the modernization of rural water conservancy.

Key words: rural water conservancy projects; “digital-intelligent” construction; modernization; integrated application

收稿日期: 2024-09-29

收稿日期: 江苏省水利科技项目(2021058); 国家自然科学基金项目(42101476); 江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养项目

作者简介: 苏慧(1968—), 女, 教授, 博士, 研究方向为土木水利、智慧水利、生态护坡。E-mail: suhui@jit.edu.cn

通信作者: 陈文君(1986—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为软件工程、流域模拟、湿地保育。E-mail: chenwenjun@jit.edu.cn

1 概 述

农村水利工程在农业生产、防洪排涝、供水保障等方面具有重要作用。然而,随着社会经济的发展和气候变化的加剧,传统水利工程面临着日益严峻的挑战。传统的水利工程管理方式主要依赖人工操作和经验判断,存在效率低、实时性差、数据获取难度大等问题。为了应对这些问题,“数智化”技术的应用逐渐成为提升农村水利工程管理水平的的重要手段。“数智化”通过集成物联网、云计算、大数据、人工智能等现代信息技术,为水利工程提供了更加精细化、智能化的管理工具^[1]。它不仅可以实现对水利设施的实时监控与远程控制,还能通过数据分析与建模预测水资源的供需变化、提高水资源的利用效率,最终实现农村水利工程的科学化、智能化管理。对促进乡村经济发展、提升农民生活质量具有重要意义^[2]。

农村水利工程的“数智化”发展在国内外都呈

现出积极的态势。目前国内许多地方政府和企业建立了水利数据管理平台,集成了地理信息系统(GIS)、遥感技术和大数据分析。这些平台能够提供全方位的水利数据支持,优化水资源的调度和管理。相关部门也出台了一系列政策,鼓励和支持农村水利工程的智能化升级。如,《水利科技“十四五”规划》中明确提出要加快水利工程的智能化建设,推动数字水利的发展。同期许多国家建立了综合水利管理系统,如以色列在农村水利领域采用了高效的精准灌溉技术,通过数据驱动的系统实现了水资源的最大化利用,显著提高了农业生产率。

本文从关键技术研究 and 推广应用研究2个方面阐述农村水利工程“数智化”的过程,其中关键技术研究主要包括无人机巡查、IoT监测与网络升级、“一张图”业务协同和决策支持模型;推广应用研究主要包括河道养护、旱涝防灾和灌溉养殖。总体研究框架见图1。

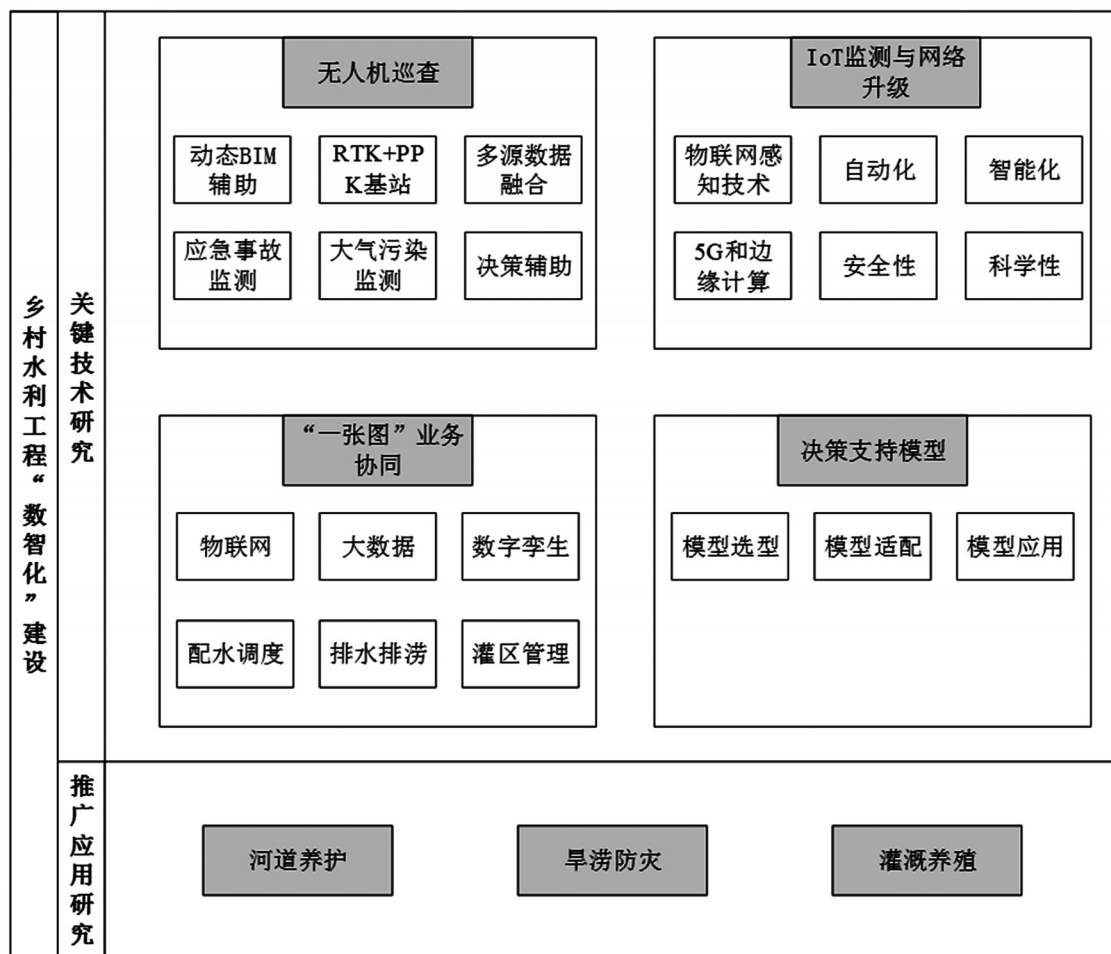


图1 总体研究框架

2 关键技术研究

2.1 无人机巡查

随着科技的进步,无人机技术在农村水利管理中的应用愈加广泛,展现出极大的潜力^[3]。无人机能够获取巡查视频、空中全景等数据,实现对乡村河湖的个性化、全方位调查与监控。

无人机巡航的关键技术的研发与应用包括动态BIM辅助和多源数据融合。利用增强现实技术,将动态BIM模型与航拍视频相结合,可以提升信息集成度和决策辅助能力。此外,通过融合多种传感器数据,可以提升无人机巡查系统的综合性能,确保数据的准确性和实时性。

研究提出使用一款专业易用的航测无人机,该无人机搭载高像素的微单相机和一体化集成RTK+PPK基站,便于单人作业并一键导出航测数据。此外,环境检测无人机平台结合气体监测分析技术与无人机遥感技术,实现天地一体化的应急事故监测和大气污染监测系统,能够不间断地更新现场实时的三维气体浓度图,提供有效的决策辅助功能。通过不断优化技术和提升系统集成度,无人机巡查技术将为农村水利管理提供更加高效、精准的解决方案。

2.2 IoT监测与网络升级

随着物联网技术的快速发展,地面IoT自动监测技术在农村水利管理中得到了广泛应用,极大地提升了水利工程的监测和管理效率^[4]。通过物联网将农村水利前端感知设备有效整合、集中管理,实现涉水要素的地面自动化监测,确保水利信息的实时、准确传输与处理。

物联网传感技术是实现地面自动化监测的基础。各种传感器,如水位传感器、土壤湿度传感器、气象传感器等,能够实时采集环境中的各类数据^[5]。如,基于物联网的激光水位测量系统可以通过高精度传感器实时监测河流水位变化,并利用无线通信技术将数据传输至云端服务器,实现数据的远程监控和管理。通过这种综合性的物联网感知技术架构,农村水利管理能够实现从数据采集到传输、再到分析决策的全流程自动化和智能化。这不仅提高了系统的运行效率,极大增强了水利设施的安全性和管理的科学性,为农村水利工程的“数智化”发展奠定了坚实基础。

在“互联网+”背景下,农村水利工程“数智化”建设正迎来新的发展机遇。以5G和边缘计算为核

心的新兴技术的应用,为农村水利的网络与决策系统升级提供了强有力的技术支撑。5G技术以其高速率、低延迟和大连接的特点,为农村水利“数智化”提供了全新的网络基础设施。通过5G网络,可以实现水利监测设备、无人机巡查系统和物联网传感器的高效连接,确保数据的实时传输和处理。边缘计算是将计算任务从中心节点分布到网络边缘的技术,可以显著提高数据处理的效率和响应速度。在农村水利中,边缘计算可以应用于实时数据分析和处理,减少数据传输的延迟。基于大数据和人工智能技术,农村水利决策支持系统的智能化升级成为可能。通过对历史数据和实时数据的综合分析,可以为水利管理提供科学的决策支持。江苏农村水利监测工程项目通过实时监测土壤湿度和气象数据,实现了精准灌溉和节水管理。

2.3 “一张图”业务协同

通过对农村水利核心业务的梳理,分析农村水利“数字应用”需求,开展水利业务与信息技术的深度融合,构建协同开发模型和数据共享模型。利用水利数据中心统一的数据资源,整合已开发完成的各类水利业务应用系统,搭建起水利业务一体化应用平台,为乡村各类水利单位以及村民提供一站式综合服务^[6]。水利业务协同“一张图”,分解不同水利职能部门的业务模块,细化农村水利业务具体职责与业务单元的对应关系,确保数字化应用服务体系的整体高效性。

在此基础上,可以构建一个综合的数据共享平台,以增强数据的互联互通和资源共享能力。平台应强调纵向和横向的数据共享机制,支持水利主管部门的现代化管理。通过“一张图”业务,可以实现包括配水调度、排水排涝、灌区管理等业务的数字化管理,实现了乡村信息资源共享。通过此框架,融合物联网、大数据和数字孪生技术,并依据“三横两纵”的体系,实现从基础数据和监测数据的采集与分析到业务管理和地理空间数据的综合应用。“一张图”业务协同概况见图2。

2.4 决策支持模型

在农村水利决策支持系统的智能化升级过程中,首先需要选择合适的模型,基于大数据和人工智能技术,考虑水文数据分析的需求,对历史数据和实时数据进行综合分析,实现科学决策支持。接下来,需要针对农村水利的具体业务需求对模型进行适配,通过整合传感器数据、地理信息和气象数据等多源数据,调整模型参数,使其能够适应不同

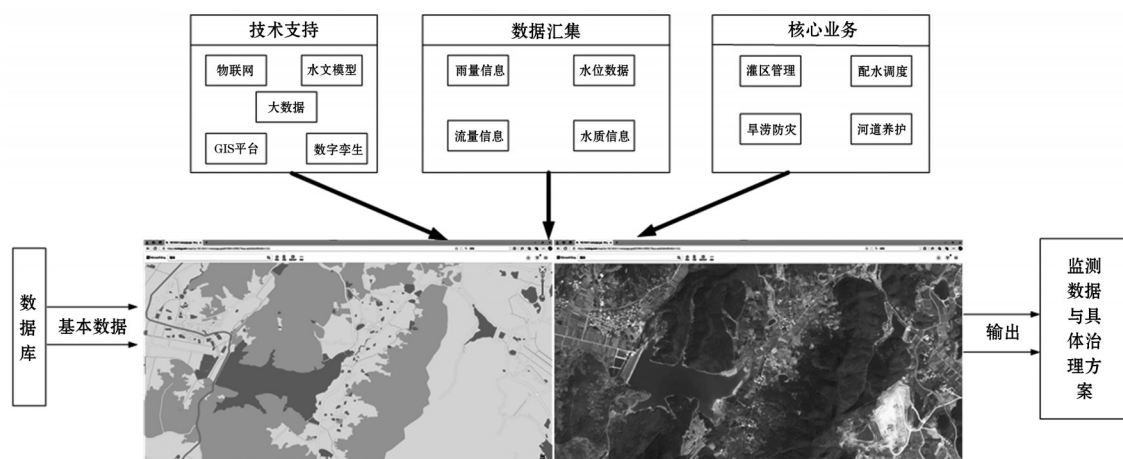


图2 “一张图”业务协同示意

的水文条件和环境特征。同时,应用边缘计算技术对实时数据进行处理,提高响应速度,保证决策的时效性。最后,在模型应用阶段,通过5G、边缘计算、大数据和云计算等技术,将采集到的数据进行整合分析,并借助云平台的强大计算能力,生成高效的决策结果。这些技术的结合不仅可以实现智能化管理,还能应用于预警、调度和应急响应等环节,进一步提升农村水利系统的决策支持能力。具体过程如图3所示。如,针对乡村小而分散的沟塘水系,可以嵌入一种水塘沟渠密集型的流域水文模型。首先,收集基本的流域数据及水文气象数据以校准水文模拟程序FORTRAN(HSPF)模型参数;接着,构建水塘的水量平衡方程,这些方程综合了直接降雨、蒸发、上游来水、设计出口流出和地下水交换等因素的影响,允许追踪和量化连接水塘之间的水动态。此方法通过深入分析乡村灌溉沟塘水系

系统间的蓄水与溢流动态,利用非支配排序遗传算法和综合静态与动态水文特征,优化了水资源管理和面源污染防治的决策过程。

3 推广应用研究

3.1 河道养护

在农村水利工程“数智化”设施项目中,河道生态智慧养护被视为项目的核心组成部分。该策略致力于利用先进的监控技术和数据分析方法,实现河道生态系统的有效保护和恢复。在研究中专注于农村水利工程中的河道生态智慧养护。通过集成现代信息技术、生态修复策略和污染控制措施,本研究探讨了如何增强生物多样性和生态系统服务功能。在河道及其周边地区,配置适宜的水生植物,如荷花和菖蒲,并通过建设人工湿地和优化生物栖息地,旨在提升水质、增强景观美观性,并提高

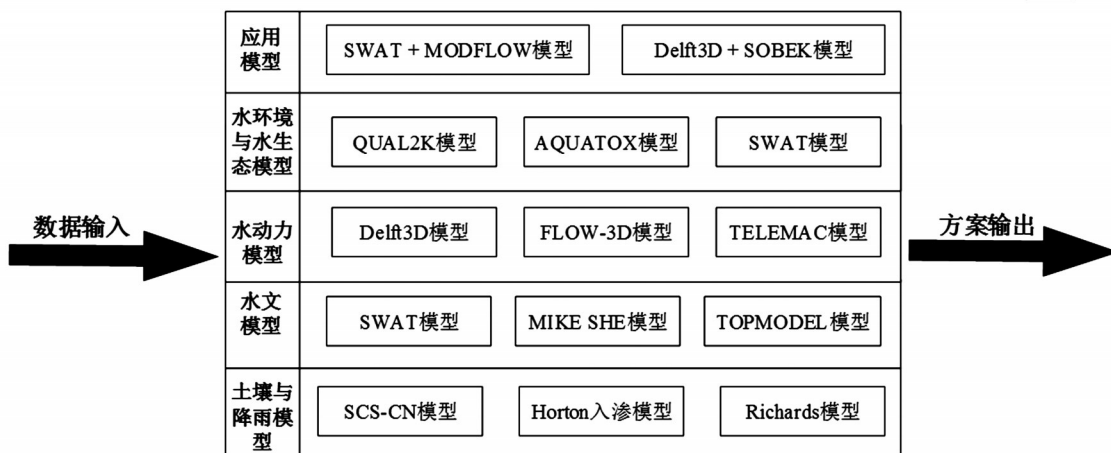


图3 决策支持模型示意

水域的自净能力。此外,通过改进农田和城市区域的排水系统及优化雨水管理,本研究防止了因地表径流而产生的进一步土壤侵蚀,实现了区域内水土资源的可持续管理和利用。整合 WebGIS 技术的水环境监测与预警系统提供了强大支持,能够实时监测水质变化,并对潜在的环境问题进行预警。这种智慧养护实践不仅有效去除了河道污染,满足了当地社区的需求,还确保了水资源的长期可持续利用和生态安全,体现了现代水资源管理中科技与自然和谐共处的理念。以南京市建邺区农村水利“数智化”平台建设为例,该系统通过一个功能强大的应用支撑平台,对区域内的水务数据进行综合梳理和整体分析,实现数据的统一汇聚、集中共享和深度挖掘。采用可视化方式实现水务信息数据的全链路管控,有效维护信息化产品的生命周期,为区域内智慧水务建设提供安全、可靠的专业信息服务。图4(a)为河道养护系统界面。

3.2 旱涝防灾

本研究深入探讨了乡村如何通过结构性和管理性措施来增强水闸的功能,以有效应对极端天气事件,尤其是在防洪和排涝的能力方面。这包括对那些过流能力不足、闸室渗透问题、抗震稳定性不足以及消能防洪设施严重损毁的水闸进行拆除和重建。通过对结构性和管理性的更新不仅提高了水闸的防洪能力,还通过智能化系统增强了对洪水动态的监控和响应能力。这一策略在研究中被证明是实现旱涝智慧防灾的关键,展示了智慧化技术在城市水资源管理和灾害防控中的实际价值和效益。

3.3 灌溉养殖

乡村农田智慧灌溉系统旨在提升水资源利用效率,通过集成创新的信息收集技术和实时监控技术,优化农田的水分分配和灌溉策略。系统通过综合运用互联网、物联网技术和地理信息系统(GIS),实现对农田水资源的智能化管理和精准灌溉。

以南京市江宁区乡村农田智慧灌溉系统为例,智慧灌溉的关键在于对水雨情的精准监测,这是实现高效灌溉管理的基础。雨天水量监测系统通过实时监测降水量和水位变化,确保灌溉系统能够根据实际水情做出及时的调整。该系统通过传感器网络采集数据,并结合气象预报和历史数据,准确评估土壤含水量和未来降雨趋势,为灌溉计划的制定和执行提供科学依据,确保作物的水分需求得到精确满足,同时有效避免水资源的浪费。图4(b)为旱涝防灾监测与分析实物图与界面图。尽管这些水塘的水位变化幅度较小,但通过将水位序列细分为8个子区间,可发现各个水塘的可用水量与水位变化呈现出明显的相关性。这一过程不仅展示了系统的计算和分析能力,还反映了智慧灌溉系统在实际农业生产中的应用潜力,为地区水资源管理提供了科学支持,实现了水资源的优化配置和高效利用。

4 总结与展望

本研究深入分析了农村水利工程“数智化”建设的现状与成就。通过创新性地将无人机巡查技术与深度学习模型相结合,结合动态 BIM 技术,实现了水利设施的高效监测和智能化管理,显著提高

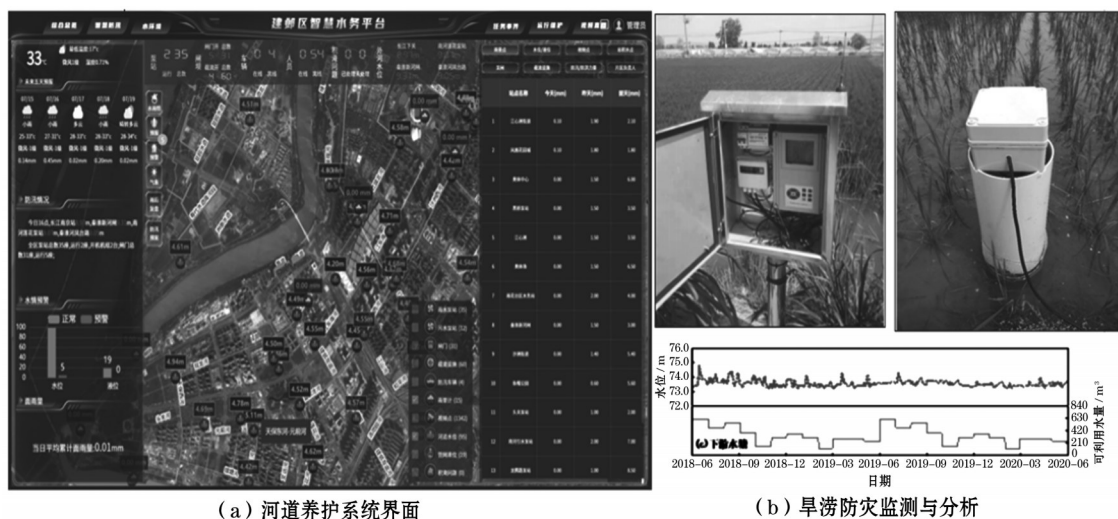


图4 推广应用实例

了对潜在问题的识别能力,为水利设施的安全管理提供了强有力的技术支持。在物联网技术的应用方面,研究开发了地面IoT自动监测系统,展示了多种传感器网络与5G技术的成功整合,显著提升了水利信息的自动化监控与数据处理能力,为农村水利的可持续管理奠定了坚实基础。进一步,通过智能决策支持系统的开发,本研究展示了大数据和人工智能技术在优化水资源管理中的潜力,特别是在应对复杂、多变的管理需求以及突发事件时的快速响应能力。综合来看,本研究提出的技术路径和创新思路,不仅为南京市建邺区与江宁区当前的农村水利“数智化”转型提供了实用的解决方案,还为未来的技术发展和政策制定提供了重要的参考依据。

展望未来,随着人工智能、物联网、边缘计算和5G技术的不断发展,农村水利“数智化”管理将迎来创新高峰。未来研究将进一步探索这些技术在复杂环境下的应用潜力,特别是在河道养护、旱涝防涝和灌溉养殖系统中的应用。通过持续的技术

创新和优化,农村水利工程的管理将更加精准、高效,为乡村振兴战略和可持续发展目标提供强有力的技术支撑,助力建设更加绿色、智慧的生态环境。

参考文献:

- [1] 陈述,纪勤,陈云,等. 基于知识图谱的智慧水利研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):143-153.
- [2] 田晓慧. 乡村振兴战略背景下的农村水利发展思路探析[J]. 中华建设,2024(7):48-49.
- [3] 梅雄. 水利工程智能监测预警系统研究[J]. 人民黄河,2024,46(8):后插2.
- [4] 郝欣. 物联网在农业领域与农村发展中的应用[J]. 自动化与仪表,2024,39(8):159-161.
- [5] 方佳琳,叶勇. 智慧水利物联管护系统的建设与应用[J]. 浙江水利科技,2023,51(4):55-58.
- [6] 吴昊,贾翔,贾方,等. 基于数字孪生平台框架的天津市智慧水务一张图建设研究[J]. 水利技术监督,2024(2):44-47,59.

(上接第42页)

品的用水定额时,需要充分考虑生产工艺和生产原料等细节信息,从而制定出具有代表性和差异性的用水定额,以供企业区分辨析,同时要根据产业结构调整定期更新,确保定额的时效性和有效性^[10]。

用水定额制定、实施和管理不仅涉及水行政管理部门、市场企业等主体及学校机关等单位,还涉及广大取用水户。用水定额包含的数量和内容较为庞大复杂,而且取用水户的用水情况也千差万别,因此为帮助各类主体更好地了解使用定额,水行政主管部门可以定期开展用水定额专题培训,指导企业单位更深刻地了解用水定额的作用、制定标准和适用范围等,同时积极加强宣传引导,推进用水定额管理工作更好开展^[11]。

参考文献:

- [1] 刘强,王海伟. 关于完善用水定额管理制度体系和强化用水定额管理的设想[J]. 中国水利,2020(5):6-7.
- [2] 肖军,王腾,罗敏,等. 服务业用水定额编制的环节与方法研究[J]. 水利发展研究,2022,22(7):14-18.

- [3] 郑在洲,常本春,张杯媛. 工业用水定额编制方法探讨[J]. 江苏水利,2001(10):33-35.
- [4] 刘志辉. 工业用水定额修订理论研究[D]. 扬州:扬州大学,2010.
- [5] 余里红. 工业用水定额编制方法探讨及应用[J]. 水利科技,2008(3):32-34.
- [6] 孙婷,张雨,邵芳,等. 我国工业用水定额理论与应用初探[J]. 中国水利,2015(23):46-48.
- [7] 何菡丹,陈松峰,孙晓文. 江苏省工业用水定额修订方法浅析[J]. 江苏水利,2017(11):30-33.
- [8] 孙美,王爽,王腾. 服务业用水定额差异现状、成因及对策[J]. 水利发展研究,2021,21(5):61-65.
- [9] 王煜婷,滕云,袁景明,等. 黑龙江省建筑、生活及服务业用水定额修订探析[J]. 水利科学与寒区工程,2021,4(5):175-178.
- [10] 张文丽,乔志刚,赵鑫. 内蒙古行业用水定额修订实践概述[J]. 内蒙古水利,2021(11):32-34.
- [11] 邓文雅,耿浩坤,熊林. 用水定额编制方法研究——以2016衢州市用水定额编制为例[J]. 四川建筑,2019,39(1):213-215.