

# 浅谈数字孪生技术在智慧水利工程中的应用

© 黄立锴 广东省源天工程有限公司

► 摘要: 推进数字孪生技术在智慧水利中的建设, 加快构建具有“预报、预警、预演、预案”四预功能的流域和水利工程, 有利于相关部门更科学、精准的进行防洪、减灾、洪水调度等水安全处理, 在灾害来临之前主动防范于未然, 减少灾害对城市经济、人民生命财产的影响, 促进新阶段水利高质量发展。因此, 加速推进数字孪生技术在数字孪生流域和数字孪生水利工程中的应用势在必行。

► 关键词: 智慧水利; 数字孪生技术; 防洪减灾; “四预”功能

DOI:10.14125/j.cnki.zjsy.2022.16.027

“推进智慧水利建设, 是提高水利信息化水平、实现数字转型和智能升级的重要抓手, 是推动新阶段水利高质量发展、全面提升水安全保障能力的重要路径, 是衡量水利高质量发展的显著标志。”水利部总经济师程殿龙深刻阐述智慧水利建设的重要性。而智慧水利建设道路上, 数字孪生技术在水利工程中的应用极其重要, 该技术是提升水利科学化、精准化、高效化决策管理能力和水平的有力保障, 是未来水利工程建设的潮流。

## 1. “智慧水利”建设的起源

2008年11月, 信息技术领域巨头IBM公司的董事长彭明盛在美国纽约召开的外国关系理事会上, 发表了以《“智慧地球”: 下一代领导人议程》为题的演讲报告, 其中提出了关于“智慧地球”的相关理念, 进而掀起了国内智慧城市建设的浪潮。智慧城市是新时代城市科学发展的伟大目标, 一旦建成便可以通过运用数字信息技术, 预测、分析、管理城市运行相关系统的各项关键信息, 进而对市民日常生活、公共安全卫生、环

境保护、城市服务等各种需求快速做出智能响应, 高效化决策管理能力, 提升城市的竞争力和吸引力, 实现创新、宜居宜业和可持续发展的现代化城市。

而水利行业作为基础产业在智慧城市建设的浪潮中得到优先发展的机会, 智慧水利建设的设想也孕育而生。智慧水利是将流域或水利工程信息化之后, 通过BIM、云计算、大数据、新型平板显示、通信网络、物联网、三网融合、数字孪生等新兴技术与水利信息系统的结合, 高度整合水利信息资源并加以开发利用, 实现水利信息共享和智能管理, 能有效提升水利工程运用和管理的效率和效能。

## 2. “智慧水利”建设的必要性及关键

### 2.1 “智慧水利”建设的必要性

2022年6月, 珠江流域第二大水系北江现百年一遇特大洪水, 防汛应急响应提升至I级。期间, 北江干流广东英德站现历史实测最高洪峰水位35.97米; 北江飞来峡水利枢纽现历史最大洪水, 入库流量达19900立方米每秒; 北江干流石角站现历史

最大实测流量18500立方米每秒。据相关媒体报道: 广东省应急管理厅6月21日通报, 受强降雨影响, 广东多地遭受暴雨洪涝、山体滑坡等自然灾害。截至20日11时, 韶关、河源、梅州、肇庆、清远等地共47.96万人受灾, 农作物受灾面积27.13公顷, 倒塌房屋1729间, 直接经济损失高达17.56亿元。

由此事件可知, 暴雨洪涝等水利灾害容易对城市经济、人民生命财产造成严重伤害和巨大损失。我们应该尽快对各大江河进行防洪治理, 提高其抵御洪水灾害的能力。而智慧水利工程通过利用先进的信息科学技术, 实现水利工程设施智能化管理和运行, 特别是在洪水防洪调度、水旱灾害防御、应急推演等方面, 起到预报、预警、预演、预案功能, 有效降低水利灾害对城市经济、人民生命财产的影响, 从而促进人水和谐及水利的可持续发展, 为社会公众创造更美好的生活。

### 2.2 “智慧水利”建设的关键—数字孪生技术

智慧水利的建设, 重点在于各大流域及水利工程对数字孪生技术的

应用。在水利部“三对标、一规划”专项行动中指出,推进智慧水利建设,一是通过构建数字孪生流域<sup>[1]</sup>。充分利用自然地理环境、干流支流水系、流域水利工程、历史运行状态、经济社会信息为主要内容。通过多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,对物理动态流域进行数字化投射,在虚拟空间形成数字高仿真流域。二是开展智慧化模拟<sup>[1]</sup>。通过数字孪生技术映射出的数字流域,形成水利专业模型、智能识别模型、可视化模型等仿真平台,采用可视化示踪技术让水流动态在现实与虚拟之间保持数据同步,形成数字流场,实现数字流场、数字映射、数字仿真在新型平板三维可视化的展示。通过该平台进行水旱灾害、暴雨洪水等水安全要素“四预”的模拟分析。三是支撑精准化决策<sup>[1]</sup>。通过数字孪生流域的建设、智慧化的模拟,从而构建智慧水利平台,在流域防洪调度、运行状态、调度方案预演、工程安全监测等预演基础上,辅助生成科学化决策建议方案。

在工业领域,数字孪生技术被广泛推广和使用。该技术主要运用物联网技术、大数据技术、云计算技术、人工智能技术等新兴技术高度融合,实现系统建模与仿真应用。数字孪生技术通过物理空间数字化之后,在虚拟空间映射一个与物理空间高度仿真、实时同步的数字空间,利用数字空间我们可以进行一系列的智能预演、预测模拟等措施,从而实现方案优化、归因溯源、事前预警等效果。对于处在运行维护阶段的水利工程而言,数字孪生平台提供了工程运行期间的雨水情况、水流方向、流量大小、安全监测、设备运维、风险预警等几大功能,反映了真实世界中的水利工程的运行状态,有利于相关部门对防洪减灾、洪水调度等水安全处理更具科学化、精准化,在灾害来临之

前主动防范于未然,减少灾害对城市经济、人民生命财产的影响,促进新阶段水利高质量发展。

### 3.数字孪生技术的应用

#### 3.1大藤峡数字孪生工程

2021年12月21日,中国水利行业第一个数字孪生水利工程—大藤峡数字孪生工程建设宣告正式启动,对贯彻落实水利部党组决策部署,试点建设数字孪生水利工程,推进数字孪生技术在水利行业落地应用具有里程碑意义。

大藤峡水利枢纽工程是国家要求加快推进的重点工程,不但是经国务院审核批准的《珠江流域综合利用规划》《珠江流域防洪规划》两大珠江流域规划确定的流域防洪控制性枢纽工程,也是广西“西江亿吨黄金水道”“珠江—西江经济带”建设的重点工程。

数字孪生系统以大藤峡水利枢纽为物理原型,充分运用大数据、云计算、融合通信、VR等前沿技术,将信息化、数字化、直观智能化与水利管理需求有机结合,以数字孪生水利工程为点铺成数字孪生流域的面。该系统将监控仿真、检修模拟、数学建模、三维引擎、虚拟现实、专业培训、考试竞赛、应急推演等功能通过云平台有机结合为一体,将实体工程完美映射到虚拟空间,以实现模拟、预测、控制实体工程,实现数字工程与实体工程同步仿真运行,从而真正达到“智能感知、智能处置、智能考评、智能改进”。数字孪生大藤峡建设“四预”平台初步搭建完成并上线试运行,水情预报、风险预警、前瞻预演和处置预案等功能进一步提高,为2022年汛期防洪度汛提供了坚实技术保障。

#### 3.2数字孪生黄河

2022年5月25日,黄河水利委员会以黄河中游发生较大洪水和三门

峡至花园口区间发生类似2021年河南郑州“7·20”暴雨洪水为背景,举行2022年黄河防御大洪水调度演练。演练以黄河中下游防汛会商预演系统为基础,重点演练了水文监测预报预警、洪水调度方案和洪水演进模拟预演、滩区迁安、险情抢护与指挥决策等环节<sup>[2]</sup>。

该系统对气象云图、降雨实况预报、水情实况预测等在平台上进行直观呈现,将雨区范围内病险水库、下游有人的淤地坝等重点位置在图上清晰标志,对预警信息进行“闪灯提醒”。防汛演练指挥部在黄河中下游防汛会商预演系统提供的水文监测数据预报基础上,合理调用河道排洪减灾,科学调度骨干水库群拦洪削峰,再利用东平湖蓄洪区调蓄洪水,最大程度开发防洪工程体系潜力,确保洪水平稳过境,实现减轻洪涝灾害损失的目标。

根据黄河下游洪水调度模拟预演,可以清楚的了解到本次洪水下游的淹没范围及水深、受淹人口及经济损失等情况,进而建议在某些重点河段设置重点防洪工程,降低洪水带来的危害。

黄河中下游防汛会商预演系统是数字孪生技术在黄河建设应用取得的阶段性成果,其有效提升了防汛工作的科学化、数字化、智能化水平,为防汛指挥提供科学、精准、高效的决策路径。通过不断仿真预演系统水情实况、洪水预报、水库调度、洪水演进及淹没分析、洪水风险情况,能逐步提升“四预”功能和预报调度在线交互能力,为黄河治理提供有力的技术支撑。

#### 3.3长江中游行蓄洪空间数字孪生平台

2022年6月8日,长江水利委员会开展了以长江中游行蓄洪空间数字孪生平台为基础的长江1870年洪水防洪调度演练活动。

1870年(清同治九年,庚午年)长江特大洪水是自1153年以来调查到的8次历史大洪水、20世纪实测到的5次大洪水中最大的洪水。因此,了解调查这次洪水的雨情、水情和灾情、收集相关数据,习古而鉴今,对综合治理长江有着重大的现实意义。

长江委通过将1870年洪水的洪峰水位、洪峰流量、洪水过程、洪水总量等数据导入数字孪生平台,通过平台几大功能与1870年长江特大洪水展开博弈。一是通过孪生平台提供的重庆主城区智能灾损评估功能,直观、准确的评估过境洪水对沿江城镇造成的淹没影响。二是通过三峡水库库区回水淹没空间及社会经济影响动态计算及评估模型,掌握在不同洪水防洪调度方案下三峡库区灾害淹没损失情况;三是通过长江中下游(荆江河段、城陵矶河段、洞庭湖区)堤防与关键控制站之间的关联关系,合理安排堤防巡查防守、动态远程掌控灾害情况;四是通过水工程防洪能力实时分析模型,智能、高效的为防洪风险评估及流域后续防洪态势研判提供了科学技术支持;五是通过知识图谱、耦合机理模型与数据驱动算法的蓄滞洪区防洪调度运用高阶模型,有力支撑了方案决策对比和预案生成等业务功能。

经过三年时间的打磨,长江中游行蓄洪空间数字孪生平台基本实现了以河道堤防、洲滩民垸、蓄滞洪区等行蓄洪工程智慧化调度模拟与预演、方案风险动态化评估的精准决策支持功能,为长江安澜提供的强而有力的保障。

#### 4. 数字孪生技术在水利工程中的发展现状

2021年3月11日,十三届全国人大四次会议表决通过了《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》,

该纲要明确提出“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”的要求<sup>[3]</sup>。水利部决定在“十四五”期间,按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”总要求,大力推行开展先行先试工作,预计两年时间,在大江大河重点河段、支流开展数字孪生流域建设工作,在重点水利工程开展数字孪生水利工程建设工作,旨在打造一批可推广、可复制的成果和经验,带动全国数字孪生技术在水利工程中的应用。根据水利部印发《数字孪生流域建设先行先试台账》(办信息[2022]138号),其中涉及56家单位,确认了94项任务,包括46项数字孪生流域建设任务、44项数字孪生水利工程建设任务及4项水利部本级任务;

2021年11月29日,水利部再次发文《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》,该指导意见明确指出了近十年推进智慧水利建设的主要任务:一是到2025年初步建成智慧水利体系1.0版本:建成七大江河数字孪生流域、完善基础信息建设、实现“四预”功能。二是到2030年初步建成智慧水利体系2.0版本:全面建成不但具有“四预”功能,还能兼具防洪任务的数字孪生流域,并在数字化、网络化、智能化方面有较大的提升。三是建成完善的智慧水利体系:在全国流域及水利工程治理过程中,全面实现数字化、网络化、智能化管理<sup>[4]</sup>。

2022年6月17日,水利部全面启动七大江河数字孪生流域建设方案审查,水利部副部长刘伟平强调,水利部党组高度重视数字孪生流域建设,将其作为推进智慧水利建设的核心和关键。在水旱灾害防御、流域防洪、水资源管理与调度、水资源节约与保护、水行政管理、水利工程安全运行、水监督管理等业务领域上,全面开展数字孪生流域建设,充分运用

云计算、大数据、新型平板显示、通信网络、物联网、三网融合、数字孪生等新一代信息技术,结合七大江河所需业务领域,建成具备多功能的数字孪生工程,为水利保护治理各项业务,提供数字化、智慧化、精准化的模拟和决策,为新阶段水利生态保护和高质量发展提供强有力支撑和创新驱动。

#### 5. 结语

智慧水利是新阶段水利高质量发展最显著的标志和重要实施路径之一<sup>[3]</sup>,水利部将数字孪生流域作为推进智慧水利建设的核心和关键,它是一个极具创新性且复杂的系统工程,建设内容丰富,建设要求精准,建设任务繁重,有很多科学问题值得去研究和探索,有很多技术、产品、模型正待研发。

2022年是数字孪生流域建设的元年,全国各地正在我们充满着好奇与期许,期待各级水利政府部门,数字孪生水利企事业单位及相关专业人士,共同努力推进数字孪生技术在智慧水利中的应用及发展,点亮水利智慧之光。[1]

#### 参考文献:

- [1] 李国英. 推动新阶段水利高质量发展为全面建设社会主义现代化国家提供水安全保障[J]. 中国水利, 2021, (16): 1-5
- [2] 刘晓阳, 黄峰, 柳平. 以练备战 守护黄河安澜[N]. 河南省. 河南日报, 2022
- [3] 张莹, 陈斌, 王奇. 强化“四预”助力太湖流域防汛智慧化[J]. 中国水利, 2022, (08): 39-40+46
- [4] 水利部信息中心. 水利部印发关于推进智慧水利建设的指导意见和实施方案[J]. 水利建设与管理, 2022, 42(01): 5