

数字孪生技术 在连云港市“清水进城”中的应用

陈占才, 卢中华, 朱孟东

(连云港市临洪水利工程项目管理处, 江苏 连云港 222002)

摘要:从工程运行视角解析“清水进城”行动方案,运用数字孪生技术构建知识图谱,赋能工程调度,针对不同来水、调度措施、调度目标下的调度预演以及多方案比选等功能,提前规避风险,支撑精准化决策,提升水旱灾害防御、水资源集约、安全利用,以水利工程管理“软实力”助推硬件设施功效发挥,为“清水进城”智慧调度奠定基础。

关键词:河长制; 数字孪生; 调度; 水资源

中图分类号:TV882.8

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)06-0069-0004

Application of digital twin technology in the action of “clean water into the city” in Lianyungang

CHEN Zhancai, LU Zhonghua, ZhU Mengdong

(Lianyungang Linhong Water Conservancy Project Management Office, Lianyungang 222002, China)

Abstract: From the perspective of project operation, analyze the action plan of “clear water into the city”, build a knowledge map by using digital twin technology, empower project scheduling, avoid risks in advance, support accurate decision-making, and improve flood and drought disaster prevention, intensive and safe utilization of water resources according to the functions of scheduling rehearsal under different incoming water, scheduling measures and scheduling objectives, and multi scheme comparison and selection, promote the effectiveness of hardware facilities with the “soft power” of water conservancy project management, and lay the foundation for the intelligent dispatching of “clean water into the city”.

Key words: River Chief System; digital twin; dispatch; water resources

1 概 况

连云港市“清水进城”行动工程路径为石梁河水库—新沭河—沭南闸—通榆河(沭南航道、乌龙河)—乌龙河调度闸—鲁兰河(蔷薇河、通榆河)—富安调度闸—蔷薇河,除了河道外,通流的现有水利工程有石梁河水库泄洪闸、蒋庄闸、沭南闸、乌龙河调度闸、富安调度闸等,直接关联太平庄闸、临洪

闸,另外有民主河闸、马河闸、东灶自排闸、三洋港闸等工程亦需联动配合。

该区域为典型平原河网地区,河流纵横交错,河道平缓,水面比降小、流量小、流速低,受洪水、潮汛、工程的影响,流向变化不定,水流有顺流、滞流、部分滞流、逆流,同一河网不同流向可能组合成多种流态。河网水流不仅受潮汐的影响,而且受水工建筑物的控制,流态复杂^[1]。新叠加的引调水功能

收稿日期: 2021-12-30

作者简介:陈占才(1977—),男,高级工程师,主要从事水利工程运行调度管理工作。E-mail:czc0509@qq.com

再次提出不同的河流流向、工程配合方式,这对工程调度提出新的严格要求。

2 水利调度

水利调度是指运用各类水工程蓄、滞、泄、挡、抽、调、引等功能,对水资源在时间、空间上按需要重新分配或调节江河湖泊水位,最终达到人工干预目的,是一种有效的人工干预自然径流,进而充分发挥水工程社会效益的行为^[2]。

2.1 临洪片区典型调度过程

以2021年台风“烟花”降水期间临洪枢纽主要调度程序为例,分析探讨临洪片区典型调度过程。

2.1.1 预降河道水位、腾空库容

7月25日相继开启三洋港挡潮闸、临洪闸、东站自排闸、乌龙河调度闸、民主河闸、马河闸,预降新沭河、蔷薇河、鲁兰河以及其他蔷薇河支流水位,为洪水预留空间。洪峰到来之前,三洋港挡潮闸错峰排水,将新沭河下段降至0.5 m,蔷薇河—临洪闸闸前降至2.0 m。

2.1.2 新沭河泄洪

三洋港挡潮闸自7月25日10时起每潮开闸,7月28日21:25至8月2日22:42,三洋港挡潮闸未间断排水,中间多次调闸,期间满开度运行30.5 h,闸下最高水位3.63 m,闸上超过3.7 m。

2.1.3 启动强排泵站

7月28日14:28,大浦站开机强排,29日20:32停机,排水702万 m^3 ;临洪西站7月28日16:30开机,8月1日5:30停机,排水1670万 m^3 ;临洪东站7月30日9:53开机,7月31日18:04停机,排水5 220万 m^3 。

2.2 临洪片区调度评估及分析

临洪片区的水情调度重点为错峰排水。有以下层面的错峰排水:新沭河与潮汐错峰,蔷薇河、鲁兰河与新沭河错峰,乌龙河与鲁兰河错峰,大浦河与新沭河、蔷薇河错峰。因此,错峰时机最有效利用的情况为落潮后,三洋港挡潮闸开闸排水,临洪闸承泄鲁兰河洪水,通过关闭富安调度闸,大开度开启临洪闸,将临洪闸闸前水位尽量拉低,开启乌龙河调度闸排除乌龙河涝水。此时,乌龙河、鲁兰河、新沭河、海潮呈现梯级状态,对工程启闭时机及开度要求很高,需紧盯水情及水闸流态,一旦水位逼平及时关闸。新沭河潮峰期间,临洪闸于7月30日10:52关闸,31日10:32再次开启,关闸时间不到24 h,此外一直在错峰排水。分析水情,掌握错峰趋

势及规律,充分利用水闸自排,准确判断强排投入时机,有效应对洪水叠加影响。此次行洪期间,临洪东站开机运行32 h,排水5 220万 m^3 ,其余1亿 m^3 水通过自排承泄。

富安调度闸的控制运行充分反映平原河网地区的水系复杂性,其在台风“烟花”降水期间运行情况为:7月28日15:29关闭,利用临洪闸大开度优势,拉低鲁兰河水位,为乌龙河自排创造机会,减轻乌龙河排洪压力,延迟西站强排投运时间;7月30日15:50开启,利用东站开机,强排蔷薇河时连带抽排鲁兰河涝水;7月31日10:11关闭,利用鲁兰河高水创造自排条件,提前开启临洪闸,自排、强排同时进行,减轻东站负担,提高排水效率。

调度工作得益于近年来水文自动化取得的进步,主要口门及特征断面基本完成自动水位计装设,实时监测水位变化,各水文站点及时测流,监测蔷薇河、东站引河流量,重点工程视屏监控全覆盖。这些设施在现行调度模式下发挥了重要功效。“清水进城”行动涉及的水工程调度繁复,包括水库调度、泵站调度、水闸调度,按照控制要素的不同,分为水位控制调度、流量控制调度,在不同时段需做到减灾调度和兴利调度的及时切换。调度工作在由以水旱灾害防治为主向注重资源与生态环境相协调的发展方式转变的同时,必须加强智能化建设。

3 数字孪生技术在水情调度中的应用展望

当前,水利工程调度领域存在的主要问题包括模型能力不足,支撑决策精准化程度不高,预报仍以集中式、经验性模型为主,预警能力不足,预案精细化程度不够,预演能力难以支撑多方案优选,新时期急需构建智慧水利体系,以流域为单元提升水情测报和智能调度能力^[3]。推进数字化转型,用数字技术重构组织和业务,组织结构去除边界、扁平化、平台化、生态化,增强、创造社会多个层面的交互能力。

“清水进城”线路行经水系复杂,穿越水功能交叉重叠的新沭河—蔷薇河片区,该片区已完成流域防洪、区域防洪治涝、城市防洪以及跨区域调配水工程建设,具备防洪、挡潮、治涝、调水等多重功能,近年来频繁参与水环境生态调度运行,还需顾及内河航运的有关要求,运行任务复杂、繁重^[4]。在这种局面下,推动智能化建设,发挥数字化、网络化、智

能化对水利现代化的加速器、催化器作用^[3],推进调度决策科学化,水利治理管理精细化,水利公共服务高效化,提升水资源优化配置能力。

3.1 研究成果

3.1.1 新沭河—蔷薇河洪水调度模型研究

中国科学院力学研究所刘青泉等^[5]于1999年进行“新沭河—蔷薇河洪水调度模型研究”,根据地区河流分布及洪水特点,确定防洪调度原则,建立了考虑降雨汇流过程与潮汐顶托作用下的洪水演进模型。调度模型对蔷薇河的降雨、汇流及槽蓄过程采用水文学方法进行计算,并建立临洪闸水位及下游水位与临洪闸泄流量之间的动态关系,进而以新沭河、临洪河一维非恒定洪水演进数学模型为主体,与蔷薇河临洪闸泄流过程联合求解,确立新沭河—蔷薇河整体防汛调度数学模型,为地区防洪调度提供依据。

3.1.2 临洪水利枢纽闸泵系统联合调度研究

河海大学董增川等在“临洪水利枢纽闸泵系统联合调度研究”项目中为合理预测水量调度对市区水环境的影响,建立了符合该地区水文特点的水量数学模型。大型河网水系复杂,河道和人工建筑物众多,模拟过程中对此予以概化,以解决模型的计算速度等问题。概化河网基本反映天然水系的水力特征。临洪地区水力概化后的河网包括镇级以上河道、重要村级河道、湖泊、入江排水水闸、分片控制水闸,河网概化为34条河道、55个无调蓄能力节点、8个边界节点、180个断面。该研究实现对河网地区闸泵系统的联合调度模拟,对河道中的闸站根据水力特征进行了内边界处理。利用Saint-Venant方程组建立了平原河网水动力学模型,进行了平原河网地区涝水、洪水、潮水的闸泵联合调度模拟^[1]。

3.2 建立历史案例数据库

新沭河在最近5年行洪数十次,在已完成的自动化水文设施的监视下,过程数据基本完整。可对历次行洪数据进行梳理盘整,得出河道不同断面在行洪时随时域变化的水位、流量、流速、淹没线等数据,建立历史典型案例数据库,整合新沭河上游泄洪、调度指令,潮汐以及蔷薇河支流内涝遭遇情况等信息,进一步对各影响要素分类组合,与新的洪水过程进行比对,作插值处理,增加调度比选性和精准度。

4 数字孪生技术实现路径

由于特征洪水重现期长,边界条件复杂,真实

场景难以模拟,调度失误后果严重,不容许试错,且普通建模难以满足要求。数字孪生为现实世界的物理存在增加一个以数字化形式存在的“孪生体”,并与物理本体进行动态虚实映射和互操作,形成一个便于创造和体验的虚实共存生态。具体到水利工程调度中,通过利用河道、闸涵等水工建筑,结合水位水质监测、自动化控制等监控手段,充分利用历史运行数据,集成水文、水动力学、水环境、水生态、潮汐等仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体工程的全生命周期过程。

数字孪生技术可以在河流、工程之间互动,提供从决策到运行,环境、城建、水利、市政等多层面交互能力,为调度决策打破空间和层级壁垒,使指令执行周期指数级缩减,实时动态评估调度效果,甚至能够根据调度意图直接编译指令,增加指令的可执行性。

4.1 深入勘察基础水文数据

对新沭河、蔷薇河、通榆河、鲁兰河、淮沭新河、乌龙河等河流的坡降、断面、糙率等参数实测推算,率定各口门不同水位组合出流曲线、槽蓄、湿周、河床性态、流速,建立数学模型,准确反映河流特征;分析历史数据,对区域降水量和径流关系,以及径流和产流关系进行概化;对区域工程情况精准定位,每座闸涵对应的河流、渠道水量、水质特征及其季节性变化进行预测。

4.2 加强实时数据采集监测

以各支流流经区域的自然地理、干支流水系、水利工程、经济社会信息为主要内容,如农业种植、养殖情况,土壤及植被情况,生产、生活取水和污染情况等反映的物理流域进行全要素数字化映射,并实现物理流域与数字流域之间的动态、实时信息交互和深度融合。对蔷薇河干流100余座取排水口门监测全覆盖,实时反映水情、水质变化及行进情况,验证数据模型分析结果并实时调整有关参数。集成耦合水文、水力学、水资源、水环境、水土保持、水利工程安全等多维多时空尺度数学模型,扩展数字化表达和可视化呈现功能,构建知识图谱、业务规则、历史场景和专家经验等知识库,打造数字孪生流域模拟仿真平台。

4.3 动态评估调度成效

数字孪生流域的目标重点是最优化方案以规避风险、减少损失、提高效益,构建知识图谱,实现“数据感知—智能识别—知识图谱构建—深度学习—智能决策”的循环,为精准决策提供依据。通过

构建模拟仿真平台,为精准调度提供细化、量化、动态、直观的计算分析,通过模拟仿真推演,可视化呈现调度效果,如“降雨—产流—汇流—演进”过程,或“污染—调水—改善—优化”过程推演,提供空间数据计算、分析、查看以及路径规划、漫游等功能;构建来水预报、需水调配、水量分配、水量调度等模型,开发不同来水、调度措施、调度目标下的调度预演以及多方案比选等功能,提前规避风险,为“清水进城”打造智慧调度平台。

4.4 构建“可编程枢纽”

“清水进城”行动是结合区域河川地理状况,有效利用前期水利建设成果,在“问题导向”下盘活水利工程、水资源的一次探索,有效利用了原有防洪、调蓄、挡潮工程,变通使用通榆河送水工程的“逆行”方式,实现全新的解决方案。连云港市水利建设成果卓著,这些水利设施在数字技术支持下,可以类比分析出多重组合方式。通过对新沐河干流的精细管控,归纳比选出“清水进城”方案,即新沐河—蔷薇河方案,跨越中间环节,以新沐河广袤湿地的水生态能力和临洪东站的流量高程突破功能为依托,充分使用地理及工程设施基础建设优势改善水资源状态^[4],使区域水资源、水生态禀赋得以

最优化利用。

5 结 语

连云港市水利基础设施体系全面,规模宏大,预留着服务民生、改善生态的诸多接口^[4],随着河长制的深入推进,传统水利工作正在逐渐打破行业壁垒,加速与环境、资源、城建等行业交流融合。以数字孪生技术为代表的数字技术推广将促进沟通构建平台,为释放行业潜力创造条件,推进水利调度精细化以及水利公共服务高效化。

参考文献:

- [1] 陈晓波,董增川,郑国威,等. 闸泵系统联合调度的水动力学模型研究及应用[J]. 人民黄河,2013(3):27-29.
- [2] 鲍建腾,孙勇,黄芳,等. 做好新时期江苏水利调度工作的思考[J]. 江苏水利,2020(4):58-62.
- [3] 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.
- [4] 陈占才. 连云港临洪水利枢纽运行调度模式探析[J]. 江苏水利,2021(6):60-63.
- [5] 刘青泉,李家春,周济福,等. 新沐河—蔷薇河洪水调度模型研究[J]. 水动力学研究与进展,2001(3):25-34.