

数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计研究

文 / 方应东 安徽省水利科学研究院

刘 超 安徽省水利科学研究院

朱晓二 安徽省水利厅

卢 磊 安徽省水利厅

摘要: 随着我国信息技术的不断发展与进步,数字孪生技术也处于持续发展的状态,对各行各业的发展都产生了较大程度的影响。蓄滞洪区防洪减灾作为我国目前开展的重要工作,在其中应用数字孪生技术也有利于优化实际的效果,为保障人民群众生命财产安全提供更加可靠的技术支撑。蓄滞洪区可以在建设管理系统中实现数字孪生技术的应用,通过提高蓄滞洪区建设管理的智能性和科学性,使其能够更好地应对更多的自然灾害。本文以具体的工程概况为例,先阐述了数字孪生蓄滞洪区建设的重要性,并从多方面概括了数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的有效策略,希望能够具有一定的参考价值。

关键词: 数字孪生;蓄滞洪区;建设管理;系统设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.073

引言

蓄滞洪区建设管理属于蓄滞洪区开展的重要工作,发挥着缓解泄洪压力和降低江河洪水位等多方面的作用,能够有效减轻洪水对下游区域的威胁。但是由于蓄滞洪区建设管理的过程中,容易受到多方面因素的影响,导致实际的管理效果不佳,难以发挥其真正的防洪功能和社会价值。蓄滞洪区建设管理系统中实现数字孪生技术的应用就能够有效解决以往建设管理过程中存在的问题,确保能够实现蓄滞洪区建设管理工作的高质量开展,为我国自然环境的优质建设奠定良好的基础。

一、工程概况

淮河流域洪水,特别是超标准洪水,对蓄滞洪区的通信预警、指挥调度提出了很高的要求,防汛救灾中“社会应急联动”(统一报警、统一指挥、快速应急、联合行动)是必需的指挥调度手段,更为迫切。虽然蓄滞洪区在防洪体系中起到分洪削峰,有效降低河道洪水位,减轻上下游河段防洪压力等重要作用,但由于多种原因,目前蓄滞洪区非工程措施滞后,通信预警设施数量少、设备老化、功能不完善,不能构成完善的通信预警系统,给防洪调度和蓄滞洪区及时运用带来困难,甚至会对群众生命财产安全带来极大的影响。在2011年的《淮河流域蓄滞洪区建设与管理规划》中明确指出淮河流域蓄滞洪区安全建设中存在的问题之一为:“蓄滞洪区内的应急避险设施严重不足,通信、报警设施数量非常少,撤退道路和临时避洪场所不足,组织疏散也很困难,不仅影响防洪决策,而且很可能错过最佳的分洪时机。”针对此问题,在《淮河流域蓄滞洪区建设与管理规划》中提出了解决方案:“建立有效的安全保障体系,加强蓄滞洪区内预警预报、临时救生、应急管理设施建设,制定洪水灾害的应急管理预案。”

安徽省淮河流域9个重要行蓄洪通信预警监测设备明显存在不足,技术支撑力量薄弱,缺乏及时有效的调度决策支撑手段,且随着新时期的发展以及从历年防洪抢险救灾总结经验来看,调度指挥部门对于通信预警及

实时监测的要求逐步提高,对于预警预报、应急监测等提出了更高的要求,为给各级调度决策指挥部门提供技术依据。便于调度指令的上传下达,预警信息及时地向乡、村各级政府和广大群众发布,使区内居民了解实时灾情,行蓄洪区广大群众尽快安全撤离或就近避洪赢得时间,最大程度地减少人民群众的财产损失,以人为本做好蓄滞洪区及时有效地运用,建设符合蓄滞洪区特点的通信预警系统是十分必要的。安徽省淮河流域重要蓄滞洪区通信预警系统的建设目标要求为:建设蓄滞洪区影响范围内的预警发布和反馈系统;建设蓄滞洪区重要部位视频监控和调度运用会商系统;建设行蓄洪区水闸工程运行信息采集系统;完善行蓄洪区监测站网建设;建设行蓄洪区运行管理系统,构建行蓄洪区综合信息系统。

二、数字孪生蓄滞洪区建设的重要性

(一) 提高蓄滞洪区建设效率

数字孪生蓄滞洪区建设能够实现数字孪生技术在蓄滞洪区的应用,工作人员可以以此实现蓄滞洪区整个运行效率的优化,通过采用数字孪生技术建设蓄滞洪区的虚拟空间模型,并根据模型开展各项调度和决策。如:工作人员可以利用数字孪生技术模拟洪水的演进情况,确定最佳分洪路线。数字孪生蓄滞洪区建设的效率就能够通过数字孪生技术得到实质性的优化,可以为相关工作的开展提供更加可靠的技术支撑。

(二) 提高蓄滞洪区建设的质量

数字孪生蓄滞洪区建设中通过数字孪生技术的应用可以实现对多种信息的动态化建设和智能分析,工作人员就可以通过这一技术及时发现蓄滞洪区存在的问题,并采取科学的措施降低解决,避免问题发现不及时导致蓄滞洪区难以发挥其真正的作用,最终的建设质量也会受到影响。如:工作人员可以利用数字孪生技术搭建蓄滞洪区的云平台架构,在这一架构中实现对蓄滞洪区多种数据的分析和收集,从而确保各项工作能够高质量地开展^[1]。

(三) 优化蓄滞洪区建设的效果

数字孪生蓄滞洪区建设可以通过数字孪生技术更好

地解决这一区域的防洪减灾能力，这就有利于提前采取相应的解决措施降低洪水带来的损失。数字孪生技术还具有多样化的特点，可以根据蓄滞洪区的实际需求采取多样化的技术解决措施，蓄滞洪区的整体建设效果就会因此得到优化。如：工作人员可以利用数字孪生技术构建区域内的全面感知网络，这就有利于提高区域防洪减灾的精准度和科学性，能够通过提前预测实际的洪水情况，让蓄滞洪区发挥出更大的作用与价值。

三、数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的有效策略

(一) 明确数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的具体需求

数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的过程中，想要确保数字孪生技术在其中发挥真正的作用，还需确保能够明确具体的设计需求，以需求为准实现技术的精准应用，也能够有效避免出现资源浪费的情况。据相关数据调查可知，安徽省淮河流域重要蓄滞洪区已建成系统包括：安徽省基层防汛预警平台、安徽水信息网、统一视频接入平台等系统，实现各类监控站点接入雨量站约6000多个，水位站约10000多个，视频站约2000个，各类信息发布终端约3000个，实现了对全省相关重点工程、高风险地区的监测预警。对于安徽省淮河流域重要蓄滞洪区来说，其实现管理系统设计的主要目的就是为了进一步提高这一区域的系统智能化，确保能够将数字孪生技术充分运用其中，提高整体的防洪效率和质量。

以安徽省淮河流域重要蓄滞洪区目前的系统建设现状为基础，其在系统设计的过程中，应确保做好以下几方面的准备工作：(1) 设施准备，安徽省淮河流域重要蓄滞洪区原有的设施结构在实现数字孪生技术的应用时可能会受到一定的局限性，通过引进更加先进的设施或完成设施软件升级等措施，确保能够为技术的落实提供更加可靠的硬件支撑。如表一所示，属于一个基础的硬件设施准备清单，其中包括了设施的参数性能、要求等信息，能够作为参考的数据。(2) 资金准备，安徽省淮河流域重要蓄滞洪区建设管理系统的设计还需要有足够充分的资金作为支持，区域的管理人员要确保做好相应的资金准备工作，可以向当地政府申请专项资金，避免这一方面的设计受到经济方面的限制。(3) 人员准备，安徽省淮河流域重要蓄滞洪区建设管理系统的设计需要有足够优质的人才力量作为支撑，通过提高工作人员的综合素质和专业能力，就能够确保其做好技术升级或衔接等工作，让系统的设计更加贴合区域的实际需求^[2]。(4) 数据准备，安徽省淮河流域重要蓄滞洪区建设管理系统的设计需要以其原有的数据资源为基础，为相关的设计提供相应的数据支撑，通过做好数据准备的工作，就能够确保最终设计的科学性和准确性。技术人员在设计前需要对这一区域以往的数据资源进行收集和分析，其中应包括基础的业务数据资源和监测数据资源等多种类型的资源。

表一 基础设备参考表

序号	设备名称	参数性能	单位	数量
1	RTU 遥测终端	①可同时外接翻斗式雨量传感器、各种制式的水位传感器；具有多路RS485、RS232、4-20mA、开关量等多种接口，满足水雨情数据采集需求； ②支持远程/就地设置、RTU各项参数，具有远程升级、支持蓝牙对设备进行参数等功能，包括数据传输体制、数据报送频次、IP地址等； ③具有随机自报，定时自检发送设备电压数据、死机自动复位、随时召测、掉电数据保护、实时时钟校准等功能； ④具备数据就地存储功能，内置大容量固态存储器，至少支持存储2年以上的原始水情数据； ⑤可实现GPRS、SMS、PSTN、VHF等单信道或双信道主备通信方式发送和接收传输功能；支持GPRS、CDMA 1X或者4G全网通通讯。	套	4
2	浮子式水位计	①量测范围：应满足测量到断面的最高和最低水位要求，量程范围不低于0~40m； ②分辨率：1.0cm； ③测量误差：不超过10m时，95%测点允许误差±2cm，99%测点允许误差不超过±3cm。	套	4
3	翻斗式雨量计	①承雨口口径Φ200±0.6mm； ②分辨率0.5mm； ③误码率小于10~4； ④雨强测量范围0~4mm/min（允许通过最大雨强8mm/min）； ⑤测量精度：总体上不超过±4%。	套	4
4	通信模块	①工作频率：支持双频GPRS/SMS，全网通即单卡槽支持中国电信、中国移动以及中国联通三家通信运营商； ②协议：支持TCP/IP，标准的AT命令集； ③数据接口：与RTU采集模块中RS232或RS485接口种类及数量相对应，同时USB2.0或3.0接口至少1个。	套	4

(二) 明确数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的建设内容

数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计建设内容的明确有利于实现这一系统的高质量建设，并保证最终建设的完善性，系统后续的落实也能够得到更加稳固的保障。对于安徽省淮河流域重要蓄滞洪区来说，数字孪生蓄滞洪区建设管理系统设计的建设内容主要包括以下几个方面：(1) 数字孪生平台，这一平台主要负责存储安徽

省淮河流域重要蓄滞洪区运行过程中的各类数据资源，并充分利用多样化的资源完成区域内的调度运行等工作，为区域内各项决策的制定提供更加可靠的推动力量。安徽省淮河流域重要蓄滞洪区数字孪生平台建设的过程中，应确保遵循基本的系统框架结构，从而满足多方面的管理需求^[3]。(2) 监测感知体系，通过实现这一方面的建设，就能够确保区域内的监测满足实际的数据需求，技术人员可以通过掌握其实际的运行需求建立相应的监测监控

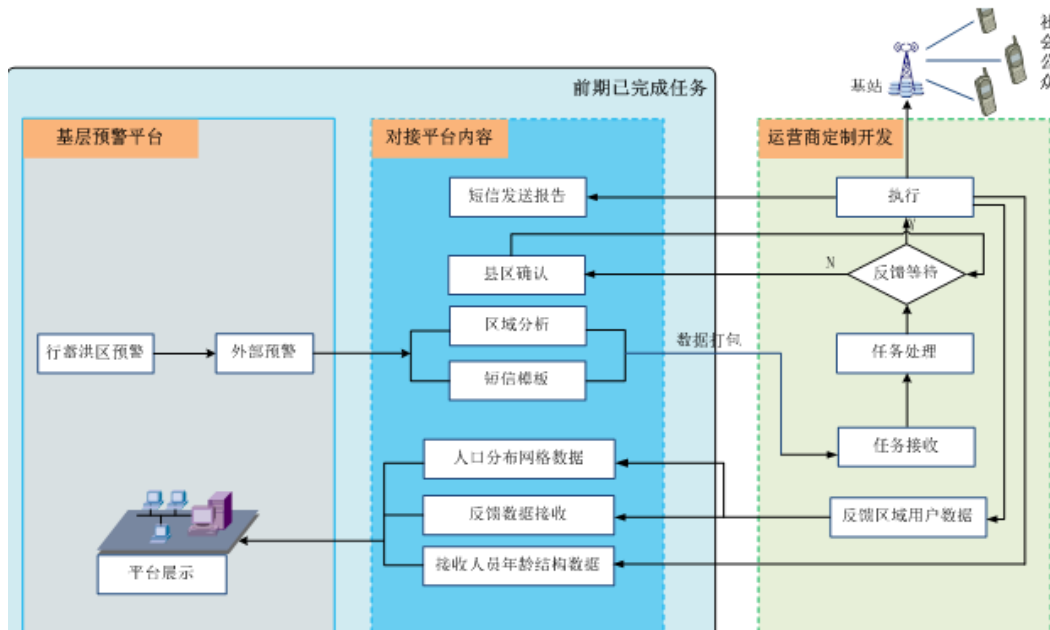
体系,实现对水利数据的全方位感知。安徽省淮河流域重要蓄滞洪区在感知方面,需要满足对雨量、水位、视频等进行监测的基础上,实现对行蓄洪区流量、灾情等信息的补充感知,以此为基础建立监测感知体系就能够确保为这一区域的数据调度提供充分的监测数据基础。

(3)技术架构,通过实现这一方面的建设,就能够让安徽省淮河流域重要蓄滞洪区中数字孪生技术的应用更加全面,可以实现多个层面的建设,发挥多样化的功能。安徽省淮河流域重要蓄滞洪区建设管理系统的技术架构应包括应用层、服务层、支撑层、存储层、传输层和感知层这六个层面,从而达到系统建设的理想效果,能够满足其各类业务需求。

(三)明确数字孪生蓄滞洪区建设管理系统的技术基础

数字孪生蓄滞洪区建设管理系统的过程中,技术基础的明确也十分重要,通过运用多样化的技术,就能够确保数字孪生技术在系统设计中发挥更大的作用,能够对安徽省淮河流域重要蓄滞洪区管理工作的开展起到实质性的优化。安徽省淮河流域重要蓄滞洪区建设管

理系统设计的过程中,可以应用的数字孪生技术主要有以下几种:(1)一二维耦合水动力洪水推演技术,该技术将一维和二维模型进行有机结合,在河道等一维区域采用一维模型进行计算,在蓄滞洪区内采用二维模型进行计算,通过边界条件和耦合算法实现两者之间的信息交换和数据传递,从而实现对整个洪水演进过程的精准模拟(2)靶向预警技术,这一技术能够实现对安徽省淮河流域重要蓄滞洪区内的流动人员预警信息的发布,这一区域中采用靶向预警技术可以实现对探测到的人员手机信令运动轨迹进行实时热力分析,然后通过基站短信的方式将短信推送至预警对象,达到预警的效果。由于不同区域的靶向预警技术应用需求存在差异,在实际应用的过程中要确保结合实际的需求制定科学的路线图(如图一所示),以此保证技术应用的准确性。(3)孪生模拟自学习自优化技术,这一技术能够实现对安徽省淮河流域重要蓄滞洪区内物理世界动态变化的监测,区域内可以通过这一技术实现对其中雨量、水位等数据的监测,并以此实现对蓄滞洪区调度运用决策的优化,确保达到蓄滞洪区防洪“四预”目标。



图一 靶向预警技术路线图

结语

综上所述,数字孪生滞洪区建设管理系统设计能够有效提高滞洪区的建设管理效率和质量,让相关工作的开展能够以先进的技术为基础。在我国信息技术持续发展的背景下,数字孪生技术在滞洪区建设管理系统中发挥的价值也会越来越高,这就有利于进一步促进我国水利发展的转型,能够为水灾害或水资源等多种问题提供信息化的解决方案。数字孪生蓄滞洪区建设有利于全面提升国家蓄滞洪区全域感知、智能模拟、精细调度和科学决策等能力水平,加快建成一批数字孪生蓄滞洪区,从而真正实现与数字孪生流域的有机融合,促进相关领域发展。

参考文献

[1] 杨帆,金有杰,丁炜.生态型蓄滞洪区数字

孪生系统建设思考[J].水利技术监督,2025,(01):59-62+76.

[2] 宁方贵.数字孪生嫩江防洪“四预”应用研究[J].水利发展研究,2024,24(09):33-37.

[3] 杜晓鹤,何秉顺,徐卫红,张森,袁迪.海河“23·7”流域性特大洪水蓄滞洪区运用复盘及系统治理绿色发展的思考[J].中国防汛抗旱,2023,33(09):31-38.

作者简介:方应东,1992年10月,男,研究生,工程师,研究方向为水利信息化、数字孪生水利建设管理。

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFC3012300);安徽省自然科学基金(2408055US006)。