

基于 BIM+数字孪生技术的 水利枢纽工程智慧化安全管理探索

蒋一波¹, 范海平², 张良群¹, 陈 南¹, 孙 君¹

(1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000; 2. 淮安市水利工程安全质量监督站, 江苏 淮安 223000)

摘要:以连申线灌河至黄响河段航道整治工程水工建筑物施工项目为例,将BIM和数字孪生技术应用于该工程的安全管理,提升了安全防护规划、安全巡检、安全教育、安全监测、应急管理、人员管理、设备管理等安全管理的智慧化水平,研究结论具有实用价值,可以在其它水利工程进行推广应用。

关键词:BIM; 数字孪生技术; 水闸工程; 安全管理

中图分类号:TV697.1

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)Sup2-0018-04

Exploration of intelligent safety management of water conservancy projects based on BIM + digital twin technology

JIANG Yibo¹, FAN Haiping², ZHANG Liangqun¹, CHEN Nan¹, SUN Jun¹

(1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an 223000, China;

2. Huai'an Water Conservancy Project Safety and Quality Supervision Station, Huai'an 223000, China)

Abstract: Taking the hydraulic structure construction project of the Guanhe to Huangxiang River section of the Lianshen Line as an example, BIM and digital twin technology are applied to the safety management of the project, which improves the smart level of the safety protection planning, safety inspection, and safety education, safety monitoring, emergency management, personnel management, equipment management, etc., the research conclusions have practical value and can be popularized and applied in other water conservancy projects.

Key words: BIM; digital twin technology; sluice engineering; safety management

随着国家对水利行业的投入加大,信息化水平的不断提高,水利工程安全管理逐渐出现信息共享困难,缺乏有序共享的水利信息资源体系等问题^[1]。BIM、数据孪生技术等新型信息手段与水利工程安全管理理论相融合为水利工程高质量发展开辟了新的道路^[2]。对此,相关学者已有不少研究。张建

云等^[3]提出智慧水利是运用物联网、云计算、大数据等新一代信息通信技术,促进水利规划、工程建设、运行管理和社会服务的智慧化,提升水资源的利用效率和水旱灾害的防御能力,改善水环境和水生态,保障国家水安全和经济社会的可持续发展。翟越等^[4]将BIM技术与安全管理理论相结合,构建了

收稿日期:2022-11-01

作者简介:蒋一波(1980—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程项目的施工经营管理、技术管理及科技创新服务等工作。E-mail:16920170@qq.com

多维数字化安全管理体系,有效地加强高处作业的安全管理。闫文杰等^[5]通过BIM与RFID集成技术,根据不同危险因素的安全计算规则,确定危险区域及作业人员的安全状态,并对作业人员实施安全预警,以降低施工现场安全生产事故发生的概率,提高安全管理的效率。刘永强等^[6]以BIM技术为核心,同时整合当前水闸工程设计与建造信息,形成水闸BIM模型的快速建立及多属性信息整合的水闸运维管理平台,极大提高了水闸工程运维管理效率。之后,蒋亚东等^[7-9]认为数字孪生技术可以对水利工程运行过程进行实时的监测、诊断、分析、决策和预测,并尝试将数据孪生技术与安全管理相结合。陈翠等^[10]将BIM与数字孪生技术相结合,设计融合多元化数据相融合的综合性的可视化平台,将水闸及其监控管理数据等信息进行多元融合和管理,构建水闸虚与实之间的映射,实现了水闸数字孪生平台的建设。杜壮壮等^[11]基于数字孪生技术,融合智能预测和可视化管理,建立一种面向河道工程管理的数字孪生可视化智能管理方法,虚实结合预测实际发展状态,实现更加科学、智慧的河道工程管理。饶小康等^[12]研究数字孪生数据及模型集成与可视化表达方法,建立堤防险情识别深度学习模型,实现堤防工程智能运行、精准管控和安全运维。

综上所述,BIM+数字孪生技术已在河道、水闸、堤防等工程管理得到很好的应用。借鉴上述经验,在连申线灌河至黄响河段航道整治工程水工建筑物施工项目安全管理过程中引入BIM+数字孪生技术,旨在实现安全防护规划、安全巡检、安全教育、安全监测、应急管理、人员管理、设备管理等方面的智慧化管理。

1 工程介绍与建模

1.1 工程实例简介

朱码节制闸位于涟水县城北约5 km处的朱码街道北侧,属于盐河干流梯级控制工程,具有排涝、蓄水灌溉和发电等功能。朱码节制闸原建于1958年,其上游河道长约47 km,控制排涝面积191.5 km²,原设计过闸流量218 m³/s,运行至今已60多年。

工程建设内容有:拆除朱码节制闸、朱码越闸,移址新建朱码节制闸及水电站。朱码节制闸共3孔,单孔净宽8 m,闸底板顶高程2.00 m(废黄河高程系),按10年一遇排涝、20年一遇防洪标准设计,10年一遇设计排涝流量281.9 m³/s,20年一遇行洪流量

357.6 m³/s。水电站共2孔,设计流量32.40 m³/s,总装机容量1 300 kW。

1.2 BIM模型构建

朱码节制闸BIM模型的构建主要由模型复核、模型深化、模型更新、模型信息录入、竣工复核、模型版本管理等环节组成。

1.2.1 BIM模型复核

按照阶段划分,分别保存施工图设计模型、深化设计施工图模型、工程预变更模型、工程变更模型、竣工模型的最终版本及过程版本。收到全套施工图纸及设计BIM模型后,组织BIM工程师进行模型二次复核,对模型的图模一致性、模型构件完整性、构件命名标准性等进行复查,将发现的问题提交建设处、设计单位,由建设处督促设计单位调整BIM模型。设计BIM模型的正确性由设计院负责。此项工作是总承包单位及专业承包单位开展基于BIM模型(图1)深化设计的基础。

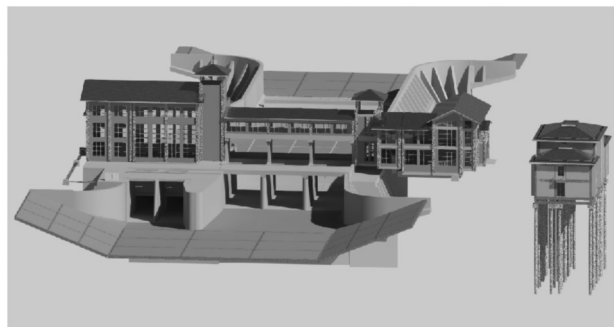


图1 水闸工程结构部分BIM模型

1.2.2 BIM模型深化

设计的BIM模型得到业主、设计单位确认以后,由施工总承包及专业承包单位基于设计的BIM模型进行多专业协同深化设计工作。

1.2.3 BIM模型更新

施工方BIM团队根据设计变更对BIM模型进行变更、深化。

1.2.4 BIM模型信息录入

对于现场已完工部位,施工方将施工相关信息(技术参数、生产厂家、生产日期、建造日期、施工单位、保修年限等)录入到BIM模型中,链接、关联对应的工程设计图纸、档案资料,便于施工过程中资料管理及后期竣工BIM模型交付。

1.2.5 竣工BIM模型复核

竣工交付前1个月内,完成BIM模型核对,确保BIM模型与现场实体、竣工图一致。

1.2.6 模型版本管理

该项目BIM应用过程中应保存多个版本的BIM模型,含设计BIM模型(初始)、设计BIM模型(复核)、施工图深化BIM模型、设计变更BIM模型、构件加工BIM模型、竣工BIM模型等。

2 基于BIM+数字孪生技术的水闸工程安全管理

水闸工程安全管理平台利用BIM技术,对现场施工进行实时监测,预测施工过程中的风险因素,提前预防,消除安全隐患,提前判断出需要防护加固的施工构架体系,并加以合理防护加固,将施工风险降到最低。同时,依托数字孪生技术,安全管理平台可随时录入日常安全检查记录,全项目人员通过平台共同监督整改,共同参与管理,实现安全生产。

2.1 安全防护规划

创建各施工阶段的安全防护BIM模型(图2),提前规划好现场安全防护,全面无死角、更有针对性地制定现场安全防护方案,并用于管理人员的安

全交底,确保现场按照BIM模型布置安全防护设施。

2.2 安全巡检

安全巡检系统充分考虑各类人员现场工作实际情况,基于“全员安全”“闭环治理”的管理理念,利用移动应用建立全员排查、整改治理、挂牌督办、验收闭合的全流程业务信息模式。为现场提供移动巡检、隐患报告、隐患治理、整改督办、验收审核等管理支撑,同时利用自动报表技术,对全过程业务管理痕迹进行清晰、规范、自动留痕。

2.3 VR安全教育

采用VR安全教育系统,用玩游戏的体验做安全培训,增强用户交互真实感体验,让安全培训工作变得轻松有趣。

2.4 施工动态监测

对施工过程进行实时施工监测(图3),特别是重要部位和关键工序,可以及时了解施工过程中结构的受力和运行状态。利用三维可视化动态监测技术可视化的特点,人为操作在三维虚拟环境下漫游来直观、形象地提前发现现场的各类潜在

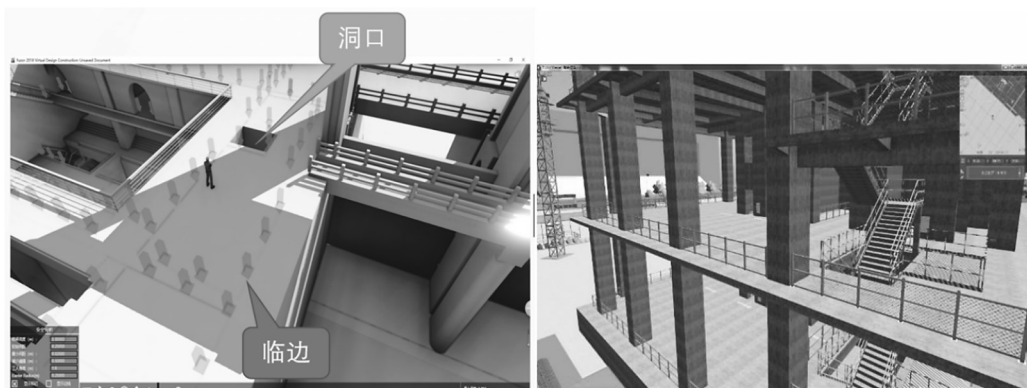


图2 安全防护规划

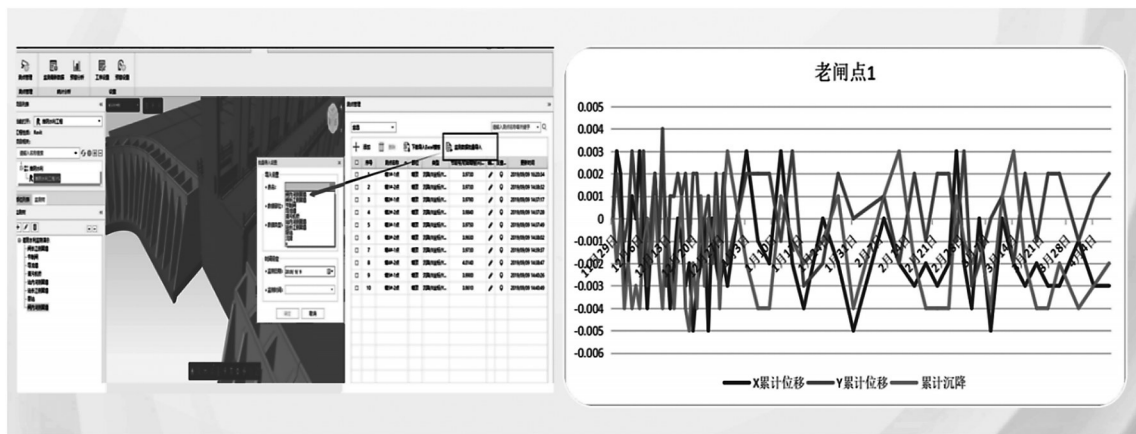


图3 建筑物变形观测监控

危险源,提供更便捷的方式查看监测位置的应力应变状态,在某一监测点应力或应变超过拟定的范围时,系统将自动采取报警给予提醒。如在BIM模型中,布置位移观测点,实时向云平台导入监测数据,生成监测曲线,有利于掌握建筑物位移情况,超过阈值时自动报警提醒,保证工程建设安全。

2.5 灾害应急管理

利用BIM及相应灾害分析模拟软件,在灾害发生前,模拟灾害发生的过程,分析灾害发生的原因,制定避免灾害发生的措施,以及发生灾害后人员疏散、救援支持的应急预案,为发生意外时减少损失并赢得宝贵时间。通过BIM模拟人员疏散时间、疏散距离、有毒气体扩散时间、建筑材料耐燃烧极限、消防作业面等,主要表现为4D模拟、3D漫游和3D渲染能够标识各种危险,形成应急预案计划方案。

2.6 人员智能AI系统

人员智能AI管理充分利用场内已有常规监控摄像机,无缝对接智能AI服务系统,在施工现场主要区域进行人脸追踪分析,可以形成全项目周期在场人员真实活动轨迹数据信息;AI识别诸如不带安全帽、抽烟等安全违章信息,支持以图搜脸,快速调取所需人员在场画面。

2.7 设备监管管理

现场所有工程机械联网,采集各类数据并上传云端,通过软件系统可视化展示,全面督查现场情况,及时进行远程指导管理。

设备管理系统可采集海量信息,如规格、型号、生产厂家、合格证、有效年限内的检测报告、产权单位及拆装单位的资质证明、机械设备备案证明、使用说明书、保养记录、租赁信息、操作规程等,并进行基本信息管理、设备监控定位、设备实时运行记录、设备预警记录、设备检查与维护信息、设备作业人员及作业记录等。

机械设备运行状态监控加装记录施工机械运行状态的传感设备,包括负载、运行轨迹、运行速度、能耗等信息。对需特种作业人员操作的设备加装相应的身份识别装置,实时采集操作人员信息。例如在塔吊作业过程中,可通过在塔机安装回转、幅度、高度、防碰撞等传感器,实现塔吊状态实时感知、违规操作实时预警、检查维护实时跟踪、运行风险实时控制。

2.8 人员实名制管理

人员管理包含人员台账管理、考勤管理、劳务

管理、培训管理等,实现人员管理线上化操作,增强管理规范性和管理效率。

施工现场实行全封闭管理,在进出场大门口设置闸机管理系统,在人员进出项目施工现场时,通过人脸识别、虹膜识别或IC卡识别等方式进行人员考勤,并实现人员信息、工种、受教育情况等自动识别管理。同时,对现场劳务人员佩戴智能安全帽进行识别,智能安全帽携带GPS定位系统,通过智能安全帽可实现对劳务人员实时定位,并经后台系统自动统计现场劳动力作业情况。

建立劳务实名制管理平台,与现场闸机管理系统进行连接,管理平台自动统计考勤,自动计算劳务工人工资,实现劳务实名制与工人工资支付信息化管理。可将劳务实名制管理平台接入当地农民工工资管理系统。

3.9 临边防护

采用红外对射和视频监控的方式,对关键部位进行监测,当违规拆卸或某部位受到破坏时,自动触发相应警报,并提醒管理人员及时采取措施,消除安全隐患。

3 结 语

通过引入BIM+数字孪生技术,研发BIM+数字孪生技术的水闸工程智慧水利平台,将其应用于连申线灌河至黄响河段航道整治工程水工建筑物施工项目的安全管理中,实现了水闸工程的智慧化安全管理,显著提升了该工程的安全防护规划、安全巡检、安全教育、安全监测、应急管理、人员管理、设备管理的管理水平,大大提升了项目的完成效率,研究成果可为其他水利工程智慧化安全管理水平的提升提供参考。

参考文献:

- [1] 曾微波,王卫平,王本林,等. 水利工程集成管理框架研究[J]. 人民黄河,2018,40(11):135-139.
- [2] 刘蔚然,陶飞,程江峰,等. 数字孪生卫星:概念,关键技术及应用[J]. 计算机集成制造系统,2020,26(3):24.
- [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] 翟越,李楠,艾晓芹,等. BIM技术在建筑施工安全管理中的应用研究[J]. 施工技术,2015(12):3.
- [5] 闫文杰,刘永强,肖俊龙. BIM与RFID集成技术在水利工程施工作业安全管理中的应用[J]. 水电能源科学,2018,36(5):5.

(下转第31页)

4.3 数字孪生水利枢纽工程安全运行监测

基于数字孪生技术的概念,利用现有三维GIS可视化技术手段,结合时空数据模式,构建了一套三维可视化水利枢纽工程安全监管平台。在目前已有的系统或功能的基础上,构建工程安全专题应用场景,融合展示工程结构、监测设施、监测数据、工程隐患、分析图形、安全预警、巡视检查、水文预报调度、实时雨水情等信息,集成安全性态预测、安全隐患预警、安全风险预演、预案智能响应等功能,对水利枢纽的关键部位进行可视化的安全监测及预警;实现工程安全智能分析预警,守住安全底线,支撑综合效益发挥^[4-5]。见图5。

5 结 语

数字孪生技术为实体工程与数字孪生体的交互融合搭建了桥梁,借助数字孪生技术构建水利工程数字孪生系统,在目前已探索的应用场景中,数字孪生技术为水利枢纽工程管理业务赋能,增强水利工程的信息全面感知能力、安全保障能力、精细化管理能力和智慧决策能力。

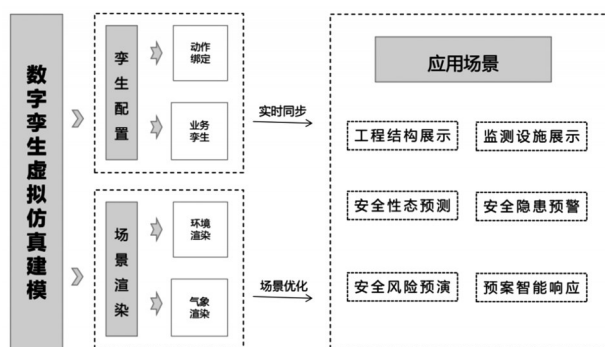


图5 枢纽安全监测场景设计

参考文献:

- [1] 李欣,刘秀,万欣欣. 数字孪生应用及安全发展综述[J]. 系统仿真学报,2019,31(3):385-392.
- [2] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5-9.
- [3] 张绿原,胡露露,沈启航,等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电,2021(11):58-62.
- [4] 钮新强. 大坝安全与安全管理若干重大问题及其对策[J]. 人民长江,2011,42(12):1-5.
- [5] 李林,梁学文,刘昌军. 基于三维可视化技术的大坝安全监测预警技术[J]. 中国科技成果,2018,19(24):35-41.
- [6] 刘永强,姚秀兰,杨恒. 基于BIM的水闸工程信息化运维管理系统设计与应用研究[J]. 工程管理学报,2021,35(2):6.
- [7] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5.
- [8] 卢建华,刘晓琳,张玉炳,等. 基于数字孪生的水库大坝安全管理云服务平台研发与应用[J]. 水利水电快报,2022,43(1):81-86.
- [9] 夏润亮,李涛,余伟,等. 流域数字孪生理论及其在黄河防汛中的实践[J]. 中国水利,2021(20):11-13.
- [10] 陈翠,安觅,董家贤,等. 基于BIM的水闸数字孪生平台设计与应用研究[J]. 水利技术监督,2022(3):4.
- [11] 杜壮壮,高勇,万建忠,等. 基于数字孪生技术的河道工程智能管理方法[J]. 中国水利,2020(12):3.
- [12] 饶小康,马瑞,张力,等. 基于GIS+BIM+IoT数字孪生的堤防工程安全管理平台研究[J]. 中国农村水利水电,2022(1):1-7.

(上接第21页)