

实景三维 GIS 在数字水利监管平台的基础应用和拓展

苏秀永^{1,2}, 刘会东³, 李 焱⁴

(1.中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 杭州 310014;

2.浙江华东测绘与工程安全技术有限公司, 杭州 310014;

3.河南省振瑜测绘信息有限公司, 河南 信阳 465200; 4.固始县水利局, 河南 信阳 465200)

摘 要: 我国水资源丰富, 水系众多, 水利工程数以百万计, 分布范围广, 管理难度大。由于气候、环境等影响, 各地长期普遍存在水资源时空分布不均、洪涝干旱灾害频发的问题。为了改善这一困境, “数字水利”概念与相关建设政策应运而生。搭建数字水利监管平台, 是实景三维、GIS、大数据、物联网、云计算、智能传感器等新兴技术的融合应用, 能够有效提高水资源的利用效率, 助力水利工程规划设计和实施管理。某县水利管理部门试运行该平台, 已初见成效, 结合实际需求, 不断进行扩展和个性化, 拓展功能, 适时在同行业内推广应用。

关 键 词: 实景三维; GIS; 数字水利监管平台

中图分类号: P23; F323.213

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022347

苏秀永, 刘会东, 李焱. 实景三维 GIS 在数字水利监管平台的基础应用和拓展[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 88-93.

SU Xiuyong, LIU Huidong, LI Yao. Basic Application and Expansion of Real 3D GIS in Digital Water Conservancy Supervision Platform[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 88-93.

0 引 言

实景三维中国建设已经纳入“十四五”自然资源保护和利用规划。2022 年 2 月 24 日, 自然资源部印发了《关于全面推进实景三维中国建设的通知》(以下简称《通知》)。《通知》提出, 到 2025 年, 5 m 格网的地形级实景三维实现对全国陆地及主要岛屿覆盖, 5 cm 分辨率的城市级实景三维初步实现对地级以上城市覆盖, 地级以上城市初步形成数字空间与现实空间实时互联互通能力, 为数字中国、数字政府和数字经济提供三维空间定位框架和分析基础, 50%以上的政府决策、生产调度和生活规划可通过线上实景三维空间完成; 到 2035 年, 优于 2 m 格网的地形级实景三维实现对全国陆地及主要岛屿必要覆盖, 优于 5 cm 分辨率的城市级实景三维实现对地级以上城市和有条件的县级城市覆盖, 80%以上的政府决策、生产调度和生活规划可通过线上实景三维空间完成^[1]。

水乃生命之源、生产之要、生态之基。随着大众环保意识的增强和相关政策的出台, 近十多年来, 各地一直探索、实践合理利用与管理水资源, 诸如杭州市提倡的“五水共治”、深圳市多条河道水环境综合

整治, 以及全面推行的“河长制”管理制度等等。人与环境和谐共存已成为现代社会共识, 水环境的日趋提升有目共睹, 但大自然的力量常常不为人类所左右, 洪涝干旱灾害依旧频发。2021 年河南省多地遭遇了多轮极端强降雨, 导致 3 万多处水利工程遭到水毁^[2], 省城郑州地铁 5 号线及周边区域被洪水围困, 致使 300 多人不幸遇难^[3], 生命财产受到极大损失。为保障水安全、水环境, 各地逐渐重视对洪水模拟分析、对遭水毁的水利工程修复, 以及对山塘水库和驳岸堤坝加固除险。《河南省“十四五”水安全保障和水生态环境保护规划》已公布。该规划提出: 按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求, 以数字化、网络化、智能化为主线, 加强监测感知能力建设, 构建数字化场景, 开展智慧化模拟, 支撑精准化决策, 加快构建具有预报、预警、预演、预案的智慧水利体系。因此, 必须加强数字水利监管^[4]。

数字水利监管强调的是全流域、全空间、全要素天空地一体化智能感知的呈现, 目的是促使传统水利治理体系不断向智慧化、精细化、全局化转变。虚拟现实场景的数字水利监管平台建设离不开 GIS 技术的应用。传统的二维 GIS 只能够笼统、粗略、宏观的进行数据分析, 在场景的表达上具备单一性和抽象性, 无法满足水利精细化管理的要求。实景三维 GIS 能够高逼真、高精度还原现实全流域场景, 为数字水利治

收稿日期: 2022-06-23

作者简介: 苏秀永 (1976-), 男, 高级工程师, 公司专家, 主要从事水利水电工程测量质检。E-mail: 809863884@qq.com

理提供可视化、直观化、立体化的环境信息与空间地理信息。

以河南省某县水利主管部门的河湖整治规划、防洪排涝等管理工作为工程应用案例，搭建并运行数字水利监管平台，经不断完善后，适时向其他地区水利管理部门推荐应用。

1 数字水利监管平台搭建

1.1 平台建设目标、架构

数字水利监管平台建设目标之一，全流域场景还原更真实。不同于城区三维场景建模，数字水利监管平台建设需要对大尺度全流域范围进行可视化表达，而水利流域分布广、地形环境复杂、地势落差较大，传统测量技术对现实流域可视化难度较高。因此基于倾斜摄影实景三维技术能够高效率、低成本、高真实还原不同复杂流域的现实全景，为数字水利监管平台建设提供高精度三维数据。

数字水利监管平台建设的另一项重要目标就是构建数字孪生流域平台，实现支撑水利预报、预警、预演、预案（“四预”）的模拟仿真体系。实景三维 GIS 能够提供高精度 DOM、DEM、DSM 等数据，并在此基础上融合各类专业监测与对应算法，从而准确而高效的对水利流域泥石流、积水、洪涝等不同灾害进行判断、模拟、推演、预测，为后续应对与完善措施做足准备。

数字水利监管平台能够基于实景三维模型，通过监测集成数据、智能传感器传回的实时数据，并结合三维模型中的地形、水位、周边环境等全息三维信息，辅助 AI 算法，智能识别出流域全区或重点监测区正在发生及潜在发生的风险。

结合河南省某县水利主管部门现有的山洪、地质、河流洪水、城市内涝等调查图表和紧急避险安置预案，依据数字水利监管平台建设目标要求与地方水旱灾害防治需求，打造出符合水利常态管理与灾害应急管理的数字水利“一张图”，见图 1。

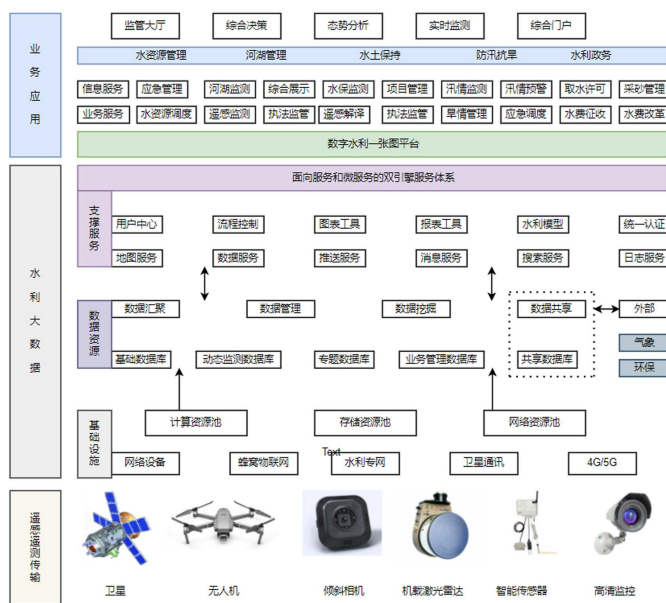


图 1 数字水利“一张图”系统架构

Fig.1 Architecture of digital water conservancy "One Picture" system

数字水利“一张图”以实景三维数据为基础，智能感知+数据融合+智能应用三大体系为支撑，实现水利监测、数据支撑、综合监督的一体化全过程管理。平台以日常状态与应急状态为架构维度，在日常状态下，可对整体流域实现多源数据常态化监测与记录；在应急状态下，系统形成了一套预报、预警、预演、预案于一体的全过程水利应急管理解决方案，契合水利灾害管理与防治所需。

1.2 平台功能板块、基本内容简介

在灾害发生之前，可基于三维实景数据，以历史数据或案例为蓝本，对灾害进行模拟、反演与判断，

力求在灾害发生之前完善应对措施。在灾害发生之后，可通过平台监测风险数据、数字预案、协同救援、资源分配等内容，最大限度减少受灾面与受灾人群，提供精准、高效的应急预案。数字水利“一张图”平台现由监测预警、实景辅助、应急响应、救援部署、善后工作、重点目标、应急资源、救援力量、庇护场所、承灾体 10 大核心板块组成。基本内容如下：

1) 实时监测，风险预警。平台系统利用监测设备，接入底图全局的气象预报、风象预报、水情预报、风力预报等数据，根据实时雨量、气象监测、风力监测等数据实现对水库区、河流区、监测站、易涝区等

重点防治区域的实时监控,并依据正常、设防、警戒、保证4个层级进行风险划分,以达到可视化、实时化风险预警的目的。

2) 快速渲染、一键查看。基于 ArcGIS 10 开发的实景三维应用平台,实现了三维大场景的快速渲染展示,能够在灾害事件发生第一时间快速打开响应平台,一键定位事件区域,了解相关事件的重要信息,如灾害区域、受灾面积、受灾人数等。

3) 数字预案、及时响应。平台依据事件应急响应等级,直接在专题图中查看应急预案,预案通过数字化分解可以看到总指挥部、现场指挥部,成员单位以及具体的联系人,联系方式,系统提供一键短信、一键电话等联系操作,将以往需要 2~3 h 的通知时间缩短到 5 min 以内,极大提高事件处理的响应时间。

4) 协同操作、精准决策。系统通过无人机、监控视频等信息手段以视频融合的技术将救援现场、救援路线情况在一张图中真实还原,构建线上、线下共享场景。并基于线下队员通讯装备及回传信息,线上指挥部可全程实时跟踪与了解现场救援情况,线下救援人员可通过电话、视频等方式统一接收救援指令,从而辅助救援行动精准决策、统一指挥、协同操作。

5) 风险识别、安全救援。在真实的救援场景中,不可忽视潜在风险存在的可能性,为保证救援工作良好进行,风险识别必不可少。因此系统架设风险识别板块,基于时间轴的核心算法来预判未来泥石流、交通堵塞、山体滑坡、泥石流等风险事件存在的可能性,为前期应急路线部署与后期救援工作安全、有序、稳步进一步展开提供强有力的决策支撑。

6) 复查追踪、有序善后。在灾后重建阶段,需要对前期事件各节点流程经过进行复盘、追踪与汇总,包括事件上报时间、防汛级别响应时间切换时间、事件解除时间、队伍响应时间、队伍信息回传情况、受灾面积、物资消耗等,帮助后续优化灾害决策措施。同时,对事件的追溯与复盘有利于进一步规划善后事

宜,例如资源补给、灾区重建、维修、改造等方面。

7) 资源整合、厘清家底。在应急与非应急状态,系统都需将应急资源、救援力量、庇护场所、承灾体、重点目标等各类信息进行及时规整、汇集,并以图数一体实现各类数据的集成化、可视化,以保障日常与突发事件的信息查阅与资源供给。

2 平台运行案例

2.1 平台运行区域概况

地处祖国中原地带的某省直管县,自然水体有史河、灌河和史灌河在内的大小河流 29 条,水库 97 座,人工灌溉、防洪排涝渠道以及坑塘若干,水系分布广、散。季节性强降雨和大量来自上游河道洪水,导致每年 7—8 月史河、灌河和史灌河水位上涨,常常高于防洪排涝渠道水位,发生倒灌;低洼地带经常发生内涝,内涝水一度淹没居民的一、二层住房。洪水到来时常冲毁丁坝、顺坝、驳岸堤防等水利设施和沿岸农民搭建的临时建(构)筑物。洪水退去,冲刷的泥沙会形成多处沙洲和沙滩,漂浮物会挂在沿岸木本植物上或堵塞在渠道闸门口。历年来水灾频发,多次灾后重建,直接、间接经济损失,数以千万计。主流史河、灌河和史灌河上一直有采砂规划和采砂项目开展,沿岸农民历来有在沙洲和沙滩种植农作物的习惯。

2.2 平台运行情况及效果

2.2.1 二维影像数据获取及应用

使用无人机垂直或倾斜摄影,通过数字微分纠正,能够快速生产不同时相的中、大比例尺 DOM,真实地反映地物点、线、面二维信息,自然真彩色,直观易读,如图 2 所示。配上图例,一般非专业人员也能轻松识图、用图。通过数字水利监管平台,使用不同时相的 DOM 叠加对比,可以达到准实时监测流域内实地变化情况,通过定性分析,能够起到远程监控、风险识别作用。



(a) 秋冬季节



(b) 春夏季节

图 2 某一区域不同时相正射影像图

Fig.2 An orthophoto image of a region at different times

2020 年 10 月,某县完成了辖区内主要河湖划界,埋设的永久界桩明示了界线以内属国家所有的水利资源区域,大力宣传严禁在界线内耕种和建筑。但仍有少数不懂法、不守法的或抱着侥幸心理的人,在河湖界线以内从事生产活动。自平台运行以来,及时发现并制止在界线以内违规违章建(构)筑 22 起,劝阻在界线以内违规耕种 110 处。从一定程度上避免了雨季到来时,洪水带来的生命财产损失,同时降低了河道阻塞。

传统的溃坝洪水分析、洪水风险图绘制、应急预案管理,以及流域规划与河长制监管,二维数字化地图基本满足使用。

2.2.2 三维建模及应用

使用无人机载 LIDAR 扫测,可快速获取沙洲和沙滩以及河流沿岸一定区域内的高精度、海量地面彩色点云数据^[5-6];也可利用 DOM 提取点云数据。由点云生成高分辨率、连续的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)和数字地表模型(Digital Surface Model, DSM),如图 3、图 4 所示。

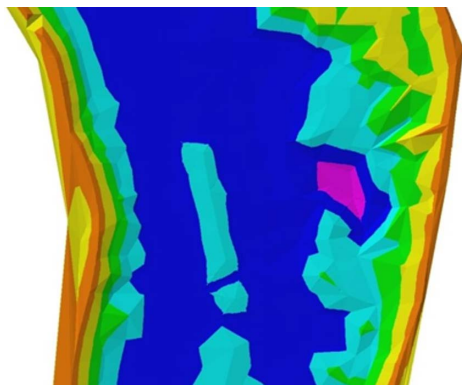


图 3 数字高程模型

Fig.3 Digital elevation model

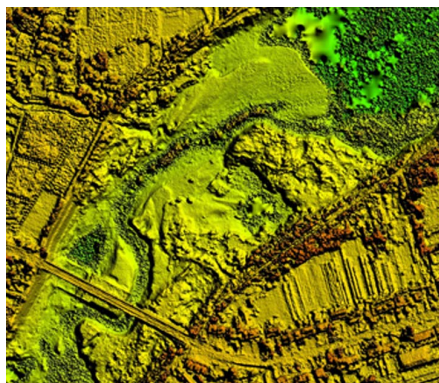


图 4 数字地表模型

Fig.4 Digital terrain modeling

使用无人机倾斜摄影,多角度采集地物三维信息和纹理特征。使用实景建模软件,运用自由网光束法和同名点自动匹配,将多视影像联合平差;使用并行算法,将多视影像数据融合,并采用 GNSS 定位技术,嵌入精确的地理信息,自动化生成统一的连续地表数

字模型和离散的地物三维模型^[7-9]。水域则需要贴膜,或补测水下高程,构建水下数字高程模型。水深小于 0.5 m 的积水区域和稻田,可人工手持 GNSS-RTK 测量;水深大于 0.5 m 的水下区域,可使用无人船集成 GNSS 和声呐测深系统,可快速获取大面积水下点云数据,由点云制作不同时序的水下 DEM。

构建的三维模型虚拟再现地貌和地物,利用数字水利监管平台加载,在水利办公大厅、会议室等处大屏幕多角度旋转、漫游可视化,形象逼真、生动、立体感强,如图 5 所示;也可运用于移动终端设备,用于定位收索、实时导航。



图 5 实景三维模型

Fig.5 Live 3D model

通过水利监管平台,使用不同时序的 DEM 叠加比对,即是采砂规划动态调整的依据,也是实时监督滥采、乱采等违规采砂有效手段;使用不同时序的 DSM 叠加比对,可动态监测河岸植被生长变化,判断历年河床变迁、河道演变。自平台运行以来,及时发现并制止越界采砂 36 起、超深采砂 11 起,通知采后需及时回填 20 处。有效管理了采砂工程项目,避免因采砂不当,引起驳岸堤坝等水利设施出现安全隐患。通过对史灌河大觉寺段信息采集,该河段左侧常年冲刷,右侧淤积严重,河床抬高、主流改道明显,依据河岸、水下 DEM,运用平台动态建模分析河道演变趋势,及时对河道疏浚方案和险工治理方案进行优化,取得了较好效果。

2.2.3 水灾反演, 防灾减灾与应急响应

收集区域内以往水文、气象、交通、水利和人口分布等数据,统计历史水灾区域、受灾面积、受灾人数,上传到平台,建立数据库,作为平台人工智能系统学习和反演的初始值。

反演、预测某个时间节点可能再次发生积水、洪涝的区域。自平台运行以来,通过历史大数据预测将来可能发生的城区周边 113 个积水点、辖区内 15 处内涝区域,以及预估经济损失等等。据此,预设了 28 处集中避险、50 处分散避险场所和相应避险转移路线,配备防汛排涝物资若干,并制定了相应的应急救援预案(包括应急救援指挥机构、专业应急救援队

伍和装备、预报和预警方式方法、预防措施、分级响应、救援响应时间和救援路线,以及通信、交通、医疗、后勤保障等内容)。根据将来实际发生的情况,有待利用实测的各类数据,验证反演、预测的可靠程度,并不断完善反演算法,提高平台预测能力。

3 平台应用拓展

当前正在城区雨污管网排放到自然水体的各个出口处,安装 DO 检测仪等装置、传感器和高清摄像头,远程动态监测排放水质是否达标,协同城市排水管网系统实时监测各企业、工业园区是否存在偷排、漏排,从源头上做到水环境综合治理。

安装、使用分布式无线传感器,动态监测区域内稻田蓄水深度、坑塘蓄水量,并结合地下水观测成果和气象预报成果,用于抗旱分析,及时启动抗旱应急机制、调整抗旱应急措施,充分利用水资源。

收集山塘水库、湖泊周边地质数据,上传平台,通过 AI 分析,预测、预报雨季、汛期可能发生的滑坡、泥石流区域,做到防患于未然,制定科学的防灾减灾与应急救援预案。对一处滑坡、崩塌地址灾害易发区(Ⅱ3)和两处滑坡、崩塌地址灾害易发区(Ⅲ3),安装了地基合成孔径雷达(GB-InSAR),使用 5G 网络远程传输数据,高效、连续实时监测坡岸的微小形变,利用终端 GPU 或云计算、对比不同时序监测数据,及时发出预报、预警信息。在 7 座小(I)型水库安装了 GB-InSAR,用于水库大坝形变实时监测^[10-11]。

着手在无人机上加装更加灵敏的传感器和避障雷达、防撞装置,对丁坝、顺坝、护岸和大坝、水闸等水利设施抵近飞行、环绕飞行,携带高清相机检查水毁情况,作为灾后维修、改造或重建的科学依据。

计划充分利用南方遥感云眼 CloudEye 提供的高清卫星影像数据及其成品,使用数字水利监管平台人工智能系统,分析比对不同时期上下游水系及其周边区域的影像和数字地表模型,进行流域大数据综合分析,绘制逐年水位、流量变化曲线以及河道演变图。及时与邻近行政区域的水利管理部门交换相关数据,交流水利管理工作,进一步探索跨域生态环境治理模式及实施路径^[12]。

4 结论与展望

目前地理信息数据采集手段多元化、智能化,选择合理的算法将多源数据融合,通过深度学习等 AI 技术自动、半自动化提取建立地理实体的矢量、三维模型数据,结合调绘充实各地理实体的社会、经济属性,形成高清、高精全息数据,用于日常水利管理、水环境和生态保护、防灾减灾与应急反应等方面定性、

定量分析和决策,有着实时、精准、高效的现实意义。基于此,用实景三维 GIS 打造的数字水利监管平台,具备“全流域场景还原更真实、数字模拟更准确、辅助 AI 风险预警更智能”等多个优势。水利管理部门实现了监管科技化、决策智能化和执法透明化,在上述某县试运行中已得到了一定程度的应用验证,获得了多方好评。

实景三维 GIS 是虚拟现实技术的一个研究热点,有着广泛的应用空间,将在水利管理中扮演着重要角色。放眼数字水利监管平台应用拓展,实景三维有着传统二维技术不可比拟的优势,可以在共享水资源、水环境信息的同时,更加有效提前采取管控、应急措施。需求带动着技术的发展,平台在运行应用中,不断根据水利管理更具体需求,进行扩展和个性化,必将具备一定的推广性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国自然资源部.《关于全面推进实景三维中国建设的通知》[N]. 中国自然资源报, 2022-02-28.
- [2] 中国新闻网. 河南对“7.20”特大暴雨进行洪水模拟分析[N]. 海外网官方账号, 2022-04-08. China News Network.
- [3] 央视新闻. 郑州地铁 5 号线“7.20 事件”[N]. 央视新闻官方账号, 2021-07-27.
- [4] 河南省人民政府. 河南省人民政府关于印发河南省“十四五”水安全保障和水生态环境保护规划的通知[EB]. 豫政〔2021〕42 号, 2021.12.31.
- [5] 刘经南, 张小红, 李征航. 影响机载激光雷达扫描测高精度的系统误差分析[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2002, 27(2): 3-9.
- [6] 田慧, 林宗坚, 文曲. 低空航测的系统工程问题分析[J]. 北京测绘, 2016(1): 29-33, 55.
- [7] 吕慧娟. 无人机倾斜摄影三维建模和应用[J]. 山西建筑, 2018, 44(16): 180-181.
- [8] 周吕, 李青逊, 权菲, 等. 基于无人机倾斜摄影测量三维建模及精度评价[J]. 水力发电, 2020, 46(4): 41-45.
- [9] 于麒. 民用无人机倾斜摄影测量在工程中的应用与分析[J]. 低温建筑技术, 2019, 41(11): 133-135.
- [10] 郭森, 王玉杰. 地基合成孔径雷达干涉测量技术在形变监测中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(12): 141-144.
- [11] 李翔宇, 雷添杰, 陈文晋, 等. 基于地基雷达干涉测量技术的大坝边坡形变监测及应用[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(9): 221-225, 242.
- [12] 张婷. 跨域生态环境污染治理模式及其实施路径探析[J]. 能源与环保, 2022, 44(1): 88-92.
- [13] 张保祥, 孟凡海, 张欣. 基于 GIS 的黄河流域地下水脆弱性评价研究[J]. 工程勘察, 2009, 37(8): 47-50.
- [14] 李胜阳, 孙建奇, 刘玉文. 3S(GIS、GPS、RS)技术在黄河洪水及灾害

Basic Application and Expansion of Real 3D GIS in Digital Water Conservancy Supervision Platform

SU Xiuyong^{1,2}, LIU Huidong³, LI Yao⁴

(1. Power China Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310014, China; 2. Zhejiang Huadong Mapping and Engineering
Safety Technology Co., Ltd., Hangzhou 310014, China; 3. Henan Zhenyu Surveying and Mapping Information Company Limited,
Xinyang 464000, China; 4. Gushi County Water Conservancy Bureau, Xinyang 464000, China)

Abstract: Our country is rich in water resources, numerous water systems, millions of water conservancy projects, widely distributed, but difficult to manage. Due to the influence of climate and environment, the problems of uneven spatial and temporal distribution of water resources and frequent occurrence of floods and droughts have long existed in various regions. In order to improve this dilemma, the concept of “digital water conservancy” and related construction policies came into being. Building a digital water conservancy supervision platform is an integrated application of emerging technologies such as real-world three-dimensional, GIS, big data, Internet of Things, cloud computing, and smart sensors. A county’s water conservancy management department has tried to run the platform, and it has achieved initial results. Combined with actual needs, it continues to expand and personalize, expand functions, and promote its application in the same industry in a timely manner.

Key words: real 3D; GIS; digital water conservancy supervision platform

责任编辑：赵宇龙