

“天空地”一体化对于水利行业信息化管理的研究应用

程 程 于京波 张宇翔

北京市河湖流域管理事务中心 北京 100000

摘 要: 为提升水利行业信息化、智慧化管理水平,本文围绕“天空地”一体化技术在水利信息化管理中的应用展开研究。首先界定核心概念与技术、理论体系,分析该技术在水文监测、灾害防御、工程运维、水生态治理四大场景的实践应用。同时从技术、管理、人才保障层面剖析现存问题,针对性提出技术优化、体系完善、人才赋能、场景升级的优化对策,为水利数字化精细化治理提供参考。

关键词: “天空地”一体化;水利行业;信息化管理;研究应用

引言:数字化转型推动水利行业告别传统粗放管理模式,智慧水利建设成为行业发展核心趋势。“天空地”一体化立体感知技术,可实现全域、全天候、高精度水利信息采集,是水利信息化升级的核心支撑。当前该技术应用仍存在数据融合不足、协同机制欠缺等诸多短板。基于此,本文系统探究其应用价值、现存问题与优化路径,助力破解水利管理信息化痛点,推动水利治理能力现代化发展。

1 相关概念与技术理论基础

1.1 核心概念界定

(1) 水利行业信息化管理是利用信息技术实现水利业务全流程数字化的管理体系,涵盖水资源监控、水旱灾害防御、工程运维及生态保护等领域,历经单机、集成至平台阶段,当前突出实时性、精准性与协同性要求。(2) “天空地”一体化是多层次立体感知体系,核心为天基、空基、地基协同联动,构建全天候观测网络,以卫星、无人机及地面传感为支柱,特征为多尺度、多角度、多谱段观测,运行逻辑强调三基协同、数据互通与快速响应^[1]。(3) 智慧水利是新一代信息技术与水利业务的深度融合,数字孪生水利通过构建物理工程数字映射体实现仿真推演,二者以“天空地”一体化为感知支撑,互为依托形成完整技术链条。

1.2 “天空地”一体化核心技术体系

(1) 天基感知以卫星遥感与定位为核心。遥感可对大范围水域实施多光谱监测,获取水体面积、水质及岸线变化;定位技术提供空间基准与位移监测,支撑动态监测与洪涝宏观评估。(2) 空基感知以无人机航测与低空遥感为主。无人机机动灵活,可针对重点河段、险工险段及灾区快速获取高分辨率影像,弥补卫星分辨率不足,提升巡检时效性与精细化水平。(3) 地基感知依托地面物联网传感器、水文设备及工况装置,对水位、流

量、泥沙、雨量及工程结构等实施定点连续监测,补充验证天基空基数据,形成感知闭环。(4) 一体化融合技术连接感知层与应用层。多源数据融合实现异构数据时空对齐与质量增强;5G保障高速传输;大数据分析提取规律趋势;GIS可视化以地图呈现结果,支撑综合研判与决策。

1.3 水利信息化管理理论支撑

(1) 全域感知管理理论强调全要素、全空间、全时段采集覆盖,核心为通过“天空地”一体化构建“面—线—点”结合监测网络,使管理者全面掌握实时状态与变化趋势,夯实决策数据基础。(2) 数据驱动治理理论提出以数据为核心驱动管理模式转型,从经验判断转向科学决策,通过采集—处理—分析—服务闭环,实现精细调度、精准预警与智能运维。(3) 协同管控理论关注多要素多场景一体化协同,核心在于打破部门信息壁垒与业务孤岛,依托统一信息平台实现监测联动、数据共享与业务协同,提升流域综合治理与应急联动整体效能。

2 “天空地”一体化在水利信息化管理中的应用场景与实践

2.1 水文水资源监测信息化应用

(1) 依托卫星遥感与地面水文站网协同,实现大范围水域水资源总量、水位、流速的全天候全域动态监测。结合雷达测高与光学影像反演技术,定期获取河流湖泊水体变化数据,形成覆盖流域骨干水系的水文要素实时感知能力,为区域水资源评估提供准确的基础数据保障^[2]。(2) 利用多源卫星数据与空基无人机航拍,开展水资源时空分布的精细化采集与信息化统计分析。通过地理信息系统进行网格化处理与可视化表达,生成不同时间尺度下的水资源分布图集与变化趋势报告,并建立标准化数据库,实现监测数据的高效存储、查询与共享,为水资源评价与规划提供科学依据。(3) 基于数据

驱动治理理念,通过“天空地”一体化感知数据与需求预测模型深度融合,构建水资源调配决策支持系统。该系统能够实时整合水文监测、用水计划与调度方案等多维信息,支撑水资源精细化管控与动态调配方案的制定优化,实现水量分配的科学决策与实时调度指令的精准下达。

2.2 水旱灾害防御信息化应用

(1)运用高分辨率卫星遥感与低空无人机巡航,对洪涝风险区、干旱易发区及山洪灾害隐患区域实施定期排查与动态监测。结合数字高程模型和土地利用数据,精准识别灾害隐患点分布及变化特征,建立灾害风险动态更新数据库,实现隐患区域的全覆盖、常态化监测管理。(2)融合雨量站、水位站与气象卫星等多源实时数据,建立灾害预警指标体系,实现洪涝、干旱、山洪等灾害实时预警信息的快速生成与分级推送。依托三维GIS平台开展态势动态研判与可视化展示,直观呈现灾害影响范围与演进趋势,为防灾减灾赢得宝贵的预警提前量。(3)构建水旱灾害防御应急调度指挥平台,集成实时雨情水情工情信息与应急资源分布数据,结合洪水演进模型与旱情评估模型,实现多方案比选与效果预演。该平台能够快速生成应急调度方案,为抢险决策提供定量化支撑,显著提升应急响应时效与指挥决策的科学性和精准度^[3]。

2.3 水利工程运维信息化应用

(1)通过水库、堤防、闸坝等工程现场部署的物联网传感器网络,实时采集位移、渗流、应力应变等工况参数。结合卫星定位与InSAR形变监测技术,实现水利工程全天候结构安全状态的连续监测与异常自动报警,确保工程运行风险早发现、早处置。(2)利用深度学习算法对工程监测时序数据进行分析挖掘,建立隐患智能识别模型与故障预警规则,实现工程缺陷的早期发现与分级预警。同时构建运维巡检台账信息化管理系统,实现巡检记录、隐患整改、维护保养的全流程电子化管理,有效提升工程运维工作的规范性与可追溯性。(3)以BIM+GIS技术为核心构建水利工程数字孪生体,融合设计、施工、运维全过程数据,建立覆盖工程全生命周期的数字化管控体系。该体系可实现工程安全评估、维修加固方案仿真与服役寿命预测等落地应用,推动水利工程管理从被动应对向主动预防转变。

2.4 水生态水环境治理信息化应用

(1)利用多光谱、高光谱卫星遥感与无人机低空遥感协同监测手段,对河道水域岸线变化、水土流失区域及水体污染分布实施全域周期性监测。结合地面水质自

动监测站数据,形成点面结合的水生态水环境立体监测网络,实现对水生态状况的全方位实时感知。(2)基于多期遥感影像与地面监测数据的融合分析,建立水生态环境动态更新数据库。开展水质参数反演、植被覆盖度计算与土壤侵蚀模数评估等工作,实现水生态环境关键指标的时空变化分析与长期趋势研判,为水生态保护工作提供系统性的数据支撑^[4]。(3)构建水生态水环境智能化决策支撑平台,集成污染溯源分析、水环境容量计算及生态修复效果评估等专业模型。该平台能够为水生态修复措施制定与水环境治理方案比选提供定量化决策依据,有效提升水生态环境治理的科学性与精准度,助力实现人水和谐绿色发展目标。

3 “天空地”一体化在水利信息化管理应用现存问题与优化发展对策

3.1 技术应用层面现存问题

(1)多源感知数据融合度低,数据孤岛问题突出。天基、空基、地基三大感知系统在数据格式、时空基准、传输协议等方面缺乏统一标准,导致多源异构数据难以有效汇聚与深度融合。各业务系统独立建设,数据壁垒普遍存在,制约了全域感知能力的整体效能发挥。(2)部分区域感知设备覆盖不足,监测精度与稳定性参差不齐。偏远山区、中小河流及农村地区的水文监测站点密度偏低,无人机巡查频次有限,卫星遥感时空分辨率难以满足局部精细化需求。同时,部分老旧设备精度退化、运行稳定性差,影响数据质量的可靠性。(3)智能化分析模型适配性不足,业务联动能力较弱。现有数据分析模型多针对单一业务场景开发,跨业务、跨灾种的综合研判能力欠缺。模型泛化能力有限,在不同流域、不同气候条件下的适配调整不够灵活,导致分析结果与业务实际脱节,感知数据向决策能力的转化效率偏低。

3.2 管理体系层面现存问题

(1)信息化管理制度不完善,标准化建设滞后。当前水利信息化管理制度体系尚不健全,在数据采集标准、接口规范、质量管控等方面缺乏统一明确的制度约束。标准制定与实际应用之间存在时间差,新技术应用缺乏及时的制度跟进,影响了系统建设的规范性和互操作性。(2)跨部门、跨区域数据共享与协同管理机制不健全。水利管理涉及水文、气象、应急、环保等多个部门以及上下游不同区域,但现有条块分割的管理体制导致数据共享意愿不足、接口开放程度有限,协同联动机制尚未有效建立,信息孤岛与业务壁垒问题较为突出。(3)系统运维管理体系不完善,长效运行保障能力不足。重建设轻运维的问题仍然存在,运维资金、人员和

技术力量配置不足,系统巡检、故障处理、升级维护等常态化运维机制不够健全,导致部分信息化系统建成后难以保持稳定高效运行。

3.3 人才与保障层面现存问题

(1)复合型技术管理人才短缺,从业人员专业能力不足。“天空地”一体化应用需要兼具水利业务知识、遥感与GIS技术、数据分析能力的复合型人才,但目前培养体系尚不完善,基层人员信息化技能培训覆盖面和深度均有欠缺,专业能力与实际需求存在明显差距。(2)资金投入不均衡,基层信息化建设推进缓慢。信息化建设资金多向省级以上重点项目集中,基层水利部门投入有限,导致感知设备部署、系统平台建设、运维保障等方面与上级单位差距明显,区域间信息化发展水平不平衡问题突出。(3)网络数据安全防护体系薄弱,数据安全风险突出。随着感知终端海量接入和数据集中汇聚,网络攻击面持续扩大。部分系统在数据加密传输、访问权限控制、安全审计等方面防护能力不足,水利关键信息基础设施面临的数据泄露和网络攻击风险不容忽视。

3.4 “天空地”一体化水利信息化应用优化对策

(1)技术优化层面,着力完善全域感知网络布局,加密重点区域监测站点并补盲偏远地区感知覆盖;搭建统一数据融合中台,制定多源数据接入标准与质量管控规范,实现异构数据的汇聚治理与融合共享;升级智能分析模型,强化多业务场景适配能力,提升感知数据向决策信息转化的准确性与时效性。(2)体系优化层面,加快健全水利信息化行业标准规范体系,明确数据采集、传输、存储与应用各环节技术要求;构建跨部门、跨区域协同共享管理机制,建立统一数据交换平台与联席会商制度,打通业务壁垒和信息孤岛,促进多元主体协同治理格局的形成。(3)保障优化层面,加强复合型人才梯队建设,完善高校培养与在职培训相结合的人才

培养体系,重点提升基层人员信息化素养;加大基层信息化建设资金投入力度,建立长效运维经费保障机制;完善数据安全防护体系,强化加密传输、权限管控与安全监测能力,筑牢水利网络数据安全防线^[5]。(4)应用升级层面,深化数字孪生与BIM+GIS技术在水利领域的融合应用,构建流域级数字孪生底座;拓展智能化、精细化管理场景,推动水资源调度、灾害防御、工程运维和生态治理等核心业务从经验驱动向数据驱动转型,全面提升水利信息化管理的智慧化水平。

结束语

本文系统梳理“天空地”一体化技术的水利应用体系,明确其在水利全业务场景的赋能作用,同时梳理出技术、管理、人才等多维度发展瓶颈。提出的全方位优化对策,可有效破解数据孤岛、监测薄弱、智能化不足等问题。未来需持续深化多技术融合创新,完善行业标准与保障体系,拓展智慧水利应用场景,持续释放“天空地”一体化技术效能,助力水利行业高质量、智慧化发展。

参考文献

- [1]钱峰,成建国,夏润亮,等.数字孪生水利“天空地水工”一体化监测感知体系构建与应用初探[J].中国水利,2024,17(24):39-47.
- [2]蔡阳,崔倩.卫星遥感水利应用进展与展望[J].中国水利,2024,32(11):98-106.
- [3]孟令维,卢奕竹,宋文龙,等.基于遥感数据的河湖堤防溃口隐患早期监测研究与应用[J].中国水利水电科学研究院学报,2024,22(3):270-282.
- [4]王俊.“空地潜一体化”技术在巡堤查险智慧管控中的应用[J].水利信息化,2023,22(4):66-71.
- [5]张威,江岩麓.水利卫星遥感技术在流域河湖信息化管理中的应用[J].水利技术监督,2025,30(12):138-141.