

水利工程勘察设计与施工中数字化工具的应用研究

王茂智

长江岩土工程有限公司, 湖北武汉, 340010;

摘要: 数字化工具是推动现代水利工程技术革新的核心驱动力, 深刻改变了传统水利工程勘察、设计与施工的模式。本文系统阐述了以 GPS、遥感、数字地图、电子平板仪等为代表的数字化工具类型, 并重点分析了其在水利工程勘察、设计、施工三个阶段的具体应用场景与价值。研究表明, 数字化工具的应用显著提升了数据采集的精度与效率, 优化了工程设计决策, 实现了施工过程的动态监控与精细化管理。基于当前应用现状, 本文进一步提出了促进数字化工具深度集成与创新的发展建议, 以期提升我国水利工程建设的整体技术水平与综合效益提供理论参考与实践路径。

关键词: 水利工程; 数字化工具; 勘察设计; 施工管理; 遥感技术; 全球定位系统

DOI: 10.69979/3029-2727.26.03.067

引言

水利工程作为国民经济的基础设施, 其建设质量与效率直接关系到防洪安全、水资源调配和生态环境保护。传统的勘察、设计、施工方法依赖于大量人工作业和经验判断, 存在效率偏低、信息更新滞后、误差累积等问题。随着信息技术的飞速发展, 数字化工具以其高精度、高效率、强集成和可视化等优势, 正在全面渗透至水利工程建设的全生命周期。从宏观的地形地貌感知到微观的工程结构定位, 从静态的图纸设计到动态的施工过程控制, 数字化技术正引领水利工程行业向智能化、精细化方向转型。因此, 深入研究各类数字化工具的技术特点及其在水利工程建设各环节的应用模式、成效与挑战, 对于优化工程建设流程、保障工程安全质量、实现资源高效利用具有重要的现实意义。本文旨在系统梳理相关技术应用, 并结合工程实践提出发展建议, 以促进数字化技术与水利工程的深度融合。

1 数字化工具的类型

水利工程建设中应用的数字化工具多样, 其核心在于对空间信息与工程信息进行高效获取、处理、分析与表达。目前广泛应用的工具主要包括以下几类: 全球定位系统技术 (GPS, 特别是其增强形态如 GNSS), 它通过卫星信号实现全球范围内的高精度实时三维定位, 是工程基准控制与动态测量的基础; 遥感技术, 通过航空或航天传感器获取地表地物的电磁波信息, 可大范围、周期性、多光谱地监测地形、地质、植被及水体变化, 为工程提供宏观背景数据; 数字地图, 是地理信息系统

(GIS) 的核心数据载体, 它将传统纸质地图矢量化、数据库化, 并与属性信息关联, 支持空间查询、分析与三维建模; 电子平板仪, 集成了计算机、GPS、数据采集软件与移动通信功能, 实现了野外勘察数据的电子化、结构化实时采集与现场成图, 极大地改变了传统外业工作模式。这些工具并非孤立存在, 而是通过数据接口与软件平台日益紧密地集成, 共同构成水利工程数字化的技术支撑体系。

2 数字化工具在水利工程中的具体应用

数字化工具的应用贯穿于水利工程建设的全过程, 其在勘察、设计、施工各阶段均发挥着不可替代的作用, 形成了数据流与工作流的闭环。

2.1 数字化工具在水利工程勘察阶段的应用

勘察阶段是工程建设的先行基础, 核心任务是获取准确、全面的工程区地形、地质、水文及环境信息。数字化工具的应用使勘察工作从传统的点状、静态、人工描述向面状、动态、定量分析转变。

2.1.1 注重遥感技术在勘察阶段的应用

遥感技术以其宏观、快速、信息丰富的特点, 在初期勘察中具有显著优势。通过卫星影像 (如高分系列、Landsat 等) 或航空摄影, 可快速获取工程区域大范围的地形地貌、水系分布、植被覆盖、土地利用现状等基础地理信息。高光谱遥感能识别不同的岩性和地质构造, 为地质判读提供线索。合成孔径雷达干涉测量技术可用于区域性地表形变监测, 评估潜在的地质灾害风险。在选线选址阶段, 利用遥感影像进行多方案比选, 可大幅

减少野外踏勘的盲目性和工作量,提高方案的科学性。

2.1.2 加大数字地图在勘察阶段的应用

基于GIS平台的数字地图是集成和管理各类勘察信息的“中枢”。所有勘察数据,包括遥感解译成果、GPS控制点、地质测绘点、水文观测数据等,均可录入GIS数据库,并统一到同一空间坐标基准下。这不仅能生成高精度的数字高程模型(DEM)和数字正射影像图(DOM),为设计提供基础底图,更能通过空间叠加分析、缓冲区分析等功能,综合评价工程地质条件、环境影响及社会效益。例如,将地层岩性图、构造分布图、水文地质图等进行叠加,可快速圈定不良地质体的范围,评估其对工程的潜在影响^[1]。

2.1.3 确保GPS应用的合理性

GPS在勘察阶段主要用于建立高精度的工程测量控制网,为后续所有测量工作提供基准。同时,广泛用于地质点、地貌点、水文断面点等勘察点的精确定位与数据采集。通过RTK等高精度实时差分技术,测量人员可直接获取测点的三维坐标,精度可达厘米级,彻底取代了传统的经纬仪、水准仪导线测量,极大提高了控制测量和碎部测量的效率与精度。在库区淹没调查、河道断面测量等工作中,GPS结合测深仪可高效完成水下地形测量。

2.1.4 电子平板仪的合理应用

电子平板仪将GPS、GIS和移动计算技术融为一体,成为野外地质测绘和数据采集的“利器”。地质人员可手持平板设备,在数字底图(遥感影像或数字地形图)上直接标定观测点位置,并结构化录入岩性描述、产状测量、照片、素描等属性信息。数据实时存储、现场成图,避免了纸质记录易出错、后续录入繁琐的问题。采集的数据可无缝导入后方GIS数据库,实现内外业一体化,显著提升了地质测绘的效率和成果的数字化程度。

2.2 数字化工具在水利工程设计阶段的应用

设计阶段是工程蓝图诞生的过程,数字化工具的应用推动了设计手段从二维CAD向三维协同设计、参数化设计和仿真分析的深刻变革。基于勘察阶段构建的高精度DEM和地质三维模型,设计人员可在BIM(建筑信息模型)或专业水利工程设计平台上进行枢纽布置、坝型选择、结构设计。三维设计模型直观反映了工程与地形的结合关系,便于发现二维设计中难以察觉的空间冲突。数字地图与GIS的空间分析功能用于库容计算、

淹没范围模拟、土石方量估算等,计算结果更为精确^[2]。同时,数字化工具支持多专业协同设计,结构、水力、机电等专业模型可在统一平台下集成与碰撞检查,减少设计差错。此外,结合水力学、结构力学分析软件,可对设计方案进行多种工况下的数值模拟与优化,如洪水演进模拟、应力应变分析、抗震分析等,从而提升设计的可靠性与经济性。数字化交付物(三维模型、属性数据库)也为后续的施工和运维奠定了基础。

2.3 数字化工具在水利工程施工阶段的应用

施工是将设计方案转化为实体的过程,数字化工具的应用实现了施工过程的精确测控、动态管理和质量追溯。

2.3.1 GPS设备在施工阶段的应用

高精度GPS(如GNSS接收机)已广泛应用于大型水利工程的施工机械控制和关键部位放样。在土石方开挖与填筑中,安装在挖掘机、推土机、摊铺机上的GNSS系统,可引导司机严格按照设计的三维模型进行作业,实现智能化、无人化施工,极大提高了土方工程的施工精度和效率。在大坝混凝土浇筑、构件安装等环节,GPS用于高精度的三维实时定位,确保结构物安装位置准确无误。同时,GPS也是施工期安全监测的重要手段,用于大坝、边坡、围堰等结构的表面变形自动化监测。

通过实时采集施工机械的位置、姿态等数据,结合施工进度计划和设计模型,可在管理平台上动态显示各区域的施工完成情况,及时发现并调整施工偏差。对于大型水利工程中涉及的长距离轴线、高程控制等关键测量任务,GPS技术能够快速提供厘米级甚至毫米级的定位精度,有效替代传统的逐级传递测量方式,减少了人工误差和测量时间^[3]。此外,GPS设备与施工管理系统的集成,使得施工数据能够实时上传至云端,为管理人员远程监控施工过程、进行资源调配和决策支持提供了可靠的数据依据,进一步保障了施工过程的有序性和可控性。

2.3.2 遥感技术在施工阶段的应用

施工期间,利用无人机低空遥感或高分辨率卫星影像,可定期、快速地获取整个工区的正射影像和实景三维模型。这为工程进度管理提供了直观、客观的依据。通过不同时期的影像对比,可以精准计算土方开挖量、填筑量,监控施工活动范围是否符合环保要求,及时发现边坡不稳定迹象、水土流失等问题。尤其在大型线性

工程（如渠道、堤防）建设中，遥感技术可高效监控沿线施工进度与扰动情况。

例如，在围堰施工过程中，通过无人机遥感获取的影像数据，能够清晰反映围堰的填筑轮廓、高度及平整度，与设计模型比对后可及时调整施工参数；对于水库大坝的混凝土浇筑，定期的遥感监测可以辅助评估坝体温度场分布的均匀性，结合热红外遥感技术还能发现潜在的温度裂缝隐患。

2.3.3 电子平板仪和全站仪在施工阶段的配合应用

电子平板仪在施工中主要作为移动信息终端，用于现场巡查、质量验评、隐蔽工程记录等。监理和施工管理人员可通过平板调阅设计图纸、技术规范，现场填写检验记录并拍照关联，实现施工过程信息的无纸化、即时化管理^[4]。而全站仪作为传统高精度测量仪器的代表，在局部复杂结构的高精度放样、安装测量中仍发挥着重要作用。全站仪与电子平板通过蓝牙等方式连接，测量数据可即时传入平板并与其上的设计模型比对，完成快速验核。

2.3.4 数字地图在施工阶段的应用

施工阶段的数字地图（施工总布置图）集成了所有临时设施、施工道路、料场、弃渣场等空间信息，是施工组织管理的可视化平台。结合 GIS 的路径分析、服务区分析等功能，可优化物料运输路线和设施布局。同时，施工监测数据（如变形、应力、渗压）可实时接入 GIS 系统，在空间地图上进行可视化展示与预警分析，为施工安全决策提供支持。

3 数字化工具在水利工程建设中应用的建议

尽管数字化工具应用已取得显著成效，但仍存在技术集成度不高、数据标准不统一、复合型人才缺乏、部分技术应用成本较高等挑战。为推动其更深层次、更广泛应用，提出以下建议：首先，加强顶层设计与标准建设，制定覆盖水利工程全生命周期的数据采集、交换、建模与交付的统一标准体系，打破信息孤岛，促进 BIM+GIS 的深度融合^[5]。其次，加大技术研发与集成创新，鼓励开发适用于水利工程复杂场景的国产化专业软件与硬件设备，降低技术依赖与应用成本，特别是推动无人机、物联网、人工智能与现有数字化工具的集成，

实现智能感知与自主分析。再次，重视人才培养与团队建设，在高校教育、职业培训和继续教育中强化数字化技术课程，培养既懂水利专业又精通信息技术的复合型人才。最后，建立基于数字化技术的协同工作平台与管理模式，推动勘察、设计、施工、运维各方在统一平台上协同工作，实现数据流转与共享，最终构建水利工程数字孪生，为工程全生命周期精细化管理和智慧水利建设奠定坚实基础。

4 结语

数字化工具的应用已成为现代水利工程建设必然趋势和核心竞争力体现。从 GPS、遥感、数字地图到电子平板仪等，这些技术不仅革新了传统作业方法，更通过数据流贯穿，重塑了水利工程勘察、设计与施工的整个流程链。它们提升了工作的精度与效率，增强了决策的科学性与预见性，强化了过程的可控性与安全性。面对新时代水利高质量发展的要求，我们必须主动拥抱数字化浪潮，通过加强标准融合、推动技术创新、培育专业人才、构建协同生态，持续深化数字化工具在水利工程中的全链条、深层次应用。未来，随着物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的进一步融合，水利工程建设必将迈向更加智慧、绿色、高效的新阶段，为保障国家水安全和促进生态文明建设提供更为强大的技术支撑。

参考文献

- [1] 祝波善. 驱动业务与管理双升级——工程勘察设计企业的数字化转型之路[J]. 中国勘察设计, 2025, (07): 15-19.
- [2] 宗珊, 徐志敏, 管林杰, 等. 引调水工程勘察设计数字孪生平台关键技术与应用[J/OL]. 水利水电快报, 1-9[2026-01-23]. <https://link.cnki.net/urlid/42.1142.TV.20250408.1525.011>.
- [3] 高庆保. 水利工程勘察设计与施工中数字化工具的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2022, (18): 100-102.
- [4] 刘雄, 侯吉鹰. 浅析数字化测绘技术在建筑工程测量中的应用[J]. 建筑, 2022, (13): 77-78.
- [5] 陈超熙. 我国设计企业数字化转型扬帆起航[J]. 中国勘察设计, 2022, (01): 45-49.