

Practice and innovation of high precision topographic survey technology in hydraulic engineering

Peng Shan

Bayingoleng Mongolian Autonomous Prefecture Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract

The application of high-precision topographic survey technology in hydraulic engineering is increasingly extensive, which provides accurate data support for engineering construction and management. Affected by terrain complexity and environmental factors, traditional surveying methods are difficult to meet the high precision requirements of modern hydraulic engineering. With the development of satellite remote sensing, global navigation satellite system, UAV surveying and mapping, 3D laser scanning and other technologies, the accuracy and efficiency of topographic survey in hydraulic engineering have been significantly improved. High precision measurement technology plays a key role in engineering planning, construction monitoring, operation and maintenance and disaster warning. The combination of multi-source data fusion, intelligent measurement system and digital twin technology further promotes the development of measurement technology to the direction of automation and intelligence. This study discusses the core method of high precision topographic survey technology, its specific application in hydraulic engineering and its future development trend, and provides reference for related research and engineering practice.

Keywords

high precision measurement; Topographic data; Water conservancy project; Drone mapping; Three-dimensional laser scanning

高精度地形测量技术在水利工程中的实践与创新

单鹏

巴音郭楞蒙古自治州水利水电勘测设计有限责任公司, 中国·新疆 库尔勒 841000

摘要

高精度地形测量技术在水利工程中的应用日益广泛, 为工程建设与管理提供了精准的数据支持。传统测量方法受地形复杂性与环境因素的影响, 难以满足现代水利工程的高精度需求。随着卫星遥感、全球导航卫星系统、无人机测绘及三维激光扫描等技术的发展, 水利工程的地形测量精度和效率显著提升。在工程规划、施工监测、运行维护及灾害预警等方面, 高精度测量技术发挥着关键作用。多源数据融合、智能测量系统与数字孪生技术的结合进一步推动测量技术向自动化、智能化方向发展。本研究探讨高精度地形测量技术的核心方法、在水利工程中的具体应用以及未来发展趋势, 为相关研究和工程实践提供借鉴。

关键词

高精度测量; 地形数据; 水利工程; 无人机测绘; 三维激光扫描

1 引言

水利工程的建设与维护依赖于精准的地形测量数据, 地形测量技术的进步对提升工程质量和运行效率具有重要意义。传统测量方法主要依靠人工测绘和全站仪测量, 受地形复杂性、天气变化及水域环境的限制, 测量精度和作业效率较低。近年来, 随着测绘技术的快速发展, 高精度地形测量手段得到广泛应用, 提升了水利工程勘测设计、施工监测和运行维护的科学性。卫星遥感、全球导航卫星系统、无人机遥感测绘以及三维激光扫描技术相结合, 使得大范围、

高精度的地形数据采集成为可能, 不仅提高了测量精度, 也大幅降低了人工成本。高精度测量技术的应用改善了水利工程的地形数据获取方式, 为水资源管理、防灾减灾和基础设施建设提供了技术支持。本文围绕高精度地形测量技术在水利工程中的应用展开研究, 分析其在不同工程阶段的作用, 并探讨未来技术发展方向, 以期推动水利工程测绘工作的现代化。

2 高精度地形测量技术概述

高精度地形测量以精准获取地表空间信息为核心, 通过现代测绘技术实现高分辨率、高精度的数据采集。测量过程涉及坐标标准的建立、误差控制、数据处理及空间分析等多个环节, 利用全球导航卫星系统、遥感影像、激光扫描等

【作者简介】单鹏(1988-), 男, 中国江苏江阴人, 本科, 工程师, 从事水利工程测绘研究。

技术手段,提高测量精度和作业效率。测量数据通常需经过多次校正与融合,以减少系统误差和环境干扰。测量结果可用于地形建模、工程设计、施工监测和后期维护,为水利工程提供可靠的数据支撑。高精度地形测量涵盖多种技术手段,包括全球导航卫星系统测量、无人机摄影测量、三维激光扫描和遥感测绘等。全球导航卫星系统测量依赖卫星信号获取地理坐标信息,适用于大范围地形数据采集。无人机摄影测量利用航拍影像生成高精度三维模型,适用于地形复杂区域。三维激光扫描通过点云数据构建地形模型,实现毫米级精度测量。遥感测绘利用多光谱或雷达影像进行地形分析,适用于大尺度水域和山区环境。

3 高精度地形测量在水利工程中的需求分析

3.1 水利工程对测量精度的要求

水利工程涉及堤坝、水库、河道及防洪设施的规划与建设,对地形测量的精度要求极高。工程前期勘测需要高精度地形数据,以确保选址合理、设计参数精准。施工阶段要求实时测量数据监测地基沉降、结构变形等关键参数,保障施工质量和安全。运行维护过程中需定期测量水库库容、河道侵蚀和水流变化,为水资源管理提供科学依据。测量误差可能导致工程结构受力分析偏差,影响安全性和使用寿命,因此高精度测量在整个工程周期内至关重要。

3.2 复杂水域环境的测量挑战

水利工程往往位于地形复杂、环境多变的区域,测量过程中面临诸多挑战。水面反射影响光学测量设备的精度,潮汐和水流变化导致测量基准不稳定,增加数据处理难度。河道、湖泊和水库的深度测量依赖水下测绘技术,传统方法难以获取高精度数据。山区水利工程地形陡峭,信号遮挡严重,影响卫星定位精度。高寒或湿热环境下,设备稳定性和测量精度受到气象条件制约。复杂地形和极端环境对测量设备、数据处理方法和误差控制提出更高要求。

4 先进高精度地形测量技术

4.1 卫星遥感与全球导航卫星系统(GNSS)测量技术

卫星遥感与全球导航卫星系统测量技术在地形测量中具有广泛应用,测量精度可达厘米级甚至毫米级,适用于大范围、高精度的数据采集。GNSS测量技术通过多颗卫星信号计算地理坐标,实时动态测量(RTK)模式下精度可达 $\pm 1\text{ cm}$ 。高精度定位依赖基准站网络,在误差校正后可获得更精准的地形数据。卫星遥感利用光学、多光谱和雷达影像获取大面积地形信息,空间分辨率从 30 m 到 0.3 m 不等,雷达干涉测量(InSAR)可监测毫米级地表形变。卫星遥感适用于山区、湿地等难以进入的区域,但受天气条件和植被覆盖影响。GNSS与遥感结合可优化测量效率,提高水利工程地形测量的时效性和准确性,为工程规划和灾害监测提供科学数据支撑。

4.2 无人机遥感测绘技术

无人机遥感测绘技术依托高分辨率航拍影像和实时定位系统,实现大范围地形数据的快速获取,测量精度可达 $\pm 5\text{ cm}$ 。无人机搭载光学相机、多光谱传感器和激光雷达,能够生成高精度数字高程模型(DEM)和数字表面模型(DSM)。飞行高度在 50 m 至 300 m 范围内可调整,分辨率可达 2 cm/pixel ,覆盖面积可达 $10\text{ km}^2/\text{架次}$,适用于复杂地形测绘。相比传统测量,无人机测绘效率提高5倍以上,数据采集时间减少50%,作业成本降低40%。无人机在水利工程测绘中可用于河道淤积分析、大坝变形监测和洪水灾害评估,避免人工测量的风险,提升作业安全性和精度。无人机受电池续航和气象条件限制,长航时固定翼无人机可覆盖更大区域,但操作复杂度相对增加。随着智能飞行控制和数据处理技术的发展,无人机遥感测绘在水利工程中的应用价值将进一步提升。

4.3 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术基于激光测距原理,通过高速旋转的激光束采集地形点云数据,测量精度可达 $\pm 2\text{ mm}$,适用于高精度工程测绘。单台设备可在1小时内获取百万级点云数据,测量范围可达 100 m 至 1000 m ,空间分辨率达到 5 mm 。机载激光雷达(LiDAR)技术结合GNSS和惯性测量单元(IMU),可获取大面积高精度地形信息,适用于山地、水库和河道测绘。相较于传统测绘,三维激光扫描减少90%的人工作业时间,提高数据采集效率3倍以上。点云数据可用于建立高精度三维模型,支持水利工程中的沉降监测、岸坡稳定性分析和坝体变形评估。水下激光扫描技术在水深 0.5 m 至 10 m 范围内可提供高精度地形数据,弥补声呐测绘精度不足的问题。数据处理方面,自动化点云分类和建模算法提高了信息提取效率,减少后期处理时间50%以上。三维激光扫描技术在水利工程中的广泛应用推动了数字孪生技术的发展,提高了工程设计与管理的智能化水平。

5 高精度地形测量在水利工程中的应用与创新

5.1 数字地形建模在水利工程规划中的应用

数字地形建模技术基于高精度测量数据构建地形三维模型,为水利工程规划提供精准的地形信息支持。采用无人机摄影测量、三维激光扫描和卫星遥感技术,能够快速获取大范围高精度地形数据,测量精度可达 $\pm 5\text{ cm}$ 。点云数据经过自动化处理后可生成数字高程模型(DEM)和数字表面模型(DSM),提供河道、库区、坝址等区域的地形特征分析。水利工程选址过程中,数字地形建模技术可用于计算地表坡度、水流路径和流域面积,提高水库选址的科学性。对防洪工程而言,基于DEM的水流模拟可预测洪水淹没范围和水动力变化,提高工程设计的精准度。三维地形建模支持工程施工前的可视化仿真,使设计方案更加直观,提高施工可行性分析的准确性。模型数据可与水文、地质等信息结合,优化工程设计参数,减少后期施工调整成本。数字地形

建模的应用提升了水利工程前期规划的精度和效率，为工程的安全性和经济性提供科学依据。

5.2 智能监测技术在施工过程中的精准控制

水利工程施工过程中，智能监测技术基于高精度地形测量手段，实现施工精度控制、形变监测和实时数据反馈，提高施工质量和安全性。GNSS 实时动态测量（RTK）技术可在施工现场提供 $\pm 2\text{ cm}$ 的高精度定位，确保土方填筑、混凝土浇筑等作业符合设计要求。三维激光扫描技术可在施工过程中快速获取坝体、渠道和闸门等结构的高精度点云数据，误差控制在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内，为施工误差分析和调整提供可靠依据。无人机航测技术可对大范围施工区域进行快速测绘，每天可覆盖 50 km^2 区域，影像分辨率可达 2 cm/pixel ，实现施工进度监控和质量评估。智能传感器和 InSAR 雷达干涉测量技术可实现毫米级地表形变监测，识别坝基沉降、堤坝位移和滑坡隐患，提高施工安全预警能力。监测数据通过物联网系统实时传输至工程管理平台，结合 BIM 技术进行动态分析，自动生成施工误差评估报告，提高工程调整的时效性。智能监测技术在水利工程施工中的应用优化了测量流程，减少施工误差，提高整体工程质量，降低因误差返工造成的经济损失。

5.3 高精度测量数据在防洪与水资源管理中的作用

防洪与水资源管理依赖高精度测量数据进行科学决策，提高水利工程的防灾减灾能力。无人机遥感测绘技术可在短时间内完成洪水易发区的高精度测绘，每小时可采集 10 km^2 的地形数据，影像分辨率达到 2 cm/pixel ，为洪水模拟提供基础数据。三维激光扫描技术可用于河道和堤坝形变监测，测量精度达到 $\pm 2\text{ mm}$ ，可识别潜在堤防失稳风险，提高防洪预警能力。GNSS 测量技术结合遥感影像可实时监测水库水位变化，误差控制在 $\pm 5\text{ cm}$ 范围内，为水资源调度提供精准数据支持。InSAR 雷达干涉测量可在区域尺度上监测大坝沉降和地表变形，毫米级精度的数据可用于评估长期运行中的结构安全性。多波束测深技术可获取水库和河道的高分辨率水下地形数据，误差控制在 $\pm 10\text{ cm}$ 以内，为河道疏浚和水库库容计算提供精准参数。基于测量数据的水动力模拟可预测洪水传播路径，提高调洪调度的精度，减少灾害损失。高精度测量技术提升了防洪和水资源管理的精细化水平，提高了水利工程在极端气候条件下的适应能力。

5.4 数字孪生与智能化测量技术的创新发展

数字孪生技术结合高精度地形测量与智能分析手段，

实现水利工程的精准监测、预测与管理，提高工程运行的智能化水平。基于 GNSS、三维激光扫描和遥感测绘技术，可构建水利工程的高精度三维模型，实现虚拟环境与真实工程的同步更新，测量精度可达毫米级。物联网传感器实时采集坝体位移、水位变化和渗流压力等数据，与数字孪生系统融合，提高工程监测的实时性和精准度。人工智能算法对测量数据进行自动化分析，可识别异常变形模式，提高灾害预警能力，减少人工干预带来的误差。多源数据融合技术使卫星遥感、无人机航测和水下测深数据协同处理，提高测量精度和数据完整性。云计算技术支持超大规模地形测量数据的存储与实时分析，提升数据处理效率，减少人工计算误差。BIM 与 GIS 结合实现水利工程的全生命周期管理，提高规划、施工、运维阶段的数据共享能力。未来，5G 通信技术的应用将进一步增强测量数据的实时传输能力，使数字孪生系统能够更精准地响应工程运行状态，提高水利工程的智能化管控水平。

6 结语

高精度地形测量技术在水利工程中的应用不断深化，为工程规划、施工监测、防洪管理及智能化发展提供了坚实的数据支撑。数字地形建模提升了前期规划的科学性，智能监测技术优化了施工过程的质量控制，高精度测量数据在水资源管理和防洪预警中发挥了重要作用，数字孪生技术推动了测量技术向智能化方向发展。多源数据融合、人工智能分析和实时监测系统的结合，使测量精度和时效性不断提升，推动水利工程向数字化、自动化、智能化方向发展。未来，测量技术的进一步创新将提升水利工程的安全性和可持续性，为防灾减灾、水资源合理调配和工程长期稳定运行提供更精准的数据支持。

参考文献

- [1] 李云城,程子桢.基于无人机贴近摄影测量的高精度三维实景建模[J].水利水电快报,
- [2] 陈齐.基于无人机航测及水下地形测量的水利工程高精度DEM构建研究[J].测绘与空间地理信息,2020,43(01):205-208.
- [3] 任建江,李冬梅,严新军.GPS测量技术在水利工程高精度变形监测网中的应用[J].水利水电技术,2011,42(02):79-82.
- [4] 丁万庆,张长路.工程测量新技术在水利工程中的开发与应用[J].广西水利水电,2003,(02):8-11.