

基于 GPS 的水利工程地形测量关键技术研究

汲 姣 杨 磊

天津市水务规划勘测设计有限公司 天津 河西区 300200

摘要: GPS技术凭借全天候作业、高精度定位等优势,在水利工程地形测量中发挥关键作用。本文深入分析GPS技术与水利工程测量需求的适配性,构建涵盖高精度三维坐标获取、多路径效应抑制等关键技术体系,探讨误差修正模型构建与数据质量评估方法,研究GPS与全站仪、惯性导航系统等技术的融合应用模式,为水利工程地形测量提供全面技术支持,推动测量精度与效率的提升。

关键词: GPS技术;水利工程;地形测量;误差修正;多技术融合

引言: 水利工程地形测量是工程规划、施工及运维的基础环节,其数据精度直接影响工程安全性与经济性。传统测量方式依赖人工操作与光学设备,在复杂水域、山区及特殊地质区域面临通视受限、效率低下、精度不足等挑战。随着卫星导航技术发展,GPS技术凭借全天候作业、高精度定位及实时动态监测等优势,逐渐成为水利工程地形测量的核心手段。然而,水利工程环境复杂多变,对GPS技术的适配性、数据质量及多技术融合提出更高要求,需系统研究关键技术以提升测量效能。

1 GPS技术基础与水利工程测量需求适配性分析

1.1 GPS技术原理与系统组成

空间卫星群构建的导航星座体系,以既定轨道运行持续发射导航信号,地面监控系统承担卫星状态监测、信号校正参数生成及上行注入等职能,形成对卫星运行的全流程管控链路^[1]。用户接收设备通过捕获卫星信号,完成信号解调与伪距、载波相位等观测值解算,依托差分定位技术可削弱卫星钟差、电离层延迟及对流层延迟等误差影响,实现定位精度的显著提升。

1.2 水利工程地形测量需求特征

水利工程地形测量覆盖范围往往跨越广阔水域与周边陆地区域,对三维坐标的精准获取存在明确要求,需完整呈现地形起伏、水域边界及工程设施布局的空间信息。复杂水域环境存在水域面积大、水体流动性强的特点,山区地形则伴随高程变化剧烈、通视条件受限的问题,特殊地质区域如软土滩涂、岩溶地貌区,还存在测量基准点易受侵蚀的情况,这些因素均对测量工作的开展形成客观制约。测量过程需兼顾不同区域的地形特质,针对差异化环境制定适配的测量方案,保障最终获取的地形数据能够真实反映工程区域的地理现状。

1.3 GPS技术与水利工程测量需求的适配性

GPS技术具备的全天候作业属性,摆脱了传统测量

方式对光照、天气等外部条件的依赖,在阴雨、雾霭等低能见度环境下仍可稳定开展测量工作,与水利工程复杂多变的作业环境形成良好契合。其搭载的实时动态定位功能,可实现定位数据的即时解算与输出,满足水利工程测量对数据时效性的需求,同时凭借差分技术加持,能够将定位精度控制在厘米级区间,契合水利工程地形测量对高精度坐标的核心诉求。在实际水利工程测量中,通过差分技术处理后的定位精度可达到 $\pm 2\text{cm}$ 以内。该技术的信号覆盖范围广泛,可有效延伸至偏远水域、山区等传统测量难以覆盖的区域,进一步强化了与水利工程测量需求的适配程度,为水利工程规划、施工及运维全流程提供可靠的地理数据支撑。

2 基于GPS的水利工程地形测量关键技术体系

2.1 高精度三维坐标获取技术

载波相位观测数据是高精度空间位置解算的核心基础,科学开展观测数据筛选与平滑处理,结合大气折射轨道偏差等各类干扰因素制定系统化误差修正方案,逐步降低外界环境带来的观测偏差^[2]。广域差分模式可以完成大范围空间误差参数的统一解算,局域差分模式能够贴合水利场地局部环境完成精细误差补偿。两类差分模式结合运用,搭建分层化精度调控模式,持续优化平面与高程维度的坐标解算质量,满足水利工程大范围场地勘测的精度标准。

2.2 多路径效应抑制技术

地表反射物体会造成导航信号反射叠加,进而引发多路径干扰问题。合理改良天线抑径板结构形态与防护设计,削弱低矮遮挡物及地面反射信号的不良影响。依托智能信号滤波算法完成杂波筛选与数据净化,强化有效导航信号的识别能力。多频段信号接收模式可以拓宽信号捕获维度,搭配电磁防护与抗干扰设计,提升设备在山区滨水复杂场地中的信号稳定程度,减少复杂地貌

对测量作业的干扰作用。

2.3 垂直位移监测技术优化

高程数据精准解算需要依托完善的高程异常计算框架,结合区域地理特质完善模型参数标定流程,推进大地水准面的精细化推演与拟合。结合水利区域地形分布规律整合GPS水准观测数据,引入空间曲面拟合运算思路,完善高程换算的运算逻辑。这类技术融合模式可以弱化传统高程测量的局限性,强化垂直方向形变捕捉能力,为堤坝岸坡等水利构筑物的形变监测提供稳定技术支撑。

2.4 实时动态定位RTK技术集成

固定布设的基准站持续输出稳定观测数据,野外作业端的流动站自主接收卫星信号与差分数据链路信息,构建一体化野外勘测作业模式。优化动态测量流程的初始化逻辑,依托精密算法缩短整周模糊度求解耗时,加快空间参数收敛速度。持续强化野外复杂场景下的定位稳定性,让动态勘测作业可以适配水利工程野外作业的多变场景,提升外业数据采集的整体效率。

2.5 水下地形测量技术突破

依托RTK定位模块搭配声呐测深设备完成水域空间信息采集,统一两类设备的数据采集基准与运算逻辑,完成水域点位坐标与水深数值的整合梳理。结合河段水文变化规律完成水位数值动态校正,抵消水位起伏带来的测量偏差。整合水面定位数据与水下深度信息,借助空间建模手段完成水下地形曲面搭建,完整还原河道库区等水域的水下地貌形态,填补传统陆地测量方式在水域勘测环节的应用空白。

3 GPS测量数据质量控制与误差分析

3.1 误差来源分类与影响机制

GPS测量数据的误差来源可划分为外部环境干扰、设备自身局限及人为操作偏差三大类别,各类误差通过不同作用路径影响测量结果精度^[3]。卫星轨道误差源于卫星运行轨道的微小偏移,受地球引力场不均匀、太阳辐射压等因素影响,导致卫星实际位置与理论计算位置出现偏差,进而传递至坐标解算过程。大气延迟误差分为电离层延迟与对流层延迟,电离层中带电粒子会折射GPS信号,对流层的温度、湿度变化则改变信号传播速度,两类延迟均会随时间、空间变化产生动态偏差。多路径效应误差由地表反射物对卫星信号的二次反射形成,反射信号与直接信号叠加后,会干扰接收设备对原始信号的识别与解算,在滨水、山区等反射物密集区域偏差更为明显。接收设备硬件误差涵盖天线相位中心偏移、振荡器稳定性不足及信号接收灵敏度差异等,直接影响观测数据的原始精度。人为操作偏差包括观测时段选择不合

理、基准站布设不规范、设备整平对中偏差等,通过操作流程的疏漏引入系统性误差,进一步降低测量数据的可靠性。

3.2 误差修正模型构建

误差修正模型的构建以精准抵消各类偏差为核心目标,结合误差特性采用分层修正思路。最小二乘法作为经典的误差参数估计方法,通过对大量观测数据的统计分析,求解误差参数的最优估计值,有效削弱卫星轨道误差、设备硬件误差等系统性偏差的影响,提升数据解算的整体精度。针对大气延迟、多路径效应等动态误差,构建动态误差补偿与实时修正算法,通过实时采集环境参数,动态调整误差修正系数,实现误差的动态抵消。算法整合卫星信号强度、环境温湿度等实时数据,建立误差与环境参数的关联关系,同步优化解算流程,减少动态误差对测量结果的影响,确保在复杂环境下仍能维持稳定的测量精度,满足水利工程地形测量对数据准确性的严苛要求。

3.3 数据质量评估指标体系

GPS测量数据质量评估需依托系统化指标体系,全面覆盖数据精度、完整性与可靠性三大核心维度。平面精度与高程精度是评估数据准确性的核心指标,通过与已知基准点的坐标比对,量化测量数据与真实值的偏差,反映误差修正模型的实际效果,契合水利工程对三维坐标精准度的核心需求。收敛时间指标衡量定位解算的效率与稳定性,收敛时间越短,表明设备对卫星信号的捕获与解算能力越强,适配野外复杂环境下的高效测量需求。数据完整性评估聚焦观测数据的缺失情况,通过统计有效观测数据占比,排查数据采集过程中的疏漏,避免因数据缺失导致解算结果失真。可靠性评估通过对观测数据的一致性检验、异常值剔除等方法,判断数据的稳定性与可信度,剔除受强干扰影响的异常数据,确保最终用于水利工程设计、施工的测量数据具备足够的可靠性,为水利工程建设提供坚实的数据支撑。

4 GPS技术与其他测量技术的融合应用

4.1 GPS与全站仪的协同作业模式

GPS技术凭借大范围快速定位的核心优势,可高效完成水利工程测量中的控制网布设与远距离点位捕捉,全站仪则在小范围高精度测量与地形细部采集方面具备显著优势,二者协同可实现效能互补,优化测量作业整体质量^[4]。科学划分测量任务分工,依托GPS技术开展大范围区域地形概览数据采集、远距离点位定位及整体控制网搭建,借助全站仪完成工程周边隐蔽区域观测、细部点位精准测量及地形特征点精细化捕捉,构建高效有序

的作业体系。优化两类技术的数据融合处理流程，统一观测数据的格式标准与精度阈值，通过专业坐标转换算法消除设备间的观测偏差，搭建科学的统一坐标系构建方法。结合水利工程测量的坐标基准要求，整合GPS动态定位数据与全站仪静态观测数据，优化数据解算逻辑，削弱两类设备观测误差的叠加影响，保障融合后的数据能够精准反映工程区域地形与点位信息，为水利工程勘测设计提供可靠支撑。

4.2 GPS与惯性导航系统（INS）的集成技术

GPS与惯性导航系统集成可有效弥补单一技术应用局限，松耦合与紧耦合是两类核心集成方案，二者在数据交互逻辑、精度表现及场景适配性上存在明显差异。松耦合集成方案采用独立数据处理模块，分别完成GPS与INS的数据解算，再通过融合算法整合结果，适配干扰较小、实时性要求适中的测量场景，兼具部署灵活与成本可控的特点。紧耦合集成方案实现两类技术观测数据的深度互通，共享测量信息并开展联合解算，定位精度与抗干扰能力更优，适配复杂动态测量场景。针对水利工程野外动态测量的实际需求，优化动态环境下的组合导航定位算法，整合GPS卫星信号与INS惯性测量数据，填补GPS信号遮挡时的定位空白，提升动态测量的连续性与稳定性。通过算法优化缩短数据解算耗时，动态调整融合权重，应对复杂地形与多变环境带来的测量干扰，保障移动测量、动态监测等场景下的定位精度稳定。

4.3 多源数据融合处理平台架构

多源数据融合处理平台是实现GPS与其他测量技术高效融合的核心支撑，架构设计重点围绕数据接口标准化与协议兼容性展开。规范各类测量设备的数据输出接口，制定统一的数据传输协议，实现GPS、全站仪、INS等设备的数据高效互通，规避接口不兼容、协议不一致导致

的数据丢失或偏差问题。优化平台兼容性设计，适配不同型号测量设备的数据源，提升平台数据接纳与处理效能。完善异构数据融合技术，整合不同类型、不同精度的测量数据，通过专业算法消除数据异构性带来的偏差，提升数据一致性与准确性^[5]。优化可视化展示技术，将融合后的地形、点位及监测数据以直观形式呈现，清晰反映工程区域地理信息与测量结果，为水利工程相关决策提供直观、精准的数据参考，进一步发挥多技术融合的应用价值。

结束语

基于GPS的水利工程地形测量关键技术研究，从技术适配性分析到关键技术体系构建，再到误差控制与多技术融合应用，形成了一套完整的技术解决方案。通过高精度三维坐标获取、多路径效应抑制等技术突破，结合误差修正模型与数据质量评估体系，有效提升了测量数据的精度与可靠性。GPS与全站仪、惯性导航系统等技术的融合应用，进一步拓展了测量场景的适应性，为水利工程地形测量提供了高效、精准的技术手段，推动了水利工程测量技术的现代化发展。

参考文献

- [1]张莹盈.浅析GPS技术在水下地形测量中的应用[J].建筑工程技术与设计,2021(16):232.
- [2]李朋朋,吴硕先,张卫,等.基于GPS的水利工程地形测量关键技术研究[J].科学技术创新,2025(9):133-136.
- [3]关延峰.水利工程GPS静态测量控制网布设技术与测量精度研究[J].东北水利水电,2024,42(5):65-67.
- [4]李佳.水利工程GPS静态测量控制网布设与测量精度分析[J].黑龙江水利科技,2022,50(12):163-166.
- [5]燕静博.GPS高程测量技术在水利工程测量中的应用[J].黑龙江水利科技,2024,52(7):122-124,133.