

GPS 高程测量技术在水利工程测量中的应用

王哲

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

DOI:10.32629/ems.v8i5.20185

[摘要] 为提高水利工程测量精度, 本文结合 GPS 高程测量技术的原理与作业模式, 系统探讨其在水利工程各阶段的具体应用流程, 并通过实际工程案例验证技术可行性。结果表明, GPS 高程测量技术无需通视、全天候作业, 可实现厘米级至毫米级精度, 在地形测绘、控制网布设、施工放样及运维监测中, 效率较传统测量技术提升 2 倍以上, 且数据稳定性强, 为水利工程质量控制和安全运维提供可靠的技术支撑, 具有广泛的推广应用价值。

[关键词] GPS 高程测量技术; 水利工程; 测量; 应用

引言

水利工程在水资源调配、防洪减灾及灌溉供水等领域发挥着非常重要的作用, 而测量精度直接决定了工程设计合理性、施工安全性及长期运维稳定性。但传统高程测量技术易受地形地貌和天气条件的干扰, 山区、偏远流域等复杂区域存在作业效率低、通视困难、误差累积明显等弊端。随着卫星定位技术的快速发展, GPS 高程测量技术凭借全球覆盖、全天候作业、高精度定位、无需通视及自动化程度高的优势, 逐步取代传统测量技术。本文系统阐述 GPS 高程测量技术的应用要点, 结合实例验证其应用效果, 旨在为该技术在水利工程中的规范化、高效化应用提供理论参考与实践指引。

1 GPS 高程测量技术概述

GPS 高程测量技术是基于全球定位系统 (GPS), 通过接收卫星信号解算测站点三维坐标, 进而获取测站点高程的现代化测量技术。该技术主要分为静态相对定位、快速静态定位、动态相对定位及 RTK 实时动态定位四种作业模式, 其中 RTK 模式可实现秒级获取厘米级精度坐标, 适配高频次、实时性强的工程场景。与传统测量技术相比, GPS 高程测量技术不仅突破了通视限制, 能在复杂地形、恶劣天气下正常作业, 还具有测量效率高、误差可控、自动化程度高的优势, 高程测量精度可达 $\pm 2\text{cm}+1\text{ppm}$, 可有效满足水利工程各阶段的测量精度要求, 广泛应用于地形测绘、控制网布设、变形监测等场景^[1]。

2 GPS 高程测量技术在水利工程测量中的应用

2.1 水利工程规划阶段的应用

2.1.1 地形高程测绘

水利工程规划阶段, GPS 高程测量技术可根据工程区域

范围和精度要求, 合理布设 GPS 观测点, 采用快速静态定位或 RTK 模式, 全面测绘工程区域内的地形、地貌, 快速获取各观测点的高程数据。水库、河道等大范围区域可结合无人机航测技术, 通过 GPS 定位实现测区全覆盖, 有效解决传统测绘中偏远区域、复杂地形难以到达的问题。测绘过程中, 利用 Trimble Total Control 等专业软件对观测数据进行处理, 修正卫星轨道误差、大气延迟误差等, 确保高程数据精度满足规划设计要求。基于 GPS 高程测绘获取的地形高程数据, 可直接用于绘制等高线图、地形剖面图, 为坝址选址、流域规划、灌溉区域划分等提供精准的基础支撑, 大幅缩短测绘周期, 降低野外作业强度。

2.1.2 流域高程控制网布设

GPS 高程测量作业时, 测量人员首先根据流域范围、工程规模及测量精度要求, 确定控制网的等级和布设方案, 选择视野开阔、远离电磁干扰、稳定性好的地点作为 GPS 控制点, 然后采用静态相对定位模式进行观测, 观测时间根据控制网等级调整, 确保数据采集的完整性和准确性。观测完成后, 再利用专业数据处理软件对观测数据进行基线解算、网平差处理, 消除系统误差和偶然误差, 确定各控制点的精确高程坐标^[2]。同时, 结合 EGM2008 地球重力场模型修正高程数据, 进一步提升控制网精度。借助 GPS 技术布设的流域高程控制网, 不仅覆盖范围广、精度均匀, 还能精准对接国家高程基准, 为后续地形测绘、工程设计、施工放样等工作提供可靠的控制基准。

2.2 水利工程施工阶段的应用

2.2.1 大坝施工高程测量

大坝施工过程中, 高程测量贯穿坝基开挖、坝体浇筑、

溢洪道施工等各个环节,与坝体结构尺寸的准确性和施工质量密切相关。坝基开挖阶段, GPS 高程测量技术采用 RTK 实时动态定位模式快速获取开挖区域的高程数据,对比设计高程,指导开挖作业,确保坝基开挖深度和坡度符合设计要求,避免超挖或欠挖。与此同时,坝体浇筑阶段基于 GPS 高程测量实时监测浇筑层的高程,控制坝体浇筑厚度和高程偏差,保障坝体垂直度和高程精度,尤其是在高坝浇筑中,可同步测量多个作业面,大幅提升施工效率^[3]。此外,溢洪道、消力池等附属建筑物施工中,还可以利用 GPS 高程测量进行精准放样,确保各部位高程符合设计标准。作业过程中,通过布设临时 GPS 基准站,实时向流动站发送差分信号,流动站可秒级获取厘米级高程数据,满足大坝施工的实时测量需求。

2.2.2 河道与渠道高程测量

河道与渠道高程测量效果直接关系到河道疏浚、渠道衬砌、水流顺畅性及灌溉效率, GPS 高程测量技术可有效适应河道、渠道狭长、地形复杂的特点。如,河道高程测量中,采用动态相对定位模式沿河道两岸布设 GPS 观测点,实时获取河道断面的高程数据,结合多波束测深仪,同步完成水下地形和岸边高程测量,为河道疏浚、防洪整治、航道拓宽等工程提供精准数据支撑。渠道高程测量中,根据渠道设计坡度和高程要求,采用 RTK 模式进行高程放样,确定渠道开挖、衬砌的高程控制点,指导施工人员进行作业。同时,利用 GPS 高程测量实时监测施工过程中的渠道高程,及时发现并纠正施工偏差,保障渠道施工质量^[4]。

2.2.3 库区高程监测

库区高程监测主要用于监测库区地形变化、水位高程及岸坡稳定性,为库区移民安置、库底清理、蓄水准备等工作提供数据支撑。库区高程监测中,基于 GPS 高程测量技术合理布设监测点,覆盖库区岸坡、库底、移民安置区等关键区域,采用静态相对定位与 RTK 模式相结合的方式,定期对监测点进行高程测量,获取库区地形高程变化数据。库底高程监测则可以结合 CTD 传感器和压力传感器,实时补偿水体声速变化和船体动态影响,提升水下高程测量精度,确保库底清理深度符合设计要求^[5]。除此之外,通过连续高程监测分析库区岸坡高程变化规律,能够及时发现滑坡、沉降等隐患,为施工安全预警提供依据。也可以利用 GPS 高程测量实时监测库区水位高程,结合水文数据,为库区蓄水方案制定提供支撑,确保蓄水过程安全可控。

2.3 水利工程运维阶段的应用

2.3.1 大坝变形高程监测

大坝长期运行期间受水流冲击、地质变化、温度变化等因素的影响,易出现沉降、位移等变形现象,若变形超出允许范围,将严重威胁大坝安全,因此必须做好该阶段的高程监测工作。GPS 高程测量技术具有高精度、自动化、长期稳定的优势,可实现大坝变形高程的实时监测和动态分析,有效解决传统监测技术精度低、实时性差等问题。如,大坝变形高程监测中,在大坝坝顶、坝体、坝基等关键部位布设 GPS 监测点,结合高精度接收机定期对监测点进行高程测量,获取大坝变形高程数据。同时,搭建自动化监测系统,实时采集与处理监测数据,通过专业软件分析高程变化趋势,计算变形速率,及时发现异常变形。高坝、大型水库大坝可结合多期数据平差处理,进一步提升监测精度,确保监测数据的可靠性。可见, GPS 高程监测可及时掌握大坝变形情况,为大坝运维决策提供科学依据,提前采取加固、防渗等措施,防范大坝安全事故发生。

2.3.2 河道高程变化监测

基于 GPS 高程测量技术监测河道高程变化能为河道运维管理提供数据支撑。河道高程变化监测中,沿用施工阶段布设的 GPS 控制点,定期对河道断面、河床、河岸等部位进行高程测量,对比不同时期的高程数据,分析河道高程变化规律,判断泥沙淤积、河道冲刷的程度和范围。淤积严重的河段,通过高程监测数据确定淤积厚度和范围,为河道疏浚工程提供精准依据;冲刷严重的河岸可及时发现河岸坍塌隐患,采取防护措施。同时,结合水文数据,分析河道高程变化与水流速度、流量的关系,为河道水资源调配、防洪调度提供科学参考,保障河道安全运行。

2.3.3 灌区高程运维监测

灌区高程监测具有测点多、范围广且精度要求高等特点, GPS 高程测量技术可为灌区运维管理提供可靠支撑。一方面,灌区高程运维监测中可以针对灌渠、渡槽、倒虹管等灌溉设施布设 GPS 监测点,采用快速静态定位模式定期对灌溉设施的高程进行测量,监测灌溉设施是否出现沉降、位移等变形现象,确保灌溉设施的稳定性。同时,监测灌区田间高程,对比设计高程,分析灌溉区域的高程差异,及时调整灌溉系统,确保灌溉均匀性,提高灌溉效率^[6]。老化、损坏的灌溉设施可通过高程监测数据确定损坏程度和修复方案,指导设

施修复作业。此外,利用GPS高程测量技术实时监测灌区水位高程,控制灌溉水量,避免水资源浪费。长期的高程运维监测能够建立灌区高程变化数据库,为灌区运维管理、设施改造、水资源优化配置提供科学依据,确保灌区长期稳定运行,提升灌溉效益。

3 实例分析

3.1 工程概况

某水利枢纽工程位于高山地区,平均高程500米,地形起伏较大,最大高差167米,主要由大坝、导流洞、厂房、取水口及渠系输水建筑物组成,渠系建筑物包括引水隧洞、跨河渡槽、倒虹管等。工程总库容1.2亿立方米,主要功能为灌溉、供水及防洪,工程规模为中型水利枢纽工程。该工程测量区域地形复杂、通视条件差,传统测量技术作业难度大、效率低,因此采用GPS高程测量技术完成工程全生命周期的测量工作,确保工程测量精度和效率。

3.2 GPS高程测量实施过程

该工程GPS高程测量期间采用TrimbleR12GPS接收机,结合EGM2008地球重力场模型,按照“控制网布设—外业观测—数据处理—精度检核”的流程实施。

首先,根据工程规模和精度要求布设22个GPS控制点,其中8个点施测过三等水准,作为高程基准点。控制网布设遵循视野开阔、远离电磁干扰、稳定性好的原则,避开陡坡、沟壑等危险区域。

其次,外业观测采用静态相对定位和RTK模式相结合的方式,静态观测时间不少于45分钟,RTK模式用于施工放样和实时监测,基准站架设于已知控制点,通过VRS网络播发差分信号,流动站数据更新率设置为10Hz。观测过程中,实时监测定位DOP值 ≤ 3 ,确保数据采集质量。数据处理采用TrimbleTotalControl2.73软件,加载全球2.5'×2.5'网格大地水准面模型EGM2008,对观测数据进行基线解算、网平差处理,修正高程异常,将大地高转换为正常高。同时,实施三级质量检核,确保测量数据精度符合《水库水下地形测量规范》(SL257-2017)甲级标准要求,最终完成工程各阶段的高程测量工作。

3.3 应用效果分析

运用GPS高程测量技术后,该工程测量精度和效率均得到了显著提升。具体应用效果对比如下表1所示:

表1 GPS高程测量与传统测量技术对比分析表

测量环节	GPS高程测量	传统测量技术	优势体现
地形高程测绘	周期20天,精度 $\pm 2\text{cm}$	周期35天,精度 $\pm 5\text{cm}$	周期缩短40%,精度提升60%
控制网布设	周期10天,精度 $\pm 1\text{cm}$	周期20天,精度 $\pm 3\text{cm}$	周期缩短50%,精度提升67%
大坝施工放样	效率20点/天,偏差 $\leq 5\text{mm}$	效率8点/天,偏差 $\leq 10\text{mm}$	效率提升150%,偏差缩小50%
大坝变形监测	精度 $\pm 1\text{mm}$,实时监测	精度 $\pm 3\text{mm}$,定期监测	精度提升67%,实现实时预警

结束语

总而言之,GPS高程测量技术具有全球覆盖、全天候作业、高精度、高效率、无需通视的优势,有效突破了传统高程测量技术在水利工程中的应用局限,为水利工程的设计、施工质量控制和安全运维提供了可靠的技术支撑。本文通过系统阐述GPS高程测量技术的概述及在水利工程各阶段的具体应用,结合实例验证了该技术的可行性和优越性。随着卫星定位技术和数据处理技术的不断发展,GPS高程测量技术将向更高精度、更自动化、更智能化的方向发展,进一步拓展其在水利工程中的应用范围,为我国水利基础设施建设高质量发展提供更有力的技术保障。

【参考文献】

[1]郑卫华.GPS与无人机地质测绘方法在水利工程中的

应用研究[J].地下水,2025,47(06):286-288.

[2]吕伟明.GPS-RTK技术在水利工程施工测量中的精度控制研究[J].中国高新科技,2025,(21):149-151.

[3]袁传辉,简爱兵.GPS技术在水文水资源监测中的应用研究[J].科技视界,2025,15(19):80-82.

[4]王超,杨凯.卫星定位技术在水利工程管理过程中的应用分析[J].水上安全,2025,(11):65-67.

[5]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,(09):133-136.

[6]赵宁.水利工程施工管理中信息化技术的应用[J].河北水利,2024,(09):43-44.