

GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用

杨松柏

广西贵港市润港工程勘察设计有限责任公司，广西 贵港 537100

DOI:10.61369/WCEST.2025050009

摘要：本文聚焦 GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用，阐述其基础理论，同时分析卫星、信号传播、设备及环境等误差来源，并提出针对性修正与控制措施。结合水利水电工程规划设计、施工建设、运营管理三阶段，详述 GPS 技术的具体应用，进而从精度、效率、成本、安全四维度分析应用效益。研究表明，GPS 测量技术能有效解决传统测量在水利水电工程中的通视难、效率低、精度不均等问题，对保障工程质量、缩短建设周期、降低资源投入及规避安全风险具有重要意义，为水利水电工程测量提供关键技术支撑。

关键词：GPS 测量技术；水利水电工程测量；实时动态定位；相对定位

Application of GPS Surveying Technology in Surveying for Water Resources and Hydropower Engineering

Yang Songbai

Rungang Engineering Survey and Design Co., Ltd., Guigang, Guangxi 537100

Abstract : This paper focuses on the application of GPS surveying technology in surveying for water resources and hydropower engineering. It elaborates on the foundational theory of GPS technology, while analyzing error sources such as satellites, signal propagation, equipment, and environmental factors, and proposing targeted correction and control measures. Combining the three stages of water resources and hydropower engineering—planning and design, construction, and operation management—the paper details the specific applications of GPS technology. Subsequently, it analyzes the application benefits from four dimensions: accuracy, efficiency, cost, and safety. Research indicates that GPS surveying technology can effectively address issues inherent in traditional surveying methods for water resources and hydropower engineering, such as difficulties in line-of-sight, low efficiency, and inconsistent accuracy. It holds significant importance in ensuring project quality, shortening construction periods, reducing resource investment, and mitigating safety risks, thereby providing crucial technical support for surveying in water resources and hydropower engineering.

Keywords : GPS surveying technology; surveying for water resources and hydropower engineering; real-time kinematic positioning; relative positioning

引言

测量工作作为水利水电工程全生命周期的先行性基础环节，贯穿规划设计、施工建设至运营管理全过程，其精度与效率直接决定了坝址选址合理性、施工放样准确性及大坝长期安全稳定性。全球定位系统（GPS）测量技术凭借其全天候作业、全球覆盖、高精度定位、无需通视及高效数据处理等优势，逐步取代传统测量技术成为水利水电工程测量的核心手段。本文结合工程全生命周期各阶段需求，详细分析 GPS 具体应用场景与实施路径，进一步量化评估其在精度、效率、成本与安全层面的综合效益，并针对复杂地形信号遮挡、电磁干扰等应用挑战提出解决方案，为 GPS 技术在水利水电工程测量中的规范化、高效化应用提供理论参考与实践指引。

一、GPS 测量技术基础理论

（一）GPS 系统组成与定位原理

GPS 测量技术应用，是由测量人员携带接收机前往各处观测站，开启接收机，由近地卫星持续向接收机发送信号，根据信号

处理结果掌握测量站三维空间坐标值，后续将外业观测数据导入软件进行处理，即可获取测量报告，顺利完成工程测量任务^[1]。

GPS 系统通过空间卫星、地面控制与用户设备三部分协同实现定位，空间部分由 24 颗以上卫星组成，持续广播包含自身位置和时间的信号，确保全球任意地点、任意时间至少能观测到 4 颗卫星；

地面控制部分作为中枢，负责监测卫星状态，计算并修正其轨道和时钟误差，再将准确的导航信息上传至卫星；用户设备即 GPS 接收机，通过接收至少 4 颗卫星的信号，测量“伪距”并利用空间几何原理解算出自身三维坐标^[4]。根据精度需求，定位分为绝对定位与相对定位两种模式，绝对定位由单台接收机独立完成，精度在米级，适用于初步勘察等场景；相对定位则需两台以上接收机同步观测，通过差分技术消除公共误差，精度可达毫米级，广泛用于高精度工程控制网建立与大坝安全监测等。

（二）GPS 测量主要作业模式

水利水电工程中，GPS 测量根据精度与效率需求，衍生出四种核心作业模式。静态相对定位需长时间同步观测，事后解算，精度达毫米级，适用于高精度控制网建立与安全监测；快速静态定位通过技术缩短观测时间，在保持较高精度的同时提升效率，常用于控制网加密与中小规模地形测绘；动态相对定位由基准站与移动流动站组成，实时解算坐标，适合大范围地形测绘与断面测量；实时动态定位（RTK）效率最高，流动站可秒级获取厘米级精度坐标，完美适配施工放样、临时监测与工程验收等高频率、实时性强的场景。

（三）GPS 测量的误差来源与精度分析

GPS 测量精度受卫星、信号传播、接收设备及观测环境等多环节误差影响，需结合水利水电工程特点进行针对性控制^[5]。卫星轨道与钟差可通过差分定位和精密星历修正至毫米级；电离层和对流层延迟可通过双频接收机、夜间观测及气象参数模型修正至 2 毫米内；接收机误差需采用高精度设备和统一作业标准控制；而多路径效应、电磁干扰和信号遮挡等环境误差，则需通过合理选点、远离干扰源及使用多星座接收机来控制在 3 毫米内^[6]。针对不同工程需求，GPS 测量需匹配相应模式与控制措施，建立毫米级精度的首级控制网，需采用长时间静态相对定位并配合精密星历；厘米级精度的施工放样，适用 RTK 模式并需进行点校正；亚毫米级精度的安全监测，则需使用高精度静态接收机并辅以多期数据平差；分米至厘米级精度的地形测绘，可采用快速静态与无人机航测相结合的方式，以兼顾效率与精度。

二、GPS 在水利水电工程各阶段的具体应用

（一）规划设计阶段的应用

在水利水电工程的规划设计阶段，GPS 技术是绘制工程“蓝图”的关键，它有效解决了传统测量在大范围、复杂地形中通视难、效率低的问题。该阶段的核心任务是建立统一的坐标基准和获取高精度地形数据^[7]。GPS 通过“首级 + 次级”的层级控制网架构，利用静态和快速静态定位模式，快速、高精度地覆盖整个工程区域，为后续所有测量奠定基础。在地形测绘方面，GPS 与无人机航测相结合，通过高效采集地面控制点来校正影像，生成高精度三维地形模型，极大地提升了测绘效率与范围，为坝址选择、库容计算和工程布局等关键决策提供了精准、可靠的数据支撑。

（二）施工建设阶段的应用

在水利水电工程的施工建设阶段，GPS 技术是实现“蓝图”

向“实体”精准转化的核心工具，其应用聚焦于实时性、高精度与高频次，有效解决了传统放样效率低和过程监测滞后的问题。该阶段首先通过快速静态或 RTK 模式加密施工控制网，为高频次放样提供密集且精确的基准^[8]。核心应用是 RTK 施工放样，其实现了“测即得”，能实时指导坝体轮廓、导流洞轴线及边坡开挖线的精准施工，大幅提升效率并确保符合设计要求^[7]。同时 GPS 技术还用于施工过程的安全监测，通过定期或临时布设监测点，对边坡位移和坝体沉降进行动态监控，一旦数据超限即可预警，为预防质量与安全风险提供可靠保障。

（三）运营管理阶段的应用

在水利水电工程的运营管理阶段，GPS 技术是保障工程长期安全稳定的核心手段，其应用强调长期连续性、超高精度与实时预警，以解决传统监测难以捕捉微小变形和数据滞后的问题。核心任务是大坝安全监测，通过在坝体关键部位布设永久监测点，进行毫米级精度的连续观测，能精准捕捉水压力、温度变化等因素引起的微小沉降与位移，为结构安全评估提供数据支撑。同时 GPS 与测深仪结合，可高效精准地测量库区泥沙淤积，通过对比不同时期的水下地形，精确计算淤积量，为水库调度和延长使用寿命提供依据。此外，GPS 还用于实时水位监测和库区周边地质灾害预警，通过连续运行参考站（CORS）实时监控隐患点位移，一旦超限即可触发预警，有效预防溃坝、滑坡等重大风险，确保工程运营的长期安全。

三、应用效益分析与挑战探讨

（一）GPS 技术应用的综合效益分析

GPS 技术相比传统测量技术，在水利水电工程中的效益体现在“精度保障工程质量、效率缩短建设周期、成本降低资源投入、安全规避作业风险”四个核心维度，且效益随工程规模扩大呈显著提升趋势^[9]。在精度效益上，GPS 技术的毫米级、厘米级定位能力直接解决了传统测量在大范围、复杂地形中的精度不均问题。效率效益方面，GPS 技术大幅压缩观测时间与作业流程，传统三角控制网布设需 10~15 天 /100km²，而 GPS 静态相对定位仅需 3~5 天，效率提升 60% 以上；施工放样中，传统全站仪 1 个点位需 15~20 分钟，RTK 技术仅需 2~3 分钟，效率提升 80%，尤其在大坝浇筑高峰期，可缩短单日施工时间 2~3 小时，某水电站通过 RTK 放样甚至将坝体浇筑工期缩短 1 个月，间接创造可观经济效益^[9]。成本效益则体现在设备、人力、维护的全方位节省，传统测量需同时配备全站仪、水准仪、经纬仪等设备，GPS 仅需接收机与天线，设备初始投入减少 50%；人力配置上，传统测量需 3~4 人 / 组，GPS 测量 2 人即可完成，人力成本降低 40%，且无需建造传统三角点的 2~3m 高标石，仅需简易埋石，控制点维护成本减少 60%。安全效益是易被忽视却至关重要的维度，水利水电工程多位于山区、涉水区域，传统测量需在悬崖、水边布设测站点，存在坠落、溺水风险，而 GPS 技术可选择安全区域布设基准站，流动站作业范围灵活，无需攀爬或涉水，如库区地形测绘中，GPS 作业的安全风险系数较传统测量降低 90%，有效保障野

外作业人员安全。

(二) 应用中面临的挑战与对策

尽管 GPS 技术优势显著，但水利水电工程的特殊作业环境仍为其应用带来多重挑战，这些挑战集中于“信号接收稳定性、精度控制极限、人员技术适配、极端环境适应”四个方面^[10]。复杂地形导致的信号遮挡是最常见挑战，山区峡谷、坝体内部、密林区域易出现卫星信号遮挡，导致可见卫星数不足 4 颗，直接造成定位失败或精度骤降，对此可采用“多星座融合 + 中继站补盲”方案，选用 GPS+ 北斗双模接收机，卫星数量可从 5~8 颗增至 10~15 颗，大幅提升信号冗余度；在信号盲区布设无线中继站，转发基准站信号，确保流动站正常接收，某水电站通过该方案解决了导流洞内部放样的信号问题，定位精度恢复至 $\pm 2\text{cm}$ 。工程区电磁干扰是精度下降的隐形诱因，施工区的高压线、发电机组、电焊机等设备会产生强电磁信号，干扰 GPS 接收机的信号接收，导致伪距误差增大，应对措施包括“规避干扰源 + 设备抗干扰升级”，优先选择远离高压线 100m 以上、远离施工机械 50m 以上的点位布设基准站；采用带电磁屏蔽功能的抗干扰接收机，同时选择施工机械停运的夜间进行高精度观测，可将电磁干扰导致的误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 内。高精度监测的误差控制挑战则针对亚毫米级需求场景，大坝安全监测需捕捉 0.5mm 级的微小位移，传统差分技术难以消除天线相位中心偏移（ $\pm 1\text{--}3\text{mm}$ ）、接收机噪声（ $\pm 1\text{--}2\text{mm}$ ）等微小误差，对此需从“设备校准 + 数据处理优化”入手，定期对 GPS 天线进行相位中心校准，确保偏移量 $\leq 0.5\text{mm}$ ；采用多期观测数据平差，通过趋势分析削弱随机误差，丹江口水库大坝监测采用该方法后，年沉降观测误差从 $\pm 0.8\text{mm}$ 降至 $\pm 0.3\text{mm}$ ，精准识别坝体变形趋势。人员技术依赖与数据处理风

险是人为层面的挑战，GPS 观测数据需通过专业软件解算，若人员技术不足，易出现参数设置错误、平差方法不当等问题，导致数据无效，对策包括“系统化培训 + 标准化流程”，定期开展 GPS 操作与数据处理培训，考核合格后方可上岗；制定统一的数据处理标准流程，引入智能化数据处理平台，自动完成数据解算与误差分析，减少人为操作失误，某水利枢纽通过标准化流程，数据处理的错误率从 15% 降至 2%。极端天气的影响同样不可忽视，暴雨、暴雪会导致天线进水或积雪，影响信号接收；雷电天气可能损坏接收机设备，对此需做好“设备防护 + 观测计划调整”，为天线加装防水、防雪罩，定期清理积雪或积水；在基准站安装避雷针与防雷接地装置，雷电天气暂停观测；提前关注天气预报，在极端天气来临前完成关键点位观测，避免因天气导致工期延误，某水库通过该措施，在汛期暴雨期间仍保持了水位监测的连续性，为防洪调度提供了稳定数据支撑。

四、结束语

GPS 测量技术凭借其高精度、高效率、全天候及广覆盖的核心优势，已深度融入水利水电工程规划设计、施工建设与运营管理的全生命周期，成为破解传统测量技术在复杂地形中“通视难、效率低、精度不均”痛点的关键手段。随着测绘技术的持续迭代，可以预见，GPS 测量技术在水利水电工程领域的应用将愈发广泛与深入，其不仅为单个工程的安全高效建设与运营提供技术支持，更将为国家水资源优化配置、能源安全保障及智慧水利体系构建奠定坚实的测绘基础，助力水利水电事业实现更高质量的发展。

参考文献

- [1] 欧锐华. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(6): 199~201. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.06.064.
- [2] 高年. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用 [J]. 江西建材, 2021(6): 52, 55. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2890.2021.06.030.
- [3] 陈茂. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用实践研究 [J]. 建材与装饰, 2018(28): 208~209. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0038.2018.28.166.
- [4] 刘和平, 薛双良. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015(3): 4989~4989. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2015.03.3229.
- [5] 丁启来. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用实践研究 [J]. 区域治理, 2018(50): 248. DOI: 10.3969/j.issn.2096-4595.2018.50.223.
- [6] 苏国鹏. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用实践研究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2019(22): 334.
- [7] 李发能. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用分析 [J]. 房地产导刊, 2018(17): 151. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4563.2018.17.143.
- [8] 贾秀芳. RTK 定位系统中 GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用研究 [J]. 水利科技与经济, 2024, 30(2): 57~61, 67. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7175.2024.02.012.
- [9] 邓颖旭. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用研究 [J]. 电脑爱好者 (电子刊), 2021(9): 1441~1442. DOI: 10.12277/j.issn.1005-0043.2021.09.0719.
- [10] 陈瑞. GPS 测量技术在水利水电工程测量中的应用实践研究 [J]. 文渊 (小学版), 2021(8): 1891. DOI: 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.08.991.