

RTK测量技术在水利工程测量中的应用

陈娅娟

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 河北 石家庄 050081

摘要：在水利工程建设向智能化、精准化发展的趋势下，工程测量作为项目规划、设计与施工的基础环节，其技术革新至关重要。本文深入探讨RTK测量技术在水利工程测量中的应用。系统阐述了RTK测量技术的原理、系统组成，剖析其载波相位差分、数据通信等关键技术。详细介绍了RTK测量技术在水利工程控制测量、地形测量、断面测量及施工放样等方面的具体应用。同时，针对应用过程中存在的信号遮挡、数据通信不稳定、多路径效应影响及误差累积等问题，提出优化测量环境、加强通信保障、降低多路径效应、控制误差累积及加强人才培养与规范管理等解决对策，为提升水利工程测量精度与效率提供理论和实践参考。

关键词：RTK测量技术；水利工程测量；应用

引言：水利工程建设关乎国计民生，精准的测量工作是保障水利工程规划科学、设计合理、施工顺利及管理有效的关键前提。随着水利工程规模的不断扩大和建设要求的日益提高，传统测量技术在效率与精度上的局限性逐渐凸显。RTK测量技术凭借高精度、实时性、高效率等优势，成为现代测量领域的重要技术手段。研究RTK测量技术在水利工程测量中的应用，分析其技术要点、应用场景及潜在问题，探索有效解决对策，对推动水利工程测量技术进步、提升工程建设质量具有重要的现实意义。

1 RTK 测量技术概述

RTK（Real-Time Kinematic）测量技术作为全球卫星导航系统（GNSS）的重要应用，是实现高精度定位的关键手段。其核心原理基于载波相位动态实时差分技术，通过基准站和流动站的协同作业实现高精度定位。基准站架设在已知坐标点上，实时接收卫星信号并将观测数据传输至流动站；流动站在接收卫星信号的同时，结合基准站数据，利用差分计算消除误差，最终实现厘米级甚至毫米级的高精度定位。RTK测量系统由基准站、流动站和数据通信链三部分组成。基准站负责收集卫星信号并传输数据，流动站进行数据处理和定位解算，数据通信链则确保两者之间的数据实时传输。该技术具有高精度、实时性强、作业效率高的特点，无需通视条件即可开展测量工作，广泛应用于水利工程等多个领域^[1]。

2 RTK 测量的关键技术

2.1 载波相位差分技术

载波相位差分技术是RTK测量实现高精度定位的核心技术。在GNSS系统中，卫星发射的载波信号蕴含着定位所需的关键信息。该技术以基准站为参考，通过对基

准站和流动站接收的载波相位观测值进行差分计算，消除大部分系统误差和公共误差。基准站将精确的载波相位观测数据实时发送给流动站，流动站基于此与自身观测值对比，快速获取高精度的位置修正信息。相较于伪距差分，载波相位差分能有效提高定位精度，将误差控制在厘米级甚至毫米级，满足水利工程测量对高精度的严苛要求，无论是控制测量还是施工放样，都为工程的精准实施提供了可靠保障。

2.2 数据通信技术

数据通信技术是连接RTK测量系统基准站与流动站的“桥梁”，其稳定性和传输效率直接影响测量作业的质量与效率。在RTK测量过程中，基准站需将卫星观测数据、站点坐标等大量信息实时传输至流动站，这依赖于高效的数据通信技术。常用的数据通信方式包括无线电通信和网络通信。无线电通信如UHF频段电台，适用于短距离、环境相对简单的测量场景，具有较强的抗干扰能力；网络通信则借助移动通信网络（如4G、5G）或专用网络，可实现长距离数据传输，打破地域限制，适用于大面积水利工程测量。为确保数据准确、及时传输，还需采用纠错编码、数据压缩等技术，避免数据丢失或延迟，保障测量工作的连续性与准确性。

2.3 卫星信号接收与处理技术

卫星信号接收与处理技术是RTK测量获取原始数据的基础。RTK测量设备需配备高灵敏度的卫星信号接收器，以捕获来自多颗卫星的信号，包括GPS、北斗、GLONASS等多系统卫星信号。接收器通过天线接收微弱的卫星信号后，经过低噪声放大、变频、滤波等处理，将信号转换为可处理的数字信号。随后，通过相关算法对数字信号进行解码，提取卫星星历、时间、载波相位

等关键信息。在此过程中,信号处理技术需克服电离层、对流层等环境因素对信号的干扰,以及多路径效应带来的影响,确保接收信号的稳定性和准确性。

2.4 初始化技术

初始化技术是RTK测量快速获取高精度定位结果的关键环节,又称整周模糊度解算。在RTK测量中,载波相位观测值存在整周模糊度问题,即接收机首次跟踪到卫星信号时,载波相位的整周数未知。初始化技术旨在快速、准确地确定这一未知整周数,使流动站能够迅速进入高精度的实时动态测量状态。常见的初始化方法包括快速逼近法、交换天线法等。快速逼近法通过不断迭代计算,逐步缩小整周模糊度的解算范围;交换天线法利用天线位置变化,获取更多观测信息以求解整周模糊度。有效的初始化技术能显著缩短测量准备时间,提高作业效率,尤其是在水利工程测量中,面对复杂多变的测量环境和频繁的站点移动,快速准确的初始化是保障测量工作高效开展的重要因素。

2.5 误差处理与质量控制技术

误差处理与质量控制技术贯穿RTK测量全过程,是保障测量结果可靠性的重要手段。RTK测量过程中,误差来源复杂,包括卫星轨道误差、时钟误差、电离层和对流层延迟、多路径效应等。误差处理技术通过建立误差模型,对各类误差进行分析和修正,如利用双频观测值消除电离层延迟误差,采用差分计算削弱公共误差。质量控制技术则通过设置观测质量指标,如卫星信号的信噪比、数据采集的连续性等,实时监测测量数据质量。一旦发现数据异常或误差超限,及时采取补测、重测等措施,确保测量结果满足水利工程测量的精度要求。

3 RTK 测量技术在水利工程测量中的具体应用

3.1 在控制测量中的应用

控制测量是水利工程测量的基础,其精度直接影响后续各项测量工作的准确性。RTK测量技术应用于水利工程控制测量时,可在测区内灵活布设控制点,无需像传统测量那样考虑通视条件,大大提高了控制点的布设效率。通过基准站和流动站的协同作业,能快速获取控制点的高精度三维坐标,测量误差可控制在厘米级,满足水利工程控制测量的精度要求。同时,RTK技术可实时显示测量结果,作业人员能及时发现测量中的问题并进行调整,避免因数据错误导致的返工。相较于传统控制测量方法,RTK测量技术大幅缩短了测量周期,为水利工程的规划和设计提供了可靠、高效的基础数据支撑^[2]。

3.2 在地形测量中的应用

在水利工程地形测量中,RTK测量技术凭借其高精

度和高效率的特点,展现出显著优势。传统地形测量需大量人力进行碎部点测量,效率低且易受地形条件限制。而RTK技术可快速采集地形碎部点的三维坐标,无论是平原、山区还是水域等复杂地形,都能轻松应对。测量过程中,流动站可灵活移动,实时获取地形点数据,并通过专业软件自动生成数字地形图。同时,RTK测量数据可与GIS系统无缝对接,便于对地形数据进行分析和管理,为水利工程的设计和规划提供直观、准确的地形信息,有助于合理规划工程布局,提高工程设计的科学性和合理性。

3.3 在断面测量中的应用

断面测量对于水利工程的水文分析、堤坝设计等具有重要意义。RTK测量技术应用于断面测量,能够快速、准确地获取河道、堤坝等断面的地形数据。测量时,流动站沿着预设断面线移动,实时采集断面点的坐标和高程数据,无需进行复杂的仪器架设和调平工作,大大提高了测量效率。与传统断面测量方法相比,RTK测量技术不仅减少了人力投入,还能有效避免因人工测量带来的误差,确保断面数据的准确性。获取的高精度断面数据可用于绘制断面图,为水利工程的水力计算、堤坝稳定性分析等提供可靠依据,助力水利工程的科学决策和安全管理。

3.4 在施工放样中的应用

施工放样是将设计图纸上的工程建筑物位置测设到实地的关键环节。RTK测量技术在水利工程施工放样中发挥着重要作用,可实现高精度、高效率的放样作业。施工人员只需将设计坐标输入到RTK流动站中,系统即可实时显示当前位置与设计位置的偏差,指导施工人员准确进行放样。相较于传统放样方法,RTK技术无需在控制点间频繁搬站,不受通视条件限制,能在复杂施工环境中快速定位,大大缩短了放样时间。同时,其厘米级的定位精度确保了工程建筑物的施工位置符合设计要求,减少了因放样误差导致的施工返工,提高了施工质量和效率,为水利工程的顺利施工提供了有力保障。

4 RTK 测量技术在水利工程测量应用中存在的问题及解决对策

4.1 存在的问题

4.1.1 信号遮挡问题

水利工程测量区域环境复杂,山区的山体、茂密植被,城市中的高楼等,都会对卫星信号形成遮挡。一旦信号被遮挡,RTK测量设备接收卫星数量减少、信号变弱,导致定位解算困难,测量精度大幅降低,甚至无法固定解,严重影响测量进度与数据准确性。

4.1.2 数据通信不稳定

水利工程测量范围广,部分区域网络覆盖差,采用网络通信易出现延迟、中断;无线电通信受地形起伏、电磁干扰影响大。如偏远山区网络信号弱,数据传输易丢失;UHF频段电台通信可能因高山阻挡,导致信号传输受限、不稳定,影响实时测量与定位精度。

4.1.3 多路径效应影响

在水域及建筑物周边测量时,卫星信号会经水面、建筑表面反射后被RTK设备接收,与直接信号干涉,造成载波相位观测值误差。这些不同路径信号的时间与相位差异,干扰正常信号接收,使测量结果出现偏差,难以满足水利工程高精度测量要求。

4.1.4 误差累积问题

RTK测量中的卫星轨道、时钟误差,以及电离层、对流层延迟等系统误差无法完全消除,长时间、大范围测量会使误差不断累积。多次搬站或接力测量时,控制点误差也会传递,最终导致测量结果偏离真实值,影响水利工程测量数据可靠性。

4.2 解决对策

4.2.1 优化测量环境与方法

针对信号遮挡问题,测量前需充分勘察现场环境,合理规划测量路线与基准站、流动站的布设位置。在山区或植被茂密区域,尽量选择地势较高、视野开阔的位置架设设备,避免将站点设置在山谷、密林深处等信号易被遮挡的地方。采用“迂回测量”法,在障碍物较多的区域,增加临时测量点,分段完成测量任务,减少单次测量中信号遮挡的影响。同时,可借助无人机搭载RTK设备进行空中测量,利用其灵活机动性,避开地面障碍物对信号的干扰,获取更完整、准确的测量数据。

4.2.2 加强通信保障

为解决数据通信不稳定问题,需结合工程实际选择合适的通信方式并做好保障措施。在网络信号覆盖较好的区域,优先采用4G/5G网络通信,并配备信号增强设备,如信号放大器、便携式基站等,提升网络信号强度

与稳定性。对于偏远无网络或网络信号弱的区域,采用UHF频段电台通信时,合理设置中继站,克服地形阻挡,扩大信号传输距离;定期检查通信设备,确保设备性能良好,避免因设备故障导致数据传输中断,保障基准站与流动站之间数据的实时、稳定传输。

4.2.3 降低多路径效应影响

减少多路径效应可从设备和测量方法两方面着手。选用具有抗多路径效应功能的RTK测量天线和接收机,利用其特殊的信号处理算法,抑制反射信号的干扰。在水域或建筑物附近测量时,调整测量时段,选择反射信号较弱的时间段进行测量,如避免在正午阳光强烈时测量水域,此时水面反射信号较强。

4.2.4 控制误差累积

控制误差累积需从误差源和测量流程两方面进行管理。针对卫星轨道误差、电离层和对流层延迟等系统性误差,采用双频观测、建立误差改正模型等方法进行修正;在测量过程中,定期对测量设备进行校准和检定,确保设备测量精度。优化测量流程,严格控制搬站次数和测量范围,每次搬站后对控制点进行复测,保证控制点精度^[3]。

结束语

RTK测量技术在水利工程测量领域的应用,极大地提升了测量工作的效率与精度,为水利工程的规划、设计和施工提供了有力的数据支撑。尽管在实际应用中面临信号遮挡、数据通信不稳定等诸多问题,但通过优化测量环境、改进技术手段和加强管理等措施,能够有效提升该技术的应用水平。

参考文献

- [1]张路,秦伟.水利工程施工测量常用技术分析[J].居舍,2022(13):73-76.
- [2]薛慧,袁方.水利工程测量中施工放线的应用[J].中国高新科技,2021(24):33-34.
- [3]崔腾飞.基于GPS-RTK技术的数字地籍图测绘应用研究[J].技术与市场,2022,29(8):108-110.