

GPS—RTK 在矿山地形测量中的应用

初晓光

承德市五洲地质测绘有限公司 河北 承德 067000

摘要: GPS-RTK技术凭借载波相位观测值与实时差分处理,在矿山地形测量中实现厘米级定位精度与实时数据输出。该技术通过基准站与流动站协同工作,突破传统测量通视限制,显著提升作业效率与环境适应性。本文系统阐述其技术原理、系统构成及在矿山地形特征点采集、控制网布设、动态监测与三维建模中的关键应用,分析卫星信号遮挡、数据链传输稳定性等限制因素,并提出多技术协同、网络RTK等应对策略,为矿山测绘数字化转型提供技术支撑。

关键词: GPS-RTK技术; 矿山地形测量; 动态地形监测; 三维地形建模; 高程精度优化

引言: 矿山地形测量是资源开发、开采设计与安全生产的基础环节,其精度与效率直接影响矿山经济效益与生态保护。传统测量方法依赖通视条件,需频繁搬站与复杂平差计算,难以满足复杂地形与动态监测需求。GPS-RTK技术通过卫星信号与实时差分处理,实现厘米级定位与秒级数据更新,突破地形障碍与作业效率瓶颈,成为矿山测绘领域的关键工具。

1 GPS-RTK技术原理与系统构成

1.1 技术原理

GPS-RTK技术依托载波相位观测值实现高精度定位,其核心在于实时差分定位机制。基准站持续观测卫星信号,获取精确载波相位数据,并通过数据链将观测值与已知坐标信息传输至流动站^[1]。流动站同步接收卫星信号与基准站数据,通过差分处理消除大部分公共误差,如卫星钟差、电离层延迟等。基准站与流动站通过协同工作模式,实现观测数据的实时交互与联合解算,流动站利用相对定位原理,结合基准站坐标信息,解算自身精确位置。厘米级定位精度的达成,源于对载波相位观测值的高精度处理,通过整数模糊度固定技术,将相位观测值转化为精确距离,结合精密单点定位模型,最终实现动态环境下厘米级定位。

1.2 系统构成

硬件系统由基准站接收机、流动站接收机及数据传输链路三部分构成。基准站接收机需具备多通道跟踪能力,可同时处理多颗卫星信号,并支持长时间连续观测。流动站接收机强调便携性与实时性,通常集成高精度惯性测量单元,可在复杂环境下保持信号锁定。数据链作为信息传输通道,早期采用超高频电台实现短距离通信,现代系统更多依赖4G/5G网络或北斗短报文功能,显著扩展了作业范围。软件系统包含实时解算引擎、坐标转换模块与误差补偿算法三大核心组件。实时解算引擎负责处

理载波相位观测值,通过最小二乘法或模糊度函数法快速确定整周模糊度。坐标转换模块支持多种坐标系间的动态转换,可依据测区控制点自动生成转换参数。误差补偿算法针对对流层延迟、多路径效应等系统性误差建立数学模型,通过参数估计与实时修正提升定位可靠性。部分高级系统还集成质量检核功能,可自动识别粗差并触发重测机制,确保数据输出质量。

2 GPS-RTK在矿山地形测量中的技术优势

2.1 高精度与实时性

GPS-RTK技术通过载波相位观测值与实时差分处理,实现了厘米级定位精度,这一特性为矿山地形测量提供了前所未有的精度保障。在复杂地形中,微小的地形起伏或地质构造变化均可能对开采设计产生显著影响,厘米级精度能够精确捕捉地形特征点,如地貌转折点、高程突变点及地质界线,为后续的地形建模与资源评估奠定坚实基础^[2]。实时数据输出功能是GPS-RTK的另一核心优势,测量过程中,流动站可即时获取三维坐标信息,无需事后处理即可用于动态地形监测。这一特性在矿山边坡稳定性分析中尤为重要,通过连续观测边坡位移变化,可及时发现潜在滑坡风险,为安全预警与应急响应提供数据支持。

2.2 作业效率提升

传统测量方法需频繁搬站以维持通视条件,而GPS-RTK技术通过单基准站覆盖大范围区域,显著减少了外业作业时间。单点定位时间缩短至秒级,测量人员仅需短暂停留即可完成数据采集,大幅提升了单位时间内的测量效率。在大型露天矿场中,这一优势尤为突出,测量人员可在短时间内完成大面积地形测绘,为开采进度规划提供及时的数据支撑。此外,单基准站模式避免了传统控制网布设中复杂的导线测量与平差计算,简化了作业流程,进一步缩短了项目周期。

2.3 环境适应性增强

矿山地形往往包含高陡边坡、深坑及地下巷道等复杂环境，传统测量方法受通视条件限制难以施展，而GPS-RTK技术通过卫星信号定位，突破了地形障碍对测量的约束。在高陡边坡测量中，测量人员无需攀爬至危险区域，仅需在安全位置设置流动站即可完成数据采集，既保障了人员安全，又提高了测量效率。深坑测量中，GPS-RTK可结合全站仪进行混合观测，通过卫星信号与激光测距的互补，实现深部地形的高精度测绘。全天候作业能力是GPS-RTK的另一显著优势，除极端天气外，该技术可在多数气候条件下稳定工作，减少了因天气因素导致的作业中断，提升了测量工作的连续性。

2.4 自动化与集成化

GPS-RTK技术实现了数据采集与处理的自动化流程，测量人员仅需操作流动站接收机，系统即可自动完成坐标解算与误差修正，减少了人工干预可能引入的误差。数据记录与存储功能支持实时回传至数据中心，便于后续分析与成图。在数字化矿山建设中，GPS-RTK与GIS、CAD等软件的深度集成，实现了测量数据与地理信息系统的无缝对接。通过数据格式转换与空间分析功能，测量成果可直接用于三维地形建模、矿体边界划定及开采方案优化，推动了矿山测绘从传统纸质图向数字化、智能化方向的转型。

3 GPS-RTK在矿山地形测量中的关键应用方向

3.1 地形特征点采集

GPS-RTK技术通过厘米级定位能力，可快速锁定地貌转折点、高程突变点及地质构造线等关键地形要素。在露天矿开采边界标定中，该技术能精准捕捉岩层分界线与断层迹线坐标，避免传统测量方法因通视限制导致的遗漏或偏差^[1]。采集的高精度地形点数据经网格化处理后，可直接作为数字高程模型构建的基础输入，生成的DEM分辨率可达0.5米级，真实反映矿区地表起伏特征。这种数据支撑使采场设计、排土场规划等工程决策获得更可靠的地形依据，尤其适用于地形复杂、植被覆盖密集的山区矿区。

3.2 矿区控制网布设

传统三角网与导线网布设需大量通视条件良好的控制点，而GPS-RTK技术通过卫星信号与数据链传输，可灵活构建高精度控制网络。基准站选址仅需满足开阔视野要求，流动站可在覆盖范围内自由设站，显著减少控制点数量与布设难度。在大型矿区，该技术可将控制网精度提升至平面 $\pm 2\text{cm}$ 、高程 $\pm 3\text{cm}$ 水平，为后续碎部测量、工程放样等任务提供统一基准框架。这种控制网构建方式还

支持分级布设，先通过静态观测建立首级控制网，再利用RTK动态加密次级控制点，形成多层次空间参考体系。

3.3 动态地形监测

针对矿山开采引发的地形变化，GPS-RTK技术可实现边坡位移与地表沉降的实时追踪。在露天矿高陡边坡监测中，通过在关键位置布设永久观测点，系统可每分钟记录三维坐标变化，结合时间序列分析识别潜在滑动面。对于地下采空区，定期复测地表观测点高程数据，可积累长期形变曲线，通过小波分析或灰色预测模型评估沉降发展趋势。这种动态监测能力使矿山安全管理部门能及时掌握地形演变规律，在形变速率超过阈值时触发预警机制，为边坡加固或人员撤离争取时间。

3.4 三维地形建模

当GPS-RTK与激光扫描或无人机摄影测量技术融合时，可构建高精度三维地形模型。RTK提供的高精度控制点为点云数据配准与影像几何校正提供基准，消除多源数据拼接误差。融合后的三维模型不仅包含地表形态信息，还能集成地质构造、工程设施等专题要素，形成矿山空间信息综合体。该模型可导入三维可视化平台，支持开采进度模拟、爆破震动传播分析、灾害路径推演等高级应用，为智慧矿山建设提供动态空间分析基础。在矿区生态修复中，三维模型还可量化评估地形改造效果，辅助设计植被恢复方案。

4 GPS-RTK技术应用的限制因素与应对策略

4.1 卫星信号遮挡问题

在矿山地形测量中，卫星信号遮挡是GPS-RTK技术应用面临的首要挑战。地下巷道、深坑等区域因岩石覆盖或地形凹陷，导致卫星信号无法直接穿透，造成定位中断或精度下降。针对此类问题，可采取多技术协同作业模式。例如，在信号完全遮挡区域，可引入全站仪进行辅助测量，通过全站仪的高精度角度与距离观测能力，弥补GPS-RTK的信号盲区。同时，全站仪与GPS-RTK的测量数据可通过坐标转换实现无缝拼接，确保地形数据的完整性与连续性。此外，采用多系统兼容接收机是提升信号覆盖率的有效手段。通过集成GPS、北斗、GLONASS等多卫星系统，接收机可同时捕获多个系统的卫星信号，增加可见卫星数量，降低单一系统信号遮挡的风险^[4]。多系统联合解算还能通过冗余观测提高定位结果的可靠性，尤其在复杂地形中，不同卫星系统的空间分布差异可有效改善几何精度因子，从而提升定位精度。

4.2 数据链传输稳定性

数据链传输稳定性直接影响GPS-RTK的实时定位性能。在复杂地形中，无线电数据链的传输距离受障碍物

阻挡、电磁干扰等因素限制,可能导致流动站与基准站之间的数据中断或延迟。为扩展作业范围,可采用网络RTK技术,依托连续运行参考站系统(CORS)提供实时差分服务。CORS通过固定基准站网络与移动通信网络结合,实现大范围覆盖,流动站只需通过互联网连接即可获取差分修正信息,摆脱了无线电数据链的距离限制。在无网络覆盖区域,可部署中继站延长无线电数据链的传输距离。中继站通过接收基准站信号并转发至流动站,形成多级跳传模式,有效扩展作业半径。中继站的选址需考虑地形高程与通视条件,优先选择地势较高且无遮挡的位置,以减少信号衰减^[5]。

4.3 高程精度优化

高程精度是矿山地形测量的关键指标之一。GPS-RTK直接获取的大地高与实际海拔高之间存在系统偏差,需通过高程异常模型进行转换。高程异常模型的精度直接影响最终高程成果的可靠性。为控制转换误差,需在测区范围内联测足够数量的已知水准点,通过最小二乘法拟合高程异常曲面。水准点的分布应覆盖整个测区,并兼顾地形起伏特征,确保模型能够反映局部高程变化。在模型构建过程中,可采用克里金插值或多项式拟合等方法,根据测区地形复杂程度选择合适的模型类型。对于地形起伏较大的区域,可结合地形分类进行分区建模,进一步提高高程转换精度。

4.4 初始化时间与可靠性

初始化时间是影响GPS-RTK作业效率的重要因素。传统初始化过程需长时间观测卫星信号以确定整周模糊度,在动态测量中易因信号遮挡导致初始化失败。快速初始化算法通过优化模糊度解算策略,缩短了初始化时间。例如,采用模糊度函数法或最小二乘搜索法,可在短时间内固定整周模糊度,实现快速重新初始化。多路

径效应是影响GPS-RTK数据可靠性的另一主要因素。在矿山环境中,金属矿体、机械设备等反射物易产生多路径信号干扰。多路径效应抑制技术通过硬件改进与算法优化相结合的方式提升数据质量^[6]。硬件方面,采用扼流圈天线可抑制低仰角多路径信号;算法方面,通过小波分析或卡尔曼滤波对观测数据进行预处理,有效削弱多路径误差的影响。

结束语

GPS-RTK技术通过高精度定位、实时数据输出及环境适应性优势,已成为矿山地形测量的核心工具。该技术不仅提升了地形特征点采集、矿区控制网布设等基础工作的效率与精度,还通过动态地形监测与三维建模支持矿山安全管理与生产决策。尽管存在卫星信号遮挡、数据链传输稳定性等限制,但通过多技术协同、网络RTK及多路径抑制等策略可有效应对。随着技术迭代与跨学科融合,GPS-RTK将在矿山测绘中持续发挥关键作用,为资源开发与生态保护提供更可靠的技术保障。

参考文献

- [1]周庆.GPS、RTK技术与全站仪联合测图在矿山测量中的应用与分析[J].中国金属通报,2022(4):101-103.
- [2]邓婷婷.GPS技术和GPS-RTK技术在矿山水工环工作中的应用实践[J].中国金属通报,2023(17):167-169.
- [3]邓子波.GPS在矿山测量中的工作原理及应用分析[J].世界有色金属,2021(8):33-34.
- [4]吕松.基于RTK技术的矿山测绘方法研究[J].中国金属通报,2023(6):138-140.
- [5]石魏.GPS-RTK技术在矿山测量中的应用研究[J].百科论坛电子杂志,2021(5):465.
- [6]何艳龙.浅析GPS-RTK技术在金属矿山测量中的应用[J].中国金属通报,2025(3):151-153.