

# 基于多平台 RTK 测量的矿山大比例尺地形图精度探析

张秀雯 钱迎东 和杰 范承蒙 李珂

云南省地质矿产勘查院

DOI:10.32629/gmsm.v8i5.2311

**[摘要]** RTK是目前常用的测绘测量技术,具有高精度、高效的测绘能力,为矿山大比例尺地形图构建提供重要的技术支持。结合某矿山实例及地形地貌特征,制定基于多平台的RTK测量方案,对矿山大比例尺地形图精度展开系统试验和分析,以探究多平台RTK测量的应用价值。通过结果可知,基于多平台RTK测量的矿山大比例尺地形图具有较高的精度,且多平台RTK的测量效率高,弥补了传统测量方法的不足,可作为矿山大比例尺地形图精度分析的优选方法,值得推广应用。

**[关键词]** 矿山; 大比例尺地形图; 精度; 多平台RTK测量

中图分类号: TD21 文献标识码: A

## Accuracy analysis of large-scale topographic map of mine based on multi-platform RTK measurement

Xiuwen Zhang Yingdong Qian Jie He Chengmeng Fan Ke Li

Yunnan Provincial Institute of Geological and Mineral Exploration

**[Abstract]** RTK is a commonly used surveying and mapping technology with high precision and efficient surveying and mapping capabilities, providing important technical support for the construction of large-scale maps of mines. Based on a case study of a mine and its topographical and geomorphic characteristics, a multi-platform RTK surveying scheme was developed to systematically test and analyze the accuracy of large-scale topographic maps of mines, in order to explore the application value of multi-platform RTK surveying. The results show that the large-scale topographic maps of mines based on multi-platform RTK surveying have high accuracy, and the measurement efficiency of multi-platform RTK is high, making up for the shortcomings of traditional surveying methods. It can be used as an optimal method for accuracy analysis of large-scale topographic maps of mines and is worthy of promotion and application.

**[Key words]** mine; large-scale topographic map; accuracy; multi-platform RTK surveying

矿山大比例尺地形图的编制能够为矿山资源合理开发、边坡安全监测等提供可靠依据,保证大比例尺地形图精度尤为重要。在大比例尺地形图精度检测方面,传统全站仪等检测方法在实际应用中存在较多不足,例如露天采场等场地的高差问题明显,且测量效率与精度不高,实际应用具有局限性,亟需优化测量方法,保障地形图精度。现今随着科技的发展与进步,RTK等先进测量技术逐渐得到应用,在矿山地质勘查、大比例尺地形图精度检测等方面发挥了重要作用<sup>[1]</sup>。RTK测量具有高精度的特点,有助于工艺流程优化,提高测量效率,降低技术人员的工作强度,并且在数字化成图方面作用显著。基于多平台的RTK测量可充分发挥技术优势,提高测量精度。因此,深入探究基于多平台RTK测量的应用价值具有重要意义。

### 1 RTK测量技术概述

#### 1.1 技术原理

RTK是以载波相位观测值为基准,通过基准站和流动站信息交互实时解算进行厘米级定位测定。基准站架设在固定点,接收卫星信号并计算,测量得到载波相位数据,将伪距、基准站坐标等通过无线电或移动网络发送给流动站;流动站接收卫星信号和基准站坐标信息,通过差分的方法消除卫星轨道差、电离层差、对流层差等公共误差,同时接收基准站坐标信息,实时解算三维坐标。矿山测量中基准站到流动站的距离通常不超过10km,通过双频接收机(L1/L2)卫星信号和流动站接收卫星信号,并扣除电离层差,水平方向精度为±1cm+1ppm,高程为±2cm+1ppm。多平台RTK通过接收北斗GPS、GLONASS卫星信号等,增加卫星数量,提高定位的鲁棒性。例如,矿山峡谷或高陡边坡环境中,多系统组合可以有效避免由于卫星信号遮挡而造成的定位中断,保证动态环境下的定位连续性。

#### 1.2 应用方法

测区采用RTK方式进行大比例尺地形图作业, 流程为基准站的选择、坐标转换及多平台协调等。基准站应选择在视野开阔、无强干扰源的位置, 确保信号覆盖测区范围。设置参数包括数据采样率、高度截止角等, 参数的设置可调整数据精度并抑制多路径效应。如露天矿山基准站多置于矿山制高点, 以扩大信号覆盖半径、减少地形阴影。矿山测区需将坐标系转换为WGS-84坐标系, 联测高等级控制点, 求取转换参数, 转换参数采用“点校正法”和“网平差法”等进行校正, 采用最小二乘法提高精度, 确保地形图和坐标系的统一性。RTK新机具具有惯导模块(IMU)、倾斜补偿功能, 允许流动站处于倾斜状态, 减少整周模糊度解算时间。结合CORS(Criteria Operating Reference Stations), 流动站可直接获取差分数据, 实现“单机单站”作业, 提高外业工作效率。将RTK与无人机、三维激光扫描等结合, 形成空地一体系统, 以满足矿山复杂地理环境<sup>[2]</sup>。

### 1.3 应用优势

RTK在矿山大比例地形图精度测量方面的优势主要表现在以下几点。(1) 测量精度高。由于RTK采用载波相位差分法来消除系统误差中的大部分误差, 因此其平面精度是DGPS(伪距差分)的10倍以上, 可以满足矿山500-1:2000比例尺地形图的精度要求。RTK在进行边坡测量、台阶测量的过程中, 可以实时对现场的地形变化进行监测, 为矿山开采提供一定帮助。RTK能够实现流动站边走边测, 单点测量时间仅需1-3秒, 无需通视, 能够显著降低外业劳动强度。(2) 提高检测效率。RTK结合自动化处理软件可快速生成DEM或等高线图, 并及时反馈外业测绘结果。矿山环境存在金属装置、植被、粉尘等干扰问题, RTK采用多路径抑制方案、抗干扰天线技术、多系统集成技术。如RTK在选厂这种强电磁干扰环境下, 通过采用扼流圈天线、多频观测等方法提高固定解率; 在植被覆盖区域, 通过采用激光雷达穿透植被获取真实地形, 以满足生态修复设计要求。

## 2 矿区概况

本矿区位于矿产资源富集地, 东西长42km, 南北宽86km, 面积约379.5km<sup>2</sup>, 矿区地况复杂, 地貌多样, 既有低山丘陵又有平原, 为矿山大比例尺地形图的绘制和解释提供了丰富的场景。矿区内地质条件复杂, 岩层复杂多样, 主要岩性为沉积岩、变质岩及少量火成岩, 岩层在多年的地质运动中, 形成了陡崖、谷、沟、梁等丰富的地貌景观, 矿山的东部、西部岩层倾斜较多, 形成较大的起伏地貌, 给地形勘测带来一定的难度。矿区所在地属温带大陆性气候, 四季分明, 温差较大, 年平均气温为8-12℃, 年平均降水量600-800mm, 降水主要集中在夏季。矿区范围内植被种类较多, 覆盖面积广, 一方面有利于保护生态环境, 另一方面不利于地形测量工作的顺利进行, 因为植被覆盖面积大, 容易遮挡GPS的传输信号, 影响地形测量工作。矿区范围内存在较多的矿产资源, 主要有煤炭、铁矿、铜矿、非金属矿等, 存在分布不均衡的问题, 有些矿产在某个区域分布较多, 形成大型矿床, 有些则分布在几个区域, 形成矿点。由于矿山被开采, 地形变化较大, 出现了矿山地表塌陷、山坡不稳定等现象, 增加了地形测量工作的难度<sup>[3]</sup>。

## 3 基于多平台RTK测量的矿山大比例尺地形图精度分析

### 3.1 分析流程

基于不同平台RTK测量矿山大比例尺地形图的精度分析方法, 其流程包括数据采集、数据解算、精度评估及成果使用反馈四部分。

**数据采集:** 结合矿区实际情况, 根据测量条件, 选择相应的测量平台(如无人机、车载移动测量系统、地面RTK系统等)开展数据采集工作。在采集数据的过程中, 既要确保测量仪器稳定、精准, 又要准确记录每个点的位置信息和属性信息。针对一些难以到达或危险的区域, 可使用无人机进行飞行测量; 道路及附近区域可利用车载移动测量系统; 特殊点或者测量精度要求较高的区域可使用地面RTK测量。

**数据处理:** 对获取的原始数据进行预处理、配准、纠正等操作, 消除数据误差, 提高数据质量。数据的预处理包括数据滤波、极值处理、数据格式转换等; 数据配准是将各个平台获得的数据进行空间匹配, 统一数据尺度; 数据纠正是将各个平台的数据通过已知控制点纠正到正确的数据尺度上。同时, 在进行数据处理时, 需要考虑数据坐标系的转换、投影变换等问题。

**精度检测:** 将处理后的数据与实地测量的地形图进行精度对比。精度检测指标有平面精度和高程精度。精度检测通常采用中误差、最大误差、相对误差等统计指标进行。在检测的过程中, 要检测足够数量的测定, 并且保证均匀分布。从而可以反映出整个矿区情况应用反馈。将精度测量结果, 为测量组、相关部门等对测量方法及时修正, 将测量结果反馈给测量方法, 结合应用情况修正、更新地形图, 保证地形图的准确性和时效性; 将地形图与其它GIS数据组合, 获取更全面的地理信息<sup>[4]</sup>。

### 3.2 分析方法

在矿区视野开阔、地势较高、远离干扰源(大型变电设施、高压线等)的位置建立基准站, 基准站需要有可靠的供电电源和良好的通信环境, 保证能够向流动站稳定发送和接收基站信号, 考虑到矿区地形比较复杂, 为了加大基站信号的覆盖范围, 在矿区内不同方向选择多个合适的基准站, 构成多个基准站网络, 实时根据测量的范围选择最佳的基准站进行切换, 保证测量过程中信号稳定可靠<sup>[5]</sup>。

按照矿区的测量条件, 选用手持RTK设备、车载RTK设备及无人机载RTK设备等不同的流动站平台。手持RTK设备适用于人员可到达的矿区地形复杂区域、矿区植被覆盖率较高区域的精量测; 车载RTK设备适用于矿区内道路状况较好、测区范围较大的区域的精量测, 快速获取测区地形的测量信息; 无人机载RTK设备适用于矿区地形地势复杂、人员无法到达且危险系数高区域精量测, 例如矿区的陡崖、深沟区域等。各流动站配备高精度的天线及接收机, 确保可正常接收基准站的差分信号并进行实时数据处理。

各流动站测量按预定的测线、测站测量路线和点位分布采集数据, 手持式和车载RTK按测量要求由测量操作人员沿特征地

物点(山脊线、沟谷底、矿坑边)和格网规则网地上进行测量,测量每一点的3D坐标(X, Y, Z),同时采集相应的点属性(地物、植被覆盖等);无人机车载RTK按航线进行测线测量,由机载传感器和RTK系统同时获取地面高精度的3D坐标测量。各流动站的测量数据通过无线网络(4G / 5G网络)或专设的数据链路实时传至数据处理中心。

### 3.3 结果分析

通过对各平台测量数据的点位中误差计算结果分析发现,手持式RTK设备在人员可达且地形相对开阔的区域,平面点位中误差较小,一般在 $\pm 2\text{--}\pm 3$ 厘米之间,能够满足大比例尺地形图对平面精度的要求。但在植被茂密或地形复杂、信号遮挡严重的区域,点位中误差有所增大,可达 $\pm 5\text{--}\pm 8$ 厘米。车载RTK设备在矿区内道路条件较好的区域测量时,平面精度较高,点位中误差在 $\pm 1.5\text{--}\pm 2.5$ 厘米左右,由于其移动速度快,能够快速获取大面积地形数据,但在道路狭窄或转弯处,测量精度会受到一定影响。无人机搭载RTK设备在测量大面积、人员难以到达的区域时具有明显优势,其平面点位中误差在开阔区域可控制在 $\pm 3\text{--}\pm 4$ 厘米,但在地形起伏较大、植被高度较高的区域,由于飞行高度和姿态控制等因素影响,点位中误差可能会增大至 $\pm 6\text{--}\pm 10$ 厘米。

高程精度,手持RTK仪器在平坦地区测量高程中误差可达 $\pm 3\text{--}\pm 4\text{cm}$ ,在坡坎及地形地貌起伏较大的地方测量因操作困难,测量精度高程中误差可达 $\pm 6\text{--}\pm 8\text{cm}$ ;车载RTK仪器在平坦道路测量高程中误差可达 $\pm 2\text{--}\pm 3\text{cm}$ ,在过沟、过斜坡测量精度高程误差受车体颠簸及仪器动特性影响,测量精度高程误差可达 $\pm 5\text{--}\pm 7\text{cm}$ ;无人机载RTK因受飞行高度以及地物植被的影响,开阔平坦地区测量精度高程误差可达 $\pm 4\text{--}\pm 5\text{cm}$ ,在地形植被较茂盛及复杂的地势测量精度高程可达 $\pm 10\text{cm}$ 以上<sup>[6]</sup>。

结合不同平台测量精度分析结果,综合地物点位中误差和高程注记点的高程中误差要求,分析多平台RTK测量数据绘制成的地形图。矿区内的平原和丘陵地区,大部分地形图的精度都能满足大比例尺地形图的要求,地形图能反映地物的点位和高程信

息、地貌呈现效果理想。在山地地区和植被过于茂密的区域部分地形图精度指标略小于标准要求,主要体现在地物点位误差和高程误差偏大,地形图表示不清晰,后续应加强对这些区域的测量控制,采取增加检查点数量、采用优化测量的方法等措施,提高地形图精度和可靠性。

### 4 结语

基于多平台的RTK测量技术在矿山大比例尺地形图精度测量中的应用优势显著,对于提高测量精度与效率的作用明显,具有较高的推广和应用价值。RTK测量具有实时性强、操作便捷高效且不受通视条件影响等优势,确保外业组织的灵活性,有效减少传统人工操作的工作量。基于多平台的RTK测量有助于充分发挥技术优势,进一步提高作业效率,为矿山大比例尺地形图精度测量提供可靠的技术支撑。另外,随着科技的发展与进步,还需要重视技术创新,引入更多前沿测绘技术手段,进一步提高矿山大比例尺地形图精度分析效能。

### [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]张晓铭.三维激光扫描仪与RTK技术在矿山综合测绘及数据集成中的联合应用[J].科技创新与应用,2024,14(5):189-192.
- [3]高山,孙冉.RTK+CASS技术在露天开采矿山修复治理中的应用:以曹村镇大沟西村废弃石料厂为例[J].科技与创新,2022(16):168-169,172.
- [4]常岑,朱晋哲,王道洋.无人机倾斜摄影测量在大比例尺地形图数学精度检测中的应用[J].现代测绘,2024,47(5):7-11.
- [5]徐亚强.无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测量中的应用[J].化工矿产地质,2023,45(1):66-71.
- [6]乐亚南,胡琦佳.无人机倾斜摄影测量技术在大比例尺地形图测绘方面的应用分析[J].科技视界,2024,14(10):87-90.

### 作者简介:

张秀雯(1993--),女,汉族,云南保山人,本科,工程师,研究方向: 矿山测量。