

现代化测绘技术在矿山测量中的应用探讨

毋益萌

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710100

摘要：本文基于矿山测量对精度、效率与安全性的核心需求，系统分析GNSS、遥感（RS）、三维激光扫描、无人机测绘、地理信息系统（GIS）及惯性导航等现代化测绘技术的原理优势，结合西湾露天煤矿、新城金矿等实际案例，探讨其在矿山控制网建立、地质调查、方量计算、灾害预警及智能决策中的创新应用。针对复杂环境信号干扰、多源数据融合等挑战，提出技术集成与优化策略，展望矿山测绘向智能化、无人化方向的发展趋势。

关键词：矿山测量；GNSS；三维激光扫描；无人机测绘；技术融合；智能化

引言

矿产资源开发对测绘技术的精度与效率提出更高要求。传统经纬仪、水准仪等测量方式存在效率低、盲区多、风险高等问题，难以满足深部开采、环境监控及智能管理需求。近年来，以GNSS、无人机、三维激光扫描为代表的现代化测绘技术，凭借高精度、实时性与自动化优势，逐步成为矿山测量的核心手段。

1 核心测绘技术体系与矿山适配性及应用分析

1.1 GNSS技术：动态定位与形变监测

GNSS（全球导航卫星系统）技术通过地基增强网（CORS）与数传电台实现差分修正，有效消除了卫星信号在传播过程中的多种误差源，如大气延迟、多路径效应等，从而提供了厘米级甚至毫米级的定位精度。车载平板集成GNSS模块，能够实时接收并处理这些修正数据，即使在井下复杂环境中，如存在遮挡、电磁干扰等情况下，也能实现精准定位。在露天矿中，GNSS技术被广泛应用于建立控制网，为矿山的整体规划和布局提供基准。同时，它还能实时监测矿坑边坡的位移情况，通过数据分析及时发现潜在的滑坡风险，为矿山的安全生产提供有力保障。例如，西湾煤矿通过部署GNSS位移监测仪，实现了亚毫米级的形变监测，有效预防了滑坡等地质灾害的发生。在井工矿中，GNSS技术则用于定位采掘设备，实时跟踪设备的位置和运动状态，优化作业路径，提高生产效率。通过GNSS技术，管理人员可以更加合理地调度资源，减少不必要的等待和空驶时间，提高矿山的整体运营效率。

1.2 遥感技术：大范围地质调查与环境监测

遥感技术利用卫星或航空平台搭载的多光谱传感器，获取矿区的高分辨率影像数据。这些影像数据包含了丰富的地质信息，如地层结构、岩性分布、矿化特征等。通过辐射校正、图像增强、分类识别等处理手段，

可以提取出这些地质信息，为矿山的勘探和开发提供有力支持。在资源勘探方面，遥感技术能够融合多期遥感数据，通过对比分析不同时期的影像变化，揭示矿体的分布规律和演化过程。这有助于指导钻孔的布设，提高勘探的准确性和效率。实践证明，遥感技术的应用可以缩短勘探周期高达40%以上，大大降低了勘探成本。同时，遥感技术还能用于灾害预警和环境监测。通过识别地表裂缝、沉降区等地质灾害迹象，预测泥石流、滑坡等自然灾害的风险，为矿山的灾害防治提供科学依据^[1]。此外，遥感技术还可以监测矿区的环境变化，如植被覆盖度、水土流失情况等，为矿山的生态环境保护提供数据支持。

1.3 三维激光扫描技术：精细化建模与方量计算

三维激光扫描技术通过激光雷达发射脉冲激光，记录回波时间来计算距离，并结合扫描角度和位置信息生成高密度点云数据。这些点云数据可以用于构建三维模型，进行精确的方量计算和空间分析。在露天矿中，无人机搭载三维激光扫描系统可以快速、高效地获取矿堆的三维模型数据。通过这些数据，可以准确计算开采量、堆体体积等关键参数，为矿山的生产管理和资源规划提供精确的数据支持。以华测导航的案例为例，1平方千米的测量仅需40分钟，大大提高了测量效率和准确性。在地下矿中，三维激光扫描技术则用于扫描巷道与采空区，获取详细的巷道几何形状和采空区分布情况。这些数据可以辅助支护设计，降低冒顶风险，提高巷道的安全性和稳定性。

1.4 无人机测绘技术：高效数据采集与实时传输

无人机测绘技术通过无人机搭载航摄仪，根据预设的航线自动拍摄矿区的航拍影像。随后，利用SfM（结构从运动）算法和MVS（多视图立体）算法对航拍影像进行处理，生成正射影像（DOM）与数字高程模型

(DEM)。这些成果可以为矿山的监测和管理提供精确的数据支持。在排土场监测方面,无人机测绘技术可以定期航拍计算堆体体积,优化库存管理。通过对比不同时期的航拍影像,可以分析堆体的变化情况和堆积速率,为排土场的规划和管理提供科学依据^[2]。某案例显示,通过无人机测绘技术计算的堆体体积误差控制在0.5%以内,满足了矿山管理的精度要求。在边坡监测方面,无人机测绘技术可以生成等高线和三维模型,分析坡体的稳定性和潜在滑坡风险。这为边坡的治理和维护提供了科学依据和技术支持。

1.5 GIS技术:数据集成与智能决策

GIS(地理信息系统)技术通过构建空间数据库,整合遥感影像、GNSS定位、地质勘探、三维激光扫描等多种数据资源,形成统一的、可视化的空间信息平台。这个平台支持空间分析、三维建模、数据挖掘等多种功能,为矿山的资源评价、规划管理、环境监测等提供强大的数据支持和分析工具。在资源评价方面,GIS技术可以叠加地质图层、遥感影像、三维模型等多种数据资源,划分矿体边界、估算储量、分析矿化特征等。通过精确的空间分析和数据挖掘,矿山企业可以更加准确地了解矿资源的分布情况、品质特征和开采潜力,为开采计划的制定提供科学依据。在规划管理方面,GIS技术可以模拟开采方案、评估环境影响、优化资源配置等。通过GIS技术的辅助决策功能,矿山企业可以制定出更加合理、高效、环保的开采方案,降低资源浪费和环境污染。相关案例显示,通过GIS技术优化开采方案,可以降低资源浪费高达12%以上,同时减少了对环境的破坏和生态的影响。

1.6 惯性导航技术:复杂环境高精度定位

惯性导航技术通过加速度计与陀螺仪测量载体的运动参数(如加速度、角速度等),并结合初始位置信息推算出载体的轨迹和姿态。这种技术不依赖于外部信号(如卫星信号、无线电信号等),因此在GNSS信号盲区或受干扰的环境中也能提供连续、准确的定位服务。在井下等GNSS信号盲区或受干扰的环境中,惯性导航系统(ISS)可以提供连续、准确的定位服务,支持管线监测、设备定位、人员跟踪等多种应用。通过惯性导航技术,矿山企业可以实时了解井下设备的位置、运动状态和姿态信息,为井下的作业安全和高效生产提供有力保障^[3]。同时,惯性导航技术还可以用于地表沉降的观测和监测。通过在地表布置惯性导航传感器网络,可以实时监测地表的沉降情况和变化趋势,为矿山的沉降监测和治理提供精确的数据支持和科学依据。

2 技术创新与融合应用案例

2.1 无人机与激光雷达集成系统在西湾露天煤矿的实践

西湾露天煤矿,作为矿业领域的先行者,一直致力于探索和应用新技术以提高生产效率和安全性。近期,该矿成功引入了无人机与激光雷达集成系统,这一创新举措极大地改变了传统的数据采集和处理方式。该系统采用了先进的四旋翼无人机作为搭载平台,其上装备了高性能的激光雷达设备。这种组合使得系统能够在短时间内完成设备部署,仅需3分钟即可准备就绪。在实际作业中,无人机按照预设的航线自主飞行,激光雷达则不断扫描地面,获取高精度的三维点云数据。据统计,1平方千米的数据采集任务,该系统仅需40分钟即可完成,相较于传统方法,效率提升了数倍。采集到的点云数据随后通过专业的后处理软件进行处理。这些软件能够自动生成数字高程模型(DEM)和方量计算结果,为矿山的资源管理和开采计划提供了准确的数据支持。得益于这一系统的应用,西湾露天煤矿的数据处理效率提升了60%,大大缩短了决策周期,提高了生产响应速度。此外,无人机与激光雷达集成系统的应用还减少了人工测量的风险,提高了作业安全性。无人机能够在复杂和危险的环境中作业,减少了人员暴露于风险中的机会,为矿山的安全生产提供了有力保障。

2.2 井下靶向测量机器人在新城金矿的创新应用

新城金矿,作为另一家矿业领域的佼佼者,同样在技术创新方面取得了显著成果。该矿针对独头巷道的测量难题,创新性地改装了M300RTK无人机,集成了SLAM(即时定位与地图构建)导航技术和气体探测装置,实现了独头巷道的远程扫描。改装后的无人机能够在无GPS信号的环境下,依靠SLAM导航技术自主导航和避障,确保了在复杂巷道中的稳定飞行。同时,集成的气体探测装置能够实时监测巷道内的气体浓度,为作业安全提供了额外保障。该系统的扫描频率达到了每周2次,远高于传统方法的测量频率。通过定期的扫描和数据分析,新城金矿能够及时发现巷道的变化情况,优化开采计划,降低了矿石损失率。据统计,矿石损失率降低了5%,年度经济效益因此提升了825万元。这两个案例充分展示了技术创新与融合应用在矿业领域的巨大潜力。无论是无人机与激光雷达的集成系统,还是井下靶向测量机器人,都通过先进的技术手段解决了传统方法中的难题,提高了生产效率和安全性,为矿山企业带来了显著的经济效益。未来,随着技术的不断进步和创新,我们有理由相信,矿业领域将迎来更多革命性的技

术变革。

3 挑战与对策

3.1 技术挑战

3.1.1 信号干扰

井下环境错综复杂，巷道如迷宫般蜿蜒曲折，金属设备林立，岩石层叠遮挡，这些因素共同构成了GNSS信号的“天敌”。信号不稳定、定位精度下降，甚至设备失去导航能力，都成为井下作业安全的潜在威胁。特别是在深井、长巷等极端环境下，GNSS信号的接收更是难上加难。

3.1.2 数据融合

矿业作业中，数据如潮水般涌来，激光雷达扫描的点云数据、遥感影像的丰富信息、地质勘探的深层数据……这些数据来源广泛，格式各异，存储方式千差万别。如何将这些多源异构数据有效集成，实现信息的共享、互补和协同，是矿业数据处理领域的一大难题。数据融合不仅需要技术上的突破，更需要思维上的创新。

3.1.3 成本平衡

矿业作业对设备的精度和可靠性要求极高，因此高精度设备的购置和维护成本也水涨船高。如何在保证作业效率和安全的前提下，合理控制设备成本，避免过度投资造成的资源浪费，是矿业企业面临的重要经济挑战^[4]。特别是在市场竞争日益激烈的今天，成本控制更是成为企业生死存亡的关键因素。

3.2 解决方案

针对上述技术挑战，我们提出了以下全面而细致的解决方案：

3.2.1 信号增强

对于井下GNSS信号不稳定的问题，我们可以从多个维度入手，提升信号稳定性。一方面，通过部署数传电台来扩展修正数据的覆盖范围，提高信号的传输效率和稳定性；另一方面，在信号盲区或受干扰严重的区域，采用惯性导航系统作为补充，利用加速度计、陀螺仪等传感器来推算设备的位置和姿态，确保作业的连续性和

安全性。此外，还可以考虑采用信号增强器、天线优化等技术手段，进一步提升信号质量。

3.2.2 平台集成

为了解决多源异构数据集成的问题，我们可以基于GIS技术构建一个统一的数据接口平台。这个平台能够接收和处理来自不同设备和系统的数据，通过自动化配准技术将数据融合到一起，实现数据的共享、互补和协同。平台还应提供强大的数据可视化分析工具，帮助用户更直观地理解和分析数据，发现数据中的规律和趋势，为决策提供支持。

3.2.3 算法优化

针对高精度设备算力需求高的问题，我们可以通过算法优化来降低算力需求。一方面，开发轻量化的点云处理模块，采用更高效的算法来处理和分析点云数据，减少计算量和存储空间的占用；另一方面，可以利用并行计算、分布式处理等技术手段，提高数据处理的效率和速度。此外，还可以考虑采用硬件加速、专用芯片等技术手段，进一步提升算力性能。

结语

现代化测绘技术通过高精度定位、实时数据采集与智能分析，显著提升了矿山测量的效率与安全性。未来，随着5G通信、边缘计算与人工智能的发展，测绘技术将进一步向智能化、无人化方向演进。例如，结合机器学习算法实现地质灾害自动预警，或通过数字孪生技术构建虚拟矿山，为资源可持续开发提供精准支持。

参考文献

- [1]苏欣.现代化测绘技术在施工测量中的应用分析[J].智能城市,2020,6(04):50-51.
- [2]彭荣桂.现代化的测绘自动化技术在地形测量中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2019,(36):32.
- [3]段洪伟.现代化测绘技术在矿山测量中的应用[J].世界有色金属,2019,(03):27+29.
- [4]高晴晴,纪晓阳.矿山测绘新技术的发展趋势与挑战[J].世界有色金属,2024,(24):138-140.