

面向精准开采的金矿矿山地面与地下测量技术对比分析

王光希

山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿 山东 烟台 261442

【摘要】：随着金矿开采向深部推进，精准开采对测量技术的精度、效率及环境适配性要求愈高。本文对比分析金矿地面与地下测量技术特性，聚焦全站仪、GPS、惯性测量系统等核心技术表现：地面测量中，全站仪、GPS (RTK)、三维激光扫描各有优势；地下测量里，全站仪导线测量、惯性测量系统发挥重要作用。同时剖析各类技术优劣势，结合缪子成像等新兴技术，探讨不同场景下技术选择方法，为金矿精准开采提供实操参考，助力提升效率与安全，推动行业高质量发展。

【关键词】：金矿矿山；地面测量技术；地下测量技术；精准开采；对比分析

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.050

引言

金矿开采正逐步向深部及复杂地质区域拓展，高品位矿体的勘探与开采对精度控制的要求愈发严苛。精准开采模式不仅能显著提升资源回收率，降低单位矿石的开采成本，更能从源头规避因工程误差引发的塌方、资源浪费等安全与经济风险。测量技术作为贯穿矿山规划、建设与生产全流程的基础支撑，其数据的空间精度、时间效率与可靠性直接决定了采场设计、巷道掘进、储量核算等关键环节的质量。然而，地面开阔环境与地下封闭巷道在通视条件、电磁干扰、空间限制等方面存在本质差异，导致全站仪、GPS 等技术在这两类场景中的应用表现截然不同。因此，系统剖析地面与地下测量技术的适配特性，通过多维度对比明确其适用边界，对优化测量方案、提升精准开采水平具有重要的实践指导价值，也是推动矿山工程向智能化、安全化转型的关键前提。

1 金矿矿山地面测量技术

1.1 全站仪测量技术

全站仪整合了电子测角、光电测距和数据处理功能，在地面测量中应用成熟。通过极坐标法等常规方法，可快速完成控制点坐标测定，为矿区地形图绘制、矿体边界确定提供基础数据。其角度测量精度达秒级，距离测量精度为毫米级，在地形平缓、通视良好的区域能高效作业。比如在矿区地形测绘中，可通过逐点采集特征点数据，经软件处理生成高精度地形图。但该技术依赖通视条件，在地形复杂、植被茂密区域常因视线受阻难以开展工作，且人工操作环节多，劳动强度较大^[1]。

1.2 GPS 测量技术

GPS 凭借卫星定位技术，在地面测量中展现出快速定位、高精度的优势，且不受通视条件限制。作业时只需在测点安置接收机，即可获取三维坐标，实时动态测量 (RTK) 模式下精度可达厘米级，能满足多数地面测量需求。在大面积矿区地形

测量、勘探线布置等工作中，可大幅减少人力投入和时间成本。例如划定勘探区域边界时，能快速完成野外点位定位，无需依赖大量控制点。但卫星信号易受地形和环境干扰，山区、峡谷及建筑物密集区域可能出现信号中断或精度下降，高压线等设施也会影响信号稳定性^[2]。

1.3 遥感 (RS) 测量技术

遥感技术通过卫星或航空平台的传感器获取地面信息，为矿区提供大范围影像资料。借助影像分析可快速掌握地形地貌、地质构造等宏观特征，通过地质解译能圈定潜在金矿成矿区域，为勘探工作提供方向。例如通过识别线性构造、环形构造等特征，可推测地下断裂带和岩体接触带的分布。同时，遥感技术可用于监测开采对地表植被、土地利用的影响。但该技术精度有限，难以获取详细地质构造信息，需结合地面实测数据验证；且影像解译依赖专业经验，结果可能存在偏差。

1.4 三维激光扫描测量技术

三维激光扫描能快速采集物体表面三维坐标，形成点云数据，适用于矿区地形、建筑物、采场的高精度建模。通过模型分析可精确计算采场体积、储量等参数，为生产管理提供依据。在露天矿开采中，可实时监测开采进度，对比设计模型及时发现超采、欠采问题。该技术测量速度快、信息量大，但设备成本高，数据处理需专业软件和技术人员；且受物体表面材质、光照条件影响，可能导致数据质量波动。

2 金矿矿山地下测量技术

2.1 全站仪地下测量应用

全站仪在地下测量中仍发挥重要作用，但因巷道空间狭小、通视条件差，多采用导线测量法，通过逐点测量角度和距离推算坐标。其精度保持较好，但巷道内光线昏暗、粉尘较多，对操作规范性要求更高，作业速度较慢。

在地下采场验收中,需测量边界、高度等参数以核算矿量、评估开采质量。随着开采深度增加,巷道长度和复杂度上升,测量误差累积问题凸显,需通过加密控制点、多次测量取均值等措施控制误差^[3]。

2.2 陀螺经纬仪定向测量技术

陀螺经纬仪结合陀螺仪定向原理与经纬仪测量功能,主要用于井下导线定向。由于地下无法直接观测地面控制点,需通过该技术确定导线方位角,建立与地面坐标系一致的地下测量基准。其定向精度高,不受井下风流、磁场干扰,是长距离巷道贯通的关键保障,可避免因方位偏差引发工程事故。但设备价格高,操作复杂,需专业人员维护,单次定向耗时长达 30-60 分钟。

2.3 惯性测量系统 (IMS) 应用

惯性测量系统通过传感器采集加速度和角速度,在无卫星信号的井下环境中实现自主定位。适用于巷道快速测量和移动设备定位,例如为井下运输车辆提供实时位置和行驶方向,辅助调度管理。但该系统存在误差随时间累积的问题,需定期校准;且设备对振动、冲击敏感,成本较高。

2.4 缪子成像技术在地下测量的探索

缪子成像作为新兴无损探测技术,为地下矿体和采空区探测提供了新思路。传统勘探方法成本高、精度低,且可能破坏环境,而缪子成像通过扫描可圈定矿体形态、识别采空区,降低勘探成本并规避安全风险。兰州大学等团队在甘肃甘南金矿的实验中,成功实现了矿脉、采空区及地质结构的成像。该技术无需开挖爆破,对环境影响小,但目前设备昂贵、技术复杂,尚未普及,需进一步提升稳定性和实用性^[4]。

3 地面与地下测量技术对比分析

3.1 技术参数对比

通过表格直观呈现主要技术的核心参数差异(表1):

表1 金矿矿山地面与地下测量技术核心参数对比

测量场景	技术类型	精度范围	效率(单点测量耗时)	环境限制因素	设备成本(万元)
地面	全站仪	角度: 2-5 秒; 距离: 1-5mm	3-5 分钟	需通视、 植被遮挡影响大	10-30
地面	GPS (RTK)	平面: 1-5cm; 高程: 2-10cm	1-2 分钟	卫星信号 遮挡、电 磁干扰	5-20
地面	三维激光扫描	点云精度: 2-5mm	10-30 分钟/区域	光照条件、 物体表面反射率	50-200

地下	全站仪 (导线)	相对精度: 1/5000-1/10000	5-10 分钟	巷道狭窄、 粉尘、 光线不足	15-35
地下	陀螺经纬仪	定向精度: 5-10 秒	30-60 分钟/次定向	振动、强 磁场	80-150
地下	惯性测量系统	短期: 0.1-0.5m; 长期: 累积误差	实时测量	振动、温 度变化	100-300
地下	缪子成像技术	矿体定位误差: 1-5m	数天-数 周/次扫描	探测范围 有限 (<= 100m 深度)	500-1000

从实际应用看,地面技术在效率和成本上更具优势,地下技术因环境制约需在精度稳定性与操作难度间权衡。例如 GPS 地面单点测量仅需 1-2 分钟,而地下陀螺经纬仪定向需 1 小时以上,但后者为长巷道贯通提供了不可替代的方位基准。

3.2 技术适用性分析

地面技术擅长处理大范围、开放性场景,全站仪适用于地形测绘和控制点布设;GPS (RTK) 高效完成矿区边界划定和大规模地形测量;三维激光扫描在露天采场建模和储量估算中精度突出;遥感技术则提供区域地质勘探和环境监测的宏观视角。

地下技术聚焦封闭空间精细测量,全站仪(导线)用于巷道和采场常规测量;陀螺经纬仪保障长巷道定向与贯通精度;惯性测量系统支持井下移动设备定位和变形监测;缪子成像技术为深部矿体和采空区探测开辟新路径。精准开采中两类技术需协同配合:储量计算需地面三维扫描模型结合地下全站仪实测数据;安全监测通过 GPS 追踪地表沉降,同步用惯性测量系统监测井下位移,构建“地表-地下”一体化监测体系^[5]。

3.3 精度对比

地面测量在理想条件下精度表现更优,全站仪角度测量达秒级,距离测量至毫米级;GPS (RTK) 定位精度为厘米级。地下测量受环境影响精度受限:全站仪虽本身精度高,但随测量距离增加误差累积明显;陀螺经纬仪定向精度可靠,但整体精度受后续测量环节制约;惯性测量系统短期精度较好,长期则因误差累积导致精度下降。通过合理选择技术和误差控制措施,地下测量可满足开采精度要求。

3.4 效率对比

地面测量效率整体高于地下:GPS 能快速获取大量点位坐标,大面积测量优势显著;三维激光扫描可快速生成三维数据。地下测量因空间限制和环境复杂效率较低:全站仪导线测量需逐点操作,流程繁琐;陀螺经纬仪定向步骤复杂、耗时较长;惯性测量系统虽能实时测量,但数据处理和校正环节影响整体效率。

3.5 环境适应性对比

地面技术对自然环境敏感：GPS 信号易受地形、建筑物、天气影响；遥感影像质量受云层、天气制约。地下技术需适应特殊井下环境：全站仪需克服光线和粉尘干扰；陀螺经纬仪和惯性测量系统需抵御振动、磁场和温度变化的影响。相对而言，地下技术对作业环境的适应性要求更高。

3.6 设备成本与操作难度对比

地面设备成本和操作难度相对较低：全站仪价格适中，经培训即可操作；GPS 设备操作便捷，高精度型号成本较高；三维激光扫描设备昂贵，数据处理需专业能力。地下设备普遍成本高、操作复杂：陀螺经纬仪和惯性测量系统价格昂贵，对操作人员专业水平要求高；缪子成像技术设备成本极高，技术门槛高。

4 精准开采中测量技术的协同应用策略

4.1 数据融合机制构建

精准开采需建立地面与地下测量数据的动态融合机制。以三维激光扫描的地面模型为基础框架，整合 GPS 监测的地表形变数据，形成宏观空间基准；地下则通过全站仪导线测量与陀螺经纬仪定向数据构建局部坐标系，再利用惯性测量系统的实时监测数据进行动态修正。通过坐标转换模型实现两类数据的无缝衔接，例如采用七参数转换法将地下局部坐标系与地面大地坐标系精准对齐，确保储量计算、巷道贯通等关键环节的数据源一致性。

4.2 技术组合适配方案

根据开采阶段的不同需求制定技术组合方案。勘探初期，采用遥感技术圈定成矿远景区，结合地面 GPS 快速布设勘探

网，同步用全站仪加密控制点；开拓阶段，以陀螺经纬仪定向为核心，搭配全站仪导线测量构建井下基础控制网，地面用三维激光扫描监测地表移动；回采阶段，通过惯性测量系统实时追踪采场设备位置，结合地下全站仪实测数据校准采场边界，地面 GPS 则动态监测沉降区变化。针对复杂地质条件，可引入缪子成像技术进行深部矿体探测，其结果作为传统测量技术的补充验证依据。

4.3 动态调整与误差控制

建立测量系统的动态调整机制，根据环境变化优化技术参数。当地面植被覆盖度增加导致全站仪通视受阻时，切换至 GPS (RTK) 与三维激光扫描组合模式；地下巷道粉尘浓度过高影响全站仪观测时，缩短导线边长并增加测回数，同时提高惯性测量系统的校准频率。通过实时质量评估模型对测量数据进行精度核验，例如设定地下导线相对精度预警阈值 (1/8000)，当监测值超限时自动触发陀螺经纬仪重定向程序，确保数据可靠性。

5 结语

综上所述，以上对金矿矿山地面与地下测量技术的对比，为精准开采提供了清晰的技术参考。实际应用中，需结合矿区具体条件，灵活选用合适技术并促进协同，如地面用 GPS 和三维激光扫描高效获取宏观数据，地下以全站仪和陀螺经纬仪保障精细测量。随着技术发展，要关注缪子成像等新技术的突破，推动测量数据实时融合与智能处理。通过持续优化测量方案，可最大化发挥技术价值，提高金矿开采的精准度、效率与安全性，助力行业在资源利用与安全生产间实现平衡，迈向可持续发展新阶段。

参考文献：

- [1] 王亚红,马雪娜,张战平,等.矿山地质环境保护与恢复治理对策研究:以秦岭南麓某金矿为例[J].中国矿业,2024,33(S1):105-110.
- [2] 陈菊林,张云飞,苏生云,等.都兰县五龙沟金矿矿山环境地质问题及治理措施研究[J].能源与环保,2021,43(09):83-88.
- [3] 宋明忠.山东半岛矿山地质环境问题及成因研究[J].世界有色金属,2021,(14):176-177.
- [4] 姜培根,刘鹏金,王桂东,等.玲珑金矿“两化一简”现代矿山企业管理机制的搭建与应用[J].中国有色金属,2024,(S1):102-106.
- [5] 李春云.深水潭金矿矿山地质探矿工程中存在的问题与解决对策研究[J].世界有色金属,2024,(13):151-153.