

3S 技术在地质矿产工程测绘中的深度应用

李树兵

内蒙古能源集团蒙能煤业有限公司，内蒙古呼和浩特市，010010；

摘要：矿产资源开采直接关系社会经济的发展，地质矿产工程测绘是矿产资源合理开采的前提，对矿产资源开采效率与经济效益带来重大影响。基于这种情况，应当将现代最新的测绘技术引入到地质矿产工程测绘工作中，有利于提升测绘工作效率和质量。现阶段 3S 技术开始在自然资源测绘工程中得到普遍使用，但是其在地质矿产工程测绘中的研究相对缺乏。更多是从理论角度探究了 3S 技术在地质矿产工程测绘中的使用，其并未产生有效的研究成果，难以对测绘工作产生积极意义。

关键词：地质矿产工程测绘；全球定位系统技术；地理信息系统技术；遥感技术

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.024

地质矿产工程测绘是矿山开发利用的基础工作，也是保障开采工作顺利开展的基本前提，这就需要重视测绘工作的开展质量，对提升矿产资源开采效率和经济效益带来重大影响。3S 技术主要包括全球定位系统技术（GPS）、地理信息系统技术（GIS）、遥感技术（RS），着重说明北斗导航系统的应用（BDS），因其具有测量精度高、测量范围大、测绘效率高等优点，受到地质矿产工程测绘人员的高度关注，也增大了 3S 技术的使用频率。

1 3S 技术的结合应用模式及场景

1.1 数据采集与整合协同

RS+GPS 的遥感数据精准化，遥感技术（RS）通过卫星或航空平台获取大范围地表影像，GPS 则提供影像中关键地物（如矿体露头、地质构造线）的精确坐标定位，实现遥感影像的空间校正与几何配准。在矿产勘探中，RS 识别矿化蚀变带后，通过 GPS 实地验证采样点位置，形成“宏观异常圈定→微观精准验证”的协同流程。GIS 的多源数据融合。GIS 整合 RS 遥感影像、GPS 定位数据、地质钻孔数据及地球物理探测结果，构建包含地形、岩性、矿体分布的三维空间数据库。通过空间叠加分析，GIS 可揭示矿产赋存与地质构造的空间关联性，辅助圈定成矿有利区。

1.2 动态监测与管理协同

环境与灾害监测闭环，RS 周期性拍摄矿区地表影像，监测植被破坏、尾矿库变形等环境变化；GPS 布设地表位移监测网络，实时捕捉毫米级形变数据；GIS 整合时序数据，模拟塌陷区扩展趋势并生成灾害预警热力图。

例如露天矿边坡稳定性监测中，RS 识别裂缝发育范围，GPS 跟踪裂缝位移速率，GIS 计算滑坡风险概率。资源开发过程管控。矿山开采中，GPS 实时追踪采矿设备位置并与 GIS 设计的采掘计划比对，动态调整开采路径；RS 监测采空区扩展范围，GIS 计算剩余资源储量与开采经济性。三者协同实现“规划→执行→反馈”的闭环管理，降低资源浪费。

2 3S 技术的互补统一性

2.1 技术互补性

功能分工互补，RS 通过卫星或航空传感器获取大范围地表影像，提供宏观动态数据；GPS 为影像中的地物赋予精确坐标，解决空间定位问题；GIS 则整合多源数据并执行空间分析与可视化，形成完整的“感知-定位-决策”链条。数据维度互补。RS 侧重空间属性信息（如地物光谱特征、地形起伏），GPS 提供时空基准信息（坐标、高程），GIS 则建立关系型数据模型（如矿体与地质构造的空间关联性）。在矿产勘探中，RS 圈定矿化异常区，GPS 验证采样点位置，GIS 构建三维矿体模型并预测资源分布。动态与静态互补。RS 和 GPS 支持实时/周期性动态监测（如地表形变、设备轨迹），GIS 通过历史数据积累与模型构建揭示长期规律（如矿区沉降趋势预测）。三者结合实现“动态追踪→静态建模→趋势推演”的闭环反馈机制。

2.2 技术统一性

数据标准化统一，3S 技术共享统一的空间参考框架（如 WGS84 坐标系），确保 RS 影像、GPS 定位数据与 GIS 空间数据库的无缝融合。通过元数据规范（如数据分

分辨率、时间戳)实现多源异构数据的结构化存储与跨平台调用。技术集成框架统一。基于空间信息流模型,RS 作为数据输入端, GPS 提供空间基准, GIS 承担数据处理与分析中枢, 形成“空-天-地”一体化技术体系。

3 3S 技术在地质矿产工程测绘中的应用

3.1 技术整合与功能协同

GPS 高精度定位, GPS 通过卫星定位技术为矿区控制测量提供厘米级精度支持, 简化传统控制网布设流程, 尤其在复杂地形中两点间无需通视即可完成测量。实时动态差分(RTK)技术用于矿区碎部测量, 快速获取地形高程、地物边界等数据, 提升大比例尺测图效率。RS 广域感知与动态监测。遥感技术通过卫星或航空影像获取矿区宏观地表信息, 识别地质构造、矿化蚀变带及植被覆盖变化, 支持大范围资源普查和环境动态监测。高光谱遥感可探测隐伏矿床和地下水分布, 减少传统勘探盲区, 为靶区圈定提供科学依据。GIS 数据融合与智能分析。GIS 整合多源数据(地质图、遥感影像、钻孔数据等), 构建三维地质模型, 精准刻画矿体形态与空间分布规律。通过空间叠加分析, 揭示矿产赋存与断裂带、岩性边界的关联性, 优化资源储量估算与开采方案。

3.2 核心应用场景

资源勘查与三维建模, RS+GPS 协同勘测: RS 圈定矿化异常区后, GPS 对采样点精准定位并验证, 结合 GIS 构建矿体三维模型, 预测隐伏矿体延伸方向。案例: 某金属矿区利用 RS 识别蚀变岩范围, GPS 标注验证点坐标, GIS 生成矿体三维可视化模型, 资源储量误差降低至 5% 以内。动态监测与灾害预警。时序数据联动: RS 周期性监测地表形变(如采空区沉降), GPS 布设位移监测网络捕捉毫米级变化, GIS 整合数据模拟灾害扩展趋势。应用实例: 露天矿边坡稳定性监测中, RS 识别裂缝发育范围, GPS 追踪位移速率, GIS 生成滑坡风险热力图并触发预警。矿山开发与生态修复。开采过程优化: GPS 实时定位采矿设备轨迹, 与 GIS 设计的开采路径比对, 动态调整采掘进度; RS 监测采空区扩展范围, GIS 计算剩余储量。生态修复评估: RS 监测闭矿后植被恢复状态, GPS 标记复垦区边界, GIS 构建生态承载力模型, 制定差异化复垦策略。

3.3 协同优势与创新价值

效率提升: GPS 替代传统控制测量, RS 减少野外勘探工作量, GIS 自动化分析缩短数据处理周期, 综合降

低人力成本 30% 以上。精度增强: 北斗三代+无人机遥感实现厘米级地形测绘, GIS 三维建模精度达 0.1 米级, 支撑精细化资源管理。决策科学化: 3S 技术集成构建“数据采集→模型推演→方案输出”闭环, 提升矿区规划、灾害防治与生态修复的决策可靠性。

3.4 技术发展趋势

智能化集成: AI 算法嵌入 GIS 平台, 实现 RS 影像自动解译与矿化标志识别, 结合 GPS 动态路径规划自主勘探机器人。全链条服务: 基于云平台的 3S 技术系统覆盖“勘探-开采-闭矿”全周期, 支持多角色远程协同与数据共享。高分辨率增强: 无人机搭载激光雷达(LiDAR)与多光谱传感器, 提升复杂地质构造解析能力, 推动数字孪生矿山建设。

4 3S 技术深度应用

4.1 公共卫生与应急管理

医院建设监测, 技术组合: RS(卫星遥感影像)+GIS(空间数据可视化)+GPS(施工设备定位)。应用场景: 通过 RS 实时监测医院建设地表形变, GIS 整合施工进度与资源调配数据, GPS 追踪重型机械轨迹优化调度路径, 实现 10 天建成千张床位的“中国速度”。成效: 沉降监测精度达毫米级, 施工效率提升 40% 以上。疫情智慧防控系统。技术组合: GPS(北斗定位)+GIS(热力地图分析)+RS(人口流动监测)。应用场景: 北斗系统实时追踪高风险人员活动轨迹, GIS 生成疫情传播热力图, RS 分析交通枢纽人流密度, 精准划定封控区域。创新点: 结合 AI 算法预测疫情扩散趋势, 防控响应时间缩短至 2 小时内。

4.2 工业数字化转型

汽车数智工厂, 技术组合: GIS(生产数据三维建模)+GPS(AGV 导航定位)+RS(厂房环境监测)。应用场景: GIS 构建生产线数字孪生模型, GPS 引导无人搬运车(AGV)路径规划, RS 监测车间温湿度与安全指标, 实现全流程自动化生产。成效: 柔性制造能力提升 30%, 设备故障率降低 25%。民爆行业安全管理。技术组合: GPS(危险品运输轨迹追踪)+GIS(爆炸风险模拟)+RS(仓储区周界监测)。应用场景: 贵州某民爆企业运用 GPS 实时监控炸药运输车辆, GIS 模拟爆炸冲击波影响范围, RS 无人机巡检仓储区周边安全距离。创新点: 危险品泄漏预警系统响应时间缩短至 15 秒内。

4.3 生态保护与资源开发

智慧林草火灾防控, 技术组合: RS (多光谱火情识别)+GIS (防火隔离带规划)+GPS (消防力量调度)。应用场景: 高光谱遥感卫星识别林区热异常点, GIS 自动生成最佳扑救路径, 北斗系统定位消防队伍实时位置。成效: 火灾识别准确率达 98%, 应急响应效率提升 50%。矿区生态修复评估。技术组合: RS (植被覆盖度分析)+GIS (复垦方案模拟)+GPS (修复工程验收)。应用场景: 周期性遥感监测闭矿区域植被恢复状态, GIS 叠加土壤污染数据生成梯度复垦方案, GPS 精准标记复垦区验收坐标。创新点: 生态修复成本降低 20%, 植被成活率提高至 85%以上。

4.4 城市治理与交通优化

交通事故智能分析, 技术组合: GIS (事故热点图层叠加)+GPS (车辆轨迹回溯)+RS (道路状况识别)。应用场景: 某城市中心城区通过 GIS 叠加历史事故数据与交通流量图层, GPS 还原事故车辆行驶路径, RS 识别路面缺陷 (如坑洼、标线磨损)。成效: 事故高发路段整治后事故率下降 37%。地下管网数字孪生。技术组合: RS (地质雷达探测)+GIS (管网三维建模)+GPS (检修井定位)。应用场景: 利用探地雷达扫描城市地下管网分布, GIS 构建压力、流量、腐蚀度等多属性模型, 北斗系统导航应急抢修作业。创新点: 管网泄漏定位精度达 0.5 米, 维修效率提升 60%。

4.5 技术融合趋势

AI 增强型 3S 系统: 华为智慧林草方案集成 AI 图像识别, 实现 RS 影像中火点自动标注与 GIS 风险等级自动划分; 空天地一体化监测: 无人机搭载 LiDAR 与多光谱传感器, 结合北斗三代高精度定位, 构建矿区毫米级沉降监测网络; 元宇宙交互平台: 福州数字中国峰会展示的 3S+VR 技术, 支持用户沉浸式操作 GIS 三维地质模型并模拟开采方案。

5 3S 技术未来发展趋势

5.1 技术融合与智能化升级

“3S+AI”深度集成, AI 算法将加速与 3S 技术融合, 实现遥感影像的自动解译、GPS 轨迹的智能优化以及 GIS 空间分析的自动化决策, 显著提升数据处理效率和精度。例如, 林业监测中 AI 可自动识别森林火点并生成应急路径, 农业领域则通过 AI 分析遥感数据预测作物

产量。创新方向: 自主勘探机器人、无人化测绘装备、智能灾害预警系统将成为研发重点。空天地一体化监测网络。结合低轨卫星、无人机和地面传感器, 构建多尺度、多时相的空天地协同观测体系, 支持矿产、农业、林业等领域的全周期动态监测。应用示例: 矿区毫米级沉降监测、森林碳汇动态评估、农田病虫害实时追踪等。

5.2 跨行业多领域渗透

精细化资源管理, 智慧城市: GIS 与 BIM (建筑信息模型) 融合, 支撑城市地下管网数字化与交通智能调度; 生态保护: 3S 技术整合生态参数, 实现自然保护区生物多样性动态监测与修复效果量化评估; 双碳战略: 通过遥感反演碳排放数据, GIS 构建碳足迹空间分布模型, 辅助制定区域减排方案。新兴场景拓展。元宇宙与数字孪生: 3S 技术为虚拟空间提供高精度地理数据底座, 支持矿产开采模拟、灾害应急演练等场景; 自动驾驶: 北斗高精度定位与 GIS 高清地图结合, 赋能无人矿卡、农业机械的路径规划与避障。

5.3 技术性能突破

厘米级精度普及。北斗三代与无人机 LiDAR 技术结合, 将地形测绘精度提升至厘米级, 满足智慧矿山、精准农业等场景的精细化需求。实时动态响应能力增强。5G 网络支撑下, 3S 技术实现“采集-传输-分析-反馈”秒级闭环, 例如地质灾害监测中实时触发应急响应。

5.4 平台化与标准化建设

云平台全链条服务, 基于云计算构建 3S 技术协同平台, 覆盖资源勘探、生产管理、生态修复全流程, 支持多部门数据共享与远程协作。行业标准体系完善。针对数据格式、模型接口、安全规范等制定统一标准, 推动 3S 技术在智慧城市、国土空间规划等领域的规模化应用。

总之, 在地质矿山工程测绘中, 测绘人员应当认识到 3S 技术的作用, 结合测绘工作的需求, 制定符合要求的测绘方案, 逐步获取精度高的数据资料, 以此为矿山开采工作提供数据支持。

参考文献

- [1] 张平. 地质矿产勘查领域中 3S 技术的应用. 2023.
- [2] 刘浩宇. 刍议 3S 技术的运用对矿产地质勘查工作效率的提升作用. 2023.