

# 矿产资源三维建模技术在矿区勘查中的应用策略

刘小东

江西宏略技术咨询有限公司 江西赣州 341000

**摘要:** 为提升矿区矿产资源勘查的智能化水平与资源开发效率, 本文分析了三维建模技术在矿区地质构造解析、矿体空间分布界定、资源储量动态估算及勘查路线优化设计中的具体应用, 并探讨了其在数据质量、技术适应性、软硬件支撑及人才储备等方面的关键挑战。分析认为, 当前三维建模技术虽能显著增强勘查精准度, 但仍存在数据融合不足、复杂地质条件下模型失真、软硬件兼容性差及跨学科人才短缺等瓶颈。建议通过构建多源数据协同采集与质控体系, 研发高精度地质自适应建模算法, 推动软硬件协同优化升级, 以及建立“地质+数字化”复合型人才培养机制, 全面提升三维建模技术的应用效能, 为矿区勘查从传统经验驱动向数据智能驱动转型提供技术保障。

**关键词:** 三维建模; 矿区勘查; 地质构造; 资源储量

## 引言

随着三维建模、大数据与人工智能技术的快速发展, 矿产勘查逐步迈入数字化、可视化新阶段。三维建模技术通过集成地质、物探、化探等多源数据, 构建矿区三维地质体模型, 能够直观揭示矿体形态、空间展布规律及成矿构造特征, 为优化勘查方案提供科学依据。然而, 技术应用过程中仍面临多重制约: 一方面, 数据采集精度不足、异构数据融合困难导致模型可靠性受限; 另一方面, 断层交错、岩性突变等复杂地质条件下模型构建易失真, 且现有建模软件功能分散、硬件算力要求高, 限制了技术推广效率。基于此, 本文聚焦三维建模技术在矿区勘查中的应用与现存问题, 系统梳理其核心应用方向, 并提出针对性优化策略, 以期为推动矿产勘查技术革新、实现资源开发提质增效提供理论参考。

## 一、三维建模技术在矿区矿产资源勘查中的具体应用

### (一) 分析矿区地质构造

传统矿区地质构造分析以地表填图、钻孔岩芯分层记录及二维剖面解译为核心, 通过人工比对不同高程的岩性接触线与断层迹象, 推断构造单元的平面展布规律。这一方法受限于二维投影的信息损失, 难以还原断裂系统的三维交切关系, 尤其对隐伏构造的识别依赖经验性推测, 易导致控矿构造解析的片面性。三维建模技术通过整合地表地质填图数据、地球物理异常反演结果及钻孔空间轨迹信息, 采用隐式建模算法构建地质界面网络,

动态模拟断层位移矢量、褶皱枢纽倾伏角及岩层接触面几何形态。例如, 基于距离权重插值生成的断层曲面模型, 可量化断层面倾角变化对成矿流体运移路径的约束效应, 揭示多期次构造活动叠加形成的矿化富集规律。

### (二) 精准界定矿体形态与分布

传统矿体圈定方法基于钻孔采样点品位数据, 采用垂直投影法在平面图上连接矿体边界线, 通过等值线勾绘矿体平面轮廓。此类方法无法有效表达矿体侧伏、分支复合及透镜状尖灭等三维空间特征, 尤其在复杂构造区易因投影畸变导致矿体体积计算偏差。三维建模技术通过引入隐式曲面建模与体素离散化方法, 将稀疏钻孔数据转换为连续矿体表面模型, 结合地质统计学距离幂次反比法, 重构矿体内部品位梯度与几何形态的空间分布。例如, 采用移动立方体算法生成的矿体表面网格, 可精确刻画薄层矿体的波状起伏形态, 并通过多剖面交叉验证修正模型拓扑结构<sup>[1]</sup>。

### (三) 估算相关资源储量

传统资源储量估算采用块段法或剖面法, 将矿体划分为均质几何单元, 基于有限钻孔采样点计算单元平均品位与体积, 其假设矿化均匀分布的理论模型与真实地质体各向异性特征存在本质冲突。三维建模技术依托块体模型离散化方法, 将矿体空间分解为微小立方体单元, 通过变异函数分析矿化元素的空间自相关性, 采用克里金插值或序贯指示模拟算法生成品位分布概率场<sup>[2]</sup>。该方法不仅量化矿体内部品位波动范围, 还可通过体积分计算不同置信水平下的资源量估值区间, 例如基于条

件模拟生成的多实现模型可评估地质不确定性对储量计算结果的影响幅度。

#### （四）辅助规划与设计勘察路线

传统勘察路线规划依赖人工经验，采用规则网格或线性剖面布设钻孔，探矿工程部署与地质推断靶区的空间匹配度低，易造成勘探投入浪费与关键信息遗漏。三维建模技术通过融合地质构造模型、地球化学异常场及地球物理反演数据，构建多源信息约束的勘查空间概率模型，利用空间聚类分析与蒙特卡洛模拟识别高潜力靶区。基于三维模型的空间分析模块，可自动生成钻孔最优布设方案，例如采用贪婪算法优先在矿体预测边界不确定性区域加密钻孔，同时规避断层破碎带对钻探施工的机械风险。

### 二、矿区矿产资源勘查中三维建模技术应用面临的挑战

#### （一）数据获取与质量问题

三维建模技术对数据源的多样性与精度存在高度依赖，而矿区勘查中地质、物探、化探数据的获取常受限于勘探阶段与观测条件。地表地质填图受植被覆盖与地形切割影响，易漏判隐伏构造的细微形变特征；钻孔岩芯编录依赖人工分层描述，岩性界面识别的主观性导致不同技术人员的解译结果出现系统性偏差。地球物理数据反演的多解性进一步加剧建模输入的不确定性，例如重力异常可能同时对应深部矿体与基岩起伏，缺乏钻孔验证时难以确定其地质属性。多源数据时空分辨率与坐标系差异导致融合建模时出现空间配准误差，高密度物探点云数据与稀疏钻孔数据的整合常引发模型局部失真。

#### （二）复杂地质下适应性不足

现有三维建模算法在应对多期次构造叠加、岩性突变及矿化样式复杂区域时显现理论局限。隐式建模方法基于距离场函数生成连续地质界面，难以准确表征断层切割导致的岩层错断与破碎带内部结构，对逆冲推覆构造的多级滑脱面模拟常出现拓扑错误。显式建模依赖人工交互修正网格拓扑关系，在刻画火山岩相变或侵入体分支复合形态时效率低下，且难以保持地质体间的空间接触逻辑<sup>[3]</sup>。各向异性矿化体的三维重建面临算法适应性瓶颈，例如矽卡岩型矿床的网脉状矿化在体素化处理时易被简化为连续块体，丢失关键成矿结构信息。

#### （三）软件与硬件支持问题

主流三维地质建模软件的功能模块分散化特征显著，地质解译、数据清洗与模型构建往往需跨平台操作，数

据格式转换过程中的信息损失直接影响模型可靠性。部分软件虽能提供自动化建模工具，但其核心算法黑箱化特征限制了用户对模型参数的自定义调整，难以满足特殊地质场景的建模需求。开源平台虽支持算法二次开发，但缺乏针对矿业勘查的专业功能库，从底层代码实现复杂地质逻辑需要极高的技术门槛。硬件层面，海量点云数据与高分辨率体素模型的处理对GPU并行计算能力提出苛刻要求，常规工作站难以支撑大规模矿区的实时渲染与动态更新。野外勘查现场常面临恶劣环境与供电不稳定问题，移动设备的算力限制导致三维模型无法实现现场快速验证与迭代优化。

#### （四）复合型人才严重匮乏

三维建模技术的有效应用需要操作者兼具地质成因分析能力与计算机图形学知识，而传统地质教育体系偏重野外技能与成因理论培养，缺乏空间数据结构、算法原理及编程实践的交叉训练。多数地质工程师对克里金插值、变异函数分析等建模核心算法的数学本质理解不足，难以针对具体矿床类型优化模型参数设置。计算机专业人员虽精通算法实现，但对地层接触关系、构造演化序列等地质逻辑的认知薄弱，导致建模过程过度依赖几何形态匹配而忽视地质合理性校验。企业现场普遍存在技术应用断层，资深地质师习惯传统二维图件分析模式，对三维模型的空间解译方法接受度低，而年轻技术人员缺乏实战经验，无法准确识别模型中的地质逻辑矛盾。

### 三、提高矿区矿产资源勘查中三维建模技术应用水平的策略

#### （一）健全数据质控体系，采用多源数据融合技术

三维建模技术在矿产资源勘查中的效能提升依赖于数据获取全流程的标准化与智能化改造。针对地表填图环节，需建立覆盖不同景观单元的观测协议。在植被茂密区推广穿透雷达扫描技术捕捉隐伏断裂迹象，在基岩裸露区采用高光谱成像系统识别蚀变矿物空间分带。钻孔编录环节引入岩芯数字化扫描设备，通过卷积神经网络自动提取岩性接触面产状与构造破碎带厚度，同步关联地球化学分析数据建立三维岩性-地球化学属性模型<sup>[4]</sup>。物探数据解译需构建地质约束的反演框架，例如在重力勘探中植入区域构造格架作为初始模型，利用马尔可夫链蒙特卡洛方法量化基底起伏与矿体赋存状态的概率分布。多源数据融合需突破传统空间配准技术局限，开发基于地质语义的智能匹配算法。将航磁异常梯度带与地

表断裂走向进行空间相关性分析,自动校正激光雷达点云与钻孔轨迹的高程偏差。对于勘查早期数据稀疏区域,采用成因驱动插值方法替代几何插值,例如依据成矿系统理论在火山机构周边优先推定热液通道位置,通过构造应力场模拟约束矿化体延伸趋势。

## (二) 加强技术创新研发, 开发适应复杂地质的建模技术

复杂成矿环境的三维建模技术创新需聚焦地质过程与计算方法的深度耦合。针对逆冲推覆构造区,研发断层滑动矢量约束的层序恢复算法:通过运动学模拟反演各期次断裂活动量,在三维空间重建推覆体原始叠置关系,精确圈定构造圈闭控矿部位。矽卡岩型矿床建模需整合交代作用数值模拟,将围岩化学成分梯度场、热液运移路径与矿化强度进行空间耦合,实现网脉状矿体的精细化表征。对于沉积型铀矿床,开发层序地层控制下的砂体建模工具,依据古水流方向与沉积相变规律预测矿化砂体的侧向尖灭位置。深部勘查场景需引入多尺度融合建模技术,将区域地球物理模型与坑道尺度地质编录进行自适应衔接:利用小波变换分解不同频段的航磁异常信号,分别对应深部岩体与浅部矿化体的空间分布<sup>[5]</sup>。建立构造-成矿动态演化模型,将断裂活化期次、热液脉动事件与金属沉淀机制进行时空调控,通过反向建模验证成矿中心迁移规律。

## (三) 推动软件功能完善, 保障硬件性能稳定可靠

矿产资源勘查专用建模软件的开发需强化专业场景适配能力。构建可扩展的插件式架构,为沉积型、岩浆型、变质型等矿床类型预置差异化的建模逻辑库。例如在斑岩铜矿模块中集成蚀变分带三维重建算法,在砾岩型金矿模块中植入古河道形态智能识别工具。核心算法需实现透明化调控,开放克里金插值中变差函数类型、搜索椭球轴向等关键参数的地质含义解释功能,辅助用户依据矿化各向异性特征做出合理选择。硬件支撑体系实施“云-边-端”三级架构。云端超算集群负责区域尺度构造建模与成矿预测大数据分析;边缘计算节点部署于勘查基地,实现探矿工程数据的实时建模更新;野外终端配备防爆加固设备,集成惯性导航与即时定位建图技术,支持井下坑道扫描数据与地表模型的动态融合。建立容灾型数据管理体系,采用区块链技术对钻孔日志、岩芯图像等关键勘查数据进行分布式存储与版本追踪,

确保原始数据的不可篡改性及建模过程的可追溯性。

## (四) 加强专业人才培养, 组建复合型勘察团队

三维建模技术落地需要重构地质人才培养的知识图谱。在高等教育阶段开设“智能勘查技术”跨学科课程,涵盖地质成因分析、空间数据结构、机器学习基础及建模软件二次开发等内容,采用虚拟矿床案例库进行沉浸式教学。企业建立“建模能力进阶认证”体系,设置构造解析、算法调参、成果解译三级考核标准,通过典型矿集区建模实战提升技术人员的问题诊断能力。组建跨领域攻关团队时,明确三类角色协作机制:成因分析组负责构建区域成矿系统概念模型,算法开发组专注编写地质规则约束的建模脚本,工程应用组从探矿工程部署角度提出模型精度需求。在此基础上,建立“模型-现实”双向校验机制。野外工程师定期带着平板设备比对模型预测与实地揭露的地质现象,发现矛盾即时触发模型迭代。

## 结语

综上所述,三维建模技术在矿区矿产资源勘查中展现出广泛的应用场景,对地质构造分析、矿体研究、资源储量估算及勘查规划意义重大。尽管其应用面临数据、技术、软硬件及人才等多方面挑战,但通过数据处理优化、技术创新、软硬件升级和人才培养等策略,可有效提升应用水平。未来,随着各项策略的深入实施及技术的持续发展,三维建模技术有望在矿区勘查中发挥更大效能,推动矿产资源勘查行业迈向更高水平。

## 参考文献

- [1] 李银冰, 赵震宇, 罗小平. 三维可视化建模在矿山资源储量管理中的应用[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(12): 159-163.
- [2] 马威. 山西省矿产资源储量三维立体调查登记的做法与成效[J]. 华北自然资源, 2023, (03): 81-83.
- [3] 薛曙斌, 王芳. 三维地质建模在地质勘查领域的应用与探讨[J]. 华北自然资源, 2019, (05): 39-41.
- [4] 王文涛. 测绘技术在金属矿床勘查中的精确定位方法[J]. 世界有色金属, 2025, (15): 175-177.
- [5] 吕超迪, 李宾. 数字化测量技术在矿山地质勘查中的创新与应用[J]. 张江科技评论, 2025, (06): 75-77.