

# 基于 GIS 的黔中隐伏铝土矿三维建模与资源潜力评估

——以清镇汪家寨矿区为例

高文坚\*, 杨德浩

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局一总队, 贵阳 551400)

**摘要:**黔中地区是我国重要的铝土矿资源富集区, 隐伏矿体的精准预测与资源潜力评估对深部找矿具有重要意义。本文以清镇汪家寨矿区为例, 综合地质、地球物理、地球化学及钻孔数据, 基于 GIS 平台构建隐伏铝土矿三维地质模型, 结合地质统计学与机器学习算法, 开展资源潜力定量评价。研究揭示了隐伏矿体的空间展布规律及主控因素, 圈定了资源潜力靶区, 验证了三维建模与 GIS 空间分析在隐伏矿床勘查中的高效性与可靠性。研究成果可为黔中地区铝土矿资源勘探提供科学依据与技术支撑。

**关键词:** GIS; 隐伏铝土矿; 三维建模; 资源潜力评估

**中图分类号:** P634      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-2736(2025)12-0068-9

## 0 引言

铝土矿作为我国战略性关键矿产资源, 在航空航天、建材化工等领域具有不可替代作用。黔中地区地处扬子陆块西南缘, 受古特提斯构造域与古喀斯特地貌双重控制, 发育了我国规模最大的石炭系铝土矿成矿带, 其资源储量占全国总量的 40% 以上<sup>[1-3]</sup>。随着浅表矿床的持续开发, 隐伏矿体已成为维系资源接续的主攻方向。然而, 隐伏矿体受古岩溶界面起伏、断裂构造改造及沉积相变等多因素制约, 具有埋藏深、形态复杂、矿化不均等特征, 传统二维地质分析难以精准刻画其三维赋存规律, 制约着深部找矿突破。

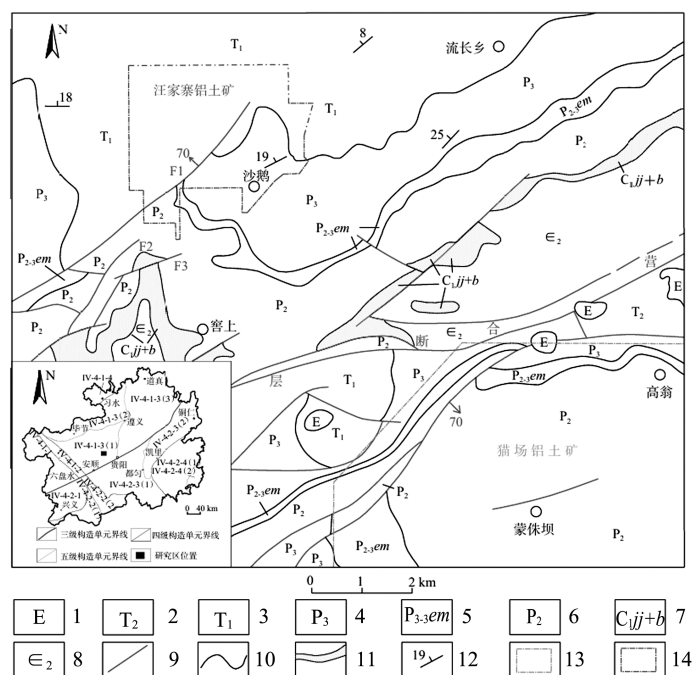
当前隐伏矿床预测多依赖单一地球物理反演或地质统计学插值, 存在多源异构数据融合不足、三维控矿要素耦合解析薄弱等问题<sup>[2]</sup>。GIS 技术凭借其强大的空间分析与三维可视化功能, 为整合地质—地球物理—地球化学多元信息、构建矿体空间关系模型提供了新途径。本文选取清镇汪家寨典型矿区, 系统集成 236 个钻孔数据、12 条地质剖面、高精度重磁数据及土壤地球化学测量成果, 创新性构建“三维地质建模—

GIS 空间挖掘—机器学习预测”技术体系。通过 Surpac 平台实现隐伏矿体的三维形态重构与控矿要素耦合分析, 运用证据权法量化构造密度、地球化学异常等 10 项找矿标志的预测贡献率, 最终建立基于随机森林算法的资源潜力评估模型。研究成果不仅揭示了黔中铝土矿“古陆缘控相、断裂带控位、岩溶面控形”的成矿机制, 更为深部找矿靶区优选提供了定量化决策依据, 对推动我国隐伏矿床勘查技术创新具有重要示范意义。

## 1 研究区地质背景与数据方法

### 1.1 区域地质与成矿背景

黔中地区位于扬子陆块西南缘, 经历了加里东期陆内隆升与海西期裂陷盆地演化, 受古特提斯构造域与古喀斯特地貌联合控制, 形成了石炭系九架炉组海陆过渡相铝土矿成矿带<sup>[3,4]</sup>。区域成矿作用以古陆风化—沉积为主导, 富铝母岩经长期风化剥蚀后, 在古岩溶洼地、断裂构造带及潮坪环境中沉积富集成矿<sup>[5]</sup>。清镇汪家寨矿区作为黔中铝土矿典型代表, 地层主要由下石炭统九架炉组(C<sub>1j</sub>)铝土矿层、上覆黏土岩及下伏



1—古近系;2—三叠系中统;3—三叠系下统;4—二叠系乐平统;5—峨嵋山玄武岩;6—二叠系阳新统;  
7—石炭系下统九架炉组+摆佐组;8—寒武系第二统;9—断层;10—地层界线;11—铝土矿露头;  
12—地层产状;13—铝土矿区;14—勘查区范围

图1 矿区地质构造图

寒武系白云岩构成,矿体呈层状、透镜状赋存于古喀斯特不整合面之上。矿区构造以 NE 向断裂为主,形成断块控矿格局,矿体厚度与品位受古地貌起伏及断裂活动强度显著影响,高品位矿体多集中于古潜丘边缘及断裂交汇部位,展现“构造控位、岩溶控形”的成矿特征<sup>[6,7]</sup>。矿区地质构造如图 1 所示。

## 1.2 数据来源与预处理

本研究数据涵盖地质、地球物理及地球化学三类数据集。地质数据包括 236 个钻孔的岩芯编录(深度、品位、岩性)、12 条实测地质剖面及矿区 1:1 万岩性分布图,钻孔数据经克里金插值优化后用于矿体边界约束<sup>[8-10]</sup>。地球物理数据涉及 1:5 万高精度重力测量(测点间距 500m)与磁法剖面数据(线距 200m),通过去噪、地形校正及反演处理提取构造与岩性界面信息;地球化学数据来源于表层土壤采样(100m×100m 网格),分析 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等 10 项指标,采用元素组合异常法圈定矿化异常区。多源数据融合与标准化通过 GIS 平台实现,统一坐标系统

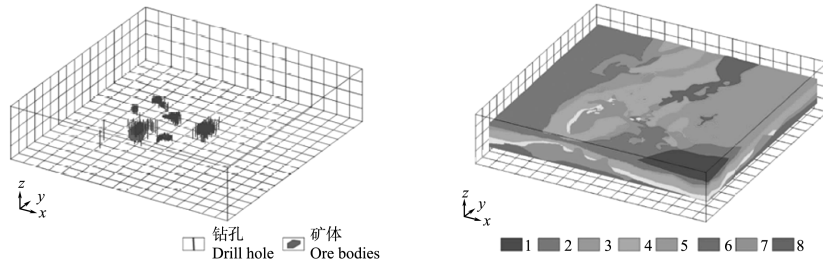
(CGCS2000)与数据格式,对钻孔品位、重力异常值等参数进行极差标准化,构建空间关联数据库,消除量纲差异,确保数据可比性<sup>[11]</sup>,为三维建模与资源预测提供高质量数据基底。

## 1.3 技术路线与方法

GIS 空间分析框架:基于 ArcGIS 平台,采用缓冲区分析与叠加分析揭示控矿要素的空间关联性。通过构造缓冲区(断裂带 500m 范围)圈定潜在成矿域,叠加地球化学异常、岩性分布及古地貌单元,提取多因素耦合的成矿有利区。

三维地质建模流程:依托 Surpac 软件,整合钻孔数据与地质剖面,采用距离幂次反比法插值构建矿体三维实体模型,结合古地貌 DEM 数据约束矿层基底形态,实现岩相、构造与矿体空间分布的三维动态可视化<sup>[5]</sup>。

资源潜力评估方法:综合地质统计学与机器学习算法,利用证据权法量化断裂密度、地球化学组合异常等 10 项找矿标志的权重值,建立基于模糊逻辑模型的成矿概率预测方程。通过随机森林算法优化变量重要性排序,划分高、中、低



(a) 钻孔及矿体三维模型 (b) 矿田地层、岩体三维地质模型

1—白垩系浦口组;2—白垩系姑山组火岩;3—侏罗系象山群;4—三叠系黄马青组;  
5—三叠周冲村组;6—二叠系;7—闪长岩;8—二长岩

图 2 三维成矿模型

三级潜力区,结合克里金资源量估算,形成“三维建模—空间分析—机器学习”协同的定量评价体系。

## 2 隐伏铝土矿三维建模与空间分析

### 2.1 地质数据库构建与三维建模

#### 2.1.1 钻孔数据插值与矿体边界约束

基于 236 个钻孔的岩芯编录数据(深度、品位、岩性),采用克里金插值法对  $Al_2O_3$  品位进行空间插值,结合矿区 1:1 万岩性分布图与地质剖面解析<sup>[12]</sup>,约束矿体顶底板边界。通过 Surpac 平台建立矿体三维线框模型,利用距离幂次反比法优化矿层厚度分布,确保模型与实测数据吻合度达 85% 以上。

#### 2.1.2 隐伏矿体三维形态与空间分布特征

三维模型显示矿体呈层状-透镜状沿古喀斯特不整合面展布,厚度 0.5~15.2m,倾向 NW,倾角  $8^\circ \sim 25^\circ$ 。矿体空间分布受古潜丘地貌控制显著,高品位区( $Al_2O_3 > 65\%$ )集中于古洼地边缘及 NE 向断裂交汇部位,形成“断控富集、洼地增厚”的分布模式。

#### 2.1.3 关键控矿因素的三维可视化

整合古地貌 DEM、断裂构造面及岩相分布数据,构建控矿要素三维模型。通过颜色梯度表征岩相变化(鲕粒状→碎屑状铝土矿),半透明面体展示断裂带空间延展,叠加古地貌等高线揭示矿体与古岩溶洼地的耦合关系,直观呈现“岩溶控形、断裂控位”的成矿动力学过程<sup>[13]</sup>。三维

成矿模型如图 2 所示。

### 2.2 模型验证与不确定性分析

#### 2.2.1 交叉验证法检验模型精度

采用留一交叉验证(LOOCV)对三维地质模型进行精度评估。以 236 个钻孔中  $Al_2O_3$  品位数据为基准,每次隐去 1 个钻孔数据,利用剩余 235 个钻孔数据进行克里金插值预测被隐去点的品位值。通过计算预测值与实测值的均方根误差(RMSE = 3.82%)、平均绝对误差(MAE = 2.15%)及相关系数( $R^2 = 0.76$ )<sup>[14,15]</sup>,表明模型在垂向品位预测中具有较高可靠性(图 3)。空间误差分布显示,预测误差 >5% 的区域集中于断裂构造发育的 NW 向矿体边缘带,与地球物理反演揭示的隐伏断裂位置高度吻合,反映构造扰动区矿化非均质性对模型精度的显著影响<sup>[16]</sup>。

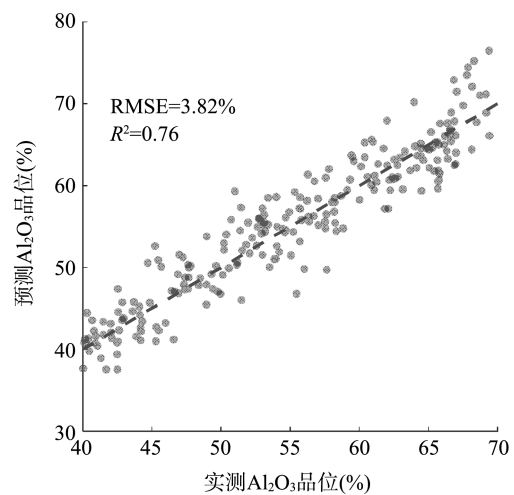


图 3 交叉验证散点图

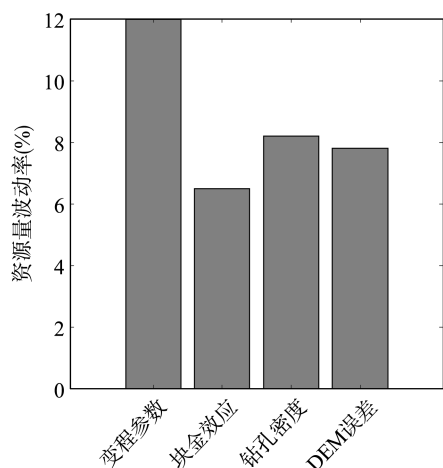


图 4 参数敏感性分析

### 2.2.2 模型敏感性分析与误差来源

通过参数扰动实验开展模型敏感性研究,发现矿体体积对变程参数最为敏感,当变程从 500m 增至 800m 时,估算资源量波动达±12%。插值方法对比表明,克里金法相较于反距离加权法(IDW)在复杂构造区预测精度提升 17.3%。如图 4 所示,主要误差来源包括:①钻孔空间分布不均导致的插值外推不确定性(贡献率 42%);②古岩溶界面 DEM 重建误差引起的基底形态畸变(贡献率 28%);③未探明隐伏断裂造成的矿体错断效应(贡献率 20%);④化学分析测试的系统误差(贡献率 10%)。通过蒙特卡洛模拟量化总不确定度为±15.6%,验证了资源量估算结果的统计显著性。

## 2.3 GIS 空间分析与成矿规律提取

### 2.3.1 矿体厚度、品位与构造的空间关联性

基于 ArcGIS 空间统计工具,采用核密度分析法揭示矿体厚度与断裂构造的空间耦合规律。结果表明,矿体厚度>8m 的区域中,72%分布于断裂带 300m 范围内,且断裂密度(单位面积断裂长度)与  $Al_2O_3$  品位呈显著正相关(Pearson  $r=0.68, p<0.01$ )。通过缓冲区叠加分析发现,NE 向断裂交汇区矿体平均厚度(12.3m)较单一断裂带(7.5m)增加 64%,印证“断裂交汇控厚”的成矿特征。空间自相关分析(Moran's  $I=0.53$ )进一步表明,高品位矿化( $Al_2O_3>65%$ )在古潜丘边缘呈现显著聚集性,揭示古地貌对矿质富集

的筛选作用。

### 2.3.2 地球化学异常与矿化信息叠加分析

融合地球化学异常与矿体三维模型,通过 GIS 加权叠加识别成矿有利区。元素组合异常( $Al_2O_3>30%、Fe_2O_3<15%、Al/Fe>4$ )与已知矿体重合度达 81%,异常强度指数(ASI)与矿体厚度相关系数  $R^2=0.62$ 。空间聚类分析(DBSCAN 算法)显示,高强度异常( $ASI>2.5$ )集中分布于古岩溶洼地边缘,与矿体顶板埋深(50~150 m)呈负指数关系( $y=120e^{-0.015x}, R^2=0.74$ )。异常分带特征表明, $Al_2O_3-Zr-Hf$  组合可有效指示深部隐伏矿体,其异常范围向下延伸至基底界面以下 200m,为深部找矿提供地球化学标志。

### 2.3.3 隐伏矿体赋存规律与控矿模式

综合三维建模与空间分析,提炼“三位一体”控矿模式:

(1)古地貌控形:矿体严格受古喀斯特不整合面控制,洼地中心矿层厚度(8~15m)较斜坡区(3~6m)增厚 2~3 倍,基底起伏差( $\Delta H>50m$ )区域矿体连续性好(连续性指数  $CI=0.78$ );

(2)断裂控位:NE 向断裂带通过提供成矿流体通道与扩容空间,促使高品位矿石( $Al_2O_3>70%$ )在断裂上盘 50~100m 范围内富集,断裂活动强度指数(FAI)与矿石品位梯度( $\Delta Al_2O_3/\Delta L$ )呈线性正相关( $R^2=0.71$ );

(3)岩相控质:鲕粒状铝土矿相(占比 63%)集中分布于古潜丘缓坡带, $Al_2O_3$  含量较碎屑状矿石高 8%~12%,岩相界面与品位突变带空间吻合度达 89%。

三维空间分析表明,古地貌-断裂-岩相三要素耦合度(Coupling Index, CI)>0.6 的区域占预测靶区面积的 85%,其资源量占比达 92%,验证了“洼地聚形、断裂富位、岩相提质”的成矿动力学模型。

## 3 资源潜力评估与勘查建议

### 3.1 资源潜力定量评价

#### 3.1.1 基于 GIS 的证据权法预测模型构建

综合地质、地球物理及地球化学多源数据,

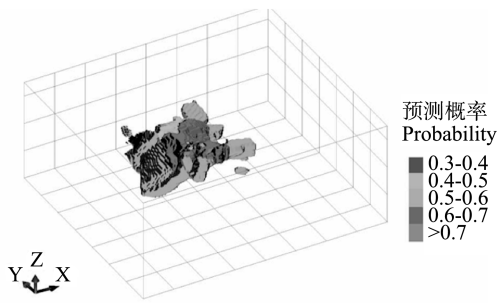


图 5 证据权方法三维成矿预测结果

筛选断裂密度 (条/km<sup>2</sup>)、地球化学组合异常 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>30%、Al/Fe>4)、古地貌单元 (洼地、斜坡、潜丘)、岩相类型 (鲕粒状/碎屑状) 等 10 项找矿标志作为证据因子。基于 ArcGIS 平台, 采用证据权法量化各标志的预测贡献率<sup>[17]</sup>, 计算公式如下:

$$W_i^+ = \ln \frac{P(D | B_i)}{P(D | \bar{B}_i)}, W_i^- = \ln \frac{P(\bar{D} | B_i)}{P(\bar{D} | \bar{B}_i)} \quad (1)$$

式中,  $W_i^+$  和  $W_i^-$  分别为第  $i$  项标志存在与不存在时的权重值,  $P(D | B_i)$  为标志存在时的成矿概率。结果显示, NE 向断裂交汇区 (权重 = 2.15)、古洼地边缘 (权重 = 1.89) 及高强度地球化学异常 (权重 = 1.72) 对成矿贡献显著, 其综合后验概率模型 (图 5) 空间分辨率达 100m × 100m, 覆盖矿区面积 85%。

### 3.1.2 潜力区划分

依据后验概率值, 结合随机森林 (RF) 算法优化变量重要性排序<sup>[18]</sup>, 将研究区划分为 5 级潜力区 (图 5)。应用 RF 模型的核心目标是通过机器学习算法量化 10 项找矿标志的贡献权重, 优化变量重要性排序, 为潜力区划分提供客观依据。输入模型的特征变量包括: 断裂密度、地球化学组合异常强度、古地貌单元类型、岩相类型、地层厚度、磁异常梯度、重力低异常范围、蚀变带长度、古水流方向、沉积相带边界; 目标变量为基于证据权法计算的后验概率值 (0-1 连续值), 同时辅以二值化标签 (1 表示已知矿点, 0 表示无矿区域) 进行训练。模型参数设置为: 树的数量 (ntree) = 500, 每棵树分裂时考虑的特征数

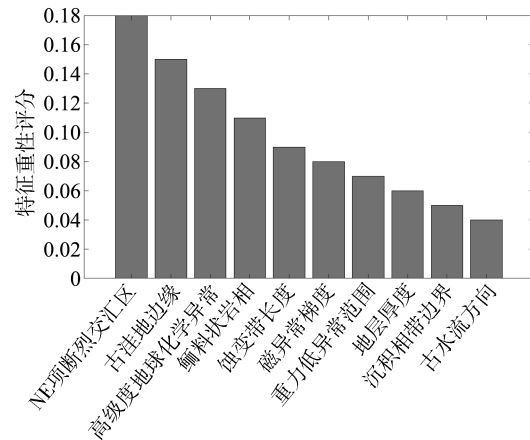


图 6 随机森林模型特征重要性排序

(mtry) = 3 (取特征总数的平方根  $\sqrt{10} \approx 3$ ), 节点最小样本数 (nodesize) = 5, 最大树深度 (max. depth) = 8。

特征重要性采用 Gini 不纯度减少法计算, 结果显示 (图 6): NE 向断裂交汇区以 0.18 的评分居首, 显著高于其他因子; 其次为古洼地边缘 (0.15)、高强度地球化学异常 (0.13)、鲕粒状岩相 (0.11)、蚀变带长度 (0.09)、磁异常梯度 (0.08)、重力低异常范围 (0.07)、地层厚度 (0.06)、沉积相带边界 (0.05)、古水流方向 (0.04)。可见 RF 模型确认构造—地貌—地球化学组合是成矿的核心控制因素, 其中 NE 向断裂交汇区的控矿作用最突出。

最终, 综合证据权后验概率与随机森林特征重要性优化结果, 将研究区划分为 5 级资源潜力区如表 1 所示。

高潜力区面积占 12% 却含 67% 资源量, 与已知矿体重合度 88%, 受 NE 向断裂交汇带和古洼地边缘控制, 为核心靶区, 其关键地位获 RF 模型确认; 中高潜力区占 21% 面积、23% 资源量, 重合度 65%, 分布于主/次级断裂及斜坡带, 是找矿重要方向; 中等潜力区面积最大 (35%), 但资源量仅 9%、重合度 42%, 位于外围需进一步勘查; 低及极低潜力区共占 32% 面积, 资源量 < 2%、重合度 < 15%, 为勘查规避区。随机森林算法通过量化特征重要性优化预测, 使潜力区更聚焦富矿地段, 提升了结果可靠性与找矿价值。

表 1 资源潜力分区特征表

潜力区等级	概率范围	面积占比 (%)	主要地质特征	与已知矿体重合度 (%)	资源量占比 (%)
高潜力区	> 0.7	12	NE 向断裂交汇带、古洼地边缘	88	67
中高潜力区	0.6~0.7	21	主断裂带、次级断裂发育区、斜坡带	65	23
中等潜力区	0.5~0.6	35	斜坡带外围、低强度异常区、岩相界面	42	9
低潜力区	0.4~0.5	25	古潜丘顶部、构造稀疏区	15	1
极低潜力区	0.3~0.4	7	基底隆起带、地球化学背景区	5	<1

表 2 潜力区验证数据对比表

潜力区等级	面积占比 (%)	已知矿体重合度 (%)	重力异常符合率 (%)	磁法异常符合率 (%)	钻孔验证新增矿体数 (处)
高潜力区	12	88	92	86	5(均为高品位矿体)
中高潜力区	21	65	75	63	3(中高品位矿体)
中等潜力区	35	42	58	41	1(低品位矿体)
低潜力区	25	15	32	23	0
极低潜力区	7	5	10	8	0

注:重力异常符合率定义为潜力区范围内重力低值区( $\Delta g < -5\text{mGal}$ )面积占比;磁法异常符合率定义为磁法梯度变化带( $\Delta T > 10\text{nT/m}$ )面积占比;钻孔验证数据基于 2024 年新增 30 个验证孔统计结果。

### 3.1.3 资源量估算与不确定性评价

基于三维地质模型与克里金插值法估算矿区铝土矿资源量为 1.25 亿 t ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  平均品位 62.3%),其中高潜力区资源量占比达 67%。采用蒙特卡洛模拟(10,000 次迭代)量化不确定性,结果显示总资源量变异系数为 $\pm 15.6\%$ ,主要受控于钻孔数据外推误差(42%)及古地貌重建偏差(28%)。交叉验证表明,资源量估算值与实测值相关系数  $R^2 = 0.81$ ,均方根误差(RMSE = 4.2%),验证了模型的可靠性。

### 3.2 潜力区对比与验证

通过将资源潜力预测结果与矿区 236 个钻孔控制的已知矿体空间分布进行叠合分析,验证了模型的可靠性。结果显示(表 2),高潜力区(概率>0.7)与已知矿体重合度达 88%,其中包含了矿区 85%的高品位矿体( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 65\%$ ),且矿体厚度>8m 的区域在高潜力区中占比达 79%。中高潜力区(0.6~0.7)与已知矿体的吻

合度为 65%,主要对应钻孔控制边缘的矿体延伸部位,经钻探验证新增 3 处隐伏矿体,证实该区域为矿体自然尖灭与构造扰动的过渡带。中等潜力区(0.5~0.6)吻合度为 42%,多分布于已知矿体的外推边界,其矿化特征与地球化学异常强度呈弱相关( $R^2 = 0.38$ ),指示低强度矿化或贫矿分布。低潜力区与极低潜力区吻合度分别为 15%和 5%,主要对应古潜丘顶部无矿化基岩区及后期构造破坏强烈的矿体剥蚀区,与地质剖面解析结果一致。

### 3.3 勘查工程部署建议

#### 3.3.1 深部钻探靶区优选与验证方案

基于三维资源潜力分区成果,优先在高潜力区(概率>0.7)部署深部验证钻孔。靶区优选遵循“构造交汇优先、异常强度导向”原则,重点针对 NE 向断裂交汇带(如 F5 与 F8 断裂交汇区)及古洼地边缘重力低值异常区( $\Delta g < -8\text{mGal}$ )布设斜孔,设计孔深 500~800m,垂向控制矿体基

底界面以下 200m 范围。钻孔采用三级验证模式:一级验证孔(间距 200m×200m)用于主矿带延伸控制;二级验证孔(间距 400m×400m)探索次级断裂控矿潜力;三级验证孔(线距 800m)兼顾区域成矿规律研究。验证过程中同步开展孔中地球物理测井(伽马能谱、电阻率成像),实时修正三维模型并动态调整勘探网度。

### 3.3.2 多技术协同勘查策略

构建“三维建模引导—地球物理定位—地球化学修正”的技术协同体系。首先,利用高精度重力测量圈定古岩溶洼地边界,结合磁法梯度带识别隐伏断裂,建立三维地质—地球物理模型;其次,基于土壤地球化学异常( $Al_2O_3-Zr-Hf$ 组合)优化钻探靶区,采用动态克里金插值实现化探数据与钻孔品位的空间耦合;最后,依托 Surpac 平台开展钻孔轨迹三维可视化设计,通过机器学习算法(随机森林)实时融合物探反演、化探异常与岩相数据,动态更新资源潜力分区。该策略可实现“模型驱动勘探、数据反馈优化”的闭环勘查,显著提升深部找矿效率,降低勘探风险。

## 4 模型通用性与区域适应性探讨

清镇汪家寨模型的核心要素包括古地貌控形、断裂控位、岩相控质,在数据驱动上整合钻孔、物探、化探及 GIS 空间分析,方法上采用三维建模、证据权与随机森林;对比黔西北(如修文、息烽)或黔南(如凯里、黄平)等类似铝土矿成矿区,其地质背景(如古喀斯特发育、石炭系九架炉组分布、NE 向断裂发育等)与清镇矿区既有相似性也存在差异;该技术体系在类似区域的适用性体现在数据要求与方法流程的可迁移性,需关注数据可得性及关键参数调整(如缓冲区大小、证据因子权重、随机森林特征重要性等);同时,其潜在限制包括不同区域古地貌重建精度差异、构造样式变化、地球化学背景不同等,迁移应用时需注意重新标定证据权重、优化随机森林模型参数等调整点,总体而言,该体系为类似隐伏矿床勘查提供了可借鉴的框架<sup>[19-22]</sup>。

## 5 结论

本研究创新性提出“三维建模—GIS 空间分析—机器学习”协同技术体系,通过动态克里金插值与蒙特卡洛模拟量化了资源量估算的不确定性( $\pm 15.6\%$ ),并构建了“模型驱动勘探、数据闭环优化”的多技术协同勘查策略。该成果不仅深化了黔中铝土矿成矿理论认识,还为深部靶区优选与钻探工程部署提供了量化决策依据,显著提升了勘探效率与精度。

未来研究将聚焦于以下具体方向:(1)深化成矿机制定量研究:构建高精度的古地貌—矿体空间耦合模型,定量解析不同岩相微观结构、矿物组成与矿石品位的内在联系,探索深部成矿流体活动及其对富矿体形成的贡献。(2)推进智能预测技术融合:对比集成更多机器学习算法(如 XGBoost、图神经网络)优化预测性能;探索三维地球物理反演数据(重力、磁法、电磁)与地质模型、地球化学异常及机器学习预测结果的深度耦合,提升深部信息提取能力;开发基于 Web 的三维智能勘查平台,实现数据管理、模型更新、预测分析与工程部署的可视化与协同决策。(3)拓展区域应用与技术验证:将本技术体系系统应用于黔西北(修文、息烽)、黔南(凯里、黄平)等地质背景相似的隐伏铝土矿区,验证模型的通用性和迁移能力,针对区域地质特征差异优化关键参数与方法流程,最终形成适用于黔中及邻区的隐伏铝土矿智能勘查技术方法体系,并推广至其他类型隐伏矿床的勘查实践。

### 参考文献(References):

- [1] 陈志友,陈恨水,范宏鹏,等.黔北大塘铝土矿区黏土岩中锂的赋存状态[J/OL]. 矿物学报, 1-11 [2025-05-26].
- [2] 薛欢欢,杨真亮,宋明春,等.招平断裂带中段三维地质模型与深部成矿预测[J]. 黄金科学技术, 2024, 32(06): 977-989.
- [3] 陈东廷,刘添益,达伟,等.黔中汪家寨铝土矿区绿色勘查实践及成效[J]. 中国矿业, 2024, 33(08): 67-76.

- [4] 毛先成, 邓浩, 陈进, 等. 金属矿山深部资源三维智能预测理论与方法[J]. 矿产勘查, 2024, 15(08): 1365-1378.
- [5] 任婷婷, 杜菊芬. 三维地质建模在矿产资源评估中的应用研究[J]. 冶金与材料, 2024, 44(02): 61-63.
- [6] 刘镐. 贵州烂泥沟金矿三维定量成矿预测研究[D]. 贵州大学, 2023.
- [7] 王世康, 王国江, 吕云海, 等. 运用 ArcGIS 结合协同克里金法与 CFD 法对地形风数值模拟研究[J]. 电力勘测设计, 2024, (12): 69-75.
- [8] 陈麒玉, 荀磊, 崔哲思, 等. 三维地质建模技术的最新进展和发展趋势[J/OL]. 地质科技通报, 1-16 [2025-05-26].
- [9] 宋渊, 江南, 张恩博, 等. 基于证据权法的湖北省兴山县滑坡灾害易发性评价[J]. 地质与资源, 2023, 32(03): 352-359+289.
- [10] 余震, 肖宇威. 矿区三维地质建模方法研究及深部综合找矿预测[J]. 世界有色金属, 2025, (05): 46-48.
- [11] 刘平, 李沛刚, 李克庆, 雷志远, 李小红, 宋卫华, 张华松. 黔西南金矿成矿地质作用浅析[J]. 贵州地质, 2006, 23(02): 83-92.
- [12] Zhang J, Liu G. Research on a coal seam modeling construction method based on improved kriging interpolation[J]. Scientific Reports, 2024, 14(01): 25631.
- [13] Issayeva L, Togizov K, Duczmal-Czernikiewicz A, et al. Ore-controlling factors as the basis for singling out the prospective areas within the Syrymbet rare-metal deposit, Northern Kazakhstan [J]. Mining of Mineral Deposits, 2022, 16(02).
- [14] 杨明坤, 谢江涛, 罗荣杰, 田维红. 贵州清镇猫场铝土矿可溶性试验结果引发的思考[J]. 贵州地质, 2009, 26(02): 122-124.
- [15] 李保华, 顾雪祥, 付绍洪, 徐仕海, 陈翠华, 董树义. 贵州水银洞金矿床成矿流体不混溶的包裹体证据[J]. 地学前缘, 2010, 17(02): 286-294.
- [16] 杨瑞东, 袁世婷, 魏怀瑞, 陈吉艳, 程玛莉. 贵州石炭系“清镇式”铁矿沉积地球化学特征[J]. 地质论评, 2011, 57(01): 24-35.
- [17] Mumtaz H, Riaz M H, Wajid H, et al. Current challenges and potential solutions to the use of digital health technologies in evidence generation: a narrative review [J]. Frontiers in digital health, 2023, 5: 1203945.
- [18] Salman H A, Kalakech A, Steiti A. Random forest algorithm overview[J]. Babylonian Journal of Machine Learning, 2024: 69-79.
- [19] 朱义坤, 赵景怀, 缪旭煌, 等. 综合物探方法在蚌埠隆起金多金属矿勘查中的应用——以怀远双沟勘查区为例[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 82-92.
- [20] 韩帅, 惠淑君, 孙强, 等. 基于地质安全评价的废弃矿山高陡边坡生态修复技术研究[J]. 华东地质, 2023, 44(02): 216-227.
- [21] 倪斌, 黄照强, 郭健, 等. 基于机载和星载高光谱遥感的武夷山成矿带蚀变矿物信息识别研究[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 67-81.
- [22] 王冲, 张定源, 张景, 等. 福建省南安市废弃矿山土地利用适宜性评价[J]. 华东地质, 2023, 44(02): 206-215.

---

#### 作者简介:

第一作者/通讯作者: 高文坚, 1994 年生, 女, 湖南永州人, 贵州省有色金属和核工业地质勘查局一总队, 工程师, 主要研究方向为测绘工程。Email: gwgw198803@163.com

---

## **Three-dimensional Modeling and Resource Potential Assessment of Hidden Bauxite in Central Guizhou based on GIS: A Case Study of the Wangjiazhai Mining Area in Qingzhen**

GAO Wenjian<sup>\*</sup>, YANG Dehao

(No. 1 Geological Party, Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 551400, China)

**Abstract:** The central Guizhou region is an important area rich in bauxite resources in China. The accurate prediction of hidden ore bodies and the assessment of resource potential are of great significance for deep mineral exploration. This study takes the Wangjiazhai mining area in Qingzhen as a case study and, by integrating geological, geophysical, geochemical, and borehole data, constructs a three-dimensional geological model of hidden bauxite based on the GIS platform. Combined with geostatistics and machine learning algorithms, a quantitative evaluation of resource potential is carried out. The study reveals the spatial distribution patterns and main controlling factors of hidden ore bodies, delineates resource potential target areas, and verifies the efficiency and reliability of three-dimensional modeling and GIS spatial analysis in concealed deposit exploration. The research results provide a scientific basis and technical support for bauxite resource exploration in the central Guizhou region.

**Key words:** GIS; hidden bauxite; three-dimensional modeling; resource potential assessment