

矿产地质勘查与矿产资源储量评估方法研究

李海洋

广西壮族自治区三〇五核地质大队 广西柳州 545000

摘要：矿产地质勘查与储量评估是矿业开发的基础。本文探讨其技术路线，重点分析地质资料质量控制、储量估算技术及动态管理方法，并结合无人机、三维建模等数字化测绘优势。以某页岩矿为例，介绍年度储量更新中控制测量、采空区建模、“三率”指标分析等实践，为同类矿山精细化、规范化储量管理提供参考。

关键词：矿产地质勘查；矿产资源储量；评估方法

引言

在矿业权分类管理、储量评审认定和绿色矿山建设要求不断提升的背景下，如何在保证资源查明程度的前提下，提高储量评估成果的精度与可追溯性，已成为矿产地质勘查和矿山企业共同关注的问题。传统以地质剖面、钻孔柱状图和二维平面图为主的储量估算方法，虽然在多数矿种中仍然适用，但在露天开采、空间形态复杂、采掘活动频繁的矿山，容易出现采空区范围界定不清、开采损失难以量化、年度增减难以精细核算等问题。随着RTK卫星定位、无人机倾斜摄影、三维实景建模和数字地形图技术在矿山测量中的广泛应用，基于数字高程模型和不规则三角网的储量计算方法日益成熟，为矿产资源储量评估提供了更加直观、精细和动态的技术路径。本文从矿产地质勘查的一般规律出发，围绕储量评估方法与数字测绘技术的结合进行讨论，最后通过某水泥配料用页岩矿的年度储量评估案例，展示规范技术路线在实际工作中的落地方式。

一、矿产地质勘查的阶段与工作流程

矿产地质勘查通常经历区域地质调查、矿产远景评价、普查、详查及勘探等阶段，不同阶段对资源/储量评价精度的要求逐步提高。区域调查与远景评价以收集基础地质资料、圈定有利成矿远景区为主，主要依托地质填图、遥感判释、地球物理和地球化学测量等方法；普查阶段通过工程验证初步落实矿体位置、厚度和品位变化特征，形成资源量预测；详查和勘探阶段则以钻探、坑道工程、槽探和系统采样测试为核心，结合三维地质建模，查明矿体形态、构造破坏、工业指标变化及共生矿产情况，形成可用于资源/储量分类的基础数据。随

着工作程度的加深，勘查工作还需同步开展水文地质、工程地质和环境地质调查，评价矿床的开采技术条件和开发环境影响，为后续矿山设计、安全评价和环境保护措施提供依据。在这一过程中，规范的测量控制、统一的坐标高程基准、完整的原始记录及成果整理，是后续储量评估工作正确开展的前提。

二、矿产资源储量评估关键技术

1. 地质勘查资料的获取与质量控制

储量评估工作的基础是可靠的原始地质与工程资料，包括地质剖面、钻孔资料、坑探测量成果、化学分析与物理性能测试结果等。资料获取阶段需要根据矿床类型和埋藏条件合理布设工程，既要保证矿体在平面与剖面上的控制密度，又要兼顾勘查成本。质量控制方面，一是要求工程布置符合相关规范，钻孔孔位、高程和倾向倾角测量精度达到规定限差；二是采样、送样和化验过程要执行统一的技术要求，进行代表性和精度检查；三是所有数据要在统一的坐标高程系统下进行校核与平差，保证不同阶段、不同单位工作成果的可拼接和可比性。在露天开采矿山的年度储量更新中，还需要将生产测量成果与原勘查成果结合，通过复测地形、采空区边界、台阶高程等数据，对矿体几何参数和资源量分布进行及时修正，使储量评估能够真实反映资源“家底”的动态变化。

2. 储量估算方法与技术路线

在矿产资源储量估算中，常用的方法包括平行剖面法、块段法、等厚线法和不规则三角网法等，其核心都在于利用控制工程和地形数据建立矿体空间几何模型，再结合平均品位和体积-吨nage系数计算资源量与储量。平行剖面法适用于地质条件相对简单、矿体延伸方向清

楚的矿床；块段法可针对复杂区段进行局部加密控制；等厚线法适合平缓、厚度变化相对规律的层状矿体。随着数字地形图和三维模型的普及，不规则三角网法（TIN法）在露天开采和浅部矿体的储量估算中得到广泛应用。该方法在统一坐标系统下，以矿体边界和地表/采空区高程点为节点构建三角网，进而计算不同标高区间的体积及其变化，对动用资源量、保有资源量和采空体积的估算更加直观、精细。结合国家相关资源/储量分类标准，还需将估算结果按照探明资源量、控制资源量、可信储量和证实储量等类别进行划分，并在报告中详细说明计算参数与边界条件。

3. 储量动态管理与年度更新

矿山开采过程中，资源储量并非静态不变，而是随着年度采掘活动、技术改造和资源重新评价不断调整。储量动态管理的核心是建立从“查明—动用—开采—损失—保有”的闭环管理体系，通过生产台账、测量成果和年度储量报告的有机衔接，实现对资源增减变化的定量反映。一方面，需要在矿山生产台账中如实记录每期采掘工程的空间位置、开采量及矿石去向，并与测量成果表中的地形点、采空线和台阶高程对应；另一方面，通过年度测量、采空区建模与储量重算，实现年初保有、年度动用、实际采出、损失量以及年末保有的完整平衡。对于设计回采率、综合利用率等指标，还应结合年度实际数据进行对比分析，查找回采损失偏大的原因，提出优化开采工艺、强化剥离管理和提高边角资源利用率的技术措施，使储量评估结果真正服务于矿山的精细化管理与绿色开发。

三、基于数字测绘的储量评估方法研究

1. 控制测量与坐标高程基准的统一

在数字化储量评估体系中，精确、统一的控制测量是保障各项数据吻合的前提。实际工作中常采用2000国家大地坐标系和1985国家高程基准，通过在矿区布设若干GPS控制点、像控点和检查点，利用网络RTK或静态测量方式获取平面坐标与高程，并进行多测回观测与误差平差。控制点要远离大功率无线发射源、高压线和反射强烈的水面或大型建筑物，确保卫星信号稳定。像控点布设应覆盖整个测区，高程和水平位置精度需满足图上0.1mm以内、中误差小于基本等高距规定的限差。通过对已有E级控制点进行校正和参数求解，可以实现勘查阶段与矿山生产阶段成果在同一坐标系统中的无缝衔接，为后续无人机航摄影像空三加密和三维建模提供约

束条件，也为不规则三角网储量计算提供可靠的基础点坐标和高程。

2. 无人机倾斜摄影与三维实景建模

无人机倾斜摄影为露天矿山提供了一种高效获取地形地貌与采空区空间形态的手段。以六旋翼倾斜摄影平台为例，通过合理设计航线走向、航高、航向与旁向重叠度，可在短时间内获取覆盖矿区的多视角影像。采用地面分辨率约4cm、航向80%、旁向75%重叠的航摄参数，可以同时满足1:2000比例尺正射影像图（DOM）和数字线划图（DLG）的精度要求。内业处理中，在三维建模软件中完成空中三角测量、影像空三加密和稠密匹配，生成OSGB格式的三维实景模型和分块正射影像。随后，利用三维模型和正射影像在三维立体测图平台上进行地物、等高线和坡坎、道路、采掘边界等要素采集，通过编辑、整饰形成符合国家图式标准的1:2000数字地形图。精度检查可采用RTK对典型地物点进行抽检，计算平面与高程中误差，若平面中误差约 $\pm 0.05\text{m}$ 、高程中误差约 $\pm 0.03\text{m}$ ，则可完全满足储量评估中对地形数据的精度需求。

3. 不规则三角网法储量计算及精度分析

基于数字高程模型的不规则三角网法是在离散地形点基础上构建TIN，对地形表面进行逼近，从而计算不同标高区间的体积和储量。具体做法通常包括：在矿区范围内选取采空区边界折线、采掘台阶高程点以及未采区域的地表高程点，分别构建开采前与开采后两个时期的三角网模型；通过体积差计算某一标高之上的地形削减量，即对应的动用资源体积。将体积乘以岩石容重并结合矿石工业指标，即可得到年度动用资源量和实际采出矿石量，对比生产台账记录可验证数据一致性。在精度分析上，一是需要检查TIN构网中是否存在细长三角形、扭曲边和孔洞，并通过增加关键点或优化边界线进行修正；二是要分析测量点的空间分布密度是否均匀，避免局部区域因点位稀疏而导致体积估算误差；三是宜在典型区段采用剖面法或断面法进行对比计算，评估TIN法结果的合理性。在满足测绘规范的前提下，TIN法在露天矿山采空区体积计算中的综合误差通常可以控制在几个百分点以内，为年度储量平衡提供可靠依据。

4. 储量评审、“三率”指标与开发利用评价

储量评估成果不仅要给出资源量和储量的数值，还要从开发利用角度进行分析评价。根据相关规定，矿山需要定期开展储量评审认定，对首次设立和重大变更后

的累计查明资源量进行审核。在年度储量更新中，常用“探明资源量—控制资源量—保有资源量”的结构化表格展示不同类别储量的增减变化，同时结合矿石工业指标对资源经济性进行分析。与储量评估紧密相关的还有开采回采率、选矿回收率和综合利用率等“三率”指标，通过比较设计与实际数据，可以评价开采工艺的合理性和资源综合利用水平。例如，当年度设计回采率为95%，实际回采率达到95%以上且损失量控制在合理区间，说明开采步骤安排和边坡控制较为得当。若同时结合剥离比、台阶高度和台阶宽度等设计参数进行检查，可进一步判断储量评估结果与生产实际是否协调，避免出现账面储量与实际可采储量严重背离的情况，为绿色开采、节约集约利用资源提供量化支撑。

四、某水泥配料用页岩矿储量评估实践

以某地区一座水泥配料用页岩矿露天矿山为例，矿山采矿许可证规定生产规模约30万吨/年，矿山在近年通过无人机倾斜摄影和数字化测绘系统性更新了矿区1:2000正射影像图和地形图，并建立了OSGB格式三维实景模型。在年度储量评估中，首先依据最新测量成果和矿区控制边界，确定+214m以上动用资源量估算范围，利用不规则三角网对比开采前后两个时期的地形模型，计算出当年动用页岩矿石资源量约87.72千吨；结合生产台账和采场测量数据，核算实际采出矿石量约84.09千吨，差值3.63千吨作为开采损失量，实际回采率约95.86%，略高于设计回采率95%。在资源量层面，矿山累计查明资源量约4462.80千吨，其中探明资源量和控制资源量分别在年度重算中得到修正，年初与年末保有资源量保持动态平衡，2024年与上一年度累计查明资源量未发生变化，表明该年度采掘活动主要是在既有查明资源量范围内进行动用和转移。通过对测量精度统计表、像控点与检查点误差以及地形图抽检结果的分析，可以证实测绘成果满足相关规范要求，支撑储量估算工作的可靠性。该案例表明，将无人机航测、RTK控制测量、不规则三角网法和规范化生产台账结合起来，可以在年度储量评估中实现资源量、产量和损失量的精细核算，为矿山合理组织生产和编制下一年度动用计划提供了坚实的数据基础。

五、未来矿产资源储量估算方法的发展趋势

未来的资源量与储量估算，将从传统“二维剖面+经验系数”模式，逐步演进为以多源数据驱动的三维乃

至四维数字矿床模型。一方面，在勘查阶段更强调钻孔、坑道、物探、化探与遥感资料的综合反演，利用三维地质建模与地质统计学联合建模，精细刻画矿体几何形态和品位空间结构，并对不同类别资源量/储量的不确定性进行量化描述。另一方面，在开采阶段将高精度RTK、无人机倾斜摄影、激光雷达、井下扫描等测量手段与块体模型、TIN模型实时耦合，形成可动态更新的“数字矿山”储量数据库，实现资源量、产量、损失量和保有量在统一模型中的滚动平衡。近年来，条件模拟、基于风险的资源/储量分类以及不确定性可视化等方法开始应用于储量评估与经济评价，强调同时给出“最佳估计值+可信区间”，为矿业权评估、开发方案比选和绿色矿山绩效考核提供更加透明、可追溯的技术支撑。

结束语

矿产地质勘查与矿产资源储量评估是一项贯穿矿业开发全周期的系统工程，既需要遵循地质规律，合理组织勘查工作，又要充分利用现代测绘与信息技术，实现资源“家底”的精细厘清和动态更新。实践表明，在统一坐标高程基准的基础上，采用无人机倾斜摄影、三维实景建模和不规则三角网法开展采空区与动用资源量计算，能够显著提高储量评估的精度和透明度。通过建立完善的生产台账和年度储量平衡表，将资源量、产量和损失量有机联系起来，有助于矿山企业及时发现开采中的问题，优化开采工艺，提升资源综合利用水平。未来，随着相关技术标准的不断完善和数字化管理平台的推广，矿山企业可以在现有基础上进一步加强地质、测量和生产数据的整合应用，使储量评估工作真正成为矿产资源科学开发和节约集约利用的重要支撑。

参考文献

- [1] 郭建勇. 矿产地质勘查与矿产资源储量评估方法研究[J]. 中国金属通报, 2025, (05): 175-177.
- [2] 李欣. 地质矿产勘查中的资源储量估算与评估方法研究[J]. 中国金属通报, 2024, (08): 128-130.
- [3] 肖玉华, 吴干华. 固体矿产地质勘查资源/储量估算的几种方法[J]. 西部探矿工程, 2012, 24(05): 117-118+121.
- [4] 尹秉喜, 闵刚. 宁夏中上地壳电性结构特征研究[M]. 阳光出版社: 201411: 186.