

固体矿产资源储量估算研究

杨彦昌

河南发恩德矿业有限公司 河南 洛阳 471000

摘要：固体矿产资源作为国家经济发展的重要基石，其储量估算至关重要。本研究从固体矿产的地质特征出发，系统阐述了矿床工业指标的制定与矿体圈定方法。通过对传统及现代储量估算方法的对比分析，明确了地质块段法在储量估算中的优势及应用步骤。结合实际矿区案例，详细展示了储量估算的全过程，并探讨了估算中的不确定性与风险管理措施，为固体矿产资源的合理开发和有效利用提供了科学依据和技术支持。

关键词：固体矿产资源；储量估算；不确定性与风险管理

引言：固体矿产资源是国民经济和社会发展的重要物质基础。随着资源的日益紧张和开采难度的增加，准确估算固体矿产资源的储量显得尤为重要。本研究旨在探讨固体矿产资源储量的科学估算方法，通过综合分析地质特征、开采条件及市场需求等因素，为矿产资源的合理开发和利用提供理论依据。同时，本研究还将关注储量估算中的不确定性，提出风险管理措施，以保障资源开发的可持续性和经济效益。

1 矿床工业指标与矿体圈定

1.1 矿床工业指标概述

(1) 矿床工业指标是指在当前技术经济条件下，衡量矿床是否具有工业开采价值的一系列标准和要求，包括矿石质量、数量、开采技术条件等方面的规定。其重要性在于：它是矿产资源勘探、储量计算、矿山设计建设及生产的重要依据，直接影响资源的合理开发利用与矿山经济效益，也是划分矿体与非矿体的关键准则。

(2) 影响矿床工业指标制定的主要因素包括：矿产资源的稀缺程度与市场供需状况，决定了指标的松紧；开采、选矿、冶炼技术水平，技术进步可降低指标要求；矿山建设的经济条件，如投资成本、生产成本、产品价格等；国家相关政策法规与环保要求，对指标有强制性约束。

1.2 矿床工业指标的主要内容

(1) 矿石质量要求涵盖：边界品位，是圈定矿体的最低品位标准；工业品位，确保开采具有经济效益的最低平均品位；有益组分含量、有害杂质的最高允许含量，影响矿石加工利用价值；矿石物理性质，如硬度、密度等，关系开采加工难度。(2) 矿产资源开发要求包括：最小可采厚度，保证开采的经济性和可行性；夹石剔除厚度，避免无价值岩石混入矿体；开采技术条件，如矿体埋深、倾角、围岩稳定性等，影响开采方式选

择；综合回收要求，对伴生有益组分的利用标准^[1]。

1.3 矿体圈定方法

(1) 基本原则：遵循地质规律，依据工业指标，保证圈定的矿体连续、完整且具有工业意义。步骤为：收集钻孔、坑道等地质资料；根据工业指标确定单工程中的矿体边界；连接相邻工程的矿体边界，形成矿体形态；对圈定结果进行验证和调整。(2) 金属矿床单工程矿体边界圈定方法：当样品品位达到边界品位时，以样品分布范围确定边界；对于穿脉坑道，根据掌子面揭露的矿体形态结合品位分析圈定；钻孔中采用厚度加权平均品位法，确定矿体顶底板深度。(3) 矿体连接方法及注意事项：临近矿体连接采用走向、倾向一致原则，结合地质构造特征平滑连接；有限外推以最边缘工程为基点，按矿体延伸趋势外推1/2工程间距；无限外推根据矿体规模和形态，合理确定外推距离。注意事项：避免人为夸大矿体规模；考虑断层、褶皱等构造对矿体连续性的影响；外推距离需结合实际地质情况验证。

2 储量估算方法与参数确定

2.1 储量估算方法概述

(1) 传统的储量估算方法主要包括断面法、块段法、算术平均法、地质统计学法等。断面法是通过一系列平行或垂直的勘探断面，计算相邻断面间的矿体体积，再结合平均品位计算储量，分为垂直断面法和水平断面法。块段法将矿体划分为若干具有相似地质特征和品位分布的块段，分别计算各块段储量后汇总。算术平均法是将矿体视为均质体，用矿体总体积乘以平均品位得到储量，操作简单但精度较低。地质统计学法基于变异函数分析，通过克里金插值等方法估算储量，能反映品位空间分布特征。(2) 各种方法的适用范围和优缺点各异：断面法适用于形态较规则、沿走向延伸稳定的矿体，如层状、似层状矿床，优点是直观易懂、能反映矿

体变化, 缺点是对断面间距敏感, 矿体形态复杂时误差较大。块段法适用于品位和厚度变化较大的矿体, 灵活性高, 可根据地质条件细分块段, 但块段划分主观性较强。算术平均法仅适用于小型、形态简单且品位均匀的矿体, 优点是计算简便, 缺点是忽略矿体内部差异, 精度低。地质统计学法适用于大型、品位空间变异复杂的矿床, 能量化估算误差, 精度较高, 但对数据量和专业知识要求高, 计算过程复杂。

2.2 地质块段法及其应用

(1) 地质块段法的估算步骤: 首先根据勘探工程控制程度、矿体形态及品位分布, 将矿体划分为若干独立块段, 块段边界通常以勘探线、断层或矿体自然边界为界; 其次测定每个块段的面积、平均厚度、平均品位等参数; 然后按公式“块段储量 = 面积×平均厚度×体重×平均品位”计算各块段储量; 最后汇总所有块段储量得到总储量。投影方式选择需结合矿体产状: 倾斜矿体多采用水平投影, 能准确反映平面分布; 缓倾斜或近水平矿体常用垂直投影, 便于体现厚度变化; 陡倾斜矿体可选用立面投影, 更贴合矿体延伸方向^[2]。(2) 以某铅锌矿床为例, 该矿体呈似层状, 走向长500米, 倾向延伸300米, 厚度5-20米, 品位变化较大。采用地质块段法将矿体按200米×100米网格划分为6个块段, 通过钻孔数据确定各块段平均厚度8-18米、平均品位3%-8%。计算得总储量120万吨, 与后续开采实际储量偏差8%, 表明该方法在中等复杂矿体中应用效果较好, 既能反映品位差异, 又能通过合理划分块段控制误差。

2.3 储量估算参数的确定

(1) 面积的测定方法: 对于规则矿体, 可通过几何公式计算平面或投影面积; 复杂形态矿体常用图解法, 在地形图或剖面图上用求积仪量测, 或通过CAD软件数字化后自动计算; 高精度测定可采用全站仪实测矿体边界坐标, 再用坐标解析法计算。矿体厚度的测定: 在钻孔中根据岩心长度和倾角计算实际厚度; 坑道中直接丈量矿体暴露宽度, 并结合产状换算为真厚度; 对隐伏矿体, 可通过物探数据反演厚度, 再结合钻探验证^[3]。

(2) 参数测定中的误差来源主要包括: 仪器误差, 如求积仪精度不足、全站仪系统误差; 方法误差, 如厚度换算时产状测量不准、面积投影方式选择不当; 人为误差, 如野外记录错误、室内数据处理疏忽; 地质误差, 如矿体边界模糊导致的划分偏差、品位分布不均引起的代表性不足。误差的影响表现为: 面积误差直接导致储量线性偏差, 1%的面积误差可使储量产生1%的误差; 厚度误差对储量影响显著, 尤其在厚大矿体中, 5%的厚度

误差可能导致储量偏差5%-10%; 参数误差累积后, 可能使储量估算结果与实际值偏差10%以上, 影响矿山设计的可靠性。

3 储量估算实例分析

3.1 实例矿区概况

该矿区位于西南地区攀西成矿带东段, 地处某县境内, 距县城约45公里, 有乡级公路连接, 交通条件基本满足勘查及后续开发需求。地质背景上, 矿区处于扬子准地台西缘褶皱带, 出露地层以三叠系砂岩、板岩为主, 夹玄武岩夹层。区内构造以断裂为主, 北西向主断裂控制着矿体的空间展布, 矿体赋存于断裂带内的蚀变玄武岩中, 呈脉状、透镜状产出, 主要矿种为铜多金属矿, 伴生铅、锌元素。勘查历史始于2005年, 初期开展1:1万地质填图及土壤地球化学测量, 圈定3处矿化异常区; 2010-2013年进行详查, 施工钻探工程45个, 进尺1.2万米, 基本查明地表至500米深度矿体形态; 2018-2021年完成勘探工作, 新增钻孔30个, 控制矿体延深至800米, 累计获取各类分析样品2300余件, 勘查程度达到勘探级别。

3.2 储量估算过程

3.2.1 方法选择

鉴于矿体呈脉状、形态较复杂且品位变化较大的特征, 选择地质块段法进行储量估算。该方法可根据矿体边界、构造及品位分布灵活划分块段, 能较好反映矿体局部差异, 较断面法更适应复杂形态矿体的储量计算。

3.2.2 参数确定

(1) 面积: 在矿体垂直纵投影图上, 采用求积仪结合CAD数字化量测, 经校正后各块段总面积为8.6万平方米。(2) 厚度: 钻孔中根据岩心采取率计算视厚度, 结合矿体倾角(35°-55°)换算为真厚度, 单工程厚度1.2-15.8米, 块段平均厚度通过加权计算得5.6米。(3) 体重: 采集25组矿石样品测定, 铜矿石平均体重2.85吨/立方米, 作为全区统一参数。(4) 品位: 单样品位采用原子吸收光谱法测定, 块段平均品位按厚度加权法计算, 铜平均品位1.25%, 伴生铅0.32%、锌0.45%。

3.2.3 估算步骤

按勘探线间距(50米)及矿体自然边界划分28个块段; 逐块段计算面积、平均厚度、平均品位; 应用公式“块段储量 = 面积×平均厚度×体重×平均品位”分别计算铜及伴生元素储量; 按资源量分类标准, 依据工程控制程度划分探明、控制、推断资源量, 汇总得总储量。

3.3 估算结果与分析

3.3.1 估算结果及准确性分析

估算结果: 铜金属量探明32万吨、控制28万吨、推

断15万吨,总储量75万吨;伴生铅18万吨、锌22万吨。通过与相邻钻孔验证对比,探明资源量误差率6.5%,控制资源量10.2%,符合规范要求。误差主要源于矿体边界圈定的主观性及深部工程控制不足,整体结果可靠。

3.3.2 对矿产开发和资源管理的意义

(1) 矿产开发:75万吨铜储量可支撑建设年产3万吨的矿山,服务年限约20年,伴生铅锌可提高综合经济效益,为采矿方法选择、选矿工艺设计提供数据支撑,初步经济评估显示项目具有较强盈利能力。(2) 资源管理:明确的资源量数据为矿产资源储量登记、动态监管提供依据,有助于制定合理的开采计划,避免过度开采或资源闲置;同时为区域矿产资源规划提供参考,指导同类矿床勘查方向,促进资源高效利用。

4 储量估算中的不确定性与风险管理

4.1 不确定性分析

(1) 储量估算中的不确定性因素主要包括:地质因素,如矿体形态复杂且边界模糊,受断层、褶皱等构造影响导致连续性判断偏差,以及矿石类型变化引发的物质成分不均;数据因素,勘探工程布设密度不足使控制程度不够,样品采集代表性差,化验分析存在系统误差或随机误差;参数因素,矿体厚度、品位、体重等参数测定方法不同产生偏差,尤其是隐伏矿体参数推算的主观性;方法因素,储量估算方法本身的理论假设与实际地质情况存在差异,如块段划分的人为性对结果的影响。(2) 不同不确定性因素对估算结果的影响程度各异:地质因素中,矿体边界圈定误差影响最大,当边界偏差10%时,储量误差可达15%-20%;数据因素里,样品分析误差若超过5%,会导致品位计算偏差3%-8%,进而影响储量精度;参数因素中,厚度测定误差的敏感性高于体重,5%的厚度误差可使储量偏差5%-12%;方法因素的影响相对稳定,地质块段法的系统误差通常在5%-10%,而算术平均法在复杂矿体中误差可超过20%。总体而言,多因素叠加可能导致储量估算结果与实际值偏差10%-30%,高风险情况下甚至更高。

4.2 风险管理措施

(1) 降低储量估算不确定性的方法和途径有:优

化数据采集,加密高变异区域的勘探工程,采用系统抽样法提高样品代表性,对化验结果进行平行样验证;改进参数测定,结合钻探、物探数据交叉验证矿体厚度,通过大体积样品测定体重以减少偶然性误差,利用地质统计学方法分析品位空间分布规律;合理选择方法,根据矿体特征匹配估算方法,复杂矿体采用多方法对比验证,引入三维建模技术可视化矿体形态;建立误差评估体系,通过蒙特卡洛模拟量化各因素的误差贡献,制定不确定性区间并标注储量结果^[4]。(2) 加强勘查工作、提高研究程度是风险管理的核心。加密勘查工程可提升矿体控制程度,尤其在矿体边界、厚度变化带及构造复杂区,增加工程密度能显著降低边界圈定误差;深化地质研究有助于厘清矿体成因、分布规律及构造对矿体的影响,为合理划分块段和参数取值提供理论依据;开展矿石加工技术试验,准确测定选矿回收率等参数,避免因工艺认知不足导致的储量高估。只有通过系统的勘查与深入研究,才能从源头减少不确定性,为储量估算提供可靠的地质基础,保障矿产资源开发决策的科学性。

结束语

综上所述,固体矿产资源储量估算是一项复杂而重要的工作,它直接关系到矿产资源的有效开发与利用。本研究通过系统分析矿床工业指标、矿体圈定方法以及储量估算技术,结合实际矿区案例,为固体矿产资源储量的科学估算提供了有益的探索。未来,随着技术的不断进步和数据的日益丰富,储量估算的精度和可靠性将进一步提升,为矿产资源的可持续利用和经济社会发展作出更大贡献。

参考文献

- [1]杨波.浅谈固体矿产储量估算中三维地质建模及可视化技术的应用[J].世界有色金属,2023,(07):73-74.
- [2]许润泽,祁万旭.三维地质建模及可视化在固体矿产储量估算中的应用[J].世界有色金属,2022,(10):96-97.
- [3]陈敏,孟刚,苗琦.矿产资源储量统计管理现状与建议[J].山东国土资源,2023,(06):62-63.
- [4]陈雪,孟刚,苗琦.新时代矿产资源储量统计质量监控管理现状与建议[J].能源与环境,2024,(08):89-90.