

3D GIS 技术在中国云南曼家寨锡锌矿床 矿体模拟及资源估计中应用

朱思才*

(国家有色金属工业局北京矿产地质研究所, 北京)

提 要: 本文利用加拿大 Lynx 软件公司开发的 3D GIS 软件即 Lynx 和 MicroLynx for Windows 对云南省曼家寨锡锌矿床 13 号矿体进行三维空间模拟和资源估计, 研究结果为下一步补充勘探和矿业开发等投资决策提供了依据。同时 3D GIS 平台为管理大量的矿床勘探数据和计算机计算储量提供极大的便利条件。当前国内应用 3D GIS 技术用于矿体三维空间模拟及其资源估计还刚刚开始, 因此该研究具有重要的现实意义。

关键词: 曼家寨 Sn-Zn 矿床 3D GIS, 3D 矿体模拟 资源估计

1 引 言

如同其它工业一样, 在投资开发一个新的矿业项目时, 或者保证现有生产矿山获得有利润的现金流量时, 主要考虑融资渠道及其融资成本。实现这样的目的必须建立在矿业项目成功的技术评价和融资规划上。这就要求对所开发的矿床从三维空间上对矿床特征进行确认 (Sides, 1997)^[2]。而 GIS 技术和地质统计模拟相结合则为矿床经济评价如吨位一品位估计、经济可行性分析、风险分析和采矿设计提供一种十分有效的手段 (Dowd, 1997)^[1]。

3D GIS 技术是 80 年代中后期发展起来的, 目前已成为采矿工业必不可少的工具。其优势在于, 它不仅能对研究范围的空间客体进行三维显示, 而且还可提供合适的数据结构来显示空间上的品位、厚度和密度等变量特征。因此可以对任一可采范围内空间客体的几何形状、位置及其中的变量分布进行准确的预测。采矿工程师根据平面图、剖面图和三维空间图上的可视化结果, 进行最优化采矿设计, 编制采矿进度, 进行经济可行性分析, 为投资决策提供依据。同时随着数据如钻探和刻槽样品的不断补充, 3D GIS 可以更方便的存储和管理数据, 并且很快地进行结果预测, 因而在地质与采矿工程师之间架起一座很好的桥梁。

目前许多公司从事 3D GIS 软件技术在矿床开发评价中应用, 如加拿大 Lynx Geosystems Inco. 开发的在 Unix 工作站运行的 Lynx 软件和 PC 机上操作的 microLynx 程序, 澳大利亚 Micromine Pty. Lmd. 开发的 Datamine 系统, 美国 Surpac Software International 开发的 Surpac 软件和瑞典 KRJC Systems 开发的 Maptek 系统等。其中加拿大的 Lynx 和 microLynx 软件系统用于本次研究。

* 朱思才, 男, 33 岁, 理学硕士, 主要从事矿产经济评价、GIS 技术在矿产资源评价中应用和地质统计学等研究。
邮政编码: 100012

2 曼家寨锡锌矿床地质勘探及其特征

2.1 地质勘探^①

曼家寨锡锌矿床位于云南省马关县境内都龙锡锌矿区, 地理坐标为东经 $104^{\circ}32'40''$, 北纬 $22^{\circ}54'06''$ 。

都龙锡锌矿区于 50 年代发现, 先后经 310 队、308 队、物探队和 317 队等地物化探工作, 已查明曼家寨矿段为一大型夕卡岩型锡锌矿床。1991 年西南有色地勘局 317 队提交了曼家寨矿段最终勘探报告。勘探网度为 $80\text{ m}\sim 40\text{ m}\times 60\text{ m}$, 局部地段达到 $40\sim 40\text{ m}$ 。根据边界品位即 Sn 0.15% 和 Zn 1.5% 计算全矿段平衡表内锡锌矿石量 (B+C+D 级) 即南起 3 号勘探线, 北至 113 号勘探线的范围内为 4700 万吨, 其中平均锡品位和锌品位分别为 0.56% 和 5.12%。其中 13 号矿体平衡表内矿石量约为 1900 万吨, 平均锡品位 0.76%, 平均锌品位 4.6%, 可见 13 号矿体储量占总储量的 50% 以上, 为本矿床最大的矿体。

2.2 矿床地质特征

曼家寨锡锌矿床为层间锡石硫化物夕卡岩型矿床。含矿层位主要为中寒武统田蓬组中部方解石大理岩与石英云母片岩互层及其夕卡岩。地层走向近南北, 倾向西, 倾角为 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。主要矿体有 13 号、24 号、1 号、29 号、31 号、32 号和 62 号。矿体赋存于层间夕卡岩中, 呈层状、似层状和透镜状。其中 13 号矿体上盘围岩为石英云母片岩, 底板为大理岩、夕卡岩或片岩, 走向长 2400 m, 水平宽度 $116\sim 394\text{ m}$, 平均厚度 14.6 m。

当前有色工业部门和当地政府部门计划联合投资开发该锡锌矿床, 因此需要对勘探范围内的锡锌矿体进行空间模拟和资源估计, 以便为下一步的补充勘探和采矿设计提供依据。考虑到矿段内 13 号矿体规模最大, 因此, 本次选择 13 号矿体为研究对象, 探讨 3D GIS 技术在矿体模拟和资源估计中应用, 并与手算的 13 号矿体储量进行对比。

3 研究程序

研究程序包括数据收集和输入、空间数据库建立、统计分析和地质统计分析、地质模拟、资源模拟和资源估计等六个步骤^[3,4]。图 1 显示了用于该研究的工作流程图。

3.1 数据收集及输入

这是准确、客观地模拟空间地质客体以及随后进行空间地质体内变量预测关键的第一步。因此应全面收集有关矿床的信息, 包括空间及非空间的数据、数字化和非数字化数据。主要有: ① 关于矿床的文字描述资料 (勘探报告、公开发表的文章和内部资料); ② 地表槽井探工程位置及取样分析结果; ③ 钻孔数据包括孔位、钻孔测斜、钻孔岩心编录及钻孔样品分析结果; ④ 岩、矿石密度测量数据; ⑤ 平面地质图、剖面地质图和纵剖面图; ⑥ 钻孔地球物理测量数据; ⑦ 地表地形图。

根据所用的 GIS 软件特点, 分别对图形数据和数字数据及描述性资料按照标准格式输

① 西南有色地勘局 317 队, 1991, 云南都龙锡锌矿区曼家寨矿段勘查报告

人。

3.2 数据库建立

建立数据库目的是按照数据之间的内在联系将这些数据组织起来,为后续的矿体模拟和资源估计创造条件。通常有三种数据库模型即:谱系数据库模型、网络数据库模型和相关数据库模型。本次工作中,主要在 ACCESS 中建立钻孔数据的相关数据库模型。该相关数据库模型由三个相互联系又具不同特点的数据表组成即钻孔孔位表、钻孔测斜表和钻孔样品数据表。其中选取钻孔孔号作为主列来联系以上三个表格。

3.3 统计分析和地质统计分析

(1) 统计分析: 统计分析目的是判别样品分析值是服从正态分布还是对数正态分布,以便了解锡和锌品位的空间分布。本次分别对 2262 个原始钻孔样品和 1563 个 2 m 组合样品数据进行统计分析。

统计分析结果表明,原始数据和 2 m 组合样品数据中锡品位和锌品位都不服从正态分布而是服从对数正态分布。其中锡品位服从单一对数正态分布,而锌品位服从非单一对数正态分布。这意味着锡品位空间分布相对较均匀,而锌矿化则较复杂。因此在进行空间品位估计时,对锡和锌品位要分别选取不同的参数进行预测。

(2) 地质统计分析: 地质统计分析目的是通过半变异函数分析了解 13 号矿体的空间结构特点即锡和锌品位空间变异性。根据 13 号锡锌矿体空间分布特征,本次研究过程分别选取沿矿体走向(南北)、矿体倾向(东西)和钻孔方向(垂直)对 2 m 组合样品进行半变异函数分析,之后选用球状模型模拟实验曲线,获取变异函数参数值即块金效应值(Nugget)、基台值(Sill)和变程(Range),用于锡和锌品位的空间估计。表 1 和表 2 总结了三个方向锡和锌品位球状模型变异函数参数。

结果表明应选取各相异性椭球体来进行锡品位和锌品位的空间估计。本次研究利用对数半变异函数的参数选取椭球体的搜寻范围。

3.4 地质模拟

地质模拟目的是模拟 13 号矿体的三维空间几何形状并创建体积模型。地质模拟的选取一定要反映空间地质体的几何形状、要素之间的拓扑结构及其属性特点。本次研究选取两种

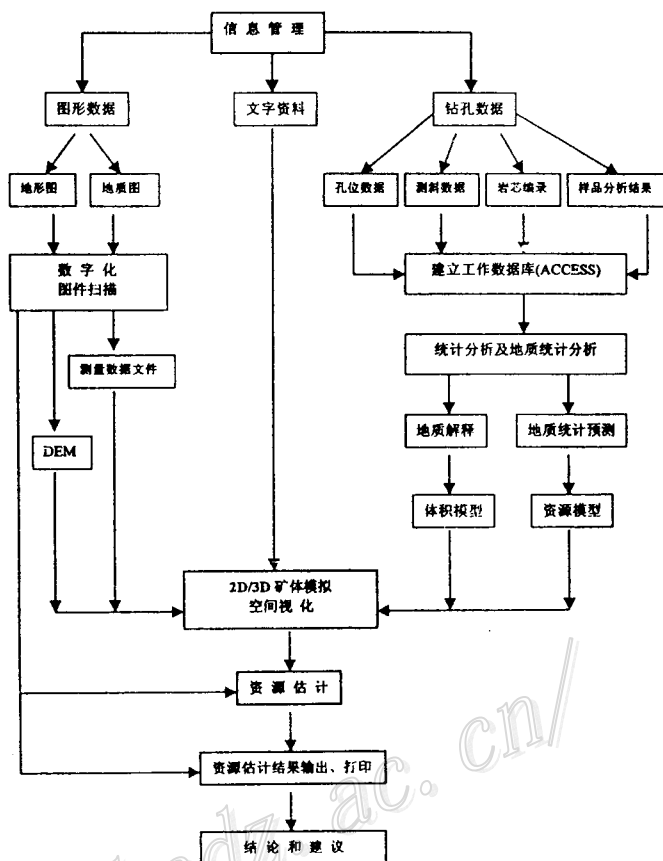


图 1 研究工作流程图

地质模型进行对比分析。

表 1 锡品位半变异函数球状模型参数

模型参数	块金效应	基 台 值			变 程		
		正态	相对	对数正态	正态	相对	对数正态
垂直方向	0.14	0.61	0.49	0.85	7.1	7.3	8
东西方向	0.14	0.94	0.58	0.94	45	50	45
南北方向	0.14	0.99	0.62	1.2	90	100	100

表 2 锌品位半变异函数球状模型参数

模型参数	块金效应	基 台 值			变 程		
		正态	相对	对数正态	正态	相对	对数正态
垂直方向	0.10	13.6	0.62	1.33	8.5	6.0	7.2
东西方向	0.10	10.2	0.55	1.28	50	60	45
南北方向	0.10	11.0	0.50	1.17	106	105	115

(1) 连接切面模型 (Linked-slice Model): 该模型是根据一系列相互平行的剖面地质图或平面地质图 (图略)。创建该模型的关键是在平面图或剖面图上对矿体正确的地质解释和推断即确定矿体边界。本次模拟根据 3 号勘探线和 109 号勘探线范围内 31 条勘探线剖面图而成。矿体上下边界根据钻孔样品锡锌品位结合矿体赋存的岩性 (夕卡岩) 确定, 左右边界根据矿化钻孔工程外推 1/4 确定。

(2) 表面模型 (Surface-based Model): 根据钻孔样品的 Z 值即垂向标高自动圈定空间客体的上下表面, 按照 Delaunay 三角网法, 确定矿体左右边界, 创建三维体积模型^[5]。之后采用 VRML 可视化软件进行空间显示。

3.5 资源模型

构件资源模型目的是预测三维空间内每一小单元内的锡锌品位或密度等变量。考虑到 13 号矿体在某些地段呈层状、似层状, 而在另些地段呈透镜状和块状, 因此本次资源估计选取块状模型和栅格模型, 对比资源估计结果。

(1) 块状资源模型 (Block Model): 块状模型由一系列形状规则 (正方形或长方形) 三维单元 (gx, gy 和 gz) 组成, 见图 2。该资源模型所利用的是根据连接切面模型所构建的体积模型。每一单元大小取决于勘探网度及未来的采矿设计方案。本次在 X (东西)、Y (南北) 和 Z (垂向) 三方向的单元大小分别取为 20 m、25 m 和 15 m。因此在 3 号线-109 号线范围内共选取了 34500 个单元进行资源估计。该模型适合于浸染状和块状矿床资源估计。

(2) 栅格资源模型 (Grid Model): 栅格模型由一系列在水平方向 (X 和 Y) 形状规则但在垂向 (Z) 上可变的单元构成 (图略), 该模型适合于水平状和板状的矿床资源估计。栅格单元大小即 gx 和 gy 同上面的块状资源模型的单元一致, 总共划分 1780 个单元。

在栅格模型中, 由于所估计的单元数量较少, 同时又没有考虑垂直方向厚度变化的因素, 因此常用于初始经济评价阶段中快速的资源估计。而块状资源模型常用于详细可行性研

究阶段的资源估计, 因为该阶段需要详细的空间品位和吨量分布信息。

3.6 资源估计

根据以上选取的地质模型(体积模型)及相对应的资源模型, 下一步对每一单元内的锡和锌品位分别进行估计。在块状模型和栅格模型中, 都用克立格法用于品位的空间估计。给定每一单元的体积、密度, 则可计算出每一单元的吨量(Tonnes)。在本例情况下, 取夕卡岩矿石的平均密度为 3.26 t/m^3 。乘以每一单元内估计出的锡品位和锌品位值, 则可以计算出每一单元的锡金属量和锌金属量。累加研究范围内所有单元内的吨量、锡金属量和锌金属量, 则可以求得 13 号矿体总资源吨量、锡金属量和锌金属量。

块状模型估计的 13 号矿体总地质资源吨量为 31.9 Mt, 平均锡品位为 0.59%, 锌品位为 3.6%。而栅格模型估计的结果为 28Mt, 平均锡品位为 0.65%, 锌品位为 3.77%。可见块状模型估计的资源吨量结果要比栅格模型的估计结果要高, 但是平均锡品位要低。

每一单元的估计结果(吨量、锡品位、锌品位、锡金属量和锌金属量)可以在任一 2D 平面如某一中段平面地质图或某一勘探线剖面图显示, 以便确定高锡或高锌富集地段, 作为矿山投资开发初期的首采矿段, 尽快回收投资。

3.7 吨位—品位曲线

以上资源模型估计的结果为地质资源量, 未有边界品位条件限制。但在实际采矿设计和矿床开发经济评价中所关注的是可采资源即在某经济边界品位上的资源吨量。确定矿床边界品位和可采资源吨量之间的关系, 绘制吨位—品位曲线是一个很好的办法。图 3 显示了根据本次两种资源模型估计结果以 Sn 品位绘制的矿床吨位—品位曲线。

给定一个锡边界品位如 0.4%, 从图 3 可以看出, 块状模型估计的结果为 16.5Mt, 平均品位为 0.9%。而栅格模型估计的结果为 15Mt, 平均品位为 1.05%。

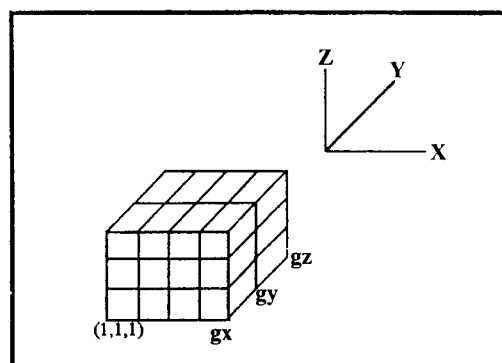


图 2 块状资源模型示意图

4 讨 论

(1) 本次资源估计中, 由于缺乏系统的岩矿石密度数据, 影响估计结果的精确性;

(2) 考虑到该矿床锡锌共生特点, 在资源估计过程中和结果输出及吨位—品位曲线绘制时, 最好采用金属锡或金属锌的金属当量(Metal equivalent)来取代单一的锡或锌变量。因此应全面收集有关锡锌金属价格和采选成本及冶炼费用, 以便建立较精确的金属当量关系公式。

(3) 根据以上 13 号矿体三维模拟和资源估计的结果, 对该矿床内其它矿体可采用相同的方法。

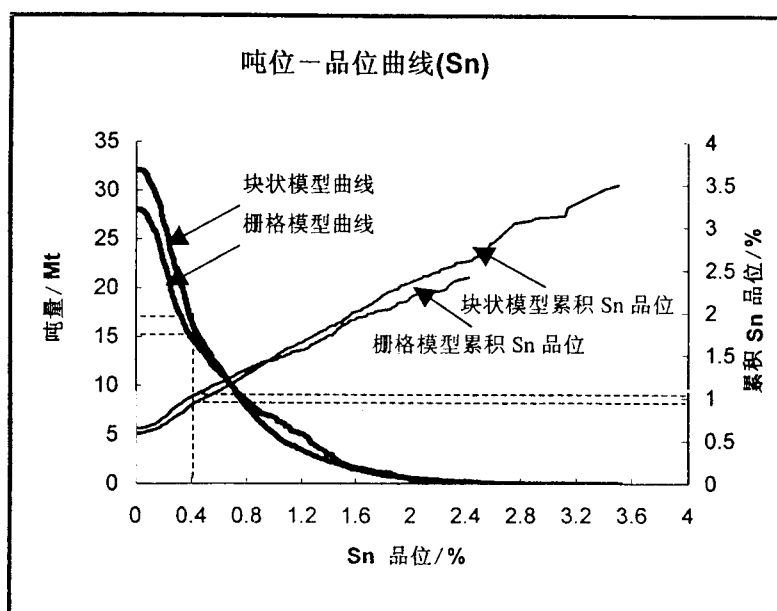


图 3 根据锡品位变量绘制的矿床吨位-品位曲线

参 考 文 献

- 1 Dowd P A. Risk in Minerals projects: analysis, perception and management. Trans. Instn Min. Metall. (Sect. A: Min. Industry), 106, Jan. - April, 1997.
- 2 Sides, E. J., 1997, Geological modelling of mineral deposits for prediction in mining. Geol. Rundsch. 86: 342~353.
- 3 Lynx geosystems Inc., 1997, Using microLynx 2. 2 for Windows. Vancouver, Canada.
- 4 Lynx geosystems Inc. Lynx 4. 6 User Guide. Vancouver, Canada, 1997.
- 5 Houlding, S. W. 3D Geoscience Modelling, Computer Techniques for Geological Characterization. Springer - Verlag, Berlin, Pp. 309, 1994.
- 6 Zhu Sicai, Orebody modelling, Resource estimation and financial evaluation of the Manjiazhai Sn - Zn deposit, Yunnan province, P R. China. ITC M. Sc thesis, 1998.