

# 云南大红山铁矿床三维数学模型探讨

黎应书<sup>1</sup>, 秦德先<sup>1</sup>, 蔡燕<sup>2</sup>, 陈爱兵<sup>1</sup>, 余阳先<sup>1</sup>, 普传杰<sup>1</sup>, 林小平<sup>1</sup>

11 昆明理工大学 矿产地质研究所, 昆明 650093; 2 水城钢铁公司 广播电视大学, 贵州六盘水 553028

**摘要:** 为实现矿山的生产动态管理与矿床的三维可视化, 应用地质统计学的理论和方法, 尤其是应用能够反映区域化变量特征的变异函数, 借助计算机和 Micromine 软件包, 建立了大红山铁矿床的三维矿床数学模型。结果表明, 该模型可以使矿山很清楚地了解矿体的形态、产状和化学组分分布特征等。此外, 通过 Kriging 估值计算的储量与用传统方法计算的储量很接近。

**关键词:** 地质统计学; 三维地质模型; 变异函数; 云南大红山铁矿

**中图分类号:** P618I 310I 674 **文献标识码:** A **文章编号:** 10072802(2004)04033204

矿床内部结构特征和外部形态的空间变化规律是确定勘探方案、估量方法、矿床开采方案的重要依据。地质统计学和以此理论编制的软件包是解决这些问题的主要方法; 本文应用 Micromine 软件包探讨了大红山铁矿床的情况。

## 1 矿床地质简况

大红山铁矿位于云南新平县境内。1966 年以来, 先后有许多单位对其进行过详细研究。矿区位于滇中台坳之南端, 即红河断裂与绿汁江断裂所夹持的三角地带。区内有东西向、北西向和南北向三组构造形迹。其中东西构造带为成矿期构造体系, 北西向构造带为成矿后构造体系, 南北向构造带在区内不明显, 对矿体影响不大。区域内出露大片上三叠统和侏罗系地层, 铁矿主要含矿层位大红山群是在中生代盖层中的/天窗。矿区西边出露有变质较深、混合岩化较强的哀牢山群; 矿区之东分布有变质较浅、以含微古生物化石和叠层石为特征的昆阳群。本文的研究范围仅限于矿体中段和东段的接合部, 矿体变薄、由平缓变倾斜之部位。

## 2 矿床数学模型

根据矿体的空间产出特征和探矿工程控制等情况, 将建模范围确定为: 东坐标(X): 64763~ 65043 m, 北坐标(Y): 65882~ 66147 m, 高程(Z): 409~ 579 m。

收集和整理铁矿床范围内的六个钻窝的钻孔数据, 矿床地质数据库包括 40 个钻孔的三维空间和化验数据; 据此建立三个基本文件(孔口文件、化验文

件和测斜文件), 并对其进行有效性检验, 以检查数据是否具有下列潜在错误: 孔口坐标和整个深度范围是否缺少; 缺少、不一致或重复的工程名称; 缺少的或者无效的工程测量数据; 无效的样品间距, 如起始值大于或等于终止值等。

本次研究有铁的化验数据 2506 个。统计分析结果: 最低品位 7.34%, 最高品位 69.68%, 平均品位 33.75%, 方差 226.1%, 标准差 15%, 变化系数 6.7%, 中位数 31.67%, 对数均值 3.41%, 对数标准差 0.48%, 几何平均值 30.33% (图 1)。从图 1 可以看出, 铁元素的品位分布基本上服从对数正态分布, 在矿体中铁品位的变化比较均匀。

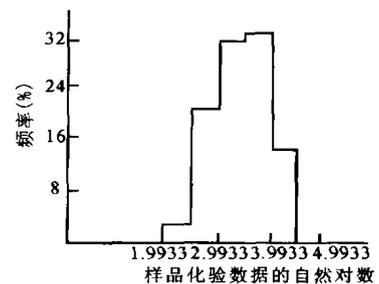


图 1 大红山铁矿样品化验数据自然对数分布直方图

Fig. 1 The log distribution histogram of iron content in the Dahongshan iron ore deposit

将化验文件按照 1 m 的间距进行组合, 形成化验组合文件。

矿体边界可通过生成 OUTLINES 和 WIRE2 FRAMES 得以圈定。在可视化浏览器(VIZEX)中, 调入已经建立的数据库, 可显示钻孔的位置、分布、

化验数据等。根据矿体与工程布置情况, 切出地质剖面, 根据矿床边界品位和钻孔化验数据圈定矿体的边界轮廓线(OUTLINES), 将其边界品位确定为 TFe= 20%。在三维浏览器(3D)中, 利用上述已经生成的各个剖面的 OUTLINES 来生成线框(WIRE2 FRAMES), 即矿体的三维边界线。

最后建立矿床数学模型, 它是品位估值、储量计算的基础。模型包括实验变异函数的计算、理论变异函数的获得和检验。变异函数是地质统计学的基本工具, 能反映区域化变量的基本特征, 特别是能够通过变量的随机性来反映变量的结构性。它是一个距离函数, 描述不同位置变量间的相关性: 其值越大, 相关性越差。通常变异函数随距离 h 的加大而增大, h 达到一定值后, 变异函数值达到最大, 尔后保持不变<sup>[1-3]</sup>。实验变异函数的计算是获得理论变异函数(矿床数学模型)的基础。要构建变异函数, 必须从结构特征入手, 定量研究矿床的总体与局部特征, 以查明矿床地质变量的空间变化规律。变异函数的模型可分为有基台值和无基台值两类, 矿山常用的是有基台值类型中的球状模型。其特点是: 1) 在原点附近小范围内表现为线形行为, 但在较大距离时变得平缓, 当 h 为变程 a 时即达到基台值; 2) 原点的切线在 2P3 变程时便达到基台值。其公式为:

$$\hat{A}(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ C_0 + C(3h^2a - h^3P2a^3) & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$$

式中: C<sub>0</sub> 为块金常数, 表示 h 很小时两点品位间的变化; C 为跃迁常数, 是先验方差与块金效应常数之差; C + C<sub>0</sub> 为基台值, 反映区域变量在研究范围内变化的强度, 它是最大变程的可迁性变异函数的极限值; h 为距离; a 为极限变程, 表示变量的影响范围。一般来说, 随着样品点间距离的增大, 变异函数值也增大。当变异函数达到一定的平稳值时, 其空间距离即为极限变程。当 h [ a 时, 任意两点间的观测值具有自相关性, 且这种自相关性随 h 的变大而变小; 当 h > a 时, 二者没有相关性。a 反映研究对象中某一区域化变量的变化程度。

由于矿体北部走向近于南北向, 而南部近于北西西向, 因此分为两部分分别计算变异函数。

(1) 北部矿体变异函数: 其参数如表 1 所示, 三个方向的变异函数曲线如图 2、3、4 所示。

表 1 北部矿体变异函数参数

Table 1 Variogram parameters of northern ore body

	方位角	方位角容差角	倾角	倾角容差角	基本步长Pm
主方向	0°	22.5°	19°	22.5°	10
第二方向	70°	40°	-45°	22.5°	2
第三方向	100°	25°	39°	5°	1.2

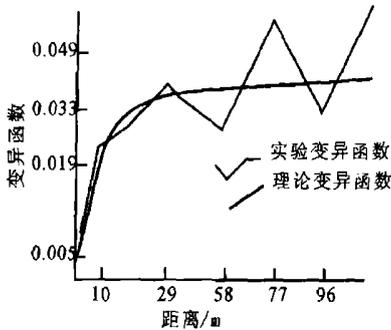


图 2 北部矿体主方向变异函数图  
Fig. 2 The main directional variogram of northern ore body

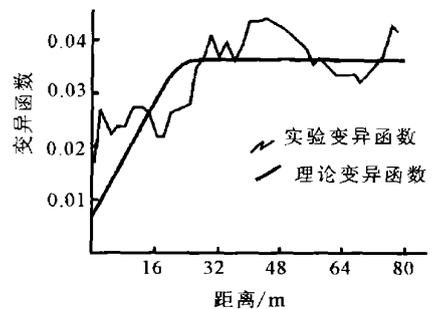


图 3 北部矿体第二方向变异函数图  
Fig. 3 The second directional variogram of northern ore body

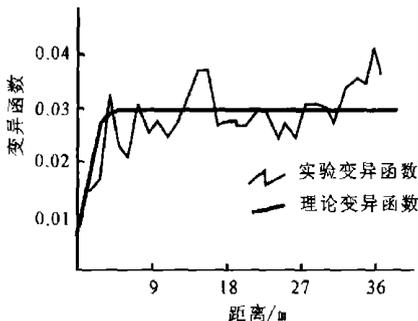


图 4 北部矿体第三方向变异函数图  
Fig. 4 The third directional variogram of northern ore body

(2) 南部矿体变异函数: 其参数如表 2 所示, 三个方向的变异函数曲线如图 5、6、7 所示。

表 2 南部矿体变异函数参数

Table 2 Variogram parameters of southern ore body

	方位角	方位角容差角	倾角	倾角容差角	基本步长Pm
主方向	110°	44°	-19°	40°	10
第二方向	210°	20°	-30°	8°	1
第三方向	195°	20°	82°	5°	1

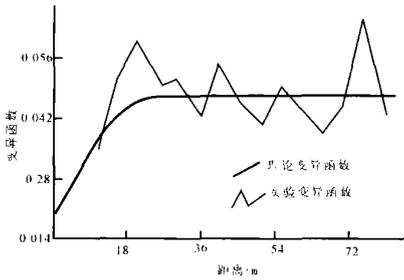


图5 南部矿体主方向变异函数图

Fig. 5 The main directional variogram of southern ore body

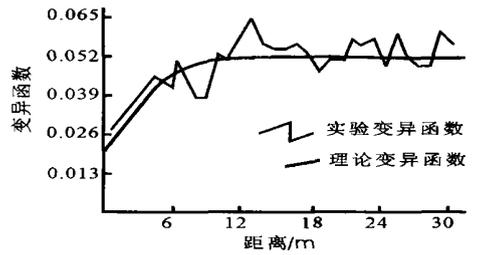


图6 南部矿体第二方向变异函数图

Fig. 6 The second directional variogram of southern ore body

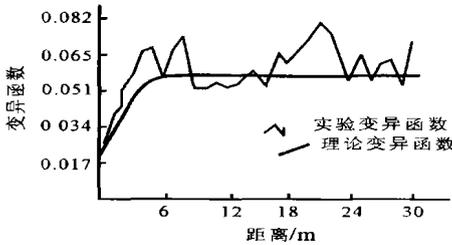


图7 南部矿体第三方向变异函数图

Fig. 7 The third directional variogram of southern ore body

表3 单元块参数

Table 3 Unit parameters

字段	起始块位置Pm	间距Pm	单元块数	终止块位置Pm
东坐标	64763	5	57	65043
北坐标	65877	5	56	66152
高程	408	2	85	576

估值:应用前面计算的变异函数和普通克里格(Kriging)法进行估值,从而建立模型(图8、9)。

根据该矿床的实际情况,确定椭球体搜索的主方向为345b,倾角5b,半径60m,在八个方向进行搜索。

### 3 储量计算

由于模型中单元块的体积是固定的,为5@5@2m=50m<sup>3</sup>,且前面估值的每个单元块都赋予了品位值和方差,此时只要边界品位(TFe=20%),体重取4,就可计算出各个级别的储量(表4)。

品位建模需要经过如下三项程序:1)生成空单元块:根据矿体的空间位置,以5@5@2m生成空单元块,参数见表3;2)界定空单元块和化验品位模型:用圈定的Wireframes分别对空单元块和化验组合数据进行赋值,即把其中的空单元块和化验组合数据单独界定出来,用于下一步的品位估值;3)三维

### 4 结论

我们用模型计算方法与传统的矿体圈定和储量计算方法相比较,具有如下特征:(1)两种方法圈定的矿体在分布、形态和产状上基本一致。(2)通过3D估值计算的储量与用传统方法计算的储量相近似,相对误差在10%以内,且可根据需要进行级别的划分。(3)根据需要可以在任意方向上切割面,使得更加直观。(4)通过对变异函数的计算和分析,说明在260b方向上布置勘探线,间距为45m的勘探方案是基本合理的。

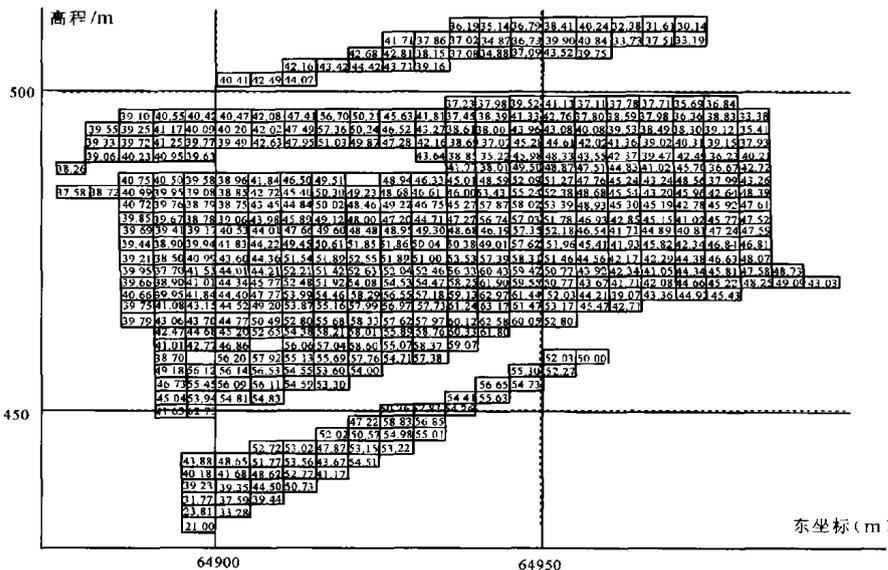


图8 北坐标65950米剖面品位分布图

Fig. 8 The ore grade distribution of section of north coordinate 65950 meters

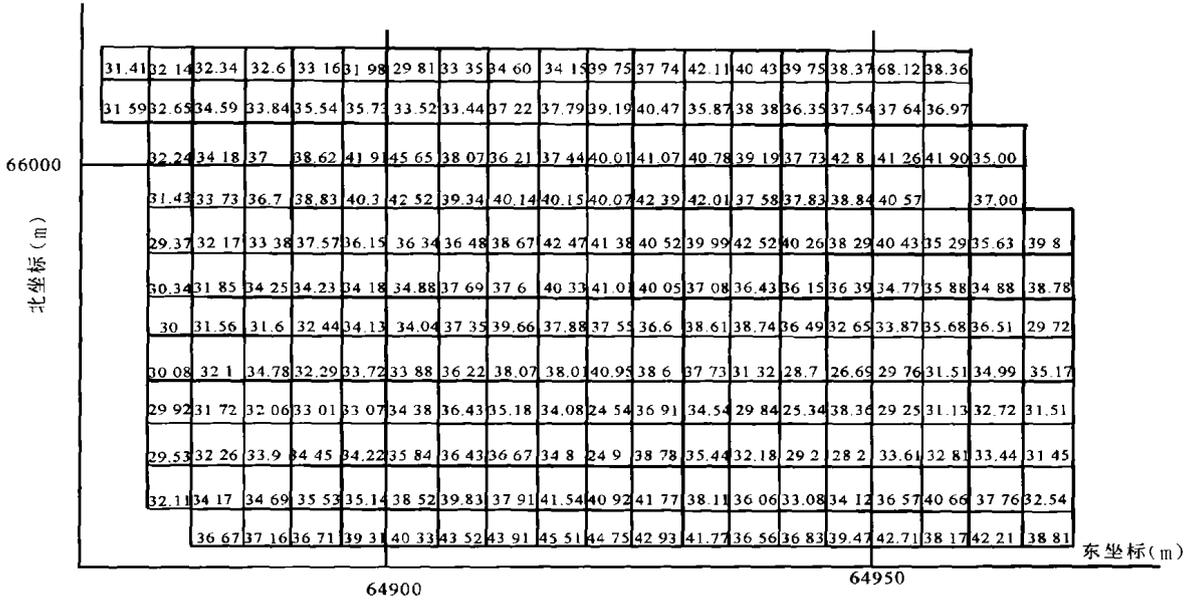


图9 500米平面品位分布图

Fig. 9 The ore grade distribution of 500 meters profile

表4 储量计算结果

Table 4 Calculated ore reserves table

品位范围	平均品位 (%)	累计品位 (%)	储量 P万 t	累计储量 量万 t	传统方法计算 累计品位 (%)	传统方法计算 累计储量万 t
20~ 25	23.52	23.52	22.39	22.39		
25~ 30	28.33	27.04	60.93	83.32		
30~ 45	39.42	34.82	140.75	224.07		
45~ 70	54.82	41.83	122.86	346.93	42.06	343.69

参考文献 (Reference):

[1] 秦德先, 燕永锋, 洪托, 高建国, 田毓龙, 刘春学. 矿床数学经济模型[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2001. 5- 43.  
Qin Dexian, Yan Yongfeng, Hong Tuo, Gao Jianguo, Tian Yulong, Liu

Chunxue. Deposit mathematical and economic model[M]. Kunming: Yunnan Publishing House of Science and Technology, 2001. 5- 43 (in Chinese)  
[2] 刘春学, 秦德先, 洪托. 变异函数在大厂锡矿的应用[J] 昆明理工大学学报, 1999, 24(1): 171- 176.  
Liu Chunxue, Qin Dexian, Hong Tuo. Application of variogram in Dachang tin deposit[J]. J. Kunming Univ. Sci. Tech., 1999, 24(1): 171- 176. (in Chinese with English abstract)  
[3] 秦德先, 洪托, 田毓龙, 陈健文. 广西大厂锡矿92号矿体矿床地质与技术经济[M] 北京: 地质出版社, 2002, 135- 198.  
Qin Dexian, Hong Tuo, Tian Yulong, Chen Jianwen. Ore deposit geology and technological economics of No. 92 mineral in Dachang tin deposit, Guangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 135- 198. (in Chinese)

Three-Dimensional Mathematical Model of the Dahongshan Iron Ore Deposit in Yunnan Province

LI Ying<sup>2</sup>shu<sup>1</sup>, QIN Dexian<sup>1</sup>, CAI Yan<sup>2</sup>, CHEN Aibing<sup>1</sup>, YU Yang<sup>2</sup>xian<sup>1</sup>, PU Chuan<sup>2</sup>jie<sup>1</sup>, LIN Xiaoping<sup>1</sup>

11 Institute of Mineral Geology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

21 Shuicheng Iron & Steel Company, Guizhou University of Broadcasting & Television, Liupanshui, Guizhou 553028, China

Abstract: In order to produce dynamic management in the mine and three-dimension view of the deposit, we established a three-dimension deposit mathematical model of the Dahongshan iron ore deposit by means of theory and method of geostatistics, and especially variogram which may reflect the characteristics of regionalized variables, and Micromine's software system. It is proved that the form, dimension and main elemental distributing characters are distinguishable from the model. Besides, the reserves calculated using Kriging are comparable with that of using traditional method.

Key words: geostatistics; three-dimensional mathematical model; variogram; Dahongshan iron ore deposit; Yunnan Province