中国铜矿床品位吨位模型

肖克炎[1)] 李景朝[2)] 陈郑辉[1)] 何凯涛[2)] 严光生[2)]

1) 中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037；2) 中国地质调查局发展研究中心，北京，100083

内容提要 笔者等以1999年底的全国铜矿储量数据为基础，研究了中国铜矿不同成矿类型的品位吨位分布特征，在此基础上研究了中国斑岩型铜矿的品位、吨位分形特征。在研究铜矿的品位吨位特征的基础上，在矿产资源评价系统(MRAS)上集成MRAK3计算方式，进行全国的铜矿资源量预测评价。

关键词 铜矿 品位吨位模型 分形 MRAS MARK3

矿床品位和吨位是矿产资源经济定量评价的重要参考指标，长期以来是广大地质学家的研究对象。20世纪50年代Lasky(1957)提出了矿床品位服从对数正态分布的观点。近年来，随着美国地质调查局Singer等(2000)提出的三步式矿产资源评价方法，对矿床的品位—吨位研究又成为研究热点，因为标准地区的品位吨位模型是其方法中的最重要的一环。Cox等(1986)、Singer等(2002)建立了全世界90多个矿床的模型的标准品位吨位分布模型，以此为基础，David等(1992)开发了MARK3软件。中国学者魏民等(2000)对中国斑岩铜矿进行了研究。随着分形等非线性科学的出现，一些学者运用分形技术研究了品位—吨位模型(Cargill et al., 1980; Harris, 1984; 李长江等，2000)，认为金矿床品位吨位具有某种分形特征，矿床品位吨位存在分形指数关系。

为了构造中国主要矿产的数字找矿模型，本文以中国1999年金属储量数据库和区划矿产地数据为基础，建立了铜矿数据库，共984个矿床(包括近年发现的土屋超大型矿床)，分不同类型进行品位吨位的研究。开发出矿产资源定量评价吨位品位模型程序和MARK3计算方法。

1 中国铜矿品位吨位模型

1.1 铜矿储量特征

通过铜矿数据库统计表明，目前中国已勘探发现的铜矿储量共8446万吨，平均每个矿床8.58万吨。其中铜矿储量在50万吨以上的大型矿床37个，全部为单矿种或共生矿。

按照中国铜矿床(黄崇轲等，2001)，中国铜矿类型可分为岩浆熔离型铜镍硫化物矿、斑岩型、接触交代型、海相火山气液型、陆相火山气液型、热液型、海相沉积型、陆相沉积型、受变质型和表生型等10种。各种类型铜矿储量和矿床数统计如图1，其中斑岩型铜矿储量占37.21%，接触交代型占22.71%，受变质型9.02%，海相火山气液型8.1%，热液型占7.5%，海相沉积型6.0%，岩浆型占5.23%，表生型为0.07%。而各类型矿床个数统计结果是：斑岩型为62个矿床，仅占总矿床数6.3%，表现为矿床个数少而资源量大，接触交代型为262个，占总矿床数26.62%，表现为矿床个数多而且储量也大，热液型占整个矿床数33.33%，但储量却不大。岩浆熔离型铜镍硫化物矿个数和储量均占总数量5%左右(表1，图1)。

表1 全国资源量、矿床数统计结果表

Table 1 The statistic of national resource and deposit number

	岩浆型	斑岩型	接触交代型	海相火山气液型	陆相火山气液型	热液型	海相沉积型	陆相沉积型	受变质型	表生型
矿床数(%)	5.23	6.3	26.62	7.72	2.13	33.33	5.06	7.21	5.75	0.91
资源量(%)	5.23	37.21	22.71	8.1	1.36	7.5	6.0	2.13	9.02	0.07

收稿日期：2002-10-29；改回日期：2003-11-12；责任编辑：章雨旭。

作者简介：肖克炎，男，1963年生。数学地质博士。现为中国地质科学院矿产资源研究所研究员。通讯地址：100037，北京市阜外百万庄大街26号区划室。

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

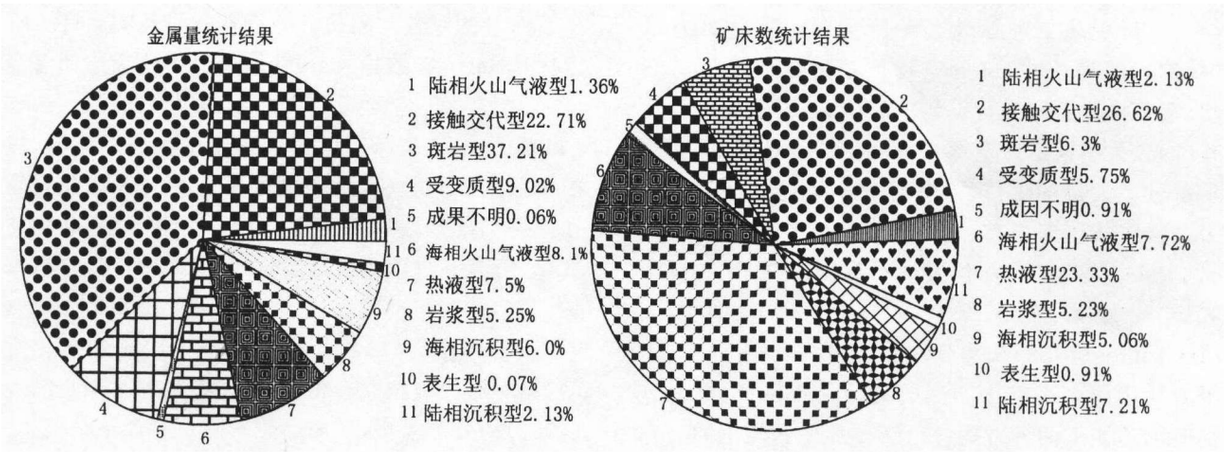

图 1　中国主要铜矿类型储量和矿床数统计分布图

Fig. 1　The master types of copper statistic distribution of national resource and deposit number

表 2　中国各类型铜矿的品位、矿石量统计特征

Table 2　The all type of copper statistic character of grade and tonnage

矿床类型	矿床数(个)	品位统计特征				矿石量统计特征			
		最小值(%)	最大值(%)	平均值(%)	分布特点	最小值(万吨)	最大值(万吨)	平均值(万吨)	分布特点
斑岩型	46	0.32	1.54	0.75	具有明显的长尾偏对称特征,经过十次删除异常点检查,仍然不服从正态分布,偏度丰度检验一次通过对数正态分布检验。在对数概率纸上形成标准的直线,品位具对数正态分布特征。	0.5	113387.0	13006.56	偏度丰度检验不服从正态分布。一次通过偏度丰度检验,服从对数正态分布。
接触交代型	174	0.25	10	1.1	在一次删除异常样本后服从正态分布。经多次分布检验仍然不服从对数正态分布。	0.5	22641.6	1092.759	服从对数正态分布。
岩浆型	17	0.13	1.37	0.58	丰度偏度检验岩浆型矿床同时服从正态和对数正态分布。通过数字概率纸方法检验该类型矿床更符合正态分布	0.6	12659	3760	服从正态分布
热液型	191	0.104	10.07	1.13	品位丰度与偏度检验表明经过十次异常点删除后品位仍然不服从正态或对数正态分布,从品位频数对数概率纸上可以看出品位分布近似为直线,可以认为它服从对数正态分布。	0.1	8997	293	经过2次异常删除后服从对数正态分布。在对数概率纸上在矿石量8500万处有一异常拐点,其他为标准直线
海相火山气液型	57	0.42	9.03	1.44	从对数概率纸上可见其服从对数正态分布	0.6	11253	1046	通过对数正态分布检验,为对数正态分布
海相沉积型	33	0.35	1.41	0.8	偏度丰度检验服从正态分布	1.1	15619	1925	统计直方图累计频率为正态分布。
陆相沉积型	59	0.36	4.51	1.36	丰度偏度检验服从正态分布。	0.4	2790	258	矿床规模小,服从对数正态分布
陆相火山气液型	13	0.42	1.45	0.89	丰度与偏度检验该类型矿床服从正态分布。	10	10391	1322	服从对数正态分布
受变质型	47	0.12	4.5	1.05	品位偏度丰度检验为对数正态分布。	3	30071	1850	服从对数正态分布。
表生型	6	0.16	2.71	1.3					由于该类矿床目前样本少,不做统计分布研究

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

1.2 铜矿品位吨位分布特征

在基于品位吨位分布矿产资源定量评价方法中，矿床的品位、吨位分布特征是资源量模拟的基础。笔者将分类型进行铜矿的品位、矿石量的统计分布研究。关于铜矿床资源量和品位的分布特征，国外学者做了大量的工作。上世纪五十年代一些学者认为品位服从正态分布，之后更多的矿床学家(Cox et al.，1986)认为矿床品位服从对数正态分布。20世纪90年代随着分形研究的热潮，分形创始人Mandelbrot(1983)认为铜矿品位服从多重分形。为了查明中国各个矿床类型的统计分布特征。笔者分别使用了如下两种方法进行铜矿品位和吨位的分布研究(表2)。

(1) 统计分布频率作图法 使用概率纸、对数概率纸或双对数标度(Mandelbrot，1983)，将计算品位或吨位的累计频率标度在上述标准图上，如果点分布是直线，则该数据集为相应的分布特征。该方法直观形象、简单实用。

(2) 正态及对数正态统计参数检验 根据公式计算品位或吨位的偏度和峰度，然后进行丰度偏度统计检验，确定分布是否为正态分布。

上述两种方法我们都集成在MRAS评价系统中，可以方便地可视化使用。

1.3 中国主要铜矿品位吨位联合分形模型

对矿床的品位与吨位研究一直是地质经济专家和数学地质学家十分重视的问题。通常认为矿床规模越大，其品位相对就低，这就是Lasky(1950)提出矿石储量的对数与品位之间存在的线性关系(Lasky定律)，Harris(1984)、Cargill等(1980)认为应该是品位的对数与吨位的对数之间有线性关系。Turcotte(1992)提出了矿床形成过程的修正的分形模型，以别于前人的对数模型。模型的核心是元素和化合物在地壳局部地段不断富集，而无须相邻地区的物质贫化。国内一些学者也对品位的分形进行了研究(李长江等，1999；王喜生，2000；魏民等，2000)，如沈步明等(1999)认为矿石品位的分维可以确定矿化类型，但对品位吨位联合模型研究较少。按照Turcotte(1992)的分形模型，矿床品位与吨位有如下公式：

$$\frac{C}{C_0}=\left(\frac{M_0}{M}\right)^{\frac{D}{3}}$$

式中 M 是矿石质量，C 是品位，C_0 是地壳丰度，M_0 是研究地区的总金属质量。依据上述公式将品位数据与矿石数据标度在双对数坐标上，计算其统计斜率，即得到分维值。下面是对中国铜矿各类型的研究结果。

(1) 中国斑岩铜矿品位吨位联合模型：依次计算品位与矿石量在均为原始数据、品位取对数、取双对数情况下的相关系数分别为 −0.36、−0.6、−0.69。说明矿床品位与吨位有较强的双对数相关，存在分形关系，计算分维值为0.28。和国外学者对铜矿研究的分维值比较(大多数为1.5～2.0)，该数据明显偏低。其原因应进一步研究。

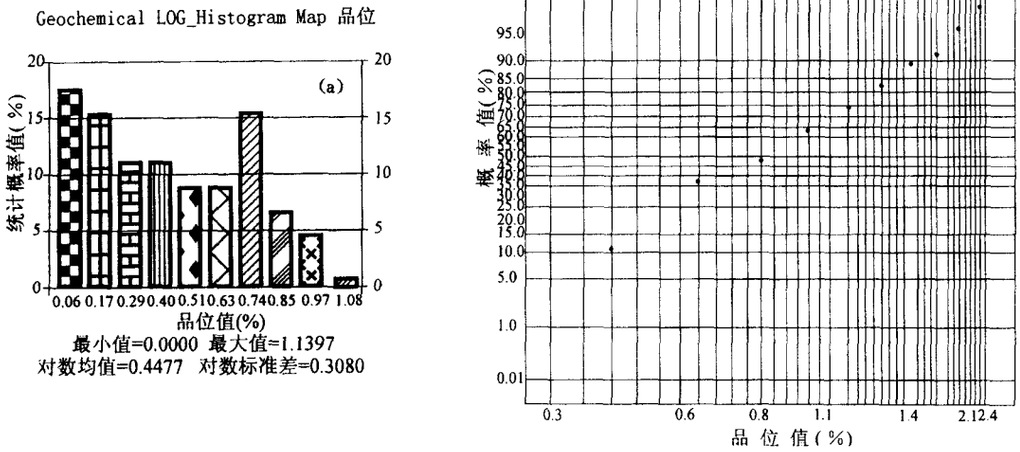

图2 斑岩铜矿的品位对数直方图统计以及对数概率图特征

Fig. 2 The logarithm histogram statistic character and logarithm probability character of grade of prophyry copper

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

(2)其他类型的特征:对于岩浆型,依次计算品位与矿石量在均为原始数据、品位取对数、取双对数情况下的相关系数分别为－0.05、－0.06、－0.004。接触交代型的相关系数分别为－0.087、－0.18、－0.15。海相沉积型的相关系数分别为－0.197、－0.085、－0.12。海相火山气液型的品位与吨位的相关系数分别为－0.133、－0.20、－0.11。陆相沉积型的品位与吨位的相关系数为－0.08、－0.135、－0.06。陆相火山气液型的品位与吨位的相关系数为－0.08、－0.16、－0.17。受变质型的品位与吨位的相关系数为－0.12、－0.28、－0.26。热液型的品位与吨位的相关系数为－0.09、－0.17、－0.19。由于以上各类型的相关性较差,这些铜矿类型的吨位品位之间不存在分形关系。

2　基于中国矿床品位吨位模型的资源量评价预测技术

对于研究区资源量的模拟研究,借鉴了美国地调局的研究思路,即 MARK3评价资源量的思路,考虑到相同地质成矿环境将有相同可能矿床的品位吨位分布模型,因此资源量可以通过相似类比一定概率意义下进行估计。通过研究预测区矿点的分布特征、矿床的品位特征、矿石量的分布特征来获得对资源量的模拟,最后进行研究区的资源评价。下面结合全国的铜矿数据和 基于 GIS 的区域矿产资源评价系统(Mineral Resource Appraise System,以下简称 MRAS)软件的实现进行资源量模拟计算。

进行资源量模拟的过程可分为以下几个步骤。

2.1　建立预测模型

根据资源预测对不同矿种的不同要求,建立资源与参数的关系。

$$\text{资源量} = \sum(\text{矿石量} \times \text{品位})$$

2.2　获得参数的统计分布

2.2.1　矿点分布特征的获得

在本系统中在设计矿点分布选择时提供了德尔菲法以及泊松分布法,来获得矿点理论分布模型。

(1)德尔菲法是一种客观综合多数地质学家经验和主观判断的方法(王世称等2000)。其基本作法是分别地、不断地向一组地质专家提出一系列矿产资源问题,然后将他们的回答加以综合,直到取得一致的意见形成最后结论。德尔菲方法用地质专家的经验和知识代替地质变量进行资源评价,他可以充分发挥人的因素,利用更多信息。因此,地质专家对地质规律的认识和判断对预测结果有重要影响。虽然德尔菲法是一种非地质标志的方法,不直接使用地质变量,但是它并非脱离地质工作独立存在,相反地它对地质专家的要求实际上等于间接地使用了地质资料。因此,德尔菲方法的预测结果是可以随着普查勘探工作和研究程度的提高而达到较高精度的。

(2)泊松分布是离散型随机变量的一种重要的分布律,是当 $n \to \infty, p \to 0$ 但 $n \times p$ 保持一定时二项分布的极限(赵鹏大等,1983)。其分布为

$$P_\lambda(k) = \frac{\lambda^k}{k!}e^{-\lambda} \qquad (\lambda > 0, k = 0,1,2,\cdots)$$

$P_\lambda(k)$ 表示在一定时间(或空间)范围内,某随机事件的发生率是固定的(即 λ)则在给定的时间(或空间)间隔内,该事件发生指定次数的概率为 $P_\lambda(k)$。

在选择矿点分布模型时,如果选择了德尔菲法,则要求获得专家对研究区预测单元中可能存在矿点的数量进行判断,主要是指在概率(1,0.9,0.5,0.1,

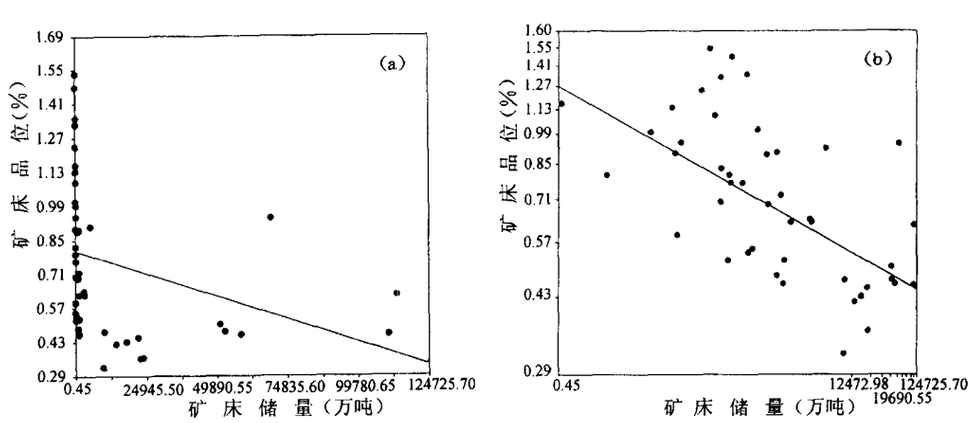

图3　斑岩铜矿品位吨位关系图(左为原始数据、右为双对数)

Fig. 3　The grade and tonnage relation of prophyry copper (left for originality data, right for double logarithm)

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

0)上的矿点数,然后系统通过计算获得矿点的理论分布。如果选择泊松分布,则要求输入泊松分布的参数、矿点的分组数、预测单元中最可能出现的矿点数、最不可能出现的矿点数等参数,根据这些参数获得矿点理论分布(图4)。

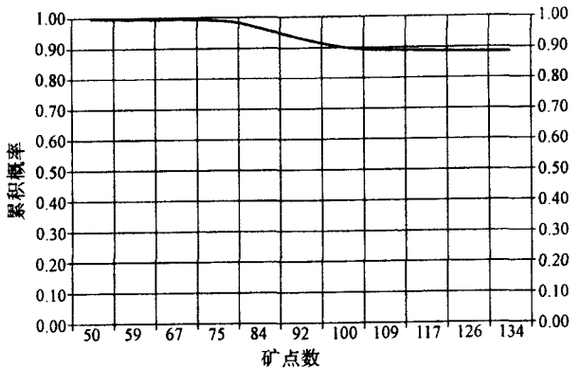

图4 矿点的泊松分布

Fig. 4 Poisson's distribution of deposit

2.2.2 矿种品位—吨位模型的选择

具经济价值的矿床的品位与吨位的统计学研究为矿床储量预测提供了基础(魏民等,2000)。品位与吨位关系研究的目的是预测高于某一品位的矿床的吨位。矿床的品位定义为从一定数量矿石中所提取的有用元素含量的比率。在上述品位吨位统计分布研究的基础上,分别确定了不同类型铜矿的标准分布及模拟种子样本。在 MRAS 系统中,提供了在可视化环境中研究矿床的品位频率分布、吨位频率分布以及矿床品位与吨位之间统计关系的方法。在 MRAS 支持下,用户可以建立某一矿床类型品位和吨位的统计分布模型,还可以研究某一类型矿床的品位和吨位之间存在的分形统计关系。在进行资源量模拟的计算中,主要是利用品位—吨位模型算法得到矿种的矿床类型的品位吨位标准模型,进而计算资源量(图5)。

2.2.3 资源量的蒙特卡洛模拟

蒙特卡洛方法也称统计试验方法(王世称等,2000)。它是根据统计抽样理论,对随机变量函数的概率分布进行抽样模拟,建立起概率意义下的资源量分布模型,依据该模型估算某一概率下的资源量。该方法能得到许多复杂随机变量近似的概率分布模型,因此在统计学中具有重要意义。地质事件及其所产生的地质体无论作为地质过程中的产物还是作为地质观测的结果,都具有随机性。资源在特定地质环境中的富集作用也是一种随机事件,因此资源可在一定概率意义下进行估计。资源量具有质量和数量两种特征。质量特征用品位表示,表示资源数量特征的参数有资源个数、矿石量和金属量等。这些特征参数都是随机变量;资源量是这些参数的函数。蒙特卡洛方法在资源量估算中的应用,是通过统计抽样来模拟资源参数的统计分布,进而求出资源量的概率分布,根据资源量的概率分布对预测区的资源量进行估算。进行资源量的模拟是在获得矿点的理论分布和标准品位—吨位模型的选择的基础上利用蒙特卡洛法来抽样模拟计算。

蒙特卡洛方法进行分布函数的模拟要使用随机数来构造抽样序列。随机数的产生是在计算机上应用适当的数学方法计算出来的。由于受计算机字节长度限制而且有一定的周期,因而不是真正的随机数,这样产生的随机数被称为"伪随机数"。如果随机数满足:分布均匀性、随机性和独立性;有足够长的周期。能够满足实际问题的需要。这时伪随机数可以和真正的随机数一样使用。因此选择乘同余法来生成随机数(伪随机数),该方法的计算公式为

$$x_{n+1} \equiv \lambda \cdot x_n (\mathrm{mod} M)$$

这是一个递推式。给定 x_0 以后,就可以算出 $x_1, x_2, \cdots$。如已计算了 x_n,那么,将 x_n 乘以常数 λ,用 m 来除,取其余数即为 x_{n+1}。将所产生的随机数变换到(0,1)上去,即形成在(0,1)上均匀分布的随机序列。其中,m、λ、x_0 是选择的常数,它们的选择对产生伪随机数的性质是有一定影响的。对所产生的随机数的性质须进行统计检验,以便确定其是否满足要求。

获得随机数后,资源量的抽样模拟过程如下:

(1) 设置最大的模拟计算次数 = 5000,用于建

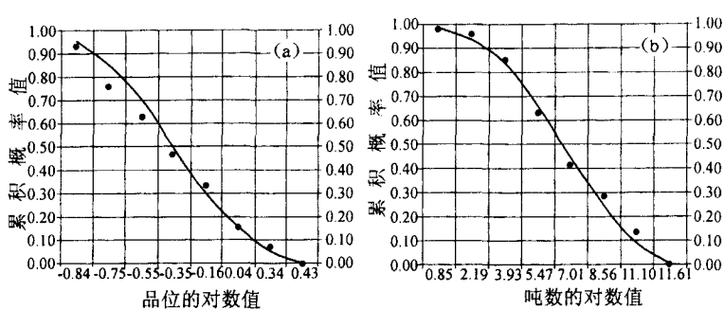

图 5 品位—吨位模型的选择(左为品位模型、右为吨位模型)

Fig. 5 The selection of grade—tonnage model (left for grade model, right for tonnage model)

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

立预测区资源量的概率分布。设置计算次数为0,总资源量=0。

(2) 将计算次数除以随机序列的模数(M),获得余数,则作为从随机序列中获得随机数的位置,获得一个随机数,根据这个数在矿点的理论分布中求得一个矿点数。计算次数+1。

(3) 根据矿点数,设置品位和吨位的抽取次数。

(4) 将设置一个新的计算次数,将该计算次数除以随机序列的模数(M),获得余数,则作为从随机序列中获得随机数的位置,获得一个随机数,根据这个数在品位的理论分布中获得一个品位数据。如果品位是服从对数分布,则先计算品位的原始值,计算次数+1。

(5) 将计算次数除以随机序列的模数(M),获得余数,则作为从随机序列中获得随机数的位置,获得一个随机数,根据这个数在吨位的理论分布中获得一个矿石量数据。如果吨位是服从对数分布,则先计算吨位的原始值计算次数+1。

(6) 将品位×矿石量 = 资源量,获得一个资源量。执行(4),进行下一次资源量模拟。如果完成一次矿点数的模拟,将以上的资源量求和,获得一个总的资源量。

(7) 完成一次资源量的模拟,将数据保存,并将资源总量设为 0,接着进行下一轮抽样模拟,执行(2)。

(8) 完成抽样模拟,对获得的所有研究区资源总量建立概率分布。

2.2.4 中国铜矿各类型的资源量预测

研究预测区和模型区的关系,通过类比建立预测区资源量的概率分布,用资源量概率分布估计预测区的资源量。通过抽样模拟出了资源量的分布密度 $p(M)$。相应可求出分布函数 $F(M)$,为了便于解释,可采用 $F'(M) = 1-F(M)$,它是单调递减函数。根据这条曲线,就可以估计到任何概率意义下的资源量。分布曲线 $F'(M)$直观地反映了资源的概率分布规律。不同概率模型所代表的意义也不相同,它可以是一个矿区、矿田、矿带的资源量分布模型,也可是一个特定研究区的资源量分布模型(图6)。

在前面各种类型的吨位品位研究基础和MARK3算法实现的基础上,进行全国铜矿的资源量预测,由于当前中国的铜矿主要是地表以下500 m 范围地矿床,计算矿床的资源量也是地表以下500M 以内的,根据国外研究成果以及美国地调局的 MARK3计算方法在本次的资源量模拟时采用地表下1000 m 为界限,推断地表以下500～1000 m 范围产出的矿床个数与地表以下500范围内的矿床个数相似,认为最大的矿床个数为当前发现的矿床个数的一倍,据此计算得到中国的各种类型的铜矿资源量。见表3。

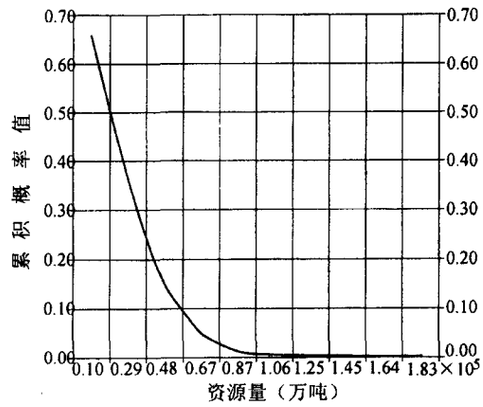

图 6　资源量概率分布

Fig. 6　The probability distribution of resource

表 3　各类型储量

Table 3　All types of copper resource

矿床类型	已有资源量	90%概率的资源量(万吨)	50%概率的资源量(万吨)
斑岩型	3161.7160	5686.263	29404.226
接触交代型	1758.428	4265.707	21961.546
岩浆型	410	369.618	1922.133
热液型	450	1180.738	6100.315
海相火山气液型	676	1336.706	6926.186
海相沉积型	519	1389.735	3777.74
陆相沉积型	171	280.759	1432.165
陆相火山气液型	148	128.148	641.261
受变质型	752.9	2007.690	10416.192
表生型	5.98	5.304	17.736
总量	8053.024	16650.67	82599.5

3　结论

(1) 中国十种矿床类型品位吨位统计特征表明沉积型(海相、陆相)铜矿服从正态分布,而与岩浆作用关系密切的类型服从对数正态分布,它们可以作为品位吨位定量评价的基础。

(2) 关于铜矿的品位吨位联合模型研究,国外学者得出了非常好的分形结果,如得到铜、汞、金矿相应的分维数分别为2.01、1.55和1.16。美国学者Harris(1984)研究了美国铀矿开采过程中平均品位与累积吨位之间的统计关系,得出了同样的结论,其分形关系相应的分维数为1.48。根据品位和吨位之间存在的这种分形关系,可以对某一国家或地区的

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

某一成因类型矿床的潜在资源量进行预测。但中国铜矿近斑岩铜矿的品位与吨位有某种统计分形特征，其他类型的铜矿都不相关[该结论与魏民等(2000)结论一致]；而且斑岩铜矿的分维值仅0.28。与国外差距较大，原因需进一步研究，可能与中国的矿产非市场化有关。

(3) 资源量评价程序过程的提出，起始于地质专家对评价区的了解。地质专家评价目前该地区的矿产类型，估计每种矿产的数据范围。未发现矿床的矿石的吨位和金属的品位被认为与该区已发现的相同类型矿床具有相似的分布，蒙特卡罗估计得出几个与地质解释相一致的评价和一些在该地区已经存在的已知矿床类型的特征。这些模拟评价可作为不同品位和大小的矿床可达到的金属量。而且还包括其他组分及品位。从而使得地质知识能够被经济学家或决策者用于做进一步的分析。

(4) 在对中国铜矿各类型品位吨位分布特征的研究基础上，结合 MRAS 系统完成的 MRAK3计算方法，计算中国各类型的铜矿资源，可以看出中国铜矿资源在90%的概率下，各类型的铜矿都是已发现的近两倍或者更多(除了岩浆型、陆相火山气液型和表生型)，如斑岩型铜矿资源量是已发现斑岩铜矿的179.85%，其中斑岩型和接触交代型占总资源量60%，是中国主要找矿类型与方向，根据计算结果也同时说明中国铜矿资源的潜力巨大。

致谢：论文得到了陈毓川院士、李裕伟研究员等的指导，在此表示谢意！

参 考 文 献

黄崇轲，白冶，朱裕生，王惠章，尚修治. 2001. 中国铜矿床. 北京：地质出版社.

李长江，麻士华，等. 2000. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN. 北京：地质出版社.

沈步明，沈远超，1993. 新疆某金矿的分维特征及其地质意义. 中国科学(B 辑)，23(3)：297～302.

王世称，陈永良，夏立显. 2000. 综合信息矿产预测理论与方法. 北京：科学出版社.

王喜生. 2000. 地质现象分形统计研究的某些进展和发展趋势. 地质论评，46(增)：355～357.

魏民，赵鹏大. 2000. 中国大型—超大型铜矿床品位—吨位模型. 地质论评，46(增)：123～125.

赵鹏大，胡旺亮，李紫金. 1983. 矿床统计预测. 北京：地质出版社.

References

Cargill S M, et al. 1980. Resource estimation from historical data: Mercury, a test case. Math. Geol., 12: 489～522.

Cheng Qiuming. 1999. Multifractality and spatial statistics. Computer & Geosciences, 25(9): 949～962.

Cox D P, Singer D A. 1986. Mineral deposits models. USMS Bull., 1693.

David H, Root W, David M, William A S. 1992. Computer Monte Carlo Simulation in Quantitative Resource Estimation. U. S. Geological Survey.

Harris D P. 1984. Mineral resource appraisal. Oxford University press.

Lasky S G. 1950. How tonnage and grade relation help predict pre reserves. Eng. Mining, 112: 249～251.

Mandelbrot B B. 1983. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: W H Freeman and Company, 468.

Singer D A, et al. 2001. Mineral deposit density—— an update. USGS Professionaal Paper, 1640-A, 13p.

Turcotte D L. 1992. Fractal and chaos in geology and geophysics. Cambrige University Press.

Wang Xisheng. 2000. Progress and trends in fractal statistics of geological phenonmena. Geological Review, 46 (Supp.): 355～357.

Wei Min, Zhao Pengda. 2000. Garde—tonnage model of large—superlarge copper deposits of China. Geological Review, 46 (Supp.): 123～125.

The Model of China's Copper Grade—Tonnage and the Resource Appraisal Technique

XIAO Keyan[1], LI Jingchao[2], CHEN Zhenghui[1], YAN Guangsheng[2]

1) *Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

2) *Development Research Center, China Geological Survey, Beijing*, 100083

Abstract

On the base of the national copper reserves data up to the end of 1999, the authors have studied the distribution characters of the copper grade—tonnage model of various metallogenic types and concluded that the porphyry copper deposits of China are characterized by a fractal distribution. Based on researches of the copper grade—tonnage model, the authors have integrated the MARK3 method to the Mineral Resource Appraisal System (MRAS), and calculated the various types of copper resource.

Key words: copper; grade—tonnage model; fractal distribution; MRAS; MARK3

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.