

中国铜矿资源潜力定量综合评价

Quantitative synthetic assessment of copper resource potential in China

朱鹏飞^{1,2}, 陈建平^{1,2}, 王功文^{1,2}, 吕 鹏^{1,2}, 曾 敏^{1,2}

(1 中国地质大学(北京), 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083;

2 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

ZHU PengFei^{1,2}, CHEN JianPing^{1,2}, WANG GongWen^{1,2}, LÜ Peng^{1,2} and ZENG Min^{1,2}

(1 Key Laboratory of Research and Exploration Information of Land Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083,

China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences,

Beijing 100083; China)

摘 要 文章应用地质异常成矿预测法、蒙特卡洛法和分形方法对中国铜矿资源潜力进行定量评价, 以此为基础与其它 5 种铜矿资源潜力评价方法的评价结果进行了综合对比分析。研究得出: 不同方法对中国铜矿资源潜力的评价结果总体符合正态分布, 因此, 多种评价方法所得结果的数学期望可以认为是更可靠的资源潜力评价。

关键词 铜矿资源; 资源评价; 定量

1 矿产资源定量预测方法

本文使用地质异常成矿预测方法、蒙特卡洛法、分形方法这 3 种资源量预测评价方法进行了全国铜矿资源潜力预测评价。

1.1 地质异常成矿预测方法

地质异常 (Geological anomaly) 是在成分、结构、构造或成因序次上与周围环境有着明显差异的地质体或地质体组合 (赵鹏大, 1998)。如果用数值 (或数值区间) 作为阈值来表示背景场的话, 凡超过或低于该阈值的场就构成地质异常。它具有一定的强度、空间范围和时间界限, 其表现形式不仅在物质成分、结构构造和成因序次上与周围环境不同, 而且还经常表现在地球物理场、地球化学场及遥感影像异常等的不同。因此, 地质异常往往都是综合异常。

地质异常成矿预测方法是在地质异常成矿理论的指导下, 使用地质异常的识别与圈定方法: 地壳升降系数 (G 值) 法、地质复杂系数法 (C 值)、熵值 (H 值) 法、相似程度法 (S 值)、地质关联度 (R 值) 法对预测单元内的地质、岩性、构造等信息进行提取分析, 并相应与地球物理、地球化学异常等信息构成预测单元的综合特征属性数据。在单元信息提取的基础上, 根据成矿规律、控矿主要因素、以及单元内已知矿床 (点) 等数据对预测单元进行分类分级, 采用相似类比的方法对具有类似特征的预测单元进行资源量预测。

1.2 蒙特卡洛法

蒙特卡洛方法也称统计试验方法 (王世称, 2000; 肖克炎, 2006), 是根据统计抽样理论, 对随机变量函数的概率分布进行模拟, 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率下的资源量。矿产资源在特定地质环境中的富集作用是一种随机事件, 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。资源量估算中的蒙特卡洛法, 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资源量进行估算。资源量 = Σ (矿点数 $\times$ 矿石量 $\times$ 品位)。矿石量、品位以及矿点数都有各自的随机分布, 通过统计抽样来模拟这些变量的随机分布, 就可以得到资源量, 与已知储量的差额即为潜在资源量。

1.3 分形方法

分形论借助于自相似性原理洞察隐藏于混乱现象中的精细结构,为人们从局部认识整体,从有限认识无限提供了新的方法论(李长江,1999)。目前,矿床储量规模预测最主要的手段是建立矿床储量规模分布的数学模型。由于矿床储量存在统计自相似性,因此可以应用概率统计方法建立了矿床储量规模的分形模型。同时,通过模型及其分维值的数理分析,用分维的线性最小二乘回归估计法,从而确定分维值。分维数是矿床储量规模分布的定量判据,利用其大小,可进行靶区优选以及有利控矿条件的确定;同时,对同一地区不同时期的分维值的比较,可动态分析矿床储量分布的变化规律(万丽,2005)。

通常情况下,随着尺度的改变,矿床的不均匀或无规则分布中呈现出一种规则性,即有矿单元对无矿单元的比率似乎保持一定,换言之,局部的矿床分布结构与整体的矿床分布结构是相似的。这意味着矿床的时间空间分布结构实际上具有随机康托集合的几何相似性。这是一种分形结构。可以用数盒子法将矿床的分形分布于概率联系起来。矿床的储量分布与矿床的时空分布一样,具有随机康托集合的几何特性。换言之,大小矿床之间存在着统计自相似结构。由此,可以进一步设想,从高异常点→矿化点→小型矿床→大型,超大型矿床的形成过程是成矿元素以某种方式进行逐级富集或不同规模富集的过程。如果这个过程具有标度不变性,就必然导致了矿床储量的分形分布,由此,我们可以利用矿床储量的分形模型对矿床的储量进行预测和评价。

2 对多种资源潜力评价方法结果的分析

2.1 评价结果综合分析

本文选用地质异常成矿预测法、蒙特卡洛法模拟法、分形方法对中国铜矿资源潜力进行了定量评价,评价结果分别是 12 746 万吨、20 653 万吨和 21 148 万吨。以此为基础与综合信息成矿预测方法、德尔菲法、面金属量法、地球化学块体法(严光生,2000)、勘查程度对比预测法(王全明,2005)的评价结果(表 1)进行了综合对比分析。

图 1 和图 2 是使用 MATLAB 的 normplot 函数画出的正态拟和图,对 8 种方法的评价结果数据进行分布检验。每个评价结果的值对应于图中的一个“+”号,其位置由数据点的值和经验概率共同决定,实线连接 25%和 75%百分位数,并代表稳健性线性拟合。如果所有的数据点都落在直线附近,则认为数据服从正态分布,若不服从,则“+”连成一条曲线。

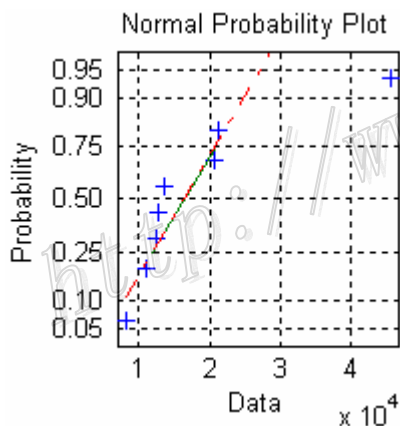


图 1 全部数据的正态拟合

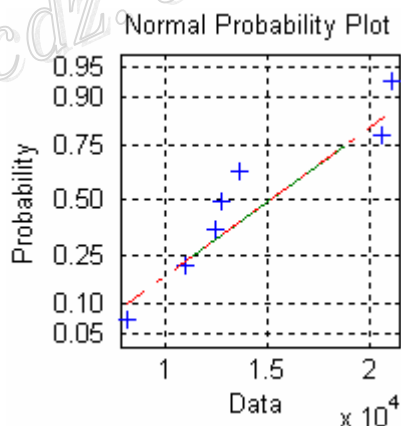


图 2 去除面金属量法评价结果后的正态拟合

由图 1 可以看出,面金属量法的评价结果明显偏离拟合直线,故可以认为面金属法的评价结果在 8 个评价结果中为异常值。图 2 中去掉面金属量的数据后,所有数据都在拟和直线附近,分布检验结果认为不同方法的预测结果成正态分布,期望为 14 254 万吨。

2.2 评价方法综合比较

首先,地质异常成矿预测法、综合信息成矿预测方法、地球化学块体法、勘查程度对比预测法,都是用含有已知储量的单元或研究程度较高的区域与较低预测区进行对比,预测得到结果相近。这些方法都使用了包括储量数据之外的多种数据,数据处理量多,对比全面,工作量大,评价结果相对稳定并接近综合评价结果值。如地质异常成矿预测法、综合信息矿产预测法,就需要对地物化遥等多种资料进行提取处理,分析成矿及相关的信息,确定主要变量指标,建立评价模型,外推到相似的地质构造环境和成矿环境的未知区,再计算预测矿产资源量。从其过程可以看出,整个预测不仅要理处和解释各方面的

表 1 不同铜矿资源潜力评价方法对比表

序号	评价方法	主要数据	处理方法要点	评价结果/万吨	结果评价	定位	概率	其他	备注
1	地质异常成因预测方法	地物化综合数据, 储量数据	提取单元内地质异常信息, 建立预测评价模型, 外推计算资源量	12 746	接近综合评价结果	可以圈定出资源潜力预测区	未给出	使用地质异常的理论指导信息提取, 信息提取挖掘充分	异常下限的确定至关重要
2	蒙特卡洛法	储量数据, 矿床成因分类	确定不同变量的随机分布, 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	20 653	稍高于综合评价结果	不可以	给出	应用范围较广, 模拟结果在经济决策领域受到普遍认可	方法成熟, 部分矿床类型下矿点少, 不能反映分布
3	分形	储量数据, 成矿区带	建立矿床储量规模分形模型, 确定分维值	21 148	稍高于综合评价结果	可以评价较有利的成矿区带	未给出	按成矿区带划分矿床(点)	方法新颖, 模型中的地质要素有限
4	综合信息成因预测方法	地物化综合数据, 储量数据	综合处理解译地物化遥感获得的有关信息, 建立综合信息定量评价模型, 外推到相似情况的未知地区	13 610	接近综合评价结果	可以圈定出资源潜力预测区	未给出	充分挖掘利用了与成矿相关的几乎所有信息	数据类型与精度, 决定预测结果
5	德尔菲法	储量数据	使用专家打分法确定矿(床)点数分布模型, 之后使用随机模拟计算总资源量	8 112	偏低	不可以	给出	专家打分法利用专家的检验, 引入了人为因素	结果偏小, 可能与此评价结果较为相关
6	面金属量法	地球化学数据	确定不同地区异常下限, 计算预测单元内异常的平均值, 计算次生富集系数即可得到计算结果	45 765	明显偏高	可以圈定出资源潜力预测区	未给出	评价结果偏高, 可能受的不同地区的异常影响	作为基本方法形成多种新方法
7	地球化学块体法	地球化学, 储量	圈定地球化学块体, 建立典型成矿区地球化学块体模型之后对其进行资源潜力预测和评价	11 008	接近综合评价结果	可以圈定出资源潜力预测区	未给出	在寻找大型, 超大型矿床方面有一定优势	方法新颖, 模型中的地质要素有限
8	勘查程度对比预测法	地球化学, 全国工作程度	建立高勘查程度模型区并确定预测系数, 低程度区利用预测系数确定资源量	12 498	接近综合评价结果	可以圈定出资源潜力预测区	未给出	给出了今后勘查部署工作量估计	预测结果取决于资料水平与积累
9	综合评价	以上8种方法	对8种方法的结果值进行分布拟和, 确定为正态拟合后以数学期望作为综合评价结果	14 254					

资料,还需要进行预测单元划分,信息提取及关联,变量选定和模型建立,以及结果计算和远景区的圈定等多方面工作。这些方法使用了多方面的数据资料,模型单元与未知预测单元进行了比较全面的对比。

蒙特卡洛法、德尔菲法、分形方法则以矿床(点)储量数据为主,借助数学工具进行分析(德尔菲法利用专家打分法确定矿点数的分布模型),部分使用了矿床成因类型和成矿区带等地质信息。这三种方法都是在自然科学和人文科学中广泛应用并为研究决策人员所普遍接受认可的评价方法,具有速度快,工作量相对较小,预测较为可信等特点。蒙特卡洛法和分形对全国铜矿资源预测评价的结果分别是 20 653 万吨和 21 148 万吨,这两种方法结果很接近,说明在使用相同矿床(点)储量时,这两种方法的预测评价结果差别不大。因此可以得出,这两种评价方法的评价结果更依赖与矿床(点)储量数据的可靠程度,使用同样的原始数据,评价结果应该相差不大。

德尔菲法虽然与上述两种方法都是主要借助了数学工具进行分析,但是在矿点数分布的确定时使用的方法是专家打分法,增加了人为因素。另外估计由于该评价结果得出时间较早,当时专家打分时受当时的铜矿勘查形势影响,打分相对保守,评价结果仅为 8 112 万吨。

3 结论及进一步研究方向

3.1 结论

(1)除面金属量法的评价预测结果外,其余 7 种方法的评价结果的总体分布呈正态分布,其数学期望 14 254 万吨,可以作为此次全国铜矿资源潜力综合评价结果。

(2)地质异常成矿预测法、综合信息矿产资源预测法、地球化学块体法、勘探程度对比预测法都可以做到对每个预测单元内数据的充分挖掘、分析、比较,研究全面。

(3)蒙特卡洛法、分形方法、德尔菲法具有需要数据少,速度快,评价相对可靠等优点,适合快速资源评价。

(4)不同方法都有对评价结果影响较大的影响因子,如地球化学块体法中异常下限的确定、德尔菲法中矿点数随机分布模型的确定都可能对评价结果产生较大的影响。面金属量法对铜矿资源量的预测值偏大,也可能与预测区异常下限高低的选取有关。

(5)目前中国还有很多资料空白的地区,如勘查程度对比预测法中对勘查程度评价的结果进行了分析,指出尚有 430 万平方千米的范围因为没有铜化探资料或没有矿化线索而没有预测。因此,可以预测,随着勘查工作的进一步展开,中国铜矿资源潜力应该能够取得进一步的较大提高。

3.2 有待展开进一步的研究

(1)本文仅对不同铜矿资源方法评价结果以及产生原因进行了初步探讨,并未进一步分析不同评价方法运算结果的主要影响因子及其影响程度。

(2)综合分析得到了全国铜矿资源潜力的总体评价,可以进一步开展区域矿产资源经济评价,如结合国内外等市场因素和矿产开发过程中的供给、交通、开采以及环境等因素的综合经济评价。

(3)进一步对全国铜矿资源潜力做出综合经济评价,可以为中国资源储备战略、勘探工作部署等提供更为实用的基础数据资料。

参 考 文 献

- 李长江,麻士华.1999.矿产勘查中的分形,混沌与 ANN.北京:地质出版社.
- 万丽,邓军,王庆飞,等.2005.矿床储量规模分布的分形模型及其分维的数理分析.华南地质与矿产,(3):35~37.
- 王全明.2005.中国铜矿勘查程度及资源潜力预测[博士学位论文].指导教师:赵鹏大.北京:中国地质大学.
- 王世称,陈永良,夏立显.2000.综合矿产信息矿产预测理论与方法.科学出版社.
- 肖克炎,王勇毅,陈郑辉,等.2006.中国矿产资源评价新技术与评价新模型.地质出版社.
- 严光生,王全明,连长云,等.2000.中国东部地区地球化学块体内矿产资源潜力预测报告.地质调查科研成果报告.
- 赵鹏大,王京贵,李浩昌,等.1998.中国地质异常与金、铀矿产资源预测.中国地质大学出版社.