

应用 MORPAS 系统证据权重法进行 多源信息成矿预测

——以澜沧江南段地区为例

刘 星, 胡光道

(中国地质大学数地遥感所, 武汉 430074)

[摘 要]在分析了成矿预测的特点并在对澜沧江南段铜多金属的成矿规律深入研究的基础上, 利用 MORPAS 系统抽取构造了来自地质异常场、成矿异常场和矿化异常场等多源信息的 16 个预测变量; 把研究区划分为 $2.5\text{ km} \times 2.5\text{ km}$ 大小的 1334 个统计单元, 利用证据权重法的数学模型对研究区铜多金属矿产进行预测; 圈定了 3 级成矿远景区; 研究表明证据权法用于成矿预测方法简单, 结果可靠性较高; 利用 MORPAS 系统进行成矿预测可以提高工作的效率和精确度。

[关键词]多源信息 成矿预测 MORPAS 系统 证据权重法

[中图分类号]P628 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2003)04-0065-04

现代成矿预测工作实际面临的是多种来源信息的处理及综合。如何应用地质理论专业知识和适当的数学方法, 从不同来源的数据中提取成矿有用信息, 并在对成矿条件及成矿规律认识的基础上建立矿床预测综合模型, 从而圈定不同级别的成矿远景区, 一直是地学界的工作热点。多源信息的提取和综合实质是求异和定量组合控矿理论的应用^[1], 通过运用计算机的手段, 采用一定的数学方法或模型, 对不同类型的数据进行处理和运算, 以获得新的能更好表达地质体赋存规律的综合变量^[2]。目前矿产资源预测与评价的工作在实践上大部分还是在基础 GIS 软件上进行, 借助 GIS 的功能, 实现数据库的管理, 空间查询和分析, 对多源信息以图层方式进行叠加分析, 但对于专门的矿产资源预测, 其功能还有很大的局限, 很难实现具体的预测模型, 不能很好地应用数学地质的方法, 限制了预测工作的精度和科学性。

MORPAS (mineral ore resources perspective and assessment system) 是中国地质大学数学地质遥感地质研究所开发的基于 MAPGIS 平台的矿产资源勘查评价及信息集成软件系统, 包含专用空间分析模型及数据仓库管理技术^[3]。在 MORPAS 空

间预测评价分析模块中, 实现了对来自地质异常场、成矿异常场、矿化异常场^[3]等多来源信息的提取构造和综合, 矿产资源综合预测模型实现了信息量预测法、证据权重法、聚类分析、神经网络法以及特征分析等多种算法, 为靶区圈定、资源量预测、评价分析^[1]提供了科学和自动化的手段。

本文以澜沧江南段为研究对象, 利用证据权重法对该区域铜多金属矿产进行多源信息预测。

1 数据准备及系统工作流程

研究所用数据包括用于提取地质异常场和成矿地质场以及矿化异常场的多来源数据: 1:50 万地质矿产图, 1:50 万地球化学数据, 1:50 万区域布格重力异常。在进行预测之前, 要把它们网格化为同样密度的数据。系统工作流程见图 1。

2 信息的提取及预测变量的构造

本次预测的目标矿种是以铜为主的多金属矿, 在对区域地质背景深入分析的基础上, 针对所需预测的矿种与地质背景的关系, 把本区域划分为 $2.5\text{ km} \times 2.5\text{ km}$ 的网格单元基础, 这样保证了一个网格中至多出现一个已知矿点^[6], 提取了以下信

[收稿日期]2002-11-12; [修订日期]2002-12-30; [责任编辑]余大良。

[基金项目]国土资源部科技项目(编号:20010305)资助。

[第一作者简介]刘 星(1974 年—), 男, 1996 年毕业于中国地质大学, 获学士学位, 现主要从事计算机图形图像技术开发、GIS 及其二次开发、遥感技术在地质中的应用以及煤、油气地质与勘探研究工作。

息作为预测变量:

1) 地质变量。地质变量从有利地层、构造、岩体、蚀变、组合特征和矿化 6 个方面提取。根据区域地质背景分析以及 GIS 空间分析,认为和铜多金属

矿床有关的有利地层为三叠系、老第三系、二叠系和寒武系,因此提取单元网格内上述每个地层的百分比作为预测变量。鉴于本区出露的火山岩比较单一,提取单元格内总体火山岩百分比作为一个变量。

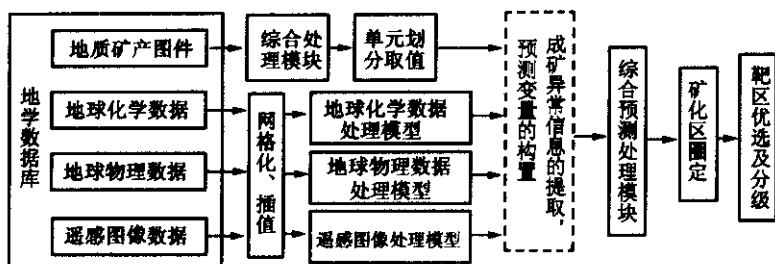


图 1 MORPAS 系统成矿预测工作流程

本区铜多金属矿田,从空间分析可知与构造关系密切,可以得知通常是沿断裂带发育,断裂带附近存在岩体时,则矿种趋于多样化。本区存在的断裂以东北向为主导,并存在小规模 NW 向剪切断裂和 NE 向的压扭断裂,这些断裂通常都是成矿的通道,据此构造断裂存在条数、断裂等密度、交点数作为参加预测的变量。

已知矿床(点)是指示矿床存在的最直接标志,也是其他标志变量的取值根据^[4]。如果单元格内存在矿床(点),则说明单元格里的其他变量对成矿的贡献大些,否则小些,这些信息对于需要先验模型的预测方法尤其重要,在无模型单元方法预测中也是重要的变量。

岩性组合是表明地质条件复杂度的一个参数,用于考查围岩蚀变组合特征与矿化的关系^[5]。本文构造并提取了单元格内的岩性组合熵,作为铜成矿有利度的一个预测变量。

由于本文所运用的预测模型是一种二值统计模型,我们提取的变量数值是连续的,因此必须确定一个有利的分割点作为异常的界限。实际操作中,地质变量的异常范围圈定要通过数据分析和专家经验进行界定,例如对于三叠系地层含量这个变量,无论我们划分的预测单元多大,都包含有不同时代地层,当三叠系地层含量很少时,其作用是可以不考虑的,通过数据分布直方图(统计变量取值有效的样品,即三叠系含量百分比大于 0 的所有网格单元),把样品总体右端的 70%~80% 作为有效样品,数据的异常界限就是分割样品的数据值。断裂和矿点取值是个数,使用原始数值。

2) 地化变量。化探信息对任何矿种来说都是一种直接找矿信息,其异常本身的特征在很大程度上

直接反映了矿产资源体的特征^[4],是找矿预测中一个重要变量。地化数据在进入综合模块之前,要确定其异常范围,本文采用 3×3 网格大小求取其衬度异常。同时对化探资料做因子分析,提取了 4 个因子变量,其中第一主因子 ($F1$) 由 Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti 和 V 组成,代表岩浆作用期活动的元素,因子 $F1$ 变量构成如下式: $F1 = 0.927\ 215\text{Co} + 0.851\ 125\text{Cr} + 0.774\ 663\ \text{Cu} + 0.735\ 584\text{Mn} + 0.848\ 726\text{Ni} + 0.874\ 282\text{Ti} + 0.912\ 298\text{V}$, 式中各元素的系数是原始数据第一特征向量值,预测除了使用化探变量 Cu, Pb 和 $F1$ 外,据文献^[5]的经验,还选取 Cu/Ni , $\text{Cu}/\text{Ni} \cap \text{Cu}$ (二值化后求交) 作为预测变量。

3) 物探变量。地球物理信息主要用于研究成矿区域地质背景的地球物理标志及深部地质特征、区域构造格架及其演化规律。重力异常的梯度带往往是隐伏岩体和深部地层的过渡区域,存在良好的热液通道和成矿层位。本区的断裂在上文已叙以 NE 向为主导,同时存在 NW 向剪性断裂带,本文提取了 135° 和 225° 两个方向的重力梯度,根据数值规律,取正负的高端异常值作为岩体与地层过渡带。总共提取的各类变量见表 1。

3 多源数据综合预测的证据权重法模型

证据权法是加拿大数学地质学家 Agterberg 提出的一种地学统计方法^[7],它采用基于 Bayes 统计分析模式,通过对一些与矿产形成相关的地学信息图层的加权叠加复合来进行矿产远景区的预测,其数学原理如下:

假设研究区被划分成为 T 个等大小的网格单元,其中有 D 个网格单元含有已知矿(床)点,上述提取的每个变量看作独立的证据因子(以下称证据

因子),对于任意一个证据因子,其对成矿贡献的权重定义为:

$$W^+ = \ln\{\frac{P(B/D)}{P(\bar{B}/D)}\}$$
$$W^- = \ln\{\frac{P(\bar{B}/D)}{P(B/D)}\}$$

式中, W^+ 、 W^- 分别为证据因子存在区和不存在区的权重值,如果原始数据缺失,那么权重值为 0;其中 B 为这个因子存在的网格单元总数, \bar{B} 为这种因子不存在的网格单元总数。

表 1 是利用证据权重法计算出的各个变量的 W^+ 和 W^- 值;对于 n 个证据因子,若他们都关于矿

表 1 澜沧江南段各成矿预测变量证据权重表

变量名称及含义	赋值的条件	W^+	W^-
Cu 元素浓度	3×3 衬度异常值,小于全区衬度平均值的置为 0	0.690	−0.095
Pb 元素浓度	3×3 衬度异常值,小于全区衬度平均值的置为 0	2.168	−0.634
F1 因子	3×3 衬度异常值,小于全区衬度平均值的置为 0	0.000	0.000
Cu/Ni	大于全区平均值保留原值,否则为 0	0.254	−14.397
Cu/Ni∩Cu	Cu/Ni,Cu 两个变量求逻辑与	0.690	−0.095
火山岩百分比	大于 5%保留原值,否则为 0	0.229	−0.040
三叠系地层百分比	大于 15%保留原值,否则为 0	−0.188	0.042
老第三系地层百分比	大于 10%保留原值,否则为 0	1.339	−0.138
二叠系地层百分比	大于 10%保留原值,否则为 0	0.196	−0.035
寒武系地层百分比	大于 15%保留原值,否则为 0	−11.958	0.020
地层组合熵	大于 20%保留原值,否则为 0	0.007	−0.014
断裂等密度	实际值	0.665	−15.169
断裂交点数	实际值	1.056	−0.123
断裂条数	实际值	0.665	−15.169
重力 135°梯度	−0.942 94~−0.356 62 和 0.425 14~1.011 46 为异常	−0.237	0.312
重力 225°梯度	−0.747 08~−0.201 54 和 0.525 84~1.071 37 为异常	−0.086	0.198

条件独立,研究区任一网格单元 k 为矿点的可能性,用后验几率对数表示为:

$$\ln\{O(D/B_1^k B_2^k \dots B_n^k)\} = \sum_{j=1}^n w_j^k + \ln O(D)$$
$$(j = 1, 2, 3 \dots n)$$
$$w_j^k = \begin{cases} w^+ & \text{证据因子存在时的权重} \\ w^- & \text{证据因子不存在时的权重} \\ 0 & \text{数据缺失时的权重} \end{cases}$$

则根据公式,后验概率为:

$$P = O/(1 + O)$$

后验概率 P 代表了个单元内找矿的有利度,根据后验概率提出找矿远景区。

控矿地质因素与矿床产出状态之间的关联性强弱,可以通过正负权的差值大小来度量,即:

$$C_j = W_j^+ + W_j^-$$

C_j 值大表示该地质标志的找矿指示性好, C_j 值小表示该找矿标志的找矿指示性差,若 $C_j = 0$,表示该找矿标志对有矿与无矿无指示意义; $C_j > 0$ 表示该找矿标志的出现有利于成矿, $C_j < 0$ 表示该找矿标志的出现不利于成矿。

4 成矿远景区圈定

证据权重法预测模型是根据已知矿床(点)与各种控矿成矿条件之间的条件概率来确定每种条件的权重值,然后推广到全区,其原理简单而且易于实现,既可以对多金属矿床进行预测,也可以多特定成因矿种进行综合预测。利用该模型计算得到包括已知矿床点在内的 1334 个后验概率等值线如图 2,根据结果分析,把后验概率大于 0.161 63 的预测单元作为Ⅰ级远景区,共有 122 个,大于 0.080 82 的预测单元作为Ⅱ级远景区,共有 37 个,大于 0.016 16 的预测单元作为Ⅲ远景区共有 19 个单元。

3 个已知矿点有 1 个落在Ⅰ级远景区,1 个在Ⅰ级远景区高值边界,1 个落在Ⅲ级远景区,表明结果比较理想。

远景区结果在图幅的中部和南部与地化异常吻合较好,但与北部有一定差异。经认真分析物探资料、化探资料以及地质资料,在北部远景区有良好的火山岩体,底部附近是重力梯度带,本地区岩性组合丰富,是断裂密集和交叉密集的地区,有良好的找矿

远景。也证明利用证据权重法预测的结果是一种信息的综合载体,更能表现矿产分布的总体能力。

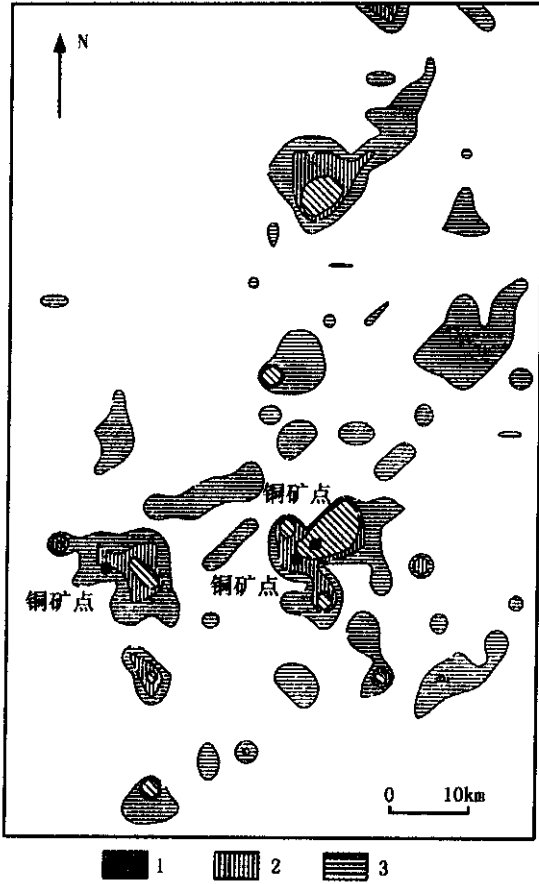


图2 澜沧江地区多源信息成矿定量预测图
1—Ⅰ级远景区;2—Ⅱ级远景区;3—Ⅲ级远景区

5 结论

基于地质成矿理论的多源信息定量预测的MORPAS系统将计算机技术与地质专业知识结合,

改变了过去单纯依靠研究人员的经验对各种资料进行综合分析找矿的方法,提高了成矿预测的自动化程度。通过建立数学模型,挖掘了多源数据的潜在信息,大大提高了数据的综合利用程度,提高了矿产预测的智能化程度,可以节省预测工作中大量的人力和物力。具有广泛推广的应用价值。

通过应用 MORPAS 系统证据权法对澜沧江南段进行多源信息综合预测,进一步揭示了本区以铜多金属为主的矿产分布规律及区域地质构造格局。研究表明矿产的分布受很多因素控制,断裂是控制矿产发育的主导因素,但只有层、相、位各种因素组合达到最佳,矿产才可能存在。多源信息综合找矿方法对于寻找盲区矿产有重要指导意义。从结果分析来看,综合预测的结果比较合理可靠,充分说明了本系统的精确性和可靠性。

[参考文献]

- [1] 胡光道. 陕西勉略宁地区成矿预测研究工作方法及思路[J]. 地球科学, 1999, 14(增刊): 29~34.
- [2] 苏红旗, 葛艳, 刘冬林, 等. 基于GIS的证据权重法矿产预测系统(EWM)[J]. 地质与勘探, 1999, 15(1): 44~46.
- [3] 胡光道, 陈建国. 金属矿产资源评价分析系统设计[J]. 地质科技情报, 1998, 17(1): 45~49.
- [4] 廖崇高. 兰坪盆地成矿预测中的多源信息定量分析[J]. 矿床地质, 2001, 20(3): 292~295.
- [5] 赵鹏大. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [6] 陈永良, 刘大有. 一种基于GIS的矿产资源潜力评价的自动制图模型[J]. 2002, 48(3): 324~329.
- [7] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. Statistical Pattern Integration for Mineral Exploration[A]. In: Gaal G, Merriam D F eds. Computer Applications for Mineral Exploration in Resource Exploration, Oxford: Pergamon Press[C]. 1990, 1~21.

APPLYING EVIDENCE WEIGHT MODEL OF MORPAS SYSTEM TO PROCESS MULTI-SOURCE INFORMATION FOR PREDICTING MINERALS RESOURCES ——EXAMPLE FROM THE SOUTHERN LANCANGJIANG AREA

LIU xing, HU Guang-dao

(Institute of Mathematic & Remote Sensing Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract Cu-polymetallic mineralizing regulars in the southern Lancangjiang area are discussed. After analyzed characters of minerals predication, 16 variables from multi-source information such as geological abnormality field, ore-forming abnormality field and mineralization abnormality field are abstracted and constructed by the MORPAS system. The research area has been divided into 1334 units with 2.5 km×2.5 km for each unit. Copper polymetallic potential is calculated by evidence weight model, and 3 levels targets care selected. The research has shown that the evidence weight model is easy to realize and has reliable results. The MORPAS system is helpful to increase efficiency and accuracy of mineralizing predication.

Key words multi-source information, mineralization predication, MORPAS system, evidence weight model