伏牛山矿区外围多信息多方法综合成矿预测

杨克礼

（华东有色地质勘探公司814队）

在总结整理物化探资料的基础上、统计挑选物化探变量，归纳出地质标志变量。应用逻辑信息法、模式识别、数量化理论Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ等数理统计方法进行成矿预测，最后用各种方法的预测结果进行综合预测。通过地质验证，获得了较好的地质效果。

在成矿统计预测中，根据已知矿床控矿条件复杂的特点，使用多种预测方法是减小单一方法预测结果的风险，提高预测可信度的好办法。目前，进行多信息、多方法的大比例尺综合成矿预测尚处于试验阶段。我们在总结归纳伏牛山矿区地质、化探、物探以及汞气测量等多种资料的基础上，应用逻辑信息法、模式识别、数量化理论等多种数学地质方法，对该矿区外围进行了万分之一综合成矿统计预测，取得了较好的效果。

预测区概况和变量选取

（一）地质概况 工作区位于淮阳山字型构造前弧东翼之宁镇反射弧顶内缘的西端。受印支—燕山期近东西向强烈的水平挤压作用，本区发生了规模不等的褶皱、断裂，并伴有岩浆活动。区内矿产严格受断层、石炭—二叠纪地层和岩体接触带控制，矿体产出部位围岩蚀变明显。已知矿体和矿化点都处于磁法和激电异常正值场的中低值—高值的过渡带上，且有明显的化探和汞量异常。矿产类型为夕卡岩型和热液交代型铁铜多金属矿床，成矿作用与燕山期岩浆活动有直接关系。

（二）预测区单元划分 矿产统计预测必须在统一的预测单元上进行，以便于对地质标志进行统一的观察，建立可供对比的基础。

兼顾到《统计预测试行规范》的要求和工作区的具体情况，将预测区按0.5×0.5公里划分为133个等面积的预测单元——窗口，并顺序编号。区内已知控制单元包括以下四种类型：

1.*已知矿体单元* 已探明有较大工业矿体，如南山矿段（113号）、青龙凹矿段（78号）。

2.*有矿单元* 有工业矿体的延伸部分或有较小的工业矿体，如112号、77号。

3.*矿点单元* 单元内有矿化体或矿化点分布，但不够工业开采规模，如60号和103号单元。

4.*无矿单元* 经验证或经地质、物化探工作分析，基本确定为无矿的单元，如8号、30号等。

在进行定性预测时，只把各单元划分为有矿单元和无矿单元两种类型。通常，将前三类已知单元都归并到有矿（有望）单元一类。

（三）变量的选取 选择变量的过程，实际上是对工作区的地质研究工作提高和深化的过程。为使所选择的变量在预测计算中能够充分模拟控矿因素和成矿因子的贡献，我们对现有地质资料进行了统计分析研究。

首先，对化探原生晕分析的14个元素进行了相关分析，与Cu相关较密切的元素有Zn、Ag、Mo、Pb，而区内已知矿体或矿化点上部都无例外地出现Zn、Ag、Mo、Cu综合异常。据此，把各单元内相应元素的剩余面金属量（单元内异常均值减去其背景值，再乘以异常面积）STZn、STAg、STMo和STCu作为寻找铜及多金属矿的重要标志；Pb则选其平均值Pb$\bar{x}$和单元内的变异系数PbCV（即$\delta_{n-1}/\bar{x}$）为Pb作用的标志。

该区一般测汞资料圈定的异常，既反映矿体和构造的存在，也有洪积扇的干扰，且从数值上很难把它们区分开。但是，单元内Hg^0的方差值大于7时反映已知矿体，可作为预测的最佳指标。

现有资料表明，伏牛山地区的铜矿体与磁铁矿共

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生，产于接触带内侧，埋深较浅。低值正磁场反映矿化蚀变带，已知矿体和绝大部分矿化体位于正值场的中低值—高值的过渡带上，是本区的找矿标志之一。据统计，预测窗口内ΔZ的平均值$\Delta Z\bar{x}>400\gamma$或变异系数$\Delta ZCV=90\sim130$.能圈定区内大部分已知矿体和矿点；电阻率的平均值$\rho_s\bar{x}=15\sim30$和变异系数$\rho_sCV=0.23\sim0.25$是反映矿体（矿点）的最佳值范围。

根据区内主要矿体为夕卡岩型，围岩蚀变明显，成矿严格受构造断裂、地层、岩体控制等特征，选择了一些地质标志作为统计预测的变量，用“0”或“1”两个类目表示，即当某标志在某窗口出现时取1.未出现时取0。

为保证预测结果的准确性，对初选的变量要进行筛选，逐个计算其找矿的“后验概率”，当后验概率值<0.1时，该变量被剔除。经筛选、整理和组合以后，再次入选的变量就是我们进行统计预测所用的变量（表1）。

统计预测变量表　　表1

序号	变　量	说　明
1	STZn	Zn的剩余面金属量
2	STAg	Ag的剩余面金属量
3	STMo	Mo的剩余面金属量
4	STCu	Cu的剩余面金属量
5	$\gamma\delta\pi$	花岗闪长斑岩的出现
6	$P_2l+(P_1q/P_1g)$	栖霞或孤峰组逆掩于龙潭组之上
7	D_3w+C_2h	五通组逆掩于黄龙组之上
8	P_1g	有利于成矿的地层出现
9	C_2h/C_1g	有利于成矿的地层出现
10	$D_3w\ S_2\ _3f$	有利于成矿的盖层条件出现
11	F_2'/F_4'	赋矿构造存在
12	Py/THFe	黄铁矿化或铁帽（因区内所有黄铁矿化或铁帽样品Cu含量都很高）
13	SK/Cp/蓝铜矿化/孔雀石	有矿化标志夕卡岩化或黄铜矿化或蓝铜矿化或孔雀石出现
14	$\gamma\delta\pi+(P_1q\ C_2h)$	有利于矿化的岩体与地层同时出现
15	$Pb\bar{x}$	窗口内Pb元素含量的平均值
16	$PbCV=\delta_{Pb}/\bar{x}$	窗口内Pb元素含量的变异系数
17	$\Delta Z\bar{x}$	窗口内磁异常平均值
18	ΔZCV	窗口内磁异常变异系数
19	$\rho_s\bar{x}$	窗口内电法视电阻率平均值
20	ρ_sCV	窗口内电法视电阻率变异系数
21	Hg^0	测汞异常值

预测方法简述

（一）逻辑信息法　逻辑信息法是近几年推广使用较广泛的一种方法。其特点是：充分利用地质工作者的经验，从地质模型的研究结果出发（而不是从数据模型出发），由定性资料得到定量预测结果。

首先确定伏牛山地区各级矿体的代表单元。大矿（含较大矿体）单元：113号，78号；中矿单元：96号，112号；小矿（矿点、矿化体）单元：60号，85号；无矿单元：1号，87号。然后将上述单元按矿体从大到小的顺序输入，定量变量按最佳区间转换成定性变量（最佳区间值为1，反之为0）。在计算“标志分权总量”、对比各变量的分权总量与矿床变化规模一致性之后，计算机挑选出STZn、STAg、STMo、STCu、$Pb\bar{x}$、$PbCV$、$\Delta Z\bar{x}$、ρ_sCV、Hg^0、$\gamma\delta\pi$、F_2' F_4'、Py/THFe、SK/Cp/蓝铜矿化/孔雀石13个变量作为区分各类矿床的重要变量。从以上变量可以看出：

1.所选定的11个物化探统计预测变量中，有9个被列为重要变量，说明区内物化探资料对矿体的反映可信度高，干扰少。在找矿中应重点发拙物化探信息。

2.选入的4个地质变量有$\gamma\delta\pi$、F_2' F_4'、Py THFe、SK/Cp/蓝铜矿化/孔雀石，说明伏牛山铜矿是与岩浆岩、构造、地层密切相关，并具有特定矿化和蚀变标志，这与地质上的结论是一致的。

根据各重要变量的“标志分权重量”对已知类型的单元进行试算，其结果是具有非常理想的阶状曲线（图1）。各类型矿床之间分类明显，说明所选各类型的单元代表是理想的，由其组建的预测模型具有很高的分辨度。

表2列出各重要变量的信息标志权$\hat{P}$（0）和分权绝对差$\hat{R}$（0），因12、15、16号重要变量的作用被其他变量代替，故未列出。

经计算，确定出各预测单元所属类型的预测判定值。大矿单元：<0.45；中矿单元：0.45～0.9；小矿单元：0.9～1.8；无矿单元：>1.8。根据以上判定值所得的预测结果见图2（在后面）。

（二）模式识别　模式识别方法是由中科院硅酸盐所陈念贻研究员首先推广使用的，是一种解决多因子判别分类的有效方法，并已成功地应用于科研和生产的许多领域，非参数模式识别法适用于混型变量

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

重要变量的信息标志权和分权绝对差　　表 2

变量号	1	2	3	20	4	5	11	13	17	21
$\hat{P}$ (0)	0.691	0.707	0.286	0.286	0.062	0.071	0.214	0.214	0.214	0.251
$\hat{R}$ (0)	0.589	0.629	0.286	0.286	0.053	0.071	0.214	0.214	0.214	0.214

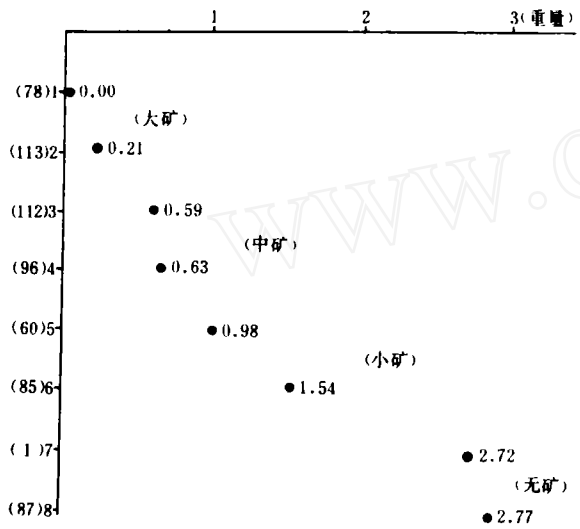

图 1　已知类型标志分权计算结果图

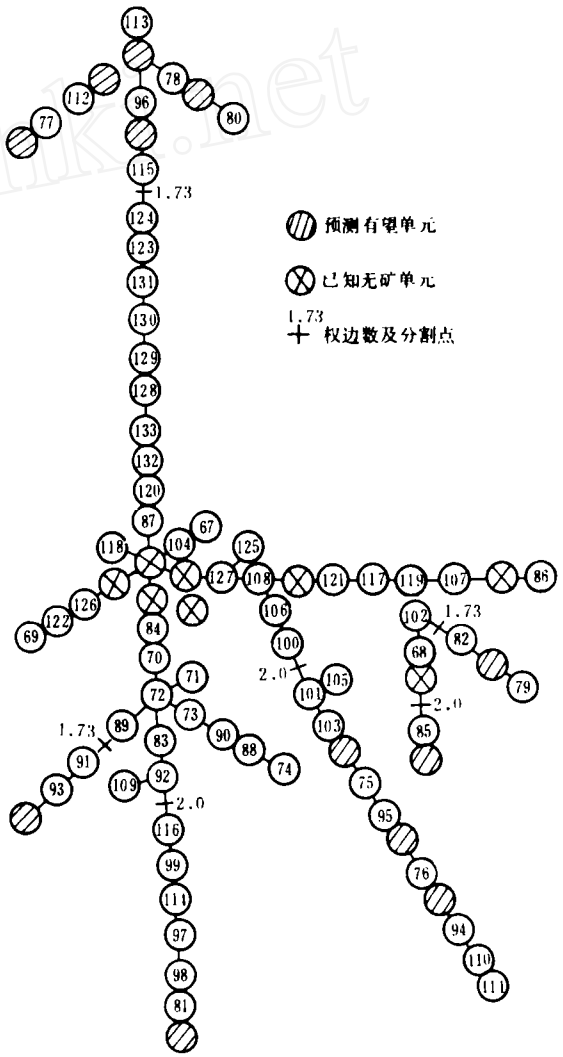

图 3　最小生成树枝状图

（即包括定性变量、定量变量）的计算。成矿统计预测实际上是一种多信息的判别分类问题，它包括由各种模糊概念、模糊认识和经验所总结出来的信息和大量严格测定的数据。利用模式识别方法来解决成矿统计预测问题，是一次初步尝试。下面分别介绍其中三种方法的应用效果。

1.最小生成树法：最小生成树属于一种聚类分析方法，在模式空间中，它是通过寻找一棵最小生成树来实现分类的。先计算样品间的欧式距离，再根据两两样品间的最小距离，连成一最小生成树，这样就可根据权边的大小来分割此树，达到分类的目的。

限于微机的容量，所有样品是分两次计算的。图3是根据其中一次计算结果作出的枝状图。经整理，得到如图4所示的预测结果。

最小生成树法所获分类枝状图直观，一目了然，方法简便，是一种适用于地质分类的有效方法。

2.共享近邻法：共享近邻法是模式识别中一种较简单的方法，它是根据点与点之间的联系来实现分类的，主要靠 k_1 和 k_2 两个阀值来调节相似性尺度。其中，k_1 是近邻数，即进行分类所选定的近邻个数；k_2 是共享近邻数，即分为同一类必须满足的共享近邻个数。试算结果表明，当 $k_1=7$、$k_2=1$ 时，分类效果最好，对已知单元分类正确，预测单元归类集中，不出现零散的新类，图5是用该方法统计预测的结果。该方法简单、快速，用于成矿统计预测便捷。

3.Fisher意义下的广义分层判别：与普通的判别分析相比，Fisher判别法可对混型数据进行计算，且

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

更适合于地质分析。普通Fisher方法的基本思想是在M维模式空间中寻找一个最佳的超平面作判别面，使两类点尽可能被分隔在超平面的两边，由于样本点集在空间分布复杂，边界面弯曲甚至模糊，不能用超平面简单地分隔两个子空间，导致错误率增大。模式识别中的Fisher方法为了减少误判率，将超平面改进为二次超曲面，计算上采取按三层判别的方式，从而明显地改善了判别效果。Fisher判别主要进行二类判别。图6是利用Fisher意义下广义分层判别分析得到的预测结果。

（三）数量化理论 数量化理论是多元分析的一个分支，方法首见于林知已夫（日）的著作。该方法通用于定量数据、定性数据，可以尽可能多地采纳地质信息，因而比其他多元统计方法更接近于地质实际。本次工作选用数量化理论Ⅰ，Ⅱ，Ⅳ进行了预测。

1.数量化理论Ⅰ：数量化理论Ⅰ相当于回归分析。它先从已知模型出发建立回归方程，再对未知单元进行预测。与普通回归分析相比，该方法对所提供的同一已知模型要建立三个回归方程。每个预测单元通过三个回归方程的计算结果，分别得到该单元的含矿概率（y_1）、矿化概率（y_2）和无矿概率（y_3），对比y_1、y_2、y_3三个值的大小，就可判断该预测单元的属类。

由22个已知单元组成的模型，计算后得到的三组回归系数见表3。

用回归方程对已知单元进行回判验证，误差率分别为$\gamma_1=0.000111125$，$\gamma_2=0.00011113$，$\gamma_3=0$。这表明，各类已知单元无一个判错，亦说明各类已知单元具有很强的代表性。预测结果见图7。

2.数量化理论Ⅱ：数量化理论Ⅱ类似于判别分析。它是从数据变换理论入手，采取特殊的方式处理不满秩的组间离差矩阵和总离差矩阵，适合于处理地质研究中的构造、地层、岩浆岩等判断信息。它首先根据已识样本建立判别模型，然后进行回判，证明建立的判别模型确实很好时，再对未知样品进行归类预测。

数量化理论Ⅱ可进行多类判别。根据已知模型所建立的二维判别方程如下：

$$y_1=0.5\times x_{12}$$

$$y_2=0.126x_1+0.193x_2+0.451x_3+0.269x_4+0.059x_5+0.114x_{11}+0.9x_{12}+0.027x_{13}+0.175x_{15}+0.256x_{16}+0.154x_{17}+0.428x_{20}+0.143x_{21}$$

回归系数表　　表3

变量	B_1（y_1）	B_2（y_2）	B_3（y_3）
常系数	4.8037	-3.5	-0.1630
x_1	0.0035	-0.0035	0
x_2	-0.2848	0.2848	0
x_3	0.2829	-0.2829	0
x_4	0.0664	-0.0664	0
x_{15}	0.3497	-0.3497	0
x_{18}	-1.0922	1.0922	0
x_5	-0.5277（0） 0.6406（1）	-0.2555（0） -1.4238（1）	0.0761
x_8	-1.911（0） -1.9688（1）	2.3759（0） 2.4336（1）	0.0429
x_{10}	-1.8467（0） -1.793（1）	1.4387（0） 1.385（1）	0.1223 0.1223
x_{11}	0.0193（0） -0.0703（1）	-0.031（0） 0.0585（1）	-0.1055
x_{12}	0.0939（0） 0.3594（1）	-0.8362（0） -0.1016（1）	1.0186（0） 0.0185（1）
x_{13}	-2.5214（0） -1.0234（1）	2.7055（0） 1.2075（1）	0.0068
x_{17}	2.0433（0） 0.6172（1）	-1.1722（0） 0.2539（1）	-0.00185
x_{20}	0.0101（0） -0.0234（1）	-0.3266（0） -0.293（1）	-0.0566
x_{21}	0.0402（0） -0.6725（1）	-0.6026（0） 0.1101（1）	0.0768

在以y_1、y_2为坐标的二维分类图上，三类样品的分类明显，三个中心成等三角形（图略）。对已知模型的回判检验（表4）表明，正确率为100%。数量化理论Ⅱ的预测结果见图8。

已知模型回判检验表　　表4

判归类型	属类型		
	有矿	矿化	无矿
有矿	6	0	0
矿化	0	6	0
无矿	0	0	10
判归各类型的单元统计（含已知）	22	18	93

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.数量化理论Ⅳ：数量化理论Ⅳ是对样品进行聚类的一种方法。其基本思想是：先对样品之间的相似性定义一种亲近度 e_{ij}，要求亲近度越大时，两样品间的距离越小。然后根据 e_{ij} 对每一个样品合理地给定一个空间位置，使之能很好地反映样品间的亲疏关系，从而对样品进行准确分类。

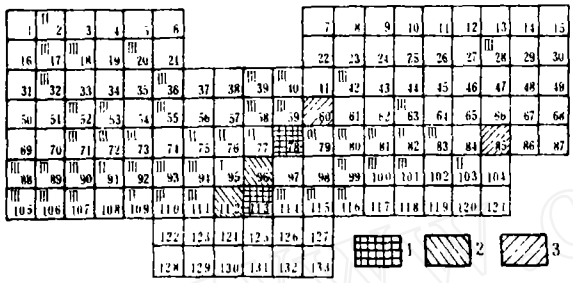

图 2　逻辑信息法预测结果图
Ⅰ—预测大矿；Ⅱ—预测中小矿；Ⅲ—预测矿点；
1—已知大矿；2—已知中小矿；3—已知矿点

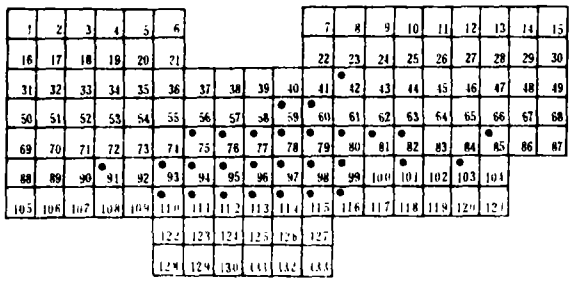

图 4　最小生成树预测结果图
有点者为预测有望单元（含已知回判单元）

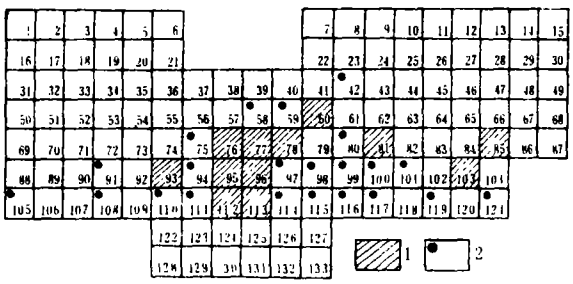

图 5　共享近邻法预测结果图
1—已知有矿；2—预测有矿

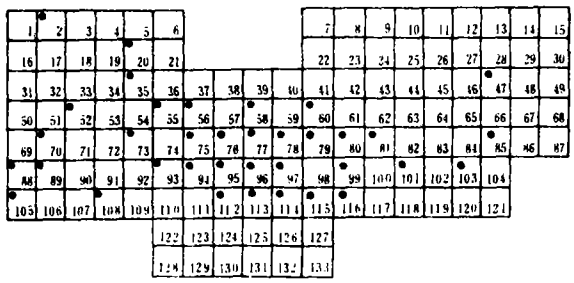

图 6　Fisher判别分析预测结果图
有点者为预测有望单元（含已知回判单元）

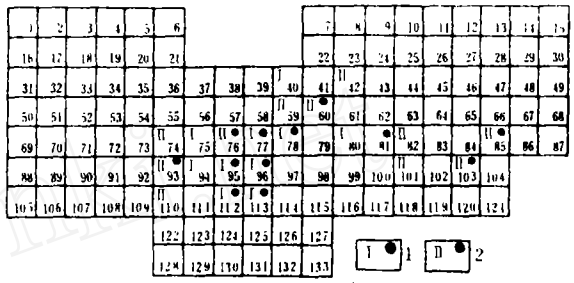

图 7　数量化Ⅰ预测结果图
Ⅰ—预测有矿；Ⅱ—预测矿化；
1—已知有矿；2—已知矿化

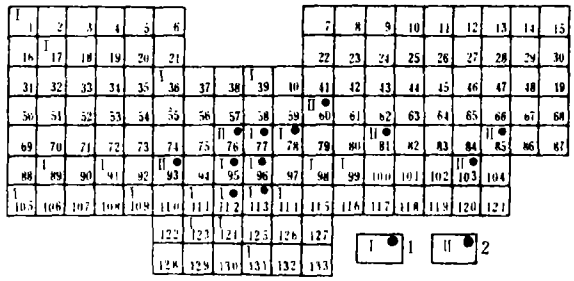

图 8　数量化Ⅱ预测结果图
Ⅰ—预测有矿；Ⅱ—预测矿化；1—已知有矿；2—已知矿化

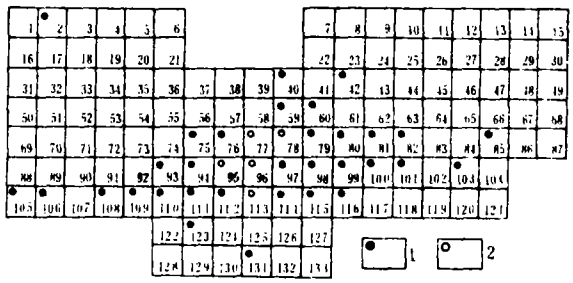

图 9　数量化Ⅳ预测结果图
1—预测有望单元；2—已知有矿单元

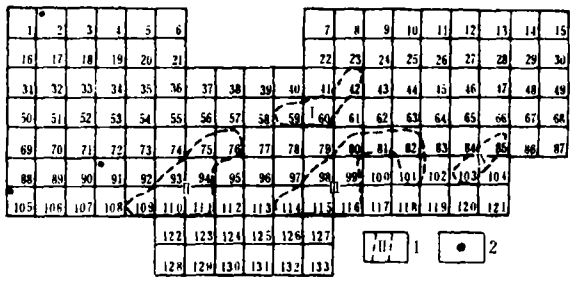

图10　综合预测结果图
1—异常区；2—异常单元

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

各因子的样品得分平面图（本文略）均能很好地区分有矿（望）与无矿单元，并以无矿单元丛聚性很强为特点。根据样品得分平面图所得预测结果见图9。

综 合 预 测

通过上述各种方法的计算，得到了各种方法的预测结果。由于每一种方法都有一定的局限性，因此都可能产生偏差。进行综合预测的目的，就是把这些结果综合在一起，互相压制，克服弱点，表现出这些方法的共性，得到比较客观、准确的预测结果。

（一）单元预测综合 综合评价各单元的远景类型，是采取按方法分类型加权，然后各单元累积的方法。各种方法类型的加权值分配见表5。

各种方法类型的加权值分配 表5

项 目	类 型	加权值
逻辑信息法	1（大矿）	3
	2（中矿）	2
	3（矿化）	1
模式识别	共享近邻	1
	最小生成树	1
	Fisher	1
数量化Ⅰ	有 矿	2
	矿 化	1
数量化Ⅱ	有 矿	2
	矿 化	1
数量化Ⅳ	有 望	1

各单元的累积权数≥5为有望单元，≥9为最有望单元。综合结果共得到有望单元24个。可划为4个有望区和3个单元（图10）。

（二）预测综述

1.有望单元集中于工作区南部，说明矿体（已知及预测）的生成与地层密切相关，因南部地层较老，表明盖层条件（S_2、D_3）对于成矿至关重要。

2.在工作区东西方向，有望单元集中于中部，大体与岩体位置相当，散布东西两侧的少数有望单元又多在F_2'、F_4'断层附近，说明接触带及断层仍然是找矿的最有利位置。

因此，伏牛山矿区外围进一步的找矿出路仍在于与岩体、构造有关的特定地层序列中。

3.预测结果没有出现大型矿体的判定结果（亦即未出现最有望单元），说明工作区内不大可能再出现南山矿段那样大规模的矿体，但规模较小的矿体是可能存在的。

4.预测的4个有望区，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号经预测同期的钻探验证，已获得不同规模和含量的矿量。Ⅳ号异常经检查，为地面矿化点和蚀变点所引起。2号单元为安基山铜矿南延部分：91号和105号单元地表有一定矿化和蚀变，同时，磁异常、Hg^0异常亦较高，有待进一步验证。

由于时间和条件所限，我们的工作还很粗糙，存在许多缺点和不足之处，请同行们指正。

A Synthetic Metallogenetic Prognosis Using Different Mathematical Statistical Methods in the Peripheral Region of the Funiushan Mine

Yang Keli

(No.814 Party, East China Exploration Co., China National Nonferrous Metals Industry Corporation)

Abstract

From the processed geophysical and geochemical data some parameters are selected and from a detail geological study some indicators are summed up. Using these parameters and indicators as varables metallogenetic prognosis is made respectively by means of different methods, including pattern recognition, logical information processing, quantization theory I, II and IV, and other mathematical statistics methods. Finally, a synthetical metallogenic prognosis result from those initial prognsis results of different methods is obtained. The described technique has been successfully applied to the metallogenic prognosis at the peripheral area of the Funiushan mining district, and proved to be effective by geological tests.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net