文章编号: 1004-0609(2012)03-0880-09

# 铜陵天马山及其外围地区矿床空间信息找矿模型

疏志明<sup>1,2</sup>,杨 斌<sup>1,2</sup>,王雄军<sup>1,2</sup>,叶 珂<sup>1,2</sup>,梁恩云<sup>1,2</sup>,刘庚寅<sup>1,2</sup>

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室,长沙 410083;2. 中南大学 地球科学与信息物理学院,长沙 410083)

**摘 要:**基于 GIS 技术,对铜陵天马山及其外围约 100 km<sup>2</sup>区域进行数字矿床空间信息找矿预测模型的研究。通 过工作区信息统计单元的划分、预测区地质信息(包括构造、地层、岩浆岩、地表矿化以及遥感混合蚀变信息等) 变量的确定以及编码和赋值,采用特征分析法确定空间网格单元成矿异常有利度模型,根据预测单元计算结果, 结合地质分析,圈定找矿靶区 14 处。

关键词:找矿预测;信息统计;特征分析;天马山及其外围地区;铜陵 中图分类号:P624 文献标志码:A

# Ore prediction model for spatial information of deposits in Tianmashan and its periphery area, Tongling

SHU Zhi-ming<sup>1, 2</sup>, YANG Bin<sup>1, 2</sup>, WANG Xiong-jun<sup>1, 2</sup>, YE Ke<sup>1, 2</sup>, LIANG En-yun<sup>1, 2</sup>, LIU Geng-yin<sup>1, 2</sup>

 Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Based on geographic information system (GIS), the model of space information related with ore prediction in Tianmashan and its periphery area, Tongling of 100 km<sup>2</sup> was studied. According to the division of information statistics units, the determination of geological information variables which consist of structure, strata, magmatic rocks, mineralization and remote sensing alteration information etc., along with coding and assignment, the method of signature analysis was adopted to ensure the mineralized anomalies favorability model of the space information grid units. Combined with geological analysis, 14 prospecting targets were delineated.

Key words: ore prediction; information statistics; signature analysis; Tianmashan and its periphery area; Tongling

矿产资源定量预测是在对矿床与地质条件之间的 关系进行分析的基础上实施的,借用地质单元将矿床 与地质信息联系起来建立预测模型,得以对已知和潜 在矿床及其相应的资源量作出预测及评价<sup>[1]</sup>。20世纪 80年代以来,赵鹏大和陈永清<sup>[2]</sup>认为"在传统的矿床 统计分析方法中,须用样本的观测结果来描述总体特 征和确定远景区"。因此,定量预测首先应保证抽样 的随机性,还要保证样品的代表性。为此,通常选择 一定大小的网格将整个研究区划分为面积相等、形状 相同的"单元"。由于"单元"犹如地质取样中的样 品,用作统一预测和取值范围的基本单位,同时也是 进行成矿远景计算、比较、评价的基本单位,因此, 单元的大小和形状对预测效果有很大的影响<sup>[3-7]</sup>。本 文作者根据空间信息单元化定位预测方法,采用特征 分析方法开展铜陵天马山及其外围地区成矿条件及找 矿预测研究,对地质、地球物理、地球化学、遥感等

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2006BAB01B07);国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB416608)

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-02-11

通信作者:杨 斌,高级工程师,博士;电话: 0731-88836469; E-mail: 903755562@qq.com

881

多源信息进行有机综合,建立矿床空间信息模型,为 找矿靶区优选提供依据。

# 1 矿区地质概况

本文研究范围包括天马山矿区及其外围约 100

km<sup>2</sup>区域(见图 1)。区内主要出露志留系、泥盆系、石 炭系、二叠系、三叠系及第四系地层,其中石炭系、 二叠系、三叠系为主要赋矿层位。

区内褶皱和断裂构造发育,主要褶皱有铜官山背 斜和金口岭向斜等。铜官山背斜斜贯测区中部,长约 18 km,背斜轴线总体方向为 42°。背斜向北东倾伏, 倾伏角约 10°。其核部为志留系地层,向两翼依次出





Fig. 1 Subdivision map of information statistics units for Tianmashan and its periphery area: 1—Quaternary system; 2—Chishan group; 3—Longtoushan group; 4—Fenshuiling group; 5—Nanlinghu group; 6—Tashan group; 7—Xiaoliangting group; 8—Dalong group; 9—Longtan group; 10—Maokou group; 11—Qixia group; 12—Middle and upper Carboniferous; 13—Wutong group; 14—Zhaishan group; 15—Fentoushan group; 16—Fracture; 17—Conjectural fracture; 18—Fold axis; 19—Small-sized flexure; 20—E-W rise; 21—Diorite; 22—Quartz diorite; 23—Diorite porphyrite; 24—Gossan; 25—Ore occurrence; 26—Scope of blending remote sensing alteration; 27—Grids of statistical forecast unit

露志留系至三叠系地层。背斜倾伏端的北西翼地层倾 向北西,倾角 30°~50°。南东翼地层浅部倾向南东, 倾角约 25°,至深部发生倒转,倾向北西,倾角在 60° 以上。金口岭向斜位于铜官山背斜之北西,长约 11 km。褶皱线的方向从南西端的 35°向北东逐渐转成 45°。向斜核部为三叠系中统石灰岩。区内发育北东向 和北西向断裂,主要断裂有白鹤一松树山走向断层、 笔西走向断层、宝山断层、老庙基山断层和松树山— 尾砂坝断层等。

区内发育燕山期侵入岩,主要岩体有天鹅抱蛋山 岩体、铜官山岩体和金口岭岩体等。天鹅抱蛋山岩体 侵入于铜官山背斜倾伏端东侧,出露于马山、青石山、 天鹅抱蛋山之间,岩性为闪长岩体,出露形态呈不规 则圆形,面积 0.7~0.8 km<sup>2</sup>。铜官山岩体分布在老庙基 山、宝山、罗村以及笔山之间,为一石英闪长岩体, 呈岩株状产出,地表形态为不规则的椭圆形,出露面 积约 1.5 km<sup>2</sup>。金口岭岩体分布在金口岭及其以北地 区,为一石英闪长岩体,呈岩株状产出,地表形态呈 北东向带状展布,在其南部出现膨大,出露面积约 5 km<sup>2</sup>。

区内分布有天马山、黄狮涝硫金矿床和铜官山、 金口岭铜矿床等。其中天马山矿床受层位控制明显, 矿带长1400m,主矿体赋存于天鹅抱蛋山岩体外侧中 石炭统黄龙组下段白云岩中及其与上、下岩层之间的 层间构造带中,其次赋存于黄龙组上段至栖霞组底部 的大理岩中,矿体的形态主要呈似层状,其次为透镜 状、筒状、脉状等。黄狮涝金矿位于天马山矿床西南 部,处于铜官山背斜的南东翼,矿床主要赋存于五通 组砂页岩与黄龙组上段大理岩(局部为下段白云岩)之 间的纵断裂带中,其次为黄龙组上下岩性段之间的界 面上,矿体主要呈似层状和透镜状产出。铜官山铜矿 床处于铜官山背斜的北东倾没端,并环绕铜官山岩体 分布,包括松树山、老庙基山、小铜官山、老山、宝 山、罗村和笔山等矿段,矿区发育矽卡岩化蚀变,主 要铜储量分布在铜官山岩体的东南侧接触带。

# 2 信息统计单元的划分

目前,在国内外的成矿预测中应用较广的是规则 网格单元划分法,它能在统一观察和定量的前提下, 把众多的地质变量所包含的矿产资源信息量最大限度 地反映出来,这有利于矿与非矿地质特征的判断,并 且给矿产预测的计算机网格化带来了方便,尤其是在 GIS 支持下,网格单元的划分及单元中信息的提取非 常便利<sup>[8-9]</sup>。

本次研究统计单元的划分主要考虑对矿化的显示,同时又考虑了统计计算、地质信息变量的选取和 空间分析等要素。根据矿区的实际情况和统计计算的 处理能力,采用规则网格法在 1:10 000 的铜陵天马山 矿区地质图上按 200 m×200 m 的网格将研究区划分 为 2 580 个信息统计单元(见图 1)。

# 3 预测区地质信息变量的确定及 编码

### 3.1 地质信息变量的确定

天马山及其外围地区矿床的形成受该地区燕山期 岩浆岩、石炭系等地层、褶皱断裂构造及多期成矿事 件等多种地质因素复合的结果,这些因素与成矿的关 联性及其表现形式,是厘定成矿地质信息变量的基础。 3.1.1 构造信息变量

天马山及其外围地区矿床空间分布明显受褶皱、 断裂构造及岩体接触带构造的制约。

天鹅抱蛋山岩体、铜官山岩体及已探明的主要硫 金矿床和铜矿床均集中分布在铜官山背斜的北东倾伏 端附近,显示了该背斜的空间扩容及其控岩控矿作用。 该背斜两翼和西南倾伏端附近有多处矿化点、铁帽和 蚀变分布,而次级褶曲或隆起叠加部位是构造应力释 放和空间扩容的有利部位,也是找矿的有利线索。

控矿断裂构造以层间断裂为代表,这种断裂主要 出现在不同层位界面或不同岩性界面,如 C<sub>2</sub>h<sup>1</sup>/D<sub>3</sub>w、 C<sub>2</sub>h<sup>2</sup>/C<sub>2</sub>h<sup>1</sup>、C<sub>3</sub>c/C<sub>2</sub>h<sup>2</sup>、P<sub>1</sub>q/C<sub>3</sub>c 层位界面,由于存在着 显著的岩性和物理化学性质差异,在构造应力作用下 往往容易形成层间滑动和层间虚脱,成为矿区主要的 容矿构造并制约了矿体的形态产状。加之石炭系黄龙 组白云岩中沉积有胶状黄铁矿层,岩浆热液沿此层间 滑脱构造迁移时,与黄铁矿层发生叠加改造,往往形 成复合成因的层状矿体。

岩体接触带构造的控矿主要表现为岩体与碳酸盐 岩接触带部位发育矽卡岩化并产生空间扩容,形成典 型接触带矽卡岩型铜矿体,如铜官山矿床。在天马山 矿区,在天鹅抱蛋山岩体的超覆部位及接触带的缓倾 部位往往见有硫金矿体。

因此,地表构造行迹可作为判断深部隐伏岩体形 态变化及成矿有利程度的重要依据,尤其断裂密集区、 断裂交汇部、构造转折部及褶皱、断裂构造的复合部 是找矿的有利部位。

3.1.2 地层信息变量

石炭系黄龙组不仅是天马山硫金矿、黄狮涝金矿

和铜官山铜矿层状矿体的主要赋矿层位,该层位在整 个铜陵地区都是一个非常重要的赋矿层位,在区域上 完全可以与冬瓜山铜矿、新桥硫铁矿等对比,表现出 明显的层控特点,这在很大程度上与该层位中普遍存 在的"同生沉积含矿层"有关,其典型标志之一是早 世代生成的胶黄铁矿。该胶黄铁矿层不仅扮演了矿源 层的角色,对铜、金等金属元素而言,还起到了沉淀 剂的作用。

3.1.3 燕山期侵入岩信息变量

燕山期侵入岩是主要控矿因素和找矿标志之一。 岩体与矿体的空间关系、岩体及接触带蚀变特征及岩 体的含矿性均显示天马山、黄狮涝、铜官山、金口岭 等矿床的形成与燕山期岩浆岩有着密切的成因关系。

在天马山矿区,天鹅抱蛋山岩体与硫金矿床空间 关系较密切。岩体接触带附近见有受接触带构造控制 的金硫矿体;接触带附近发育矽卡岩化蚀变并具有一 定的分带性。据测定,矿区石英闪长岩中金含量为 95×10<sup>-9[10]</sup>,明显高于铜官山矿区其它岩体。

黄狮涝金矿距天马山和铜官山岩体较远,但矿区 内也见有小规模的石英闪长岩和闪长玢岩岩体分布, 岩体与矿体空间关系密切,石炭系和泥盆系地层普遍 遭受热变质作用。据测定,石英闪长岩和闪长玢岩中 金元素含量较高,分别达到 78.6×10<sup>-9</sup> 和 46.0×10<sup>-9</sup> (华东地质调查局 812 队, 1990)。

铜官山和金口岭矿床则以矽卡岩型矿化为主。其 中铜官山矿床围绕铜官山岩体接触带分布并发育典型 的围岩蚀变分带。据测定,铜官山石英闪长岩岩体中 铜元素的含量达126.3×10<sup>-6</sup>,金口岭岩体中铜含量达 550×10<sup>-6[11]</sup>。

3.1.4 地表矿化信息变量

在天马山、铜官山等已知矿床外围尚有多处矿点 或铁帽分布,这些矿化异常信息是成矿热液活动的重 要线索,尤其在有利的岩浆岩、构造和地层复合部位 出现的地表矿化信息,可作为深部找矿预测的重要 依据。

3.1.5 遥感混合蚀变信息变量

燕山期侵入岩,尤其是矿床(点)附近的燕山期侵 入岩中普遍发育钾化、内矽卡岩化、黄铁绢英岩化等 蚀变,而外接触带围岩中则发育矽卡岩化、硅化、黄 铁矿化蚀变等,由于断裂系统的贯通,蚀变的范围往 往超出岩体或矿体所在位置,在地表有所显示。

基于 ETM 数据源,本文作者对天马山及其外围 地区遥感混合蚀变信息进行了提取。由于该地区岩石 出露程度较高,加之蚀变岩石与广泛出露的碳酸盐岩 地层及未蚀变花岗岩在光谱特征上反差明显,对遥感 蚀变信息的提取十分有利,所提取的混合蚀变分布与 现有矿床分布区具有较高的吻合性,可作为隐伏矿体 成矿预测的标志之一。

综合以上分析,天马山及其外围地区的成矿系统 是燕山期花岗岩、地质构造、有利地层及多成矿事件 耦合等多因素复合作用的产物。控制和影响天马山矿 区成矿的地质信息变量非常的复杂,但在提取与找矿 有关的信息时,有些信息是定性而不是定量的,因而 无法进行统计计算。在统计变量选择的过程中,既要 考虑选择的变量便于计算机进行空间分析与计算,又 要注重选择有利于成矿预测的代表性变量,因此,为 了建立空间定位预测模型,使参与叠加分析的所有图 层都包含在研究的预测范围内,特选择以下共11个变 量进行空间分析:石炭系、遥感蚀变、铁帽、二叠系、 三叠系、岩体接触带、泥盆系、北东向断裂、北西向 断裂、构造交汇处、褶皱。

#### 3.2 地质信息变量编码设计

为了有效地组织和管理上述地质信息变量,需要 依据变量实体之间不同的特征、相似的特征以及不同 变量实体的组合特征来对地质变量进行编码。对地质 信息变量的编码设计是在分类的基础上进行的。

本文作者选择的 11 个变量基本上可以分为 5 类: 地层、构造、岩体、蚀变、矿点。在编码过程中要注 意对整个系统的数据进行系统设计、统筹安排, 使系 统数据编码具有较强的系统性。综合考虑以上原则, 结合地学空间数据的特点,参考有关国家标准,本文 编码体系见表 1~6。

# 4 地质信息变量赋值

地质变量在 GIS 中是以层的形式存储在数据库中

表1:	地层信	「息编码表

 Table 1
 Stratigraphic codes

Data item	Unit name	Stratum name	Main ore species	Chemical composition	Thickness	Tendency	Dip angle
ID code	1010001	1010002	1010003	1010004	1010005	1010006	1010007

#### Table 2Fault codes

Data item	Unit name	Fracture name	Fracture surface's dip angle	Fracture surface's tendency	Hanging wall strata	Heading wall strata	Fault throw	Fracture strike	Fracture character
ID code	1020001	1020002	1020003	1020004	1020005	1020006	1020007	1020008	1020009

#### 表3 岩体信息编码表

#### Table 3Granite body codes

Data item	Unit name	Magmatic bodies' name	Era	Area	Composition	Area percentage
ID code	1030001	1030001	1030002	1030003	1030004	1030005

#### 表4 蚀变信息编码表

 Table 4
 Alteration codes

Data item	Unit name	Unit name Alteration name Alteration		Alteration component	Alteration area	Area percentage
ID code	1040001	1040002	1040003	1040004	1040005	1040006

### 表5 褶皱信息编码表

### Table 5 Fold codes

Data item	Unit name	Fold name	Fold axial surface's tendency	Fold axial surface's dip angle	Fold character	Fold shape	Angel between fold limbs
ID code	1050001	1050002	1050003	1050004	1050005	1050006	1050007

### 表6 矿点信息编码表

## Table 6 Mineral occurrence codes

Data	Unit	Number of ore	Ore	Genetic	Orebody	Mineragenetic	Ore
item	name	occurrence	species	type	scale	epoch	grade
ID code	1060001	1060002	1060003	1060004	1060005	1060006	1060007

的,因此,不同的地质变量其属性也不同,但基本上 可以分为3类:点文件、线文件和区文件。地质变量 取值的实质是统计各网格单元内:是否有点分布在网 格内;是否有线通过网格;是否有某个层位的区文件 覆盖网格。处理这样的变量在以往的研究中通用的取 值方法是二态赋值法,即如果该地质变量在某一划分 网格中存在,则其值为1,否则为0。在这里,本文 作者采用MAPGIS软件中的空间分析模块对各个地质 变量进行叠加分析取值。对不同的地质变量其空间分 析的方法不同,具体如下:

1) 点变量取值

判断某个网格单元内是否有点分布,如矿点等。 在MAPGIS空间分析模块中空间分析菜单下用区空间 分析的区对点相交分析就可得到含矿单元的区文件。 这个区文件中就包含了所有取值为1的预测矿点。

2) 线变量取值

判断某个网格单元内是否有线通过,如断裂等。

在 MAPGIS 空间分析模块中空间分析菜单下,用区空间分析的区对线相交分析就可得到有断裂通过单元的区文件。

#### 3) 面变量取值

判断某个网格单元内是否有面通过如地层。首先 用空间分析模块的条件检索功能,根据地层代号(若无 此属性字段,可在编辑模块中根据地层颜色参数统改 层号、改当前层、存当前层等功能)将地层分布图分解 成几个区文件,每个文件只包含一个地层单位,有几 种地层单位(或岩体)就分为几个区文件。判断某个单 元内是否有某一地层出露,可用空间分析模块中的检 索菜单下的区域内检索功能,在对话框中选择区域条 件文件为地层区文件,被检索文件为网格单元区文件, 就可生成有某一地层通过单元的区文件。有几个地层 区文件就做几次区域内检索并生成相应数量的区 文件。

利用已划分好的网格进行地质变量取值,这样就

形成 m(2 580)×n(11)数据矩阵, m 表示网格数, n 表 示变量数。作为参考,这里只列出10个已知矿点的变 量取值表(表 7)。

#### 成矿有利度法的数学描述及其 5 确定

## 5.1 数学描述

成矿有利度法是希腊和德国地质学家和数学地质 学家合作推出的,该方法在1986年意大利国际数学地 质讨论会上受到了各国数学地质工作者的好评。其数 学表达式为

$$f = \sum_{i=1}^{N} w_i p(c_i) \tag{1}$$

式中:f为成矿有利度;wi为第i个找矿标志的权系数;  $c_i$ 为第i个找矿标志;  $p(c_i)$ 为第i个找矿标志出现的概 率: N 为参加估计的找矿标志个数。

- 从式(1)可以看出,在成矿有利度法的数学表达式
- 中,各找矿标志的权系数的确定是建模的关键。 变量权系数 w 可根据下列矩阵方程求得

$$(CC^{1})w = \lambda w \tag{2}$$

这里  $\lambda \in (CC^{T})$ 的最大特征值, C 是  $m \times n$  矩阵, 代表 n 个地质变量在 m 个网格单元上的取值,  $C^{T} \in C$ 的转置矩阵。

地质变量以二态赋值方式赋值,即预测单元内出 现为1,否则为0,数值型变量则以实际数值归一化后 赋值。地质变量型找矿预测标志出现的概率以统计方 法估计,数值型找矿预测标志的概率以归一化数值替

#### 表7 地质变量取值表

Table 7	Values of	geological	variables
---------	-----------	------------	-----------

代。根据矩阵表 8, 应用 10 个已知矿点组成的数据矩 阵,采用MATHCAD数学软件就可以计算出权系数w, 代入成矿有利度公式,据此就可以确定找矿预测标志 的权系数。然后将各找矿预测标志的权系数经正规化 变换,使其和为 1,由此可建立铜陵天马山找矿预测 数学模型。其主要过程包括:

1) 建立地质变量距阵C并求得转置矩阵C<sup>T</sup>(见表 9):

2) 根据地质变量距阵 C 和转置矩阵 C<sup>T</sup>,加入中 间变量 B; B=(CC<sup>T</sup>), 求得(CC<sup>T</sup>)矩阵(见表 9);

3) 调用 eigenval()函数求得特征矩阵,再调用 max(eigenval(), 0)函数求得最大特征值 $\lambda$ ;

4) 最后求得对应最大特征值 λ 的特征向量 eigenvec(B,  $\lambda$ ), 即权系数向量 W。

(5) 根据权系数向量 W,结合成矿有利度式(1)求 得找矿预测数学模型表达式如下:

 $f=0.089131w_1+0.125361w_2+0.095864w_3+$ 

 $0.127605w_4+0.008015w_5+0.058352w_6+$ 

 $0.075665w_7+0.116063w_8+0.102918w_9+$ 

 $0.108\,689\,w_{10}$ +0.092 337  $w_{11}$ (3)

这样就可以计算出每个网格单元中的成矿有利 度。

### 5.2 信息统计单元成矿有利度的确定

本研究在铜陵天马山研究区内共划分了2 580 个 网格信息单元,将信息单元的成矿有利度值按 0.1 的 值域划分为9个信息数据组,并分别统计每组数据的 频率(见表 10)。据此绘制成矿有利度频率分布图(见图 2), 从图 2 所示频率分布点可确定预测单元的找矿信

Table / Values of geological value	autes									
Variable name	KD1	KD2	KD3	KD4	KD5	KD6	KD7	KD8	KD9	KD10
Carboniferous system	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
Remote sensing alteration	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Gossan	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Permian system	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Triassic system	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Contact zone of magmatic body	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Devonian system	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
NE fracture	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
NW fracture	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
Join place of structure	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Fold	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0

表 8	地质变量距阵
- PC - U	

Table 8 Matrix of geological variables

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1
2	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
6	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
7	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
8	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
9	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0

表9 地质变量(CC<sup>T</sup>)距阵

Table 9Matrix of geological variables ( $CC^{T}$ )

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	6	6	4	6	0	2	4	6	5	4	3
1	6	9	7	8	1	4	5	7	6	7	6
2	4	7	7	6	1	4	3	5	4	5	5
3	6	8	6	9	0	4	5	8	7	7	6
4	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
5	2	4	4	4	0	4	1	3	2	3	4
6	4	5	3	5	0	1	5	5	5	4	2
7	6	7	5	8	0	3	5	8	7	6	5
8	5	6	4	7	0	2	5	7	7	6	4
9	4	7	5	7	1	3	4	6	6	8	6
10	3	6	5	6	1	4	2	5	4	6	7

表10 成矿有利度分级表

Table10	Classification	of metallog	genic fa	vourability	1
---------	----------------	-------------	----------	-------------	---

f	f>0.8	<i>f</i> >0.7	<i>f</i> >0.6	<i>f</i> >0.5	<i>f</i> >0.4
N	16	67	203	484	761
f	<i>f</i> >0.3	f>0.2	2 ј	f>0.1	f>0
N	1 153	1 528	3 2	2 044	2 580

息临界值为 0.6。在全区的 2 580 个单元中,有 203 个单元的成矿有利度≥0.6,其中有 35 个单元为已知有 矿单元。

# 6 矿床空间信息成矿预测模型的 实现

预测成果输出有两种形式:数据输出和图形输



Fig. 2 Metallogenic favourability frequency

出。数据输出是利用预测模型在数学软件中计算后已 将预测结果写入到属性数据表中,通过查找数据表即 可得到。再利用生成的信息单元数据成图(见图 3)。按 成矿有利度 0.5、0.6 和 0.7 为异常分界点,对预测单 元进行了分级,预测单元可分为 3 级,即 I 级、II 级 和III级,其中 I 级预测单元(大于 0.7)为成矿条件最有 利,找矿标志明显,找矿潜力大;II 级预测单元(介于 0.6 和 0.7 之间)为成矿条件比较有利,找矿标志较明 显,找矿潜力较大;III级预测单元(介于 0.5 和 0.6 之 间)为成矿条件较一般,但仍有成矿可能。

根据预测单元计算结果及空间关系,结合地质分析,圈定找矿靶区 14 处,并按找矿潜力的大小分为 A、B、C 三级,绘制了天马山及其外围地区找矿靶区预 测图(见图 3)。

# 7 结论

1) 根据矿区的实际情况和统计计算的处理能力, 采用规则网格法在 1:10 000 的铜陵天马山矿区地质图 上按 200 m×200 m 的网格将研究区划分为 2 580 个信 息统计单元。

为了建立空间定位预测模型,使参与叠加分析的所有图层都包含在研究的预测范围内,特选择以下
 个变量进行空间分析:石炭系、遥感蚀变、铁帽、
 二叠系、三叠系、岩体接触带、泥盆系、北东向断裂、
 北西向断裂、构造交汇处、褶皱。

3)根据所绘制成矿有利度频率分布图,由频率 分布点可确定预测单元的找矿信息临界值为 0.6。在 全区的 2 580 个单元中,有 203 个单元的成矿有利度

886



图 3 天马山及其外围地区找矿靶区预测图

Fig. 3 Prospecting targets of Tianmashan and its periphery area: 1—Prediction unit of grade III; 2—Prediction unit of grade II;
3—Prediction unit of grade I ; 4—Prospecting target and serial numbers

≥0.6, 其中有 35 个单元为已知有矿单元。

4) 根据预测单元计算结果及空间关系,结合地质分析,圈定找矿靶区14处,并按找矿潜力的大小分为A、B、C 三级,绘制了天马山及其外围地区找矿靶区预测图(见图3)。

## REFERENCES

朱裕生,肖克炎,丁鹏飞.成矿预测方法[M].北京:地质出版社,1997:1-23.

ZHU Yu-sheng, XIAO Ke-yan, DING Peng-fei. Metallogcnic prognosis methods [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 1–23.

 [2] 赵鹏大,陈永清.基于地质异常单元金矿找矿有利地段圈定 与评价[J].地球科学一中国地质大学学报,1999,24(5): 443-448.

ZHAO Peng-da, CHEN Yong-qing. Geological anomaly unit-based delineation and assessment of preferable gold ore-finding area [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 443–448.

[3] 王於天.成矿预测单元的基本概念及其划分方法[J].地质论 评,1990,36(6):24-29.

WANG Yu-tian. Basic concept of geostatistical cells of minerogenic prognosis and its division method [J]. Geological Review, 1990, 36(6): 24–29.

- [4] 李新中,赵鹏大,肖克炎,胡光道. 矿床统计预测单元划分的 方法与程序[J]. 矿床地质, 1998, 17(4): 369-375.
  LI Xin-zhong, ZHAO Peng-da, XIAO Ke-yan, HU Guang-dao. The method and program for the unit partition in the statistical prediction of mineral deposits [J]. Mineral Deposits, 1998, 17(4): 369-375.
- [5] 池顺都,赵鹏大.应用 GIS 圈定找矿可行地段和有利地段— 以云南元江地区大红山群铜矿床预测为例[J].地球科学—中 国地质大学学报,1998,23(2):125-128.

CHI Shun-du, ZHAO Peng-da. Delineating permissive ore-finding area and preferable ore-finding area by GIS: An example from the prediction of copper deposits in Yuanjiang area, Yunnan Province [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(2): 125–128.

[6] 陈石羡. 地理信息系统在金属矿产预测中的应用[J]. 地质找 矿论丛, 1998, 13(1): 74-83.

CHEN Shi-xian. Application of GIS to prediction of metal mineral resources [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1998, 13(1): 74-83.

[7] 陈永清,夏庆霖.应用地质异常单元圈定矿产资源体潜在地段一以鲁西铜石金矿田为例[J].地球科学一中国地质大学学报,1999,24(5):459-463.

CHEN Yong-qing, XIA Qing-lin. Application of geological anomaly unit method to delineation of potential mineral resources areas: An example from Tongshi gold field, Western Shangdong Province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 459–463.

- [8] 谢贵明,范继璋. 吉林省珲春东部地区金矿综合信息找矿模型及找矿靶区预测[J]. 黄金科学技术,2000,8(5):20-27. XIE Gui-ming, FAN Ji-zhang. The synthetic information model of prospecting gold deposits and prediction of prospecting gold targets in east Hunchun district of Jilin province [J]. Gold Science and Technology, 2000, 8(5): 20-27.
- [9] 曹 瑜, 胡光道, 杨志峰, 沈珍瑶. 基于 GIS 有利成矿信息的综合[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(2): 167-176.
   CAO Yu, HU Guang-dao, YANG Zhi-feng, SHENG Zhen-yao.
   Synthesis of beneficial ore-forming information based on GIS [J].
   Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(2): 167-176.
- [10] 俞沧海, 袁小明. 铜陵天马山硫金矿床地质特征及成因探讨
  [J]. 矿产与地质, 2002, 16(2): 74-77.
  YU Cang-hai, YUAN Xiao-ming. Geological features and study on genesis of Tianmashan sufur-gold deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 2002, 16(2): 74-77.
- [11] 袁小明. 铜官山矿田铜金成矿模式探讨[J]. 地球学报, 2002, 23(6): 541-546.
   YUAN. View mine: A. Tartation discussion on the second seco

YUAN Xiao-ming. A Tentative discussion on the copper and gold metallogenic model of the Tongguanshan ore field [J]. Acth Geoscientia Sinica, 2002, 23(6): 541–546.

(编辑 何学锋)