# 基于 MORPAS 证据权法的 凤太 Pb-Zn 矿床远景区预测

胡 鹏1,张 均2,石 凯2,武晓迪3

(1. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 2. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074;

3. 西北有色地质勘查局七一七总队,陕西宝鸡721004)

摘 要: 在分析陕西凤太矿集区层控铅锌矿床控矿条件的基础上,通过 M ORPAS 系统提取,建 立了地质、化探和铅锌矿床(点)等 14 个应用图层数据库。采用证据权法对该区进行了成矿模拟 预测,划分出 9 个靶区,指出了该区的找矿方向。 关键词: MORPAS;证据权法;远景区;凤太地区;陕西省 doi: 10.3969/j.issn.100+1412.2009.03.005 中图分类号: P628;P618.4 文献标识码: A 文章编号: 100+1412(2009) 03-0205-06

0 引言

定量化和综合化是矿产资源勘查和评价的重要 发展趋势,尤其是基于 GIS(地理信息系统)的多元 信息资源综合评价方法和技术的发展,使矿产定量 预测水平和效率大大提高<sup>[1,2]</sup>。

MORPAS 是以 WINDOWS 95/98 为平台, 以 MAPGIS 二次开发函数为基础, 采用 VC++6.0, VB 6.0 和 PB 6.0 等语言开发的金属矿产资源评价 分析系统软件, 覆盖地学数据库的管理、地质背景与 地质异常分析、物探资料处理、化探资料处理、遥感 图像处理、综合分析与预测评价等<sup>[2]</sup>。

陕西省凤县一太白矿集区是秦岭泥盆系贵金属、多金属成矿带的五大矿集区之一,本文旨在前人资料以及工作成果基础上,采用先进的信息提取与处理技术,以GIS为平台,运用MORPAS软件对证据权重进行计算,进而圈定找矿靶区。

# 1 MORPAS 的系统特点及证据权法 简介

系统包含基础地质数据库与地物化遥综合处理 分析系统两大部分组成的有机整体,实现了从数据 管理、数据分析处理到资源评价预测的完整体系。 它包含了7个子系统:地质背景以及地质异常分析、 物探异常分析、化探异常分析、遥感地质异常分析、 综合异常分析、矿床(体)三维可视化、地质数据库及 管理。这几大模块几乎覆盖了常用的专业处理功 能,特别是地质异常分析模块更是大大促进了地质 资料的定量化及信息获取自动化的程度。在分析矿 产资源潜力和预测成矿有利地段方面,MORPAS无 疑是采集、分析以及合成不同类型大规模数据的最 佳工具之一。

1.2 证据权法简介

证据权重法是加拿大数学地质学家 Agterberg<sup>[1]</sup>提出的一种地学统计方法,最初是基于二值 图像的。它采用一种统计分析模式,通过对一些与 矿产形成相关的地学信息的叠加复合分析来进行矿 产远景区的预测。其中的每一种地学信息都被视为 成矿远景区预测的一个证据因子,而每一个证据因 子对成矿预测的贡献是由这个因子的权重值来确定 的。该方法已被广泛应用于资源评价中。

该方法可分解为4个步骤:①资料矢量化,建立 空间数字数据库;②根据矿床勘查模型提取目标矿

#### 1.1 MORPAS 系统特点

收稿日期: 2008-07-12

基金项目: 国家"十一五"科技支撑计划课题"西秦岭成矿地质背景与铅锌、银、铜、金资源评价技术研究"(编号: 2006BAB01A11)资助。

作者简介: 胡鹏(1984), 男, 湖北黄梅人, 硕士研究生, 从事成矿预测与成矿预测方面的研究。通讯地址: 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 485 号, 中国地质大学资源学院; 邮政编码: 430074; E-mail: sunny021021@ sina. com 床类型的预测证据层;③计算各个证据图层的权重 值;④综合各证据图层,圈定成矿有利地段(图1)。



Fig.1 Flowchart of weight of evidence

其数学原理及计算中的关键是:前验概率<sup>→</sup>证 据权重<sup>→</sup>后验概率。

(1)前验概率。即根据已知矿点分布计算各证据因子单位区域内的成矿概率。假设每个矿点所占的单元格面积为 u,研究区的面积(以单元格为单位)为

A(T)/u = N(T)

式中, T为研究区; A(T)为面积; N(T)为单元格数 目。

研究区内的矿点数为 N(D),则随机选取一个 单元格中矿点的概率为 P(D) = N(D)/N(T),也被 称为先验概率。

(2) 证据权重。假设研究区被划分成面积相等的 *T* 个单元,其中有 *D* 个单元为有矿单元。对于任意一个证据因子,其权重定义为:

$$W^{+} = \ln[P(B/D)/P(B/D^{-})]$$
(1)

$$W^{-} = \ln[P(B^{-}/D)/P(B^{-}/D^{-})]$$
(2)

式中, W<sup>+</sup> 和 W<sup>-</sup> 分别为证据因子存在区和不存在区 的权重值, 对于原始数据缺失区域的权重值为 0; B 为因子存在区的单元数; B<sup>-</sup> 为因子不存在区的单元 数。

证据层与矿床(点)的相关程度为:

 $C = W^+ - W^-$ 

(3) 后验概率。是在大量地质、地球物理和地球 化学等图层叠加操作的基础上计算出来的。因此, 其结果综合反映了各种控矿因素和矿化信息对矿床 的控制和指示意义。

$$O_{ham} = \exp\left\{\ln\left[\frac{D}{1-D}\right] + \sum_{i=1}^{n} W_{j}^{k}\right\}$$
式中,  $W_{j}^{k}$ 为第 $j$ 个因子的权重。

同时,由于证据权分析法着重对各控矿要素和 矿床(点)间相互空间位置进行分析,需要大量的空 间叠加、复合分析,这就使得证据权分析法和相关 GIS 软件的结合成为必要。

# 2 凤太矿集区控矿条件分析

齐文等<sup>[3]</sup>对铅锌矿空间分布与矿致地质异常的 对应分析表明:区内不同地域矿床的矿化特征不尽 相同,层控多样性在矿田中表现为时控和岩相控矿, 层、相、位控矿模式在矿田具有普遍性;在更大的区 域上则主要表现为岩相和 II 级构造单元控矿,背斜 构造与矿化异常的空间依存关系尤为突出。

2.1 控矿地层

矿床的含矿层位严格受中、上泥盆统地层控制, 主要赋矿部位为中泥盆统古道岭组顶部灰岩与上泥 盆统星红铺组底部千枚岩的岩性界面,标志性含矿 层位为铁碳酸盐岩-碳质岩-铁白云石碎屑岩组 合。区内铅锌矿床产出的具体层位如下:①古道岭 组灰岩内部;②古道岭组灰岩与星红铺组千枚岩接 触带(为主要含矿层位);③星红铺组千枚岩内部。

2.2 控矿岩相

直接容矿岩石为硅质岩,矿床的控矿岩石多为 台地边缘生物礁-硅质岩-泥质岩组合而成的"礁 硅岩套",铅锌矿化皆受此类岩石控制,其控矿岩相 为碳酸盐台地相。矿层主要受由生物礁演化而成的 同沉积背斜控制,鞍部矿体厚大完整,是主要的金属 聚集地。

2.3 控矿构造

区内基本构造格架为王家塄一古岔河复式向 斜,其南北两侧为近EW 或NWW 向断裂夹持。中 间发育一系列近SN 向的次级断裂。各级别断裂形 成了矿液运移的有利网络通道,成矿元素活化、迁移 至构造有利部位(背斜鞍部虚脱部位)富集成矿体。 褶皱、断裂对矿田的控制作用十分明显,最主要的控 矿构造是层间滑动断层和同沉积背斜。

# 3 数据库信息分析

证据权法预测关键的步骤就是在总结控矿条件、建立勘查模型的基础上,从大量的资料数据中提取与成矿、控矿相关性最大的变量进行分析、处理,

进而建立相对独立、而对预测产生最直接有效影响 的若干证据图层。证据图层的科学选择直接关系到 成矿预测的准确性和可靠性。

其中线性信息的分析主要是进行角度、交点、密 度等的计算;考察面状信息(地层,化探异常)预测有 效性的方法之一是计算单位矿产当量<sup>[4]</sup>。计算矿产 当量(*KN*)时,分别以10,5,2,1作为大型、中型、小 型及矿点的权系数;计算公式如下<sup>[2]</sup>:

KN = N/S

式中,S为地层出露面积 $(km^2)$ ;N为研究区矿产当 量总数。

由下式计算得到的矿产当量(个):

 $N = N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 + N_3 \times K_3 + N_4 \times K_4$ 式中,  $N_j$  分别代表不同级别矿产规模; 对应的  $K_j$ 则为其权系数(j = 1, 2, 3, 4)。

根据西北有色 717 队所提供的相关资料,对比 控矿条件,提取了以下几个方面的证据因子。 3.1 地层找矿有利度分析

一般地层所做的分析主要是以地层与矿床(点) 进行空间叠加<sup>[5]</sup>,得到有矿床(点)存在的地层面文 件,然后根据所得到的面文件属性进行检索和计算, 得到各个地层的单位矿产当量,然后判断成矿最有 利的地层(地段)。凤太地区各个铅锌矿的成矿作用 均属同一种类型,矿床(点)产出的位置都在两组固 定的岩性接触带附近,体现了界面控矿的规律。因 此以这两组岩性接触界线做缓冲区,再加上各个地 层空间分析,笔者认为该方法更为准确。

(1)含矿地层的成矿有利度分析:用 MORPAS 对含矿地层进行分析和统计(表1),从表中可以看 出不同地层的矿产当量以及单位面积矿产当量的大 小关系。数据证明了古道岭组和星红铺组是最重要 的控矿地层。而其他地层在数据上与以上两组地层 差距非常大,说明控矿作用不明显。

表1 地层单位矿产当量计算表

Table 1	Mineral	$\operatorname{resources}$	equivalent	of t	he	st ratig rap	hic ı	units
---------	---------	----------------------------	------------	------	----	--------------	-------	-------

地层名称	岩性	区数 (个)	<b>面积</b> ( km <sup>2</sup> )	大型	中型	小型	矿点	矿产当量	单位矿产当量 (km <sup>2</sup> )
上泥盆统 九里坪组	微晶灰岩、千枚岩 夹微 晶灰 岩、石英 砂岩夹微晶灰岩	45	274. 1				1	1	0.036
上泥盆统星 红铺组上段	碳质千枚岩	41	193.1				3	3	0. 155
上泥盆统星 红铺组中段	绿泥粉砂质绢云母千枚岩为主	23	375.8				2	2	0.053
上泥盆统星 红铺组下段	碳质千枚 岩、硅质 岩、铁 白云 质 千枚 岩、钙质千枚岩	35	380. 8	1		3	4	20	0. 525
中泥盆统 古道岭组	结晶灰岩、含碳生物灰岩	33	294. 9	2	2	2	6	40	1.356

(2) 以控矿岩性界面的线文件进行缓冲区分析。 从已经矢量化的地层界线数据中,提取出两组主要控 矿地层的接触界线进行 buffer 分析,得到不同半径所 控制的矿产当量值。发现 buffer 为 450 m 时,矿产当 量陡增至 80%,因此设定其为最优半径(图 2)。

#### 3.2 断裂找矿有利度分析

研究区断裂构造发育程度高,且对矿床的控制 作用明显,通过 M A PG IS 对断裂 buffer 分析,可以 确定最佳的断层影响带。根据不同半径 buffer 成 图,与矿产文件叠加,计算各个半径的缓冲区所占的 矿产当量超过 85%,且变量激增,所以优选出 buffer 半径为 850 m 作为最佳半径(图 3)。故而取断裂缓 冲区为 850 m 的一个面型变量。 通过统计断裂的展布方向,发现本区主要有近 SN-NNE向、NW向、NENEE向和EW-NWW向4 组线型异常发育。不同方位断裂、断裂密度大小对 矿体分布的影响大小不同。

#### 3.3 化探异常找矿有利度分析

利用西北有色 717 队所提供的 1 : 5 万和 1 : 10 万比例尺化探资料,将其中 24 006 个化探数据中 的 8 种元素值用趋势面分析方法,剔出异常极高值, 计算残差处理,生成新的异常数据。利用 M A PG IS 的 DTM 生成各元素不同等级的等值线图层,分析 圈定各个元素异常图。最后利用 MORPAS 的空间 分析功能,与铅锌矿点文件进行相关联。得到元素 异常属性(表 2)。



图 2 含矿地层界面缓冲图 Fig. 2 The interface buffer of ore-bearing formations



图 3 断裂 buffer 分析图

Fig. 3 The buffer of faults

#### 表 2 元素异常单位矿产当量计算表

able 2 Mineral resource equivalent of each element anoma	ſable 2	Mineral	resource	equivalent	of	each	element	anoma
--	---------	---------	----------	------------	----	------	---------	-------

异常元素	区数(个)	面积(km <sup>2</sup> )	大型	中型	小型	矿点	矿产当量	单位矿产当量(km <sup>2</sup> )
Ag	393	5123.3	3	4	1	9	61	1.19
Pb	276	4545.4	3	3		5	50	1.10
Zn	304	4931.2	3	3	2	6	52	1.05
$\mathbf{Sb}$	290	4346.9	2	2	3	2	38	0.87
Нg	422	6897.5	2	3	4	2	45	0.66
Au	199	3137.7		1	1	1	8	0.25
As	216	3302.1		2		1	11	0.33
C u	232	5998.8	1	1		3	18	0.30

分析表 2 的数据, 可将以上 8 种元素分成 3 类: ①Ag, Pb, Zn, Sb, Hg: 异常展布面积最广, 矿产当量 和单位矿产当量的值最高; ②Au, As: 异常分布面积 较小, 矿产当量和单位矿产当量的值最低; ③Cu: 异 常分布面积较大, 矿产当量和单位矿产当量的值最低; ④Cu: 异

因此从预测的必要性和有效性考虑<sup>[2]</sup>,选用了 Ag, Pb, Zn, Sb, Hg 等 5 种元素参与预测。

### 4 变量的提取及证据图层的构置

在地学数据库建立后,接着就要对预测区的各 图层进行单元划分,也就是网格化<sup>66</sup>。在合适的网 格化分析基础上实现各个证据图层的联接,提取变 量,计算权重值。按照权重的大小,优选证据图层。

4.1 变量提取的步骤

(1)进行网格化。结合具体的地质资料,将各个证据图层进行网格化分析,这一步十分重要,关系到各变量的影响范围,从而直接影响预测的准确性。本次证据权法各图层比例尺均为1:1万,因此综合区内实际地质情况,将研究区进行3km×2km的网格单元划分,共划分2665个网格单元,单元网格长宽比的确定,笔者主要是以研究区主体构造线方向(NW-NWW)确定的。

在网格单元为6 km<sup>2</sup> 的条件下,依据上述公式 计算出前验概率为 0.010 5。

表 3 证据图层权重值计算结果

Table 3 Weight parameters of evidence layers

in Fengt ai region

	0 0		
证据层	$W^+$	<i>W</i> -	С
组合熵	0.480	- 23.272	23.752
种类数	0.244	- 19.705	19. 949
含矿地层界面 buffer 分析	1.359	- 1.172	2.532
断裂 buffer 分析	0.536	- 1.855	2.391
断裂等密度	1.184	- 0.371	1.555
断裂平均方位	1.895	- 0.094	1.989
断裂中心对称度	1.783	- 0.204	1.988
断裂优益度	1.184	- 0.371	1.555
地质构造复杂度	1.194	- 16.721	17.915
Ag 异常	0.651	- 1.191	1.842
Pb 异常	0.896	- 1.314	2.211
Zn异常	0.838	- 1.332	2.160
Sb 异常	0.605	- 0.757	1.362
Hg异常	0.762	- 1.254	2.016

(2) 各个变量权重的计算。在 MORPAS 的平 台上, 以提取的各个变量为自变量, 以预测的矿种为 应变量, 计算权重值(表 3)。

其中综合地层和构造的变量,计算地质构造复 杂度作为一个选取的变量。地质构造复杂度=(1+ 断层数)×地层出露面积。此变量能有效地反映出 地质构造复杂程度对成矿的控制作用<sup>[2]</sup>。

4.2 证据图层的构置

通过各个权重的大小,将证据层与矿床(点)的 相关程度 C 值进行排序,结合本区控矿条件分析, 完成变量优选,最后确定构置的证据图层为:地层组 合熵、种类数、含矿地层界面 buffer 分析、断裂 buffer 分析、断裂等密度、断层平均方位、断裂中心对称 度、断裂优益度,地质构造复杂度、化探元素(Ag, Pb, Zn, Sb, Hg)。

# 5 靶区预测以及评价

GIS 支撑下进行矿产资源定量预测评价必须在 相关的证据图层信息的支持下完成。因此,基于 MORPAS 平台进行证据权法预测的基础和关键是 选取变量和证据图层。根据以上的信息分析和优选 工作,便可以进行科学的预测。

根据综合权重值,在 MORPAS 平台上生成综合证据权异常等值线,并圈定靶区(图4)。

利用 M OR PAS 的空间分析,将大于前验概率 预测图与已知矿床(点)进行叠加,发现除了 3 个矿 点和 1 个小型矿床以外,所有的矿床(点)都落入了 概率较高的区域内。因此,基本上可以认定此次预 测的结果是可信的,且模型在本研究区具有较好的 应用前景。

根据预测图,笔者圈定了9个找矿靶区(3个I 级靶区、3个II级靶区和3个III靶区)。

其中,在3个I级靶区中,已经发现的主要大型 矿床以及少量中小型矿床都在其中的 Ia 和 Ib 靶区 内,而在 Ic 靶区内,现阶段只发现1个中型矿床(银 母寺铅锌矿)。因此,对比其他两个靶区,笔者认为 这个靶区仍然有较大的找矿前景。在3个 II 级靶 区内,现阶段发现了主要的中型矿床,其中 IIc 只发 现了1处铜铅锌矿点(凤县水獭沟),所以也应具有 较好的资源潜力。以上圈出的 I 级和 II 级靶区将是 下一步找矿工作的重点地区。



图 4 大于前验概率预测图

Fig. 4 Prediction diagram showing bigger probability than the former

**致谢**:在资料的搜集以及野外调研的过程中,得 到了西北有色 717 队的领导、同仁们无私的指导和 帮助,特此鸣谢。

#### 参考文献:

- [1] Spector A, Pichette R J. Applications of the aeromagneticmetod to lead exploration in SE Missour[C] // In: Kisvarysanyl G, Grant S K, Pratt W P, et al. International conference on Mississippi valley-type lead-zinc deposits. Unversity of Missouri-Rolla, Missour, 1983: 596-603.
- [2] 矫东风,吕新彪,胡光道,等.基于 MORPAS 平台的甘南 Pb-Zn 矿床远景区预测[J].地质与勘探,2005,41(3):65-69.
- [3] 齐文,侯满堂.陕西铅锌矿类型及其找矿方向[J].陕西地质, 2005,23(2): + 20.
- [4] 池顺都,周顺平,吴新林. GIS支持下的地质异常分析及金属
  矿产经验预测[J].地球科学——中国地质大学学报,1997,1
  (1): 99-103.
- [5] 曹瑜,胡光道. 圈定"51" 找矿地段的 GIS 成矿预测空间模型及应用[J]. 地球科学. 1999, 22(4):409-412.
- [6] 王四龙,王西华.北京地区遥感环形构造信息提取与金矿预测[J].地质与勘探,1996,32(4):36-39.

# Pb-Zn PERSPECTIVE PROGNOSIS BASED ON MORPAS EVIDENCE WEIGHT METHOD IN FENGTAI REGION HU Peng<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>2</sup>, SHI Kai<sup>2</sup>, WU Xiao di<sup>3</sup>

(1. Yichang Institute of Mineral Resurces, Yichang 443003, Hubei, China;

2. Faulty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. No. 717 Survey Team of Northwest China Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Baoji 721004, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the analysis of the metallogenetic characteristics of the strata yielding Pb-Zn deposits in Fengtai region, 14 database layers, e. g. geology database, geochemistry and ore deposit(occurrences) data-base are abstracted and constructed by the MORPAS system. Nine potential areas for Pb-Zn deposits are delineated with evidence weight modeling.

Key Words: MORPAS; weight of evidence; potential areas; Fengtai area; Shaanxi province