GIS 技术在山东胶东地区金矿预测中的应用 *

杨茂森[1)]　　黎清华[1)]　　张淑珍[2)]

(1)中国地质大学(武汉)资源学院,430074,武汉;　2)山东省物化探勘查院,250014,济南　//第一作者 44 岁,男,教授)

摘要　随着 GIS 技术和网络技术的发展,GIS 技术在矿产资源预测评价中起的作用越来越广泛,本文以胶东金矿集中分布区为研究对象,以 GIS 核心技术为基础平台,对胶东金矿集区各类找矿异常信息进行处理,运用证据权法对胶东金矿区的各类地质异常信息进行分析,提取与成矿有关的构造、地层、岩浆岩(岩脉)、物探、化探异常信息等 12 种证据权因子,按照 1km ×1km 的网格,借助 GIS 胶东金矿矿集区划分为有效网格,按照后验概率将其划分了三级找矿有利靶区,对胶东地区的金矿找矿工作部署具有一定的指导意义,同时为应用 GIS 技术进行矿产资源预测评价进行了探讨.

关键词　GIS;　证据权法;　胶东矿集区;　成矿预测

中图分类号　P 208

地理信息系统(GIS)作为对地球空间数据进行采集、存储、检索、建模、分析和表示的计算机系统,不仅可以管理以数字、文字为主的属性信息,而且可以管理以图形图像为主的空间信息. 采用 GIS 技术进行矿产资源预测评价,是通过各种空间分析方法对各类地质空间数据进行综合,了解地质实体之间的相互关系,掌握各种地质现象与成矿规律的耦合关系,以便对矿产资源进行有效评价[1~3]. GIS 技术正在成为当今我国矿产资源评价的理想工具和手段. 实践证明,GIS 技术的应用已经形成了新一代的矿产资源评价方法. GIS 技术不仅成为发达国家矿产资源评价的有力工具,而且在中国、巴西、南非等许多发展中国家的应用也越来越广泛[1,4].

"证据权"法[5~7]是地学领域使用计算机技术进行矿产资源评价预测的一种计算方法,与传统的统计方法在操作上不同之处在于它不仅是依靠图形数据驱动,而且是可视化操作,为用户带来很大方便."证据权"法的基础是将地质找矿评价模型转换为"网格模型",针对每一网格上信息数据进行权值计算,将抽象的模型赋予实实在在的内涵,达到评价目的. 评价方法自始至终都是对图形进行操作,由计算机自动完成(见图 1).

胶东地区是我国典型金的大型矿集区,从成矿地质条件来看胶东地区是我国东部地区进一步扩大找矿远景的最佳地区之一. 同时该地区以往的地质勘查与科研工作已经积累了丰富的资料,利用 GIS 矿产资源预测评价新技术方法,对这些基础信息资料的进一步加工提取优化,对胶东地区的金矿找矿工作可提供许多有用信息. 本文是基于此目的进行系统研究所取得的部分成果.

1　地质资料准备与数据库建立

本次研究工作均基于 MAPGIS 平台建立胶东地区地质、物化探资料输入微机并建立 GIS 数据库,GIS 数据库基本内容有:

①胶东金矿矿区地质图件(1:20 万),包括地层、岩浆岩、构造断裂等地质信息属性数据库. ②胶东金矿矿集区重力异常图(1:20 万)及属性数据库. ③胶东金矿矿集区航磁异常图(1:20 万)及属性数据库. ④胶东金矿矿集区地球化学异常图(共 12 种元素)及属性数据库. ⑤胶东金矿矿集区焦家成矿带高精度磁测异常图(1:5 万)及属性数据库. ⑥胶东金矿矿集区招远地区高精度磁测异常图(1:5 万)及属性数据库.

在对各种成矿信息的处理提取及分析过程中,都是以上述 GIS 图件及空间数据库为基础的. 各种信息的提取是为下一步的金矿预测提供不同的成矿信息图层,这一点对利用 GIS 技术显得尤其重要.

本文运用证据权法探讨基于 1:20 万比例尺的成矿预测,因此各证据权层都将尽可能使用 1:20 万的数据资料. 重磁场信息对于金矿找矿是一种间接信息,但对于圈定隐伏控矿含矿构造及隐伏岩体是重要信息,考虑到胶东矿集区的物探工作程度,将其重磁异常作为地质变量参与预测评价计算. 因此,在进行航磁信息证据权提取时,以胶东地区金矿化最为明显的招远地区和焦家带的 1:5 万数据资料作基础资料,提取有效信息证据.

2　各类成矿预测信息的提取方法

2.1　地层、构造、岩浆岩地质异常的信息提取　地质异常包括与金矿成矿有关的线性构造异常、岩浆岩异常及地层异常. 其信息提取的研究方法是找矿有利度分析. 找矿有利度主要是分析矿点的产出与证据层间的相互关系. 池顺都等、赵鹏大等[9~11]已经介绍过找矿有利度的分析方法和有关找矿有利度分析的计算方法. 本文以胶东金矿矿集区 1:20 万地质、物探、化探资料 GIS 数据库为基础,探讨分析了控矿断裂构造控矿宽度(有效半径)与金矿成矿关系密切的岩浆岩和地层的找矿有利度. 分析

*国家重点基础研究项目资助(G1999043207 - 3)
收稿日期:2005 - 02 - 25

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

结果表明[12~13],对于(*NNE* - *NE* 向)线性构造,选择半径为2.0 km的断层影响带作为金矿 GIS 预测的证据层;对于岩浆岩(岩脉)异常,中生代花岗岩应作为 GIS 预测时的岩浆岩证据层(其单位矿产当量为 0.54);对于地层异常、胶东群的蓬奄组应作为地层证据层(其单位矿产当量为 0.81).

2.2　**地球化学异常信息提取**　Au 元素地球化学异常对寻找金矿来讲是一种直接的找矿信息,其异常本身的特征在很大程度上直接反映了异常源(矿体或矿化体)本身的特征[14],是成矿预测中的一个重要变量. 化探数据在进入综合信息预测之前,要确定其异常范围. 胶东金矿区,作为一个典型的金矿化集中区,其找矿指示元素异常十分明显,通过胶东金矿地球化学找矿模型研究表明,金矿指示元素有 Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Hg、W、Co、Ni、Sr、Ba、Mn 等元素. 我们在地球化学异常数据库中建立了 12 种元素地球化学异常信息. 结合找矿指示元素组合特点,选择 Au、Ag、As 3 种元素作为地球化学异常信息. 并用统计法计算各元素的异常下限值.

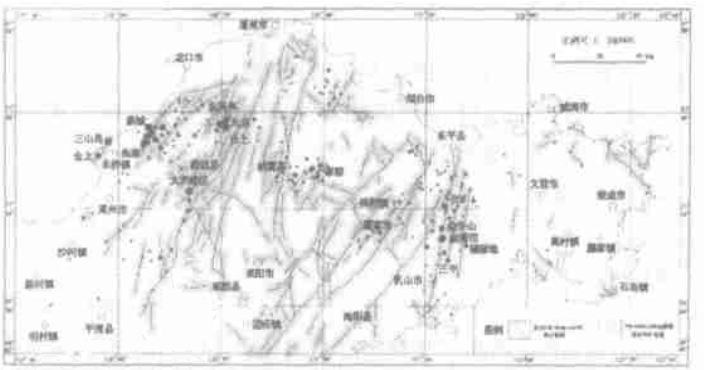


图 1　胶东金矿矿集区断裂构造控矿异常范围图

2.3　**重磁异常信息提取**　金矿并不能引起重磁异常,但金矿的形成、赋存部位却无不受断裂构造和中生代岩浆岩的控制,而这些断裂构造和中低磁性与低密度的岩体都能引起重磁异常. 因此重磁异常是金矿找矿间接信息.

2.3.1　**航磁异常信息提取**　线型磁异常是断裂构造的地球物理标志. 通常断裂破碎带、蚀变带在磁异常图上反映一定走向的低负磁异常带,它可以指示金矿带赋存的地质构造环境,而金矿床或矿体多出现于低负磁场的地球物理环境中. 在航磁图上金矿一般分布在低负磁场的缓变场内或同一磁异常的低负场中. 通过利用 MAPGIS 对胶东矿集区航磁异常与已知金矿进行空间关系分析发现,胶东矿集区磁异常与金矿分布具有明显的规律性:胶东矿集区已知的金矿床(点)基本上都分布在航磁异常低负缓变场中,少部分位于同一磁异常的低负场中.

2.3.2　**重力异常信息提取**　大型矿集区的分布往往与莫霍面的变异带、切穿地壳的超深断裂带有关,对应这些地方重力异场则表现为区域性重力异常梯级带. 大型、超大型金矿床常产在超深断裂带附近、并受区域性断裂带和次一级断裂控制,而这些断裂带在重力异场则表现为不同级别、不同规模的重力异常梯级带. 因此,重力异常的梯级带往往是金矿带的重要产出部分.

通过利用 MAPGIS 对胶东矿集区重力异常与金矿床进行空间关系分析发现,胶东矿集区的重力异常梯级带是金矿成矿的有利部位. 另外有一部分金矿床产于重力异常由高向低的缓变带上,重力异常的缓变带也同样是金矿成矿的有利部位,这一特征反应了金矿成矿与低密度的花岗岩有一定的关系.

例如主要产在重力异常的梯级带上金矿床招远—平度金矿带的大尹格庄、夏甸、旧典金矿;牟—乳金矿带的邓格庄、金牛山、金青顶、三甲等金矿. 产在重力异常高值缓变带上的金矿床有三山岛—仓上金矿田、焦家—新城金矿田、玲珑金矿田等金矿.

由此可见,传统意义上认为胶东矿集区金矿床均产在重力异常的梯级带上的认识是不确切的,不同的金矿床的产出位置存在一定的差异. 综合胶东矿集区已知金矿床同重力异常分布的关系,作者认为:胶东矿集区金矿床多产在重力异常的梯级带上和重力异常的缓变带上,大部分重力低异常与岩浆岩的分布相对应.

如前所述,重磁信息对于找矿是一种间接信息,将其重力异常作为地质变量参与预测评价计算、其选取的证据权权限值分别为: - 5 nT·m^{-1} ≤Δ T_z ≤5 nT·m^{-1}; - 100 gu ≤Δ G_z ≤100 gu.

3　证据权法的基本原理及其综合信息资源评价

3.1　**证据权法的基本原理**　"证据权"法运用需要 3 类基础数据: ①评价预测区的总面积 A; ②含矿网格总面积 D; ③第 i 个图层(矿产图层或与成矿有关的地、物、化图层)的总面积 B_i.

由上述 3 类基础数据可以派生出下列中间数据: ①D 与 B_i 同时存在的单元网格面积 $D \cap B_i$; ②有 D 而无 B_i 的单元网格面积 $D \cap \bar{B}_i$; ③有 B_i 而无 D 的单元网格面积 $\bar{D} \cap B_i$; ④无 D 无 B_i 的单元网格面积 $\bar{D} \cap \bar{B}_i$.

基本公式如下:

1)　矿点(床)出现的奇比　　$O(D) = {}^{P(D)}/_{[1-P(D)]} = {}^{D}/_{(A-D)}$,

式中 $P(D) = D/A$ 为矿点(床)出现的概率.

2)　证据权:第 i 图层与矿点同时存在定义为正权:

$$W_i^+ = \ln {}^{P(B_i|D)}/_{P(B_i|\bar{D})}.$$

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

有矿点而无第 i 图层存在定义为负权:

$$W_i^- = \ln P(\bar{B}_i \mid D) / P(\bar{B}_i \mid \bar{D}).$$

3) 后验奇比

$$\ln O(D \mid B_1^k \cap B_2^k \cdots \cap B_n^k) = \sum_{i=1}(W_i^k + \ln O(D)).$$

式中 B_i 表示第 i 个图层所点网格的总面积.

$k = \{0,1\}$,当 $k = 0$ 时,表示该图层不出现时的情况,即 $W_i^k = W_i^-$;

当 $k = 1$ 时,表示该图层出现时的情况,即 $W_i^k = W_i^+$.

4) 后验概率

$$P(D \mid B_1^k \cap B_2^k \cdots \cap B_n^k) = O(D \mid B_1^k \cap B_2^k \cdots \cap B_n^k)/[1 + O(D \mid B_1^k \cap B_2^k \cdots \cap B_n^k)].$$

5) 相关系数

$$C_i = W_i^+ - W_i^-.$$

3.2 综合信息资源评价 "证据权法"评价计算成果表示的是一张后验概率图,其数值的大小,表明发现矿床的概率,然后圈出后验概率大于某一临界值的地区,即为本次圈定的成矿区和预测的找矿远景区,由于后验概率是在大量的地、物、化、遥图层数据及相关辅助图层数据叠加、综合的基础上计算出来的,因而其结果反映了上述各类信息数据对矿床定位预测的控制与指导作用.前已述及,在进行矿产资源评价预测时,"证据权法"是由"图形数据"驱动的,与传统的各类统计法采用"数字数据"驱动不同."图形数据"选取合理与否,直接影响到"证据权法"的应用效果.除此之外,计算网格的设计也是影响该方法使用效果的一个重要因素.评价计算网格大小一般是由以下条件决定:①评价预测区域的"图形数据"比例尺;②评价预测区域内已知矿床(点)的分布;③运行"证据权"法的计算机硬件配置.

研究选用 1km ×1km 的网格进行计算,并且布置网格的方向选用 $NE40°$(选择的依据是在胶东矿集区,NE 向构造起着非常重要的控矿作用).结合前面的分析和各证据权因子的提取,在进入证据权模型运算之前,选取了包括岩性、构造、岩浆岩、物探、化探等异常因素的共 13 个证据权层,对这些证据权层进行各自的统计及计算,得出各自的证据权值.

表 1 胶东矿集区金矿综合信息评价预测应用证据权法计算参数(1km ×1km)

证据权层	计算变量	变量取值	叠加面积/km^2)	W^+	W^-	相关系数
地层	蓬奄组(Ar - Pt_1^1jp)	单位矿产当量 > 0.812	2 513.46	1.795 7	- 0.311 9	2.107 6
控矿构造	NNE - NE - NW 向	半径 ≤2.04 km	1 658.42	3.757 8	- 0.181 7	3.939 4
岩浆岩	中生代花岗岩	单位矿产当量 > 0.546	3 658.11	2.952 9	- 0.159 8	3.112 6
航磁异常	ΔT_Z	- 5 $nT \cdot m^{-1}$ ≤ΔT_z ≤5 $nT \cdot m^{-1}$	2 678.92	0.817 3	- 0.258 1	1.075 4
重力异常	ΔG_Z	- 100 gu ≤ΔG_z ≤100 gu	2 409.76	1.001 4	- 1.121 0	2.122 4
化探异常	Au	≥2.4 ×10^{-6}	1 678.84	2.869 2	- 0.607 5	3.476 8
	Ag	≥47.6 ×10^{-6}	2 022.16	2.613 8	- 0.392 1	3.005 9

3.3 应用效果 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.胶东矿集区,作为一个大型的金矿化集中区,到目前为止,该矿集区的地质研究程度比较高,物化探资料丰富,但由于证据权重法在进行网格分析和统计时,不能很好地区分矿床的规模大小,因此在该矿集区运用证据权法的效果如何是本文所关注的问题之一.

运用该模型计算得到包括已知矿床(点)在内的 9 640 个后验概率等值线图.根据分析结果,将其后验概率值分下列 4 级(图 2):Ⅰ级为 0.67～1;Ⅱ级为 0.41～0.67;Ⅲ级为 0.20～0.41;Ⅳ级为 0～0.20.结合已知矿床分布规律和可能出现的远景区,本次研究将Ⅱ级以上的网格单元列为圈定成矿区和找矿远景区.分析表明,后验概率出现的Ⅰ、Ⅱ级网格分布范围一般与应用成矿规律新圈定的成矿区带基本吻合(图 2).这说明应用证据权重法进行大型矿集区(胶东矿集区)的综合信息成矿预测是可信的.在胶东矿集区预测图上出现了两处未知预测区,分别位于胶莱盆地内部及北部边缘地区.并且两处预测区均是Ⅱ级以上,这样为预测找矿远景区提供了重要信息.



图 2 山东省胶东地区金矿证据权重法 GIS 成矿预测图

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　参考文献

[1] 肖克炎,张晓华,王四龙,等. 矿产资源 GIS 评价系统[M]. 北京:地质出版社,2000. 1～103

[2] 吴堑虹. 利用 GIS 编制矿产预测图[J]. 地质与勘探,2000,36(3):48～50

[3] 李春霞. GIS 在地质勘查找矿运用中的关键问题探讨[J]. 矿产与地质,2000,14(6):362～264

[4] 赵鹏大,姜作勤. 数学地质和地质信息[M]. 北京:地质出版社,1999. 15～36

[5] Agterberg F P,Bonham Carter G F,Wright D F. Statistical pattern intergration for mineral exploration. In: Gall G and Merriam D F. Computer Application for Mineral Exploration in Resource Exploration[M]. Oxford:Oergamon Press,1990. 1～21

[6] Bonham - Carter G F,Agterberg F P. Weights of evidence:a new approach to mapping mineral potential,statistical applications in the earth sciences[M]. Canada:Geological Survey of Canada,1990. 231～245

[7] Menzies M A,Fan W M,Zhang M. Paleozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of > 120 km of Archean lithosphere,Sino - Korean craton,China[J]. In:Prichard H M et al eds. Magmatic Processes and Plate Tectonics. Geological Society Special publication,1993,(76):71～81

[8] 唐永成,何义权,王永敏,等. GIS 应用于安徽东部地区金矿资源评价研究[M]. 北京:地质出版社,2000. 145～243

[9] 池顺都,赵鹏大. 应用 GIS 圈定找矿可行地段和有利地段[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(2):125～128

[10] 赵鹏大,陈永清. 地质异常矿体定位的基本途径[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(1):111～114

[11] 池顺都,吴新林. 云南元江地区铜矿 GIS 预测时的找矿有利度和空间相关性分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(1):75～78

[12] 黎青华,张　均,张晓军. 基于 GIS 技术胶东金矿集区的地质异常分析[J]. 地质与勘探,2002,38(6):55～58

[13] 黎青华,张　均,王　军. GIS 预测中的找矿有利度和空间相关性分析[J]. 华南地质与矿产,2002,(2):41～46

[14] 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

THE APPLICATION OF GIS IN GOLD MINE FORECAST OF EASTERN SHANDONG

Yang Maosen[1)]　　Li Qinghua[1)]　　Zhang Shuzhen[2)]

(1) Faculty of Resources,China University of Geosciences,430074,Wuhan,China;
2) Geophysical and Geochemical Exploration Team of Shandong Province,250014,Jinan,China)

Abstract　With the development of GIS and internet, GIS is widely used to forecast and evaluate the mineral resources. This paper takes the central distribution area of gold mine in Eastern Shandong as study aims and deals with all sorts of finding mine exceptional information and analyzes them with the weight of evidence method based on GIS central technology. And puts forward twelve weight of evidence factors that relates to the mine formation, such as construction, stratum, magmatism, geophysical exploration and geochemical exploration etc. According to 1km ×1km grid, this paper divides the central distribution area of gold mine in Eastern Shandong into valid grids with the help of GIS and according to posteriori probability divides it into three - grade advantage target area. It will conduct the search of gold mine forecast in Eastern Shandong and also discuss the application of GIS in mineral resources forecast and evaluation.

Key words　GIS; weight of evidence method; mine central distribution area in Eastern Shandong; mine formation forecast

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net