

文章编号:1007-3701(2002)02-0041-06

GIS 预测中的找矿有利度和空间相关性分析

——以胶东金矿集区为例

黎清华 张 均 王 军

(中国地质大学资源学院,湖北 武汉 430074)

摘要:以山东省胶东地区金矿集区为例,介绍了线型异常和面型异常的找矿有利度分析方法,给出断裂、岩浆岩异常和地层找矿有利度分析的结果和计算空间相关性的公式,并研究了不同线、面异常的空间相关性及相关异常的组合异常,论证了在矿产资源预测中应用组合异常的必要性。

关键词:矿产预测;地理信息系统;找矿有利度;空间相关性

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

在区域矿产资源勘查中,GIS 是采集、分析及合成不同类型数据,达到分析矿产资源潜力并预测成矿有利地段的最佳工具之一。根据地质异常理论^[1, 2],我们提出了矿产经验预测的方法体系。该体系主要包括:(1)找矿可行地段的划分;(2)线型异常、面型异常、组合异常的找矿有利度分析;(3)建立成矿预测空间模型,并用于确定成矿预测的异常组合;(4)异常有利于预测的数值区间的确定及数据合成和不同级别找矿有利地段的确定。本文仅探讨与找矿有利度分析有关的问题。

1 单异常的找矿有利度分析

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^[1]、赵鹏大等^[3]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。本文将以山东胶东金矿集区 GIS 预测的实际资料,进一步探讨断层影响带有效半径的确定和通过异常找矿有利度分析选择矿产预测重要证据层的论证方法,以及异常空间相关性和应用组合异常必要性等问题。

1.1 线型异常的找矿有利度分析

在研究本区断裂与金矿床(点)关系时,首先检索出所有与成矿作用有关的断裂及其边界断裂,然后作金矿床及金矿床点与控制金矿床产出的主干断层和派生断裂的相交分析,根据相交分析的结果,统计金矿点与断层的距离,并得到统计直方图。

胶东矿集区构造变形复杂,走向多样,对区内金矿的产出具有重要的控制作用。通过统计其展布情况发现,本区内主要有 NE、NNE、NW 及 EW 向四个方向的线型异常发育。邓军等^[4]、孙景贵^[5]研究表明,胶东地区 NE-NNE 向构造是最主要的控矿构造。在招掖成矿带内金矿床主要受 NE-NNE 向压扭性断裂控制;在蓬莱-栖霞成矿带内,金矿床主要受 NNE 向压扭性断裂控制;在牟平-乳山成矿带内所有金矿床主要受 7 条大致平行等间距的 NE-NNE 向断裂控制。

为了确定不同展布方向线型异常的找矿有利度大小,我们在一定的判别准则下进行比较,即对于不同

展布方向的线型异常,寻找当 85% 的矿产当量(胶东矿集区总的矿产当量 $N_{sum} = 3889$, 85% 的矿产当量即当矿产当量为 3306 时)落入不同展布方向线型异常所确定的控矿范围内时的 Buffer 半径作为不同展布方向线型异常的找矿有利度大小。

依照此准则,利用 MAPGIS 在对矿集区 NE、NNE、NW 及 EW 向断裂构造进行检索的基础上,对满足条件的线型异常与矿集区已知矿床(点)进行空间结构分析,分别得到了统计直方图(图 1)。

从统计直方图中可以看出,当 Buffer 半径取 3.09 km 时,胶东矿集区 85% 的矿产当量落在 NNE 向线型异常所确定的异常范围内。而对于 NE、NW、EW 向线型异常,在该准则下其 Buffer 半径分别为 8.25, 9.71 和 27.33 km。

由此可知,胶东矿集区线型异常中 NNE 向线型异常对金矿的控制作用最直接,NE、NW 向线型异常次之,而 EW 向线型异常对金矿的控制作用最弱。

再对 NNE、NE、NW 向线型异常的联合控矿作用进行分析,从统计直方图中可知,此时在该准则下的 Buffer 半径为 2.04 km。这说明 NNE-NE-NW 向线型异常对胶东矿集区金成矿的联合控制作用更为明显。因此,在胶东矿集区不但 NNE 向线型异常对矿集区金成矿的控制作用明显,而且往往在 NNE、NE 及 NW 向线型异常交汇的部位更有利于成矿事件发生。鉴于上述,选择半径为 2.04 km 的断层影响带作为金矿 GIS 预测的证据层。

1.2 面型异常的找矿有利度分析

面型异常是数量最多的异常类型。如地质图上的各种岩浆岩和地层,各类平面分布的物化探异常等等。在这一部分,首先给出面型异常找矿有利度分析的方法,然后对本区地层和岩浆岩异常进行分析。

运用 GIS 技术处理面状地质异常时不能忽视这样一个问题,即为了更好地体现面状异常(如地层、岩浆岩等)与矿床分布的耦合关系,不能单纯地统计矿床(点)在某个面异常中出露的个数,应计算各个面异常的矿产当量(N)、单位矿产当量(K_N)和矿床出现率(F)。

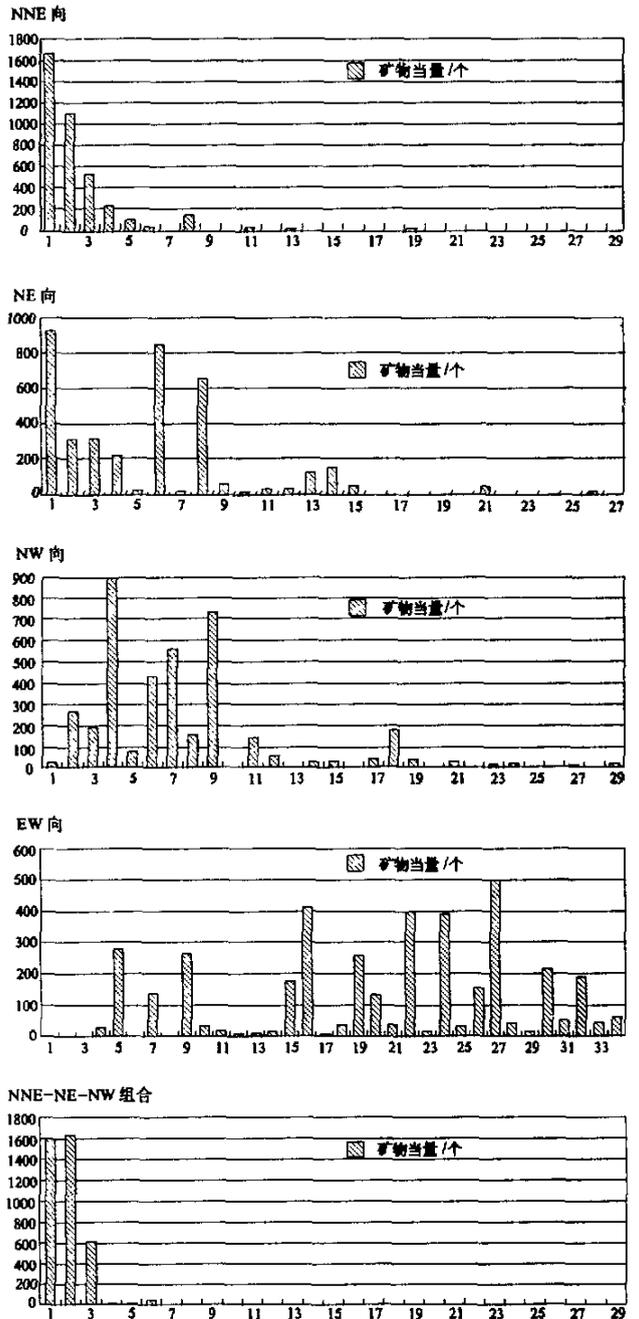


图 1 胶东地区断裂构造与矿床间距关系统计直方图
Fig. 1 Histogram of distances from gold deposits to fault in Jiaodong gold deposits concentration region (图上分组间距为 1.00 km)

$$N = N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 + N_3 \times K_3 + N_4 \times K_4 + N_5 \times K_5 \tag{1}$$

式中: N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 分别为特大、大、中、小型矿床和矿点的个数。 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 则是特大、大、中、小型矿床及矿点相应的权系数。单位矿产当量用 K_N 表示:

$$K_N = N/S \tag{2}$$

其中 S 为面状异常出露面积, 单位为 km^2 ; 单位矿产当量作为表征成矿强度的指标。

$$\text{矿床出现率 } F = N/N_{\text{sum}} \tag{3}$$

其中 N_{sum} 为一类面状异常中各个异常矿产当量(N)的总和。

1.2.1 地层异常的成矿有利度分析

胶东矿集区内地层发育比较简单。除莱阳盆地和北部第三纪黄县盆地中有中、新生代沉积外, 大部分被早、晚元古界胶东群、粉子山群和蓬莱群所覆盖, 其中胶东群分布最广, 且普遍经受中级区域变质作用, 大部分地区遭受不同程度的多期次混合岩化作用和花岗岩化作用, 形成了不同类型的混合岩和花岗岩。

出露的地层由老到新为: 胶东群(包括蓬乔组 $Ar-Pt_1^{1j}$ 、民山组 $Ar-Pt_1^{1jm}$ 、富阳组 $Ar-Pt_1^{1jf}$)、粉子山群(包括祝家乔组 Pt_1^{1fz} 、巨屯-张格庄组 Pt_1^{1fjzh} 、岗嵒组 Pt_1^{1fg} 、芝罘组 Pt_1^{1fzhw})、蓬莱群(包括豹山口组 Zpb 、辅子乔组 Zpf 、南庄组 Zpn 、香乔组 Zpx)、侏罗系(由莱阳组 $J_3l^{1-2} + J_3l^{3-4}$ 构成)、白垩系(包括青山组 $K_1q^{1-2} - K_1q^3$ 、王氏组 $K_2w^{1-2} - K_2w^3$)和第四系。

在计算本区的矿产当量(N)、单位矿产当量(K_N)及矿床出现率(F)时, 取 $K_1 = 2 \times 5^4, K_2 = 5^4, K_3 = 5^3, K_4 = 5^2, K_5 = 5, N_1 = 8, N_2 = 9, N_3 = 20, N_4 = 20, N_5 = 164$, 则胶东矿集区总矿产当量 $N_{\text{sum}} = 3889$ 个。

分析结果(表1)表明: 胶东矿集区金矿床(点)与胶东群地层的发育有重要的关系。具体而言, 众多的金矿床(点)分布在胶东群蓬乔组的地层中, 这套地层分布面积为 2680.64 km^2 , 见矿地层面积为 2513.46 km^2 , 见矿地层比例高达 0.938 , 而矿产当量、单位矿产当量及矿床出现率均远高出其他地层。因此, 在作GIS金矿预测时, 胶东群就应选择蓬乔组作为地层证据层。

表1 胶东矿集区各套地层的找矿有利度

Table 1 The ore-finding beneficial degree of formations in all strata of Jiaodong deposits concentration

地 层	所属组	金矿床(点)/个					地层面积 /km ²	见矿地 层面积 /km ²	见矿地 层比例	矿产 当量 /个	单位矿 产当量 /个·km ⁻²	矿床 出现率
		特大 型	大 型	中 型	小 型	矿 点						
$Ar-Pt_1^{1jp}$	蓬乔组	4	1	8	1	37	2680.64	2513.46	0.938	2042	0.81	0.5251
$Ar-Pt_1^{1jm}$	民山组	0	0	2	2	19	2356.28	1618.62	0.687	79	0.049	0.0203
$Ar-Pt_1^{1jf}$	富阳组	0	0	0	0	3	483.04	105.75	0.219	3	0.028	0.0008
Pt_1^{1fz}	祝家乔组	0	0	0	0	1	143.27	2.104	0.015	1	0.475	0.0003
Pt_1^{1fjzh}	巨屯-张格庄组	0	0	0	2	2	501.51	192.83	0.384	12	0.062	0.0031
Pt_1^{1fg}	岗嵒组	0	0	0	0	0	271.56	0	0	0	0	0
Pt_1^{1fzhw}	芝罘组	0	0	0	0	0	10.13	0	0	0	0	0
Zpb	豹山口组	0	0	0	0	1	75.81	2.34	0.031	1	0.427	0.0003
Zpf	辅子乔组	0	0	0	0	0	51.87	0	0	0	0	0
Zpn	南庄组	0	0	0	0	0	58.08	0	0	0	0	0
Zpx	香乔组	0	0	0	0	0	51.60	0	0	0	0	0
$J_3l^{1-2} + J_3l^{3-4}$	莱阳组	0	0	0	0	3	1568.92	279.18	0.178	3	0.011	0.0008
$K_1q^{1-2} - K_1q^3$	青山组	0	0	0	0	1	1167.75	49.70	0.043	1	0.020	0.0003
$K_2w^{1-2} + K_2w^3$	王氏组	0	0	0	0	0	472.41	0	0	0	0	0
Q	第四系	1	1	1	0	9	5047.76	3247.60	0.643	409	0.126	0.1052

1.2.2 岩浆岩异常的成矿有利度分析

本区岩浆岩分布广泛,几乎全部是中生代燕山期形成的。区内地表岩体覆盖面积达 7 623.36 km²,占整个胶东地区陆地总面积的 1/3 强,占整个山东省花岗岩出露面积的 89%。从胶东地质图上可以看出,燕山中期的岩体分布广、规模大,西部的复式玲珑大岩体、中部的鹊山岩体以及东部的昆崮山大岩体,都形成于燕山中期,总面积达 4 695.18 km²,在深部它们呈一巨型岩基连在一起。其与围岩胶东群和粉子山群呈渐变过渡关系。

同理采用公式(1)~(3)计算各时代和类型的岩浆岩的成矿有利度。

计算结果(表 2)及前面的研究表明:胶东矿集区金矿床不仅与胶东群蓬乔组的地层有关,还与燕山中期广泛发育的花岗岩关系密切。该期花岗岩的分布面积为 4 318.63 km²,见矿岩浆岩面积为 3 658.11 km²,见矿岩浆岩比例高达 0.847,矿产当量、单位矿产当量及矿床出现率均远高于其他类型的岩浆岩。而燕山晚期、桃科期及喜山期岩浆岩对于金的成矿作用贡献极微弱。这充分说明在胶东矿集区,燕山中期花岗岩对成矿作用的重要性。因此,燕山中期花岗岩应作为 GIS 预测时的岩浆岩证据层。

表 2 胶东矿集区各类岩浆岩(包括岩脉)的找矿有利度

Table 2 The ore-finding beneficial degree of formations in magmatite (including vein) of Jiaodong deposits concentration

时代	岩浆岩类型	金矿床(点)/个					岩 浆 岩 面 积 /km ²	见 矿 岩 浆 岩 面 积 /km ²	见 矿 岩 浆 岩 比 例	矿 产 当 量 / 个	单 位 矿 产 当 量 / 个·km ⁻²	矿 床 出 现 率
		特 大 型	大 型	中 型	小 型	矿 点						
桃科期	辉石闪长岩 $\mu\delta^{1-2}$	0	0	0	0	0	35.45	0	0	0	0	0
	辉石角闪岩 $\nu\theta^{1-2}$	0	0	0	0	0	21.49	0	0	0	0	0
燕山 中期	花岗岩 $\gamma_3^{2(1)}$	3	7	9	14	77	4318.63	3658.11	0.847	1997	0.546	0.5135
	石英二长岩 $\rho_5^{2(2)}$	0	0	0	1	8	376.55	318.30	0.845	13	0.041	0.0033
燕 山 晚 期	花岗岩 $\gamma_3^{3(1-2)}$	0	0	0	0	0	1271.92	0	0	0	0	0
	似斑状花岗岩 $\gamma\delta_3^{3(1)}$	0	0	0	0	1	671.80	135.37	0.202	1	0.007	0.0003
	斑状正长岩 $\xi_3^{3(1)}$	0	0	0	0	0	136.45	0	0	0	0	0
	(辉石)二长岩 $\eta\delta_3^{3(1)}$	0	0	0	0	2	210.14	183.94	0.875	2	0.011	0.0005
	花岗闪长玢岩 $\lambda\delta\mu_3^3$	0	0	0	0	0	40.66	0	0	0	0	0
	花岗斑岩 $\gamma\pi_3^{2(2)}$	0	0	0	0	0	13.2	0	0	0	0	0
喜山期	玄武岩 BOP	0	0	0	0	0	119.24	0	0	0	0	0

2 组合异常及空间相关性分析

2.1 组合异常

组合异常有 3 种形式^[6]:线异常与面异常的组合、面异常与线异常的组合及面异常与面异常的组合。线异常与面异常的组合会出现面异常内的线异常与面异常外的线异常两种情况;面异常与线异常的组合则出现存在线异常的面异常及不存在线异常的面异常两种情况;而在 A 和 B 两个面异常组合时,会出现 3 种情况:A 和 B 同时存在(即 A 与 B 相交),A 存在而 B 不存在和 B 存在而 A 不存在。

对于线异常与面异常组合,可以将本区胶东群中的断裂与胶东群出露区进行 GIS 下的相交操作,这样便可得到胶东群中的断裂。在此基础上,选取合适的半径作断层影响带,得到有利于寻找胶东群金矿的断层影响带。这是预测矿床的重要标志。

对于面异常与面异常的组合,下面探讨两种面异常的空间相关性。如有 A, B 两个面异常在空间相交,面积分别为 S_A 和 S_B ,且 $S_A < S_B$ 。A 和 B 相交的面积为 S_{AB} 。显然,若两者不相交,则 $S_{AB} = 0$;两者

完全相交,则 $S_{AB} = S_A$ 。一般 $S_{AB} < S_A$ 。据此,可以用 S_{AB} 与 S_A 之比作为两个异常的空间相关系数,即

$$K = S_{AB}/S_A \quad (4)$$

在研究两类面异常的空间相关性时,通常不是两个(一对)异常相交,而是多对异常的相交,很难用上式予以计算。设异常 A, B 的面积总和分别为 ΣS_A 和 ΣS_B , 异常相交的面积之和为 ΣS_{AB} 。考虑到空间相关系数的值应在 0~1 之间,所以采用下式计算

$$K = 2\Sigma S_{AB}/(\Sigma S_A + \Sigma S_B) \quad (5)$$

2.2 地层-构造和岩浆岩-构造组合异常找矿有利度分析

运用 GIS 技术的相交分析功能处理,可得该矿集区面线组合异常区——包括地层-构造异常区(C区)和岩浆岩-构造异常区(D区)。表 3 列出了地层-构造组合异常及岩浆岩-构造组合异常的找矿有利度分析结果。为了便于对比,同时也给出了地层证据层(胶东群蓬乔组 Ar-Pt₁jp)和岩浆岩证据层(燕山中期花岗岩 $\gamma_3^{(1)}$)找矿有利度的分析结果。在计算 F 时, N_{min} 取 3 889 个/km²。

表 3 地层、岩浆岩与构造的组合异常找矿有利度分析及与单异常的比较

Table 3 The ore-finding beneficial degree of strata-structure and magma-structure assemblages anomalies

地 层	金矿床(点)/个				地层 面积 /km ²	见矿地 层面积 /km ²	见矿地 层比例	矿产 当量 /个	单位矿 产当量 /个·km ⁻²	矿床 出现率	
	特大 型	大 型	中 型	小 型 点							
C 区	4	1	6	1	18	982.35	409.30	0.417	1697	1.291	0.436
Ar-Pt ₁ jp	4	1	8	1	37	2680.64	2513.46	0.938	2042	0.812	0.525
比值						0.367	0.163	0.445	0.831	1.590	0.830
D 区	3	6	6	10	19	2076.4	476.40	0.229	1719	0.828	0.442
$\gamma_3^{(1)}$	3	7	9	44	77	4318.63	3658.11	0.847	1997	0.546	0.514
比值						0.481	0.130	0.270	0.861	1.516	0.861

从分析结果可以看出,组合异常没有明显的漏矿现象,特大、大中型矿床都包含在组合异常内。地层和岩浆岩矿产当量的比值分别高达 0.831 和 0.861,矿床出现率的比值分别为 0.830 和 0.861。组合异常的面积明显小于单一的异常,其比值分别为 0.367 和 0.481。而单位矿产当量则是单一异常的 1.590 倍和 1.516 倍,说明组合异常确实有浓缩找矿信息的作用。

3 结语

运用 GIS 技术进行矿产预测是一项新技术,它为定量预测提供了重要的数据准备和空间分析的基础。找矿有利度和空间相关性分析在定量预测中起着重要作用,其分析结果可作为矿产预测工作中的一个指标和依据。在成矿预测过程中,尤其应该注重组合异常的分析 and 提取计算,因为成矿过程是一个多因素起作用的结果。

参考文献:

- [1] 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, 22(1): 99—103.
- [2] 赵鹏大,池顺都. 初论地质异常[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(3): 241—248.
- [3] 赵鹏大,池顺都,陈永清. 查明地质异常:成矿预测的基础[J]. 高校地质学报, 1996, 2(4): 361—373.
- [4] 邓军,徐守礼,方云,等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学[M]. 北京:地质出版社, 1996.
- [5] 孙景贵. 胶东地区地质体的含金性与金成矿关系[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(2): 43—54.
- [6] 陈永清,赵鹏大. 地质异常单元的基本特点及划分方法[J]. 中国数学地质, 1997, 11(8): 55—63.

**BENEFICIAL DEGREE AND SPATIAL CORRELATION ANALYSIS
OF GOLD DEPOSIT PREDICTION BY GIS: A EXAMPLE FROM THE
JIAODONG GOLD DEPOSIT CONCENTRATION IN SHANDONG PROVINCE**

LI Qing-hua, ZHAN Jun, WANG Jun

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Taking the Jiaodong gold deposit concentration area in Shandong Province as an example, the method of ore-finding beneficial degree of linear anomaly and plane anomaly are described, and the formula and calculating results of fault and magmatic anomalies as well as stratum beneficial degree are presented. The spatial correlation of different linear and plane anomalies as well as the relative group anomaly is studied by the spatial correlation formula. The necessity of using group anomaly in prediction of mineral deposits is also discussed.

Key words: prognosis; GIS; ore-finding beneficial degree; spatial correlation