

# GIS, 经验找矿与求异找矿结合的工具——化探异常找矿效果经验分析

池顺都

(中国地质大学, 武汉 430074)

[摘要] 经验找矿与求异找矿是进入下一世纪的两种重要找矿方法。从经验找矿角度出发, 应用 GIS 研究了化探异常与相关矿床的耦合度和出现率, 不同元素异常和同一元素不同等级异常的找矿有利度以及两种不同元素组合异常的找矿有利度。研究结果表明, 上述两种方法的结合可以极大地提高预测找矿效果。

[关键词] 地理信息系统(GIS) 矿产预测 化探异常

[中图分类号] P208, P632 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)01-0071-04

O. N. 沃林将指导矿产勘查人员思想和行动的基本设想分为 3 类<sup>[1]</sup>: 第 1 类是成因族, 他们认为只要能够弄清楚矿是如何到达那里的, 那么找到其他矿体是容易的事; 第 2 类称之为联想矿产勘查者, 他们相信, 只要能够充分描述矿床是在哪里形成的, 就能够发现再次出现的岩石、构造、岩性、相和类型的组合, 那么我们将肯定会成功地发现一个新矿床; 第 3 类是求异者, 他们信念的基础是, 一个有价值的矿体, 特别是在可采深度的金属硫化物矿体, 会明显有别于周围物体, 从而发现它的存在。从前两类派生出成因模式和经验模式研制者。并且他认为, 在即将进入下一个世纪之际, 联想仍然是寻找矿床的最适宜的方法。

笔者曾应用地理信息系统(GIS), 在赵鹏大院士提出的地质异常理论的指导下, 进行了矿产的经验预测<sup>[2~6]</sup>。经验找矿与求异找矿这两类不同思路的方法是可以很好地结合, 并将大大地提高找矿的有效性。本文将化探异常找矿效果经验分析为例来探讨这个问题。化探异常找矿的诸多问题, 大多是从化探异常本身出发予以解决。如化探异常背景场的确定、异常级别的确定、不同元素异常的空间组合关系等等, 都是从各元素分析值的变异性、元素的性状出发来确定的。从经验找矿的角度出发, 我们就会从研究异常与已知的矿产地的关系出发来解决化探异常的找矿问题: 与已知矿床产出的关系最密切的异常是最重要的异常; 最有利于发现新矿床的异常组合将是最有利的异常组合; 还可以以此作为划分背景与异常的根据。用经验找矿的思路进行求异找矿的工具是地理信息系统。

## 1 矿产当量与单位矿产当量

找矿有利度分析<sup>[2]</sup>要解决两方面的问题: 其一是异常在预测中的必要性, 主要是从在要素层中是否有大量的矿点出现来评价; 其二是异常在预测中有效性, 评价的方法之一是计算矿产当量和单位矿产当量。单位矿产当量  $K_N$  为

$$K_N = N/S$$

其中:  $S$  为地层出露面积, 单位:  $\text{km}^2$ ;

$N$  为由下式计算得到的矿产当量

$$N = N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 + N_3 \times K_3 + N_4$$

式中:  $N_1, N_2, N_3, N_4$  分别为大、中、小型矿床和矿点的个数。  $K_1, K_2, K_3$  则是大、中、小型矿床相应的权系数。从式可知, 所谓矿产当量, 实际上就是将不同规模的矿产地, 折算成相当于矿点规模的矿产地的个数, 单位为个。

## 2 化探异常与相关矿床的耦合度和出现率

矿产地与物、化探异常之间, 存在着两种空间关系: 套合和耦合<sup>[3]</sup>。所谓套合是指地质异常与物化探异常空间相关, 但成因不相关。而耦合则是两者空间、成因均相关, 或空间不相关但成因相关。我们对某研究区内的化探异常与矿化的关系作了如下的分析。首先统计了各类异常的数量及面积, 再分析在异常范围内出现的各类矿床数以及与异常元素相关的矿床数, 最后分析在区内同类矿床的总数。在异常范围内出现的矿床大体上可以分为耦合和套合。前一分析称之为矿床与异常的耦合度分析。我们将和异常元素相关矿床的矿产当量与在异常范围

[收稿日期] 1998-11-02; [修定日期] 1999-02-05; [责任编辑] 王延忠  
[基金项目] 国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室资助。

内全部矿床的矿产当量之比称作相关矿床耦合度。耦合度越高,异常找矿的专属性就越强,就越易根据异常找到相关矿床。异常中所见相关矿床的矿产当量与研究范围内全部相关矿床的矿产当量之比称作相关矿床出现率。显然,出现率越高则就越不易漏

矿。出现率的高低与异常下限有关,异常下限较低,圈定的异常范围大,其相关矿床的出现率就高,但因其圈定范围大,对缩小找矿范围不利。因此在两者之间找到一个合适的度就显得十分重要。上述分析的结果见表 1。

表 1 化探异常与相关矿床的耦合度和出现率分析表

元 素	异常数量	异常面积 (km <sup>2</sup> )	异常内全部矿床以及 与异常元素相关矿床的对比分析						异常中所见相关矿床占全部同类矿床的对比分析					
			分析项目	大型	中型	小型	矿点	矿产当量	分析项目	大型	中型	小型	矿点	矿产当量
Hg	55	1941.08	相关	1	0	1	4	134	相关	1	0	1	4	134
			全部	1	0	1	9	139	全部	1	0	5	34	164
			耦合度					0.964	出现率					0.817
Au	129	7910.12	相关	1	0	3	7	147	相关	1	0	3	7	147
			全部	1	5	12	28	338	全部	1	0	8	16	171
			耦合度					0.435	出现率					0.860
Cu	149	6728.68	相关	1	1	7	15	200	相关	1	1	7	15	200
			全部	2	1	15	33	387	全部	2	3	12	87	472
			耦合度					0.517	出现率					0.424
Pb	142	7177.78	相关	1	2	4	20	215	相关	1	2	4	20	215
			全部	1	7	12	47	407	全部	5	3	7	77	812
			耦合度					0.528	出现率					0.265
Sn	95	5074.86	相关	1	1	1	6	161	相关	1	1	1	6	161
			全部	2	2	8	22	362	全部	1	1	1	19	174
			耦合度					0.445	出现率					0.926
Cr	45	1543.88	相关	0	0	0	0	0	相关	0	0	0	0	0
			全部	1	0	3	7	147	全部	1	1	0	1	151
			耦合度					0	出现率					0

为 Hg、Hg Sb As 组合异常,相关矿床有铋矿、汞矿、汞铋矿及砷矿; 为 Au、Au As 组合异常,相关矿床有金矿、砷矿及砂金; 为 Cu、Cu Pb 组合异常,相关矿床有铜矿、多金属矿、铜钴矿、铜钼矿、铜银矿、铜砷矿、铜汞矿、铜镍矿; 为 Pb、Pb Zn Ag 组合异常,相关矿床有铅锌矿、多金属矿、铅矿、铜银矿、铅锌银矿及银多金属矿; 为 W Sn 组合异常,相关矿床有锡矿、钨矿、钨锡矿及砂锡; 为 Cr Ni Co 组合异常,相关矿床有铜镍矿、铂钨矿

对比了这些数据,我们可以得出研究区内 6 类组合异常可以分为 4 个类型:1) 与铋矿、汞矿、汞铋矿及砷矿相关的 Hg、Hg Sb As 组合异常为高耦合度和相关矿床高出现率类型;2) 与金矿、砷矿及砂金等矿床相关的 Au、Au As 组合异常以及与锡矿、钨矿、钨锡矿及砂锡等矿床相关的 W Sn 组合异常为中耦合度、高出现率类型;3) 与铜矿、多金属矿、铜钴矿、铜钼矿、铜银矿、铜砷矿、铜汞矿、铜镍矿等矿床相关的 Cu、Cu Pb 组合异常以及与铅锌矿、多金属矿、铅矿、铜银矿、铅锌银矿及银多金属矿等矿床相关的 Pb、Pb Zn Ag 组合异常为中耦合度、中出现率类型;4) 与铜镍矿、铂钨矿等矿床相关的 Cr Ni Co 组合异常为较低耦合度、较低出现率类型。为对区域资源潜力作出评价,这 4 种类型异常所起的作用将依次降低,其中第 4 类型可以说是无效的。

### 3 不同元素异常及同一元素不同等级异常找矿有利度

另一成矿预测区内,对铜矿预测关系较为密切的有 Cu、Co、Ni、Pb、Ag 元素。每一元素的化探异常又按其异常下限的不同分为 A、B 二级,各级异常面积、所见矿点的情况、矿产当量及单位矿产当量和矿

床出现率如表 2 所示。在计算矿产当量  $N$  时,取  $K_1 = 125$ ,  $K_2 = 25$ ,  $K_3 = 5$ 。计算矿床出现率  $F$  时,  $N_{\text{sum}} = 288$  个。

在表 2 中,Pb 和 Ag 的各级异常区,矿床出现率  $F = 0 \sim 0.024$ ,单位矿产当量  $K_N = 0 \sim 0.024$ ,对铜矿床的找矿所起的作用不大。与铜矿床的找矿关系最为紧密的元素有 Cu、Ni、Co 这 3 个元素,但 A 级异常和 B 级异常,对指示铜矿床的找矿起着不同的作用。Cu 元素,A 级异常区(Cu - A)内出现的铜矿床只比 B 级异常区(Cu - B)内出露的矿点少 5 个,而矿床的数量完全一样,两者的矿床出现率  $F$  分别为 0.910 和 0.927。但异常的总面积,B 级异常区达 782.63 km<sup>2</sup>,A 级异常区却只有 126.56 km<sup>2</sup>,只是 B 级异常区总面积的 1/6。A、B 两级异常的见矿异常比值分别为 0.659 和 0.392。单位矿产当量  $K_N$  分别为 2.07 和 0.341。这两个指标也充分地反映出 A 级异常比 B 有异常有更好的预测效果。因此,在矿产预测中,A 级异常是更为重要的证据层。Ni 和 Co 这两个元素异常的情况却有所不同。Co 和 Ni 的 A 级异常由于分布区太小,面积不大,会漏掉大、中型矿床,并非是个理想的证据层。Co 和 Ni 的 B 级异常虽能指示铜矿床的存在,矿床出现率  $F$  分别达到 0.

556 和 0.628。但这两个元素的 B 级异常区的面积很大, 达近千 km<sup>2</sup>。单位矿产当量值很低, K<sub>v</sub> 分别为 0.185 和 0.177, 同时见矿异常比值也低, 分别为 0.410 和 0.199, 不是一个有效的证据层。作进一步

的分析可知, 上述两个元素的异常, 与产在大红山群内铜矿床的成因联系更为紧密。在下面的有关组合异常的研究中将指出, Cu 与 Ni、Co 的组合异常, 会提高化探异常指示铜矿床找矿的有效性。

表 2 化探异常找矿有利度分析表

异常	大矿	中矿	小矿	矿点	矿点总数	异常面积 (km <sup>2</sup> )	见矿异常面积 (km <sup>2</sup> )	见矿异常比值	矿产当量 (个)	单位矿产当量 (个/km <sup>2</sup> )	矿床出现率 (F)
Cu - A	1	5	2	2	10	126.56	83.46	0.659	262	2.07	0.910
Cu - B	1	5	2	7	15	782.63	307.05	0.392	267	0.341	0.927
Co - A	0	0	0	0	0	70.0					
Co - B	1	1	1	5	8	863.75	354.68	0.410	160	0.185	0.556
Ni - A	0	1	0	0	1	195.56	1.63	0.008	25	0.128	0.087
Ni - B	1	2	0	6	9	1020.9	202.93	0.199	181	0.177	0.628
Pb - A	0	0	0	2	2	84.44	6.40	0.076	2	0.024	0.007
Pb - B	0	0	1	2	3	710.38	53.23	0.075	7	0.010	0.024
Ag - A	0	0	0	0	0	41.81					
Ag - B	0	0	0	2	2	301.56	8.13	0.027	2	0.007	0.007

$$K = 2 S_{AB} / (S_A + S_B) \quad (4)$$

#### 4 组合异常及空间相关性

本文所说的组合异常是指两种不同元素的异常在空间的交。只有两种具有强空间相关性的面异常, 才能组合成具有预测意义的组合异常。因此, 必须研究两种面异常的空间相关性。

##### 4.1 两类面异常的空间相关性

有 A、B 两个面异常在空间相交。面积分别为 S<sub>A</sub> 和 S<sub>B</sub>, 且 S<sub>A</sub> < S<sub>B</sub>。A 和 B 交的面积为 S<sub>AB</sub>。显然, 若两者不相交, 则 S<sub>AB</sub> = 0; 两者完全相交则 S<sub>AB</sub> = S<sub>A</sub>。一般 S<sub>AB</sub> < S<sub>A</sub>。据此, 可用 S<sub>AB</sub> 与 S<sub>A</sub> 之比作为两个异常的空间相关系数, 即

$$K = S_{AB} / S_A \quad (3)$$

问题在于在研究两类面异常空间相关性时, 通常不是两个(一对)异常相交, 而是多对异常相交, 很难用上式计算。设异常 A、B 面积总和分别为 S<sub>A</sub> 和 S<sub>B</sub>, 异常相交面积之和为 S<sub>AB</sub>。考虑到空间相关系数值应在 0~1 之间, 采用下式计算:

根据上式计算的 B 级 Cu 异常与 B 级 Co 异常和 B 级 Cu 异常与 B 级 Ni 异常的空间相关系数如表 3 所示。计算表明, 有较强的相关性, 且前者强于后者。

表 3 空间相关性计算表

相关的异常	S <sub>A</sub> (km <sup>2</sup> )	S <sub>B</sub> (km <sup>2</sup> )	S <sub>AB</sub> (km <sup>2</sup> )	K
Cu - B, Co - B	782.63	865.75	423.06	0.513
Cu - B, Ni - B	782.63	1020.94	368.19	0.408

##### 4.2 组合异常的找矿有利度

表 4 给出了 B 级组合异常与找矿有利度分析结果。为便于对比, 给出了 B 级 Ni 异常和 Co 异常的找矿有利度的分析结果。在计算矿床出现率 F 时, N<sub>sum</sub> 取 334。可以看出, 组合异常没有明显的漏矿现象, 大中型矿床都包含在组合异常内。矿产当量的比值 Ni 和 Co 分别高达 0.873 和 0.988, 矿床出现率的比值分别为 0.874 和 0.987。而组合异常面积小于单一的异常, 单位矿产当量则是单一异常的 2.424 和 1.486 倍。这说明组合异常有浓缩找矿信息的作用。

表 4 Ni、Co 与 Cu 的组合异常找矿有利度分析及与单一异常比较表

异常	大矿	中矿	小矿	矿点	矿点总数	异常面积 (km <sup>2</sup> )	见矿异常面积 (km <sup>2</sup> )	见矿异常比值	矿产当量 (个)	见矿矿产当量 (个/km <sup>2</sup> )	矿床出现率 (F)
Cu - B + Ni - B	1	1	1	3	6	368.19	30.26	0.082	158	0.429	0.549
Ni - B	1	2	0	6	9	1020.90	202.93	0.199	181	0.177	0.628
比值						0.361	0.149	0.412	0.873	2.424	0.874
Cu - B + Co - B	1	1	1	3	6	574.81	73.64	0.128	158	0.275	0.549
Co - B	1	1	1	5	8	865.75	354.68	0.410	160	0.185	0.556
比值						0.664	0.208	0.312	0.988	1.486	0.987

#### 5 结论

1) 将求异找矿与经验找矿相结合不仅是可行的, 而且是必要的。在应用化探异常找矿时, 首先对化探异常找矿的有效性进行分析, 然后确定如何应用异常进行找矿, 这样做可以极大地提高找矿效果。

经验分析基础上求异找矿, 在方法论上属类比法。类比的基础是在工作区内已存在一定数量的矿产地。显然, 这一条件不一定总是能够满足的。根据成矿地质条件和地球化学条件建立化探异常找矿模型也许是解决这一问题的有效途径。

2) 地理信息系统 (GIS) 是实现上述结合的有效

工具。只有应用了空间分析的方法,才有可能对化探异常的找矿有利度进行定量的、全面的分析。因此,可以说只有出现了 GIS 才有经验找矿与求异找矿的结合。

3) 找矿有利度、矿产地与异常的耦合度、矿床出现率、异常间的空间相关系数等参数将是对异常在预测找矿中的作用进行定量评价时的重要参数。文中对不同元素异常、同一种类元素不同级别异常及两种不同元素组合异常的找矿有利度分析方法,可以作为异常分析的一种有效方法加以应用。

[参考文献]

[1] 沃林 O.N. 进入下个世纪的矿产勘查[J]. 地质矿产信息, 1997,

- 17, 11 ~ 14.
- [2] 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.
- [3] 赵鹏大, 池顺都. 当今矿产勘查问题的思考[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23 (1) : 70 ~ 74.
- [4] 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, 4 : 361 ~ 373.
- [5] 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.
- [6] 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.

## NEW TREND OF GEOCHEMICAL EXPLORATION: GIS—A COMBINATION TOOL OF PROSPECTING BY EXPERIENCE WITH THAT BY ANOMALY

CHI Shun - du

**Abstract** : Mineral prospecting by experience and that by anomaly will be the two important methods for mineral prospecting in the next century. The GIS technology can be used to study the coupling degree and the occurrence number of the geochemical anomalies and their related deposits. It can also be used to study the favorable degree for mineral prospecting of the anomalies of different elements, the anomalies of different grades of the same elements and the combination of two different elements. It is proved that the combination of the two methods could greatly improve the effects of mineral prospecting.

**Key words** : GIS, prediction of mineral resources, geochemical anomaly

第一作者简介:

池顺都(1941年-),男。1965年毕业于浙江大学地质系,1982年在北京地质学院北京研究生部获硕士学位。现任中国地质大学资源学院教授。主要从事矿产勘查学和数学地质的教学和科学研究。

通讯地址:湖北省武汉市鲁磨路 中国地质大学资源学院 邮政编码:430074



(上接第 70 页)

- [4] Cheng Q, Agterberg F P, Ballantyne S B. The separation of geochemical anomalies from background by fractal method[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58 (2) : 109 ~ 130.
- [5] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain, statistical self-similarity and fractional dimension[J]. science, 1967, 43 (2) : 91 ~ 109.
- [6] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. W. H. Freeman, New York, 1983.
- [7] Darnley A G et al. A global geochemical database for environmental and resource management (Final report of ICGP Project 259) [C], 1995.
- [8] 谢学锦. 勘查地球化学的现状与未来展望[J]. 地质论评, 1996, 42 (4) : 346 ~ 356.

## THE SCALE INVARIANCE OF GEOCHEMICAL ANOMALIES AND WIDE- SPACED GEOCHEMICAL MAPPING

SHI Jun - fa, XIAN Yun - chuan

**Abstract** : The Scale Invariance of Geochemical Anomalies has been discussed. The scale invariance of regional geochemical anomalies has been tested by the relation between the yardstick and the length of the coast. Therefore, the approach from strategic reconnaissance for reducing targets to tactical surveying to pinpoint drill site will be carried out by ultra - low density geochemical survey and the concentrated areas of the giant deposits will be rapidly delineated. The scale invariance of geochemical anomalies is the theoretical basis of the international geochemical mapping.

**Key words** : geochemical anomalies scale invariance exploration strategy

第一作者简介:

施俊法(1964年-),男。1989年毕业于中国地质大学(北京)地球化学专业,获硕士学位。现为国土资源部信息中心研究员。从事非线性理论在地球化学中的应用研究。

通讯地址:北京市阜外大街 45 号 国土资源部信息中心 邮政编码:100037

