维普资讯 http://www.cqvip.com

新疆阿舍勒铜矿GIS预测时的找矿有利度和空间相关性分析

朱建东,池顺都
(中国地质大学,武汉 430074)

[摘 要]以新疆阿舍勒地区铜矿GIS预测为实例,说明线型异常和面型异常的找矿有利度分析方法,并给出断裂、有利地层和物化探异常找矿有利度分析的结果。给出计算空间相关性的公式,并研究了不同元素化探异常的空间相关性。最后,研究了不同元素的组合异常,论证了在矿产预测中应用组合异常的必要性并利用GIS进行了找矿有利地段的圈定。

[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]P618.41 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2006)02-0060-05

赵鹏大院士曾经指出: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。在地质异常理论[1~4]的指导下,池顺都等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应用于确定成矿预测的异常组合;(4)确定有利于预测的异常数值区间;(5)数据的合成及不同级别找矿有利地段的确定。

1 地质、物探、化探异常的找矿有利度分析

找矿有利度分析主要是分析已知矿点的产出与证据层间的相互空间关系[5]。在相关数据搜集齐全之后,就可以借助GIS应用软件(如MAPGIS)作相应的分析了。文章将利用新疆阿舍勒铜矿GIS预测的实际资料,深入探讨断层影响带有效半径的确定,通过各类异常找矿有利度的分析,选择并确定适用于该区矿产预测的有效证据层。

1.1 线型异常的找矿有利度分析

在研究本区断裂与铜矿床(点)关系时,首先要检索出所有的阿舍勒组和齐也组出露地段内的断裂及其边界的断裂,然后作铜矿床(点)与控制铜矿床(点)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,统计铜矿床(点)与断层的距离,得到统计直方图(图1)。

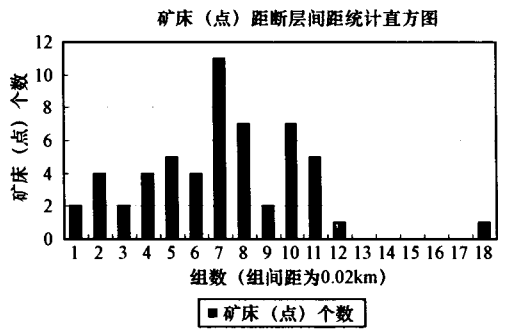

图1 矿床(点)距断层间距统计直方图

根据此图可以确定,矿床(点)与断层的间距大部分在0.24km以内(图中组间距为0.02km,第12组,0.24km),对于本区中70%以上的矿床(点),都集中在了距离断层0.16km(第8组)的地方,为了确定最优的buffer zone半径,分别以0.24km和0.14km为半径,作相应的buffer zone,对这两个buffer zone作找矿有利度分析(见表2,表中分别简称为F-0.24和F-0.14),从表2可以看出,F-0.24和F-0.14的面积分别为26.56km^{2}和10.00km^2,前者是后者的2.656倍,而在前者范围内产出的矿床(点)矿产当量只有后者的1.16倍,这充分得体现在了两者的单位矿产当量的差异上,前

[收稿日期]2005-04-05;[修订日期]2005-08-29;[责任编辑]曲丽莉。
[基金项目]阿舍勒铜矿深部、边部成矿预测研究项目和国家自然科学基金项目(编号:40072091)联合资助。
[第一作者简介]朱建东(1978年-),男,2001年毕业于中国地质大学,获学士学位,在读博士生,现主要从事矿产资源定量勘查与评价的学习和研究工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

者为7.1,后者高达16.2。不仅如此,由于buffer zone的半径不一样,所圈定的找矿有利地段的形状也大不相同。例如在阿舍勒组中作GIS成矿预测时,用F-0.24作为证据层可以圈出一个范围较大的找矿有利地段,而用F-0.14作为证据层,则可以明显得划分出东西两带,有几个找矿有利地段,与该区的VI号矿化蚀变带和VII矿化蚀变带在很大程度上是吻合的,更加符合该区铜矿的产出规律。鉴于上述情况,我们选择0.14km的buffer zone作为该区铜矿GIS预测的一个证据层。

1.2　面型异常的找矿有利度分析

在该区中,面型异常是数量最多的异常类型。如地质矿产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,首先给出面型异常的找矿有利度分析的方法,然后对本区的地质异常及物化探面型异常进行分析。

我们发现,在进行地质异常,物、化探异常找矿时,所谓的异常只是场(地质、地球物理、地球化学)的异常,但从已知矿的角度出发对这些异常进行系统深入研究不够。例如异常背景值、异常级别的确定、不同元素异常的空间组合关系等,都是从各元素分析值的变异性、元素的性状出发来确定的,如果我们换一个角度,从研究异常与已知矿产地的关系出发来解决物化探异常的找矿问题,即,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。我们还可以以此作为划分背景和异常的根据。

在分析各类证据层的找矿有利度时,我们需引入相应的评价标准:即矿产当量和单位矿产当量。单位矿产当量KN的计算公式为:

$$KN = N / S \qquad (1)$$

其中:S为某异常的出露面积,单位:km^2;

N为某异常中的矿产当量,单位:个,计算公式如下:

$$N = N1 * K1 + N2 * K2 + N3 * K3 + N4 \qquad (2)$$

其中:$N1$,$N2$,$N3$,$N4$分别为大、中、小型矿床和矿点的个数。$K1$,$K2$,$K3$则是大、中、小型矿床相应的权系数。从(2)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。

1.2.1　阿舍勒组、齐也组地层的找矿有利度分析

为了探讨不同地层出露区的找矿有利度,我们对预测区内的阿舍勒组和齐也组各地层段作找矿有利度分析,分析结果见表1。在计算矿产当量N时,根据矿区实际情况,我们取$K1=50$,$K2=10$,$K3=2$,在计算矿床出现率时,取$N_{sum}=245$个/km^2。

表1中,D_3q^2为齐也组第二段,D_3q^1为齐也组第一段,D_2as^{2-3}为阿舍勒组第二段第三亚段,D_2as^{2-2}为阿舍勒组第二段第二亚段,D_2as^{2-1}为阿舍勒组第二段第一亚段,D_2as^1为阿舍勒组第一段。

分析的结果表明,在阿舍勒组和齐也组各个地层段中,阿舍勒组第二段第二亚段(D_2as^{2-2})出露的地段,是找矿最有利的地段,这是因为阿舍勒组第二段第二亚段对应于中泥盆世阿舍勒旋回的第二亚旋回,该亚旋回具有从早到晚,自中酸性火山爆发-基性火山岩喷溢的演变特点,在中酸性火山岩与中基性火山岩交替的间歇期,则是成矿作用最为强烈的时期。所以在该区的GIS成矿预测中,阿舍勒组第二段的第一亚段(D_2as^{2-2})和第二亚段(D_2as^{2-1})以及阿舍勒组的第一段(D_2as^1)应该作为重要的地层证据层。

表1　阿舍勒组和齐也组地层铜矿床找矿有利度分析表

地层	大矿	中矿	小矿	矿点	矿点总数	异常面积/km^2	矿产当量/个	单位矿产当量/个	矿床出现率(F)
D_3q^2	0	0	0	0	0	0.23	0	0	0
D_3q^1	0	0	0	0	0	4.65	0	0	0
D_2as^{2-3}	0	0	0	0	0	0.15	0	0	0
D_2as^{2-2}	1	6	2	31	40	1.41	145	102.8	0.592
D_2as^{2-1}	0	2	1	1	4	2.01	23	11.4	0.094
D_2as^1	0	1	1	9	11	1.02	21	20.6	0.086

1.2.2　物化探异常的找矿有利度分析

该区中,与铜矿预测关系较为密切的主要有Cu、Zn、Mo、Ag、Pb几种元素,上述元素异常区的面积,所见矿点情况,矿产当量,单位矿产当量和矿床出现率的分析见表2。从分析的结果看,Ag和Pb的异常范围内,均没有出现大、中、小型矿床和矿点,对该区铜矿的预测工作作用不大。与铜矿预测关系最为密切的是Cu、Zn和Mo元素,在研究区内,这三种元素异常面积相差不大,矿产当量和单位矿产当量也相当,作进一步的分析可知,这三种元素的异常,与产在阿舍勒组地层中的铜矿床具有成因联系,在下面有关组合异常的研究中将指出,Cu与Zn,Cu与Mo的组合异常会大大提高化探异常指示铜矿床的找矿有效性。

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:线异常与面异常的组合,

维普资讯 http://www.cqvip.com

面异常与线异常的组合以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中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会出现存在线异常的面异常和不存在线异常的面异常两种情况，而在 A 和 B 两个面异常进行组合时，会出现 3 种情况：A 和 B 同时存在，即 A 和 B 的交；A 存在而 B 不存在以及 A 不存在而 B 存在。

表 2 化探异常、物探异常及断层影响带找矿有利度分析表

异常	大矿	中矿	小矿	矿点	矿点总数	异常面积/km²	矿产当量/个	单位矿产当量/个	矿床出现率(F)
Cu 异常	1	4	2	31	38	0.25	125	500	0.510
Zn 异常	1	3	1	12	17	0.31	94	303.2	0.384
Mo 异常	1	3	1	26	31	0.24	108	450	0.441
Ag 异常	0	0	0	0	0	0.21	0	0	0
Pb 异常	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0
充电法异常	1	4	1	31	37	0.46	123	267.4	0.502
瞬变电磁异常	0	4	2	13	19	1.77	57	32.2	0.233
激电异常	0	5	2	26	33	1.44	80	55.6	0.327
F-0.24	1	9	4	40	54	26.56	188	7.1	0.767
F-0.14	1	8	4	24	37	10	162	16.2	0.661

我们可以将阿舍勒组和齐也组中的断裂作为线异常与面异常组合的例子，应用 GIS 中的空间分析，作断裂和阿舍勒组、齐也组地层的相交分析，可以得到在阿舍勒组和齐也组地层中的断裂，在此基础上，选取合适的半径作断裂的影响带，得到有利于寻找阿舍勒组和齐也组铜矿的断裂影响带，该断裂影响带的找矿有利度分析，前面已经讨论过。

2.2 两类面异常的空间相关性

只有具有较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。因为，必须研究两种面异常的空间相关性。

如果有 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 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 $S_{AB}=S_A$，一般来说，$S_{AB} < S_A$，据此，我们可以利用 S_{AB} 和 S_A 的比值来作为这两个面异常的空间相关系数，即

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

有一个问题我们应该注意到，在研究两类面异常的空间相关性的时候，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。我们可以设异常 A、B 的面积总和分别为 ΣS_A 和 ΣS_B，异常交的面积之和为 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：

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

Cu 异常和 Zn 异常以及 Cu 异常和 Mo 异常的空间相关系数如表 3 所示，计算结果表明，两者均具有一定的空间相关性，且前者强于后者。

表 3 空间相关性计算表

相关异常	S_A/km²	S_B/km²	S_{AB}/km²	K
Cu,Zn	0.294	0.305	0.107	0.357
Cu,Mo	0.294	0.254	0.046	0.168

2.3 Cu－Zn 和 Cu－Mo 组合异常的找矿有利度分析

表 4 给出了 Cu－Zn 组合异常以及 Cu－Mo 组合异常的找矿有利度分析结果，为了方便对比，同时也给出了 Zn 和 Mo 单一异常的找矿有利度结果，在计算矿床出现率时，取了 $N_{sum}=245$ 个/km²。从分析的结果可以看出，组合异常没有明显的漏矿现象，大、中型矿床基本都包含在了组合异常内，在矿产当量上，组合异常与相应单一异常的比值高达 0.898 和 0.830；在矿床出现率上，组合异常与相应单一异常的比值也高达 0.898 和 0.829；而组合异常的面积明显小于相应单一异常的面积，前者分别是后者的 0.258 倍和 0.208 倍，所以反映在单位矿产当量上，前者是后者 3.480 倍和 3.982 倍。

表 4 Zn、Mo 与 Cu 的组合异常找矿有利度分析及与单一异常的比较分析表

异常	大矿	中矿	小矿	矿点	矿点总数	异常面积/km²	矿产当量/个	单位矿产当量/个	矿床出现率(F)
Cu－Zn 组合异常	1	2	0	12	15	0.08	82	1025	0.335
Zn 异常	1	3	1	12	17	0.31	94	303.2	0.384
比值						0.258	0.872	3.381	0.872
Cu－Mo 组合异常	1	3	1	24	29	0.05	106	2120	0.433
Mo 异常	1	3	1	26	31	0.24	108	450	0.441
比值						0.208	0.981	4.711	0.982

以上的数据说明了组合异常与单一异常相比，具有浓缩找矿信息的作用，所以在对阿舍勒组和齐也组铜矿进行成矿预测时，我们将采用组合异常。

3 应用 GIS 进行找矿有利地段的圈定

找矿有利地段的划分是找矿有利度分析的逆过程[6]，即根据从找矿有利度分析中得出的最重要的证据层的空间数据叠加，产生新的证据层，这些新的证据层包含着各种成矿有利程度的信息，是各种成矿有利信息的一种综合表现。我们可以根据成矿有利程度的大小，划分出各级找矿有利地段。

维普资讯 http://www.cqvip.com

在各类找矿有利度分析的基础上,选出有利地层:阿舍勒组第二段第二亚段(D_2as^{2-2}),阿舍勒组第二段第一亚段(D_2as^{2-1})和阿舍勒组第一段(D_2as^1),选出以0.14km半径的断层影响带,选出有利物探异常:充电法异常、瞬变电磁异常和激电异常,选出有利化探异常:Cu-Zn组合异常和Cu-Mo组合异常。上述四种控矿因素的预测权重采用主观赋权的方式,而同一控矿因素中的不同数据层及同一数据层中的不同对象的权重则根据单位矿产当量的大小,按比例给定,具体数据见表5。

表5　阿舍勒铜矿床预测的数据层及其色标

因素	地层		断层		物探			化探	
因素权重	40	20	10	30					
证据层	D_2as^{2-2}	D_2as^{2-1}	D_2as^1	F-0.14	充电法异常	瞬变电磁异常	激电异常	Cu-Zn组合异常	Cu-Mo组合异常
单位矿产当量	102.8	11.4	20.6	16.2	267.4	32.2	55.6	1025	2120
权重(色标)	30	4	6	20	7	1	2	10	20

对上表中7个数据层按照表中的权值作为色标,在MAPGIS上作区与区的相交分析,得到这7个数据层的叠合图。为了得到不同级别的找矿有利地段,我们需要对叠合图中的区图元作一些归并,根据矿区的实际情况,我们将标准定为:>51为Ⅰ级找矿有利地段;25-51为Ⅱ级找矿有利地段。作为Ⅱ级找矿有利地段,必须是在有利的地层中,有Cu-Zn或Cu-Mo组合异常的地区,或是在有利地层中叠加有物探异常的地区,或是在两种化探组合异常中的一种与断层影响带相叠合的地区;Ⅰ级找矿有利地段的划分则显得苛刻地多,必须是有利的地层因素与有利的物探异常,再加上化探组合异常或断层影响带3种有利的因素,直至包括全部4种有利因素的组合,预测结果见图2。

4　结　论

图2给出了Ⅰ级、Ⅱ级远景区的空间分布位置,以及与矿区已知矿化蚀变带的空间位置关系,其中,Ⅰ级远景区主要分布于Ⅰ号矿化蚀变带的中北部(Ⅰ-1远景区)、Ⅴ号矿化蚀变带周边(Ⅰ-2远景区)以及Ⅶ号矿化蚀变带的南东部(Ⅰ-3远景区);Ⅱ级远景区主要分布于4号向斜的两翼(Ⅱ-1远景区)以及Ⅺ号(Ⅱ-2远景区)、Ⅹ号矿化蚀变带周围(Ⅱ-3远景区)。

对于Ⅰ级远景区,从已有工作程度来看,Ⅰ-1的北端和Ⅰ-3两个远景区的工作程度相对较低,特别是Ⅰ-3远景区,其南东端被第四系所覆盖,且没有任何工程给予控制,加之其与已知矿床处于同一构造线和火山洼地中,所以很容易成为工作中的一个突破口。Ⅰ-1远景区北端有稀疏探槽控制,布有少量深钻,地表所形成的地、物、化异常,推测是由深部的块状铜矿石所引起,但其埋深可能已经超过了1000m,Ⅰ-1远景区南端是已知的Ⅰ号矿床所在地,因此地表所形成的地、物、化等异常非常明显。Ⅰ-2远景区位于Ⅴ号矿化蚀变带周边,Ⅴ号矿化蚀变带的"铁帽"、"铁染"现象非常发育,工作程度相当高,已有6个深钻和若干探槽对该区进行了控制,但深部仅见少量脉状小矿体,工业意义不大。

对于Ⅱ级远景区,Ⅱ-1位于4号向斜两翼,在地层层位和构造位置上是很有利的,特别是处于Ⅱ-1远景区中的Ⅳ号矿化蚀变带,可根据实际情况布置钻孔,揭露其深部矿化情况。Ⅱ-2和Ⅱ-3远景区在地表均呈现出一种面状的"铁染",并无明显的富集,推测深部有浸染状铜矿体的存在,但规模和品位有限。

根据GIS预测和野外实地考察,我们认为,Ⅰ-1远景区的北部、Ⅰ-3远景区和Ⅳ号矿化蚀变带是最有利的找矿远景地段。

[参考文献]

[1] 赵鹏大,池顺都. 初论地质异常[J]. 地球科学,1991,16(3):241~248.

[2] 赵鹏大,王京贵,等. 中国地质异常[J]. 地球科学,1995,20(2):117~153.

[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] 池顺都. 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[J]. 地质与勘探,2000,36(1):71~74.

[5] 池顺都. 应用GIS进行成矿强度和广度的定量分析:以云南澜沧江流域地层成矿分析为例[J]. 现代地质,1999,13(3):323~328.

[6] 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预测为例[J]. 地球科学,1998,23(2):125~128.

维普资讯 http://www.cqvip.com

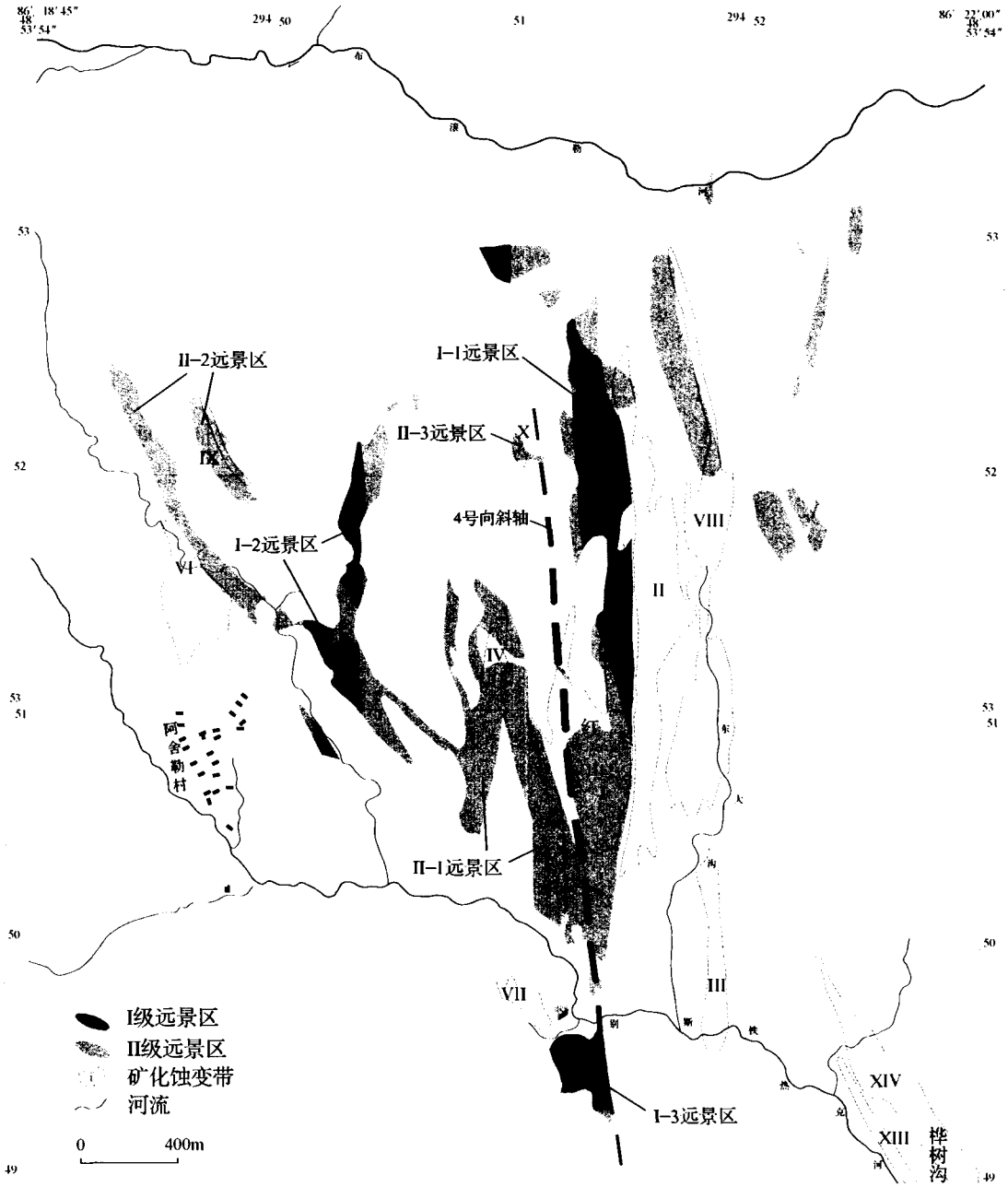

图 2 阿舍勒矿区 GIS 预测图

BENEFICIAL DEGREE AND SPATIAL CORRELATION ANALYSIS FOR PREDICTION BASED ON GIS IN ASHELE COPPER DEPOSIT, XINJIANG

ZHU Jian - dong, CHI Shun - du

(*The Faculty of Resources in China University of Geosciences, Wuhan* 430074)

Abstract: Analysis method of ore - finding beneficial degree in linear and plane anomalies is explained with the example of copper deposit prediction in the Ashele area, Xinjiang. Ore - finding beneficial degree of fault, geochemical - geophysical anomaly and stratum is proposed. Spatial correlation of geophysical - geochemical anomaly of different elements is studied by the spatial correlation formula. Element assemblage anomaly is also studied, and necessity of assemblage anomaly in mineral deposit prediction is demonstrated.

Key words: mineral deposit prediction, GIS, ore - finding beneficial degree, spatial correlation