

GIS支持下的地质异常分析及 金属矿产经验预测*

池顺都

周顺平 吴新林

(资源学院, 武汉 430074)

(计算机系, 武汉 430074)

摘 要 在滇中昆阳群中的铜成矿区和陕甘南秦岭泥盆系中的铅锌成矿区, 对在GIS支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测作了初步的探索, 研究了线性地质异常分析及构成地质异常区的方法, 给出了面状地质、物化探异常找矿有利度分析的方法, 并以实例说明, 如何分析单一的面状异常的找矿必要性和有效性, 研究了组合异常, 并指出两种面状异常的交和差对地质找矿的有效性的影响, 介绍了成矿预测区、预测矿田和成矿区(带)圈定的方法, 用上述方法, 已在微机上应用地理信息系统(MAPGIS)作出成矿预测图。

关键词 矿产勘查、成矿预测、地理信息系统、地质异常。

中图法分类号 P612

第一作者简介 池顺都, 男, 副教授, 1941年生, 1965年毕业于浙江大学地质系, 1982年毕业于武汉地质学院北京研究生部, 1986~1987年在前苏联莫斯科地质勘探学院进修, 主要从事矿产勘查和数学地质的教学和科研工作。

金属矿产预测, 就其基本原理而言, 可以分为经验预测和概念预测。所谓经验预测, 就是分析已知矿产地产出的地质条件和有利的找矿信息, 然后根据在已知地区所获得的这些有利于矿床产出的地质条件和找矿信息来预测未知区(预测区)的远景地段。近年来, 赵鹏大院士在初步总结国内外成矿预测, 特别是定量预测方面的大量工作的基础上, 结合自己的研究, 将矿床统计预测的基本理论概括为: 相似—类比理论、求异理论及定量组合控矿理论^[1]。这些理论对成矿地质条件分析提出了更高的要求, 已经不满足于定性地讨论成矿地质条件, 要求定量地研究地质异常。所谓地质异常, 根据他的定义, 是“在结构、构造或成因序次上与周围环境有着明显差异的地质体或地质体组合”。赵鹏大院士和他的助手们曾试图用地质体统计特征、结构特征、非线性统计学及其他数学工具来作定量的描述, 也取得了一定的成果^[2,3]。但是, 离有效地应用到矿产预测和成矿远景区及找矿靶区的圈定中, 尚有较大的距离。地质异常

分析从本质上讲, 是个空间分析问题, 而地理信息系统(GIS)正是处理空间数据的强有力工具。对于地质异常的定量研究, 毫无疑问, GIS是一种理想的工具。本文所探讨的是建立在总结经验基础上的地质异常研究和矿产的经验预测。

在GIS支持下, 确定地质异常的基本原理可以这样表述: 在一定的预测尺度水平上, 不同地质体或同一地质体某数值特征的不同区间, 其找矿的有利度与同一尺度水平的成矿单元在各地质体或各数值区间内出现的概率或频率成正比。成矿单元高概率(频率)出现的地质体或数值区间, 即是出现该矿种的地质异常区。两种或两种以上地质体的组合, 可以形成组合地质异常。成矿有利地段, 实质上就是多因素的地质、物化探、遥感组合异常区。

1 线性地质异常分析

在矿产预测时, 线性地质异常分析主要是分析线性地质异常与矿点之间的关系。这里矿点是泛指所有的矿产地, 包括大、中、小型矿床和狭义的矿点。

1996年2月12日收稿。

* 地质矿产部“矿产资源定量预测及勘查评价开放实验室”资助。

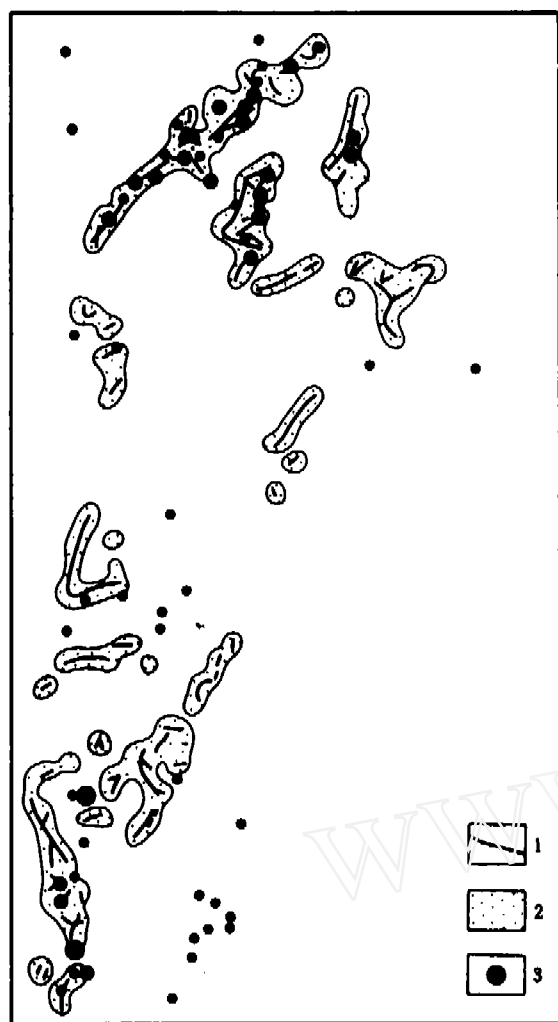


图 1 某地铜矿断裂影响带

Fig. 1 Faults affected belts of some copper prospects

1. 断裂; 2. 不同规模的铜矿点; 3. 断层影响带(BUFFER 区)

现以产于滇中昆阳群的铜矿与断裂的关系来加以说明. 滇中昆阳群铜矿成矿与断裂关系十分密切. 从图 1 就可以直观地看出这种紧密关系, 但不能作出定量的表述. 在用 GIS 作了矿产地和断层距离关系分析后, 得出了图 2 直方图及相应的表格(从略). 从图表可以看出, 在距断层 4.2 假定单位的范围内, 集中了 86% 的矿点, 并绘出了不同距离区间内出现矿产地的频数. 从这个分析结果, 我们得到了铜矿点的产出与断层的关系. 它已不再是简单的断层控矿这样一个定性的概念, 而是对断层两侧多大的距离内是矿点产出的有利地段的精确认识. 有了这种分析, 为构造断裂影响带宽度提供了客观依据. 我们可以用 5 个假定单位宽度作出断裂影响带(BUFFER 区), 这是寻找昆阳群铜矿的有利地段(图 2). 在后面的讨论中可以知道, 组合地质异常对于确定寻找昆阳群铜矿的有利度效果更好.

2 面状地质、物化探异常分析

面状的地质物化探异常是数量最多的地质物化探异常类型, 如地质图上的各种岩浆岩和地层, 各类

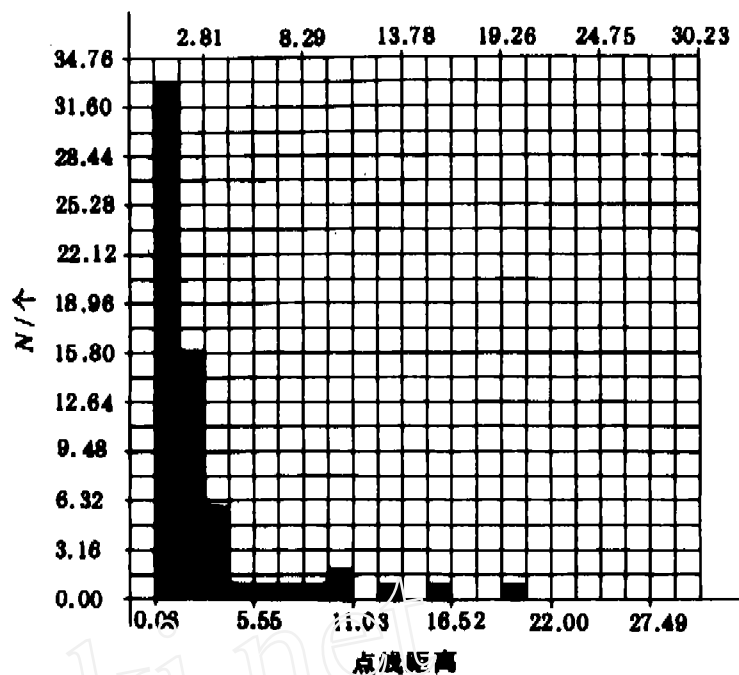


图 2 矿点与断层线距离统计直方图(距离为假定单位)

Fig. 2 Statistics histogram of distances between faults and prospects

平面分布的物化探异常等. 一般对于这一类型的找矿有利度分析要解决两方面的问题: 其一是面状信息在预测中的必要性, 主要是从在这一要素层中是否有大量的矿点出现来评价; 其二是面状信息在预测中的有效性. 在作空间分析时, 考察面状信息预测有效性的方法之一, 是计算单位矿产当量. 例如, 铅锌矿的产出与地层的岩性或岩性组合有关, 从预测的必要性来考虑, 有大量矿点出露的地层就是重要的地层单元. 但是, 这些岩层在地表出露的面积是各不相同的. 在评价各类地层找矿相对有效性时遇到的另一个问题是矿产地的规模各不相同, 应该有一个统一的衡量标准. 为此, 我们设计了单位矿产当量(KN)作为评价找矿相对有效性的指标.

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

其中: S 为地层出露面积, km^2 ; N 为由下式计算得到的矿产当量, 个

$$N = N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 + N_3 \times K_3 + N_4 \quad (2)$$

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 是大、中、小型矿床相应的权系数. 从(2)式可知, 所谓矿产当量, 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.

下面以南秦岭某铅锌成矿区有利岩性地质异常、铅重砂异常及 Pb 化探异常找矿有利度分析为例, 来说明面状异常的找矿有利度分析过程及结果.

2.1 铅锌矿找矿的有利岩性地质异常分析

岩性是控制铅锌矿产出的重要因素, 这是众所周知的常识. 求异理论要求我们得出: 哪种岩性出现

表 1 有利于铅锌矿产出的岩石或岩石组合分析

Table 1 Analysis of rocks or rock associations favourable to Pb Zn deposits

岩 性	区数 /个	面积 /km ²	矿点/个					矿产当量 /个	单位矿产当量/个·km ⁻²
			大矿	中矿	小矿	矿点	总数		
浅海堤礁	3	39.5	1	0	1	1	3	131	3.316
浅海砂岩	4	371	1	3	3	7	14	222	0.599
浅海砂夹灰	2	245	1	0	0	3	4	128	0.524
滨海泥岩	2	399	2	1	0	2	5	277	0.694
滨海白云岩	1	13.8	0	0	1	0	1	5	0.364
滨海砂岩	3	439	1	0	0	2	3	127	0.290
浅海砂岩	1	3.5	0	0	0	1	1	1	0.286
台地碳酸盐	7	146	1	2	2	3	8	188	1.285
浅海灰夹泥	6	770	1	2	4	3	10	198	0.257
浅海灰夹砂	1	51	0	0	1	0	1	5	0.098

矿点的概率最大?哪些岩性出露区可以作为寻找铅锌矿床的地质异常区?以往的成矿地质条件分析不可能解决这些问题,而应用 GIS 作地质异常分析,就能对这些问题作出满意的回答。

首先,作铅锌矿点与不同岩性岩石出露区的相交分析,我们从中检索出有矿的岩性或岩性组合,总共有 14 种岩性或岩性组合中存在铅锌矿床,其中 3 种是岩浆岩,1 种是前泥盆纪的岩层,泥盆系中有 10 种,在作铅锌矿(点)对岩石(区)及区对矿点相交空间分析后,再作属性分析,得到表 2 所列的结果。根据公式(2)计算出矿产当量,再根据公式(1)计算单位矿产当量。在计算时,我们根据铅锌矿的实际情况确定 $K_1 = 125, K_2 = 25, K_3 = 5$ 。从表 1 中可以看出,各种岩性的地层中所赋存的矿产地,数量最多的依次有:浅海砂岩、浅海灰岩夹泥岩、台地碳酸盐、滨海泥岩、浅海砂岩夹灰岩、浅海堤礁及滨海砂岩等。按矿产当量排序,则依次为:滨海泥岩、浅海砂岩、浅海砂岩夹泥岩、台地碳酸盐、浅海堤礁、浅海砂岩夹灰岩、滨海砂岩等。而按照单位矿产当量的大小,则找矿有利度排序依次为:浅海堤礁、台地碳酸盐、滨海泥岩、浅海砂岩及浅海砂岩夹灰岩等。上述 3 个指标,矿点总数、矿产当量及单位矿产当量,对于衡量各种岩性与矿点产出的关系各有其意义,较为重要的是后两个指标。矿产当量反映了某种岩性对于铅锌矿成矿的绝对重要性,而单位矿产当量则反映了某种岩性对于铅锌矿成矿的相对重要性。综合这两个指标,得出浅海堤礁、台地碳酸盐、滨海泥岩、浅海砂岩及浅海砂岩夹灰岩这几种为铅锌成矿最为有利的岩性或岩性组合。用单位矿产当量作为衡量不同

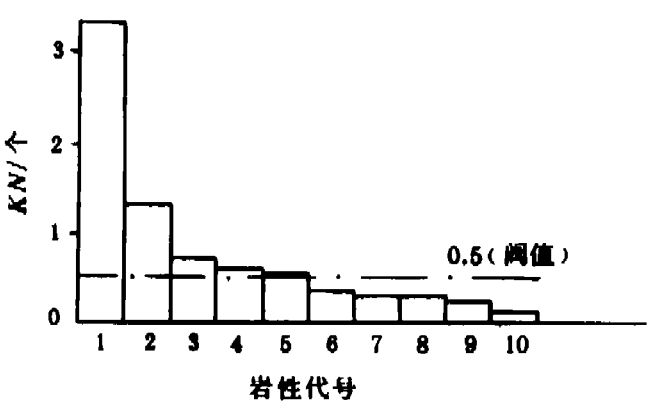


图 3 不同岩石或岩石组合的单位矿产当量曲线

Fig.3 Unit ore equivalence curve of rocks or rock associations

岩性代号为:1.浅海堤礁;2.台地碳酸盐岩;3.滨海泥岩;4.浅海砂岩;5.浅海砂岩夹灰岩;6.滨海白云岩;7.滨海砂岩;8.浅海砂岩;9.浅海灰岩夹泥岩;10.浅海灰岩夹砂岩

岩性成矿重要性的指标,按照各岩性该指标值的大小,可以作出如图 3 的曲线。若取 0.5 作为阈值,则单位矿产当量值大于 0.5 的岩性出露区为有利于铅锌成矿的地质异常区。

2.2 铅重砂异常成矿有利度分析

在作异常检查时,根据异常的规模和强度,将其划分为 3 个级别:第一级(z_1)是规模大、强度强的有利成矿的异常;第二级(z_2)是有一定规模,有可能成矿的异常;第三级是有异常显示,但成矿可能性较小的异常。在全区 37 个矿点中有重砂异常显示的有 21 个,其中 20 个在一级异常中,只有 1 个在二级异常中,三级重砂异常中未发现有矿产地。在表 2 中列出了一、二级异常作找矿有利度分析的结果。

从总体上说,所有 5 个大型的铅锌矿中,只有 2 个矿床有铅重砂异常存在,说明铅重砂异常对找铅锌矿的重要性相对不是很大。在重砂异常中,第三级铅重砂异常没有工业铅锌矿床存在,第二级重砂异常中只发现一个小型矿床,单位矿产当量只有 0.002,对于找铅锌矿并不是十分重要的信息。

2.3 化探 Pb 元素异常成矿有利度分析

化探 Pb 异常与重砂铅异常一样也划分为三级:一级(h_1)、二级(h_2)和三级。化探 Pb 异常中,对于预测铅锌矿床重要的只有第一级异常,其中有 3 个大型矿床,4 个中型矿床产出。第二级异常的成矿重要性相对不大,只发现 1 个矿点。从表面上看,似乎化探 Pb 异常对于铅锌矿的找矿比铅重砂异常更加重要,其实不然,因为一级 Pb 异常的面积大于一级铅重砂异常,所以单位矿产当量前者反而小于后

者.化探 Pb 异常找矿有利度分析的结果列于表 2.

表 2 铅锌矿产地与各类异常关系分析表

Table 2 Relationship analysis chart of Pb, Zn mineral fields and all kinds of anomalies

异常级别	异常见矿情况/个					见矿异常(1)		全部异常(2)		[(1)/(2)]/%		单位矿产当量
	大矿	中矿	小矿	矿点	总数	个数	面积/km ²	个数	面积/km ²	个数	面积	
z_1	2	5	6	7	20	7	663	11	865	64	77.6	0.484
z_2	0	0	0	1	1	1	215	9	471	11	45.6	0.002
h_1	3	4	5	8	20	3	821	15	1630	20	50.4	0.312
h_2	0	0	0	1	1	1	146	10	970	10	15.0	0.001
\cap	2	4	5	6	17	5	376	6	383	83	98.2	0.994
$z -$	0	1	1	2	4	3	80	12	495	25	16.2	0.065
$h -$	1	0	0	3	4	1	362	8	584	13	62.1	0.218

3 组合异常的成矿有利度分析

组合异常有三种形式: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在面异常内的线异常和在面异常以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 两个面异常组合时,会出现如图 4 所示的三种情况:① A 和 B 同时出现,即 A 和 B 的交(\cap);② A 存在而 B 不存在($A -$);③ B 存在而 A 不存在($B -$).

3.1 线异常与面异常组合实例

以滇中铜成矿区内断裂与昆阳群下段地层组合为例.前面已论及矿点的产出与断裂的关系.从矿点与昆阳群地层(区)关系分析得知:昆阳群下段的地层中包含了全部铜矿点的 72.3%,其中已知的中、小型矿床则全部在这套地层里.据此可以得出:只有在昆阳群下段地层中的断裂附近才是找昆阳群铜矿的有利地段.用 GIS 作了线区交,得到了如图 2 所示的断裂系统,表示昆阳群中的断裂.对该断裂系统用 5 个假定单位的宽度作出的断裂影响带(BUFFER 区),这是寻找昆阳群铜矿的有利地段.

3.2 面异常与面异常组合实例

以陕甘南秦岭泥盆系铅锌成矿区内铅重砂异常与化探 Pb 异常组合为例,在将铅重砂异常与化探 Pb 异常作区与区的并分析后,可得出三类区:重砂铅异常与化探 Pb 异常的交(在表中用 \cap 表示),铅重砂异常减化探 Pb 异常($z -$)及化探 Pb 异常减重砂铅异常($h -$).从表 2 中可以看出:在面积约 376

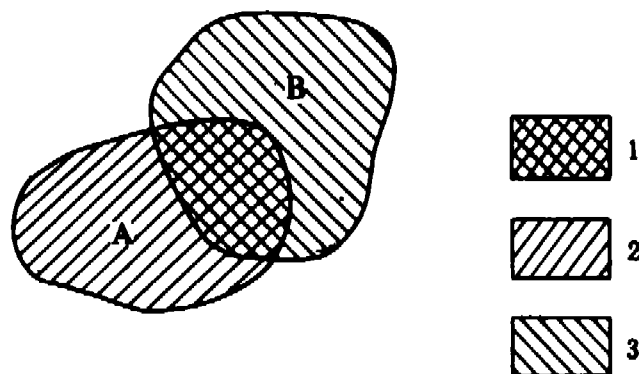


图 4 两个面异常相交的三种情况

Fig. 4 Three types of combined situations of two anomaly regions

1. $A \cap B$; 2. $A -$; 3. $B -$

了大量大、中、小型矿床,反映出该信息在找矿中选用的必要性.同时,按区数及按面积计算,有矿异常的区数或面积分别占总区数或总面积的 83% 和 98.2%,充分说明该信息对于铅锌矿找矿的有效性.与此同时,重砂铅异常及化探 Pb 异常的减其单位矿产当量却都降低了.

4 成矿预测区的圈定

成矿预测区的划分是找矿有利度分析的逆过程,即根据找矿有利度分析,得出一些最重要的证据层.将这些证据层空间数据叠加,产生新的数据层,在这新数据层中包含着各区成矿有利程度的信息.根据各区成矿有利程度信息的大小,划分出成矿预测区.在陕甘南秦岭铅锌成矿区,通过前面的分析,我们可以挑选出如下地质物化探异常,作为铅锌矿的预测标志.(1)岩性及岩性组合标志:浅海堤礁,台地碳酸盐岩,滨海泥岩,浅海砂岩及浅海砂岩夹灰岩;(2)重砂铅异常标志:一级重砂铅异常;(3)化探 Pb 异常标志:一级化探 Pb 异常.对这些标志按照单位矿产当量乘以 100 取整作为权系数,将所选出的这些证据层(标志),进行区对区相交的空间分析,并将权系数相加,得到不同证据层的相交图.经分析,将权系数总和大于 10 的区作为预测区,其中小于 40 的区为 B 级预测区,不小于 40 的区为 A 级预测区.

去掉在同一级的区之间的线,得到了如图 5 所示的预测图.根据预测区或相邻预测区的组合,圈定预测矿田.预测矿田分 3 级:A 级预测矿田,工业意义巨大,矿田全部由 A 级预测区所组成,在矿田内已知有大型矿床.B 级预测矿田,有工业意义,矿田

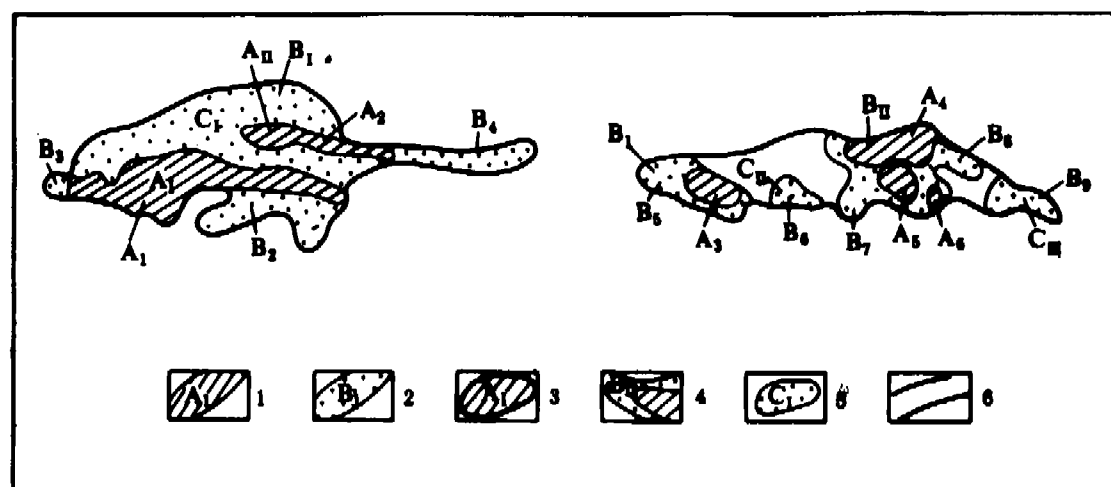


图5 某铅锌成矿区的矿产预测图

Fig.5 Metallogenetic map of Pb-Zn metallogenetic provinces

1. 权系数总和 ≥ 40 的A级预测区; 2. 权系数总和在10~39的B级预测区; 3. A级预测矿田; 4. B级预测矿田; 5. C级预测矿田; 6. 成矿区

由A级预测区及其相邻的B级预测区所组成, 矿田内已知有大、中型矿床, 或者矿田虽然由B级预测区组成, 但矿田内已知有大型矿床. C级预测矿田, 为工业意义不明的预测矿田, 矿田由B级预测区组成, 矿田内只有小型矿床或(和)矿点. 在划分预测矿田的基础上, 再圈定出成矿区(带). 成矿区(带)分2级: A级成矿区(带), 为由A、B两级预测矿田所组成的有远景的成矿区(带); B级成矿区(带), 为由C级预测矿田组成的远景不明的成矿区(带).

根据上述方法, 笔者已在微机地理信息系统(MAPGIS)上, 作出陕甘地区南秦岭泥盆系矿产分

布及成矿预测图. 我们所进行的初步研究已充分地证实了应用GIS研究地质异常的有效性.

参考文献

- 1 赵鹏大, 池顺都. 初论地质异常. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(3): 241~248
- 2 赵鹏大, 王京贵. 中国地质异常. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(2): 117~127
- 3 赵鹏大. 矿产勘查问题研究现状及发展. 矿产勘查(第二辑). 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 5~26

GEOLOGICAL ANOMALY ANALYSIS AND EXPERIENCE PROGNOSIS OF METALLIC MINERAL UNDER GIS

Chi Shundu

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

Zhou Shunping Wu Xinling

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract A preliminarily GIS approach is made to the study of geological anomaly analysis and delineation of metallic mineral in copper mineral area in Kunyang Group, central Yunnan and Pb, Zn mineralized area of Devonian, South Qinling, Shaanxi and Gansu provinces. The linear geological anomaly is made and the forming methods of geological anomaly region is studied. Also, the method of prospecting favourability analysis to planar geological, geophysical and geochemical anomaly is presented. A practical example is given to show the necessity and effectiveness of analysing single planar anomaly for prospecting. The study of compound anomaly has indicated the influence of "cross" (shared part) and "difference" (unshared part) of two planar anomalies on geological prospecting favourability. In the end, the method of delineation is introduced on mineralogical prospect province, area and zone (belt). This method is used to draw mineralogical prognostic map by micro-computer Geographic Information Systems (MAPGIS).

Key words mineral exploration, mineralogical, GIS, geological anomaly.