

# 地质异常理论及其在兰坪—思茅地区的应用<sup>①</sup>

刘石年 段嘉瑞 吴延之

(中南工业大学)

## 摘 要

根据云南兰坪—思茅地区找矿预测实践,初步探讨了目前国内外正在研究的地质异常理论中的某些问题以及定性和定量求异方法。研究认为,地质综合异常应包括地质场异常、物质场异常和能量场异常,内因和外因的有机配合是形成大型及超大型矿床的重要条件,金顶铅锌矿床就具有异乎寻常的地质综合异常。研究中采用的体—面—线—点型地质异常的分类和定性组合求异方法,能有效地逐步缩小找矿预测靶区;主因子距离系数趋势求异方法可以较好地对矿化地质异常进行定量组合求异和成矿作用分类,并突出大型及超大型矿床的地质综合异常的强度和范围。

**关键词:** 地质异常理论 定性和定量求异方法 兰坪—思茅地区 超大型矿床

地质相似理论和类比法则早已为地质工作者所关注和应用,但关于地质异常理论和求异方法的深入讨论,仅仅是近几年随着国内外找矿预测工作的深入发展,特别是大型、超大型矿床的找矿实践和理论研究<sup>[1]</sup>的发展而发展起来的<sup>[2]</sup>。这一理论虽然还不到成熟阶段,但一开始就显示了强大的生命力,并正在不断发展和完善。本文即根据近年来在兰坪—思茅地区的找矿预测实践,初步探讨了地质异常理论和求异方法中的某些问题及其在该区的应用。

## 1 关于地质异常理论的某些问题

### 1.1 地质异常及其分类问题

地质异常应指与周围背景存在明显差异的地质现象,是地质的物理性质和化学性质的特殊反映。不过这个概念在使用中往往被客体化了,且惯于将地质异常体与地质体的异常现象

混同起来。此外,所谓“明显差异”或“迥然不同”这样的形容确实是一个模糊的概念;与周围背景的差异达到什么程度才是地质异常的标准?也是一个正在研究的难题。实际上应先有定性的认识,才能采用统计分析的方法给以量化;异常类型既有单项型的,也有组合型的,而且具体作法应该先优选单项地质异常体,再组合求异。

关于地质异常类型,文献[2]指出,可以根据地质环境及地质作用的不同划分为有关地质作用的地质异常和有关地质环境的地质异常,我们则按其分布类型划分为下列四类。

(1) 体型地质异常—指在成分、性质、结构、构造、演化等一方面或多方面与周围环境存在明显差异的地质体或地质体组合异常。其中又可细分为四亚类:

1) 成分异常:包括地质体岩石化学成分和(或)微量元素成分异常,如含某种或某些元

<sup>①</sup>于1992年3月24日收到

素丰度异常的侵入岩体、喷出岩体、沉积岩或变质岩,以及其中成分异常的部位等。成分异常的标准,在地球化学中常以异常下限来确定;

2) 岩性异常:包括异常岩性的岩浆岩、变质岩或沉积岩以及岩浆岩、变质岩或沉积岩中的异常岩性部位等;

3) 岩相异常:包括岩浆岩、变质岩或沉积岩中的异常相或相带,如岩浆岩中的异常边缘相或火山中心相、变质岩中的特殊变质相带、沉积岩中对成矿特别有利的沉积相等;

4) 结构构造异常:包括各类地质体中的特殊结构或构造及构造部位,例如各类火山机构和构造、大型推覆体构造、背斜倾伏转折端或向斜构造扬起端等,可能对成矿具有特殊意义。

(2) 面型地质异常一指与周围环境具有明显差异的地质结构面或构造界面。严格地说这是一类厚度相对于延长和延深甚小的地质体异常。包括各种地质体的不连续界面,如不整合面、层间破碎滑动面、推覆断裂面、深断裂以及不同时代不同成因地质体的异相分界面,如侵入接触界面等。

(3) 线型地质异常—从地质几何意义上讲它属于地质异常的组合,通常为面型地质异常的交线。从地质实际意义上讲它是一种断面相对其延长甚小的地质体异常。线型地质异常在成岩成矿作用中常常指示火山管道、岩浆及热液或者热水通道。

(4) 点型地质异常—从地质几何意义上讲亦属地质异常的组合类型,通常为线型地质异常与面型地质异常的交点。从地质实际意义上讲它是一种三度空间均相对甚小的地质体异常。点型地质异常在成岩成矿过程中常常指示岩体或矿体的位置。矿床点本身就是一种点型地质异常,特别是许多超大型矿床的地质异常都具有点型分布特征。

## 1.2 地质场、地质综合场、地质异常场

狭义地质场是指具有一定时空范围和独立演化发展历史的地区,其尺度水平可大至全球,小至微观领域。就象地球物理场和地球化

学场一样,地质场亦有级序和大小之分,在大范围高序次的地质场中,有小范围低序次地质场存在。广义地质场则包括地球物理场和地球化学场如温度(热)场,压力场(含应力场)、重力场、磁场、电场和电位场、化学位场,以及物质场等。因此,广义地质场相当于目前国内正在研究的地球综合场。

地质异常场是地质场(或地质综合场)中成分、结构和演化与周围地质背景存在明显差异的地区。和上述原理一样,广义地质异常场包括地质结构异常场、成矿物质异常场及能量异常场,后两者通常可由矿床学、地球化学和地球物理测量反映出来。地质异常是可能产出特殊类型矿床或前所未有的新类或超大型矿床的必要条件,但还不是充分条件。充要条件是内因和外因的有机配合,特别是大型、超大型矿床或新类型矿床的形成,内因是巨大的或特殊的成矿物质来源和成矿物质场特殊的时空结构,外因是地质场和能量场的异常结构及有机配合。对澜沧裂谷火山岩带地质综合场的研究<sup>[3]</sup>表明,老厂大型铅银铜矿床形成于围绕火山喷发中心并有岩浆期后热液叠加和改造作用的第三级成矿物质场;温度场的高低点源套合区是隐伏侵入岩体的有利预测部位。

## 2 兰坪—思茅地区的地质场和地质异常

### 2.1 兰坪—思茅地区成矿地质背景场

兰坪—思茅地区东起金沙江—红河断裂,西至澜沧江断裂,往南延入越南,为一近南北向的狭长地块。该区的基底与盖层结构、沉积地层与生物群落、岩浆活动与变质作用等都具有独立的演化发展历史。根据地壳结构特点,该区应为一地层地体(Terrain)。该地体在大地构造演化上具有古生代拉张,中生代凹陷收缩和新生代断陷复合特点;在空间分布上具有两带—轴三层的特征,即由东西边界构造—岩浆—变质成矿带和中部构造—热—变质轴(带)以及 C—P 火山沉积岩系、T<sub>2</sub>—T<sub>3</sub> 火山喷发

岩、海相碳酸盐层和 J-E 红层三大构造层群组成。其中 C-P 火山沉积岩系主要分布于地体南部两侧及中轴普洱—思茅一带,包括海相和陆相两套组合,海相火山岩系由细碧—角斑岩系组成,含 Cu、Fe 丰度较高,产出有三达山黄铁矿型铜矿及大勐龙铁矿等;陆相火山岩为玄武岩—安山岩—流纹岩组合,含 Cu、Co、Au 丰度较高,产出有西萨铜矿,白龙厂铜钴矿床及老王寨金矿等。老王寨大型金矿受韧性剪切带控制,产于石炭纪古火山口附近。T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub> 火山岩属钙碱性火山岩系列,主要沿地体西部边界澜沧江深断裂分布,包括北部的石登群和南段的芒怀组及小定西组,含铜丰度较高,自北而南分布有一系列铜矿床点,如大格拉、小格拉、恩棋、文玉、官房、民乐等。T<sub>3</sub> 同期异相海相碳酸盐和碎屑岩层,为远火山盆地沉积物,含 Sb、Hg 等丰度较高,产出有笔架山、塔盘山、西里、富恒等锑汞矿床。J-E 红层广泛分布于兰坪—思茅盆地中,为本区主要的砂岩型、层控型及沉积改造型 Cu、Pb、Zn 多金属矿床的赋存层位,矿床点多分布于海陆过渡相—内陆湖泊相中弱还原亚相、浅紫交互层中的浅色含钙长石石英砂岩中。虽然分布于 J-E 红层中的矿床点为数众多,有利成矿地层也有五层(图 1),但由于地层总体上含 Cu、Pb、Zn 等成矿物质丰度不高(表 1),因此较大规模的矿床产于有深源物质补充的地体东西边界断裂及中部构造—热—变质轴附近或与近东西向深断裂的交汇部位,如金顶、金满、黄矿厂、笔架山等矿床(图 2)。

### 2.2 兰坪—思茅地区的地质异常

根据前人 1/20 万区调和地球化学测量资料以及 1/50 万航磁和重力测量资料,结合本次区调研究,兰坪—思茅地区矿化地质异常可初步定性地划分为如下六类(表 2):

(1) 有利含矿地层:经野外观察、室内鉴定及统计分析表明,本区有利含矿地层有五层,即 T<sub>3s</sub>、J<sub>2h</sub>、K<sub>1j</sub>、K<sub>2h</sub> 及 E<sub>1y</sub>(见图 1)。这些地层异常或表现为物质成分异常(如 T<sub>3s</sub> 为远火山沉积产物),或表现为成分、岩性、岩

相综合异常(如 J<sub>2h</sub>、K<sub>1j</sub>、K<sub>2h</sub> 为具浅色层、含钙长石石英砂岩、弱还原亚相),特别当红层上有膏盐层(J<sub>2h</sub>、E<sub>1y</sub>)下有含碳质地层时,是形成热卤水矿床的异常地层条件。

(2) 区域火山岩带:包括 C-P 火山沉积岩系和 T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub> 火山喷发岩系,其地质异常主要表现在演化上(如 C-P 细碧角斑岩)、成分上(如 Cu、Fe、Co 等丰度较高)及结构构造上(如近火山中心相是有利的成矿部位)。

(3) 区域性深断裂:包括近南北向三条以及近东西向半隐伏硅镁层断裂(兰坪地区四条),因其切穿硅铝层导致深源物质和深层热

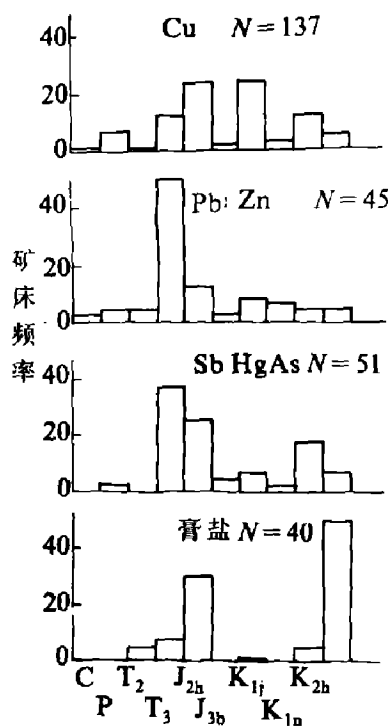


图 1 兰坪盆地各时代地层中矿床(点)分布频率直方图

表 1 兰坪—思茅地区主要成矿元素背景值(ppm)

元素	兰坪地区	思茅地区	地壳丰度(据浆分)
Cu	35	41	63
Pb	64	61	12
Zn	56	149	94

卤水上升,形成区带性地质异常。近南北向和近东西向深断裂交汇线,则形成陡倾斜线型地质异常,是深部热流和成矿物质上升通道。

(4) 大型推覆构造:发育于地体东西两侧,呈对冲组合形成,属缓倾斜面型地质异常。如

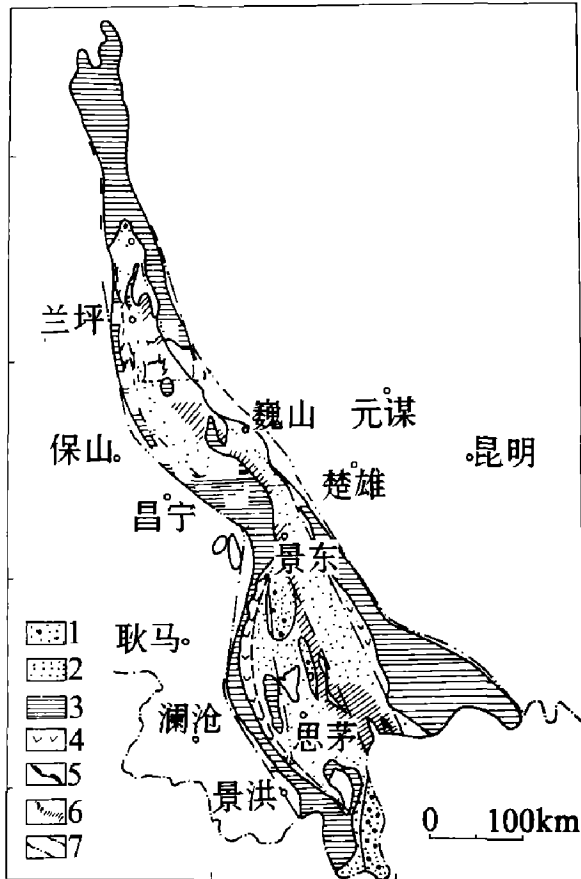


图2 兰坪-思茅地体成矿及找矿远景区带图

- 1—第三系红层及断陷盆地边界; 2—侏罗-白垩系红层;  
3—三叠系及以前老地层; 4—火山岩带; 5—地体边界断裂;  
6—地体中部构造-热-变质带; 7—成矿及找矿远景区带

果大型推覆-滑塌体覆盖在新生代断陷盆地上, 可形成有利于热卤水循环聚集的封闭或半封闭环境。

(5) 浅层构造: 包括层间破碎带、不整合面、背斜构造及浅层断裂发育部位等。前两者属不连续界面, 后两者属构造异常, 均有利于浅层热卤水型或热液改造型矿床的形成, 如金顶及金满等矿床均产于背斜或隆部位。

(6) 区域化探异常: 实际是成矿物质成分异常的一种表现。化探异常面积大小是衡量成矿物质成分异常规模的主要指标。

### 3 求异方法

地质异常的求异方法也是一个正在研究的难题, 从总体上可分为定性和定量两种方法,

而在实际工作中往往要求两法结合使用。

#### 3.1 定性组合求异法

定性法是在地质认识的基础上先划分出单项地质异常体, 如异常岩体、异常构造、异常地层或其中的异常部位等; 然后由体-面-线-点定性组合求异, 由大到小逐步缩小找矿预测靶区(表2)。例如金顶矿区具有形成大型热卤水矿床的堑沟环境、有利的异常含矿地层及背斜穹窿、成封闭半封闭构造圈的推覆-滑塌构造, 特别是位于近南北向和近东西向深断裂交汇部位旁侧, 两组深断裂交汇构成陡倾斜线型地质异常, 沟通深层热卤水上涌, 在推覆-滑塌构造及顶盖  $E_{1y}$  含膏盐地层中形成点型地质异常及喷流热水沉积后生层控矿床。

#### 3.2 定量组合求异法

地球物理场和地球化学场的异常可通过测试分析及数据处理定量求得, 而地质异常则表现在性质、数量、组合、结构及发展历史等方面<sup>[2]</sup>, 因此必须对地质变量进行定量取值和变换, 通过各种统计分析求异。目前研究矿化地质异常的统计分析方法有控矿因素组合距离系数法<sup>[4]</sup>, 演化趋势因子分析法<sup>[5]</sup>等。作者考虑到兰坪-思茅地区矿种和矿床类型较多, 成因复杂, 为了对该区的地质异常进行成因分析和分类组合, 故采用了主因子距离系数趋势分析法, 收到了较好的效果, 具体作法如下。

(1) 统计单元的划分: 选取调研较为详细、又有超大型矿床产出的兰坪地区进行统计求异试验, 以 1/20 万区域地质矿产图为低图, 以 5 cm × 5 cm 为单元(相当于 1/50 万成果图上的 2 cm × 2 cm), 在 10 km × 10 km 范围内, 共划分 230 个单元, 以单元中心点表示单元内地质异常变量值。

(2) 地质异常变量的取值和变换: 根据前述兰坪-思茅地区的地质异常类型, 选取 9 个地质异常变量, 包括: 区域火山岩带(在兰坪地区主要为  $T_2-T_3$  火山岩系) a; 有利含矿地层数( $T_{3s}$ ,  $J_{2h}$ ,  $K_{1j}$ ,  $K_{2h}$ ,  $E_{1y}$  五层) b; 有利于趋高压成矿元素聚集的背斜穹窿构造部位 c; 有利于造成封闭半封闭环境的推覆构造 d; 有

表2 兰坪—思茅地区地质异常类型及特征简表

分布类型	异常组分	空间分布	控矿作用	
体 型 地 质 异 常	陡 倾 斜	C-P 火山岩带 T <sub>2</sub> -T <sub>3</sub> 火山岩带 基性—超基性岩带	地体东西边界及中部普洱—思茅带 澜沧江沿岸 哀牢山—阿墨江断裂之间	火山岩型 Cu、Pb、Zn、Au 火山热液及改造型 Cu、Co 岩浆型 Cr、Ni、Pt
	缓 倾 斜	地层岩性岩相异常 构造部位异常	兰坪思茅盆地 T <sub>3s</sub> , J <sub>2h</sub> , K <sub>1j</sub> , K <sub>2h</sub> , E <sub>1y</sub> 兰坪思茅盆地背斜穹窿, 飞来峰等	会铜砂岩, 多金属矿源层 热液改造型铜多金属
面 型 地 质 异 常	陡 倾 斜	近 SN 向深断裂 近 EW 向深断裂	地体东西边界, 中部构造—热流轴 海登—白汉登, 金顶—金满 马厂阱—永平, 笔架山—南涧	控制东、中、西区带矿产 与 SN 向结点探矿
	缓 倾 斜	推覆断层 不整合面 层间破碎带	东西向推覆构造中部对冲组合 上第三系与下伏中生代地层之间 T <sub>3s</sub> , J <sub>2h</sub> 及 K <sub>1j</sub> 地层中	覆盖有利地层形成聚矿盆地 提供阻挡矿液构造界面 提供矿液循环聚集
线 型 地 质 异 常	陡 倾 余	东西向和南北向 深断裂交汇	地体东西边界及中轴	火山、岩浆及热液通道 韧性剪切带金矿、斑岩铜矿、 多金属矿
	缓 倾 斜	陡倾斜深断裂与 缓倾斜面状地质 异常交汇	兰坪—思茅盆地中	浅层热卤水通道
点 型 地 质 异 常	陡 倾 斜 线 状 与 缓 倾 斜 面 状 地 质 异 常 交 汇	地体中轴	深源叠加后生层控矿床	
	缓 倾 斜 线 状 与 陡 倾 斜 面 状 地 质 异 常 交 汇	兰坪—思茅盆地中	同生层控矿床	

利于沟通深源物质上涌的硅镁层断裂, 即近南北向三条 e, 近东西向四条 f; 有利于热液或热卤水循环聚集的层间破碎带及不整合面 g; 断裂交汇点个数(立体上相当于线型地质异常) h; 化探异常面积 i。其中, a, e, f 变量按其与单元中心距离平方的倒数取值, 这是因为区域性火山岩带及区域性深断裂不但对所通过的单元的成矿有较大作用, 而且对其他单元的成矿也视其距离远近而有不同程度的影响; b, h, i 变量按其实际数据的百分比取值; c, d, g 变量则采用二态变量。上述 9 个变量值均无量纲, 且在 0~1 之间变动。

(3) 组合求异法: 对上述 230 个单元中每个单元的 9 个单一地质异常变量矩阵  $[X_{ij}]$  进行组合求异时, 没有采用一般的距离系数算法, 而是利用了因子分析模型。用主成分距离近似代替两样品间的距离, 即用因子分析中的因子载荷来表示<sup>[6]</sup>。这样做是为了对本区的地质异常进行成矿作用分析和成因分类组合。研

究中采用了 Q-R 型因子分析, 即对应分析, 所得 R 型因子载荷见表 3。

对应分析所得 Q 型因子载荷近似等于样品点的距离系数, 对计算结果进行趋势求异, 则异常值  $KA_i$  等于:

$$A_i = Z_i - \hat{Z}_i - R_i$$

式中  $Z_i$  — 观测值;  $\hat{Z}_i$  — 趋势值;  $R_i$  — 随机分量

计算中异常下限可用随机分量的估计值

$$\bar{E}^+ = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E_i^+ \text{ 近似表示}^{[7]}。根据各主因子距$$

离系数及其异常下限可作出各主因子距离系数异常图。F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> 是一种组合主因子距离系数, 组合原因是因为有些地质异常区在 2-3 个主因子中部分套合出现, 反映这些异常区受到多种控矿作用并且多成因叠加, 是超大型矿床产出的重要条件。为了突出这些在多因子结构中特别发育的地质异常, 故按每个因子载荷与其相对比例(方差贡献大小)的乘积加权, 获得多

表3 兰坪地区地质异常变量主因子载荷表

主因子	地质异常变量序号									方差贡献	成因意义
	a	b	c	d	e	f	g	h	i		
F <sub>1</sub>	0.03	-0.47	0.30	-0.05	0.01	-0.67	1.27	0.22	0.06	24.48	与封闭聚矿盆地有关
F <sub>2</sub>	-0.04	0.14	-0.44	-0.33	-0.26	0.79	0.80	-0.10	-0.32	17.98	与火山成矿作用有关
F <sub>3</sub>	1.08	0.03	-0.18	-0.09	0.02	-0.13	0.02	-0.34	0.20	11.96	与深源物质补充有关
F <sub>4</sub>	0.33	-0.26	0.06	-0.25	0.15	0.19	-0.38	0.49	-0.29	10.05	与浅层热卤水有关
F <sub>5</sub>	-0.02	0.46	-0.19	-0.31	-0.11	-0.41	0.01	0.17	0.37	8.64	与热液改造作用有关

因子(F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub>)综合异常(图3)。

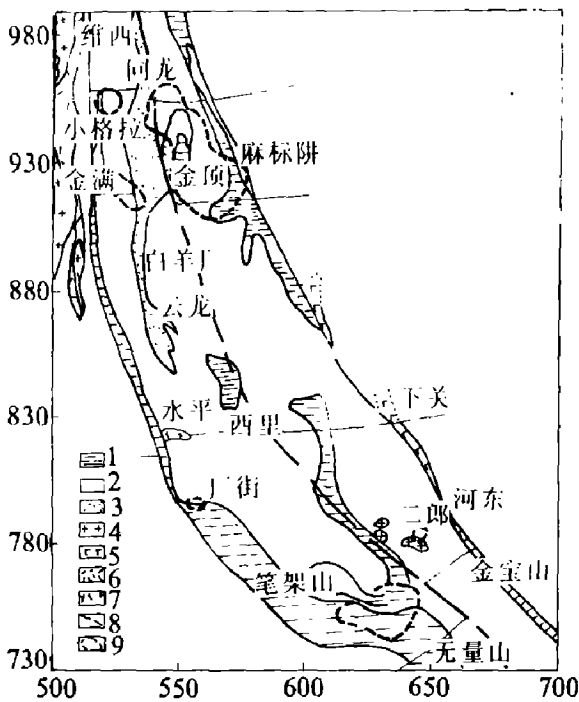


图3 兰坪地区 F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> 综合主因子距离系数异常图

1—三叠系; 2—侏罗系-白垩系; 3—第三系; 4—花岗岩类;  
5—玄武岩类; 6—中酸性喷出岩及凝灰岩; 7—花岗闪长岩、  
次英安闪长岩; 8—深断裂; 9—地质异常区

### 3.3 求异结果

(1) 采用地质异常变量组合、主因子距离系数趋势求异法, 能获得多种控矿作用和成因信息。表3中第一主因子由推覆构造系和层间破碎带等六个地质异常变量组成, 主要反映与封闭聚矿盆地及热水喷流沉积有关的成矿作用; 第二主因子由区域火山岩带及推覆构造系等四个地质异常变量组成, 主要反映与火山岩成矿和叠加改造有关的成矿作用; 第三主因子

由东西向深断裂及化探异常等四个地质异常变量组成, 反映沿东西向深断裂上升的深源物质的叠加成矿作用; 第四主因子由层间破碎带和东西向深断裂等四个地质异常变量组成, 主要反映缓倾斜线型地质异常和浅层热卤水成矿; 第五主因子由近南北向深断裂和化探异常等四个地质异常变量组成, 主要反映沿南北向深断裂上升的深源物质的叠加改造成矿作用。

(2) 求异结果表明超大型金顶铅锌矿床在 F<sub>1</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub> 等主因子异常图上均有不同程度的异常反映, F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> 综合主因子距离系数更显示了与周围背景迥然不同的地质综合异常, 同时该矿区还具有发育最完全的体-面-线-点地质异常组合类型。

(3) 根据定性和定量求异结果, 在兰坪地区获得六个综合主因子距离系数异常区和一部分单一主因子距离系数异常区, 除金顶超大型矿床异常区外, 还预测了一些规模较小的地质异常找矿靶区。

### 参考文献

- 1 涂光炽. 矿产与地质, 1989, 3(1): 1-3.
- 2 赵鹏大. 地球科学, 1991, 16(3): 241-248.
- 3 刘石年. 中国有色金属学报, 1992, 2(1): 1-8.
- 4 朱章森等. 见: IWSPMR'90, 武汉, 1990. 7-8.
- 5 金友渔. 地球科学, 1991, 16(3): 295-301.
- 6 赵鹏大. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1983. 252-285.
- 7 李公时等. 数学地质教程. 长沙: 中南工业大学出版社, 1989. 119.