

基于主成分分析的化探异常圈定新方法 ——以新疆西准噶尔地区 1 : 50 000 岩屑数据为例

林 鑫¹, 周 军¹, 张 兵²

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054;

2. 新疆地质矿产勘查局第 7 地质大队, 新疆 乌鲁木齐 833000)

摘要: 以新疆西准噶尔地区阿克巴斯陶 1 : 50 000 万岩屑数据为对象, 利用相关、偏相关分析和 R 型聚类分析确定研究区成矿元素组合为 Cu-Mo-Zn-W-Sb-Bi-As (铜钼成矿组合) 与 Au-As-Bi (金成矿组合); 基于主成分分析, 以线性方法将 2 组成矿元素重组为新的变量 N_1 (Cu-Mo-Zn-W-Sb-Bi-As) 与 N_2 (Au-Bi-As), 新变量中各元素权重根据主成分分析所得特征向量值大小决定; 运用分形含量-面积法提取新变量异常下限并生成综合异常图。结合野外地质检查, 成功圈定两处成矿潜力区, 为下一步工作提供有力依据。

关键词: 主成分分析; 化探异常; 岩屑法; 西准噶尔地区; 新疆维吾尔自治区

中图分类号: P632.2; P628.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0516-06

0 引言

近年来, 随着勘查地球化学工作程度的不断加深以及新兴计算科学的发展, 化探异常下限的确定方法也多种多样^[1-5]。其中分形学方法^[4-5]不论从元素地球化学数据分布特征还是圈定异常方面都被验证是合理的方法。同时异常的筛选与评价又是化探工作中另一核心。而以往多是依据单元素异常面积、衬度值、多元素套合异常或异常分带等特征进行筛选与评价^[6-7]。本文尝试基于相关分析、聚类分析与主成分分析, 确定研究区成矿元素组合并按线性方法进行重组, 利用分形学含量-面积法^[4]确定新变量的异常下限, 进行综合异常圈定与评价。

1 区域地质背景

1.1 构造

研究区位于斋桑—准噶尔造山带与准噶尔地块的接合部^[8], 是斋桑—准噶尔造山带的东延。由北向南发育玛依拉—黑苏断裂、哈图断裂、安齐断裂与达尔布特断裂(图 1), 空间上构成达尔布特断裂系,

形成时间从早石炭世延至中侏罗世, 其中达尔布特断裂走向 NE, 倾向 NW, 断裂性质以左行剪切和推覆逆掩为主, 形成叠瓦状构造^[9]。达尔布特断裂上盘主体构造线为 NE 向、NW 向和 NNE 向次级断裂发育, 该次级构造为上盘岩浆热液石英脉型金矿重要的容矿构造; 而断裂下盘以 SN 向断裂构造为主, 少量 NW 向和 NE 向断裂, 同时发育希贝库拉斯向斜。研究区横跨达尔布特断裂。

1.2 地层

研究区出露的主要地层为下石炭统希贝库拉斯组(C_1x)和包古图组(C_1b), 中石炭统太勒古拉组(C_2t)(图 2), 为一套巨厚的半深海—大陆坡相火山—碎屑沉积建造(沈远超, 1993)。希贝库拉斯组(C_1x)主要为厚层块状凝灰质砂岩与层凝灰岩不均匀互层, 夹凝灰质粉砂质泥岩、凝灰质粉砂岩; 包古图组(C_1b)主要为浊积相灰黑色薄层状凝灰质粉砂岩与灰色薄层状凝灰岩不均匀互层, 夹凝灰质砂岩、粉砂岩、硅质岩、凝灰角砾岩、安山玢岩及灰岩; 太勒古拉组(C_2t)总体为细粒凝灰岩、晶屑层凝灰岩、凝灰质粉砂岩不均匀互层, 夹辉绿岩、玄武岩、安山玢岩。

收稿日期: 2011-09-06; 改回日期: 2012-11-19; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 新疆维吾尔自治区国土资源厅地质调查项目“新疆托里县白碱滩一带 1 : 5 万区域地质矿产调查”(编号: XJQDZ2009-03)资助。

作者简介: 林鑫(1987-), 男, 硕士研究生, 矿床学专业, 主要从事矿床学与化探数据处理方面研究。通信地址: 北京市西城区阜成门外大街 41-1 号富成大厦 5058 室; 邮政编码: 100037; E-mail: theodorelin@yahoo.cn

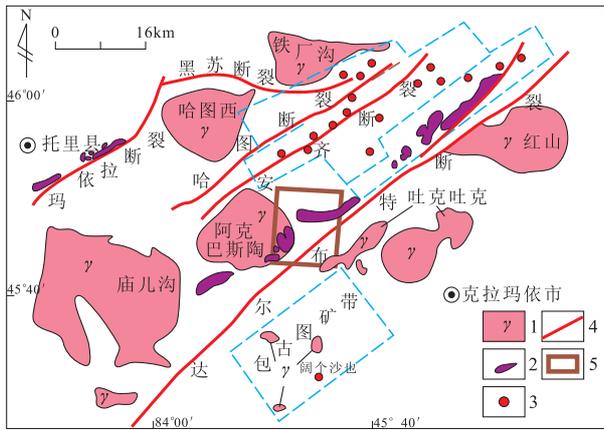


图 1 托里县达尔布特构造带附近主要金矿
(据甘源明等,1995)

Fig. 1 Major Au deposits in surroundings of Daerbute structural belt

1. 花岗岩;2. 超基性岩;3. 金矿床;4. 断裂;5. 研究区

1.3 岩浆岩

该区基性—酸性侵入体均很发育。中酸性侵入岩主要集中在达尔布特断裂带的上盘,如阿克巴斯陶、铁厂沟等岩体(图 1),侵入时代为 320~275 Ma^[10-11],主要为碱长花岗岩,岩体中黑云母和钾长石的含量较高,这类花岗岩基被认为是达尔布特断裂上盘石英脉型金矿成

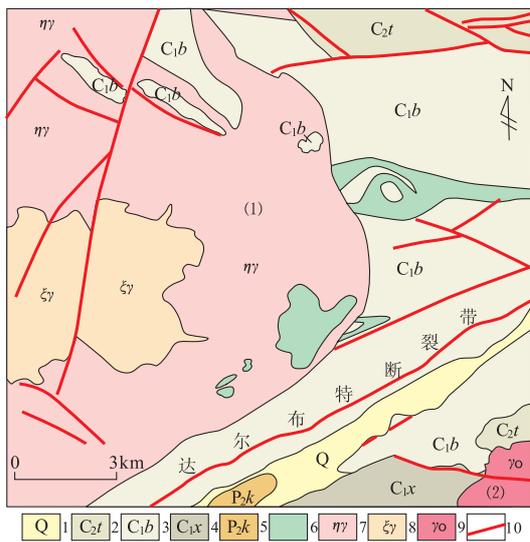


图 2 研究区地质简图(依据 ETM145028 数据填图)

Fig. 2 Geological sketch of the study area

(1)阿克巴斯陶岩体;(2)吐克吐克岩体

1. 第四系;2. 太勒古拉组;3. 包古图组;4. 希贝库拉斯组;5. 库吉尔台组;6. 达尔布特蛇绿混杂岩;7. 二长花岗岩;8. 钾长花岗岩;9. 富斜—斜长花岗岩;10. 断裂

矿物质的来源^[12]。断裂下盘则以岩株或岩枝状中酸性侵入体为主,岩性主要为花岗闪长岩和石英闪长(斑)岩,为正常碱度的花岗岩,侵入时代在 320~300 Ma^[11],包古图铜矿即为与花岗闪长(斑)岩有关的斑岩型铜矿^[13]。研究区内出露的花岗岩体主要为阿克巴斯陶岩体和吐克吐克岩体(图 2)。其中吐克吐克岩体位于达尔布特断裂带下盘,岩性为斜长花岗岩。图幅中部出露超基性岩体,即达尔布特蛇绿混杂岩,形成于中泥盆世^[14]。

2 岩屑化探异常下限的确定

2.1 岩石碎屑地球化学测量

研究区位于阿克巴斯陶岩体和吐克吐克岩体之间,横跨达尔布特断裂带,总面积 368.6 km²,属于早荒漠气候,为避免风成沙干扰与盐壳地球化学障影响,采用岩石碎屑地球化学数据(杜佩轩,2001),样品粒径 2~6 mm。共取岩屑样品 2 968 个,样品呈均匀网格分布,测线间距 500 m,点距 250 m,分析元素为 Cu, Au, Mo, Pb, Zn 等 14 种元素。

2.2 岩屑异常下限的确定方法

分形是局部与整体具有某种方式相似的形,可以是不同尺度上具有相似的形状,或者局部与整体在功能、信息等方面具有统计意义上的自相似。以不同的尺度观察分形对象,其整体结构不变,即为标度不变性。地球化学元素含量在很大程度上反映了地质现象的结构特征,是区域地质过程与局部地质过程造成的元素富集的结果。这种多次重复的矿化叠加过程最终导致地球化学异常多重分形分布特征^[15-16]。随之基于分形理论异常下限的计算方法应运而生,如含量—面积法^[4]、含量—个数法^[17]、分形求和法^[18]等。本文选用含量—面积法进行异常下限的确定。

含量—面积法(C-A)多重分形模型可表示为:

$$A(\rho) \propto \rho^{-D}$$

式中, A(ρ)表示含量大于 ρ 的区域面积; D 为分维数。它反映 A(ρ)随 ρ 变化的规律,定量刻画了地球化学含量分布在该无标度区间的变化复杂程度。如果 A(ρ)与某些特征值 ν₁, ν₂, … 存在如下关系:

$$A(\rho \leq \nu_1) \propto \rho^{-D_1}; A(\rho \leq \nu_2) \propto \rho^{-D_2}; \dots$$

表明地球化学元素的含量在空间上的自相似性存在局部特征,即服从多重分形分布。

计算公式:

$$A(\rho) = C \times \rho^{-D}$$

式中, C 为比例常数。对公式两边取常用对数, 得到一元线性回归方程:

$$\text{Log}[A(\rho)] = -D\text{Log}(\rho) + \text{Log}(C)$$

以固定间隔取得含量集 $(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n)$, 得到相应面积大小 $(A(\rho_1), A(\rho_2), A(\rho_3), \dots, A(\rho_n))$ 。作 $\text{Log}[A(\rho)] - \text{Log}(\rho)$ 双对数图, 采用最小二乘法求出斜率 D 的估计量, 即为分维数。分维数不同直线的界线点可作为区分背景和异常的临界值。其中面积的计算基于反距离幂法插值作等值线图, 然后利用 MapGIS 空间分析功能进行相关面积计算。

3 成矿元素组合

首先对研究区 14 种元素含量数据进行相关与偏相关分析(表 1)。结果显示, 除几个元素间无明显相关关系外(如 Cu 与 Pb, Sn 与 Ni, Bi 与 Ni 等), 其余元素间均表现出显著的相关关系。偏相关系数显示 Cu 与 Mo, Zn, Co 具显著正相关关系, 与 Sn, Ni 具显著负相关关系; Au 与 Bi, As 具显著正相关关系; Cr, Co, Ni 之间也具有显著正相关关系。进行 R 型聚类分析可将区内元素分为 3 组: ① Ni-Cr-Co; ② Cu-Mo-Zn-W-Sb-Bi-As; ③ Au-As-Bi。同时结合欧几里德平方距离结果, 显示后 2 组元素组合在空间上相近甚至出现重叠, 若同时出现这 2 组元素的化探异常应为找矿重点地段。前人曾在该地区寻找与基性—超基性岩有关的铬铁矿, 但未有突破, 结合研究区附近已发现的矿床(点), 确定本区矿产勘查重点为 Cu 和 Au。

4 主成分分析及综合异常圈定

遥感地质填图及矿化蚀变信息提取中常用到主成分分析方法。对 ETM 图像 7 个波段进行主成分分析后, 不同的主成分承载了不同的地物信息, 如第四主成分就主要承载了岩石信息。同时选取不同波段进行假彩色合成, 可以更好地区分岩性界线, 提取蚀变信息。笔者认为各元素之间的相关关系说明各元素之间都存在信息重叠, 可将其视作遥感图像中不同的波段, 首先对其进行主成分分析, 然后选取承载成矿元素信息量最大的主成分, 以成矿元素组合中各元素特征向量值为权重因子, 按线性方法重组为新变量, 然后对新变量进行异常圈定。

按上述思路对研究区 14 种元素进行主成分分析, 由于不同主成分所包含的信息量不同, 故本次只

提取特征值 $\lambda > 0.5$ 的主成分, 同时进行方差最大旋转, 得到特征向量矩阵(表 2)。分析发现, 第一主成分主要承载着与基性—超基性岩有关的 Cr, Co, Ni 元素信息; 第二主成分则主要承载着元素 Cu, Mo, Zn 的信息; Au 元素信息则体现于第六主成分。

①号成矿元素组合为 Cu-Mo-Zn-W-Sb-Bi-As, 形成新的重组变量:

$$N_1 = 0.793 \times \text{Cu} + 0.112 \times \text{Mo} + 0.804 \times \text{Zn} + 0.291 \times \text{W} + 0.272 \times \text{Sb} + 0.199 \times \text{Bi} + 0.116 \times \text{As}$$

②号成矿元素组合为 Au-As-Bi, 新的组合变量为:

$$N_2 = 0.966 \times \text{Au} + 0.173 \times \text{Bi} + 0.178 \times \text{As}$$

依据分形含量—面积法对新组合变量分别提取异常下限, N_1 为 0.925, N_2 为 0.131。利用 Surfer 软件制成元素异常图(图 3)。

5 综合异常评价

综合异常图显示, 在图幅东北角出现呈 EW 向展布的带状异常; 东南部出现 NE 向展布的面状、点状异常; 同时, 在图幅中西部出现 Au-Bi-As 面状异常。针对以上异常情况, 布置 11 处异常检查点。

1 号和 5 号检查点, 异常位于太勒古拉组与包古图组接触带附近, 有很好的 Cu-Mo-Zn-W-Bi 异常, 但缺乏 Au-Bi-As 异常。实地检查发现, 该区域 NW 向、NW 向裂隙发育, 在凝灰质粉砂岩中铁染现象明显, 暂未发现有意义的矿化。

2 号和 3 号检查点, 异常位于吐克吐克岩体南西段与包古图组接触带上, 2 组成矿元素综合异常均有显示。野外检查发现, 异常处发育花岗闪长岩体, 呈岩株、岩枝产出, 岩石中主为斜长石和石英, 次为钾长石和角闪石等矿物。经槽探工程揭露发现内外接触带铁染明显, 孔雀石化、硅化、绿帘石化等蚀变发育, 且 NW 向、近 EW 向裂隙发育, 在沿裂隙发育的石英脉中见到黄铁矿与少量黄铜矿。实施的 2 个普查孔(ZK702, ZK803)分别在 150 m 和 65 m 处见矿, ZK702 孔 $w(\text{Cu}) = 0.27\% \sim 0.37\%$, ZK803 孔 $w(\text{Cu}) = 0.29\% \sim 1.26\%$ 。包古图斑岩型铜矿含矿岩石为花岗闪长(斑)岩与石英闪长(斑)岩, 主要矿物为中长石、石英, 次为钾长石、角闪石、黑云母等^[13]。从岩性上对比分析, 该异常区应为下一步找矿的 I 号重点区域。

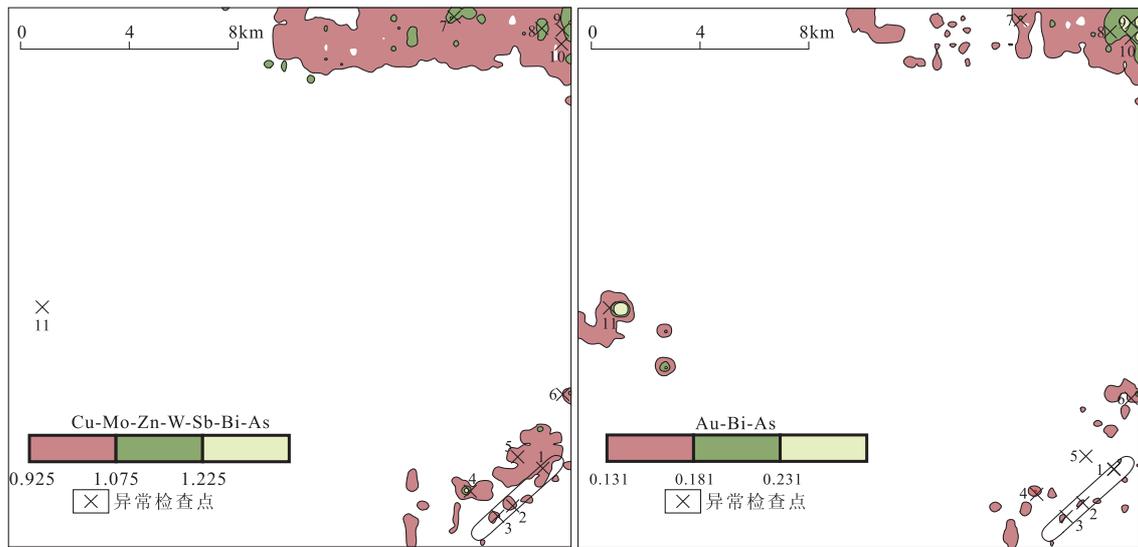


图 3 研究区综合异常图

Fig. 3 Map showing the integrated anomaly in the study area

表 1 研究区各元素含量相关及偏相关系数

Table 1 Correlation and partial correlation coefficients of various elements in the study area

	Cu	Au	Mo	Pb	Zn	Sn	Sb	W	Bi	As	Ag	Cr	Co	Ni
Cu	1.00	0.01	0.27	-0.14	0.36	-0.26	0.10	0.11	0.17	0.01	0.04	0.03	0.44	-0.38
Au	0.25	1.00	0.08	-0.03	-0.07	-0.01	0.04	-0.04	0.21	0.19	-0.04	0.05	0.03	-0.06
Mo	0.70	0.27	1.00	0.02	0.17	-0.07	0.04	0.06	0.07	0.07	0.13	-0.14	-0.03	0.17
Pb	0.09	0.10	0.19	1.00	0.23	0.20	0.34	0.14	0.27	-0.16	-0.05	0.04	-0.25	0.08
Zn	0.78	0.18	0.64	0.32	1.00	0.34	-0.06	0.11	-0.03	-0.08	0.12	0.04	0.27	-0.25
Sn	0.19	0.10	0.23	0.45	0.47	1.00	-0.05	0.09	0.12	0.11	0.24	0.05	0.03	-0.02
Sb	0.58	0.31	0.53	0.39	0.55	0.31	1.00	0.16	-0.06	0.45	0.15	-0.07	0.22	-0.09
W	0.57	0.25	0.52	0.42	0.60	0.39	0.62	1.00	0.20	0.16	-0.06	0.01	-0.01	0.00
Bi	0.45	0.36	0.44	0.45	0.46	0.36	0.47	0.57	1.00	0.12	-0.07	-0.02	-0.04	0.05
As	0.38	0.37	0.40	0.22	0.33	0.27	0.64	0.50	0.43	1.00	0.01	-0.06	-0.07	0.09
Ag	0.34	0.08	0.36	0.19	0.43	0.38	0.36	0.28	0.20	0.24	1.00	0.11	-0.09	-0.01
Cr	0.38	0.09	0.28	-0.23	0.31	0.10	0.19	0.15	0.08	0.10	0.16	1.00	0.33	0.49
Co	0.62	0.15	0.46	-0.20	0.51	0.13	0.37	0.30	0.19	0.22	0.21	0.89	1.00	0.60
Ni	0.25	0.06	0.23	-0.27	0.17	0.03	0.13	0.08	0.03	0.09	0.07	0.91	0.85	1.00

注: $n=2968$; 上半三角为偏相关系数, 下半三角为相关系数。

7—10 号检查点, 异常位于太勒古拉组与包古图组接触带, 异常展布面积大, 高值分布于异常东部, 2 组成矿元素综合异常均发育, 实地发现该区域 EW 向、NE 向裂隙发育, 硅化、绢云母化和铁染发育, 有石英小脉穿插, 太勒古拉组中的大量火山岩, 岩性主要为绿泥石石英片岩, 在石英片岩构造蚀变带中见孔雀石化与星点状黄铜矿, 在 9 号点取样显示 $w(\text{Au})=0.2 \times 10^{-6}$, $w(\text{Cu})=0.18\%$, 该处应为找矿的 II 号重点地段。

4 号检查点出现高的 Cu-Mo-Zn-W-Bi 异常, 且配合 Au-Bi-As 异常, 位于吐克吐克岩体外缘的包古

图组内, 野外检查发现异常区 NW 向、近 SN 向裂隙发育, 地层中铁染明显。目前虽未发现较有意义的原生矿化, 但 2 组异常套合较好, 且符合该地区中高温岩浆热液铜金矿床的成矿地质条件^[13]。6 号检查点与 4 号一致; 笔者认为这 2 处应列为找矿的 III 号重点地段。

11 号检查点位于阿克巴斯陶岩体内部, 出现 Au-Bi-As 极高异常值。实地发现该处存在一宽缓石英脉, 总体倾角约为 $5^\circ \sim 10^\circ$, 石英脉呈乳白色, 缺乏金属矿化, 见极少量的明金存在, 笔者认为此处不构成成矿潜力。

表2 元素特征向量矩阵

Table 2 Feature vector matrix of major elements

元素	主成分					
	1	2	3	4	5	6
Cu	0.257	0.793	0.137	-0.013	0.128	0.099
Au	0.045	0.068	0.150	0.019	0.013	0.966
Mo	0.186	0.370	0.151	0.053	0.152	0.112
Pb	-0.218	0.073	0.063	0.218	0.069	0.028
Zn	0.186	0.804	0.080	0.254	0.190	0.041
Sn	0.041	0.117	0.090	0.934	0.175	0.021
Sb	0.122	0.272	0.346	0.093	0.155	0.126
W	0.078	0.291	0.218	0.160	0.086	0.085
Bi	0.030	0.199	0.167	0.144	0.049	0.173
As	0.055	0.116	0.911	0.096	0.080	0.178
Ag	0.069	0.162	0.075	0.167	0.952	0.014
Cr	0.957	0.138	-0.003	0.051	0.060	0.046
Co	0.874	0.350	0.067	0.030	0.056	0.051
Ni	0.979	-0.036	0.042	-0.013	0.004	-0.010

6 结论

(1)采用分形学方法确定异常下限符合元素地球化学数据的分布特征,可以避免找矿信息损失,扩大找矿工作范围。

(2)基于皮尔逊相关分析、聚类分析与主成分分析构置的综合变量,在减少信息损失的前提下能更好地代表原始变量的综合信息,使综合异常的圈定和评价更为简便。

(3)根据综合异常圈定结果,成功确定吐克吐克岩体边部的钾长石化花岗闪长岩处、太勒古拉组绿泥石石英片岩中、吐克吐克岩体边缘的包古图组分布区分别为Ⅰ号、Ⅱ号和Ⅲ号找矿重点地段。

参考文献:

- [1] Govett G J S, Goodfellow W D, Chapman R P, et al. Exploration geochemistry-Distribution of elements and recognition of anomalies[J]. *Mathematical Geology*, 1975, 7:415-442.
- [2] Sinclair A J. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1974, 3:129-149.
- [3] Garrett R G. A cry from the heart[J]. *Explore*, 1989, 66:18.
- [4] Cheng Q M. The perimeter-area fractal model and its application to geology[J]. *Mathematical Geology*, 1995, 27(1):69-81.
- [5] 李长江,麻士华. 确定地球化学背景值及异常的分形方法[C] //谢学锦,邵跃,王学求. 国家攀登项目 B85-34 论文集. 北京:地质出版社,1999:195-200.
- [6] 钟仁,赵志军,廖蕾,等. 综合物化探方法在乌兰德勒铂矿勘查中的应用[J]. *物探与化探*, 2010, 34(3): 275-280.
- [7] 随启发,易善涛,张学忠,等. 物、化探在黄竹园金矿勘探中的应用[J]. *物探与化探*, 2010, 34(4): 463-466.
- [8] 任继舜,王作勋,陈炳蔚,等. 中国及邻区大地构造简要说明[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [9] Feng Y, Coleman R G, Tilton G, et al. Tectonic evolution of the west Junggar region, Xinjiang, China[J]. *Tectonics*, 1989, 8(4): 729-752.
- [10] 李华芹,谢才富,常海亮,等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社,1998:1-264.
- [11] 韩宝福,季建清,宋彪,等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(Ⅰ)一后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1077-1086.
- [12] 王莉娟,王玉柱. 新疆准噶尔盆地哈图金矿成矿流体的某些物理化学特征及与成矿关系[J]. *地质与勘探*, 2005, 41(6): 21-26.
- [13] 成勇,张锐. 新疆西准包古图地区铜矿成矿规律浅析[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(4): 11-15.
- [14] 张弛,黄莹. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境讨论[J]. *地质论评*, 1992, 38: 509-524.
- [15] 孟宪国,赵鹏大. 地质数据的分形结构[J]. *地球科学*, 1991, 16(2): 207-211.
- [16] 李长江,麻士华,朱兴盛. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[M]. 北京:地质出版社,1999:1-14.
- [17] 施俊法. 浙江省诸暨地区元素地球化学分布与标度律[J]. *地球科学:中国地质大学学报*, 2001, 26(2): 167-170.
- [18] 申维. 分形求和法及其在地球化学数据分组中的应用[J]. *物探化探计算技术*, 2007, 29(2): 134-137.

**A new principal component analysis-based method for
lineation of geochemical anomalies:
A case study of detritus data (1/50 000)
of Western Junggar, Xinjiang**

LIN Xin¹, ZHOU Jun¹, ZHANG Bing²

(1. Chang'an University School of Earth Science and Land Resources, Xi'an 710054, China;

2. Geological Brigade 7 of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Wusu 833000, Xinjiang, China)

Abstract: Detritus data (1/50 000) from Akebasitao, western Junggar, Xinjiang were processed with Pearson correlation analysis and R-type cluster analysis and the ore-forming elements portfolio of the study area are determined to be Cu-Mo-Zn-W-Bi (Cu-Mo mineralization) combination and Au-As-Bi-Ag (Au mineralization) combination. The two elements combinations are re-combined with principal component analysis and two linear combined variables N_1 (Cu-Mo-Zn-W-Sb-Bi-As) and N_2 (Au-Bi-As) are obtained. the authority value of each element of these variables is determined by its eigenvector value. According to the work done above, the lower limits of geochemical anomalies of two new variables are determined by content-area method based on fractal theory and a integrated anomaly map is drawn with two mineralization targets lineated for further exploration.

Key Words: principal component analysis; anomalies of exploration geochemistry; detritus data; western Junggar; Xinjiang