

基于勘查地球化学数据分析的大型矿集区 预测模型讨论

杨向荣^{1,2,3} 张晓帆² 孙宝生²

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830049;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:笔者从勘查地球化学角度,利用研究区元素丰度、变异系数和混乱度对体系进行了元素分布分配时空规律的研究。在此基础上笔者对大型矿集区的识别与预测进行了初步探讨,建立了预测模型。并提出利用元素丰度、变异系数、混乱度来评价大型矿集区时应注意表生地球化学作用,同时指出该模型适用于“元素富集体与其赋存地质体存在内在关系”这一重要条件。总结出新疆石炭系火山碎屑岩应为金的找矿重点。

关键词:大型矿集区;预测模型;变异系数;混乱度

中图分类号:P591⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)03-0682-07

在本次“中亚大型矿集区识别与预测”研究中,低密度、甚低密度勘查地球化学数据的正确分析处理是课题研究的重要方面。笔者从勘查地球化学数据综合分析方面,以新疆 1:20 万低密度勘查地球化学及 1:50 万甚低密度勘查地球化学资料为例(图 1),探讨大型矿集区识别预测模型^[1]。

前人对区域地球化学异常评价,做了大量的工作。目前常见的方法有地质-构造单元评价法^[2-4]、多元素定量评价法、谢学锦的 RESMA 系统^[5-7]、综合信息评价法^[8]、基于计算机和统计技术的异常评价系统^[9-10]、大比例尺勘查地球化学技术解剖评价法、异常评序法、非线性异常评价法。笔者采用基于地理信息系统和数理统计的简单变量异常评价法^[11]。

由于许多已知具有一定规模的金属矿床都伴有(或显示)含量高、规模大、元素组合比较复杂的异常特征,因此在异常评价中就自然引入了“高、大、全”的标准。异常评价的结果则是把这类“高、大、全”异常都简单地划为潜在含矿异常。这是就异常论异常、机械的、经验的异常评价方法和思路。笔者从变异系数上讨论高峰期与富集的关系,不再只注重元素丰度值的高低,而是更注重高峰值的局部富集及富集倾向性。因此讨论重点放在元素丰度、变异系数和混乱度上。

化探数据是背景、异常和误差三者之间的总和,大量研

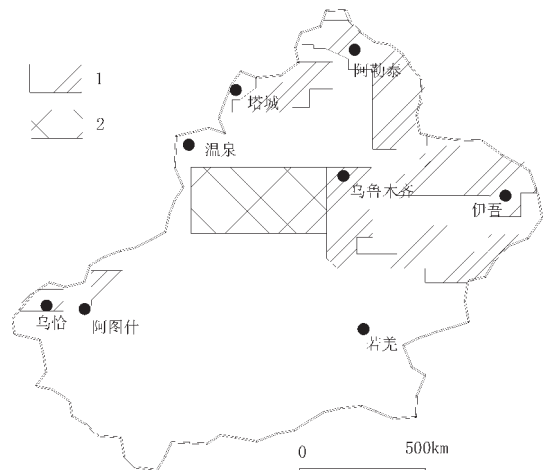


图 1 研究区位置图

1—1:20 万勘查地球化学数据覆盖区;
2—1:50 万勘查地球化学数据覆盖区

Fig. 1 Location map of the study area

1- 1:200 000 exploration-geochemical data coverage area;
2- 1:500 000 exploration-geochemical data coverage area

收稿日期:2006-02-08;改回日期:2006-03-27

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409809)资助。

作者简介:杨向荣,男,1972 年生,博士生,副教授,主要从事矿产勘查及勘查地球化学教学科研工作;E-mail:paul_yxr@sina.com。

究表明影响元素丰度的因素主要分为两大类:①物源因素,取决于岩性及其层位,表现为不同岩石类型或不同时代的同一岩石类型地球化学特征的差异;②表生作用因素,本次研究不仅要重视物源因素,亦重视表生因素,即需要就表生作用的影响作初步的讨论。

本文就以上认识结合研究区勘查地球化学数据,尝试性地建立了大型矿集区预测模型。

1 研究区自然地理概况

研究区总体位于新疆北部,地处内陆干旱、半干旱区,物理风化及化学风化作用有着自身特点。

新疆艾比湖沉积物记录的古环境演变信息指出,新疆近两千年来的气候演化可分为3个阶段:①公元前 500 年—公元前 400 年,艾比湖水体面积较小,该阶段气候偏干旱;②公元前 400 年—公元 1400 年,水体面积较大,气候较湿润,但该时期气候也有小幅冷暖和干湿变化,其中公元 800 年—公元 1300 年艾比湖沉积记录显示陆源有机质输入不明显,表明此时湖水水位达到两千年最高;③公元 1400 年以后,艾比湖水水位下降,其中 15 世纪中期和 19 世纪初期是两次较为干燥的时期^[4]。探讨新疆表生地球化学环境,上述因素值得注意。

2 研究区地质背景

新疆的太古宇(陆核)出露于塔里木,暴露于库鲁克塔格、阿尔金和中天山等地,主要是新太古界。新太古代—古元古代,塔里木古陆北缘出现有阿克苏、库鲁克塔格、赛里木,南缘出现有西昆仑北缘、阿尔金等边缘裂谷的活动型环境,围绕塔里木陆核出现了广阔的元古代陆源碎屑岩—碳酸盐岩建造。

早古生代板块活跃期,亚洲地区从裂解到扩张出现多个大洋盆。在西伯利亚和塔里木—华北大陆之间的大洋,统称古亚洲洋;塔里木—华北大陆以南的大洋称秦祁昆大洋。两大洋盆中均出现许多岛形的古老陆块,在古陆中还出现裂陷槽和裂谷,如柴北缘、祁曼塔格和北山。加里东期构造运动使新疆随着南天山洋于早泥盆世向北俯冲碰合,除陆壳残余海盆外,基本形成了加里东期的统一大陆。

晚古生代板块衰没期在加里东期统一大陆基础上,沿残余海盆或构造薄弱带,出现早泥盆世和早石炭世两次短暂扩张,古亚洲洋呈现多岛有限洋盆格局,有着南、中、北 3 大深槽。北有斋桑洋,中有北天山洋,南有南天山洋,其多有分支,互有陆表海相连。大洋中陆块,小地块(如赛里木地块)只在其边缘出现边缘海碎屑岩—碳酸盐岩沉积,大陆块(如准噶尔地块、伊犁地块)则自成体系,出现陆缘活动带,发育沟—弧—盆体系。随着亚洲洋盆的全部封闭,新疆大陆主体基本形成。

晚古生代末期,亚洲中北部进入陆内发展阶段。北大陆陆内发展阶段在新陆壳形成后的松弛期,出现了拉张环境,产生了吉木乃、博格多、伊犁、北山、巴楚等二叠纪裂谷。裂谷中有大量碱性玄武岩及非造山型正长岩—碱性岩和花岗岩侵入体。

到特提斯洋演化阶段,按萌特提斯、古特提斯、新特提斯 3 个演化阶段由北而南逐步拉张—闭合,最后关闭于始新世。始新世末特提斯洋封闭,印度板块与欧亚大陆碰撞并形成目前统一的欧亚大陆。由于印度板块向欧亚大陆的“A”型俯冲作用不断增强,青藏高原迅速抬升,其远距离效应波及新疆全境,逆冲推覆及走滑断裂应运而生^[5]。

3 大型矿集区识别与预测模型

笔者从元素丰度、变异系数及混乱度 3 个方面,讨论元素时间、空间分布规律,从而实现大型矿集区的初步识别与预测。

根据研究区的平均成分和变异系数(表 1),区域主要氧化物均值接近上陆壳^[6]。除 SiO₂、K₂O、Na₂O 外,其他氧化物变异系数较大,波动幅度为 83.6%~113.1%,表明区域物质组成较为复杂,但总体呈上陆壳物质组成面貌。微量元素除 As 外,亦接近上陆壳平均水平,但变异系数较高,波动幅度大,为 50.3%~764.8%,提示除 Zn(变异系数为 50.3%)外可能出现局部富集及贫化。

考虑到表生环境特点和评价的直接指示性,笔者就 Ag、Au、Cu、Pb 元素的时间、空间分布做专项研究,并以 SiO₂ 作为评价参照,Cu 用于验证表生地球化学环境对系统评价的显著影响作用^[5]。

表 1 研究区化学成分 (%)均值和变异系数

Table 1 Mean (%) and variation coefficients of chemical components of the study area

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Ag	Au	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
							/10 ⁻⁹		/10 ⁻⁵						
均值 \bar{x}	60.8	12.0	2.5	5.5	2.4	2.9	69.9	1.4	8.1	55.2	26.1	24.1	16.4	64.3	
标准差 δ	11.0	10.3	2.1	6.2	0.8	1.1	70.5	10.7	15.1	84.6	25.3	26.2	25.0	32.4	
变异系数	18.1	85.9	83.6	113.1	36.5	40.0	100.9	764.8	185.4	153.3	96.9	108.5	152.1	50.3	
上陆壳 ^[6]	66.0	15.2	2.3	4.2	3.4	3.9	50	1.8	1.5	35	25	25	20	71	
下陆壳 ^[14]	54.4	16.1	6.3	8.5	0.34	2.8	90	3.4	0.8	235	90	135	4	83	
陆壳 ^[14]	59.3	15.9	5.3	7.4	1.1	3.1	80	3.0	1.0	185	75	105	8	80	
洋壳 ^[14]	49.5	16.0	7.7	11.3	0.15	2.8	26	0.23	1.0	270	86	135	0.8	85	

注:变异系数= $\delta \times 100 / \bar{x}$

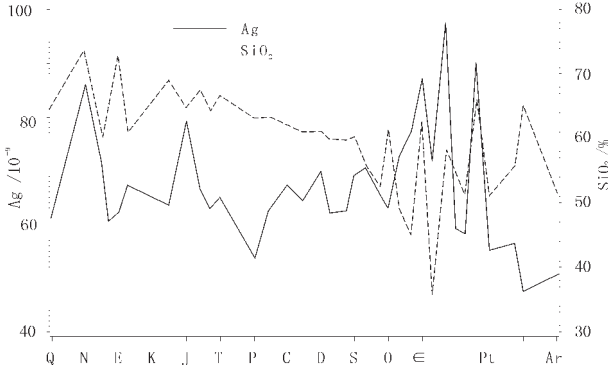


图 2 研究区岩石中 Ag 均值

Fig. 2 Mean value of Ag in rocks of the study area

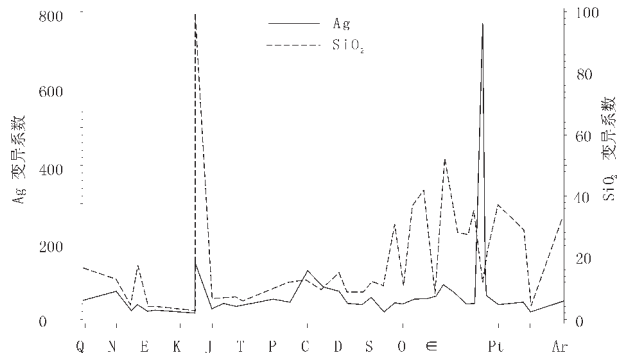


图 3 研究区岩石中 Ag 变异系数曲线

Fig. 3 Variation coefficient of Ag in rocks

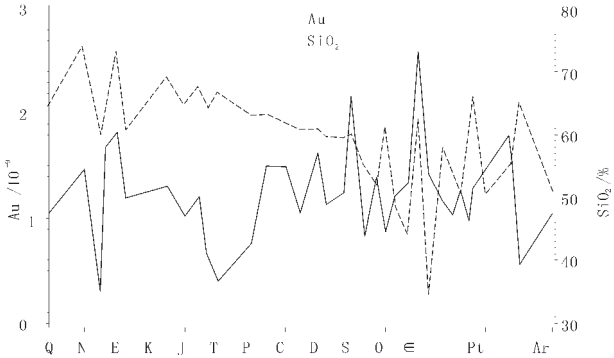


图 4 研究区岩石中 Au 均值

Fig. 4 Mean value of Au in rocks

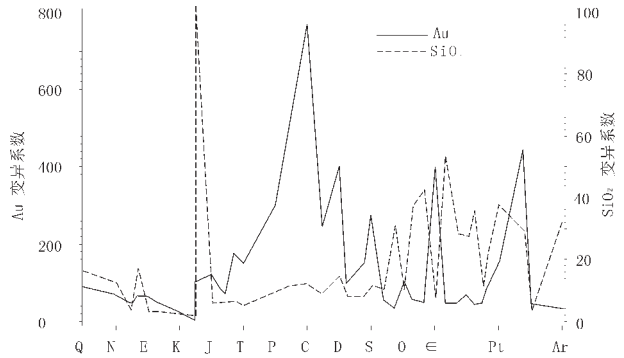


图 5 研究区岩石中 Au 变异系数曲线

Fig. 5 Variation coefficient of Au in rocks

根据对岩石中元素和氧化物的研究,可以推测研究区 Ag 在奥陶系—元古代岩石中具有局部高丰度(图 2)。如库鲁克塔格和中天山的元古代含碳碎屑岩—碳酸盐岩建造的铅锌银矿^[3]。三叠系—侏罗系岩石的峰值应与北大陆陆内发展的松弛期及印度板块的“A”型俯冲远距离效应有关。石炭系—泥盆系丰度峰值较低,但存在相应的变异系数峰值亦应引起注意(可能存在局部活跃的特点)。古近系、新近系、第四系峰值应与风化作用有关。

通过对 Ag 的变异系数的研究(图 3),从元素变异方面证实了关于早古生代板块活跃期、晚古生代板块衰没期及印度板块的“A”型俯冲远距离效应^[4]的论点。

Au、Ag 地球化学行为有着一定的相似性,在研究区亦表现出一定的差异性。如在均值上 Au、Ag 表现出相似性(图 4);但在变异系数上表现出一定的差异性,具体体现是在泥盆系—二叠系有一个巨大的高峰(图 5)。该峰值位于石炭系,指示了 Au 在该类岩石中可能存在局部富集的特点,推

测与晚古生代板块衰没期在加里东期统一大陆基础上,沿残余海盆或构造薄弱带,出现早泥盆世和早石炭世短暂扩张及伴随的洋盆消减和碰撞^[4]有关。该类地质体 SiO₂ 含量为 50%~60%。但 Au 在寒武系及前寒武系岩石中的高丰度及高变异系数亦应引起重视。

Cu 与 Au、Ag 的地球化学行为差异较大。其分布(图 6)提示奥陶系、志留系存在高峰、低变异现象(图 7),SiO₂ 含量为 50%~60%。应与早古生代板块活跃期地质活动有关。同时自奥陶系至三叠系,岩石中 Cu 丰度递减,但变异系数平稳,只在石炭系、侏罗系岩石中出现小的峰值,并以泥盆系—二叠系为主,可能存在 Cu 局部富集。富集 Cu 的地质体 SiO₂ 为 60%~65%。Pb 在研究区内的分布独具特点,在寒武系、三叠系出现了明显的峰值(图 8)。其寒武系峰值推测与早古生代板块活动期有关。而三叠系峰值应与印度板块向欧亚大陆的“A”型俯冲远距离效应密切相关。

除上述特点外,Pb 的变异系数在前寒武系、志留系、石炭

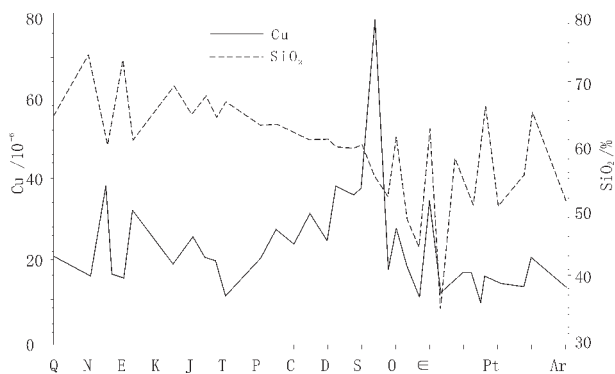


图6 研究区岩石中Cu均值
Fig.6 Mean value of Cu in rocks

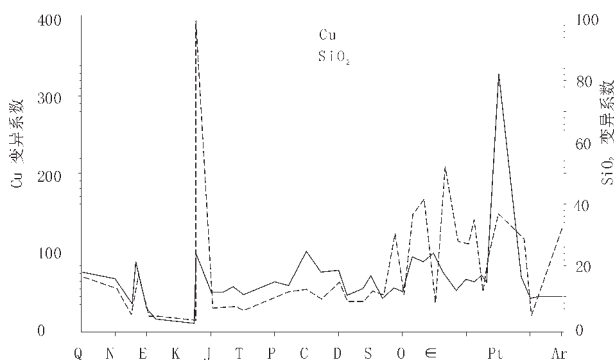


图7 研究区岩石中Cu变异系数曲线
Fig.7 Variation coefficient of Cu in rocks

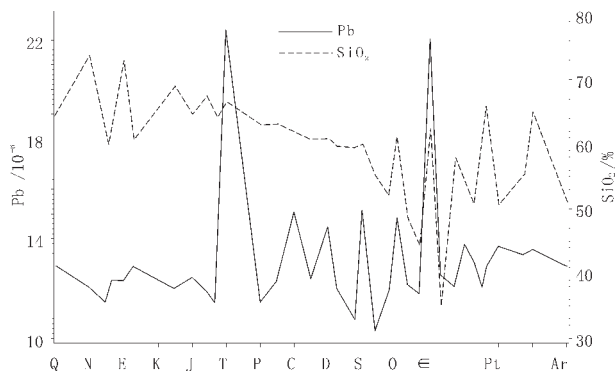


图8 研究区岩石中Pb均值
Fig.8 Mean value of Pb in rocks

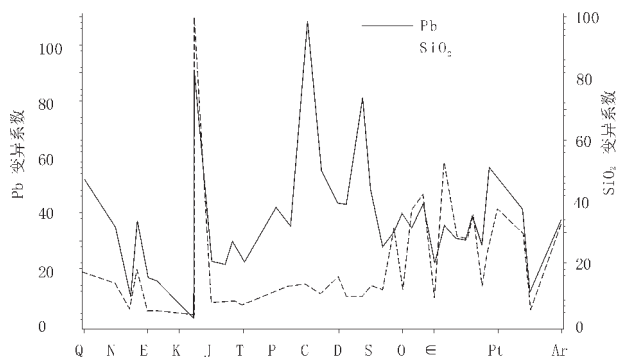


图9 研究区岩石中Pb变异系数曲线
Fig.9 Variation coefficient of Pb in rocks

系、侏罗系呈现明显峰值(图9)。其前寒武系峰值应与边缘裂谷地带碎屑岩系有关,可能产生局部富集。三叠系亦应成为研究重点,同时也应考虑志留系、石炭系地质体。

根据上述研究可以初步推测元古界—奥陶系、志留系、石炭系、三叠系地质体应做为Au、Ag、Cu、Pb矿产资源勘查的重点。

本次研究以1:50万地质图为底图,借助MapInfo7.0对勘查地球化学数据与地质体作空间分析,并利用SAS8.0进行统计分析,着重研究石炭系地质体。由研究结果(表2)可以得出:如有Au的富集,富集体应与上石炭统火山碎屑岩及石英斑岩有关,且出露范围有限,应以点状为主。建议对火山机构及其残体进行深入研究,尤其是在遥感影像解译上应注意对环形构造等的解译。Cu的富集应与超基性—基性杂岩、辉绿玢岩、石英正长岩、石英斑岩、石英二长岩、蛇绿岩、辉长岩及火山碎屑岩有关。

由此可以初步将石炭系火山碎屑岩、中酸性—基性玢斑岩分布区作为进一步研究远景区,火山机构作为工作重点。

本次研究为讨论元素富集性,假定每一地质体为一相格,将某相格元素平均丰度值记作该相格代表点数,计算体系混乱度 W (Disorder):

$$W = \frac{N!}{n_1! n_2! \cdots n_i!} = \frac{N!}{\prod_i n_i!} \quad (1)$$

其中 n_i 为第 i 相格的代表点数, N 为体系代表点总数,且有:

$$N = \sum_i n_i$$

当体系代表点均匀分配在各相格时,体系混乱度呈极大值:

$$W_{\max} = \frac{N!}{i \times \text{int}(\frac{N}{i})!}$$

暗示富集可能性大)。

确定了潜在成矿元素富集地质时代,其潜在成矿空间位置就成为研究的重点。

重点元素富集时代为研究元素潜在富集地质体指明了方向。但在诸多地质体中,简单通过对该时代地质体的元素丰度、变异系数来确定重要的潜在元素富集地质体,是不能完全评价体系元素富集程度的。同时高丰度背景与高成矿几率之间的关系亦值得研究。本次研究利用体系混乱度来指明体系元素富集的倾向性,结合变异系数及基础地质研究成果,以获得对体系较合理的评价是有重要意义的。

利用元素丰度和变异系数讨论元素的时间富集倾向是可行的,但应优先考虑能够记录该时代元素分布总面貌的沉积岩,若对岩浆岩进行研究应分类讨论。

在讨论元素空间富集倾向性时应注意地质体划分,尤其应注意地质体空间上的差异性,划分数量不宜过少,其地质意义应明确。

本模型内含假设“元素富集体与赋存地质体存在内在关系”,这也是本模型的局限性。如何解决元素富集体与其赋存体关系有待进一步通过对体系的地球化学动力学特征加以讨论。

参考文献(References):

- [1] 王学求,孙宏伟,迟清华,等.地球化学异常再现性与可比性[J].中国地质,2005,32(1):136~140.
Wang Xueqiu, Sun Hongwei, Chi Qinghua, et al. Reproducibility and comparison of geochemical anomalies [J]. Geology in China, 2005, 32(1):136~140(in Chinese with English abstract).
- [2] 王瑞廷.不同景观区金、铜表生地球化学异常特征对比及其评价指标体系的研究(硕士学位论文)[D].武汉:中国地质大学研究生院,1999.1~108.
Wang Ruiting. The study on characteristics contrast of gold and copper's supergenic geochemical anomalies and its evaluating index system[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 1999.1~108(in Chinese with English abstract).
- [3] 朱有光,蒋敬业,李泽九,等.试论中国重要景观区区域地球化学异常系统评价的量化模型[J].物探与化探,2002,26(1):17~22.
Zhu Youguang, Jiang Jingye, Li Zejiu, et al. Primary discussion on quantitative model of system evaluating regional geochemical anomaly in important landscape area, China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration. 2002,26(1):17~22(in Chinese with English abstract).
- [4] 朱有光,李泽九,胡以铿,等.区域地球化学异常系统评价的思路与方法[J].地质科技情报,1997,16(2):97~103.
Zhu Youguang, Li Zejiu, Hu Yikeng, et al. Thoughts and methods of system evaluating regional geochemical anomaly [J]. Geological Science and Technology Information, 1997,16(2):97~103(in Chinese with English abstract).
- [5] 谢学锦.快速评价与筛选多元素地球化学异常的计算机系统(RESMA 系统)[J].地矿部物化探研究所所刊,1990,4:181~222.
Xie Xuejin. Computer system of rapidly evaluating and selecting multi-elements geochemical anomaly (RESMA system)[J]. Bulletin of Geophysical and Geochemical Exploration Institute of Ministry of Geology and Mineral Resources, 1990,4:181~222 (in Chinese with English abstract).
- [6] 谢学锦,刘大文,向运川,等.地球化学块体——概念和方法学的发展[J].中国地质,2002,29(3):225~233.
Xie Xuejing, Liu Dawen, Xiang Yunchuan, et al. Geochemical blocks—Development of concept and methodology [J]. Geology in China, 2002,29(3):225~233(in Chinese with English abstract).
- [7] 谢学锦.全球地球化学填图[J].中国地质,2003,30(1):1~9.
Xie Xuejin. Global geochemical mapping [J]. Geology in China, 2003,30(1):1~9(in Chinese with English abstract).
- [8] 张德存,张宏泰.江汉平原多目标地球化学调查主要成果与意义[J].中国地质,2001,28(12):1~4,21.
Zhang Decun, Zhang Hongtai. Main results and significance of multi-purpose geochemical survey in the Jianghan plain[J]. Geology in China, 2001,28(12).1~4,21 (in Chinese with English abstract).
- [9] 冯济舟.化探异常“动态”筛选法[J].物探与化探,1998,22(7):153~157.
Feng Jizhou. A method of selecting geochemical exploration anomaly in dynamic state [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998,22(7):153~157(in Chinese with English abstract).
- [10] 何真毅.川北高原浅丘陵区地球化学异常的筛选与查证[J].物探与化探,2000,24(2):138~145.
He Zhenyi. Selection and investigation of geochemical anomaly in low hill district of North Sichuan plateau, China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000,24 (2):138~145 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王瑞廷,毛景文,任小华,等.区域地球化学异常评价的现状及其存在的问题[J].中国地质,2005,32(1):168~175.
Wang Ruiting, Mao Jingwen, Ren Xiaohua, et al. Facts and problems of the evaluation of regional geochemical anomalies[J]. Geology in China, 2005, 32 (1): 168~175 (in Chinese with English abstract).
- [12] 谢宏琴,贾国东,彭平安,等.艾比湖二千年来环境演变的地球化学记录[J].干旱区地理,2005,28(2):205~209.
Xie Hongqin, Jia Guodong, Peng Pingan, et al. Paleolimnology of Aibi Lake during the last 2500 years inferred from geochemical Records[J]. Arid Land Geography, 2005,28(2):205~209(In Chinese with English abstract).
- [13] 董连慧,刘国忠,张良臣.新疆及其周边地区地壳演化与成矿作用[A].见:王伟博主编.第五届天山地质矿产资源学术讨论会论文集[C].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2005.3~5.
Dong Lianhui, Liu Guozhong, Zhang Liangchen. Crustal evolution and mineralizing process in Xinajing and the adjacent area[A]. In: Wang weibo (ed.). The 5th Tianshan Geology & Mineral Resource Seminar Disquisition Collection[C]. Xinjiang: Xinjiang Science & Technology Publishing House, 2005.3~5 (in Chinese with English abstract).

English abstract).

[14] 中国科学院地球化学研究所.高等地球化学[M].北京:科学出版社,2000.38~40.

Geochemical Institute, CAS.Higher Geochemistry [M].Beijing:Science Press, 2000.38~40(in Chinese with English abstract).

[15] 陈险峰,叶玮.阿尔泰山古风化壳的地球化学特征[J].干旱区地理.1995, 18(2):42~51.

Chen Xianfeng,Ye Wei. The geochemical characteristics of the paleo-weathering crusts in the Altay mountains [J].Arid land geography, 1995, 18(2):42~51(in Chinese with English abstract).

[16] 潘成泽,李绍强.新疆昭苏盆地土壤地球化学环境初探[J].新疆地

质,2001,19(3):214~217.

Pan Chengze, Li Shaoqiang. A Preliminary study on Edaphic geochemical environment in the Zhaosu Basin, Xinjiang [J].Xinjiang Geology,2001, 19(3):214~217(in Chinese with English abstract).

[17] 杨向荣,赵新生,吴兆宁,等.巴里坤山地基岩对盆地松散沉积化学成分的控制[J].干旱区研究,2004,21(3):304~307.

Yang Xiangrong, Zhao Xinsheng,Wu Zhaoning, et al. Effects of bedrocks in the Barkol Mountain on the chemical compositions of the loose sediments in the Barkol Basin,Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2004,21(3):304~307(in Chinese with English abstract).

Prediction model of large ore deposit clusters based on an exploration-geochemical data analysis——A discussion

YANG Xiang-rong, ZHANG Xiao-fan, SUN Bao-sheng

(1. Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou 550002, Guiyang, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Ürümqi 830049, Xinjiang, China;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The element temporal-spatial distribution characteristics of systems are studied in the exploration-geochemical context by using element abundances, variation coefficients, and degrees of element disorder. On the basis of that study, the recognition and prediction of large ore deposit clusters are discussed and a prediction model is constructed. The authors suggest that attention should be paid to surficial geochemical processes when the element abundances, variation coefficients, and degrees of element disorder are used to evaluate a large ore deposit cluster and point out that this model is suitable to the important condition that there exists an internal relation between an element cluster and the geologic body in which the element cluster is hosted". It is concluded that the Carboniferous pyroclastic rocks should be the target for gold search in Xinjiang.

Key words: large ore deposit cluster; prediction model; variation coefficient; degree of disorder

About the first author: YANG Xiang-rong, male, born in 1972, Ph.D and associate professor, specializes in exploration geochemistry and mineral exploration; E-mail: paul_yxr@sina.com.