

文章编号: 1004—5589 (2007) 02—0190—05

# 黑龙江省乌拉嘎金矿外围土壤地球化学找矿信息评价

崔敏, 刘志宏, 吴国学

吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

**摘要:** 地质、土壤地球化学找矿信息、高精度磁测和 能谱信息的分析表明, 乌拉嘎金矿外围土壤地球化学找矿信息特征为 Au、As、Sb、Cu、Ag、Mo 元素的组合异常。采用综合地质累积指数对研究区内的元素组合异常进行评价, 结果表明该方法可以有效地区分异常下限、划分异常等级。按照综合地质累积指数大于零的原则, 圈定了研究区内 A、B、C 三处找矿靶区。

**关键词:** 土壤地球化学; 找矿信息评价; 地质累积指数; 乌拉嘎金矿

**中图分类号:** P632

**文献标识码:** A

## Evaluation of soil-geochemical prospecting information around Wulaga gold deposit of Heilongjiang

CUI Min, LIU Zhi-hong, WU Guo-xue

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

**Abstract:** On the basis of analyzing geology, soil-geochemical prospecting information, high-accuracy magnetic information and ground gamma-ray, the characters of the soil-geochemical prospecting show a composite anomaly on Au, As, Sb, Cu, Ag and Mo. The authors applied the IGEO method to evaluate the prospecting information. The results show that the method is efficient to distinguish anomaly threshold and define the rank of anomaly. According to the principle that the value of IGEO is more than zero, three prospecting target areas A, B and C are delineated in the studied area.

**Key words:** soil-geochemistry; evaluation of prospecting information; IGEO; Wulaga gold deposit

乌拉嘎金矿位于黑龙江省嘉荫县境内。前人在矿床成因、矿化特征等方面进行了详细研究<sup>[1-5]</sup>。随着矿山的不开采, 储量负增长严重, 外围隐伏矿体的定位预测是目前矿区工作的重点。在区内植被覆盖严重的情况下, 依据土壤地球化学找矿信息的评价结果进行异常区圈定, 成为一种既经济又快速的地球化学找矿方法<sup>[6,7]</sup>。

### 1 区域成矿地质背景

乌拉嘎金矿床位于天山—兴蒙造山带东端, 吉黑褶皱系的次级单元太平沟隆起内 (图 1)。区内

变质基底由太古代麻山群和元古代黑龙江群组成; 北东向的乌拉嘎断裂及其派生的次级断裂控制了中生代岩体的侵入, 制约了金矿化带的分布; 次火山岩相侵入体斜长花岗斑岩不仅提供了成矿热液<sup>[8]</sup>, 也提供了大部分成矿物质。区内与成矿关系密切的围岩蚀变主要是硅化、黄铁矿化和碳酸盐化等<sup>[2,9]</sup>。

### 2 土壤地球化学信息特征与评价

#### 2.1 土壤地球化学信息特征

元素的迁移富集可形成区域或局部的异常, 而

收稿日期: 2006-09-06; 改回日期: 2007-03-22

基金项目: 国家油气专项“大庆探区外围中、新生代盆地群演化与油气远景”(XQ-2004-07)

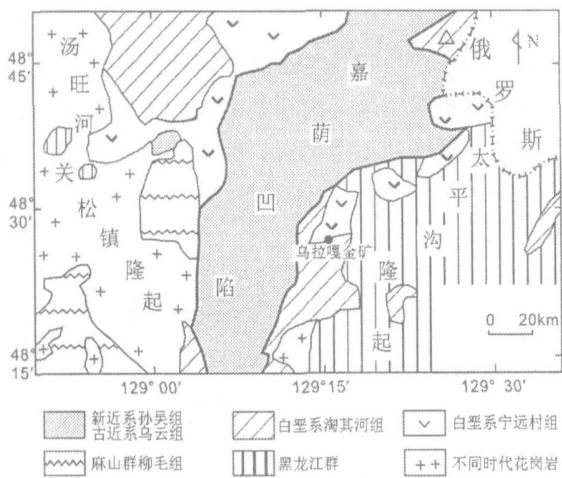


图 1 嘉荫—萝北地区地质略图

Fig. 1 Schematic geological map of Jiayin-Laoobei

异常特征及规模则对找矿信息的评价起到了决定性的作用。分析元素产生的异常特征，对研究成矿规律和指导找矿具有重要意义<sup>[3-5,7]</sup>。研究区位于黑龙江省乌拉嘎金矿的东北部，植被覆盖严重，基岩出露少，原生晕较难取。而土壤中元素的富集程

度，可以反映原生晕的分布特征，是重要的找矿信息。

区内共布置测线 16 条，土壤地球化学采样点 539 个，对样品进行了 As、Sb、Bi、Hg、Pb、Cu、Zn、Ag、W、Mo、Au 等 11 个元素的测试分析，参与统计计算的样品为 539 个。经分析，主成矿元素 Au 和伴生元素 As、Sb、Cu、Ag 的异常明显，其形态总体呈东西向、北东向，与区内控矿构造吻合<sup>[2,4]</sup>。在相关性上，主成矿元素 Au 与伴生元素 As、Sb、Cu、Ag 在含量上呈正相关关系，其中与 As 的相关性系数最大为 0.586；与 Pb、Mo、Bi、Hg、Zn、W 在含量上呈负相关关系，其中与 Mo 的相关性系数最小为 -0.204（表 1），这种相关性在 R 型聚类分析中表现得更为明显（图 2）。按相关系数 > 0.4，将元素共生组合关系分为三个组合，Au 与 As 和 Sb 最先聚类。区内次生晕组合异常为 Au、As、Sb、Cu、Ag 正异常，Mo 负异常，与团结沟区内有意义的元素组合异常相似<sup>[1-3,10]</sup>，按照相似类比的原则，可以采用以上元素的次生晕组合圈定远景区，进行隐伏矿体定位预测。

表 1 土壤地球化学数据相关系数矩阵

Table 1 Matrix of correlation coefficient of soil-geochemistry data

As	Sb	Bi	Hg	Pb	Cu	Zn	Ag	W	Mo	Au	
As	1.000										
Sb	0.465	1.000									
Bi	0.182	0.154	1.000								
Hg	0.079	0.071	0.156	1.000							
Pb	-0.038	0.137	0.236	-0.156	1.000						
Cu	0.343	0.297	0.389	0.193	0.333	1.000					
Zn	0.050	0.061	0.257	0.107	0.203	0.441	1.000				
Ag	0.187	0.101	0.273	0.326	0.264	0.532	0.485	1.000			
W	-0.030	0.236	0.034	-0.045	0.112	0.018	-0.100	-0.119	1.000		
Mo	-0.026	0.045	0.237	0.152	-0.010	0.215	0.206	0.142	0.046	1.000	
Au	0.586	0.165	-0.079	-0.014	-0.202	0.046	-0.090	0.037	-0.026	-0.204	1.000

2.2 土壤地球化学信息评价

在本区应用传统的异常评价方法，异常下限、异常等级不易确定，应用多元回归进行趋势面分析的效果较差，不能起到圈定异常的作用。笔者参考了环境污染评价中的地质累积指数<sup>[11-13]</sup>（index of geoaccumulation， $I_{geoM}$ ），对区内的次生晕数进行处理与评价。

$$I_{geoM} = \log_2 \left[ \frac{C_{mn}}{1.5 B_m} \right] \tag{1}$$

式中， $C_{mn}$ 为元素  $m$  第  $n$  个样品的土壤地球化学原始数据值； $B_m$  为所有样品中元素  $m$  的土壤地球化学原始数据值经叠代剔除特高异常后的背景上限，即均值加二倍均方差； $I_{geoM}$  为元素  $m$  的地质累积指数。

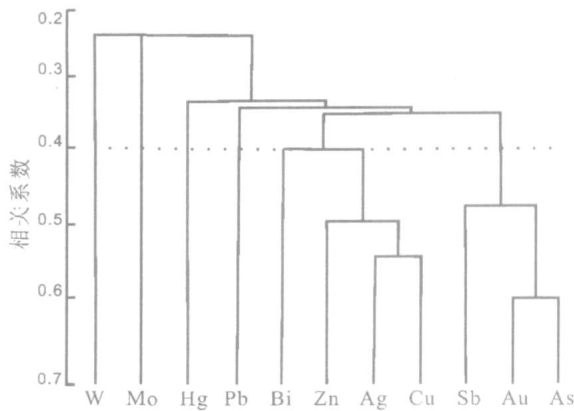


图2 R型聚类分析土壤地球化学元素谱系图

Fig. 2 Pedigree chart of R-type clustering analysis of soil geochemical elements

考虑到 Au、As、Sb、Cu、Ag、Mo 元素异常的综合影响及矿床统计预测中特征分析的方法, 在进行计算时采用“综合地质累积指数”对异常区内的土壤地球化学数据进行处理和评价。

综合地质累积指数  $IGEO = I_{geo_{Au}} + I_{geo_{As}} + I_{geo_{Sb}}$

$$+ I_{geo_{Cu}} + I_{geo_{Ag}} + I_{geo_{Mo}} \quad (2)$$

为消除 6 个元素相关系数不同所造成的综合地质累积指数评价时产生“歧视”<sup>[3,5]</sup>, 先将各个元素的相关系数标准化, 得到标准化相关系数  $I_m$  (式 3)。将 539 个测试分析样品的 6 种元素的含量分别与标准化系数  $I_m$  相乘 (式 4)。

$$I_m = \frac{g_m}{\sum_{i=1}^6 g_i} \quad (3)$$

$$C_{mn} = X_{mn} \times I_m \quad (4)$$

其中:  $g_m$  为元素  $m$  的原始相关系数;  $\sum_{i=1}^6 g_i$  为 6 个次生晕组合异常元素的原始相关系数之和;  $n$  为测试分析样品的编号;  $X_{mn}$  为元素  $m$  第  $n$  个测试分析样品的含量;  $C_{mn}$  同式 (1)。

计算中采用的元素为 Au、As、Sb、Cu、Ag、Mo, 其中 Mo 的相关系数为负值。首先应用式 3、式 4 计算出标准化后的土壤地球化学原始数据值, 并代入式 1 计算, 得到以上 6 个元素的地质累积指数。之后通过综合地质累积指数计算公式 (式 2), 便可以计算出各个采样点的综合地质累积指数。当  $IGEO$  值  $> 0$  时, 确定为异常<sup>[11-13]</sup>。综合地质累积

指数等值线图 (图 3) 显示, 预测区内异常区呈带状东西向展布; 中部异常较明显, 起到了区分异常与背景的作用; 对异常进行了定量的解释, 达到了对异常进行等级划分的目的。而异常带的分布在高精度磁测数据和 能谱解译构造蚀变带上都有相应的特征<sup>[10,15]</sup>, 进一步佐证该评价方法的可行性。

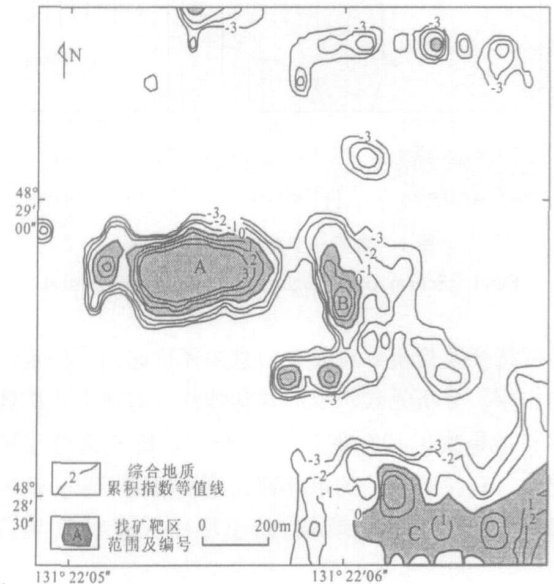


图3 乌拉嘎金矿外围某区综合地质累积指数等值线图

Fig. 3 Isoclines of aggregative IGEO around Wulaga Gold Deposit

### 3 应用效果分析

由综合地质累积指数等值线图可知, 异常区的排列方向与区内地质填图所得的东西向构造及其派生的北东向构造相吻合。北北东向 能谱解译断层通过处, 尤其是在高精度磁测低缓局部正异常带上, 成矿地质条件优越。土壤地球化学 Au、As、Sb、Cu、Ag 等元素含量高的地区, 往往围岩蚀变发育、各种蚀变相互叠加地区, 显示强烈矿化特征, 是矿体赋存的重要部位<sup>[12]</sup>。按照土壤地球化学找矿信息的综合地质累积指数、异常浓集强度、异常面积、元素组合特征、异常的赋存地质环境、高精度磁测数据、能谱数据以及已有成果的吻合程度, 在工作范围内圈定了找矿靶区三处。

A 区东西向展布, 发育有金异常密集区, 异常样品 15 个, 是高精度磁测低缓局部正异常区, 位于黑龙江下亚群变质岩系与中生代下白垩统宁远村组的交汇处且存在斜长花岗斑岩侵入。同时, 在该

区内的槽探中发现矿化点四处, 个别样品已达工业品位, 有较好找矿前景, 为下一步工作重点。B 区位于 A 区异常的东南侧, 有 能谱解译断裂通过, 斜长花岗斑岩侵入, 为一个较好的成矿区域。C 区发育在高精度负磁异常区周围, 附近具有花岗闪长斑岩发育, 同时与 Au 相关系数最大的 As 异常在这个区域有大面积出现, 但是异常等级较低, 可作为一个次级靶区。

#### 4 结论

(1) 黑龙江省乌拉嘎金矿外围的土壤地球化学数据特征具有与团结沟矿区相似的特征, 即次生晕组合主要为 Au、As、Sb、Cu、Ag、Mo, 其中前 3 个元素组合异常明显。

(2) 在矿区外围植被覆盖严重的情况下, 充分利用土壤地球化学数据的综合地质累积指数评价找矿信息, 可以更有效地区分异常下限, 划分异常等级; 按照综合地质累积指数大于零的原则, 进行靶区圈定, 共确定 A、B 和 C 三处异常, 显示了较好的找矿前景。

笔者在本区将用于评价环境污染的参数用于隐伏矿体的预测, 取得了一定的找矿成果, 丰富了土壤地球化学找矿信息评价方法。但应用该评价方法时, 应考虑原生晕不易取得, 大比例尺找矿预测等限制条件, 同时要有各种地球物理数据进行辅助, 才能更好地发挥这种方法的优点。

#### 参考文献:

- [1] 靳是琴, 李宪洲, 刘福来, 等. 乌拉嘎金矿的找矿矿物学 [J]. 地质与勘探, 1994 (4): 37-42.  
JIN Shi-qin, LI Xian-zhou, LIU Fu-lai, et al. Prospecting mineralogy of Wulaga Au deposit [J]. *Geology and Prospecting*, 1994 (4): 37-42.
- [2] 孙凤兴, 吴国学, 杨鹏. 团结沟金矿床地质模型 [J]. 吉林地质, 1996, 15 (2): 52-60.  
SUN Feng-xing, WU Guo-xue, YANG Peng. Model from Tuanjieyou Gold Deposit Heilongjiang Province, China [J]. *Jilin Geology*, 1996, 15 (2): 52-60.
- [3] 孟宪伟. 团结沟金矿床的地球化学找矿模型 [J]. 地质与勘探, 1994 (3): 63-66.  
MENG Xian-wei. Geochemical prospecting model of Tuanjieyou Gold Deposit [J]. *Geology and Prospecting*, 1994 (3): 63-66.
- [4] 刘鹏鹞, 吴国学. 黑龙江省团结沟地区隐伏金矿体预测准则 [J]. 黄金, 1998, 19 (5): 3-6.  
LIU Peng-ye, WU Guo-xue. The prognostic norms of blind gold orebody in Tuanjieyou area, Heilongjiang Province [J]. *Gold*, 1998, 19 (5): 3-6.
- [5] 魏仪方, 刘春华. 团结沟金矿床地质地球化学模型 [J]. 黄金, 1996, 17 (2): 3-11.  
WEI Yi-fang, LIU Chun-hua. The geological and geochemical model of Tuanjieyou Gold Deposit [J]. *Gold*, 1996, 17 (2): 3-11.
- [6] 陈建平, 张寿廷, 汤军, 等. 非传统矿产资源定量预测的理论思考 [J]. 地球物理学进展, 2002, 14 (2): 342-348.  
CHEN Jian-ping, ZHANG Shou-ting, TANG Jun, et al. Theoretical consideration to quantitative forecasting of nontraditional mineral resources [J]. *Progress in Geophysics*, 2002, 14 (2): 342-348.
- [7] 赵鹏大. 矿床统计预测 [M]. 第二版. 北京: 地质出版社, 1994: 125-143, 198-208.  
ZHAO Peng-da. Statistical prognosticating of ore deposit [M]. Second edition. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 125-143, 198-208.
- [8] 王永祥, 吴国学, 白士俊, 等. 乌拉嘎金矿床地质地球化学特征研究 [J]. 世界地质, 2005, 24 (4): 338-443.  
WANG Yong-xiang, WU Guo-xue, BAI Shi-jun, et al. Characteristics of geology and geochemistry in Wulaga Gold Deposit [J]. *Global Geology*, 2005, 24 (4): 338-443.
- [9] 李碧乐, 王健. 黑龙江省团结沟金矿区花岗斑岩体与金矿化的关系 [J]. 地质与勘探, 1998, 19 (3): 3-6.  
LI Bi-le, WANG Jian. The relation between gold mineralization and granitoporphyry mass of Tuanjieyou Gold Field, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Prospecting*, 1998, 19 (3): 3-6.
- [10] 吴国学, 李守义, 吕志刚, 等. 团结沟金矿外围十三公里区隐伏矿体预测 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36 (5): 781-786.  
WU Guo-xue, LI Shou-yi, LU Zhi-gang, et al. The prognosis of the concealed orebodies in the Shisangongli area nearby the Tuanjieyou Gold Deposit [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2006, 36 (5): 781-786.

(下转 198 页)

- [5] 徐怀先, 陈丽华, 万玉金, 等. 石油地质实验测试技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 49-125.  
XU Huai-xian, CHEN Li-hua, WAN Yu-jin, *et al.* The experimental measuring and testing technique and application on petroleum geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 49-125.
- [6] 徐伟民. 石油地球化学在油气勘探中的应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 65-90.  
XU Wei-min. Application of petroleum geochemistry in oil exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 65-90.
- [7] 任拥军, 纪友亮, 李瑞雪. 南祁连盆地石炭系可能烃源岩的甾萜烷地球化学特征及意义 [J]. 石油地质实验, 2000, **22** (4): 341-345.  
REN Yong-jun, JI You-liang, LI Rui-xue. Geochemical characteristics and significance of steranes and terpanes in the Carboniferous potential source rocks of the South Qilian Basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2000, **22** (4): 341-345.
- [8] 王传刚, 王铁冠, 陈建平, 等. 对准格尔盆地东部彩南油田侏罗系油藏原油族(组)群类型的认识 [J]. 石油实验地质, 2003, **25** (2): 183-189.  
WANG Chuang-gang, WANG Tie-guan, CHEN Jian-ping, *et al.* Recognition of crude oil types in the Jurassic reservoirs of Cainan Oilfield, the east Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2003, **25** (2): 183-189.
- [9] Bahtiyar A I. Geochemical evaluation of the Besikli oil field Kahta Adiyama Turkey [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1999, **16**: 151-161.
- [10] 王玉华, 侯启军, 孙德君, 等. 柴达木盆地北缘地区中生代地层油气生成与资源评价 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 257-267.  
WANG Yu-hua, HOU Qi-jun, SUN De-jun, *et al.* Oil generating and resource evaluation of Mesozoic and Cenozoic stratum in the north of Qaidam Basin [M]. Beijing: Science Press, 2004: 257-267.

---

(上接 193 页)

- [11] 尚英男, 倪师军, 张成江, 等. 应用地质累积指数评价成都市河流表层沉积物重金属污染 [J]. 广东微量元素科学, 2005, **12** (10): 12-16.  
SHANG Ying-nan, NI Shi-jun, ZHANG Cheng-jiang, *et al.* Application of index of geo-accumulation for evaluation of pollution of heavy metals in surface sediments from rivers in Chengdu [J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 2005, **12** (10): 12-16.
- [12] 滕彦国, 虞先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价沉积物中重金属污染: 选择地球化学背景的影响 [J]. 环境科学与技术, 2002, **25** (2): 7-9.  
TENG Yan-guo, TUO Xian-guo, NI Shi-jun, *et al.* Applying geo-accumulation index to assess heavy metal pollution in sediment: influence of different geochemical background [J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, **25** (2): 7-9.
- [13] Rantitsch G. Geochemical exploration in a mountainous area by statistical modeling of polypopulation data distributions [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2004, **82** (1-3): 79-95.
- [14] 王可勇, 任云生, 程新民, 等. 黑龙江团结沟金矿床流体包裹体研究及矿床成因 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, **28** (2): 171-178.  
WANG Ke-yong, REN Yun-sheng, CHENG Xin-min. Study on fluid inclusions of Tuanjieyou Gold Deposit in Heilongjiang Province and implications for its genesis [J]. *Geotectonica and Metallogenia*, 2004, **28** (2): 171-178.
- [15] 曾庆栋, 沈远超, 张启锐, 等. 伽玛能谱测量与隐伏金矿体预测 [J]. 黄金, 1999, **20** (1): 4-7.  
ZENG Qing-dong, SHEN Yuan-chao, ZHANG Qi-rui, *et al.* Gamma-ray spectrometry and prognostication of concealed gold ore body [J]. *Gold*, 1999, **20** (1): 4-7.