

# 西藏邦卓玛地区土壤地球化学特征及找矿预测

袁 和<sup>1</sup>, 罗先熔<sup>1</sup>, 李武毅<sup>2</sup>, 陈 武<sup>2</sup>

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西桂林 541004; 2. 武警黄金第十一支队, 西藏拉萨 850000)

**[摘要]** 本文通过在西藏邦卓玛地区开展的1:10000土壤地球化学测量工作, 运用元素的变化系数、元素富集离散特征对邦卓玛地区土壤地球化学测量的12种微量元素进行地球化学统计分析, 论述了12种微量元素的成矿潜力, 得出Au、Ag、W、Pb、Sb 5种元素具有较大的成矿潜力。并通过相关分析、因子分析确立了测区内元素组合特征, 共划分了三组主成矿元素组合(即Au-Ag-Cu-Bi-W; Pb-Sn; Sb), 运用衬值异常法在区内圈定组合异常, 结果显示, 组合异常明显, 异常套合较好, 大体呈NW向串珠状展布。根据组合衬值异常叠加, 在研究区内圈定了4个重点靶区, 为下一步在该区内寻找Au、Ag、Sb、W、Pb等多金属矿提供了理论依据。

**[关键词]** 元素地球化学特征 衬值异常法 找矿前景 邦卓玛地区 西藏

**[中图分类号]** P632+.1; P612 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2017)03-10

Yuan He, Luo Xian-rong, Li Wu-yi, Chen Wu. Geochemical characteristics of soil and prospecting prediction of the Bangzhuoma region, Tibet [J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53 (3) : 0472-0481.

近年来,随着矿产勘查工作不断深入,对矿产勘查找矿所运用的方法的研究也较多,其中化探方法主要有地球电化学(谭克仁,2000;罗先熔等,2002;陈希泉等,2009;文美兰等,2010)、土壤地球化学、构造地球化学(赖健清等,2007;钱建平等,2011;韩润生,2013)、土壤热释汞及气汞测量(魏俊浩等,1994)等。土壤地球化学测量是传统的勘查手段(刘汉彬译,1999;张国义等,2003),也是寻找隐伏矿体的传统方法(孙凯等,2011;汪校锋等,2011)。藏南邦卓玛地区基岩裸露少,因此运用土壤地球化学方法进行找矿研究,以便了解成矿元素在测区内的分布情况,并总结元素的分散、富集规律。通过运用衬值异常法在测区内圈定找矿靶区,为今后找矿工作提供线索和依据。

## 1 区域地质特征

测区位于西藏山南地区,其大地构造位置处于青藏高原南部特提斯喜马拉雅中东部的次级构造单元内。区域构造较为发育(见图1),主要包括NWW

向拉孜-邛多江断裂、近EW向绒布生长断层、洛扎断裂及近SN向勒金康桑断裂构造、洞嘎伸展走滑断裂。其中NWW向的拉孜-邛多江断裂属于藏南岛弧盆系的一条深大断裂,同时也是大致平行于雅江缝合带的另一条缝合带(郑有业等,2007)。藏南地区以此缝合带为界在晚三叠世产生了不同类型的古大陆边缘,即康马-隆子被动大陆边缘和仲巴-曲松活动大陆边缘。区域内近SN向张性断裂分布广泛,并切割近EW向及NWW断裂构造,同时,为岩浆和含矿流体上涌提供了有利的通道。区域内由NWW向、SN向和EW向3组断裂构成了羊卓雍错-哲古错-拿日雍错深海断陷盆地。

区域内发育一系列的变质核杂岩,如邛多江变质核杂岩、然巴变质核杂岩,其中邛多江变质核杂岩由倾日、仲格耐、达拉3个核杂岩体组成,核杂岩是由伸展构造、下盘片岩、片麻岩及上盘地层基底岩或表壳岩层组成的岩石组合而构成,变质核杂岩的核部为浅色花岗岩(张刚阳,2012)。前人(Harrison, 1995; Murphy *et al.*, 1999)认为花岗岩的侵入与藏

[收稿日期] 2016-11-06; [修改日期] 2017-04-11; [责任编辑] 吴磊。

[基金项目] 中国地质调查局项目(编号1212011121236)、武警黄金指挥部项目(编号DZKY2016-186)和国家重点研发计划项目(编号2016YF060063-3)联合资助。

[第一作者] 袁和(1985年-),男,硕士研究生,现主要从事矿床学及地球化学研究工作。E-mail: yuanhe1985@126.com。

[通讯作者] 罗先熔(1953年-),男,教授,博士生导师,主要从事矿床学和地球化学研究工作。E-mail: lxr811@glut.edu.cn。

南拆离系的伸展减压而引起中上地壳部分熔融有关。

测区内主要出露中生界,地层较为发育,岩石类型为泥质砂岩、砂页岩、石英砂岩、碳质板岩,该地层具有被动陆缘沉积特征,构成了金、金-锑矿床(点)的容矿围岩(聂凤军等,2005)。区内构造形迹复杂(见图 1),主要出露北西向断裂,即辛那断裂、张巴砸断裂和扎布旗断裂,其中辛那断裂穿过全区,为逆冲断层,宽 10~20m,走向为北西向,倾向北东,倾角略陡,41°~64°,断层分枝现象明显。张巴砸断裂局部出露在测区北东部,为逆冲断层,宽 8~15m,走向为北西向,倾向北东,倾角较缓,30°~44°。扎布旗断裂分布于测区西南部,为逆冲断层,宽 5~12m,走向为北西向,倾向北东,倾角较陡,65°~75°,局部存在分枝现象。区内岩浆岩较发育,其中出露的基性岩有辉绿(玢)岩、煌斑岩,以脉状、透镜状顺层侵入于早白垩世地层中。

近些年,在藏南地区陆续发现了多处金属矿床,包括 Au-As-Sb, W-Sb-Au-As 等成矿系列(郑有业等, 2004),其中主要以 Au、Sb 矿为主。前人对藏南地区典型金属矿床的成因类型提出了一些观点:如沙拉岗锑矿床的成因以早期喷流沉积成矿为主,晚期岩浆侵位叠加形成(李金高等,2002),查拉普金矿成因类型为喷流-改造成矿(郑有业等, 2007)等。区域内矿床的成矿作用主要发生于后碰撞阶段(杨竹森等,2006; Yang et al., 2009),石英 ESR 法显示矿床主要集中于 14~24Ma(孟祥金等, 2008;杜泽忠等,2011),并且分布于特提斯喜马拉雅构造带上,即由藏南拆离系和雅鲁藏布江缝合带所夹持的呈东西向展布的狭长带(侯增谦等, 2003)。由于测区与查拉普金矿床的成矿地质背景及成矿条件较为相似,因此本次工作主要寻找以喷流-改造型为主的金矿。

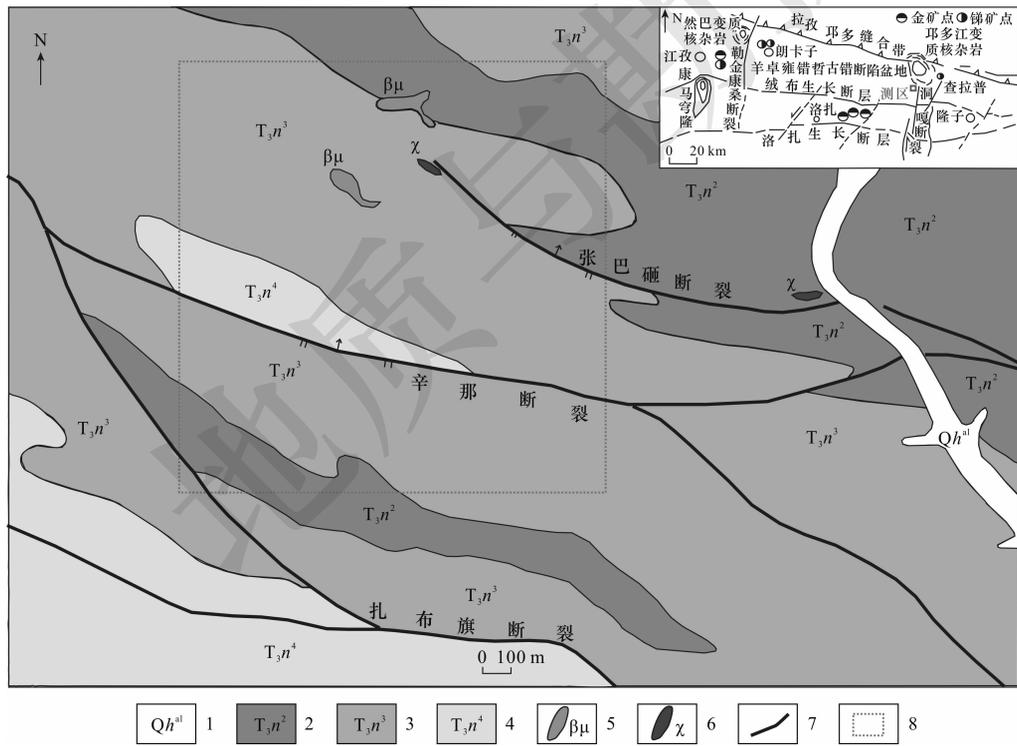


图 1 邦卓玛测区地质图(据郑有业等,2007 修改)

Fig. 1 Geological map of the Bangzhuoma survey area in Tibet(modified from Zheng et al., 2007)

- 1 - 第四系; 2 - 三叠系涅如组二段; 3 - 三叠系涅如组三段; 4 - 三叠系涅如组四段; 5 - 辉绿玢岩; 6 - 煌斑岩; 7 - 断层; 8 - 测区
- 1 - Quaternary system; 2 - second member of Nieru Formation in Triassic system; 3 - third member of Nieru Formation in Triassic system; 4 - fourth member of Nieru Formation in Triassic system; 5 - allgovite; 6 - lamprophyre; 7 - fault; 8 - survey area

## 2 土壤地球化学样品采集和测试方法

野外采样网度为 200m × 20m,测线方向为正北

向,利用便携式 GPS 定位仪,并辅以罗盘定点,对采样点及周围的地形地质特征进行详细记录。样品均采于无污染的 B 层或 BC 层,深度一般为 10~

20cm。样品在处理过程中均按照干燥-碎样-过筛(40目)-拌匀-称重( $\geq 300\text{g}$ )-装袋-装箱的程序,并且保证样品无相互污染,最终送交化验室进行测试分析。

野外共采集样品 4484 件,化验分析由武警黄金十一支队实验室测试完成,该实验室持有湖南省计量认证合格证书,符合中国地调局关于大调查项目样品测试单位资质等级要求。分析元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Sb、Sn、Zn、Ba、Bi、Co、Mo、W 12 种元素。分析方法:As、Sb 用原子荧光分析法测定,Au

用化学光谱(微金分析)法,其余元素用等离子体质谱法(ICP-MS)分析。

### 3 元素地球化学特征

#### 3.1 元素的变化系数特征

在数据处理过程中为使 12 元素的原始数据均服从正态分布,首先循环剔除原始数据中  $X + 3S$  和  $X - 3S$  的极高、极低含量,最后求得剔除后的各元素算术平均值、标准离差、变化系数等参数(表 1)。

表 1 西藏邦卓玛地区土壤地球化学元素含量参数统计特征  
Table 1 Statistics of geochemical element content in soil of the Bangzhuoma region, Tibet

原始数据	Au	Ag	Cu	Sn	W	Bi	Ba	Co	Mo	Pb	Zn	Sb
算术平均值	9.74	0.18	31.29	4.67	4.98	0.76	503.28	15.76	1.77	54.17	104.27	4.70
标准差	28.16	0.277	12.03	1.42	8.57	0.33	78.12	5.64	0.99	109.72	44.42	23.15
变化系数	2.89	1.54	0.38	0.30	1.72	0.43	0.16	0.36	0.56	2.03	0.43	4.93
藏南壳体丰度	1.69	0.052	44	3.08	0.92	0.17	227	68	0.87	6.5	66	0.16
数据处理后	Au	Ag	Cu	Sn	W	Bi	Ba	Co	Mo	Pb	Zn	Sb
算术平均值	3.21	0.11	29.68	4.53	3.20	0.71	495.66	15.41	1.49	37.48	107.18	2.00
标准差	1.32	0.03	7.70	0.85	0.79	0.14	62.84	1.85	0.47	6.55	21.85	0.468
变化系数	0.41	0.27	0.25	0.18	0.24	0.19	0.12	0.12	0.32	0.17	0.20	0.23

注:数据来源于武警黄金第十一支队。1. Au 单位为  $10^{-9}$ ,其余元素质量分数单位为  $10^{-6}$ ;2. 变化系数为统计元素的标准差与算术平均值之比;3. 藏南壳体丰度据(黎彤等,1999)。

原始数据(未经最高值、最低值剔除)主要反映元素在成岩、成矿过程中引起含量区域变异性的总和(景宝盛等,2014)。由表 1 可见 Au、Ag、Pb、Zn、Sb、W、Mo、Sn、Bi、Ba 10 种元素的算术平均值均高于藏南壳体丰度值,其中 Au、Ag、W、Pb、Sb 变化系数均大于 1,这 5 种元素在测区内的分布具有不均匀性,表明元素在次生富集成晕过程易于形成地球化学异常。Cu、Co、Mo、Zn 等元素的变化系数均小于 1,表明这些元素在测区内分布较均匀,在局部地段元素富集的趋势小,不易于形成地球化学异常。

#### 3.2 元素富集离散特征

根据 1:10000 土壤地球化学测量中的原始数据变化系数( $C_{v1}$ )和背景数据的变化系数( $C_{v2}$ )来反映两组数据集的离散程度,而  $C_{v1}/C_{v2}$  的比值则反映了背景拟合处理时对特高值、特低值的削平程度(刘珏玉等,1990)。运用  $C_{v1}$  和  $C_{v1}/C_{v2}$  制作变化系数解释图(见图 2)对元素的成矿性进行评价。

从变化系数解释图中可以看出:Sb 在研究区内高强数据多,变化幅度很大,成矿潜力大;Au、Pb、W、Ag 在研究区内高强数较多,分异程度较强,成矿潜力较大,说明上述 5 种元素在土壤中的次生富集

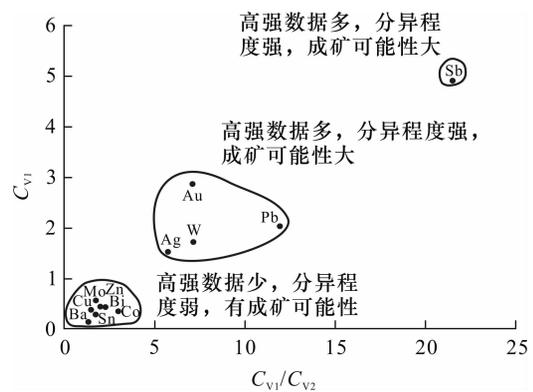


图 2  $C_{v1}$  和  $C_{v1}/C_{v2}$  变化系数解释图

Fig. 2 Interpretation diagram of  $C_{v1}$  and  $C_{v1}/C_{v2}$  variation coefficients

能力和富集强度较高,可能与测区内辉绿玢岩以及位于测区外围北东部的花岗岩侵入有关,并在花岗岩体周边的查拉普地区发现了 8 条金矿带(郑有业等,2007);其余 7 种元素高强数据较少,分异程度弱,成矿潜力较小。野外考察对测区内各地层及岩体进行岩石地球化学采取分析,结果显示,成矿潜力较大的 Au 元素在涅如组三段中平均值为  $2.41 \times$

$10^{-9}$ ,为丰度值的 1.43 倍;Ag 在涅如组三段中平均值为  $0.117 \times 10^{-6}$ ,为丰度值的 2.25 倍;W 元素在涅如组三段中平均值为  $1.77 \times 10^{-6}$ ,为丰度值的 1.92 倍;Pb 元素在涅如组三段中平均值为  $23.88 \times 10^{-6}$ ,为丰度值的 3.67 倍;Sb 的含量为  $0.72 \times 10^{-6} \sim 2.93 \times 10^{-6}$ ,是陆壳平均值( $0.2 \times 10^{-6}$ ) (Taylor *et al.*, 1985) 的 4~14 倍。

3.3 相关分析

运用 SPSS 软件对土壤地球化学原始数据进行相

关性分析(表 2),研究区内成矿潜力较大的 Au、Ag、W3 种元素的相关关系较大,且相关系数大于 0.3;成矿潜力较大的 Sb 与 Au、Ag、Cu、W、Mo、Co、Bi 均呈正相关关系,但相关系数较小;成矿潜力较大的 Pb 与 Ag、Bi、Sn 呈较大的正相关关系,相关系数大于 0.3,与其他元素的相关性较小;Cu 与 Au、Ag 相关性较好,相关系数大于 0.3;Bi 与 Au、Ag、Pb 相关性较好,相关系数大于 0.3;Sn 与 Pb 的相关系数大于 0.3。因此,Cu、Bi、Sn 这 3 种元素可作为找矿指示元素。

表 2 土壤地球化学数据相关系数矩阵  
Table 2 Correlation coefficient matrix of soil geochemical data

元素	Au	Pb	Sb	Sn	Zn	Ag	Ba	Bi	Co	Cu	Mo	W
Au	1											
Pb	0.275	1										
Sb	0.057	0.044	1									
Sn	0.007	0.327	-0.003	1								
Zn	-0.093	0.178	-0.008	0.044	1							
Ag	0.569	0.401	0.056	0.280	0.104	1						
Ba	0.187	0.044	-0.021	-0.065	0.252	0.281	1					
Bi	0.325	0.408	0.033	0.154	-0.064	0.383	0.018	1				
Co	0.056	0.045	0.007	0.082	0.433	0.051	0.303	0.126	1			
Cu	0.306	0.116	0.047	-0.008	0.077	0.354	0.375	0.369	0.066	1		
Mo	0.211	0.251	0.036	0.012	0.239	0.397	0.525	0.156	0.357	0.396	1	
W	0.329	0.163	0.039	0.022	0.032	0.272	0.092	0.124	0.025	0.118	0.166	1

3.4 因子分析

为进一步了解研究区内不同元素间内在联系,对原始数据进行因子分析。因子分析是一种降维分析,是研究元素共生组合的有效方法(董庆吉等, 2008),也是将多种变量根据某种内在联系生成几个综合因子的统计方法,不同的元素组合常反映出不同的地质-地球化学信息(刘邦定等,2015)。

应用 SPSS 软件对研究区内的 4484 件样品数据进行因子分析,利用 Bartlett 和 KMO 检验方法(赵少卿等,2012)对数据的相关性进行检验。KMO 检验值为 0.79,按 Kaiser 给定的判别标准属于适合,概率 P 值(Sig.)为 0.00,小于给定的显著性水平  $\alpha$ ,因此数据适合做因子分析。由于正交旋转因子载荷矩阵比初始因子载荷矩阵更能有效地反映元素组合的合理性,故采用正交旋转因子载荷矩阵来确定元素组合类型(表 3)。按照特征值 > 1 和累计方差贡献率 > 60% 为阈值,得出 4 个因子。

F1 因子方差贡献率为 20.2%,是区内主导因子,以 0.50 为标准,剔除绝对值小于 0.50 的因子载

表 3 研究区 R 型因子分析正交旋转因子载荷矩阵  
Table 3 Orthogonal rotation factor loading matrix of R-factor analysis in the study area

元素	F1	F2	F3	F4
Au	0.754	-0.060	0.187	0.108
Pb	0.248	0.248	0.639	0.174
Sb	0.069	0.023	-0.073	0.911
Sn	-0.061	-0.012	0.641	-0.139
Zn	-0.231	0.745	0.116	0.043
Ag	0.602	0.319	0.492	0.051
Ba	0.407	0.646	-0.315	-0.158
Bi	0.523	-0.080	0.494	-0.063
Co	-0.012	0.740	0.376	0.078
Cu	0.687	0.228	-0.119	-0.169
Mo	0.466	0.636	-0.067	-0.038
W	0.511	-0.058	0.062	0.243
特征值	2.42	2.15	1.64	1.02
方差贡献率	20.2	17.95	13.65	8.5
累计方差贡献率	20.2	38.15	51.8	60.3

荷,结果显示,F1因子的元素组合为Au、Ag、Cu、Bi、W,F1因子中包含了高、中、低温元素,主要反映与岩浆热液活动具有一定联系。因此,F1因子与区内岩体的侵入活动有关;F2因子方差贡献率为17.95%,元素组合为Zn、Ba、Co、Mo;F3因子方差贡献率为13.65%,元素组合为Pb、Sn;F4因子方差贡献率为8.5%,Sb为独立因子。分析表明,F1因子特征值及方差贡献值较大,结合元素的富集特征及相关分析,认为研究区主成矿元素为Au、Ag、W、Pb、Sb,找矿指示元素为Cu、Bi、Sn。

#### 4 异常下线的确定及异常圈定

运用衬值异常法对数据进行背景值归一化来强化异常信息,首先,循环剔除原始数据中 $X+3S$ 和 $X-3S$ 的极高、极低含量值,求取各元素的算数平均

值作为背景值。其次,运用各元素的原始值与算术平均值之比求取衬度值,计算如下:

$$D_{ij} = \frac{X_{ij}}{\bar{x}}$$

式中: $D_{ij}$ 为第 $j$ 元素第 $i$ 个点上的衬度值; $X_{ij}$ 为第 $j$ 元素第 $i$ 个点上的原始值; $\bar{x}$ 为第 $j$ 元素的算术平均值。最后对各元素的衬度值重新统计背景值( $C_0$ )及标准偏差( $S$ ),采用 $C_0+2S$ 为衬值异常下限。

根据相关分析及因子分析确定了4组元素组合,但与成矿潜力较大的元素组合有3组,即Au-Ag-Cu-Bi-W、Pb-Sn、Sb,将各组合内的元素衬值相乘形成多元素衬值数据集,采用各元素衬值异常下限累乘作为异常下限,进行综合异常圈定。

表4 西藏邦卓玛地区土壤地球化学衬值参数统计特征

Table 4 Statistical characteristics of soil geochemical contrast values in the Bangzhuoma region, Tibet

元素	Au	Ag	Cu	Sn	W	Bi	Ba	Co	Mo	Pb	Zn	Sb
算术平均值	3.21	0.11	29.68	4.53	3.20	0.71	495.66	15.41	1.49	37.48	107.18	2.00
标准差	1.32	0.03	7.70	0.85	0.79	0.14	62.84	1.85	0.47	6.55	21.85	0.468
衬值背景值	1.19	1.08	0.98	1.00	1.14	1.01	0.99	1.00	1.01	1.00	1.02	1.06
衬值标准差	0.59	0.38	0.26	0.18	0.37	0.20	0.13	0.12	0.33	0.19	0.19	0.92
衬值异常下限	2.37	1.84	1.50	1.36	1.88	1.41	1.25	1.24	1.67	1.38	1.40	2.90

根据衬值综合异常筛选出4个靶区:1号靶区由HsAu-Ag-Cu-Bi-W-1、HsSb-1异常叠加组成;2号靶区由HsAu-Ag-Cu-Bi-W-2、HsPb-Sn-3、HsSb-2异常叠加组成;3号靶区由HsAu-Ag-Cu-Bi-W-4、HsPb-Sn-1、HsPb-Sn-4异常叠加组成;4号靶区由HsAu-Ag-Cu-Bi-W-3、HsPb-Sn-2异常叠加组成。在4个靶区内主成矿元素衬值组合异常套合性较好,异常整体呈串珠状,大致呈北西向展布于三叠系涅如组三段地层内,其主要岩性为灰-深灰色板岩夹中厚层状细粒石英砂岩。

1号靶区位于测区西北部,该靶区内HsAu-Ag-Cu-Bi-W-1、HsSb-1衬值异常套合性较好。HsAu-Ag-Cu-Bi-W-1异常规模大,面积为 $0.47\text{km}^2$ ,异常呈不规则状展布,单元素Au最高含量值为 $89.2 \times 10^{-9}$ ,均值为 $5.1 \times 10^{-9}$ ;Ag元素异常最高值为 $1.67 \times 10^{-6}$ ,均值为 $0.22 \times 10^{-6}$ ;W元素异常最高值为 $128 \times 10^{-6}$ ,均值为 $7.03 \times 10^{-6}$ 。

HsSb-1异常规模较小,面积为 $0.15\text{km}^2$ ,呈不规则状展布,Sb元素最高含量值为 $24.5 \times 10^{-6}$ ,均

值为 $4.35 \times 10^{-6}$ 。

2号靶区位于测区中部,该靶区内HsAu-Ag-Cu-Bi-W-2、HsPb-Sn-3、HsSb-2衬值异常套合性较好。HsAu-Ag-Cu-Bi-W-2异常规模较大,面积为 $0.32\text{km}^2$ ,异常呈不规则状展布,单元素Au最高含量值为 $109 \times 10^{-9}$ ,均值为 $48.1 \times 10^{-9}$ ;Ag元素异常最高值为 $0.60 \times 10^{-6}$ ,均值为 $0.18 \times 10^{-6}$ ;W元素异常最高值为 $170 \times 10^{-6}$ ,均值为 $8.01 \times 10^{-6}$ 。

HsPb-Sn-3异常规模较小,面积为 $0.12\text{km}^2$ ,呈椭圆状展布,Pb最高含量值为 $101 \times 10^{-6}$ ,均值为 $44.5 \times 10^{-6}$ 。

HsSb-2异常规模较小,面积为 $0.11\text{km}^2$ ,呈北西向带状展布,Sb最高含量值为 $8.01 \times 10^{-6}$ ,均值为 $2.66 \times 10^{-6}$ 。

3号靶区位于测区东南部,靶区内北部HsAu-Ag-Cu-Bi-W-4、HsPb-Sn-4及呈椭圆状面积极小的Sb异常套合性较好;南部HsPb-Sn-1及面积较小的椭圆状Au-Ag-Cu-Bi-W异常套合性较好。

靶区内北部 HsAu - Ag - Cu - Bi - W - 4 异常带内 Au 元素最高含量值为  $76.5 \times 10^{-9}$ , 均值为  $16.2 \times 10^{-9}$ ; Ag 元素异常最高值为  $0.64 \times 10^{-6}$ , 均值为  $0.14 \times 10^{-6}$ ; W 元素异常最高值为  $30.6 \times 10^{-6}$ , 均值为  $3.39 \times 10^{-6}$ 。

HsPb - Sn - 4 异常规模小, 面积仅为  $0.05 \text{ km}^2$ , 呈椭圆状展布, 异常带内 Pb 最高含量值为  $205 \times 10^{-6}$ , 均值为  $88.3 \times 10^{-6}$ 。

靶区内南部 HsPb - Sn - 1 异常规模较小, 面积为  $0.16 \text{ km}^2$ , 呈半椭圆状展布, 该异常未封闭, 向东南部仍有延伸, 异常带内 Pb 最高含量值为  $178 \times 10^{-6}$ , 均值为  $63.2 \times 10^{-6}$ 。

4 号靶区位于测区中部, 靶区内 HsAu - Ag - Cu - Bi - W - 3 和 HsPb - Sn - 2 衬值异常套合性较好。HsAu - Ag - Cu - W - 3 异常规模小, 面积仅为  $0.09 \text{ km}^2$ , 呈椭圆状展布, Au 元素最高含量值为  $71.7 \times 10^{-9}$ , 均值为  $28.9 \times 10^{-9}$ ; Ag 元素异常最高值为  $0.51 \times 10^{-6}$ , 均值为  $0.15 \times 10^{-6}$ ; W 元素异常最高值为  $15.6 \times 10^{-6}$ , 均值为  $4.36 \times 10^{-6}$ 。

HsPb - Sn - 2 异常规模小, 面积仅为  $0.15 \text{ km}^2$ , 呈椭圆状展布, 异常带内 Pb 最高含量值为  $92.5 \times 10^{-6}$ , 均值为  $40.1 \times 10^{-6}$ 。

综上所述, 测区内的 4 个重点靶区内 Au、Ag、W、Pb、Sb 多金属矿具有较大的潜力。

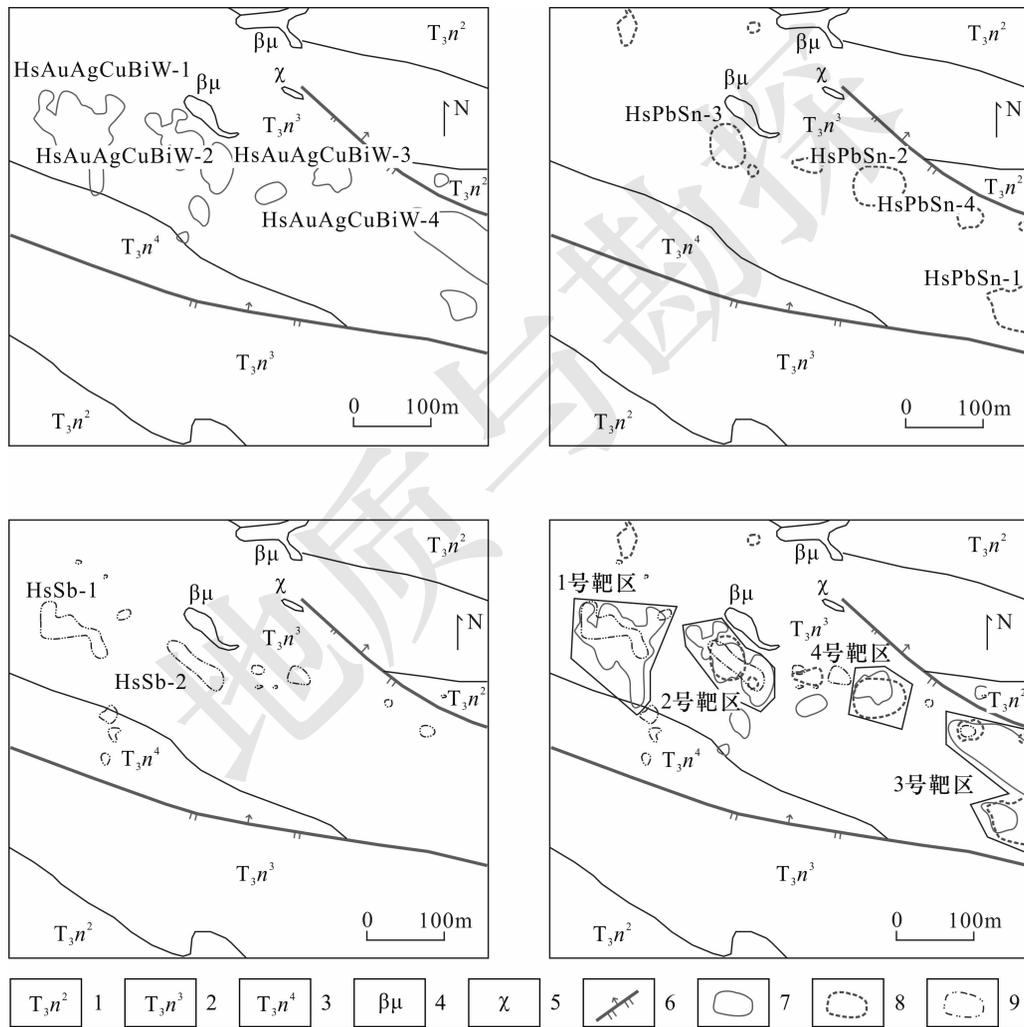


图3 组合衬值异常图

Fig. 3 Combined contrast value anomalies

1 - 三叠系涅如组二段; 2 - 三叠系涅如组三段; 3 - 三叠系涅如组四段; 4 - 辉绿玢岩; 5 - 煌斑岩; 6 - 断层; 7 - Au - Ag - Cu - Bi - W 衬值组合异常; 8 - Pb - Sn 衬值组合异常; 9 - Sb 衬值组合异常

1 - second member of Nieru Formation in Triassic system; 2 - third member of Nieru Formation in Triassic system; 3 - fourth member of Nieru Formation in Triassic system; 4 - allgovite; 5 - lamprophyre; 6 - fault; 7 - Au - Ag - Cu - Bi - W contrast value combination anomaly; 8 - Pb - Sn contrast value combination anomaly; 9 - Sb contrast value combination anomaly

## 5 寻找喷流-改造型金多金属矿前景分析

### 5.1 地层与成矿

藏南地区 Au、Sb 等矿化主要集中产出于上三叠统-下白垩统等特定层位中,受岩性控制较为显著,是区域成矿作用重要的矿源层(张刚阳,2012),尤其以上三叠统涅如组地层表现最为显著(付伟等,2005)。

测区内与成矿有关的地层主要以三叠系涅如组三段相对富集,通过对涅如组地层岩石取样光谱分析显示,Au 在涅如组三段的平均值为  $2.41 \times 10^{-9}$ ,是藏南壳体丰度值的 1.42 倍,涅如组二、四段 Au 的平均值分别为  $1.39 \times 10^{-9}$ 、 $0.95 \times 10^{-9}$ ,均低于藏南壳体丰度值;Ag 在涅如组二、三、四段地层中的平均值分别为  $0.08 \times 10^{-6}$ 、 $0.117 \times 10^{-6}$ 、 $0.07 \times 10^{-6}$ ,均高于藏南壳体丰度值( $0.052 \times 10^{-6}$ );Pb 在涅如组二、三、四段的平均值分别为  $30.34 \times 10^{-6}$ 、 $23.88 \times 10^{-6}$ 、 $27.6 \times 10^{-6}$ ,均高于藏南壳体的丰度值;Sb 在涅如组三段的平均值为  $1.38 \times 10^{-6}$ ,是丰度值的 8.6 倍,在涅如组二、四段内 Sb 的平均值分别为  $1.06 \times 10^{-6}$ 、 $0.69 \times 10^{-6}$ ,均高于藏南壳体丰度值;W 在涅如组三段的平均值为  $1.77 \times 10^{-6}$ ,是丰度值的 1.9 倍,在涅如组二、四段内 W 的平均值分别为  $1.06 \times 10^{-6}$ 、 $1.13 \times 10^{-6}$ ,也高于藏南壳体的丰度值。上述成矿元素的含量分析显示,测区内的成矿元素(除 pb 元素外)主要集中于三叠系涅如组三段,而在二、四段地层内的成矿元素含量明显低于三段地层的含量。

### 5.2 岩浆岩与成矿

测区内出露的岩浆岩主要为基性岩,根据 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果显示,基性侵入岩年龄为 130~140Ma,为早白垩世,岩性主要为辉绿(玢)岩、煌斑岩。对基性岩取样分析显示,辉绿(玢)岩中,Pb 含量平均值为  $18.1 \times 10^{-6}$ ,是藏南壳体丰度值的 2.8 倍;Sb 的含量为  $0.72 \times 10^{-6}$ ~ $2.93 \times 10^{-6}$ ,是丰度值的 4~18 倍,W 含量平均值为  $1.28 \times 10^{-6}$ ,是丰值的 1.4 倍,而 Au 元素含量较低,其含量均值为  $0.29 \times 10^{-9}$ ,反映辉绿(玢)岩中含矿物质较为丰富,可能为测区 Pb、Sb、W 元素矿源层(即上三叠统涅如组)富集提供了物质来源。早白垩世煌斑岩中 Au、Pb 元素含量较高,Au 含量平均值为  $4.05 \times 10^{-9}$ ,是丰度值的 2.4 倍;Pb 含量平均值为  $36.7 \times 10^{-6}$ ,是丰度值的 5.6 倍,反映煌斑岩中含矿物质较丰富,可能为测区 Au、Pb 元素矿源层

(即上三叠统涅如组地层)富集提供了物质来源,同时基性岩的侵入也提供了大量的热源,使地层中的成矿元素再次活化、运移,并按熵增原理向岩体附近的围岩聚集,形成有用组分的富集。

在测区外围分布着达拉核杂岩,核杂岩的核部为酸性浅色花岗岩,浅色花岗岩体的侵入为成矿提供了热源,也为矿体的形成提供了赋矿空间(张欣等,2010),如查拉普金矿产于达拉核杂岩附近。

### 5.3 成矿物质来源

根据 1:10000 土壤地球化学数据资料及岩石化探取样分析,发现 Au、Ag、W、Pb、Sb 主要赋存于三叠系涅如组三段中。与邻近金锑多金属矿床对比,该地层提供了较丰富的成矿物质来源(杜光树等,1993),因此,测区内的成矿物质与涅如组地层关系较为密切,同时,区内的基性岩的侵入也为成矿元素提供了部分物质来源(张刚阳,2012)。

### 5.4 工程验证

由于测区内已知矿(化)点出露较少,且野外施工条件相对较差,目前仅对 1 号靶区内的金异常进行了槽探工程查证。经查证发现,涅如组三段地层内的层间裂隙构造较为发育,多被石英脉充填,并呈细脉状产出,通过 TC072 号槽探揭露显示,石英脉中 Au 的品位为  $3.64 \times 10^{-6}$ ~ $4.78 \times 10^{-6}$ ,矿脉走向长度 150m,产状  $355^\circ \angle 86^\circ$ ,厚度 0.30m,为石英砂岩夹石英脉,矿化主要为黄铁矿化、铅锌矿化(见图 4)。

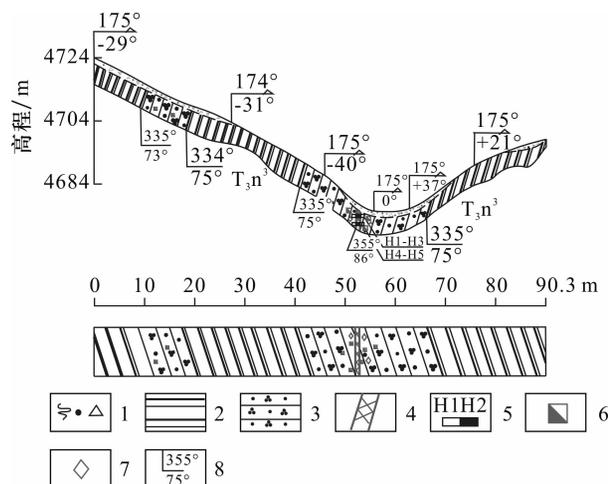


图 4 TC072 槽探剖面图

Fig. 4 Cross sections of the trench TC072

1 - 第四系; 2 - 板岩; 3 - 三叠系涅如组三段石英砂岩; 4 - 含矿石英脉; 5 - 样品及编号; 6 - 黄铁矿化; 7 - 铅锌矿化; 8 - 产状  
1 - Quaternary system; 2 - slate; 3 - third member of Nieru Formation quartz sandstone in Triassic system; 4 - ore bearing quartz vein; 5 - sample and number; 6 - pyritization; 7 - Pb - Zn mineralization; 8 - attitude

## 6 结论

(1)通过在测区内开展的土壤地球化学测量,运用元素的变化系数、 $C_{V1}$ 和 $C_{V1}/C_{V2}$ 变化系数解图评价了测区内元素的分散、富集特征,并且这两种方法均得出相同结论,即 Au、Ag、Pb、W、Sb 5 种元素在测区内具有较大的成矿潜力,经地层、岩浆岩取样分析显示 Au、Ag、Pb、W、Sb 元素的平均含量均高于藏南壳体的丰度值。

(2)通过相关分析和因子分析得出 4 组元素组合,即第一类组合为 Au - Ag - Cu - Bi - W,第二类组合为 Zn - Ba - Co - Mo,第三类组合为 Pb - Sn,第四类组合为 Sb,其中与成矿潜力较大的元素组合有 3 组,即 Au - Ag - Cu - Bi - W、Pb - Sn 及 Sb。根据元素组合特征,运用衬值异常法在测区内圈定了 4 个重点靶区,通过对 1 号靶区进行的槽探工程验证,找到了品位较高的金矿脉,为下一步找矿工作提供了理论依据,显示出该区具有较好的找矿前景。

**致谢:**感谢武警黄金第十一支队的支持和帮助,为本文提供详细的资料。

### [References]

- Chen Xi-quan, Luo Xian-rong, Tang Lei, Chen Biao. 2009. Prospecting for blind stibium deposit by multi - information: a case of muli stibium deposit in Yunnan[J]. *Geology and Exploration*, 45 ( 5 ) : 595 - 599 ( in Chinese with English abstract )
- Dong Qing-ji, Chen Jian-ping, Tang Yu. 2008. Application of R type factor analysis in mineralization prognosis by an example of Huangbuling gold deposit, Shandong Province [ J ]. *Geology and Exploration*, 44 ( 4 ) : 64 - 68 ( in Chinese with English abstract )
- Du Guang-shu, Feng Xiao-liang, Yong Yong-yuan. 1993. *Geology of Tibet gold mine* [ M ]. Chengdu: Southwest Communications University Press: 1 - 177 ( in Chinese with English abstract )
- Han Run-sheng, Chen Jin, Gao De-rong, Ma De-Yun, Li Yuan, Zhao De-shun. 2003. Application of tectono - geochemical ore - finding method in orientation prognosis of concealed ores [ J ]. *Geology and Prospecting*, 39 ( 6 ) : 25 - 28 ( in Chinese with English abstract )
- Hou Zeng-qian, Lu Qing-tian, Wang An-jian, Li Xiao-bo, Wang Zong-qi, Wang Er-qi. 2003. Continental collision and related metallogeny: a case study of mineralization in Tibetan Orogen [ J ]. *Mineral Deposits*, 22 ( 4 ) : 319 - 333 ( in Chinese with English abstract )
- Harrison T M, McKeegan K D, Le Fort P. 1995. Detection of Inherited monazite in the Manaslu leucogranite by  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$  microprobe dating: Crystallization age and tectonic significance [ J ]. *Earth and Planetary Science Letters*, 133 ( 3 - 4 ) : 271 - 282
- Jing Bao-sheng, Pan Wei-liang, Shan Jin-zhong, Li Mei-ying. 2014. Regional geochemical exploration and ore - prospecting effect in eastern Qimantag, Xinjiang [ J ]. *Geology in China*, 41 ( 1 ) : 264 - 284 ( in Chinese with English abstract )
- Luo Xian-rong, Chen Shan-ming, Du Jian, Hu Yun-hu. 2002. Exploration of different buried deep concealed gold deposits by the method of electrochemical exploration [ J ]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 22 ( 4 ) : 42 - 46 ( in Chinese with English abstract )
- Lai Jian-qing, Peng Sheng-lin, Yang Mu, Shao Yong-jun, Yang Bin. 2007. Determination and evaluation of tectonic - geochemical abnormalities in the southern area of Fenghuangshan copper deposit, Tongling [ J ]. *Geology and Exploration*, 43 ( 4 ) : 51 - 55 ( in Chinese with English abstract )
- Liu Han-bin translation. 1999. The application of chemical method in soil geochemical prospecting gold wa Yilgarn plots in the area of the black flag [ J ]. *Uranium Gold Geology*, 16 ( 2 ) : 171 - 177 ( in Chinese with English abstract )
- Li Jin-gao, Wang Quan-hai, Chen Jian-kun. 2002. Study of metallogenic and prospecting models for the Shalagang antimony deposit, Gyangze, Tibet [ J ]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29 ( 5 ) : 533 - 538 ( in Chinese with English abstract )
- Li Tong, Yuan Huai-yu, Wu Sheng-xi, Cheng Xian-fu. 1999. Regional element abundan of continental crustobonies in China [ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 23 ( 2 ) : 101 - 107 ( in Chinese with English abstract )
- Liu que-yu, Sun Cheng-chai. 1990. Method discussing on evaluating element discrete extend and the significance for finding mineral in region geochemical exploration [ J ]. *Computing techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 12 ( 4 ) : 285 - 294 ( in Chinese with English abstract )
- Liu Bang-ding, Chen Xin-yue, Luo Xiao-ya, Tan Shi-min, Ma Xiao-shuang. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting target prediction in the Pingbao area, Southern Hunan Province [ J ]. *Geology and Exploration*, 51 ( 4 ) : 722 - 730 ( in Chinese with English abstract )
- Murphy M A, Harrison T M. 1999. Relationship between leucogranites and the South Tibet and the Qomdangma detachment system, Rongbuk Valley, southern Tibet [ J ]. *Geology*, 27 ( 9 ) : 831 - 834
- Nie Feng-jun, Hu Peng, Jiang Si-hong, Li Zhen-qing, Liu Yan, Zhou Yong-zhang. 2005. Type and temporal - spatial distribution of gold and antimony deposits ( prospects ) in southern Tibet, China [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 79 ( 3 ) : 373 - 385 ( in Chinese with English abstract )
- Qian Jian-ping, Xie Biao-wu, Chen Hong-yi, Bai Yan-ping, Wu Xiao-lei. 2011. Analysis of ore - controlling structure and prospecting of tectono - geochemistry in Jinshan Au - Ag mining area, Guangxi [ J ]. *Geoscience*, 25 ( 3 ) : 531 - 544 ( in Chinese with English abstract )
- Sun Kai, Zhou Su, Miao Zhen-ping, Hu Bing, Huang Kai, Zhang Lin-lin, Qiu Rui-zhao, Hu Shao-hua. 2011. Secondary halo anomalies of the Yuerya gold deposit in the Xiancaogou area, Hebei Province and its prospecting prognosis [ J ]. *Geology and Exploration*, 47 ( 4 ) : 0566 - 0576 ( in Chinese with English abstract )
- Tan Ke-ren. 2000. Advances in new techniques and methods for geoelectrochemical prospecting and exploration of gold deposits [ J ]. *Gold Science and Technology*, 8 ( 1 ) : 23 - 31 ( in Chinese with English abstract )

- Taylor S R, McClelland S. 1985. The continental crust: Composition and evolution [J]. Blackwell Scientific Publications, 54: 209 - 230, 372.
- Wen Mei-lan, Luo Xian-rong, Xiong Jian, Zeng Nan-shi, Hou Bao-hong, Keeling J. 2010. Electro-geochemical method in the search of concealed gold deposits in South Australia [J]. Geology and Exploration, 46(1): 153 - 159 (in Chinese with English abstract)
- Wei Jun-hao, Hou Guang-jiu, Wu Gan-guo. 1994. Application of Hg compounds in the depth evaluation of gold deposits [J]. Geological Science and Technology Information, 13(2): 87 - 90 (in Chinese with English abstract)
- Wang Xiao-feng, Jiao Dong-feng, Qin Ya-dong, Xiao Deng-yi. 2011. Geochemical characteristics of gold-bearing soil and ore-searching potential of the Lingtou area, Hainan Province [J]. Geology and Exploration, 47(3): 406 - 413 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guo-yi, Zhang Lian-fa. 2003. The effect of soil geochemistry survey on prospect in Penglai county, Shandong Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18 (Supplement): 141 - 145 (in Chinese with English abstract)
- Zheng You-ye, Duo Ji, Ma Guo-tao, Chen Jing, Dai Fang-hua. 2007. Mineralization characteristics, discovery and age restriction of Chalapu Hardrock gold Deposit, Southern Tibet [J]. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 32(2): 185 - 193 (in Chinese with English abstract)
- Zhao shao-qing, Wei Jun-hao, Gao Xiang, Chen Chong. 2012. Factor analysis in the geochemical subdivisions: Taking 1:50 000 Debris geochemical survey in the shibanjing area of inner Mongolia as an example [J]. Geological Science and Technology Information, 31(2): 27 - 34 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Gang-yang. 2012. Metallogenic model and prospecting potential in southern Tibet Au-Sb polymetallic belt [D]. Beijing: China University of Geosciences: 1 - 196 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Xin, Wang Xiong-wu, Zhao Yan. 2010. Southern Tibet also pour la shampoo, prospecting prospect metamorphic core complex in the multiple-choice [J]. Mineral Deposits, 29(s1): 1157 - 1158 (in Chinese with English abstract)
- [附中文参考文献]
- 陈希泉, 罗先熔, 汤磊, 陈彪. 2009. 利用多元信息寻找隐伏锑矿-以云南木利锑矿为例 [J]. 地质与勘探, 45(5): 595 - 599
- 董庆吉, 陈建平, 唐宇. 2008. R型因子分析在矿床成矿预测中的应用-以山东黄埠岭金矿为例 [J]. 地质与勘探, 50(2): 332 - 339
- 杜光树, 冯孝良, 雍永源. 1993. 西藏金矿地质 [M]. 成都: 西南交通大学出版社: 1 - 177
- 韩润生. 2013. 构造地球化学近十年主要进展 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 32(2): 198 - 203
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 李晓波, 王宗起, 王二七. 2003. 初论陆-陆碰撞与成矿作用 - 以青藏高原造山带为例 [J]. 矿床地质, 22(4): 319 - 333
- 景宝盛, 潘维良, 单金忠, 李美英. 2014. 新疆祁漫塔格东段区域化探及其找矿效果 [J]. 中国地质, 41(1): 264 - 284
- 罗先熔, 陈三明, 杜建波, 胡云沪. 2002. 地球电化学勘查法寻找不同埋深隐伏金矿的研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(4): 42 - 46
- 赖健清, 彭省临, 杨牧, 邵拥军, 杨斌. 2007. 铜陵凤凰山铜矿南区构造地球化学异常的确定与评价 [J]. 地质与勘探, 43(4): 51 - 55
- 刘汉彬译. 1999. 土壤地球化学法在西澳 Yilgarn 地块黑旗地区金矿勘查中的应用 [J]. 国外铀金地质, 16(2): 171 - 177
- 李金高, 王全海, 陈健坤, 姚鹏, 彭勇民. 2002. 西藏江孜县沙拉岗锑矿床成矿与找矿模式的初步研究 [J]. 成都理工大学学报, 29(5): 533 - 538
- 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 1999. 中国大陆壳体的区域元素丰度 [J]. 大地构造与成矿学, 23(2): 101 - 107
- 刘珏玉, 孙成才. 1990. 区域化探中评价元素离散程度及找矿意义的方法讨论 [J]. 物探化探计算技术, 12(4): 285 - 294
- 刘邦定, 陈新跃, 罗小亚, 谭仕敏, 马小双. 2015. 湘南坪宝地区水系沉积物地球化学特征及找矿靶区预测 [J]. 地质与勘探, 51(4): 722 - 730
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 李振清, 刘妍, 周永章. 2005. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征 [J]. 地质学报, 79(3): 373 - 385
- 钱建平, 谢彪武, 陈宏毅, 白艳萍, 吴小雷. 2011. 广西金山金银研究区成矿构造分析和构造地球化学找矿 [J]. 现代地质, 25(3): 531 - 544
- 孙凯, 周肃, 缪振平, 胡兵, 黄凯, 张琳琳, 邱瑞照, 胡少华. 2011. 河北峪耳崖金矿宽草沟区次生晕异常及找矿预测 [J]. 地质与勘探, 47(4): 566 - 576
- 谭克仁. 2000. 金矿地电化学勘查新技术、新方法研究进展 [J]. 黄金科学技术, 8(1): 23 - 31
- 文美兰, 罗先熔, 熊健, 曾南石, 侯宝宏, Keeling J. 2010. 地电化学法在南澳大利亚寻找隐伏金矿的研究 [J]. 地质与勘探, 46(1): 153 - 159
- 魏俊浩, 侯光久, 吴淦国. 1994. 测汞在金矿床深部含矿性评价中的应用 [J]. 地质科技情报, 13(2): 87 - 90
- 汪校锋, 娇东风, 秦雅东, 肖灯意. 2011. 海南岭头地区金土壤地球化学特征和找矿潜力分析 [J]. 地质与勘探, 47(3): 406 - 413
- 张国义, 张连发. 2003. 土壤地球化学测量在山东蓬莱地区普查找矿的效果 [J]. 地质找矿论丛, 18(增刊): 141 - 145
- 郑有业, 多吉, 马国桃, 陈静, 代芳华. 2007. 藏南查拉普金矿床特征、发现及时代约束 [J]. 地球科学, 32(2): 185 - 193
- 张刚阳. 2012. 藏南金锑多金属成矿带成矿模式与找矿前景研究 [D]. 北京: 中国地质大学: 1 - 196
- 郑有业, 赵永鑫, 王革, 范文玉, 陈静, 曹新志, 张晓保. 2004. 藏南金锑成矿带成矿规律研究及找矿取得重大进展 [J]. 地球科学, 29(1): 44 - 68
- 赵少卿, 魏俊浩, 高翔. 2012. 因子分析在地球化学分区中的应用: 以内蒙古石板井地区 1:5 万岩屑地球化学测量数据为例 [J]. 地质科技情报, 31(2): 27 - 34
- 张欣, 汪雄武, 赵岩. 2010. 藏南也拉香波倾日变质核杂岩的找矿前景浅析 [J]. 矿床地质, 29(s1): 1157 - 1158

## Geochemical Characteristics of Soil and Prospecting Prediction of the Bangzhuoma Region, Tibet

YUAN He<sup>1</sup>, LUO Xian-rong<sup>1</sup>, LI Wu-yi<sup>2</sup>, CHEN Wu<sup>2</sup>

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004;

2. The 11th Gold Detachment of Chinese Armed Police Force, Lhasa, Tibet 850000)

**Abstract:** Based on a 1:10000 geochemical soil survey in the Bangzhuoma area of Tibet, this work carried out a geochemistry statistic analysis on 12 kinds of microelements from the survey using element variation coefficients and enrichment and discrete characteristics, and discussed the metallogenetic potentials of the 12 kinds of microelements. It was concluded that the five elements of Au, Ag, W, Pb, and Sb have great ore-forming potentials. By correlation and factor analyses, we established the combination characteristics of elements in the area, which can be divided into Au - Ag - Cu - Bi - W, Pb - Sn, and Sb. Meanwhile, by using the contrast value anomaly method, this article delineates the combination anomalies in this area. The results show obvious combined anomalies which match well with each other, roughly distributed in NW direction with a moniform shape. This work also delineated four important target areas on the basis of combined contrast anomaly superposition, which provide theoretical evidence for the next work of searching for multi-metals including Au, Ag, Sb, W, and Pb in this area.

**Key words:** element geochemical characteristics, lining value anomaly method, prospecting potential, Bangzhuoma area, Tibet

