

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.12.001

黑龙江省木兰县六块地南土壤地球化学异常特征及成矿预测

尹志刚¹, 姜然¹, 陈军典², 李萌萌¹, 周小刚¹, 张凯强¹, 姜琦¹, 郭浩¹
YIN Zhigang¹, JIANG Ran¹, CHEN Jundian², LI Mengmeng¹, ZHOU Xiaogang¹,
ZHANG Kaiqiang¹, JIANG Qi¹, GUO Hao¹

1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 辽宁省物测勘查院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110031

1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China;

2. Liaoning Geophysical Prospecting Institute Co., Ltd., Shenyang 110031, Liaoning, China

摘要:黑龙江木兰县六块地南大地构造位置属于小兴安岭-张广才岭岩浆弧,成矿区带为伊春-延寿多金属成矿亚带的重要组成部分,成矿地质条件优越。为查明该区各成矿元素和矿(化)体的分布特征,实现找矿突破,开展了1:2万土壤地球化学测量及成矿预测工作。利用12种成矿元素进行相关性分析、聚类分析、因子分析、单元素异常分析和组合元素异常分析,圈定了元素异常区,优选了找矿靶区。结果表明,区内Au、As、Sb、Mo元素变异系数值高,成矿潜力较强;As、Sb元素的相关性较好,相关系数为0.73,R型聚类分析将成矿元素分为4类,因子分析将分析元素分为4组;结合区内成矿地质条件和土壤地球化学异常特征,共圈出单元素异常113处,组合异常3处;测区主攻矿种为Au和Zn,Au元素主要找矿靶区为Au-5和Au-7异常区,Zn元素主要找矿靶区为Zn-6异常区,As、Sb、Mo找矿前景非常好,可作为第一找矿目标元素。

关键词:土壤地球化学异常;单元素异常;组合异常;成矿预测;黑龙江省木兰县

中图分类号:P612;S15;P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)12-2015-13

Yin Z G, Jiang R, Chen J D, Li M M, Zhou X G, Zhang K Q, Jiang Q, Guo H. Characteristics of soil geochemical anomalies and metallogenic prediction in Liukuaidi South of Mulan County, Heilongjiang Province. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42 (12): 2015-2027

Abstract: The study area Liukuaidi South is located in the central and eastern part of Heilongjiang Province. The tectonic position belongs to the Xiaoxinganling-Zhangguangcailing magmatic arc. The metallogenic zone is an important part of the Yichun-Yanshou polymetallic metallogenic subbelt, and the metallogenic geological conditions are superior. To find out the distribution characteristics of ore-forming elements and ore-forming bodies in the study area and achieve the ore-prospecting breakthrough, a 1:20000 soil geochemical survey and ore-forming prediction were carried out. The correlation analysis, cluster analysis, factor analysis, single element anomaly analysis, and combined element anomaly analysis of 12 metallogenic elements are used to delineate the element anomaly area and optimize the prospecting target area. The results show that the variation coefficients of Au, As, Sb, and Mo are high and the metallogenic potential is strong. The correlation coefficient of As and Sb elements was 0.73. The metallogenic elements were divided into four groups by R-type cluster analysis and four groups by factor analysis. Combined with the ore-forming geological conditions and soil geochemical anomaly characteristics, 113 single-element anomalies and 3 combined anomalies were identified. The main ore types

收稿日期:2021-09-29;修订日期:2022-07-24

资助项目:黑龙江省地质勘查基金项目《黑龙江省1:5万爱林林场幅、六合屯幅、凤山屯幅区域地质矿产调查》(编号:HLJKD2015-18)

作者简介:尹志刚(1962-),男,博士,教授,从事区域矿产资源研究。E-mail:yzg63@163.com

in the test area are Au and Zn, the main Au prospecting target areas are Au-5 and Au-7 abnormal areas, and the main Zn prospecting target areas are Zn-6 abnormal areas. Sb and Mo have very good prospecting prospects and can be used as the first prospecting target elements.

Key words: soil geochemical anomalies; single element anomaly; combination of anomaly; metallogenic prediction; Mulan County, Heilongjiang Province

土壤地球化学找矿是在系统测量土壤中元素分布的基础上,研究元素分散、集中的规律及其与矿床表生破坏的联系,通过发现异常与解释评价异常进行找矿(曹园园等,2017)。土壤地球化学测量能有效获取隐伏矿床的成矿信息,为进一步开展地质勘查工作提供依据,因而在金属矿产资源勘查中发挥着越来越重要的作用(蒋敬业等,2006;王子正等,2007;王秋印等,2009; Zhang et al., 2013; DZ/T 0011-2015, 2015; 王磊等, 2015; 张国宾等, 2017)。研究区位于黑龙江省哈尔滨市木兰县东兴镇六块地南,区域上位于小兴安岭-张广才岭多金属成矿带、伊春-延寿多金属成矿亚带内。该区早中生代岩浆作用发育,为多金属成矿提供了有利的热液活动,具有多金属找矿远景。因此,笔者在总结区域地质特征和成矿规律的基础上,从1:2万土壤地球化学测量的数据入手,了解成矿元素在研究区的分布情况和富集规律,圈定找矿靶区及远景区,通过槽探工程对异常进行验证。经详细查证,进一步圈划、缩小异常区,根据异常查证结果和成矿条件,对其找矿潜力进行初步评价,为该区进一步找矿勘查工作提供了理论依据(蒋永健等,2010;臧金生等,2014;李飞,2015)。

1 区域地质背景

研究区位于黑龙江省中东部小兴安岭南段,大地构造位置属于小兴安岭-张广才岭岩浆弧,经历了古亚洲洋扩张、萎缩、陆缘增生演化阶段,古太平洋板块活动阶段及滨太平洋大陆边缘活动阶段(陈会军等,2021;尹志刚等,2022),多期次构造运动是本区成矿作用的主导因素(林强等,1998;杨继权等,2007)。研究区位于小兴安岭-张广才岭铁-铅-锌-铜-钼-钨成矿带,伊春-延寿铁-铅-锌-铜-钼-锡-铜-银成矿亚带内,主要发育印支晚期和燕山早期2期成矿作用。印支晚期成矿作用较强,主要形成一些石墨矿床及有色金属矿(矿化)点,如铁力市神树石墨矿床。燕山早期成矿作用强烈,主要形成

了矽卡岩型铁多金属矿床、有色金属及钼矿(矿化)点,如铁力市二股西山铁多金属矿。该区断裂构造较发育,为主要控矿和容矿构造,以NE向、NW向、EW向及近SN向断裂为主,其中燕山期NE向断裂控制了成矿带的展布(谭红艳,2013)。断裂活动促使成矿物质进一步富集,各种破碎带往往是成矿物质富集的可利部位。

研究区出露的地层主要有上石炭统唐家屯组(C_2t)和下泥盆统黑龙宫组(D_1hl)。上石炭统唐家屯组(C_2t)主要岩性为流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、流纹质岩屑晶屑凝灰岩和安山质晶屑凝灰岩。下泥盆统黑龙宫组(D_1hl)为单斜地层,倾向多为NE,倾角为 $43^\circ\sim 55^\circ$;被上石炭统唐家屯组下段角度不整合覆盖,被早侏罗世二长花岗岩侵入;主要岩性为变质细砂岩、条带状钙质粉砂岩、变粉砂岩、长石石英砂岩、砂砾岩等,黄铁矿化发育(图1)。

区内早侏罗世侵入岩发育,岩石类型主要为早侏罗世正长花岗岩($\xi\gamma J_1$)、石英正长岩($\xi\sigma J_1$)、石英闪长岩($\delta\sigma J_1$)和花岗斑岩($\gamma\pi J_1$);火山岩较发育,以陆相活动陆缘型钙碱性火山岩为主。

根据1:5万水系沉积物地球化学测量结果,共圈定单元元素异常419个,综合异常35个。其中,甲3-1类异常2个,乙3类异常11个,丙类异常14个,丁类异常7个。针对优选的水系异常进行异常查证,选取了最好的16Hs-18组合异常,进行1:2万土壤地球化学测量。区域异常面积约 51.682 km^2 ,异常规模大,Au异常具有中带,Sb异常具有内带。

2 样品采集与分析

根据土壤地球化学测量规范,本次研究按 $200\text{ m}\times 40\text{ m}$ 网度布置土壤地球化学采样点,土壤剖面测线垂直异常长轴,且大致垂直地层、构造线和矿化(蚀变带)走向,点距设为 20 m 。采样主要是在B层下部—C层上部层位采集砂质土、细砂土、粉砂

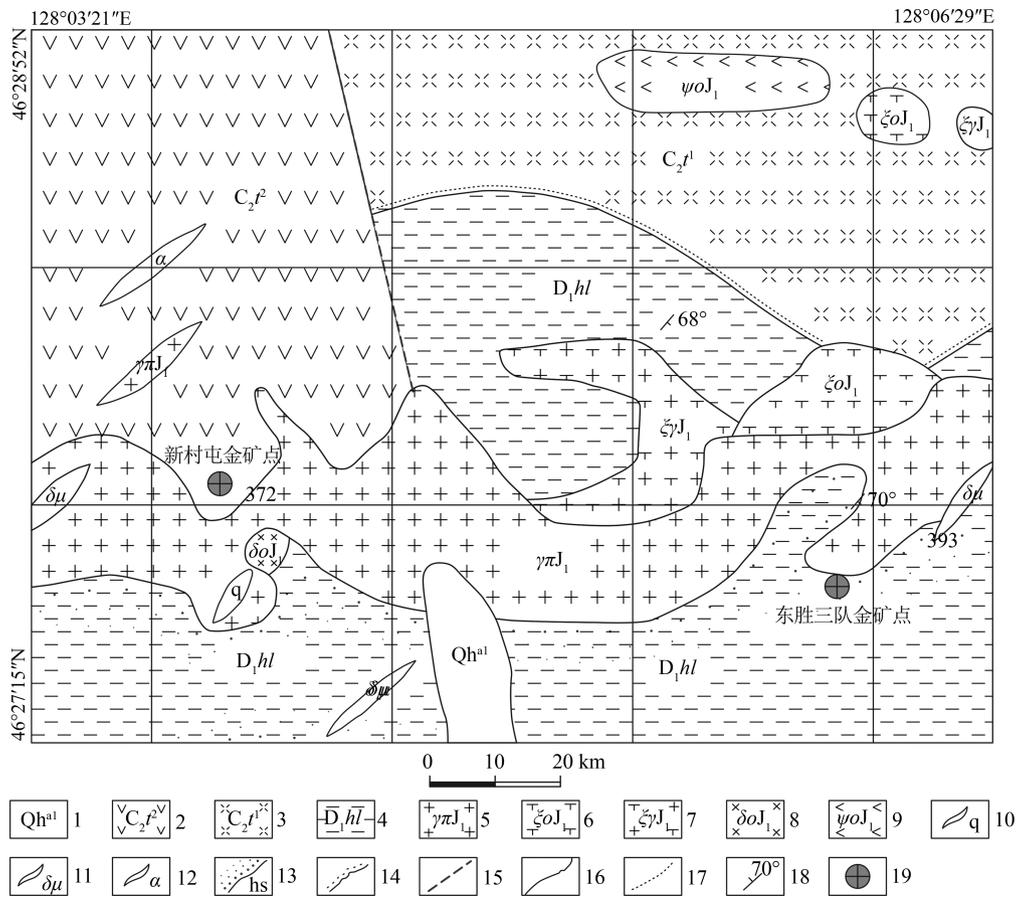


图 1 六块地南区域地质图

Fig. 1 Geological map of the Liukuaidi South

- 1—现代河流冲积层;2—唐家屯组上段;3—唐家屯组下段;4—黑龙江组;5—花岗斑岩;6—石英正长岩;7—正长花岗岩;8—石英闪长岩;
 9—角闪岩;10—石英脉;11—闪长玢岩脉;12—安山岩脉;13—角岩化;14—不整合界线;15—推断性质不明断层;16—地质界线;
 17—岩相变化界线;18—层理产状;19—岩金矿(化)点

土、粘土等。为保证样品具有代表性,每个点都在采样点附近 10 m 范围内 3~5 点采集土壤组成混合样。样品干燥后过 40 目筛,采用混匀缩分法称取 150 g 过筛样品储存于纸质样品中,送实验室分析。

研究区面积为 12 km²,测线方向为 EW 向,布设了 16 条测线,测线总长为 64 km,测量物理点 1617 个,共采集了样品 1471 个。土壤地球化学元素检测单位为黑龙江省第四地质勘察院实验室。分析元素: Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、W、Mo、Sn、Hg 共计 12 种。其中 Au 利用石墨炉原子吸收分光光度法;Cu、Pb、Zn、Co、Cr 利用火焰原子吸收分光光度法;Ag、Pb、Sn、Mo 利用发射光谱法;As、Sb、Bi 利用原子荧光法;W 利用示波极谱法。采用内部和外部质量监控相结合的测试分析质量监控方法,样品报出率为 100%,各类指标分析的准确度

与精密度合格率均为 100%,异常抽查合格率均在 96% 以上,外部测试分析质量监控合格率均达到 95% 以上。综上所述,分析测试结果准确,均满足规范要求。

3 元素地球化学特征

3.1 元素含量特征

本次从六块地南共采集样品 1471 个,迭代剔除特异值后,分析土壤样品测试数据,计算出各元素含量的均值、中位值、极大值、极小值、变异系数、浓集系数、异常下限等参数(表 1)。

由表 1 可知,该区 Sb、As、Au 元素具有一定的富集倾向,成矿潜力较大;Sn、Pb、W 元素较为富集,成矿潜力一般;Ag、Cu、Zn、Bi、Mo、Hg 元素的浓集系数小于 1.00,表明这些元素在研究区内趋于贫化,

表1 六块地南土壤地球化学元素特征参数

Table 1 Characteristic parameters of soil geochemical elements in the Liukuaidi South

元素	均值	中位数	极大值	极小值	标准差	省均值	变异系数	浓集系数	异常下限	异常个数
Au	1.38	1.07	47.20	0.54	1.76	1.00	1.27	1.38	2.12	11
Ag	0.07	0.07	0.34	0.03	0.03	0.09	0.43	0.79	0.11	18
Cu	14.07	13.37	50.15	6.07	3.86	18.50	0.27	0.76	19.58	5
Pb	27.55	26.67	72.73	14.26	5.78	22.30	0.21	1.24	36.64	10
Zn	63.26	60.54	417.58	32.90	17.33	71.30	0.27	0.89	82.28	11
As	16.67	12.24	377.63	5.15	19.22	9.50	1.15	1.75	27.20	11
Sb	1.48	0.68	159.03	0.30	5.99	0.61	4.05	2.42	2.96	3
Bi	0.25	0.25	0.55	0.10	0.05	0.37	0.20	0.69	0.34	10
W	2.04	1.97	12.89	0.60	0.57	1.85	0.28	1.10	2.60	7
Mo	1.29	1.75	14.95	0.50	0.82	1.48	0.64	0.87	1.85	12
Sn	3.00	2.96	5.40	1.55	0.44	2.40	0.15	1.25	3.80	5
Hg	0.03	0.03	0.14	0.01	0.01	0.05	0.31	0.62	0.04	10

注: Au 单位为 10^{-9} ; 其他元素单位为 10^{-6}

成矿可能性较小。Sb 元素变异系数大于 1.5, 呈极强分异性分布, 说明富集成矿的可能性大; Au、As 元素变异系数较大, 富集成矿的可能性也较大。虽然 Zn 元素的浓集系数小于 1, 但与 1 接近, 且与其相关的有色金属元素 Pb 较富集, 因而 Zn 元素有可能富集成矿。因此, 六块地南 Sb、Au、As、Zn 元素易富集成矿。

3.2 元素分布特征

统计分析六块地南的土壤样品数据, 得到各元素的丰度直方图(图 2)。由图 2 可知, Sb、Au、As、Zn 元素标准偏差为 5.99、1.76、19.22、17.33, 变异系数为 4.05、1.27、1.15、0.27, 呈非正态分布, 具有较强

的成矿潜力(高艳芳等, 2017); Ag、W、Mo 元素标准偏差为 0.03、0.57、0.82, 变异系数为 0.43、0.28、0.64, 呈非正态分布, 成矿潜力较强; Hg、Cu、Pb 元素标准偏差为 0.01、3.86、5.78, 变异系数为 0.31、0.27、0.21, 呈近似正态分布, 具有一定的成矿潜力; Bi、Sn 元素标准偏差为 0.05、0.44, 变异系数为 0.20、0.15, 呈正态分布, 成矿潜力弱。

3.3 元素的相关性特征

3.3.1 聚类分析

运用 SPSS 软件对区内原始数据进行了相关性分析(史长义, 1994; 迟清华等, 2007; 蔡朝阳等, 2010; Zuo et al., 2016; 高艳芳等, 2016)(表 2)。通

表2 六块地南土壤地球化学测试数据成矿元素相关系数矩阵

Table 2 Mineralization element correlation coefficient matrix for soil geochemical test data of the Liukuaidi South

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	W	Mo	Sn	Hg
Au	1.00											
Ag	0.37	1.00										
Cu	0.67	0.51	1.00									
Pb	0.31	0.46	0.42	1.00								
Zn	0.41	0.47	0.60	0.42	1.00							
As	0.08	0.29	0.16	0.22	0.10	1.00						
Sb	0.01	0.11	0.07	0.07	-0.03	0.73	1.00					
Bi	0.44	0.33	0.73	0.51	0.49	0.04	-0.003	1.00				
W	0.78	0.40	0.83	0.36	0.49	0.03	0.07	0.60	1.00			
Mo	0.11	0.26	0.04	0.24	0.14	0.51	0.21	0.06	-0.04	1.00		
Sn	0.10	0.13	0.36	0.43	0.28	-0.01	-0.02	0.72	0.23	0.03	1.00	
Hg	0.59	0.44	0.79	0.44	0.49	0.17	0.21	0.78	0.80	0.06	0.47	1.00

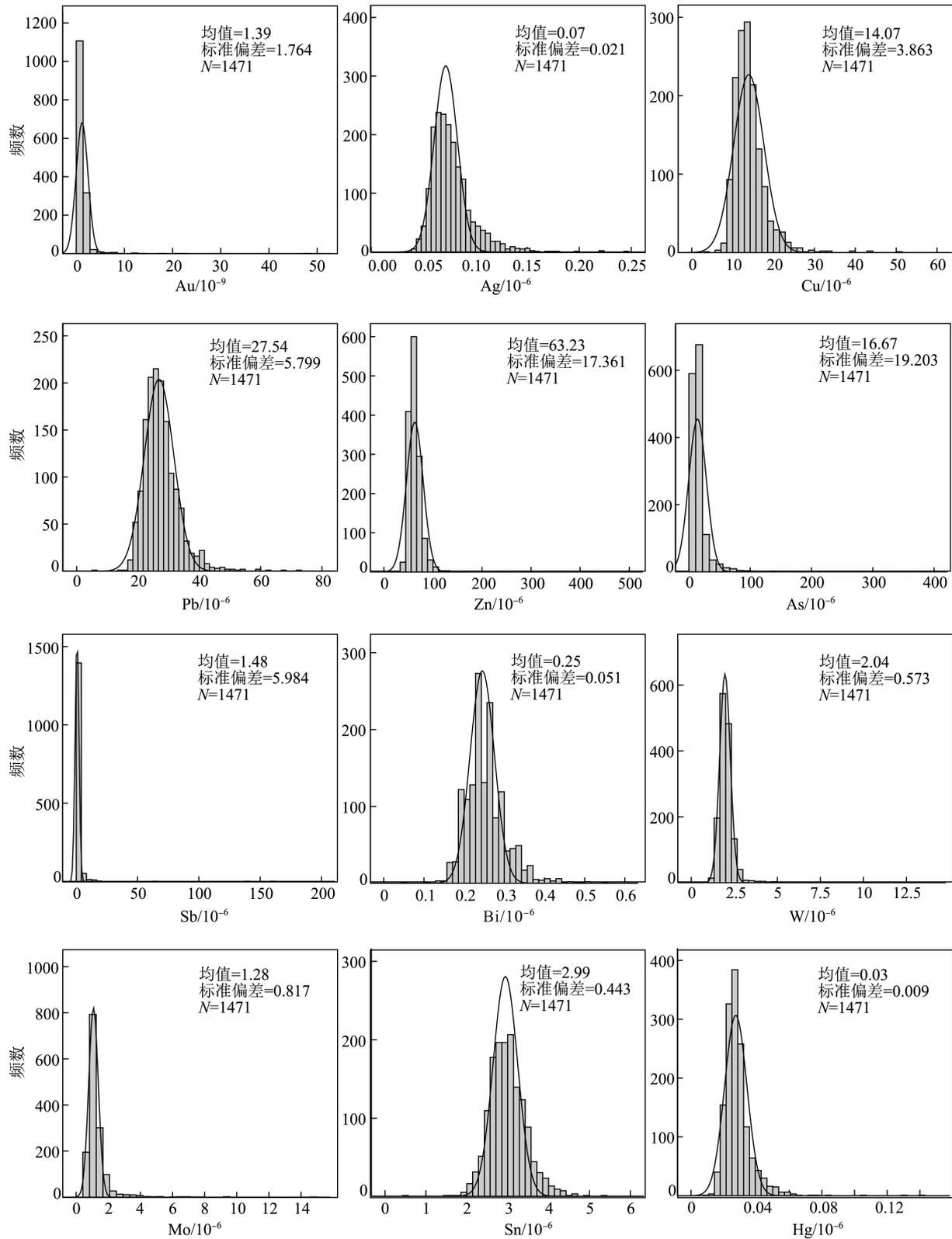


图 2 六块地南元素丰度直方图

Fig. 2 Histograms of element abundance of the Liukuaidi South

过相关性分析,可以判断研究区内 2 个或多个元素间密切程度的大小,相关系数越接近 1,表明 2 个元素的关联性就越强(李申等,2018)。由表 2 可知,该区 W 与 Cu、Hg 相关性最密切,相关系数分别为 0.83、0.80,呈显著正相关。此外,Au 与 Cu、Zn、W、Hg,As 与 Sb,Bi 与 Sn 相关性也较好。这些相关关系有助于进一步了解元素间的共生组合规律和区域成矿特点(杨龙坤等,2015)。

R 型聚类分析通过对变量进行分类处理,揭示元素在成晕成矿过程中的聚合趋势、成因联系,从而了解元素及元素组合之间的亲疏关系(于俊博等,2014)。从 R 型聚类分析图(图 3)可知,在 $R=12.5$ 的相关水平上,研究区土壤地球化学元素可分为 4 个元素组合。第一个为 Cu、W、Hg、Au、Zn 元素组合;第二个为 Bi 与 Sn 元素组合;第三个为 As 和 Sb 元素组合;第四个为 Ag、Pb、Mo 元素组合。

3.3.2 因子分析

在 SPSS 软件中对研究区原始分析数据标准化处理后进行因子分析(肖霞等,2016),得到 Bartlett 球度检验和 KMO 检验分析结果,Bartlett 球度检验统计量为 13346.977,KMO 检验值为 0.792,在自由度为 66 的条件下,概率 P 值为 0,适合做因子分析。在因子分析时选择特征值大于 1 的组合,根据变量与公因子之间相关性系数大于 0.55 提取了前 4 个主要因子(表 3),得出旋转前后的因子载荷矩阵(表 4)。

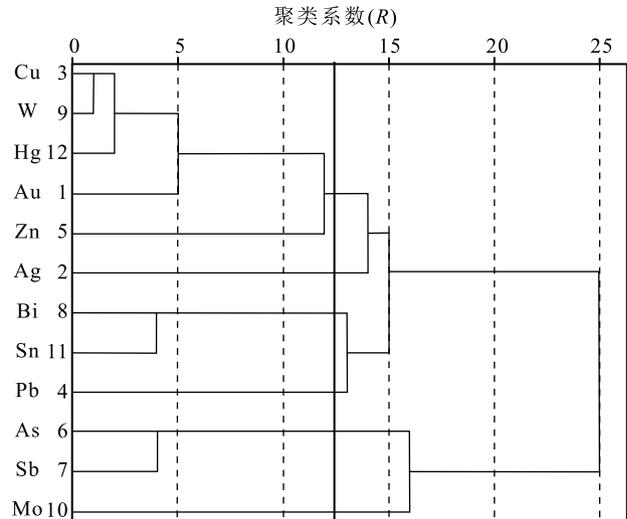


图 3 六块地南土壤地球化学元素聚类分析谱系图

Fig. 3 Cluster analysis of soil geochemical elements of the Liukuaidi South

F1 因子方差贡献率为 31.291%,元素组合为 Au-Cu-Zn-W-Hg。其中,Au 和 W 关系最密切,W 为高温元素,代表了成矿阶段受到高温岩浆热液的影响,形成过程较复杂(吴彦彬,2021)。Cu-Zn-Hg 属中温成矿带元素组合,反映了由中低温热液控制的铜矿床形成的成矿元素组合,并在有利部位可形成矿产;F2 因子方差贡献率为 18.046%,元素组合为 Bi-Sn。其中,Bi、Sn 相关系数达 0.72,代表

表 3 因子分析总方差解释

Table 3 Factor analysis of the total variance interpretation table

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差的%	累积%	合计	方差的%	累积%	合计	方差的%	累积%
1	5.124	42.698	42.698	5.124	42.698	42.698	3.755	31.291	31.291
2	2.051	17.091	59.789	2.051	17.091	59.789	2.166	18.046	49.337
3	1.254	10.448	70.237	1.254	10.448	70.237	1.814	15.118	64.455
4	1.043	8.689	78.926	1.043	8.689	78.926	1.737	14.471	78.926
5	0.667	5.558	84.484						
6	0.546	4.553	89.037						
7	0.451	3.758	92.795						
8	0.263	2.191	94.986						
9	0.236	1.968	96.954						
10	0.144	1.198	98.152						
11	0.134	1.114	99.266						
12	0.088	0.734	100.00						

表 4 旋转前后的因子载荷矩阵

Table 4 Factor load matrix before and after rotation

元素	旋转后的成分矩阵因子				元素	旋转前的成分矩阵因子			
	成分					成分			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Au	0.854	-0.042	-0.007	0.154	Au	0.714	-0.102	-0.482	-0.043
Ag	0.447	0.046	0.054	0.665	Ag	0.613	0.252	-0.105	-0.445
Cu	0.852	0.321	0.055	0.169	Cu	0.899	-0.107	-0.186	0.073
Pb	0.236	0.511	0.020	0.568	Pb	0.631	0.137	0.376	-0.285
Zn	0.528	0.244	-0.139	0.474	Zn	0.686	-0.052	-0.011	-0.330
As	0.027	-0.013	0.863	0.378	As	0.240	0.900	-0.003	0.144
Sb	0.064	0.010	0.943	-0.035	Sb	0.148	0.766	-0.076	0.528
Bi	0.532	0.769	-0.012	0.102	Bi	0.829	-0.212	0.349	0.175
W	0.934	0.170	0.018	0.018	W	0.836	-0.197	-0.378	0.144
Mo	-0.117	-0.017	0.344	0.730	Mo	0.186	0.652	0.154	-0.426
Sn	0.071	0.940	-0.021	0.040	Sn	0.521	-0.186	0.734	0.214
Hg	0.766	0.484	0.190	0.062	Hg	0.888	-0.055	-0.029	0.263

了高温成矿元素的富集过程;F3 因子方差贡献率为 15.118%,元素组合为 As-Sb,反映了该区中低温成矿元素发育及构造发育;F4 因子方差贡献率为 14.471%,元素组合为 Ag-Pb-Mo,Ag-Pb 相关性系数较好,反映中低温热液成矿元素富集矿化过程,同时伴生 Mo 矿化。

四组因子的累积方差贡献率为 78.926%,且各因子间方差贡献率收敛较快,反映了相对集中的元素信息(赵欣怡等,2020)。F1 因子特征值和方差贡献率均较大,且与 R 型聚类分析中的第一组相近,说明元素组合的客观存在,反映了物源一致性。

从以上分析可以看出,区内 Au、As、Sb 元素变异系数数值高,易富集成矿;由元素分布直方图可得,Sb 具有非常强的成矿潜力,Au、As、Zn 具有较强的成矿潜力;由相关性分析可知,Au 与 Cu、Zn、W、Hg,As 与 Sb,Bi 与 Sn 元素的相关性较好;聚类分析和因子分析表明,研究区成矿元素组合分别为 Au-Cu-Zn-W-Hg、Bi-Sn、As-Sb、Pb-Ag 和 Ag-Pb-Mo,其中 Au、As、Sb、Zn 可作为找矿指示元素。

4 地球化学异常分析

本文异常下限由剔除高值后的算术平均值加 2 倍标准差之和求得,实际取值时综合考虑了矿区地球化学特征及地质矿产特征。圈定异常按异常下

限 T 圈定,并利用 2 倍异常下限(2T)和 4 倍异常下限(4T)做单元素等值线及异常强度分级(表 5)(王建等,2019),共圈出单元素异常 113 个。其中,Au 元素 11 个,Ag 元素 18 个,Cu 元素 5 个,Pb 元素 10 个,Zn 元素 11 个,As 元素 11 个,Sb 元素 3 个,Bi 元素 10 个,W 元素 7 个,Mo 元素区 12 个,Sn 元素 5 个,Hg 元素 10 个。

为了更好地评价异常信息,笔者根据单元素异常的套合情况及元素共生组合规律,绘制出多元素综合异常图,分析综合异常特征(彭中山等,2014)。在圈定综合异常图时,遵循各元素综合异常齐全、异常强度高、单元素异常套合好、存在多点的中带或内带异常等原则(Ahrens,1954;袁和等,2017;董一博等,2019),共圈出 3 处综合异常(图 4)。

L-Ht-1 号综合异常位于测区东北部,为 Ag-As-Au-Cu-Hg-Mo-Sb-Bi-W-Zn 元素组合异常,异常套和一般,规模较大,强度中等,异常较好的元素分别为 As、Sb、Au。其中,As-1 为多点内带异常,异常面积大、衬度高,且该异常区最高值点 As 含量为 378×10^{-6} ,具有重要的找矿指示意义,可能与隐伏 Au 矿床有关;As-2、As-3 为多点中带异常,异常面积中等、衬度中等,具有一定的找矿指示意义。Sb-1 为多点内带异常,异常面积大、衬度高,且该异常区最高值点 Sb 含量为 159×10^{-6} ,具有重要的找矿

表 5 六块地土壤异常下限、异常强度分级及单元素异常个数

Table 5 Lower limit of soil anomaly, classification of anomaly intensity and number of single element anomaly in Liukuaidi

元素	异常下限 (T)	异常强度分级			单元素异常个数
		一级	二级	三级	
Au	2.12	2.12~4.24	4.24~8.48	>8.48	11
Ag	0.11	0.11~0.22	0.22~0.44	>0.44	18
Cu	19.58	19.58~39.16	39.16~78.32	>78.32	5
Pb	36.64	36.64~73.28	73.28~146.56	>146.56	10
Zn	82.28	82.28~164.56	164.56~329.12	>329.12	11
As	27.20	27.20~54.40	54.40~108.80	>108.80	11
Sb	2.96	2.96~5.92	5.92~11.84	>11.84	3
Bi	0.34	0.34~0.68	0.68~1.36	>1.36	10
W	2.60	2.60~5.20	5.20~10.40	>10.40	7
Mo	1.85	1.85~3.70	3.70~7.40	>7.40	12
Sn	3.80	3.80~7.60	7.60~15.20	>15.20	5
Hg	0.04	0.04~0.08	0.08~0.16	>0.16	10

注: Au 含量单位为 10^{-9} , 其余为 10^{-6}

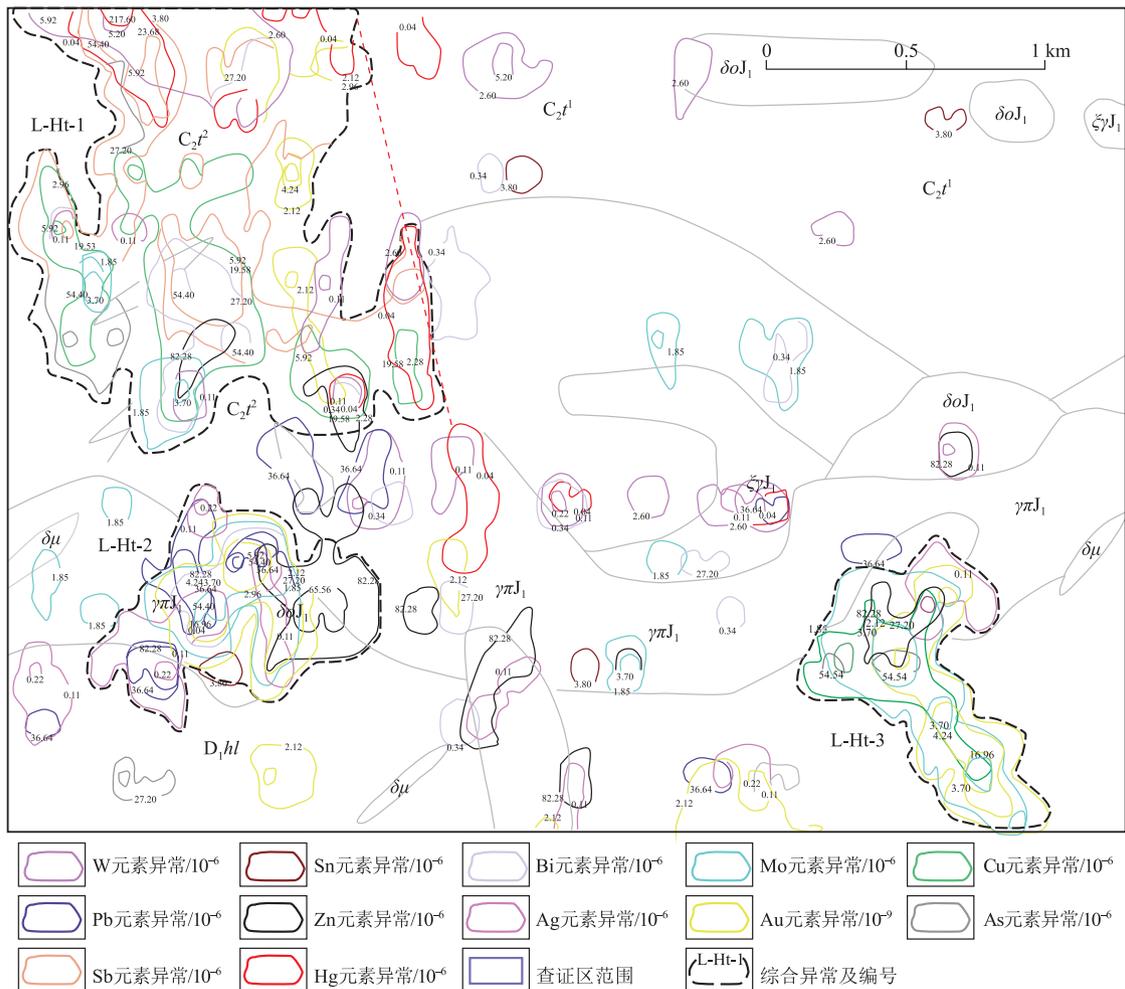


图 4 测区组合异常图

Fig. 4 The combination anomaly map of the survey area

C_2t^2 —唐家屯组上段; C_2t^1 —唐家屯组下段; D_1hl —黑龙宫组; $\gamma\pi J_1$ —花岗斑岩; $\xi\gamma J_1$ —正长花岗岩; $\delta\sigma J_1$ —石英闪长岩; $\delta\mu$ —闪长玢岩脉

指示意义,可作为找矿靶区;Sb-2 为多点中带异常,异常面积中等、衬度中等,可作为找矿远景区。Au-3 为多点内带异常,异常面积小、衬度高,可作为 Au 的重要找矿靶区;Au-4 为多点中带异常,找矿意义一般。Ag-3、Cu-1、Cu-2、W-1 及 Hg-1 为多点中带异常,Ag-3 异常面积较小,衬度中等,找矿意义较差;Cu-1 和 Cu-2 异常面积大、衬度中等,具有重要的找矿意义,是 Cu 的重要找矿靶区;W-1 和 Hg-1 异常面积中等、衬度中等,具有一定的找矿前景。Zn-3 为多点外带异常,找矿意义较差(图 5)。

L-Ht-2 号综合异常位于测区西南部,为 Ag-Au-Mo-Sb-Sn-W-Zn 元素组合异常,异常套和极好,规模中等,异常强度中等,异常较好的元素分别为 Au、Ag、As、Mo、Sb、Zn。其中,Au-5 为多点

内带异常,异常面积大、衬度高,具有重要的找矿意义,可作为 Au 的找矿靶区。Ag-6、Ag-13 为多点中带异常,Ag-6 异常面积较小、衬度较低,可作为找矿远景区,Ag-13 异常面积较大、衬度中等,具有一定的找矿意义,可作为 Ag 找矿靶区。As-5 为多点中带异常,异常面积中等、衬度中等,具有一定的找矿指示意义。Mo-7 为多点中带异常,异常面积大、衬度高,可作为 Mo 的找矿靶区。Sb-3 为多点中带异常,异常面积中等、衬度中等,可作为找矿远景区。Zn-6 为多点中带异常,异常面积大、衬度高,且该异常区最高值点的 Zn 含量为 417.58×10^{-6} ,具有重要的找矿意义,因此该异常区可作为 Zn 的重要找矿靶区(图 6)。

L-Ht-3 号综合异常位于测区东南部,为 Ag-As-Au-Mo-Zn 元素组合异常,组合异常为乙类异

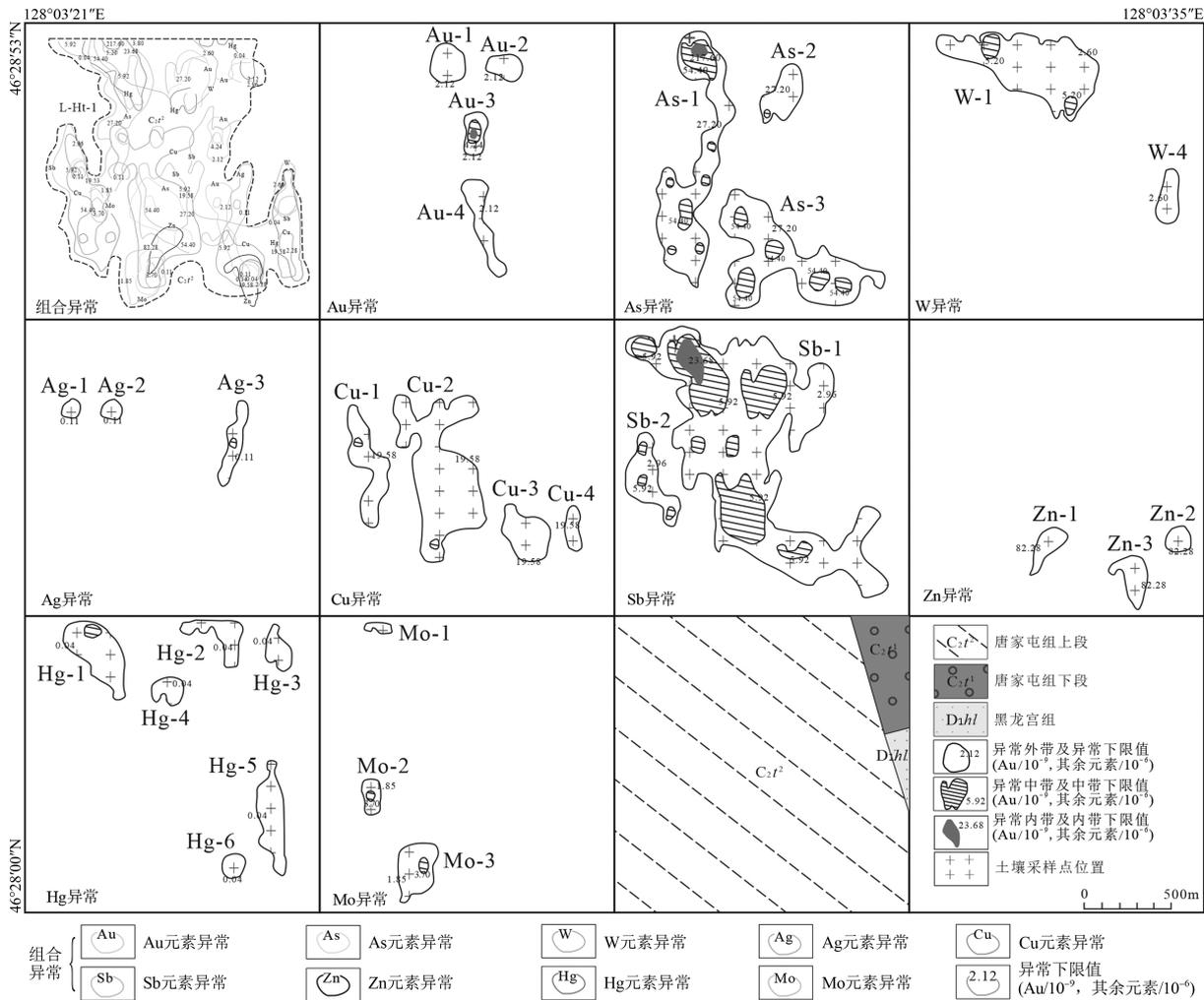


图 5 L-Ht-1 组合异常剖析图

Fig. 5 Analysis plots of the L-Ht-1 combined abnormalities

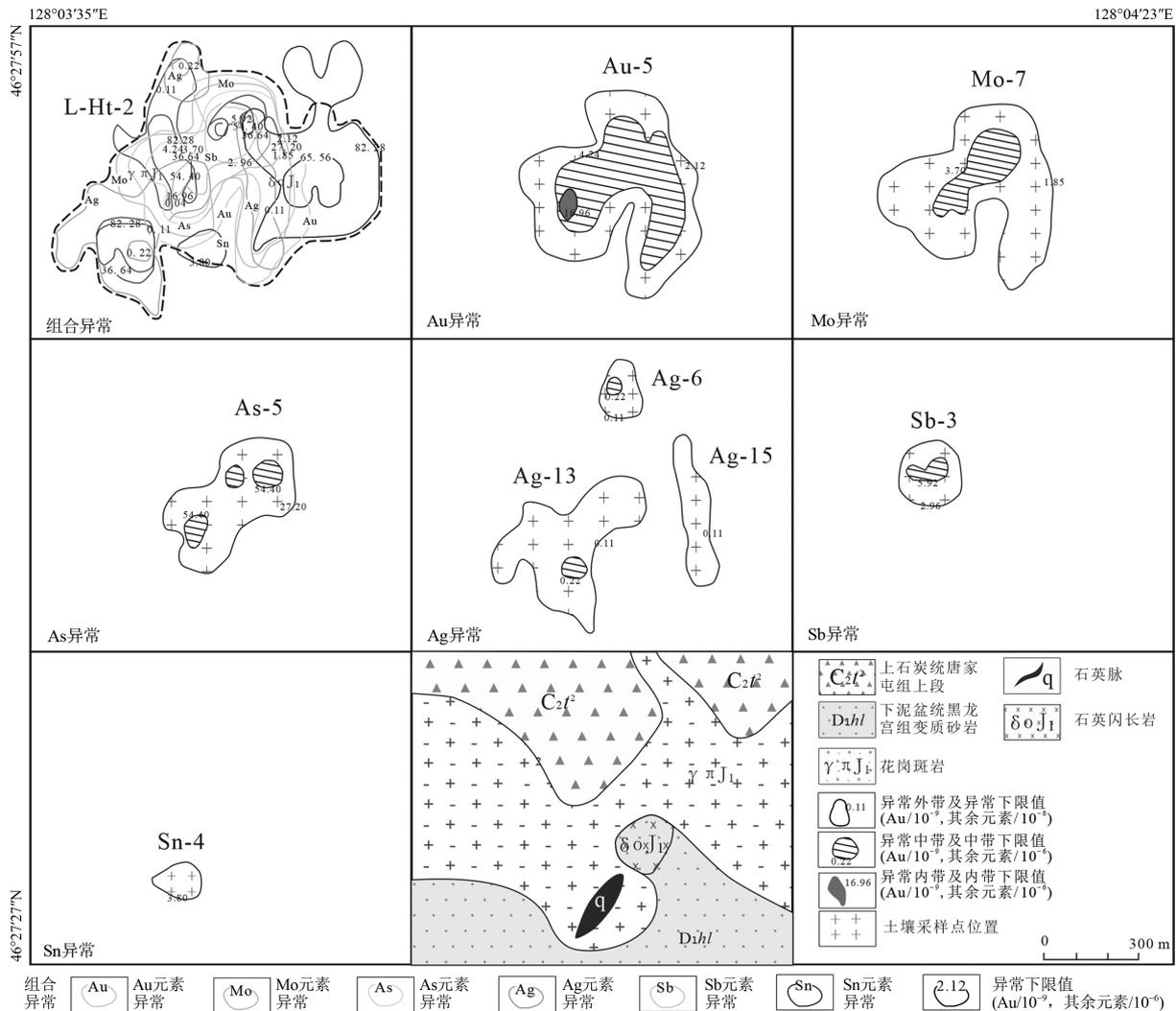


图6 L-Ht-2组合异常剖析图

Fig. 6 Analysis plots of the L-Ht-2 combined abnormalities

常,异常套和较好,规模中等,异常强度中等。异常较好的元素分别为 Au、As、Mo。其中,Au-7 为多点内带异常,异常面积大、衬度高,具有重要的找矿意义,可作为 Au 的找矿靶区。Mo-12 为多点中带异常,异常面积大、衬度值中等,具有较好的找矿前景,可作为 Mo 的找矿远景区。As-9 为多点中带异常,异常面积中等、衬度中等,具有一定的找矿指示意义。Ag-12 为多点中带异常,异常面积较大、衬度中等,具有一定的找矿意义。Zn-10 为多点外带异常,找矿意义较差(图7)。

综上所述,六块地南 Au、As、Sb 和 Zn 总体异常较好。其中 Au-5 和 Au-7 可作为 Au 的重要找矿靶区;区内 As 品位已达到矿化标准,具有重要的找矿指示意义,可能与隐伏金矿床有关;Sb 也已达到

矿化边界品位,找矿前景非常好;Zn 最高值点接近其边界品位,具有重要的找矿意义。因此,Au、As、Sb 和 Zn 在六块地南应作为第一找矿目标元素,开展地质找矿工作。

5 异常查证

5.1 槽探工程验证

六块地南工程验证采用探槽揭露的方式,共布设探槽 3 个。根据化学分析样品和原岩光谱样品的测试分析结果,发现了 1 个金矿(化)点和 1 个金-钼矿点。

(1)新村屯金矿点位于新村屯东北 372 高地南坡处 L-Ht-2 内,矿(化)体位于单元异常 Au-5 内带、Mo-7 中带和 As-5 中带内,由探槽 TC1 和探槽 TC3 控制(图 8)。工程验证结果表明,矿点内发

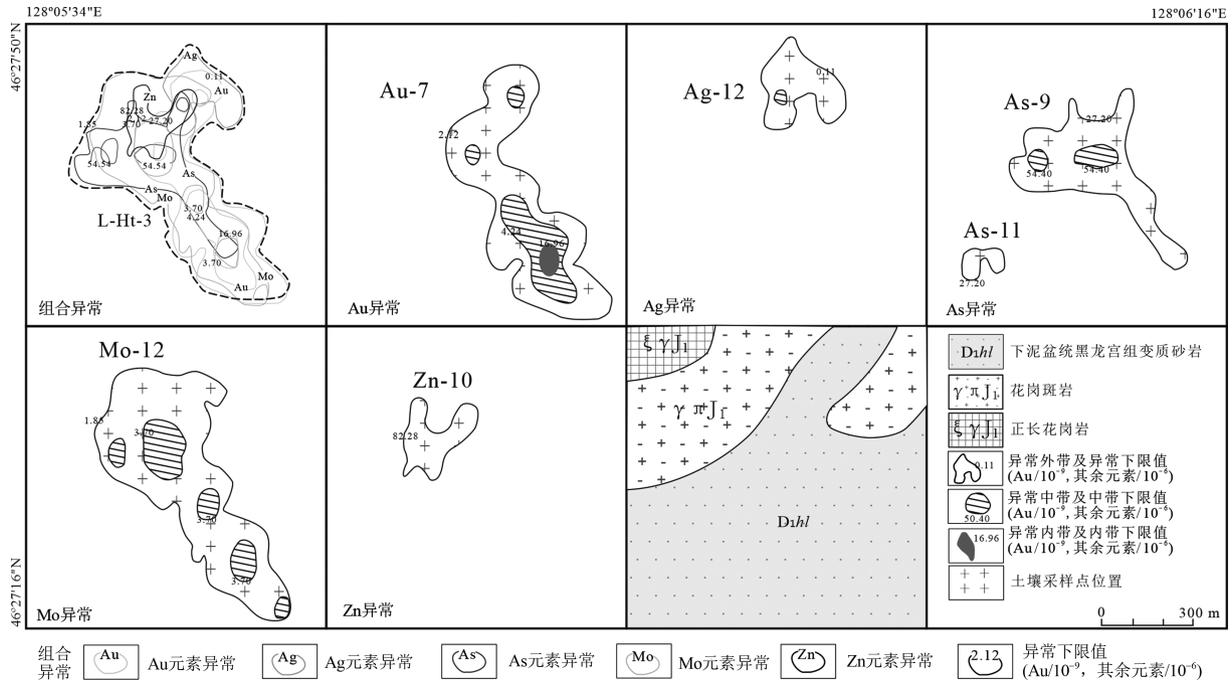


图 7 L-Ht-3 组合异常剖析图

Fig. 7 Analysis plots of the L-Ht-3 combined abnormalities

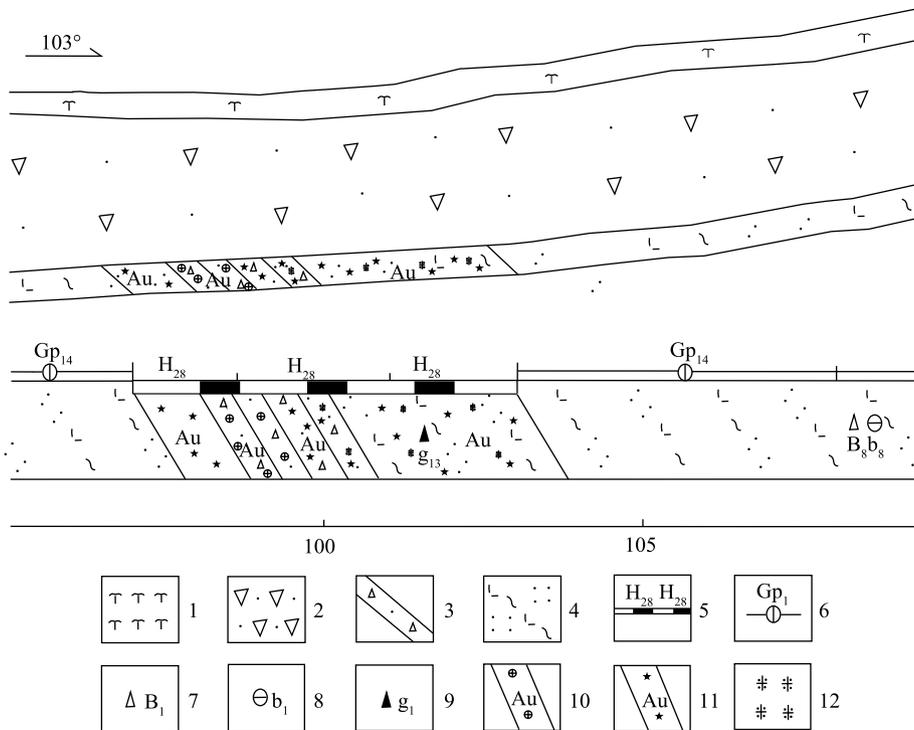


图 8 六块地南查证区 TC1 内金矿体素描图(部分)

Fig. 8 Sketch of Au orebody in TC1 of the Liukuaidi South inspection areas(part)

1—腐殖土层;2—残坡积层;3—破碎带;4—流纹质熔结凝灰岩;5—化学样取样位置及编号;6—原岩光谱取样位置及编号;
7—标本取样位置及编号;8—薄片取样位置及编号;9—光片取样位置及编号;10—矿体;11—矿化体;12—云英岩化

现矿体1条,矿体宽1 m,品位为 1.1629×10^{-6} ,矿化体6条,矿化体共宽11 m,品位 $0.30 \times 10^{-6} \sim 0.83 \times 10^{-6}$,均产于上石炭统唐家屯组(C_2t)流纹质熔结凝灰岩中,局部硅化、绿泥石化、碳酸盐化,硅化多呈石英细脉产出,产状不规则,局部岩石较破碎,矿化体的形成与岩浆热液活动有关。矿点土壤化探结果显示,Au具有内带异常,面积大、衬度高,具有较高的异常值。通过探槽揭露,地表均发现金矿体和矿化体,矿(化)体较连续,地质、地球化学成矿条件优越,有进一步找矿潜力(邵军等,2004;马晓阳,2006)。

(2)东胜三队金矿点位于东胜三队东北3 km处L-Ht-3内,矿(化)体位于单元异常Au-7内带和Mo-12中带,由探槽TC2控制(图9)。矿点内发现矿体1条,矿体宽1 m,品位为 1.3147×10^{-6} ,矿化体2条,共宽4 m,矿化体品位为 $0.31 \times 10^{-6} \sim 0.70 \times 10^{-6}$ 。矿(化)体产于下泥盆统黑龙江组(D_1hl)变质岩内,岩石局部硅化、绢云母化,硅化多呈石英细脉产出,产状不规则,局部存在构造破碎带,其成矿作用与岩浆期后热液、断裂构造有关。矿点土壤化探结果显示,Au具有内带异常,面积大、衬度高,Mo有异常显示但达不到矿化标准。经探槽揭露地表发现金矿体和矿化体,矿(化)体较连续,地质、地球化学成矿条件优越,有进一步找矿潜力。

5.2 找矿潜力评价

从地质背景、构造环境、蚀变矿化、化探等方面

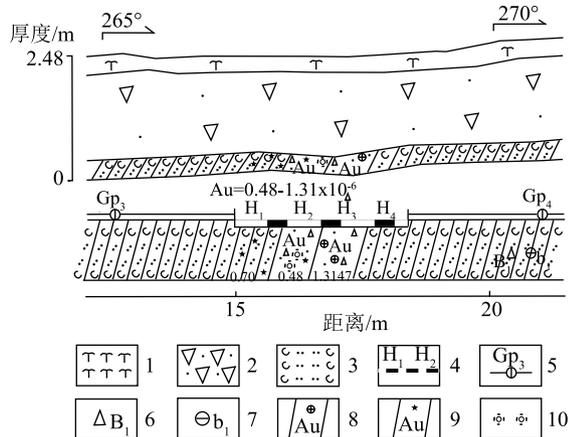


图9 六块地南查证区TC2内金矿体素描图(部分)

Fig. 9 Sketch of Au orebody in TC2 of the Liukuaidi South inspection areas(part)

1—腐殖土层;2—残坡积层;3—流纹质熔结凝灰岩;4—化学样取样位置及编号;5—原岩光谱取样位置及编号;6—标本取样位置及编号;7—薄片取样位置及编号;8—矿体;9—矿化体;10—硅化

综合分析区内2处矿点,得出矿床成因应属于岩浆晚期热液型矿床(孙景贵等,2012;刘亚洲等,2018)。矿体的形成与早侏罗世岩浆活动关系密切相关,成矿物质来源于岩浆热液,并通过断裂构造对先存地层中的有用组分进行活化、迁移,最后在有利部位富集成矿。

(1)地质背景:研究区内大面积出露的地层为上石炭统唐家屯组(C_2t)火山岩和下泥盆统黑龙江组(D_1hl)变质岩。主要岩性为流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、英安岩、安山岩、英安质熔结凝灰岩、钙质粉砂岩、变质细砂岩、炭质板岩等。出露的侵入岩主要为早侏罗世石英正长岩(ϵ_0J_1)和正长花岗岩(ϵ_7J_1)。正长花岗岩内黄铁矿化、硅化较发育,内部发育多个破碎带。

(2)构造环境:研究区位于小兴安岭—内蒙地槽褶皱区(I级)、小兴安岭—张广才岭岩浆弧(I-3)、伊春—延寿岩浆弧(I-3-3)。断裂构造较发育,层间脆弱,易受应力而产生层间断裂构造,为矿液运移和赋存提供空间。地层和岩体间接触带较多,岩浆活动和构造叠加作用较强烈,对成矿作用很有利。

(3)蚀变矿化:通过探槽工程验证,在六块地南372高地TC1中发现一条金矿体,品位为 1.16×10^{-6} ,金矿化体5条,品位为 $0.30 \times 10^{-6} \sim 0.83 \times 10^{-6}$;在TC2中发现金矿体1条,Au矿体品位为 1.3147×10^{-6} ,金矿化体2条,Au矿(化)体品位为 $0.31 \times 10^{-6} \sim 0.70 \times 10^{-6}$,多处存在铜矿化,品位为 $0.01\% \sim 0.013\%$ 。

(4)化探:区内发育16Hs-18水系异常。16Hs-18组合异常由Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo、W、Hg共11个元素48个异常组成,异常局部套合好,面积和规模较大,其中Au-23、Au-24、Au-27、Au-31、Au-42、As-6、Sb-6、Sb-8异常为中带,其他异常为外带。1:2万土壤地球化学测量显示,Au、As、Sb等元素异常套合较好,具有一定的浓集中心,是有利的成矿元素。异常区最高值点Zn的含量为 417.58×10^{-6} ,接近Zn的边界品位,具有重要的找矿意义。

综上所述,该区成矿地质、地球化学条件优越,应进一步加大勘查力度,有望发现具有工业价值的金、铜、锑和锌矿床。

6 结论

(1)六块地南1:2万土壤地球化学测量数据

和统计分析结果表明,区内 Au、As、Sb 元素浓集系数和变异系数值高,分布范围广,地质及地球化学条件优越,Zn 元素标准偏差为 17.33,呈非正态分布,成矿潜力较强,局部富集的可能性较大。Au、As、Sb、Zn 元素易富集成矿。

(2) 研究区共圈出单元元素异常 113 处,组合异常 3 处。其中 L-Ht-2 号和 L-Ht-3 号综合异常强度高、规模大,具有重要的找矿意义。开展了槽探工程验证,发现金矿体 2 条,品位为 $1.16 \times 10^{-6} \sim 1.31 \times 10^{-6}$,金矿化体 7 条,品位为 $0.30 \times 10^{-6} \sim 0.83 \times 10^{-6}$;多处具有钼矿化显示。

(3) 测区主攻矿种为金和锌,Au 元素主要找矿靶区为 Au-5 和 Au-7 异常区,Zn 元素主要找矿靶区为 Zn-6 异常区。工作区划分的远景区已发现具有一定规模的金、钼等矿(化)体、矿化线索,显示该区具有进一步找矿工作潜力。

参考文献

Ahrens L H. The lognormal distribution of the elements: a fundamental law of geochemistry and its subsidiary[J]. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1954, 5: 49-73.

Zhang G B, Yang Y C, Ye J W, et al. Geology, geochemistry, and genesis of the hot-spring-type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, Northeast China[J]. *International Geology Review*, 2013, 55(4): 482-495.

Zuo R G, Wang J. Fractal/multifractal modeling of geochemical data: A review[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2016, 164: 33-41.

蔡朝阳, 韩秀梅, 吴国学, 等. 统计分析软件 SPSS 在化探数据处理中的应用[J]. *矿床地质*, 2010, 29(S1): 635-636.

曹园园, 李新虎. 地球化学综合异常的圈定及找矿效果[J]. *物探与化探*, 2017, 41(1): 58-64.

陈会军, 付俊霞, 钱程, 等. 东北地区前中生代花岗岩类年龄与时空分布[J]. *地质通报*, 2021, 40(6): 827-844.

迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-148.

董一博, 焦建刚, 刘凯, 等. 土壤地球化学测量在南秦岭夏家店金矿刘家峡测区的应用[J]. *地质与勘探*, 2019, 55(3): 1202-1213.

高艳芳, 李俊英, 陈军威, 等. 地球化学勘查数据迭代处理的可视化及结果分析[J]. *物探与化探*, 2016, 40(5): 1021-1025.

高艳芳, 柳青青, 王玮, 等. 正态分布和对数变换在化探数据处理中存在问题的讨论[J]. *物探化探计算技术*, 2017, 39(3): 404-410.

蒋敬业, 程建萍, 祈世华, 等. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006: 1-340.

蒋永健, 魏俊浩, 周京仁, 等. 勘查地球化学新方法在矿产勘查中的应用及其地质效果[J]. *物探与化探*, 2010, 34(2): 134-138.

李飞. 博茨瓦纳弗朗西斯敦地区土壤地球化学特征及靶区优选[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2015.

李申, 赵润东, 宋岳庭, 等. 相关性分析、聚类分析、因子分析的可靠性对比——以嘎拉勒和躬琼左波两条剖面为例[J]. *地质与勘探*, 2018, 54(3): 574-583.

林强, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. *地质科学*, 1998, (2): 3-13.

刘亚洲, 申维, 李珊. 小兴安岭—张广才岭地区成矿金属元素分布特征及找矿靶区预测[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2018, 37(5): 922-931.

马晓阳. 我国东北森林沼泽区化探异常查证方法技术研究[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2006.

彭中山, 刘君. 西藏某铅多金属矿土壤地球化学特征及找矿[J]. *四川地质学报*, 2014, 34(3): 399-403.

邵军, 王世称, 张炯飞, 等. 大兴安岭原始森林覆盖区化探异常查证方法研究与实践[J]. *地质与勘探*, 2004, (2): 66-70.

史长义. 研究微量元素区域分散与富集规律的新方法[J]. *物探与化探*, 1994, (3): 219-227.

孙景贵, 张勇, 邢树文, 等. 兴安造山带东缘内生钼矿床的成因类型、成矿年代及成矿动力学背景[J]. *岩石学报*, 2012, 28(4): 1317-1332.

谭红艳. 黑龙江小兴安岭—张广才岭成矿带成矿系列及找矿远景评价[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2013.

王建, 朱立新, 马生明, 等. 冀北地区龙头山铅多金属矿床的发现及地物化综合找矿模型的建立[J]. *地质力学学报*, 2019, 25(1): 9-18.

王磊, 韩润生, 王加昇. 地球化学勘查的新技术及发展趋势[J]. *物探与化探*, 2015, 39(4): 686-690.

王秋印, 程华生, 朱梅花, 等. 土壤地球化学测量在内蒙古东乌旗查干楚鲁银铅锌多金属矿区的找矿效果[J]. *物探与化探*, 2009, 33(6): 652-656.

王子正, 唐菊兴, 郎新海. 土壤地球化学测量在隐伏矿体勘探中的应用[J]. *西部探矿工程*, 2007, (3): 92-95.

吴彦彬. 福建紫金山罗卜岭矿区土壤地球化学特征及找矿预测[D]. 桂林理工大学硕士学位论文, 2021.

肖霞, 倪师军, 白涛, 等. 西藏妥坝地区水系沉积物地球化学特征及找矿靶区[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2016, 35(3): 570-575.

杨龙坤, 罗先熔, 文美兰, 等. 地电提取测量法在黑龙江金厂外围区寻找隐伏金矿的应用[J]. *桂林理工大学学报*, 2015, 35(4): 809-816.

杨继权, 王秀琴, 刘殿生, 等. 黑龙江省大地构造单元划分及特征[J]. *世界地质*, 2007, (4): 426-434, 452.

尹志刚, 张志浩, 周小刚, 等. 黑龙江省木兰县双合屯地区晚古生代火山岩时代厘定及其对构造环境的约束[J]. *地质通报*, 2022, 41(12): 2146-2157.

于俊博, 宋云涛, 郭志娟, 等. R 型聚类分析在区域化探元素分组中的作用探讨[J]. *物探化探计算技术*, 2014, 36(6): 771-776.

袁和, 罗先熔, 李武毅, 等. 西藏邦卓玛地区土壤地球化学特征及找矿预测[J]. *地质与勘探*, 2017, 53(3): 472-481.

臧金生, 王东晓, 赵瑞强. 化探异常定量评价[J]. *物探与化探*, 2014, 38(6): 1114-1118.

赵欣怡, 罗先熔, 杨笑笑, 等. 河南洛宁石龙山金多金属矿预查区土壤地球化学特征及找矿远景分析[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2020, 39(4): 1-11.

张国宾, 杨言辰, 梁冰, 等. 黑龙江东部完达山地区水系沉积物地球化学特征及成矿预测[J]. *中国地质*, 2017, 44(3): 588-603.

中华人民共和国国土资源部. 地球化学普查规范(1:50000, DZ/T 0011-2015)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.