

岩屑地球化学测量在黑龙江省三道湾子浅覆盖区的找矿应用效果

张玉鹏¹, 史冬岩^{2,3,4}, 吕明奇¹, 李成禄^{1*}, 张坤², 唐伟¹

1. 黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨 150036;
2. 黑龙江省矿业集团有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150090;
3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;
4. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081



摘要:黑龙江省三道湾子地区是我国典型的浅覆盖区,也是重要的金多金属成矿集中区,区内已发现三道湾子、北大沟、纳金口子、340高地和三道湾子南山等10多处金矿床(点),找矿潜力巨大。区内开展了多次土壤地球化学测量工作,但尚未取得找矿突破。通过在研究区开展多种采样网度、粒级和层位的对比试验,确认了最佳的化探采样方法,即采用50 m×50 m网格化的岩屑地球化学测量技术方法。在对区内地球化学特征和元素共生组合特征等进行相关分析的基础上,结合区域成矿地质条件,圈定出综合异常30处,主成矿元素Au、Ag在有利构造部位强烈富集。通过异常查证,新发现金、银矿体12条,金矿体23条,并圈定出3个找矿远景区,找矿效果良好。研究表明:在三道湾子地区开展岩屑地球化学测量,能够快速、准确地圈定矿化蚀变范围,提高找矿效果,是行之有效的找矿方法,可为同类型森林沼泽地球化学景观区内找矿工作提供重要参考。

关键词:浅覆盖区;岩屑地球化学;异常查证;找矿远景区;三道湾子地区;黑龙江省

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2022)05-0651-13 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2022.05.173
引用格式:ZHANG Yupeng, SHI Dongyan, LV Mingqi, et al. Application Effect of Rock Debris Geochemical Survey in Prospecting in Sandaowanzi Shallow Overburden Area, Heilongjiang Province[J]. Gold Science and Technology, 2022, 30(5): 651-663. 张玉鹏, 史冬岩, 吕明奇, 等. 岩屑地球化学测量在黑龙江省三道湾子浅覆盖区的找矿应用效果[J]. 黄金科学技术, 2022, 30(5): 651-663.

三道湾子地区位于黑龙江省黑河市西北方向50 km处,属于典型的浅覆盖区,大地构造位置隶属于天山—兴蒙造山带东段(徐备等,2014)。研究区不同时代的构造叠加作用强烈。在中生代经历了古亚洲洋构造域向滨太平洋构造域的转化(邵帅等,2018),并受蒙古—鄂霍次克洋向南俯冲的长期影响(邵帅,2017;王超,2018)。复杂的构造转换过

程使区内发生强烈的陆相火山岩浆活动,沿NE向深大断裂带形成了高钾碱性系列中酸性火山岩,并伴有同源潜火山岩和花岗岩侵入,同期形成低温热液型金矿床和火山一次火山岩型金矿床(Gao et al., 2016, 2018; Kelley et al., 2020; Yu et al., 2021)。

作为典型的浅覆盖区,前人对三道湾子金矿外围进行了多次土壤地球化学测量工作(吕军等,

收稿日期:2021-11-31;修订日期:2022-05-29

基金项目:黑龙江省重点研发计划“黑龙江省大型二道坎银矿资源综合利用及成矿作用研究”(编号:GA21A204)、黑龙江三道湾子金矿有限公司科研项目“黑龙江省黑河市三道湾子岩金矿普查”(编号:2019—2020年度)和黑龙江省总工会职工创新补助资金项目(编号:2021-30)联合资助

作者简介:张玉鹏(1985-),男,河北邯郸人,高级工程师,从事地质矿产勘查工作。yupeng0310@163.com

*通信作者:李成禄(1984-),男,山东安丘人,正高级工程师,从事找矿综合研究工作。lcl230881@163.com

2005a; 史冬岩等, 2017), 并开展了多次工程验证。然而, 由于受采样介质和样品粒级等条件的限制, 获得的有用找矿信息不足, 地表找矿效果不理想, 未取得明显找矿突破。由于研究区土壤富含有机质, 强烈的淋溶作用极大地降低了区内土壤地球化学勘探的有效性, 通过在研究区开展多种采样网度、粒级和层位的对比试验(吕军等, 2005a; 蒋艳明, 2009; 史冬岩等, 2017, 2021), 认为岩屑地球化学测量方法可能是一种更加快速、有效的勘查手段。针对该问题, 本文开创性地在区内开展 50 m×50 m 网度的岩屑地球化学测量工作, 分析元素地球化学和共生组合特征, 并结合成矿地质条件, 圈定出综合异常。同时, 择优开展异常详细查证, 圈定理想矿体, 实现了新的找矿突破, 为下一步找矿工作提供了示范。

1 成矿地质条件

研究区大地构造位置处于兴安地块东北缘(史冬岩等, 2017), 属于大兴安岭成矿带的多宝山 Cu-Au-Mo-W-Fe 成矿亚带(吕军等, 2005b), 区域上分布有三道湾子、北大沟、上马厂、大平南山和永新等浅成低温热液型金矿, 成矿年龄介于 123.3~112.5 Ma(陈静等, 2011; 李成禄等, 2017; Gao et al., 2018; Yu et al., 2021)。

区域地层自古生界至新生界均有出露, 地层单元多且分布广(图 1)。古生界出露地层为奥陶—泥盆系海相火山—碎屑岩系, 包括多宝山组、裸河组、泥鳅河组和根里河组, 岩石普遍遭受大规模的浅变质作用; 中生界以陆相火山岩为主, 包括龙江组中性火山岩和光华组酸性火山岩, 是大兴安岭火山岩带的重要组成部分(杜兵盈等, 2019)。新生界主要为陆内河湖沉积, 包括孙吴组以及第四系阶地堆积物和河流堆积物。

区内出露侵入岩包括石炭纪、早侏罗世和早白垩世 3 期, 其中石炭纪侵入岩[锆石 U-Pb 年龄为 (309.6±2.9) Ma](牛延宏等, 2008) 主要分布在研究区西侧, 遭受大规模的糜棱岩化; 早侏罗世侵入岩为石英闪长岩—二长花岗岩组合, 呈 NE 向带状产出, 锆石 U-Pb 年龄为 193.9~183.0 Ma(王苏珊, 2017); 早白垩世侵入岩为二长花岗岩, 规模较小,

呈岩株和岩瘤等小岩体产出, 锆石 U-Pb 年龄为 124~115 Ma(王苏珊, 2017)。此外, 区内脉岩较发育, U-Pb 定年结果表明各类脉岩多数形成于 133~106 Ma(中基性脉岩形成时间为 116.4~109.6 Ma, 酸性脉岩形成时间为 114.9~112.6 Ma)(李阳, 2020)。早侏罗世侵入岩多为斑岩型铜铅矿床的直接赋矿围岩, 而早白垩世侵入活动与浅成低温热液型金矿化关系密切(史冬岩等, 2021)。

区内构造发育, 主要为 NE 和 NW 向构造, 控制着区内岩浆作用、沉积作用和成矿作用, 其中 NE 向构造为控矿构造, NW 向构造是导矿和容矿构造(吕军等, 2005b)。

2 岩屑测量工作方法

2.1 景观特征

研究区属于黑龙江森林沼泽区低山丘陵亚景观类型, 地理坐标: 126°59'04" E~127°07'34" E, 50°21'44" N~50°26'02" N, 全年平均气温为 -0.6 °C, 最高气温为 32 °C, 最低气温为 -43 °C, 平均年降水量为 514.8 mm, 无霜期 125 天。区内植被发育, 多为森林覆盖区, 以天然次生幼树林和灌木丛为主, 树木有松树、桦树和柞树等, 林下多被杂草所覆盖。本区属于岛状多年冻土区, 土壤较发育, 层位齐全, 为棕色针叶林土, 土壤 pH 值在 5.4~6.6 之间, 表层有机质含量较高, 可达 50~100 g/kg。地势较平缓, 水系不发育, 沟谷多为干沟(马晓阳, 2006)。

根据野外实地踏勘, 区内土壤垂直剖面可划分为 A、B、C 三层, 局部缺失 A 层和 B 层。A 层为灰黑色腐殖土, 植物根系发育, 富含有机质, 厚度为 0.1~0.3 m; B 层土壤呈褐黄色, 深度为 0.3~0.8 m, 以黏土为主, 含有少量碎石和碎屑; C 层为风化基岩层, 呈深黄色, 以岩石风化产生的碎屑为主, 含有少量黏土。在岩石风化和土壤形成过程中, 绝大多数元素发生明显的“均一化”, 导致土壤样品中元素含量差异低于基岩, 缩小了土壤元素异常和背景之间的差距, 减弱了土壤元素异常信息, 降低了土壤中元素异常的规模和强度(蒋艳明, 2009)。传统测网的土壤测量方法极易丢失找矿信息, 因此本研究将岩屑地球化学测量方法引入区内的金矿找矿工作中, 突出成矿元素和指示元素地球化学异常特征, 进而提

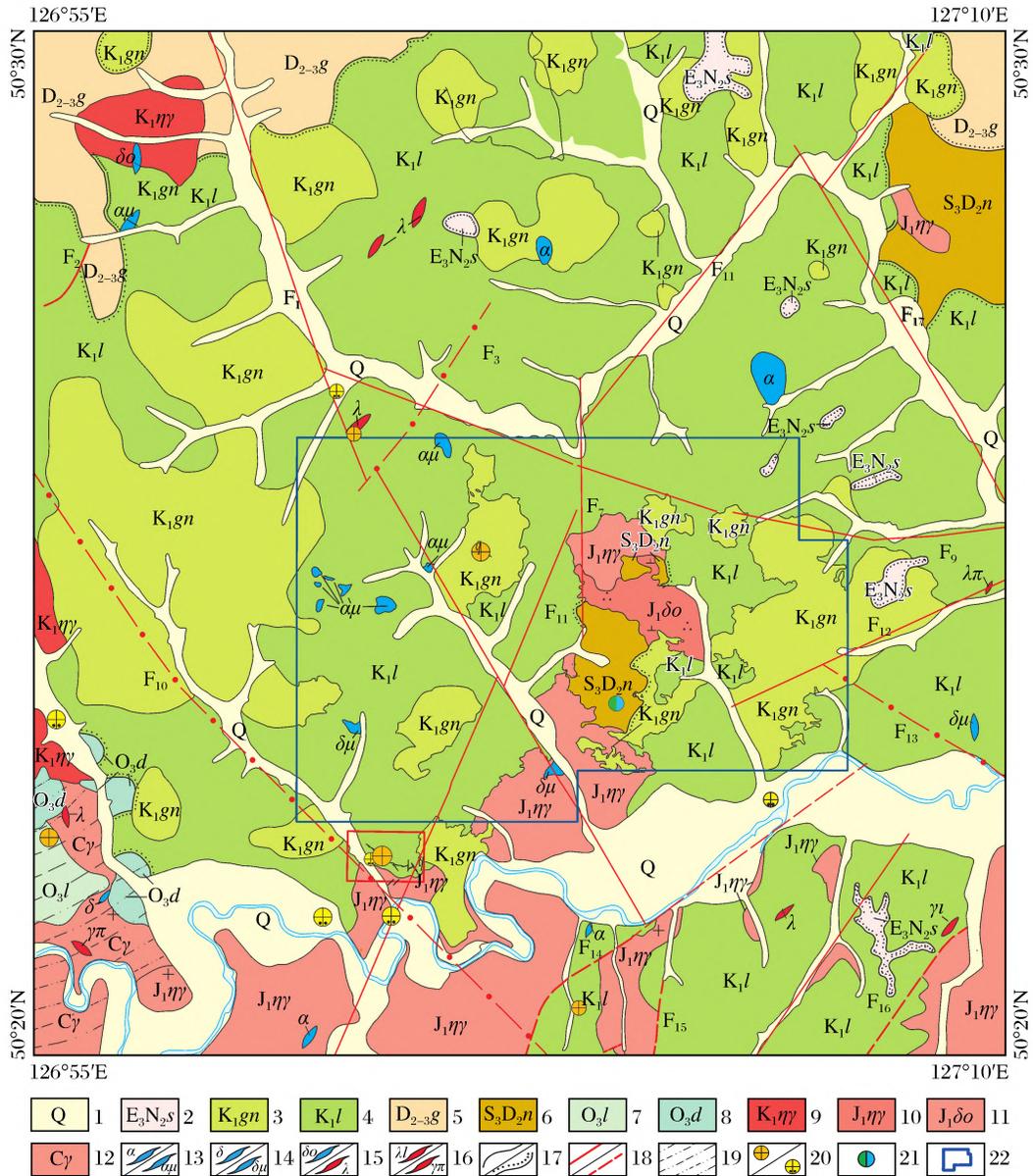


图1 黑龙江三道湾子地区区域地质图

Fig.1 Regional geological map of the Sandaowanzi area in Heilongjiang

1. 第四系堆积物; 2. 孙吴组; 3. 光华组; 4. 龙江组; 5. 根里河组; 6. 泥鳅河组; 7. 裸河组; 8. 多宝山组; 9. 早白垩世二长花岗岩; 10. 早侏罗世二长花岗岩; 11. 早侏罗世石英闪长岩; 12. 石炭纪花岗杂岩; 13. 安山岩脉/安山玢岩脉; 14. 闪长岩脉/闪长玢岩脉; 15. 石英闪长岩脉/流纹岩脉; 16. 花岗岩细晶岩脉/花岗斑岩脉; 17. 地质界线/不整合地质界线; 18. 实测/性质不明断层; 19. 糜棱岩化; 20. 岩金矿/砂金矿; 21. 铜钼矿点; 22. 研究区

高找矿效果(叶红刚等, 2014; 王明国等, 2014)。

2.2 研究方法

为了更有效地排除有机物的干扰, 基于以往类似景观区地球化学勘查方法技术研究成果和勘查效果, 采用 50 m×50 m 网度开展 67.6 km² 的岩屑地球化学测量, 采样部位为 C 层, 采样介质为残积物和岩屑, 密度为 400 个点/km², 样品的质量不少于

500 g。区内大部分地段采样深度为 0.6~1.0 m, 沟谷等覆盖较厚地段采用洛阳铲和浅钻取样, 采样深度为 1.0~1.8 m。将岩屑样品粗碎、中碎过 20 目筛, 混匀、缩分后采用玛瑙无污染样品加工机具研磨至 0.074 mm (200 目)。野外共采集样品 23 418 件(图 2), 完成质检点 1 445 个, 质检率达 6.19%。

样品测试工作由国土资源部哈尔滨矿产资源

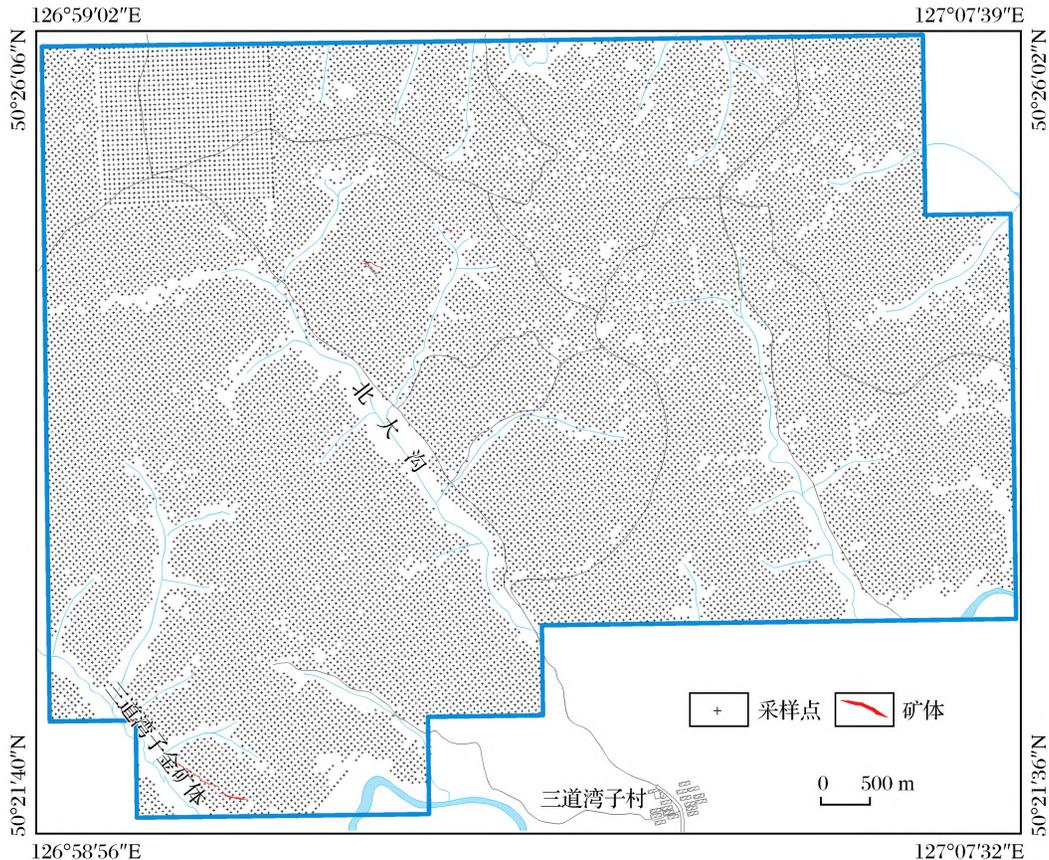


图2 黑龙江三道湾子地区岩屑地球化学测量采样点位图

Fig.2 Location map of sampling points for rock debris geochemical survey in the Sandaowanzi area in Heilongjiang

监督检测中心完成,分析元素为Ag、As、Au、Bi、Cu、Hg、Mo、Mn、Pb、Sb、Te、W和Zn共13种元素。分析方法包括化学光谱法(Au)、发射光谱法(Ag、Pb)、原子吸收法(Cu、Mn、Zn)、极谱法(W、Mo)和原子荧光法(As、Bi、Hg、Sb、Te)等。根据实验室内外质量控制,检出限全部达到规范要求,报出率均为100%,监控标准物质的合格率为100%,重复样合格率大于等于88%,其他各项技术指标均达到相关规范要求。

3 地球化学特征

3.1 元素参数统计

对区内22 882件样品的13种元素地球化学参数特征进行数理统计,并采用对数迭代剔除法计算异常下限,结果如表1所示。

由表1中的富集系数(Q)可知,区内Au、Sb、Mo、As、Bi、W、Pb和Ag元素富集,Cu元素基本持

平,Zn、Mn、Te和Hg元素弱贫化。其中,Au、Sb、Mo和As元素富集程度较高,属于强富集元素,区内成矿可能性大,这与区内的金矿点、铜钼矿点相吻合。由表1中的变异系数(C_v)可知,区内Au、Ag、Hg、Bi、W、Cu、Sb、Mo、As、Te和Pb元素为强分异型,Mn和Zn元素为弱分异型。其中,Au、Ag和Hg元素变异系数靠前,属于极强分异型,在区内分布极不均匀,富集成矿的可能性较大。区内Au元素富集系数大,分异能力强,确定Au为本区主成矿元素,以找金为主。

3.2 元素组合特征

元素共生组合体现了元素的亲和性,其制约着地质作用中元素的地球化学行为,不同的元素组合特征反映了与不同地质成矿作用相关的地球化学信息(史冬岩等,2021)。

(1)因子分析。因子分析是一种多元统计方法,应用较为广泛,其将一些有错综复杂关系的因子(样品或变量)归结为数量较少的几个综合因子

表1 研究区各元素地球化学参数统计
Table 1 Statistics of geochemical parameters of elements in the study area

参数	Au	Ag	As	Bi	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Te	W	Zn
X	21.3	0.088	12.44	0.555	20.9	0.138	529.6	2.87	30.6	1.37	0.408	2.09	51.9
Max	30 843.0	103.00	868.0	135.00	930.0	30.400	18 400	255.00	2 025.0	184.00	16.10	64.00	507.0
Min	0.1	0.010	0.40	0.010	1.7	0.001	11	0.12	4.0	0.07	0.01	0.04	2.4
S	1 954.20	0.78	21.75	1.92	52.80	0.56	433.65	5.86	36.67	3.05	0.61	5.75	30.91
Cv	91.80	8.90	1.75	3.47	2.53	4.07	0.82	2.04	1.20	2.23	1.48	2.75	0.60
Q	23.66	1.60	5.18	3.70	0.80	0.02	0.65	5.74	2.04	7.58	0.07	3.48	0.68
T	8.9	0.144	41.90	1.320	35.5	0.280	1514.0	7.38	56.2	4.47	1.380	4.25	116.7

注: Au元素单位为 $\times 10^{-9}$,其他元素单位为 $\times 10^{-6}$; X表示均值; Max表示最大值; Min表示最小值; S表示标准离差; Cv表示变异系数; Q表示富集系数,即为X/大陆地壳丰度(迟清华等,2007); T表示异常下限

(丛源等,2012; Pison et al., 2003)。首先,对原始数据进行对数变换,降低数据中特高值的影响(Zhang et al., 2022),然后进行KMO和Bartlett球形度检验。区内KMO值为0.784,概率值为0,说明变量间具有较强的相关性,各变量间信息的重叠度较好,适合作因子分析。采用主成分分析方法进行R型因子分析,因正交旋转因子载荷矩阵比原始负载矩阵所反映的元素组合更具合理性和可解释性(Singer, 2001; 刘洪等, 2015),故采用正交旋转因子载荷矩阵(表2)来划分元素共生组合类型。在解释方差为68.53%的前提下,可以得到4个因子,结合区内成矿地质条件,对各因子解释如下:

F1因子具有高载荷的元素为Bi、Pb、Te和Mo,属于中高温元素组合,Pb和Te代表近矿晕元素组

合,Bi和Mo代表尾晕元素组合(王一大等,2015; 史冬岩,2017)。近矿晕与尾晕元素异常叠合,反映了区内岩浆活动和热液叠加改造等地质作用的特点。F2因子具有高载荷的元素为As、Sb和Hg,属于低温元素组合,为典型浅成低温热液作用的产物,区内次要地位的因子,是矿体的前缘晕元素(史冬岩,2017),与矿化关系极为密切。F3因子具有高载荷的元素为W、Au和Ag,属于低温成矿元素组合,区内主要地位的因子,与已知矿体完全吻合。F4因子具有高载荷的元素为Cu、Zn和Mn,属于中高温元素组合,Cu和Zn元素代表远端近矿元素组合,表现出典型的热液矿床中温元素特征; Mn元素与本区金成矿作用关系不大,反映了后期热液活动作用的产物。

表2 因子分析正交旋转因子载荷矩阵
Table 2 Orthogonal rotation factor loading matrix of factor analysis

因子	lgBi	lgPb	lgTe	lgMo	lgAs	lgSb	lgHg	lgW	lgAu	lgAg	lgCu	lgZn	lgMn	解释方差累计/%
F1	0.846	0.742	0.610	0.587	0.070	0.014	0.139	-0.061	0.144	0.290	0.194	-0.470	-0.501	20.20
F2	0.103	0.004	0.534	0.053	0.833	0.797	0.750	0.098	0.215	0.068	-0.013	-0.208	-0.244	38.30
F3	0.084	0.095	0.142	0.476	0.269	0.355	-0.142	0.808	0.723	0.640	0.106	-0.021	0.025	54.29
F4	-0.081	-0.057	-0.138	0.003	0.005	-0.060	-0.245	0.028	0.119	-0.017	0.856	0.758	0.661	68.53

注:因子分析提取方法为主成分分析法;旋转法是具有Kaiser标准化的正交旋转法(旋转在5次迭代后收敛)

因子分析正交旋转因子载荷(图3)表明,Au、Ag、W和As、Sb、Hg元素组合是低温热液在成矿有利构造部位的叠加富集,Mo、Bi尾晕元素与Cu、Pb近矿元素叠加,说明本区矿(化)体剥蚀程度一般,深部见矿可能性较大,Zn、Mn元素组合则与岩体、构造密切相关。

(2)R型聚类分析。R型聚类分析以各变量之

间的亲密程度为基础,对研究对象的观察变量进行分类(Li et al., 2016),将元素变量划分成不同级别的元素组合,选出更具代表性的元素组合进行分析。对区内13种元素进行R型聚类分析,得到聚类分析谱系图(图4)。

区内Au和Ag元素相关性最好,相关系数为0.858,其次为Cu和W,相关系数为0.847。在0.5的

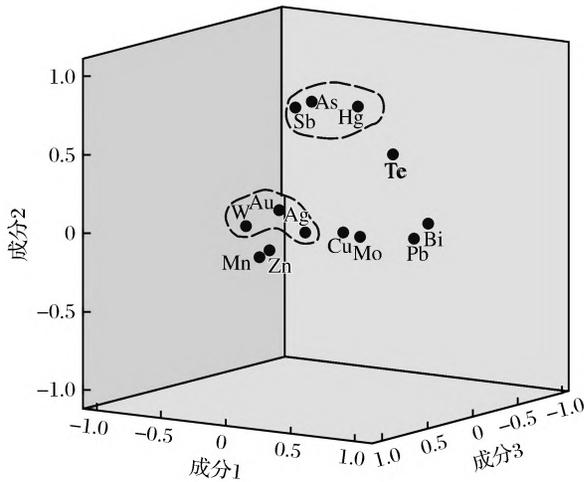


图3 正交旋转因子载荷

Fig.3 Orthogonal rotation factor loading

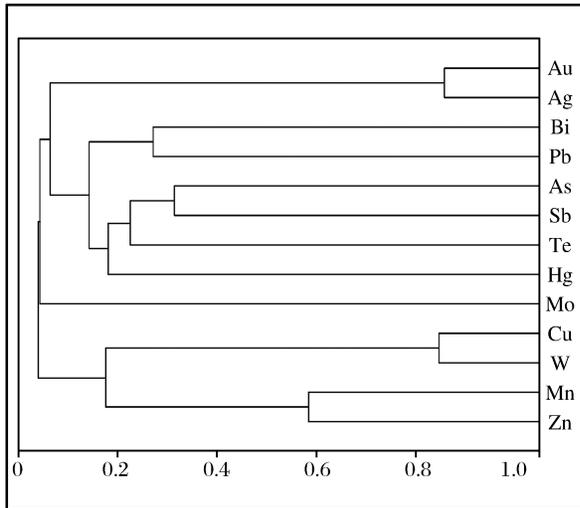


图4 R型聚类分析谱系

Fig.4 R-type cluster analysis pedigree

相似水平上,元素组合分为3簇: Au、Ag元素组合,与浅成低温热液活动有关,局部可能与后期构造热液活动叠加有关; Cu、W元素组合和 Mn、Zn元素组合,与中高温成矿热液活动有关,可能与酸性、中酸性岩浆及后期构造热活动有关,表明区内具有多期成矿的特点。

因子分析得到的因子变量与聚类分析的结果基本吻合,所得因子可以较好地反映区内元素组合特征,其因子得分图可以有效识别区域地质背景与矿化异常(Yang et al., 2016)。挑选与金相关性密切的F3绘制因子得分图(图5),显示F3得分较高的区域整体呈NW走向展布,局部出现串珠状高值

异常(史冬岩等, 2021),这些区域是寻找金矿(化)体的有利地段。

3.3 地球化学异常特征

根据各元素异常分布情况和相互关系,结合成矿地质背景,共圈定出以Au为主的综合异常30处(图5)。从面积、 Σ NAP、成矿元素、元素种数、异常个数和成矿地质条件等方面对综合异常进行评价,评序前十的综合异常(表3)面积较大, Σ NAP值高,元素种类全,多数为矿致异常,找矿前景较好。本文对区内筛选出的排名前3的综合异常进行解释推断。

(1)Ht-01综合异常:位于研究区西北部,呈不规则条带状,NW向展布,评序排第一,异常面积为5.641 km²,异常总规模为39.58。异常元素套合较好,主要由Au、Ag、As、Hg和W等元素组成。各单元素异常沿NW向成群带状展布,主成矿元素Au、Ag及指示元素As、Hg的异常衬度高、规模大,元素套合性好,浓集中心明显,浓度分带清晰。Ht-01异常有北部、中部和南部3个浓集中心。北部以Au、Ag、W和Hg为主,其中Au-64面积为0.018 km²,极大值为1 460.5×10⁻⁹,衬度为39.21,规模为0.70; Ag-39面积为0.133 km²,极大值为15.85×10⁻⁶,衬度为4.05,规模为0.54; W-21面积为0.01 km²,极大值为553.08×10⁻⁶,衬度为13.01,规模为0.78; Hg-4面积为0.013 km²,极大值为4.862×10⁻⁶,衬度为12.6,规模为0.16。中部以Au、Ag和As为主,其中Au-74面积为0.297 km²,极大值为1 046×10⁻⁹,衬度为8.15,规模为2.42; Ag-32面积为0.099 km²,极大值为2.0×10⁻⁶,衬度为2.27,规模为0.23; W-14面积为1.84 km²,极大值为169.89×10⁻⁶,衬度为2.11,规模为3.87; Mo-64面积为0.013 km²,极大值为136×10⁻⁶,衬度为9.8,规模为0.12。南部以Au、Ag和As为主,其中Au-134面积为0.621 km²,极大值为296 368×10⁻⁹,衬度为20.8,规模为12.9; Ag-96面积为0.141 km²,极大值为103×10⁻⁶,衬度为19.89,规模为2.80; As-96面积为0.86 km²,极大值为633×10⁻⁶,衬度为2.69,规模为2.32。区内金异常高值均由矿体引起,元素异常浓度分带清晰,规模大,强度高。

异常区出露有龙江组和光华组,岩性为安山岩、安山玢岩和英安岩等;区内有NW向北大沟断裂横穿而过,断裂破碎带中可见青磐岩化、黏土化、

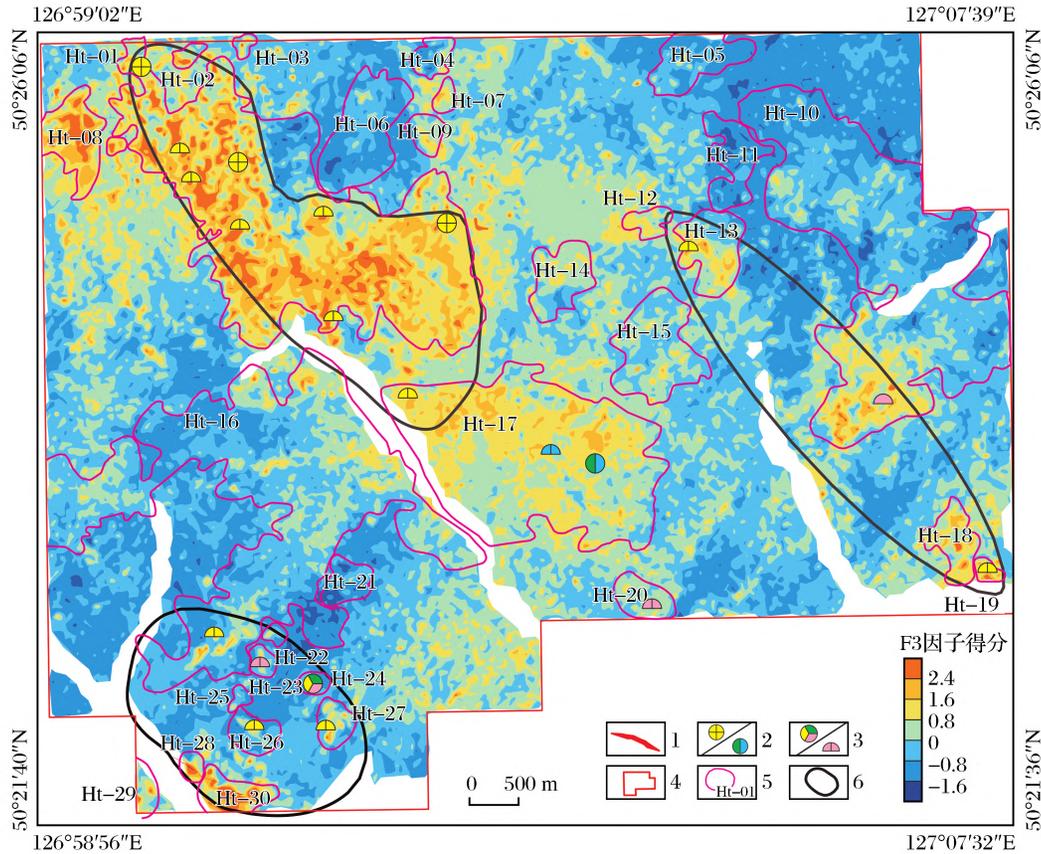


图5 黑龙江三道湾子地区F3因子得分及地球化学综合异常图

Fig.5 F3 factor score and geochemical comprehensive anomaly map in the Sandaowanzi area in Heilongjiang

1. 金矿体; 2. 金矿点/铜钼矿点; 3. 金银铜矿点/金银矿点; 4. 综合异常; 5. 远景区

表3 地球化学综合异常评序结果

Table 3 Evaluation results of geochemical comprehensive anomaly

编号	面积/km ²	ΣNAP	主成矿元素	种数	异常数	成矿条件	序次	评价
Ht-01	5.641	39.58	Au、Ag、As、Hg、W	13	368	极有利	1	矿体引起的异常
Ht-16	5.918	20.77	Au、Ag、As、Sb、Bi	12	297	极有利	2	热液(蚀变)引起的异常
Ht-10	5.002	19.71	Hg、Te、Bi、As、Sb	11	202	极有利	3	热液(蚀变)引起的异常
Ht-17	3.804	13.69	Au、Mo、Cu、Pb	10	116	较有利	4	矿体引起的异常
Ht-13	0.410	2.19	Au、Bi、Ag、Sb	9	30	极有利	5	矿体引起的异常
Ht-15	0.751	2.07	Ag、Pb、Zn、Bi、Cu	9	50	有利	6	异常成因不明
Ht-27	0.139	3.27	Au、Ag、Sb、Pb、Bi	9	18	极有利	7	矿体引起的异常
Ht-06	0.721	1.12	Sb、Hg、Au、As、Pb	10	37	有利	8	异常成因不明
Ht-26	0.163	2.29	Ag、Pb、Hg、Sb、As	7	13	极有利	9	蚀变矿化引起异常
Ht-30	0.251	2.07	Au、Ag、Sb、Cu、W	7	20	极有利	10	矿体引起的异常

硅化和碳酸盐化等蚀变现象。Ht-01异常以中低温元素为主,推测与中酸性火山岩地层叠加后期构造作用有关,而伴生的W、Mo和Bi等高温元素为晚期岩浆侵入活动的产物,推测与深部隐伏的岩浆热

液侵位有关,显示该区具有多期次地球化学成矿作用条件;异常成矿地质条件极为有利,是找寻低温热液型金矿的有利部位。深部可能存在隐伏矿体,应作为重点勘查区开展找矿评价。

(2)Ht-16综合异常:位于研究区中部偏西侧,呈不规则凹状,评序排第二,面积为 5.918 km^2 ,异常总规模为20.77。元素套合程度高,主要由Au、Ag、As、Sb和Bi等元素组成。HT-16异常有东南部和西北部2个浓集中心。东南部以Au、Ag、Bi和Pb元素为主,其中Ag-95面积为 0.2376 km^2 ,极大值为 7.1×10^{-6} ,衬度为4.56,规模为1.084;Au-287面积为 0.0265 km^2 ,极大值为 440×10^{-9} ,衬度为2.81,规模为0.746;Bi-159面积为 0.32 km^2 ,极大值为 90.9×10^{-6} ,衬度为7.14,规模为2.28;Pb-114面积为 0.462 km^2 ,极大值为 388×10^{-6} ,衬度为1.8,规模为0.83;Te-53面积为 0.209 km^2 ,极大值为 12.5×10^{-6} ,衬度为1.75,规模为0.367;Hg-196面积为 0.126 km^2 ,极大值为 18.6×10^{-6} ,衬度为1.85,规模为0.237;Sb-140面积为 0.266 km^2 ,极大值为 52.9×10^{-6} ,衬度为3.25,规模为0.86。西北部以Pb、Bi、Hg和Te元素为主,其中Bi-88面积为 0.438 km^2 ,极大值为 12.18×10^{-6} ,衬度为2.32,规模为1.014;Te-84面积为 0.166 km^2 ,极大值为 6.36×10^{-6} ,衬度为1.57,规模为0.261;Hg-175面积为 0.067 km^2 ,极大值为 4.24×10^{-6} ,衬度为3.33,规模为0.224;Pb-75面积为 0.162 km^2 ,极大值为 229×10^{-6} ,衬度为1.49,规模为0.24。

异常区出露有龙江组安山岩和光华组英安岩,发育脉岩,多见有黄铁矿化、硅化和黏土化等蚀变现象。Ht-16以中低温元素为主,推测与中性火山岩地层叠加后期酸性火山活动有关。从异常查证结果来看,在龙江组和光华组接触带附近发现了矿体和矿化体,为矿致异常,地下浅部是找寻低温热液(蚀变)型金矿的有利部位,应作为区内下一步找矿工作的重点。

(3)Ht-10综合异常:位于研究区东北部,呈不规则L形,略呈NW向展布,评序排第三,面积为 5.002 km^2 ,异常总规模为19.71。元素套合较好,主要由Hg、Te、Bi、As和Sb等元素组成。其中,Hg-52面积为 1.664 km^2 ,极大值为 9.19×10^{-6} ,衬度为3.63,规模为6.044;Hg-138面积为 0.633 km^2 ,极大值为 12.0×10^{-6} ,衬度为3.48,规模为2.202;Bi-53面积为 1.292 km^2 ,极大值为 17.70×10^{-6} ,衬度为2.21,规模为2.86;Te-37面积为 0.4801 km^2 ,极大值为 12.5×10^{-6} ,衬度为1.62,规模为0.77;As-37面积为 0.1605 km^2 ,极大值为 765.8×10^{-6} ,衬度为2.10,规模为0.3375;

Sb-35面积为 0.172 km^2 ,极大值为 44.9×10^{-6} ,衬度为1.99,规模为0.34。

异常区出露有龙江组安山岩和光华组英安岩,多见硅化、黏土矿化和黄铁矿化等蚀变现象。Ht-10异常以低温元素为主,推测与中酸性火山岩地层叠加后期构造作用有关,成矿地质条件有利,是找寻热液(蚀变)型金矿的有利部位,应作为区内今后找矿工作的重点。

4 异常查证

为验证岩屑地球化学测量的有效性和准确性,对区内重点异常开展了查证工作。依据异常评序结果,对重要综合异常以及Au、Ag单元素异常高值点进行了踏勘检查和工程查证(表4),进而选择Ht-26、Ht-24和Ht-01综合异常进行了详细查证。

Ht-26查证区(采矿区东北角):通过钻孔工程,新圈定出金银矿体13条,其中金银矿体4条,金矿体9条。I1号为富矿体[图6(a)],Au品位为 282.43×10^{-6} ,Ag品位为 $1\ 914.72\times 10^{-6}$,Te品位为 $1\ 164.28\times 10^{-6}$,见矿标高为-186 m,倾向上暂未封闭;I7号为低品位矿体[图6(b)],Au品位为 1.21×10^{-6} ,见矿标高为-221.9m;I8号为工业品位矿体[图6(c)],Au品位为 22.36×10^{-6} ,Ag品位为 220.28×10^{-6} ,见矿标高为-113.1 m;I11号为低品位矿体[图6(d)],Au品位为 2.11×10^{-6} ,Ag品位为 41.37×10^{-6} ,见矿标高为-204 m。剖面法估算金金属量为2.034 t,银金属量为11.437 t;块段法估算金属量为2.153 t,银金属量为14.194 t。赋矿围岩为安山岩,富矿体发育于安山玢岩脉上部接触带,石英脉发育,脉上可见黑色碲化物条带,与三道湾子主矿体特征相似,成因类型属于低温热液型。个别低品位矿体发育在安山岩与二长花岗岩的接触带附近,矿体多不连续,碲化物少,推测其为蚀变岩型。

Ht-24查证区(南山工区):通过钻孔工程,新圈定出矿体7条,其中金银矿体2条、铜银矿体2条、铜矿体2条和银矿体1条。在ZK25801钻孔中见斜厚为8 m的铜银矿体[图6(e)],Ag品位为 74.20×10^{-6} ,Cu品位为0.74%。赋矿围岩为强蚀变安山岩,蚀变为面状硅化、弥漫状黄铁矿化和黝铜矿化等;在ZK25402钻孔中见斜厚为2 m的银矿体[图6(f)],

表4 综合异常查证结果
Table 4 Results of comprehensive anomaly verification

异常编号	见矿情况	矿体特征	矿石/围岩	矿物	成矿类型
Ht-26	矿体13条	I 1斜厚0.4 m, Au品位 282.43×10^{-6}	石英脉/安山玢岩	黄铁矿、碲金矿、黄铜矿	碱性岩型低温热液型
Ht-24	矿体7条	II 3斜厚8 m, Ag品位 74.2×10^{-6} 、Cu品位0.74%	蚀变岩/安山岩	黄铁矿、黝铜矿、重晶石	高硫化低温热液型
Ht-27	矿体3条	II 8、9斜厚1 m, Au品位 1.41×10^{-6} 、 1.01×10^{-6}	蚀变岩/安山岩	黄铁矿、黄铜矿、碳酸盐	高硫化低温热液型
Ht-16	金矿体1条	IX斜厚28 m, Au品位 1.2×10^{-6}	蚀变岩/安山岩	浸染状黄铁矿	低温热液型
Ht-22	银矿体1条	宽2 m, Ag品位 130.77×10^{-6}	蚀变岩/安山岩	辉锑矿、黄铁矿	低温热液型
Ht-01	矿体10条	III 1斜厚3.65 m, Au品位 6.04×10^{-6}	石英脉/安山玢岩	黄铁矿、碲金矿、方铅矿	构造—热液叠加型
Ht-01	金矿体2条	均斜厚2 m, Au品位 11.22×10^{-6} 、Ag品位 5.07×10^{-6}	石英细脉/安山岩	黄铁矿、自然金	中低温热液型
Ht-01	金矿体4条	IV 1斜厚3 m, Au品位 1.19×10^{-6} 、Ag品位 64.06×10^{-6}	石英脉/安山岩	黄铁矿、碲银矿、方铅矿	构造—热液叠加型
Ht-13	金矿体1条	VI斜厚6 m, Au品位 6.05×10^{-6}	石英脉/变质岩	黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿	构造蚀变岩型
Ht-10	金矿体1条	斜厚1 m, Au品位 1.05×10^{-6} 、 1.14×10^{-6}	蚀变岩/安山岩	浸染状黄铁矿	低温热液型
Ht-19	金矿点	Au品位 2.9×10^{-6}	石英脉/安山岩	黄铁矿	低温热液型

Ag品位 122.83×10^{-6} ,围岩为强蚀变的安山岩,蚀变为面状硅化和浸染状黄铁矿化。新发现的矿体特征为典型高硫浅成低温热液型,预示着该处浅部有望发现规模大且品位低金银矿体。

Ht-01 查证区(金中工区):通过钻探工程,圈定出矿体10条,其中金银矿体5条和金矿体5条,蚀变矿化向深部具有渐强的趋势。其中,在ZK5602钻孔中见有金矿体1条,斜厚为2 m, Au品位为 29.6×10^{-6} ,蚀变为强硅化和黄铁矿化,手标本见自然金[图6(g)]。在SZK201钻孔中发现金矿体4条, Au品位最高达 11.77×10^{-6} , Ag品位最高达 254.29×10^{-6} ,蚀变为强硅化、碳酸盐化、黄铁矿化和青磐岩化,局部见碲银矿化[图6(h)、6(i)]。矿体多产于火山角砾岩与安山玢岩接触带部位,与安山玢岩的产出关系较密切。钻孔中发现有碲银矿和自然金,属于典型的浅成低温热液矿床,预示着该处深部有望发现富矿体,成矿潜力较大。

5 找矿远景区划分

研究区已发现三道湾子大型金矿、北大沟中型金矿、340高地和小疙瘩沟金矿点,同属浅成热液矿床成矿系列的不同矿化类型组合(Kelley et al., 2020)。借鉴区内已有金矿床(点)地球化学特征,结合区内成矿地质、构造环境和元素地球化学特征(黄大正等, 2020),在研究区划分出3个成矿远景区(图5)。

3个远景区具有明显的有利于成矿的地层、侵入岩和构造条件;区内元素异常浓度高,规模大,连续性好,元素组合多且浓集中心明显(牛延宏等, 2008);区内已知的矿床或新发现矿点,已构成金银多金属I级成矿远景区,具有较大的找矿潜力,可进一步开展勘查工作,从而扩大矿床规模。

5.1 三道湾子成矿远景区

该成矿远景区位于研究区西南侧,出露地层为龙江组和光华组,南部见有早侏罗世二长花岗岩,西部被第四系松散堆积物覆盖。其中,赋矿地层龙江组中性火山岩普遍发育青磐岩化、高岭土化、硅化、黄铜矿化和黄铁矿化,局部见有碳酸盐化和萤石化。区内以NW向断裂为主,其次为NE向,含金石英脉和含金安山玢岩脉主要充填在NW向断裂带中。

该远景区以综合异常Ht-23、Ht-24、Ht-26和Ht-27为主。区内反映金成矿系列的指示元素组合, Au元素异常面积大、规模大且浓度梯度变化大。各综合异常与已知矿体分布范围相吻合,展布方向一致,找矿前景广阔。该区已发现多处矿体,包括三道湾子金矿体和南山工区铜金矿体,矿体多呈脉状,属于浅成低温热液型矿床。该远景区成矿地质条件极为优越,异常受NW向断裂控制,具备寻找金、银和铜多金属矿的前景。

5.2 北大沟成矿远景区

该成矿远景区位于研究区西北侧,出露地层为龙江组和光华组,零星出露有安山玢岩和流纹岩等

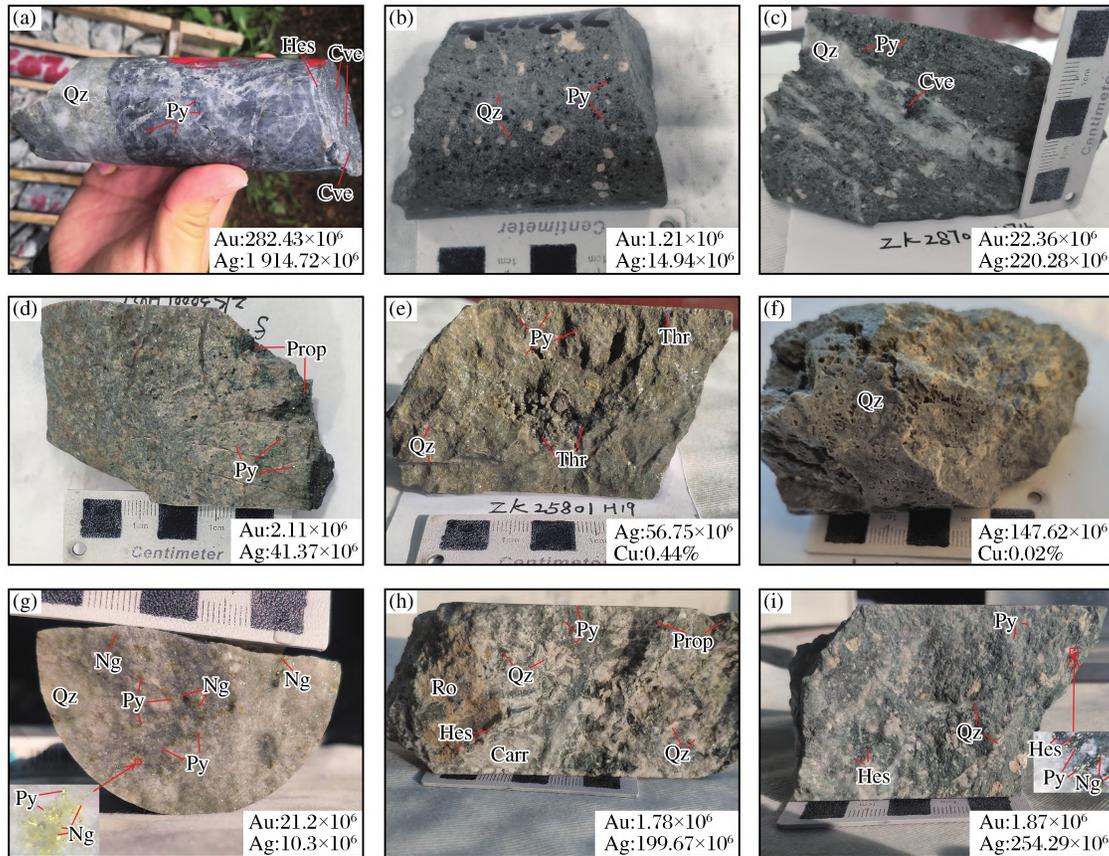


图6 钻孔中矿石标本及矿化蚀变特征

Fig.6 Ore specimens and mineralization alteration characteristics in borehole

(a)石英脉型碲金矿体;(b)、(c)碱性岩型金矿体;(d)蚀变岩型金矿体;(e)、(f)高硫化型金矿体;(g)、(h)、(i)构造—热液叠加型金矿体
Qz-石英;Prop-青磐岩;Carr-碳酸盐;Py-黄铁矿;Hes-碲银矿;Cve-碲金矿;Thr-黝铜矿;Ng-自然金;Ro-菱锰矿

脉岩,局部被第四系松散堆积物覆盖。其中,赋矿地层龙江组火山岩普遍发育青磐岩化、硅化和黄铁矿化,局部见有方铅矿化和闪锌矿化。区内断裂发育,构造挤压变形强烈,北大沟断裂穿过该远景区,异常多沿该断裂带分布,带内岩石破碎,发育构造角砾岩和石英脉。

该远景区以综合异常 Ht-01 为主,异常元素组合复杂,主成矿元素为 Au 和 Mo,伴有 Ag、W、Hg、As、Sb、Cu 和 Pb 等异常,异常套合极好,浓集中心明显,找矿前景较好。该区已发现多处矿点,包括北大沟金矿及其卫星矿点、340 高地矿点,矿体多呈脉状,属于热液充填型矿床。该远景区成矿地质条件较优越,异常受 NW 向断裂控制,具备寻找金、银和钼多金属矿的前景。

5.3 达音炉北沟成矿远景区

该成矿远景区位于研究区东侧,出露地层为龙

江组和光华组,局部出露呈残片状泥鳅河组,西北部发育早侏罗世石英闪长岩,西部被第四系松散堆积物覆盖。其中,赋矿地层泥鳅河组海相火山—碎屑岩中普遍发育碳酸盐化、磁铁矿、硅化和黄铁矿化,局部发育磁铁矿化和萤石化。区内以 NW 向断裂为主,其次为 NE 向,含金石英脉主要充填在 NW 向断带中。

该远景区以综合异常 Ht-13、Ht-18、Ht-19 和 Ht-10 为主。主成矿元素为 Au 和 Ag,其中 Au 异常呈 NW 向串珠状分布,衬度高且分异强,与 Ag、As、Sb 异常套合好,有利于 Au 元素的进一步富集成矿。在该区南部的达音炉分布有北山金矿点和砂金坑,充分显示了区内金的良好成矿潜力,该区地质构造条件有利于 Au 元素的富集成矿,具备寻找金、银多金属矿的前景。

6 结论

(1)三道湾子浅覆盖区岩屑地球化学测量结果表明,Au、Ag异常与次火山岩、构造关系较密切;Au、Ag元素在成矿有利构造部位富集,主要沿区内NW向断裂强烈富集。

(2)通过异常查证工作,新圈定出金银矿体12条、金矿体23条,基本查明矿体的矿化蚀变特征和赋存空间,结合成矿地质背景,在研究区提出了3处I级成矿远景区,为下一步找矿工作提供了重要依据。

(3)在三道湾子浅覆盖区开展岩屑地球化学测量,能够快速、准确地圈定矿化蚀变范围,提高找矿效果,证明该方法行之有效,对于相似地球化学景观区进行找矿勘查具有重要的借鉴意义。

参考文献(References):

- Chen Jing, Sun Fengyue, 2011. Zircon U-Pb age of Sandaowanzi gold deposit in Heilongjiang Province and its geological significance[J]. *Gold*, 32(5): 18-22.
- Chi Qinghua, Yan Mingcai, 2007. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Cong Yuan, Chen Jianping, Xiao Keyan, et al, 2012. The extraction of regional geochemical element composite anomalies in northern Sanjiang region and its prospecting significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(7): 1164-1169.
- Du Bingying, Liu Yuwei, Zhang Tie'an, et al, 2019. Stratigraphic subdivision and correlation of the Jurassic-Early Cretaceous in northwestern Heilongjiang Province[J]. *Journal of Stratigraphy*, (1): 28-35.
- Gao S, Xu H, Zang Y Q, et al, 2016. Late Mesozoic Magmatism and Metallogeny in NE China: The Sandaowanzi-Beidagou example[J]. *International Geology Review*, 59(11): 1413-1438.
- Gao S, Xu H, Zang Y Q, et al, 2018. Mineralogy, ore-forming fluids and geochronology of the Shangmachang and Beidagou gold deposits, Heilongjiang Province, NE China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 188: 137-155.
- Huang Dazheng, Chen Shouyu, Zhao Jiangnan, et al, 2020. Large scale tectonic geochemical characteristics and prospecting prediction in eastern Laochang orefield, Gejiu, Yunnan Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 44(6): 1261-1275.
- Jiang Yanming, 2009. Soil and Rock Geochemical Anomalies of Sandaowanzi Gold Deposit and Their Significance, Heilongjiang Province[D]. Changchun: Jilin University.
- Kelley K D, Spry P G, Virginia V T, et al, 2020. Alkalic-type epithermal gold deposit model[R]. Reston: U. S. Geological Survey.
- Li Chenglu, Xu Wenxi, Yu Yuanbang, et al, 2017. Geochronology and geochemistry of the ore-related magmatic rocks from the Yongxin gold deposit, northwest Xiao Hinggan Mountains and their ore-forming tectonic implication[J]. *Geoscience*, 31(6): 1131-1146.
- Li Y Q, Zhang D H, Dai L, et al, 2016. Characteristics of structurally superimposed geochemical haloes at the polymetallic Xiasai silver-lead-zinc ore deposit in Sichuan Province, SW China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 169: 100-122.
- Li Yang, 2020. Vein in Sandaowanzi Area of Heilongjiang Province Chronology and Geochemistry Research[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing).
- Liu Hong, Huang Hanxiao, Li Guangming, et al, 2015. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet[J]. *Geology in China*, 42(4): 1126-1136.
- Lü Jun, Wang Jianmin, Wang Hongbo, et al, 2005. The application of soil survey to the Sandaowanzi gold deposit[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 29(6): 515-518.
- Lü Jun, Yue Bangjiang, Wang Jianmin, et al, 2005. Characteristics and prospecting indicators of the Sandaowanzi gold deposit in Heihe, Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 14(4): 256-264.
- Ma Xiaoyang, 2006. Study on the Techniques and Methods for the Geochemical Anomaly Verification in Swamp-Forest Areas, Northeast China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing).
- Niu Yanhong, Zhang Yuelong, Gao Shan, et al, 2008. 1: 50000 regional geological and mineral survey of Xinsheng sheet and other three sheets in Heilongjiang Province[R]. Harbin: Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey.
- Pison G, Rousseeuw P J, Filzmoser P, et al, 2003. Robust factor analysis[J]. *Journal of Multivariate Analysis*, 84(1): 145-172.
- Shao Shuai, 2017. The Characteristics and Significance of Early Cretaceous Volcanic Rocks in Heihe Area[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing).

- Shao Shuai, Deng Jinfu, Liu Cui, et al, 2018. Geochemical characteristics and tectonic setting of Early Cretaceous volcanic rocks in the Heihe area, Heilongjiang Province, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 25 (3): 215-229.
- Shi Dongyan, 2017. Study on Structural Superimposed Halo of Sandaowanzi Gold Deposit in Heihe City, Heilongjiang Province [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan).
- Shi Dongyan, Lü Jun, Zhang Yupeng, et al, 2017. Characteristics of geophysical and geochemical anomalies and prospecting prospect of the 340 highland, the periphery of the Sandaowanzi gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 33(3): 7-10.
- Shi Dongyan, Zhang Kun, Zhang Yupeng, et al, 2021. Geophysical and geochemical characteristics and prospecting criteria of shallow overburden area in Heilongjiang Province: A Case study of 340 Highland gold mineralization area in Heihe City [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 51: 1042-1053.
- Singer D A, 2001. Some suggested future directions of quantitative resource assessments [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 12(1): 40-44.
- Wang Chao, 2018. The Research of Early-Middle Mesozoic Igneous Rocks in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces and Its Tectonic Implications [D]. Changchun: Jilin University.
- Wang Mingguo, Yang Xiujun, 2014. The application of debris geochemical survey in Henan D ore district, Chile [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29: 458-462.
- Wang Sushan, 2017. Geochronology and Geochemistry of Magmatic Rocks in Sandaowanzi Area, Heilongjiang Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing).
- Wang Yida, Ma Jiuju, Li Hui, et al, 2015. Structure superimposed halo model and effect of the deep blind ore prediction in Sandaowanzi gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 30(4): 623-629.
- Xu Bei, Zhao Pan, Bao Qingzhong, et al, 2014. Preliminary study on the pre-mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng orogenic belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30 (7): 1841-1857.
- Yang L, Wang Q F, Liu H, et al, 2016. Identification and mapping of geochemical patterns and their significance for regional metallogeny in the southern Sanjiang, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 90: 1042-1053.
- Ye Honggang, Zhang Dehui, Cheng Zhuhua, et al, 2014. The prospecting effect of debris geochemical survey in the Xiaobinggou lead-zinc mining area in Subei, Gansu Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 38 (2): 295-303.
- Yu R T, Li B L, Sun F Y, et al, 2021. Geochronology, geochemistry and Hf isotopes of andesites in the Sandaowanzi gold deposit (Great Xing'an Range, NE China): Implications for petrogenesis, tectonic setting, and mineralization [J]. *Acta Geochimica*, 40(2): 251-270.
- Zhang J K, Shao Y J, Liu Z F, et al, 2022. Sphalerite as a record of metallogenic information using multivariate statistical analysis: Constraints from trace element geochemistry [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 232: 106883.
- 陈静, 孙丰月, 2011. 黑龙江三道湾子金矿床铅石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *黄金*, 32(5): 18-22.
- 迟清华, 鄢明才, 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册 [M]. 北京: 地质出版社.
- 丛源, 陈建平, 肖克炎, 等, 2012. “三江”地区北段区域地球化学元素组合异常提取及其找矿意义 [J]. *地质通报*, 31 (7): 1164-1169.
- 杜兵盈, 刘宇崑, 张铁安, 等, 2019. 黑龙江省西北部侏罗纪一早白垩世地层划分与对比 [J]. *地层学杂志*, (1): 28-35.
- 黄大正, 陈守余, 赵江南, 等, 2020. 云南个旧老厂矿田东部大比例尺构造地球化学特征及找矿预测 [J]. *物探与化探*, 44(6): 1261-1275.
- 蒋艳明, 2009. 黑龙江省三道湾子金矿土壤和岩石地球化学异常特征及其意义 [D]. 长春: 吉林大学.
- 李成禄, 徐文喜, 于援帮, 等, 2017. 小兴安岭西北部与永新金矿有关岩浆岩的年代学和地球化学及成矿构造环境 [J]. *现代地质*, 31(6): 1131-1146.
- 李阳, 2020. 黑龙江省三道湾子地区脉岩年代学与地球化学研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 等, 2015. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用 [J]. *中国地质*, 42(4): 1126-1136.
- 吕军, 王建民, 王洪波, 等, 2005a. 土壤地球化学测量在三道湾子金矿床的应用 [J]. *物探与化探*, 29(6): 515-518.
- 吕军, 岳邦江, 王建民, 等, 2005b. 黑河市三道湾子金矿床特征及找矿标志 [J]. *地质与资源*, 14(4): 256-264.
- 马晓阳, 2006. 我国东北森林沼泽区化探异常查证方法研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 牛延宏, 张跃龙, 高山, 等, 2008. 黑龙江省新生幅等三幅 1:5 万区域地质矿产调查 [R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查

- 研究总院齐齐哈尔分院.
- 邵帅,2017.黑河地区早白垩世火山岩特征及其意义[D].北京:中国地质大学(北京).
- 邵帅,邓晋福,刘翠,等,2018.黑龙江黑河地区早白垩世火山岩岩石地球化学特征及其构造环境意义[J].地学前缘,25(3):215-229.
- 史冬岩,2017.黑龙江省黑河市三道湾子金矿床构造叠加晕研究[D].武汉:中国地质大学(武汉).
- 史冬岩,吕军,张玉鹏,等,2017.黑龙江三道湾子金矿外围340高地物化探异常特征及找矿前景[J].有色矿冶,33(3):7-10.
- 史冬岩,张坤,张玉鹏,等,2021.黑龙江省浅覆盖区地物化特征与找矿标志:以黑河市340高地金矿化区为例[J].吉林大学学报(地球科学版),51:1042-1053.
- 王超,2018.吉黑东部中生代早中期火成岩研究及其构造意义[D].长春:吉林大学.
- 王明国,杨秀俊,2014.岩屑测量在智利Henan D矿区地质勘查中的应用[J].地质找矿论坛,29:458-462.
- 王苏珊,2017.黑龙江省三道湾子地区岩浆岩的年代学与地球化学[D].北京:中国地质大学(北京).
- 王一大,马久菊,李惠,等,2015.黑龙江三道湾子金矿深部盲矿预测的构造叠加晕研究[J].地质找矿论丛,30(4):623-629.
- 徐备,赵盼,鲍庆中,等,2014.兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探[J].岩石学报,30(7):1841-1857.
- 叶红刚,张德会,程主华,等,2014.岩屑地球化学测量在小冰沟铅锌矿区的找矿效果[J].物探与化探,38(2):295-303.

Application Effect of Rock Debris Geochemical Survey in Prospecting in Sandaowanzi Shallow Overburden Area, Heilongjiang Province

ZHANG Yupeng¹, SHI Dongyan^{2,3,4}, LV Mingqi¹, LI Chenglu¹, ZHANG Kun², TANG Wei¹

1. Heilongjiang Institute of Natural Resources, Harbin 150036, Heilongjiang, China;

2. Heilongjiang Mining Group Co., Ltd., Harbin 150090, Heilongjiang, China;

3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

4. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, Guizhou, China

Abstract: The Sandaowanzi area is a typical shallow overburden area which hosts numerous gold polymetallic ore deposits in Heilongjiang Province, China. More than 10 gold deposits and ore occurrences have been found in the area, such as Sandaowanzi gold deposit, Beidagou gold deposit, Najinkouzi gold deposit, 340 highland gold deposit, Sandaowanzi Nanshan gold deposit, etc., with great prospecting potential. Many soil geochemical surveys have been carried out in the area, but no prospecting breakthrough has been made. Through the comparative tests of various sampling grids, grain sizes and horizons in the study area, the best geochemical sampling method was confirmed, and the 50 m×50 m gridded rock debris geochemical survey method was adopted. Based on the correlation analysis of geochemical characteristics and element symbiotic assemblage characteristics, and combined with regional ore-forming geological conditions, 30 comprehensive anomalies were delineated. The main ore-forming elements Au and Ag are strongly enriched in favorable structural areas. Through anomaly verification, 12 gold-silver orebodies and 23 gold orebodies have been found, and 3 prospective areas have been delineated, and good prospecting results have been obtained. The study shows that rock debris geochemical survey in Sandaowanzi area can quickly and accurately delineate the range of mineralization alteration and improve the prospecting effect, which is an effective prospecting method. It can provide an important reference for ore prospecting in the same type of forest swamp geochemical landscape area.

Key words: shallow overburden area; rock debris geochemistry; abnormal verification; prospecting area; Sandaowanzi area; Heilongjiang Province