

# 十五里桥地区水系地球化学特征及成矿元素演化规律

李向文<sup>1,2\*</sup>, 牛柏然<sup>3</sup>, 刘意仁<sup>4</sup>, 黄博伦<sup>1,2</sup>, 贾龙川<sup>1,2</sup>

1. 黑龙江科技大学矿业工程学院, 哈尔滨 150022;
2. 黑龙江省昂昂溪实物地质资料野外科学观测研究站, 齐齐哈尔 161031;
3. 黑龙江省火山岩科技有限公司, 哈尔滨 150023;
4. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 哈尔滨 150081)

**摘要:**为进一步指导找矿工作,本文在1:50000水系沉积物测量的基础上,总结大兴安岭北部十五里桥地区水系沉积物地球化学特征,分析成矿元素演化规律,评价主要地质单元的含矿性,指出成矿有利部位。水系地球化学特征表明,Au元素富集系数高、变异系数大、成矿有利度高,为研究区内最有利的成矿元素;次为Ag、Cu元素或为Au元素伴生元素,Pb为重要有益组分;As、Sb元素可以作为找矿指示元素。成矿元素演化规律研究表明,受地质历史演化影响最大的是Hg元素,其次为Cd、Bi元素。综合分析初步认为,二十二站组、漠河组找矿有利元素为Au元素,龙江组为Au及Cu、Zn、Cd等元素,早白垩世花岗岩为Bi元素。

**关键词:**十五里桥地区;水系沉积物;地球化学特征;成矿元素;演化规律

**中图分类号:**F301.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2024)02-0054-7

## 0 引言

十五里桥地区处于大兴安岭北部漠河盆地的东南缘,黑龙江省塔河县开库康乡-依西肯乡一带,面积1839 km<sup>2</sup>。区内成矿地质条件较为有利,先后发现了宝兴沟、十五里桥、二十一站等金(铜)矿床,取得了较好的找矿效果。前人在矿床成因、控矿因素、成矿元素运移机理特征等方面做了较多有价值的研究<sup>[1-5]</sup>,但在水系沉积物地球化学特征及成矿元素地质历史演化规律等方面研究尚属空白。本文在系统开展的1:50000水系沉积物测量的基础上,总结水系沉积物地球化学特征,分析成矿元素在地质历史演化规律,评价主要地质单元的含矿性,为指导下步找矿和区域成矿理论研究补充必要的理论依据。

## 1 成矿地质背景

研究区大地构造位置位于漠河前陆盆地中南部二十二站拗陷带和秀水山逆推带交接部位<sup>[6]</sup>,区内构造发育,岩浆活动频繁,成矿地质条件较为有利。中生界地层广泛发育,约占全区五分之四。其中侏罗系地层主要有额木尔河群上侏罗统漠河组( $J_3m$ )、二十二站组( $J_3er$ )和开库康组( $J_3k$ ),岩性为各粒级陆源碎屑岩;白垩系地层依次为龙江组( $K_1l$ )、光华组( $K_1gn$ )和甘河组( $K_1g$ ),岩性分别为中基性、酸性、基性熔岩及其火山碎屑岩等,主要分布于十五里桥、依西肯一带。新近系仅发育中新-上新统孙吴组( $N_{1-2s}$ ),河湖相沉积半固结或弱固结砂砾岩,主要分布在双河林场东北部和依西肯乡北部,面积不大。

研究区侵入岩分布较为集中,主要为早白垩

世二长花岗岩( $\eta\gamma K_1$ ), 出露于研究区中北部, 总体呈北北西展布, 和漠河盆地长轴基本一致, 呈岩基、岩株状产出。脉岩广泛发育, 主要有花岗斑岩、花岗闪长岩等, 多呈岩脉、岩墙侵入于额木尔河群地层中。断裂构造发育, 北东向断裂与矿化关系密切。

研究区处于上黑龙江成矿带东南部, 区内矿产以岩金矿为主, 重要矿床有宝兴沟、十五里桥、二十一站金(铜)等矿床。其中宝兴沟、二十一站金矿床金矿化体赋存于额木尔河群陆源碎屑岩与浅成侵入岩接触内外带内, 赋矿围岩主要为蚀变砂岩、蚀变闪长岩及其破碎蚀变岩石等<sup>[4-5]</sup>。十五里桥金矿床位于宝兴沟金矿床西侧, 金矿(化)体赋存于龙江组以安山岩为主的陆相火山岩内, 主要有益组分为金, 伴生银。矿化体主要以脉状形式产出, 矿体受北东向断裂构造控制, 金矿化与石英细、网脉关系密切<sup>[3]</sup>。二十一站铜矿(化)体赋存于早白垩世斑岩体内<sup>[7]</sup>。

## 2 水系沉积物地球化学特征

研究区共完成1:50000万水系沉积物测量任务1610 km<sup>2</sup>, 采样6924件, 平均采样密度为4.30点/km<sup>2</sup>; 采样介质为细砂、粉砂、岩屑, 采样深度多介于45~60cm, 野外初加工粒级为-10~+60目, 初加工方法为水筛。分析元素为Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、W、Sn、Mo、Bi、Be、Cd、Mn、Nb、Ti、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等18种元素(氧化物)。

### 2.1 元素含量富集特征

研究区18种成矿元素及氧化物富集特征统计结果表明(表1), 富集系数(C)大于1.2有As、Sb元素, 含量明显高于区域平均值、省平均值, 是区域平均值的1.4倍, 为区内强富集元素, 可能与元素本身性质有关。富集系数(C)介于0.8-1.2的元素有Hg、Pb、Mn、Nb、Au、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu等7种元素, 为基本相当元素; 富集系数小于0.8的元素有Sn、Bi、Be、Cd、W、Zn、Ag、Mo、Ti等9种元素, 低于区域平均值, 其丰度值较低。

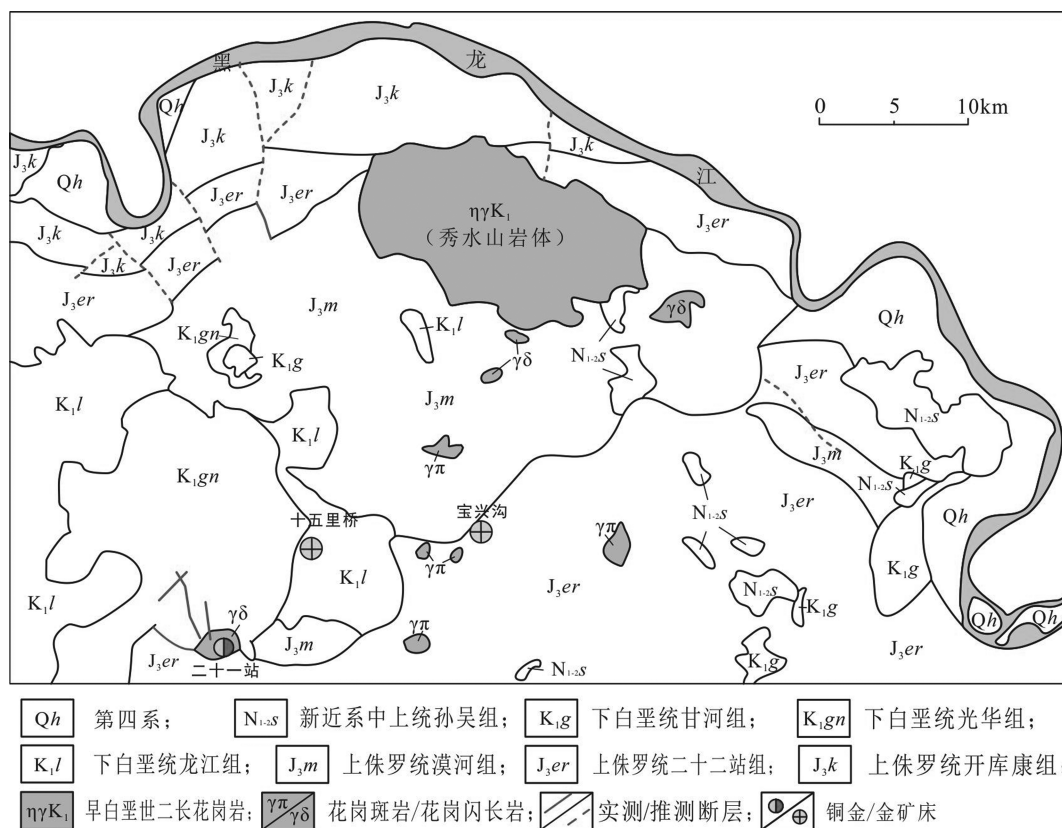


图1 研究区区域地质矿产图

表 1 研究区水系沉积物成矿元素参数

元素	平均值 ( $\bar{x}$ )	标准离差 ( $\delta$ )	极小值 ( $min$ )	极大值 ( $max$ )	富集系数 ( $C$ )	变异系数 ( $Cv$ )	区域 平均值	省平 均值
Au	1.35	6.25	0.30	222.00	0.82	4.63	1.65	1.32
Ag	0.06	0.02	0.03	0.60	0.51	0.33	0.11	0.11
Cu	11.38	7.84	0.50	78.60	0.77	0.69	14.85	17.17
Pb	23.76	29.87	3.00	1908.00	1.01	1.26	23.47	23.41
Zn	35.66	26.19	5.00	539.00	0.51	0.73	69.83	73.89
As	16.04	19.18	1.00	290.00	1.42	1.20	11.28	10.45
Sb	0.72	1.36	0.10	31.40	1.41	1.89	0.51	0.45
Hg	0.05	0.20	0.01	9.24	1.09	4.26	0.04	0.04
W	0.85	0.64	0.15	15.20	0.53	0.76	1.58	1.71
Sn	1.74	0.41	1.00	6.26	0.69	0.24	2.51	2.65
Mo	0.62	0.52	0.15	5.64	0.48	0.83	1.31	1.38
Bi	0.17	0.21	0.05	11.50	0.68	1.21	0.25	0.27
Be	1.65	0.75	0.50	6.72	0.66	0.46	2.50	2.39
Cd	0.06	0.12	0.04	9.69	0.60	2.01	0.10	0.11
Mn	707.26	677.89	30.00	13918.00	1.00	0.96	709.88	888.54
Nb	7.38	2.19	5.00	55.70	0.82	0.30	8.97	12.59
Ti	1873.88	1127.89	100.00	7948.00	0.47	0.60	3958.68	4257.34
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.17	2.17	0.80	16.92	0.77	0.68	4.13	4.93

注:(1)含量单位: $w(Au)/10-9$ ;  $w(TFe_2O_3)/10-2$ ;  $wB/10-6$ ;(2)富集系数  $C = \text{测区} / \text{区域平均值}$ , 变异系数  $Cv = \delta / (\text{研究区})$ ;(3)区域平均值、省平均值分别为上黑龙江成矿带、黑龙江省 20 万水系沉积物测量样品含量平均值。

## 2.2 元素含量变异特征

一般情况下,地质体中成矿元素变异异常程度较高,成矿作用越强烈,越有利于成矿<sup>[8]</sup>。将研究区变异特征按变异系数大小可划分为三类:(1)变异系数( $Cv$ )大于 2.0 属强变异元素,主要有 Au、Hg、Cd 等 3 种元素,表现为数据离散,分布极不均匀,极值较大,具有明显的局部异常。其中 Au 元素表现最为强烈,变异系数达到 4.6,远大于其它元素,是本区最活跃元素,反映其后期叠加特征较为明显,为本区最为有利成矿元素<sup>[9-10]</sup>。(2)变异系数( $Cv$ )介于 1.2-2.0 属较强变异元素,主要有 As、Sb、Pb、Bi 等 4 种元素,表现为分布不均匀,数据较离散,其中 Sb、As 元素与 Au 元素相关性较好,其异常可以较好的指示 Au 元素的可能存在。另外,Pb、Bi 元素丰度值亦较高,下步找矿工作中予以重视。(3)其它元素变异系数( $Cv$ )小于 1.2,属弱变异或无变异的元素,表现为分布均匀,离散点少,绝大多数以背景值为主,一般认为其成矿的可能性较小。

## 2.3 聚类分析

基于富集及变异程度,本次选取 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb 等 16 种元素进行聚类分析。相关性分析表明,Co、Ni 元素相关性最强(相关系数为 0.79),其次为 Cu、Ni 元素(相关系数为 0.58);Au 元素与 As、Sb 元素相关性较好,相关系数分别为 0.50、0.27,与其它元素相关性较差。成矿元素组合(图 2)研究表明,当距离系数为 15 时大致可划分为 4 个元素组合和 2 个单元素。①Co-Ni-Cu-Zn-Mn,主要为亲铁元素,反映可能与区内早白垩世强烈岩浆活动密切相关,但其组合内元素变异系数小,说明后期热液活动不明显;②Mo-Ag-Pb,以亲硫元素为主,与火山活动关系密切;③Bi-Sn-W,主要为高温元素,结合元素异常分布情况,推测与区内早白垩世早期岩浆活动密切相关;④Au-As-Sb 低温元素组合,结合区内矿化及异常分布特征,为区内主要成矿元素,其成矿作用可能与早白垩世晚期岩浆活动关系密切,而且这 3 种元素富集程度高、极不均匀。结合已有矿化点信息,可以

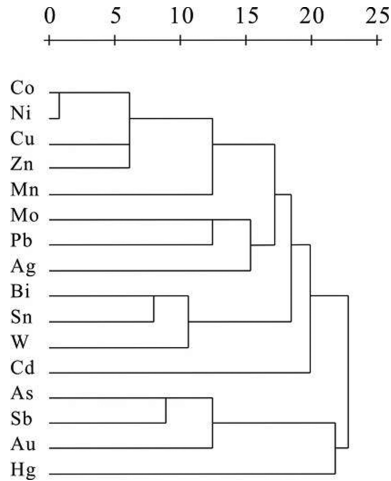


图2 R型聚类分析谱系图

确认 Au 为区内主要成矿元素, As、Sb 元素可以作为 Au 元素找矿的指示元素。

不同时代的地质体其成矿元素含量一定程度上反映历史时期的含量特征, 所以对其演化规律的研究有助于分析成矿元素在各地质单元的含矿性, 判断成矿有利部位<sup>[11]</sup>。元素在地质历史上的演化规律可以结果聚类分析结合用不同地质单元的富集系数和变异系数进行综合对比与研究。

### 3 元素在地质历史上的演化及规律

#### 3.1 Au、Ag、As、Sb、Hg

Au、Ag、As、Sb、Hg 等 5 种元素在各地质体中富集程度总体具有相似变化形态(图 3A)。晚侏罗世沉积盖层时期, 各元素含量变化大, 开库康组(J<sub>3k</sub>)粗碎屑岩 Au 含量较低, 说明开库康组粗粒级碎屑沉积时不利于金的富集, 或后期沉积过程中有金元素的贫化现象, 或可能与开库康组快速沉积有关; 而到二十二站组细碎屑沉积时发生明显富集, 其物源可能有富金的老地层参与有关, 到漠河组又有所降低。关于变异系数(图 3a), 开库康组仍为沉积最低, 二十二站组变大后到漠河组又变小, 表现其后期金活化程度在二十二站组表现最为强烈, 亦可能与后期岩浆活动关系密切。早白垩世二长花岗岩中 Au、Ag、As、Sb、Hg 各元素含量均相对较低, Au、Ag 元素略高, 而 As、Sb、Hg 元素明显偏低; 各元素变异系数不大,

分布较为均匀, Ag 元素变异程度最低。到火山岩盖层时期, 龙江组中性火山岩金含量比沉积盖层高, 为研究区中最高, 反映其岩浆本身丰度值较高, 而到甘河组中基性火山岩金含量降低本区最低, 孙吴组与甘河组大致相当。

从元素历史演化看, Ag 元素富集程度在历史演化时期变化不大, 总体为基本相当, 龙江组火山岩略有偏低; 但变异系数变化较大, 沉积盖区时期及早白垩世侵入岩分布较为均匀, 到早白垩世龙江组火山喷发期 Ag 元素发生明显活化, 而后期甘河组对 Ag 的活化富集影响较弱。As、Sb、Hg 挥发性元素, 富集程度变化较大, 变异程度除 Hg 元素外变化均较小; 开库康组较大, 而后二十二站组、漠河组逐渐减小, 早白垩世花岗岩本区最小; 龙江组 As 元素又明显略有增加, Sb 和 Hg 元素仍然含量降低, 甘河组 As 元素明显降低, Sb 和 Hg 元素又明显增加, 尤其 Hg 元素表现为极为富集。As、Sb 元素变异程度在历史演化过程中受后期影响较小, 而 Hg 元素龙江组明显活化, 远远大于其它元素。结合相关性可知, As、Sb、Hg 三种元素与 Au 元素具有一定的相关性, 可判断二十二站组、龙江组为研究区 Au 元素找矿有利部位。

#### 3.2 Ti、Cu、Zn、Nb、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Ti、Cu、Zn、Nb、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上述 5 种元素(氧化物), 总体具体相似变化特征(图 3B、b), 沉积盖层含量较均匀, 从开库康组到漠河组含量较为稳定, 仅铜元素有逐渐增大的趋势, 早白垩世花岗岩含量较低, 龙江组有增大现象, 而甘河组、孙吴组又明显减小。变异系数上看, 龙江组与孙吴组表现为极不均匀, 其它地质单元变化不大; Nb 元素总体变化比其它元素弱。上述 5 种元素表现为受后期岩浆影响较大, 龙江期火山岩丰度值高, 分布亦不均匀, 为多金属成矿有利部位。

#### 3.3 Mn、Mo、Cd、Sn、W

Mn、Mo、Cd、Sn、W 等 5 种元素总体具有相似变化特征(图 3C、c), 沉积盖层含量低, 从开库康组到漠河组含量较为稳定, 早白垩世花岗岩含

量较低, Cd 元素有逐渐增大的趋势, 龙江组增大

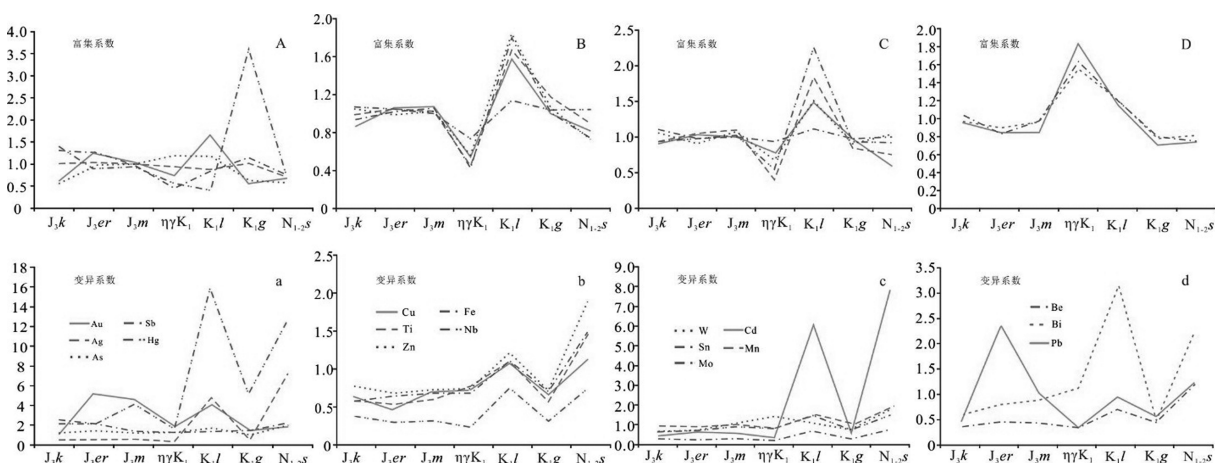


图 3 元素在地质历史演化折线图

(A、B、C、D 为富集系数; a、b、c、d 为变异系数)

现象明显, 甘河组、孙吴组又明显减小。变异系数上看, 龙江组与孙吴组表现为极不均匀, 其它地质单元变化不大; Sn 元素总体变化比其它元素弱。上述 5 种元素表现为受后期火山活动影响较大, 龙江期火山岩丰度值高, 分布亦不均匀, 为 Cd 等可能多金属成矿有利部位。

### 3.4 Pb、Bi、Be

Pb、Bi、Be 等 3 种元素总体亦具有相似变化特征(图 3D、d)。沉积盖层含量较小, 早白垩世花岗岩含量较高, 龙江组、甘河组含量又逐渐降低。变异系数上看, Pb 元素在二十二站组变异程度较高, 可能与二十二站内的早白垩世浅成侵入体有关; Bi 元素在早白垩世花岗岩与龙江组变异较强; Be 元素整体变异程度较弱, 孙吴组略有上升, 但龙江组与孙吴组表现为极不均匀。早白垩世花岗岩 Bi 元素丰度值高, 变异程度大, 为其找矿有利部位; 二十二站组 Pb 元素变异程度高, 可能为金的伴生元素。

综上所述, 受历史演化影响最大的元素是 Hg 元素, 其次为 Cd、Bi 元素。

综合分析初步认为二十二站组、漠河组为 Au 找矿有利部位, Pb 可能为二十二站组有益伴生组分, As、Sb、Hg 为找矿指示元素; 龙江组为 Au 及多金属 Cu、Zn、Cd 等元素找矿有利部位; 早白垩世花岗岩为 Bi 找矿有利部位; 甘河组含

矿性目前表现为相对较差, 其含矿性有待于进一步调查研究。

## 4 结论

通过 1: 50000 万水系沉积物地球化学特征和成矿元素演化规律分析, 得出结论如下:

(1) 水系地球化学特征表明, Au 元素的富集系数高、变异系数大, 为本区最有利成矿元素; 其次为 Ag、Cu 元素或为 Au 元素伴生元素, Pb 元素为重要有益组分; As、Sb 元素可以作为找矿的指示元素。

(2) 成矿元素演化规律研究表明, 受地质历史演化影响最大的是 Hg 元素, 其次为 Cd、Bi 元素。

(3) 综合分析初步认为, 二十二站组、漠河组为 Au 找矿有利部位, 龙江组为 Au 及多金属找矿有利部位; 早白垩世花岗岩为 Bi 找矿有利部位。

### 参考文献(References):

- [1] 李向文. 上黑龙江成矿带金矿床成矿规律与找矿预测研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [2] 刘金伟. 大兴安岭宝兴沟金矿地质特征及成矿元素运移机理[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [3] 孙彦峰, 周传芳, 王久懿, 等. 大兴安岭北部十五里

- 桥金矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 地质与资源, 2022, 31(5): 606-613.
- [4] 李向文, 张志国, 王可勇, 等. 大兴安岭北段宝兴沟金矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(4): 1071-1084.
- [5] 周传芳, 王献忠, 李向文, 等. 黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床中生代侵入岩及其对成矿作用的制约[J]. 矿床地质, 2018, 37(1): 137-150.
- [6] 黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江省矿产资源潜力评价报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查研究总院, 2013.
- [7] 王远超. 上黑龙江盆地二十一站铜(金)矿床成因研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [8] 蒋敬业. 应用地球化学[M]. 中国地质大学出版社, 2011.
- [9] 徐云峰, 郝雪, 秦宇龙, 等. 四川盆河地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2021, 45(3): 624-638.
- [10] 刘劲松, 邹先武, 汤朝阳, 等. 大巴山地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 249-260.
- [11] 魏启荣, 沈上越, 莫宣学, 等. 三江地区中段成矿元素地史演化的探讨及意义[J]. 地质科技情况, 2001, 20(4): 24-28.
- 

**作者简介:**

第一作者/通讯作者: 李向文, 1976年生, 男, 黑龙江海伦人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为固体矿产勘查教学与研究。E-mail: 872416149@qq.com

---

## Geochemical Characteristics and Evolution of Ore-Forming Elements in the Stream Sediments in the Shiwuliqiao Area

LI XiangWen<sup>1,2</sup>, Niu Boran<sup>3</sup>, LIU Yiren<sup>4</sup>, HUANG Bolun<sup>1,2</sup>, JIA Longchuang<sup>1,2</sup>

(1. School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science & Technology, Harbin, 150022, China;

2. Ang'angxi Physical Geological Data Field Observation and Research Station  
of Heilongjiang Province, Qiqihar, Heilongjiang, 161031 China;

3. Heilongjiang Volcano Rock Technology Co Ltd, Harbin, 150023 China;

4. China Geological Survey Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, Harbin, 150081, China)

**Abstract:** In order to better guide mineral exploration, this article systematically summarizes the geochemical characteristics of stream sediments for the Shiwuliqiao area of the northern part of the Daxing'an Mountains, based on a 1:50000 scale measurement of stream sediments, analyzes the evolution laws of ore-forming elements, evaluates the mineralization potential of the main geological units, and identifies favorable areas for mineralization. The geochemical characteristics of stream sediments indicate that Au is the most favorable ore-forming element in this area due to its high enrichment coefficient, large coefficient of variation, and high degree of mineralization advantage; the second element is Ag, Cu or associated elements, and Pb is an important beneficial component; As and Sb elements can be used as indicator elements for mineral exploration. The study on the evolution law of ore-forming elements shows that the element which is the most affected by geological historical evolution is Hg, followed by Cd and Bi. Preliminary comprehensive analysis shows that the 22nd Station formation and Mohe Formation are the favorable locations for Au exploration, the Longjiang formation is for Au, Cu, Zn, Cd and other elements, and the Early Cretaceous granite is for Bi.

**Key words:** Shiwuliqiao area; stream sediments; geochemical characteristics; ore-forming elements; evolution laws