

辽宁省鸡冠山地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景预测

李 巍 巍^{1,2}, 高 忠 晖², 裴 士 俊²

1. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026 ; 2. 辽宁省地质矿产研究院, 辽宁 沈阳 110032

摘 要 :在 1:5 万水系沉积物测量的基础上,对辽宁省鸡冠山地区的水系沉积物地球化学特征进行了初步分析。对元素分布、单元素异常、元素相关性、异常元素组合等特征进行了研究,表明水系沉积物地球化学测量方法在辽东地区具有良好的找矿效果。优选了 3 处金银铅锌多金属找矿远景区。

关键词 :水系沉积物;找矿远景区;鸡冠山地区;辽宁省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.02.005

GEOCHEMISTRY OF STREAM SEDIMENT AND METALLOGENIC PROGNOSIS OF JIGUANSHAN AREA, LIAONING PROVINCE

LI Wei-wei^{1,2}, GAO Zhong-hui², PEI Shi-jun²

1. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;

2. Liaoning Institute of Geological and Mineral Resources, Shenyang 110032, China

Abstract :On the basis of the stream sediment survey in 1:50000 scale, the geochemical characteristics of Jiguanshan area in Liaoning Province are tentatively analyzed. Study on the distribution of elements, single element abnormality, relativity of elements and assemblage of anomalous elements shows that the method of geochemical stream sediment survey in eastern Liaoning is effective. As the result, three Au-Ag-Pb-Zn ore prospective areas are forecasted.

Key words :stream sediment; ore prospective area; Jiguanshan area; Liaoning Province

0 引言

辽宁省鸡冠山地区位于辽东-吉南成矿带,北瓦沟-青城子金银成矿远景区,成矿地质条件优越,矿产以贵金属、有色金属、黑色金属为主。1958~1960年,长春地质学院完成了区内 1:20 万区调,提交了 1:20 万地质图及地质报告;上世纪 80 年代进行了辽宁省区域地质志、辽宁侵入岩与矿产研究,90 年代进行了辽宁省岩石地层、辽宁省 1:50 万地质图编图等区调和科研项目。这些工作对区内地层、岩石、构造、矿产等方面进行了系统调查与研究,取得了较丰富的实际资料及诸多地质成果,奠定了测区地质调查研究工作的基础,对以后工作的开展,具有很好的借鉴、指导意义。

从区内以往研究程度可以看出,该区域以往研究主要集中在基础地质及部分科研工作,而矿产地质评价工作相对开展较少,部分较有远景的地区工作程度较低,还有大量的物化探异常尚未查证,尤其是 20 世纪 90 年代以后,研究区内的 1:5 万比例尺找矿工作开展较少。笔者在研究区通过 1:5 万水系沉积物地球化学测量工作,缩小研究区范围,圈定若干有利的找矿靶区,以期为进一步找矿工作部署及区域、矿区成矿规律研究提供基础依据。

1 地质背景

研究区大地构造位置为中朝准地台(级)胶辽台

收稿日期 2014-08-13 修回日期 2014-10-28 编辑 张哲

基金项目:中国地质调查局项目“辽宁省鸡冠山地区矿产地质调查”(1212011220480)。

作者简介:李巍巍(1987—),女,在职硕士研究生,从事有色金属、贵金属矿产普查与勘探工作,通信地址:辽宁省沈阳市皇姑区北陵大街 29 号(北门), E-mail// 654683380@qq.com

隆(级)营口-宽甸台拱(级)构造单元上,其主体位于辽东古元古代裂谷内.古元古界变质层状岩系(辽河群)发育,中生代岩浆活动频繁,构造运动强烈,金及多金属矿床、矿点丰富,显示区内成矿地质条件十分优越.

区内大面积出露古元古代层状变质岩系,新元古代、古生代沉积岩系,中生代火山-沉积岩系,新生代松散堆积物等地层及古生代、中生代中酸性侵入岩.

区内构造复杂(见图1),褶皱断裂发育,对金多金属矿床的形成具有明显的控制作用.主构造运动主要有3个旋回,表现为3个构造层:辽河期构造层,由基底岩系组成,在此基底上先后经历了两次大的地壳增生期;燕辽-加里东期构造层,由青白口系和下古生界构成,主要分布在南北台陷区;印支期以来,受太平洋板块俯冲作用的影响,深部熔融岩浆上涌并喷出地表,堆积在北东向沉陷盆地内,以小岭组火山复陆屑建造和一系列中酸性侵入体为主.区域岩浆岩较发育,岩石

类型较为复杂,从基性—中性—酸性、碱性都有出露,尤以中酸性岩石最为发育.按其形成时期,分为辽河、印支和燕山3个旋回.与金多金属成矿关系密切的为印支期和燕山期中酸性侵入体^[1-4].

2 地球化学特征

本次工作主要完成1:5万水系沉积物测量1569 km²,水系沉积物样品分析7872件.样品分析是在国土资源部沈阳矿产资源监督检测中心完成,水系沉积物地球化学特征资料为实测.室内使用中国地质调查局开发的“多元地质空间数据管理与分析系统”(GeoExpl)进行各项数据处理与成图.

2.1 区域水系沉积物

区域内水系沉积物中各元素的丰度值与表壳岩石比较,其相关程度甚高,二者总是同步消长.因此,可用水系沉积物中元素的特征讨论基岩中相应元素的变化情况.水系沉积物测量主要元素地球化学参数见表1.

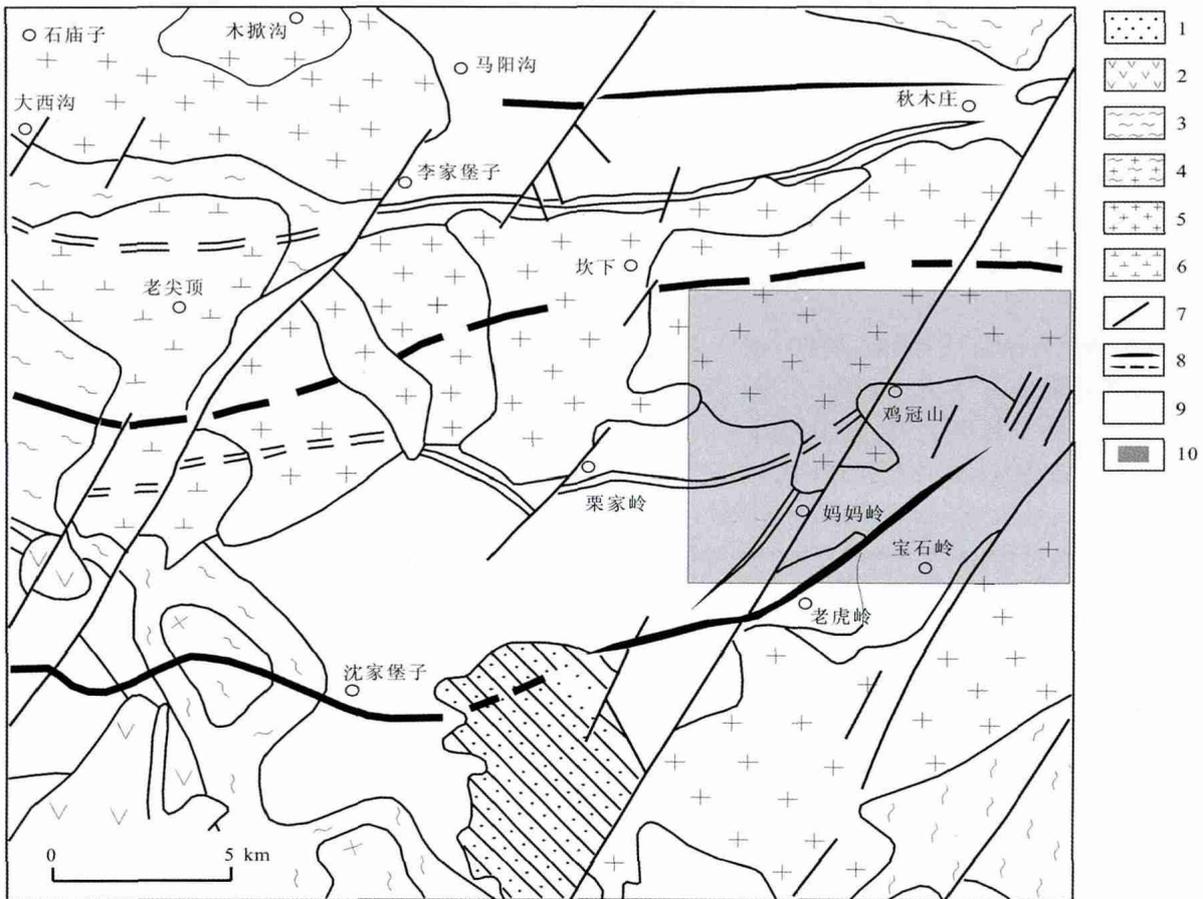


图1 研究区地质构造略图

Fig. 1 Simplified geological and structural map of the study area

- 1—第四系(Quaternary) 2—侏罗系上统(Upper Jurassic) 3—混合岩(migmatite) 4—混合花岗岩(migmatitic granite) 5—晚侏罗世花岗岩(Late Jurassic granite) 6—二叠纪闪长岩(Permian diorite) 7—新华夏系压性断裂(compressive fault) 8—纬向构造复背斜及隐伏复背斜(anticlinorium/concealed anticlinorium) 9—辽河群(Liaohe group) 10—研究区(study area)

表 1 主要成矿元素水系沉积物丰度及地球化学参数
Table 1 Abundance of major ore-forming elements in stream sediment with geochemical parameters

| 元素 | 丰度/ 10^{-6} | 均方差 | 富集系数 | 变化系数 |
|----|---------------|---------|------|------|
| Au | 0.00093 | 0.00056 | 0.78 | 0.61 |
| Ag | 0.121 | 0.027 | 1.48 | 0.22 |
| Cu | 22.99 | 6.35 | 1.25 | 0.28 |
| Pb | 25.10 | 7.08 | 1.36 | 0.28 |
| Zn | 67.12 | 20.98 | 1.30 | 0.31 |
| Co | 13.67 | 1.25 | 1.42 | 0.24 |

可以看出,成矿元素 Ag、Co、Pb、Zn、Cu 等,富集系数均大于 1,表明其丰度与该元素在地壳岩石中的含量相比是相对富集的^[5]。虽然 Au 元素丰度值相对较低,但其变化系数最高,表明 Au 元素分布极不均匀,成矿作用显著。

2.2 研究区水系沉积物

采用元素含量最大值、最小值、平均值(X)、标准离差(S)、富集系数(q)、变化系数(C_v)等地球化学参数来阐明和讨论 1:5 万水系沉积物地球化学特征及规律。 q 为该地区元素含量平均值与中国水系沉积物中该元素背景估计值之比; $C_v=S/X$,可衡量各元素分布的均匀程度^[6-7]。

2.2.1 元素的含量特征

鸡冠山地区 Au、Ag、Pb、Mo、W、Bi 等 6 种元素的富集系数大于 1(表 2),说明区内水系沉积物中这些元素含量与中国水系沉积物背景相比,均发生了不同程度的富集。其中 Ag、Pb 元素的富集系数可达 2 以上,表明这 2 种元素富集最为强烈。Cu、Zn、Sn、As、Sb、Co、Ni 等 7 种元素的富集系数小于 1,说明区内水系沉积物中这些元素含量发生了不同程度的分散。

表 2 鸡冠山地区水系沉积物测量参数统计
Table 2 Statistics of stream sediment parameters of Jiguanshan area

| 元素 | 最大值 | 最小值 | 平均值(X) | 标准离差(S) | 富集系数(q) | 变化系数(C_v) |
|----|-------|-------|------------|-------------|-------------|---------------|
| Au | 4034 | 0.2 | 1.809 | 48.27 | 1.38 | 26.68 |
| Ag | 18.1 | 0.02 | 0.045 | 0.233 | 5.4 | 5.13 |
| Cu | 137 | 1.13 | 12.258 | 9.13 | 0.56 | 0.74 |
| Pb | 18460 | 2.72 | 26.036 | 210.215 | 2.16 | 8.07 |
| Zn | 3473 | 2.53 | 50.358 | 47.119 | 0.78 | 0.93 |
| Mo | 55.9 | 0.022 | 0.801 | 1.028 | 1.11 | 1.28 |
| W | 93.2 | 0.027 | 1.564 | 3.109 | 1.03 | 1.98 |
| Sn | 150 | 1 | 2.309 | 2.12 | 0.82 | 0.91 |
| As | 4557 | 0.72 | 6.205 | 53.169 | 0.83 | 8.56 |
| Sb | 343 | 0.08 | 0.374 | 4.629 | 0.69 | 12.38 |
| Bi | 35.4 | 0.021 | 0.266 | 0.678 | 1.06 | 2.55 |
| Co | 61.7 | 1.8 | 10.337 | 7.656 | 0.81 | 0.74 |
| Ni | 261 | 1.26 | 15.794 | 16.16 | 0.59 | 1.02 |

从变化系数(C_v)看,Au、Ag、Pb、Mo、W、As、Sb、Bi、Ni 等 9 种元素的变化系数大于 1,表明上述元素在本区的分布极不均匀;Cu、Zn、Sn、Co 等 4 种元素的变化系数较小,说明 Cu、Zn、Sn、Co 元素含量在测区内分布相对较均匀,没有较大的起伏变化。

综合表 2 可看出,Au、Ag、Pb、Zn 元素数据离散程度大,富集系数大,说明局部富集成矿的可能性较大,在该区以后的地质勘查工作中应着重开展金银铅矿的找矿工作,极有可能找到具有开发价值的金银铅锌银多金属矿床。

2.2.2 单元素的异常分布特征

(1) 单元素异常的圈定与评序

先利用 $T=X+2S$ 计算异常下限的参考值,再根据本地区的地质和矿化特征,确定异常下限,据此圈定异常(表 3)。全区共圈出单元素异常 373 个。

表 3 单元素异常下限及异常数量一览表

Table 3 The single-element abnormalities and lower limit

| 元素 | Au | Ag | As | Sb | Cu | Pb | Zn | Ni | Co | W | Sn | Mo | Bi |
|------|----|------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 异常下限 | 2 | 0.07 | 12 | 0.5 | 24 | 33 | 83 | 32 | 20 | 3 | 4 | 1.4 | 0.6 |
| 异常数 | 33 | 30 | 20 | 14 | 22 | 36 | 26 | 21 | 39 | 40 | 28 | 34 | 30 |

含量单位:Au、Ag 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} 。

(2) 单元素的异常分布特征

Au 元素:全域表现出背景和高背景特征,高值区集中分布于调查区的南部松树沟一带(详见图 2)。总体上,Au 元素异常主要在古元古代辽河群地层、印支和燕山期的中酸性侵入岩中呈不均匀分布。这种不均匀性是 Au 元素的一个突出的地球化学特征,说明区内 Au 成矿作用较强,具有多源多期次叠加的成矿特点。调查区中部 Au 异常较好,异常呈北东及北西向展布,异常面积较大,强度较高,异常高值主要分布于矿区的南部,最高可达 4034×10^{-9} ,与断裂构造密切相关,有较好的找矿前景。另外,本区已发现有田家沟金矿点,其矿床类型主要为重熔-同熔岩浆热液型,与金矿伴生或共生的有 Fe、Cu、Pb、Zn、Mo 等多种成因类型的矿床组合。该地区是石庙子矿带内主要的金矿集区。

Ag 元素:与 Au 元素略有不同,全域表现出低背景和高背景特征。高值区主要集中于 3 个部位。一是单家河一带,高值区长轴呈北北东向片状展布,处于古元古代辽河群与中酸性侵入岩的接触带上;二是在西关家沟一带,处于辽河群地层出露区,且断裂构造十分发育,与之关系密切;三是在石棚沟一带,处于辽河群与中酸性侵入岩的接触带上。而低值区主要分布在调查区东北部。

Cu 元素:在全域表现出背景和高背景特征。高值

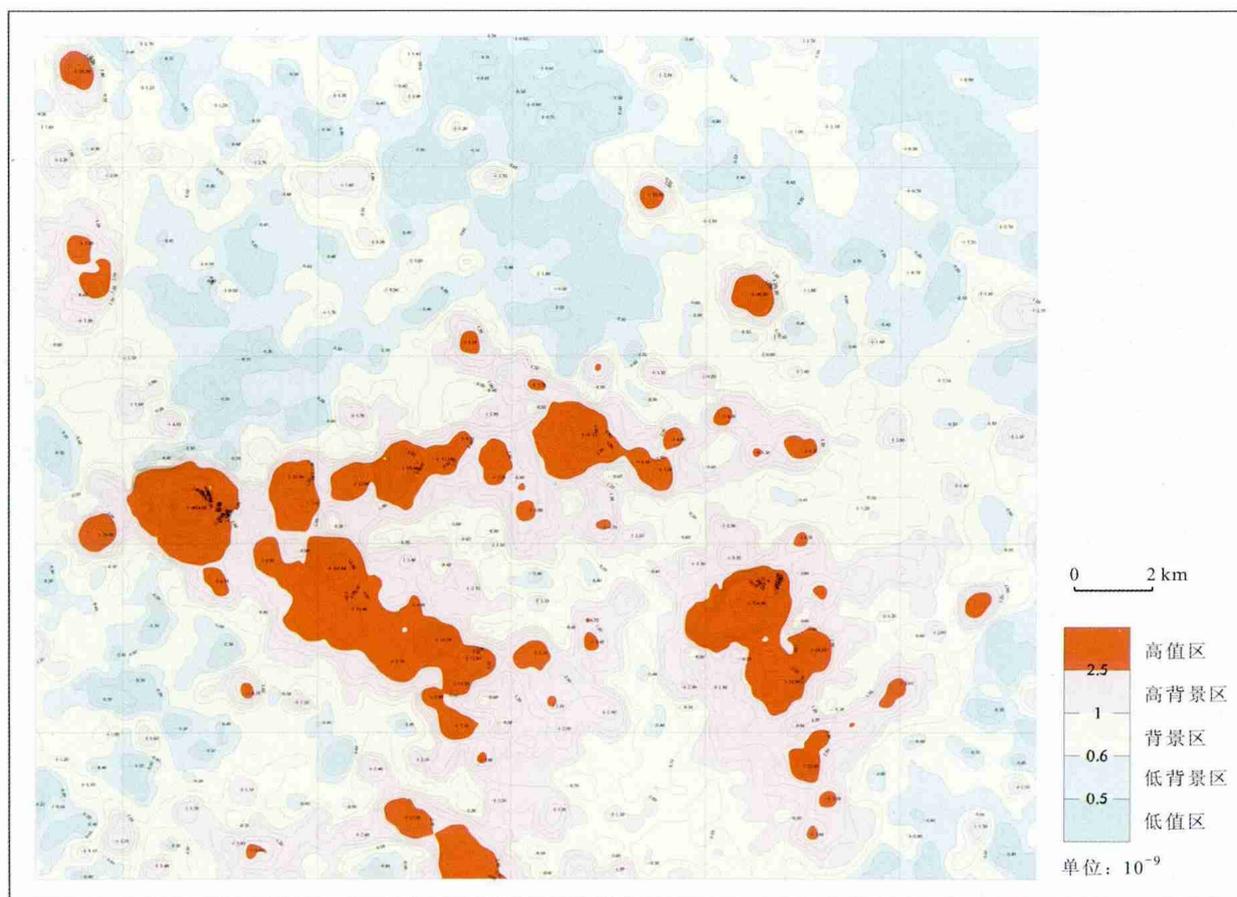


图 2 鸡冠山地区水系沉积物测量 Au 地球化学图

Fig. 2 Geochemical map of stream sediment for Au in Jiguanshan area

区呈小面积、孤岛状相对集中分布于西吴家沟一带,处于辽河群地层出露区。总体上强度较低,最大值达 103×10^{-6} 。低背景及低值区集中大面积分布于北部。

Pb 元素: 总体上与 Cu 相似,但其南部高值区分布面积较大,最大达 7.47 km^2 ,强度较高,为 $18\,460 \times 10^{-6}$,处于石炭系与古元古代辽河群地层接触带上。而低值区则分布在调查区北部辽河群里尔峪组和混合花岗岩出露区。

Zn 元素: 不同于 Cu、Pb,总体上显示出背景特征。但高背景、高值区仍与 Cu、Pb 基本一致,只是高值区面积大,最大可达 8.30 km^2 ;而低值区分布则与 Pb 基本一致,分布在调查区北部辽河群里尔峪组和混合花岗岩出露区。

Ni、Co 元素: 在区内分布基本一致,总体以低背景、高背景相间无规律分布。高值区分布局限,面积小,在南部辽河群地层出露区则相对集中且面积较大。而在花岗岩分布区呈低背景特征。

W、Sn、Mo、Bi 元素: 在空间上的分布特征基本一致。调查区花岗岩体出露区为背景值分布区,辽河群

地层出露区以背景、高背景分布为特征,局部出现孤岛状高背景或高值区。以上特点充分反映了 W、Sn、Mo、Bi 元素的一般地球化学特征,具有相似的或相近的地球化学性质,即该组高温元素组合与酸性侵入岩关系密切的正常规律性,且一致性较好。

As 和 Sb 元素: 二者分布较为相似,全域表现出背景、高背景特征。高值区分布局限,面积较大,处于辽河群地层出露区。而在花岗岩分布区呈低背景特征。

2.2.3 元素组合特征

元素的组合关系可以反映一定的地质、地球化学环境。为显示元素之间的相关关系,对调查区全部分析数据进行 R 型聚类分析(见图 3)。

(1) 距离系数 0.3 水平上,可分为 4 类元素组合。

第一类: W、Sn、Mo、Au 单独存在,一定程度上反映其矿化类型;

第二类: Cu、Co、Ni、Zn 组合,反映高温热液活动特征;

第三类: Ag、Pb、Bi 组合,反映中高温热液活动特征;

第四类: As、Sb 组合,反映基性火山岩分布特征。

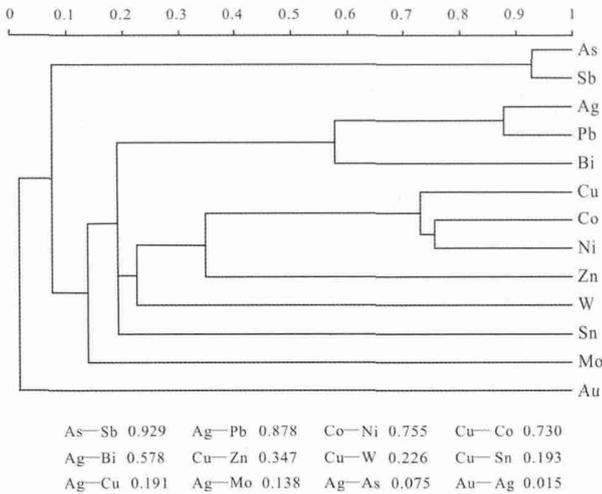


图 3 聚类分析图(全区)

Fig. 3 Cluster analysis of the whole area

(2)在距离系数 0.5 水平上又可分为 2 类元素组合。

第一类: Zn、W、Sn、Mo、Au 均单独存在,相关性较差,一定程度上反映其矿化类型以及多期成矿作用;

第二类: As、Sb、Ag、Pb、Bi、Cu、Co、Ni 等组合,反映基性火山岩或基性岩脉集中分布特征。

依据 R 型聚类分析结果,本次研究共划分 Ag-Pb-Bi 组合异常 14 处,Cu-Co-Ni 组合异常 16 处,As-Sb 组合异常 7 处。

Ag-Pb-Bi 组合异常:主要分布在调查区的南部,异常沿近东西向或北西向展布,出露地层主要为古元古代辽河群地层。异常区内有多个已知铅锌矿点,异常规模较大,强度较高,浓集中心不明显。

Cu-Co-Ni 组合异常:主要分布在调查区的南部,异常沿北东或北西向展布,受构造断裂影响,出露地层主要为辽河群地层,少量出露于燕山期的中酸性侵入岩中。异常区内有已知铜矿点,异常规模较大,强度较高,有一定的浓集中心。

As-Sb 组合异常:主要分布在调查区的南部和北部,异常沿北东或北西向展布,受构造断裂影响,出露地层主要为辽河群地层。依据组合异常图可见,As 和 Sb 相关性较好,异常形态类似。异常规模较小,强度较高,有一定的浓集中心。

2.2.4 组合异常特征

(1)组合异常圈定

在单元素异常图的基础上,根据异常性质、组合特征以及异常所处的地质背景、成矿地质条件等因素圈定组合异常。调查区共圈出组合异常 15 个。详见图 2。

(2)组合异常评序

Σ NAP 值评序:计算出各组合异常的 Σ NAP 值,按 Σ NAP>400、400~300、300~200、200~100、100~50、<50 分 6 个组,分别得 6、5、4、3、2、1 分。需要说明的是,在组合异常的圈定时,如果只圈进了某种元素的 1/2 或 1/4 时,计算 Σ NAP 值时,只能计算该元素 NAP 值的 1/2 或 1/4。

浓度分带评序:以单元素异常的一级、二级、三级浓度分带,分别得 1、2、3 分。

异常元素种数评序:按组合异常中单元素种数(n),分别得 n 分。

成矿地质条件评序:按组合异常的区域地质成矿条件(地层、侵入岩、构造、矿产)的优劣情况给分,成矿地质条件极有利者得 9 分,有利者得 6 分,一般者得 3 分,差者得 1 分。

根据以上参数对综合异常进行打分、名次排序,名次越靠前者,找矿意义越大,评序结果见表 4。

3 找矿远景区划分

在水系沉积物组合异常评序及对主要异常解释、推断的基础上,结合区域成矿地质条件、路线地质调查和矿点检查,圈定具有一定找矿潜力的远景区 3 处,其中以金为主的远景区 2 处,以铅锌为主的远景区 1 处。

3.1 孙家堡子金成矿远景区

远景区位于研究区的西南部,为 Hs-11 异常。异常带长约 20 km,宽约 6 km,呈北西向带状展布,面积约 98 km²,受构造断裂影响,出露地层主要为古元古代辽河群地层。该区主要成矿元素为 Au、Ag、Pb,有多处浓集中心,多处于断裂处或侵入岩体附近。伴生元素较为平缓。

3.2 陶家隈子金成矿远景区

此远景区位于研究区的中部地区,为 Hs-10 异常。异常带长约 13 km,宽约 3 km,呈近东西向带状展布,面积约 42 km²,出露地层为辽河群。该区与孙家堡子金成矿远景区相近,主要成矿元素为 Au、Ag、Pb,具有多处浓集中心,多处于断裂处或侵入岩体附近。伴生元素较为平缓。

3.3 关家堡铅锌成矿远景区

此远景区位于研究区的南部,为 Hs-9 异常。异常带呈面状展布,面积约 16 km²。出露地层为古元古代辽河群,被后期燕山期的中酸性侵入岩及混合花岗岩侵入,形成成矿的有利条件。该区主要成矿元素为 Pb、Ag、Au、Zn,伴生 Co、Bi 等,其中 Pb、Zn 异常具有一定

表 4 组合异常评序表
Table 4 The ranking of composite abnormalities

| 异常编号 | Σ NAP | | 浓度分带 | | 元素 | | 成矿地质条件 | | 评序结果 | |
|-------|---------|----|------|---------------------------------------|----|------|--------|-----|------|--|
| | Σ NAP | 得分 | 得分 | 种数 | 得分 | 优劣情况 | 得分 | 总得分 | 名次 | |
| Hs-01 | 369.62 | 5 | 3 | Au-Ag-Pb-Co-Cu-As-Bi-Sb-Ni-W-Zn | 11 | 有利 | 6 | 25 | 4 | |
| Hs-02 | 51.86 | 2 | 3 | Sn-Ag-Au-W-Pb-Sb-As-Bi | 8 | 有利 | 6 | 16 | 8 | |
| Hs-03 | 106.46 | 3 | 2 | Ag-Pb-Sn-Cu-Mo-Ni-As-Sb-Co-W-Zn | 11 | 有利 | 9 | 25 | 4 | |
| Hs-04 | 55.72 | 2 | 3 | Ag-Au-Pb-Sb-W | 5 | 有利 | 6 | 16 | 8 | |
| Hs-05 | 52.93 | 2 | 3 | Co-Bi-Ni-Sn-W-Zn | 6 | 一般 | 3 | 14 | 10 | |
| Hs-06 | 86.79 | 2 | 2 | Ag-As-Bi-Pb-Sn | 5 | 有利 | 6 | 15 | 9 | |
| Hs-07 | 42.22 | 1 | 3 | W-Au-Bi-Co-Cu-Sn-As-Zn | 8 | 有利 | 6 | 18 | 7 | |
| Hs-08 | 25.88 | 1 | 3 | W-Bi-Mo-Pb-Sb-Sn-Ag-Zn | 8 | 有利 | 6 | 18 | 7 | |
| Hs-09 | 248.51 | 4 | 3 | Pb-Ag-Au-Zn-W-Cu-Co-Bi-Mo-Ni | 10 | 极有利 | 9 | 26 | 3 | |
| Hs-10 | 214.92 | 4 | 3 | Au-Ag-Pb-Bi-Co-Cu-Ni-As-Sb-Sn-W-Zn | 12 | 极有利 | 9 | 28 | 2 | |
| Hs-11 | 1583.06 | 6 | 3 | Au-Ag-Pb-As-Co-Cu-Mo-Ni-Bi-Sb-Sn-W-Zn | 13 | 极有利 | 9 | 31 | 1 | |
| Hs-12 | 149.65 | 3 | 2 | Au-As-Ag-Cu-Mo-W-Ni-Pb-Sb-Co-Zn | 11 | 一般 | 3 | 19 | 6 | |
| Hs-13 | 1569.07 | 6 | 2 | Au-As-Ag-Pb-Cu-Mo-Ni-Co-Sb-W-Zn | 11 | 有利 | 6 | 25 | 4 | |
| Hs-14 | 45.97 | 1 | 3 | Ag-As-Au-Pb-Zn | 5 | 一般 | 3 | 12 | 11 | |
| Hs-15 | 213.67 | 4 | 2 | Zn-Bi-Mo-Au-Ag-Cu-Co-Pb-Sn | 10 | 有利 | 6 | 22 | 5 | |

浓集中心,异常面积大(图 4),元素组合多样,强度较高,沿断裂构造带分布。

4 结论

(1)鸡冠山地区 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Bi 等元素水系沉积物异常分布明显。Pb、Zn、Ag、Au 异常规模大、套合好,多富集在辽河群地层与中酸性侵入岩接触带上,且元素异常受断裂构造控制明显。以金为主的异

常浓集中心和异常空间分布明显受北西向和近东西向断裂控制;以铅锌为主的异常浓集中心和异常空间分布明显受北东向断裂控制。

(2)在鸡冠山地区,应用水系沉积物地球化学测量可以快速缩小找矿范围,圈定找矿远景区,为地质找矿提供直接、可靠的找矿信息。

(3)根据水系沉积物测量成果,优选出了 Hs-11 金银铅元素富集区代表的孙家堡子金成矿远景区、

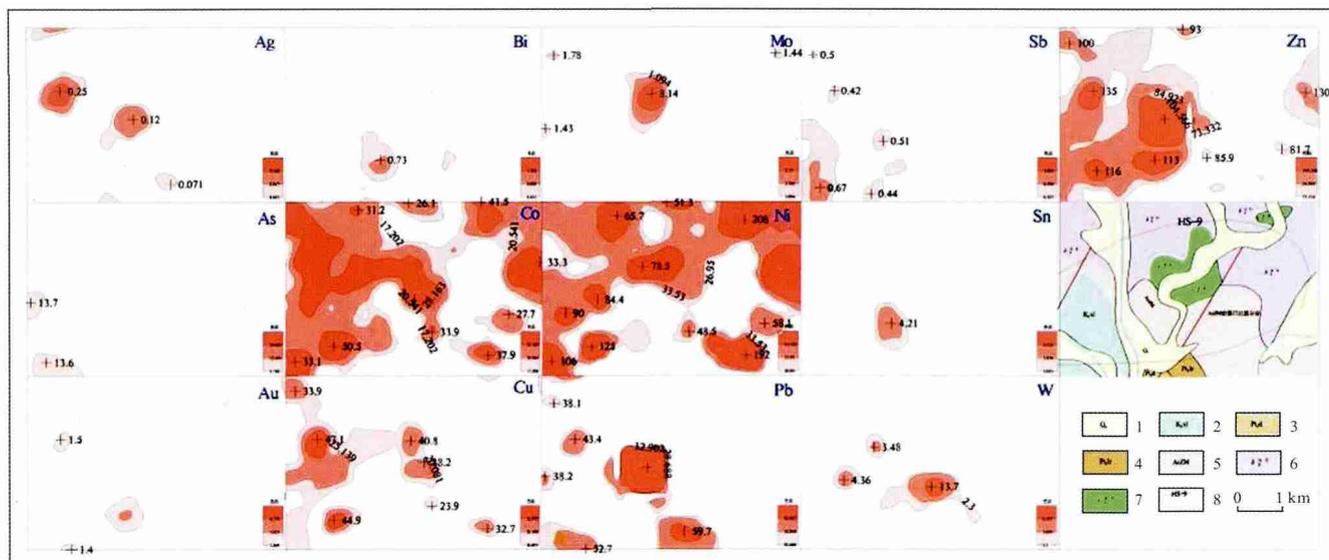


图 4 关家堡铅锌成矿远景区 Hs-9 异常剖析图

Fig. 4 Analytical map for the Hs-9 abnormalities in the Guanjiapu Pb-Zn mineralization prospect area

1—第四系(Quaternary) ; 2—小岭群(Xiaoling gr.) ; 3—大石桥组(Dashiqiao fm.) ; 4—里尔峪组(Lieryu fm.) ; 5—前震旦纪混合岩(pre-Sinian migmatite) ; 6—闪长岩(diorite) ; 7—辉绿岩(diabase) ; 8—异常及编号(abnormal and code)

Hs-10 金银铅元素富集区代表的陶家隈子金成矿远景区和 Hs-9 铅银金锌元素富集区代表的关家堡铅锌成矿远景区, 为今后在该区进行进一步地质找矿工作打下了良好基础。

参考文献:

- [1] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] 张广宇, 欧阳兆灼. 辽东-吉南成矿带成矿规律及找矿方向[J]. 地质与资源, 2013, 22(5): 376—382.
- [3] 饶伟. 吉南-辽东成矿带找矿预测研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 13—58.
- [4] 孙洪泉. 地质统计学及其应用[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [5] 罗先熔. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [6] 李玉芹, 沈恒丽, 王学贞. 都兰地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿预测[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 615—620.
- [7] 夏祥标, 郑来林. 普迟亚地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2009, 33(6): 18—21, 26.