

doi: 10.12029/gc20170314

张国宾, 杨言辰, 梁冰, 韩世炯, 嵇喜准, 袁学旭. 2017. 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, 44(3): 588–603.

Zhang Guobin, Yang Yanchen, Liang Bi, Han Shijiong, Zhuo Xizhun, Yuan Xuexu. 2017. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prediction in the Wandashan area, eastern Heilongjiang Province[J]. Geology in China, 44(3): 588–603(in Chinese with English abstract).

## 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

张国宾<sup>1,2,3</sup> 杨言辰<sup>2</sup> 梁冰<sup>3</sup> 韩世炯<sup>2</sup> 嵇喜准<sup>1</sup> 袁学旭<sup>1</sup>

(1. 辽宁工程技术大学地质工程系, 辽宁 阜新 123000; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;

3. 辽宁工程技术大学力学与工程科学系, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**完达山地区位于中国东北地区东部, 主要由一套近南北走向的玄武岩、堆晶岩、(超)基性熔岩、硅质岩和泥质岩组成, 为中国东部唯一的中生代海相地层发育区, 出露有太平洋板块俯冲形成的增生杂岩组合。研究区矿产资源丰富, 已发现中型矿床1处, 小型矿床4处, 找矿前景较好。在全区1:20万水系沉积物测量基础上, 对完达山地区16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异常分析。分析结果表明, Au、Ni、Cr、Bi、Hg异常高值点多、离散性强, 地质及地球化学条件优越, 成矿潜力强。Au成矿作用主要与中酸性岩浆岩相关, Ni、Cr成矿作用主要与(超)基性岩浆熔离作用相关。在此基础上, 结合区内地质、构造、物探和已知矿床(点)等信息, 优选出4处成矿远景区, 即258高地金成矿远景区、八里桥—仙人台铜镍钨锡成矿远景区、四平山—358高地金银成矿远景区和跃进山—先锋北山金银铜铁成矿远景区, 为完达山地区整体找矿工作部署和区域成矿规律研究提供科学依据。

**关键词:**水系沉积物; 地球化学特征; 成矿远景区; 完达山地区; 黑龙江省

中图分类号: P622<sup>·</sup>4 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)03-0588-16

## Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prediction in the Wandashan area, eastern Heilongjiang Province

ZHANG Guobin<sup>1,2</sup>, YANG Yanchen<sup>2</sup>, LIANG Bi<sup>3</sup>,  
HAN Shijiong<sup>2</sup>, ZHUO Xizhun<sup>1</sup>, YUAN Xuexu<sup>1</sup>

(1. Department of Geology, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 3. Department of Mechanics and Engineering Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

收稿日期: 2016-01-06; 改回日期: 2016-03-16

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120342、1212010786005)、辽宁省博士科研启动基金(201601370)和辽宁工程技术大学第六批生产技术问题基金(20160084T)联合资助。

作者简介: 张国宾, 男, 1983, 博士后, 讲师, 矿产普查与勘探专业, 从事矿床学与矿产勘查方向的科研与教学;

E-mail: zhangguobin000@163.com。

**Abstract:** Located in the eastern part of Northeast China, the Wandashan area mainly consists of basalts, cumulates, (ultra)basic lavas, silicalite and pelites. It contains the only succession of Mesozoic marine facies sedimentary strata in eastern China, known as the Hyperplasia Complex. Mineral resources are rich, and 1 medium-sized deposit and 4 small deposits have been discovered in this area. In addition, it shows more ore potential. Based on the 1:200000 geochemical data of stream sediments in Wandashan area, the authors carried out the correlation analysis, cluster analysis, factor analysis, single element anomaly analysis and combination analysis of 16 kinds of ore-forming elements. The analytical results show that Au, Ni, Cr, Bi, Hg have lots of high points, strong discreteness, favorable geological and geochemical conditions, and strong metallogenic potential. Au mineralization is mainly related to acidic magmatic rocks, and Ni, Cr mineralization is related to the (ultra)basic magma liquation. Combined with geology, tectonics, geophysical exploration and ore deposits (ore spots), the authors selected four metallogenic prospective areas: 258 highland gold metallogenic prospective area, Baliqiao-Xianrentai copper-nickel-tungsten-tin metallogenic prospective area, Sipingshan-358 highland gold-silver metallogenic prospective area, and Yuejinshan-Xianfengbeishan gold-silver-copper-iron metallogenic prospect area. These metallogenic prospective areas provide the scientific basis for the deployment of ore-prospecting work and the study of regional metallogenic regularity of the Wandashan area.

**Key words:** stream sediments; geochemical characteristics; metallogenic prospective area; Wandashan; Heilongjiang Province

**About the first author:** ZHANG Guobin, born in 1983, post doctoral researcher, lecturer, majors in study of ore deposit and mineral exploration. E-mail: zhangguobin000@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey (No. 1212011120342, 1212010786005) and China Postdoctoral Science Foundation.

## 1 引言

水系沉积物是岩石风化的产物,是上游汇水盆地物质的天然组合,在化学成分上与所流经汇水盆地内受剥蚀的地质体有明显的继承性和代表性(蒋敬业等,2006;郝立波等,2007;陆顺富等,2014)。利用这一特点,水系沉积物地球化学测量可以有效获取隐伏、半隐伏矿和难识别矿的成矿信息,为进一步开展地质勘查工作提供依据(夏祥标等,2009;李玉芹等,2011;宋贺民等,2014;刘邦定等,2015),因而在金属矿产资源勘查中发挥着愈来愈重要的作用(杨伟寿等,2007;朱建华,2007;师淑娟等,2011;张江华等,2013;赵武强等,2014)。

完达山地区主要由一套近南北走向的玄武岩、堆晶岩、(超)基性熔岩、硅质岩和泥质岩组成(张兴洲,2010),是中国东部唯一的中生代海相地层发育区域(周建波等,2005;田东江,2007),出露有太平洋板块俯冲形成的增生杂岩组合(Kojima et al., 1987, 1989; Zheng, 1990; 张世红等, 1991; 唐克东等, 1995; 张庆龙等, 1997; 田东江等, 2006; 张雪峰等, 2014; 王庆双等, 2015; 韦延兰等, 2015),且中生代蛇绿岩发育,为中国典型的蛇绿岩发育地区之一(田东江,2007; Zhang et al., 2013)。研究区内矿产资源丰

富,但受年均7~8个月的结冰期及森林植被覆盖影响,地质找矿勘查工作并不理想,在一定程度上制约了区域成矿规律的研究和资源评价工作的安排。有鉴于此,笔者从完达山1:20万水系沉积物测量数据入手,分析水系沉积物地球化学异常与地层、构造、岩浆岩及矿床之间的关系,阐明地球化学异常的控制因素,圈定有利的找矿靶区,为完达山地区整体找矿工作部署和区域成矿规律研究提供科学依据。

## 2 成矿地质背景

完达山地区位于中国东北地区东部,是完达山—锡霍特—阿林超地体在中国境内的出露部分,西与南以宝清大和镇断裂和敦密断裂为界,东与北至乌苏里江边和小佳河镇胜利农场,东西宽约80 km,南北长约240 km,总体上呈近南北向略向西突出的弧形分布,并向宝清过渡带逆掩推覆。该区缺失太古宇、古生界的古老地层,而发育中生代和新生代地层(图1)。

区内构造较为发育,以北东向和北西向构造为主,主要包括敦化—密山断裂、大和镇断裂、富锦—小佳河断裂、饶河北西向断层束和饶河北北东向断层束。

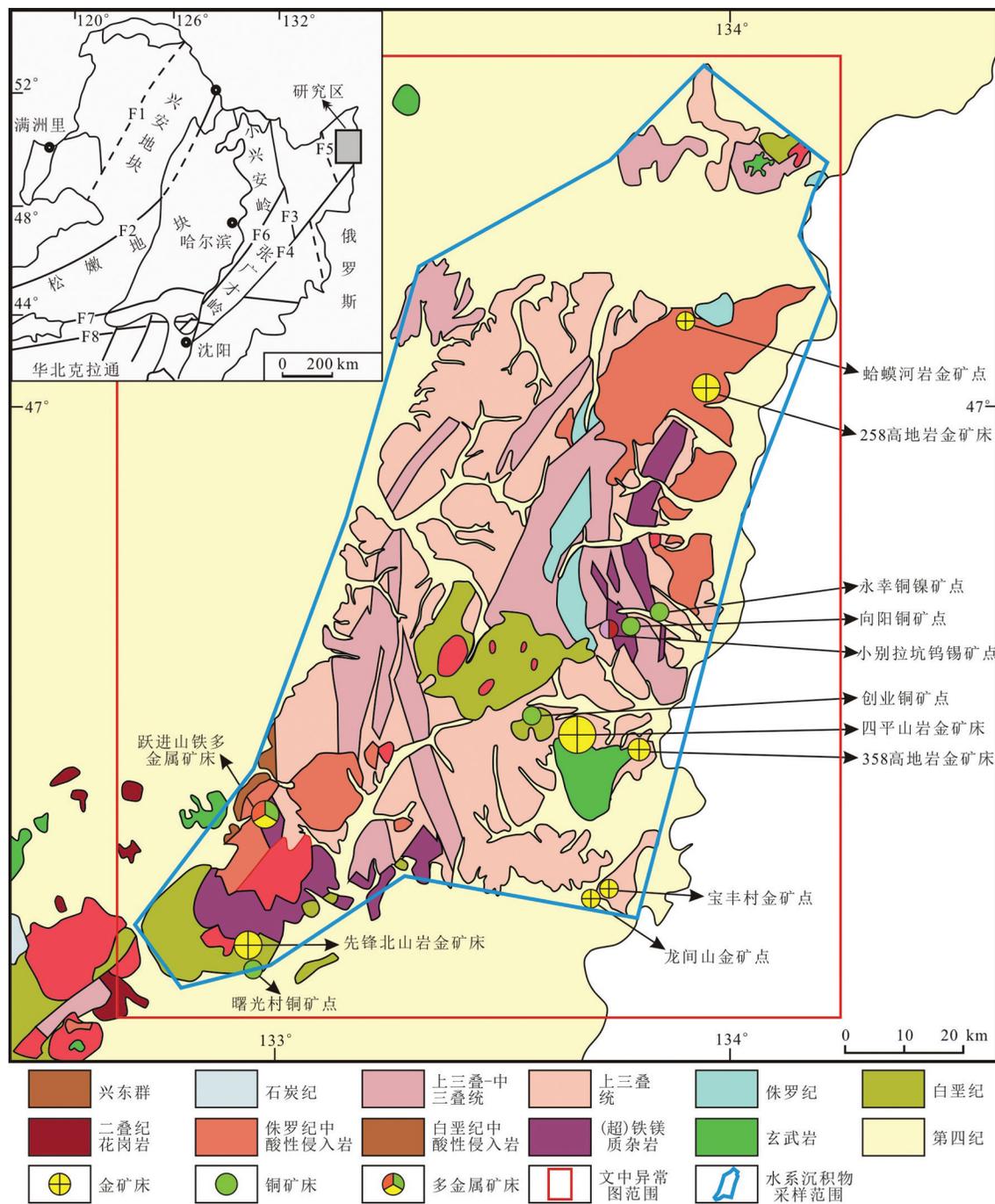


图1 完达山地区区域地质图 (据张国宾, 2014 修改)

Fig.1 Regional geological map of Wanddashan area (modified after Zhang, 2014)

区内岩浆岩十分发育,主要发育有晚古生代(超)基性岩、早中生代(超)基性岩和晚中生代酸性岩浆岩。晚古生代(超)基性岩分布于研究区西南部跃进山—曙光村—东方红一带,为跃进山蛇绿岩的重要组成部分,岩性为玄武岩、角闪辉长岩、辉长岩、蛇纹石化橄榄辉石岩等。早中生代(超)基性岩分布

于研究区东部八里桥—仙人台一带,为饶河蛇绿岩的重要组成部分,岩性为玄武岩、枕状玄武岩、角闪辉长岩、单辉橄榄岩、堆晶辉长岩等。晚中生代酸性岩浆岩由酸性侵入岩和酸性火山岩组成,酸性侵入岩出露于蛤蟆河、蛤蟆通水库和东方红镇西北部,岩性为花岗闪长岩、正长花岗岩、斜长花岗岩和

二长花岗岩等。酸性火山岩位于研究区南部大塔山林场组和皮克山组地层中,岩性为流纹岩、流纹质凝灰岩、流纹质凝灰熔岩、热液角砾岩等。

区内金属矿产主要与晚中生代晚期酸性岩浆岩和早中生代(超)基性岩有关,矿种为金、银、铜、镍、钴等,到目前为止,已发现中型矿床1座(四平山金矿床),小型矿床4座(先锋北金矿床、258高地金矿床、358高地金矿床、跃进山铜金属矿床),矿点10余处(蛤蟆河金矿点、宝丰村金矿、永幸铜镍矿点等)。

### 3 地球化学特征

#### 3.1 样品采集加工与分析质量

样品采集严格遵守1:20万水系沉积物测量规范,平均采样密度为1.18个/4 km<sup>2</sup>,采集样品2114件(不包括重复密码分析样)。采样点主要分布在二、三级水系内,长度为1~2 km的一级水系口,长度大于2 km的一级水系内适当增加采样点,采样介质为活性水系沉积物(如:淤泥、粉砂),每个样品在采样点附近30~50 m范围内进行多点(不少于3点)采集,合并为一个样品,样品重量过筛后不少于300 g,取10~60目粒度作为分析样品(杨小峰等,2007;李林山等,2009;朴寿成等,2009)。分析测试单位为国土资源部哈尔滨矿产资源监督检查中心,分析测试方法采用原子吸收分光光度法(AAS)、原子荧光分光光度法(AFS)、X射线荧光光谱法(XRF)和电感耦合

等离子体质谱法(ICP-MS)等方法,样品分析项目为As、Au、Hg、Sb、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Sn、W、Co、Cr、Ni、V。

根据森林沼泽区技术方法研究要求,在分析元素、测试分析配套方案、测试分析质量监控方法等方面制定了统一的技术方法。其中,测试分析质量监控采用外部质量监控和内部质量监控相结合的方法,实验室内部按样品总数随机抽取5%的重份样品进行分析,合格率为100%,同时随机抽取8%的样品进行随机重复密码分析,合格率为97%。综上所述,分析报告中的化探数据可靠,分析质量达到或优于规范质量等级。

#### 3.2 元素含量特征

采用元素含量最高值( $C_{Max}$ )、最低值( $C_{Min}$ )、平均值( $X$ )、标准离差( $S$ )、变异系数( $C_v$ )、富集系数( $K$ )等地球化学参数来阐明和讨论1:20万水系沉积物地球化学特征及规律。浓集系数( $K$ )为研究区元素平均值与全省元素平均值之比,变异系数( $C_v$ )为元素标准偏差与均值之比。

研究区内Au、Cu、Pb、Zn、Sn、W、Co、Ni、V、Cr元素的浓集系数均大于1.00,表明这些元素在完达山地区具有一定的次生富集倾向,有利于成矿;Ag、Hg、Bi、Sn、Mo元素的浓集系数小于1.00(表1),表明这些元素在完达山地区趋于贫化,成矿作用相对较弱。结合研究区各元素变异系数由Bi-Cr-Au-Ni-

表1 完达山地区水系沉积物地球化学特征参数

Table 1 Geochemical parameters of the stream sediment samples from Wandashan area

| 元素 | 样品数  | 均值    | 中位值   | 最大值     | 黑龙江省均值 | 偏度    | 标准离差   | 变异系数 | 浓集系数 | 异常下限   |
|----|------|-------|-------|---------|--------|-------|--------|------|------|--------|
| As | 2114 | 9.47  | 9.00  | 50.56   | 9.50   | 2.05  | 4.98   | 0.53 | 1.00 | 16.75  |
| Au | 2114 | 1.16  | 1.00  | 20.80   | 1.00   | 8.59  | 1.22   | 1.05 | 1.16 | 2.02   |
| Hg | 2114 | 42.68 | 39.00 | 1600.00 | 46.00  | 29.84 | 42.25  | 0.99 | 0.93 | 61.69  |
| Sb | 2114 | 0.46  | 0.43  | 2.55    | 0.61   | 2.15  | 0.22   | 0.47 | 0.75 | 0.81   |
| Ag | 2114 | 91.10 | 85.00 | 1610.00 | 94.00  | 16.47 | 52.88  | 0.58 | 0.97 | 136.92 |
| Cu | 2114 | 25.55 | 23.50 | 174.70  | 18.50  | 4.19  | 11.21  | 0.44 | 1.38 | 37.63  |
| Pb | 2114 | 22.73 | 22.50 | 67.30   | 22.30  | 2.34  | 3.50   | 0.15 | 1.02 | 28.09  |
| Zn | 2114 | 87.26 | 84.10 | 220.00  | 71.30  | 0.60  | 21.89  | 0.25 | 1.22 | 128.16 |
| Bi | 2114 | 0.35  | 0.30  | 12.59   | 0.37   | 17.43 | 0.50   | 1.42 | 0.95 | 0.48   |
| Mo | 2114 | 1.21  | 1.17  | 13.75   | 1.48   | 14.83 | 0.49   | 0.40 | 0.82 | 1.70   |
| Sn | 2114 | 3.28  | 3.10  | 45.00   | 2.40   | 13.07 | 1.75   | 0.53 | 1.37 | 4.39   |
| W  | 2114 | 1.94  | 1.87  | 13.60   | 1.85   | 5.24  | 0.67   | 0.35 | 1.05 | 2.73   |
| Co | 2114 | 15.64 | 14.60 | 97.80   | 12.00  | 4.73  | 6.22   | 0.40 | 1.30 | 22.21  |
| Cr | 2114 | 88.27 | 62.90 | 1771.30 | 52.00  | 7.52  | 106.75 | 1.21 | 1.70 | 127.10 |
| Ni | 2114 | 33.08 | 26.00 | 715.80  | 24.10  | 9.43  | 32.88  | 0.99 | 1.37 | 48.17  |
| V  | 2114 | 78.30 | 79.70 | 168.90  | 72.40  | 0.09  | 18.07  | 0.23 | 1.08 | 112.71 |

注: Au、Ag、Hg单位为10<sup>-9</sup>;其他元素单位为10<sup>-6</sup>。

Hg-Ag-As-Sn-Sb-Cu-Co-Mo-W-Zn-V-Pb 逐渐下降,意味着从Bi到Pb成矿作用依次减弱。

### 3.3 元素变化特征

水系沉积物样品中各元素原始数据的变异系数( $C_{v1}$ )(薛水根, 1979; 刘劲松等, 2016)和背景数据(采用 $>X+3S$ 及 $<X-3S$ 迭代剔除,直至无离群点数值可剔除为止,即所有数据全部分布 $>X-3S$ 与 $<X+3S$ 间)的变异系数( $C_{v2}$ )反映了数据处理前后的离散程度(张运强等, 2015),  $C_{v1}/C_{v2}$ 反映背景拟合处理时离散值的削平程度。因而可以利用  $C_{v1}$  和  $C_{v1}/C_{v2}$  制作变异系数图解,从变异系数图解(图2)中可以看出,区内Bi含量变化幅度最大,高强度数据最多,分布极不均匀,成矿特别有利;Au、Ni、Cr、Hg 高强度数据较多,变异系数较大,有利于成矿,且大多数异常内已发现矿床(点)(如四平山金矿、先锋北山金矿、跃进山金矿、永幸铜镍矿点等);Ag、As、Sn、Sb、Cu、Co、Mo、W、Zn、V、Pb在测区中的  $C_{v1}$  和  $C_{v1}/C_{v2}$  值都较低,成矿可能性较低。

### 3.4 元素分布特征

通过对完达山地区2114件水系沉积物样品的地球化学数据统计,得到各元素丰度直方图。由该元素丰度直方图(图3)可知,Au、Bi、Ni、Cr元素的标准偏差分别为1.22、0.49、32.88、106.75,变异系数分别为1.05、1.42、0.99、1.21,呈非正态分布,具有较强的成矿潜力;Hg、Ag、Cu、Co元素的标准偏差分别为42.25、52.88、11.21、6.22,变异系数分别为0.99、

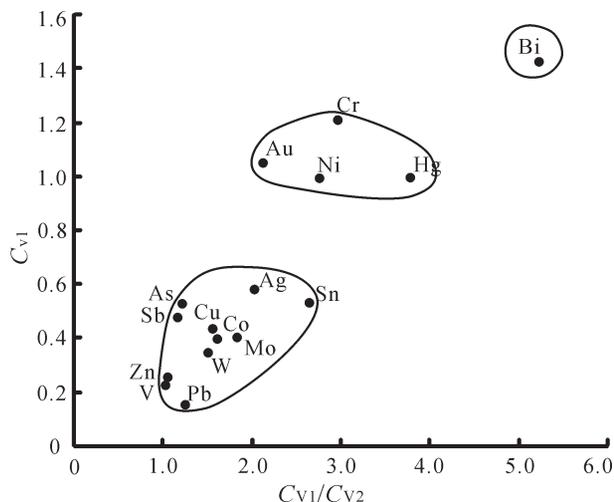


图2 完达山地区各元素变异系数解释图

Fig.2 Variation coefficients of various elements in Wandashan area

0.58、0.44、0.40,呈近似正态分布,具有一定的成矿潜力;As、Sb、Pb、Zn、W、Mo、Sn、V元素的标准偏差分别为5.00、0.22、3.50、21.89、0.67、0.49、1.75、18.07,变异系数分别为0.53、0.47、0.15、0.25、0.35、0.40、0.53、0.23,服从正态分布,成矿潜力较弱。

### 3.5 元素相关性特征

#### 3.5.1 聚类分析

由表2可知,Co、Cr、Ni、Cu、Zn、V元素呈显著正相关,Au、As、Sb、Bi、Sn元素之间呈正强相关。在R聚类分析图中(图4),以 $R=0.3$ 为界成矿元素可分5类。

表2 完达山地区水系沉积物成矿元素相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of metallogenic elements from Wandashan area

|    | As    | Au    | Hg    | Sb    | Ag   | Cu   | Pb    | Zn   | Bi    | Mo    | Sn   | W    | Co   | Cr   | Ni   | V    |
|----|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| As | 1.00  |       |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Au | 0.19  | 1.00  |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Hg | 0.03  | 0.03  | 1.00  |       |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Sb | 0.63  | 0.17  | 0.07  | 1.00  |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Ag | 0.10  | 0.12  | 0.00  | 0.08  | 1.00 |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Cu | 0.12  | 0.09  | 0.06  | 0.09  | 0.12 | 1.00 |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Pb | 0.32  | 0.07  | 0.02  | 0.20  | 0.11 | 0.13 | 1.00  |      |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Zn | -0.02 | 0.00  | 0.09  | -0.01 | 0.15 | 0.57 | 0.22  | 1.00 |       |       |      |      |      |      |      |      |
| Bi | 0.06  | 0.24  | 0.01  | 0.03  | 0.07 | 0.30 | 0.06  | 0.12 | 1.00  |       |      |      |      |      |      |      |
| Mo | 0.03  | 0.00  | 0.03  | 0.03  | 0.02 | 0.27 | 0.08  | 0.13 | 0.06  | 1.00  |      |      |      |      |      |      |
| Sn | 0.08  | 0.25  | -0.01 | 0.04  | 0.07 | 0.29 | 0.14  | 0.13 | 0.81  | 0.02  | 1.00 |      |      |      |      |      |
| W  | 0.14  | 0.03  | 0.03  | 0.04  | 0.06 | 0.18 | 0.10  | 0.07 | 0.23  | 0.42  | 0.22 | 1.00 |      |      |      |      |
| Co | 0.07  | 0.05  | 0.02  | 0.02  | 0.05 | 0.51 | 0.05  | 0.43 | 0.07  | 0.04  | 0.07 | 0.03 | 1.00 |      |      |      |
| Cr | 0.02  | 0.00  | 0.00  | -0.02 | 0.00 | 0.41 | -0.06 | 0.29 | 0.09  | -0.02 | 0.10 | 0.04 | 0.76 | 1.00 |      |      |
| Ni | 0.04  | -0.01 | 0.03  | -0.02 | 0.04 | 0.44 | -0.05 | 0.35 | 0.06  | 0.01  | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.74 | 1.00 |      |
| V  | 0.28  | 0.01  | 0.03  | 0.20  | 0.01 | 0.28 | 0.30  | 0.09 | -0.01 | 0.07  | 0.07 | 0.15 | 0.31 | 0.19 | 0.20 | 1.00 |

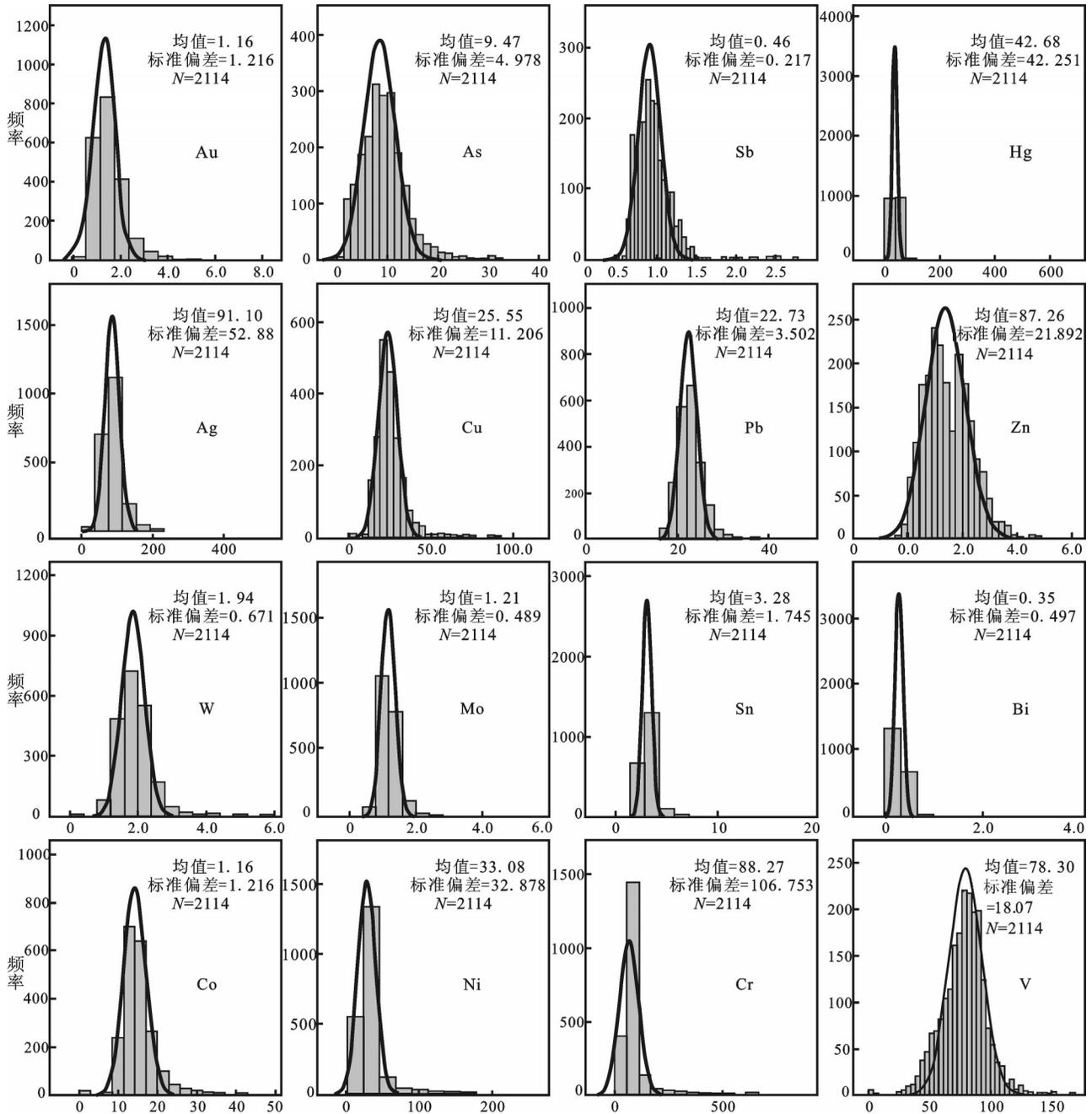


图3 完达山地区元素丰度直方图  
Fig.3 Histogram of element abundance in Wandashan area

第一类 Bi、Sn: 主要分布于完达山西南部蛤蟆通岩体内,其次分布于大顶子—仙人台(超)基性岩带中,反映与高温热源作用相关的矿化信息。

第二类 Au、Ag、Hg: 异常分布与岩浆岩体相关, Au 与 Ag、Hg 相关性较强,代表低温热液矿化作用,组合异常是测区寻找 Au、Ag 矿床的重要地球化学找矿标志。

第三类 Co、Cr、Ni、Cu、Zn: 位于大顶子—仙人台(超)基性岩带和跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带内,Co、Cr、Ni 密切相关,反映 Co、Cr、Ni、Cu、Zn 元素富集与蛇绿岩中(超)基性岩形成相关。

第四类 W、Mo: 与 Co、Cr、Ni、Cu、Zn 和 As、Sb、Pb、V 均具有一定的相关性,其成因复杂,既受岩浆热液控制又受地层控制。

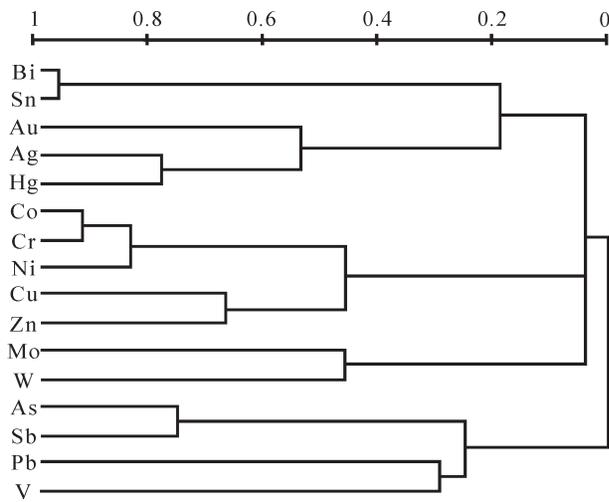


图4 完达山地区水系沉积物元素聚类分析谱系图

Fig.4 Dendrogram of geochemical data of stream sediments in Wandashan area

第五类 As、Sb、Pb、V: 元素具有一定相关性, 其富集作用主要与三叠纪地层相关, 为层控元素。

### 3.5.2 因子分析

样品原始数据因子分析的相关矩阵特征根和累积百分比见表3, 前6个特征根代表的方差占总方差的68.6%, 因此视这前6个因子为主要因子。

F1 因子贡献率最大, 变量元素有 Co、Cr、Ni、Cu、Zn、V, 以亲铁元素为主, 与区内蛇绿岩中的(超)基性岩体相关。F2 因子的元素组合为 Au、Bi、Sn, 反映岩浆岩矿化作用, 低温的 Au 元素可能与高温的 Bi、Sn 元素具有同源关系。F3 因子的元素为 Au、As、Sb, 是本区最为重要的一种元素组合, 与酸性岩浆岩相关, 反映中低温热液矿化作用。

F4、F5 因子的元素组合为 W、Mo、Cu 和 Ag、Cu、Zn、Pb, 分别代表研究区高温与中温矿化阶段。F6 因子的变量元素仅有熔点较低 Hg 元素, Hg 迁移能力非常强, 暗示本区内多金属成矿作用与中酸性含矿热液沿构造充填作用有关。

## 4 地球化学异常分析

### 4.1 单元素异常特征

文中异常外带边界、中带边界和内带边界分别由异常下限、2倍异常下限和4倍异常下限确定。异常下限计算公式为:  $C_t = X + 2\delta$  ( $X$  为背景平均值,  $\delta$  为标准离差,  $C_t$  为异常下限)。

表3 完达山水系沉积物成矿元素主因子分析

Table 3 Principal factor analysis of metallogenic elements from Wandashan area

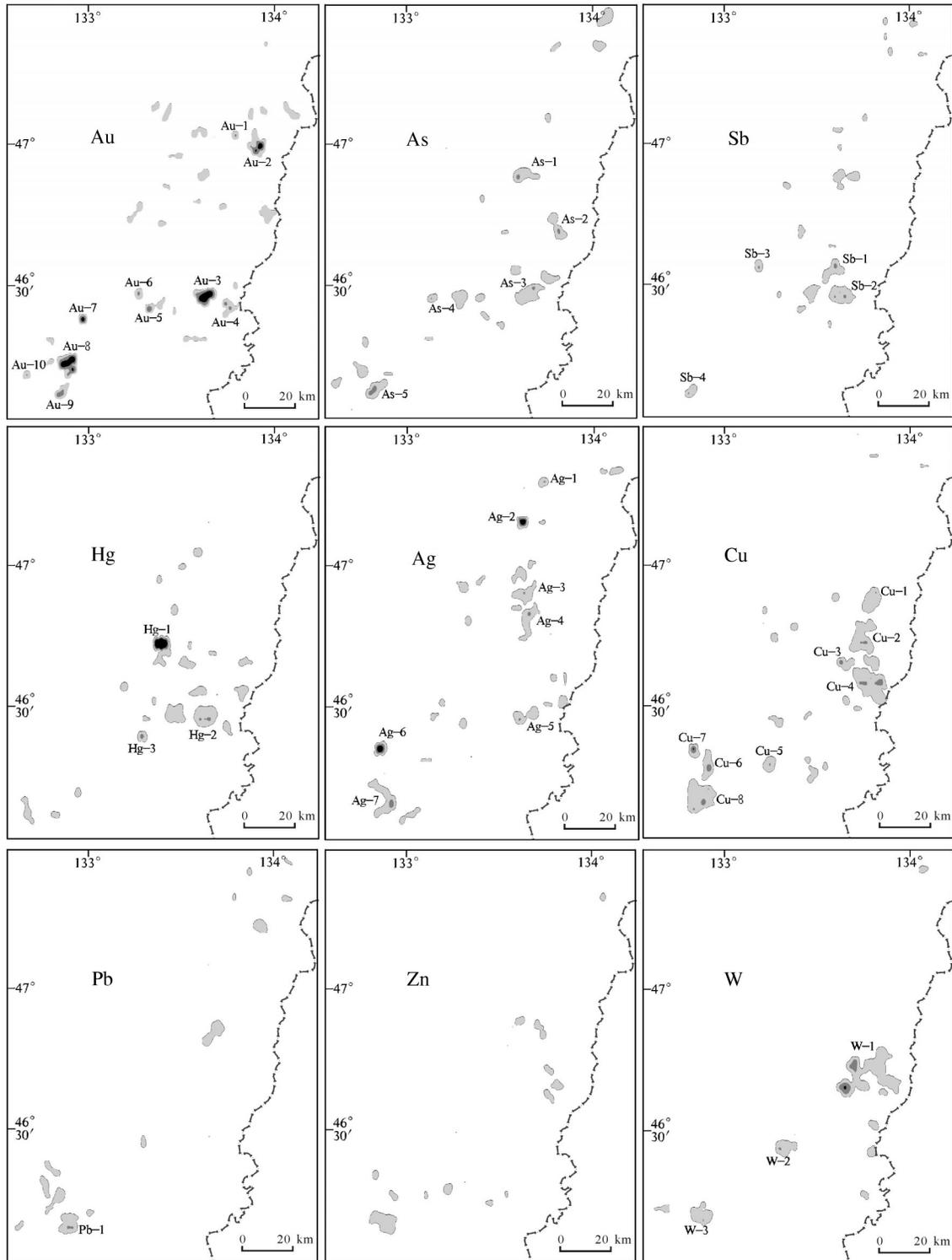
|        | F1    | F2    | F3    | F4    | F5    | F6    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| As     | 0.03  | 0.07  | 0.87  | 0.05  | 0.05  | -0.03 |
| Au     | -0.02 | 0.47  | 0.31  | -0.15 | 0.07  | 0.24  |
| Hg     | 0.04  | -0.05 | 0.12  | 0.11  | 0.11  | 0.79  |
| Sb     | -0.01 | 0.03  | 0.84  | 0.00  | 0.02  | 0.12  |
| Ag     | -0.04 | 0.09  | 0.06  | -0.10 | 0.63  | 0.13  |
| Cu     | 0.60  | 0.24  | 0.04  | 0.31  | 0.40  | 0.00  |
| Pb     | -0.09 | 0.02  | 0.38  | 0.11  | 0.57  | -0.36 |
| Zn     | 0.46  | 0.03  | -0.13 | 0.14  | 0.67  | 0.07  |
| Bi     | 0.07  | 0.91  | -0.03 | 0.14  | 0.04  | -0.02 |
| Mo     | 0.00  | -0.05 | -0.01 | 0.84  | 0.08  | 0.07  |
| Sn     | 0.07  | 0.91  | 0.01  | 0.11  | 0.09  | -0.11 |
| W      | 0.03  | 0.20  | 0.10  | 0.78  | -0.06 | -0.03 |
| Co     | 0.88  | 0.00  | 0.07  | -0.01 | 0.12  | -0.05 |
| Cr     | 0.90  | 0.05  | 0.00  | -0.05 | -0.09 | 0.01  |
| Ni     | 0.87  | 0.01  | 0.00  | 0.01  | -0.02 | 0.02  |
| V      | 0.31  | -0.08 | 0.45  | 0.19  | 0.10  | -0.45 |
| 方差/%   | 18.91 | 12.48 | 12.12 | 9.73  | 8.71  | 6.69  |
| 累积方差/% | 18.91 | 31.38 | 43.50 | 53.23 | 61.93 | 68.62 |

由图5可知, 完达山地区共圈出 Au 元素异常9处, Au-2、Au-3、Au-7、Au-8 为多点内带异常, 异常面积大、衬度高, 具有较强的找矿意义, 是重要的 Au 找矿靶区; Au-1、Au-4、Au-5、Au-6、Au-9 为多点中带异常, 为找矿远景区。Au-2 异常位于哈蚂河岩体内, 面积约为 49.01 km<sup>2</sup>, 呈闭合的不规则椭圆状, 2 个浓集中心, 浓集中心最大值为 16.83×10<sup>-9</sup>, 258 金矿床就位于该 Au 异常带内; Au-3 异常位于四平山附近, 面积约为 49.13 km<sup>2</sup>, 为闭合的不规则状, 呈北东向展布, 有 1 个浓集中心, 浓集中心最大值为 19.60×10<sup>-9</sup>, 四平山金矿床处于该 Au 异常带内; Au-8 异常位于蛤蟆通岩体内, 面积约为 59.15 km<sup>2</sup>, 为闭合的不规则状, 呈北东向展布, 有 2 个浓集中心, 浓集中心最大值为 20.80×10<sup>-9</sup>。

As 元素异常总体规模较小, 无多点内带异常, 5 处多点中带异常。其中, As-3、As-5 异常分别与 Au-3、Au-9 和 Ag-5、Ag-7 等元素异常完全套, 表明 As 可作为寻找 Au、Ag 矿床(体)的指示元素。

Sb 元素异常规模较小, 无多点内带异常, 4 处多点中带异常。其中, Sb-2 异常与 Au-3 和 Ag-5 套和较好, Sb-4 异常与 Au-9 和 Ag-7 套和较好。

Hg 元素异常 3 处, Hg-1 为多点内带异常, 异常面积大、衬度高, 呈闭合的不规则状, 面积约为 50.01 km<sup>2</sup>, 有 1 个浓集中心, 浓集中心最大值为



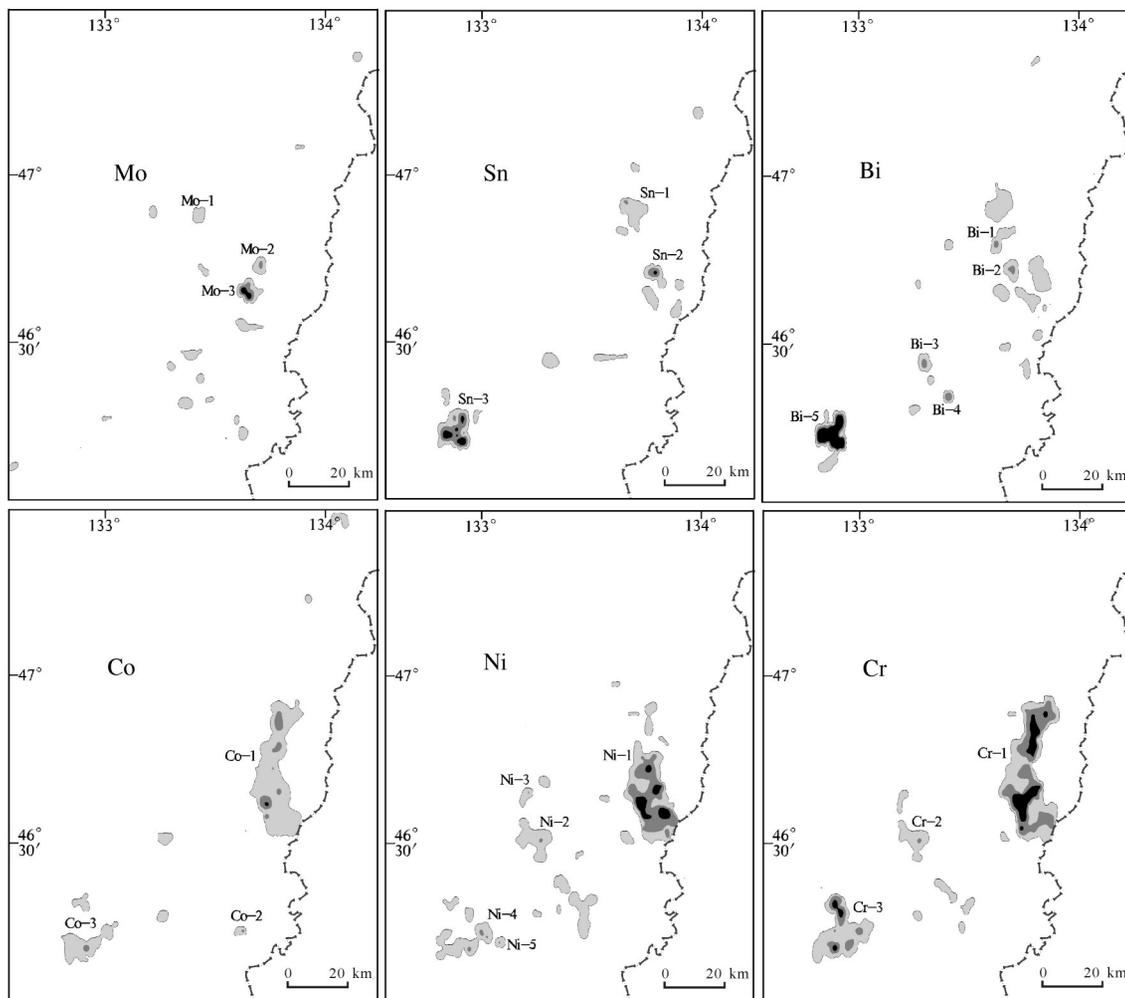


图5 完达山地区单元素异常剖析图  
Fig.5 Single element anomalies profile in Wandashan area

$1600.00 \times 10^{-9}$ ; Hg-2 位于四平山金矿区附近,为多点中带异常,与 Au-3 和 Ag-5 套和较好,呈闭合的圆形,面积约为  $60.46 \text{ km}^2$ ,有 2 个浓集中心,浓集中心最大值为  $160.00 \times 10^{-9}$ 。Hg-3 为多点中带异常,呈闭合的圆形,面积约为  $12.57 \text{ km}^2$ ,有 1 个浓集中心,浓集中心最大值为  $206.00 \times 10^{-9}$ 。

Ag 元素异常 7 处,Ag-2、Ag-6 为多点内带异常,异常面积大、衬度高,具有重要找矿意义,可以作为 Ag 找矿靶区;Ag-1、Ag-3、Ag-4、Ag-5、Ag-7 为多点中带异常,可以作为找矿远景区。Ag-2 异常位于研究区北部,呈闭合的圆形,面积约为  $17.85 \text{ km}^2$ ,有 1 个浓集中心,浓集中心最大值为  $1220.00 \times 10^{-9}$ ,目前尚未发现 Ag 矿床(点),找矿潜力较大;Ag-6 异常位于跃进山附近,呈闭合的圆形,面积约为  $20.00$

$\text{km}^2$ ,有 1 个浓集中心,浓集中心最大值为  $1610.00 \times 10^{-9}$ ,跃进山铜金矿床位于该异常内;Ag-5 异常位于四平山附近,面积约为  $35.43 \text{ km}^2$ ,有 1 个浓集中心,浓集中心最大值为  $285.00 \times 10^{-9}$ ,四平山金矿床位于该异常内;Ag-7 异常位于先锋北山附近,面积约为  $61.27 \text{ km}^2$ ,有 1 个浓集中心,浓集中心最大值为  $455.00 \times 10^{-9}$ ,先锋北山金矿床位于该异常内。虽然,Ag-3、Ag-4 异常内尚未发现相应的 Ag 矿床(点),但这两处异常带规模较大,异常衬度较高,找矿潜力较好。

Cu 元素异常 8 处,Cu-7 为多点内带异常,其他 7 处均为多点中带异常。Cu-1、Cu-2、Cu-3、Cu-4 异常分布与八里桥—仙人台(超)基性岩带分布基本一致;Cu-5、Cu-6、Cu-7、Cu-8 异常与跃进山—曙

光村—东方红(超)基性岩带套合较好。

Pb、Zn异常主要分布于研究区东部和西南部,规模较小,无异常内带,形成铅、锌矿床的可能性较小,找矿潜力不大。

W元素异常3处,W-1位于矿区东部,为多点内带异常,面积约为204.35 km<sup>2</sup>,有2个浓集中心,浓集中心最大值为13.60×10<sup>-6</sup>,异常面积大、衬度高,异常内已发现小别拉坑钨锡矿点,具有一定的找矿前景,可以作为W的找矿靶区。

Mo元素异常3处,Mo-3位于研究区东部,为多点内带异常,衬度高,面积约为41.66 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为13.75×10<sup>-6</sup>,具有较好的找矿潜力,可作为钼矿找矿靶区。

Sn元素异常3处,Sn-1位于蛤蟆岩体南部边缘,为多点中带异常,面积约为57.41 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为9.00×10<sup>-6</sup>,主要受蛤蟆河岩体控制;Sn-2异常位于研究区东部(超)基性岩带内,为多点内带异常,面积约为32.79 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为26.00×10<sup>-6</sup>;Sn-3异常位于蛤蟆通岩体内,为多点内带异常,面积约为94.01 km<sup>2</sup>,有5个浓集中心,浓集中心最大值为45.00×10<sup>-6</sup>。

Bi元素异常共5处,Bi-1、Bi-2位于大顶子—仙人台(超)基性岩带内,为多点中带异常,面积和浓集中心最大值分别为23.98 km<sup>2</sup>、26.31 km<sup>2</sup>和1.62×10<sup>-6</sup>、1.25×10<sup>-6</sup>;Bi-3、Bi-4位于研究区中部,为多点中带异常,面积和浓集中心最大值分别为20.13 km<sup>2</sup>、11.55 km<sup>2</sup>和1.60×10<sup>-6</sup>、6.20×10<sup>-6</sup>;Bi-5异常位于蛤蟆通岩体内,为多点内带异常,面积约为126.91 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为12.59×10<sup>-6</sup>。

Co元素异常3处,Co-1异常位于大顶子—仙人台(超)基性岩带内,为多点内带异常,异常衬度高,面积约为396.13 km<sup>2</sup>,有6个浓集中心,浓集中心最大值为97.80×10<sup>-6</sup>,具有较好的找矿潜力,为钴矿找矿靶区。Co-2异常位于龙间山附近,面积约为9.13 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为48.70×10<sup>-6</sup>;Co-3异常位于跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带内,为多点中带异常,衬度高,面积约为99.98 km<sup>2</sup>,有1个浓集中心,浓集中心最大值为78.20×10<sup>-6</sup>。

Ni元素异常5处,Ni-1异常位于大顶子—仙人

台(超)基性岩带内,为多点内带异常,异常衬度高,面积约为335.86 km<sup>2</sup>,有4个浓集中心,浓集中心最大值为714.80×10<sup>-6</sup>,具有较好的找矿潜力,异常内已发现永幸铜镍矿点;Ni-4异常位于跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带内,为多点中带异常,面积约为102.19 km<sup>2</sup>,有3个浓集中心,浓集中心最大值为132.30×10<sup>-6</sup>;Ni-2、Ni-3、Ni-5异常为中异常,异常面积小,衬度低,找矿潜力不大。

Cr元素异常3处,Cr-1异常位于大顶子—仙人台(超)基性岩带内,呈近南北向分布,面积约为511.55 km<sup>2</sup>,有4个浓集中心,浓集中心最大值为1771.30×10<sup>-6</sup>,具有较好的找矿潜力;Cr-3异常位于跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带内,多点中带异常,面积约为218.55 km<sup>2</sup>,有4个浓集中心,浓集中心最大值为892.60×10<sup>-6</sup>。

V异常总体规模较小,较为分散,且无中带或内带异常,形成矿床的可能性较小,找矿潜力不大。

#### 4.2 组合元素异常特征

在单元素异常的基础上,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共圈出6个组合异常(图6)。其特征如下:

##### 4.2.1 HS-1号组合异常

HS-1号组合异常仅有一个Au-2异常,考虑Au-2异常的重要性,特将它圈定为一个组合异常,强调其重要性。Au-2异常位于蛤蟆河岩体内,出露岩性主要为花岗闪长岩,局部见有北东向闪长玢岩脉。Au-2为多点内带异常,呈闭合的不规则状,北东向展布,分布面积约为49.01 km<sup>2</sup>,2个浓集中心,浓集中心最大值为16.83×10<sup>-9</sup>,区内已发现258金矿床。

##### 4.2.2 HS-2号组合异常

HS-2号组合异常规模大,强度高,为Cu-Cr-Ni-Co-Bi-Sn-Mo-W元素组合异常,与区内八里桥—仙人台(超)基性岩体带的分布位置基本一致,呈北北东向展布,面积为693.75 km<sup>2</sup>,长约为46 km,宽为7~26 km,主要以Cu、Ni、Cr、Co异常为主。Cu、Ni、Cr元素异常分布面积大,含量高,Cu异常具中带、外带,面积约为289.53 km<sup>2</sup>,浓集中心最大值为130.10×10<sup>-6</sup>;Ni异常具有内带、中等、外带,面积约为359.88 km<sup>2</sup>,浓集中心最大值为714.80×10<sup>-6</sup>;Cr异常具有内带、中等、外带,面积约为511.55 km<sup>2</sup>,有4个浓集中心,浓集中心最大值为1771.30×10<sup>-6</sup>。Cu、

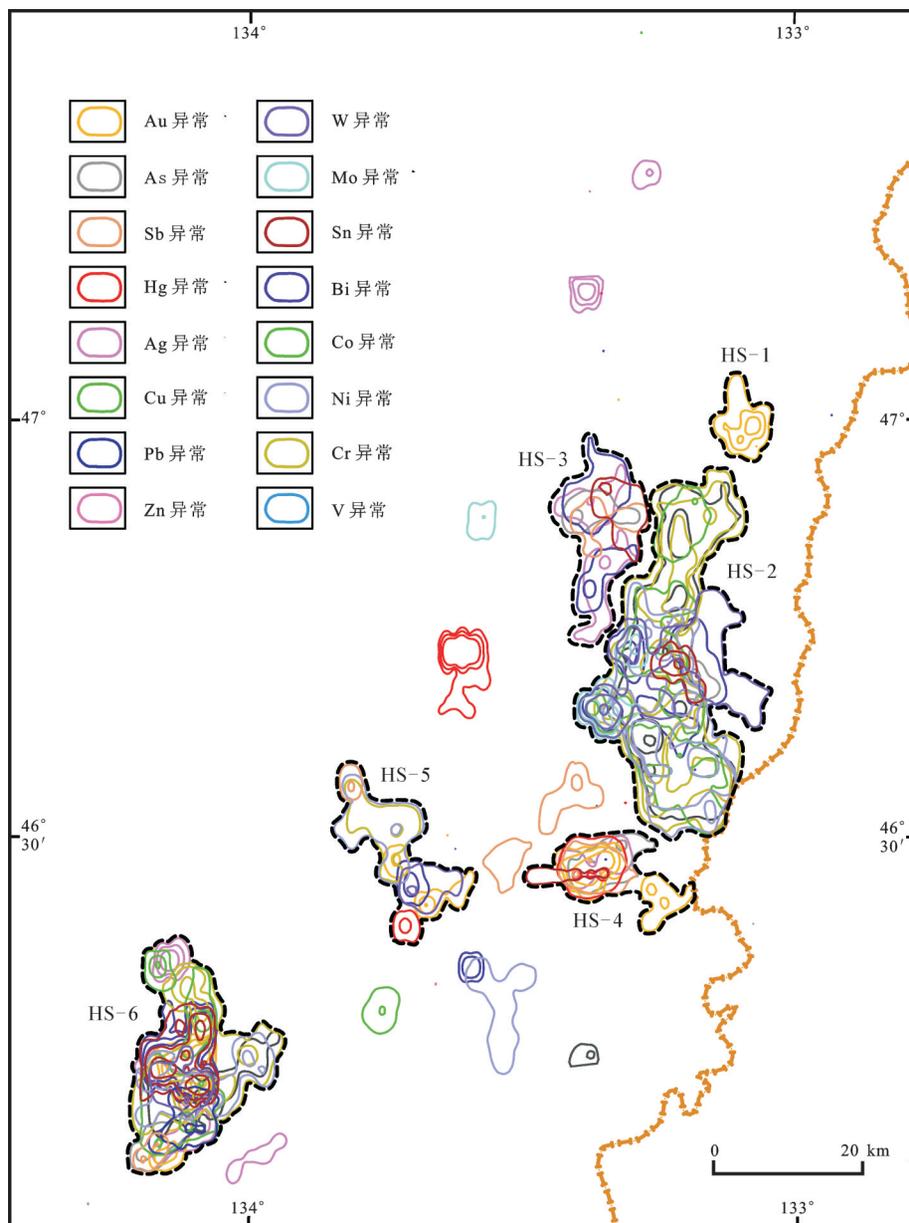


图6 完达山地区组合异常图

Fig.6 Composite geochemical anomaly map of elements in Wandashan area

Cr、Ni、Co、Bi、Sn、Mo、W 单元素异常套合性较好, 浓集中心一致, 结合区域地质特征可知, 该组合异常与(超)基性岩带相关性较强, 且组合异常内发现多处矿(化)点(如: 永幸铜镍点、向阳铜矿点、小别拉坑钨锡矿点等), 因此, 该区域应该重点寻找与(超)基性岩相关的Cu、Ni、Cr等矿产资源。

#### 4.2.3 HS-3号组合异常

HS-3号组合异常位于八里桥—仙人台(超)基性岩体带西侧的大岭桥组杂砂岩、泥粉质砂岩、砂质板岩和泥岩中, 呈北北东向展布, 面积为200.36

km<sup>2</sup>, 长约为25 km, 宽为3~12 km, 主要以Ag异常为主。Ag异常具有中等、外带, 面积约为85.20 km<sup>2</sup>, 有2个浓集中心, 浓集中心最大值为 $400.00 \times 10^{-9}$ 。Ag、Bi、Sn、As等元素异常套合较好, 浓集中心基本一致。受工作环境的影响, 该组合异常区内尚未发现Ag、Bi、Sn矿床(点)。

#### 4.2.4 HS-4号组合异常

HS-4号组合异常位于四平山—358高地一带, 呈北东向展布, 面积为141.26 km<sup>2</sup>, 以Au异常为主, 出露岩性为流纹岩、花岗岩、硅质岩、砂岩、杂砂岩

和泥岩等。Au、Ag、Hg、Sn元素异常套合较好,浓集中心基本一致。Au异常由Au-3和Au-4异常组成,四平山金矿床和358金矿床分别位于Au-3和Au-4异常内。

#### 4.2.5 HS-5号组合异常

HS-5号组合异常为Au-Hg-Sn-Bi-Ni-Cr-W元素组合异常,位于红旗屯—炮手营—东旺屯附近,出露岩性为中生代的硅质岩、砂岩、杂砂岩及泥岩,呈北西向展布,分布面积为181.03 km<sup>2</sup>,主要以Au异常为主。Au异常具有内带、中等、外带,面积约为32.83 km<sup>2</sup>,有2个浓集中心,浓集中心最大值为 $9.50 \times 10^{-9}$ 。由于工作程度较低,该异常区尚未发现Au矿床(点),找矿潜力较大。

#### 4.2.6 HS-6号组合异常

HS-6号组合异常规模大,强度高,为Au-Ag-Sb-As-Cu-Ni-Cr-Co-Bi-Pb-Zn元素组合异常,位于跃进山—曙光村—东方红一带,出露岩性为(超)基性岩和酸性侵入岩,呈北北东向展布,面积372.60 km<sup>2</sup>,主要以Au、Cu、Ni、Cr、Co异常为主。Au异常由Au-8和Au-9组成(Au-8和Au-9异常特征在单元素异常中已详细描述),受酸性侵入岩控制,具有较好的找矿潜力。Cu、Ni、Cr、Co元素主要受跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带控制,Cu异常为多点内带异常,面积约为370.63 km<sup>2</sup>,有3个浓集中心,浓集中心最大值为 $174.70 \times 10^{-6}$ ,具有较好的找矿潜力;Cr异常为多点内带异常,面积约为218.55 km<sup>2</sup>,有4个浓集中心,浓集中心最大值为 $892.60 \times 10^{-6}$ ,具有较好的找矿潜力;Ni异常面积约为102.19 km<sup>2</sup>,有3个浓集中心,浓集中心最大值为 $132.30 \times 10^{-6}$ ,具有一定的找矿潜力。

## 5 成矿远景区圈定与评价

根据成矿地质背景、控矿条件、区域地球化学异常、区域航磁异常、区域重力异常以及区内矿床(点)分布规律等特征,研究区内共圈定4处成矿远景区:258高地金、银成矿远景区(YJQ-1);八里桥—仙人台铜、镍、钨、锡成矿远景区(YJQ-2);四平山—358高地金、银成矿远景区(YJQ-3);跃进山—先锋北山金、银、铜、铁成矿远景区(YJQ-4)(图7)。

### 5.1 258高地金成矿远景区

258高地成矿远景区位于完达山地区北部蛤蟆

河岩体内,呈北东—南东向L形展布,长16~17 km,宽8~10 km,面积约220 km<sup>2</sup>。区内断裂构造发育,对成矿有利的侵入岩为早白垩世晚期酸性侵入岩体。1:20万水系沉积物化学异常以Au-2异常为主,Au-2异常面积较大,约为32.83 km<sup>2</sup>,具有异常内带、中等、外带和2个浓集中心。已知矿床(点)有258金矿床和蛤蟆河金矿化点。围岩蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化,主攻矿种为金,主攻矿床类型为浅成低温热液型金矿床。

### 5.2 八里桥—仙人台铜镍钨锡成矿远景区

该成矿远景区位于完达山地区东北部,呈北北东向长条状展布,长约41 km,宽约13 km,面积近500 km<sup>2</sup>。区内断裂构造以北北东向为主,北西向、北东向次之。出露地层为上三叠统一中三叠统大佳河组硅质岩夹泥岩、粉砂岩,与成矿关系密切的岩体为八里桥—仙人台(超)基性岩带。1:20万水系沉积物地球化学异常主要以Cu-2、Cu-4、Co-1、Ni-1、Cr-1、Sn-2、W-1异常为主,Cu、Co、Ni、Cr、W、Sn元素异常套和较好,面积较大,除Cu元素只有异常中等和外带外,其他元素均具有异常内带、中等、外带和多个浓集中心。区内已发现矿(化)点有向阳铜矿点、永幸铜镍矿点、小别拉坑钨锡矿点等。围岩蚀变较为发育,主要有硅化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化,主攻矿种为铜、钴、镍、铬、钨、锡等中高温元素和亲铁元素,主攻矿床类型为岩浆熔离型铜镍铬矿床和细脉侵染型铜钨锡矿床。

### 5.3 四平山—358高地金银成矿远景区

该成矿远景区位于完达山地区东部,呈北西向长条状展布,长约20 km,宽约10 km,面积约200 km<sup>2</sup>。区内以北北东向和北东向构造为主,北西向构造次之。出露地层为上三叠统一中三叠统大佳河组硅质岩夹泥岩、粉砂岩,上三叠统一下侏罗统大岭桥组粉砂岩、砂岩夹薄层硅质岩,下白垩统穆棱组砂岩、泥质粉砂岩,四平山组泉胶砾岩夹泉胶砂岩、硅质岩。与成矿相关的岩体主要为白垩系流纹岩、花岗斑岩和花岗闪长玢岩。1:20万水系沉积物地球化学异常主要以Au-3、Au-4、Ag-5异常为主,Au-3和Ag-5异常位于四平山矿区附近,套和较好。Au-3异常面积约为49.13 km<sup>2</sup>,具有异常内带、中等、外带,浓集中心最大值为 $19.60 \times 10^{-9}$ ;Ag-5具有异常中等、外带。Au-4异常位于358金矿区附近,具有异常中等、外带,2个

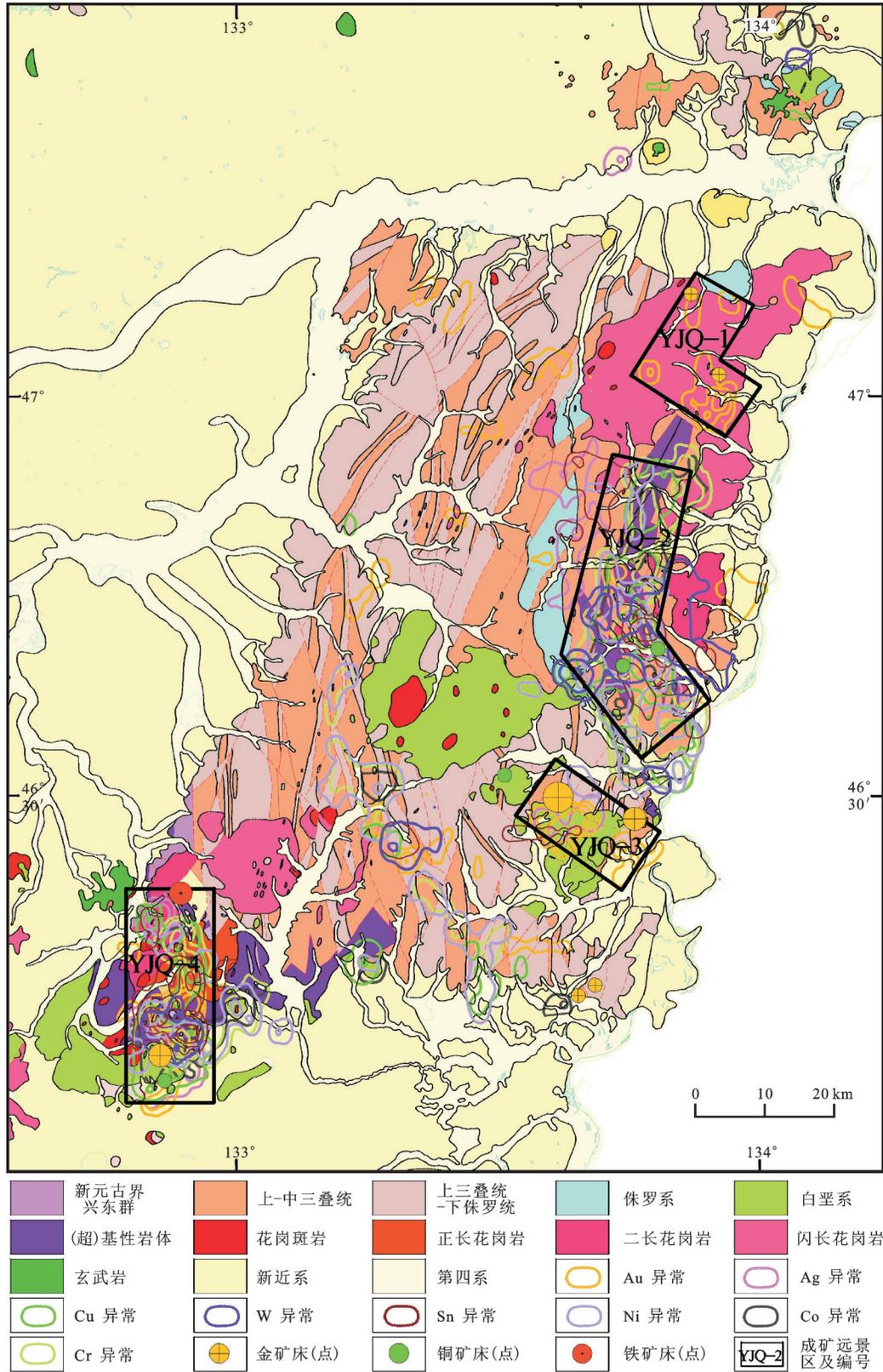


图7 完达山地区成矿远景区划分图 (据张国宾,2014 修改)

Fig.7 Metallogenic prospective areas in Wandashan area (modified after Zhang, 2014)

浓集中心。区内发现的矿床(点)有四平山金矿床、358高地金矿床。围岩蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、叶腊石化、碳酸盐化等,主攻矿种为金、银,主攻矿床类型为浅成低温热液型金、银矿床。

#### 5.4 跃进山—先锋北山金银铜铁成矿远景区

该成矿远景区位于完达山地区西南部,呈南北向长条状展布,长约30 km,宽约12 km,面积近63 km<sup>2</sup>。区内以北西向和北东向构造为主,近东西向和近南北向构造次之。出露地层为上三叠统一中三叠统大佳河组硅质岩夹泥岩、粉砂岩,下白垩统穆稜组砂岩、泥质粉砂岩。金、银矿化主要与酸性侵入岩体(蛤蟆通岩体、尖山子岩体以及后期侵入的酸性岩株、岩脉)相关,铜、铁、镍矿化主要与跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带相关。1:20万水系沉积物地球化学异常主要以Au-8、Ag-6、Ag-7、Cr-3、Cu-6、Cu-7、Cu-8、Ni-4、Sn-3异常为主。其中,Au、Ag异常分布于酸性侵入岩中及其附近,与酸性侵入岩体套和较好。Au-8异常面积约为59.15 km<sup>2</sup>,具有异常内带、中等、外带,2个浓集中心,浓集中心最大值为 $20.80 \times 10^{-9}$ ;Ag-7异常面积约为61.27 km<sup>2</sup>,具有异常中等、外带,浓集中心最大值为 $455.00 \times 10^{-9}$ 。Cu、Ni、Sn等单元元素异常位于(超)基性岩带内及其附近。Cu-7异常面积约为17.75 km<sup>2</sup>,具有异常中等、外带,浓集中心最大值为 $174.70 \times 10^{-6}$ ;Cu-8异常面积约为103.66 km<sup>2</sup>,具有异常中等、外带和3个浓集中心,浓集中心最大值为 $109.90 \times 10^{-6}$ 。Ni-4异常和Sn-3异常主要位于(超)基性岩带内,异常面积大,Ni-4、Sn-3异常与(超)基性岩体套和较好,具有异常中等、外带和多个浓集中心。区内已发现的矿床(点)有先锋北山金矿床、跃进山铁矿床、跃进山铜金矿床、曙光村铜矿点等。围岩蚀变较为发育,且分带性明显,主要有硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化、叶腊石化,主攻矿种为金、银、铜、镍、铬、锡等,主攻矿床类型为浅成低温热液型金银矿床、火山热液型金银矿床和熔离型铜镍铬矿床。

## 6 结 论

(1) 研究区内Au、Ni、Cr、Bi、Hg异常高值点多、变异系数值高、离散性强,地质及地球化学条件优

越,成矿潜力强。

(2) Au、Ag、Hg、As、Sb异常规模较大、套合好,多富集于中酸性岩浆岩体内及其附近,与低温热液型成矿作用相关;Cr、Ni、Co、V、Cu、Zn异常套合较好,主要分布于大顶子—仙人台(超)基性岩带和跃进山—曙光村—东方红(超)基性岩带内,与高温岩浆熔离型成矿作用相关。

(3) 完达山地区共优选出4处成矿远景区,分别为258高地金成矿远景区、八里桥—仙人台铜镍钨锡成矿远景区、四平山—358高地金银成矿远景区和跃进山—先锋北山金银铜铁成矿远景区。

**致谢:**感谢黑龙江省第一地质勘察院李光辉高工、黄永卫高工在数据处理过程中给予的帮助和论文撰写过程中提供的宝贵意见,感谢匿名审稿专家和责任编辑老师对本文提供的宝贵修改意见。

## References

- Hao Libo, Li Wei, Lu Jilong. 2007. Method for determining the geochemical background and anomalies in areas with complex lithology[J]. Geological Bulletin of China, 26(12): 1531-1535(in Chinese with English abstract).
- Jiang Jinye, Chen Jianping, Qi Shihua, Xiang Wu. 2006. Applied Geochemistry[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese with English abstract).
- Kojima S, Mizutani S. 1987. Triassic and Jurassic radiolarian from the Nandanhada range, northeast China[J]. Transsiberian Process Palaeontological Society of Japan(NS), 148: 256-276.
- Kojima S. 1989. Mesozoic terrane accretion in Northeast China, Sikhote-Alin and Japan regions[J]. Paleos, 69: 213-232.
- Li Linshan, Wei Yuming, Sun Defu. 2009. Prospecting method of geochemistry in Huojihe area of Xunke, Heilongjiang[J]. Global Geology, 28(1): 68-74(in Chinese with English abstract).
- Li Yuqin, Shen Hengli, Wang Xuezhen. 2011. Geochemical characteristic of stream sediment survey and metallogenic prognosis of Dulan area Qinghai Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 31(3): 615-620 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bangding, Chen Xinyue, Luo Xiaoya, Tan Shimin, Ma Xiaoshuang. 2015. Geochemical characteristics and ore search prospects of Baoping area in Hunan Province based on stream sediment survey[J]. Geology and Exploration, 51(4): 722-730(in Chinese with English abstract).
- Liu Jinsong, Zou Xianwu, Tang Chaoyang, Cui Sen, Xia Jie, Zhao Wuqiang, Jin Shichao, Gong Yinjie. 2016. Geochemical characteristics of stream sediments and ore-prospecting orientation in Daba Mountain area[J]. Geology in China, 43(1): 249-260(in

- Chinese with English abstract).
- Lu Shunfu, Zeng Jiannian, Li Jinwei, Zhi Chao, Yu Fengli. 2014. Geochemical characteristics and ore search prospects of Tongling–chizhou area based on stream sediment survey[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 38(2): 227–233(in Chinese with English abstract).
- Piao Shoucheng, Lu Jilong. 2009. *Geochemical of Exploration*[M]. Changchun: Jilin University Press, 1–130(in Chinese with English abstract).
- Shi Shujuan, Wang Xueqiu, Gong Jinzhong. 2011. Statistic relationship between geochemical anomalous areas and gold reserves: A case study of Hebei Province[J]. *Geology in China*, 38(6): 1562–1567(in Chinese with English abstract).
- Song Hemin, Zhang Hui, Gu Songsong, Wang Zhanbin, Li Hongjie, Xu Luning. 2014. Stream sediment geochemical characteristics and prospecting direction in Karaqi area of Xinjiang Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(1): 71–78( in Chinese with English abstract).
- Tang Kedong, Wang Ying, He Guoqi, Shao Jian. 1995. Continental margin structure of the Northeast China and adjacent regions[J]. *Acta Geologica Sinica*, 69(1): 16–30(in Chinese with English abstract).
- Tian Dongjiang, Zhou Jianbo, Zheng Changqing, Liu Jianhui. 2006. Geochemical characteristics and geological significance of metamorphic rock in ophiolitic mélangé in Wanda mountains orogenic belt[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 26(3): 64–70 (in Chinese with English abstract).
- Tian Dongjiang. 2007. *Geological–geochemical Composition and Its Evolution of Wandashan Orogenic Belt*[D]. Changchun: Jilin University Master’s Thesis(in Chinese with English abstract).
- Wang Qingshuang, Yang Yanchen, Han Shijiong, Zhang Guobin, Wei Yanlan, Huang Yongwei, Quan Chuanshun. 2015. Geochemical feature, the LA–icp–ms zircon U–Pb dating and geological significance of the Xianfengbeishan gold deposit in Heilongjiang Province[J]. *Mineral Deposits*, 34(4): 675–691(in Chinese with English abstract).
- Wei Yanlan, Yang Yanchen, Liu Na, Han Shijiong, Wang Pingshuang. 2015. Granite porphyry zircon U–Pb dating and geological significance of Yuejiinshan copper–gold deposit in Heilongjiang Province[J]. *Geology in China*, 42(1): 169–179(in Chinese with English abstract).
- Xia Xiangbiao, Zheng Lailin. 2009. Geochemical characteristics and ore search prospects of Puchiya area in Tibet based on stream sediment survey[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 33(6): 626–629( in Chinese with English abstract).
- Xue Shuigen. 1979. The primary achievements of regional geochemical exploration in eastern Jiangxi[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, (1): 27–34(in Chinese with English abstract).
- Yang Weishou, Hu Zhengwen, He Derun. 2007. Geochemical model for mineral prospecting of the Ajialongwa gold deposit in the central segment of the Ganzi–Litang fault zone in Sichuan[J]. *Geology in China*, 34(1): 123–131(in Chinese with English abstract).
- Yang Xiaofeng, Liu Changyin, Zhang Tairan, Zheng Yi. 2007. *Methods of Geochemical Exploration*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–171(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guobin, Yang Yanchen, Wang Jian, Wang Keyong, Ye Songqing. 2013. Geology, geochemistry, and genesis of the hot–spring – type Sipingshan gold deposit, eastern Heilongjiang Province, Northeast China[J]. *International Geology Review*, 55(4): 482–495.
- Zhang Guobin. 2014. *Study on Metallogenic System of Wandashan Massif, Eastern Heilongjiang Province*[D]. Changchun: Jilin University Doctoral Thesis(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianghua, Wang Kuiying, Zhao A’ning, Cheng Huaqing, Ke Hailing, Liu Ruiping. 2013. Heavy metal characteristics of stream sediments in the Xiaoqinling gold ore district[J]. *Geology in China*, 40(2):602–611(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qinglong, Mizutani Shinjino. 1997. Comparative study of radiolarian fossils and block[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 36(2): 245–252(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shihong, Shi Yangshen. 1991. Paleomagnetic evidence of terrane movement in eastern Heilongjiang[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 3: 287–294(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingzhou, Ma Zhihong. 2010. The evolution of the Mesozoic–Cenozoic basin in eastern Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 19(3): 191–196(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xuefeng, Zhang Shihong, Meng Xiangang, Li Chao, Wang Yanming. 2014. The identification of Mesozoic Pacific plate subduction: Evidence from paleomagnetism of the Late Triassic bedded cherts in Raohe area, eastern Heilongjiang Province[J]. *Geology in China*, 41(6): 2019–2027(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Zhang Liguo, Chen Chao, Liu Yinglong, He Jiaoyue, Kang Xuan, Zhang Jinlong, Peng Qianpeng. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province[J]. *Geology in China*, 42(6): 1980–1988(in Chinese with English abstract).
- Zhao Wuqiang, Cui Sen, Zou Xianwu, Tang Chaoyang, Xia Jie, Jin Shichao. 2014. Stream sediment geochemical characteristics and ore–prospecting in Heku area of Hunan Province[J]. *Geology in China*, 41(2): 638–647(in Chinese with English abstract).
- Zheng Z, Kono M, Shao J A. 1990. The amalgamative history of eastern Asia inferred from Paleomagnetism of North China[J]. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, 17: 1–18.

- Zhou Jianbo, Liu Jianhui, Zheng Changqing, Liu Pengju, Sun Jiapeng. 2005. Eastward extension of the Dabie-Sulu orogenic belt of east and suture zone: The definition of Tanlu - Yalu river - Yenji fracture[J]. Geological Journal of China Universities, 11(1): 92-104(in Chinese with English abstract).
- Zhu Jianhua. 2007. Role and significance of geochemical exploration in the discovery of the Dayangshugou molybdenum deposit, Liaoning[J]. Geology in China, 34(2): 342-346(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 郝立波, 李巍, 陆继龙. 2007. 确定岩性复杂区的地球化学背景与异常的方法[J]. 地质通报, 26(12):1531-1535.
- 蒋敬业, 程建萍, 祁士华, 向武. 2006. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 李林山, 魏玉明, 孙德福. 2009. 黑龙江逊克霍吉河地区地球化学找矿方法[J]. 世界地质, 28(1):68-74.
- 李玉芹, 沈恒丽, 王学贞. 2011. 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, 31(3):615-620.
- 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.
- 刘劲松, 邹先武, 汤朝阳, 崔森, 夏杰, 赵武强, 金世超, 龚银杰. 2016. 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, 43(1): 249-260.
- 陆顺富, 曾键年, 李锦伟, 智超, 余冯力. 2014. 铜陵—池州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, 38(2): 227-233.
- 朴寿成, 陆继龙. 2009. 勘查地球化学[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1-130.
- 师淑娟, 王学求, 宫进忠. 2011. 金的地球化学异常与金矿床规模之间关系的统计学特征——以河北省为例[J]. 中国地质, 38(6): 1562-1567.
- 宋贺民, 张辉, 顾松松, 王占彬, 李洪杰, 许鲁宁. 2014. 新疆哈拉奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质通报, 33(1):71-78.
- 唐克东, 王莹, 何国琦, 邵济安. 1995. 中国东北及邻区大陆边缘构造[J]. 地质学报, 69(1):16-30.
- 田东江, 周建波, 郑常青, 刘建辉. 2006. 完达山造山带蛇绿混杂岩中变质基性岩的地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 26(3): 64-70.
- 田东江. 2007. 完达山造山带的地质-地球化学组成及其演化[D]. 长春: 吉林大学硕士论文.
- 王庆双, 杨言辰, 韩世炯, 张国宾, 韦延兰, 黄永卫, 全传顺. 2015. 黑龙江先锋北山金矿床火山岩地球化学特征、LA-ICP-MS锆石U-Pb定年及地质意义[J]. 矿床地质, 34(4):675-691.
- 韦延兰, 杨言辰, 刘娜, 韩世炯, 王庆双. 2015. 黑龙江省跃进山铜金矿床花岗斑岩锆石U-Pb定年及地质意义[J]. 中国地质, 42(1): 69-179.
- 夏祥标, 郑来林. 2009. 普尼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, 33(6):626-629.
- 薛水根. 1979. 赣东北赣东区域化探重新扫面初步成果[J]. 物探与化探, 1:27-34.
- 杨伟寿, 胡正文, 何德润. 2007. 四川甘孜—理塘断裂带中段阿加隆洼金矿床地球化学找矿模式[J]. 中国地质, 34(1):123-131.
- 杨小峰, 刘长垠, 张泰然, 郑毅. 2007. 地球化学找矿方法[M]. 北京: 地质出版社, 1-171.
- 张国宾. 2014. 黑龙江省东部完达山地块区域成矿系统研究[D]. 长春: 吉林大学博士论文.
- 张江华, 王葵颖, 赵阿宁, 陈华清, 柯华玲, 刘瑞平. 2013. 小秦岭金矿区水系沉积物重金属特征研究[J]. 中国地质, 40(2):602-611.
- 张庆龙, 水谷伸治郎. 1997. 放射虫化石及地体对比研究[J]. 古生物学报, 36(2):245-252.
- 张世红, 施央申. 1991. 黑龙江省东部地体运动的古地磁证据[J]. 南京大学学报: 地球科学版, 3:287-294.
- 张兴洲, 马志红. 2010. 黑龙江东部中-新生代盆地演化[J]. 地质与资源, 19(3):191-196.
- 张雪峰, 张世红, 孟宪刚, 李超, 王彦明. 2014. 太平洋板块中生代俯冲构造事件的响应: 来自黑龙江东部饶河三叠纪层状燧石的古地磁证据[J]. 中国地质, 41(6):2019-2027.
- 张运强, 陈海燕, 张立国, 陈超, 刘应龙, 何娇月, 康璇, 张金龙, 彭芊芊. 冀北新杖子地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 2015, 42(6):1980-1988.
- 赵武强, 崔森, 邹先武, 汤朝阳, 夏杰, 金世超. 2014. 湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 41(2): 638-647.
- 周建波, 刘建辉, 郑常青, 刘鹏举, 孙加鹏. 2005. 大别—苏鲁造山带的东延及板块缝合线: 郟庐—鸭绿江—延吉断裂的厘定[J]. 高校地质学报, 11(1):92-104.
- 朱建华. 2007. 化探在辽宁大杨树沟钨矿发现中的作用与意义[J]. 中国地质, 34(2):342-346.