



青海省都兰县查哈西里地区地球化学异常特征及成矿远景评述

齐文博, 师 兵, 王嘉炜, 杨碧莹, 柳坤峰

中陕核工业集团地质调查院有限公司, 陕西 西安 710100

摘 要: 通过 1:5 万水系沉积物的地球化学测量, 对查哈西里地区 Au、Cu 等 16 种元素的地球化学特征进行了初步分析. 综合元素富集程度、分异程度、叠加强度, 发现 Au、Cu、Ni、Cr、Co 在研究区内有富集成矿的可能, 是研究区主要成矿元素. 根据异常特征与成矿地质条件, 推断区内为构造蚀变岩型 Au-Cu 多金属矿床及热液蚀变型 Cu-Ni 多金属矿床. 优选出 4 处成矿远景区, 即科德日特-巴嘎哈尔散金铜多金属成矿远景区、查干热格沟铜多金属成矿远景区、乌兰可镍多金属成矿远景区和马尼特沟南铁镍多金属成矿远景区.

关键词: 水系沉积物测量; 地球化学特征; 成矿远景区; 查哈西里地区; 青海省

GEOCHEMICAL ANOMALIES AND METALLOGENIC PROSPECT IN CHAHAXILI AREA OF DULAN COUNTY, QINGHAI PROVINCE

QI Wen-bo, SHI Bing, WANG Jia-wei, YANG Bi-ying, LIU Kun-feng
Geological Survey Institute Co., Ltd., Sino Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi'an 710100, China

Abstract: Through the 1:50 000 geochemical survey of stream sediments in Chahaxili area, the paper analyzes the geochemical characteristics of 16 elements such as Au and Cu. Combined with the enrichment, differentiation, and superposition degree of elements, it is found that Au, Cu, Ni, Cr and Co have the possibility of enrichment and mineralization, and serve as the main ore-forming elements in the study area. Based on the anomaly characteristics and metallogenic geological conditions, it is inferred that there are structural altered rock type Au-Cu polymetallic deposits and hydrothermal alteration type Cu-Ni polymetallic deposits in the area. Four metallogenic prospective areas are optimized, including Kederite-Bagahaersan Au-Cu polymetallic prospective area, Chaganregegou Cu polymetallic prospective area, Wulanke Ni polymetallic prospective area and Manitegounan Fe-Ni polymetallic prospective area.

Key words: stream sediment survey; geochemical characteristics; metallogenic prospect; Chahaxili area; Qinghai Province

地球化学找矿是获取隐伏矿、半隐伏矿、难识别矿成矿信息的直接手段, 是传统宏观矿化露头找矿向微观矿化露头找矿的延续^[1-2]. 水系沉积物地球化学测量是一种常用的地球化学普查找矿方法, 其具有效率

高、成本低、操作简单的特点, 能够快速缩小找矿范围、圈定靶区, 被广泛应用于区域找矿勘查中^[3]. 近年来, 在新疆、青海等地区开展的 1:5 万水系沉积物测量工作, 已取得良好的找矿效果^[4-11].

收稿日期: 2020-12-14; 修回日期: 2021-02-05. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“青海省都兰县查哈西里地区 1:5 万 I47E004006、I47E004007 两幅区域地质矿产调查”(12120114061001).

作者简介: 齐文博(1987—), 男, 工程师, 主要从事区域地质矿产调查、金属矿产勘查等工作, 通信地址 陕西省西安市航天基地航天大道 396 号, E-mail://qwb1218@126.com

研究区以干旱—半干旱高寒中—高山区为主,海拔4 000~5 400 m,平均海拔约为4 500 m,属高山深切区;4 700~5 000 m以上部分地段分布有现代冰川.区内岩石裸露且较为破碎,物理风化是岩石的主要风化方式,季节性流水搬运岩石碎屑是该区主要的元素迁移形式.水系沉积物元素组合能够很好地反映原生矿化、异常的元素组合特征^[12-13].区内水系以季节性河流为主,少量河流具有常年流水.水源多为季节性降雨、冰川融水,暖季河流水量较大,主要注入柴达木盆地.

通过对勘查区开展1:5万水系沉积物地球化学测量、1:1万岩石地球化学剖面及槽探工程等工作,在青海省都兰县查哈西里地区圈定综合异常区16处,优选出4处成矿远景区.结合本区域成矿地质背景,认为勘查区具有形成金、铜、镍、铁矿床的潜力.

1 区域地质背景

查哈西里地区位于东昆仑造山带的东部,地质特

征较为复杂.以布青山南坡断裂(F1)为界,该区可划分为两个部分:东北部为布青山蛇绿构造混杂岩带,西南部为巴颜喀拉造山带(图1).其中,布青山蛇绿构造混杂岩带主要由基质岩系和混杂岩块组成.基质岩系由下中二叠统马尔争组复理石组成,岩性以砂岩、杂砂岩、粉砂岩为主;混杂岩块成分复杂,主要由苦海岩群基底、蛇绿岩、花岗岩、中酸性火山岩等岩块构成,不同块体间常呈断层接触.此外,区内还发育上石炭统一二叠统树维门科组厚层—块状碳酸盐岩推覆体^[14-18].西南部的巴颜喀拉造山带为古近纪内陆上叠盆地,主要由一套红色陆相碎屑岩沉积岩组成.其下部为砾岩、石英砂岩及含砾砂岩,中部为石英砂岩、粉砂岩,上部为细碎屑岩、块状泥岩.区内岩浆活动强烈,岩浆岩分布广泛,主要为加里东期、印支期中—酸性岩体.其中,加里东期侵入岩主要以岩块的形式产出于布青山蛇绿构造混杂岩带中,而印支期花岗岩则主要侵入于下一中二叠统马尔争组地层.区域上已经发现布青山地区铜钴金矿、督冷沟铜钴矿等中小型矿床^[19-20].

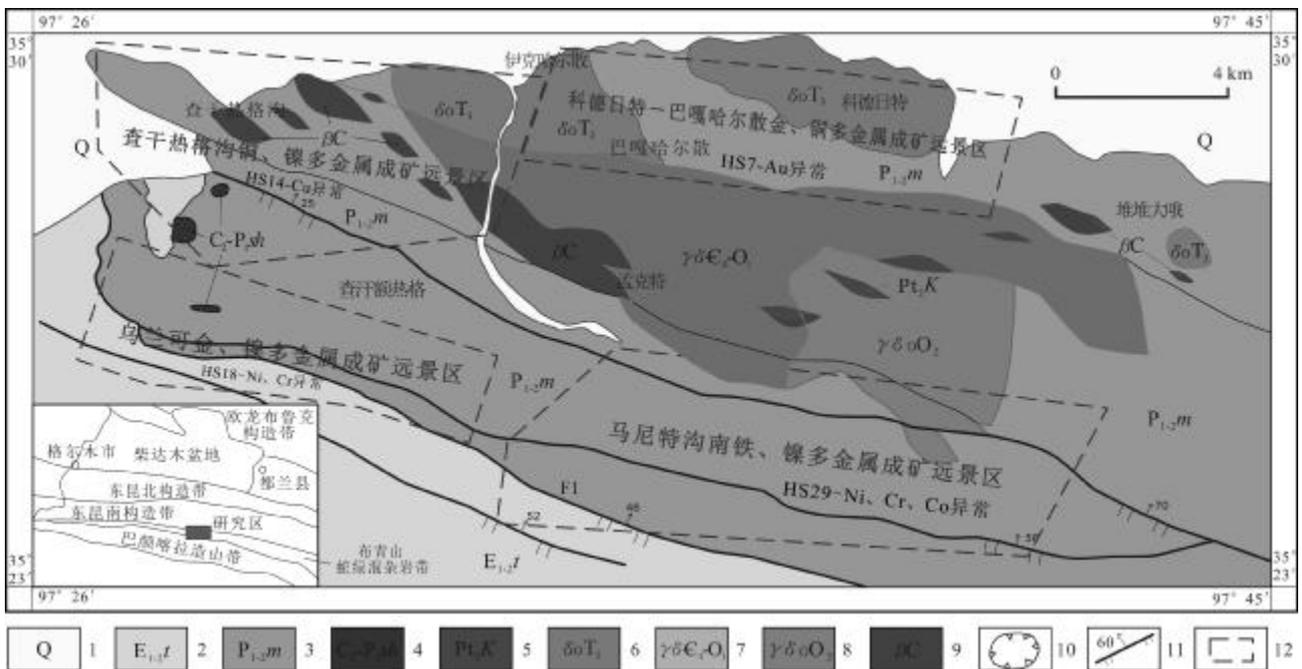


图1 查哈西里地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Chahaxili area

- 1—第四系(Quaternary); 2—古近系沱沱河组(Paleogene Tuotuohe fm.); 3—下—中二叠统马尔争组(Lower-Middle Permian Maerzheng fm.); 4—上石炭统一二叠统树维门科组(Upper Carboniferous-Lower Permian Shuweimenke fm.); 5—中元古代苦海岩群(Mesoproterozoic Kuhai gr.); 6—晚三叠世石英闪长岩(Late Triassic quartz diorite); 7—晚寒武世—早奥陶世花岗岩闪长岩(Late Cambrian-Early Ordovician granodiorite); 8—中奥陶世英云闪长岩(Middle Ordovician tonalite); 9—玄武岩(basalt); 10—推覆体(nappe); 11—断层及产状(fault and occurrence); 12—远景区范围(prospective area)

2 元素分布类型及组合特征

样品测试在国土资源部西安矿产资源监督检测中心完成. 测试前, 先将样品进行烘干、粉碎、过筛等处理; 然后, 称取一定量样品进行分析测试, 分析过程详见文献[4-5]. 根据任务书要求并结合区域矿产分布特征, 剔除测试结果中重复样后, 配以采样坐标及所属地层代号, 然后输入数字填图软件; 用迭代法剔除各元素平均值(\bar{X})±3 倍的标准离差(S)范围之外的数据, 从而得到各元素的平均值、标准离差, 作为计算异常下限的依据. 异常下限由公式 $T=\bar{X}+2S$ 计算而得^[21-23](见表 1).

表 1 查哈西里地区元素异常下限统计
Table 1 Statistics of element anomaly threshold in Chahaxili area

| 元素 | 理论计算值 | 实际使用值 | 元素 | 理论计算值 | 实际使用值 |
|----|--------|-------|----|---------|-------|
| Au | 3.37 | 3 | Ti | 4702.16 | 3800 |
| As | 30.16 | 25 | Pb | 29.66 | 25 |
| Sb | 2.93 | 4.5 | Zn | 115.05 | 95 |
| Hg | 67.55 | 45 | Ag | 82.73 | 70 |
| Cu | 47.93 | 41 | W | 2.40 | 2 |
| Ni | 57.97 | 47 | Sn | 4.18 | 3.45 |
| Co | 21.63 | 17 | Bi | 0.52 | 0.45 |
| Cr | 111.78 | 90 | Mo | 1.07 | 0.90 |

异常值单位: Au、Ag、Hg 为 10^{-9} ; 其他元素为 10^{-6} .

应用数字填图软件分别计算各元素的区域富集系数(K)、变异系数(C_v)和叠加强度(D):

$$K = \frac{X}{\bar{X}}$$

式中 X 为调查区平均值, \bar{X} 为调查区元素的平均值^[24-25];

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

式中 \bar{X} 、 S 为剔除前后平均值与标准离差;

$$D = \frac{\bar{X}_1}{\bar{X}_2} \times \frac{S_1}{S_2}$$

式中 \bar{X}_1 、 S_1 及 \bar{X}_2 、 S_2 分别为剔除前后平均值与标准离差.

将研究区元素平均值与东昆仑元素平均值对比研究(表 2), 可以看出 Cu、Zn、Au、As、Sb、Hg、Ag、Ni、Co、Cr 富集系数大于 1.2, 为富集状态; W、Sn、Bi、Mo、Pb、Ti 富集系数在 0.8~1.2 之间, 与东昆仑地区的平均值相似.

表 2 查哈西里地区元素分布及富集特征参数统计

Table 2 Statistics of element distribution and enrichment characteristic parameters in Chahaxili area

| 元素 | 均值 | 标准方差 | 东昆仑平均值 [*] | 富集系数 | 变化系数 | 叠加系数 |
|----|---------|--------|---------------------|------|------|-------|
| Ag | 61.93 | 58.14 | 51 | 1.21 | 0.94 | 4.98 |
| As | 16.18 | 15.34 | 12.3 | 1.32 | 0.95 | 2.20 |
| Au | 2.97 | 28.92 | 1.61 | 1.84 | 9.74 | 60.94 |
| Bi | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1.00 | 1.00 | 3.27 |
| Co | 14.53 | 17.63 | 9.55 | 1.52 | 1.21 | 4.62 |
| Cr | 77.41 | 70.67 | 48.7 | 1.59 | 0.91 | 3.59 |
| Cu | 45.81 | 412.73 | 20.2 | 2.27 | 9.01 | 68.61 |
| Hg | 31.42 | 93.91 | 20 | 1.57 | 2.99 | 8.26 |
| Mo | 0.7 | 0.63 | 0.8 | 0.88 | 0.90 | 3.25 |
| Ni | 39.3 | 50.97 | 22.7 | 1.73 | 1.30 | 4.85 |
| Pb | 19.65 | 9.46 | 18.7 | 1.05 | 0.48 | 1.85 |
| Sb | 2.58 | 3.23 | 0.96 | 2.69 | 1.25 | 7.85 |
| Sn | 2.68 | 0.89 | 2.36 | 1.14 | 0.33 | 1.17 |
| Ti | 2932.53 | 959.87 | 3040 | 0.96 | 0.33 | 1.08 |
| W | 1.54 | 0.92 | 1.9 | 0.81 | 0.60 | 2.04 |
| Zn | 72.15 | 54.61 | 58.3 | 1.24 | 0.76 | 2.51 |

* 东昆仑元素平均值据《青海省东昆仑地球化学说明书(1:500000)》. 含量单位: Au、Ag、Hg 为 10^{-9} , 其他为 10^{-6} .

根据元素分布类型划分原则, 对 16 种元素的分布及富集特征进行统计学分类, 其 C_v 、 K 和 D 特征如表 3. 从分异强度上来看, 区内 Co、Cu、Hg、Au、Bi、Ni、Sb 等元素呈强分异型, Cr、Mo、Ag、As、Zn 等元素呈分异型, Pb、Sn、Ti、W 等元素则呈均匀型. 从富集程度来看, 区内 Au、Co、Cr、Ag、As、Hg、Ni、Sb、Cu、Zn 等元素呈现富集型, Bi、Sn、Ti、Mo、Pb、W 等元素呈现背景型. 从叠加强度角度来分析, 区内 Au、Cu 等元素呈现极强叠加型, Hg、Sb 等元素呈现强叠加型, Ag、Co、Cr、Ni 等元素呈现叠加型; Sn、Ti 等元素呈现同生型, Mo、Pb、W、As、Bi、Zn 等元素则呈现改造型.

综上所述, Au、Cu 呈富集状态, 且分异程度强, 已达到极强叠加型, 是研究区最有利的成矿元素; Ag、Hg、Ni、Co、Cr、Sb 等元素呈现富集状态, 且分异程度较强, 而 Hg、Sb 则具有强叠加型特征, Ag、Co、Cr、Ni 呈叠加型, 为研究区有利的成矿元素.

表3 查哈西里地区元素分布类型统计
Table 3 Statistics of element distribution types in Chahaxili area

| 参数 | 范围 | 等级划分 | 研究区化学元素 |
|----------------|-------------|-------|-------------------------------|
| C _v | <0.7 | 均匀型 | Pb、Sn、Ti、W |
| | [0.7, 1.0) | 分异型 | Ag、As、Cr、Mo、Zn |
| | ≥1.0 | 强分异型 | Au、Bi、Co、Cu、Hg、Ni、Sb |
| K | <0.8 | 贫化型 | |
| | [0.8, 1.2) | 背景型 | Bi、Mo、Pb、Sn、Ti、W |
| | ≥1.2 | 富集型 | Ag、As、Au、Co、Cr、Cu、Hg、Ni、Sb、Zn |
| D | <1.5 | 同生型 | Sn、Ti |
| | [1.5, 3.5) | 改造型 | As、Bi、Mo、Pb、W、Zn |
| | [3.5, 7.0) | 叠加型 | Ag、Co、Cr、Ni |
| | [7.0, 14.0) | 强叠加型 | Hg、Sb |
| | ≥14.0 | 极强叠加型 | Au、Cu |

不同元素组合是不同地球化学信息的综合反映,与不同地质-成矿作用有关^[26]. 利用多元软件对研究区 16 种元素进行 R 型聚类分析, 可以获得各元素之间的相关程度, 从而可评价区域成矿潜力(图 2). 以 $\gamma=0.5$ 相似性量度, 可以分为 4 个组, 又以 $\gamma=0.7$ 相似性量度, 将第一组分为 3 个小组.

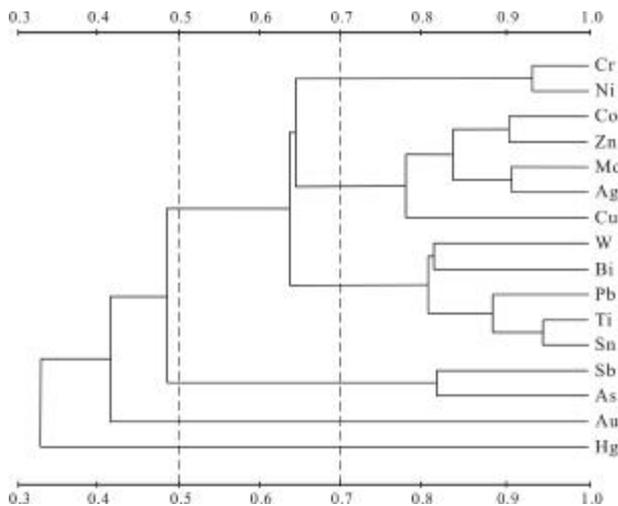


图2 R型聚类分析谱系图

Fig. 2 R-type cluster analysis pedigree diagram of elements

从以上分析可以看出, 4 组元素具如下特征.

第一组: Cu、Mo、Ag、Sn、W、Pb、Bi、Ti、Co、Cr、Ni、

Zn 元素组合, 中-高温与铁族元素相似性较好, $\gamma>0.6$, 说明研究区地质构造活动复杂, 可能与布青山构造混杂岩带有关. $\gamma=0.7$, 又分为 3 个小族. Cr、Ni 元素组合, 可能与基性-超基性岩有关; Cu、Ag、Co、Zn、Mo 元素组合, 表明多期热液活动存在的可能; W、Bi、Pb、Sn、Ti 元素组合, 指示可能存在中高温热液成矿作用.

第二组: As、Sb 元素组合, 显示低温热液成矿作用存在的可能.

第三组: Au, 低温元素, 反映低温热液成矿系统信息.

第四组: Hg, 低温元素, 反映低温热液成矿系统信息.

综上所述, 将研究区 16 种元素分为 Au-As-Sb-Hg 组合、Cu-Cr-Co-Ni-Ti 组合、Pb-Zn-Ag 组合、W-Sn-Bi-Mo 组合. 其中 Au-As-Sb-Hg 组合与构造破碎蚀变带或含金石英脉有关, 区内受断裂构造控制明显; Cu-Cr-Co-Ni-Ti 组合反映与区内基性-超基性杂岩有关的岩浆矿化, 并存在多期热液活动叠加; Pb-Zn-Ag 组合主要与岩浆热液成矿作用有关; W-Sn-Bi-Mo 组合主要与酸性侵入岩或岩浆热液成矿作用关系密切.

3 地球化学异常特征

通过对综合异常、组合异常综合研究可知, 不同的地质背景分布着不同的异常及异常组合, 并表现出不同的分布规律. 故依据地质背景、异常特征、空间分布规律将工作区综合异常划分为 4 个异常区(带): 孟克特-玛尼特异常区、乌兰可-扎土异常带、阿德可里根门异常区、伊克异常区.

1) 孟克特-玛尼特异常区: 位于东北部的孟克特-玛尼特地区, 以 Au 类综合异常为主, 次为 Cu、Ni 类综合异常. HS6、HS7、HS15、HS22 异常在该区内, HS7 主元素异常规模大, 强度高(图 3、表 4).

HS7 综合异常呈北西西向展布, 与中酸性岩分布吻合, 主要与岩体有关. Au 异常规模大, 规模值高达 27.25, 异常点数为 43; 强度高, 最大值为 75×10^{-9} , 衬度为 3.75, 具三级浓度分带, 异常清晰; Au 在该地段分布极不均匀, 变化系数为 1.17, 说明 Au 在该地段具有较大规模局部富集的可能. W、Bi、Mo 异常规模大, 规模分别为 27.09、36.57、15.93; 强度较高, 均具有三级浓度分带; W、Bi、Mo 套合性好, 浓集中心明显; Bi 在该地段

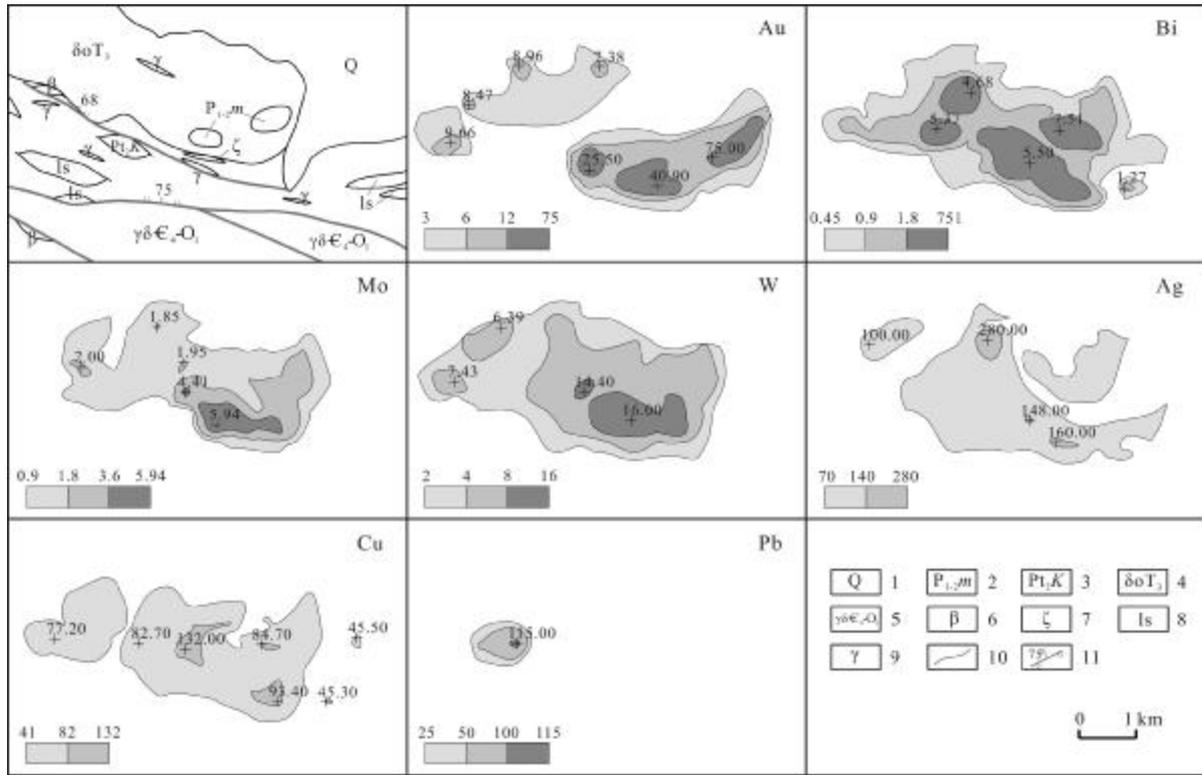


图 3 HS7 综合异常剖析图

Fig. 3 Analysis of HS7 integrated anomaly

1—第四系 (Quaternary); 2—二叠系马尔争组 (Permian Maerzheng fm.); 3—中元古代苦海岩群 (Mesoproterozoic Kuhai gr.); 4—三叠纪石英闪长岩 (Triassic quartz diorite); 5—寒武-奥陶纪花岗岩闪长岩 (Cambrian-Ordovician granodiorite); 6—玄武岩 (basalt); 7—英安岩 (dacite); 8—灰岩 (limestone); 9—花岗岩闪长岩 (granodiorite); 10—地质界线 (geological boundary); 11—断层及产状 (fault and occurrence)

表 4 HS7 综合异常特征

Table 4 Characteristics of HS7 integrated anomaly

| 元素 | 异常下限 | 异常点数 | 面积/km ² | 最大值 | 平均值 | 标准离差 | 变化系数 | 衬度 | 规模 |
|----|-------|------|--------------------|--------|--------|-------|------|------|-------|
| Ag | 70.00 | 45 | 6.82 | 280.00 | 99.11 | 35.00 | 0.35 | 1.42 | 9.66 |
| As | 25.00 | 7 | 0.92 | 43.30 | 32.30 | 6.92 | 0.21 | 1.29 | 1.19 |
| Au | 3.00 | 43 | 7.26 | 75.00 | 11.26 | 13.20 | 1.17 | 3.75 | 27.25 |
| Bi | 0.45 | 53 | 9.35 | 7.51 | 1.76 | 1.72 | 0.98 | 3.91 | 36.57 |
| Co | 17.00 | 18 | 2.41 | 28.40 | 21.48 | 2.78 | 0.13 | 1.26 | 3.05 |
| Cr | 90.00 | 17 | 2.02 | 242.00 | 117.19 | 33.93 | 0.29 | 1.30 | 2.63 |
| Cu | 41.00 | 40 | 7.06 | 132.00 | 68.49 | 18.84 | 0.28 | 1.67 | 11.79 |
| Mo | 0.90 | 42 | 7.03 | 5.94 | 2.04 | 1.29 | 0.63 | 2.27 | 15.93 |
| Ni | 47.00 | 19 | 1.90 | 76.90 | 58.05 | 9.05 | 0.16 | 1.24 | 2.35 |
| Pb | 25.00 | 2 | 0.66 | 115.00 | 83.6 | 31.4 | 0.38 | 3.34 | 2.21 |
| Sn | 3.45 | 4 | 0.62 | 4.32 | 4.06 | 0.25 | 0.06 | 1.18 | 0.73 |
| W | 2.00 | 60 | 9.96 | 16.00 | 5.44 | 3.26 | 0.60 | 2.72 | 27.09 |

异常值单位: Au、Ag 为 10⁻⁹; 其他元素为 10⁻⁶.

分布不均匀,变化系数为 0.98,具有局部富集的可能. Au 异常呈北东向展布,可能受北西向主断裂的次级断裂控制. W、Bi、Mo 异常与北西向断裂展布方向一致. 在地球化学剖面 DH010 中铜、金套合较好,存在多处高点. 因此该异常地段是寻找 Au 矿的有利地段,同时也具有形成 W、Mo 矿的潜力.

2) 乌兰可-扎土异常带:位于乌兰可-扎土一带,呈北西向展布,以 Cu、Ni 类综合异常为主,其次为 Au、Pb、Zn 类综合异常. HS14、HS18、HS29 等在该区内, Cr、Ni、Co、Cu、Au 高背景带主要沿马尔争组与岩体的接触带分布,与岩浆热液有关,形成与基性岩有关的 Cu、Ni 矿. 其中 HS14 的潜力最大(图 4).

HS14 异常以 Cu 为主,由 Cu、Au、Zn、Hg、Ag、Mo、

Bi、Cr、Ni、Pb、Co、Sn、As 异常组成,元素组合复杂(表 5). Cu 异常规模最大,高达 244.00,异常点数为 46 个,达到边界品位(0.3%)的有 5 个,含量值分别为 $14\ 902\times 10^{-6}$ 、 $8\ 702\times 10^{-6}$ 、 $8\ 448\times 10^{-6}$ 、 $6\ 433\times 10^{-6}$ 、 $6\ 101\times 10^{-6}$;强度高,最大值为 $14\ 902\times 10^{-6}$,平均值为 $2\ 585.04\times 10^{-6}$,衬度为 63.05;异常清晰,具有一个明显的浓集中心,与 Au、Zn、Hg、Ag、Mo、Bi、Pb 套合性很好; Cu 在异常内分布极不均匀,变化系数为 1.79,说明 Cu 在该异常内具有较大的局部富集成矿的可能. Au 异常规模大,规模高达 23.24;强度高,最大值为 99.9×10^{-9} ,均值为 26.82,衬度为 8.94;异常清晰,具三级浓度分带; Au 在异常内元素分布极不均匀,变化系数为 1.27,说明 Au 在该异常内具有局部富集成矿的较大可

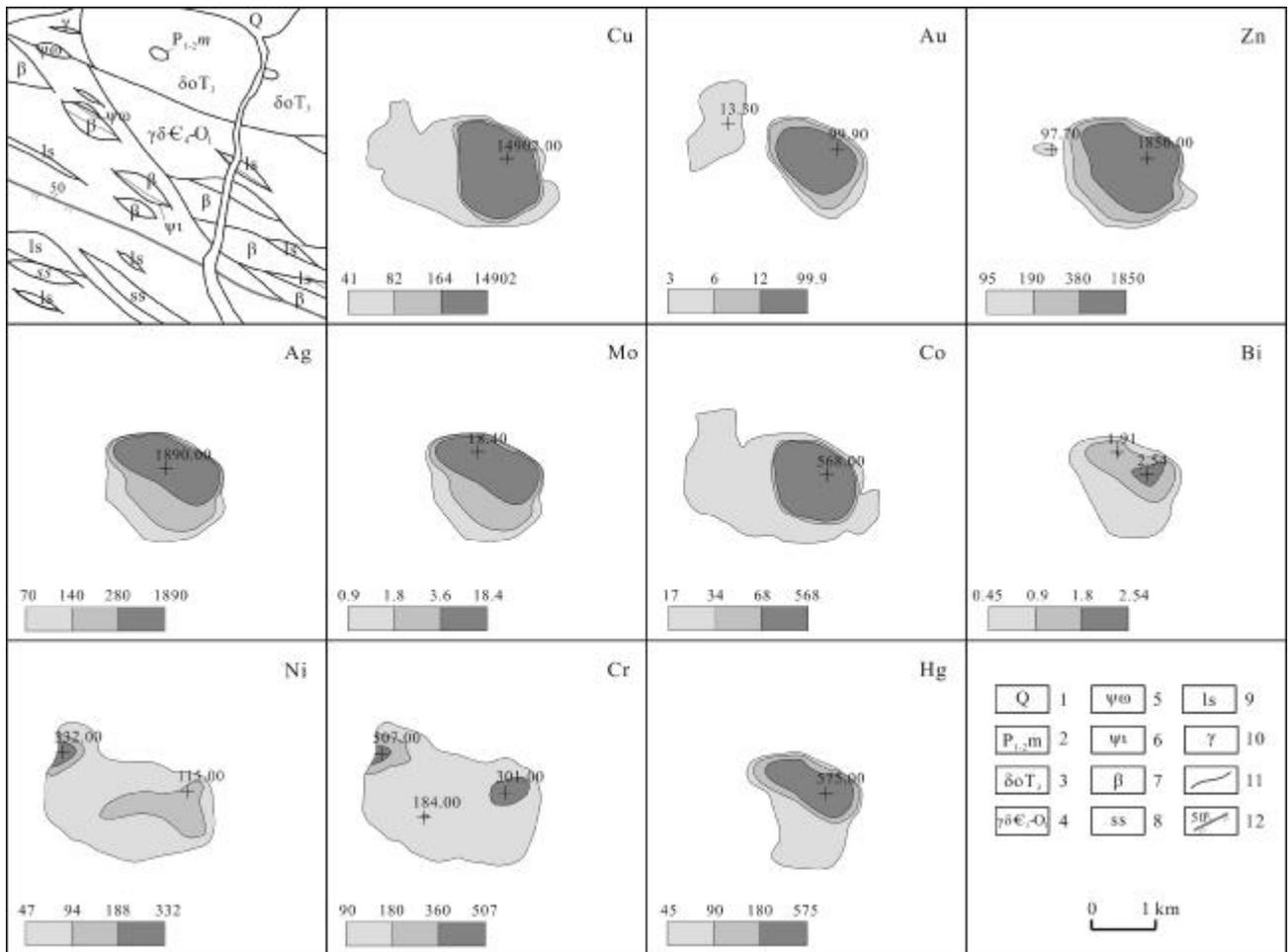


图 4 HS14 综合异常剖析图

Fig. 4 Analysis of HS14 integrated anomaly

1—第四系(Quaternary); 2—二叠系马尔争组(Permian Maerzheng fm.); 3—三叠纪石英闪长岩(Triassic quartz diorite); 4—寒武-奥陶纪花岗岩闪长岩(Cambrian-Ordovician granodiorite); 5—蛇纹岩(serpentinite); 6—辉石岩(pyroxenite); 7—玄武岩(basalt); 8—砂岩(sandstone); 9—灰岩(limestone); 10—花岗岩闪长岩(granodiorite); 11—地质界线(geological boundary); 12—断层及产状(fault and occurrence)

表5 HS14 综合异常特征

Table 5 Characteristics of HS14 integrated anomaly

| 元素 | 异常下限 | 异常点数 | 面积/km ² | 最大值 | 平均值 | 标准离差 | 变化系数 | 衬度 | 规模 |
|----|-------|------|--------------------|----------|---------|---------|------|-------|--------|
| Ag | 70.00 | 8 | 2.78 | 1890.00 | 926.25 | 773.37 | 0.83 | 13.23 | 36.79 |
| As | 25.00 | 7 | 0.92 | 69.40 | 41.77 | 17.44 | 0.42 | 1.67 | 1.54 |
| Au | 3.00 | 14 | 2.60 | 99.90 | 26.82 | 34.13 | 1.27 | 8.94 | 23.24 |
| Bi | 0.45 | 6 | 1.98 | 2.54 | 1.67 | 0.72 | 0.43 | 3.71 | 7.35 |
| Co | 17.00 | 23 | 4.30 | 568.00 | 126.29 | 181.68 | 1.44 | 7.43 | 31.94 |
| Cr | 90.00 | 25 | 4.35 | 507.00 | 164.30 | 88.70 | 0.54 | 1.83 | 7.94 |
| Cu | 41.00 | 23 | 3.87 | 14902.00 | 2585.04 | 4630.31 | 1.79 | 63.05 | 244.00 |
| Hg | 45.00 | 23 | 2.19 | 575.00 | 108.05 | 167.01 | 1.55 | 2.40 | 5.26 |
| Mo | 0.90 | 7 | 2.42 | 18.40 | 10.99 | 7.51 | 0.68 | 12.21 | 29.55 |
| Ni | 47.00 | 21 | 3.74 | 332.00 | 96.18 | 55.31 | 0.58 | 2.05 | 7.65 |
| Pb | 25.00 | 6 | 1.07 | 133.00 | 73.92 | 42.94 | 0.58 | 2.96 | 3.16 |
| Sn | 3.45 | 8 | 1.28 | 8.97 | 5.11 | 1.89 | 0.37 | 1.48 | 1.90 |
| W | 2.00 | 9 | 1.28 | 3.66 | 2.78 | 0.44 | 0.16 | 1.39 | 1.78 |
| Zn | 95.00 | 12 | 2.74 | 1850.00 | 624.09 | 629.45 | 1.01 | 6.57 | 18.00 |
| Sb | 4.50 | 2 | 0.17 | 6.26 | 6.15 | 0.10 | 0.02 | 1.37 | 0.23 |

异常值单位: Au、Ag、Hg 为 10^{-9} ; 其他元素为 10^{-6} 。

能。Ag、Zn、Co、Mo 异常规模大,强度高,异常清晰,在异常区分布不均匀,可能局部富集。该异常长轴方向为北西向,与断裂及岩脉展布方向一致,受断裂控制明显。推测该异常地段是寻找 Cu 矿的有利地段,同时可兼顾寻找 Au、Mo 矿。

HS18 异常以 Ni、Cr 为主,元素组合复杂。异常主要为 Ni、Cr,由 Ni、Cr、As、Sb、Hg、Bi、Co、Sn、Bi 组成(图 5、表 6)。Ni 规模大,高达 9.41,异常点数为 10;强度高,异常清晰,最大值为 691×10^{-6} ,衬度为 3.75,具三级浓度分带; Ni、Cr、Co 高值点重合,套合性好,有两个明显的浓集中心; Ni 在异常内分布极不均匀,变化系数为 1.37,说明 Ni 在该异常内具有较大局部富集成矿的可能。Cr 异常规模大,规模值为 6.04,异常点数为 3;强度高,异常清晰,衬度为 1.93,最大值为 812×10^{-6} ,具三级浓度分带。该异常总体呈北西向展布, Cr、Co、Ni 异常在异常区西北部呈北东向展布,可能由北东向次级断裂控制。推测该异常地段是寻找 Ni 矿的有利地段。在踏勘检查过程中发现一处镍矿化点,赋存于硅化白云岩中,断续延伸约 400 m,厚 30~40 m,与围

岩呈断层接触关系。针对该异常布设 1:10 000 地球化学综合剖面,结果显示,铜、镉、镍套合较好,存在多个高值点,镉最大异常值大于 $1 000 \times 10^{-6}$,镍最大值大于 500×10^{-6} ,高值与硅化白云岩对应。刻槽样结果显示, Ni 最高达 0.11%, Cr 最高达 0.12%。

HS29 异常以 Ni 为主,由 Ni、Cr、Co、Hg、Sb、Cu、Zn、As 异常组成,局部有 Au、Mo 异常显示(图 6、表 7)。Ni 异常规模大,高达 62.81,异常点数 94 个;强度高,异常清晰,最大值为 992×10^{-6} ,衬度为 3.68,具三级浓度分带; Ni 在异常内分布极不均匀,变化系数为 1.15,说明 Ni 在该异常内具有较大局部富集成矿的可能。Cr、Co 异常规模大,分别为 40.75、20.35;强度高,衬度分别为 2.63、1.61,分别具有三级、二级浓度分带; Cr 在该异常地段分布不均匀,变化系数为 0.87,说明 Cr 在该地段可能局部富集; Ni、Cr、Co 套合性好,浓集中心明显。异常总体呈近东西向带状展布,与构造线展布方向一致,受断裂控制明显;在异常东部,展布明显呈北东向,推断该处可能有隐伏断裂。推测该异常可能为矿致异常,该地段为寻找 Ni 矿的有利地段。针对此

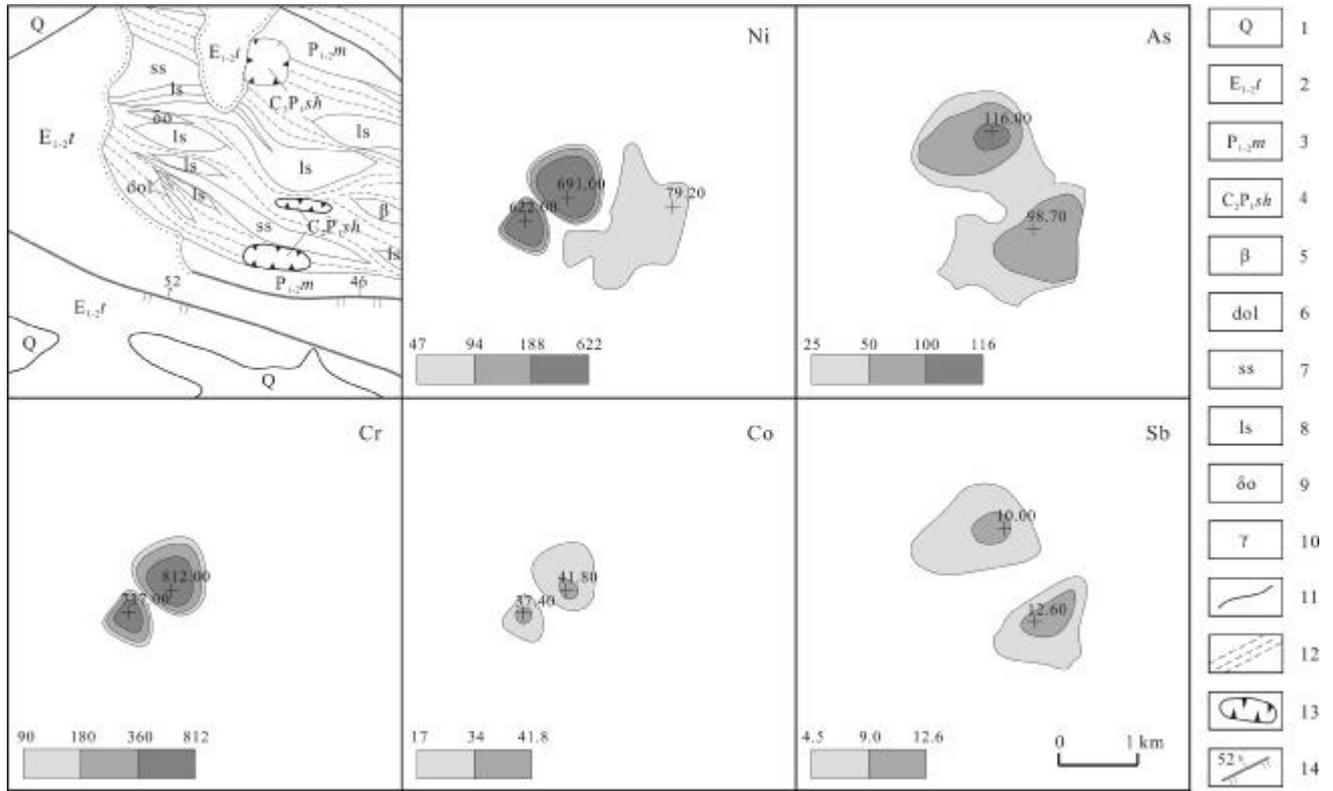


图5 HS18综合异常剖析图

Fig. 5 Analysis of HS18 integrated anomaly

1—第四系(Quaternary); 2—古近系沱沱河组(Paleogene Tuotuohe fm.); 3—二叠系马尔争组(Pemian Maerzheng fm.); 4—上石炭统-下二叠统树维门科组(Upper Carboniferous-Lower Permian Shuweimenke fm.); 5—玄武岩(basalt); 6—硅质岩(silicalite); 7—砂岩(sandstone); 8—灰岩(limestone); 9—石英闪长岩(Triassic quartz diorite); 10—花岗闪长岩(granodiorite); 11—地质界线(geological boundary); 12—强变形带(strong deformation zone); 13—推覆体(nappe); 14—断层及产状(fault and occurrence)

表6 HS18综合异常特征

Table 6 Characteristics of HS18 integrated anomaly

| 元素 | 异常下限 | 异常点数 | 面积/km ² | 最大值 | 平均值 | 标准离差 | 变化系数 | 衬度 | 规模 |
|----|-------|------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|
| As | 25.00 | 16 | 3.58 | 116.00 | 58.32 | 29.63 | 0.51 | 2.33 | 8.35 |
| Bi | 0.45 | 6 | 1.22 | 1.07 | 0.67 | 0.26 | 0.39 | 1.49 | 1.82 |
| Co | 17.00 | 2 | 0.75 | 41.80 | 39.60 | 2.20 | 0.06 | 2.33 | 1.75 |
| Cr | 90.00 | 3 | 1.02 | 812.00 | 533.13 | 342.71 | 0.64 | 5.92 | 6.04 |
| Hg | 45.00 | 5 | 0.97 | 93.8 | 73.6 | 15.73 | 0.21 | 1.64 | 1.59 |
| Mo | 0.90 | 5 | 0.36 | 1.20 | 1.02 | 0.10 | 0.10 | 1.13 | 0.41 |
| Ni | 47.00 | 10 | 2.51 | 691.00 | 176.14 | 241.03 | 1.37 | 3.75 | 9.41 |
| Sn | 3.45 | 5 | 0.67 | 6.33 | 4.25 | 1.06 | 0.25 | 1.23 | 0.83 |
| W | 2.00 | 5 | 0.72 | 2.74 | 2.46 | 0.27 | 0.11 | 1.23 | 0.89 |
| Sb | 4.50 | 8 | 2.19 | 12.60 | 9.15 | 2.28 | 0.25 | 2.03 | 4.45 |

异常值单位: :Hg为10⁻⁹;其他元素为10⁻⁶.

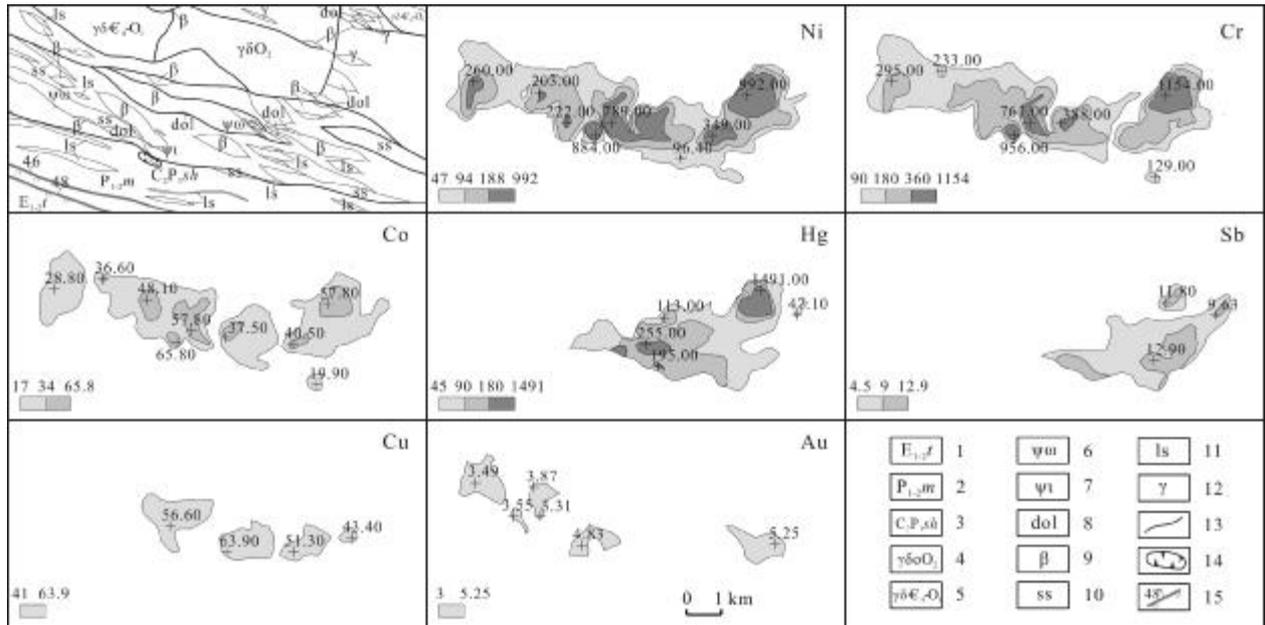


图 6 HS29 综合异常剖析图

Fig. 6 Analysis of HS29 integrated anomaly

1—古近系沱沱河组 (Paleogene Tuotuohe fm.); 2—二叠系马尔争组 (Permian Maerzheng fm.); 3—石炭—二叠系树维门科组 (Carboniferous-Permian Shuweimenke fm.); 4—奥陶纪英云闪长岩 (Ordovician tonalite); 5—寒武纪—早奥陶世花岗闪长岩 (Cambrian-Early Ordovician granodiorite); 6—蛇纹岩 (serpentinite); 7—辉石岩 (pyroxenite); 8—硅质岩 (silicalite); 9—玄武岩 (basalt); 10—砂岩 (sandstone); 11—灰岩 (limestone); 12—花岗岩 (granite); 13—地质界线 (geological boundary); 14—推覆体 (nappe); 15—断层及产状 (fault and occurrence)

表 7 HS29 综合异常特征

Table 7 Characteristics of HS29 integrated anomaly

| 元素 | 异常下限 | 异常点数 | 面积/km ² | 最大值 | 平均值 | 标准离差 | 变化系数 | 衬度 | 规模 |
|----|-------|------|--------------------|---------|--------|--------|------|------|-------|
| As | 25.00 | 40 | 5.26 | 48.70 | 35.91 | 5.87 | 0.16 | 1.44 | 7.56 |
| Au | 3.00 | 31 | 3.24 | 5.25 | 3.50 | 0.60 | 0.17 | 1.17 | 3.78 |
| Co | 17.00 | 76 | 12.66 | 65.80 | 27.32 | 11.17 | 0.41 | 1.61 | 20.35 |
| Cr | 90.00 | 92 | 15.48 | 1154.00 | 236.94 | 206.17 | 0.87 | 2.63 | 40.75 |
| Cu | 41.00 | 26 | 3.97 | 63.90 | 46.77 | 5.97 | 0.13 | 1.14 | 4.53 |
| Hg | 45.00 | 63 | 9.19 | 1491 | 135.79 | 226.54 | 1.67 | 3.02 | 27.73 |
| Mo | 0.90 | 40 | 4.95 | 1.41 | 1.05 | 0.13 | 0.12 | 1.17 | 5.78 |
| Ni | 47.00 | 94 | 17.08 | 992.00 | 172.85 | 199.31 | 1.15 | 3.68 | 62.81 |
| Sn | 3.45 | 40 | 5.76 | 5.69 | 4.33 | 0.63 | 0.15 | 1.26 | 7.23 |
| W | 2.00 | 40 | 5.78 | 3.10 | 2.35 | 0.23 | 0.10 | 1.18 | 6.79 |
| Zn | 95.00 | 37 | 4.29 | 114.00 | 101.65 | 5.23 | 0.05 | 1.07 | 4.59 |
| Sb | 4.50 | 47 | 6.47 | 12.90 | 8.26 | 2.3 | 0.28 | 1.84 | 11.88 |

异常值单位: Au, Hg 为 10⁻⁹; 其他元素为 10⁻⁶.

异常平行布设 1:10 000 地球化学综合剖面, 结果显示区内镉、镍元素套合较好, 存在多个高值点, 铜、镉最大

值大于 1 000×10⁻⁶, 镍最大值大于 500×10⁻⁶, 高值基本对应硅化白云岩. 经综合研究择优布设了探槽工程,

结果显示镍最大值为 0.19%。

3) 阿德可里根门异常区: 位于东北部的塔斯日哈乌兰郭勒-阿德可里根门地区, 北西走向。主要为 Pb-Zn 类综合异常, HS11、HS12、HS17 丙类异常位于该区内, 与北西向断裂方向一致, 与断裂有关。

4) 伊克异常区: 位于西北部的古尔文浩尔渴-伊克地区, 主要为 Au 类综合异常。HS1 丙类异常位于该区内, 主元素异常规模小, 强度较低, 成因不明。

4 成矿远景区

在水系沉积物地球化学异常排序及对主要异常推断、解释的基础上, 结合区域地质成矿条件、物探和矿化特征, 研究区内优选了 4 处成矿远景区, 分别为科德日特-巴嘎哈尔散金铜多金属成矿远景区、查干热格沟铜多金属成矿远景区、乌兰可镍多金属成矿远景区和马尼特沟南铁镍多金属成矿远景区。

1) 科德日特-巴嘎哈尔散金铜多金属成矿远景区

该远景区分布于科德日特至巴嘎哈尔散一带, 处于布青山蛇绿构造混杂岩带内, 面积约 32 km²。有大面积晚三叠世石英闪长岩($\delta\sigma T_3$)分布, 在布青山蛇绿构造混杂岩带中分布北西向花岗岩脉和英安岩岩块, 石英闪长岩体中分布北西向花岗岩脉。断裂构造在该处较为发育, 主要为北东走向的逆断层和韧性剪切带。远景区中有 HS7、HS6 两个异常。HS7 异常区内已发现 1 处 Au 矿点, 并圈定 10 条 Au 矿体, 2 条 Au-Cu 矿体, Au 的平均品位为 8.63×10^{-6} , Cu 的平均品位 0.82%。矿体主要赋存在构造碎裂岩、含石英脉破碎蚀变岩及断层泥中。矿石破碎且普遍发生角岩化、绿泥石化、硅化、高岭土化、黄铁矿化等。此外, 地表、近地表矿石发生氧化, 形成褐铁矿、孔雀石等。矿化受构造控制明显, 可能意味着该处矿床类型为构造蚀变岩型。综合分析可知, 该处寻找构造蚀变岩型 Au-Cu 多金属矿床的前景较好。

2) 查干热格沟铜多金属成矿远景区

该远景区分布于查干热格沟至伊克哈尔散一带, 地处布青山蛇绿构造混杂岩带内, 面积约 42 km²。在构造混杂岩带中出露玄武岩块体、花岗岩脉、辉石岩岩块, 在异常区东部出露晚寒武世一早奥陶世花岗闪长岩($\gamma\delta\epsilon_4-O_1$), 发育北西—北西西向逆断层和韧性剪切带。远景区中有 HS5、HS14 等 6 个综合异常, 以

HS14 的潜力最大。异常查证过程中新发现 1 处铜矿化点, Cu 品位 0.33%~0.60%, 平均品位 0.46%, Ni 最高值为 1783×10^{-6} , Co 最高值为 176×10^{-6} 。赋矿岩性为灰黑色磁铁蛇纹岩, 岩石蛇纹石化、硅化、褐铁矿化、孔雀石化发育。地面高磁工作显示, 异常分布与高磁异常范围吻合。综合分析, 该区具有热液蚀变型铜矿的找矿前景。

3) 乌兰可镍多金属成矿远景区

该远景区分布于乌兰可至查汗额热格东一带, 处于布青山蛇绿构造混杂岩带内, 面积约 24 km²。区内构造发育, 西南部发育一条北西向断裂, 中部有一条北西西向逆断层, 该断裂的次级断裂可能控制异常分布。远景区内有 HS18、HS25 等 3 个综合异常, HS18 的潜力最大。对 HS18 进行异常查证中, 发现 1 处 Ni 矿化点, 主要赋存在基性-超基性岩石中, 与 Cr、Co 等元素套合较好, 并圈定 Ni 矿化体 1 处。综合分析, 该区具有寻找岩浆岩型 Ni 多金属矿床潜力。

4) 马尼特沟南铁镍多金属成矿远景区

该远景区分布于马尼特沟南, 地处布青山蛇绿构造混杂岩带内, 其北侧出露奥陶纪英云闪长岩($\gamma\delta\sigma O_2$), 面积约 45 km²。异常内北西西向断裂发育, 有 3 组断裂均穿过异常, 沿断裂有基性、超基性岩出露。远景区内有 HS29、HS35 两个综合异常。异常区内有 1 处铬铁矿化点, 矿化产在蚀变超基性岩中。异常查证过程中, 在硅化白云岩中发现 2 处镍矿化线索, Cr、Ni、Co 含量普遍较高, 可能与基性-超基性岩有关。通过填图和探槽揭露发现多处镍矿化线索, 镍矿化赋存于硅化白云岩中, 呈浸染状-稀疏浸染状, 白云岩以构造岩块的形式产出, 在地表出露不连续, 大致呈半圆形。邻区在超基性岩中发现有得力斯坦铜(铬)钴镍矿(化)点。综合分析, 该区可能有岩浆岩型和热液蚀变型铁、铜多金属矿或者热液蚀变型镍矿之类存在。

致谢: 本研究在野外采样过程中得到了中陕核工业集团地质调查院有限公司樊会民高级工程师、安兴高级工程师的悉心指导; 审稿过程中, 审稿专家提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 潘彤, 罗才让, 伊友昌, 等. 青海省金属矿产成矿规律及成矿预测

- [M]. 北京:地质出版社, 2006:1-214.
- Pan T, Luo C R, Yi Y C, et al. Metallogenic laws and prospecting of metal deposit in Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006:1-214. (in Chinese)
- [2]薛顺荣, 肖克炎, 丁建华. 香格里拉地区勘查地球化学信息找矿应用[J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 537-540.
- Xue S R, Xiao K Y, Ding J H. The application of geochemical information to ore exploration in Shangri-La area, Yunnan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32(5): 537-540.
- [3]王磊, 杨建国, 王小红, 等. 甘肃北山炭山子-黄草泉一带水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 现代地质, 2016, 30(6): 1276-1284.
- Wang L, Yang J G, Wang X H, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Tanshanzi-Huangcaoquan Area of Beishan, Gansu Province [J]. Geoscience, 2016, 30(6): 1276-1284.
- [4]张晶, 杨博, 李宝强, 等. 中国西北地区成矿元素区域地球化学特征[J]. 现代地质, 2018, 32(5): 1042-1052
- Zhang J, Yang B, Li B Q, et al. Regional geochemical characteristics of metallogenic elements in northwest China[J]. Geoscience, 2018, 32(5): 1042-1052.
- [5]崔晓亮, 刘婷婷, 王文恒, 等. 东昆仑布青山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, 2011, 35(5): 573-578.
- Cui X L, Liu T T, Wang W H, et al. Geochemical characteristics and ore search prospects of Buqingshan area in Qinghai Province based on stream sediment survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(5): 573-578.
- [6]颜自给, 李学彪. 青海省都兰县阿拉克湖地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 2014, 28(1): 58-65.
- Yan Z J, Li X B. Geochemical characteristics of the stream sediment and prospecting direction in Alake Lake area, Dulan County in Qinghai Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2014, 28(1): 58-65.
- [7]胡兆国, 张少鹏, 连国建, 等. 青海省纳日宗地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 现代地质, 2018, 32(3): 481-492.
- Hu Z G, Zhang S P, Lian G J, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting in the Narizong area, Qinghai Province[J]. Geoscience, 2018, 32(3): 481-492.
- [8]高永伟, 郭周平, 赵辛敏, 等. 青海北祁连冷龙岭地区水系沉积物元素地球化学特征及异常圈定[J]. 现代地质, 2018, 32(3): 468-480.
- Gao Y W, Guo Z P, Zhao X M, et al. Geochemical characteristics and anomalies identification of elements in the stream sediments from the Lenglongling area of North Qilian Mountains, Qinghai Province [J]. Geoscience, 2018, 32(3): 468-480.
- [9]赵娟, 王泰山, 李德彪, 等. 青海祁漫塔格地区 1:5 万水系沉积物测量方法技术及应用成果[J]. 地质与勘探, 2017, 53(4): 739-745.
- Zhao J, Wang T S, Li D B, et al. The techniques and application achievements in 1: 50000 stream sediment survey of the Qimantage area, Qinghai Province[J]. Geology and Exploration, 2017, 53(4): 739-745.
- [10]邵继, 刘会文, 刘江峰, 等. 阿尔金牛鼻子梁地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质科技情报, 2018, 37(5): 176-183.
- Shao J, Liu H W, Liu J F, et al. Geochemical characteristics of stream sediments in the Niubiziliang area, Altyn: Implication for mineralization and prospecting direction[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(5): 176-183.
- [11]祝大伟, 何玉燕, 郝延海, 等. 新疆塔什库尔干县赞坎铁矿外围水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质通报, 2017, 36(10): 1867-1873.
- Zhu D W, He Y Y, Hao Y H, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting orientation in the periphery of the Zankan iron ore deposit, Taxkorgan, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(10): 1867-1873.
- [12]朱有光, 蒋敬业, 李泽九, 等. 试论我国重要景观区中景观、表生因素对金、铜区域地球化学异常标志的影响[J]. 物探与化探, 2001, 25(6): 418-424.
- Zhu Y G, Jiang J Y, Li Z J, et al. A Tentative discussion on the influence of landscape and epigenetic factors upon indicators of copper and gold geochemical anomalies in important landscape regions of China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2001, 25(6): 418-424.
- [13]戴慧敏, 代雅键, 马振东, 等. 大兴安岭查巴奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 1043-1050.
- Dai H M, Dai Y J, Ma Z D, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Chabaqi area of Da Hingan Mts[J]. Geoscience, 2012, 26(5): 1043-1050.
- [14]魏小林, 康波, 甘承萍, 等. 东昆仑马尼特地区晚三叠世侵入岩地球化学特征及地质意义[J]. 西北地质, 2019, 52(1): 41-51.
- Wei X L, Kang B, Gan C P, et al. Geochemical characteristics and geological significance of late Triassic intrusive rock in the Manite area, East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(1): 41-51.
- [15]边千韬, 罗小全, 李涤徽, 等. 青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 45-55.
- Bian Q T, Luo X Q, Li D H, et al. Geochemistry and formation environment of the Buqingshan ophiolite complex, Qinghai Province, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 45-55.
- [16]刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂岩带的地质特征及大地构造意义[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1182-1195.
- Liu Z Q, Pei X Z, Li R B, et al. Geological characteristics of the Buqingshan tectonic melange belt in the southern margin of East Kunlun and its tectonic implications[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8): 1182-1195.
- [17]刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山

- 地区二期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质学报, 2011, 85(2): 185-194.
- Liu Z Q, Pei X Z, Li R B, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the two suites of ophiolites at the Buqingshan area of the A'nyemaqen orogenic belt in the southern margin of East Kunlun and its tectonic implication[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(2): 185-194.
- [18]李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 等. 东昆仑南缘布青山构造混杂带得力士坦南 MOR 型玄武岩地质、地球化学特征及岩石成因[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2015, 40(7): 1148-1162.
- Li R B, Pei X Z, Li Z C, et al. Geological and geochemical features of Delisitannan basalts and their petrogenesis in Buqingshan tectonic mélange belt, southern margin of East Kunlun orogen [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(7): 1148-1162.
- [19]郭世珍, 赵寿, 保正岳, 等. 马尼特金矿控矿因素及找矿前景分析[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2010, 28(2): 47-53.
- Guo S Z, Zhao S, Bao Z Y, et al. Analysis on the ore-controlling factor and ore-searching prospect in the Manife gold deposit [J]. Journal of Qinghai University (Nature Science), 2010, 28(2): 47-53.
- [20]周红智, 徐崇文, 张松涛, 等. 青海都兰沟里金矿整装勘查 1:100 000 地质矿产数据集[J]. 中国地质, 2019, 46(S1): 93-104.
- Zhou H Z, Xu C W, Zhang S T, et al. The 1:100 000 Mineralogical Dataset of the Gouli Gold Deposit Integrated Exploration Area in Dulan County, Qinghai Province[J]. Geology in China, 2019, 46(S1): 93-104.
- [21]李欢, 徐国志, 孙璐, 等. 化探综合异常图定量编制方法及应用[J]. 地质通报, 2019, 38(6): 1062-1070.
- Li H, Xu G Z, Sun L, et al. A quantitative method for integrated anomaly map of geochemical prospecting and application[J]. Geological Bulletin of China, 2019, 38(6): 1062-1070.
- [22]严己宽, 玉强忠. 地球化学勘查固体样品采集的野外质量评价指标[J]. 物探与化探, 2018, 42(6): 1112-1115.
- Yan J K, Yu Q Z. The field quality evaluation index of solid sampling in geochemical exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1112-1115.
- [23]柳坤峰, 冯昌荣, 翟黎明, 等. 新疆乌恰县吾合沙鲁地区水系沉积物地球化学特征与找矿远景[J]. 现代地质, 2019, 33(4): 759-771.
- Liu K F, Feng C R, Zhai L M, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Wuheshalu area, Wuqia County, Xinjiang[J]. Geoscience, 2019, 33(4): 759-771.
- [24]史长义, 梁萌, 冯斌. 中国水系沉积物 39 种元素系列背景值[J]. 地球科学, 2016, 41(2): 234-251.
- Shi C Y, Liang M, Feng B. Average background values of 39 chemical elements in stream sediments of China[J]. Earth Science, 2016, 41(2): 234-251.
- [25]迟清华, 鄯明才. 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.
- Chi Q H, Yan M C. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1-148.
- [26]戴慧敏, 鲍庆中, 宫传东, 等. 因子分析法对内蒙古查巴奇地区水系沉积物地球化学分区的应用研究[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 245-251.
- Dai H M, Bao Q Z, Gong C D, et al. Study of applying factor analysis method to the geochemical division in stream sediments in the Chabaqi area of Inner Mongolia[J]. Geoscience, 2010, 24(2): 245-251.
- (上接第 449 页/Continued from Page 449)
- [16]翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 30-44.
- Zhai Y S, Deng J, Li X B. Essentials of metallogeny[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 30-44.
- [17]王筱箎, 吕骏超, 胥嘉, 等. 黑龙江六九山铜银矿床地质特征[J]. 地质与资源, 2016, 25(2): 137-143.
- Wang X Z, Lyu J C, Xu J, et al. Geological characteristics of the Liujiushan copper-silver deposit in Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2016, 25(2): 137-143.
- [18]王景昕, 胥嘉, 余何, 等. 内蒙古满洲里地区哈拉胜大型银铅锌矿床地质特征及成矿时代[J]. 地质与资源, 2019, 28(1): 18-24, 97.
- Wang J X, Xu J, Yu H, et al. Geological characteristics and metallogenic age of the large silver-lead-zinc deposit in Halasheng of Manzhouli area, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 2019, 28(1): 18-24, 97.
- [19]宋国学, 秦克章, 李光明, 等. 中疏型浅成低温热液金多金属矿床基本特征、研究进展与展望[J]. 岩石学报, 2018, 34(3): 748-762.
- Song G X, Qin K Z, Li G M, et al. Basic characteristics and research progresses of intermediate sulfidation type epithermal gold poly-metallic deposits, and prospects[J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(3): 748-762.
- [20]王力圆, 邱瑞照, 王翠芝, 等. 墨西哥中生代岩浆活动规律及成矿研究[J]. 地质找矿论丛, 2017, 32(4): 667-675.
- Wang L Y, Qiu R Z, Wang C Z, et al. Mesozoic-Cenozoic magmatism and mineralization in Mexico [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2017, 32(4): 667-675.
- [21]王翠芝, 雷华, 姚仲友, 等. 墨西哥中-新生代成矿系列和成矿带划分及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2017, 36(12): 2116-2123.
- Wang C Z, Lei H, Yao Z Y, et al. Classification of the Mesozoic-Cenozoic metallogenic series and belts in Mexico and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(12): 2116-2123.