

DOI: 10.12401/j.nwg.2023008

新疆东昆仑大沙沟地区水系沉积物测量 地球化学特征及找矿方向研究

孔祥超¹, 万鹏^{1,*}, 卢文姬², 孙景耀¹, 宁雨鹏¹

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000; 2. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院, 山东 济南 250000)

摘要: 在 1:5 万水系沉积物测量基础上, 对东昆仑大沙沟一带成矿元素分布特征进行研究, 获得了较为丰富的区域地球化学成果。通过对元素分布特征、元素相关性、地球化学参数特征等进行研究。结果表明, 该区元素的富集与地层、构造、岩浆岩明显相关; Cu、Zn、Au、Ag、Sb、Hg 富集成矿可能性较大, 可作为区内主成矿元素及指示元素。本次工作共圈定 37 处综合异常, 6 处成矿远景区, 5 处找矿靶区, 为下一步找矿工作提供了地球化学依据。

关键词: 水系沉积物测量; 地球化学; 找矿远景区; 大沙沟地区; 东昆仑

中图分类号: P632+.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)04-0116-12

Geochemical Characteristics and Ore-prospecting of Dashagou Area in East Kunlun, Xinjiang: Based on Stream Sediment Survey

KONG Xiangchao¹, WAN Peng^{1,*}, LU Wenji², SUN Jingyao¹, NING Yupeng¹

(1. No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai 264000, Shandong, China; 2. Geological Exploration Institute of Shandong Zhengyuan, China Metallurgical Geology Bureau, Jinan 250000, Shandong, China)

Abstract: Based on the 1:50 000 stream sediment survey, the distribution characteristics of ore-forming elements in Dashagou area, East Kunlun, and plentiful regional geochemical survey data was obtained. The author analyzed the characteristic of element distribution, geochemical features of stream sediment as well as the relationships between of elements, and found that the enrichment and depletion of elements relate to the formation, structure and magmatic rock, Cu, Zn, Au, Ag, Sb, Hg are more likely to be rich in integrated ore, which can be used as the main ore-forming element and indicator element in the area. A total of 37 composite anomalies and 6 potential ore-prospecting areas and 5 target area were delineated in this work, the results points out the direction for the prospecting work in the next stage.

Keywords: stream sediment survey; geochemical characteristics; prospective area; Dashagou area; east Kunlun

收稿日期: 2021-04-18; 修回日期: 2022-05-13; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 新疆地勘基金项目“新疆若羌县大沙沟一带 1:5 万 (J45E019019、J45E020018、J45E020019、J45E021018、J45E021019) 区域地质矿产调查” (XB-DK-2015-1-05) 与“新疆东昆仑三岔顶一带 1:5 万四幅区域地质矿产调查” (K16-1-LQ22) 联合资助。

作者简介: 孔祥超 (1987-), 男, 工程师, 主要从事区域地质调查与地质矿产勘查工作。E-mail: 522205542@qq.com。

* 通讯作者: 万鹏 (1983-), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质调查与地质矿产勘查工作。E-mail: 23921283@qq.com。

水系沉积物是岩石风化产物,是上游汇水盆地物质的天然组合(谢学锦,1979),在化学成分上与水系流经区域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)。水系沉积物地球化学测量为区域化探的主要研究方法(孙江华等,2003;夏祥标等,2009;张辉善等,2010;崔晓亮等,2011;李玉芹等,2011;宋贺民等,2014;肖霞等,2016;李文明等,2021;赵娟等,2021;李天虎等,2022;赵禹等,2022)。笔者以东昆仑大沙沟一带1:5万水系沉积物测量工作为基础,应用R型因子分析结果,划分元素分布特征、异常元素组合特征等,根据元素组合特征,在综合异常查证的基础上,优选了找矿远景区,为研究区下一步找矿工作提供方向。

1 地质概况

研究区位于新疆、西藏、青海3省交界处的东昆仑山西段,与可可西里山脉紧相毗邻,属青藏高原北缘的高山区,海拔为4300~5500 m,相对高差达1200 m,自然景观分区上属深切高寒山区。总体地貌景观为“三山两谷(河)”格局,地势呈南高北低。区内气候为大陆高寒气候,年降水量约为300 mm,水系较发育,适于开展水系沉积物地球化学测量工作。

研究区地层以木孜塔格-鲸鱼湖深大断裂为界,以南为西藏三江地层大区巴颜喀拉山地区可可西里地层分区木孜塔格地层小区;以北为秦祁昆地层大区昆仑地层区东昆仑地层分区乌鲁克苏河地层小区,地层出露较全,中元古界、中生界、新生界均可见(图1)。志留系白干湖组主要为一套碎屑岩复理石建造,泥盆系布拉克巴什组为大陆边缘相碎屑岩,石炭系托库孜达坂组为一套深海相碎屑岩夹碳酸盐岩及含放射虫硅质岩组合,二叠系碧云山组为滨岸相碎屑岩、喀尔瓦组为滨浅海相碎屑岩、碳酸盐岩夹少量火山岩,三叠系桃湖组为一套滨岸相碎屑岩沉积建造,侏罗系库孜贡苏组为山麓河流相沉积建造,新近系喷呐湖组为河流相沉积建造,第四系发育河谷及阶地洪冲积相。

研究区构造处于康西瓦-木孜塔格-鲸鱼湖-布喀达坂峰-阿尼玛卿缝合带,是塔里木板块、华北板块和华南板块的结合部位。该地区构造演化经历了较长

的发展历史,呈多期的特点,构造线方向以近东西向、北西西为主,多呈平行延伸。

研究区岩浆岩不发育,出露面积较小,主要沿木孜塔格-鲸鱼湖断裂及兔子湖-花海滩断裂发育,岩性以酸性侵入岩和基性火山岩为主,另有少量脉岩分布。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

文中水系沉积物测量工作严格按照《DZ/T0011-2015 地球化学普查规范(1:50000)》执行。水系沉积物测量采样粒级为-10~+80目,采样面积约为1408 km²,共采集样品6087件(含重复样114件),平均采样密度4.3件/km²。

野外采样采用手持式GPS卫星定位,同时结合地形图定点,并对航点、航迹等资料进行监控。本次工作选择河床底部或河道岸边与水面接触处采样,个别地段在河漫滩上采样。一般为3~5个采样点合并为一个样品。采样物质以一、二级水系中的细-中砂冲积物为主,三级水系布设少量控制点,个别无法取样地段,采集点位附近的土壤样品。样品经干燥、过筛后用缩分法置于样品袋中,样品重量不小于300g。

2.2 样品分析

样品分析由核工业新疆理化分析测试中心实验室承担,分析项目包括Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、As、Bi、Sb、Cr、Ni、Co、Hg、Li、Be、B等18种元素,按质量管理规范要求插入一级标准样154件作为分析监控样,合格率为100%。

3 元素地球化学特征

3.1 背景值及异常下限

确定背景值及异常下限的常见方法有计算法、图解法以及长剖面法等,前两者属于数理统计方法(王崇云,1987;孙社良等,2018)。一般认为岩石中常量元素服从正态分布,而微量元素多为对数正态分布,所以在确定区内地球化学背景值和异常下限之前将其转换为常用对数。研究区北部、南部2个单元背景值差异较大,构造单元内地质单元成因不同,物质来源各异,导致各单元内背景值、数据特征相差较大,异常下限也有较大差异。因此,对南、北不同的区域分别进行了异常下限圈定(表1)。



1.第四系；2.喷呐湖组；3.库孜贡苏组；4.桃湖组；5.喀尔瓦组；6.碧云山组；7.托库孜达坂组；8.布拉克巴什组；9.哈拉巴依沟组；10.硅质岩；11.断层；12.玄武岩

图1 大沙沟地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Dashagou area

3.2 地球化学参数特征

由于成矿过程具有长期性、多期性、复杂性，有些地质体元素虽含量较高，但分宜程度差，不易成矿（杜保峰等，2018）。因此，为了综合反映元素变异系数(C_v)和富集系数(K)与成矿作用的关系，根据水系

沉积物中元素含量，计算元素的成矿有利度系数(Ma=C_v×K)。有利度系数越大，成矿可能性就越大。研究区北部富集系数大于1.2的元素有B、Li、Hg、Sb，南部富集系数大于1.2的元素有Ag、Au、B、Cu、Mo、Sb等，其他元素与区域上基本相当，说明研究区与区

域有相似的地球化学环境(表 2)。

3.3 元素富集离散特征

元素原始数据的变异系数(Cv_1)与剔除极值后背

景数据的变异系数(Cv_2)均反映相关数据的离散程度, 而 Cv_1/Cv_2 值则反映了背景拟合处理时离散值的剔除程度(表 3)。

表 1 研究区各地质单元异常下限统计表

Tab. 1 The threshold of anomaly of each geological unit in the study area

元素	北部	南部	元素	北部	南部
Ag	0.09	0.14	Hg	0.11	0.13
As	29.79	35.31	Li	49.58	55.2
Au	2	3.47	Mo	1.31	1.86
B	142.45	118.73	Ni	40.7	49.79
Be	1.94	2.35	Pb	24.52	29.02
Bi	0.27	0.38	Sb	3.7	7.18
Co	13.74	18.38	Sn	2.03	4.21
Cr	75.83	86.68	W	2.02	2.11
Cu	30.37	48.3	Zn	76.52	97.38

注: Au、Ag、Hg含量为 10^{-9} , 其他元素含量为 10^{-6} 。

表 2 元素特征值参数统计表

Tab. 2 Element eigenvalue parameter statistics table

元素	北 部					南 部					
	平均值 ($X1$)	背景值 ($X2$)	富集系数 (K)	成矿有利度 (Ma)	区域背 景值	元 素	平均值 ($X1$)	背景值 ($X2$)	富集系数 (K)	成矿有利度 (Ma)	区域背 景值
Ag	0.04	0.04	0.74	0.33	0.058	Ag	0.10	0.09	1.52	0.64	0.06
As	15.14	14.75	1.12	0.26	13.163	As	18.95	16.48	0.90	0.26	18.37
Au	0.94	0.89	0.71	0.31	1.259	Au	2.01	1.67	1.34	0.69	1.25
B	59.08	45.49	1.43	1.00	31.746	B	77.73	75.72	1.90	0.69	39.77
Be	1.24	1.23	0.85	0.30	1.442	Be	1.88	1.88	1.04	0.29	1.8
Bi	0.17	0.16	0.80	0.28	0.207	Bi	0.29	0.28	1.12	0.39	0.25
Co	8.37	8.27	0.95	0.35	8.667	Co	14.01	13.92	1.25	0.31	11.15
Cr	39.49	37.66	0.78	0.40	48.502	Cr	65.07	64.06	1.41	0.40	45.54
Cu	20.26	19.90	0.99	0.33	20.112	Cu	44.55	43.91	1.53	0.58	28.71
Hg	0.05	0.04	1.10	0.59	0.036	Hg	0.09	0.07	0.00	0.00	40
Li	36.31	29.88	1.22	0.33	24.407	Li	45.31	44.82	1.26	0.32	35.66
Mo	0.81	0.76	0.85	0.26	0.897	Mo	1.39	1.27	1.64	0.79	0.77
Ni	23.64	21.96	0.95	0.32	23.169	Ni	42.01	41.04	1.53	0.42	26.77
Pb	16.22	14.01	0.82	0.23	17.016	Pb	20.05	19.60	1.06	0.33	18.43
Sb	1.45	1.37	1.23	0.32	1.112	Sb	3.57	2.60	2.03	1.06	1.28
Sn	0.92	0.75	0.37	0.23	2.038	Sn	2.68	2.60	1.31	0.52	1.99
W	1.18	1.06	0.88	0.36	1.208	W	1.62	1.53	1.24	0.34	1.24
Zn	49.54	48.41	1.01	0.37	48.009	Zn	89.96	89.61	1.13	0.32	79.51

注: Au、Ag、Hg含量为 10^{-9} , 其他元素单位为 10^{-6} 。

表3 研究区变异系数及标准离差统计表

Tab. 3 Variable coefficient and standard deviation statistical table in the study area

元素	北部						南部					
	Cv_1	Cv_2	Cv_1/Cv_2	SI	$S2$	$SI/S2$	Cv_1	Cv_2	Cv_1/Cv_2	SI	$S2$	$SI/S2$
Ag	0.56	0.45	1.24	0.02	0.02	1.29	0.68	0.42	1.60	0.07	0.04	1.76
As	0.63	0.23	2.72	9.52	3.42	2.79	0.59	0.29	2.02	11.26	4.83	2.33
Au	0.62	0.44	1.40	0.58	0.40	1.47	5.18	0.52	10.02	10.42	0.86	12.06
B	1.11	0.70	1.58	65.35	31.86	2.05	0.40	0.36	1.12	31.31	27.27	1.15
Be	0.36	0.35	1.04	0.45	0.43	1.05	0.29	0.28	1.04	0.55	0.52	1.05
Bi	0.36	0.35	1.02	0.06	0.06	1.03	0.42	0.35	1.23	0.12	0.10	1.26
Co	0.39	0.37	1.07	3.28	3.04	1.08	0.28	0.25	1.12	3.94	3.50	1.12
Cr	0.60	0.51	1.17	23.54	19.25	1.22	0.42	0.28	1.47	27.27	18.23	1.50
Cu	0.37	0.34	1.09	7.42	6.71	1.10	0.40	0.38	1.07	17.92	16.54	1.08
Hg	1.19	0.54	2.22	0.06	0.02	2.90	2.78	0.58	4.80	0.25	0.04	6.38
Li	1.24	0.27	4.68	45.16	7.95	5.68	0.28	0.26	1.11	12.85	11.43	1.12
Mo	0.50	0.30	1.66	0.40	0.23	1.76	0.82	0.48	1.71	1.14	0.60	1.88
Ni	0.55	0.34	1.61	13.02	7.52	1.73	0.47	0.27	1.72	19.67	11.19	1.76
Pb	2.10	0.28	7.51	34.00	3.91	8.69	0.36	0.31	1.16	7.18	6.05	1.19
Sb	0.95	0.26	3.68	1.38	0.35	3.90	1.23	0.52	2.36	4.38	1.35	3.23
Sn	0.93	0.61	1.51	0.85	0.46	1.84	0.46	0.40	1.16	1.23	1.03	1.20
W	0.62	0.40	1.53	0.73	0.43	1.69	0.75	0.27	2.73	1.21	0.42	2.88
Zn	0.40	0.36	1.09	19.71	17.61	1.12	0.29	0.28	1.02	26.08	25.47	1.02

3.3.1 研究区北部

(1)剔除前变异系数 $Cv_1 \geq 2.0$ 的元素只有 Pb, 说明元素分布极不均匀, 离散数据多, 在研究区内起伏变化很大, 在地球化学图上呈局部异常或高背景, 富集成矿的可能性大。

(2) $1.2 \leq Cv_1 < 2$ 的元素只有 Li, 说明元素分布不均匀, 富集成矿的可能性较大。

(3) $0.8 \leq Cv_1 < 1.2$ 的元素有 Hg、B、Sb、Sn, 说明其分布均匀, 背景数据多, 有局部富集成矿的可能性, 在地球化学图上呈背景分布。

(4)其余元素 Cv_1 均小于 0.8, 说明这些元素变异系数小, 小于背景值的数据多, 富集成矿的可能性小。

另外, 剔除前后变化系数比值 $Cv_1/Cv_2 \geq 2$ 的元素有 Pb、Hg、As、Sb、Li5 种元素, 说明这些元素剔除离散点多。剔除的主要是高点, 说明这些元素在区内具备富集成矿的可能性很大, 为研究区内的主成矿元素及伴生元素。

根据区内各元素剔除前后标准离差比值 $SI/S2$, 可将研究区内不同元素分为 4 组:

(1)没有 $SI/S2 > 10$ 的元素。

(2)Pb、Li、Sb、Hg、As 等元素的 $SI/S2$ 值为 2.5~10。其中, Pb 的高值点为 1055.17×10^{-6} , 是剔除后平均值 14.01×10^{-6} 的 75 倍; Li 的高值点 1046.88×10^{-6} , 是剔除后平均值 29.88×10^{-6} 的 35 倍。这些高值离散点加大标准离差值的变化趋势, 凸显了其富集成矿的可能性。

(3)B、Sn、Mo、Ni、W 等元素的 $SI/S2$ 值为 2.5~1.5, 高点也较多, 有一定的富集成矿可能性。

(4)Au、Ag、Cr、Zn、Cu、Co、Be、Bi 等元素的 $SI/S2$ 值 < 1.5 , 从标准离差的剔除前后比值上看, 其成矿潜力不及上述元素。

综上所述, 研究区北部 Pb、Li、Sb、Hg、As、B 的标准差及变异系数变化较大, 局部富集的趋势明显, 富集成矿条件好, 可作为研究区主要成矿元素和伴生元素。

3.3.2 研究区南部

(1)剔除前变异系数 $Cv_1 \geq 2.0$ 的元素只有 Au、Hg, 说明元素分布极不均匀, 离散数据较多, 在研究区内

起伏变化很大,在地球化学图上呈局部异常或高背景,富集成矿的可能性大。

(2) $1.2 \leq C_{v1} < 2$ 的元素只有 Sb,说明元素分布不均匀,离散数据较多,富集成矿的可能性较大。

(3) $0.8 \leq C_{v1} < 1.2$ 的元素有 Mo,说明其分布均匀,背景数据多,有局部富集成矿的可能性,在地球化学图上呈背景分布。

(4) 其余元素的 C_{v1} 值均小于 0.8,说明这些元素变异系数小,富集成矿的可能性小。

另外,剔除前后变化系数比值 $C_{v1}/C_{v2} \geq 2$ 的元素有 Au、Hg、W、Sb、As 5 种元素,说明这些元素剔除离散点多。进一步详细统计结果表明,剔除的主要是高点,说明这些元素在区内具备富集成矿的可能性很大,为研究区内的主成矿元素及伴生元素。

根据区内各元素剔除前后标准离差比值 $S1/S2$,可将研究区不同元素分为 4 组。

(1) $S1/S2 > 10$ 的元素只有 Au,该元素剔除程度较大,其 C_{v1}/C_{v2} 值为 10.01,最高值为 674.4×10^{-9} ,是剔除后平均值 1.06×10^{-9} 的 648 倍。高值点对标准离差的贡献大,剔除的高值点较多,其富集成矿的可能性也相对较大。

(2) Hg、Sb、W 等 3 种元素的 $S1/S2$ 值为 2.5~10,其中 Hg 的高值点为 14.008×10^{-6} ,是剔除后平均值 0.07×10^{-6} 的 13 倍。这些高值离散点加大标准离差值的变化趋势,凸显了其富集成矿的可能性。

(3) $S1/S2$ 值为 2.5~1.5 的元素有 As、Mo、Ag、Ni、Cr,这些元素高值点也较多,有一定的富集成矿的可能性。

(4) $S1/S2$ 值为 < 1.5 的元素有 Bi、Sn、Pb、B、Co、Li、Cu、Be、Zn。从标准离差的剔除前后比值上看,这些元素成矿潜力不及上述元素。

综上所述,研究区南部 Au、Hg、Sb、Mo、W 的标准差及变异系数变化较大,局部富集的趋势明显,富集成矿的条件好,可作为研究区的主要成矿元素和伴生元素。

3.4 元素相关性分析

元素组合是元素亲合性在地质体内的具体表现,元素亲合性与地质环境有关。为了解研究区元素间的相关程度,分析元素组合与地质构造背景的依存关系,采用 R 型聚类分析对全区水系沉积物 18 种元素进行研究(宋建中等,2014;何艳红等,2015;薛琮一等,2020)(图 2)。在 0.4 相似水平上,全区元素分为 4 个簇族:

I 簇: W-Ag-B-Sn-Mo-Cu-Bi-Be-Zn-Co-Ni-Cr,这一组合在所有元素中相关性最强,以典型的亲铁元素为主,化学性质非常相似,主要分布在研究区内蛇绿岩套中的基性-超基性岩中。

II 簇: Sb-As 元素组合,属于亲铜元素,相关性较差,As 与 Sb 相关系数仅为 0.36,呈现出相对独立的地球化学行为,与其他元素关联度较低,说明此组合元素的富集成因复杂,既受地层控制又受岩浆热液控制。

III 簇: Li-Pb 元素组合。

IV 簇~VI 簇: 元素为 Hg、Au,是研究区铜多金属矿化的重要反映,该类元素异常具有重要的找矿意义。在研究区内发现多处 Cu 矿(化)点,成矿潜力大。

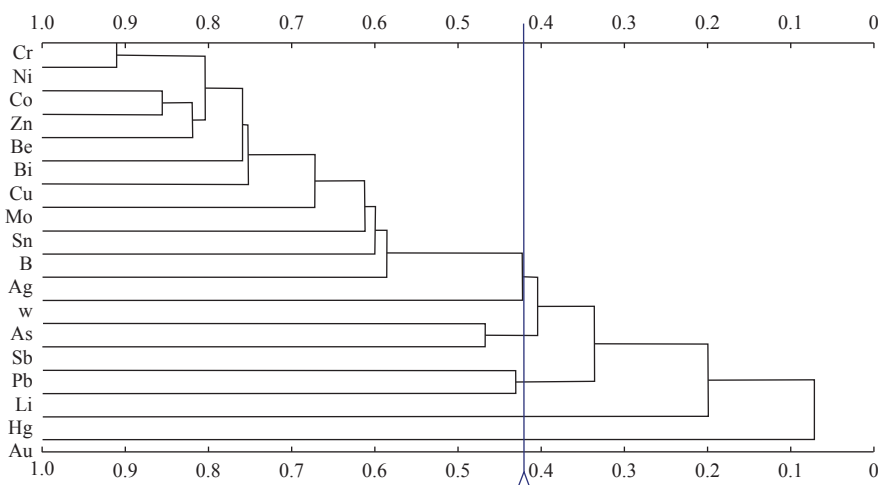


图 2 大沙沟地区水系沉积物元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 Phylogeny of element R - type cluster analysis in stream sediments in Dashagou area

3.5 因子分析

因子分析是一种降维分析,降维后使标本具有更明确的意义,反映的是一种内在的成因联系,是多种地质叠加条件元素行为历史的总和(姚玉增等, 2005;

董庆吉等, 2008)。文中水系沉积物测量由于圈定单元素异常较多。因此,以研究区样品分析的 18 个元素为变量进行 R 型因子分析(表 4),采用正交旋转因子负载矩阵组合。

表 4 旋转因子矩阵数据表

Tab. 4 Rotation factor matrix data table

变量	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Au	0.014	-0.034	0.018	-0.003	-0.011	0.999	0	-0.01	-0.025
Sn	0.149	-0.213	0.047	-0.055	-0.706	0.01	-0.02	-0.073	-0.489
Ag	0.044	-0.785	0.068	-0.001	-0.425	0.009	0.017	-0.053	-0.109
Cu	0.307	-0.599	0.197	-0.1	-0.046	0.029	0.086	0.035	-0.586
Pb	0.021	-0.077	-0.036	-0.87	-0.016	0.002	-0.046	-0.115	-0.075
Zn	0.379	-0.234	0.124	-0.168	-0.183	0.014	0.053	-0.029	-0.758
Ni	0.889	-0.19	0.098	-0.066	-0.126	0.011	0.025	-0.03	-0.3
W	0.068	-0.054	0.161	-0.043	-0.089	0.011	0.011	-0.909	-0.234
Mo	0.105	-0.888	0.145	-0.05	0.079	0.028	0.105	-0.044	-0.154
Cr	0.866	-0.02	0.041	-0.085	-0.176	0.008	0.011	-0.074	-0.396
Co	0.578	-0.16	0.167	-0.115	-0.162	0.011	0.065	-0.043	-0.687
Li	0.124	0.011	0.166	-0.78	-0.097	0.003	0.069	0.076	-0.196
Be	0.302	-0.076	0.121	-0.14	-0.215	0.012	0.001	-0.13	-0.828
B	0.172	-0.042	0.053	-0.081	-0.875	0.005	0.029	-0.051	-0.145
Ass	0.105	-0.141	0.794	-0.056	-0.012	0.004	-0.017	-0.283	-0.085
Sb	0.047	-0.108	0.827	-0.067	-0.078	0.018	0.024	0.06	-0.264
Bi	0.134	-0.099	0.202	-0.103	-0.144	0.015	-0.028	-0.26	-0.794
Hg	0.035	-0.114	0.004	-0.014	-0.015	0	0.988	-0.007	-0.028

(1)F1 因子为 Ni-Cr-Co-Cu-Zn-Be 元素组的综合反映,是一套高温元素组合。其中, Ni、Cr、Co 的相关系数高于 0.5,呈中度相关; Cu、Zn、Be 相关系数大于 0.3,相关性较低。F1 因子元素组的高低背景分布与 Ni-Cr-Co-Cu-Zn-Be 各元素的地球化学分布趋势一致,大体为南高北低。研究区北部主要为低背景,反映泥盆系和二叠系沉积岩的地球化学特征;研究区北部的高背景主要集中在下二叠统碧云山组碎屑岩段出露区,该地区北西向断裂构造较发育,地层走向受断裂构造控制且发育有辉长岩脉、闪长岩脉,为元素组的聚集提供了丰富的物源和热源。研究区南部主要为高背景区,高背景与石炭系下统托库孜达坂组变质岩相对应,发育众多的石英岩脉、花岗岩脉、花岗斑岩脉和玄武岩脉等,发育北西向和北东向两组断裂构造或构造破碎带,浓集中心主要发育在两组断裂构造(或构造破碎带)的交汇处。Ni-Cr-Co-Cu-Zn-

Be 元素的浓集可能与热液活动有关。

(2)F2 因子为 Mo-Ag-Cu 元素组的综合反映,是一套中高温元素组合,其相关系数小于-0.6,呈中度相关,因子分析值为负数,低值区代表元素的高背景分布,高值区代表元素的低背景,元素高低背景分布呈南高北低的总体趋势。由 F2 因子得分图结合地质信息可知,元素的高背景主要与研究区南部石炭系托库孜达坂组变质岩出露区相对应,走向与地层走向一致,高值区分布在石英岩脉发育处。Mo-Ag-Cu 元素组的高背景可能与热液活动有关。低背景反映了二叠系、泥盆系、第四系沉积岩的地球化学特征。

(3)F3 因子为 Sb-As 元素组的综合反映,其相关系数大于 0.8,呈显著相关。其高背景推测与隐伏断裂构造有关。

(4)F4 因子为 Pb-Li 元素组的综合反映,其相关系数小于-0.78,呈中度相关。因子分析值为负数,低

值区代表元素的高背景分布,高值区代表元素的低背景,其高低背景的分布与F2因子相似,呈南高北低的总体趋势。元素的高背景主要与研究区南部石炭系托库孜达坂组变质岩出露区相对应,高值区分布在岩脉发育处。低背景反映二叠系、泥盆系、第四系沉积岩的地球化学特征。Pb-Li元素组的高背景可能与热液活动有关。

(5)F5因子为B-Sn元素组的综合反映,其相关系数小于-0.7,呈中度相关。因子分析值为负数,低值区代表元素的高背景分布,高值区代表元素的低背景,其高低背景的分布与F2、F4因子相似,呈南高北低的总体趋势。元素的高背景主要与研究区南部石炭系托库孜达坂组变质岩出露区相对应,高值区分布在岩脉发育处。B-Sn元素组的高背景可能与热液活动有关。

(6)F6为独立因子Au, F7因子为独立因子Hg, F8因子为独立因子W。结合地球化学图和聚类分析结果可知,Au、Hg和W与F3因子关系较近,其高低背景分布与Sb、As相似。

(7)F9为Be-Bi-Zn-Co-Cu-Sn-Ni-Cr元素组的综合反映。其中,Be-Bi-Zn-Co-Cu的相关系数小于-0.5,呈中度相关;Sn-Ni-Cr的相关系数小于-0.3,相关性较低。因子分析值为负数,低值区代表元素的高背景分布,高值区代表元素的低背景,其高低背景分布与F1因子的元素组合一致。Be-Bi-Zn-Co-Cu-Sn-Ni-Cr元素的浓集可能与热液活动有关。

3.6 元素地球化学场分布特征

研究区水系沉积物样品分析的18种元素中,多数元素的分布具有十分明显的特征与规律性,各元素组具有各自的分布特点,与研究区所属复杂的区域性地质构造密切相关。

(1)Ni、Cr、Be、Zn、Co地球化学分布特征

从R型聚类分析来看Ni、Cr、Be、Zn、Co元素相关度极高,相关度达到了0.8以上,总体来看都呈现了“北低、南高”的特征,且各区均为EW向展布。研究区北部以二叠系碧云山组中部的NEE向断裂为界,以北均呈现低背景-低值区,以南则为背景区-极高值区,亦呈NEE向展布。上述5种元素均在河心台幅东北部出现了团块状极高值区,推测为第四系冲洪积物堆积所致,为次生富集。

研究区南部元素分布规律更加典型。以石炭系托库孜达坂组为界,其南北两侧为背景区-低值区,而

石炭系呈现高背景-极高值区。研究区南部的三叠系桃湖组呈现高背景。石炭系托库孜达坂组中可见多处基性岩脉,推测托库孜达坂组中元素的高值可能是深部的基性岩浆侵入所致。

(2)Bi、Cu、Mo地球化学分布特征

Bi、Cu、Mo元素分布规律与Ni、Cr、Be、Zn、Co元素规律相似,但也有差异之处。北部Cu的背景值明显偏低,以二叠系碧云山组中部的NEE向断裂为界,以北均呈现低值区-极低值区,以南则为背景区-低背景区;而Mo则在河心台幅东北部呈现了小面积的高值区-极高值区。在测区西部的奥陶系—志留系哈拉巴依沟组中Bi呈现高背景,Cu为正常背景,而Mo则有低值区出现。

(3)Sn、B、Ag地球化学分布特征

Sn、Ag在测区南部展布趋势较为相似,奥陶系—志留系哈拉巴依沟组、石炭系托库孜达坂组均呈现高背景-极高值区;B则在奥陶系—志留系哈拉巴依沟组中呈正常背景。

北部3种元素有较大差异。Sn、Ag在布拉克巴什组中均呈极低值区-低值区,在碧云山组中呈低值区-背景区;在达坂沟群南界附近Sn有背景区-极高值区呈现,而Ag只有在山前汇水处有高值区出现,可能是次生富集作用导致。B在研究区北部虽整体自北向南含量逐渐增高,但其中偶有高值区-极高值区出现,对应该区地质背景分析可能是由于断裂构造导致;北部串珠状的B的极高值区-高值区的出现可能暗示该处存在隐伏断裂,其余面积较大的高值区-极高值区均与已知断裂相对应,总体呈NNE向。

(4)W地球化学分布特征

W在研究区北部一道梁幅北部整体呈低值区-极低值区,零星有高值区出现,可能是由于次生作用富集而成;而其南部出现的背景区-极高值区可能与深部物质有关

(5)Sb、As地球化学分布特征

Sb、As总体在研究区北部含量偏低,Sb基本呈低背景-低值区,仅在河心台幅东北部呈背景区-高值区;As的高值区-极高值区均位于河谷口,推测是次生富集作用而成。研究区南部大面积的呈现高值区-极高值区,仅沿石炭系南界的构造破碎带附近呈现低值区。

(6)Li、Pb地球化学分布特征

Li、Pb在研究区北部展布趋势相似,Li及极高值区规模较大,在碧云山组和喀尔瓦组接触带附近呈

EW向展布,而Pb的极高值区仅集中于灰岩出露部位。这种现象可能与该处发育的NNE向断裂构造有关,是深部物质引起的;南部两种元素大面积呈高值区—极高值区,仅在东南部有部分低值区呈现,均集中在断裂交汇处。

(7) Hg、Au地球化学分布特征

Au在研究区北部主要为背景区—低值区,在南部石炭系中主要为高值区—极高值区,新近系—第四系中为低值区。Hg在北部规律性较差高低背景相间分布,在南部与Au特征相似;在南部石炭系托库孜达坂组东北界附近呈现近EW向的低值区,推测是由于侵入的花岗岩体所致。

4 成矿远景区划分

成矿远景区是在划分成矿区带的低序次带内圈出具有矿产资源潜力的空间位置,是对现在还没发现,将来应当发现的矿床的推测,是引导矿产勘查投入的实际依据。文中依据最小面积最大含率原则、优化评价原则及综合评价准则等,将研究区划分出4个B类成矿远景区、2个C类成矿远景区(图3)。

(1) 一道梁铅锌锂成矿远景区(Y1)

该成矿远景区为B类成矿远景区,位于一道梁一带,呈近EW向展布。该成矿远景区中进一步圈定了一处找矿靶区。远景区内出露地层主要为二叠系,岩浆岩不发育,断裂构造主要为NWW—SEE向。

远景区包括HS01、HS02两处综合异常。其中HS01异常主元素为Pb、Li、Hg,各组合元素套合较好,浓集中心明显。区内构造发育,构造带内多发育褐铁矿化蚀变。结合区内两处综合异常的元素组合特征,认为区内可能存在隐伏岩体。前期水系沉积物测量过程中,发现多个铅高值点,有望在该区内发现矽卡岩型铅锌矿。

(2) 河心台东汞锂成矿远景区(Y2)

该成矿远景区为C类成矿远景区,位于河心台东一带,呈近EW向展布。远景区内出露地层主要为下二叠统碧云山组碎屑岩段,岩浆岩不发育,仅见数条闪长玢岩脉呈近东西向展布,断裂构造主要为NWW—SEE向。

远景区包括HS08、HS09、HS10、HS11等4处综合异常。其中HS09异常主元素为Hg、Cu、Be、Mo,其中Hg浓集中心明显。该成矿区内仅见一处Au异

常高值点,为 4.9×10^{-9} ,该高值点与断裂构造对应。HS11异常主元素为Li、Sb、As,各元素套合较好,其中Li浓集中心明显。区内构造发育、构造带内多发育褐铁矿化蚀变,该区域可作为汞、锂找矿远景区。

(3) 雁头山北-碎石沟金铜镍铬成矿远景区(Y3)

该成矿远景区为B类成矿远景区,位于雁头山北一带,呈近EW向展布。该成矿远景区内进一步圈定了B2找矿靶区。地层主要出露下石炭统拖库孜达坂组,雁头山北-碎石沟蛇绿混杂岩带。远景区内局部出露少量的第四系。远景区内断裂构造较为发育,断裂构造具有多期次、多层次的特点,主要为NWW向、近EW向、NNE向和NE向断裂。

远景区包括HS12、HS13、HS14、HS15、HS17、HS18、HS19、HS20、HS21、HS22、HS23等11处综合异常。其中HS17异常元素组合为Ni—Cr—Co—Bi—Ag—B—Be—Zn—Au—Pb,元素出露较为齐全,其中Ni、Cr、Ag具有清晰的内中、外、带,Ni、Cr表现较为突出。异常波峰基本与雁头山北-碎石沟蛇绿构造混杂岩带内的橄榄岩、辉长岩对应良好。HS19异常主元素为Au—B—Sn—Ag—Sb—As—Mo,从异常形态来看Au具有明显的内、中、外带,B、Sn套合较好。Au、Cu、Pb、Zn、As、Sn等元素明显存在波峰,证实了异常的客观存在。此外,Au、Cu、Pb、Zn、Sn等元素具在构造破碎带附近浓集的特点。

区内发现多处铜矿(化)点和矿化线索,矿化主要受断裂构造控制。综合分析认为,该区具有寻找熔离型铜镍硫化物矿和破碎带蚀变岩型金矿的潜力。

(4) 碎石沟东铜多金属找矿远景区(Y4)

该成矿远景区为C类成矿远景区,位于碎石沟东一带,呈近EW向展布。区内出露地层主要为下石炭统托库孜达坂组和晚奥陶统—早志留统纳赤台群哈拉巴依沟组。区内断裂构造极为发育,沿断裂构造及岩石节理充填多期石英细脉,石英细脉发育褐铁矿化蚀变。

远景区包括HS25、HS26两个综合异常。其中,HS25异常元素组合为Bi—Co—Cu—Pb—Zn,各元素套合较好。其中Bi元素浓集中心明显,具三级浓度分带。在该成矿区内发现一处铜矿化线索。铜矿化发育于兔子湖花海滩断裂带内构造角砾岩中,可见岩石发育孔雀石化。综合分析认为,该区具有寻找热液型铜矿的潜力。

(5) 雁头山南铜石膏金多金属找矿远景区(Y5)

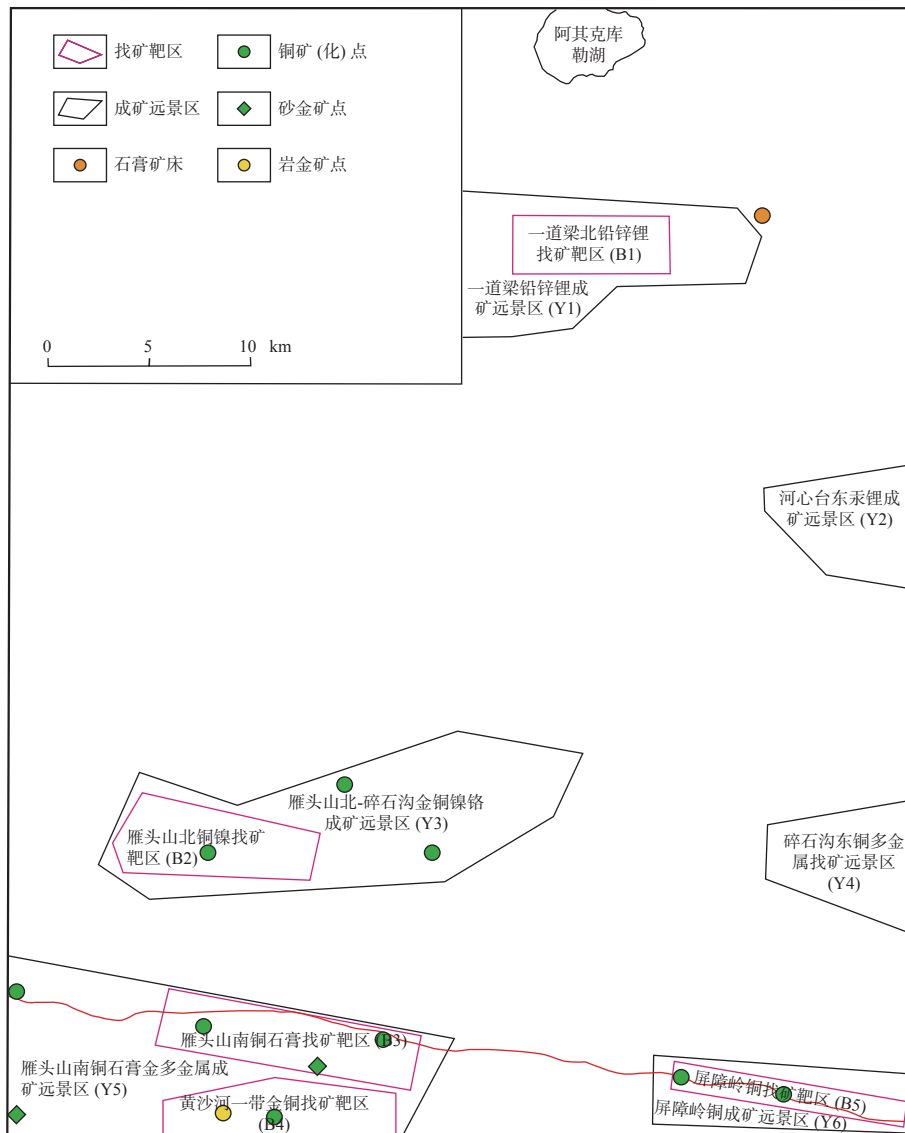


图 3 研究区成矿远景区及找矿靶区划分图

Fig. 3 Forming future areas and prospecting target area map in the study area

该远景区为 B 类成矿远景区, 位于雁头山南, 呈近 EW 向展布。该成矿远景区内进一步圈定了 B3、B4 找矿靶区。远景区内出露地层主要有中新统喷呐湖组、上侏罗统库孜贡苏组、上三叠统桃湖组、下石炭统托库孜达坂组。区内岩浆活动较弱, 仅在黄沙河上游一带下三叠统桃湖组见少量中-酸性脉岩呈近 EW 向分布, 岩性主要为花岗斑岩、闪长玢岩、石英斑岩, 其中石英斑岩中发育铜矿化。远景区内构造不发育, 主要为背向形构造和近 EW 向逆断层。

远景区包括 HS33、HS34、HS35、HS36 等 4 个综合异常。其中, HS33 异常元素组合为 Cu-Mo, 二者套合较好。HS34 异常元素组合为 Hg-Mo, 二者套合较好, 具三级浓度分带, 浓集中心明显。HS36 异常元素

组合为 As-Co-Bi-Cu-Sb, 各元素异常浓集中心不明显。异常内分布有黄沙河上游铜矿化。区内还有 1 处 Au 单元异常, Au 元素极大值达 0.762×10^{-6} 。

区内发现铜矿点 2 处、矿化点 2 处, 石膏矿床 1 处, 石膏矿化点 1 处, 砂金矿点 1 处。综合分析认为, 该区具有寻找砂岩型铜矿、热液型铜矿、沉积型石膏矿和砂金矿的潜力。

(6) 屏障岭铜找矿远景区 (Y6)

该远景区为 B 类成矿远景区, 位于屏障岭一带, 呈近 EW 向展布。该成矿远景区内进一步圈定了 B5 找矿靶区。远景区内出露地层主要中新统喷呐湖组、上侏罗统库孜贡苏组、上三叠统桃湖组、下石炭统托库孜达坂组。区内岩浆岩不发育, 断裂构造较为发育,

主要为NWW向断裂构造。

远景区内无1:50 000化探综合异常,但已发现1处铜矿点、1处铜矿化点和1处铜矿化线索。铜矿化沿木孜塔格-鲸鱼湖断裂北侧分布。该区具有寻找热液型铜矿的潜力。

5 结论

(1)研究区元素含量特征及实际找矿成果显示:Cu、Zn、Au、Ag、Sb、Hg富集成矿可能性较大、成矿前景较好,可以做为区内主成矿元素及指示元素。通过R型聚类分析,在0.45相似水平上,全区18种元素分为4个簇族;利用因子分析,提取9种具有代表性的因子组合类型,揭示异常分布特征。研究区共划出4个B类成矿远景区、2个C类成矿远景区,区内共划分了5处B级找矿靶区。

(2)研究区多金属成矿作用明显受断裂构造控制,尤其是NWW向、近EW向断裂对成矿具有控制作用,其次是受NE向断裂控制。NW向、NE向、近EW向断裂构造为该区多金属成矿的主要导矿构造,而接触带、层间裂隙构造为多金属成矿的容矿构造。

(3)研究区综合异常具有集中成(区)带分布的特征,其可分为2个异常(区)带,即:一道梁一带附近、雁头山-再力克山一带。这些区域均在区域性大断裂附近或在次级断裂交汇集中位置。

参考文献(References):

- 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 Xiaoliang, LIU Tingting, WANG Wenheng, et al. Geochemical characteristics and ore search prospects of Buqingshan area in Qinghai Province based on stream sediment survey[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2011, 35(5): 573-578.
- 董庆吉,陈建平,唐宇. R型因子分析在矿床成矿预测中的应用——以山东黄埠岭金矿为例[J].地质与勘探,2008,44(4):64-68.
- DONG Qingji, CHEN Jianping, TANG Yu. Application of R-Factor analysis in Mineralization prognosis: By an example of Huangbuling gold deposit, Shandong Province[J]. *Geology and Prospecting*, 2008, 44(4): 64-68.
- 杜保峰,杨长青,柴建玉,等.水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果[J].中国地质,2018,45(3):604-616.
- DU Baofeng, YANG Changqing, CAI Jianyu, et al. The effect of stream sediment survey for prospecting in Chuanzhearea, Tibet, [J]. *Geology in China*, 2018, 45(3): 604-616.
- 郝立波,李巍,陆继龙.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,2007,26(12):1531-1535.
- HAO Libo, LI Wei, LU Jilong. Method for determining the geochemical background and anomalies in areas with complex lithology[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(12): 1531-1535.
- 何艳红,栗健强,程佳孝,等.内蒙古温根地区水系沉积物地区化学特征及找矿预测[J].西北地质,2015,48(2):216-223.
- HE Yanhong, LI Jianqiang, CHENG Jiaoxiao, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Stream Sediment in Wengen Area of Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2): 216-223.
- 蒋敬业,程建萍,祁士华,等.应用地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.
- JIANG Jingye, CHENG Jianping, QI Shihua, et al applied geochemistry[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006.
- 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.
- LI Yuqin, SHEN Hengli, WANG Xuezheng. Geochemical Characteristic of Stream Sediment Survey and Metallogenic Prognosis of Dulanarea, Qinghai Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 31(3): 615-620.
- 李文明,刘拓,孙吉明,等.新疆北山白山地区地球化学特征及找矿远景预测[J].西北地质,2021,54(4):42-48.
- LI Wenming, LIU Tuo, SUN Jiming, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prognosis in Baishan Area of Xinjiang Beishan[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(4): 42-48.
- 李天虎,彭桥梁,王伟,等.新疆温宿县盐场地区水系沉积物地球化学特征及找矿效果[J].西北地质,2022,55(1):78-92.
- LI Tianhu, PENG Qiaoliang, WANG Wei, et al. Geochemical Characteristics and Ore Prospecting of Stream Sediment in Yanchang Area of Wensu, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(1): 78-92.
- 宋贺民,张辉,顾松松,等.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,2014,33(1):71-78.
- SONG Hemin, ZHANG Hui, GU Songsong, et al. Stream sediment geochemical characteristics and prospecting direction in Karaqi area of Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(1): 71-78.
- 宋建中,张雪冰,魏良民,等.内蒙古额济纳旗道嘎地区土壤地球化学特征及找矿方向[J].西北地质,2014,47(3):8-13.
- SONG Jianzhong, ZHANG Xuebing, WEI Liangmin, et al. Geo-

- chemical Characteristics of Soils and Exploration Directions of Daoga Area, Ejinaqi County, Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(3): 8-13.
- 孙江华, 刘峰, 陈利民. 等. 新疆昆仑山东段木孜塔格-阿尔喀山 1: 20 万地球化学图说明书[R]. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 2003.
- 孙社良, 冯增会, 黄孝波, 等. 新疆汉水泉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*, 2018, 42(6): 1116-1117.
- SUN Sheliang, FENG Zenghui, HUANG Xiaobo, et al. Geochemical characteristics and ore-search prospects of Hanshuiquan area in Xinjiang based on stream sediment survey[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2018, 42(6): 1116-1117.
- 王崇云. 地球化学找矿基础[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 15-60.
- WANG Chongyun. The basis of Geochemical prospects[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 15-60.
- 夏祥标, 郑来林. 普达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): 626-634.
- XIA Xiangbiao, ZHENG Lailin. Geochemical characteristics and ore-search prospects of Puchiya area in Tibet based on stream sediment survey[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2009, 33(6): 626-634.
- 肖霞, 倪师军, 白涛, 等. 西藏妥坝地区水系沉积物地球化学特征及找矿靶区[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2016, 35(3): 570-575.
- XIAO Xia, NI Shijun, BAI Tao, et al. Geochemical Characteristics of Stream Sediments and Prospecting Targets in the Tuoba Area of Tibet, China. *Bulletin of Mineralogy*[J]. *Petrology and Geochemistry*, 2016, 35(3): 570-575.
- 谢学锦. 区域地质调查野外工作方法: 区域化探[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- XIE Xuejin. Field work method of regional geological survey: Regional geochemical[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979.
- 薛琮一, 王嘉伟, 杨征, 等. 新疆和田布雅煤矿一带水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. *西北地质*, 2020, 58(4): 66-72.
- XUE Congyi, WANG Jiawei, YANG Zheng, et al. A Review of Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Stream Sediment of Buya Coal Mine in Hetian, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 2020, 58(4): 66-72.
- 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红, 等. R 型因子分析在处理混杂原生晕样品中的应用——以河北丰宁银矿为例[J]. *地质与勘探*, 2005, 41(2): 51-55.
- YAO Yuzeng, GONG Enpu, LIANG Junhong, et al. Application of R-Factor analysis in Handling mixed samples of primary halo-A case study of Fengning silver deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 41(2): 51-55.
- 张辉善, 张杰, 史俊波, 等. 青海格尔木红石山地区水系沉积物测量异常特征及优选找矿靶区[J]. *物探与化探*, 2010, 35(6): 768-772.
- ZHANG Huishan, ZHANG Jie, SHI Junbo, et al. Anomaly characteristics of stream sediment survey in Hongshishan area of Golmud, Qinghai Province, and the optimization of prospecting target areas[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2010, 35(6): 768-772.
- 赵娟, 马正婷, 柴云, 等. 青海省冷湖行委俄博梁地区稀有稀土元素地球化学特征及找矿潜力分析[J]. *西北地质*, 2021, 54(4): 82-87.
- ZHAO Juan, MA Zhengting, CHAI Yun, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Potential of Rare Rare-earth Element in Eboliang Area, Lenghu, Qinghai Province[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(4): 82-87.
- 赵禹, 赵寒森, 刘拓, 等. 西北地区土地质量地球化学调查进展与主要成果[J]. *西北地质*, 2022, 55(3): 140-154.
- ZHAO Yu, ZHAO Hansen, LIU Tuo, et al. Progresses and Main Achievements of Geochemical Survey of Land Quality in Northwest China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(3): 140-154.