



云南勐海地区 1:5 万水系沉积物地球化学特征及找矿预测

卢文姬¹, 孔祥超², 张永三¹, 蓝信杰¹, 王明波¹, 付世兴¹, 张其凯¹

1. 中国冶金地质总局 山东正元地质勘查院, 山东 济南 250000;

2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000

摘要: 勐海地区处于临沧-勐海(岩浆弧)Fe-Pb-Zn-Au-Ag-Sn-Sb-Ge-REE 矿带, 具有较好的找矿前景. 在勐海地区 1:5 万水系沉积物测量基础上, 对区内 29 种元素分布特征、元素相关性、地球化学参数特征研究, 圈定了 5 个组合异常和 13 个综合异常. 其中, Ce-La-Y-Zr 综合异常具有较好找矿前景; Au、As、Sb、Hg、W、P 等元素离散程度较高, 元素局部较富集, 具有成矿的可能性. 结合水系沉积物测量成果, 圈定找矿远景区 2 处, 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; 地球化学异常; 稀土元素; 云南省

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF 1:50 000 STREAM SEDIMENT SURVEY AND PROSPECTING PREDICTION IN MENGHAI AREA, YUNNAN PROVINCE

LU Wen-ji¹, KONG Xiang-chao², ZHANG Yong-san¹, LAN Xin-jie¹, WANG Ming-bo¹,
FU Shi-xing¹, ZHANG Qi-kai¹

1. Shandong Zhengyuan Geological Exploration Institute, China Metallurgical Geology Bureau, Jinan 250000, China;

2. Shandong No.3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai 264000, Shandong Province, China

Abstract: Menghai area is located in Lincang-Menghai (magmatic arc) Fe-Pb-Zn-Au-Ag-Sn-Sb-Ge-REE metallogenic belt, with a good prospecting potential. Based on the regional 1:50 000 stream sediment survey, the distribution characteristics, element correlation and geochemical parameter characteristics of 29 elements are studied, and 5 composite anomalies and 13 comprehensive anomalies are delineated in the area. Among them, the Ce-La-Y-Zr comprehensive anomaly has a good prospecting potential. The elements of Au, As, Sb, Hg, W and P are highly dispersed and locally enriched, with possibility of mineralization. Combined with the stream sediment survey results, 2 prospecting potential areas are delineated, which may provide geochemical basis for the next prospecting work.

Key words: stream sediment; geochemical anomaly; rare earth element; Yunnan Province

0 引言

研究区位于云南省西双版纳傣族自治州景洪市与

勐海县之间, 属于横断山系南部, 在大地构造位置上隶属于西藏-三江造山系扬子西缘多岛弧盆系之碧罗雪

收稿日期: 2023-02-09; 修回日期: 2023-03-10. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局矿产地质调查项目“滇西地区三稀等重要矿产地质调查”(DD20179604-05).

作者简介: 卢文姬(1986—), 女, 硕士, 地质工程师, 主要从事资源勘查、矿床地球化学相关工作, 通信地址 山东省烟台市高新区航天路 517 号, E-mail//2814450875@qq.com

通信作者: 孔祥超(1987—), 男, 硕士, 地质工程师, 主要从事资源勘查相关工作, 通信地址 山东省烟台市高新区滨海东路 2016 号, E-mail//522205542@qq.com

山-临沧陆缘弧带的临沧岩浆弧带南部^[1]. 勐海地区属于临沧-勐海(岩浆弧)Fe-Pb-Zn-Au-Ag-Sn-Sb-Ge-REE矿带. 前人1:20万勐海幅水系沉积物测量, 共发现综合异常62处, 划分出9个找矿远景区, 并结合元素表生地球化学特征, 对所发现的异常进行了分类、解释及评价, 得出了一些重要的地质信息和矿产信息. 水系沉积物地球化学测量具有效率高、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^[2-3]. 前人在滇西地区开展的风化壳离子型稀土矿研究工作表明, 三叠纪以来, 滇西地区有大规模的黑云母二长花岗岩出露, 其岩石化学特征明显, 轻重稀土分异强烈, 稀土总量高于其他地区同时代的花岗岩, 使它成为离子吸附型稀土矿的天然成矿母岩^[4]. 因此, 中国地质调查局在该区开展了1:5万水系沉积物测量相关工作, 对该区获取的地球化学资料展开剖析, 圈定找矿靶区, 为该区三稀矿产的勘查提供技术支持. 地球化学方法在国内外地质找矿过程中发挥着重要作用^[5-8], 此方法对区域异常查找以及找矿靶区预测应用较广^[9-17]. 本文以云南省勐海县1:5万水系沉积物测量成果为基础, 通过分析区内水系沉积物地球化学特征, 圈定综合异常, 并对其分布

特征进行讨论, 以为该地区地质勘查工作提供比较直接、可靠的找矿信息.

1 区域地质地球化学特征

研究区出露的地层有中侏罗统花开左组(J_3h)、下侏罗统坝注路组(J_3b)、下白垩统景星组(K_j)第四系(Q)冲积层. 区内构造主要为褶皱和断裂. 褶皱构造为勐邦向斜, 断裂构造以北东向为主, 其次为北西向. 多数断裂具有明显的继承性和多期活动性. 岩浆岩主要出露三叠纪黑云二长花岗岩, 局部出现白垩纪花岗岩^[18](图1).

据1:20万勐海幅水系沉积物测量资料显示, 区划扫面划分出3个地球化学分区, 各地分区中的元素组合及成矿条件有较大差异, 进而划分成地球化学小区. 区内的主要构造单元及岩浆活动的影响范围与地球化学分区有非常密切的关系. 区域主要地球化学分区特征如下. 勐遮-勐板地球化学分区(I): 位于勐海花岗岩基以西及研究区西南区域, 富集 Fe_2O_3 、Au、Sb、Ag、Zn、Pb、Cd、Cu、V、Ti、Cr、Ni、Co、As、Hg及Mn、W、Bi、Mo、B、P、 Na_2O 、CaO等元素及氧化物. 主要地球化学特征是基性火山及热液作用下富集 Fe_2O_3 、

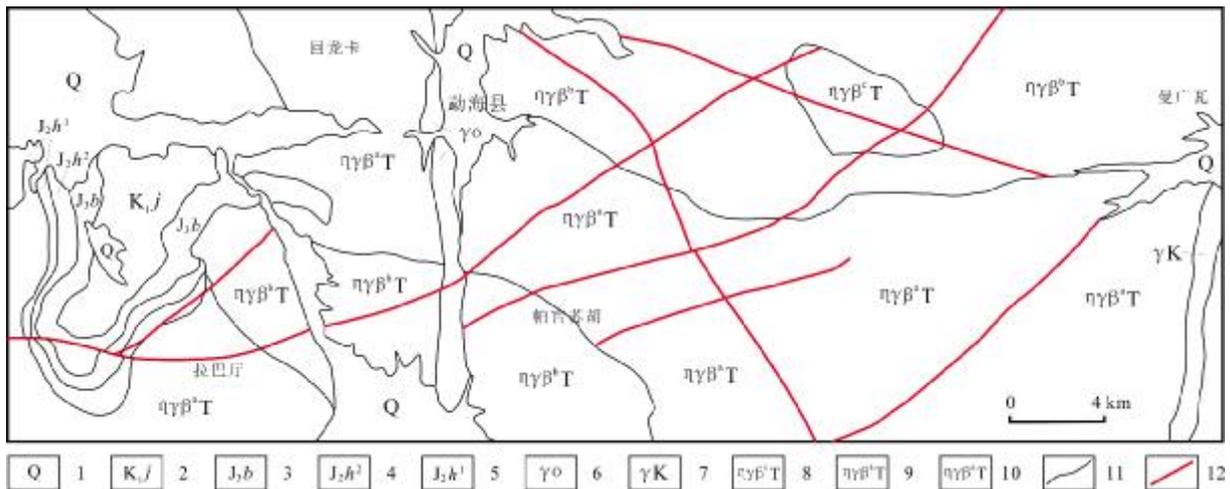


图1 研究区区域地质图
(据文献[18])

Fig. 1 Regional geological map of the study area
(From Reference [18])

1—第四系 (Quaternary); 2—白垩系景星组 (Cretaceous Jingxing fm.); 3—侏罗系坝注路组 (Jurassic Bazhulu fm.); 4—侏罗系花开左组上段 (upper mem. of Huakaizuo fm., Jurassic); 5—花开左组下段 (lower mem. of Huakaizuo fm.); 6—英云闪长岩 (tonalite); 7—中细粒花岗岩 (fine-medium-grained granite); 8—中粗粒似斑状黑云二长花岗岩 (medium-coarse-grained porphyritic biotite monzogranite); 9—中粗粒黑云二长花岗岩 (medium-coarse-grained biotite monzogranite); 10—中细粒黑云二长花岗岩 (fine-medium-grained biotite monzogranite); 11—地质界线 (geological boundary); 12—断层 (fault)

Au、Sb、Ag、Cd、Cu、Zn、Pb、As、Hg、V、Ti、Cr、Ni、Co及W、Bi、Mo、Mn、B、Na₂O、P等元素及氧化物。元素组合复杂,所形成的异常浓集度高、规模大。特别是Sb、Au、Ag等主要成矿元素在该小区形成优势异常。

勐海县-龙秋小区(Ⅱ-1):位于勐海花岗岩基覆盖区,富集Zr、Y、La、Th、U、Be、Ba、Sn、W、Bi及Al₂O₃、K₂O、MgO、F、Pb、P、Sr、Mo、As等元素及氧化物,Zr、Y、La、Th、U等稀土及放射性元素在区内形成优势异常。

金帕光小区(Ⅱ-2):出露澜沧岩群底部地层并有含锡花岗岩侵入,岩浆及期后高温气液作用下富集Sn、W、Bi及Mo、As、Ag、Ni、Nb等元素。主要成矿元素及伴生元素Sn、W、Bi在区内形成优势异常。

2 样品采集与测试

研究区主要处于滇西南热带雨林景观区^[19],地貌属于构造侵蚀中山区,主要属龙川江水系。区内次级沟系、羽状水系发育,是开展水系沉积物测量的理想地区。实际完成1:5万水系沉积物测量面积464 km²,共采集2 185件水系沉积物样品(含重复样47件),采样密度4.61点/km²。

采样介质以细粒沉积物为主。采样粒级根据滇西南热带雨林景观区的实验及附近已开展过水系沉积物测量工作的成果定为-10~+60目。在间歇性水流区或很少水流的干沟中,主要在沟底采集;常年流水的水系应在现代活动性流水线上,采样部位选择在水流变缓地段各种粒级易于汇集处,使样品中各粒级比例处于自然混合状态。采样时避开了在活动性流水线以外的河岸阶地、河漫滩,避开有机质、黏土等分布地段。在有流动水流的区域,在现场采用水筛去除有机质或黏土。为提高样品代表性,在采样点沿水系上下20~30 m范围内3~5处采集组合为一个样品。

样品过筛后质量大于300 g。加工后的样品分成2份:1份150 g标记为正样,送实验室分析;1份150 g标记为副样。测试工作由四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心承担。为确保样品分析质量,根据不同分析方法的质量水平,选择分析方法配套基本方案以电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)和原子荧光光谱法为主体,辅以其他优势分析方法组成。分析的元素为29种: Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、W、

Sn、Mo、Cd、Co、Cr、Ni、F、Ce、Y、Zr、Li、Be、Nb、Ta、La、P、Ga、Ge、Rb,并对本次样品分析质量进行检查,29种元素的分析检出限满足规范要求。

3 地球化学特征

3.1 元素富集特征

从地球化学异常的成矿性评价及其可操作性出发,笔者引用元素的“成矿有利度系数”概念来评价研究区元素的富集程度与成矿潜力。元素的成矿有利度系数(Ma)为元素富集系数(K)与变异系数(CV)的乘积,数学表达式为: $Ma=K \times CV$,该数值越大,元素的成矿可能性越大^[20]。与我国西南地区元素平均值相比,研究区各元素具有如下特征:富集系数 $K \geq 1.2$ 的元素为Bi、Rb两种元素,表明这些元素呈一定富集趋势;富集系数 $0.8 \leq K < 1.2$ 的元素包括Sn、W、Pb、Zr、Mo、Ce、La、Ga、Ag、Cr、Li,说明这些元素含量与区域元素含量大致相当,可客观地反映区域地球化学分布特征;富集系数 $K < 0.8$ 的元素有Y、Ge、Au、F、Be、As、Zn、Co、Nb、Ni、Ta、Hg、P、Cu、Cd、Sb,说明这些元素相对于区域上较贫化。

目标矿种La、Ce、Y富集系数分别为0.91、0.96、0.77,略显贫化。考虑到研究区已有的稀土矿点以及稀土成矿潜力,本次采集样品为水系沉积物,不利于离子吸附型稀土矿的形成,故本次稀土元素低缓异常对于稀土矿有指示意义。

3.2 元素离散特征

由于成矿过程具有长期性、多期性和复杂性,有些地质体元素虽含量较高,但分异程度差而不易成矿;有些地质体元素含量并不太高,但分异程度高,反而易成矿;有些元素常作为指示元素,仅指示相关的主成矿元素富集与成矿^[8,21]。为反映29种元素测试数据的离散程度,分别用原始数据变异系数(CV₁)和背景数据变异系数(CV₂)进行表示,CV₁/CV₂则反映背景拟合处理时对离散值削平程度(表1)。利用CV₁和CV₁/CV₂(主要反映特高值削平程度)制作变异系数解释图(图2)。

通过区域29种元素变异系数解释图,Cd元素(图2中I区)离散程度高,成矿概率大;Au、As、Sb、Hg、W、P等元素(图2中II区)离散程度较高,存在部分高强数据,表明元素的局部富集,具有成矿的可能性;其他元素(图2中III区)的含量变化程度中等,总体较为平

表 1 元素变异系数及标准离差特征
Table 1 Element variation coefficients and standard deviation characteristics

元素	S ₁	S ₂	S ₁ /S ₂	CV ₁	CV ₂	CV ₁ /CV ₂
Ag	63.27	21.09	3.00	0.94	0.36	2.60
As	8.85	3.95	2.24	1.14	0.65	1.76
Au	1.19	0.43	2.74	1.24	0.55	2.28
Be	0.80	0.64	1.25	0.51	0.43	1.19
Bi	0.33	0.19	1.78	0.82	0.53	1.55
Cd	0.13	0.03	3.85	1.54	0.50	3.09
Ce	33.96	28.49	1.19	0.59	0.52	1.14
Co	5.27	4.08	1.29	0.63	0.52	1.21
Cr	24.58	22.70	1.08	0.47	0.44	1.06
Cu	9.71	8.15	1.19	0.75	0.67	1.12
F	138.27	127.56	1.08	0.39	0.36	1.06
Ga	7.78	7.74	1.01	0.62	0.62	1.00
Ge	0.23	0.22	1.03	0.20	0.20	1.02
Hg	33.52	15.03	2.23	1.27	0.69	1.85
La	15.96	13.23	1.21	0.58	0.50	1.16
Li	8.66	6.79	1.27	0.54	0.46	1.18
Mo	0.47	0.29	1.63	0.79	0.56	1.43
Nb	5.02	4.67	1.07	0.50	0.47	1.05
Ni	12.39	11.28	1.10	0.76	0.72	1.06
P	445.51	184.69	2.41	1.05	0.49	2.13
Pb	20.01	14.32	1.40	0.74	0.56	1.32
Rb	51.00	48.36	1.05	0.43	0.41	1.04
Sb	0.53	0.24	2.19	1.02	0.54	1.88
Sn	3.33	2.05	1.63	0.86	0.62	1.39
Ta	0.48	0.41	1.18	0.51	0.45	1.13
W	2.28	0.96	2.38	1.05	0.53	1.98
Y	9.94	8.26	1.20	0.52	0.45	1.17
Zn	32.93	23.83	1.38	0.76	0.59	1.29
Zr	89.49	77.89	1.15	0.52	0.47	1.11

注：S₁、CV₁ 为原始数据标准离差和变异系数；S₂、CV₂ 为剔除高值和低值后标准离差和变异系数。

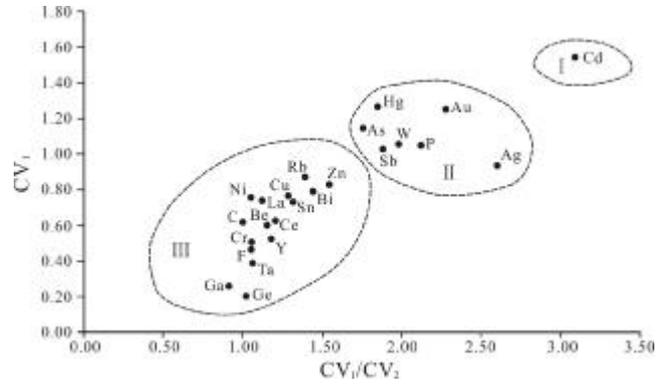


图 2 元素变异系数解释分异程度图

Fig. 2 Differentiation degree diagram interpreted by element variation coefficients

稳,多数呈指示元素出现,不排除在局部富集地段成矿的可能。

根据研究区 29 种元素剔除前后标准离差比值 S₁/S₂,可将研究区内元素分为 3 组:

1) 2.5 ≤ S₁/S₂ < 10 的元素有 Cd、Ag、Au 三种元素,其剔除程度(CV₁/CV₂)也为 29 种分析元素中靠前的,高值点对标准离差的贡献较大,被剔除的高值点较多,其富集成矿的能性较多。

2) 1.5 ≤ S₁/S₂ < 2.5 的元素有 P、W、As、Hg、Sb、Bi、Sn、Mo 八种元素,其高值点较多,有一定富集成矿的可能性。

3) S₁/S₂ < 1.5 的元素有 Pb、Zn、Co、Li、Be、La、Y、Ce、Cu、Ta、Zr、Ni、F、Cr、Nb、Rb、Ge、Ga 十八种元素,从标准离差剔除前后比值来看,其成矿潜力不及前两组元素。

从分析结果可以看出,研究区内大部分低温热液元素变异系数较大,局部富集的趋势明显.本次工作目标矿种 La、Ce、Y 高值点较少,但富集区也有较好的指示意义。

3.3 各地质体元素分布特征

研究区共有 7 个地质单元,各地质单元元素分布规律如下。

1) 第四系

该地层在区内西北、东南、东北地区均有分布,面积较大,主要为河流冲积、冲洪积层.该地层所有元素均值均略高于全区均值,表明元素沿汇水域风化后物质搬运较好.地层中见 3 处锆英石砂矿,物源为周边的黑云二长花岗岩。

2) 白垩系景星组

该地层位于区域勐邦向斜中部,面积较大,与侏罗纪坝注路组呈整合接触关系,主要岩性为钙质砾岩、粗砂岩、石英砂岩、泥岩、粉砂岩及少量泥灰岩。该地层中 Sb、Li、Zr、Hg、Ni、Cu、Ga、Co、Zn 元素高于全区均值,其他元素与全区均值相差不多或较低,填图过程中未发现矿化信息,成矿可能性较小。

3) 侏罗系坝注路组

该地层位于区域中部,分布于景星组两侧,主要岩性为厚层泥岩、粉砂质泥岩、细粒石英砂岩。该地层中 Cu、Co、Mo、Ni、Li、Sb、Zn、Ga、F、Cd、Au、Hg、P、Cr 元素高于全区均值,其他元素与全区均值相差不多或较低。填图过程中未发现矿化信息,成矿可能性较小。

4) 侏罗系花开左组

该地层位于区域中部及西部,分布于坝注组两侧,主要岩性为泥灰岩、钙质泥灰岩、钙质粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩及石英砂岩。该地层除 Bi、As、Ta、Sn、W 元素外,其余元素高于全区均值。填图过程中未发现矿化信息,成矿可能性较小。

5) 三叠纪中细粒黑云二长花岗岩

该类岩体分布广泛,主要分布于中北部及西南部。该类岩体中元素均值均略小于全区均值,岩体风化区 La、Ce、Y 异常较好。经过钻探及坡坎工作,已经圈出回龙卡大型稀土矿及曼恩小型稀土矿,资源量分别为 191 479.87 t、545.13 t。

6) 三叠纪中粗粒黑云二长花岗岩

该类岩体分布广泛,主要分布于北部及东南部。岩体内 As、Rb 元素均值高于全区均值,其他元素与全区均值相差不多或较低。岩体中 La、Ce、Y 异常较好,目前经过钻探及坡坎工作,已经圈出帕宫-苏胡大型稀土矿及曼奥-南糯山中型稀土矿,资源量分别为 449 370.18 t、81 110.32 t,成矿潜力较大。

7) 英云闪长岩

该类岩体分布广泛,贯穿研究区南北部,呈近南北分布。该类岩体中 As、Sb、W、Bi、Ag 元素均值高于全区均值,其他元素与全区均值相差不多或较低。岩体风化蚀变严重,见高岭土化,成矿前景一般。

3.4 元素相关性特征

R 型聚类分析结果表明,区域元素可分为 5 个类簇:第一簇为 Ce、La、Y、Li,在谱系图上相关性好,该元

素组合是稀土矿找矿标志;第二簇为 Cr、Ga、Ni、Nb、Ta;第三簇为 Cu、Ge、Be、Zn、Co;第四簇为 Sn、Pb、Zr、Bi、W;第五簇为 As、Mo、Sb、Hg、Ag、Au,该组元素主要为一组低温热液元素,与工作区内的断裂有关(图 3)。

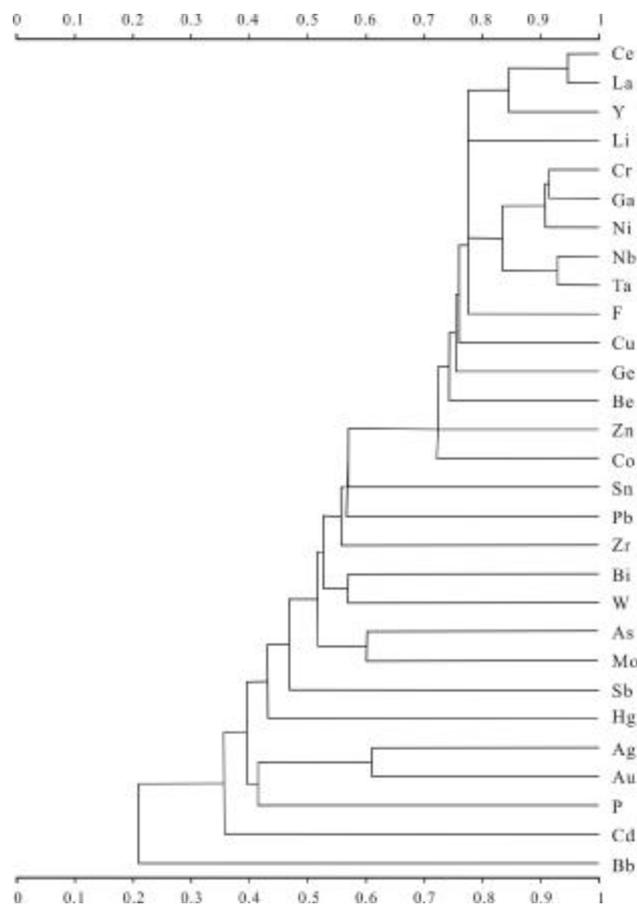


图3 元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 3 R-mode cluster analysis pedigree of elements

因子分析方法能有助于解决复杂地质成因及矿化叠加问题,并能够识别出与成矿作用最密切的叠加地球化学场的元素组合,为地质勘查找矿工作提供技术支持,同时对于推算元素组合特征,解释成矿过程和成矿元素的迁移、富集规律,划分成矿阶段,推断成矿物质来源具有重要作用^[22-23]。从各因子的方差贡献(表 2)来看,研究区内地球化学场的起伏主要由 F1—F4 所引起,4 个因子分别代表了不同的元素组及相应的矿化/富集类型。

F1 因子方差贡献率为 47.04%,以 Be、Ce、Co、Ga、Ge、La 等稀有、稀土元素为主,主要分布在花岗岩体。

表 2 因子解释总方差及元素组合特征

Table 2 Total variance interpreted by factors and element combination characteristics

因子	初始特征值			元素组合特征	
	特征值	方差/%	累积/%	主要因子结构式	属性推断
F1	13.64	47.04	47.04	Be ^{0.76} Bi ^{0.58} Ce ^{0.84} Co ^{0.68} Cr ^{0.88} Cu ^{0.83} F ^{0.76} Ga ^{0.94} Ge ^{0.80} La ^{0.83} Li ^{0.79} Mo ^{0.62} Nb ^{0.90} Ni ^{0.89} Pb ^{0.61} Rb ^{0.50} Sn ^{0.70} Ta ^{0.81} Y ^{0.77} Zn ^{0.73} Zr ^{0.70}	稀有、稀土、稀散元素
F2	2.26	7.78	54.83	Ag ^{0.58} Au ^{0.52}	
F3	1.90	6.55	61.38	Cd ^{0.60} Zn ^{0.52}	
F4	1.47	5.08	66.46	Pb ^{0.53}	

F2 因子方差贡献率为 7.78%，元素组合为 Ag、Au，是低温热液元素指示组合，主要由构造引起的。F3 因子方差贡献率为 6.55%，以 Cd、Zn 元素为主。F4 因子方差贡献率为 5.08%，以 Pb 元素为主。

3.5 异常分类及异常剖析

通过对研究区 29 种元素地球化学特征、异常元素组合特征及区域成矿潜力的综合分析推断，来圈定综合异常，并考虑单元素异常重叠情况，在该投绘区内对个别单点异常、异常元素组合差及成矿地质条件差的异常，进行选择性的经验剔除。此外，对个别分布面积较大的单元素异常，要综合考虑地质条件、元素组合边界，并在相互连接薄弱处或典型分水岭部位，对其进行分割，构成综合异常，并将元素组合标于线上，如：Ce-La-Y-Zr。最终圈定各类综合异常共计 13 个(表 3)。

表 3 综合异常分类

Table 3 Classification of comprehensive anomalies

异常编号	主要成矿元素	异常分类	面积/km ²	Σ NAP
HS-3	Ce-Y-Zr-Au-Bi-W-Ta-Sn-Sb-Ga-Au-Nb	甲 ₁	22.31	222.268
HS-7	Ce-La-Y-Zr-Li-F-Co-Ga-Zn-Ge-Cu-Ni	丙 ₂	24.11	180.499
HS-1	Ce-La-Y-Zr-Ag-Bi-Cu-Pb-Zn	丙 ₁	12.50	63.537
HS-2	Y-Zr-Ag-Hg-Mo-Cr-Cu-Ga-Ni	乙 ₃	3.36	38.042
HS-6	Ce-La-Y-Zr-F-Li-Co-Cu-Ga-Ge	乙 ₃	13.75	32.939
HS-5	W-Ag-Bi-Pb	丙 ₂	3.50	28.225
HS-9	Ce-La-Y-Rb-Pb-Bi-Be	乙 ₁	4.41	27.068
HS-11	Ce-La-Y-W-Bi-Be-Ta-Sn-Pb	丙 ₁	2.60	25.821
HS-10	Ce-La-Zr-W-Ta	乙 ₃	6.64	24.197
HS-4	Ce-Zr-Sn-Bi-Ta-Hg-Ga-Nb	乙 ₃	2.72	21.871
HS-13	Ce-La-Y-Zr-Sb-Ta-Sn	乙 ₃	2.42	15.272
HS-8	Rb-Pb-Sn-Be-Bi-F	丙 ₁	3.62	14.33
HS-12	Ce-La-Rb-Be-Bi-Ta	丙 ₁	1.53	11.172

按异常所处的地质环境、地质找矿意义和工作研究程度，将工作区 13 个综合异常分为 6 类：甲₁类异常共计 1 个；乙₁类异常共计 1 个；乙₃类异常共计 5 个；丙₁类异常共计 4 个；丙₂类异常共计 2 个。

地球化学分类，是以异常的地球化学特征(组分、规模、结构、分带性等)为主要依据，结合异常产出的地质环境和可能的成因类型进行分类。对异常进行地质地球化学分类，有助于从本质上认识和评价异常。区内综合异常地区化学分类主要有 3 类：

第一类：主要与全风化三叠纪黑云二长花岗岩有关，元素组合以 Ce、La、Y 为主，如 HS-3 甲₁、HS-9 乙₁。

第二类：主要与勐邦向斜地层有关，元素组合以稀有、稀土元素为主，如 HS-7 丙₂。

第三类：主要与第四系有关，元素组合以 Ce、La、Y、Zr 为主，如 HS-1 丙₁、HS-11 丙₁。

综合异常剖析以 HS-9 乙₁异常为例。该异常位于勐混镇帕官村南，面积约 4.41 km²，异常区有乡村公路连向勐混镇。通过水系沉积物测量、1:1 万地质测量、取样钻及坡坎工程，进一步了解异常区的异常分布特征，基本查明了异常区的异常成因及分布特点。异常区内断层为北东向，岩浆岩主要出露三叠纪中粗粒黑云二长花岗岩，灰白色，中粗粒结构，块状构造，主要由黑云母、长石及石英组成。黑云母呈薄片状，含量 15%，3~6 mm；长石呈柱状、颗粒状，风化灰白色高岭土等黏土矿物，含量 60%；石英呈半透明颗粒状，粒径 3~8 mm，不均匀分布，含量 25%。垂向剖面自上向下依次分为腐殖层、黏土层、强风化层。腐殖层厚 20~50 cm 不等，植物根系较为发育，呈暗红色。黏土层为红褐色黏土，土质较为疏松，黏性较大，厚 20~40 cm。强风化层呈红褐色，虽然风化强烈，但是仍然保留原岩的结构构造，表面石英颗粒不均匀分布，出露最大厚度

7~9 m,经钻孔验证,风化层厚度局部大于 20 m. 异常元素组合为 Ce-La-Y-Rb-Pb-Bi-Be, 其中 Ce-9 异常峰值为 189×10^{-6} , La-5 异常峰值为 102×10^{-6} , Y-13 异常峰值为 59.3×10^{-6} ; Ce-9、La-5、Y-13 异常的衬度值分别为 1.61、1.77、1.58; Rb-4 均发育一个浓度分带,其余均发育两个浓度分带; Ce-2、La-2、Zr-4 异常浓集中心不明显,套合较好(图 4、表 4).

表 4 HS-9 乙₁ 综合异常特征

Table 4 Characteristics of HS-9-B₁ comprehensive anomaly

元素	点数	面积/km ²	极大值	平均值	衬度	规模	浓度分带
Ce-9	11	2.60	189	128.48	1.61	126.22	2
La-5	10	2.72	102	70.65	1.77	83.26	2
Y-13	10	2.28	59.3	39.5	1.58	33.07	2
Rb-4	11	3.22	306	228.18	1.27	154.94	1
Pb-6	9	2.69	102	64.43	1.43	52.33	2
Bi-10	7	1.66	1.75	1.16	1.70	0.79	2
Be-2	7	1.65	5.61	3.69	1.45	1.88	2

元素含量单位: 10^{-6} .

3.6 异常分区及找矿远景

根据元素地球化学空间分布特征, 将研究区划分为 5 个地球化学分区.

1)曼真-曼思地球化学分区:分布于研究区西北角勐邦向斜北部,主要出露三叠纪二长花岗岩,主要富集 Ag、Au、Cd、Cr、Cu、Mo、Ni、P、Zr、Y 等元素. 高背景含量区主要分布在二长花岗岩与第四系地层界线附近,应为水系沉积物次生晕.

2)曼龙-勐邦-曼会地球化学分区:分布于区域西部, 主要富集 Be、Cd、Co、Cr、Cu、F、Ga、Ge、Hg、Li、Mo、Ni、Sb、Zn、Zr 等元素, 且坝注路组地层元素富集系数高于景星组、花开左组, 核部景星组富集系数相对较低,除 Zr 元素外整体异常与褶皱形态相似,且核部含量低,边部含量高.

3)曼扫-勐混地球化学分区:分布于勐邦向斜东部地区, 主要富集 As、Ce、La、Nb、Ta、W、Y、Zr 等元素. 其中 Ce、La、Zr 元素高背景含量区只分布在南部勐混区附近,成椭圆状分布,与 1:20 万 Zr6、CeLa6 异常吻合,显示出良好的稀土找矿前景.

4)曼真地球化学分区:分布于研究区东北部曼真

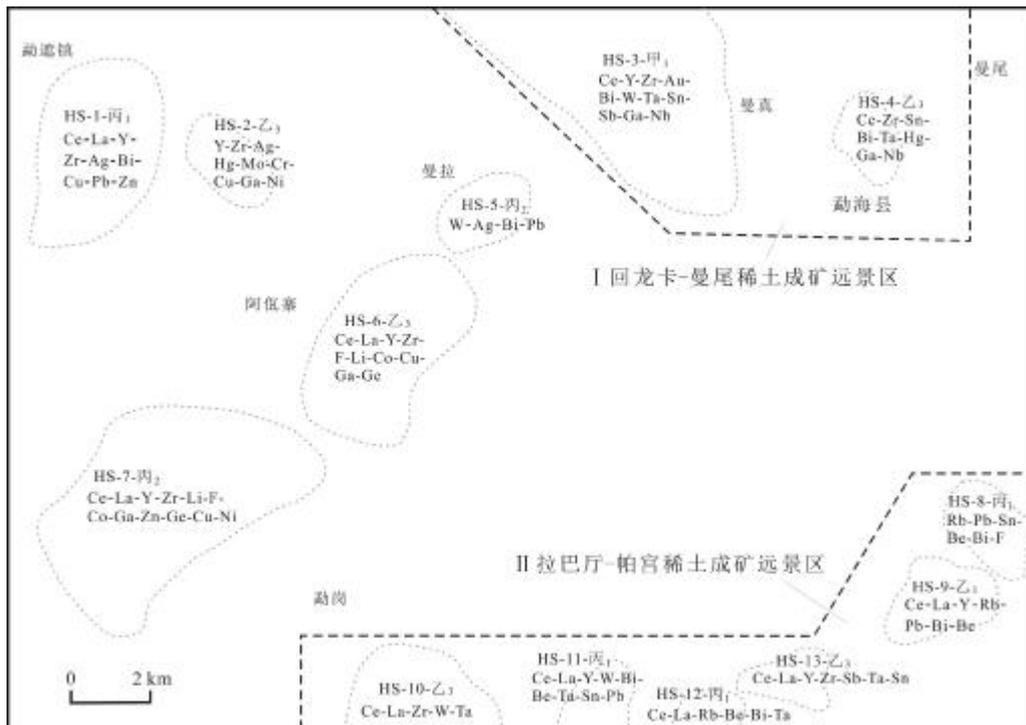


图 4 HS-9 综合异常剖析图

Fig. 4 Analysis maps of HS-9 comprehensive anomaly

附近、曼兴西部,主要富集 As、Bi、Ga、Mo、Nb、P、Sb、Sn、Ta、W、Zn 等元素,呈南北向椭圆状分布.其中 As、Bi、Sn、Sb、W 元素高背景含量区主要位于石英脉及石英脉与二长花岗岩接触带附近,可能与锡、钨矿化有关.

5)曼南戛-南莫地球化学分区:分布于研究区东南部曼南戛-南莫附近,主要富集 Be、Pb、Rb、Ta、Y 等元素.其中 Rb 元素异常明显,呈带状分布;Be、Pb、Ta、Y 元素呈椭圆状分布,异常强度相对较弱.

根据元素组合规律、区域异常分布特征及所处地质背景分析,划分了两个成矿远景区(图 5),即回龙卡-曼尾稀土成矿远景区(I区)和拉巴厅-帕宫稀土成矿远景区(II区).

地球化学成矿远景区的圈定,为后续开展矿产调查工作奠定了地球化学基础.其中,回龙卡-曼尾稀土成矿远景区面积为 61.48 km²,主要发育综合异常 2 处,分别为 HS-3 甲₁、HS-4 乙₃异常,主元素为 Ce、Y、Zr,伴生元素为 Ta、Nb、Ga 等,各元素异常面积均较大,在项目后续工作中已探获工业矿体资源量,进一步证实了水系沉积物测量方法在该区开展异常查找的有效性.

4 结论

勐海地区水系沉积物综合异常圈定 13 处,甲₁类异常 1 个,乙₁类异常 1 个,乙₃类异常共计 5 个,丙₁类异常共计 4 个,丙₂类异常共计 2 个,分为 5 个地球

化学分区.其中具有较好找矿价值的主要为 Ce-La-Y-Zr 综合异常. Cd 元素离散程度高,成矿概率大. Au、As、Sb、Hg、W、P 等元素离散程度较高,存在部分高强数据,表明元素的局部富集,具有成矿的可能性.其他元素含量变化程度中等,总体较为平稳,多数呈指示元素出现,不排除在局部富集地段成矿的可能.

综上所述,根据水系沉积物元素组合规律、区域异常分布特征及所处地质背景分析划分的两个成矿远景区均具有较好的找矿前景.

致谢:感谢中国地质调查局成都地质调查中心化探组验收专家对本项目化探相关数据处理给出的宝贵意见;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]曾凯,李朗田,祝向平,等.滇西勐往-曼卖地区离子吸附型稀土矿成矿规律与找矿潜力[J].地质与勘探,2019,55(1):19-29.
Zeng K, Li L T, Zhu X P, et al. The metallogenic regularity and prospecting potential of rare-earth deposits of ion-adsorbent type in the Mengwang-Manmai area, western Yunnan [J]. Geology and Exploration, 2019, 55(1): 19-29.
- [2]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-

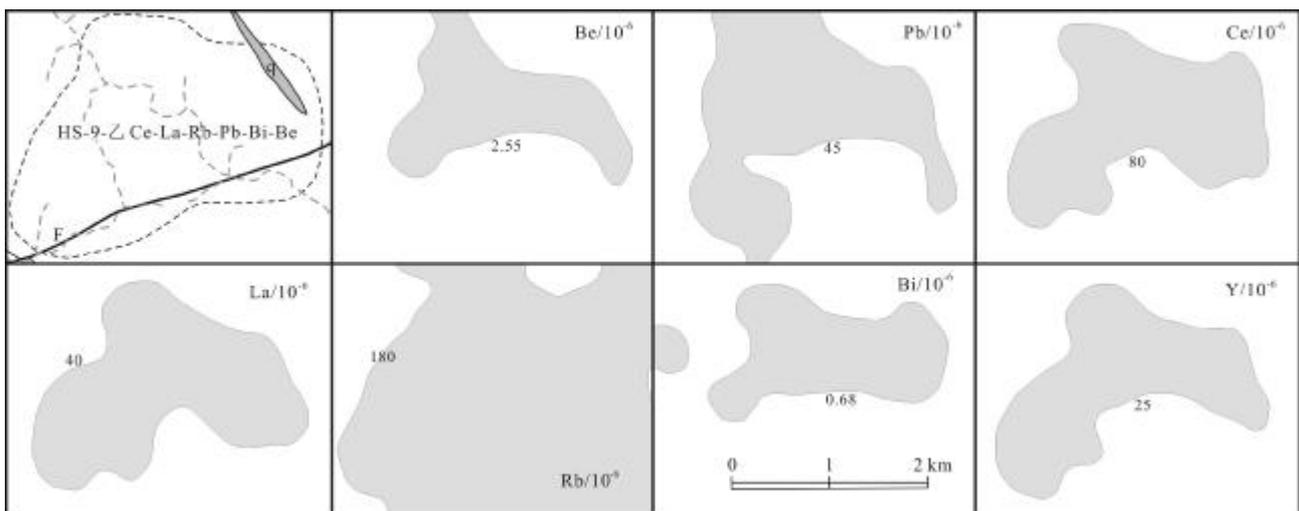


图 5 地球化学成矿远景预测图

Fig. 5 Prediction of geochemical metallogenic prospect areas

- Huangcaquan area of Beishan, Gansu Province[J]. *Geoscience*, 2016, 30(6): 1276-1284.
- [3] 齐文博, 师兵, 王嘉炜, 等. 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[J]. *地质与资源*, 2021, 30(4): 431-442.
Qi W B, Shi B, Wang J W, et al. Geochemical anomalies and metallogenic prospect in Chahaxili area of Dulan County, Qinghai Province[J]. *Geology and Resources*, 2021, 30(4): 431-442.
- [4] 张民, 何显川, 谭伟, 等. 云南临沧花岗岩离子吸附型稀土矿床地球化学特征及其成因讨论[J]. *中国地质*, 2022, 49(1): 201-214.
Zhang M, He X C, Tan W, et al. Geochemical characteristics and genesis of ion-adsorption type REE deposit in the Lincang granite, Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 2022, 49(1): 201-214.
- [5] 白国典, 裴中朝, 王艳慧, 等. 河南黄梅草脑一带铅地球化学异常特征及铅多金属矿找矿前景[J]. *金属矿山*, 2018(6): 114-122.
Bai G D, Pei Z C, Wang Y H, et al. Pb geological characteristics and prospecting potential of Pb-polymetallic deposit in Huangmeicaonao area in Henan Province[J]. *Metal Mine*, 2018(6): 114-122.
- [6] 徐云峰, 王显锋, 胡朝云, 等. 四川甲基卡地区1:5万水系沉积物地球化学特征及稀有金属找矿远景[J]. *金属矿山*, 2018(2): 121-130.
Xu Y F, Wang X F, Hu C Y, et al. Prospecting potential of rare metal and 1: 50 000 stream sediment geochemical characteristics in Jiajika area in Sichuan Province[J]. *Metal Mine*, 2018(2): 121-130.
- [7] 刘君, 潘亮, 赵鹤森, 等. 水系沉积物测量在老挝巴乌地区的应用[J]. *金属矿山*, 2015(2): 92-97.
Liu J, Pan L, Zhao H S, et al. Application of stream sediment survey in Bawu area of Laos[J]. *Metal Mine*, 2015(2): 92-97.
- [8] 蒋敬业. 水化学找金方法述评[J]. *地质科技情报*, 1998, 17(1): 98-102.
Jiang J Y. Review of the method of hydrogeochemical exploring gold [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(1): 98-102.
- [9] 时艳香, 纪宏金, 陆继龙, 等. 水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J]. *地质与勘探*, 2004, 40(5): 73-76.
Shi Y X, Ji H J, Lu J L, et al. Factor analysis method and application of stream sediment geochemical partition[J]. *Geology and Prospecting*, 2004, 40(5): 73-76.
- [10] 张运强, 陈海燕, 张立国, 等. 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.
Zhang Y Q, Chen H Y, Zhang L G, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1980-1988.
- [11] 丁吉顺, 陈伟, 周恒, 等. 西藏雄梅地区1:5万水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. *地质与勘探*, 2019, 55(1): 48-63.
Ding J S, Chen W, Zhou H, et al. Geochemical characteristics from 1:50 000 survey data of stream sediments and ore-search prospects in the Xiongmei area, Tibet [J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(1): 48-63.
- [12] 廖国忠, 张伟, 梁生贤, 等. 基于水系流域的地球化学异常分析方法——以1:50 000 丫他幅水系沉积物分析为例[J]. *地质与勘探*, 2018, 54(2): 315-324.
Liao G Z, Zhang W, Liang S X, et al. A geochemical anomaly analysis method based on river basins: An example of the Yata area[J]. *Geology and Exploration*, 2018, 54(2): 315-324.
- [13] 王学求. 勘查地球化学80年来重大事件回顾[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 322-330.
Wang X Q. Landmark events of exploration geochemistry in the past 80 years[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 322-330.
- [14] 刘邦定, 陈新跃, 罗小亚, 等. 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*, 2015, 51(4): 722-730.
Liu B D, Chen X Y, Luo X Y, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting target prediction in the Pingbao area, southern Hunan Province[J]. *Geology and Exploration*, 2015, 51(4): 722-730.
- [15] 贾玉杰, 龚庆杰, 韩东昱, 等. 化探方法技术之取样粒度研究——以豫西牛头沟金矿1:5万化探普查为例[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(5): 928-938.
Jia Y J, Gong Q J, Han D Y, et al. Sample granularity of soils and stream sediments in geochemical surveys: A case study of the Niutougou gold deposit, Xiong'er shan gold mine in Henan Province [J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(5): 928-938.
- [16] 田建民, 徐争启, 尹明辉, 等. 临沧地区富铀花岗岩体地球化学特征及其地质意义[J]. *物探与化探*, 2020, 44(5): 1103-1115.
Tian J M, Xu Z Q, Yin M H, et al. Geochemical characteristics and geological significance of uranium-rich granites in Lincang area [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 44(5): 1103-1115.
- [17] 赵琦. 稀土元素Y、Ce、La在区域化探扫面工作中的初步应用[J]. *物探与化探*, 1989, 13(3): 161-171.
Zhao Q. The application of rare earth elements Y, Ce, La to regional geochemical prospecting[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 1989, 13(3): 161-171.
- [18] 蓝信杰, 张保涛, 卢文姬, 等. 云南勐海地区离子吸附型稀土矿控矿因素及找矿前景[J]. *地质与勘探*, 2021, 57(4): 935-946.
Lan X J, Zhang B T, Lu W J, et al. Ore controlling factors and ore-search prospect of rare-earth deposits of the ion adsorption type in the Menghai area, Yunnan province[J]. *Geology and Exploration*, 2021, 57(4): 935-946.

- Wang F D, Li Y P, Jia Y H. Metallogenic regularity and prospecting direction of gold deposits in Qinghai, China [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2018, 40(2): 162-175.
- [16] 王文东, 刘涛, 周传芳, 等. 黑龙江富源沟晚三叠世中-基性火山岩的厘定及地质意义[J]. *地质与资源*, 2023, 32(6): 670-680.
- Wang W D, Liu T, Zhou C F, et al. Identification of the Late Triassic Fuyuangou intermediate-basic volcanic rocks in Heilongjiang Province: Geological implication [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(6): 670-680.
- [17] 杨武, 梁小山, 胡盛, 等. 河南省巩义铝土矿地球化学特征分析 [J]. *地质与资源*, 2023, 32(6): 699-704.
- Yang W, Liang X S, Hu S, et al. Geochemical characteristics of the Gongyi bauxite deposit in Henan Province [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(6): 699-704.
- [18] 刘俊杰, 赵九峰, 巩智镇, 等. 内蒙古额济纳旗辉森乌拉金矿地质特征及找矿标志 [J]. *矿产勘查*, 2018, 9(5): 865-873.
- Liu J J, Zhao J F, Gong Z Z, et al. Geological characters and prospecting indicators of Huisenwula gold deposit in Ejina, Inner Mongolia [J]. *Mineral Exploration*, 2018, 9(5): 865-873.
- [19] 张玉瑜, 王启蒙, 任瑞鹏, 等. 青海省乌兰县赛坝沟地区金成矿地质特征及找矿方向 [J]. *地质调查与研究*, 2018, 41(3): 191-197.
- Zhang Y Y, Wang Q M, Ren R P, et al. Metallogenic geological characteristics and prospecting direction of the Saibagou area in Wulan County, Qinghai Province [J]. *Geological Survey and Research*, 2018, 41(3): 191-197.
- [20] 李利阳, 白志达, 伍光英, 等. 大兴安岭乌奴耳地区构造混杂岩的组成及地质意义 [J]. *地质与资源*, 2023, 32(6): 664-669, 698.
- Li L Y, Bai Z D, Wu G Y, et al. Compositions of tectonic Melange in Wunuer area, Daxinganling Mountains: Geological implication [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(6): 664-669, 698.

(上接第 177 页/Continued from Page 177)

- [19] 朱华. 云南热带雨林: 特征、生物地理起源与演化 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(4): 575-591.
- Zhu H. Tropical rain forest of Yunnan (southwestern China): Characteristics, biogeographical origin and evolution [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2022, 30(4): 575-591.
- [20] 周斌, 王峰, 王明志, 等. 水系沉积物测量在新疆霍什布拉克地区找矿应用 [J]. *物探与化探*, 2014, 38(5): 872-878.
- Zhou B, Wang F, Wang M Z, et al. The application of stream sediment survey to ore-prospecting work in Huoshibulake area of Xinjiang [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2014, 38(5): 872-878.
- [21] 蒋敬业, 朱有光, 赵伦山, 等. 西天山高寒草甸区寻找隐伏矿化探方法研究 [J]. *物探与化探*, 2004(3): 189-192, 198.
- Jiang J Y, Zhu Y G, Zhao L S, et al. Geochemical exploration for hidden deposits in the grassland of the West Tianshan Mountains [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2004, 28(3): 189-192, 198.
- [22] 王明志, 韩润生, 王雷, 等. 滇西北北衙金矿床万嗣山-笔架山矿段构造地球化学特征 [J]. *中国地质*, 2016, 43(1): 238-248.
- Wang M Z, Han R S, Wang L, et al. Tectono-geochemical characteristics of Wandongshan-Bijiashan ore block in the Beiya Au-polymetallic deposit, northwestern Yunnan [J]. *Geology in China*, 2016, 43(1): 238-248.
- [23] 钱建平, 谢彪武, 陈宏毅, 等. 广西金山金银矿区成矿构造分析和构造地球化学找矿 [J]. *现代地质*, 2011, 25(3): 531-544.
- Qian J P, Xie B W, Chen H Y, et al. Analysis of ore-controlling structure and prospecting of tectonogeochemistry in Jinshan Au-Ag mining area, Guangxi [J]. *Geoscience*, 2011, 25(3): 531-544.