

闽北邵武地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测

韩志坤, 栗克坤, 张青松, 张静杰, 闫晓博,
靳乾峰, 蒋济勇, 刘增政

中化地质矿山总局河南地质局, 河南郑州 450011

摘 要: 邵武地区位于浙中—武夷山(隆起)W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn-Nb-Ta-(叶腊石)-萤石成矿带(III-81), 闽西北萤石矿成矿亚带(IV-1)的西南部, 具有较好的找矿前景。本次综合研究元素的地球化学特征参数, 元素 R 聚类相关性、单元素异常特征等, 表明 F、Au、Pb、Zn、Nb、Ta 等元素具有一定的找矿潜力, 并圈定单元素异常 652 个, 综合异常 26 处; 依据水系沉积物异常、筛选、评序及主要异常解释推断的成果, 结合区内成矿地质构造背景, 圈定村尾—下炉铅锌矿、吴家塘—南山下萤石矿、祝岭—洋半天萤石矿和铅锌矿、半岭—张厝萤石矿找矿预测区 4 处, 为该区下一步找矿工作提供了勘查方向和重要参考; 优选出半岭—张厝萤石矿找矿预测区, 通过野外路线地质调查、槽探等手段进行了异常查证, 得到了较好的找矿预期效果。

关键词: 水系沉积物测量; 地球化学; 半岭—张厝萤石矿找矿预测区; 邵武

中图分类号: P619.215 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.042703

Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of Stream Sediments in Shaowu Area, Northern Fujian Province

HAN Zhi-kun, LI Ke-kun, ZHANG Qing-song, ZHANG Jing-jie, YAN Xiao-bo,
JIN Qian-feng, JIANG Ji-yong, LIU Zeng-zheng

Henan Geological Bureau, China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhengzhou, Henan 450011

Abstract: Shaowu area is located in the W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn-Nb-Ta-(pyrolytic)-fluorite metallogenic belt (III-81) of the Central Zhejiang–Wuyishan (uplift), and in the southwest of the fluorite metallogenic sub-belt (IV-1) of the northwest Fujian, which has good prospecting prospects. In this study, the geochemical characteristics of elements, R clustering correlation, anomaly characteristics of single element, etc., show that F, Au, Pb, Zn, Nb, Ta and other elements have a certain prospecting potential, and there are 652 anomalies of order elements and 26 comprehensive anomalies. On the basis of the anomalies of stream sediments, screening and evaluation sequence and main anomaly interpretation results, combined with background of the metallogenic geologic structures, 4 areas were delineated, including Cunwei–Xialu lead-zinc mine, Wujiatang–Nanshanxia fluorite ore, Zhuling–Yanbantian fluorite ore and lead-zinc mine, and Banling–Zhangcuo fluorite ore prospecting prediction, for the prospecting direction and the next step prospecting work providing important references; The prospecting prediction area of Banling–Zhangcuo fluorite deposit were optimized, and the anomaly were verified by means of geological survey and trough exploration, and better prospecting results were obtained.

Key words: stream sediment survey; geochemistry features; Banling–Zhangcuo prospecting target area; Shaowu

邵武地区位于武夷山南麓, 行政区划隶属福建省南平市。研究区隶属于邵武地区位于浙中—武夷山(隆起)W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn-Nb-Ta-(叶腊石)-萤石成矿带(III-81), 闽西北萤石矿成矿亚带(IV-1)的

西南部, 邵武南山下一龙湖热液型萤石矿远景区(徐志刚等, 2008; 王吉平等, 2014, 2015; 金松等 2022), 成矿地质条件良好, 具有一定的找矿前景。前人对该地区进行了顺昌幅 1:20 万水系沉积物测

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20190816)资助。

收稿日期: 2022-02-21; 改回日期: 2022-04-26; 网络首发日期: 2022-04-28。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 韩志坤, 男, 1987 年生。本科, 工程师。主要从事区域地质矿产勘查和地球化学勘查工作。通讯地址: 454000, 河南省郑州市金水区文化路 76 号。E-mail: 898446019@qq.com。

量(卓已钰等, 1995)工作, 结果显示, 具寻找 Au、Ag、Pb、Zn、Nb、Ta、萤石等矿产潜力。为进一步明确找矿方向, 本次在邵武地区开展 1:5 万水系沉积物测量, 对水系沉积物地球化学特征和异常所处地质背景进行定性和定量综合评价, 圈定找矿预测区, 以期为该区域深入开展矿产勘查提供基础资料 and 有利依据(花林宝等, 2011; 张运强等, 2015; 栗克坤等, 2019, 2022; 蒋起保等, 2021)。

1 区域地质背景

研究区位于武夷—云开—台湾造山系(I级); II级构造单元位于华夏陆块(V-3); III级构造单元位于武夷基底杂岩(V-3-1); 属光泽—泰宁古弧间盆地(V-3-1-2)(潘桂棠等, 2009; 张青松等, 2021)(图 1)。

研究区发育的地层(图 2)主要有: ①古元古界大金山岩组(Pt_1d), 其岩性主要为黑云斜长变粒岩、云母片岩、云母石英片岩与云母变粒岩、黑云斜长变粒岩互层; ②中元古界南山岩组(Pt_2n), 其岩性主要为灰、深灰色条纹状条带状黑云斜长变粒岩、黑云变粒岩、黑云(二云)石英片岩、云母片岩; ③新元古界下峰组(Pt_3x), 其岩性主要为云母斜长变粒岩。

研究区断裂构造沿 NE 走向极为发育, 主要构造有: ①邵武—桂林断裂(F_2), 区内走向呈北东向 $NE50^\circ$, 分布于区内西北部的邵武黄山井一带, ②黄源岩—和平断裂(F_1), 区域上称西坑—米罗湾断层, 区内走向呈北东向 $NE30^\circ$; ③南山—长坪断裂(F_5), 区域上称岚谷—长坪断裂, 区内走向呈北东向 30° 左右; ④拿口—张厝北东向断裂带(F_7 、 F_8 、 F_9 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{12}), 断裂带在区内宽约

3.5 km, 长约 18 km, 总体走向约北东 50° 。这些断裂构造是萤石矿主要的控矿构造。

研究区岩浆活动较为强烈, 侵入岩以中部张厝岩体为代表, 成多期次活动、多时期叠加, 主要有加里东期、燕山早期和燕山晚期侵入岩, 以岩基或岩株状产出, 岩性以酸性花岗岩类为主, 不同期次的岩体相互穿插, 老侵入岩体多被较新侵入岩体侵入。其中加里东期主要为志留系花岗岩, 侵入于元古代变质岩地层中; 燕山早期主要为晚侏罗世正长花岗岩, 侵入于元古界变质岩和晚侏罗世长林组地层中, 并被燕山晚期花岗斑岩侵入。

研究区内分布南山下大型萤石矿床 1 处, 邵武大坪、顺昌南舟中型萤石矿床 2 处, 邵武上坡、皇山井、吴家塘、坳上、大坪、炉上山、下坪、上芦、杨家坪等萤石矿床(点)19 个, 均为南山下式中低温热液充填型萤石矿床(曹俊臣, 1987; 徐有华等, 2008)。

2 样品采集与加工分析

研究区共测量 1:5 万水系沉积物 1200 km^2 , 采样点主要分布在一级水系中($<500\text{ m}$ 多呈树枝状、羽毛状, 形成较均匀而密集的水系网络), 部分分布在二级水系中, 采样点共 5878 个, 采样密度为 $4.72\text{ 样}/\text{km}^2$, 采用粒度为 $-10 \sim +80$ 目, 按照中国地质调查局《地球化学普查规范(1: 50000)》(DZ/T 011-2015)执行; 选择测试 19 种元素, 采用离子选择电极法分析 F, 采用王水溶矿-泡塑吸附石墨炉原子吸收法分析 Au, 采用发射光谱分析 Ag 和 Sn、采用王水溶矿-原子荧光光谱分析 As、Sb、

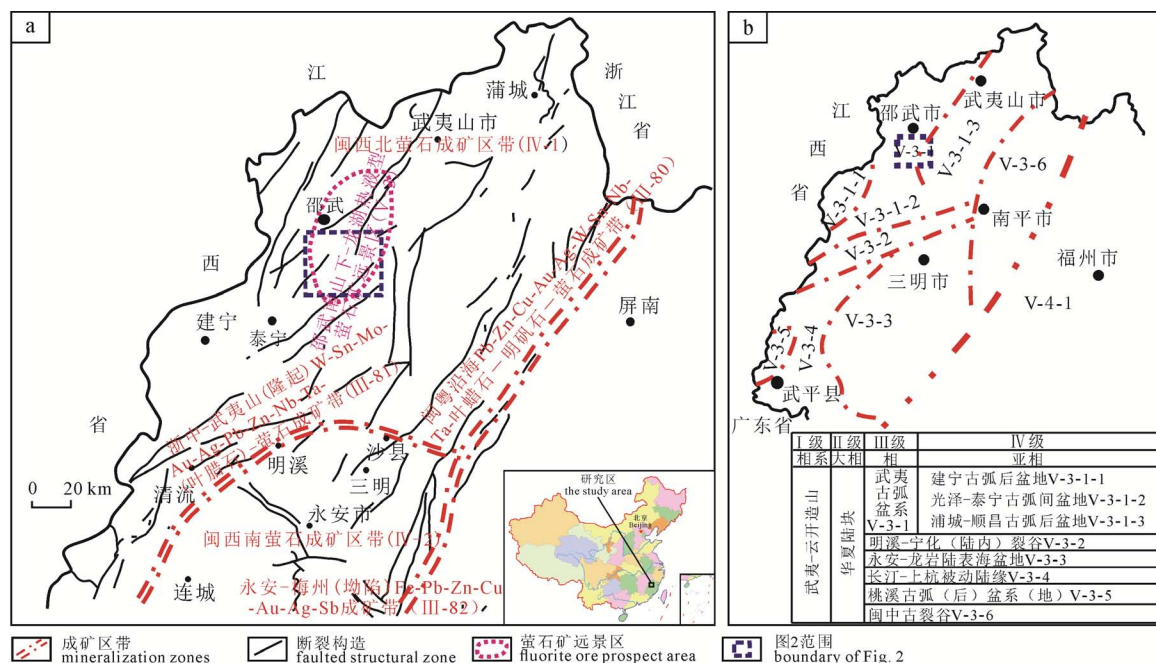


图 1 研究区大地构造位置及成矿带分布图

Fig. 1 Tectonic location and metallogenic belt distribution map of the study area

Bi, 采用四酸溶矿-电感耦合等离子体发射光谱法分析 Ca、Cu、Pb、Zn、Ni、Mo, 采用电感耦合等离子体质谱法分析 W、U、Li、Be、Nb、Ta。上述分析方法检出限、准确度、精密度、重复性检验、报出率及外检分析等质量指标均到达规范要求。

3 地球化学特征

3.1 元素的含量特征

本文对各元素原始数据及剔除离群数据后的最大值(Max)、最小值(Min)、算术平均值(X)、标准离差(S)和变异系数(C_v)、富集系数(K)地球化学参数来讨论水系沉积物中元素含量特征(表 1)。K 为均值

与中国水系沉积物元素丰度(迟清华和鄢明才, 2007)之比。

从表 1 可知, 与中国水系沉积物背景值相比, 研究区 Pb 元素相对富集, Sn、Be、Li、Ta 元素相对持平, Au、Ag、Cu、Zn、Mo、W、F 等元素相对贫乏; 富集系数仅反映研究区与中国水系沉积物丰度的相对比值, 并非代表各元素在研究区的总体分布态势, 平均值较低的元素在局部地区仍有相对富集的可能。

为研究各元素含量变异程度、高强数据的多少, 进而探讨富集成矿的可能性, 利用原始数据集的变异系数 C_{v0} 及 C_{v0} 与剔除离群数据变异系数 C_v 的比值绘制元素变异系数解析图(图 3)。

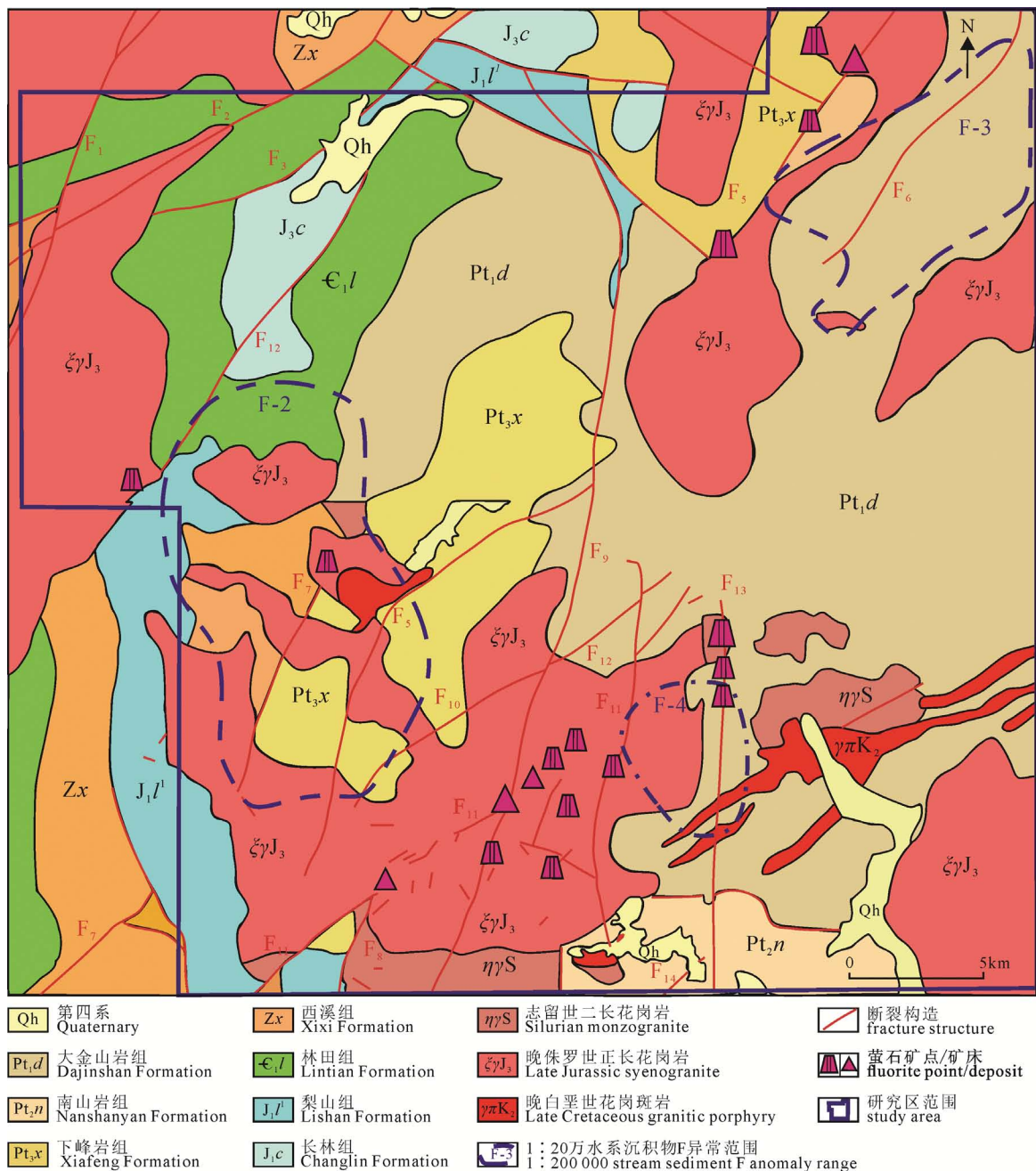


图 2 邵武地区地质简图
Fig. 2 Geological minerals sketch of Shaowu area

表 1 邵武地区水系沉积物地球化学特征参数
Table 1 Geochemical characteristic parameters in Shaowu area

参数	原始数据					剔除离群数据					元素丰度
	Max ₀	Min ₀	X ₀	S ₀	C _{v0}	Max	Min	X	S	C _v	
Au	113	0.3	0.8	2.4	3.06	0.9	0.3	0.5	0.2	0.32	1.49
Ag	3.51	0.03	0.054	0.097	1.81	0.07	0.03	0.042	0.009	0.21	0.08
Sn	1094	1	5.7	18.9	3.28	9.7	1	3.6	2.1	0.58	4.2
As	130	0.4	1.62	2.89	1.78	2.61	0.4	1.05	0.52	0.49	7.7
Sb	8.37	0.1	0.21	0.22	1.06	0.2	0.13	0.16	0.01	0.09	0.72
Bi	181	0.1	0.7	3.35	5.03	0.7	0.1	0.25	0.15	0.6	0.36
Cu	602	1	10.04	14.66	1.46	24.5	7.43	7.43	5.7	0.77	20
Pb	867	2.3	39.9	32.3	0.81	80.8	2.3	35.5	15.1	0.43	29
Zn	1990	5	54.1	57.7	1.07	119	5	44.2	25.2	0.57	63
Ni	309	1	7.6	11.7	1.53	19.1	1	4.9	4.7	0.96	24
Ca	456	75	900	1353	1.5	1560	75	660	300	0.45	750
Be	27.6	0.2	2.4	2.2	0.91	5.6	0.2	2	1.2	0.62	1.9
Mo	168	0.1	0.9	2.91	3.22	1.34	0.1	0.47	0.29	0.63	0.78
Nb	2032	0.4	14.7	39.2	2.67	33.1	0.4	10.8	7.4	0.69	18
Li	348	3.2	28.2	23.7	0.84	59.9	3.2	23.8	12.1	0.51	26
U	38	0.23	2.94	2.34	0.8	6.88	0.23	2.53	1.45	0.57	3.09
W	477	0.1	2.85	10.55	3.71	4.27	0.1	1.51	0.91	0.6	0.69
Ta	148	0.1	2.11	4.08	1.93	4.54	0.1	1.45	1.03	0.71	1.3
F	12672	25	392	564	1.44	630	25	281	116	0.42	390

注: Au 的单位为 10⁻⁹; 其它元素: 10⁻⁶。

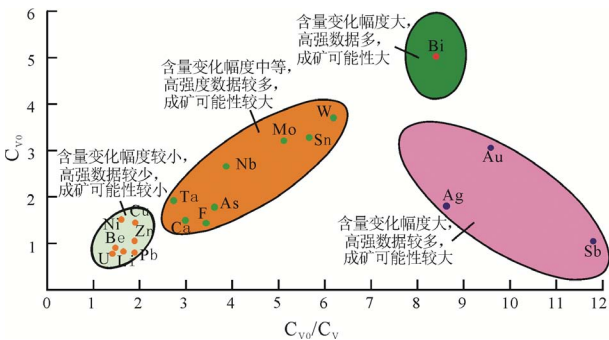


图 3 邵武地区各元素变异系数解析图
Fig. 3 Variation coefficients of various elements in Shaowu area

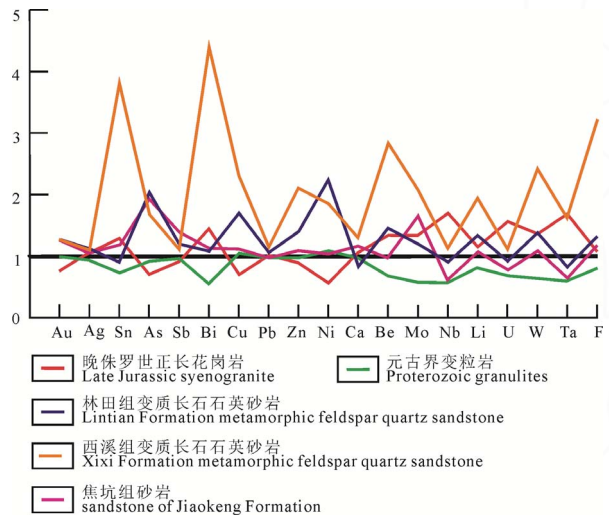


图 4 邵武地区各地质单元水系沉积物中各元素相对丰度
Fig. 4 Relative abundances of elements in stream sediments from various geological units in Shaowu area

研究区 Bi、W、Mo、Nb、Ta、F、Au、Ag 等元素含量变化区间大, 存在较多高强度数据, 而且分布分散, 富集成矿的可能性较大, 可作为区域找矿的指示元素; Cu、Ni、Pb、Zn、Li、Be、U 等元素变异系数较小, 说明这些元素含量在区内分布较为均匀, 不太利于成矿。

3.2 元素的分布特征

为研究区内元素富集贫化与地层、岩性的关系及不同地质单元中元素的离散程度, 制作相对丰度曲线(各地质单元中元素均值相对于全区均值比值)及变异系数曲线图(图 4, 图 5)。

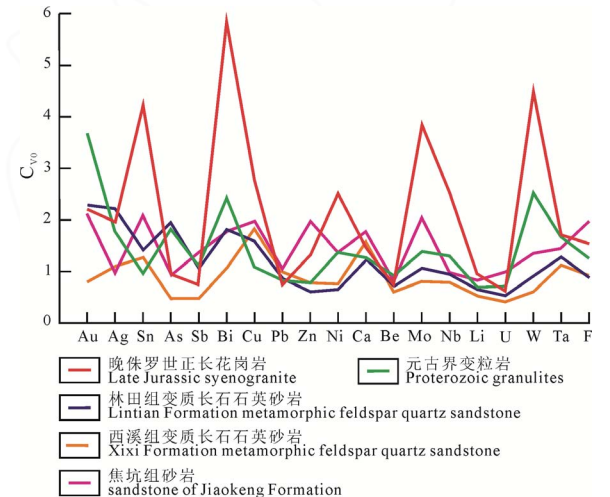


图 5 邵武地区各地质单元水系沉积物中各元素变异系数
Fig. 5 Variation coefficients of elements in stream sediments from various geological units in Shaowu area

不同地质单元中元素含量具有明显的差异, 其中各元素在西溪组、林田组中具有较高的背景值, F、W、Mo、Nb、Ta、U、Sn、Bi、Be 元素在晚侏罗世富集。各元素在元古界变粒岩中呈现低背景值, 在焦坑组中各元素相对丰度集中在“1”上下, 且波动幅度小。

岩浆岩出露区, F、W、Mo、Nb、Ta、Sn、Bi、Cu、Ni 具有较高的变异系数, 说明元素分布均匀, 为成矿的有力地段。

结合相对丰度曲线和变异系数曲线, 晚侏罗世中, F、W、Mo、Nb、Ta、Sn、Bi 不仅具有较高的丰度, 还具有较高的变异系数, 成矿可能性最大。

3.3 元素组合特征

对研究区 5628 个水系沉积物样品的 19 种元素测试成果进行变量(R 型)聚类分析, 谱系图(图 6)显示 Nb、Ta 与 W、Bi 相关性最好, 其相关系数均大于 0.8。以相关系数为 0.44 为界, 结合元素亲性和空间分布特征及成矿地质背景, 研究区成矿元素分为 4 类组合。

(1)F-Li-Be-Nb-Ta-U 元素组合(图 7), 主要分布在研究区西南部、南部、东北部, 与岩浆岩活动及北东向断裂构造密切相关, 该元素组合在南山下一长坪断裂(F₅), 拿口—张厝北东向断裂(F₁₁)呈 NE 向及西南部的岩体与围岩接触部位呈现大面积高背景, 展布范围与构造走向一致, 各元素异常规模较大, 强度高, 套和性好, 浓集中心明显, 富集成矿的可能性较大。该元素组合也是研究区内主要的成矿元素组合, 反映与断裂构造及岩浆活动密切相关的中低温热液成矿作用相关的矿化信息。

(2)W-Mo-Bi-Sn 元素组合, 主要异常分布在西南部祝岭—洋半天一带、呈现大面积高背景; 东北部和东南部分布有零星异常, 在酸性岩体及其与

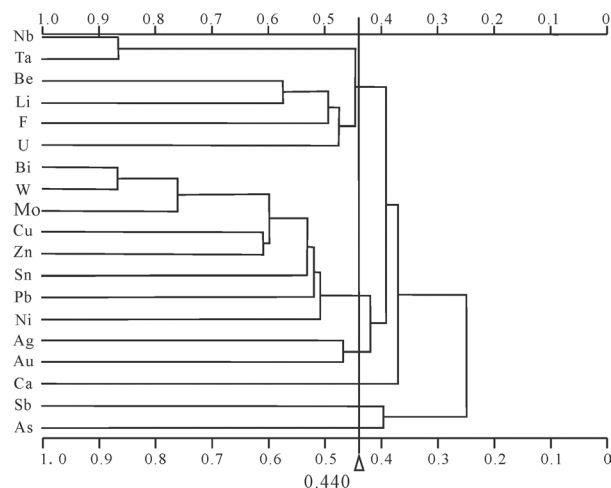


图 6 邵武地区水系沉积物 R-型聚类分析谱系图
Fig. 6 Cluster analysis diagram of elements from stream sediments in Shaowu area

围岩接触部位。各元素异常规模大, 强度一般, 套和性好, 有富集成矿的可能性, 该元素组合反映与酸性岩浆活动密切相关的高温热液成矿作用相关的矿化信息。

(3)Pb-Zn-Ag-Cu-Ni 元素组合, 主要分布在西南部、东北部、东南部, 与断裂构造及岩浆活动密切相关。

(4)Au-As-Sb 元素组合, 离散程度高, 异常分布于 NE 断裂构造线基本一致, 主要与断裂构造及局部岩浆活动有关, 异常规模一般, 强度高, 套和密切, 浓集中心吻合性较好, 有富集成矿的可能。

3.4 单元素异常特征

在研究元素数据分布特征和元素空间分布特征的基础上, 全区 19 种元素, 对于大于 $X+3S$ 与小于 $X-3S$ 的数据进行逐步剔除, 剩下的数据统计其平均值(X), 采用平均值(X)加 2 倍标准差(S)计算异常下限, 并根据研究区地质背景进行调整, 最终确定异常下限值, 异常浓度分带采用 1、2、4 倍确定。研究区内共圈定各类单元素异常 652 个, 其中 I 级异常 88 个、II 级异常 153 个、III 级异常 411 个(表 2)。

3.5 综合异常特征及找矿预测区

根据研究区内成矿地质背景、单元素异常分布特征、异常元素组合特征, 按矿床的不同成因类型, 把同一成矿系列的元素, 在空间位置上, 与主要成矿元素的异常分布一致、异常相互重合、以及与某一特征地质体相吻合的多个单元素异常圈定为一个综合异常。研究区圈出各类地球化学综合异常 26 处。其中甲类异常 5 处、乙类异常 15 处、丙类异常 6 处, 如图 8 和表 3 所示。

异常带的分布总体与构造格局一致, 主要沿北东向断裂构造展布, 可分为南山下—吴家塘、祝岭—洋半天、张厝—拿口异常带; 分别与南山下一长坪断裂(F₅), 拿口—张厝北东向断裂带(F₇、F₈、F₉、F₁₀、F₁₁、F₁₂)相对应, 可见构造是影响研究区地球化学异常的主要因素之一。

根据元素地球化学特征、地质工作成果及区域成矿类型、控矿因素, 结合异常区内已发现的矿床(点)及矿化线索等成矿地质背景, 圈定出村尾—下炉铅锌矿、吴家塘—南山下萤石矿、祝岭—洋半天萤石矿、铅锌矿、半岭—张厝萤石矿找矿预测区 4 处。

(1)村尾—下炉铅锌矿找矿预测区

预测区位于位于工作区西北部, 面积: 26.18 km²; 出露地层侏罗系下统梨山组(J₁^l)、寒武系林田组(Є_l), 其分布有综合异常 HS7、HS10、HS13、HS14, 该预测区包含多处 Pb、Zn、Au、Ag、F 等单元素异常, 且中部有北东向断裂构造 F₄通过;

具有较好的铅锌矿找矿潜力。

(2)吴家塘—南山下萤石矿找矿预测区

预测区位于研究区东北部,面积: 24.85 km²; 出露地层大金山组(Pt₁d)、南山岩组(Pt₂n)、下峰岩组(Pt₃x); 其分布有综合异常 HS1、HS2、HS6、HS8, 异常以 F、Au、Ag 等元素为主, 异常强度较高、规模较大; 且有北东向断裂构造(F₅)与北西向断裂构造(F₁₉)相交; 带内有已知矿床: 南山下大型萤石矿、吴家塘小型萤石矿; 寻找萤石、金矿的前景较好。

(3)祝岭—洋半天萤石矿、铅锌矿找矿预测区

预测区位于研究区西南部, 面积: 45.40 km²; 异常带内基岩出露复杂, 地层出露主要有二叠系栖霞组(P₂q)、三叠系焦坑组(T₃J)、侏罗系梨山组(J₁l¹)、古元古界大金山组(Pt₁d)、震旦系西溪组(Zx)、寒武系林田组(-Cl), 岩浆岩主要为晚侏罗世正长花岗岩; 构造沿 NE 向发育。分布有 1 个综合异常 HS14, 该异常带 F、Li、Be、Bi、Nb、Ta、W、Mo、Cu、Pb、Zn 等元素, 异常强度、规模都较大, 组合元素

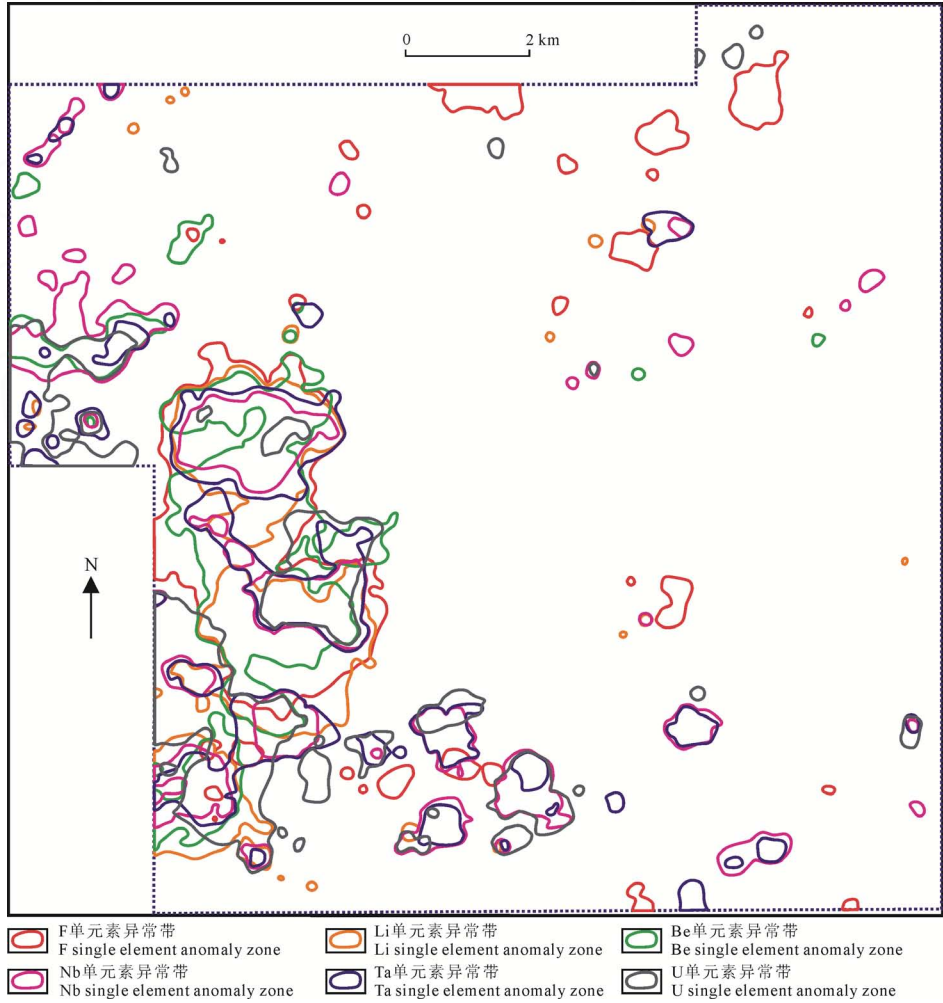


图 7 邵武地区水系沉积物地球化学 F-Li-Be-Nb-Ta-U 组合异常图
Fig. 7 F-Li-Be-Nb-Ta-U integrated anomaly of stream sediments in Shaowu area

表 2 单元素异常统计表
Table 2 Single element anomaly statistical table

元素	I 级异常	II 级异常	III 级异常	总计	元素	I 级异常	II 级异常	III 级异常	总计
Ag	9	6	21	36	Nb	4	10	22	36
As	4	11	10	25	Ni	0	14	33	47
Au	19	11	24	54	Pb	2	10	33	45
Be	0	1	11	12	Sb	6	10	32	48
Bi	4	5	16	25	Sn	3	4	8	15
Ca	9	16	26	51	Ta	5	9	19	33
Cu	5	12	22	39	U	0	6	21	27
F	6	5	21	32	W	4	9	20	33
Li	1	2	18	21	Zn	2	4	31	37
Mo	5	8	23	36					

较多。异常带内分布有 3 个探矿权, 1 个采矿权, 均为铅锌多金属矿探(采)矿权, 已知萤石矿点 1 处, 有一定的寻找萤石、铅锌、钨钼、铋钽矿的前景。

(4)半岭—张厝萤石矿找矿预测区

预测区位于研究区中南部半岭—张厝一带, 面积: 27.77 km², 呈 NE—SW 向带状分布, 预测区分布有综合异常 HS20 一处, 异常元素以 F-Ca 为主, 伴生 Nb-Ta-U-Bi; 沿北东 NE 向西坑—张厝—大坪

—半岭—庄上断裂带 F₁₁ 与 NNE 向新坪东—铜锣丘断裂构造分布, F、Ca 异常规模大, 强度高, 浓度分带性明显, 具有内中外带, 浓集中心吻合, 其中 F-20 有异常点 11 处, 异常平均值 1877×10⁻⁶, 最大值 8565×10⁻⁶; F-22 有异常点 7 处, 异常平均值 2148×10⁻⁶, 最大值 12 480×10⁻⁶; 该预测区内 F、Ca 异常与区内已知大坪、半岭、俞厝墩、黄土岭萤石矿套和紧密(图 9, 表 4)。

表 3 邵武地区地球化学综合异常分类
Table 3 Integrated geochemical anomalies in Shaowu area

异常编号	异常面积/km ²	元素组合	异常分类	面金属量ΣNAP	综合评序
HS1	42.60	Au-Ag-Cu- Ni -As	乙 2	301.64	3
HS2	19.80	F-Ca-W-Cu-Bi	甲 1	72.16	4
HS3	4.730	F-Ca-Au-Cu-Ag-As-Zn-Sn-Sb	乙 3	47.41	15
HS4	18.70	Au-Cu- Ni-Sb-Sn-Nb -As	丙 1	89.45	11
HS5	9.67	Au-Bi-Ni-Sn	丙 1	105.70	10
HS6	30.80	F-Ca-Cu-Zn-Ta	甲 1	88.48	2
HS7	16.50	Au-Ag-Pb-Sb-Ca-Mo-Sn	乙 3	704.84	9
HS8	14.30	Au-Ag-Cu-Mo-As	乙 3	64.25	17
HS9	7.17	F-Au-Cu-Nb-Ta-Ni-Li	乙 3	19.35	22
HS10	6.76	Pb-Zn- Ag- Cu--Ni -As	乙 3	56.72	18
HS11	7.43	Cu-Ni -Zn-Ca-As -Sb	乙 2	16.84	19
HS12	7.56	F- W-Mo-Li- Be-Au	乙 3	51.30	13
HS13	10.30	Pb-Au-Ag-As-Nb-Ta	甲 2	16.41	21
HS14	184.00	F-Li-Be-Nb-Ta-W-Mo-Au-Ag-Cu-Ni-Pb-Zn	乙 2	2312.43	1
HS15	7.97	Pb-Zn-Ag-Cu-Li-As-Ca	乙 3	11.90	26
HS16	21.40	F-Ca-Mo-Nb-Ni-As	甲 1	57.94	5
HS17	15.50	Au-Ag-Pb-Bi	乙 3	67.90	14
HS18	12.20	Pb-Zn-Ag-F-W-Mo-Sb	乙 2	55.41	12
HS19	15.70	Pb-Zn-Ag-Cu-Ni-Nb-Ta	乙 3	84.68	8
HS20	15.90	F-Ca-U-Bi-Nb-Ta	甲 1	43.17	6
HS21	9.40	Pb-Zn-Au-Ag-Cu-Ni-F-Ca-Mo-As-Sb	乙 3	34.57	16
HS22	4.09	Nb-Ta-Li-Zn	丙 1	45.55	20
HS23	6.28	Au-Ag-Ni	丙 1	50.30	25
HS24	1.53	Nb-Ta-Li-Mo	丙 1	3.22	23
HS25	8.30	Pb-Zn-Ag-Cu-Sn-Ni-Nb-Ta-As	乙 3	71.68	7
HS26	5.56	F-Mo-As	乙 3	398.39	24

表 4 半岭—张厝萤石矿找矿预测区地球化学参数统计
Table 4 Statistics of geochemistry parameters in the prospecting area of the Banling-Zhangcuo area

元素	异常编号	异常面积/km ²	异常点数	平均强度	最高强度	异常下限/10 ⁻⁶	衬度	规模	浓度分带
F	F-18	0.186 9	1	2 370	2 370	700	3.39	0.63	中、外
	F-20	2.695 7	11	1 877	8 565	700	2.68	7.23	内、中、外
	F-21	0.372 5	3	1 095	1 954	700	1.56	0.58	中、外
	F-22	1.650 9	7	2 148	12 480	700	3.07	5.07	内、中、外
	F-23	0.202 9	2	990	1 736	700	1.41	0.29	中、外
Ca	Ca-46	0.751 4	4	4 201	9 471	2 000	2.10	1.58	外
	Ca-47	0.197 7	1	4 410	4 490	2 000	2.21	0.44	外
	Ca-48	1.727 8	7	4 483	12 574	2 000	2.24	3.87	内、中、外
U	U-14	0.544 1	5	12.4	24.2	5.45	2.28	1.24	中、外
Bi	Bi-15	0.217 8	1	10.1	10.1	0.88	11.48	2.50	外
Nb	Nb-30	2.247 3	12	138	1 095	28	4.93	11.07	内、中、外
Ta	Ta-33	1.685 8	7	19.7	78.7	5.2	3.78	6.38	中、外

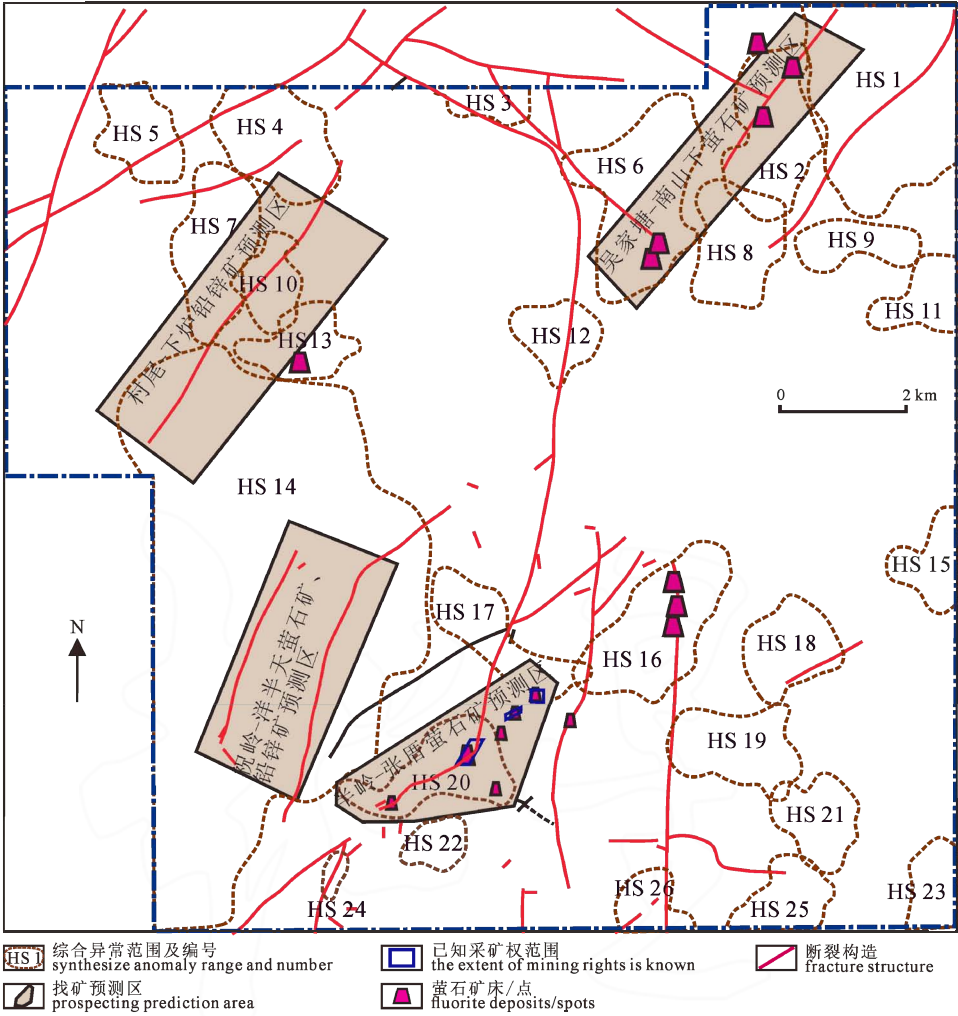


图 8 邵武地区地球化学综合异常及找矿预测区分布图
Fig. 8 Integrated geochemical anomalies and prospecting target in Shaowu area

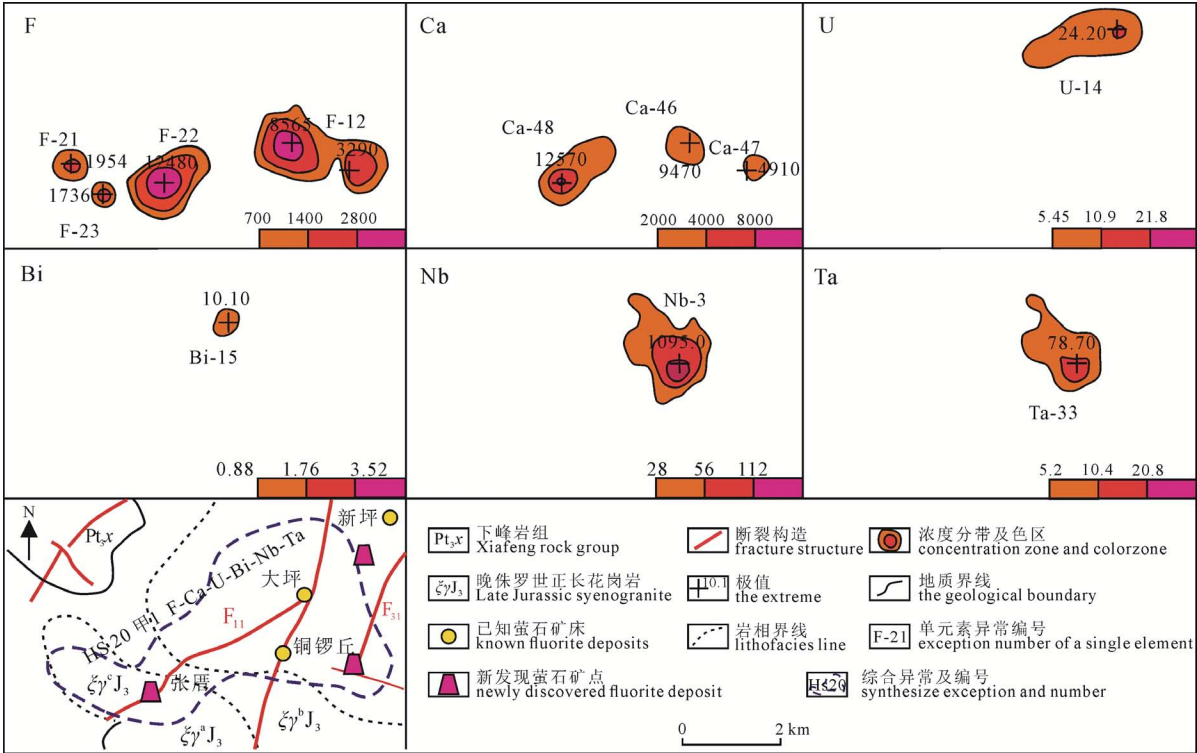


图 9 半岭—张厝找矿预测区异常剖析图
Fig. 9 Geochemical anomaly map of Banling-Zhangcuo area

对该预测区进行异常查证,新发现张厝、新坪、铜锣丘萤石矿点 3 处,均产于晚侏罗世少斑中细粒正长花岗岩岩体内 NE 向 F_{11} 和 NNE 向 F_{31} 构造破碎带中,矿石矿物为萤石,主要呈浅绿色、白色;它形-自形粒状。脉石矿物主要为石英、方解石、玉髓、长石,次要矿物为绢云母、绿泥石、碳酸盐矿物;围岩中普遍具有强烈硅化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化,其中以硅化、绢云母化与萤石矿成矿关系最为密切,一般硅化、绢云母化强度越高、规模越大,萤石矿化越好,矿体规模及矿石质量越好。通过若干条探槽工程揭露,取样化验分析结果显示,其 CaF_2 含量 19.13%~75.78%。

综上所述,半岭—张厝萤石矿找矿预测区,成矿地质条件优越,地球化学异常明显,具备形成中低温热液充填型萤石矿床的地质-地球化学条件,具有寻找萤石矿的潜力,值得开展进一步矿产勘查工作。

4 结论

(1)通过元素含量、分布特征、及相对丰度曲线和变异系数曲线,综合分析研究区内主成矿元素为 F、Au、Pb、Zn、Nb、Ta。

(2)结合元素 R 型聚类分析及元素的分布特征,与萤石矿组成元素 F 密切相关的有 Li、Be、Nb、Ta、U,可作为区域找萤石矿的指示元素。

(3)综合研究元素的地球化学特征参数,圈定单元素异常 652 个,综合异常 26 处,找矿预测区 4 处。

(4)优选出半岭—张厝萤石矿找矿预测区,通过异常查证新发现萤石矿点 3 处,该预测区内具有寻找南山下式中低温热液充填型萤石矿床的良好前景。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20190816).

参考文献:

- 曹俊臣. 1987. 中国萤石矿床分类及其成矿规律[J]. 地质与勘探, (03): 12-17.
- 迟清华, 鄢明才. 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社.
- 花林宝, 马东升, 陈振宁. 2011. 闽东北地区金银矿床的水系沉积物地球化学特征[J]. 地质学刊, 35(2): 123-129.
- 蒋起保, 魏锦, 欧阳永棚, 饶建锋, 李艳萍, 张雪辉. 2021. 江西大游山地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 沉积与特提斯地质, 41(1): 73-81.
- 金松, 王春连, 高立湧, 张成信, 王占兵, 王畅, 孟都, 商朋强.

2022. 闽北羊角尾萤石矿成因: 来自稀土、微量元素地球化学的证据[J]. 地球学报, 43(3): 371-382.

栗克坤, 陈新立, 商朋强, 于学良, 韩志坤, 魏凡超, 刘增政.

2019. 物化探综合信息找矿方法在萤石矿找矿中的运用[J]. 中国地质调查, 6(06): 98-104.

栗克坤, 商朋强, 韩志坤, 王春连, 焦森, 王桂香, 袁昌盛, 张青松, 刘增政, 闫晓博, 范亚洲, 蒋济勇, 靳乾峰. 2022. 闽北邵武地区萤石矿综合信息找矿方法研究[J]. 地球学报, 43(3): 404-410.

潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.

王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2014. 中国萤石矿床分类[J]. 中国地质, 41(02): 315-325.

王吉平, 商朋强, 熊先孝, 杨辉艳, 唐尧. 2015. 中国萤石矿成矿规律[J]. 中国地质, 42(1): 18-32.

徐有华. 2008. 赣南萤石矿成矿地质条件及成矿预测研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社.

张青松, 王春连, 栗克坤, 刘增政, 冯校辉, 闫晓博, 韩志坤, 蒋济勇, 江建浪. 2021. 闽北大坪萤石矿构造蚀变、岩石地球化学特征与矿床成因探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 40(06): 1131-1140.

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. 2015. 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, 42(6): 1980-1986.

卓已钰, 黄刚毅, 吕士炳. 1995. 顺昌幅 G-50-10 1:20 万地球化学图说明书: 水系沉积物测量[R]. 福州: 福建省地质勘查技术院.

References:

- CAO Jun-chen. 1987. Classification and metallogenic regularity of fluorite deposits in China[J]. Geology and Exploration, (03): 12-17.
- CHI Qing-hua, YAN Cai-Ming. 2007. Applied Geochemical element abundance Data Manual[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HUA Lin-bao, MA Dong-sheng, CHEN Zhen-ning. 2011. Geochemical characteristics of stream sediments of gold and silver deposits in northeast Fujian[J]. Journal of Geology, 35(2): 123-129(in Chinese with English abstract).
- JIANG Qi-bao, Wei Jin, OUYANG Yong-peng, RAO Jian-feng, LI Yan-ping, ZHANG Xue-hui. 2021. Geochemical characteristics and prospecting direction of stream sediments in Dayou-shan area, Jiangxi Province[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 41(1): 73-81(in Chinese with English ab-

- stract).
- JIN Song, WANG Chun-lian, GAO Li-Yong, ZHANG Cheng-xin, WANG Zhan-bing, WANG Chang, MENG Du, SHANG Peng-qiang. 2022. Evidence from REE and Trace Element Geochemistry for Genesis of Yangjiaowei Fluorite deposit in Northern Fujian[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 43(3): 371-382(in Chinese with English abstract).
- LI Ke-kun, CHEN Xin-li, SHANG Peng-qiang, YU Xue-liang, HAN Zhi-kun, WEI Fan-chao, LIU Zeng-zheng. 2019. Application of comprehensive geophysical and geochemical information prospecting method in fluorite prospecting[J]. *Geological Survey of China*, 6(06): 98-104(in Chinese with English abstract).
- LI Ke-kun, SHANG Peng-qiang, HAN Zhi-kun, WANG Chun-lian, JIAO Sen, WANG Gui-xiang, YUAN Chang-sheng, ZHANG Qing-song, LIU Zeng-zheng, YAN Xiao-bo, FAN Ya-zhou, JIANG Ji-yong, JIN Qian-feng. 2022. Comprehensive Information Prospecting Method for Fluorite Deposits in Shaowu Area, Northern Fujian Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 43(3): 404-410(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, XIAO Qing-hui, LU Song-nian, DENG Jin-fu, FENG Yi-min, ZHANG Ke-xin, ZHANG Zhi-yong, WANG Fang-guo, XING Guang-fu, HAO Guo-jie, FENG Yan-fang. 2009. Geological Characteristics and Prospecting Potential of the Qaidam Basin[J]. *Geology in China*, 36(1): 1-28.
- WANG Ji-ping, SHANG Peng-qiang, XIONG Xian-xiao, YANG Hui-yan, TANG Yao. 2014. Classification of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 41(02): 315-325(in Chinese with English abstract).
- WANG Ji-ping, SHANG Peng-qiang, XIONG Xian-xiao, YANG Hui-yan, TANG Yao. 2015. Metallogenic regularity of fluorite deposits in China[J]. *Geology in China*, 42(1): 18-32(in Chinese with English abstract).
- XU You-hua. 2008. Study on metallogenic geological conditions and metallogenic prediction of fluorite deposit in southern Jiangxi[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- XU Zhi-gang, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui. 2008. Classification scheme of metallogenic zones in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Yun-qiang, CHEN Hai-yan, ZHANG Li-guo, CHEN Chao, LIU Ying-long, HE Jiao-yue, KANG Xuan, ZHANG Jin-long, PENG Qian-peng. 2015. Geochemical characteristics and prospecting prediction of stream sediments in Xinzhangzi area, Northern Hebei province[J]. *Geology in China*, 42(6): 1980-1986(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qing-song, WANG Chun-lian, LI Ke-kun, LIU Zeng-zheng, FENG Xiao-hui, YAN Xiao-bo, HAN Zhi-kun, JIANG Ji-yong, JIANG Jian-lang. 2021. Geological Characteristics and Prospecting Direction of Xilaokou Gold Deposit, Shandong Province[J]. *Journal of Petrology and Mineralogy*, 40(06): 1131-1140(in Chinese with English abstract).
- ZHUO Yi-yu, HUANG Gang-yi, LÜ Shi-bing. 1995. Specification of G-50-10 1:200,000 geochemical map of Shunchang: Stream sediment survey[R]. Fuzhou: Fujian Institute of Geological Exploration Technology(in Chinese).