

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.234

引用格式: 黄加忠, 吴志超, 王炳军, 等. 墨江金厂外围观音山地区土壤地球化学特征及金镍找矿方向[J]. 中国地质调查, 2024, 11(6): 31-43. (Huang J Z, Wu Z C, Wang B J, et al. Geochemical characteristics of soil in Guanyin Mountain area of peripheral Jinchang of Mojiang and gold-nickel prospecting direction[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(6): 31-43.)

墨江金厂外围观音山地区土壤地球化学特征及金镍找矿方向

黄加忠^{1,2}, 吴志超¹, 王炳军¹, 白平雁¹, 曾亮¹, 李金旺^{1*}

(1. 中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心, 云南 昆明 650000; 2. 自然资源部自然生态系统碳汇工程技术创新中心, 云南 昆明 650000)

摘要: 墨江金厂位于哀牢山成矿带上, 是我国西南地区重要的金镍矿床之一。为掌握墨江金厂外围找矿潜力, 在观音山地区开展土壤地球化学测量工作, 研究土壤中 As、Au、Co、Cu、Ni、Sb、V、W、Ti 元素的分布特征。基于区内成矿地质背景, 运用聚类分析、冷热点分析和因子分析等方法, 归纳总结区内元素成矿规律, 共圈定 6 个综合异常。研究表明, Sb、As、Au、Cu、V、Ni 在该区域较为富集, Au、Ni 高值众多, 富集程度强烈, 具有局部富集成矿的可能。其中 Au 与其他元素相关性较弱, 成矿具有多期性和复杂性, Co、Ni 常伴生于岩体外接触带附近, 与超基性岩体关系紧密。揭示了观音山地区具有较好的找矿潜力, 应以金矿为主攻矿种, 同时兼顾锑砷矿和钴镍矿。研究结果可为在区域内开展新一轮找矿突破战略行动指明找矿方向。

关键词: 土壤测量; 地球化学特征; 综合异常; 金镍找矿方向; 墨江金厂外围

中图分类号: P632 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2024)06-0031-13

0 引言

哀牢山成矿带是我国著名的金矿带, 区域内已发现镇沅金矿、墨江金厂金矿、大坪金矿和长安金矿等大中型金矿床。这些金矿床沿九甲—安定断裂及哀牢山断裂呈线性分布, 主成矿期为喜马拉雅期, 均位于哀牢山断裂西侧(下盘)的浅变质带之中^[1]。墨江金厂金矿位于哀牢山中南段, 为我国西南地区重要的金镍型矿床, 金矿床储量规模为大型, 镍矿床为中型, 已查明资源量金 43.4 t, 镍 54.8 万 t, 钴 1.97 万 t。一般认为墨江金矿形成受区域性深大断裂带的控制, 主要为海底火山喷流沉积作用、区域变质活化萃取作用及晚期岩浆热液叠加影响^[2], 九甲—安定断裂等不同走向和性质的断裂决定了矿体的展布^[3], 与矿化关系密切的含铬水云母年龄约为 61 Ma, 含金石英脉石英的

形成年龄接近于 91 Ma^[4]。谢桂青等^[5]对哀牢山金矿带的成矿流体及流体包裹体进行研究后, 推测墨江金矿的深部或许还存在含金石英脉矿体。

观音山地区位于墨江金厂金矿北部, 距离墨江金厂的四十八两山矿段仅 5 km。在地层构造上与墨江金厂金矿类似, 成矿地质条件优越, 具备较好的找矿潜力^[6]。因此, 本文以观音山地区土壤为研究对象, 通过开展 1:1 万土壤地球化学测量工作, 采集 30~40 cm 深度的残坡积土壤, 分析其中 As、Co、Cu、Ni、Sb、V、W、Au、Ti 元素含量, 运用地统方法研究元素含量特征, 并对综合异常进行解释和评价, 探讨金镍矿成因及找矿标志, 以期为区域内开展新一轮找矿突破战略行动指明找矿方向。

1 研究区概况

观音山地区位于云南省中南部, 行政区划属于

收稿日期: 2024-06-06; 修订日期: 2024-12-04。

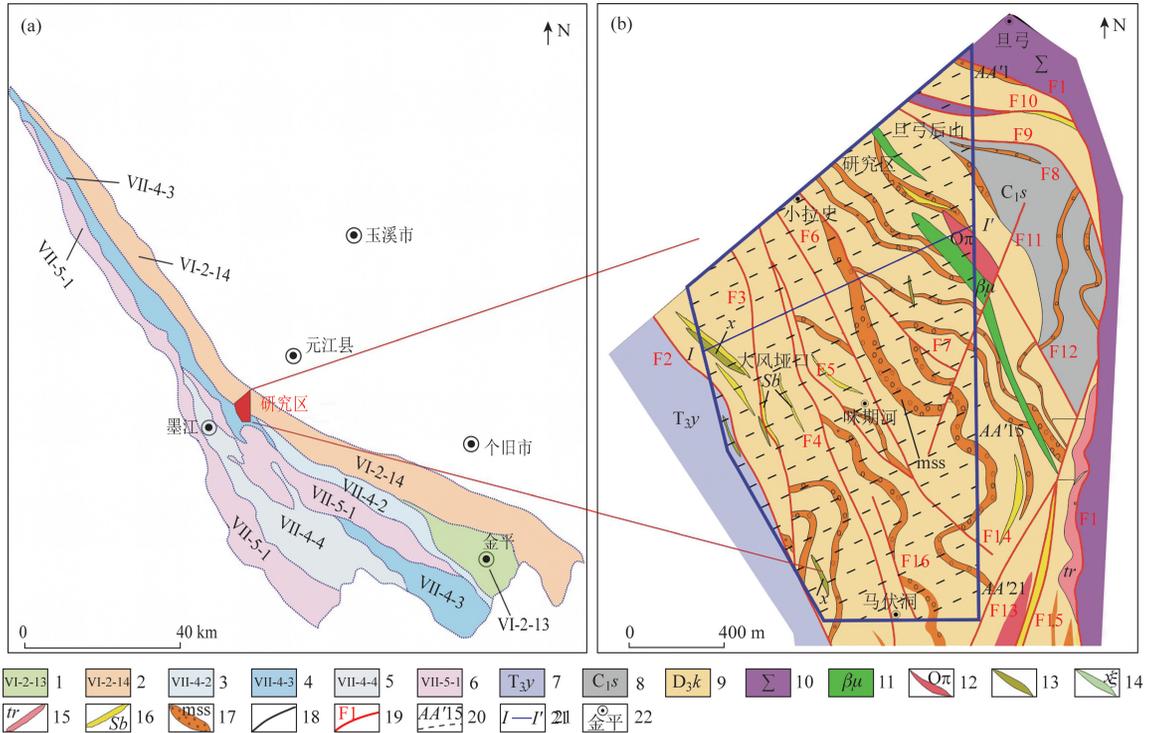
基金项目: 中国地质调查局“云南镇沅老王寨—墨江金厂金矿重点调查区调查评价(编号: DD20230385)”项目资助。

第一作者简介: 黄加忠(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事地球化学方面的研究工作。Email: 496473164@qq.com。

通信作者简介: 李金旺(1995—), 男, 工程师, 主要从事地质矿产方面的研究工作。Email: 1270511719@qq.com。

玉溪市元江县,大地构造上位于上扬子古陆块(VI-2)之哀牢山变质基底杂岩(VI-2-14)与西金乌兰—金沙江—哀牢山结合带(VII-4)结合部之哀牢

山造山带(VII-4-3)北段(图1)。成矿区划属于墨江—绿春(火山弧)Au-Cu-Mo-Pb-Zn成矿带之哀牢山(结合带/小洋盆)Au-Cu-Mo-Cr矿带^[7-8]。



- 1. 盐源—丽江被动陆缘(Pz); 2. 哀牢山变质基底杂岩(Pt₁); 3. 金沙江蛇绿混杂岩(C-T); 4. 哀牢山蛇绿混杂岩(C-P);
- 5. 墨江被动陆缘(S-P); 6. 江达—维西—绿春陆缘弧(P₂-T); 7. 上三叠统一碗水组; 8. 下石炭统梭山组; 9. 上泥盆统库独木组; 10. 辉橄岩; 11. 辉绿岩; 12. 石英斑岩; 13. 煌斑岩; 14. 正长岩; 15. 碎裂岩; 16. 矿化蚀变带; 17. 变质石英砂岩带;
- 18. 地质界线; 19. 断层及编号; 20. 测线及编号; 21. 地层剖面及编号; 22. 地名

图1 研究区大地构造位置(a)及地质简图(b)

Fig.1 Tectonic location (a) and geological sketch (b) of the study area

以九甲—安定断裂(F2)为界,东侧为哀牢山古生界浅变质岩系,出露地层有上泥盆统库独木组(D₃k)和下石炭统梭山组(C₁s)。库独木组以灰—灰绿色板岩为主,间夹浅灰色中厚层状劈理化变质石英砂岩、变质粉砂岩,为一套浅变质岩;梭山组以紫红色板岩、泥灰质碳质板岩为主,局部夹灰色中厚层石英砂岩,强变形的泥灰质碳质板岩石英脉、方解石脉发育;西侧为未变质的上三叠统一碗水组(T₃y),岩性主要为石英杂砂岩与泥质粉砂岩互层,夹含砾钙质杂砂岩和粉砂质泥岩^[9]。

区内构造受九甲—安定断裂(F2)和马伏洞断裂(F1)控制,构造线以NE向和NW向为主,少量近EW向,NE和NW向两组构造向南收敛相交,近EW向构造为九甲安定断裂左行剪切发生“S”型弯曲形成的次级构造。

研究区岩浆岩发育,主要为金厂超基性岩体及

岩脉,金厂超基性岩体沿九甲—安定断裂东侧(上盘)呈带状分布,岩性以辉橄岩为主。岩脉多为条带状或透镜状,主要沿岩层面顺层产出,岩性主要为石英斑岩、辉长(绿)岩、煌斑岩脉。侵入时期为华力西晚期至燕山期。各类岩体及石英斑岩岩墙主要出露于研究区南部马伏洞、中部咪期河等地。各类岩浆岩的分布受区域断裂构造的控制。

2 样品采集与分析测试

2.1 样品采集

本次土壤地球化学测量工作按照线距100 m、点距20 m的规则测网进行布置,测线垂直于区内主要地层走向,共布设21条测线(图1)。以采集能够反映原生地质环境和找矿信息的土壤样品为原则,主要采集基岩风化后形成的残坡积土壤,各

采样坑深度为 30 ~ 40 cm,在采样中心点周围 5 m 内采集 3 ~ 5 个子样进行组合。每件组合样品重量为 0.7 ~ 1.0 kg,确保过 40 目筛网的样品原始重量不低于 300 g,共采集样品 975 件。样品经自然风干、揉搓后过 40 目尼龙筛后,用缩分法获得样品重量大于 150 g 的正副样两份样品,装入聚乙烯瓶中,正样送化验室制备、分析,副样长久留存。

2.2 分析测试

样品分析测试工作由中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心分析测试实验室完成,分析测试指标包括 As、Au、Co、Cu、Ni、Sb、Ti、V、W 等 9 种元素。样品分析配套方案以电感耦合等离子体质谱法为主,辅以电感耦合等离子体发射光谱法、X 射线荧光光谱法、发射光谱法和原子荧光分光法等方法。用电感耦合等离子体质谱仪测定 Au、Co、Cu、W 等元素,电感耦合等离子体发射光谱仪测定 As、Sb、X 射线荧光光谱仪测定 V、Ni,用发射光谱仪测定 Ti。所有仪器设备实际检出限均高于规范要求要求的检出限。

根据《DZ/T 0145—2017 土壤地球化学测量

规程》^[10] 规范要求,按照每 50 件样品编号中预留 5 个空号,密码插入两件国家一级标样,随样品一起分析,共插入 GAu - 11b、GAu - 12a、GAu - 7b、GAu - 9b、GSS - 39 等 24 件国家标准控制样。以 100 件样品为一个批次,统计国家一级标样测试值和标准值之间的对数偏差,即为准确度。同时计算每 4 个国家一级标准物质测试值和标准值之间的对数偏差的相对标准偏差,可得精密度。分析结果准确度、精密度为 100%,高于规范要求,表明分析数据可靠,可用于后续成图和综合研究工作。

3 地球化学特征

3.1 元素地球化学特征

3.1.1 元素背景特征

为掌握区内元素地球化学参数特征,对原始数据和剔除异常值后数据的平均值、标准离差和变异系数进行统计(表 1)。研究区背景值为逐步剔除平均值加减 3 倍标准离差后的算数平均值,变异系数 C_v 为标准离差除以平均值的比值。

表 1 观音山地区地球化学特征参数

Tab. 1 Geochemical characteristic parameters of Guanyin Mountain area

指标	As	Au	Co	Cu	Ni	Sb	Ti	V	W	
原始数据 (n=975)	最大值/ 10^{-6}	1 887.00	0.488 00	155.00	401.00	2 009.00	175.00	10 475.00	348.00	15.30
	最小值/ 10^{-6}	3.23	0.001 80	1.32	4.53	0.60	0.83	2 484.00	3.00	0.23
	平均值/ 10^{-6}	61.76	0.012 98	20.45	47.00	82.42	11.76	5 577.00	155.47	2.62
	标准离差	120.63	0.029 40	17.00	20.78	154.83	16.22	883.91	32.18	1.52
变异系数	1.95	2.250 00	0.83	0.44	1.87	1.37	0.16	0.21	0.58	
剔除异常值	背景值/ 10^{-6}	33.06	0.008 00	17.45	45.16	44.28	7.35	5 394.00	149.50	2.28
	变异系数	0.52	0.610 00	0.61	0.32	0.68	0.80	0.09	0.13	0.31
变异系数比值(C_{v0}/C_{v1})	3.74	3.690 00	1.35	1.38	2.75	1.71	1.80	1.57	1.85	

注: n 为样本数; C_{v0} 为原始数据的变异系数; C_{v1} 为原始数据剔除异常值后的变异系数。

变化系数是标准差与平均值的比值,体现了数据的变异程度^[11]。其值越大,说明元素在地质活动中分配越不均匀,找矿潜力也越大。原始数据的变化系数 C_{v0} 与剔除特高值后的变化系数 C_{v1} 的比值 C_{v0}/C_{v1} 可削平异常值对原数据的影响。

结合变化系数解释分异程度(图 2)可知: Au、As、Ni 数据波动剧烈,高强数值多,为强分异,说明这些元素分布不均匀,可能在某一地质单元或局部地段内形成明显的富集或贫化,在成矿有利地段容易成晕或成矿^[12]; Sb、Co、W 数据波动较强,为中等分异,说明这些元素在研究区内有一定的成矿可能性; Cu、V、Ti 变异系数小于 0.5,数据波动较弱,高强数据较少,说明分布较均匀,表明这些元素含

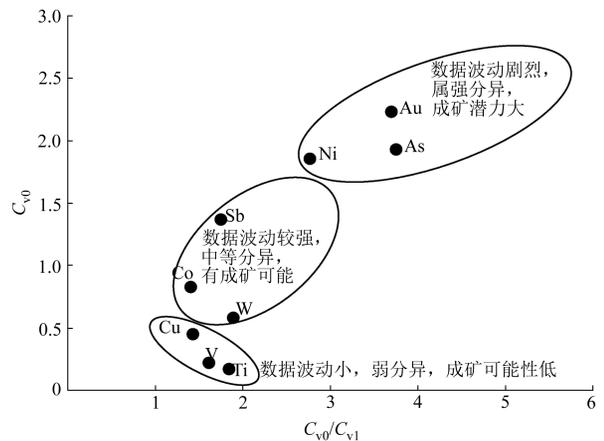


图 2 变化系数解释分异程度

Fig. 2 Differentiation degree explanation from variation coefficients

量变化较平缓,不易在局部地段形成明显的富集或贫化。

区域富集系数 K 是背景值与大陆地壳丰度(或全国土壤背景值)的比值,体现了元素在区内的富

集程度^[13](表2)。富集系数 $K \geq 1.5$ 时,为强烈富集元素;富集系数 $1.2 \leq K < 1.5$ 时,为相对富集元素;富集系数 $0.8 \leq K < 1.2$ 时,为背景元素;富集系数 $K < 0.8$ 时,为贫化元素^[14]。

表2 区内元素背景值与全国地壳丰度和土壤背景值比值

Tab.2 Proportion of the background values of local elements in relation to the national crustal abundance and the background values of soil

元素	As	Au	Co	Cu	Ni	Sb	Ti	V	W
研究区背景值/ 10^{-6}	33.06	0.008	17.45	45.16	44.28	7.35	5 394	149.5	2.28
上地壳丰度/ 10^{-6}	4.80	0.001 5	17.30	28.00	47.00	0.40	3 840	97.0	1.90
全国土壤背景值/ 10^{-6}	9.50	0.001 5	12.40	22.00	28.00	0.76	4 240	83.0	1.78
富集系数 K_1	6.89	5.13	1.01	1.61	0.94	18.38	1.40	1.54	1.20
富集系数 K_2	3.48	5.13	1.41	2.05	1.58	9.67	1.27	1.80	1.28

注:富集系数 K_1 为原始数据剔除异常值后平均值与大陆地壳丰度的比值,富集系数 K_2 为原始数据剔除异常值后平均值与全国土壤背景值的比值。

与大陆地壳丰度^[15]相比,研究区 Sb、As、Au、Cu、V 富集系数大于 1.5,说明这些元素在研究区内强烈富集,成矿潜力较大;Ti、W 富集系数介于 1.2 和 1.5 之间,为相对富集元素;W、Co、Ni 为背景元素。

与全国土壤背景值^[16]相比,研究区各元素相对富集,没有贫化的元素。其中 Sb、Au、As、Cu、V、Ni 富集系数大于 1.5,说明这些元素在研究区内强烈富集;Co、Ti、W 富集系数介于 1.2 和 1.5 之间,为相对富集元素。

3.1.2 不同成土母质区元素含量

参照欧阳渊等^[17]对我国西南山区成土母质的分类方案,结合地层和岩性,将研究区成土母质划分成:沉积岩类成土母质、变质岩类成土母质、超基性岩成土母质、基性岩成土母质和酸性岩成土母质。变质岩类成土母质区面积最广,约占研究区面积 95%,出露地层为库独木组及梭山组。其中上泥盆统库独木组以灰—灰绿色板岩为主,间夹浅灰色中厚层状劈理化变质石英砂岩、变质粉砂岩。下石

炭统梭山组以紫红色板岩、泥灰质碳质板岩为主,局部夹灰色中厚层石英砂岩;沉积岩类成土母质区位于研究区东南部,地层为一碗水组,岩性主要为石英杂砂岩与泥质粉砂岩互层,夹含砾钙质杂砂岩和粉砂质泥岩;超基性岩成土母质区位于研究区东北部和西南部,以超基性侵入岩为主,出露辉橄岩和煌斑岩;基性岩成土母质区位于研究区东北部,出露北东向条带状的辉绿岩;酸性岩成土母质区位于研究区东北角,出露石英斑岩。为研究元素在不同成土母质区中的分布情况,用逐步剔除迭代法剔除异常值后,统计各元素的平均含量(表3)。结果显示:沉积岩类成土母质区 Ni 富集系数为 4.16,相对富集,其余元素 Co、Cu、Ti、V 含量接近全区背景值,其余元素低于全区背景值,相对贫化;变质岩类成土母质区各元素含量接近全区背景值;基性岩成土母质区 As、Sb、Co、Au、W、Ni 富集系数大于 1.5,为相对富集,Cu、V、Ti 含量接近全区背景值;超基性岩成土母质区 Ni、Au、Sb、Co

表3 不同成土母质区元素平均含量

Tab.3 Average content of elements in different soil patent materials

指标	As	Au	Co	Cu	Ni	Sb	Ti	V	W
沉积岩区 ($n=13$)	$X/10^{-6}$ 17.12	0.005 53	21.31	46.37	184.30	6.23	5 391.08	144.85	2.12
	K 0.52	0.72	1.22	1.03	4.16	0.85	1	0.97	0.93
变质岩区 ($n=930$)	$X/10^{-6}$ 32.80	0.007 61	17.05	44.76	42.38	6.91	5 398.06	148.90	2.25
	K 0.99	0.99	0.98	0.99	0.96	0.94	1	1	0.99
基性岩区 ($n=15$)	$X/10^{-6}$ 138.01	0.016 52	39.31	60.19	72.63	29.79	7 000	196.93	4.56
	K 4.18	2.15	2.25	1.33	1.64	4.05	1.3	1.32	2.00
超基性岩区 ($n=11$)	$X/10^{-6}$ 44.81	0.013 48	28.77	63.00	165.64	12.50	5397.36	176.27	2.86
	K 1.36	1.75	1.65	1.39	3.74	1.70	1	1.18	1.25
酸性岩区 ($n=6$)	$X/10^{-6}$ 773.22	0.135 83	34.18	54.57	65.13	56.50	6 633.67	169.17	7.29
	K 23.39	17.65	1.96	1.21	1.47	7.69	1.23	1.13	3.19

注: n 为样本数; X 为剔除异常值后的平均值; K 为平均值与研究区背景值的比值。

富集系数大于 1.5,为相对富集,其余元素含量接近全区背景值;酸性岩成土母质区 As、Au、Sb、W、Co 相对富集,Ni、Cu、V、Ti 含量接近全区背景值。

3.2 元素组合特征

3.2.1 元素相关性分析

为了解元素相关性,对区内 9 种元素分析结果进行 R 型聚类分析。从聚类分析谱系(图 3)上看,相关系数在 0.6 的水平上时,可分成 5 类:第一类为 As - Sb - W,As、Sb 原子半径相近、离子电位相近,为浅成低温成矿元素,多参与成矿期硫化物阶段活动^[18],而 W 为高温热液成矿元素;第二类为 V - Ti,两者相关性较高,为亲石元素,V 在自然界中常和 Ti 共生,形成钒钛矿,与基性岩和超基性岩密切相关;第三类为 Cu,其与其他元素相关性较低,为第三类在相关系数为 0.37 时开始与其他元素聚类,可作为指示元素;第四类为 Au,说明 Au 与其他元素相关水平总体较低,可能预示 Au 成矿的多期性,在相关系数为 0.33 时与 As、Sb、W 等元素开始聚类,说明区域内金矿以热液型为主;第五类为 Co - Ni,相关系数 0.73,为明显的正相关,Co 和 Ni 原子

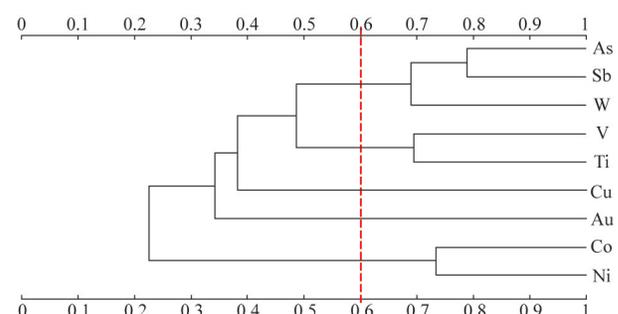


图 3 元素聚类分析谱系

Fig. 3 Cluster analysis diagram of elements

量、原子半径相近,在性质上具有相似之处,多参与成岩早期阶段活动,研究区整体 Ni/Co 比值为 2.54,表明在成矿过程中,Ni 比 Co 在矿体中更加容易富集^[19]。Ni 常作为主要成矿元素,Co 一般为伴生或共生。

3.2.2 冷热点分析

为了解土壤各元素在空间上的聚类关系,利用 ArcGIS 空间统计中的热点分析方法,绘制各元素空间聚类模式热点分析(图 4)。结果显示,As、Sb、W 的热点叠加明显,主要集中于研究区东北部,多位于两条断层的交错部位,出露辉绿岩、石英斑岩等侵入岩岩体,发现一条 NE 向的矿化蚀变带,发育硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、碳酸盐化。As、Sb 未见明显的冷点区,W 的冷点集中分布于研究区中部咪期河附近,地层主要为库独木组。Au 热点不集中,零星分布于断层两侧附近,岩性主要为石英斑岩、辉绿岩和变质石英砂岩等,可见数条切层石英脉,脉宽 4 ~ 15 cm,褐铁矿化强烈,局部发育黄铁矿化。Co、Ni 热点分布与 As、Sb、W 相似,但又有不同。Ni、Co 热点集中分布于工作区东北部和南部,东北部出露辉绿岩、煌斑岩等超基性岩岩体。南部区域出露库独木组地层,以灰 - 灰绿色板岩为主,间夹浅灰色中厚层状劈理化变质石英砂岩、变质粉砂岩,劈理化强烈,流劈理发育,局部受脆 - 韧性构造影响,变形强烈。V、Ti 冷热点分布特征基本一致,热点主要分布于研究区东北部一带,多位于库独木组与辉绿岩、煌斑岩的接触带附近。冷点分布于研究区中部 - 西南部一带,出露库独木组地层,岩性以浅变质岩为主。Cu 热点分布东部辉绿岩与库独木组的接触部位,以及西部区域煌斑岩与库独木组的接触部位。

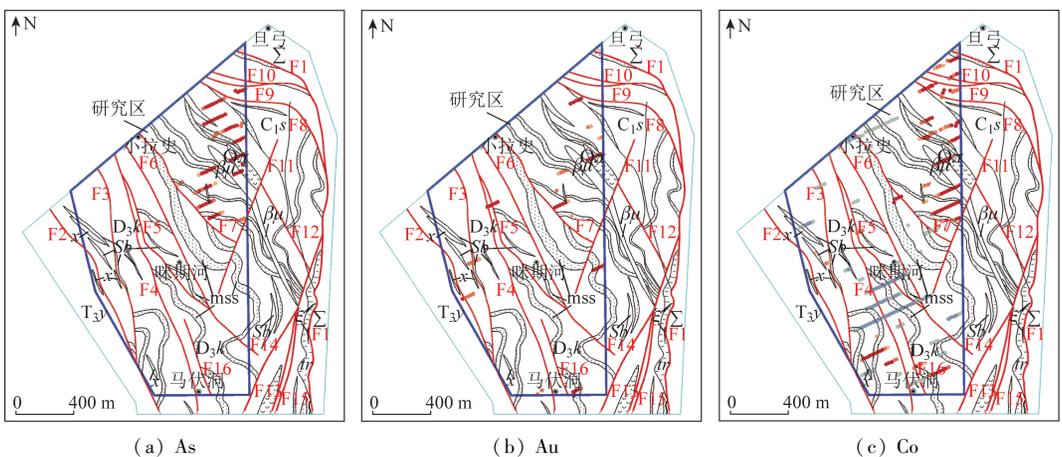
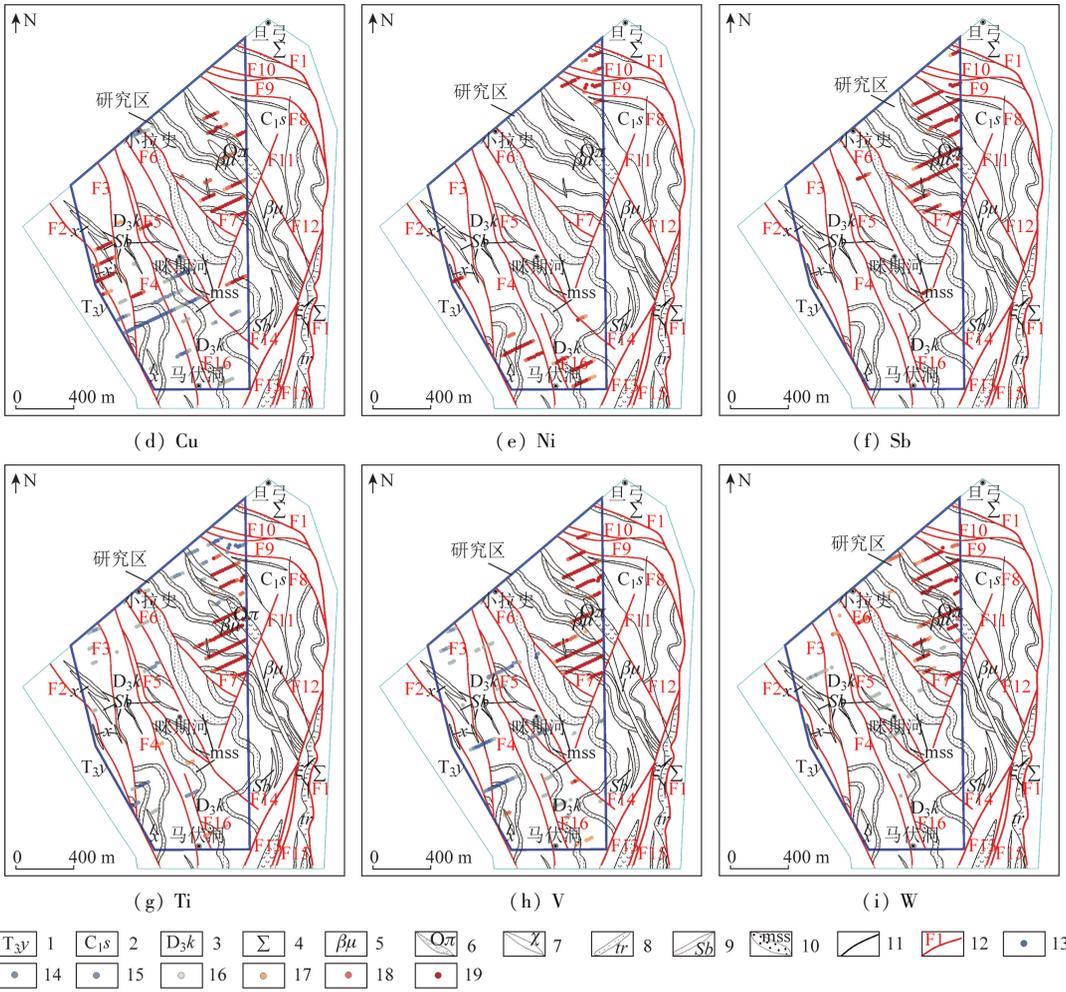


图 4-1 元素空间聚类模式热点分析

Fig. 4-1 Hot spot of spatial clustering patterns for elements



1. 上三叠统一碗水组; 2. 下石炭统梳山组; 3. 上泥盆统库独木组; 4. 辉橄岩; 5. 辉绿岩; 6. 石英斑岩; 7. 煌斑岩; 8. 碎裂岩; 9. 矿化蚀变带; 10. 变质石英砂岩带; 11. 地质界线; 12. 断层及编号; 13. 冷点 99% 置信度; 14. 冷点 95% 置信度; 15. 冷点 90% 置信度; 16. 不显著; 17. 热点 90% 置信度; 18. 热点 95% 置信度; 19. 热点 99% 置信度

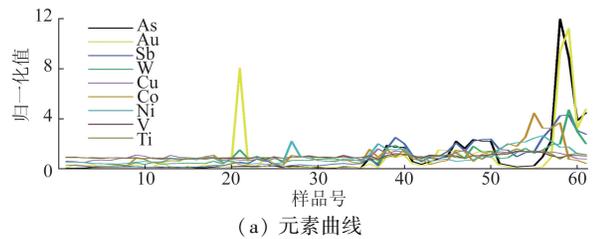
图 4 元素空间聚类模式热点分析

Fig. 4 Hot spot of spatial cluster patterns for different elements

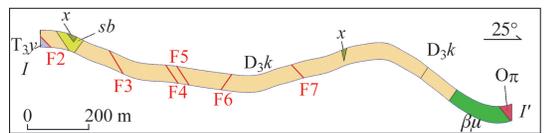
将各元素含量分别除以其各自的平均值,从而得到归一化后的元素比值。以样品号为横轴,归一化值为纵轴,绘制土壤地球化学剖面图(图 5)。以贯穿多层、岩体和断层的 II' 剖面线为例,结合地质背景,对各元素的热点分布情况进行分析。可以看出:在空间上,Au 呈现出两个高值异常区,主体异常位于石英斑岩与辉绿岩接触的部位,另一异常则位于 F5 断层附近; As、Cu、W 分布趋势较一致,高值主要位于辉绿岩出露的基性岩成土母质区,基性岩中的 Co、Ni、V、Ti 含量远高于其他成土母质区。

3.2.3 元素组合分析

在聚类分析与冷热点分析的基础之上,对区内的 9 种元素分析结果展开因子分析。KMO 检验和 Bartlett 球形检验所得结果如下: KMO 值为 0.700,



(a) 元素曲线



(b) 地质剖面



1. 上三叠统一碗水组; 2. 上泥盆统库独木组; 3. 辉绿岩; 4. 石英斑岩; 5. 煌斑岩; 6. 矿化蚀变带; 7. 断层及编号

图 5 II' 土壤地球化学剖面

Fig. 5 Soil geochemical profile of II'

当自由度 df 为 36 时,显著性 P 值为 0,该值小于显著性水平 0.05,认为数据可用于因子分析。

经正交旋转后求得全部特征值及累计百分比。选取特征值 >1 的因子作分析,可得到 3 个因子,累计方差贡献率达 73.28%,可代表原始数据的大多数信息^[20]。根据载荷绝对值大小,分析各因子的主要载荷元素,综合得到 3 个因子组合(表 4)。

表 4 因子载荷系数

Tab.4 Factor loading coefficients

元素及统计项	因子组合 1	因子组合 2	因子组合 3
As	0.887	0.229	0.086
Au	0.776	-0.099	-0.027
Co	0.131	0.254	0.905
Cu	0.124	0.512	0.319
Ni	-0.005	-0.104	0.915
Sb	0.737	0.424	0.178
Ti	0.106	0.838	-0.170
V	0.179	0.874	0.151
W	0.647	0.519	0.051
特征值	3.665	1.681	1.249
方差/%	26.980	25.720	20.580
累计方差/%	26.980	52.700	73.280

注:因子组合 1 为 Au、As、Sb、W;因子组合 2 为 Cu、V、Ti;因子组合 3 为 Co、Ni。

结合冷热点分析中各元素与地层、岩体、构造的分布关系,各元素组合特征如下。

(1)因子组合 1 为 Au、As、Sb、W。方差解释率为 26.98%,代表的信息较丰富,与本区金矿化关系密切,是低温热液型金矿的地球化学反映。其中 Au 为典型的低温热液成矿元素,可能与中酸性岩浆侵入岩(石英斑岩)有关。As、Sb、W 作为中低温热液成矿元素,是 Au 的伴生元素,显示区内金的成矿作用与浅成中低温热液活动关系密切。该组元素高值区主体位于研究区东北部的石英斑岩、辉绿岩、煌斑岩脉和矿化蚀变带附近,可作为寻找金矿的指示元素组合。

(2)因子组合 2 为 Cu、V、Ti。为亲石元素组合,方差解释率为 25.72%。V、Ti 是基性岩浆中的重要元素,Cu 属于低中温热液成矿元素,反映了研究区内与基性侵入岩有关的岩浆热液活动^[21]。该组元素高值区主要分布于库独木组与基性、超基性岩接触带附近,可作为寻找铜矿的指示元素组合。

(3)因子组合 3 为 Co、Ni。二者相关系数为 0.73,相关性较好,表明二者地球化学行为的相似性,为中高温成矿元素组合,两种元素存在内在共生组合关系。该组合具有明显的亲铁性,与超基性岩或基性岩密切相关^[22],多富集于辉橄岩和煌斑岩等超基性岩岩体与梭山组、一碗水组等地层的接触带附近,一方面反映了基性岩的地球化学特征,另一方面也反映了 Co、Ni 在基性岩中的成晕成矿的地球化学专属性,是寻找钴镍矿的重要指示。

3.3 元素异常特征

3.3.1 异常圈定

异常下限的确定方法采用累积频率法。以原始数据累计频率 90% 的值为基础,结合区内成矿地质条件及异常圈定效果,经人为调试后确定各元素的异常下限值。以 1、2、4 倍异常下限值分别划分异常浓度外带、中带、内带,最终圈定单元素异常图。

利用 9 种元素圈定了 43 个单元素异常(表 5)。异常显示最好的元素为 Au、Ni。Au、As、Sb 单元素空间位置套合较好。Au 异常主要分布于研究区出露的石英斑岩、辉绿岩和煌斑岩等岩体周边,异常最大值为 0.49×10^{-6} ,异常强度随着距离的缩短而增强,单个异常规模较大,浓集中心明显;Ni 异常主要分布于超基性岩体边部或构造断裂带附近,呈北西向带状分布,一般离接触带距离愈远则异常愈弱,异常最大值为 2.009×10^{-6} ,与 Co 异常在空间上套合较好。Cu、V、Ti 单元素异常面积大,但无梯度变化,高值点较少,异常总体较差。

表 5 单元素异常统计

Tab.5 Statistics of single - element anomaly

指标	As	Au	Co	Cu	Ni	Sb	Ti	V	W
下限值/ 10^{-6}	130	0.025	35	63	220	25	6 100	180	4
异常数量/个	3	8	7	7	4	2	4	3	5
一级浓度分带/个	1	1	2	3	0	0	3	3	3
二级浓度分带/个	1	0	4	3	1	0	0	0	2
三级浓度分带/个	1	7	1	1	3	2	0	0	0
异常面积/ km^2	0.267	0.251	0.268	0.273	0.258	0.302	0.269	0.274	0.261

3.3.2 综合异常特征

根据单元素异常、组合异常和矿化点信息,共圈定6个综合异常,编号为HT1~HT6。其中以Au为

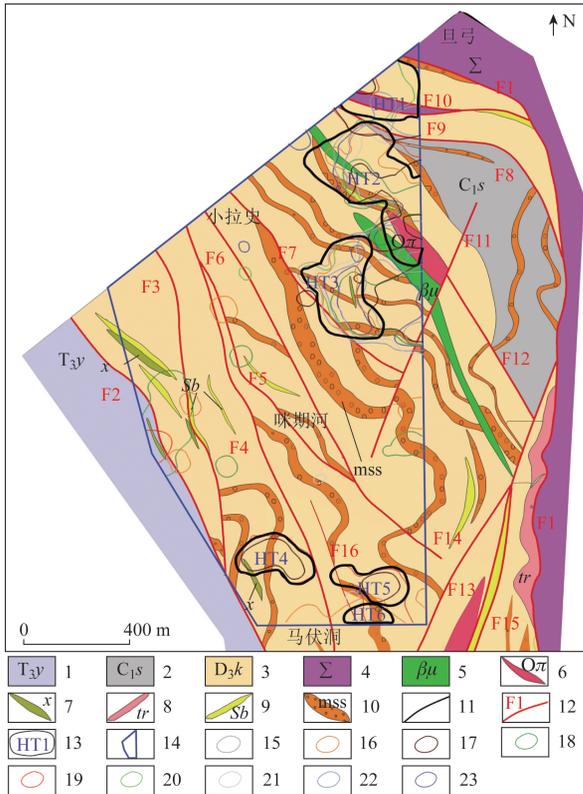
主的综合异常3个,分别为HT2、HT3和HT5。以Ni为主的综合异常3个,分别为HT1、HT4和HT6。各综合异常特征见(表6,图6)。

表6 观音山地区综合异常汇总

Tab.6 Summary of comprehensive anomalies in Guanyin Mountain area

异常名称	面积/km ²	元素组合及异常规模	异常情况
HT1	0.063 4	Ni(0.401) - Co(0.207) - As(0.207) - Sb(0.593) - W(0.328) - V(0.143) - Ti(0.329)	异常呈近EW向分布,出露地层为上泥盆统库独木组,岩性以灰-灰绿色板岩为主,劈理化强烈,流劈理发育,局部受脆-韧性构造影响,变形强烈。异常中部出露一套辉绿岩体,进一步工作价值较大
HT2	0.126 5	Au(0.358) - As(0.757) - Cu(0.058) - Sb(0.593) - W(0.328) - V(0.343) - Ti(0.329)	异常呈近NE向分布,出露地层为上泥盆统库独木组,岩性以灰-灰绿色板岩为主,间夹浅灰色变质石英砂岩。出露辉绿岩、石英斑岩等岩体。发现一条NW走向,宽约2m延伸约270m的蚀变带,产于石英斑岩、辉绿岩与泥灰质板岩、粉砂质板岩接触带周边,主要发育硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、碳酸盐化异常,具有较大的找金矿潜力
HT3	0.086 5	Au(0.109) - As(0.757) - Co(0.092) - Cu(0.127) - Sb(0.593) - W(0.035) - V(0.2) - Ti(0.329)	异常呈近SN向条带状分布,出露地层为上泥盆统库独木组,岩性以灰-灰绿色板岩为主,发现一条近SN向的煌斑岩脉
HT4	0.141 1	Au(0.07) - Ni(0.092) - Cu(0.092)	异常出露地层为上泥盆统库独木组,发育少量煌斑岩岩脉
HT5	0.041 2	Ni(0.092) - Co(0.041)	异常出露地层为上泥盆统库独木组,岩性以板岩为主,间夹浅灰色变质石英砂岩
HT6	0.065 9	Au(0.291) - Co(0.027) - Ni(0.117) - V(0.002) - Ti(0.01)	异常出露地层为上泥盆统库独木组,岩性以板岩为主,异常东部被一近SN走向的次级构造所切割

注:元素后括号内数值为异常规模,即平均值×面积/异常下限值。



1. 上三叠统一碗水组; 2. 下石炭统梭山组; 3. 上泥盆统库独木组;
4. 辉橄岩; 5. 辉绿岩; 6. 石英斑岩; 7. 煌斑岩; 8. 碎裂岩; 9. 矿化蚀变带; 10. 变质石英砂岩带; 11. 地质界线; 12. 断层; 13. 测线;
14. 研究区范围; 15. As异常线; 16. Au异常线; 17. Co异常线;
18. Cu异常线; 19. Ni异常线; 20. Sb异常线; 21. Ti异常线; 22. V异常线; 23. W异常线

图6 研究区综合异常

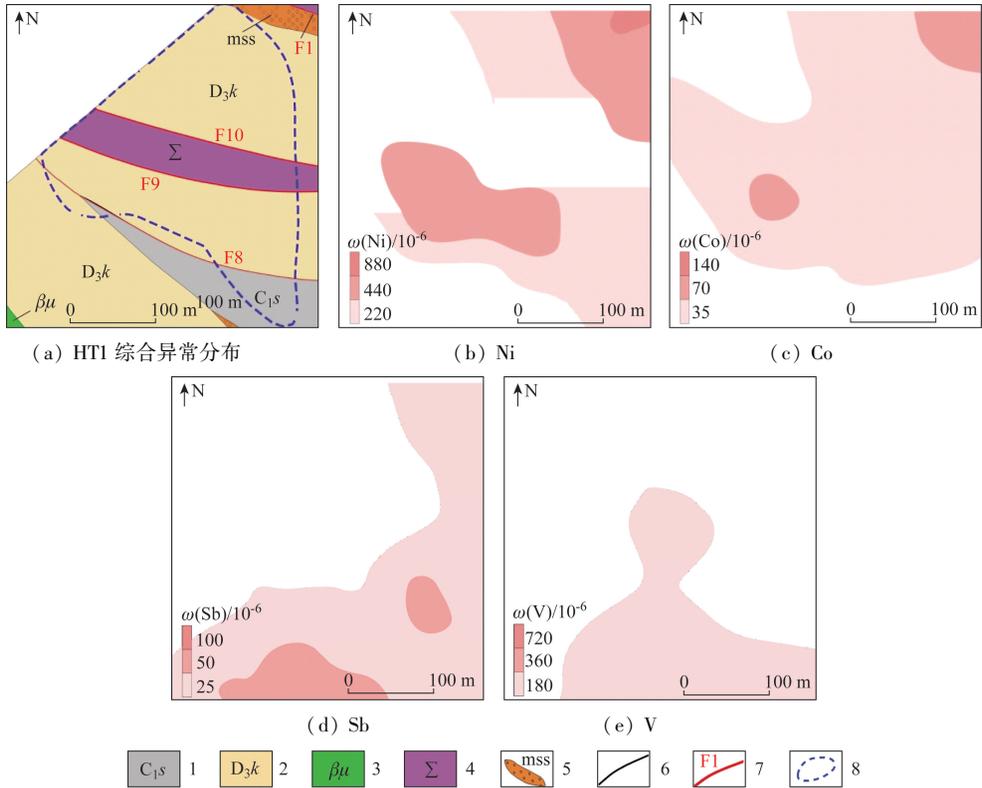
Fig.6 Comprehensive anomalies in the study area

3.3.3 异常评价

本研究选择HT1异常和HT2异常进行解释及评价。

HT1综合异常位于研究区东北角,呈近EW向块状分布,异常面积0.063 4 km²,异常东北部未封闭,推测可能向西北延伸至研究区外的一定区域(图7)。含有Ni、Co、Sb、V4种单元素异常。Ni、Co元素浓集中心套合较好,Sb、As异常相对较差。Ni具有内带、中带、外带异常显示,异常浓集中心明显,面积广,规模大。异常内Ni极大值为2 009 × 10⁻⁶。出露的地层为梭山组和库独木组,出露的侵入岩为辉绿岩和辉橄岩。岩性以浅变质岩为主,主要为板岩和碳质板岩,间夹变质石英砂岩和变质粉砂岩。构造线以近EW向为主,主要为九甲—安定断裂左行剪切发生“S”型弯曲形成的次级构造。异常主要位于断裂破碎带、构造软弱带(岩体与地层接触带)附近,异常形态受近东西向断裂控制明显,具有一定的镍矿找矿前景。

在HT1土壤综合异常内发现镍矿主要位于九甲—安定断裂所产生的构造破碎带内,受断裂严格控制,呈带状分布于构造破碎带形成的负地形中。赋矿层位(或岩体为)超基性岩及其邻近的上泥盆统库独木组地层,主要金属矿物为褐铁矿和黄铁矿化,蚀变主要有蛇纹石化、绿泥石化和铬



1. 下石炭统梭山组; 2. 上泥盆统库独木组; 3. 辉绿岩; 4. 辉橄岩; 5. 变质石英砂岩带; 6. 地质界线; 7. 断层及编号; 8. 异常范围

图 7 HT1 异常剖析

Fig. 7 Characteristics of HT1 comprehensive anomaly

水云母化。但矿化显示较弱,指示区内 Ni 的找矿潜力一般,可能是整体高背景所致的异常。

HT2 综合异常位于研究区东北部,呈 SN 向条带状展布,异常面积 0.126 5 km²。含有 Au、As、Sb、W、V、Ti 6 种单元素异常(图 8)。Au、As 均具有内带、中带、外带异常显示。Sb、W 具有外带、中带异常显示,V、Ti 仅有外带异常显示。Au、As、Sb、W 异常套合较好。出露的地层为梭山组和库独木组,出露的侵入岩为辉绿岩和石英斑岩。岩性主要

为板岩和碳质板岩,间夹变质石英砂岩和变质粉砂岩。异常北部为次级构造 F8。异常与侵入岩有成因联系,异常内 Au 极大值为 2.01×10^{-6} ,位于石英斑岩内。石英斑岩中金平均含量约为其他地质体金平均含量的 12~24 倍。

在 HT2 综合异常内发现石英斑岩脉宽约 50~60 m,延伸约 300 m,总体呈 NE 向展布,岩石弱风化,风化面灰褐色,风化面褐铁矿化发育强烈,新鲜面浅灰绿色,发育黄铁矿化。岩石主要由石英组成,

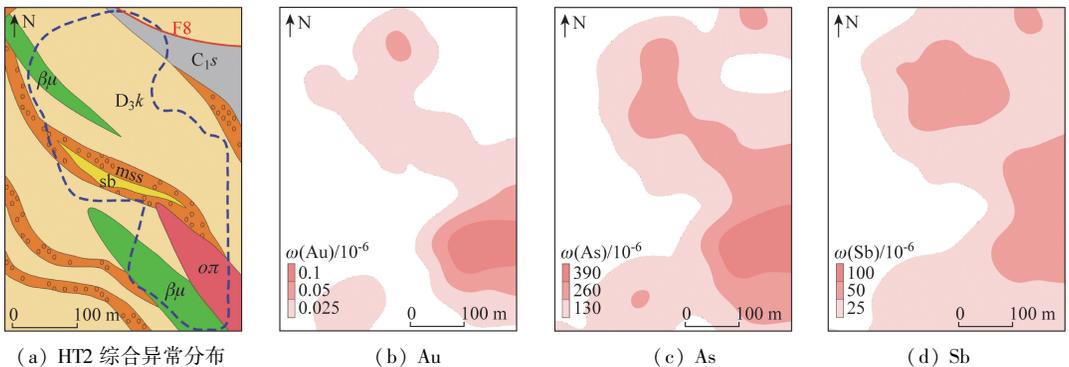


图 8-1 HT2 异常剖析

Fig. 8-1 Characteristics of HT2 comprehensive anomaly

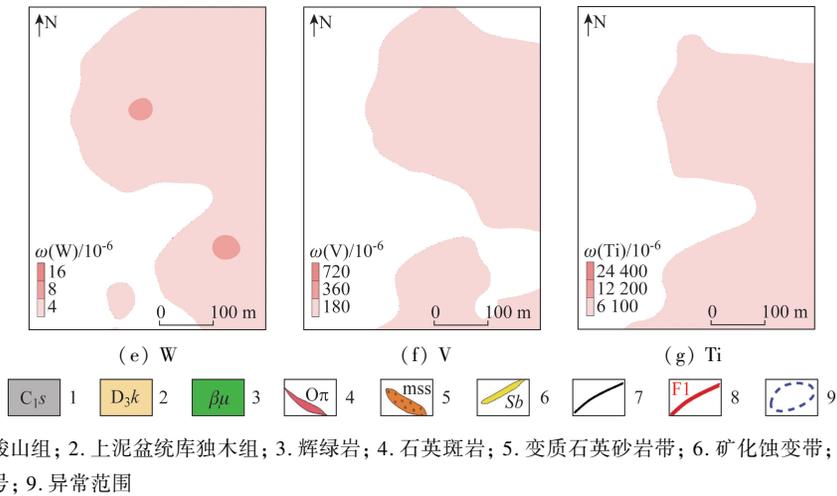


图 8-2 HT2 异常剖析

Fig. 8-2 Characteristics of HT2 comprehensive anomaly

呈似斑状或斑状结构,块状构造,斑晶 3~6 mm,斑晶主要为半自形-它形石英颗粒,偶见长石斑晶,基质主要由细粒石英为主,肉眼下无法识别晶形(图 9)。黄铁矿多呈微细粒星点状,局部呈浸染状,偶见团块状。在异常区内采集岩石全分析结果显示 Au 含量 2.06×10^{-6} 。推测为矿致异常,有进一步研究价值。

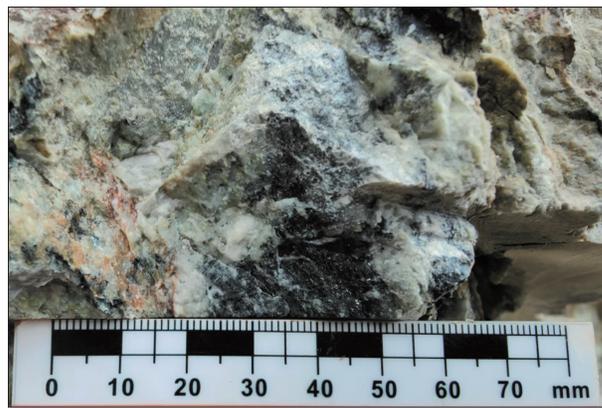


图 9 含黄铁矿化的石英斑岩照片

Fig. 9 Photos of quartz porphyry with pyritization

4 讨论

4.1 墨江金镍矿床成因

墨江金厂是哀牢山金成矿带上著名的大型金矿床。矿床位于九甲—墨江断裂东侧上泥盆统浅变质岩系与哀牢山蛇绿混杂岩带金厂超基性岩体的弯曲部位。主要出露上三叠统一碗水组红层和上泥盆统库独木组浅变质岩系。金、镍矿体主要位

于超基性岩体与围岩的接触带上,主要载体矿物为黄铁矿。

据前人研究^[23-24],墨江金厂金、镍为同一个成矿期形成,镍矿形成于热液活动早期,金矿主要形成于热液主阶段,成矿作用可分为沉积变质期、热液成矿期和表生氧化淋滤期 3 个阶段。

沉积变质期,在晚泥盆世热水喷流沉积作用下,形成的硅质岩和顺层的石英脉,产出贫金矿体,形成金的初步矿化富集。

热液成矿期,在燕山中—末期,哀牢山褶皱带强烈的酸性岩浆侵入活动对早期的含金硅质岩叠加、改造,引发金、镍矿沉淀,最终形成了矿床。

表生氧化淋滤期,喜山期的强烈造山运动导致矿区地层和矿体发生断裂,并随地势上升至地表,部分矿体被剥蚀、氧化和淋滤并富集成矿。

4.2 金矿成因及找矿标志

结合墨江金镍矿成矿过程,认为研究区金矿物质来源于岩浆岩,受断裂构造控制,主要赋存于石英斑岩中,属于低温热液型金矿。主要成矿年龄为华力西晚期至燕山期,成矿延续时间长,是多期次、多阶段矿化叠加的结果^[25]。

岩浆热液的多期活动,形成了较为广泛、强烈的围岩蚀变和矿化。主要的热液蚀变作用有与区域变质热液活动有关的蚀变,与超基性岩侵入有关的热液接触交代蚀变和岩浆期后热液蚀变,与燕山中酸性岩浆活动有关的热液蚀变等,多期岩浆热液为 Au 迁移富集提供的物质来源,一是热液本身的 Au 迁移,二是热液活化、萃取围岩中 Au,两种方

式所携带和活化的 Au 沿断层、剪切带等通道运移在次级断裂与九甲—安定断裂锐角交切等成矿有利部位沉淀、富集、成矿。围岩蚀变有硅化、铬水云母化、蛇纹石化、滑石化、碳酸盐化和高岭石化等,与金矿化蚀变有关的金属矿化有黄铁矿化、褐铁矿化等。

金矿找矿标志为:①九甲—安定断裂形成的次级构造旁侧;②下古生界—上古生界区域浅变质岩系的碎屑岩中;③石英斑岩与金矿关系最为密切,其中 Au 平均含量是其他地质单元中 Au 含量的 12~24 倍,④地球化学找矿组合为 Au-As-Sb-W。

4.3 镍矿成因及找矿标志

镍矿体与超基性岩体关系紧密,多形成于岩体与围岩内接触带。镍矿体受到热液淋滤后,进入流体中,与硫、砷等反应沉淀在岩体接触带附近的断裂带中,富集于构造破碎带形成的负地形中。其中镍矿化、黄铁矿化、硅化和铬绢云母化等基性、超基性岩浆热液为 Ni 迁移富集提供物质来源(元素富集物源),脆韧性剪切带、边界断裂则为热液提供运移通道(导矿构造),次级断裂或小角度断层交切部位则为热液提供元素富集成矿场所(容矿构造)^[26]。因此,区内镍矿体严格受九甲—安定断裂控制,且矿体产状随构造破碎带产状变化而变化,具有离接触带距离愈远矿化愈弱的特征。

镍矿找矿标志为:①深大断裂带、燕山花岗岩活动带内或近旁;②富 Ni、Co 丰度的超基性岩体或邻近地层中。

5 结论

(1)相较于大陆地壳丰度,研究区 Sb、As、Au、Cu、V 富集系数大于 1.5;与全国土壤背景值相比,Sb、Au、As、Cu、V、Ni 富集系数同样大于 1.5。其中 Ni 高值较多但变化系数相对较低,高值多分布于超基性岩体及邻近地层内,有可能局部富集成矿。Au 元素异常表现良好,具有较高的成矿潜力。

(2)综合聚类分析和因子分析结果,并结合区内元素组合规律和地质背景可知,Au、As、Sb、W 为一套热液成矿元素组合。但 Au 与其他元素相关性较差,可能受多期叠加的影响。Co、Ni 呈现明显的正相关关系,二者常伴生成矿。Cu、V、Ti 为亲石元

素组合,反映了研究区内与基性侵入岩有关的岩浆热液活动。

(3)圈定了 6 个土壤综合异常,认为墨江金厂外围具有一定的找矿潜力,主攻矿种为金矿,同时也应兼顾砷锑矿和钴镍矿。通过与墨江金厂矿床类型的类比,可知研究区 Au 成矿具有多期性和复杂性,金矿物质源自岩浆岩,受断裂构造控制,主要赋存于石英斑岩中,属于低温热液型金矿,地球化学找矿组合为 Au-As-Sb-W。镍矿与超基性岩体关系紧密,多形成于岩体外接触带,一般离接触带距离愈远则矿化愈弱,地球化学找矿组合为 Ni-Co。

参考文献(References):

- [1] 和继圣,阮中华,李星,等. 云南墨江金厂矿床镍矿成因及找矿标志[J]. 现代矿业,2023,39(12):65-68.
He J S, Ruan Z H, Li X, et al. Genesis and prospecting criteria of nickel deposit of Jinchang deposit in Mojiang county, Yunnan Province[J]. Modern Mining, 2023, 39(12): 65-68.
- [2] 杨平,徐云端,程勘,等. 云南墨江金厂金矿床成矿条件及找矿方向[J]. 矿物学报,2013,33(4):585-591.
Yang P, Xu Y D, Cheng K, et al. Metallogenic conditions and prospecting orientation of Mojiang Jinchang gold deposit, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(4): 585-591.
- [3] 李光明,刘铁兵,邹为雷,等. 墨江金矿矿体分布规律、控矿因素及深部找矿方向探讨[J]. 地质与勘探,2001,37(1):55-59.
Li G M, Liu T B, Zou W L, et al. Distribution pattern of ore bodies, ore-controlling factors and prospecting potentiality in the depth of the Mojiang gold deposit, Yunnan province[J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(1): 55-59.
- [4] 应汉龙. 云南墨江镍金矿床富金石英脉的⁴⁰Ar/³⁹Ar 快中子活化年龄[J]. 地质科学,2002,37(1):107-109.
Ying H L. ⁴⁰Ar/³⁹Ar fast neutron activation dating of gold rich quartz vein from Mojiang nickel-gold deposit, Yunnan[J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(1): 107-109.
- [5] 谢桂青,胡瑞忠,倪培,等. 云南墨江金矿床含金石英脉中流体包裹体的地球化学特征及其意义[J]. 矿物学报,2001,21(4):613-618.
Xie G Q, Hu R Z, Ni P, et al. Geochemical characteristics of fluid inclusions in gold-bearing Quartz veins in the Mojiang gold deposit and their implications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2001, 21(4): 613-618.
- [6] 杨润柏,张七道,吴亮,等. 云南墨江金厂外围观音山矿区土壤地球化学特征及其在寻找金、镍矿中的应用[J]. 黄金,2022,43(01):13-19.
Yang R B, Zhang Q D, Wu L, et al. Geochemical characteristics of soil in Guanyinshan mining area in the peripheral of Jinchang, Mojiang, Yunnan Province and its application in prospecting for

- Au and Ni deposits[J]. *Gold*, 2022, 43(01): 13–19.
- [7] 王登红, 刘善宝, 王成辉, 等. 我国三稀矿产找矿进展述评与新一轮找矿建议[J]. *中国地质调查*, 2023, 10(5): 1–8.
Wang D H, Liu S B, Wang C H, et al. Review on the progress of prospecting for three types of rare mineral resources in China and suggestions for the new round of prospecting[J]. *Geological Survey of China*, 2023, 10(5): 1–8.
- [8] 应汉龙, 王登红, 刘和林. 云南墨江金厂镍—金矿床镍矿化地质特征及形成时间[J]. *矿床地质*, 2005, 24(1): 44–51.
Ying H L, Wang D H, Liu H L. Geology and formation time of nickel mineralization in Jinchang nickel—gold deposit, Mojiang, Yunnan[J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(1): 44–51.
- [8] 谢桂青, 胡瑞忠, 毛景文, 等. 云南省墨江金矿床成矿时代探讨[J]. *矿床地质*, 2004, 23(2): 253–260.
Xie G Q, Hu R Z, Mao J W, et al. Discussion on metallogenic ages of Mojiang gold deposit in Yunnan Province[J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2): 253–260.
- [9] 尹红光, 钱梦静, 李万平, 等. 云南墨江县金厂金镍矿成矿规律及找矿远景[J]. *云南地质*, 2023, 42(3): 287–294.
Yin H G, Qian M J, Li W P, et al. Metallogenic regularity and prospecting Prospects of Jinchang gold—nickel deposit in Mojiang county, Yunnan Province[J]. *Yunnan Geology*, 2023, 42(3): 287–294.
- [10] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0145—2017 土壤地球化学测量规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0145—2017 Code of Practice for Soil Geochemical Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] 赵武强, 崔森, 邹先武, 等. 湖南耒库地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. *中国地质*, 2014, 41(2): 638–647.
Zhao W Q, Cui S, Zou X W, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Heku area, Hunan Province[J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 638–647.
- [12] 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.
- [13] 左健扬, 方璐, 刘晓慧. 宁夏固原地区土壤地球化学背景值分析[J]. *中国地质调查*, 2023, 10(1): 76–82.
Zuo J Y, Fang L, Liu X H. Analysis of soil geochemical background value in Guyuan area of Ningxia[J]. *Geological Survey of China*, 2023, 10(1): 76–82.
- [14] 王磊, 胡兆国, 李向民, 等. 甘肃省党河南山乌兰达坂沟—扎子沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景预测[J]. *中国地质*, 2020, 47(2): 517–526.
Wang L, Hu Z G, Li X M, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and prediction of mining prospects in the Wulandaban—Zhazigou area, Danghe South Mountain, Gansu Province[J]. *Geology in China*, 2020, 47(2): 517–526.
- [15] 李括, 彭敏, 赵传冬, 等. 全国土地质量地球化学调查二十年[J]. *地质学前沿*, 2019, 26(6): 128–158.
Li K, Peng M, Zhao C D, et al. Vicennial implementation of geochemical survey of land quality in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(6): 128–158.
- [16] 侯青叶, 杨忠芳, 余涛, 等. 中国土壤地球化学参数[M]. 北京: 地质出版社, 2020.
Hou Q Y, Yang Z F, Yu T, et al. Soil Geochemical Dataset of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2020.
- [17] 欧阳渊, 张景华, 刘洪, 等. 基于地质建造的西南山区成土母质分类方案—以大凉山地区为例[J]. *中国地质调查*, 2021, 8(6): 50–62.
Ouyang Y, Zhang J H, Liu H, et al. Classification of soil parent materials in mountain areas of Southwest China based on geological formations: A case study of Daliangshan region[J]. *Geological Survey of China*, 2021, 8(6): 50–62.
- [18] 袁和, 白银增, 耿树峰, 等. 辽宁省重点金矿集区地质特征及成岩成矿作用[J]. *中国地质调查*, 2023, 10(4): 37–45.
Yuan H, Bai Y Z, Geng S F, et al. Geological characteristics, diagenesis and mineralization of key gold concentration areas in Liaoning Province[J]. *Geological Survey of China*, 2023, 10(4): 37–45.
- [19] 袁庆哈, 苏本勋. 金川岩浆铜镍硫化物矿床中的镍钴分布规律及其控制因素[J]. *岩石学报*, 2023, 39(4): 1030–1040.
Yuan Q H, Su B X. Distribution and controlling factors of nickel and cobalt in the Jinchuan magmatic Cu—Ni sulfide deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, 39(4): 1030–1040.
- [20] 周晓宁, 范川, 孙腾, 等. 因子分析在大别山南麓梨木岭钼多金属矿床土壤地球化学测量中的应用[J]. *资源环境与工程*, 2020, 34(S2): 67–72.
Zhou X N, Fan C, Sun T, et al. Factor analysis in soil geochemical survey of Limuling molybdenum polymetallic deposit in the southern Dabie mountain[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2020, 34(S2): 67–72.
- [21] 洪大军, 宋世明, 张旭, 等. 安徽宣城茶亭铜金矿区外围找矿潜力分析[J]. *中国地质调查*, 2022, 9(3): 23–31.
Hong D J, Song S M, Zhang X, et al. Analysis of mineral prospecting potential in the periphery of Chating copper—gold mining area in Xuancheng City of Anhui Province[J]. *Geological Survey of China*, 2022, 9(3): 23–31.
- [22] 刘映东, 张必敏, 罗先熔. 地电化学在隐伏铜镍矿勘查中的应用及异常形成机理探讨[J]. *地质与勘探*, 2017, 53(4): 693–704.
Liu Y D, Zhang B M, Luo X R. Mechanism of geoelectrochemistry anomalies and application to prospecting of buried Cu—Ni deposits[J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53(4): 694–703.
- [23] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 云南墨江镍金矿床主要控矿因素分析与研究[J]. *矿物学报*, 2001, 21(1): 80–88.
Fang W X, Hu R Z, Xie G Q, et al. Research and analysis on ore—controlling factors for Mojiang—Yuanjiang nickel—gold deposits in Yunnan, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2001,

21(1):80-88.

[24] 熊伊曲. 滇西墨江金厂热液金镍矿床成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.

Xiong Y Q. The Ore - Forming Processes of Jinchang Hydrothermal Gold and Nickle Deposit, Mojiang, Western Yunnan, China [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.

[25] 张德, 高德政, 赵娜. 云南墨江猫鼻梁子金矿床金元素的物质来源探讨[J]. 矿产与地质, 2009, 23(1): 32-35.

Zhang D, Gao D Z, Zhao N. Discussion on the sources of Au element in the Maobiliangzi gold deposit in Mojiang, Yunnan [J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(1): 32-35.

[26] 周凯, 张洪瑞, 柴鹏, 等. 云南墨江金厂矿床金镍赋存状态及成因关系探讨[J]. 矿床地质, 2020, 39(1): 97-110.

Zhou K, Zhang H R, Chai P, et al. On the occurrence and genesis of gold and nickel in Jinchang deposit, Mojiang County, Yunnan Province [J]. Mineral Deposits, 2020, 39(1): 97-110.

Geochemical characteristics of soil in Guanyin Mountain area of peripheral Jinchang of Mojiang and gold - nickel prospecting direction

HUANG Jiazhong^{1,2}, WU Zhichao¹, WANG Bingjun¹, BAI Pingyan¹, ZENG Liang¹, LI Jinwang¹

(1. Kunming General Survey of Natural Resources Center, China Geological Survey, Yunnan Kunming 650000, China; 2. Technology Innovation Center for Natural Ecosystem Carbon Sink, Ministry of Natural Resources, Yunnan Kunming 650000, China)

Abstract: Jin Mountain in Mojiang is located within the mineralization belt of the Ailao Mountains, and it is a significant gold - nickel deposit in Southwest China. To assess the prospecting potential in peripheral Jin Mountain of Mojiang, the authors performed soil geochemical analyses in Guanyin Mountain area, focusing on the distribution characteristics of elements such as arsenic (As), gold (Au), cobalt (Co), copper (Cu), nickel (Ni), antimony (Sb), vanadium (V), tungsten (W), and titanium (Ti) within the soil matrix. Based on the metallogenic geological background in the area, the authors summarized the mineralization patterns of these elements and delineated 6 synthetic anomalies, using cluster analysis, hot and cold spot analysis, and factor analysis. These findings reveal a relative enrichment of Sb, As, Au, Cu, V, and Ni in the area, with particularly high concentrations of Au and Ni, indicating a pronounced degree of enrichment and potential for localized mineralization. Notably, Au exhibits a weaker correlation with other elements, suggesting a complex and multi - stage mineralization process. Conversely, Co and Ni frequently occurred in proximity to the contact zones of rock bodies, and are closely associated with ultramafic rock formations. It is indicated that Guanyin Mountain area has good prospecting potential, and gold mine should be primarily targeted, and arsenic - antimony and cobalt - nickel deposits in the second place. This research could provide the prospecting direction for the new round of strategic action for breakthrough in prospecting in this region.

Keywords: soil survey; geochemical characteristic; comprehensive anomaly; gold - nickel prospecting direction; peripheral Jinchang in Mojiang

(责任编辑: 王晗)