

土壤地球化学测量 在赣东北良坑钨钼矿区勘查中的应用

孙社良¹, 陈士海², 李永明², 杨细浩², 朱昌杰², 牛建忠², 曾凡森²

(1. 广东省地质调查院, 广州 510080; 2. 江西省地质调查研究院, 南昌 330030)

摘要: 良坑钨钼矿区位于赣东北断裂带南东侧、钦杭成矿带北部多金属成矿带内, 成矿地质条件优越。文章研究良坑钨钼矿区的地质特征, 分析该矿区的土壤地球化学异常, 结合地形、地质及矿化特征等, 共圈定6个综合异常。优选3个最有利的综合异常进行工程验证, 发现数条钨矿体和钼矿体, 取得了较好的找矿效果, 拓展了赣东北断裂带南东侧找矿新领域, 表明土壤地球化学测量在良坑钨钼矿区勘查中具有较好的应用效果, 对赣东北断裂两侧进一步找矿具有一定参考。

关键词: 钨钼矿; 构造; 土壤地球化学; 综合异常; 赣东北

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2017)04-279-09

赣东北德兴地区位于钦杭成矿带北部多金属成矿带内, 受区域地质背景、大地构造环境等影响, 区内构造作用强烈, 岩浆活动频繁, 具有优越的成矿地质条件和良好的找矿前景, 是我国重要的多金属矿产勘查区^[1-3]。

20世纪80年代以来, 国内一些地质工作者对赣东北德兴地区构造演化、岩浆活动、成矿作用、矿床成因、矿产勘查及技术方法等进行了相关研究^[4-12]。通过对德兴铜矿、银山多金属矿、金山金矿等矿床进行研究, 认为该区矿床成因类型主要有与早一中侏罗世岩浆—热液作用有关的Cu-Mo-Au-Pb-Zn-Ag矿床和与新元古代地体碰撞有关的剪切带型金矿床^[13], 这些矿床集中分布于赣东北断裂带西侧。目前, 对赣东北断裂南东侧矿床的地质研究较少。

土壤地球化学测量作为一种常规地球化学勘查方法, 在地表浅部勘查与深部隐伏矿床勘查中具有较好的找矿效果^[14-18]。为了进一步缩小找矿范围, 确定找矿靶区, 对赣东北断裂南东侧良坑钨钼矿区东部开展土壤地球化学测量, 依据相关异

常发现了较好的钨、钼矿体, 取得了显著的找矿效果。

1 矿区地质特征

1.1 地层

矿区主要出露南华系、震旦系、寒武系及第四系, 总体呈NE向展布, 倾向NW, 倾角40°~70°(图1)。南华系在矿区东部大面积出露, 自下而上为休宁组(Nh_{1x})、南沱组(Nh_{2n}), 岩性主要为变质砂岩、粉砂岩、泥岩、冰碛泥砾岩。震旦系在矿区中部呈NE向条带状展布, 自下而上为蓝田组(Z_{1l})、皮园村组(Z_{2p}), 岩性主要为炭(钙)质页岩、泥晶白云岩、微晶灰岩、硅质岩, 其与下伏南沱组(Nh_{2n})呈整合接触。寒武系出露于矿区西北部, 自下而上为荷塘组(Є_{1h})、华严寺组(Є_{3hy}), 岩性主要为板岩、硅质岩、灰岩、钙质页岩, 其与下伏皮园村组(Z_{2p})呈整合接触。第四系冲积层(Qh^l)分布于山间沟谷, 主要由松散的砂、砾石及亚粘土组成。其中, 南华纪休宁组(Nh_{1x})为矿区主要赋矿地层。

* 收稿日期: 2017-01-15 修订日期: 2017-03-06 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 江西省地质勘查基金“江西省宝山—夫山铜多金属矿调查评价(编号: 20090208-2)”资助。

第一作者简介: 孙社良, 1987年生, 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及研究工作。

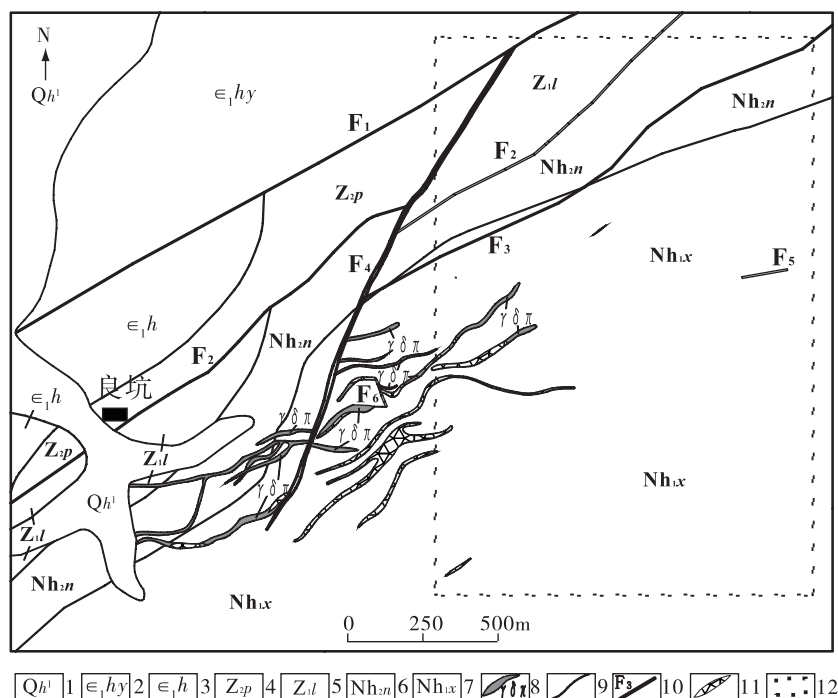


图1 良坑钼钨矿区地质简图

Fig. 1 Geologic sketch map of the Liangkeng Mo-W mining district

1-联圩组;2-华严寺组;3-荷塘组;4-皮园村组;5-蓝田组;6-南沱组;7-休宁组;8-岩脉;9-地质界线;10-断层;11-矿体;12-土壤地球化学测量范围

1.2 构造

受赣东北断裂影响,矿区主要发育 NE 向和 NNE 向 2 组断裂(图 1),二者与成矿关系密切,控矿以 NE 向断裂为主,NNE 向断裂次之。其中,NE 向断裂走向为 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,倾向 NW 或 NNW,倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$,延长 $> 2\ 800\text{ m}$,沿走向延伸出矿区;NE 向断裂以扭性为主,部分兼具压性,局部见糜棱岩化发育,且被 NNE 向断裂切割;NE 向断裂与成矿关系密切,为矿化石英脉提供有利的赋存空间;辉钼矿化、黑钨矿化、白钨矿化沿破碎带内石英脉发育,见硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化等蚀变,如 F_1 、 F_2 、 F_3 。NNE 向断裂走向 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$,倾向 NNW,倾角 $55^{\circ} \sim 65^{\circ}$,宽 $0.5 \sim 3.5\text{ m}$,走向延长约 $1\ 800\text{ m}$;NNE 向断裂为张性,断面上见滑动镜面、擦痕及绿泥石膜,破碎带宽窄变化较大,平面为波曲状;辉钼矿化、黑钨矿化沿破碎带内石英脉发育,局部富集形成钼矿体、钨矿体,如 F_4 。此外,矿区还有近 EW 向和 NNW 向断裂,其中近 EW 向断裂为压扭性,见硅化、绿泥石化,但未见明显矿化。NNW 向断裂与成矿无关,为成矿期后平移断裂,不

仅切断早期黑云正长花岗岩脉,且破坏早期矿体。

1.3 岩浆岩

矿区岩浆活动强烈,主要有燕山期黑云正长花岗岩,浅肉红—肉红色,中细粒似斑状花岗结构,块状构造,主要矿物成分为钾长石、斜长石、石英、黑云母等。黑云正长花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄为 $115.6 \pm 2.0\text{ Ma}$,属燕山期早白垩世岩浆活动的产物^[19]。黑云正长花岗岩侵入接触界线呈不规则状,保存有残留顶盖,岩体内原生流动构造不发育,且多呈 NE 向岩脉状产出,说明其就位与 NE 向断裂关系密切,属顶蚀的被动就位机制,剥蚀程度较浅,氧化系数平均为 0.47 ^[20]。黑云正长花岗岩作为成矿母岩,为成矿提供物质来源^[21],主要以岩脉产出,其与围岩接触带中的钼钨矿化、黄铁矿化、硅化等发育,局部富集形成矿体(图 1)。

1.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变有黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸岩化等,多呈线型分布于构造破碎带及其两侧。其中,黄铁矿化、硅化与钼钨矿化关系最密切。成矿前,黄铁矿为浅黄色,自形、半自形晶

结构,呈星点状分布;成矿期,黄铁矿呈自形粒状、不规则粒状、团块状分布的胶状、烟灰色粉末状产于硅化碎裂岩中,且后两者与钨钼矿化关系密切;成矿后,黄铁矿呈细脉状产于晚期裂隙与片理中,与绿泥石化、绢云母化共生。硅化沿构造破碎带及两侧分布,主要以脉状、网脉状石英脉产出,而钨钼矿化多沿石英脉内部、边部及其裂隙面发育。

1.5 矿体特征

矿体赋存于休宁组变质砂岩中,主要受 NE 向、NNE 向断裂控制,钨钼矿化主要沿 NE 向、NNE 向断裂派生的羽状张性裂隙充填,形成石英脉型钨矿体或石英脉型钼矿体。矿体多呈细脉状、透镜状产出,走向 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$,倾向 NW,倾角 $64^{\circ}\sim 85^{\circ}$,走向延长 50~570 m,倾向延伸 40~340 m;矿体厚度一般为 0.23~3.33 m,最大厚度为 4.66 m;矿化石英脉体厚度几厘米至几十厘米,延伸几米至几十米,含石英脉密度 1~6 条/m,含脉率为 5%~15%,局部含脉率高达 30%。矿石结构主要为他形晶粒结构、半自形晶粒结构、压碎结构、交代结构。矿石构造主要为细脉状、浸染状、网脉状及斑点状。金属矿物主要为辉钨矿、黑钨矿,少量白钨矿、黄铜矿、黄铁矿。脉石矿物主要为石英,其次为绿泥石、绢云母。矿石自然类型为岩浆期后高温热液阶段形成的原生硫化物矿石,矿石工业类型为钨矿石和钼矿石。

2 土壤地球化学测量

(1)根据研究区主体构造方向及各地质单元特征,确定土壤地球化学测线方向为 145° ,网度为 $200\text{ m}\times 40\text{ m}$,局部重点地段按 $100\text{ m}\times 40\text{ m}$ 网度加密。本次土壤地球化学测量面积为 0.93 km^2 ,共采集样品 350 件,并布设 5%的重复样。

(2)结合类似地区工作经验,取样层位以 B 层中上部为主,样品由采样点周围点线距 1/10 范围内的 3~5 处子样组合而成。采样深度为 20~50 cm,采样介质为亚砂土、亚粘土、粘土质等,样重 300 g。野外采样时,利用 GPS 定位仪和罗盘进行定点,并对采样点及周围的地形、地质、矿化蚀变等情况作详细记录。

(3)样品处理严格按照“干燥—碎样—过筛(40 目)—拌匀—称重($\geq 150\text{ g}$)—装袋—装箱”等工序进行加工与保存,严格防止样品交叉污染,然后送

交实验室分析。

(4)在国土资源部南昌矿产监督检测中心实验室采用等离子体质谱法(ICP-MS)完成土壤样品分析,主要分析 Mo、W、Cu、Sn、Pb、Zn、Au、Ag 等 8 种元素。

3 土壤地球化学测量结果

3.1 土壤地球化学特征

目前确定背景值及异常下限的常见方法有长剖面法、图解法和计算法等,后两者均属于数理统计方法^[22]。研究区土壤地球化学原始数据既不符合正态分布,也不满足对数正态分布,因而确定异常下限前需对原始数据进行必要处理。本文采用常用的迭代剔除法,先将原始数据转换成对数值,再用 $X\pm 3S$ 进行特高值和特低值剔除,直到满足正态分布后再对剩余数据进行统计。

采用中国地质调查局 MeMapGIS6 软件对各元素平均值、标准离差等地球化学参数进行统计,再根据 $T=X+1.5S$ 求得各元素异常下限值,富集系数=平均值/土壤元素丰度,变异系数=标准离差/平均值。统计结果(表 1)显示,W、Cu、Ag、Mo 的标准离差较大,Au、Mo、W 的变异系数较大,W、Ag、Mo、Sn 的富集系数较大,说明 W、Mo、Ag 等元素在土壤中发生了较强的次生富集,局部富集形成矿化,而其它元素分布较均匀。

运用地球化学软件 GeoIPAS 3.2 对研究区土壤样品原始数据进行相关分析(表 2),可知主成矿元素 Mo 与伴生元素 Au、Cu、Ag、Sn 呈正相关,其中 Mo 与 Au、Cu 相关性较高,Mo 与 Au 相关系数最大;W 与 Ag、Sn、Pb、Zn、Cu 呈正相关,其中 W 与 Ag、Sn、Pb 相关性较高,W 与 Ag 的相关系数最大。

为进一步研究土壤中不同元素之间的地球化学特征,应用 GeoIPAS 3.2 软件对土壤样品原始数据进行 R 型聚类分析(图 2)。聚类过程中,Pb、Zn 最先聚类,其次是 Ag、W,中间是 Sn、Cu,最后是 Au、Mo。依据元素聚类次序将 8 个元素分为 3 组。第 1 组由 Pb、Zn 组成,第 2 组由 Ag、W、Sn、Cu 组成,第 3 组由 Au、Mo 组成。截取距离系数 0.5 和 0.7 进行分析,Au、Mo 距离系数 < 0.5 ,Ag、W、Sn、Cu 距离系数 $0.5\sim 0.7$,Pb、Zn 距离系数 > 0.7 ,与按照聚类顺序分成的 3 个元素组合基本一致。

表 1 土壤地球化学测量数据统计

Table 1 Statistics of soil geochemical measurement data

元素	样品数	最小值	最大值	均值	标准离差	异常下限	变异系数	地壳丰度	富集系数
Au	350	0.47	5.75	1.51	0.19	2.9	1.06	1.40	108.11
Ag	350	69.18	3 801.89	380.19	0.35	1 273.5	0.13	80.00	475.24
Sn	350	2.40	26.92	6.46	0.22	13.8	0.27	2.50	258.26
Cu	350	10.23	316.23	43.65	0.35	146.2	0.21	24.00	181.88
Pb	350	19.50	162.18	56.23	0.15	94.4	0.09	23.00	244.50
Zn	350	31.62	371.54	109.65	0.20	218.8	0.10	68.00	161.25
W	350	1.86	309.03	18.20	0.42	77.6	0.33	1.80	1 010.94
Mo	350	0.59	19.50	2.14	0.33	6.7	0.98	0.80	267.25

注: $w(\text{Au, Ag})/10^{-9}$, $w(\text{其他元素})/10^{-6}$, 地壳丰度值引自迟清华等^[23]。

表 2 土壤地球化学数据相关系数矩阵

Table 2 Matrix of correlation coefficients of soil geochemical data

元素	Au	Ag	Sn	Cu	Pb	Zn	W	Mo
Au	1.000							
Ag	0.053	1.000						
Sn	0.013	0.488	1.000					
Cu	0.069	0.382	0.526	1.000				
Pb	-0.015	0.378	0.204	0.185	1.000			
Zn	0.002	0.397	0.191	0.253	0.740	1.000		
W	-0.034	0.581	0.354	0.174	0.321	0.186	1.000	
Mo	0.462	0.092	0.073	0.211	-0.042	-0.049	-0.040	1.000

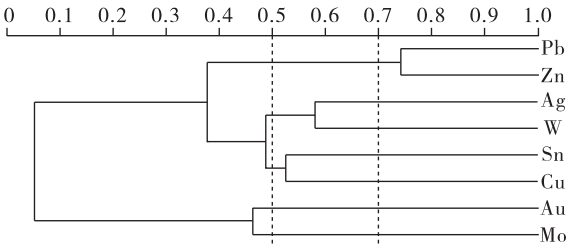


图 2 土壤地球化学元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 R-type clustering analysis dendrogram of soil geochemical elements

3.2 单元素异常特征

为研究土壤地球化学异常在平面上的分布特征,本次采用异常下限值的 1、2、4 倍分别划分异常外带、中带、内带,应用 GeoIPAS 3.2 软件绘制区内 Mo、W 等 8 种元素的单元素地球化学异常图(图 3)。Mo 异常 8 个,异常最大面积为 0.237 km²; W 异常 5 个,异常最大面积为 0.13 km²; Mo、W 异常分带明显,部分显示 3 级浓度分带。

由图 3 可知,研究区土壤地球化学异常以 Mo、W 为主,伴生 Cu、Pb、Au、Ag 异常,局部叠加 Sn、Zn 异常。其中,Mo、W、Cu 异常多呈 NE 向展布,异常分布集中,浓度分带明显,具多个浓集中心;异常主要沿 NE 向断裂 F₂、F₃ 及已知矿体 NE 方向延伸展布,与 NE 向断裂关系密切。Pb、Ag 异常与 Mo、W、Cu 异常展布基本一致,与 NE 向断裂关系密切,但异常面积相对较小,强度相对较弱。Au、Sn、Zn 异常面积小,分布较分散,多分布于主成矿元素外围,与 NE 向断裂关系不大。

部分元素在组合分带中同时出现,这对元素异常在平面上的分带性具有一定影响。研究区元素异常由内向外显示 2 个元素组合,内带元素组合为 Mo-W-Cu-Sn,外带元素组合为 Pb-Zn-Ag-Au,与高温热液矿床中元素组合分布规律基本一致^[24]。

总之,区内 Mo、W 等元素异常强度高、规模大,且各元素之间具有较好的套合性,异常主要沿 NE 向断裂分布,且异常展布方向与已知矿体延伸方向基本一致。

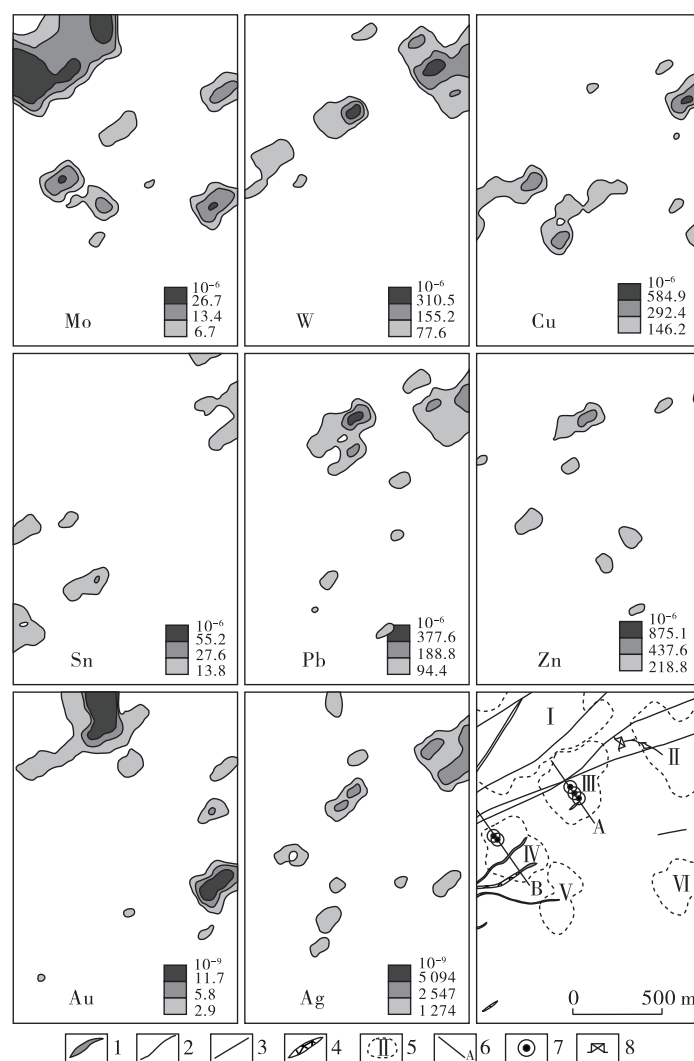


图 3 研究区土壤地球化学测量异常图

Fig. 3 Soil geochemical anomaly maps of the study area

1-岩脉;2-地质界线;3-断层;4-矿体;5-综合异常及编号;6-勘探线及编号;7-钻孔;8-老硐

3.3 综合异常特征

矿体分布往往受多种因素影响,在研究矿体地球化学异常特征、圈定综合异常时,需综合考虑相关因素^[15-17]。综合考虑研究区各元素的次生富集特征,主成矿元素 Mo、W 与伴生元素的相关性,元素 R 型聚类特征,单元素异常分布特征、分布规律及分带性等因素后,结合矿区地形、地质、矿化等特征对综合异常进行分析,借助 Mapgis 软件,共圈定出 6 个综合异常 (I-VI),各综合异常特征如图 3 所示。

3.3.1 综合异常 I

分布在研究区西北部,向北、向西均延伸出区外,出露地层主要为震旦纪蓝田组,岩性为炭质页

岩、泥岩、泥晶白云岩、微晶灰岩、钙质页岩;次为寒武纪华严寺组和皮园村组,岩性为灰岩和硅质岩、硅质页岩。NE 向断层 F_1 、 F_2 以及 NNE 向断层 F_4 从异常边部穿过。

异常呈 NE 向不规则状,面积为 0.274 km^2 。异常以 Mo、Au 为主,伴生 W、Ag。虽异常面积较大,但元素组合较简单,套合性较差。虽 Mo、Au 异常面积较大,但 W、Ag 仅具有一级浓度分带,异常面积较小。由于异常面积大,导致元素 ΣNAP 值较大。

3.3.2 综合异常 II

分布在研究区东北部,向东延出区外,出露地层主要为南华纪休宁组,岩性为变质砂岩、粉砂岩、泥岩;次为南沱组,岩性为含砾砂泥岩、粉砂质泥

岩、含砾岩屑石英细砂岩、含砾粉砂质泥岩,休宁组与南沱组接触界线从异常中部穿过。NE 向断层 F_3 从异常边部穿过,与成矿关系密切。

异常呈 NW 向不规则状,面积为 0.142 km^2 。异常以 W、Ag、Pb、Cu、Mo 为主,伴生 Au、Sn、Zn。异常面积大,元素组合复杂,浓集中心明显,各异常套合性较好。W、Cu 显示三级浓度分带,Ag、Pb、Mo 均显示二级浓度分带,且为该区最大的 W、Ag 异常,元素 ΣNAP 值较大。

3.3.3 综合异常 III

分布在研究区中北部,出露地层、岩性与综合异常 II 一致,且休宁组与南沱组接触界线从异常中部穿过。NE 向断层 F_3 从异常中部穿过,与成矿关系密切。

异常呈 NE 向不规则状,面积为 0.121 km^2 。异常以 Pb、W、Ag、Mo 为主,伴生 Zn、Au、Cu。异常面积较大,元素组合复杂,浓集中心明显,套合性较好。Pb、W 显示三级浓度分带,Zn、Ag 显示二级浓度分带,为该区最大 Pb 异常,元素 ΣNAP 值较大。

3.3.4 综合异常 IV

分布在研究区西部,出露地层主要为南华纪休宁组,岩性为变质砂岩、粉砂岩、泥岩。NE 向断层 F_3 在异常外围穿过,已知矿体向北东延伸进入该异常。

异常呈 NE 向椭圆状,面积为 0.093 km^2 。异常以 Mo、Cu、W 为主,伴生 Sn、Ag、Zn。异常面积一般,元素组合复杂,浓集中心明显,异常套合性较好。Mo 显示三级浓度分带,Cu 显示二级浓度分带,元素 ΣNAP 值一般。

3.3.5 综合异常 V

分布在研究区中部,出露地层、岩性与综合异常 IV 一致。异常内部及外围构造不发育,已知矿体向东延伸进入该异常。

异常呈 NNE 向“8”字型,面积为 0.060 km^2 。异常以 Mo、Cu 为主,伴生 Sn、Ag、Pb。异常面积较小,元素组合一般,浓集中心较分散,套合性一般。Mo、Cu、Sn 显示二级浓度分带,而 Ag、Pb 仅具有一级浓度分带,元素 ΣNAP 值较小。

3.3.6 综合异常 VI

分布在研究区东部,向东延出区外,出露地层、岩性与综合异常 IV 一致。异常内部及外围构造、矿化均不发育。

异常呈 NE 向椭圆状,面积为 0.059 km^2 。异常以 Mo、Au 为主,伴生 Ag、Cu。异常面积较小,元素组合简单,浓集中心明显,异常套合性较好。Mo、Au 显示三级浓度分带,而 Ag、Cu 仅具有一级浓度分带,元素 ΣNAP 值较小。

4 综合异常优选与工程验证

4.1 综合异常优选

在分析研究区元素土壤地球化学、单元素异常和综合异常特征的基础上,结合矿区地质条件、控矿因素和已知矿体特征,对综合异常进行优选^[15-17]。

研究区主体构造呈 NE 向,且 NE 向断裂为主要控矿构造。中部已知矿体呈 NE 向延伸,且已延伸进入 IV 异常。对比各综合异常,其中 II、III、IV 综合异常面积较大,主成矿元素 Mo、W 异常面积较大,元素组合复杂,浓集中心明显,异常套合性较好,主成矿元素均显示二、三级浓度分带,伴生元素较多, ΣNAP 值较大。对各综合异常打分、排序,II、III、IV 综合异常排序依次为 1、2、3(表 3)。

因此,本次优选出综合异常 II、III、IV 作为找矿靶区进行工程验证(图 3)。

4.2 工程验证

对综合异常 II 主要采用地表槽探和深部老硐进行验证。探槽内见多条矿化石英脉,其中见黑钨矿化、黄铁矿化及褐铁矿化,但矿化相对较弱;样品化学分析结果表明, WO_3 品位最高为 0.012% , WO_3 品位最低为 0.005% 。老硐中见多条矿化石英脉(图 4),其内见黑钨矿化、辉钼矿化、黄铜矿化、黄铁矿化及磁黄铁矿化,局部见银矿化。根据工业指标圈出多条钨矿体,单样 WO_3 品位最高为 1.70% , WO_3 品位最低为 0.08% ,见矿厚度为 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}$ 。

对综合异常 III 主要采用地表槽探和深部钻探工程进行验证。探槽内见多条矿化石英脉,其中见黑钨矿化、黄铁矿化、褐铁矿化及少量黄铜矿化;样品化学分析结果表明, WO_3 品位最高为 0.14% , WO_3 品位最低为 0.005% ,并圈出 1 条钨矿体。在异常中部布置 3 个钻孔对深部进行验证(图 5a),孔内见数条矿化石英脉,其内辉钼矿化、黑钨矿化、黄铁矿化、黄铜矿化及磁黄铁矿化发育;辉钼矿化主要沿裂隙分布,黑钨矿化主要沿石英脉分布;依据工业指标,共圈出钼矿体 13 条、钨矿体 3 条;单工程

表 3 研究区土壤地球化学综合异常特征表

Table 3 Characteristics of composite soil geochemical anomaly in the study area

异常编号	综合异常		Mo 异常		W 异常		元素组合程度		浓集中心及异常套合性	
	面积/km ²	得分	面积/km ²	得分	面积/km ²	得分	元素组合	得分	程度	得分
I	0.274	6	0.237	6	0.008	3	Mo-Au-W-Ag	2	差	1
II	0.142	5	0.032	3	0.130	6	W-Ag-Pb-Cu-Mo-Au-Sn-Zn	6	好	4
III	0.121	4	0.023	1	0.047	5	Pb-W-Ag-Mo-Zn-Au-Cu	5	好	4
IV	0.093	3	0.036	4	0.038	4	Mo-Cu-W-Sn-Ag-Zn	4	较好	3
V	0.060	2	0.028	2	0.000	2	Mo-Cu-Sn-Ag-Pb	3	一般	2
VI	0.059	2	0.044	5	0.000	1	Mo-Au-Ag-Cu	1	较好	3

异常编号	浓度分带		伴生元素		ΣNAP 值		成矿地质条件		评序结果	
	分带	得分	个数	得分	数值	得分	优劣	得分	总分	名次
I	3	3	2	1	1.83	6	一般	4	32	4
II	3	3	6	6	1.29	5	好	8	46	1
III	3	3	5	5	0.57	4	好	8	39	2
IV	3	3	4	4	0.48	3	较好	6	34	3
V	2	2	4	3	0.27	2	一般	4	22	5
VI	3	3	3	2	0.15	1	较差	2	20	6

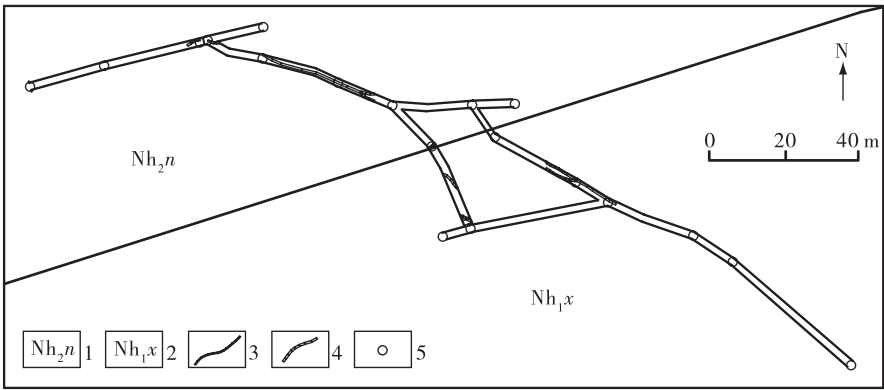


图 4 平硐中段平面图

Fig. 4 Plane map at the middle segment of the adits

1-南沱组;2-休宁组;3-地质界线;4-矿化石英脉;5-导线点

Mo 品位为 0.03%~0.63%,见矿厚度为 1.0~2.35 m;单工程 WO₃ 品位为 0.17%~2.97%,见矿厚度为 1.0~1.78 m。

由于地表植被茂盛,覆盖层较厚,综合异常Ⅳ主要采用深部钻探工程进行验证。在异常中部布置 2 个钻孔对深部进行验证(图 5b),孔内见数条矿化石英脉发育,其内辉钼矿化、黑钨矿化、黄铁矿化、黄铜矿化及磁黄铁矿化发育,且辉钼矿化、黑钨矿化与石英脉关系密切;辉钼矿化主要沿裂隙分布,黑钨矿化主要沿石英脉分布;依据工业指标,共圈出钼矿体 7 条、钨矿体 3 条;单工程 Mo 品位为

0.06%~0.51%,见矿厚度为 1.0~2.36 m;单工程 WO₃ 品位为 0.19%~2.19%,见矿厚度为 1.0 m。

4.3 找矿前景分析

良坑钨钼矿区位于赣东北断裂 SE 侧、钦杭成矿带北部多金属成矿带内,成矿地质条件优越。良坑钨钼矿成因类型为石英脉型钨钼多金属矿床,矿体主要受 NE 向、NNE 向断裂控制。矿区大面积出露休宁组赋矿地层,NE 向、NNE 向断裂发育,燕山期黑云正长花岗岩侵入,硅化、黄铁矿化等围岩蚀变强烈(图 1)。

土壤地球化学测量圈出多处综合异常,且其主

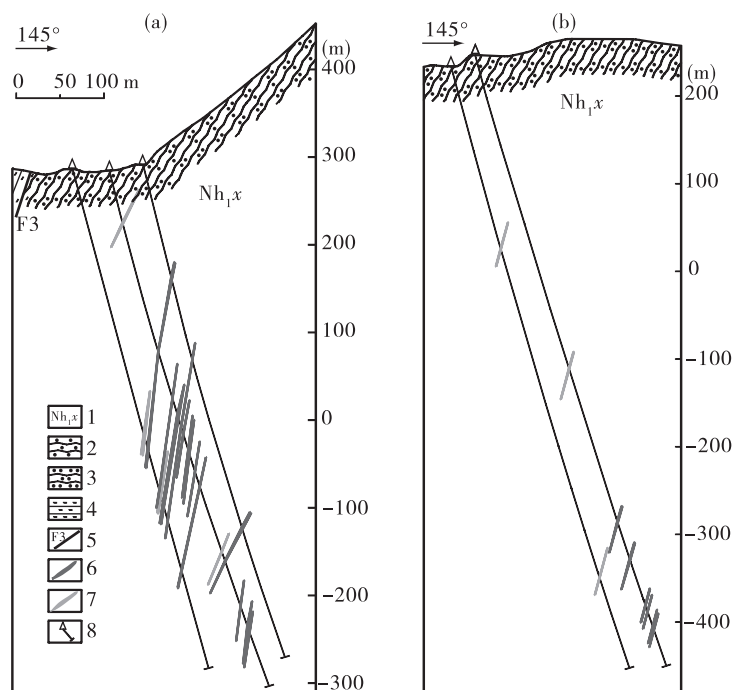


图 5 勘探线剖面简图

Fig. 5 Simplified geologic sections of exploration lines

1-休宁组;2-变质砂岩;3-变质粉砂岩;4-泥岩;5-断层;6-钼矿体;7-钨矿体;8-钻孔

要沿 NE 向断裂呈带状展布。通过工程验证,在Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ综合异常内均发现较好的钼矿体和钨矿体(图 4,图 5),且矿体延伸可观、矿化蚀变强烈,说明其为有利的综合异常。

下一步应按照钼钨矿床勘查工程间距对已发现的矿体沿走向、倾向进行追索控制,钼、钨资源量可能实现较大突破。根据目前综合异常验证结果,可对其他几处异常进行探索。

5 结论与建议

(1)土壤地球化学测量可以缩小找矿范围,快速确定找矿方向。本次共圈定 Mo 异常 8 处、W 异常 5 处,综合异常 6 处,优选出 3 处最有利的综合异常。对Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ等 3 处综合异常进行工程验证和深部探索,发现数条钼矿体和钨矿体,说明土壤地球化学测量在良坑钼钨矿区勘查中具有较好的应用效果。

(2)地表调查和工程揭露表明,与已发现的赣东北断裂 NW 侧矿床(点)不同,良坑钼钨矿床与断裂关系密切。钼矿体和钨矿体受 NE 向、NNE 向断裂控制,前者尤甚。矿体多呈透镜状、细脉状,矿化

主要为辉钼矿化、黑钨矿化,主要沿 NE 向、NNE 向断裂及其派生的次级裂隙分布。矿床成因类型为石英脉型钼钨多金属矿床。

(3)由于本次探矿工程数量有限,矿体缺乏系统控制,下一步应加密勘查工程,进一步精确圈定钼、钨矿体范围。应注意黑云母花岗岩与围岩接触带中的矿体以及新的矿床类型,加强断裂控矿、成矿规律及成矿结构体系研究,进一步指导良坑钼钨矿区矿产勘查工作。此外,除了在赣东北断裂北西侧开展地质调查工作外,还应加强赣东北断裂南东侧矿产资源的勘查及研究。

参考文献

- [1] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报,2011,85(5):636-658.
- [2] 陈芳,杜建国,许卫,等. 钦杭成矿带皖浙赣相邻区成矿地质背景对比[J]. 金属矿山,2013,43(3):111-115.
- [3] 杨明桂,王光辉,徐梅桂,等. 江西省及邻区滨太平洋构造活动的基本特征[J]. 华东地质,2016,37(1):10-18.
- [4] 万大理. 江西富家坞斑岩铜(钼)矿床地球化学异常特征[J]. 地质与勘探,1995,31(4):47-51.

- [5] 於崇文. 江西德兴斑岩铜矿田成矿作用的流体动力学分形弥散机制[J]. 地质论评, 1995, 41(3): 211-220.
- [6] 叶德隆, 叶松, 王群, 等. 德兴式斑岩型矿床的构造—岩浆—成矿体系[J]. 地球科学, 1997, 22(3): 252-256.
- [7] 曾键年, 范永香, 谭铁龙. 江西金山金矿床构造控矿特征[J]. 地质与勘探, 1998(1): 1-6.
- [8] 张文淮, 张德会, 刘敏. 江西银山铜铅锌金银矿床成矿流体及成矿机制研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 242-250.
- [9] 李晓峰, 王春增, 易先奎, 等. 德兴金山金矿田不同尺度构造特征及其与成矿作用的关系[J]. 地质论评, 2007, 53(6): 774-784.
- [10] 潘小菲, 宋玉财, 王淑贤, 等. 德兴铜厂斑岩型铜金矿床热液演化过程[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1929-1950.
- [11] 王翠云, 李晓峰, 肖荣, 等. 德兴朱砂红斑岩铜矿热液蚀变作用及元素地球化学迁移规律[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3869-3886.
- [12] 翁望飞, 丁勇. 德兴含铜埃达克质斑岩的地球化学特征、成因及地质意义[J]. 资源调查与环境, 2015, 36(2): 104-115.
- [13] 李晓峰, 胡瑞忠, 韦星林, 等. 江西德兴地区主要矿床类型、成矿地质特征及其成因关系[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 82-90.
- [14] 罗正传. 土壤地球化学测量在智利阿尔法矿区的应用效果[J]. 物探与化探, 2010, 34(4): 472-475.
- [15] 王秋印, 程华生, 朱梅花, 等. 土壤地球化学测量在内蒙古东乌旗查干楚鲁银铅锌多金属矿区的找矿效果[J]. 物探与化探, 2009, 33(6): 652-656.
- [16] 孙社良, 徐青峰, 张寿庭, 等. 河南栾川地区陈南沟钼矿区土壤地球化学异常的特征与评价[J]. 地质通报, 2011, 30(11): 1785-1793.
- [17] 席明杰, 马生明, 刘崇民, 等. 内蒙古准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学异常特征与评价[J]. 地质与勘探, 2013, 49(2): 337-345.
- [18] 刘宝山, 赵立国. 黑河市大新屯土壤地球化学测量应用及找矿效果[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 152-156.
- [19] 张招崇, 简平, 魏罕蓉. 江西三清山国家地质公园花岗岩 SHRIMP 年龄、地质—地球化学特征和岩石成因类型[J]. 地质论评, 2007, 53(Z): 28-40.
- [20] 杨明桂, 吴富江, 黄志忠, 等. 江西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 680-684.
- [21] 周济元, 肖惠良. 成矿结构体系及其钨矿找矿意义[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(2): 110-119.
- [22] 王崇云. 地球化学找矿基础[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 15-60.
- [23] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 81-85.
- [24] 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 18-20.

Application of soil geochemical survey in exploration of the Liangkeng Mo-W ore district in northeastern Jiangxi Province

SUN She-liang¹, CHEN Shi-hai², LI Yong-ming², YANG Xi-hao²,
ZHU Chang-jie², NIU Jian-zhong², ZENG Fan-miao²

(1. Guangdong Geologic Survey Institute, Guangzhou 510080, China;

2. Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China)

Abstract: Liangkeng Mo-W ore district is located in the southeast of the fault belt in northeastern Jiangxi and within the poly-metallic metallogenic belt of the northern Qin-Hang mineralization belt. It has an excellent metallogenic condition. Based on the geological characteristics of the Liangkeng Mo-W deposit including geomorphology, geology and mineralization, this paper defines six integrated anomalous areas using the soil geochemical anomalies. The three advantageous anomalous areas were selected to carry out engineering testing, and several Mo-bearing ore bodies and W-bearing ore bodies have been found. Promising exploration results have been obtained, and this will expand a new field for prospecting in the southeastern part of the fault belt. Therefore, this study shows that soil geochemical measurement has significant application effects in the prospecting of the Liangkeng Mo-W ore district and will provide some references for future prospecting on the both sides of the fault belt in northeastern Jiangxi Province.

Key words: Mo-W deposit; structure; soil geochemistry; integrated anomaly; northeastern Jiangxi Province