

doi: 10.11720/wtyht.2015.6.07

张笑天, 潘家永, 刘国奇, 等. 江西玉华山火山盆地瑶上坑地区土壤地球化学特征与评价[J]. 物探与化探, 2015, 39(6): 1138–1143. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.07>

Zhang X T, Pan J Y, Liu G Q, et al. Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies of Yaoshangkeng area in Yuhuashan volcanic basin, Jiangxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1138–1143. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.07>

江西玉华山火山盆地瑶上坑地区 土壤地球化学特征与评价

张笑天^{1,2}, 潘家永¹, 刘国奇¹, 刘颖¹

(1. 东华理工大学 核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013; 2. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130000)

摘 要: 对瑶上坑地区土壤元素含量进行数学地质分析及单元素异常评价可知, 研究区土壤中 Cu 和 Mo、Pb 和 Zn 具有良好的亲和性, 其中 Cu 和 Mo 的异常范围一致性较好, 异常强度高, 规模大, 主要分布于岩体与老变质岩接触带两侧, 可能与不同岩性界面充填的中高温成矿热液有关。研究区共圈定了 4 个土壤地球化学综合异常块段, 对 II 号综合异常块段进行工程查证, 发现元素异常高值与石英破碎带有关的张性断裂关系密切。建议对其他 3 个综合异常块段开展相关工程查证, 从而确定各元素异常与北东向断裂构造、岩性接触带之间的关系。

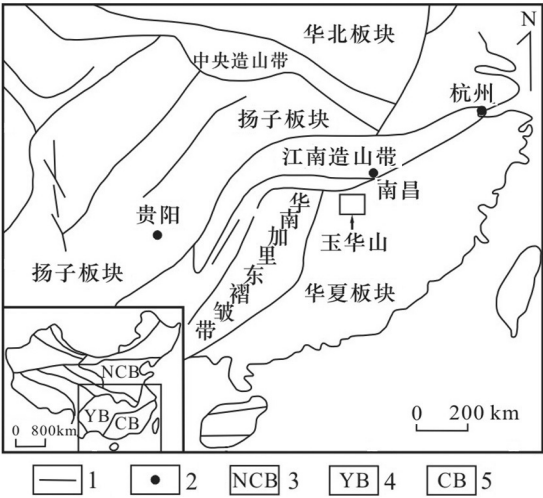
关键词: 玉华山火山盆地; 土壤地球化学; 数学地质分析; 异常查证

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)06-1138-06

玉华山火山盆地位于钦杭成矿带北东段^[1], 该成矿带及其旁侧矿床可归纳为两个成矿系列, 即新元古代海底喷流沉积型铜锌矿床成矿系列、燕山期与花岗岩有关的钨锡铜铅锌多金属矿床成矿系列^[2]。钦杭成矿带是华南成矿区的重要组成部分, 带内金、铜、铅、锌、铁等紧缺矿产资源找矿前景良好, 中国地质调查局于 2009 年底将该成矿带纳入全国重点成矿区带^[3-4]。笔者根据前期 1:5 万水系沉积物地球化学测量工作的成果, 为查证并进一步缩小找矿区域, 对该区开展了 1:1 万土壤地球化学测量工作, 取得了显著的成果。

1 地质概况

玉华山火山盆地在大地构造上地处扬子板块与华夏板块结合带南侧, 罗霄褶皱系于山—九连山隆起带之上, 遂川—德兴深断裂南东侧(图 1)。该火山盆地呈长轴近南北向的椭圆形, 面积约 240 km²^[5], 属火山塌陷盆地, 盆地主体为火山熔岩。盆地内火山岩系由酸性、中酸性火山熔岩、火山碎屑岩及少量沉积碎屑岩构成, 其中侵出—溢流相的碎斑熔岩出露面积最大, 为火山岩主体岩性。燕山期, 库拉—太平洋板块向亚洲板块快速俯冲, 使得加里东



1—断裂; 2—地名; 3—华北板块; 4—扬子板块; 5—华夏板块

图 1 玉华山盆地大地构造位置(据参考文献[6]修改)

期深断裂重新活动, 形成北东向走滑构造体系, 受此影响发生了大规模的中—酸性岩浆的喷发、喷溢和浅层侵入活动, 形成了玉华山火山塌陷盆地。

瑶上坑研究区位于玉华山火山盆地东侧, 面积 12.4 km²。区内植被发育, 基岩露头少, 浮土覆盖较厚, 故土壤地球化学测量方法可以在本区实行。区

内出露地层主要为新元古界千枚岩、云母片岩,分布于研究区东南角,与岩体呈侵入接触关系,并发育强烈的角岩化、红柱石化。岩浆岩主要由上侏罗统中细粒含斑二云钾长花岗岩、中粗粒斑状黑云二长花岗岩、细粒少斑二云二长花岗岩组成。区内构造以断裂构造为主,主要为北东向,少数呈北东东向,以硅化破碎带形式产出,其中 F₄、F₅、F₆、F₇ 与异常区关系最为密切。区内可见多种矿化、蚀变类型,全区普遍发育褐铁矿化、赤铁矿化、轻微黄铁矿化、云英岩化、硅化,局部发育绢云母化、绿泥石化,个别元素异常浓集区发育辉钼矿化、黄铜矿化,且硅化强烈。

2 1 : 5 万水系沉积物特征

2010 年开展了玉华山地区 912 km² 范围内 1 : 5 万水系沉积物测量工作,对采集的 3 373 件水系沉积物样品进行分析,测试元素包含 Au、Ag、As、Be、Cu、Hg、Mo、Pb、Sb、Sn、Th、U、W、Y、Zn,圈定甲级综合异常 3 个,乙级综合异常 4 个,丙级综合异常 23 个,并划分了 5 个重点找矿区域。瑶上坑研究区正是其中的铜多金属找矿区,该区也是磁异常区域,区内发现多条构造蚀变带,蚀变带中 Cu、Pb、Zn 矿化明显,是寻找中—低温铜多金属热液矿床最有利的地区。在此基础上,2011 年对瑶上坑地区开展了 1 : 1 万地质填图、1 : 1 万土壤化探测量等工作,取得了显著成果。

3 样品采集与处理

瑶上坑地区 1 : 1 万土壤地球化学测量采用 100 m×40 m 规则测网,共布置测线 43 条,测线方向 135°,共采集土壤样品 2 022 个。野外工作中采用手持 GPS 与罗盘定位测点,GPS 定点时误差控制在 5 m 以内。样品要求在所定点 3 m 范围内,由 2~3 个点采集组成一个样品。淋积层(B 层)中元素含

量稳定,一般不受污染,能够较明显地反应矿化信息,故本次采样层位是淋积层,深度以 25~35 cm 为佳。采样过程中避免各种污染,样品袋一律经过洗涤后使用。取样质量以保证过筛(60 目)后混合均匀,送往测试的单个样品质量不少于 150 g。过筛时每两个样品之间都要对筛子、台秤等物件进行清理,每个样品的编号、登记、送样单等确保准确无误。样品分析单位是国土资源部武汉矿产资源监督检测中心,其中 Cu、Pb、Zn 分析采用原子吸收光谱法,Mo 分析采用电感耦合等离子体质谱方法(ICP-MS)。技术要求按照中国地质调查局地质调查技术标准《矿产远景调查技术要求》(DD2010-05)与《土壤地球化学测量》(DZ/T0145-94)严格执行。

4 土壤地球化学异常特征

4.1 土壤地球化学特征

对瑶上坑地区 2 022 件土壤样品的原始分析数据进行统计分析。结果显示,区内强烈富集的元素为 Pb(丰度系数>5),Mo、Zn 为富集元素(1.2~5),Cu 属正常元素(0.7~1.2)(表 1)。综合来看,Mo 和 Pb 的丰度系数较高,表明该元素相对富集;Cu 和 Mo 的变异系数较大,说明其分布范围广且不均匀,参与了次生富集成晕作用及过程,易形成地球化学异常,成矿可能性很大。

运用 GeoExpl 软件对研究区内土壤样品原始数据进行相关分析(表 2),从分析结果可以得知:Mo 与 Cu、Pb 呈正相关关系,其中 Mo 与 Cu 相关系数较大;Cu 与 Zn 之间呈正相关关系。综合来看,Cu、Pb、Zn 和 Mo 之间基本呈正相关,反映了主要成矿元素的次生组合特征,可以作为本区寻找多金属矿的找矿指示元素

为进一步了解区内各元素的土壤地球化学特征关系,运用 SPSS 软件对土壤样品原始数据采用欧

表 1 瑶上坑研究区土壤地球化学测量数据统计

元素	地壳丰度 ^[7]	算数平均值	最大值	最小值	标准差	丰度系数	变异系数/%
Cu	38.80	39.53	345.4	2.10	44.70	1.02	113
Mo	0.87	3.59	82.2	0.16	5.07	4.13	141
Pb	6.15	60.86	348.4	2.34	23.94	9.90	39
Zn	72.40	91.37	290.0	29.50	31.21	1.26	34

注:元素含量单位为 10⁻⁶。表 5 同

表 2 瑶上坑研究区土壤元素相关系数矩阵

元素	Cu	Mo	Pb	Zn
Cu	1.000			
Mo	0.269	1.000		
Pb	-0.132	0.197	1.000	
Zn	0.326	-0.070	-0.149	1.000

拉距离倒数法标准化变换后,进行 R 型聚类分析,获取元素聚类分析谱系(图 2)。在聚类过程中,Pb、Zn 最先聚类,其次是 Cu、Mo。依据聚类次序可将元素分为两个组合:第一组为 Pb 和 Zn,距离系数小于 5,二者均属亲铜元素,在许多热液型硫化物矿

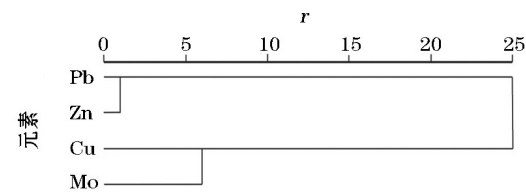


图 2 瑶上坑地区土壤元素 R 型聚类分析谱系

床中 Cu、Pb、Zn 共生,表现出很好的亲和性;第二组为 Cu 和 Mo,距离系数介于 5~10,相关性易较好。图中显示的元素亲疏程度符合元素整体的相关关系,与野外地质工作中发现的,辉钼矿化与黄铜矿化伴生等矿化信息一致。

综合因子可以表示代表某一特定地质成因的元素组合^[8-10]。对区内土壤元素进行因子分析,从表 3 方差贡献值(特征根百分比)可以看出,各元素没有一个主因子所占的方差贡献超过 50%,说明各元素的综合信息较为分散,也说明该区土壤中 4 种元素的物质来源和成因比较复杂。选取前 3 个因子进行分析,其累积贡献率达 87.154%,可以相对全面的反应 4 个元素的原始信息。所得旋转因子载荷矩阵见表 4。从表中可以看出,主因子 F1(Cu、Mo)代表这两种元素的次生富集组合,二者可能有相似的迁移和富集过程。区内多处出露 Cu、Mo 的硫化物(黄铜矿化、辉钼矿化),这两种矿物的形成均与中—酸性岩和中高温热液的充填有关,推测为燕山期区内大规模构造运动引发的岩浆活动的产物,且 Cu 和 Mo 的异常范围应出现明显的叠加现象。因子 F2(Zn)、F3(Pb)明显为独立因子。

表 3 瑶上坑地区土壤元素因子分析初始特征值

因子	特征根	特征根百分比/%	累积百分比/%
1	1.427	35.676	35.676
2	1.257	31.421	67.098
3	0.802	20.057	87.154
4	0.514	12.846	100

表 4 瑶上坑地区旋转因子载荷矩阵

元素	F1	F2	F3
Cu	0.649	0.539	-0.246
Mo	0.89	-0.142	0.196
Pb	0.078	-0.06	0.977
Zn	-0.06	0.946	-0.029

4.2 元素背景值和异常下限值的确定

异常下限值的求取办法多种多样且过程复杂^[11-15],对于不同的元素背景应该选择不同的异常下限求取方法^[15]。利用 GeoExpl 软件对研究区内样品元素进行分析后得知,研究区各元素数据基本不服从正态分布(或对数正态分布),故本次研究采

用剔除异常点的正态分布异常下限处理方法^[16-20]。为避免特高含量对元素背景值及异常下限的影响,采用平均值加(减) 2.5 倍标准偏差的方法对数据进行剔除,直至无特高值存在为止,求出最终数据集的算数平均值和标准离差,以剔除异常点后的算数平均值作为元素背景值,考虑研究区的成矿地质条件,异常下限值取背景值加 2 倍标准差(表 5)。

表 5 瑶上坑地区土壤各元素统计特征值及异常下限值

元素	样品数	剔除数	平均值	标准差	异常下限
Cu	2022	270	25.63	19.06	63.75
Mo	2022	480	1.76	0.95	3.65
Pb	2022	73	58.03	16.95	91.93
Zn	2022	136	85.71	22.58	130.86

4.3 单元素异常评价

依据各元素异常特征进行异常浓度分带,其中 Cu、Mo 外带值取异常下限值,中带为 2 倍异常下限值,内带为 4 倍异常下限值;Pb、Zn 外带为异常下限值,中带为异常下限值加 1 倍标准差,内带为异常下限值加 2 倍标准差。

4.3.1 Cu 土壤地球化学异常特征

区内 Cu 样品分析数据差别较大,变异系数为 113%,最大值是地壳丰度的 8.9 倍,是异常下限值的 5.4 倍。Cu 异常区总体呈北东向沿庙前单元与万源岩组上段岩性界面展布,主要在岩体的内接触带。北东向主断裂 F₇ 走向与异常区长轴走向基本一致,紧邻异常区且局部穿过,与异常关系较密切,另有两条小断裂 F₅、F₆ 穿过区内中东部小异常区(图 3)。异常区可见辉钼矿化、黄铜矿化、褐铁矿化,蚀变类型主要有绢云母化、钾长石化、绿泥石化、硅化等。

4.3.2 Mo 土壤地球化学异常特征

Mo 异常是区内强度最高、规模最大的异常,有 549 个测点中 Mo 含量大于异常下限值,最大值为 82.20×10⁻⁶,是异常下限值的 22.5 倍。该异常沿庙前单元与蕉坑单元岩性界面分布,其中绝大部分分布于庙前单元一侧。Mo 主要可分为 3 个异常区,总体走向呈北东向,其中 1 号异常区面积最大,异常中心区域野外可见辉钼矿化,成矿条件优越。主断裂 F7 穿过 1 号、2 号异常区且走向与两者异常中心连线相近,与异常关系最为密切,F₅、F₆ 穿过 3 号异常区,与异常关系亦较密切。异常区内可见辉钼矿化、黄铜矿化、褐铁矿化,蚀变类型主要为赤铁矿化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、硅化等。Mo 异常连续性好,分布面积广,是区内成矿潜力最大的矿种。

4.3.3 Pb 土壤地球化学异常特征

Pb 土壤地球化学原始数据丰度系数为 9.9,是

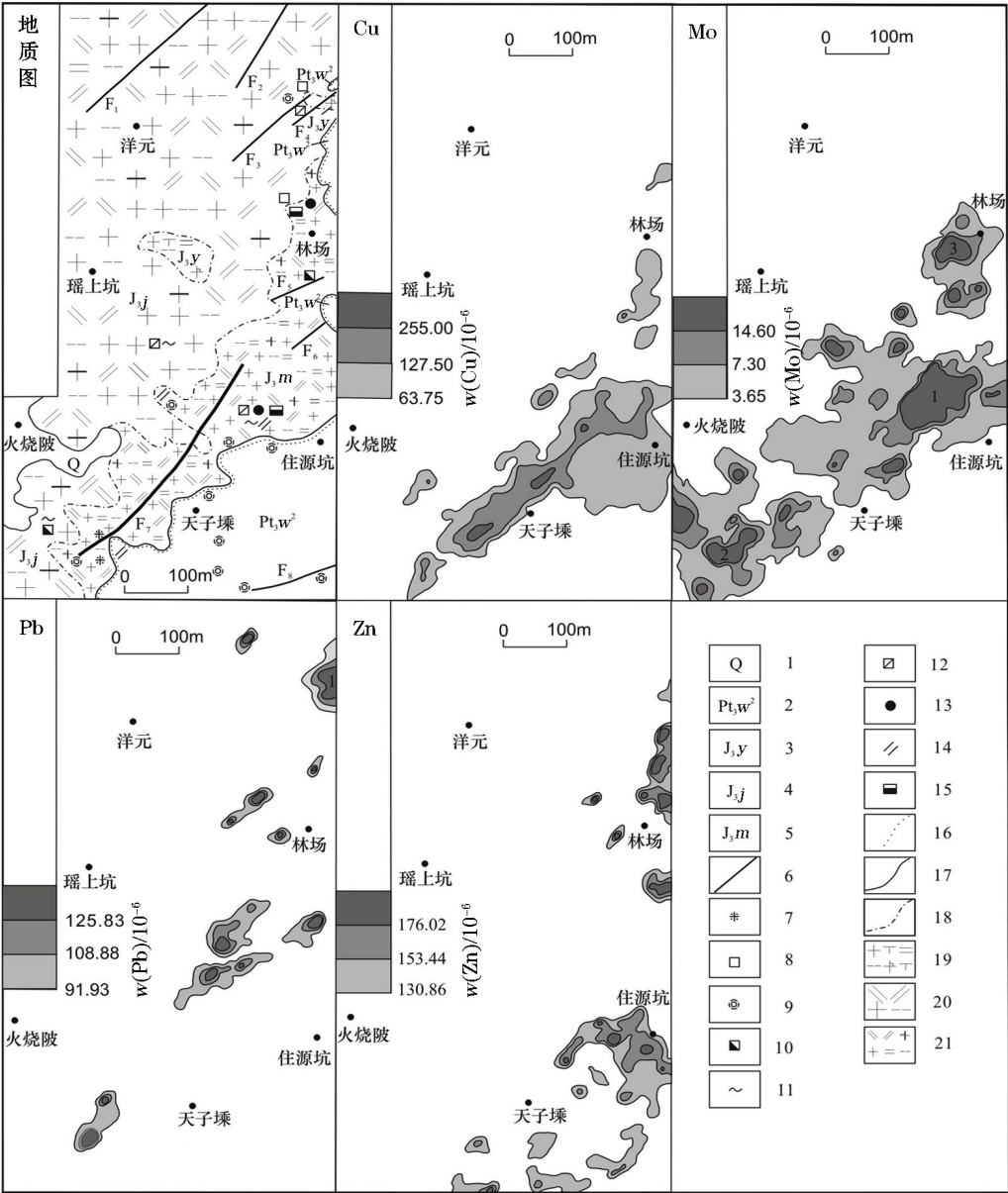


图3 瑶上坑地区土壤地球化学测量单元元素异常

4 种元素中最高的,最大值为 348.4×10^{-6} ,是地壳丰度的 56.7 倍。异常区较为分散,连续性较差,总体沿庙前单元与蕉坑单元岩性界面分布。其中 1 号异常区内岩性较为复杂,出露有中粗粒斑状黑云二长花岗岩、中细粒含斑二云钾长花岗岩及千枚岩、云母片岩,其他异常区主要分布在细粒少斑二云二长花岗岩中。鉴于中细粒含斑二云钾长花岗岩及变质岩在研究区内其他位置对 Pb 异常贡献不大,初步判定两者与 Pb 异常无关。而异常高值区均有北东向断裂构造(F_4 、 F_6 、 F_7)穿过,可以认为 Pb 的异常与构造关系最为紧密。

4.3.4 Zn 土壤地球化学异常特征

区内 Zn 土壤地球化学数据算术平均值为 91.37×10^{-6} ,最大值 290×10^{-6} ,是最小值的近 10 倍。异常区均沿庙前单元与万源岩组上段岩性界面分布,分布较分散,且主体位于外接触带,可以推测万源岩组上段老变质岩与 Zn 异常的关系最为密切。异常区与构造关系不大,区内可见蚀变类型主要为硅化、角岩化等。

4.4 综合异常评价

通过本次土壤地球化学测量工作,发现了 4 个土壤地球化学综合异常块段,由南向北可分为 I、

Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ号(图4),其中Ⅰ和Ⅱ号异常强度相对较高,异常中心叠加明显,规模较大,是成矿最为有利的位置。

Ⅰ号土壤地球化学综合异常块段中,各元素异常强度相对较高,出现异常连续叠加现象,具有较好的浓集中心。块段内岩性自西向东依次为中粗粒斑状黑云二长花岗岩、细粒少斑二云二长花岗岩和千枚岩、云母片岩。断裂F₇南西端延伸至该块段内,

张性裂隙被硅化物充填,沿断裂两侧发育不同程度的硅化、云英岩化,蚀变类型有绢云母化、绿泥石化等。该块段拟定为2级找矿靶区。

Ⅱ号综合异常块段规模最大,岩性以细粒少斑二云二长花岗岩为主,各元素异常强度高,异常叠加明显且连续,异常叠加区往往也是各元素异常浓集区。该异常块段与断裂F₇密切相关,构造裂隙发育且充填石英脉,云英岩化、硅化强烈。块段内发育辉钼矿化、黄铜矿化、赤铁矿化、绢云母化、绿泥石化。矿化位置与元素异常浓集中心位置吻合,说明该块段土壤地球化学测量异常为有效的地质异常,是区内最为有利的找矿区域,故将其定为1级找矿靶区。

Ⅲ号块段面积较小,异常叠加在3个独立的区域,在块段内呈分散分布,但仍应引起一定重视。矿化类型有辉钼矿化、黄铜矿化和黄铁矿化。Ⅳ号块段规模最小,为Pb和Zn异常的叠加,由断裂F₃控制,块段内可见黄铁矿化、赤铁矿化和硅化。将Ⅲ和Ⅳ号异常块段定为3级找矿靶区。

5 异常查证

在Ⅱ号异常块段内布置1:500的实地剖面测量,加上少量剥土工程,在剖面上以10m为间距采取土壤重复样进行分析,制作化探异常综合剖面(图5)。通过剖面测量,发现围岩被若干晚期细晶岩脉侵入,证实岩浆活动较频繁,并发育黄铁矿化和硅化、云英岩化等蚀变;石英脉、石英破碎带附近云英岩化、硅化强烈,离脉体越远云英岩化越弱;部分石英脉出现晶洞,是张性断裂标志。石英脉内见辉钼矿化,且由图5也能看出,在与石英破碎带有关的张性断裂周围,Cu和Mo的含量也是最高的,是异常的最高地段,也是下一步工作的重点区域。

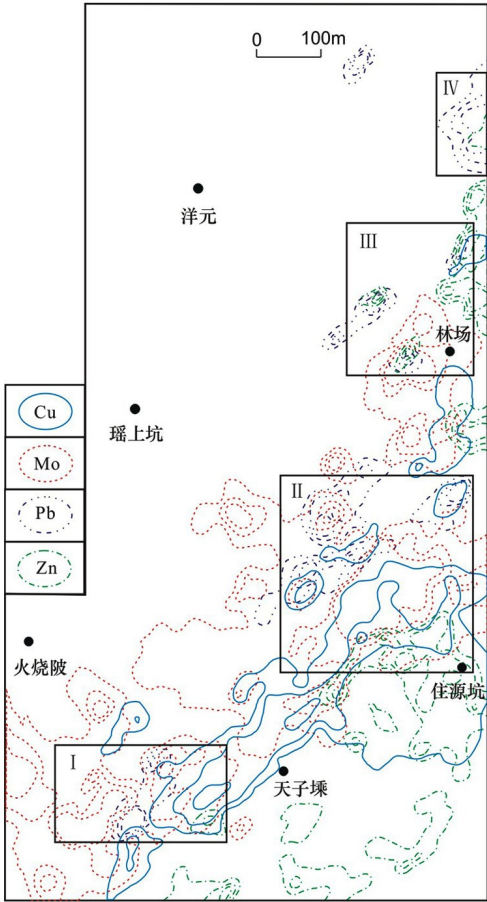


图4 瑶上坑地区土壤地球化学综合异常

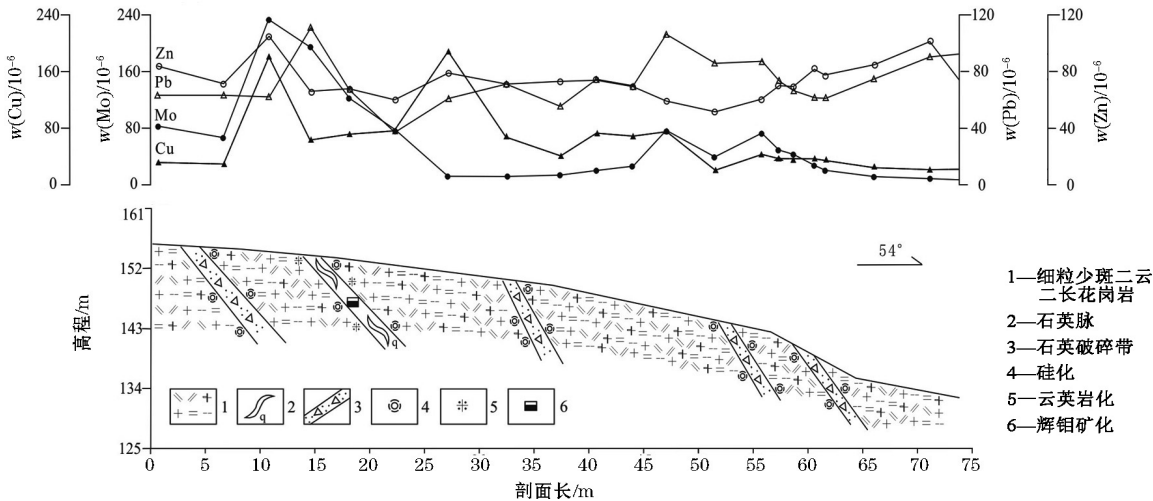


图5 瑶上坑地区化探异常查证综合剖面

6 结论与建议

瑶上坑地区土壤 Cu、Mo、Pb、Zn 均呈区域富集状态,其中 Cu、Pb、Zn 与主成矿元素 Mo 基本呈正相关关系,是本区寻找多金属矿的找矿指示元素。聚类分析表明,Cu 与 Mo、Pb 与 Zn 具良好的亲和性。综合异常图中 Cu 和 Mo 的异常强度高、规模大,异常叠加明显且连续,主要沿岩体与老变质岩的岩性界面分布,可能与岩性界面充填的中高温成矿热液有关,具相同的迁移和富集过程,这与因子分析的结论一致。

本区共圈定了 4 个土壤地球化学综合异常块段,其中Ⅱ号综合异常块段找矿前景最好。对其进行工程查证,发现石英破碎带有利于元素的富集与沉淀,元素异常高值均出现在与石英破碎带有关的张性断裂周围。建议展开对其他 3 个综合异常块段的相关工程查证,从而确定各元素异常与北东向断裂构造、岩性界面之间的关系。

参考文献:

[1] 杨明桂,梅勇文.钦—杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J].华南地质与矿产,1997(3):52-59.
[2] 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,1997,85(5):636-658.
[3] 胡国成,吕文超,黄颖.钦—杭结合带金属矿产分布综述[J].中山大学研究生学刊:自然科学、医学版,2010,31(2):48-58.
[4] 徐德明,蒯志永,龙文国,等.钦杭成矿带的研究历史和现状[J].华南地质与矿产,2012,28(4):277-289.
[5] 徐海江,赖绍聪.相山及邻区七个火山盆地火山岩岩性特征及成因探讨[J].现代地质,1988,2(4):440-450.

[6] 李光来,华仁民,韦星林,等.江西中部徐山钨铜矿床单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线定年及其地质意义[J].地球科学:中国地质大学学报,2011,36,(2):282-288.
[7] 黎彤,倪守斌.中国大陆岩石圈的化学元素丰度[J].地质与勘探,1997,33(1):31-37.
[8] Clemens R, Peter F, Robert G. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities [J]. Applied Geochemistry, 2002, 3(17):185-206.
[9] 缪远兴,罗卫,唐攀科,等.广东省麻布岗地区 1:5 万水系沉积物测量异常评价及找矿方向[J].物探与化探,2014,38(1):10-17.
[10] 余金生,李裕伟.地质因子分析[M].北京:北京出版社,1985.
[11] 纪宏金,林瑞庆,周永昶.关于若干化探数据处理方法的讨论[J].地质与勘探,2001,37(4):56-59.
[12] 李晓晖,袁峰,白晓宇,等.典型矿区非正态分布土壤元素数据的正态变换方法对比研究[J].地理与地理信息科学,2010,26(6):102-105.
[13] 孙忠军.矿产勘查中化探异常下限的多重分形计算方法[J].物探化探计算技术,2007,29(1):4,54-57.
[14] 杨大欢,郭敏,李瑞,等.一种求地球化学异常下限的新方法——含量排列法[J].物探化探计算技术,2009,31(2):5,154-157.
[15] 姚涛,陈守余,廖阮颖子.地球化学异常下限不同确定方法及合理性探讨[J].地质找矿论丛,2011,26(1):96-101.
[16] 付山岭,胡斌,龚玉爽,等.白沙县长塘岭钨多金属矿区土壤地球化学特征及其指示意义[J].2012,物探与化探,36(5):723-727.
[17] 黄瑞.化探数据处理方法研究——以攀西地区铂族元素为例[D].成都:成都理工大学,2005.
[18] 吕文超,周永章,张焱,等.钦杭成矿带南段文地幅水系沉积物地球化学异常识别[J].中山大学学报:自然科学版,2012,51(5):107-112.
[19] 缪远兴,罗卫,唐攀科,等.广东省麻布岗地区 1:5 万水系沉积物测量异常评价及找矿方向[J].物探与化探,2014,38(1):10-17.
[20] 卢仁,梁涛,王福贵,等.梁家沟矿区土壤地球化学特征及找矿意义[J].物探与化探,2014,38(2):234-238.

Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies of Yaoshangkeng area in Yuhuashan volcanic basin, Jiangxi Province

ZHANG Xiao-Tian^{1,2}, PAN Jia-Yong¹, LIU Guo-Qi¹, LIU Ying¹

(1.State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China; 2.College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jiangxi 130000, China)

Abstract: Yaoshangkeng area in eastern Yuhuashan volcanic basin lies in the northeastern part of the Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt. The complex tectonic setting of the study area is favorable for mineralization. According to the result of mathematical analysis and single element anomalies, Cu has a close affinity with Mo, so do Pb and Zn. The copper anomaly area and molybdenum anomaly area, characterized by large size and high intensity, are distributed on both sides of the contact zones between magmatic rocks and metamorphic rocks, show good consistency with each other, and may be related to the medium-high temperature mineralized hydrothermal filling metasomatism on the lithologic interfaces. Four areas were selected as targets for further exploration, and anomaly verification for target area II shows that the strongest anomalies usually appear around the fractured quartz veins caused by extension fractures. In order to determine the major factors (NE-trending faults or different lithological contact zones) that are responsible for element anomalies, the authors suggest the performance of relevant anomaly verification in the other three target areas.

Key words: Yuhuashan volcanic basin; soil geochemical survey; mathematical geology; anomaly verification

作者简介: 张笑天(1989-),男,东华理工大学硕士毕业,吉林大学在读博士研究生,研究方向为矿床学与矿产勘查。
通讯作者: 潘家永(1967-),男,东华理工大学教授,主要从事同位素地球化学、矿床地球化学研究工作。E-mail: jypn@ecit.cn