

铜陵—池州地区水系沉积物测量 地球化学特征及找矿方向

陆顺富¹, 曾键年¹, 李锦伟², 智超³, 余冯力¹

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 江西省地矿资源勘查开发中心, 江西 南昌 330030; 3. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 在长江中下游铁、铜、金多金属成矿带 1 : 20 万水系沉积物测量的基础上, 对铜陵—池州地区的地球化学异常特征进行初步总结。通过对区内元素进行因子分析, 得出多种与成矿有关的异常组合, 利用成矿元素异常组合划分地球化学分区, 进而圈定地球化学异常。通过对比成矿地质背景和地球化学条件, 对铜陵地区典型矿床进行相似度分析, 预测池州地区的找矿远景区。结果表明: 综合区域上的地层、构造、岩浆岩和区域矿产等资料, 对成矿元素异常组合进行地球化学分区是可行的, 能有效反映致矿异常, 突出矿化信息; 根据样点相似度值的计算结果与典型矿床相似度图的耦合情况分析, 池州市南部的梅街镇、青阳县东侧、铜山铜矿外围是区域上最为有利的铜多金属找矿远景区。

关键词: 水系沉积物; 地球化学; 找矿远景区; 铜陵—池州地区; 多金属矿

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)02-0227-07

水系沉积物是岩石风化的产物, 是上游汇水盆地物质的天然组合^[1], 在化学成分上与所流经的汇水盆地内受到剥蚀的地质体具有明显的继承性和代表性^[2-3]。利用水系沉积物这一特点, 研究元素在水系沉积物中的分布, 试图找出地球化学异常, 圈定成矿有利地段和找矿远景区, 同时为进一步开展地球化学勘查和地质勘查提供依据。

在“十五”期间, 我国已完成 1 : 20 万区域化探 40.3 万 km², 这些成果在找寻有色金属矿产方面取得了重大突破^[4], 表明化探是发现与探明有色金属矿产的有效手段。化探采样介质以水系沉积物为主, 分析 39 种元素(氧化物), 目前实际找矿中应用的元素主要为成矿成晕元素和常量元素, 或与成矿相关的元素, 而稀土和稀有元素尚未得到很好的分析利用^[5-6]。针对铜陵—池州地区区域化探数据, 利用因子分析和相似度分析等方法, 圈定池州地区地球化学异常和铜多金属找矿远景区, 结果具有较好的实际意义。

1 研究区地质概况

长江中下游成矿带位于扬子地块的北缘, 是中国东部中生代陆内 Fe、Cu、Au 多金属成矿带, 其中

安徽省铜陵—池州地区是成矿带中研究程度较高的地区之一, 区内分布有多个大型铜、金多金属矿床, 如狮子山铜矿、新桥铜矿、凤凰山铜矿、铜山铜矿、马头铜钼矿等。

1.1 铜陵矿集区

大地构造位于下扬子拗陷带中部, 出露地层为志留系一下三叠统的沉积盖层, 主要为海相碳酸盐岩和碎屑岩, 除缺失下、中泥盆统外, 从志留系至第四系层序完全。南北两端分别以近 EW 向隐伏基底断裂带为界, 与池州 NE 向“S”形褶皱带相隔; 东西两侧分别以 NE 向大断裂带为界, 与宣(城)南(陵)拗陷、下扬子拗陷等中生代沉积盆地为邻^[7]。构造格局由多期不同方向、不同性质的构造变形叠加而成, 主要构造方向有 NE、EW、NNE、SN 和 NW 向 5 组^[8-9], 为前印支期、印支期和燕山—喜马拉雅期构造。

铜陵地区燕山期岩浆活动是 Fe、Cu、Au 矿床的主要控矿因素, 地表出露岩体大多数分布于宽约 25 km, 长约 40 km, 呈 EW 向展布的铜陵—南陵深断裂控制的构造—岩浆成矿带之上^[8, 11], 控制着区内狮子山、新桥、凤凰山矿田等主要铜金(铁)矿产的分布^[7](图 1)。

析,根据分析结果筛选出了 Cu、Mo、W、Pb、Zn、Ag、Au、Sb、Sn 等 23 个与成矿关系较好的元素,以此为 基础进行因子分析。

对筛选出的 23 个元素进行因子分析,其方法原理是:利用 KMO (kaiser-meyer-olkin) 检验和巴特利特球度检验 (bartlett test of sphericity) 对所选数据的相关关系进行检验^[20],概率小于给定的显著性水平 α ,则认为原有变量适合作因子分析。KMO 值越接近于 1,意味着变量间的相关性越强,分析结果显示,KMO 检验值为 0.790,说明对铜陵—池州地区区域化探数据进行因子分析能够得出客观的事实。Bartlett 球度检验统计量的观测值为 21 506.539,相应的伴随概率为 0,小于显著性水平 α ($\alpha=0.05$),表明由分析数据构成的相关系数矩阵与单位矩阵有显著差异,有关变量适合进行因子分析^[20]。

设研究区数据矩阵为 $X_{m,n}$,其中 $m=23$ 为变量数, $n=2\ 018$ 为样品数;R 型因子分析的因子负载矩阵 $A=(a_1,a_2,\cdots,a_j,\cdots,a_p)$,其中 $a_j=(a_{1j},a_{2j},\cdots,a_{mj})'$, $p<m$, p 为因子个数。根据 p 个因子负载的大小和符号可以找出每个因子所代表的元素组合,即确定了研究区因子数^[16]。根据研究区 1:20 万水系沉积物数据因子的分析结果,划分出 6 个因子 F1

~F6,其中 F6 (Cu、Mo、W) 是表征铜矿化的因子,反应区域上铜多金属成矿作用的元素组合;F1 (Pb、Zn、Cd、Ag、Mn) 是铜多金属矿床的重要伴生元素,表征铜矿床中伴生的铅锌矿化;F2 (Al、Na、K、Th)、F4 (Y、Nb、Be) 和 F5 (Li、V、Ca) 是主要的造岩元素,即中酸性岩浆岩体所在的位置;F3 (Sb、Au、Sn、As、Hg) 是铜多金属矿床的另一组伴生元素,反映了铜矿床中伴生金矿化。

2.2 矿化元素区域地球化学异常特征

对铜矿化、伴生铅锌矿化、伴生金矿化样品数据进行元素参数统计 (表 1)。元素分布特征为:①研究区水系沉积物中的元素平均含量普遍较高,W、Pb、Sn、As 高出地壳丰度 1 倍以上,表明这些元素处于高背景分布区,其中 As 的平均含量高出地壳丰度 3 倍以上,显示出较强的地球化学活性,Cd、Ag、Sb 平均含量略高于地壳丰度,Cu、Mo、Zn、Mn、Au、(Hg) 平均含量小于地壳丰度值,表明这些元素处于低背景分布区;②各元素的变异系数在 26%~52%,变化范围较集中,变异系数最大的是 Cd,其次为 Au、Mo、Zn,表明 Cd、Au、Mo、Zn 等元素分散、富集的程度较高,更易迁移富集成矿。

表 1 铜陵—池州地区水系沉积物元素背景参数统计

元素	Cu	Mo	W	Pb	Zn	Cd	Ag	Mn	Sb	Au	Sn	As	(Hg)
有效样品数	1789	1801	1820	1756	1854	1596	1733	1847	1628	1710	1857	1552	1807
平均值	25.92	1.13	2.9	26.87	88.18	151.49	94.45	642.51	0.7	2.01	4.21	8.98	72.77
标准偏差	8.632	0.532	0.98	8.43	39.45	78.5	33.87	204.43	0.272	0.977	1.091	3.293	26.47
变异系数	0.33	0.47	0.34	0.31	0.45	0.52	0.36	0.32	0.39	0.49	0.26	0.37	0.36
异常下限	43.18	2.19	4.86	43.73	167.08	308.5	162.19	1051.37	1.24	3.96	6.39	15.57	125.71
极大值	1650	45	134	2160	1340	7821	5123	27550	162.7	488	120.7	419.1	11600
地壳丰度	63	1.3	1.1	12	94	150	75	1300	0.62	3.5	1.7	2.2	89
平均值/地壳丰度	0.41	0.87	2.64	2.24	0.94	1.01	1.26	0.49	1.13	0.57	2.48	4.08	0.82
下限值/地壳丰度	0.69	1.68	4.42	3.64	1.78	2.06	2.16	0.81	2.00	1.13	3.76	7.08	1.41

注:Ag、Au、Cd、Hg 的含量单位为 10^{-9} ,其他元素的含量单位为 10^{-6} 。地壳丰度值取自黎彤^[21]。

以矿化元素因子得分的平均值加 2 倍标准偏差作为异常下限,圈定每个矿化元素的综合异常图,在绘制 23 个元素综合异常图的基础上,重点提取了区内 8 种主要成矿元素和伴生元素作研究分析,保留其异常下限以上的部分绘制元素的地球化学异常图 (图 3)。由图可知,区域上 Cu 呈现出两条明显的异常带,一条主要分布于铜陵地区的狮子山、新桥、凤凰山矿田和安庆地区的月山一带,另一条主要沿青阳县、池州梅街镇、铜山镇一带分布。两条异常带均总体呈 NE 向断续展布,与该区出露的中、上石炭统黄龙、船山组与上泥盆统五通组上段地层走向一致。区域上的典型铜多金属矿床除铜官山外,均有显著的 Cu 异常的三级浓集中心。铜官山矿床的 Cu 异

常浓集中心不显著,可能与矿区位于铜陵市区而影响到区域地球化学样品的代表性有关。典型铜矿床附近的 Mo 异常均不明显,局部的等轴状异常可以作为预测区。Au 异常集中分布在区内几个典型铜矿床产出位置,池州的梅街镇西南部也有部分出露。Ag 异常与 Au 异常分布特征类似,呈现为伴生关系,基本和 Au 的异常重叠。Pb 异常集中分布在狮子山、新桥和凤凰山周围,作为 Cu 的重要伴生元素存在。Zn 异常和 Pb 相似,但浓集中心不明显,且多为低缓异常;Sn 异常在狮子山、新桥等矿田附近几乎没有,仅在梅街镇附近存在低缓异常。Sb 异常呈 NE 向分布于铜陵—池州地区,主要分布在中、上石炭统黄龙、船山组与上泥盆统五通组上段地层附近,

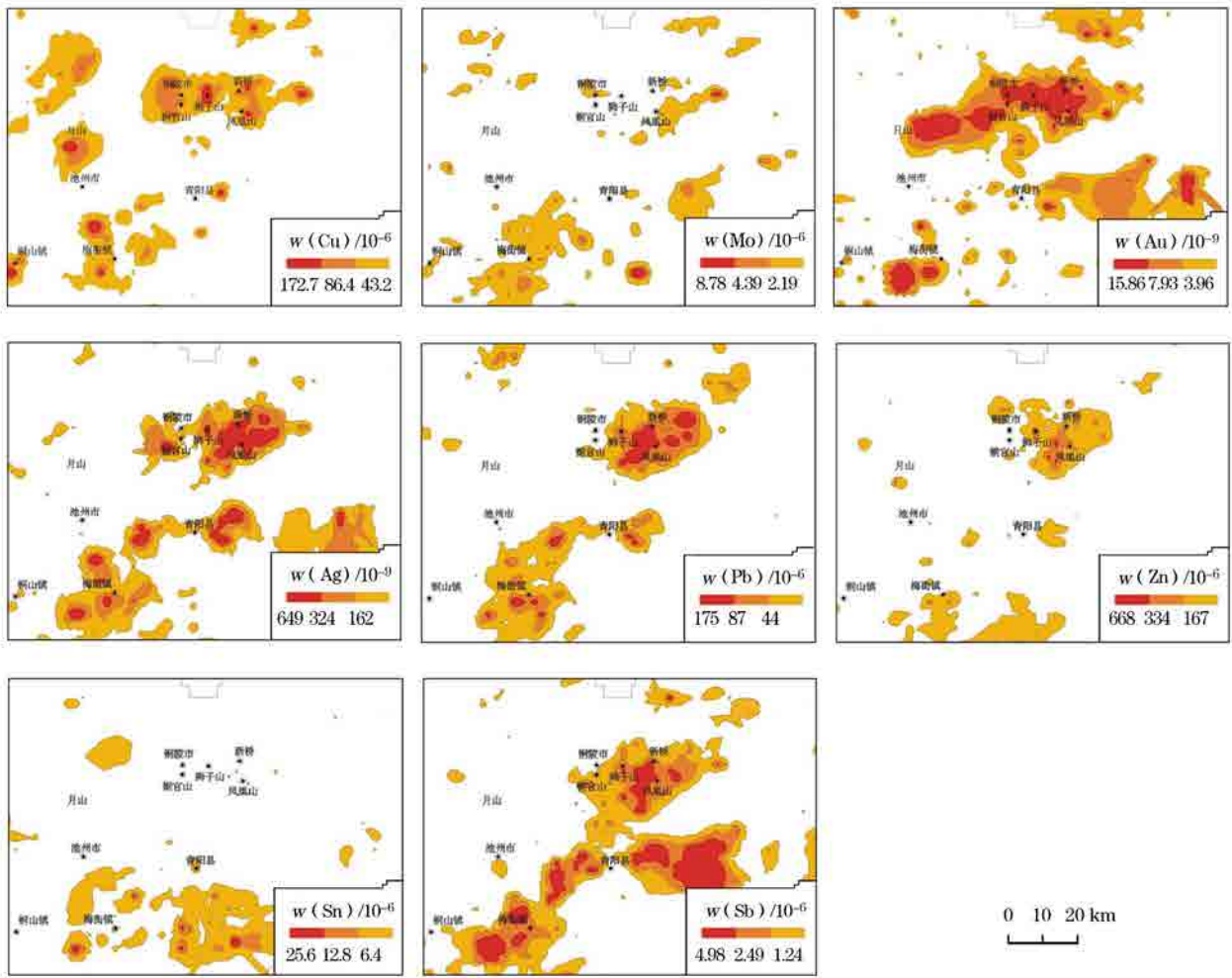


图 3 铜陵—池州地区 Cu、Mo 等矿化元素综合异常

受地层控制明显,且 Sb 异常范围较大,异常与各矿床所在位置套和较好。

2.3 地球化学分区

根据铜陵—池州地区 1 : 20 万水系沉积物的元素分布和异常特征,结合该区域上的构造格局、岩体与成矿作用分布特征,对铜陵—池州地区成矿元素异常进行地球化学分区。图 4 中显示了两个 NEE 向展布的地球化学区带,揭示出区域上成矿元素异常的地球化学空间分区格局。

I 带总体沿长江分布,包括了铜陵矿集区和安庆矿集区的几个典型铜多金属矿床(田),如狮子山铜矿床、新桥铜矿床、凤凰山铜矿床、铜官山铜矿床和月山矿田等,为 Cu-Mo-Au-多金属成矿带。成矿地质背景上,该带主要发育燕山期具有埃达克质特征的中性侵入岩(石英二长闪长岩、花岗闪长岩、辉石闪长岩等岩石类型),岩浆活动受区域基底构造制约;成矿流体系统与岩浆热液活动关系有关,成矿物质以幔源为主,赋矿层位主要有中上石炭统黄

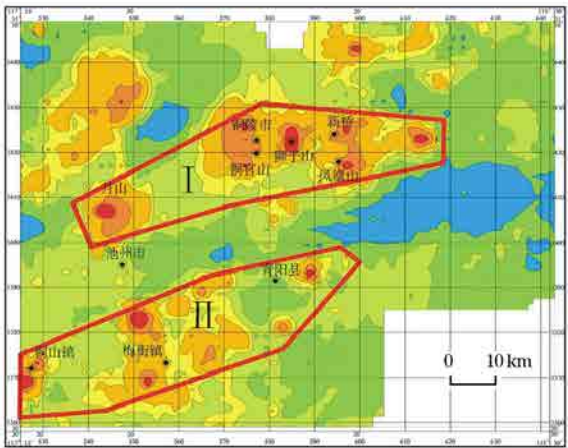


图 4 铜陵—池州地区地球化学分区

龙—船山组与上泥盆统五通组上段之间的滑脱面以及三叠系下统的南陵湖组和龙山组^[10-11,22-27]。

II 带呈 NEE 向展布,包括了青阳矿田、梅街矿田、黄山岭矿床、铜山铜矿床等典型矿床(田),具 Cu-Au-Ag-Pb-Sb 等元素异常组合。沿该带主要发

育燕山期的壳源花岗岩类(钾长花岗岩、花岗闪长岩等岩石类型),岩浆活动受区域上的基底构造和盖层 NE 向褶皱制约。该带内广泛出露中上石炭统黄龙、船山组 and 上泥盆统五通组地层等赋矿层位。除近年勘探的黄山岭大型 Pb-Zn-Mo 矿床外,近地表发现的主要为中、小型 Fe、Cu、Au、Mo 等矿床^[28-36]。

2.4 典型矿床相似度分析

根据矿床地质与地球化学有机结合的研究思路,将找矿远景区的圈定准则确定为成矿地质背景和地球化学条件两项。

(1)成矿地质背景 铜陵—池州地区的铜多金属矿床是燕山期中酸性岩浆岩侵位于石炭统与泥盆统地层中,形成斑岩型、矽卡岩型和块状硫化物型铜矿体。因此,燕山期中酸性岩浆岩、地层以及有利的容矿构造,是圈定找矿远景区的基本地质条件。

(2)地球化学条件 铜陵—池州地区成矿元素的高背景区(带)是区内最为理想的找矿靶区,其特征

是在中、上石炭统黄龙、船山组与上泥盆统五通组上段之间往往是很好的容矿构造;其次是高异常衬度量的地区,异常衬度量即地球化学异常的面金属量与背景值的比值,这是主成矿元素活动的重要标志。

前人研究表明,区域上典型矿床的矿化信息在 1 : 20 万水系沉积物的相应样品中有良好的显示^[37],因此,可以应用最能反映矿化信息的代表样品作为标志来推测未知区的矿化特征,为此引入相似度参数进行定量分析。本次研究选择铜陵—池州地区特征的成矿元素最高值,使用人为分级,以狮子山、新桥、凤凰山三个典型矿床做为类比对象。利用 1 : 20 万区域化探数据计算铜陵—池州地区的每个样点与选定的已知矿床之间的欧式距离,进行相似度计算(表 2)。通过以上计算,每个样点都可以得到一个相似度值,按照编制单元素地球化学图的方法编制了以狮子山、新桥、凤凰山矿床作为典型矿床的相似度图(图 5)。

表 2 铜陵—池州地区典型矿床相似度挑选的元素组合及其含量最高值

典型矿床	相似度挑选的异常元素组合(该元素含量最高值/背景值)
狮子山	Ag(1350/94.32)+As(109.4/8.98)+Au(138/2.01)+Cu(771/25.92)+Cd(2155/151.4)
新桥	Ag(3348/94.32)+Au(288/2.01)+Cu(109/25.92)+Sb(16/0.7)+Pb(640/26.87)
凤凰山	Ag(1860/94.32)+Au(46.8/2.01)+Cu(614/25.92)

注:Ag、Au、Cd 的含量单位为 10⁻⁹,其他元素的含量单位为 10⁻⁶。

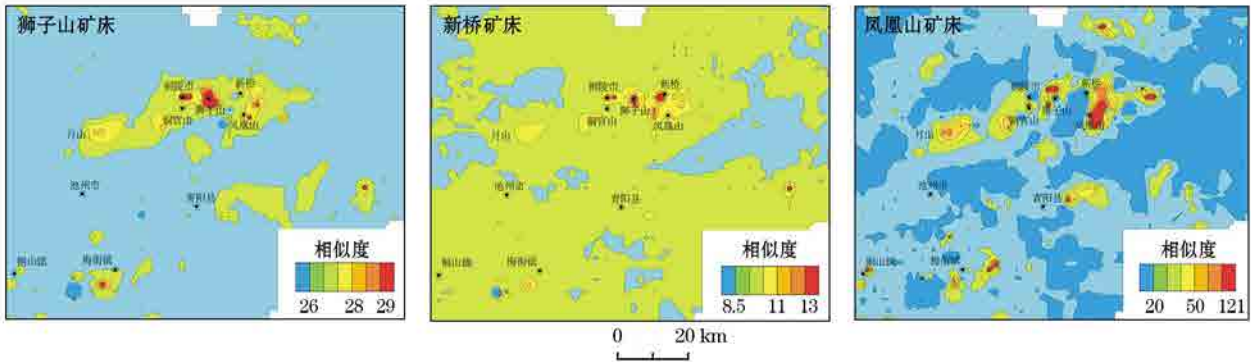


图 5 典型矿床相似度图

表 3 铜陵—池州地区找矿靶区预测及评价

编号	预测靶区	异常元素组合	相似矿床
1	铜山外围	Cu+Ag+Pb+Zn	狮子山、凤凰山
2	梅街镇西南侧	Cu+Au+Mo+Pb+Zn	狮子山、新桥、凤凰山
3	梅街镇北侧	Cu+Au+Pb+Sb+Zn	凤凰山
4	青阳县东侧	Cu+Ag+Au+W+Zn	狮子山、凤凰山
5	池州—青阳中部	Cu+Mo+W+Zn	凤凰山
6	新桥东侧	Cu+Ag+Au+Hg+Pb+Zn	凤凰山

结合成矿地质背景和地质矿产资料,从相似度计算结果与典型矿床相似度图的耦合情况分析,池州南部的梅街镇、青阳县东侧、铜山铜矿外围是区域

上最为有利的铜多金属找矿远景区(预测区)。这些找矿远景区分别与狮子山矿床、新桥矿床和凤凰山矿床的地球化学特征以及相似度接近。综合考虑狮子山、新桥、凤凰山矿床的相似度图,圈定找矿有利地段和找矿远景区的位置,各典型矿床和找矿远景区的地球化学参数如表 3 所示。

3 结论

(1)根据水系沉积物的继承性和代表性,利用因子分析统计学方法,得出与成矿有关的元素组合,总结区域上的地球化学异常分布特征。通过借鉴

Cu、Mo 等单元素异常图进行地球化学分区,能有效反映致矿异常,突出矿化信息。地球化学分区图涵盖了几乎所有样品的信息,简洁明白,利于从整体上把握元素富集规律,同时又综合了地层、区域构造、岩浆岩等基础地质资料,为圈定成矿有利地段和找矿远景区提供了依据。

(2)根据样点相似度值的计算结果与狮子山、新桥和凤凰山典型矿床相似度值的对比分析,综合考虑成矿地质背景和地球化学条件,认为池州市南部的梅街镇、青阳县东侧、铜山铜矿外围是区域上最为有利的铜多金属找矿远景区。建议对本次研究新发现的找矿远景区进行进一步验证工作。

(3)存在不足:因子分析有部分样品数据不具有代表性而被剔除,降低了结论的可信度。

参考文献:

[1] 谢学锦.区域地质调查野外工作方法:第4分册:区域化探[M].北京:地质出版社,1979.

[2] 郝立波,李巍,陆继龙.确定岩性复杂区的地球化学背景与异常的方法[J].地质通报,2007,26(12):1531-1535.

[3] 蒋敬业,程建萍,祁士华,等.应用地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.

[4] 奚小环.多目标的地质大调查—21世纪勘查地球化学的战略选择[J].物探与化探,2007,31(4):283-288.

[5] 郝立波,陆继龙,李龙,等.区域化探数据在浅覆盖区地质填图中的应用方法研究[J].中国地质,2007,34(4):710-715.

[6] 焦保权,白荣杰,孙淑梅,等.地球化学分区标准化方法在区域化探信息提取中的应用[J].物探与化探,2009,33(2):165-169.

[7] 周涛发,袁峰,范裕,等.铜陵矿集区矿床学实践教程[M].北京:地质出版社,2009.

[8] 常印佛,刘湘培,吴言昌.长江中下游铜铁成矿带[M].北京:地质出版社,1991.

[9] 唐永成,吴言昌,储国正,等.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1998.

[10] 吴淦国,张达,臧文拴.铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究[J].中国科学:D辑,2003,33(4):300-308.

[11] 吴才来,陈松永,史仁灯,等.铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因[J].地球学报,2003,24(1):41-48.

[12] 李盛汉.安徽铜陵、贵池地区的环状航磁异常及其找矿意义[J].有色金属矿产与勘查,1995,4(4):228-232.

[13] 孙亚力,张立明,张洪洲,等.安徽池州铜山铜矿深部找矿实践与启示[J].云南地质,2008,27(1):40-45.

[14] 朱春生,李爱勇,郝红蕾,等.深入钾化带探索马头钼矿新空间[Z].浙江杭州:2011,98-101.

[15] 霍明宇.安徽省池州市马头铜钼矿容矿构造特征及构造应力场研究[D].南京:南京大学,2012.

[16] 戴慧敏,鲍庆中,宫传东,等.因子分析法对内蒙古查巴奇地区水系沉积物地球化学分区的应用研究[J].现代地质,2010,

24(2):245-251.

[17] Konstantinov M M, Strujkov S F. Application of indicator halos (signs of ore remobilization) in exploration for blind gold and silver deposits[J]. Journal Of Geochemical Exploration, 1995, 54(1): 1-17.

[18] 赵鹏大.定量地学方法及应用[M].北京:高等教育出版社,2004.

[19] 时艳香,纪宏金,郝立波,等.利用水系沉积物地球化学数据判别浅覆盖区岩性与构造—欧氏距离法[J].物探化探计算技术,2004,26(3):243-246.

[20] 薛薇.基于SPSS的数据分析[M].北京:中国人民大学出版社,2011.

[21] 黎彤.化学元素的地球丰度[J].地球化学,1976,3:167-174.

[22] 孟祥金,吕庆田,杨竹森,等.长江中下游铜陵及邻区中生代中酸性侵入岩地球化学特征及其深部岩浆作用探讨[J].地质学报,2011,85(5):757-777.

[23] 毛景文,邵拥军,谢桂青,等.长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J].矿床地质,2009,28(2):109-119.

[24] 真允庆,丁梅花,戴宝章,等.长江中下游成矿带深部找矿思路探讨[J].地质找矿论丛,2009,24(3):179-188.

[25] 吴才来,董树文,国和平,等.铜陵狮子山地区中酸性侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及岩浆作用的深部过程[J].岩石学报,2008,24(8):1801-1812.

[26] 张达,吴淦国,杜建国,等.铜陵矿集区深部找矿工作的一些思考[J].安徽地质,2011,21(2):105-113.

[27] 范裕,周涛发,袁峰,等.安徽庐江—枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J].岩石学报,2008,24(8):1715-1724.

[28] 储著新,曹金海,倪允运,等.池州黄山岭铅锌矿床伴生银的分布规律研究[J].现代矿业,2012,3:57-59.

[29] 刘园园,马昌前,吕昭英,等.长江中下游贵池矿集区燕山期岩浆作用及其地质意义:年代学、地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素证据[J].岩石学报,2012,28(10):3287-3305.

[30] 宋国学,秦克章,李光明.长江中下游池州地区鸡头山钨钼矿矽卡岩化过程中主量、微量元素的迁移规律[J].矿床地质,2010,(S1):1121-1122.

[31] 宋国学,秦克章,李光明.长江中下游池州地区矽卡岩-斑岩型 W-Mo 矿床流体包裹体与 H、O、S 同位素研究[J].岩石学报,2010,26(9):2768-2782.

[32] 许卫.安徽下扬子地区二叠纪锰矿的成岩成矿地质地球化学[D].合肥:合肥工业大学,2004.

[33] 陈红瑾,张静,贾鹏飞,等.安徽铜山铜矿床硫化物 Re-Os 定年及其地质意义[J].岩石学报,2011,27(6):1779-1784.

[34] 贾鹏飞.安徽省铜山矽卡岩型铜矿床流体成矿作用研究[D].北京:中国地质大学,2011.

[35] 赵德奎,汪梅生,朱永胜,等.安徽省贵池抛刀岭金矿地质特征及成因[J].安徽地质,2009,19(2):107-110.

[36] 王伟华.安徽池州马头钼(铜)矿床地质特征及成因研究[D].南京:南京大学,2012.

[37] 任天祥.区域化探异常筛选评价新方法、新技术研究[Z].2001,155-156.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND ORE-SEARCH
TARGETING IN TONGLING-CHIZHOU AREA OF ANHUI PROVINCE BASED
ON STREAM SEDIMENT SURVEY

LU Shun-fu¹, ZENG Jian-nian¹, LI Jin-wei², ZHI Chao³, YU Feng-li¹

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Center of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China; 3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the 1 : 200,000 stream sediment survey along the Yangtze River Fe, Cu, Au polymetallic ore-forming belt, the authors made a preliminary study of the geochemical anomaly characteristics in Tongling-Chizhou area. Factor analysis was employed for the elements, and the ore-forming elements assembly was determined. The ore-forming elements anomalies assembly was used to make geochemical division and, as a result, geochemical anomalies were delineated. Based on a comparative study of geological backgrounds and geochemical conditions, the authors conducted similarity analysis of the typical deposits in Tongling area and forecast Chizhou prospecting area. In consideration of the strata, structure, intrusive rocks and mineral resources in this area, the authors hold that it is feasible to use the ore-forming elements anomalies for geochemical division, which can effectively reflect anomalies caused by mineralization and highlight the mineralization information. Based on an analysis of the coupling between the similarity value calculations of the samples and the similarity graph of the typical deposit, the authors hold that Meijie Town in southern Chizhou City, the east side of Qingyang County, and the periphery of the Tongshan copper mine are most favorable areas in search for Cu polymetallic deposits.

Key words: stream sediment survey; geochemistry; ore prospective area; Tongling-Chizhou area; polymetallic deposit

作者简介: 陆顺富(1989-),男,矿产普查与勘探专业硕士研究生,主要研究方向为矿床学和地球化学。

通讯作者: 曾键年(1956-),男,教授,中国地质大学(武汉),主要研究方向为矿床学和矿床地球化学。