

湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征 及找矿预测

赵武强 崔 森 邹先武 汤朝阳 夏 杰 金世超

(武汉地质矿产研究所,湖北武汉430223)

摘要:依据1:5万水系沉积物测量资料,分析研究了湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征。对元素分布、单元素异常、元素相关性、异常元素组合等特征的研究表明水系沉积物地球化学测量方法在高山峻岭、地形复杂的禾库地区有良好的找矿效果,并优选了嗅脑和杉木冲2处铅锌找矿远景区。

关键词:水系沉积物测量;找矿远景区;禾库地区;湖南

中图分类号:P632;P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)02-0638-10

采用地质填图方法寻找浅覆盖或地表出露矿的难度越来越大,水系沉积物地球化学测量方法在寻找有色金属矿产方面发挥出越来越重要的作用^[1-10]。在湖南禾库地区,通过1:5万水系沉积物地球化学测量工作,迅速缩小了找矿范围,圈定了若干有利的找矿靶区,为部署进一步找矿工作及区域、矿区成矿规律研究提供了基础依据。

1 区域地质概况

研究区地处云贵高原东侧,武陵山脉中段南东部,属中至浅切割的中低山地形,岩溶发育,海拔多在500~900 m,相对高差一般在400 m,最高峰芭茅坪北梳子山海拔1248.2 m。研究区属亚热带大陆性气候,四季分明,全年降雨量1392~1600 mm,区内水系较发育,适于开展水系沉积物地球化学测量工作。

区域上的一级断裂有花垣—张家界断裂、麻栗场断裂(为保靖—铜仁—玉屏深断裂之北段),其中麻栗场断裂从测区通过。它们直接构成了湘西弧形构造带,在区域上起着十分重要的控相和控矿作用^[11-13]。

区域出露地层由老至新为蓟县系小木坪组(J_{xx}),青白口系横路冲组(Q_{b1h})、马底驿组(Q_{b1m})、通塔湾组(Q_{b1t})、五强溪组(Q_{b2w})、多益塘组(Q_{b2d})、百合垄组(Q_{b2b}),南华系富绿组(N_{h1f})、古城组(N_{h1g})、大塘坡组(N_{h1d})、南沱组(N_{h2n}),震旦系陡山沱组(Z_{1d})、灯影组(Z_{2c1d}),寒武系牛蹄塘组(C_{1n})、石牌组(C_{1s})、清虚洞组(C_{1q})、高台组(C_{2g})、娄山关组(C_{2-3l}),奥陶系桐梓组(O_{1t})、红花园组(O_{1h})、大湾组(O_{1d})、牯牛潭组(O_{2-3g})、宝塔组(O_{3b}),志留系龙马溪组(O_{3s1l})、新滩组(S_{1x})、小河坝组(S_{1xh})、溶溪组(S_{1r})、吴家院组(S_{1w})、回星哨组(S_{2h}),白垩系中统扎佐组(K_{2z})、第四系。区内未见岩浆活动(图1)。

2 样品采集与分析

水系沉积物测量是根据1:5万水系沉积物测量规范进行的,平均采样密度为4.26个/km²,采样介质为活性水系沉积物,主要为淤泥和粉砂。采样粒级60目,采样点基本布置在一级水系的末端和分支水系口上,采样质量过筛后为200 g。

样品由国土资源部中南矿产资源监督检测中

收稿日期:2013-05-10;改回日期:2013-07-08

作者简介:赵武强,男,1981年生,硕士,工程师,主要从事地球化学研究与地质找矿工作;E-mail:zwqlss@126.com。

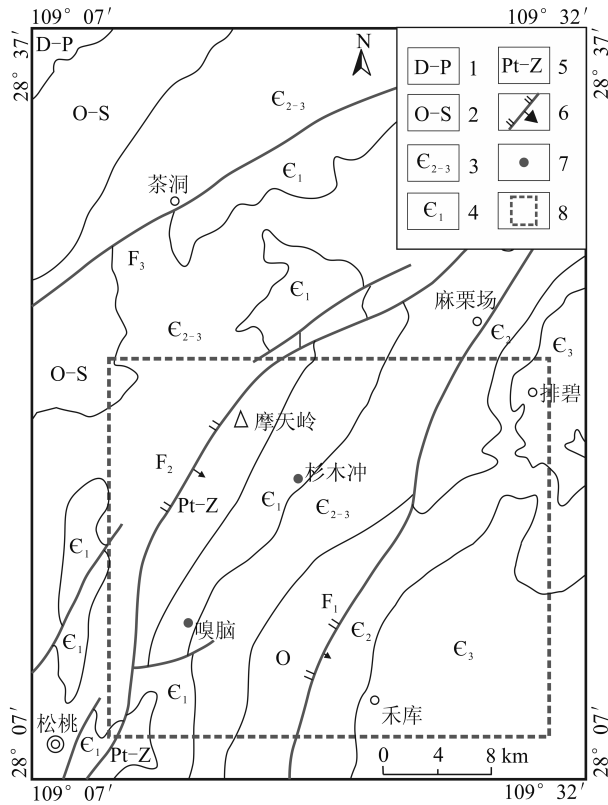


图1 湖南禾库地区地质简图

1—二叠系-泥盆系;2—奥陶系-志留系;3—中、上寒武统;
4—下寒武统清虚洞组、石牌组;5—震旦系-上元古界;6—逆冲断
层及编号;7—铅锌矿点 8—研究区位置

Fig.1 Geological map of Heku area in Hunan

1—Permian-Devonian; 2—Ordovician-Silurian; 3—Middle -Upper
Cambrian; 4—Qingxudong and Shipai Formation of Lower Cambrian;
5—Sinian-Proterozoic; 6—Revered thrust and number;
7—Ore spot of lead-zinc; 8—Research area

心采用无污染磨样机加工至200目后,由该中心实验室采用X射线-荧光光谱法、等离子体质谱法、原子荧光光谱法等多元素分析方法,分析了Cu、Pb、Zn、Ni、Ag、Au、Cd、Mo、As、Sb、Bi、Hg、V、Ba、Se等15种元素。按质量管理规范要求共插入202件国家一级水系沉积物标准物质与样品同步分析,除Ag和Se的合格率分别为98.51%和99.50%外,其他元素结果合格率均为100%,总体合格率为99.87%。

3 地球化学特征

3.1 元素变化特征

区内水系沉积物测量各元素原始数据的变异系数(C_{v1})^[14]和背景数据(对原始数据进行离群点的迭代处理,采用 $> X + 3S$ 及 $< X - 3S$ 迭代剔除,直至无

离群点数值可剔除为止,即所有数据全部分布 $> X + 3S$ 与 $< X - 3S$ 间,形成背景数据。)变异系数(C_{v2})分别反映两类数据集的离散程度;用 C_{v1}/C_{v2} 反映背景拟合处理时离散值的削平程度。利用 C_{v1} 和 C_{v1}/C_{v2} 制作变异系数图解(图2),同时对背景拟合处理时剔除特高值进行浓幅分位^[15-16]计算,一般情况下,浓幅分位值越大,富集成矿可能性越大(表1)。

由图2和表1可见:(1)含量变化幅度大,高强数据多,成矿可能性大的有Hg。但Hg元素76%以上的剔除值处于1/16浓幅分位以下,整体丰度值偏低。其数据的高离散程度与局部地区断裂构造的发育以及寒武系中统的高背景有关。(2)含量变化中等,高强数据较多,有成矿可能性的有Pb、Zn、Ba。Pb、Zn的剔除值处于1/16分位以上的数据较多,其数据的离散程度与区内的已知矿床、矿点以及地层的局部富集相关;Ba的剔除值大都处于1/16分位以下,和地层的沉积背景相关,有可能发现重晶石等与Ba元素相关的矿化异常。(3)含量变化幅度很小,高强数据少,成矿可能性小的元素有Cu、Ni、Cd、Mo、As、Sb、Bi、V、Se、Au、Ag。这些元素多与构造或岩性相关,多数作为伴生元素以高背景形式分布。

3.2 元素的含量特征

采用元素含量最高值(C_{Max})、最低值(C_{Min})、平均值(X)、标准离差(S)、变异系数(C_v)、富集系数(K)等地球化学参数来阐明和讨论1:5万水系沉积物地球化学特征及规律。 K 为该地区元素含量平均值与中国水系沉积物中该元素背景估计值之比; $C_v = S/X$,可衡量各元素分布的均匀程度。

禾库地区Cu、Pb、Zn、Ni、Ag、Au、Cd、Mo、As、Sb、Bi、Hg、V、Ba这14种元素的富集系数(K)均大于1(表2),说明区内水系沉积物中这些元素含量与中国水系沉积物背景相比,均发生了不同程度的富集,其中Pb、Zn、Cd、As、Sb、Hg元素的富集系数可达2以上,表明这几种元素富集最为强烈;Cu、Ni、Ag、Au、Mo、Bi、V等7种元素的富集系数较小,说明区内水系沉积物中这些元素含量富集程度较差。

从变异系数(C_v)来看,Pb、Zn、Hg、Ba等元素的变异系数较大($C_v > 1.5$),表明上述元素在本区的分布极不均匀,主成矿元素Pb、Zn、Hg等的高值点主要分布在寒武系清虚洞组灰岩地层及高台组云岩

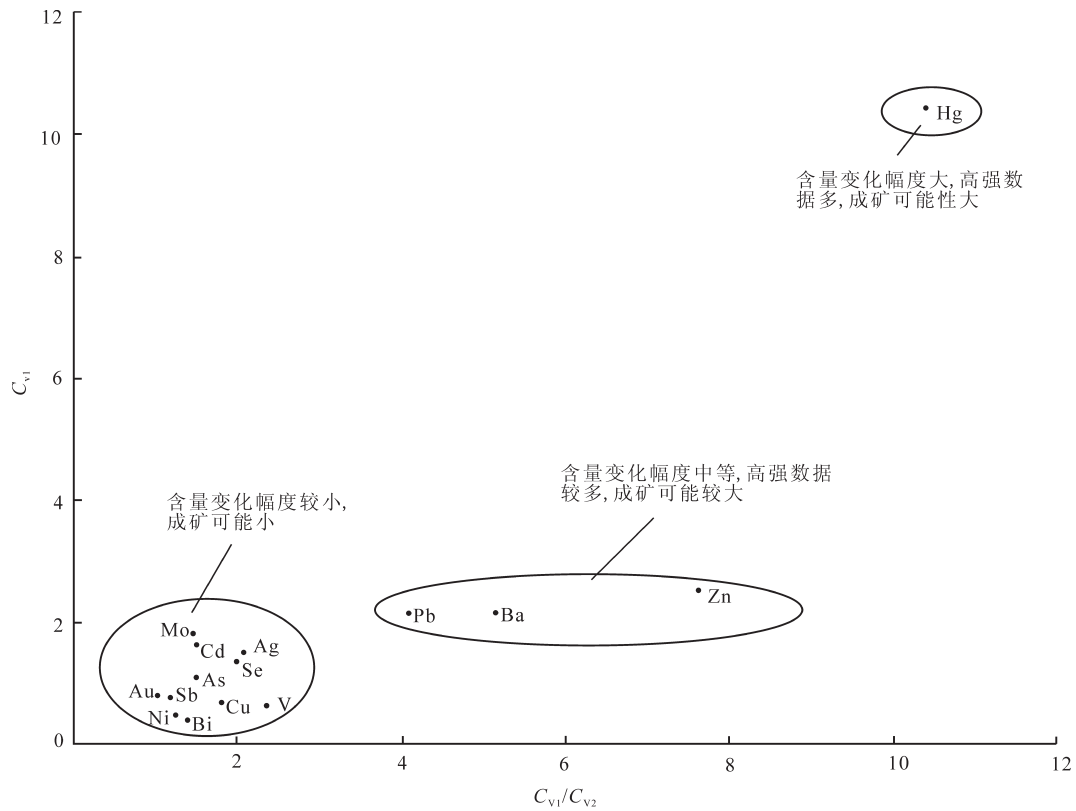


图2 各元素变异系数解释图
Fig.2 Variation coefficients of various elements in Heku area

表1 区内各元素剔除高值点与浓幅分位特征

Table 1 Rejection of high values and characteristics of the quantile of elements' concentration range

元素	剔除界线	剔除样品个数	各浓幅分位段剔除样品数					元素	剔除界线	剔除样品个数	各浓幅分位段剔除样品数				
			<1/16	1/16~1/8	1/8~1/4	1/4~1/2	>1/2				<1/16	1/16~1/8	1/8~1/4	1/4~1/2	>1/2
Pb	160.00	150	72	15	55	8	Bi	1.05	2	2					
Zn	278.00	181		60	69	26	26	Hg	2.24	75	57	9	5	3	1
Cu	83.00	21	11	9		1	Ba	1380.00	194	190	3	1			
Ni	101.00	22	22				V	232.00	87	33	39	13	2		
Cd	4.10	42	29	7	4		Se	1.69	68		42	24	2		
Mo	31.40	36		11	25		Au	9.29	6	6					
As	128.00	8	8				Ag	0.50	9	9		1			
Sb	8.09	13	13												

注:浓幅分位是按照边界品位 1/n 进行区间划分。

地层中;Cu、Ni、Au 等元素的变异系数较小,说明 Cu、Ni、Au 等元素含量在测区内分布相对较均匀,没有较大的变化。Pb、Zn 数据离散程度大,富集系数大,说明局部富集成矿的可能性较大,在该区以后的地质勘查工作中应着重开展铅锌矿的找矿工作,极有可能找到具有开发价值的铅锌金属矿床。

3.3 元素的分布特征

通过对区内各地质单元汇水域内水系沉积物各元素特征值的统计,制作了各地质单元元素均值相对于全区各元素均值比值(K)的曲线图(图3),用以探索元素富集贫化与地层、岩性的关系。

寒武系下统牛蹄塘组C_{1n}、石牌组C_{1s}及清虚洞

表2 禾库地区水系沉积物地球化学参数统计
Table 2 Geochemical parameters of stream sediments in Heku area

元素	C _{Max}	C _{Min}	X	S	C _v	K	背景值
Cu	215.00	<1	32.81	23.69	0.72	1.56	21.00
Pb	591.00	4.11	93.20	204.90	2.20	3.73	25.00
Zn	785.00	2.60	201.50	540.10	2.68	2.96	68.00
Ni	106.00	1.40	37.40	17.00	0.45	1.56	24.00
Ag	1.36	0.01	0.12	0.19	1.56	1.55	0.08
Au	19.30	0.22	1.76	1.45	0.82	1.35	1.30
Cd	13.90	0.03	0.77	1.04	1.35	5.49	0.14
Mo	40.70	0.15	3.91	6.60	1.69	4.60	0.85
As	128.00	2.39	24.47	28.00	1.14	2.69	9.10
Sb	18.40	0.11	1.60	0.99	0.62	2.19	0.73
Bi	2.81	0.01	0.45	0.20	0.43	1.33	0.34
Hg	323.00	0.01	0.31	0.52	1.69	7.30	0.04
V	869.00	13.80	128.60	93.90	0.73	1.60	80.00
Ba	5880.00	16.60	781.37	1884.00	2.41	1.28	609.00
Se	4.96	0.01	0.47	0.63	1.33	0.87	0.55

注: Au的单位为10⁻⁹, 其他元素均为10⁻⁶。

组C_{1q}是本区铅锌矿的主要富集层位。由于牛蹄塘组及石牌组出露面积较小, 因此图3中主要反映出清虚洞组的元素富集特征。清虚洞组出露岩性为藻灰岩、白云岩等, 是铅锌矿的主要富集层位^[17-20]。该组中Ag、Pb、Zn、Cd、Mo、As、Sb、Ba、V、Se等元素丰度值较高, Pb、Zn、Cd、Hg的离差及变异系数较高,

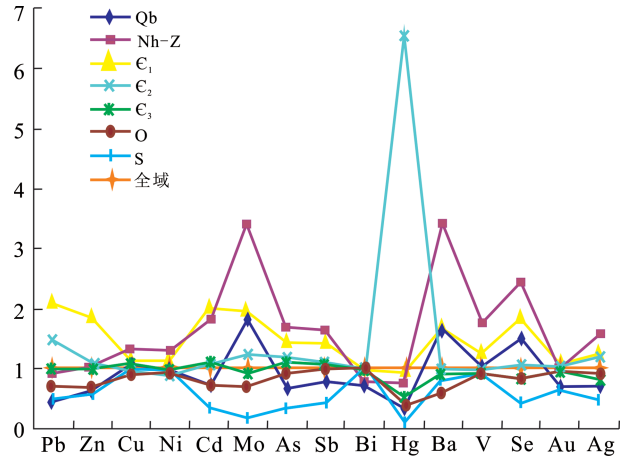


图3 各地质单元汇水域水系沉积物中各元素相对丰度图
Fig.3 Elemental relative abundances of stream sediments in the collection areas of various geological units

表明Pb、Zn、Hg等有富集成矿的可能。

寒武系中统高台组C_{2g}, 岩性主要为白云岩、灰岩、炭质板岩等。Pb、Zn、Mo、As、Sb、Sn、Hg、Ag等元素丰度较高。尤以Hg为甚, 其变异系数高, 有成矿可能。

3.4 元素的相关性特征

研究区15种元素做了R型聚类分析得到各元素之间的相关关系(图4)显示, 在γ=0.55相似水平上, 所有元素分为3个簇群。

I簇反映了与海湖相沉积环境及黑色岩系关系

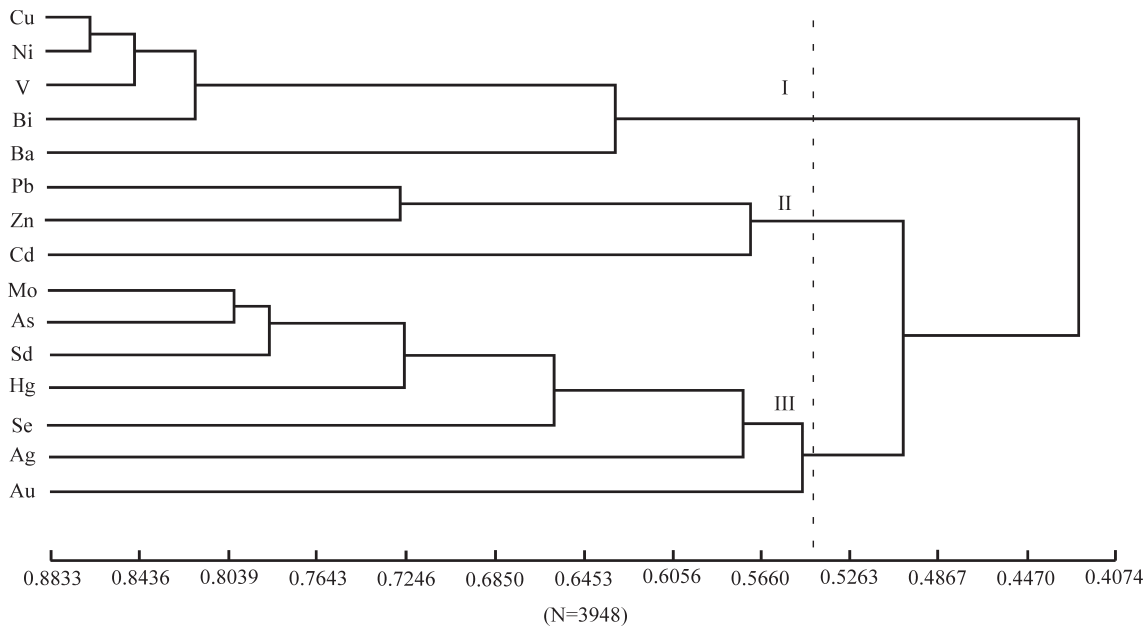


图4 禾库地区水系沉积物测量元素聚类分析普系图
Fig.4 Dendrogram of geochemical data of stream sediments in Heku area

密切的Cu、Ni、V、Bi、Ba等元素组合,该组元素相关系数高,为区内关系最密切的元素组合。其形成的综合异常是寻找重晶石、钽水云母等矿产依据之一。

Ⅱ簇Pb、Zn、Cd具有很紧密的关联性,形成的综合异常很可能反映出一定的地质构造及控矿因素,是本区铅锌矿化的重要反映,该异常具有重要找矿意义。

Ⅲ簇元素包括地质及成矿作用的重要伴生元素,和Ⅱ簇紧密相关,主要反映了区内地质构造环境。

3.5 单元素异常特征

采用中国地质调查局发展研究中心GeoExpl软件,根据表1异常点剔除方法,使其服从正态分布,求出工作区各元素地球化学背景值,以背景值2倍标准离差为异常下限(表3),圈出各元素地球化学异常浓度带,得到单元素异常图(图5)。

湖南禾库地区单元素异常特征(图5,表4)为:测区中Mo元素异常面积最大,异常数量较多,具内、中、外浓度带且内带范围最大,其次为Pb、Zn、Cd;而Hg、Ag、As元素虽具内、中、外浓度带但内带面积较小、数量也较少;Cu、Ni、Sb、Bi、V、Au元素异常面积最小、异常数量少且多无异常内带。

根据异常下限圈定Mo异常36处,其中面积最大,具内、中、外浓度带且内带面积最大的是Mo4异常,其次为Mo11、Mo15、Mo25、Mo18面积较大,但只具中外带;铅异常33处,其中面积最大、具内、中、外浓度带且内带面积最大的是Pb5异常,其次为Pb10、Pb17。异常Pb3面积较大,但只具外浓度带;镉异常22处,其中面积最大、具内、中、外浓度带且内带面积最大的是Zn3异常,其次为Zn9、Zn17。其

表3 禾库地区元素地球化学异常下限值

Table 3 Threshold of elemental geochemical anomaly values in Heku area

元素	异常下限		元素	异常下限		元素	异常下限	
	计算值	使用值		计算值	使用值		计算值	使用值
Pb	97.3	100.0	Mo	8.4	8.0	Ba	849.3	800.0
Zn	183.9	200.0	As	50.8	50.0	V	177.6	150.0
Cu	54.0	50.0	Sb	3.4	3.0	Se	0.7	0.8
Ni	63.9	60.0	Bi	0.8	0.6	Au	4.4	4.0
Cd	1.6	1.5	Hg	0.7	0.6	Ag	0.2	0.2

注: Au的单位是 10^{-9} ,其他元素均为 10^{-6} 。

中Zn5、Zn11、Zn20面积较大,但只具中外带,且中带面积较小,Zn15异常面积虽较大,但其异常只具外带;Cd异常27处,Cd3、Cd8、Cd16面积最大、具内、中、外浓度带,其中Cd3内带面积最大,Cd8、Cd16次之,Cd5、Cd20、Cd22异常面积虽大,但只具中外带,其中Cd5中带面积最大;金异常25处,Au8、Au6、Au13面积较大,但只有Au8具内、中、外带,其他异常区只具中、外带或外带,异常强度小;汞异常13处,其中Hg2面积较大,异常具内、中、外带,且内带面积较大,异常强度较好,Hg13虽具内、中、外带,且面积大,但其内带面积较小,异常强度一般;银异常13处,整体异常面积较大,但具内、中、外带的异常较少,最大的是Ag5、Ag11,且内带面积较小;铜异常12处,异常面积较小,异常基本上属于外带,内中带面积非常少,只Cu7可见很小面积的内、中、外带异常。

4 找矿远景区划分

本区圈出水系沉积物地球化学综合异常18处(表5),多数综合异常规模较大、组合复杂、具有一定浓集中心。在其基础上,结合地质、物探工作成果,在工作区优选出2处铅锌多金属找矿远景区:嗅脑Pb、Zn、Cd元素异常区;杉木冲Pb、Zn、V元素异常区。本文以嗅脑Pb、Zn、Cd元素综合异常区为例介绍。

嗅脑Pb、Zn、Cd水系沉积物综合异常区出露的

表4 禾库地区单元素地球化学异常特征

Table 4 Characteristics of geochemical anomalies of single elements in Heke area

元素	异常个数/处	异常面积/ km^2	浓度分带	异常特征
Mo	36	203.13	内、中、外	内带面积较大
Pb	33	187.63	内、中、外	内带面积较大
Zn	22	108.11	内、中、外	内带面积较大
Cd	27	105.48	内、中、外	中带面积较大
Au	24	98.13	内、中、外	以外带为主
Hg	27	86.27	内、中、外	以外带为主
Ag	13	73.62	内、中、外	以中、外带为主
As	13	64.20	内、中、外	以外带为主
V	12	51.37	内、中、外	以外带为主
Sb	14	44.39	中、外	以外带为主、面积小
Ni	7	43.35	外	面积小、强度弱
Cu	12	38.52	中、外	面积小、强度弱
Se	2	38.75	内、中、外	内带面积较小
Ba	4	4.55	内、中、外	内带面积较小
Bi	4	7.84	外	面积小、强度弱

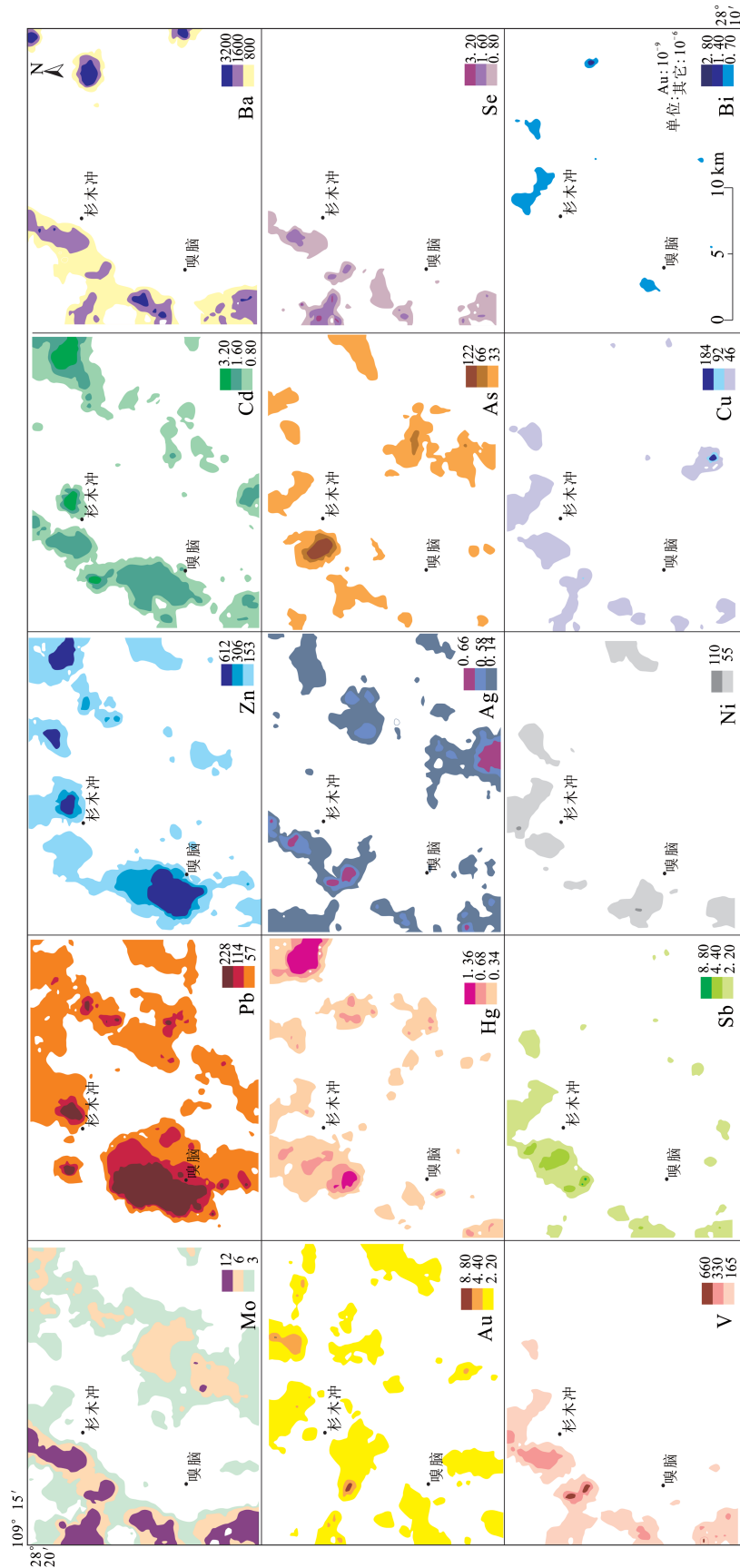


图5 禾库地区单元素异常剖析图
Fig.5 Composite geochemical anomaly map of elements in Heke area

表5 禾库地区水系沉积物综合异常
Table 5 Composite anomalies of stream sediments in Heku area

序号	异常名称	异常分类	异常特征组合		主元素	
			主元素	其他元素	峰值/ 10^{-6}	规模/ km^2
1	上干溪异常	HS $\frac{1}{Z3}$	Ba	Se、Mo、V	4160.00	14.49
2	盐井南异常	HS $\frac{2}{Z2}$	Ag	Ba、V、Hg、Mo	2.99	9.80
3	水源寨异常	HS $\frac{3}{Z1}$	Ba	V、Se、Mo、As	9750.00	33.69
4	杉木冲异常	HS $\frac{4}{Z1}$	Zn	V、Cd、Pb、Ba	4070.00	12.65
5	卫城南异常	HS $\frac{5}{Z3}$	Zn	Ni、Au	401.00	5.01
6	董哨异常	HS $\frac{6}{丙}$	Pb	Zn、Ba、Hg	513.00	2.67
7	董哨北异常	HS $\frac{7}{丙}$	Pb	Zn、Cd	446.00	3.86
8	鱼龙寨异常	HS $\frac{8}{Z3}$	Hg、Zn	Cd、Ba、Ag	4.90	30.97
9	嗅脑异常	HS $\frac{9}{甲1}$	Pb、Zn	Ba、Cd、Se、Mo	2260.00	144.41
10	杨家寨南异常	HS $\frac{10}{丙}$	Pb	Zn	202.00	0.70
11	杨家寨异常	HS $\frac{11}{丙}$	Pb	Zn	193.00	3.20
12	小卡马异常	HS $\frac{12}{丙}$	Pb	Mo、Ag	293.00	5.66
13	猪屎寨异常	HS $\frac{13}{丙}$	Pb	Ba、Se	923.00	2.60
14	蚊子寨异常	HS $\frac{14}{丙}$	Pb	Hg	128.00	2.16
15	田寨异常	HS $\frac{15}{丙}$	Ba	V、Bi	21500	11.03
16	镰刀湾异常	HS $\frac{16}{Z2}$	Ba	Mo、V、Se、Ag	7610.00	28.87
17	标山异常	HS $\frac{17}{丙}$	Pb	Zn	389.00	1.70
18	岩车寨异常	HS $\frac{18}{Z3}$	Cu		910.00	6.66

地层主要为青白口系粉砂质板岩、石英砂岩等；南华系灰黑色含炭锰质泥灰岩、冰碛砾岩、泥砾岩等；震旦系灰岩—泥质白云岩夹硅质岩；寒武系牛蹄塘组含炭泥质页岩夹灰岩，石牌组粉砂岩、泥质粉砂岩，清虚洞组(C_{1q})深灰—灰色薄—中厚层灰岩、藻灰岩、白云岩夹泥质灰岩、泥质白云岩等。异常主要与南华系、寒武系下部黑色岩系以及寒武系下统清虚洞组藻灰岩出露区关系较为密切。

异常区构造较发育。异常区位于缓波状复式背斜转折端，受北东向断裂控制，异常体基本沿构造方向展布。

异常区中心有已知嗅脑铅锌矿床，其矿化带呈似层状顺层产出，长达1863 m，倾角较为平缓；矿体

则呈巢状、囊状，不定向地无规律分布于矿化带内，个别呈扁豆体产出，皆不易圈定其范围。矿石矿物以方铅矿为主，闪锌矿次之，偶见黄铁矿；脉石矿物以方解石为主，重晶石、白云石次之，偶见萤石。属方铅矿—闪锌矿—碳酸盐组合。

该异常以Pb、Zn为主元素，特征组合还有Cd、Ba、Se等，元素组合较为复杂。异常总体走向为北东向，各元素异常均呈不规则椭圆状，相互套合较好，Cd、Ba、Se等异常与Pb、Zn异常套合紧密。Pb、Zn异常分外、中、内三级浓度带，规模大，衬度高，其中Pb最大值为 2260×10^{-6} ，面积约17.40 km^2 ；Zn最大值为 5400×10^{-6} ，面积约14.20 km^2 （表6，图6）。

该异常总面积28.6 km^2 ，南北轴长约9 km，东西

表6 嗅脑地球化学异常特征组合基本地球化学参数统计
Table 6 Combinational parameters of Xiunao geochemical anomaly features

元素	异常点数/处	异常下限*	峰值*	平均值*	面积/km ²	衬度	异常规模/km ²	浓度分带
Pb	87	100.00	2260.00	829.95	17.40	8.30	144.41	外中内
Zn	71	200.00	5400.00	1855.77	14.20	9.28	131.76	外中内
Ba	31	800.00	9840.00	3825.74	6.20	4.78	29.64	外中内
Cd	75	1.50	5.56	2.52	15.00	1.68	25.16	外中
Se	53	0.80	4.67	1.46	10.60	1.82	19.27	外中内
Mo	18	8.00	70.70	31.65	3.60	3.96	14.25	外中内
V	33	150.00	941.00	276.24	6.60	1.84	12.16	外中内
Ni	38	60.00	97.60	74.18	7.60	1.24	9.39	外
Bi	39	0.60	0.87	0.68	7.80	1.14	8.88	外
Ag	12	0.20	0.86	0.37	2.40	1.85	4.45	外中
Sb	15	3.00	6.03	4.21	3.00	1.40	4.21	外中
Cu	15	50.00	75.50	65.60	3.00	1.31	3.93	外
Hg	4	0.60	1.29	0.96	0.80	1.60	1.28	外
Au	4	4.00	5.83	5.06	0.80	1.27	1.01	外
As	3	50.00	76.70	68.67	0.60	1.37	0.82	外

注:*Au的单位为10⁻⁹,其他元素均为10⁻⁶。

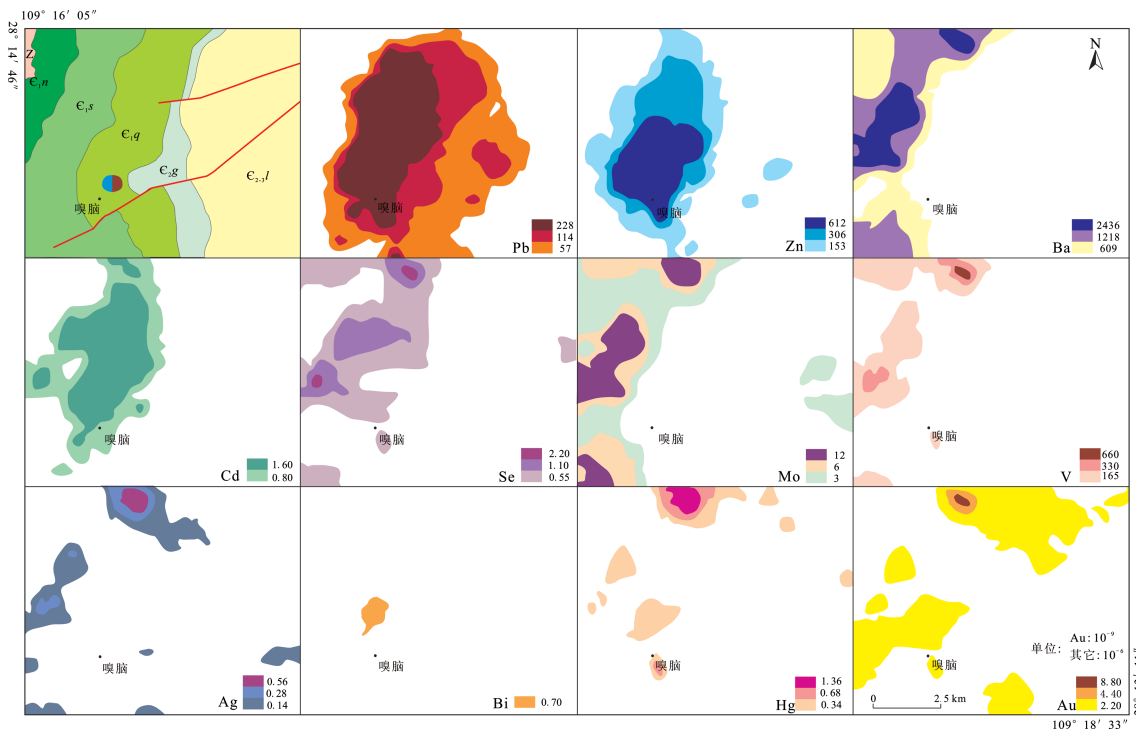


图6 嗅脑异常区综合异常剖析图
Fig.6 Composite geochemical anomaly map of Xiunao

约6 km。Pb、Zn等的高异常与已知矿体特征相吻合。但异常规模远大于矿体规模,伴生元素Cd、Mo、Se等亦呈高异常。因此扩大找矿规模,可在异常区内找到新的伴生或次生矿床。

5 结 论

(1)在地形复杂、高山峻岭的湖南禾库地区,应用水系沉积物地球化学测量可以快速缩小找矿范围,圈定找矿远景区,为地质找矿提供直接、可靠的找矿信息。

(2)湖南禾库地区Pb、Zn、Ag、Mo、V、Cd、Ba、Se、Hg等元素水系沉积物异常分布明显。Pb、Zn、Ag、Ba、V、Hg异常规模大、套合好,多富集在寒武系清虚洞组,且多与断裂关系密切。

(3)根据物化探成果,该区已发现多条具有工业价值的Pb、Zn、Ba、V矿体。优选出嗅脑Pb、Zn、Cd元素富集区、杉木冲Pb、Zn、V元素富集区等多金属找矿远景区,为今后在该区开展进一步地质找矿工作打下了良好的基础。

参考文献(References):

- [1] DZ/T 0011-91. 地球化学普查规范(比例尺1:50000)[S].
DZ/T 0011-91. Geochemical Survey Specification(1:50000)[S].
- [2] 夏祥标,郑来林. 普达亚地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2009, 33(6): 626-630.
Xia Xiangbiao, Zheng Lailin. The application of integrated geophysical exploration technique to the study of complex structures in Bogeda piedmont ancient grazing area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33(6): 626-630(in Chinese with English abstract).
- [3] 孙洪泉. 地质统计学及其应[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990.
Sun Hongquan. Geological Statistics Application[M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 1990(in Chinese).
- [4] 李玉芹,沈恒丽,王学贞,等. 都兰地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿预测[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 615-620.
Li Yuqin, Shen Hengli, Wang Xuezheng, et al. Geochemical characteristic of stream sediment survey and metallogenic prognosis of Dulan area, Qinghai Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(3): 615-620(in Chinese with English abstract).
- [5] 崔晓亮,刘婷婷,王文恒. 东昆仑布青山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2011, 35(5): 574-578.
Cui Xiaoliang, Liu Tingting, Wang Wenheng, et al. Geochemical characteristics and ore search prospects of Buqingshan area in Qinghai Province based on stream sediment survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(5): 574-578(in Chinese with English abstract).
- [6] 张江华,王葵颖,赵阿宁,等. 小秦岭金矿区水系沉积物重金属特征研究[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 602-611.
Zhang Jianghua, Wang Kuiying, Zhao A'ning, et al. Heavy metal characteristics of stream sediments in the Xiaolinling gold ore district[J]. Geology in China, 2013, 40(2): 602-611(in Chinese with English abstract).
- [7] 杨伟寿,胡正文,何德润. 四川甘孜—理塘断裂带中段阿加隆洼金矿床地球化学找矿模式[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 123-131.
Yang Weishou, Hu Zhengwen, He Derun. Geochemical model for mineral prospecting of the Ajialongwa gold deposit in the central segment of the Garzê-Litang fault zone in Sichuan[J]. Geology in China, 2007, 34(1): 123-131(in Chinese with English abstract).
- [8] 朱建华. 化探在辽宁大杨树沟钼矿发现中的作用与意义[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 342-346.
Zhu Jianhua. Role and significance of geochemical exploration in the discovery of the Dayangshugou molybdenum deposit, Liaoning[J]. Geology in China, 2007, 34(2): 342-346(in Chinese with English abstract).
- [9] 邹长毅,史长义. 五龙沟金矿区域地球化学异常特征及找矿标志[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 420-423.
Zou Changyi, Shi Changyi. Characteristics of regional geochemical anomalies and ore indications in the Wulonggou gold deposit[J]. Geology in China, 2004, 31(4): 420-423(in Chinese with English abstract).
- [10] 师淑娟,王学求,宫进忠. 金的地球化学异常与金矿床规模之间关系的统计学特征——以河北省为例[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1562-1567.
Shi Shujuan, Wang Xueqiu, Gong Jinzhong. Statistic relationship between geochemical anomalous areas and gold reserves: A case study of Hebei province[J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1562-1567(in Chinese with English abstract).
- [11] 王加昇,温汉捷,石少华. 湘黔汞矿带脉石矿物方解石稀土元素、碳氧同位素特征及其指示意义[J]. 矿物学报, 2010, 30(2): 185-193.
Wang Jiasheng, Wen Hanjie, Shi Shaohua. Characteristics and implications of REE, carbon and oxygen isotopes of hydrothermal calcite from the mercury metallogenic belt in Hunan and Guizhou Provinces, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2010, 30(2): 185-193(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘文均. 湘黔断裂带的演化及其成矿作用特点[J]. 地质论评, 1985, 81(3): 224-231.
Liu Wenjun. Evolution of Hunan-Guizhou fault zone and the features of mineralization[J]. Geological Review, 1985, 81(3): 224-231(in Chinese with English abstract).
- [14] 薛水根. 赣东北赣东区域化探重新扫面初步成果[J]. 物探与化探, 1979, (1): 27-34.
Xue Shuigen. The primary achievements of regional geochemical

- exploration in eastern Jiangxi[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 1979, (1): 27–34(in Chinese with English abstract).
- [15] 全国矿产储量委员会办公室. 矿产工业要求参考手册[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- The National Committee Office of Mineral Reserves. *Mineral Industry Require Reference Manual*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987(in Chinese).
- [16] 刘文辉. 应用浓幅分位值对确定区域成矿元素的探讨[J]. *甘肃科技*, 2009, 25(1): 41–44.
- Liu Wenhui. Discussion of applying the quantile of elements' concentration range for confirming of ore-forming elements[J]. *Gansu Science and Technology*, 2009, 25(1): 41–44(in Chinese with English abstract).
- [17] 汤朝阳, 邓峰, 李堃, 等. 湘西—黔东南地区早寒武世沉积序列及铅锌成矿制约[J]. *大地构造与成矿*, 2012, 36(1): 111–117.
- Tang Chaoyang, Deng Feng, Li Kun, et al. Sedimentary sequence of the lower Cambrian Qingxudongin Formation in the western Hunan and eastern Guizhou Provinces and its constrains on lead-zinc mineralization[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012, 36(1): 111–117(in Chinese with English abstract).
- [18] 李堃, 刘凯, 汤朝阳, 等. 湘西黔东南地区 Zn 地球化学块体特征及锌资源潜力估算[J]. *中国地质*, 2013, 40(4): 1270–1277.
- Li Kun, Liu Kai, Tang Chaoyang, et al. Characteristics of zinc geochemical blocks and assessment of zinc resource potential in western Hunan and eastern Guizhou province[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1270–1277(in Chinese with English abstract).
- [19] 周琦. 松桃嗅脑铅锌矿田藻丘微相特征及控矿规律探讨[J]. *贵州地质*, 1995, 12(4): 311–316.
- Zhou Qi. Features of algal mound microfacies and its constrain Pb–Zn ore field in Chounao, Songtao, Guizhou[J]. *Geology of Guizhou*, 1995, 12(4): 311–316(in Chinese with English abstract).
- [20] 汤朝阳, 邓峰, 李堃, 等. 湘西—黔东南地区寒武系清虚洞组地层特征与铅锌成矿关系[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 1034–1041.
- Tang Chaoyang, Deng Feng, Li Kun, et al. Stratigraphic characteristics of the Cambrian Qingxudong Formation in relation to lead-zinc mineralization in western Hunan–eastern Guizhou area[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 1034–1041(in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Heku area, Hunan Province

ZHAO Wu–qiang, CUI Sen, ZOU Xian–wu, TANG Chao–yang, XIA Jie, JIN Shi–chao

(Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430223, Hubei, China)

Abstract: On the basis of 1:50000 stream sediment survey, the geochemical characteristics of the arctic–alpine zone in Heku area were tentatively analyzed. The distribution of the elements, the elements relation in single anomaly and the features of the anomaly were also studied. The result shows that the method of geochemical stream sediment survey is obviously effective in the area of complicated topography, as evidenced by the successful delineation of two Pb–Zn–Cd–V ore-forming places.

Key words: stream sediment survey; mineralization; Heku area; Hunan Province

About the first author: ZHAO Wu–qiang, male, born in 1981, master, engineer, engages in geochemical prospecting and mineral exploration; E–mail: zqwless@126.com.