文章编号:1005—6157(2011)03—0201—6

皖南地区区域地球化学特征及成矿潜力的地球化学预测

程乃福

（安徽省地球物理地球化学勘查技术院，安徽 合肥 230022）

摘 要：根据皖南地区1：20万区域化探资料，计算了区内元素的背景值、区域浓集系数、总体变化系数等参数，阐明了区内元素含量空间分布与成矿元素共生组合特征。使用区域浓集系数及变化系数两个参数，对皖南地区32种元素的成矿潜力进行排序，在目前安徽省地质勘查主攻矿种中，皖南地区的成矿潜力依次为金（银）-钨-钼-铜-铀-锌-铅。同时根据地球化学块体理论和方法，预测了区内金、银资源量，分别为金474t、银16117t，显示出较大的找矿潜力。

关键词：地球化学特征；成矿潜力；地球化学块体；皖南地区

中图分类号：P632　　**文献标志码**：A

0 引言

皖南地区在地球化学景观上属中低山丘陵区，是开展水系沉积物测量的有利地区。水系沉积物是汇水域内各种岩石（矿石）风化产物的天然组合。对已出露的基底和盖层岩石的地球化学特征以及各种地质—地球化学作用留下的特有的地球化学印迹有良好的继承性[1]。对基底和盖层的地球化学特征及各种地质作用（成矿作用）具有良好的指示意义[2]。本文利用二十世纪八九十年代已完成的1：20万区域化探数据（水系沉积物）和区域岩石化探数据，对区内元素地球化学特征和成矿潜力进行探讨。

1 区域地球化学特征

1.1 微量元素含量特征

1.1.1背景含量

采用皖南地区6518个区域化探水系沉积物样品和798个区域岩石样品的定量分析结果，分别计算出皖南地区水系沉积物和基岩32种元素的背景值、区域浓集系数[4]（表1）。

（1）皖南地区水系沉积物中主要成矿元素的背景平均值为：Au 1.90×10^{-9}、Ag 107×10^{-9}、Cu 28×10^{-6}、Pb 30×10^{-6}、Zn 97×10^{-6}、W 3.0×10^{-6}、Mo 0.89×10^{-6}、Sn 5.59×10^{-6}、Mn 717×10^{-6}、Sb 0.79×10^{-6}。

（2）从基岩的区域浓集系数（K_1，即用皖南地区基岩元素背景值除以中国东部地壳元素丰度）上看，32种元素中，K_1>1的元素从大到小排列有Hg、B、W、Li、Au、Bi、Sn、Y、Cu、U、Ag、Th、Cr、F、Sb、V 15种。

（2）与全国水系沉积物背景值相比，有Hg、Sn、W、Zn、Au、Ag、B、Cu、Li、Ti、Pb、Bi、As、Ba、Mn、La、Co、Cd、Nb、Be、V、Sb、P、Cr、Zr 25种元素较全国水系沉积物背景值高（K_2>1）。

（3）与基岩相比，水系沉积物中相对显著富集的元素主要为挥发性元素（也是成矿和成矿指示元素）As、Sb、Hg和成矿元素W、Sn、Mo、Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Bi、Cd、Ti、Zr等。这些元素之所以在水系沉积物中比基岩中富集，除与表生作用有关外，主要与水系沉积物中能够汇集矿化信息有关。表中的岩石采用无矿化蚀变的代表性岩石，能较好地反映出原貌。由于区域化探这个无可比拟的优点，为区内地质找矿和成矿预测提供了大量信息（胡云中，等，2006），因此利用这份资料研究区内区域地球化学特征和成矿更具代表性。

1.1.2变化系数

收稿日期：2011—03-20

作者简介：程乃福（1959-），男，安徽舒城人，高级工程师，长期从事地球化学勘查与研究及物化探技术管理工作。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用区内水系沉积物全体数据参加计算的平均值，除以其标准离差，得出变化系数（C.V.）（表1）。它反映了各元素的地球化学起伏的程度，概括了所有异常的综合信息（林才浩等，1996）。由表1可见，C.V.值>2的元素有Au、Cd、F、Sb、Bi、Hg;C.V.值介于1～2的元素有W、Mo、Ag、Sn、As、Cu、U;C.V.值介于0.75～1的元素为：Ba、Pb。表明上述元素在区内呈分异或强分异的分布模式。

1.2 元素(含量)空间分布特征

各元素的地球化学图、异常图显示，区内元素含量空间分布具有下列特征：

表1皖南地区区域地球化学参数表

Table1Regional geochemical parameters for southern Anhui

元素	Xr	Xs	K_1	K_2	C.V.	元素	Xr	Xs	K_1	K_2	C.V.
Ag	67	107	1.12	1.32	1.39	Mo	0.45	0.89	0.73	0.99	1.59
As	3.2	11.6	0.74	1.15	1.19	Nb	12	17	0.86	1.06	0.36
Au	1.09	1.90	1.35	1.39	6.95	Ni	18	24	0.82	1.00	0.51
B	39	54	1.95	1.29	0.48	P	484	598	0.94	1.03	0.31
Ba	442	521	0.77	1.10	0.95	Pb	16	30	0.89	1.20	0.85
Be	2.1	2.2	1.00	1.05	0.65	Sb	0.34	0.79	1.03	1.04	2.68
Bi	0.22	0.40	1.29	1.18	2.47	Sn	2.41	5.59	1.27	1.75	1.33
Cd	52	169	0.61	1.06	3.34	Sr	112	63	0.49	0.50	0.62
Co	8.8	12.7	0.97	1.08	0.28	Th	11.0	11.9	1.10	0.98	0.66
Cr	44	57	1.05	1.02	0.43	Ti	2863	4961	0.99	1.23	0.19
Cu	18	28	1.20	1.28	1.06	U	2.59	2.35	1.18	0.89	1.02
F	494	406	1.05	0.82	2.89	V	65	82	1.03	1.05	0.60
Hg	28	66	2.15	1.83	2.29	W	1.31	3.0	1.44	1.50	1.80
La	32	42	0.89	1.08	0.40	Y	24	25	1.26	1.00	0.24
Li	29	38	1.38	1.23	0.33	Zn	61	97	0.97	1.41	0.49
Mn	414	717	0.74	1.09	0.69	Zr	160	274	0.89	1.01	0.34

注:Xr—皖南地区基岩元素背景值 Xs—皖南地区水系沉积物元素背景值 K_1=Xr/XEC K_1—基岩元素区域浓度克拉克值 XEC—中国东部地壳元素丰度[3] K_2=Xs/Xt K_2—水系沉积物元素区域浓度克拉克值 Xt—全国水系沉积物元素背景值[3] C.V.—皖南地区水系沉积物元素含量变化系数 含量单位:Ag、Au、Cd、Hg为$\times10^{-9}$,其余为$\times10^{-6}$。

（1）U、Th、Be、Nb、Y、La、Zr等稀有、稀土、放射元素显高背景或异常主要分布于区内燕山晚期花岗岩岩体出露区，而Ti、B、Co、Cr、Ni、V等元素则在区内花岗岩岩体出露区，则是低背景或负异常分布。

（2）V、Ba、Mo、Cd、U、Ni及Sb、P、Ag、Zn等元素在区内震旦系、寒武系出露区多呈高背景或异常区分布，亦显出区内出露的一套黑色岩系地球化学富集特征。

（3）Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Mn、As、Sb、Bi、Hg、Cd等区内主要成矿、指示或伴生元素，由北西至南东主要形成了以下10个元素的组合异常（区）带：①贵池六峰山—许桥Cu、Au、Ag、As、Sb、Hg、Zn异常带；②贵池牌楼—自来山Au、Ag、Pb、Zn、Cu、As、Sb等元素异常带；③贵池马石—潘桥Au、Ag、Pb、Zn、Cu等元素多金属异常带；④石台栗阳—贵池黄山岭—安子山Pb、Zn 、Ag、Mo、Cu、Mo、Au等元素异常带；⑤石台杨坑口—贵池滴水崖Pb、Zn 、Ag异常带；⑥东至Au、Sb成矿异常区；⑦青阳—泾县Au、Ag、Sb、W、Mo 、Pb、Zn、Cu异常带；⑧祁门东源—泾县晏公W、Mo、Au、Ag、Pb、Cd、Bi、Sn、Cu、Zn异常带；⑨休宁用功城—黄山区汤口—泾县汀溪Au、W、Pb、Ag、As、Sb、Bi、Cd、Cu、Zn、Hg、Mo异常带；⑩休宁漳前—绩溪—宁国宁墩Au、Ag、W、Mo、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Cd、Sn异常带和休宁岭南—歙县三阳坑—宁国仙霞Au、W、Cu、Ag、Mo、As、Sb、Bi、Cd异常带。

区内元素含量的空间分布受其区内的地质背景和成矿作用制约，其分布特征亦是区内地质、构造、岩浆岩及区域矿化特征的反映或指示。上述的地球化学异常（区）带，既较好地反映了区内已知的矿（化）区带，也为区内的地质找矿提供了有益的地球化学异常信息。

1.3 成矿元素组合

对研究区1：20万水系沉积物6518件样品的Au、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Mn、Cd等14种元素分析数据，运用SPSS软件进行R型因子分析来划分元素组合。首先，利用巴

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

利特球形检验（Bartlett Test of sphericity）和KMO（Kaiser-Mey-Olkin）检验对所选数据的相关关系进行检验。本研究区KMO值为0.836，概率P值为0.00，适合作因子分析[5]。再选取累计方差贡献>80%为标准进行因子提取（表2）。由于正交旋转因子载荷矩阵比初始因子载荷矩阵所反映的元素组合更具合理性和可解释性[6]。因此本文采用了正交旋转因子载荷矩阵（表3）来划分组合。研究区水系沉积物14个变量归结为7个因子，每个因子代表1个元素组合。通过各因子的因子计量图与研究区内地质背景（地层、构造、岩浆岩）、矿产互映分析，赋予各因子地质地球化学解释（表4）。由表4并结合江南过渡带银的找矿研究[7]和皖东南区域地质矿产评价[8]的因子分析成果，研究表明：区内水系沉积物中成矿元素组合为：①金矿（化）元素组合—Au、As、Sb、Hg、Ag、Pb；②银铅锌多金属矿（化）元素组合—Ag、Pb、Zn、Cd、Mo、As、Sb、Cu；③铜矿（化）元素组合—Cu、Ag、Mo、Bi、Zn、Au；④锰矿（化）元素组合—Mn、As、Sb、Pb、Au；⑤钨矿（化）元素组合—W、Bi、Mo、Pb；⑥锡矿（化）元素组合—Sn、Hg、Pb。从而为区内地球化学异常筛选、评价提供了信息与依据。

表2 因子解释原有变量特征根及总方差情况

Table 2　Factor interpretation of original variable latent root and total variance

因子序号	初始因子解			最终因子解		
	特征根	总方差%	累计方差%	特征根	总方差%	累计方差%
F1	5.065	36.182	36.182	3.086	22.046	22.046
F2	1.903	13.591	49.772	1.821	13.005	35.051
F3	1.246	8.900	58.672	1.457	10.408	45.460
F4	1.187	8.478	67.151	1.421	10.146	55.606
F5	1.021	7.294	74.444	1.351	9.650	65.256
F6	0.680	4.855	79.300	1.329	9.496	74.752
F7	0.565	4.039	83.339	1.202	8.587	83.339

表3 研究区正交旋转因子载荷矩阵

Table3 Orthogonal rotation factor pattern for the study area

因子载荷	变量													
	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Sn	W	Zn
F1	0.760	0.384	0.080	0.222	0.878	0.284	0.114	0.004	0.850	0.409	0.574	0.021	0.042	0.471
F2	0.169	0.093	0.030	0.862	0.071	0.153	-0.10	0.036	0.151	0.339	0.015	0.213	0.901	0.078
F3	0.261	0.224	0.072	0.039	0.175	0.867	0.036	0.203	0.154	0.117	0.124	0.145	0.131	0.645
F4	0.239	0.315	0.067	0.099	0.092	0.146	0.008	0.899	-0.14	0.513	0.136	-0.05	0.012	0.330
F5	0.184	-0.41	0.071	0.100	0.056	0.048	0.278	-0.10	-0.08	0.447	-0.30	0.830	0.111	0.210
F6	0.112	0.468	0.097	-0.05	0.092	0.119	0.880	0.064	0.079	-0.01	0.482	0.214	-0.02	-0.02
F7	0.171	0.323	0.963	0.043	0.028	0. 118	0.051	0.065	-0.01	0.095	0.323	0.074	0.001	-0.01

表 4 研究区各因子元素组合及地质地球化学解释

Table 4 Each factor element association and geological and geochemical interpretation for the study area

因子	主要载荷元素	次要载荷元素	地质地球化学意义
F1	Cd、Mo、Ag、Sb	Zn、Pb、As、C	黑色岩系及其与黑色岩系有关的银多金属矿化
F2	W、Bi	Pb	与岩浆活动有关的钨、铅多金属矿化因子
F3	Cu、Zn	Ag	铜矿化因子
F4	Mn、Pb	Zn、As	锰元素组合因子
F5	Sn	Pb、(As)、(Sb)、Hg	锡矿化
F6	Hg	As、Sb	低温元素组合因子
F7	Au	As、Sb	金矿化元素组合

注:1、元素载荷绝对值:主要载荷元素>0.5,次要载荷元素0.50~0.25。2、括号中的元素载荷值为负

2 成矿潜力的地球化学预测

2.1 区内元素间成矿潜力的排序

2.1.1基本原理[9]

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿床的形成是化学元素由分散到高度集中的过程，一般要经过多次富集作用的叠加，最后达到可工业利用的含量[9]。元素含量在区域上的富集和显著起伏则正是这一过程反映。区域浓集系数度量元素的背景含量的高低，而变化系数则用以度量元素含量的起伏。因此，可用这两个参数来初步探讨、衡量元素间成矿潜力的大小与远景。

将表1中 K_1与 K_2相加，其和从大到小排列给予顺序号（1～32）；同样，C.V.值也从大到小排列，给以顺序号；将两个参数的顺序号相加后，求出各元素的累加序号。累加序号综合反映了区域浓集系数和变化系数所包含的成矿信息，根据累加序号的大小，将32种元素分为如下四组：：

① Au-Hg-Sb-W-Ag-Bi-Mo-Sn-Cd (累加序号4～17)

② As-Cu-B-U-Ba-F-Zn-Pb (累加序号22～37)

③ Li-Th-V-Cr-Be-Mn (累加序号 38～45)

④ Y-Li-Ni-Sr-La-Co-Nb-P-Zr(累加序号 48～57)

根据上述阐述，从①组至④组，元素的成矿潜力递减。事实上，①、②两组内的许多元素. 如W、Mo、Cu、Pb、Zn、Au、Sb、F（萤石）等，已发现有大型、中型矿床及较多的小型矿床。而后两组元素，除Mn、V外，其余尚未发现一定规模的矿床。

在目前安徽省地质勘查主攻矿种中，皖南地区W、Mo、Au、Ag的成矿潜力最大，Cu、Pb、Zn、U次之。

2.2 金、银矿产资源潜力分析与预测

2.2.1 金

Au在水系沉积物中的背景平均值为1.90×10^{-9}，岩石中的背景值为1.09×10^{-9}；黄柏岭组、荷塘组、蓝田组Au的平均含量分别为8.15×10^{-9}、1.35×10^{-9}、2.0×10^{-9}，且分别为中国东部地壳丰度0.81×10^{-9}的10.1倍、1.67倍、2.47倍,呈明显的富集趋势。

根据地球化学块体理论与研究方法[10]，以1∶20万区域化探资料（$4km^2$数据）为基础，用10km×10km窗口平均值、3×10^{-9}作为块体下限圈定地球化学块体（图1），共圈出地球化学图块体3个（编号为1、2、3）、区域异常3个（编号为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）。表5列出金地球化学块体或区域异常的特征及预测资源量。由表5可以看出,皖南地区金预测资源量为474t，其中，青阳—石台—东至地区(1号地化块体、Ⅰ号区域异常)金矿资源总量为209t；宁国—绩溪—休宁地区（3号地化块体、Ⅲ号区域异常) 金矿资源量为192t，其主攻矿床类型为产于中新元古界含碳浅质碎屑岩中的金山（银山）式剪切带型金矿或伴生金矿和产于燕山期中酸性浅成杂岩内外接触带的德兴式斑岩型伴生金矿床[11]。

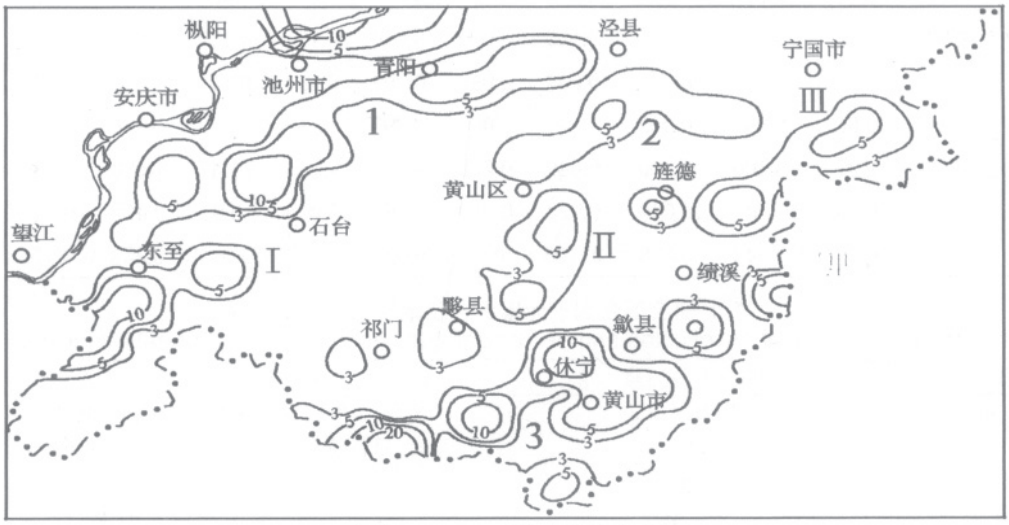

图1 皖南地区Au地球化学块体分体图
Fig.1 Au geochemical subblocks in southern Anhui
注:含量单位×10^{-9}、双点划线为省界

2.2.2 银

Ag在水系沉积物中的背景平均值为107×10^{-9}，是全国水系沉积物背景值1.32倍，岩石中的背景平均值为67×10^{-9}，为中国东部地壳丰度的1.12倍；荷塘组、皮园村组Ag的平均含量分别为318×10^{-9}、230×10^{-9}，是中国东部地壳丰度60×10^{-9}的5.3倍、3.83倍；皖南蓝田组Ag的丰度493×10^{-9}（李双应，2001）为中国东部地壳丰度60×10^{-9}的8.2倍,具明显的富集特征。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表5皖南金地球化学块体或区域异常的特征及预测资源量

Table5 Gold geochemical block or regional anomaly features and estimated resource in southern Anhui

块体与区域异常编号	面积 (km^2)	平均值 ($\times10^{-9}$)	Au供应量 (t)	预测资源量 t(500m深)
1	2453	6.88	22530	142
2	1020	4.51	6141	39
3	1873	9.19	22979	145
Ⅰ	939	8.53	10693	67
Ⅱ	738	5.46	5379	34
Ⅲ	963	5.84	7508	47
总计	7986		75230	474

注:表中预测资源量是根据500m厚地球化学块体计算出的Au的总供应量乘以成矿率得出该块体内总的资源量,成矿率0.63%(据严光生等,2002)计算。

以1∶20万区域化探资料（4km^2数据）为基础，用10km×10km窗口平均值、150×10^{-9}作为块体下限圈定地球化学块体（图2），共圈出3个地球化学块体（编号为1、2、3）和1 个区域异常（编号为Ⅰ）。表6列出银地球化学块体或区域异常的特征及预测资源量。由表6可以看出,皖南地区银块体（含区域异常）面积10283km^2,金属供应量358.15×10^4t,预测银矿资源量为1.6117×10^4t，其中，青阳—石台—东至地区(1号地球化学块体) 银矿资源量5465t；泾县—旌德地区（2号地球化学块体) 银矿资源量为2060 t；宁国—绩溪—歙县地区（3号地球化学块体) 银矿资源量为7304t；祁门—休宁地区（Ⅰ号区域异常) 银矿资源量为1288t。目前，皖南地区尚未找到大型银矿，仅发现中小型，多为伴生矿床。因此，区

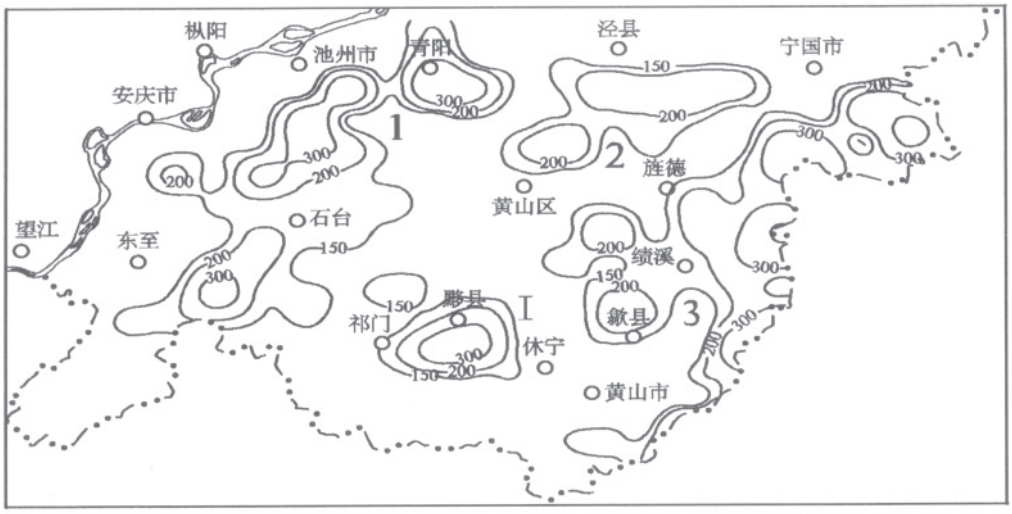

图2 皖南地区Ag地球化学块体分体图

Fig.2 Ag geochemical subblocks in southern Anhui

注:含量单位×10^{-9}、双点划线为省界

表6皖南银地球化学块体或区域异常的特征及预测资源量

Table 6 Silver geochemical block or regional anomaly features and estimated resource in southern Anhui

块体与区域异常编号	面积 (km^2)	平均值 ($\times10^{-9}$)	Ag供应量 (10^4t)	预测资源量 t(500m深)
1	3904	233	121.44	5465
2	1478	232	45.78	2060
3	4135	294	162.3	7304
Ⅰ	766	280	28.63	1288
总计	10283		358.15	16117

注:表中预测资源量是根据500m厚地球化学块体计算出的Ag的总供应量乘以成矿率得出该块体内总的资源量,成矿率0.45%(据严光生等,2002)计算。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

内具较大的寻找银矿的潜力。

3 结论

（1）皖南地区水系沉积物中主要成矿元素的背景值为：Au 1.90×10^{-9}、Ag107×10^{-9}、Cu 28×10^{-6}、Pb 30×10^{-6}、Zn 97×10^{-6}、W 3.0×10^{-6}、Mo 0.89×10^{-6}、Sn 5.59×10^{-6}、Mn 717×10^{-6}、Sb 0.79×10^{-6}。Au、Ag、Cu、Pb、W等25种元素背景值高于全国水系沉积物背景值。

（2）区内分布着大量的地球化学异常，一般均按（区）带集中分布，主要形成了10个异常（区）带，显示出良好的地球化学找矿前景。

（3）使用区域浓集系数及变化系数两个参数，对区内32种元素的成矿潜力进行排序，在目前安徽省地质勘查主攻矿种中，皖南地区的资源潜力依次为金（银）-钨-钼-铜-铀-锌-铅。运用地球化学块体理论与方法，预测区内金矿资源量474t、银矿资源潜力1.6117×10^{4}t，显示出良好的找矿潜力。

参考文献:

[1] 胡云中,任天祥,马振东,邓坚,等.中国地球化学场及其成矿关系[M].北京:地质出版社,2006,1~5.

[2] 王永华,龚鹏,龚敏,马振东.成矿带1：20万水系沉积物地球化学分区的方法及地质意义:以西藏冈底斯铜多金属成矿带为例[J].现代地质,2010,24(4):801~806.

[3] 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,2007,94~111.

[4] 史长义.研究微量元素区域分散与富集规律的新方法[J].物探与化探,1994,18(3):219~227.

[5] 余建英,何旭宏.数据统计分析与SPSS应用[M].北京:人民邮电出版社,2003,292~295.

[6] 戴慧敏,鲍中庆,官传东,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.

[7] 安徽省地质调查院.江南过渡带银的找矿研究[R].2001.

[8] 唐永成,曹静平,支利庚,程乃福,等. 皖东南区域地质矿产评价[M].北京:地质出版社,2010.

[9] 林才浩.福建省矿产资源潜力的地球化学预测[J].福建地质,2001,30(3):129~135.

[10] 刘大文.地球化学块体的概念及其研究意义[J].地球化学,2002,31(6):539~548.

[11] 张文钊,卿敏,邹依林.安徽省金矿成矿地质背景、主攻矿床类型及找矿类型及找矿区划[J].黄金科学技术.2010,18(1):16~21.

REGIONAL GEOCHEMICAL FEATURES AND GEOCHEMICAL PROGNOSIS OF MINERALIZATION POTENTIAL IN SOUTHERN ANHUI

CHENG Nai-fu

(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration Technology of Anhui Province, Hefei, Anhui* 230022*, China*)

Abstract: Based on 1:200000 regional geochemcial exploration data on southern Anhui, this paper calculated background values, regional enrichment coefficient, overall variation coefficient of elements in the area, described spatial distribution of contents of elements and the features of paragenetic association of elements for mineralization, put 32 elements in order according to their mineralization potential in southern Anhui using regional enrichment coefficient and variation coefficient. Among the major target minerals for geological exploration in Anhui Province, Au(Ag)-W-Mo-Cu-U-Zn-Pb show mineralization potential in decreasing order in the area. Based on geochemical block theory and method, gold and silver resources were estimated as 474t and 16117t respectively, indicating great potential for prospecting.

Key words: geochemical features; mineralization potential; geochemical block; southern Anhui

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net