

焦家金矿矿化元素因子分析

郭 涛^{1,2}, 邓 军¹, 吕古贤², 孙之夫³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081;

3. 山东省黄金公司 焦家金矿, 山东 莱州 261400)

摘 要: 在焦家金矿区地球化学测量的基础上, 通过对不同矿化区段地球化学异常结构的因子分析, 探讨矿致异常的元素组合特征。认为不同矿化区段公因子都为典型的热液矿床元素组合, 其中成矿地段公因子变量数较少且相关性较大, 公因子具有很强的代表性, 而非矿化地段公因子中则变量相对较多, 因子载荷较小; Co, Ni 为典型的深源代表组分, 仅在矿化地段表现为独立因子, 且与主因子表现为明显的负相关; 金元素在矿化地段各因子上均具有一定载荷, 但集中分布在两个主因子上, 而且与 As, Hg, Ag, Pb 元素的相关性较大, 因此 F1 因子基本代表了矿化公因子的元素组合, 是成矿预测最有效的指示标志。

关键词: 相关性; 因子分析; 地球化学测量; 成矿预测; 焦家金矿

中图分类号: P628.2; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)02-0106-07

0 引言

成矿作用是复杂的动力学过程, 矿床的形成和演化是地球物质运动的一部分和表现形式, 是地球化学场中各种因素作用的结果^[1,2]。通常矿化是与周围地质背景具有明显变化的地段^[3,4], 这种变化除了表现在介质物质成分、结构构造、地球物理、遥感影像等方面外, 还表现在介质的地球化学异常上^[5-7], 而这种地球化学异常往往是地质体等在时空上的综合反映, 因此如何识别地球化学测量结果中的有效异常就成为成矿预测的一个重要课题。

本文在焦家金矿地球化学测量的基础上, 试图通过对不同矿化区段地球化学异常结构的数理分析, 为地质找矿和科研预测提供科学的依据。

1 矿床地质特征

焦家金矿位于胶东西北部, 是“焦家式破碎带热液蚀变岩型”金矿的命名地。它以规模巨大、矿体形态简单、矿化连续、稳定等特点明显有别于石英脉型

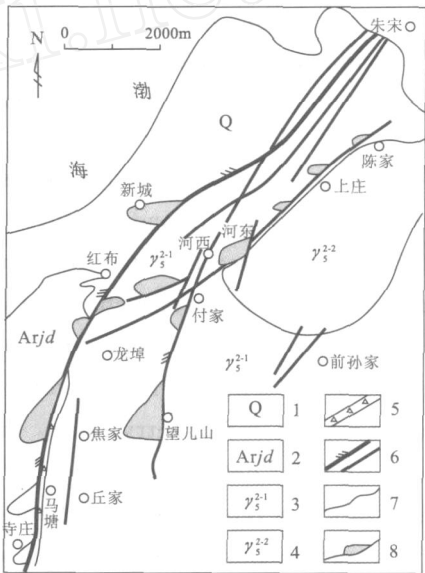


图 1 焦家金矿地质简图

(据山东省地质六队资料修编)

Fig. 1 Geological sketch of Jiaojia gold deposit

1. 第四系 2. 太古宇胶东群 3. 玲珑花岗岩 4. 郭家岭花岗岩
5. 断裂破碎带 6. 断裂 7. 岩性界线 8. 矿体在水平面上的投影

金矿^[8,9]。焦家金矿总体受焦家断裂带控制(图 1)。断裂北部发育在郭家岭岩体与玲珑岩体、以及玲珑

收稿日期: 2007-03-23

作者简介: 郭涛(1972-), 男, 陕西西安人, 副研究员, 博士, 1997 年毕业于中国地质大学(北京), 从事构造地球化学研究。通信地址: 北京市海淀区民族学院南路 11 号, 邮编: 100081, E-mail: gtaot@sohu.com

岩体与胶东群的接触带中,主断面波状起伏,走向平均 30° ,倾向 NW,倾角 35° 左右,在平面上呈“S”状。断裂带内部结构分带性极为明显,由主断面向两侧依次不对称发育断层泥带、挤压片理带、构造透镜体带、密集节理带和稀疏节理带。矿体赋存于断裂中段构造强烈的破碎蚀变带中,并偏向于胶东群和花岗岩的内接触带,矿化基本没有超出蚀变范围。

该矿床围岩蚀变非常发育。蚀变是在富钠花岗岩基础上进行的,主要类型有钾长石化、绢云母、硅化、碳酸盐化和黄铁矿化,并伴有其他硫化物和金银矿化。

焦家金矿床蚀变矿化具有明显的不对称性,其中以下盘发育的最为完整。在水平上,以断面为中心向外依次出现绢英岩化带、钾化-绢英岩化-硅化带、硅化-钾化带、正常花岗岩带;在垂向上,蚀变分带不是很发育,随着深部韧性变形作用加强,蚀变的强度和规模都逐渐减小。同时蚀变的强度在各带亦有所不同,从主断面的弱蚀变向外逐渐加强,在 1 号矿体达到最强,再向外蚀变的强度和规模都迅速减弱。

2 样品采集及测试

对不同中段的坑道沿脉及穿脉岩石进行采样(图 2),采样范围从围岩、蚀变围岩到矿体,样品按 1 m 的间距连续采集,局部地段加密。地球化学样品处理分析由山东省冶勘二队承担,分析的主要元素有 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Hg, Mo, Co, Ni

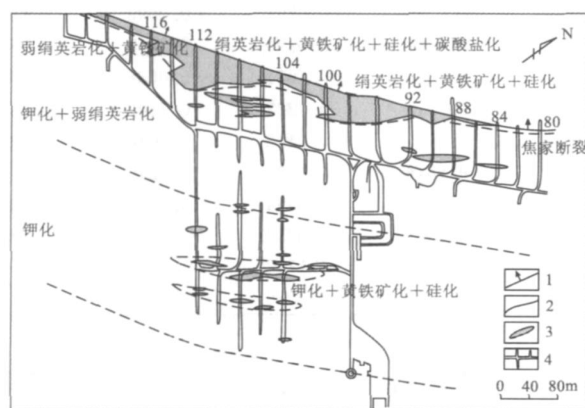


图 2 焦家金矿 - 190m 中段地质图
(据山东省焦家金矿资料修编)

Fig. 2 Geological map of 190m level in Jiaojia gold deposit

1. 焦家断裂 2. 蚀变岩界线 3. 矿体及编号 4. 巷道

等,分析方法为原子吸收分析法。

3 数据预处理

通常地球化学场是区域地球化学背景场和地球化学异常场的综合,根据地球化学元素正态基本统计学原理,可以认为地球化学背景场服从正态分布或对数正态分布^[10,11]。但是如果根据全部测试数据直接计算,往往会对地球化学异常做出不正确的预测。因此如何剔除测试数据中严重偏离了测试样本的异常点是科学预测的关键。

本文首先对原始数据作正态分布检验^[12,13],若不服从标准分布,则将测试值中 > 3 倍均值加 3 倍均方差的数据删除,然后再重新计算,直至保留数据完全服从标准分布为止。

4 矿化元素异常因子分析

因子分析研究相关矩阵的内部依赖结构,它试图将众多的地质变量综合归结成少数的“因子”,以再现原始变量之间的相关关系,并进一步探索产生这些相关关系的内在原因^[14]。由于因子分析方法根据现象的内在联系将变量进行综合归结,能够归纳和提炼元素的组合,从而将混合型的原始数据形态转换为反映不同地质成因的数据形态^[12],因而在地质科学的应用上,我们可以借助因子分析可以将成矿地球化学场进行分解,通过分析元素的地球化学行为和元素组合的专属性,从而对地质地球化学现象进行成因分析。

4.1 矿化地段的数据因子分析

首先将保留数据标准化^[11-13],其目的是使各变量有相对统一的水平,但两个变量在变换前后的相关程度不变,从几何意义上讲相当于将坐标的原点移到重心(平均数)位置,从而得到标准化的数据矩阵。通过对数据矩阵的回归分析,我们得到了不同变量之间的相关系数矩阵(表 1),从表 1 中可以看出 Au 元素与 As, Bi, Hg, Ag, Pb 元素具有相对较高的相关系数,而与其他元素则呈负相关或相关关系不大。再从相关系数矩阵出发,我们又得到了各元素的特征值、特征向量以及因子的初始载荷矩阵。

然而由于测试数据变量数目大于独立条件数及初始因子解的不确定性,在理论上存在着无穷多组

彼此等值的因子与已知实测的相关矩阵相对应,所以初始因子组合并不能够满足以最少的因子反映变量特征的原则^[14],各因子的“典型”代表不突出,因此必须对因子加以旋转。所谓因子旋转是指将由主成分分析得到的因子轴围绕原点旋转一定的角度,使每一个因子只和最少数量的变量有相关关系,从而使因子模型尽量达到简单结构^[12,13]。为此我们对变量进行了正交因子的方差极大旋转法分析,其目的是设法使各个变量在每个因子轴上的载荷向最

大、最小两极分化,每个因子中大因子载荷集中在少数的变量上,而在其他变量上则只出现零或接近于零的因子载荷,在正交旋转过程中因子轴互相正交,始终保持着初始因子解中因子间的不相关特点。

鉴于计算过程中前 7 个公因子的累计方差贡献已达 88.26%,因此我们选择了 7 个公因子,从选取的公因子方差来看,其基本代表了原始变量的信息特征,从而得到矿化地段微量元素的正交因子载荷矩阵(表 2)。

表 1 矿化地段微量元素的相关系数矩阵

Table 1 Correlation coefficient matrix of elements related to mineralization

	Au	As	Sb	Bi	Hg	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ba	Co	Ni
Au	1												
As	0.3553	1											
Sb	-0.1899	0.3538	1										
Bi	0.0718	0.3712	0.1256	1									
Hg	0.4876	0.4143	-0.019	-0.187	1								
Ag	0.5558	0.5943	0.1557	0.5617	0.5232	1							
Cu	-0.2086	0.0914	0.1628	0.1114	-0.1446	-0.0045	1						
Pb	0.4103	0.5317	0.0771	0.2397	0.5931	0.6965	0.0244	1					
Zn	-0.1237	-0.1928	-0.173	-0.0273	-0.127	-0.0872	0.3227	0.1257	1				
Mo	-0.1464	-0.2108	0.0334	-0.1777	0.0022	-0.1717	0.1169	-0.0169	0.424	1			
Ba	-0.0702	0.1711	0.0882	-0.0951	-0.0293	-0.0628	-0.0279	0.0839	0.0489	-0.0845	1		
Co	-0.1376	0.0921	0.2259	0.0094	0.0096	-0.0141	-0.0629	-0.0425	-0.1724	0.4405	-0.0208	1	
Ni	-0.1378	0.0571	0.2323	-0.0046	-0.0062	-0.0028	-0.0365	-0.0562	-0.1255	0.4331	0.0595	0.9159	1

表 2 矿化地段元素的正交因子载荷矩阵

Table 2 Load matrix of orthogonal factor of elements related to mineralization

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	公因子方差
Au	0.7109	-0.0789	0.0259	-0.1784	-0.0877	0.3805	-0.1217	0.7114
As	0.6610	0.0763	0.2792	-0.2659	0.2297	-0.3054	0.1976	0.7764
Sb	0.0509	0.1499	0.0688	-0.0932	0.0335	-0.9361	0.0828	0.9227
Bi	0.1281	0.0014	0.9604	-0.0425	-0.0584	-0.0626	0.0569	0.9511
Hg	0.8465	0.0227	-0.3711	-0.0492	-0.0738	-0.0097	-0.0763	0.8685
Ag	0.7993	-0.0055	0.4866	-0.0600	-0.0744	-0.0702	-0.0093	0.8895
Cu	-0.0530	-0.0368	0.0574	0.1729	-0.0260	-0.0990	0.9663	0.9815
Pb	0.8327	-0.0674	0.1669	0.2222	0.1096	-0.1071	-0.0038	0.7986
Zn	-0.0416	-0.1706	0.0484	0.8843	0.0914	0.1222	0.2109	0.8828
Mo	-0.0439	0.5104	-0.1951	0.7153	-0.1495	-0.0445	-0.0014	0.8364
Ba	0.0085	0.0112	-0.0593	0.0078	0.9816	-0.0428	-0.0240	0.9698
Co	-0.0160	0.9673	0.0140	-0.0174	-0.0216	-0.0964	-0.0303	0.9471
Ni	-0.0283	0.9628	0.0130	0.0104	0.0569	-0.0816	-0.0109	0.9380
方差贡献	3.0175	2.1932	1.4556	1.4923	1.0867	1.1792	1.0497	
累计方差贡献	0.2321	0.4006	0.5128	0.6276	0.7112	0.8019	0.8826	

从以上对正交因子的分析可以看出,方差极大旋转法是以把理论端元组分(主成分解)围绕原点旋转而成的,但是由于端元组分的不确定性及其空间位置的影响,使得方差极大旋转法并不能完全表征实测变量的地质意义。因此一方面为了检验正交分析的结果,另一方面使结果更加贴近实际,我们又采用了斜交因

子矩阵的计算方法,在斜交因子矩阵中把在因子构型中占据极端位置的实际样品向量当作参考向量,不但它们的成分为已知,而且它们在地质环境中的位置也是已知的,因此它就解决了正交因子分析所带来的缺点,从而使计算的结果更加具有地质意义。

从计算得出的斜交因子模型矩阵(表 3)来看,

和正交因子分析的结果大致相同,但是因子结构更加简单,更能代表地质实际情况。

表 3 矿化地段元素的斜交因子模型矩阵
Table 3 Oblique factor matrix of elements related to mineralization

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Au	- 3.3802	- 0.5157	5.5806	- 1.2766	- 0.3391	- 0.2673	- 1.4143
As	- 3.1494	- 0.3027	6.0852	- 1.3496	- 0.7301	0.0582	- 2.5485
Sb	- 0.5596	0.2110	1.4288	- 0.2299	- 0.2416	0.0350	- 1.6536
Bi	- 1.2475	- 0.1875	2.5795	- 0.6001	- 1.1906	- 0.1611	- 1.0519
Hg	- 3.5030	- 0.3542	5.9930	- 1.5643	0.0351	- 0.2386	- 1.9891
Ag	- 3.8649	- 0.4713	7.0078	- 1.7837	- 0.9524	- 0.2912	- 2.4926
Cu	2.0560	- 0.0037	- 1.3599	- 0.1333	- 0.1239	0.0078	0.1733
Pb	- 3.3254	- 0.4680	6.1654	- 1.9053	- 0.5501	- 0.0693	- 2.1705
Zn	1.8990	- 0.0434	- 2.4193	- 0.4705	0.1220	0.1507	1.0858
Mo	1.3906	0.7842	- 2.2234	- 0.3678	0.4320	- 0.1136	0.6791
Ba	0.0195	0.0101	- 0.0900	0.0321	0.0835	0.9951	- 0.0609
Co	- 0.0733	1.1535	- 0.1126	- 0.0948	0.0738	- 0.0659	- 0.3583
Ni	0.0638	1.1567	- 0.3034	- 0.0832	0.0874	0.0177	- 0.2794

从以上对矿化地段的正交和斜交因子分析(表 3,图 3)可以看出:
第一主因子(F1)由 Au,As,Hg,Ag,Pb 元素组成,各个元素在 F1 因子上的载荷均很大,其成矿因子的方差贡献占总因子贡献的 23%,应该代表着热液成矿作用过程中金矿化的主要阶段。同时 Au 元素和 As,Hg,Ag,Pb 元素为明显的正相关,元素间的相关系数较大,加之 As,Hg 活动性较强,是地球化学异常晕的头晕元素,而 Au,Pb 又通常是元素地球化学晕的近矿指示元素,因此 F1 因子是对成矿最有利的元素组合。

第二主因子由 Co,Ni 元素组成,为一组基性场元素组合,其因子在 F2 上的载荷明显大于其他元素。再从 Au 元素与 F2 因子元素间的相关系数来看,与 F1 因子组合相比,其明显的表现为负相关。结合区域地层分析来看^[9,15],其应该代表了成矿前与前寒武系火山喷流有关的元素组合,表现出深源的特点。

第三主因子由 Bi,Ag 元素组成,其因子方差贡献较 F1 和 F2 已经降低,但其中 Bi 元素的因子载荷较大。通常情况下,Bi 元素由于其迁移能力较弱,为致晕异常的元素,因而可能代表着矿体尾部或成矿作用晚期阶段的产物。

F4 因子由 Zn,Mo 元素组成,F6 因子由 As,Sb 元素组成,为典型的热液作用元素组合。

F7 和 F5 因子分别由 Cu,Ba 元素构成,它们的地球化学行为较为独立,表现在与其他元素相关不大或呈负相关。

同时在因子载荷矩阵表上可以看出 Au 元素同

时在几个因子上都具有一定的载荷,说明 Au 元素活动的历史较长,其异常较为复杂;再从正交因子的方差贡献来看,F1 因子对原始变量提供的贡献最多,而 F7 最少。

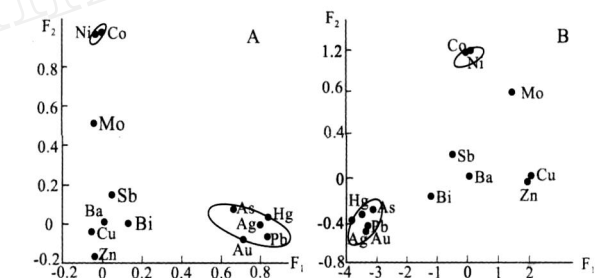


图 3 矿化地段元素的因子分析平面图
Fig. 3 The factor analysis of elements related to mineralization
A. 正交因子分析 B. 斜交因子分析

4.2 非矿化地区的数据因子分析

用同样的方法又对焦家金矿-190 m 中段未见矿化地段的岩石原生地球化学数据进行了处理,从得到的元素相关系数表(表 4)来看,Au 元素与 As,Sb,Bi,Ag,Pb 元素呈微弱的正相关,而与其他元素关系不大或呈负相关。同矿化地段元素的相关性相比较矿化元素组合基本相同,但其元素间的相关性却已大为降低。

从正交因子分析结果来看,由于前 6 个公因子的方差贡献已达 86.84%,因此在非矿化地段选取的公因子为 6 个。从正交因子载荷矩阵表(表 5)可以看出,公因子的元素组合较为复杂,具体表现为:

表 4 非矿化地段元素相关系数矩阵表

Table 4 Correlation coefficient matrix of elements related to mineralization

	Au	As	Sb	Bi	Hg	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ba	Co	Ni
Au	1	0.283	0.8736	0.3625	-0.0443	0.1368	0.0964	0.1293	-0.0527	-0.023	-0.0382	-0.0282	0.0205
As		1	0.429	0.5207	-0.0196	0.5519	0.7002	0.3426	0.2515	0.1857	0.2321	0.2004	0.3836
Sb			1	0.2776	-0.0552	0.1692	0.4417	0.2238	-0.0654	-0.0287	0.2391	-0.036	0.4189
Bi				1	-0.0804	0.7717	0.3216	0.3497	0.0371	0.2532	0.1837	0.2168	0.0003
Hg					1	-0.0389	-0.0179	-0.0608	-0.0121	0.0256	-0.0625	-0.048	-0.0412
Ag						1	0.3597	0.5488	0.2338	0.1955	0.3864	0.5068	0.1771
Cu							1	0.2592	0.1427	0.1643	0.587	-0.0068	0.8077
Pb								1	0.733	0.161	0.1056	0.1085	0.0998
Zn									1	0.14	-0.0731	-0.0545	-0.0702
Mo										1	0.1945	-0.0493	-0.0306
Ba											1	0.1992	0.6208
Co												1	0.2122
Ni													1

表 5 非矿化地段元素的正交因子载荷矩阵

Table 5 Load matrix of orthogonal factor of elements related to mineralization

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	公因子方差
Au	-0.0757	-0.0142	-0.9617	-0.0670	-0.0109	0.0255	0.9359
As	0.4657	0.3294	-0.3862	-0.3627	0.2082	-0.0894	0.6574
Sb	0.3409	0.0308	-0.9075	0.0075	-0.0688	0.0269	0.9463
Bi	0.0316	0.1161	-0.3969	-0.6739	0.4500	0.0471	0.8308
Hg	-0.0299	-0.0295	0.0359	0.0284	0.0102	-0.9911	0.9862
Ag	0.2138	0.3142	-0.1206	-0.8385	0.2274	0.0061	0.9138
Cu	0.8872	0.2070	-0.2187	-0.0545	0.1700	-0.0452	0.9117
Pb	0.0884	0.8709	-0.1333	-0.2549	0.0690	0.0513	0.8664
Zn	-0.0271	0.9490	0.0922	0.0433	0.0403	-0.0084	0.9134
Mo	0.0900	0.0719	0.0774	-0.0208	0.8893	-0.0141	0.8108
Ba	0.7788	-0.1037	0.0686	-0.2161	0.1644	0.0935	0.7044
Co	0.1085	-0.0771	0.1552	-0.8155	-0.2986	0.0237	0.7966
Ni	0.9346	-0.0183	-0.0847	-0.0321	-0.1880	0.0080	0.9174
方差贡献	2.6819	1.9477	2.1869	2.0771	1.2082	1.082	
累计方差贡献	0.2063	0.3561	0.5243	0.6841	0.7825	0.8601	

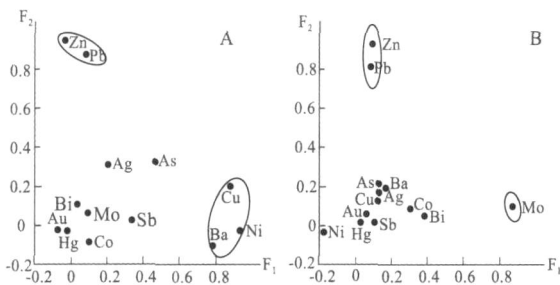


图 4 非矿化地段元素的因子分析平面图

Fig. 4 The factor analysis plan of element related to mineralization

A. 正交因子分析 B. 斜交因子分析

F1 主因子由 Cu ,Ba ,Ni 元素组成 ,从面对矿化地段因子分析结果可知 ,Cu ,Ba 的地球化学行为较为独立 ,而在非矿化地段却相关性较大 ,这可能与

矿化减弱有关 ,另外 Ni 与它们的相关组合也表现出矿化物质的深源特点。

F2 ,F3 ,F4 ,F5 为典型的热液矿床元素组合 ,主要由 Pb ,Zn ,Au ,Sb ,Bi ,Mo 组成 ,可能为矿化较晚阶段热液作用的产物 ,其中 Co 元素在 F4 公因子上有较大的负载表明它对矿化提供了一定的物质来源。

F6 主因子由活动性强烈、扩散较大的 Hg 元素构成 ,为成矿的头晕元素。

再从金与各主因子的相关性来看 ,金在各因子上的载荷相当小且大都为负载 ,说明金富集具较大的独立性 ,金与各因子相关不大 ,这可能与这些地段的蚀变矿化微弱有关。

为了进一步了解非矿化地段的元素组合特征 ,我们又对原生异常进行了斜交因子分析 ,从得到的斜交因子模型矩阵 (表 6) 来看 ,正交因子分析的结

果基本相同,但元素组合更具代表性,其中 F1 ,F2 , F3 为典型的中低温热液元素组合;F4 由性质相对独立的 Cu ,Ba 组成;F5 由代表深源的 Ni ,Ag 构成; F6 由 Hg 组成。

表 6 非矿化地段的斜交因子模型矩阵
Table 6 Oblique factor matrix of elements related to mineralization

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Au	0.1458	0.0630	- 1.0123	- 0.0779	- 0.1576	0.0634
As	0.5511	0.5049	- 0.5741	- 0.6452	- 0.6175	- 0.0364
Sb	0.1441	0.1154	- 1.0141	- 0.5134	- 0.1774	0.0756
Bi	0.7609	0.3320	- 0.5562	- 0.2106	- 0.8460	0.0965
Hg	- 0.0146	- 0.0400	0.0708	0.0534	0.0863	- 0.9999
Ag	0.6047	0.5222	- 0.3184	- 0.3976	- 1.0520	0.0693
Cu	0.4491	0.3380	- 0.4131	- 1.0238	- 0.3491	- 0.0022
Pb	0.3945	1.0036	- 0.2693	- 0.2171	- 0.4443	0.0827
Zn	0.2447	1.0141	0.0256	- 0.0179	- 0.0678	- 0.0075
Mo	0.9783	0.2313	0.0021	- 0.1112	- 0.1148	- 0.0324
Ba	0.3427	- 0.0043	- 0.0899	- 0.8629	- 0.4310	0.1294
Co	- 0.1249	- 0.0208	0.0598	- 0.1983	- 0.8767	0.0795
Ni	- 0.0081	0.0241	- 0.2357	- 1.0284	- 0.2658	0.0527

5 因子分析结果解释

通过以上对矿化区段及未矿化区段地球化学异常元素因子分析发现,它们具有各自的变化规律:

(1)从两者公因子元素组合来看,都是以典型热液矿床元素组合为特征,而代表深源的 Co ,Ni 则具有较高的关联,说明不同地段具有大致相同的地质作用过程,是成矿作用在不同构造部位的产物。

(2)从公因子各自的元素组合来说,成矿地段显然变量数较少且相关性较大,而非矿化地段公因子中则变量相对较多,表明虽然具有相似的元素组合及相近的成矿作用过程,但是由于构造分异作用及热动力条件的差异,成矿地段的元素分异更为显著,成矿元素、成晕元素以及深源指示元素都具有各自的组分单元,公因子具有很强的代表性;而非矿化地段公因子中变量较为复杂,元素关联较差,分异作用不是很明显。

(3)从金元素的方差贡献来看,在矿化地段各因子上金元素均具有一定的载荷,且集中分布在两个主因子上,这一方面表明公因子基本表征了金元素的变化特征,另一方面也暗示了金的分异性较为明显且矿化历史较长;再看非矿化地段,金元素在各公因子上负载均较小,且大都为负值,说明在非矿化地段由于构造应力较弱、热动力条件变化较大,因而金元素的活化、分异能力较弱,富集作用较差。

(4)从金元素与其他元素的相关性来看,Au 与 As ,Bi ,Hg ,Ag ,Pb 的相关性较大,基本代表了矿化公因子的元素组合,说明成矿是在中低温环境条件下进行的,Au 矿化与亲硫元素较为密切。

(5)因子分析表明,不管是在矿化地段还是在非矿化地段,Cu ,Zn 都独立占一公因子,而与其他元素的相关性较差,它们所代表的地质意义不太清晰,可能与元素化学活动性较为独立有关。

(6)Co ,Ni 为典型的深源代表组分,在矿化地段其分异性特别显著,构成独立的因子而与矿化元素组合相区别;在非矿化地段则这种分异性表现得不很明显,在几个因子上都有一定的载荷,表明成矿期热液改造作用较弱。

参考文献:

[1] 於崇文,岑况,鲍征宇,等.热源成矿作用动力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993. 1-218.
[2] 翟裕生. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社,1999. 1-182.
[3] 杨国清. 构造地球化学[M]. 桂林:广西师范大学出版社,1990. 1-119.
[4] 张本仁. 地球化学的基本观念与方法论[J]. 地球科学,1992, 17(增刊):18-25.
[5] 舒利金娜. 金-银矿异常地球化学场的结构[J]. 国外地质科技,1995,(5):54-56.
[6] 胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京:科学出版社,1998.
[7] 赵鹏大,王京贵,饶明辉,等. 中国地质异常[J]. 地球科学——

- 中国地质大学学报,1995,20(2):117-127.
- [8] 吕古贤,林文蔚,罗元华,等. 构造物理化学与金矿成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1999. 1-458.
- [9] 杨敏之,吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学[M]. 北京:地质出版社,1996. 1-228.
- [10] 於崇文. 数学地质的方法与应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1980. 1-428.
- [11] 吴锡生. 化探数据处理方法[M]. 北京:地质出版社,1993. 1-130.
- [12] 蒋耀淞. 多元统计分析方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [13] 赵鹏大、胡旺亮、李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [14] 余金生,李裕伟. 地质因子分析[M]. 北京:地质出版社,1985. 1-421.
- [15] 王鹤年,陈骏,汪耀,等. 胶东金矿含金建造的地球化学研究[J]. 地球化学,1988,(3):195-207.

FACTOR ANALYSIS OF ELEMENTS RELATED TO MINERALIZATION IN JIAOJIA GOLD DEPOSIT

GUO Tao^{1,2}, DENG Jun¹, L V Gu-xian², SUN Zhi-fu³

(1 China University of Geosciences Beijing, Beijing 100083, China; 2 Institute of Geomechanics, CAS Beijing 100081, China; 3 Jiaojia Gold Mine, Laizhou 261400 Shandong, China)

Abstract: Based on geochemical survey in Jiaojia gold deposit factor analysis of element for varied mineralization blocks is conducted and element association of ore-caused anomalies is discussed. The common factors for various mineralization blocks are all characterized by element association of hydrothermal ore deposit and those of the ore domains by less variables and strong correlation thus strong representative; those of non-mineralization blocks by relatively more variables and small load. Co, Ni, the typically deep-sourced materials are negatively correlated to the principal factors and occur as independent factor only in the mineralization blocks. Au in mineralized blocks is of certain load on each factor and concentrated at two factors. It is strongly correlated to As, Hg, Ag, Pb. Therefore F1 represents element association of common factor of mineralization thus the most effective indicator for ore prediction.

Key Words: correlation; factor analysis; geochemical survey; ore prediction; Jiaojia gold mine