

山东招远界河金矿床 地球化学元素统计分析特征研究*

曹新志 高秋斌 徐伯骏 王来峰

(中国地质大学, 武汉, 430074)

摘要 通过对地化元素量值的统计分析可以推测地化元素在成矿过程中的演化特征, 进而为预测找矿提供有用的深层次信息。本文通过有关元素的聚类分析、因子分析研究揭示界河矿区内 Au 与 Bi 以外的其他元素基本不具相关性, Au 的成矿经历了长期、多次的地质演化过程, 揭示了矿区内仅 Au 独立成矿的内在原因。文中据元素的共生组合及相关性特征认为矿区内 Bi 可作为找金的近程指示元素, As 可作为找金的远程指示元素。

关键词 统计分析, 地球化学元素, 金矿床, 山东

地球化学元素之间的关系通过其量值的统计分析途径可以得到揭示, 并且通过元素量值的统计分析还可以推测地化元素在成矿过程中的演化特征, 从而为预测找矿提供有用的信息。

1 矿区地质概况

矿区位于著名的焦(家)-新(城)矿田的最北部、望儿山断裂带的最北端。矿区内出露的地层为太古界胶东群和第四系, 前者呈极少量的残留体产出, 岩性为斜长角闪岩及黑云斜长片麻岩等。矿区内构造主要为望儿山断裂带, 呈北东向横贯全区(图1), 是矿区内重要的赋矿构造。矿区内岩浆岩大面积出露, 岩性主要为玲珑片麻状黑云母花岗岩, 其次为郭家岭似斑状花岗闪长岩, 有少量的脉岩出露。

矿床类型为断裂破碎脉带蚀变岩型。矿区内发育有4[#]、1[#]、7[#]三个主矿体, 矿体的形态、规模及产状受到赋矿断裂构造的严格控制。矿石类型主要为黄铁绢英岩化碎裂岩型、细脉浸染状绢英岩化花岗质碎裂岩型及硅化碎裂岩型。矿石中的金属矿物主要为黄铁矿、自然金、银金矿, 极少量的方铅矿、黄铜矿、辉锑矿, 非金属矿物主要为石英、长石、绢云母等, 矿石中的有用组份仅为 Au、其他元素因含量甚低而无综合利用价值。矿床成矿具有多阶段性, 从早到晚依次可分为黄铁矿-石英、石英-黄铁矿、多金属硫化物及石英-碳酸盐四个成矿阶段。矿区内近矿围岩蚀变发育, 蚀变种类主要为黄铁矿化、绢云母化、硅化、红化^[1]、碳酸盐化, 其中以前三种蚀

* 国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室基金资助成果。

收稿日期 1999-01-22 改回日期 1999-03-05

第一作者简介: 曹新志, 男, 1956年4月生。副教授, 硕士, 主要从事矿产勘查教学及研究工作。

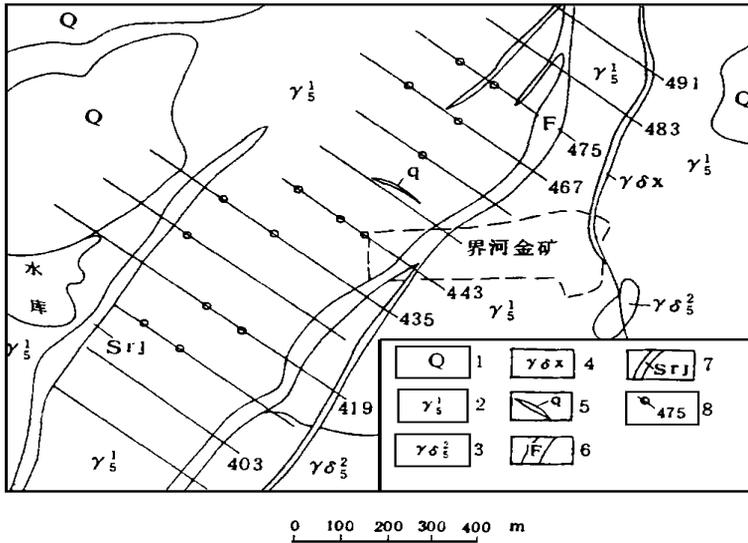


图 1 山东省招远市界河金矿区地质图

Fig. 1 The geological map of Jiehe gold mine, Zhaoyuan county in Shandong province

- 1. 第四系 2. 玲珑片麻状黑云母花岗岩 3. 郭家岭似斑状花岗岩闪长岩 4. 花岗闪长玢岩脉
- 5. 石英脉 6. 望儿山断裂带 7. 绢英岩化花岗质碎裂岩 8. 勘探线及编号

变与成矿的关系密切。

2 矿区地化元素的统计特征

2.1 矿区地化元素的 R 型聚类分析

据矿区内的全部化探原生晕样品分析结果, 对 19 个元素(变量) 进行的 R 型聚类分析(图 2) 表明, 矿区内的成矿元素在相关系数 $r > 0.3$ 的情况下可以分为 7 个点群: ①Pb、Zn、Ag; ②As、Sb; ③Au、Bi、W、Co; ④Cu、Mo; ⑤Hg; ⑥Cr、Ni、V、Mn、Ti、Sn; ⑦B。7 个点群的相似性较低, 基本上代表了不同的成矿元素组合。

元素组合的这种多群体性一方面反映出不同种类的成矿元素因地化性质的差异而在共生组合上“物以类聚”性, 另一方面则反映出矿区内所经受的地质作用的复杂性及成矿的多期次性。金和其他成矿元素的相关性非常低, 仅和 Bi 表现出相对较强的相关性($r = 0.52$), 和 W、Co 也具一定的相关性($r = 0.39$), 但和 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg 等元素的相关性则较差。上述元素组合的相关性特征揭示了矿区内金和其它元素的不共生成矿现象(仅金成矿) 的内在原因, 矿区金成矿的深成性, Bi 可以作为矿区内找金的近程指示元素。在矿区范围内, Au 仅和 Bi 具较强的相关性的原因可能是在区内遭受长期隆起剥蚀的地质背景下, 矿区内的采样位置已属于区域原始热液成矿间隔的中偏下部位的缘故。

为了进一步查明金及有关的成矿元素在不同标高上的组合关系, 把区内化探样品的测

试结果按不同标高分别进行了聚类分析(图3)。从图3中可以看出元素的组合关系与上述全矿区内的元素组合关系特征相比,具一定的差异性,主要表现为 Au 和 As、Sb、Hg 以及 Au 和 Bi 等元素的相关聚类水平从上向下发生有规律的周期性变化:

在+7 m 中段 Au 和 As 相关性较强($r = 0.73$), -26 m 中段 Au 和 As、Sb、Hg 等元素基本不相关($r = 0.10$), -116 m 中段 Au 和 As、Sb 又表现出明显的相关性($r = 0.51$)。而 Au 和 Bi 的相关水平在不同中段则呈现出与 Au 和 As、Sb、Hg 相反的规律性变化:在近地表的+7 m 中段 Au 和 Bi 几乎不具任何相关关系($r = 0.07$),在矿化好的-26 m 中段则表现出正的强相关($r = 0.91$),在矿化差的-56 m、-116 m 则基本无相关性或弱的负相关性($r = 0.13$, $r = -0.35$)。上述不同元素之间的相关特征在矿区不同标高具一定的变化性的现象,一方面说明元素的相关性随矿化的空间部位(如矿体的头、中、尾部,成矿阶段产物等)不同而不同,另一方面也说明了元素本身的地化性质对其相关特征的影响。Bi 在矿化好的部位与 Au 相关性强,As、Sb、Hg 则呈现出相反的特征的事实进一步佐证了 Bi 可以作为区内找金的近程指示元素,而 As、Sb、Hg 作为一般的远程指示元素和 Bi 在空间上的分离性。As、Sb 和 Au 在矿区下部-116 m 中段又表现出较强的相关性的现象,据我们对矿区元素垂向分带的研究(详见另文)属深部矿体头部晕的显现。

2.2 成矿元素的 R 型因子分析

因子分析是一种在尽量少损失地质信息的前提下,将众多的变量组合成少量的新变量——“因子”,以便对地质对象进行简明的分析的一种方法。它能归纳和提炼元素组合,并可以通过元素组合特征推断、解释成矿过程和成矿元素的迁移、富集变化,判定成矿阶段^[2]。

按特征值 > 0.75、累计方差 > 90% 为标准选取主因子,对矿区内的化探测试数据进行正交和斜交因子计算。从计算的正交因子载荷矩阵(表1)中可以看出:

(1) 矿区内的地化元素依次经历了 Cr、Ni、V、Ti、Mn 富集(F_1), Pb、Zn、Ag、Co 富集(F_2), Au、Bi 活化、迁移(F_3), Cu、Mo 富集(F_4), Au 富集、As 贫化(F_5), Au 贫化、As、Hg 富集的演化过程。结合区域及矿区内的地质特征分析,可能反映了区内早期偏基性、超基性的海底火山喷发、胶东群原岩形成,提供了区内金矿的物质基础,伴之有一定的热液活动,Au、Bi 活化、迁移,其后变质作用、混合岩化花岗岩形成,随之有金的活化、富集成矿,在表生改造作用下金又重新迁移的复杂的地质成矿演化过程;

(2) Au 与其它元素无明显的共生组合关系、独立性较强,仅与 Bi(F_3) 具明显的相关性,经

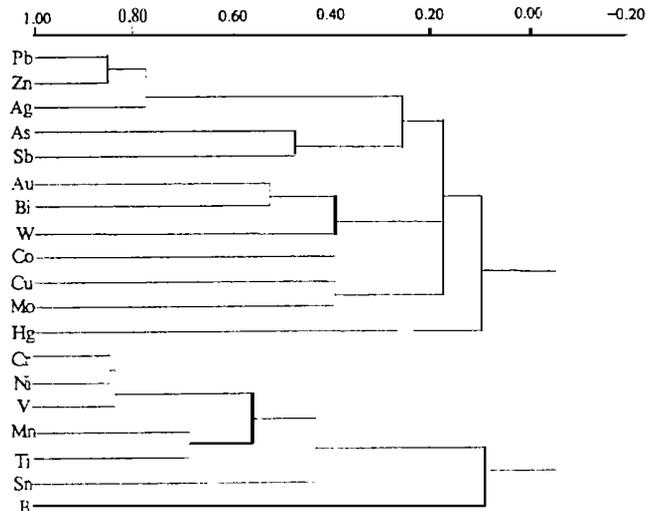


图2 界河矿区地化元素 R 型聚类谱系图
Fig. 2 The map of R type cluster analysis about
geochemical elements in Jiehe mine

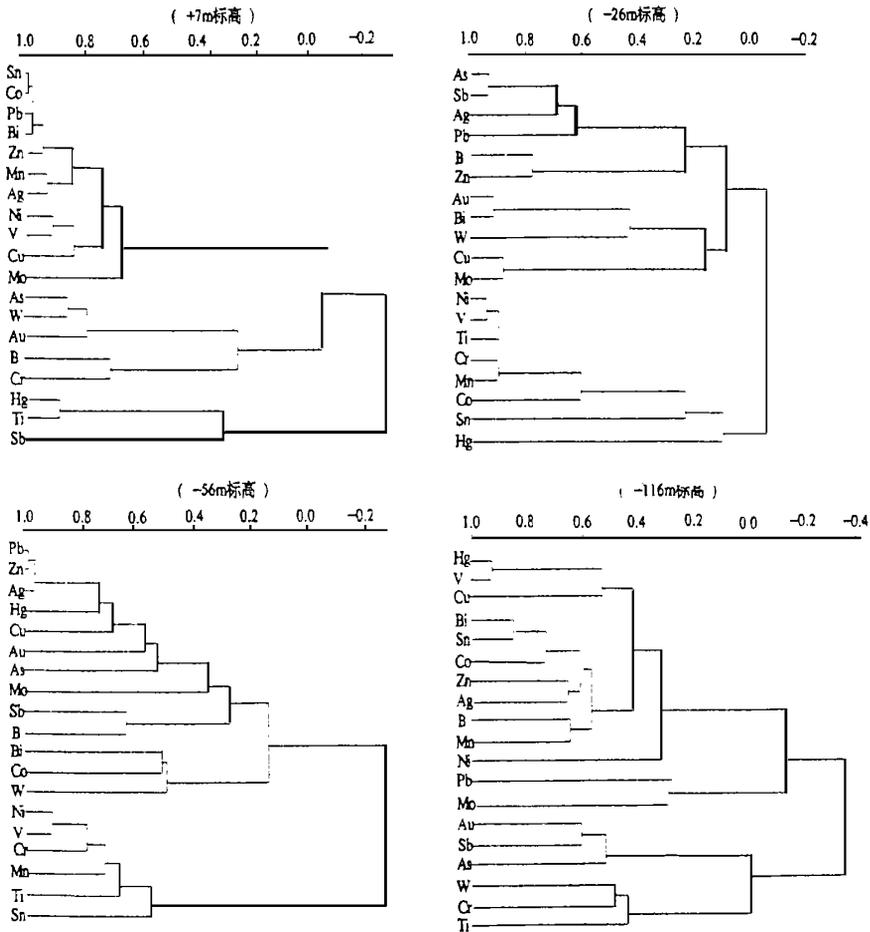


图 3 界河矿区不同标高地化元素 R 型聚类谱系图

Fig. 3 The map of R type cluster analysis of geochemical elements at different elevations in Jiehe mine

历了长时期的活化、迁移, 在 Cu、Ni、V、Ti、Mn、Pb、Zn、Ag、Cu、Mo 等元素的富集阶段之后才形成了一定程度的富集。在早期 Pb、Zn、Ag、富集时, Au 并无明显的富集, 特别是在 Zn 富集时, Au 反而具相当程度的贫化(活化、迁移), Au 与 As 也表现出明显的负相关关系, 表明了 Au 的热液成因特点及成矿演化的长期性。

表 2 为计算的斜交因子模型矩阵, 从表中可以看出元素组合特征及其所反映的地质信息与表 1 中的元素组合特征和反映的地质信息完全一致, 但更突出了以下内容:

(1) Au 与 Bi、W、Co 在贫化过程中具密切的组合关系(F₃), 反映出在高温热液活动过程中 Au 与 Bi、W、Co 一起产生了强烈的活化、迁移;

(2) Au 的主成矿阶段(强烈富集) 伴之 Bi 的一定程度的富集和 As 的强烈迁移(F₅), 即 Au 和 Bi 具有较强的共生关系、和 As 则明显不共生。因此, Bi 可以作为找金的近程指示元素, As 只能作为远程指示元素。

表1 界河矿区R型因子分析正交因子载荷矩阵

Table 1 Normal factor loading matrix of R type analysis about Jiehe mine

因子	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	
元素	Au	-0.0704	0.1845	<u>-0.5015</u>	-0.1358	<u>0.4290</u>	<u>-0.3537</u>	<u>-0.3532</u>	-0.1457	0.2651	-0.1882
	As	-0.2234	0.3557	0.0489	<u>0.4520</u>	<u>-0.4452</u>	<u>0.3849</u>	0.1363	-0.2688	0.0226	-0.1259
	Sb	-0.1826	0.4140	0.3624	0.57117	-0.1856	0.1818	-0.0659	-0.0687	0.1747	-0.1549
	Hg	-0.1535	0.1872	0.1872	0.2177	0.3709	<u>0.3793</u>	<u>0.3766</u>	0.3933	0.3775	-0.3561
	B	0.0613	0.0357	0.2767	-0.2474	-0.0821	<u>-0.5945</u>	<u>0.5866</u>	0.1646	0.2785	0.0932
	Cu	-0.2486	0.3548	0.0075	<u>0.5783</u>	-0.3365	-0.1523	-0.0329	0.2688	0.0918	-0.1388
	Pb	-0.3984	<u>0.6972</u>	0.4784	-0.1378	0.0770	-0.0783	0.1191	0.0719	-0.1346	0.0394
	Mn	<u>0.6949</u>	0.0269	0.1467	-0.2571	-0.1155	-0.3205	0.0967	0.1367	-0.1372	-0.3165
	W	-0.1888	0.3562	0.5970	0.1087	-0.2568	-0.0542	0.1280	<u>0.4460</u>	-0.1878	0.1022
	Cr	<u>0.8403</u>	0.2872	0.0030	0.0034	0.0845	0.1773	-0.0383	0.0530	-0.0152	0.0274
	Ni	<u>0.8041</u>	0.3561	0.0340	0.0198	0.2234	0.1762	0.1175	0.2347	-0.0366	0.1183
	Ti	<u>0.7186</u>	0.0638	0.0603	0.0827	-0.2304	-0.2158	-0.1228	0.2936	-0.1982	-0.3357
	Bi	-0.0205	0.3548	<u>-0.7687</u>	-0.0734	0.2625	-0.1919	0.0357	0.0112	0.0131	0.0045
	Sn	0.4564	0.2789	0.0656	0.0864	-0.2568	-0.0471	-0.1965	0.3523	<u>0.4402</u>	<u>0.4729</u>
	Mo	0.2368	0.3825	0.0166	<u>0.5862</u>	-0.3204	-0.0769	-0.1258	-0.1226	0.2245	-0.1763
	V	<u>0.8387</u>	0.2493	0.1995	-0.0064	0.1405	0.1886	-0.1164	-0.1266	0.0535	0.0130
	Zn	-0.3328	<u>0.5841</u>	<u>0.5495</u>	-0.0184	0.2628	0.1885	-0.0929	0.0272	-0.1652	0.0537
Ag	-0.4207	<u>0.7752</u>	0.2503	0.05040	0.0192	0.0072	-0.0762	0.0665	-0.0547	-0.0143	
Co	0.2562	<u>0.5265</u>	-0.4364	0.2665	0.1117	0.0368	0.3878	-0.0944	-0.2594	0.1577	
因子方差贡献	4.0449	2.9454	2.2988	1.5276	1.2087	1.1658	0.9375	0.8879	0.7877	0.7527	
累计方差贡献	0.2129	0.3679	0.4889	0.5693	0.6329	0.6943	0.7436	0.7903	0.8318	0.8714	

表2 界河矿区R型因子分析斜交因子载荷矩阵

Table 2 Oblique factor loading matrix of R type analysis about Jiehe mine

因子 变量	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀
Au	0.0007	0.0266	<u>-0.9288</u>	-0.0131	<u>1.0133</u>	<u>-0.4417</u>	<u>-0.5031</u>	-0.2892	0.1072	-0.0666
As	0.0429	0.2076	0.2059	-0.3688	-1.1355	<u>0.4324</u>	0.2099	-0.2275	-0.2608	-0.1368
Sb	0.0314	0.2115	-0.4550	<u>-0.5235</u>	-0.3860	0.3190	<u>-0.1836</u>	0.0825	0.2360	0.0787
Hg	0.0026	0.0949	0.0104	-0.0097	<u>0.4210</u>	0.3533	<u>0.5904</u>	<u>0.7659</u>	0.8516	-0.4680
B	-0.1701	-0.0507	0.0013	0.0159	-0.0467	<u>-4.5612</u>	4.3819	-0.1714	0.4552	0.1709
Cu	-0.2514	0.2144	0.0896	<u>0.8952</u>	-0.4867	-0.2669	0.2818	-0.2299	-0.2129	-0.1296
Pb	-0.0243	<u>1.0333</u>	<u>0.3133</u>	-0.0642	-0.0316	0.0782	-0.0856	0.0205	0.0343	0.0609
Mn	<u>0.6969</u>	-0.0354	0.0170	-0.0827	0.0251	<u>-1.1879</u>	<u>0.9221</u>	0.0974	-0.2246	<u>-0.5509</u>
W	-0.3418	0.2222	-0.9078	-0.0276	-0.1686	<u>0.5585</u>	-0.2335	<u>1.2231</u>	0.2462	0.2378
Cr	<u>1.0428</u>	0.0040	-0.0349	-0.0076	-0.0263	<u>0.5340</u>	-0.3882	-0.0439	0.1850	0.1209
Ni	<u>1.0122</u>	0.0638	-0.0493	-0.0486	-0.0288	-0.1533	0.3844	-0.2976	-0.0318	0.0437
Ti	<u>0.5900</u>	0.0040	0.0062	0.0595	-0.0192	0.2624	<u>-0.5197</u>	0.3710	-0.1258	-0.4158
Bi	-0.0098	0.0687	<u>-1.3110</u>	-0.1410	<u>0.5426</u>	-0.3974	0.1621	0.3599	-0.0462	-0.0418
Sn	0.2380	0.0626	-0.0145	-0.0170	0.0133	<u>-0.5958</u>	0.3978	<u>0.6826</u>	<u>1.9920</u>	<u>1.7068</u>
Mo	0.2478	0.0548	0.0430	<u>0.8928</u>	-0.3142	0.1471	-0.1463	0.0216	0.3713	0.1097
V	<u>1.0566</u>	0.0358	0.2409	0.0268	0.0341	<u>0.4870</u>	-0.4456	-0.2944	0.2395	0.1443
Zn	0.0126	<u>0.9993</u>	<u>0.3316</u>	0.0377	0.2559	-0.3096	0.1572	-0.1338	-0.1203	-0.0710
Ag	-0.0611	<u>0.9916</u>	0.0647	0.0065	-0.1102	0.2922	-0.1391	0.1839	0.1312	0.0472
Co	0.3627	0.2182	-0.7655	0.1309	-0.1605	-0.3297	0.8800	0.3306	-0.4697	-0.2089

3 研究结论

由上所述,可得到以下的研究结论:

(1) 地化元素的聚类分析表明, Au 与其他大多数元素的相关性非常低, 仅和 Bi 表现出相对较密切的相关性, 反映 Bi 可以作为矿区内找金的近程指示元素。

(2) R 型因子分析表明, 矿区内金的成矿经历了长期、多次的地质演化过程, Au 和其他元素并无明显的共生组合关系, 独立性较强, 仅与 Bi 具一定的共同富集过程, 而与 As 具明显的不共生关系, 即 Au 的富集伴之 As 的强烈迁移, 说明 As 可作为找金的远程指示元素。

(3) 通过地化元素的统计研究可以较好地揭示不同元素之间的共生组合关系及其在成矿过程中的演化特征, 从而为预测找矿工作提供微观的、深层次的找矿信息。

(4) 本文对宏观地质标志不明显因而使成矿阶段难以确认、成矿过程难以恢复的蚀变岩型金矿的研究具有抛砖引玉的意义。

参考文献

1. 陈光远, 孙岱生, 周询若, 等. 胶东郭家岭花岗岩闪长岩成因与金矿化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 182 ~ 187
2. 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测. 第二版. 北京: 地质出版社, 1994. 260 ~ 276

THE RESEARCH ON STATISTICAL ANALYTIC CHARACTERISTICS ABOUT GEOCHEMICAL ELEMENTS IN JIEHE GOLD DEPOSIT, ZHAOYUAN CITY, SHANDONG

Cao Xinzhi Gao Qiubin Xu Bojun Wang Laifeng

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract

The evolutional characteristics of geochemical elements during the metallogenic process can be guessed through the statistical analysis of geochemical elements' data suppling useful concealing messages. The researches of cluster analysis and factor analysis in this paper reveal that there aren't correlativity among Au and other elements except Bi, the mineralization of gold had undergone long period and many times geological evolution process. It is considered that Bi is proximal indicator element and As is distal indicator element for exploring gold in the mine according to the association and correlative character of elements.

Key words Statistical analysis, Geochemical element, Gold deposit, Shandong