

德兴铜矿花岗闪长斑岩物质来源的微量元素研究

钱 鹏¹, 陆建军²

(1. 南通大学 地理系, 江苏 南通 226007; 2. 成矿作用国家重点实验室, 南京大学 地球科学系, 南京 210093)

摘要: 对德兴铜矿铜厂和富家坞花岗闪长斑岩样品的微量元素和稀土元素分配特征分析研究表明, 铜厂和富家坞两个矿区的花岗闪长斑岩具有一致的来源, 两个斑岩体均由混有少量地壳物质的地幔岩浆演化而来。结晶分异作用可能是岩浆演化的主要原因。

关键词: 德兴铜矿; 花岗闪长斑岩; 微量元素; 江西省

中图分类号: P584; P588.12 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2005)02-0075-05

对于德兴斑岩铜矿斑岩体成岩物质来源, 前人已研究得出不同观点, 如: 叶松^[1]经研究指出, 岩浆主要起源于深部地壳的基性“角闪石-辉长石”层, 在上升演化过程中同化混染了较多的上部地壳硅铝层物质; 朱训等^[2]和芮宗瑶等^[3]则认为, 德兴斑岩铜矿花岗闪长斑岩岩体主要来自底侵的地幔岩浆, 在成岩晚期与下地壳部分熔融混合。本文试图利用微量元素分配特征对成岩物质来源作进一步的探讨。

1 地质背景

德兴斑岩铜矿位于江南古陆东南缘与浙赣早古生代坳陷带结合部, 其东南侧为赣东北深断裂, 隶属于环太平洋成矿域西成矿带, 是赋存于大陆边缘断裂带中的典型斑岩铜矿床^[4]。

德兴铜矿包括铜厂、富家坞、朱砂红 3 个矿区, 是我国已探明的规模最大的超大型斑岩型铜矿。关于该矿床的成矿作用特征已有许多研究^[2, 5-10]。与该矿床成矿有密切空间和成因关系的侵入岩体为花岗闪长斑岩, 其同位素年龄为 157~170 Ma^[11]。主岩体受 EW 向褶皱构造带中的 NW 或 NWW 向横

张断裂构造控制。花岗闪长斑岩为块状构造, 全晶质斑状结构。斑晶主要为自形晶板状中长石, 其次为自形和半自形柱状普通角闪石、黑云母、板状钾长石和石英。基质呈他形粒状结构, 主要由更长石、石英、钾长石及少量普通角闪石和黑云母组成。副矿物主要是磁铁矿、磷灰石、榍石、钛铁矿和锆石等。

花岗闪长斑岩岩体围岩为中元古界双桥山群中上部一套浅变质泥砂质和凝灰质千枚岩^[4]。花岗闪长斑岩体内部发育钾长石化、黑云母化、水云母化和绿泥石化蚀变带; 在接触带附近则发育硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化, 并伴有金属矿物多次沉淀; 远离接触带的围岩蚀变减弱, 形成绿泥石化-绢云母化带^[2, 4]。

2 样品制备与测试

本文选择了铜厂与富家坞两矿区共 7 个花岗闪长斑岩样品进行测试分析, 样品详细描述见表 1。

微量元素化学分析是在南京大学地球科学系内生金属矿床成矿机制国家重点实验室利用等离子质谱仪(HR ICP-MS)完成的。实验精度为 5%, 误差小于 10%。样品测试数据详见表 2, 表 3。

表 1 铜厂及富家坞花岗闪长斑岩样品镜下特征描述

Table 1 Microscopic characteristics of granodiorite porphyry samples

样品编号	采样点	岩 性	主 要 特 征 描 述
DX0015	铜 厂	新鲜花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英和少量角闪石, 基质为长英质
DX0105	铜 厂	新鲜花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英和少量角闪石, 基质为长英质
DX0108	铜 厂	绢英岩化花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英, 变晶结构, 中等程度蚀变, 基质为绢英岩化, 伴有矿化
DX0127	铜 厂	弱钾长石化花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英, 基质为长英质, 弱钾长石化
DX0145	铜 厂	新鲜花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英和少量角闪石, 基质为长英质
FDX0138	富家坞	新鲜花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英和少量角闪石, 基质为长英质
FDX0139	富家坞	新鲜花岗闪长斑岩	斑晶为斜长石、黑云母、石英和少量角闪石, 基质为长英质

表 2 德兴斑岩铜矿花岗闪长斑岩微量元素质量分数及特征值

Table 2 Trace element compositions and characteristics of granodiorite porphyries

from Dexing porphyry copper deposit

 $w_B / 10^{-6}$

元素	DX0015	DX0105	DX0108	DX0127	DX0145	FDX0138	FDX0139
Li	37.547	51.039	81.566	48.791	59.316	51.909	46.928
Be	1.302	1.207	1.262	1.429	1.366	1.157	1.324
Sc	8.597	9.953	10.455	11.399	12.850	9.179	8.982
Ti	2614.061	2508.841	2784.561	2712.694	3267.94	2709.668	2846.414
V	90.948	112.323	125.973	120.406	129.327	97.193	104.844
Mn	275.132	273.378	462.528	184.121	172.226	269.449	216.089
Co	9.152	11.492	11.221	8.697	10.499	7.762	7.647
Cu	6735.138	2495.105	1709.358	3476.919	3940.692	1730.777	2533.598
Ga	19.214	21.565	23.423	18.029	20.238	21.541	21.302
Rb	83.263	89.390	121.523	110.262	77.306	69.503	57.683
Sr	586.107	230.989	152.378	15241.87	667.723	569.629	587.593
Y	9.435	7.255	8.186	11.819	14.290	8.363	11.786
Zr	160.109	151.557	123.882	112.118	148.447	131.316	192.988
Nb	8.545	7.445	8.760	9.888	9.436	9.658	9.358
Sn	1.175	1.240	1.291	1.217	1.482	0.827	0.853
Cs	13.718	31.932	36.389	38.797	29.203	5.875	5.899
Ba	1504.573	1173.072	290.8765	3081.886	1166.425	1297.749	1312.298
Hf	4.051	3.699	2.807	3.054	3.872	3.642	4.566
Ta	0.747	0.613	0.664	0.851	0.753	0.862	0.768
Pb	20.609	13.305	5.924	10.976	13.021	13.805	18.594
Bi	0.570	0.221	0.046	0.121	0.100	0.067	0.112
Th	16.333	15.048	14.113	18.913	13.635	17.370	15.168
U	3.255	1.301	1.016	2.820	1.499	2.851	2.695
Zr/Hf	39.522	40.966	44.428	36.710	38.331	36.055	42.266
Nb/Ta	11.430	12.137	13.188	11.611	12.530	11.202	12.181

表3 铜厂和富家坞花岗闪长斑岩稀土元素质量分数及特征值

Table 3 REE compositions of Tongchang and Fujiaowu granodiorite porphyry

 $w_B / 10^{-6}$

稀土元素	DX0105	DX0127	DX0145	DX0015	DX0108	FDX0139	FDX0138
La	13.246	27.074	31.924	26.341	13.298	35.724	31.322
Ce	23.845	44.741	60.723	43.931	24.821	59.150	49.536
Pr	2.920	5.085	6.450	4.669	2.827	6.569	5.259
Nd	10.964	17.221	23.778	16.904	10.690	22.933	18.231
Sm	1.868	3.041	4.039	2.810	2.022	4.029	2.863
Eu	0.618	0.983	1.026	0.864	0.542	1.026	0.949
Gd	1.763	3.031	3.630	2.474	1.677	3.300	2.681
Tb	0.184	0.299	0.389	0.245	0.183	0.359	0.266
Dy	1.173	1.985	2.51	1.642	1.250	2.275	1.688
Ho	0.249	0.424	0.551	0.359	0.28	0.487	0.329
Er	0.692	1.117	1.419	0.947	0.708	1.296	0.917
Tm	0.093	0.158	0.202	0.129	0.093	0.178	0.136
Yb	0.624	0.994	1.257	0.833	0.587	1.084	0.800
Lu	0.091	0.14	0.189	0.126	0.073	0.180	0.113
Σ REE	58.337	106.30	138.09	102.28	59.06	138.60	115.09
LREE/HREE	10.974	12.041	12.603	14.132	11.165	14.123	15.612
Eu/Sm	0.330	0.323	0.253	0.307	0.268	0.254	0.331
Sm/Nd	0.170	0.176	0.169	0.166	0.189	0.175	0.157
δ (Eu)	1.035	0.988	0.811	0.989	0.883	0.842	1.041

3 微量元素地球化学

表2为德兴斑岩铜矿花岗闪长斑岩微量元素质量分数及特征值表。将表中数据采用Wood等^[12]的原始地幔数据进行标准化,作微量元素分布蛛网图(图1),横坐标元素采用Thompson^[13]按元素分配系数大小排列的顺序。

图1中,铜厂和富家坞花岗闪长斑岩微量元素配分模式总体趋势一致,呈右倾。以Ba, Rb, Th, U等大离子亲石元素(LILE)富集,Yb, Y含量较低,大部分样品出现明显的Ba, Th正异常为特征。因此,铜厂和富家坞花岗闪长斑岩物源相同,且主要来自富集大离子亲石元素的原始地幔^[14, 15]。

高场强元素(HFSE)在岩石风化、蚀变和变质过程中一般不发生迁移,而且对分离结晶和同化混染作用的反应不灵敏,故能利用高场强元素研究区性质。铜厂样品Zr/Hf范围为36.71~44.43,平均为39.93;Nb/Ta比值范围为11.43~13.19,平均为

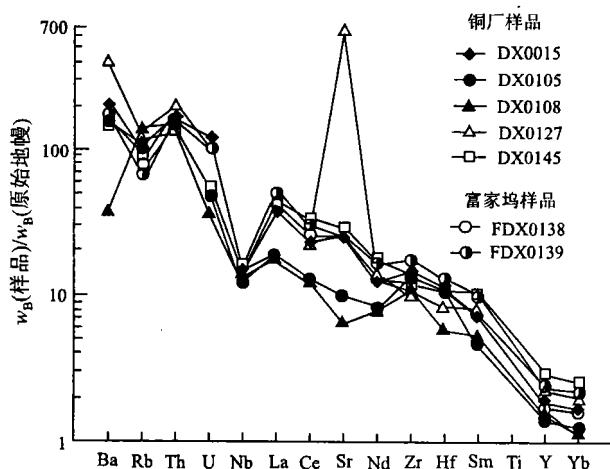


图1 铜厂和富家坞花岗闪长斑岩微量元素分布蛛网图

Fig. 1 Cobweb patterns of trace element for Tongchang and Fujiaowu granodiorite porphyries

12.18。富家坞样品Zr/Hf范围为36.06~42.27,平均为39.16;Nb/Ta比值范围为11.20~12.18,平均为11.69。两矿区Zr/Hf和Nb/Ta比值的差别不

大, 说明铜厂花岗闪长斑岩和富家坞花岗闪长斑岩可能由同一源区岩浆演化而来。由源岩浆演化而来的正常花岗岩中 Zr/Hf 比值为 $33\sim 40$, Nb/Ta 约为 $11^{[16-18]}$, 与本文研究矿区的花岗闪长斑岩 Zr/Hf , Nb/Ta 比值极为相近, 表明铜厂和富家坞花岗闪长斑岩可能是由幔源岩浆演化而来的。

上地幔中 Nb 丰度为 6×10^{-6} , 地壳中 Nb 丰度为 $19 \times 10^{-6}^{[19]}$ 。本文花岗闪长斑岩中 $w(Nb) = 7.44 \times 10^{-6} \sim 9.65 \times 10^{-6}$, 平均为 9.01×10^{-6} 。此平均值比地壳中的 Nb 丰度低得多, 与上地幔中 Nb 丰度非常接近。这说明花岗闪长斑岩具有地幔岩浆的特征。但在图 1 中出现 Nb 元素的负异常, 说明斑岩成岩过程也受其他因素的影响。Jahn^[20] 研究认为, Nb 的负异常通常是典型陆壳岩石的标志。因此, 斑岩体中 Nb 元素出现相对负异常, 可能是由于岩浆演化过程中有地壳物质的混入。

微量元素分配特征显示, 德兴铜矿铜厂和富家坞矿区花岗闪长斑岩具有一致的来源, 即两斑岩体均由混有少量地壳物质的地幔岩浆演化而来。

4 稀土元素地球化学

稀土元素具有十分相似的化学和物理性质, 在自然界中它们常以类质同象的形式共同赋存于某些矿物中, 在地质、地球化学过程中, 它们通常不会发生分异作用。稀土元素地球化学在火成岩岩石学研究中具有重要的作用。它主要根据稀土元素的配分特征来解决岩石成因等地质问题, 其基本原理是利用稀土元素的可迁移性, 研究其对稀土元素组分分配的影响, 并用以示踪地质和地球化学性质与演化行为^[21-24]。

对于德兴铜矿稀土元素, 前人已做了详细研究: 朱金初等^[25] 研究指出, 铜厂斑岩体 $\delta(Eu)$ 变化复杂, 斑岩体深部出现正异常, 此与岩浆结晶分异机制正相反。金章东^[7] 研究 $\delta(Eu)$ 值变化特征时指出, 铜厂斑岩体内 REE 配分方式的变化绝不是单一岩浆分异结晶作用的结果。本文对德兴铜矿铜厂和富家坞矿区的花岗闪长斑岩样品进行了稀土元素测试(表 3), 以求进一步认识两矿区花岗闪长斑岩物质来源和成岩方式。

表 3 为铜厂和富家坞花岗闪长斑岩稀土元素质量分数及特征值, 根据表中数据作出稀土元素分布蛛网图(图 2)。稀土元素标准化采用^[26] 球粒陨石数

据。

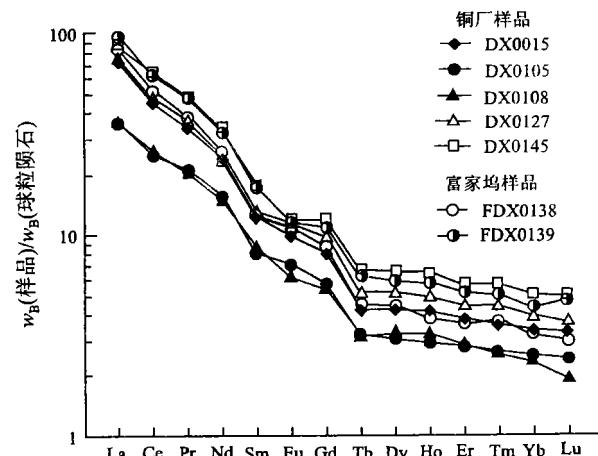


图 2 铜厂和富家坞花岗闪长斑岩稀土元素分布蛛网图

Fig. 2 REE patterns for Tongchang and Fujiawu granodiorite porphyrys

由表 3 和图 2 可知, 稀土元素总量(Σ REE)较高, 为 $58.337 \times 10^{-6} \sim 138.60 \times 10^{-6}$ 。轻/重稀土比值(LREE/HREE): 铜厂为 $10.974 \sim 14.132$, 平均为 12.183 ; 富家坞为 $14.123 \sim 15.612$, 平均为 14.868 , 轻/重稀土强烈分馏, 轻稀土元素相对富集, 重稀土元素相对亏损, 属轻稀土富集型。 $\delta(Eu) = 0.810 \sim 1.041$, 没有明显的 Eu 异常。

铜厂样品和富家坞稀土元素配分曲线极其相似, 且呈右倾。Eu/Sm 比值: 铜厂为 $0.253 \sim 0.330$, 平均为 0.296 ; 富家坞为 $0.254 \sim 0.331$, 平均为 0.293 。Sm/Nd 比值: 铜厂为 $0.166 \sim 0.189$, 平均为 0.174 ; 富家坞为 $0.157 \sim 0.175$, 平均为 0.166 。Eu/Sm, Sm/Nd 比值相当接近。这些特征说明铜厂矿区和富家坞矿区花岗闪长斑岩可能是由同一岩浆源演化而来。

稀土元素总量较高, 轻稀土富集, 重稀土亏损, 轻/重稀土强烈分馏等特征指示了在深部花岗闪长斑岩结晶成岩过程中, 角闪石、含氟磷灰石、榍石及少量褐帘石等矿物优先结晶。这也暗示了铜厂和富家坞花岗闪长斑岩可能由深部岩浆结晶分异而来, 且源区可能存在角闪石的残余, 与镜下观察到的花岗闪长斑岩中存在角闪石斑晶的现象相吻合。蛛网图中没有出现明显 Eu 异常, 可能是由于地壳物质的混入^[27, 28] 所致。

总之, 这些特征说明了铜厂和富家坞花岗闪长斑岩可能为深部岩浆结晶分异而来, 在成岩过程中

可能有地壳物质的混染。

5 结论

通过对德兴铜矿铜厂和富家坞矿区花岗闪长斑岩的微量元素和稀土元素研究,我们认为,德兴铜矿铜厂岩体与富家坞岩体具有一致来源,即两斑岩体均由混有少量地壳物质的地幔岩浆演化而来。结晶分异作用可能是岩浆演化的主要原因。

参考文献:

- [1] 叶松.江西德兴银山火山岩 次火山岩岩石学及与成矿关系的研究[D].武汉:中国地质大学, 1995.
- [2] 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1983. 1-336.
- [3] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [4] 刘姤群, 杨世义, 张秀兰, 等. 德兴斑岩铜矿斑岩和围岩蚀变特征及斑岩和成矿物质来源的讨论[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1983, 7: 77-95.
- [5] Lu Jianjun, Hua Renmin, Jiang Shaoyong, et al. A study on copper isotope compositions of Dexing porphyry Cu-Au deposit of Jiangxi, China [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2004, 68 (11s): A302.
- [6] 钱鹏, 陆建军, 姚春亮. 德兴斑岩铜矿成矿流体演化与来源的流体包裹体研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2003, 39(3): 319-326.
- [7] 金章东. 德兴铜厂斑岩铜矿床成矿流体地球化学演化(博士论文)[D]. 南京:南京大学地球科学系, 1999. 1-114.
- [8] 朱金初, 金章东, 饶冰, 等. 德兴铜矿斑岩铜矿流体过程[J]. 南京大学学报(自然科学), 2002, 38(3): 418-434.
- [9] 郭新生, 季克俭, 黄耀生, 等. 江西德兴斑岩铜矿成矿热液来源及其演化——花岗闪长斑岩的氧同位素制约[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 260-268.
- [10] 张理刚, 刘敬秀, 陈振胜, 等. 江西德兴铜厂铜矿水-岩体系氢氧同位素演化[J]. 地质科学, 1996, 31(3): 250-263.
- [11] 陈毓川, 裴荣福. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 1-508.
- [12] Wood D A, Joron J L, Treuil M. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings [J]. Earth Planet Sci. Lett., 1979, 45: 326-336.
- [13] Thompson R N, British Tertiary volcanic province[J]. Scott. J. Geol., 1982, 18: 59-107.
- [14] 谢应斐, 张玉泉, 钟孙霖, 等. 云南洱海东部新生代高钾碱性岩浆岩微量元素特征[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 75-82.
- [15] 滕彦国, 刘家铎, 张成江, 等. 兰坪盆地及邻区岩浆岩的微量元素地球化学研究[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 40-44.
- [16] Green T H, Pearson N J. An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich minerals and silicate liquids at high pressure and temperature[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1989, 53: 55-62.
- [17] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system[J]. Chemical Geol., 1995, 120: 347-359.
- [18] Dostal J, Chatterjee A K. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton Nova Scotia, Canada[J]. Chemical Geology, 2000, 163: 207-218.
- [19] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 3: 167-174.
- [20] Jahn B M, Wu F Y, Lo C H. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust; geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic ultramafic intrusions of the northern Dabie complex central China [J]. Chem. Geol., 1999, 157(1-2): 119-146.
- [21] Alderton D H M, Pearce J A, Potts P J. Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from southwest England[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1980, 49: 149-165.
- [22] Nystrom J O. Rare earth element mobility in vesicular lava during low-grade metamorphism[J]. Contrib Mineral Petrol, 1984, 88: 328-331.
- [23] Palacios C M, Hein U F, Dulski P. Behaviour of rare earth elements during hydrothermal alteration at the Buena Esperanza copper-silver deposit, northern Chile[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986, 80: 208-216.
- [24] Daux V, Crovisiter J L. Geochemical evolution of basaltic rocks subjected to weathering: fate of the major elements, rare earth elements, and thorium[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1994, 58(22): 4941-4958.
- [25] 朱金初, 贾怀仁, 叶俊, 等. 华南某些含锡花岗岩地稀土配分及其成矿成岩意义[J]. 南京大学学报(自然科学), 1984, 20: 81-96.
- [26] Taylor S R, Gorton M P. Geochemical application of spark source mass spectrography. Element sensitivity, precision and accuracy [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1977, 41: 1375-1380.
- [27] 涂光炽, 欧阳自远, 朱炳章, 等. 地球化学[M]. 上海: 上海科技出版社, 1984.
- [28] 吴利仁. 中国东部中生代花岗岩类[J]. 岩石学报, 1985, 1(1): 1-10.

**WANG Xue zhen¹, LI Yu-qin¹, WANG Zhen-sheng¹,
LI Hong-chao², SHEN Liu-sheng³, LIU Zhen-shan¹, YANG Yan-feng²**

(1. The 7th Party of Henan Bureau of Nonferrous Geology and Mineral Resources, Anyang 455000, China;
2. Henan Institute of Nonferrous Geology and Exploration, Zhengzhou 450052, China;
3. Huabei Institute of Nonferrous Geology and Exploration, Tianjin 300181, China)

Abstract: Stream sediment survey at scale of 1/50000 shows an dominant Ag-Pb-Cu high temperature element combination in Zhaiao area in the west Henan province; secondary helo survy Cu-Ag-Bi-Sb medium-high temperature combination at Wangou (1/10000). Geophysical survey shows wide range, planar anomalies with both high resistivity and chargeability. The integrated analysis of the above leads to a conclusion that the Zhaiao area is potential for porphyric copper ore prospecting, Z4 is the extension of the deep porphyric ore thus a good target for further exploration.

Key words: porphyry type copper deposit; ore potential; Zhaiao; the west Henan province

(上接第 79 页)

THE MATERIAL RESOURCES OF GRANODIORITE PORPHYRY IN THE DEXING COPPER ORE DISTRICT: A STUDY ON TRACE ELEMENTS

QIAN Peng¹, LU Jian-jun²

(1. Geography Department of Nantong University, Nantong 226007, China;
2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: In this paper, the characteristics of trace elements and rare earth elements of the granodiorite-porphyry from the Dexing copper ore district are studied. The conclusion can be reached that the granodiorite porphyry of Tongchang and Fujiawu ore-field have the same origin. The Tongchang and Fujiawu granodiorite porphyry are all derived from the magma of the primitive mantle, and contaminated by the crustal material, and may be formed mainly by crystallization differentiation.

Key words: Dexing Cu ore deposit; granodiorite; microelement; Jiangxi province

(上接第 145 页)

THE CHARACTERISTICS OF PRIMARY HALO AND DEEP ORE FORECASTING OF NIUJUAN SILVER DEPOSIT, FENGNING, HEBEI PROVINCE

YAO Yu-zeng, GONG En-pu, LIANG Jun-hong, YANG Hong-ying, CUI Xian-de

(Geology department, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Niujuan silver deposit is an important independent deposit in North Hebei. The statistical analysis of its primary halo indicates that all the minor elements are log-normally distributed, and the element association are Au+ Ag+ Cu+ Pb+ Zn+ Mn+ As; Bi+ Hg; Mo+ Bi. The head elements and tail elements overlapped together in the hanging wall of ore-body, which indicates that there is excellent mineralization in the deep parts under 1150m profile.

Key words: Niujuan silver deposit; primary halo; anomaly; statistical analysis; mineralization forecasting