

安基山铜矿岩石矿物的地球化学特征

陈思松 魏金生 杨年强 陈上达

本区位于淮阳山字型宁镇反射弧西翼。矿区在华墅—亭子复向斜射乌山盆地东部边缘。出露地层有三迭系中下统青龙群灰岩、泥灰岩、钙质页岩及硬石膏层，上统黄马青组砂岩、粉砂岩、炭质页岩、砂质泥岩；侏罗系中下统象山群石英砾岩、石英岩、石英砂岩、砂页岩。矿区内褶皱、断裂发育，褶皱轴向近东西。岩浆活动剧烈，主要火成岩呈岩株状产出，岩石热液蚀变与矿化作用较强。

岩石类型及其特征

矿区火成岩属燕山晚期中酸性浅成侵入体，与矿体有关的火成岩主要是花岗闪长斑岩，次为石英闪长玢岩。同位素地质年龄，花岗闪长斑岩为123百万年，石英闪长玢岩为106百万年。结合两者接触关系、副矿物及微量元素的特征，认为花岗闪长斑岩形成早。后期脉岩有闪长玢岩、闪斜煌斑岩、闪长细晶岩等。

根据造岩矿物(表1)结合化学成分，岩石类型划分如下(图1)。

(一) 岩石类型

1. 花岗闪长斑岩：浅灰色，全晶质，斑状—聚斑结构。基质为微粒—细粒花岗结构。块状构造。斑晶由更一中长石、黑云母、石英、少量角闪石、钾长石等组成，斑晶含量为40~45%。基质由更一中长石、钾长石、石英组成，粒径在0.03~0.05毫米和

0.2毫米上下两种。副矿物有磷灰石、锆石、磁铁矿等。岩石部分蚀变，主要为硅化、绢云母化、钾化、次生黑云母化、碳酸盐化、硬石膏化等。

2. 石英闪长玢岩：灰—浅灰色，全晶质，斑状—聚斑结构，块状构造。斑晶由更

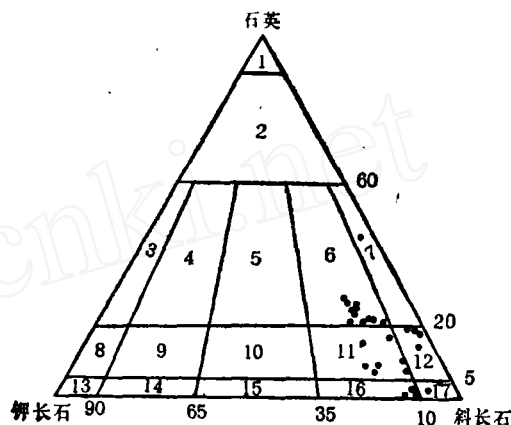


图1 中酸性火成岩分类图解

- | | |
|-------------|-----------|
| 3—碱长花岗岩； | 4—普通花岗岩； |
| 5—二长花岗岩； | 6—花岗闪长岩； |
| 7—斜长花岗岩； | 8—石英正长岩； |
| 9—石英斜长正长岩； | 10—石英二长岩； |
| 11—石英正长闪长岩； | 12—石英闪长岩； |
| 13—正长岩； | 14—斜长正长岩； |
| 15—二长岩； | 16—正长闪长岩； |
| 17—闪长岩。 | |

安基山矿区不同类型矿石中主要造岩矿物平均值表 表1

顺序号	样品个数	岩石类型	主要造岩矿物含量(%)									备注
			磷灰石	磁铁矿	榍石	斜长石	角闪石	黑云母	钾长石	高岭土	石英	
1	11	花岗闪长斑岩	0.44	2.1	0.9	50.9	—	9.3	12.1	3.0	21.8	三氏计算法
2	11	石英闪长玢岩	0.5	2.0	0.9	59.9	10.5	—	10.4	2.3	13.7	
8	5	闪长玢岩	1.1	3.3	1.9	58.1	22.6	—	7.4	微量	3.3	
4	1	花岗闪长斑岩				65.3		4.3	9.8		20.7	实测

* 三氏计算法中，K含量在石英闪长岩类配分时，均作钾长石组分计算，实际镜下观察可见有少量黑云母，故分类指标中，钾长石含量偏高，投在图解11、16区内。

一中长石、角闪石及少量黑云母、钾长石组成。斑晶含量约40%。基质呈微嵌晶、微晶、微嵌晶—微晶交织等结构。主要由更一中长石、钾长石、角闪石、石英组成。副矿物有磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石等。常见绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化、高岭土化、蒙脱石化等热液蚀变。

3. 闪长玢岩：灰绿—灰黑色，全晶质，斑状结构，块状构造。斑晶由中长石、角闪石及少量熔蚀石英组成。基质呈微晶交织结构，局部呈似粗面结构，由斜长石、钾长石、角闪石、极少量的石英组成。暗色矿物角闪石明显增多，可达25%。副矿物有磷灰石，偶见锆石。热液蚀变主要有绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化等。闪长玢岩呈脉状产出，侵入于花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩及沉积岩地层中。

4. 闪斜煌斑岩：灰黑色、全晶质，自形一半自形粒状结构，块状构造。岩石主要由中—拉长石、角闪石组成，有少量的黑云母、普通辉石、磁铁矿等，均已绿泥石化、碳酸盐化。呈脉状产出，数量较少。

(二) 造岩矿物特征

1. 斜长石：花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩中的更一中长石，呈自形一半自形、短板状—板状，粒径1~2毫米。韵律环带构造发育，一般为10多环，多者达20多环，多数为正环带，牌号由核部向边部降低，少数为反环带。双晶有卡纳复合双晶、卡氏双晶、钠长双晶，个别有巴温诺双晶、肖钠双晶等。双晶中叶片较多，单体狭窄，少数双晶破坏了环带。部分表面是泥化、绢云母化、碳酸盐化、高岭土化。其轴比为1.2:1~2:1。

基质中斜长石呈自形一半自形微晶， $A_n 18 \sim 50$ ，多数 $A_n 25 \sim 40$ 。 $2v = 86 \sim 89^\circ$ （-）， $\delta = 0.6 \sim 0.8$ 。

2. 钾钠长石：经旋转台测定， $\Delta = 0.0 \sim 0.40$ ， $2v = 32 \sim 72^\circ$ （-）， $or 60 \sim 80\%$ ，为正长微纹长石。斑晶中呈半自形—自形宽板状，表面往往泥化。基质中呈半自形。在似斑状花岗闪长岩中呈他形镶嵌于斜长石和石英间，个别与石英构成微文象结构。在石英闪长玢岩中，往往在长英质球粒基底上，嵌有自形钾长石，组成微嵌晶结构。

3. 黑云母：呈斑晶出现，尤以花岗闪长

斑岩中含量较多（9%±）。深棕色，片状，片径0.8~2毫米，可被绿泥石、绿帘石交代形成假象。黑云母中常含有磷灰石、锆石、磁铁矿、石英等包裹体。热液形成的黑云母呈细小鳞片状，散布于基质中或交代原生黑云母、角闪石形成假象。

4. 普通角闪石：主要产在石英闪长玢岩中，部分在花岗闪长斑岩中，具自形细长柱状，见简单双晶，为绿色普通角闪石。吸收公式： $N_g > N_m > N_p$ ， $N_g \wedge C = 15 \sim 19^\circ$ 。角闪石中含有磷灰石、锆石等包裹体，部分或全部被绿泥石、绿帘石交代成假象。

5. 石英：斑晶主要呈自形一半自形，基质中呈他形。石英闪长玢岩中斑晶熔蚀较显著，部分呈港湾状、孤岛状，一般为浑圆状。石英斑晶中含有较多的气、液包裹体，部分呈气、液、固三相，包裹体的粒径为10~30 μ 。

岩石化学成分及其特征

(一) 岩石化学成分 花岗闪长斑岩为铝过饱和类型，含铜量为450ppm，石英闪长玢岩属正常类型，含铜量为74ppm。石英闪长玢岩中Cu含量为0.0043%（采样点号502—2），花岗闪长玢岩中Cu含量为0.0057%（采样点号401—2），0.0065%（采样点号903—2）。各种岩石中化学成分见表2。

(二) 岩石化学分析 根据南京大学地质系对全国68个铁铜矿床的研究表明，一定类型的铁铜矿床与一定类型和一定成分的火成岩有关。岩石的酸度、碱度、碱质对岩浆演化和成矿作用密切相关。本矿区的有关岩石参数与同类岩石的化学特征对比如下。

(1) 碱度：指 K_2O 、 Na_2O 及其相应参数 a 、 n 、 K' 、 Na' 和 a/c 值。

① a 值：矿区主要火成岩，花岗闪长斑岩 $a = 13.4$ ，石英闪长玢岩 $a = 11.9$ ，均较戴里同类岩石 a 值略偏高（图2），与长江中下游铁铜矿床（ $a = 13.31$ ）接近，说明有碱质异常存在，对成矿有利。

② n 值：据统计与铁矿有关的 n 值比与铜矿有关的偏高，两者分界线约为 $n = 68$ ，铁铜矿过渡区 $n = 60 \sim 70$ ，矿区花岗闪长斑岩 $n = 67.7$ ，偏向铁铜矿过渡区（图3）。

③ K' 值和 Na' 值： $K' = K/Si$ （原子数 $\times 100$ ）， $Na' = Na/Si$ （原子数 $\times 100$ ）； K' 、 Na' 为对铁铜矿床的相关性，铁质化与含

表2 安基山矿区不同类型岩石平均化学成分及查氏参数表

顺序号	岩石样品个数	岩石类型	主要氧化物含量(%)														查氏参数													
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	S	H ₂ O	总量	S	a	c	b	f'	m'	c'	a'	n	a/c	Q	类/科	
1	11	花岗闪长斑岩	64.46	0.39	15.62	1.96	2.03	0.025	1.89	3.16	4.04	2.92	0.23	0.47	1.46	1.36	100.13	75.413.4	3.5	7.350.642.7					7.867.73.3	20.2	2/5			
2	11	石英闪长斑岩	63.75	0.45	16.30	1.83	2.37	0.067	2.14	3.91	4.78	1.81	0.26	0.18	0.63	1.20	99.75	74	13.4	4.3	8.349.443.7	7.0			81	3.3	17.1	2/5		
8	5	闪长岩	54.07	0.91	16.00	3.06	3.70	0.13	5.61	6.46	4.20	1.44	0.53	0.44	1.34	2.03	100.10	65.811.9	5.417.5	41	41.913.3				82.22.5	1.6	4/13a			
4	8	闪斜辉斑岩	48.61	0.98	15.99	2.67	5.22	0.125	6.60	7.04	3.77	2.66	0.83	1.80	0.33	3.29	99.91	59.811.4	5.223.7	34	49.716.3				71.32.5	10.85/18b				

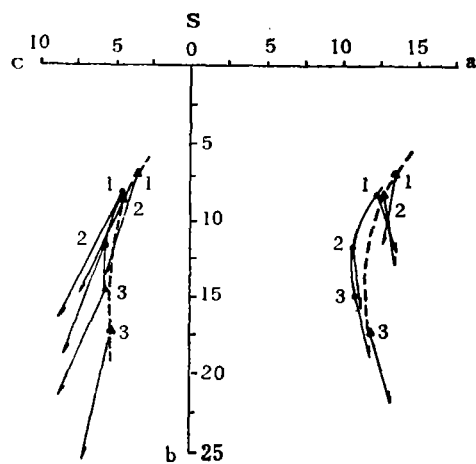


图2 矿区火成岩查氏向量图

- 戴里: 1—花岗闪长岩; 2—石英闪长岩; 3—闪长斑岩
- ▲ 矿区: 1—花岗闪长斑岩; 2—石英闪长斑岩; 3—闪长斑岩

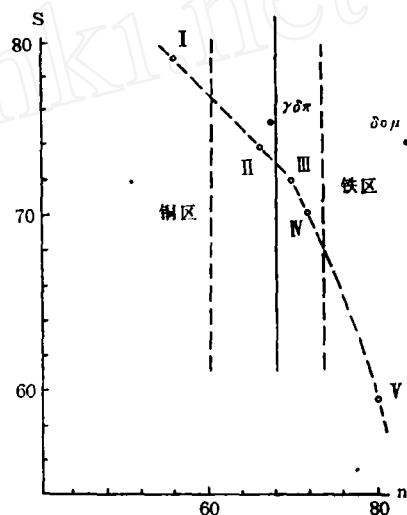


图3 矿区火成岩岩石参数Sn坐标图

Na₂O高的火成岩有关,铜矿化与K₂O高的火成岩有关。矿区花岗闪长斑岩K'、Na'值,落在铁铜矿床的过渡区,接近于铜矿(图4),且少数钻孔见有磁铁矿,与上述情况相吻合。

④a/c比值:长江中下游铁铜矿区a/c比值为2.79,多数集中于2.5~5.5之间,矿区花岗闪长斑岩a/c值为3.3,故对铜矿形成有利。

(2)酸度变化:与铜矿有关的火成岩一般酸度略大于铁矿。矿区S=75.4,和戴里

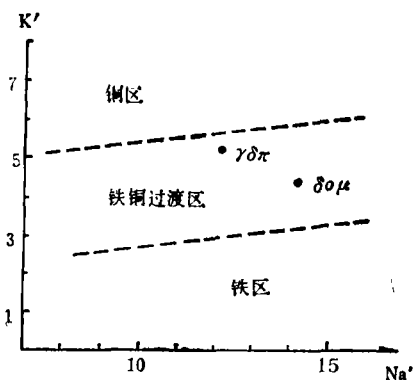


图4 矿区有关火成岩石化学补充参数
K' Na' 座标图

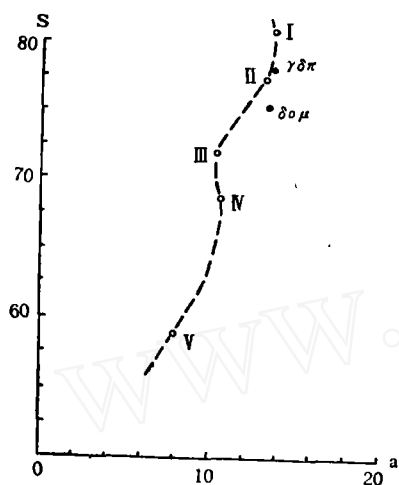


图5 矿区有关火成岩石化学参数
S a 座标图

I—花岗岩, II—花岗闪长岩, III—石英闪长岩
IV—闪长岩, V—辉长岩

同类岩石 $S = 74.8$ 及国内其它铜矿 $S = 74.4$ 相比酸度略高, 对铜矿形成有利 (图5)。

(3) b 值: 代表铁镁组分含量, 与铜矿有关的火成岩 b 值较小, 主要集中在 4~11 之间 (图6), 矿区花岗闪长斑岩 b 值为 7.3, 符合上述规律。

(4) 钙碱指数: 利用矿区中不同类型火成岩硅酸盐中的 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 百分含量和 CaO 、 SiO_2 百分含量, 用皮卡克提出的分解法求得矿区钙碱指数 (图7) 为 56.5, 属钙碱性系列, 与我国主要斑岩铜矿区岩石的钙碱指数相接近。

(5) 组合指数, $\delta = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})^2 / \text{SiO}_2 - 43$ 。根据有关资料, 全国铁铜矿 δ

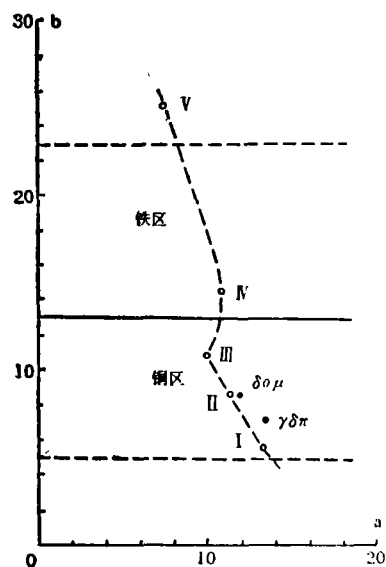


图6 矿区有关火成岩石化学参数
a b 座标图

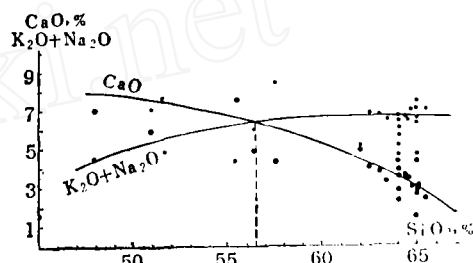


图7 矿区火成岩体钙碱指数图
(peacqck 指数, 据 24 件岩石化学分析资料)

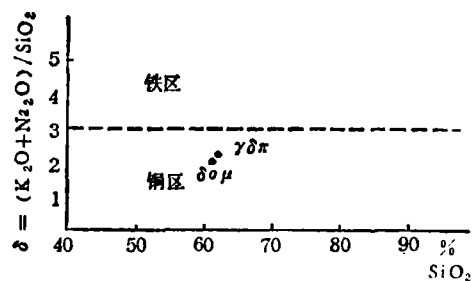


图8 矿区李特曼指数与 SiO_2 含量相关图

值大致以 $\delta = 3$ 为分界线, $\delta > 3$ 为铁矿, $\delta > 3$ 为铜矿 (图8)。矿区组合指数 = 2.21 (表3), 对铜矿有利。

(6) 固结指数、长英质指数、镁铁指数、分异指数: 见表4。岩系分异结晶趋势图 (图9) 表明, 矿区三种岩石具有较明显的分异特征, 说明是同源同期不同阶段分异的结果。

宁镇地区铁铜矿床组合指数表 表3

矿 区	岩 石 类 型	矿 种	组合指数 (δ)
安基山	花岗闪长斑岩	铜	2.21
安基山	石英闪长玢岩	铜	2.50
伏牛山	花岗闪长斑岩	铜	2.58
铜 山	石英闪长岩	铜	2.59
西银坑	花岗闪长斑岩	铜	2.18
韦 岗	花岗闪长斑岩	铁	2.87

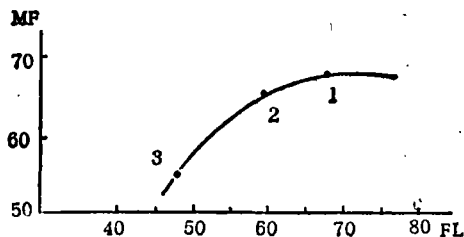


图9 安基山区岩系分离结晶趋势图 (MF—FL变异图)

1—花岗闪长斑岩；2—石英闪长玢岩；
3—闪长玢岩

副矿物及微量元素特征

对矿区花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩进行人工重砂大样分析,基本查清两类岩石的副矿物成分,并着重对磁铁矿、磷灰石、锆矿的物理、化学性质进行了研究。

(一)副矿物成分 两类岩石所含副矿物均以磁铁矿、磷灰石、锆石为主,褐帘石、重晶石、钛铁矿、石榴石为次。但花岗闪长斑岩中含有微量和个别金红石、铬尖晶石、锡石,经光谱分析含Cr、V量高。石英闪长玢岩含Cr、V量低。说明花岗闪长斑岩形成稍早,温度稍高。

(二)副矿物特征 ①磁铁矿:黑色、不透明,金属光泽,强磁性,条痕黑色。一般为八面体晶形,少数具三角形生长纹。花岗闪长斑岩中磁铁矿Cu含量为0.0144%

(样号401),0.0158%(样号903),石英闪长玢岩中磁铁矿Cu含量0.0082%(地表),0.0079%(样号502)。

两类岩石中磁铁矿各具有自己的地球化学特点。花岗闪长斑岩磁铁矿中的TiO₂、MgO、MnO含量比石英闪长玢岩中低,而含Cu量高。磁铁矿中的Fe³⁺/Fe²⁺比值为2.24~2.32,属于偏高的氧化环境。

②磷灰石:无色透明,玻璃光泽,六方柱状,二端不发育,并为底面所限。

两类岩石中所含磷灰石的折光率、比重无明显差异,而花岗闪长斑岩中的轴比、微量稀土元素CeO₂、La₂O₃、Nb₂O₃分别比石英闪长玢岩小而低,说明花岗闪长斑岩比石英闪长玢岩为早。

花岗闪长斑岩中的磷灰石微量元素F、H₂O⁺、Cl的含量和国外斑岩铜矿微量元素特征相符合,而石英闪长玢岩除F外与典型的斑岩铜矿微量元素特征不相一致。

磷灰石含铜量和岩石含铜量相关,花岗闪长斑岩中磷灰石铜含量为0.002%(样号401),0.0044%(样号403%);石英闪长玢岩中磷灰石铜含量为0.0008%(地表及样号802)。从磷灰石含铜量高,可佐证矿区花岗闪长斑岩为主要含铜岩体。含铜量最高的磷灰石,可作为寻找斑岩型铜矿的指示矿物。

③锆石:两种类型岩石中的锆石形态都较简单,由柱面(100)、锥面(111)、偏锥面(311)、(131)组成。而以(311)发育,(111)不发育为主,(111)发育,(311)不发育为次,其余形态均为偶见。物理性质一致,微量元素变化不大,说明这两种岩石是同期不同阶段的产物。

岩体的地球化学特征

1. 铷钫比值 斑岩型铜矿与钾质蚀变有密切关系。铷是常量元素,含铷矿物较多,

固结指数、长英质指数、镁铁指数、分异指数表

表4

指 数	固 结 指 数	长 英 指 数	镁 铁 指 数	分 异 指 数
岩石类型	$SI = \frac{100MgO}{MgO + FeO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O}$	$FL = \frac{100(K_2O + Na_2O)}{Na_2O + K_2O + CaO}$	$MF = \frac{100(FeO + Fe_2O_3)}{FeO + Fe_2O_3 + MgO}$	$DI = q + Or + ab + ne + LC + Kp$
花岗闪长斑岩	14.8	68	68	72
石英闪长玢岩	18.0	59	66	68
闪 长 玢 岩	30.0	48	55	48
闪斜煌斑岩	32.0	46	55	

含量变化不明显，与钾地球化学特性相似的微量元素铷，其含量变化幅度十分明显，研究铷锶比值，可推测铜矿化范围。

矿区Rb/Sr比值在花岗闪长斑岩及夕卡岩中出现异常值（表5）。按Rb/Sr在0.1以上的范围圈定，高值区呈近东西向展布。东部封闭，西部尚未控制（图10）。

矿区铷锶比值表 表5

岩石类型	Rb, %	Sr, %	Rb/Sr
花岗闪长斑岩	0.00507	0.0614	0.0826
石英闪长玢岩	0.00441	0.0933	0.0473
夕卡岩	0.00332	0.0126	0.263
大理岩	0.00267	1.0904	0.0025

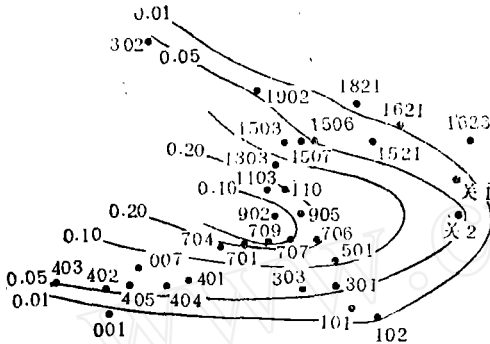


图10 安基山铜矿Rb/Sr(≈200米)等值线比值图

2.铜锌比值 成矿元素铜、铅、锌、钼等在成矿作用过程中的演化有其相关性。以铜为主，铜与铅、锌、钼等元素有一定的组合比值变化，通过研究比值变化，可以找出矿液迁移的方向，这比单元素含量变化更为有效。

对矿区典型剖面5000多个分析资料进行相关计算，其结果如表6。

表6

元素组合	Cu—Zn	Cu—Pb	Cu—Mo	备注
相关值				
相关系数γ	0.56	0.68	0.21	Cu—Pb分析数据少 Cu—Mo不相关

从图11可见，Cu/Zn比值在勘探剖面线上的变化，高值区向西倾斜，从西向东逐渐

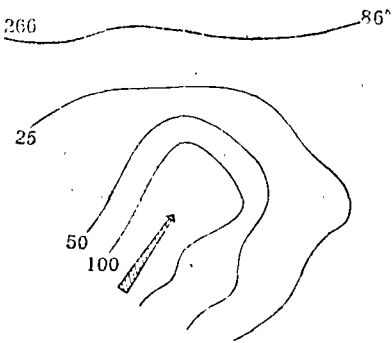


图11 9线Cu/Zn比值图

变小。说明矿液在一定深度上由西向东、由深部向浅部流动扩散。因此斑岩铜矿可能出现在矿区的西北深部。

3.矿物包裹体测温 通过矿物包裹体测温研究，可预测矿液运移方向，推测矿化主要部位。

对不同矿石类型采集的测温样品（包括黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、硬石膏等）用爆裂法测温结果见表7。

图12是矿液运向示意图，由图可见，热源温度变化方向，也是从西向东逐渐降低。

矿物包裹体爆裂法测温数据 表7

矿物名称	矿石类型	主要成矿温度, °C	样品个数	备注
黄铁矿	夕卡岩型	200~370	25	
黄铜矿	斑岩型	180~350	7	
闪锌矿	夕卡岩型	240~320	8	
方铅矿	"	300~320	3	
磁铁矿	"	310	1	
硬石膏	"	350~490	3	
硬石膏	"	290~320	3	安基山“残纹层硬石膏”
硬石膏	沉积型	无爆裂反应	1	周冲村石膏矿硬石膏

测温结果说明，磁铁矿为高温产物，比黄铜矿等其它矿物形成稍早，在夕卡岩型中的黄铁矿成矿温度略高于斑岩型。黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿成矿温度比较相近，与光片中见黄铜矿、闪锌矿成乳滴结构—固熔体结构一致。

值得提出的是，我们选择“残纹状、残留层硬石膏”进行爆裂法测温，其温度在290~320°C之间，而青龙群周冲村组的原生沉积型硬石膏并无爆裂反应，可见矿区硬石膏属中温热液产物。

4.硫同位素组成特征 安基山铜矿中的

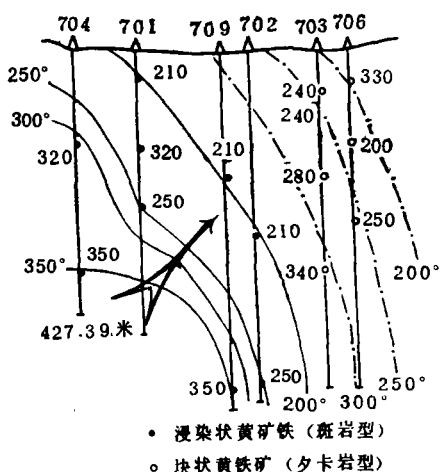


图 12 安基山铜矿矿液运移方向示意图

$\delta S^{34}\%$ 。区间值为 $+3.1 \sim -2.6$ ，平均值为 $+1$ ，硫同位素组成见表 8，比较稳定，没有混杂现象（图 13）。故可认为安基山铜矿的硫来自深源的上地幔。

硫同位素组成表 表 8

矿石类型	测定对象	样品数	$\delta S^{34}\%$	
			变化区间	平均值
斑岩型	黄铁矿	4	0.4~3.1	1.97
斑岩型	黄铜矿	2	-0.7~0.5	-0.1
夕卡岩型	黄铁矿	8	0.8~2.8	1.76
"	黄铜矿	7	-1.3~2.00	0.43
"	闪锌矿	1	0.7	0.7
"	方铅矿	1	-2.6	-2.6
"	硬石膏	4		
总计		27	-2.6~3.1	1.00

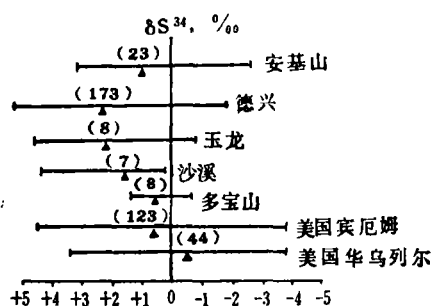


图 13 斑岩型铜铅矿床的硫同位素组成
(括号内为样品数, ▲ 为平均值)

结 论

根据已获得的资料，结合地质条件综合分析，提出几点看法。

1. 矿区火成岩为中酸性浅成杂岩体，据同位素年龄测定属燕山晚期产物。花岗闪长斑岩的形成早于石英闪长玢岩，岩体呈岩株状产出，具主动侵位特点。

2. 铜矿的含矿岩体为花岗闪长斑岩，属钙碱性，铝过饱和岩石类型。岩石化学具有典型铜矿专属性，部分呈铁铜过渡类型。

3. 含矿岩体的地球化学特征， Cu/Zn 比值，矿物包裹体测温，均能显示成矿溶液的运移方向。综合取样点的空间位置推测成矿溶液总的运移方向是由西向东，由深部向浅部方向流动扩散，并在岩体前锋交代成矿。硫来源于上地幔，与国外某些斑岩铜矿有相似之处。

4. 花岗闪长斑岩的微量元素与磁铁矿、磷灰石等矿物中的微量元素一致。磁铁矿中的 Cu ，黑云母、磷灰石中的 Cu 和 Cl 等微量元素含量可以反映岩体的含铜性，可作为斑岩铜矿的一种找矿标志。

5. 矿体中的硬石膏经爆裂法测温，认为铜矿床属中温热液产物。周冲村组沉积硬石膏并无爆裂反应。从而说明安基山铜矿硬石膏是否为原生沉积再经热液叠加尚需进一步研究。至于矿床成因应属斑岩—夕卡岩型两位一体或广义的斑岩型铜矿。

6. 矿区进一步找矿方向除岩石、矿物及地球化学特征外，还应考虑地层、构造等诸因素。我们认为目前评价地段的空间位置与矿化富集部位基本相符，西部还有发展希望。

本区斑岩型铜矿的成矿温度与夕卡岩型铜矿的成矿温度很接近，温度区间在中—高温阶段，高于德兴斑岩铜矿成矿温度，某些地段的磁铁矿氧浓度偏高，硫浓度偏低，有利于形成铁矿。所以，要注意铁、铜的综合评价。

本文中硫同位素测定由地科院地矿所硫同位素组承担，包裹体测温由南京大学地质系承担，岩体地质年龄由南京地质矿产所承担，化学分析由本局实验室化学组承担，特此致谢。