

丰山斑岩铜矿的某些地球化学特征与找矿评价

冶金部中南冶金地质勘探公司六〇六队 周伯仙

丰山铜矿原是一个中型夕卡岩铜矿。近年来,通过矿山生产和有关单位研究,发现该矿床兼有斑岩铜矿和夕卡岩铜矿的地质—地球化学特征。这为丰山矿区及鄂东地区的找矿提供了新线索。

一 矿区地质概况

矿区位于淮阳山字形构造弧顶部,主要构造为一系列北西西向紧密褶皱,地层为中下三迭统灰岩。

丰山岩体出露面积约0.73平方公里,在地表呈纺锤状产出,延长方向与构造线一致。岩体主体部分为花岗闪长斑岩,边部有石英二长闪长斑岩,局部见角砾凝灰岩。

区内角砾岩十分发育。据研究,丰山岩体是一个包括角砾岩筒在内的多期、多序次的中酸性杂岩体。在围岩和岩体中,分别发育“震碎角砾岩”和“侵入角砾岩”。后者又可分为“热液交代角砾岩”和“卵石化角砾岩”。

与斑岩铜矿有关的蚀变带有:钾质带、似千枚岩带和青盘岩带,均分布于岩体内。主要蚀变矿物为钾长石、黑云母、绢云母、石英、水白云母、绿泥石、方解石等。

夕卡岩矿体和斑岩铜矿体相伴产出。前者沿接触带产出,矿体集中于岩颈部位;后者产于岩体内,与侵入角砾岩、特别是卵石化角砾岩关系密切,胶结物矿化较强,似千枚岩带和青盘岩带内均有矿体赋存。在外接触带大理岩中,见有铅锌矿体。

二 斑岩铜矿的某些地球化学特征

1. 含矿岩体的地球化学特征 与标准中酸性岩比较,丰山岩体具有 K_2O 高, Na_2O 、 P_2O_5 低, K_2O/Na_2O 高的特点;碱值(K_2O+Na_2O)也较高。 Cu 、 Mo 、 Au 、 Ag 、 As 等微量元素与 S 、 CO_2 、 H_2O^+ (结构水及结晶水)等挥发组分的富集更为显著(表1)。

另据单矿物研究,黑云母含铜和氯较

丰山岩体及标准中酸性岩平均化学成分

表 1

元 素		%								ppm				
		Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	CO_2	H_2O^+	S	Cu	Mo	As	Ag	Au
丰山岩体	岩体中部	1.83	1.52	5.22	2.43	0.094	2.84	1.27	1.22	480	11.2	13.0	0.6	0.04
	整个岩体(除去矿体部分)	2.37	1.38	5.89	1.76	0.105	3.05	1.47	1.94	670	26.3	14.9	0.8	0.05
标准中酸性岩*		1.89	2.49	2.95	3.67	0.32	0.2	0.83	0.04	20	1.0	1.5	0.05	0.0045
									0.02	35	0.9	2.4	0.07	

*从 Fe_2O_3 到 H_2O^+ 据黎彤等(1962)花岗闪长岩数据;其余据维诺格拉多夫(1962)花岗岩(上)和闪长岩(下)数据。

高。这些,对成矿都是较为有利的。 $Fe_2O_3 > FeO$ 可能与丰山岩体的浅成条件或蚀变矿化有关。

2. 斑岩铜矿体与夕卡岩铜矿体的地球化学特征 本区两类矿体的元素组合大体一致,但元素含量有明显差异(表2)。

两类矿体平均含量变化范围 表 2

元 素	平均含量变化范围	
	斑岩铜矿体	夕卡岩矿体
Cu X (ppm)	2082~3534	>6700
Mo G (ppm)	15.9~33	7.4~15.2
Au G (ppb)	63~77	352~688
Ag G (ppm)	0.7~2.0	2.2~3.2
As G (ppm)	17.5~40	18~23.4
Pb G (ppm)	24~69	10~33
Zn G (ppm)	170~255	698~957
W ≥ 4ppm所占%	8~58	73~100
Mn X (ppm)	290~520	1200~1120
P X (ppm)	66~760	121~424
K ₂ O X (%)	4.36~5.38	0.02~0.24
Na ₂ O X (%)	0.42~0.68	0.06~0.48

X—算术平均值; G—几何平均值

3. 斑岩铜矿矿地段的地球化学特征

从图 1 可以概略地看出, 元素从远离矿体的围岩到矿体的含量变化趋势, 同时某些元素的含量在矿体与围岩、近矿围岩与远矿围岩之间, 有显著的差异。据此, 可以得出如下结论: Cu、Mo、Ag、Au、As、Zn、Pb 及 K₂O/Na₂O 的高含量 (相对岩体背景为正异常), 和 Na₂O、P、K₂O + Na₂O 的低含量 (相对岩体背景为负异常) 是赋矿地段 (矿体与近矿围岩) 的主要特征。

总体上看, 矿体中 Cu 和 Na₂O 主要分布在 >1260ppm 和 <0.8% 的范围内; 在围岩中, Cu 和 Na₂O 主要分布在 <1260ppm 和 0.8~1.6% (近矿) 或 >1.6% (远矿) 的范围内。“t 检验” 计算结果证明, 这两种化学成份在矿体和围岩中, 含量分布范围的差异性最大。

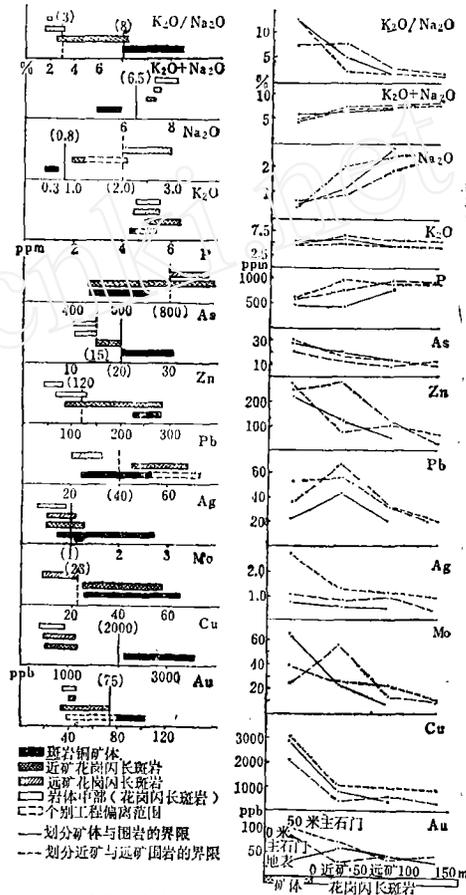


图 1 丰山斑岩铜矿体及围岩元素含量变化趋势与平均含量变化图

4. 蚀变—矿化过程中元素在岩体内的迁移、变化

用 T. 巴特法对表 3 的数据进行了计算, 并将各地段计算结果与标准花岗岩或岩体中部计算结果比较, 得到各地段单位体积的, 在蚀变—矿化过程中带出带入的原子数 (表 4)。综合前述赋矿地段地球

丰山 0 米主石门不同地质单元岩石全分析结果*

表 8

地 质 单 元	分 析 结 果, %								
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O
斑岩铜矿体 1 (似千枚岩带)	51.90	3.88	1.36	11.02	0.36	0.056	7.19	3.21	5.32
斑岩铜矿体 2 (青盘岩带)	38.90	5.53	1.76	7.89	0.27	0.096	6.09	5.87	3.97
近矿花岗岩内长斑岩 (钾质带)	57.12	4.11	1.24	11.78	0.44	0.048	4.47	2.24	6.56
岩体中心部分 (仅见钾长石化)	63.04	1.83	1.52	13.10	0.45	0.032	3.55	2.13	5.22
标准花岗岩内长岩	64.98	1.89	2.49	16.33	0.52	0.09	3.70	1.94	2.95

续表 8

地质单元	分析结果, %							
	Na ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	S	F(×10 ⁻²)	Cu	Mo(×10 ⁻⁴)
斑岩铜矿体 1 (似千枚岩带)	0.34	0.103	4.68	2.51	3.42	770	0.227	23.7
斑岩铜矿体 2 (青盘岩带)	0.43	0.092	3.82	2.52	3.72	80	0.23	27.3
近矿花岗闪长斑岩 (钾质带)	1.08	0.115	3.26	1.67	2.65	563	0.080	56.1
岩体中心部分 (仅见钾长石化)	2.43	0.094	2.84	1.27	1.22	603	0.048	10.4
标准花岗闪长岩	3.67	0.32	0.29	0.83	0.03	650	0.0028	1.0

* F、Mo 为多个样品平均值, 其余为综合样数据。

蚀变—矿化过程中元素在岩体内的迁移

表 4

对比标准	地质单元	带出、带入原子 (离子) 数*															
		Si	Fe ³⁺ + Fe ²⁺	Al	Ti	Mn	Ca	Mg	K	Na	P	C	H	S	F	Cu	Mo
标准中酸性岩	斑岩铜矿体 1 (似千枚岩带)	-91	5	-46	-1	0.1	35	18	30	-56	-1.5	53	105	58.4	0.48	1.95	0.009
	斑岩铜矿体 2 (青盘岩带)	-178	23	-30	-2	0.1	129	58	15	-58	-1.9	106	112	65.6	1.62	2.07	0.010
	近矿花岗闪长斑岩 (钾质带)	-43	6	-41	-1	0.1	9	5	44	-43	-1.5	36	54	45.3	0.15	0.69	0.027
	岩体中心部分	-16	-8	-29	-1	-0.2	-1	3	27	-23	-2.0	30	28	20.0	-0.06	0.35	0.001
岩体中部	斑岩铜矿体 1 (似千枚岩带)	-75	13	-20	0	0.3	36	15	2	-33	0.5	23	77	38.4	0.54	1.60	0.008
	斑岩铜矿体 2 (青盘岩带)	-162	31	-51	-1	0.3	130	55	-12	-35	0.1	76	84	45.6	1.68	1.72	0.005
	近矿花岗闪长斑岩 (钾质带)	-27	14	-12	0	0.3	10	2	17	-20	0.5	6	22	25.3	0.21	0.34	0.026

* 正数表示带入, 负数表示带出。

化学特征的资料, 可见在蚀变—矿化作用中带入的元素有 K、Fe、Ca、Mg、C、H、S、F 及 Cu、Mo 等微量元素, 带出的有 Na、Al、Si、P 等元素。

与国内某些斑岩铜矿比较, 丰山斑岩铜矿及丰山岩体有如下突出的地球化学特征:

(1) 富 K 贫 Na。在整个岩体中, K₂O 都偏高, Na₂O 都偏低。因此 K₂O/Na₂O 很高。

(2) 随着蚀变—矿化作用的继续, Si 降低, Ca、Mg 升高。

5. 蚀变—矿化过程中某些元素的地球化学行为 钾是铜的“控矿元素”, 可与铜结合, 以络合物形式迁移, 在一定条件下分解、沉淀。因此与正常岩体相比, 含矿岩体

钾含量明显偏高。然而钾含量在矿体中却相对较低, 而在近矿部位明显富集, 这可能是钾质在较晚的蚀变—矿化过程中重新分配的结果。即早期的钾化在整个岩体内都很发育, 而随后发生的与成矿作用关系更为密切的晚期蚀变作用, 使钾在矿体的某些部位相对降低, 而带出的钾在近矿围岩中发生晚期的钾化作用, 使围岩更富钾。如绿泥石交代黑云母; 水白云母、绢云母交代钾长石; 高岭石、碳酸盐矿物交代所有含钾矿物, 都有钾的带出。

钠在蚀变—矿化带明显下降, 其原因主要是岩体中的含钠矿物 (斜长石、角闪石等) 在蚀变过程中为不含钠矿物 (绿泥石、水白云母、高岭石、碳酸盐等) 交代。

钙、镁在青盘岩化带的增长最明显，这显然与碳酸盐化以及绿泥石（含Mg）交代斜长石有关。虽然斜长石被钾长石、绢云母、绿泥石等交代时会有钙析出，但在热水溶液富含CO₂的情况下，钙仍可能以碳酸盐形式保留下来。

硅从前述可知，早期硅酸盐矿物为晚期蚀变矿物交代时往往有SiO₂析出。当围岩为贫硅的碳酸盐类岩石时，析出的SiO₂除部分以石英形式保留下来外，很可能有一部分带至围岩，使蚀变带硅含量下降。

铜、钼岩体中铜与钼的矿化既有一定的联系，又有一定的分带。铜主要富集于岩体边部，而钼的富集偏向岩体内，甚至到达岩体中部。从与蚀变带的关系看，铜主要富集于似千枚岩带和青盘岩带，而钼还富集于钾质带。

上述Si、Na、K、Mg、Ca等元素在蚀变-矿化过程中的地球化学行为，均与本区的围岩（碳酸盐类岩石）条件，以及形成角砾岩时大理岩，夕卡岩角砾的带入有一定的联系，故影响元素活动的因素，除地球化学作用外，还包括机械迁移作用。

为了了解与各种蚀变、矿化类型有关的元素组合特征以及各自地质意义，相互间的关系，对丰山矿区地球化学资料进行了因子分析，得出与各种矿化、蚀变类型有关的因子（元素组合），列于表5。

地表岩体与铜矿化有关的因子为F₁、F₄及F₆。F₁中铜的因子负荷最大，说明F₁因子与成矿直接有关。Na₂O的因子负荷为负，而其余元素为正，表明Na₂O与其他元素有负相关关系。F₆所反映的蚀变作用与Cu、Mo矿化有密切联系，也反映出Cu、Mo与Na₂O、P的负相关关系。F₁与F₆斜交因子相关系数最大，为0.528，说明两个因子之间是有内在联系的。F₄可能表示K₂O在较晚的蚀变过程中相对下降，亦可理解为岩体中夕卡岩角砾的存在，因为夕卡岩较之岩体具有K₂O低，Mn、Cu高的特点，因此与铜的矿化富集有关。

17线剖面因子分析结果与地表岩体大致

丰山矿区因子分析结果 表5

体系	综合简化因子	地质推断解释
地表岩体	F ₁ Cu, Ag, Mo, W(Au, Na ₂ O ⁻)	斑岩铜矿化
	F ₂ Zn, Pb, As(Ag)	晚期黄铁矿化、铅锌矿化
	F ₃ Ga, Ti(Co)	存在角闪石、黑云母等暗色矿物
	F ₄ K ₂ O ⁻ , Mn(Cu, W)	蚀变作用中K ₂ O的相对贫化或夕卡岩及其铜矿化
	F ₅ Bi, Au	晚期金矿化
	F ₆ Na ₂ O, P(Mo, Cu)	岩体及其蚀变作用
17线剖面岩体	F ₁ W, Au, Bi, Ag, Pb(Cu)	铜矿化
	F ₂ Mo, Na ₂ O ⁻ , P ⁻ (Cu)	岩体蚀变作用
	F ₃ Ga, Ti	暗色硅酸盐矿物
	F ₄ Zn, As, Pb(Ag)	晚期黄铁矿化、铅锌矿化
	F ₅ K ₂ O, Mn ⁻ (P, Cu ⁻)	蚀变作用中K ₂ O的迁移或夕卡岩及其铜矿化
	F ₆ Co(Bi, Pb)	黄铁矿化

* 元素符号带负号者，表示该元素的因子负荷为负值；各因子中的元素按因子负荷绝对值大小排列。

相同，所不同的是Au、Bi、Pb也加入铜矿化因子，Mo则由该因子中分离出来。铜与更多的元素发生联系，且在各因子中因子负荷不突出，可能反映了较为复杂的矿化现象。

三 斑岩铜矿的地球化学找矿标志

通过上述分析，归纳出本区寻找斑岩铜矿时的（原生晕）地球化学找矿标志（表6）。

表中所列标志中，Cu、Mo和Na₂O最为重要、有效，其他元素对赋矿地段也有较好的指示作用。

为了更好地圈定赋矿地段，今后需加强研究S、H₂O⁺（结构水及结晶水）、CO₂、F等挥发组分的找矿指示意义，建立新的找矿标志。

元 素	含矿岩 体标志	异常评价标志							赋矿地段圈定指标 (异常圈定指标)	
		矿化类型		斑岩铜矿体			斑岩铜矿赋 矿远景地段		斑岩铜 矿体	斑岩铜矿赋 矿远景地段
		夕卡岩 铜矿	斑岩 铜矿	X	G	其他特征	X	G		
Cu	K ₂ O普遍高, Na ₂ O、P偏低, K ₂ O/Na ₂ O»1, Cu、Mo、Ag、Au、 As含量高,S、 CO ₂ 、H ₂ O ⁺ 等 挥发组分富集	Cu、Mo、 Au、Ag、 As、Zn、 Pb、W 等组合。 K ₂ O、 Na ₂ O很 低,P低	元素组合 同左,但 Au、Cu、 W、较低, 而Mo较 高,K ₂ O 很高,P 低	>2000	>1100	>3200的点 约占40%			>1260	
Na ₂ O				<0.8			>2.0		<0.8	<1.6
K ₂ O/Na ₂ O				>9			>3		>6	>4
K ₂ O+Na ₂ O				<3.5					<6.8	
P							<800	<780	<725	
Mo							>23	>16	>15	
As				>20.5	>17.5		>15	>13	>12	
Au				>75	>65					
Ag				>1.0	>0.9					
Pb							>40	>32		
Zn						>120	>100			
W、Bi						有点异常 (W>4, Bi>10)				

X—算术平均值;G—几何平均值;常量元素为%;微量元素为ppm。

四 斑岩铜矿的地球化学找矿评价

1. 常规化探方法 以Na₂O、Cu作为基本指示元素来圈定矿体和赋矿远景地段。Cu和Na₂O分别用1300(~1260)ppm和0.8%作指标。同时满足上述指标者,圈为矿体。仅满足其一者圈为一级赋矿远景地段。两个指标都不满足,但Na₂O≤1.6%者圈定为二级赋矿远景地段。

据此,在丰山岩体边部共圈出37个赋矿地段(图2),其中3₃号赋矿地段为已知1号夕卡岩矿体。

然后统计出赋矿地段各元素的平均含量和其他特征值,用前述异常评价标志(同时参考斑岩铜矿剥蚀程度的一般地球化学标志),逐一对比,对赋矿地段作出评价。

1₁、2₂号赋矿地段的特点是Na₂O、P很低;2₁、2₂号赋矿地段的特点是Cu、Au高,Na₂O、P较高,Mo及Pb、Zn较低;

3₁、3₂号赋矿地段的特点是Cu、Mo、Ag、Au较低,Zn、Pb、As较高。推测1₁、1₂号赋矿地段地表矿体较好,其下部亦有一定远景;2₁、2₂号和3₁、3₂号赋矿地段的矿化,分别在地表或深部较好。

2. 数理统计分析方法(电算)

①趋势分析及其成矿预测 Cu的二、三次趋势面都反映了Cu总体上的变化趋势,即往北西和南东增高。Cu的四次趋势面则出现三个>2400ppm的高值中心,都位于岩体边缘(图3)。这一结果表明,除已知矿体外,在岩体两端,南北缘内接触带都有找矿远景,即找矿方向应在岩体四周。Cu的正剩余值反映了铜相对富集的地段。在已知矿体上方均有正剩余存在。

Na₂O的趋势面形态为椭圆形钟状,反映了Na₂O在岩体中心高,四周低的趋势。

在影响Na₂O分散富集的因素中,有一个因素与矿化富集无密切关系,即岩浆侵入时和围岩发生的同化混染作用及岩性的变化。在直接利用Na₂O的含量来找矿时,它

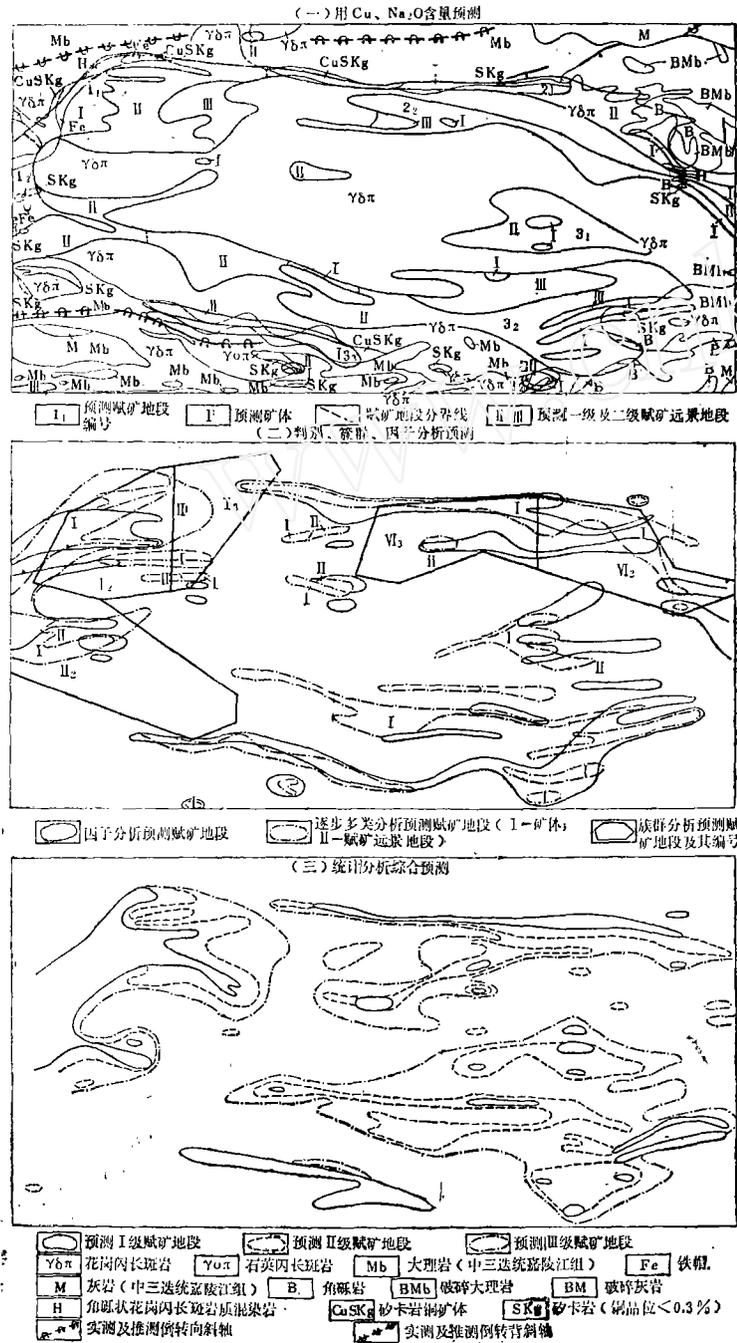


图2 丰山矿区斑岩铜矿地球化学成矿预测图

实际上是一个干扰因素。因此需要找出岩体背景 Na₂O 含量的变化模式，从而将与成矿作用有关的那部分 Na₂O 含量从总含量中区分出来。若以 Na₂O 的趋势面作为岩体 Na₂O 含量的背景模式，就可以用 Na₂O 的负剩余来预测有望赋矿地段 (图3)。

另外, Cu 的拟合程度低, 不同次拟合度变化较大, Na₂O 的情况正好相反。这表明岩体中 Na₂O 的分布较均匀, 变化比较有规律, 而 Cu 的变化较大。因此作为指示元素, Na₂O 较之 Cu 显得更好一些。

② 逐步多类判别分析及其成矿预测 用已知归属的样品, 确定三个判别函数, 然后将地表岩体全部样品用这三个判别函数划分为矿体、近矿围岩、远矿围岩三类, 并据此圈定矿体和赋矿远景地段 (图2)。

从已知样回代效果看, 三类判别的平均准确性达80%。

③ 簇群分析及其成矿预测 为了进一步评价异常, 对用 Cu、Mo 次生晕圈定的14个异常区段用16种方案进行了Q式簇群分析 (对异常区段分群)。计算结果, 以“13个元素、正规化、误差平方和”与“13个元素、标准化、相似系数”这两种方案分群最好 (图4)。用这两种方案计算, 1₃ 及 VI₂ 号异常区段均被预测为赋矿地段。这里顺便指出, 在挑选元素进行Q式分析时, 若同时考虑微量元素和常量元素, 计算效果较好。

④ 用因子分析的结果进行成矿预测 地表岩体的 F₁、F₂ 因子计量在矿体及整个赋矿地段均有较好的异常反应 (图5)。故采用此二因子的因子计量进行成矿预测。用 F₁ 的因子计量 (> 0) 圈出有望赋矿地段 (图2)。

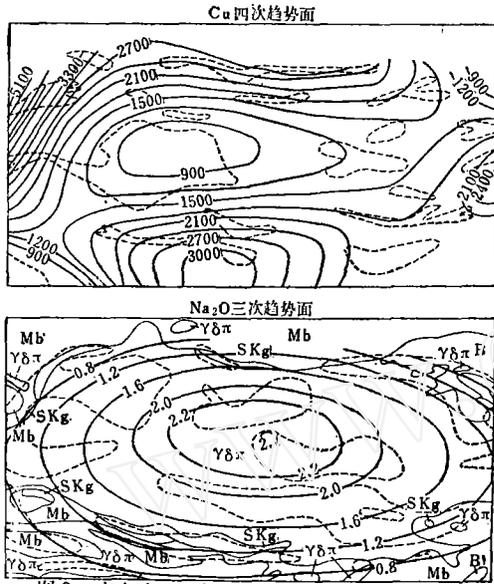


图3 丰山矿区原生晕CuNa₂O趋势分析平面图

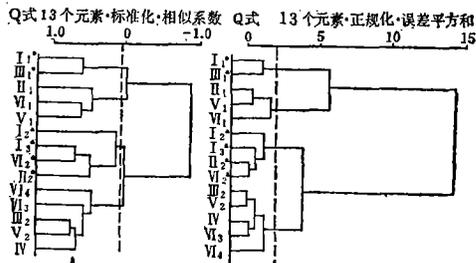


图4 丰山地球化学异常区段族群分析谱系图

⑤综合各种统计分析结果进行成矿予测分析对比判别分析、趋势分析和因子分析的结果，得出以下几条指示矿体或赋矿地段的统计分析标志：

- 1) 判别分析判定为“一类”或“二类”；
- 2) 地表岩体的F₁因子计量 > 0或Cu的(三次)趋势面剩余值 > 0；
- 3) 地表岩体的F₂因子计量 < 0或Na₂O的(三次)趋势面剩余值 < 0。

综合考虑上述标志，能较全面地利用各种找矿信息。根据上述三条标志，对每一测点(样品)进行等级评价；同时满足上述三条的评为I级，仅满足其中两条的评为II级，仅满足其中一条的评为III级。

在后二种情况下不考虑Cu的正剩余。

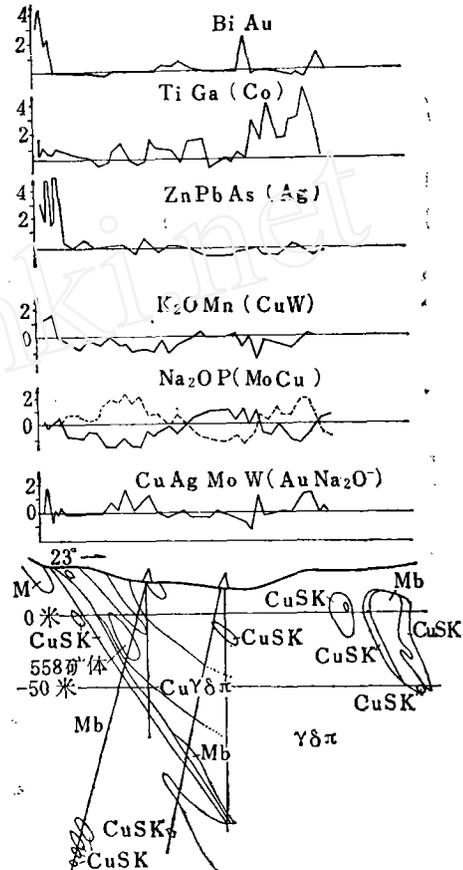


图5 丰山矿区17线因子计量剖面图

所得结果见图2。

综上所述，我们认为从化探角度来看，在丰山岩体寻找斑岩铜矿有三个有利地段：①岩体的西北部与西端；②岩体的北缘及东端；③岩体东南部。

各种予测方法获得的结果在大的方向上是一致的，但在局部有所不同。用多种途径和方法来进行找矿、评价，能充分利用各种找矿信息。

从初步勘探的情况来看，探槽圈出的矿体基本在予测范围内；钻孔揭露的矿体(埋深在100米以上)也在予测的范围内，说明本区化探找矿，特别是在矿体埋藏不很深的情况下效果较好。