

等同志审阅并提出修改意见,在此深表感谢。还特别要对提供和所引用资料的单位与个人致以衷心敬意!

### 参 考 文 献

[1] 姜齐节、梅友松, 1982, 地质与勘探, 第1期  
 [2] 梅友松, 1963, 地质论评, 第21卷, 第3期  
 [3] 梅友松, 1981, 地质与勘探, 第3期  
 [4] 姜齐节、梅友松, 1982, 桂林冶金地质学院学报, 第1期  
 [5] 中国科学院贵阳地球化学研究所, 1979, 华南花岗岩类的地球化学, 科学出版社  
 [6] 莫柱孙、叶伯丹等, 南岭花岗岩地质, 1980, 地质出版社  
 [7] 桂林冶金地质研究所夕卡岩铜矿专题组, 1974,

地质与勘探, 第6期  
 [8] 朱奉三, 1980, 地质与勘探, 第7期  
 [9] 朱坤林, 1981, 地质与勘探, 第2期  
 [10] 杜丁, 1981, 河北地质矿产研究, 第一辑  
 [11] 应思准、俞理宝、杨主题, 1980, 地震地质, 第2卷, 第1期  
 [12] 中国科学院贵阳地球化学研究所, 简明地球化学手册, 1977, 科学出版社  
 [13] 从柏林, 岩浆活动与火成岩组合, 1979, 地质出版社  
 [14] B. H. 斯米尔诺夫等著, 内生矿床的地质来源, 地质出版社  
 [15] V. 马莫, 花岗岩岩石学与花岗岩问题, 地质出版社  
 [16] Lubor Ostrichansky, 1980, Tectonophysics Vol. 68, No. 3 ~ 4

## 彭山隐伏花岗岩体特征及其控矿意义

邹文学

江西彭山隐伏花岗岩是1967年开展地质普查和矿产预测时发现的。围绕岩体外接触带探明了中—大型的隐伏夕卡岩型锡石硫化物矿床, 远离接触带找到了初具规模的云英岩型锡石矿床。

该岩体具有我国南方湘、粤、桂、滇同类酸性含锡花岗岩岩石的共同特点, 但在酸度、碱度、潜在含矿性和岩浆分异作用诸方面又有独特之处。

本文着重总结岩体的产状、岩石学、岩石化学成分特征, 初步探讨岩浆活动及其演化规律, 并提出了岩体控制锡矿成矿作用的意义。

### 岩体产状

本区大地构造位置处于九岭东西向构造, 修水武宁复式向斜中段。隐伏岩体侵入于彭山S形背斜(前称短轴背斜)的核部北西倾伏端震旦系和寒武系地层中(图1)。

整个岩体未出露地表, 距地面50米以下。已控制范围达7.5平方公里, 其表面最高点海拔213米, 最低负233米。在负300米标高垂直投影图上, 呈北东—南西向延伸的橄榄形, 轴向北东42~45°, 长宽之比约5:3。岩体顶部拱起, 四周边缘平缓倾斜, 北西倾角33~35°, 北东约30°, 其余部分6~20°(图2)。

岩体50米标高以上拱起部分形态复杂, 有三个岩凸(I、II、III)和一个岩凹。I号岩凸呈南北伸长的S形, 最高点海拔100米, 细粒白云母

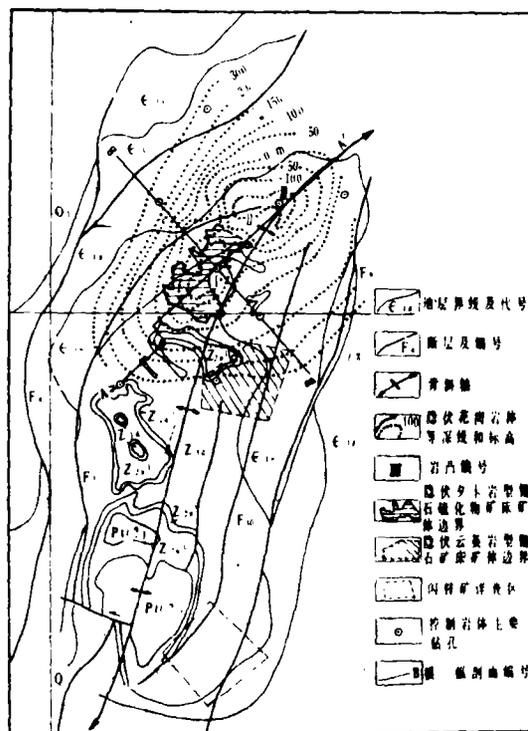


图1 彭山隐伏花岗岩体及锡矿床分布略图

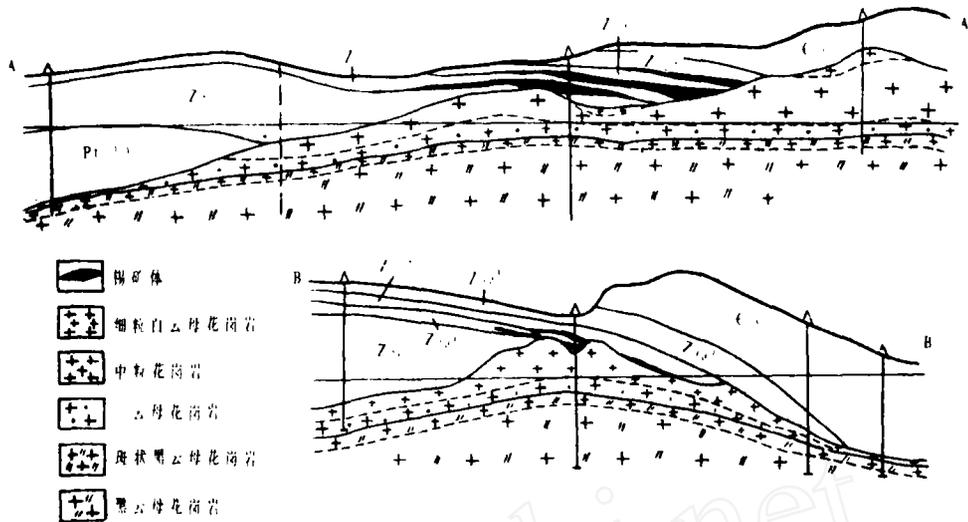


图2 纵、横地质剖面图

花岗岩脉十分发育，脉宽由数米至1毫米，走向与岩凸伸长方向基本一致，倾角80~85°，由岩凸顶面延续至地表。Ⅱ和Ⅲ号岩凸均在海拔200米以上。Ⅰ和Ⅱ、Ⅲ岩凸之间宽度200多米的凹地即是岩凹。

岩体拱起部位侵入接触面与震旦系上统灯影组中下段地层(Z<sub>3</sub>d<sup>2</sup>、Z<sub>3</sub>d<sup>1</sup>)呈截接关系，正接触带极发育(图2)在水平投影图上，侵入接触界线呈锐角指向北北西或北北东的锯齿状。岩体

边缘侵入接触面与地层产状基本一致或稍陡，正接触带宽阔，达一千平方米以上。

因此，就岩体控制程度而言，本区隐伏花岗岩体属于中深成相花岗岩小岩株。

### 岩石学特征

组成区内隐伏花岗岩岩株的岩石，有黑云母花岗岩、斑状黑云母花岗岩(包括少斑和无斑细粒黑云母花岗岩)、二云母花岗岩、中粒花岗岩和

造岩矿物统计表

表1

代号	岩石	主要造岩矿物含量(%)					副矿物		
		钾长石	斜长石	石英	白云母	黑云母	主	次	迹
a	细粒白云母花岗岩	37	24.2	29.5	1.4	2.2	黄玉、萤石	锆石、磷灰石、电气石	绿帘石
b	中粒花岗岩	34.5	24.4	32.6	3.6	3.1	黄玉、萤石、电气石	锆石、榍石	绿帘石、磷灰石
c	二云母花岗岩	32.7	23.9	33.7	4	1.3	黄玉、电气石	榍石	黄玉、绿帘石、磷灰石、锆石
d	斑状黑云母花岗岩	33.1	23.5	35.6	2.7	4	锆石、黄玉	绿帘石	石榴石、钨钛矿、电气石、萤石
e	黑云母花岗岩	32.8	23	37	1.6	5	锆石	黄玉	绿帘石、石榴石、独居石、电气石、磷灰石、钨钛矿

细粒白云母花岗岩(表1)。

(一) 黑云母花岗岩 具中粗粒花岗结构，似斑状结构。微斜条纹长石：呈半自形，粒度1.3×2~2×3.5毫米，个别5.5×2.6毫米。钠长石、钠更长石、石英、黑云母等嵌晶常见，并被溶蚀。主晶微斜长石(001)解理完全，(010)解理较完全。其光性、成份、结构状态和结晶温度见表2。主晶上斜长石分解条纹十分发育，形

态复杂，受主晶(010)、(001)解理发育程度影响，呈虎皮状、树枝状、网格状等。条纹成分属钠长石和钠更长石(图3)。

微斜条纹长石中有少量为钾长石化产物，手标本呈肉红色，以结晶温度低和低钠为特征。

正长石：他形，分解物褐黄色，无条纹。

斜长石：呈半自形，粒度2×2.5毫米，具钠长石双晶和卡钠复合双晶，抑或肖钠长双晶(表2)。

黑云母花岗岩长石特征表

表 2

代号	矿物名称	主 折 射 率				2V	成份 (%)	有序度 (三斜度)	结 晶 温 度	对 称 类 型	结 构 状 态
		<i>N<sub>g</sub></i>	<i>N<sub>m</sub></i>	<i>N<sub>p</sub></i>	<i>N<sub>g</sub>-N<sub>p</sub></i>						
1141	钠长石	1.5400	1.5341	1.5294	0.0106	82°42'	An 5	62	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
1266	钠长石	1.5408	1.5354	1.5343	0.0065	70°32'	An 5~8	40	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
1141	钠更长石	1.5429	1.5362	1.5332	0.0097	79°42'	An 8~13	64	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
1265	更长石	1.5465	1.5402	1.5380	0.0085	75°37'	An 18~20	50	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
1117	微斜条纹长石	1.5254	1.5217	1.5190	0.0064	(-) 86°8'	Or 78 Ab 22		430℃ (巴尔特)	三斜	最大微斜长石系列
1265	微斜条纹长石	1.5302	1.5242	1.5212	0.009	(-) 87°48'	Or 82 Ab 18		340℃ (巴尔特)	三斜	最大微斜长石系列
1266	微斜条纹长石	1.5279	1.5216	1.5190	0.0089	(-) 88°	Or 82 Ab 18 Or 94		340℃ (巴尔特)	三斜	最大微斜长石系列
1266							Ab 6		185℃	三斜	低钠-最大微斜长石系列



图 3 条纹形态 (显微素描图)

实测斜长石成分资料表明: 斜长石以钠长石为主, 钠更长石和更长石次之。

黑云母: 多色性为: ① *N<sub>g</sub>*、*N<sub>m</sub>*—褐或红褐, *N<sub>p</sub>*—浅褐或黄褐色; ② *N<sub>g</sub>*、*N<sub>m</sub>*—暗绿色, *N<sub>p</sub>*—淡绿色。在 (010) 和 (110) 面上, 两种黑云母相间出现, 偶有白云母化。黑云母中许多微粒锆石包裹体, 具深褐色之环状放射晕圈。

(二) 斑状黑云母花岗岩 斑状结构, 局部具聚斑晶状结构。基质具细粒半自形晶粒状结构。矿物成分及含量见表 1。手标本见条纹长石斑晶达 1 × 2 厘米, 石英斑晶 5 ~ 7 毫米, 黑云母斑晶 3.5 × 4 毫米。镜下常见微斜条纹长石斑晶和石英斑晶由二、三个单晶组合成为聚合斑晶。

微斜条纹长石斑晶呈半自形 (表 3)。

石英斑晶呈他形粒状的单晶和聚合晶, 具港湾状熔蚀边。

黑云母斑晶中锆石包裹体达十多粒, 粒度 0.01 ~ 0.04 毫米, 环状放射晕圈宽度常和粒径的大小一致。

斜长石斑晶粒度 1.5 × 2.5 毫米, 2V 为 70 ~ 75°。

基质成分同斑晶。粒度一般小于 0.5 毫米。

必须指出, 无斑 (或极少斑) 细粒黑云母花岗岩, 岩石特征相当于斑状黑云母花岗岩的基质部分, 厚度仅有 0.25 ~ 1 米, 不单独分述。

(三) 二云母花岗岩 中粗粒花岗岩结构或似斑状结构 (表 1)。

微斜条纹长石: 呈他形, 粒度 1.5 × 3 毫米, 个别 1 × 1.5 厘米。常分布于自形、半自形斜长石晶体间或者包裹斜长石、石英、黄玉等。据条纹发育程度应属隐微斜条纹长石 (表 3)。

斜长石: 呈半自形, 个别自形。实测成分多为低牌号的钠长石, 次为钠更长石和更长石。具钠长双晶和卡钠复合双晶。常有绢云母化和云英岩化等蚀变 (表 3)。

石英呈他形分布于钾钠长石粒间。

黑云母: 颜色为褐色, 其多色性: *N<sub>g</sub>*—棕褐, *N<sub>m</sub>*、*N<sub>p</sub>*—无色或淡黄色。沿 (010)、(100) 解理白云母化十分发育, 两者呈渐变现象常见。

(四) 中粒花岗岩 与二云母花岗岩无明显界线, 暗色矿物组分低于白云母。具中粒花岗岩结构。

微斜条纹长石: 呈他形, 粒度 1 ~ 2.5 毫米。主晶微斜长石, 嵌晶主要是显微条纹的钠更长石。

二云母花岗岩长石特征表

表 3

编号	矿物名称	主 折 射 率				2V	成 份 (%)	有序度 (三斜度)	结 晶 温 度	对 称 类 型	结 构 状 态
		Ng	Nm	Np	Ng-Np						
1133	钠长石 钠长石	1.5390	1.5361	1.5306	0.0084	81° 4' 79° 3'	An 5 ~ 8 An 5	60	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
		1.5397	1.5338	1.5308	0.0089						
1262	钠长石 钠长石	1.5412	1.5362	1.5315	0.0097	83° 52' 75° 41'	An 5 ~ 7 An 5	60	斜长石 (低)	三斜	0-斜长石
		1.5402	1.5328	1.5302	0.010						
1133	钠长石 微斜条 纹长石	1.5502	1.5460	1.5448	0.0054	77° 6' (-) 87° 46'	An 28 ~ 30 Or 96 Ab 4	30	185°C (巴尔特)	三斜	低钠-最大微斜长石
		1.5290	1.5226	1.5192	0.0098						
1263	微斜条 纹长石	1.5240	1.5211	1.5190	0.005	(-) 86° 11'	Or 72 Ab 28		530°C (巴尔特)	三斜	最大微斜长石系列
264	微斜条 纹长石	1.5285	1.5212	1.5202	0.0083						

呈“鱼骨状”，沿主晶卡斯巴双晶结合面和解理缝发育。此外尚见白云母、石英、黄玉等包裹体。

正长石为钾长石的次要成分，他形一半自形，粒度  $2 \times 3$  毫米。

石英呈他形，粒度  $1 \sim 3.5$  毫米，弱波状消光。

白云母干涉色常不均匀。解理稍稍弯曲，解理缝常有铁质斑点或含铁方解石。

(五) 细粒白云母花岗岩 为中粒花岗岩过渡岩石，系岩体最边缘冷凝边，具细粒花岗结构或少斑细粒花岗结构 (表 1)。

钾长石不具有条纹嵌晶，粒度  $1 \times 1.3$  毫米。

$Ng = 1.5249$ ,  $Nm = 1.5231$ ,  $Np = 1.5209$ ,  $2V$  (-)  $75 \sim 85^\circ$ 。

更长石呈半自形,  $Ng = 1.5432$ ,  $Nm = 1.5412$ ,  $Np = 1.5374$ ,  $An 10 \sim 15$ 。

石英呈他形。白云母细小片状，分布不均。

### 岩石化学成分

各类花岗岩岩石化学全分析结果和数值特征见表 4。

(一) 岩石化学成分与邻省锡成矿母岩、黎形中国二云母花岗岩、花岗岩和戴里世界花岗岩比较，有如下特点：

1.  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$  含量近于邻省锡成矿母岩和中国二云母花岗岩。 $SiO_2$ 、 $K_2O$  则高于中国花岗岩和世界花岗岩， $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$  较之偏低。

2.  $CaO$ 、 $MgO$ 、 $FeO + Fe_2O_3$  含量低，查

氏  $c$ 、 $b$ 、 $f'$ 、 $m'$  值较小， $a:c$  值较大。

3.  $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3$  低微或零。

(二) 各类岩石查氏数值特征， $45 > Q > 15$ ， $a:c > 7$ ，归属查氏岩浆岩化学分类第二类第三科，即硅酸过饱和过碱性的岩石。

查氏岩石化学向量图解显示 (图 4)：

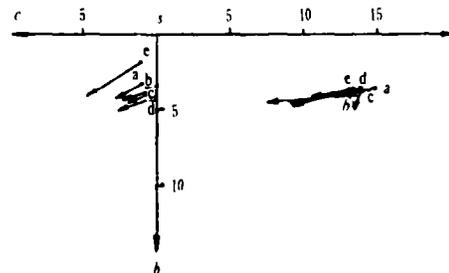


图 4 查氏岩石化学向量图

1. 向量投影在钙碱性和碱性面，碱性面内向左延伸，为铝过饱和特征。

2. 两个平面内的向量投影较集中，表示各类岩石物质组分悬殊不大。

3. 碱性面上，向量投影点离开  $sb$  轴较远，钙碱性面上则相反，表明岩石中碱性长石富钾碱质，斜长石为贫钙的酸性斜长石。

4. 碱性面上向量点偏高，向量一致向左缓倾斜，为富铝低镁特征。

(三) 定量矿物化学计算数值特征、计算数值见表 4，数值特征投影图解见图 5。从图解中直观分辨出如下几点：

1. 五种岩石酸度和碱度均较高，斜长石牌号都较低，多为钠长石。

岩石化学成份数值表

表 4

代号	岩石名称	样品个数	化 学 分 析 结 果											
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O
a	细粒白云母花岗岩	3	72.07	0.05	11.30	0.53	0.94	0.03	0.23	1.14	3.10	5.53	0.47	0.79
b	中粒花岗岩	3	74.39	0.07	13.27	0.07	1.19	0.01	0.16	0.50	3.31	4.71	0.26	0.58
c	二云母花岗岩	1	74.58	0.10	13.43	0	1.39	0.05	0.25	0.50	3.13	5.10	0.17	0.44
d	斑状黑云母花岗岩	3	75.56	0.11	12.49	0.02	1.42	0.02	0.22	0.50	3.10	4.99	0.08	0.57
e	黑云母花岗岩	1	76.48	0.13	12.35	0	1.87	0.04	0.21	0.57	3.00	4.85	0.03	0.47

查 氏 数 值 特 征										尼 氏 数 值 特 征							
a	c	b	s	a'	c'	m'	f'	n	Q	a:c	si	al	fm	c	alk	k	mg
14.5	1.3	3.6	86.6	45.3		9.1	45.2	46.3	30.9	11.2	414	48.1	8.0	6.9	36.1	0.54	0.29
13.6	0.6	4.0	81.8	60.0		6.7	33.3	50.0	35.8	22.6	430	49.2	8.3	3.5	39.0	0.49	0.20
13.8	0.6	3.8	81.8	55.2		10.3	34.5	48.6	35.4	23.0	460.4	48.1	9.6	3.3	38.9	0.51	0.23
13.6	0.6	3.0	82.8	47.8		10.9	41.3	48.5	37.8	22.7	486.5	48.0	9.3	3.5	39.8	0.51	0.21
13.0	0.7	3.4	82.9	42.3		9.6	48.1	48.0	34.1	18.6	488	46.4	11.5	3.8	38.3	0.52	0.17

刘 氏 参 数				三 所 参 数															
AlK (K)	AlK (Na)	AlK (K) AlK (Na)	AlK (K) AlK (Na)	a	al	fm	c	Q	Or	Pl	Bi	Ms	Ot	An	K	Na	a	b	Mg
6.6	5.7	12.3	1.15	69.0	16.1	1.3	1.14	29.5	37	24.2	2.2	4.4	60.5	15.7	16	216	2.8	5	
6.1	5.7	11.9	1.05	71.0	14.9	1.4	0.52	32.6	34.5	24.4	3.1	3.6	58.6	6.1	4	216	3.4	4	
6.2	5.8	12.0	1.07	71.0	14.9	1.5	0.51	33.7	32.7	23.9	4.3	4	57.8	7.1	6	210	4.1	6	
6.1	5.7	11.8	1.07	72.2	11.0	1.4	0.51	35.6	33.4	23.5	4	2.7	58.7	9.0	6	206	4.1	5	
5.9	5.4	11.3	1.09	72.1	13.7	1.7	0.60	37.0	32.8	23	5	1.6	60.0	12.1	8	200	5.1	5	

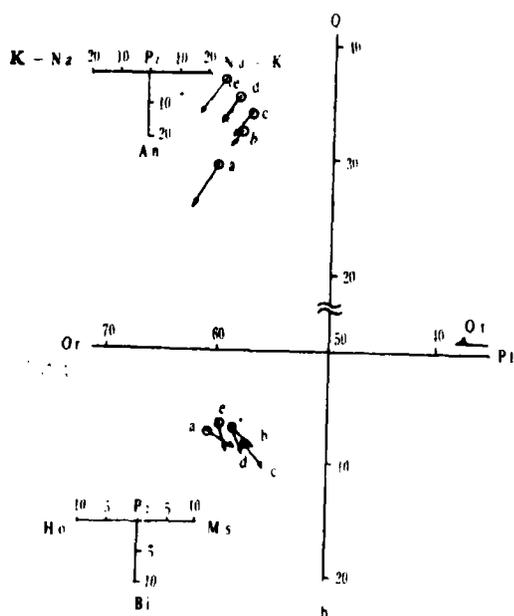


图 5 三所岩石化学图解

细粒白云母花岗岩 (a) 与黑云母花岗岩 (e)、斑状黑云母花岗岩 (d), 具有明显的分区性。其演化趋势表现在浅色面上, a → b → c 的 K 和 Na 比例略减小, 酸度 (Q) 渐高, 钾碱度 (Or) 减小; a → e 的酸度 (Q) 和钾碱度 (Or) 均增高, K 和 Na 的比例也加大。在暗色面上, a → b → c 之向量平缓指向左方, 属铝强烈过饱和岩石; d → e 箭头指向右方且往下垂, 属铝过饱和岩石。

3. 岩石 a、b、c 和 d、e 在三所图解中显示出两组不同成分的岩石, 可能反映了两次岩浆岩侵入特征。其化学成分演化规律表现在 a → e 酸度不断增高, 而钾碱质则由 a → c 逐渐减少, d → e 又增高。

(四) 岩石的酸度和碱度: 为了应用酸碱度讨论成矿专属性, 本文采用尼格里酸度和刘振声碱度计算法 (表 4)。

尼格里数值表明, 游离二氧化硅 162 ~ 222, 介于邻省锡成母岩之间或略高 (160 ~ 194), 超过中国花岗岩和世界花岗岩之酸度值。

2. 二云母花岗岩 (c)、中粒花岗岩 (b)、

刘氏参数表明, 各类岩石碱度系数 ( $A/K$ ) 为11.3~12.3, 相当于戴里碱土花岗岩 (11.6)。碱质比 ( $A/K(K) : A/K(Na)$ ) 1.05以上, 高于邻省锡成母岩和中国、世界花岗岩。本区花岗岩不含碱性铁镁质矿物, 大量钾碱成分与微斜条纹长石和正长石有关。

(五) 微量元素: 据 381 个光谱半定量样品统计, 各类岩石中微量元素的数量和组合具如下

特征 (表 5)。

1. 铁族元素主要是 Ti、V、Cr、Co 和 Ni 含量低微。

2. 亲铜元素 (造矿元素) 主要有 Sn、Cu、Pb、Zn、Ga、Bi、As。As 分布在 III 号岩凸局部地段, 据化学分析在一个钻孔中有 25 米硅化中粒花岗岩含 As 0.41%, 此外 W 元素也仅在 III 号岩凸有所显示, 不具有普遍的数理统计意义。

各类花岗岩主要微量元素平均含量数值表

表 5

岩石名称	样品个数	微量元素含量															
		Be	Ti	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Ga	Sr	Zr	Mo	Sn	Ba	Pb	Bi	Yb
细粒白云母花岗岩	19	0.001	0.13	0.008	0.008	0.001	0.011	0.010	0.0011	0.013	0.002	0.001	0.0021	0.008	0.002	0.0071	0.001
中粒花岗岩	205	0.001	0.10	0.0036	0.0091	0.001	0.011	0.010	0.002	0.020	0.01	0.001	0.0044	0.057	0.001	0.0037	0.001
二云母花岗岩	126	0.001	0.10	0.0015	0.0077	0.001	0.004	0.010	0.002	0.028	0.009	0.001	0.0030	0.030	0.005	0.0015	0.001
黑云母花岗岩	11	0.001	0.16	0.0028	0.0003	0.001	0.007	0.010	0.0013	0.035	0.1	0.001	0.0030	0.030	0.003	0.002	0.001
黑云母花岗岩	20	0.001	0.20	0.0025	0.0065	0.001	0.002	0.010	0.001	0.03	0.001	0.001	0.0010	0.030	0.002	0.001	0.001

3. 岩体各类型岩石中造矿元素丰度平均值有一定规律性。黑云母花岗岩的 Sn、Ti 高, Cu、Pb、Bi 较低, 二云母花岗岩则反之。

4. Cu 与 Bi, Sn 与 Ga 元素组合大致成正比消长关系, 其变化趋势为负相关 (图 6)。

5. 微量元素在岩体空间上的变化:

### 岩浆活动及其演化规律

本区隐伏花岗岩体是一期侵入相变产物还是二期侵入或同期两次 (阶段) 侵入, 是十多年来的问题。下面根据现有资料分析岩浆岩的分异作用, 初步探讨岩浆活动演化规律和演化机理。

#### (一) 岩浆岩的分异作用

1. 分异指数及分异作用: 岩浆岩分异指数是研究岩浆分异的根据。桑顿、培特尔提出分异指数  $DI = Q + Qr + Ab + Ne + Lc + Kp$  的公式。以三所计算出岩石中钾长石 (Qr)、石英 (Q)、斜长石 (Ab) 三种矿物总和 (实际上不可能在同一种岩石中同时存在六种标准矿物) 分别计算出各类岩石的  $DI$  为 90.3~92.8, 与流纹岩的分异指数 (90) 相当或略高, 说明分异程度良好。分异作用越到后期分异指数变化趋势表现在: ①分异指数越高; ②氧化物较富硅质和钾碱质 (图 7); ③ Sn、Ga、Y、Yb 等元素增高; ④黑云母的氧化逸度减小。以上显示出同源岩浆岩分异的正常趋势。但分异程度差别不太大, 岩石化学成分又具相似性, 可见本区隐伏花岗岩各类岩石属同源同期侵入产物。

2. 深处分异和就地分异: 深处分异指不同次

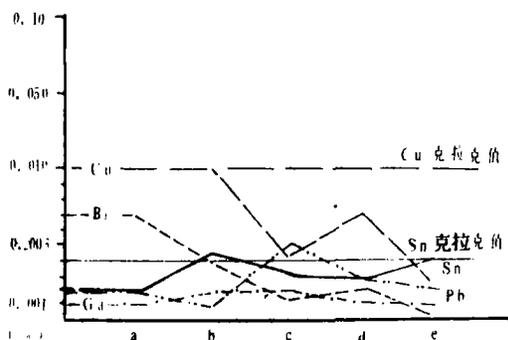


图 6 花岗岩各类岩石亲铜元素平均含量变化图

(1) 浅部 Cu、Bi 含量较高, 深部 Sn 和 Ga 含量较高。

(2) 岩体南西—南东边缘 Sn、Ga 较高, 以黑云母花岗岩为例, Sn 为 50 ppm。北西—北东 Sn 较低 (小于 10 ppm), 相反 Cu、Bi 增高, 其中 Cu 可达 40~190 ppm。

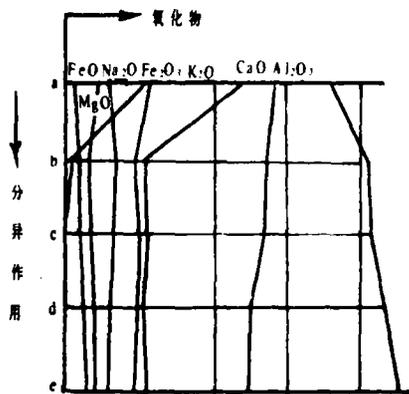


图7 氧化物垂直变化图解

侵入的岩体在岩石总成分上的变化，岩石产状、结构、矿物成分、微量元素、长石特征、分异指数等方面也存在一定差异（表6）。以ZK17/8 钻孔岩芯花岗岩接触关系素描图为例，二云母花岗岩与黑云母花岗岩之冷凝边一斑状黑云母花岗岩接触，接触界面倾角为32°，粗粒条纹长石变斑晶垂直接触面产出（图8）。[芬]V·马莫指出，“冷凝边的出现，标志了一个热的物质侵入到冷的周围环境”。可以推断，当黑云母花岗岩侵位时，先由深处分异的二云母花岗岩已处于冷的结晶状态。此外，细粒黑云母花岗岩伴随电气石、黄玉等含挥发分矿物呈细脉状穿插二云母花岗岩

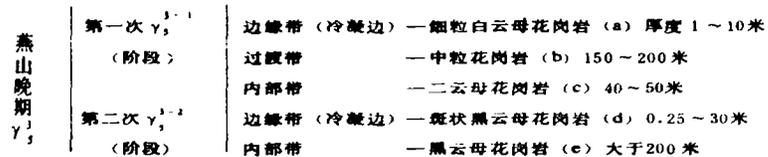
二次侵入花岗岩岩石差异对比

表6

特征	二云母花岗岩	黑云母花岗岩
产状	正接触带发育	与二云母花岗岩呈侵入接触，正接触带不发育
结晶程度	石英、微斜条纹长石较他形	石英呈半自形，个别自形。微斜条纹长石结晶程度较好
造岩矿物	斜长石占23.9%， 石英占33.7%， 钾长石条纹发育程度差， 黑云母：白云母约1:1	斜长石占23%，钾长石略多 石英占37%， 条纹发育较好， 黑云母：白云母约3:1（或零）
副矿物	萤石—黄玉—电气石型	主要为锆石型
化学成分	属铝强烈过饱和， 酸度192， 碱度12，钾质比1.07	铝过饱和 酸度222， 碱度11.3，钾质比1.09
微量元素（%）	Cu: 0.004, Bi: 0.0015, Sn: 0.003, Pb: 0.005	Cu: 0.002, Bi: 0.001, Sn: 0.0038, Pb: 0.002
黑云母氧化系数	0.087	0.012
斜长石有序度	30~60	40~64
结晶温度	530℃以上	340~430℃以上
分异指数	90.3	92.8
同位素年龄	104百万年	晚于104百万年

（图9上部）。可见，从地质产状上佐证了深处分异在时间上存在间歇性，继二云母花岗岩侵位之后才发生黑云母花岗岩的侵入，构成一先一后两次侵入的杂岩体。

就地分异作用表现在二云母花岗岩和黑云母花岗岩分别为岩核，又有各自的岩蓬。自岩核—岩蓬在岩石学、岩石化学逐渐过渡而又可区分，又无明显的界线（见图2）。现划分如下：



## （二）岩浆活动演化规律

1. 岩浆岩侵位的构造条件：彭山S形背斜轴部和北东向断裂、北北东向张扭性断裂是本区

岩浆岩侵入的通道。震旦系灯影组薄—中厚层状碳酸盐岩石层间破碎，有利于同化作用，是穹窿状岩体形成的良好边界条件。

2.斜长石有序度和结晶温度的演化：前已述及，二云母花岗岩斜长石有序度30~60 (0.3~0.6)，黑云母花岗岩斜长石有序度40~64 (0.4~0.6)，均属比较典型的低温酸性斜长石。影响有序度的因素除了应力的作用及时间的因素外，最重要的是温度的影响。黑云母花岗岩斜长石有序度略高，反映了分异时间较晚，而斜长石结晶温度较低，同样反映了黑云母花岗岩成岩温度相对较低。

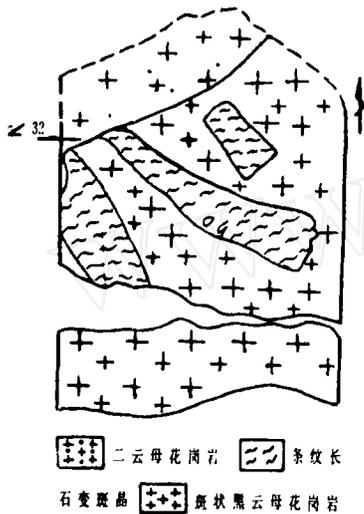


图8 花岗岩接触带关系素描图

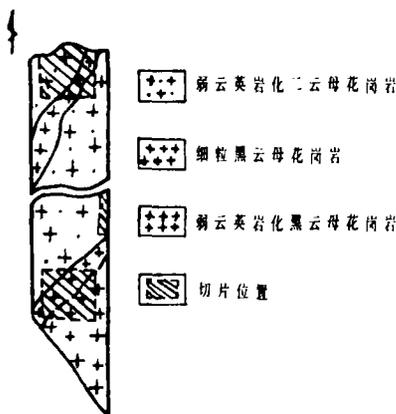


图9 花岗岩接触关系素描图

X—粉晶分析所测到钾长石中Or和Ab的含量，结合旋转针台油浸法测得斜长石Ab的含量，用巴尔特法计算成岩温度，二云母花岗岩为530℃以上，黑云母花岗岩为340~430℃以上（岩石已经冷却，矿物不再相平衡，加之相机直径小，可

能出现系统偏差，不能完全代表岩浆侵位时的实际古温度），大致反映出分异较晚的黑云母花岗岩比二云母花岗岩成岩温度减低的演化趋势。

### 3.物质组分的演化：

(1) 矿物成分：分异较晚的岩石中，石英、黑云母明显增多，副矿物由黄玉型变为锆石型。

(2) 化学成分：演化后期酸度愈高，钾碱质在分异过程为“马鞍形”的演化规律。

(3) 微量元素：深处分异后期，造矿元素Cu、Pb、Bi明显减少，Sn略有增高。

### 4.条纹长石的成因与岩浆活动演化的关系：

经光性测定，条纹长石的主晶属微斜长石，嵌晶既有斜长石颗粒镶嵌，又有斜长石分解条纹。斜长石颗粒镶嵌无规律分布，具有被溶蚀港湾。条纹的成因，可能是两个低温有限固熔体系列分熔出的富钾相和富钠相种属组合。如结晶时间延长，温度继续降低，产生钠质组分的熔离，温度愈低，熔离分解条纹也愈粗。随着岩浆活动的不断演化，后期温度较低，斜长石分解条纹也特别发育，这一点与本区黑云母花岗岩中的条纹长石比二云母花岗岩条纹长石发育是一致的。

应当指出，后期岩浆交代作用成因的条纹长石，在岩体中分布不均，黑云母花岗岩中颇为常见，为肉红色，Or94%，Ab6%，结晶温度较低，属低钠—最大微斜长石系列。

### (三) 岩浆活动演化机理

根据本区岩浆岩分异作用和岩浆活动演化规律，初步建立岩浆活动演化机理与热液模式图(图10)。

笔者认为，岩浆房深处的分异作用，富含挥发分的熔浆沿构造通道自南偏西方向侵入，首先在前锋形成硬化边（冷凝边），产生上部低温熔浆区，初始结晶二云母花岗岩。处于前锋的富含氟、硼等挥发分捕集了Sn、As造矿元素局部富集。残存的挥发分压入深部，形成了深部低温熔浆带。当挥发分尚未达到饱和时，深处分异作用使岩浆房向上活动产生不连续性，温度和压力相应降低。当二云母花岗岩结晶堤形成后，岩浆房继续上升活动（即深部分异作用），形成斑状黑云母花岗岩硬化带（冷凝边）。由于硬化带发育并不连续，不可

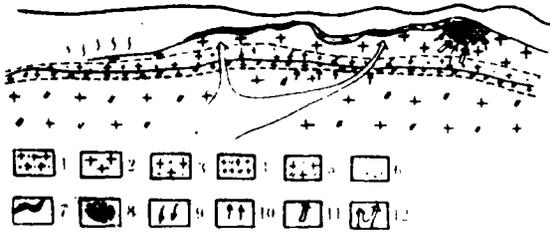


图10 岩浆活动演化与热液模式图

- 1—细粒白云母花岗岩; 2—中粒花岗岩;  
3—二云母花岗岩; 4—斑状黑云母花岗岩; 5—  
黑云母花岗岩; 6—围岩蚀变; 7—主要锡矿体;  
8—毒砂矿体; 9—早次挥发分运动; 10—晚次挥发  
分运动; 11—含砷矿液运移; 12—含矿热液运移方向

能产生相应的上部低温熔浆区，深部熔浆失去了挥发分的平衡，形成深部含矿热液源。在水和挥发分的携带下，大量的锡碱金属络合物上升，在构造裂隙发育的硅铝岩层中形成含锡云英岩，在有利于热液交代的碳酸盐围岩中形成含锡夕卡岩。

### 隐伏花岗岩体的控矿意义

内生矿床的形成与大地构造、岩浆类型、区域地球化学特征、矿田构造、围岩性质以及岩浆侵入的深度和受侵蚀的深度等多种因素有关。

本文仅侧重讨论岩浆岩的内在因素对锡矿床成矿作用的控制意义。

(一) 矿质来源于母岩 本区隐伏花岗岩含造矿元素主要有Sn、Cu、Pb、Zn、Ga、Bi、As。在二云母花岗岩中含Sn30ppm，黑云母花岗岩含Sn40ppm，比我国南方五十余个不同时代“含锡花岗岩”锡平均含量高得多，比“不含锡花岗岩”锡的平均含量高出6倍以上。在远离锡矿体赋存部位西南面的黑云母花岗岩中，Sn平均含量仍然在37~50ppm。1974年查佩尔和怀特在区分含锡花岗岩和不含锡花岗岩时曾经提出S型含锡花岗岩锡平均含量3~20ppm。1977年卢戈夫的含锡花岗岩锡平均含量10~25ppm。相比之下，彭山隐伏花岗岩的潜在含矿性是十分丰富的。

在花岗岩岩石主要造岩矿物黑云母和白云母

单矿物中锡的含量为20~100ppm，即使黑云母经过白云母化，锡的平均含量仍可达80ppm。微斜条纹长石含锡亦大于10ppm。无容置疑，彭山隐伏花岗岩应属含锡花岗岩，为锡矿床成矿的母岩，花岗岩浆是锡矿成矿作用的矿质来源。

(二) 超酸性花岗岩对锡成矿起主导作用 在酸度变化与成矿专属关系图上，本区隐伏花岗岩酸度( $\alpha$ 值)投影点集中落在锡富集区间(图11)

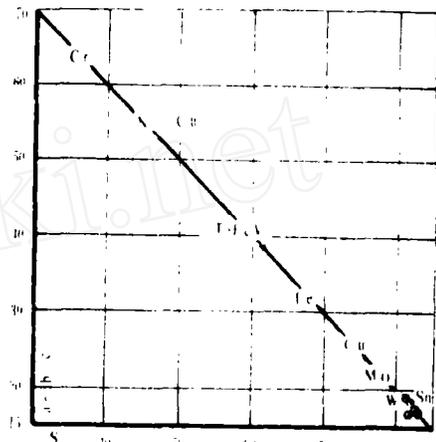


图11 酸度变化与成矿专属关系示意图  
具查尔数值(卢戈夫等)

在酸度变化与锡成矿关系图解上，以尼格里酸度( $qz-12$ )与 $al+fm+c$ 投影得出相同的结论：本区隐伏花岗岩的酸度高于湘、滇、粤、桂锡成矿母岩的酸度值，证实了花岗岩酸度控制了所含主要金属种类的成矿专属论点，而且反映了彭山隐伏花岗岩超酸性的特点，并对锡的成矿起主导作用而独具一格(图12)。

(三) 高碱度富钾碱质对锡络合物的分馏和运移有重要作用 本区隐伏花岗岩的碱度为12.3，钾质比为1.05~1.15，属高碱度富钾碱质花岗岩，碱度与硅质系数关系图显示了碱度相当于戴里碱土花岗岩和碱性花岗岩，介于邻省锡成矿花岗岩。钾质比则略高于湘、滇、粤、桂锡成矿花岗岩(图13、图14)。

И. И. 戈沃洛夫总结了岩浆分馏的形式以碱金属络合物为主。许多金属主要以碱金属络合物进行运移。锡的络合物有 $Sn-R_2$  ( $SnF_6$ )， $R_2 [Sn(OH)_6]$ ， $R_2 [Sn(OH \cdot F)_6]$ ， $R [Sn(OH)_4 F_2]$ 。本区高碱度富钾碱质花

花岗岩与锡矿成矿有关，对于锡元素在岩浆房中以锡络合物的分馏（集聚）和运移都有重要作用。

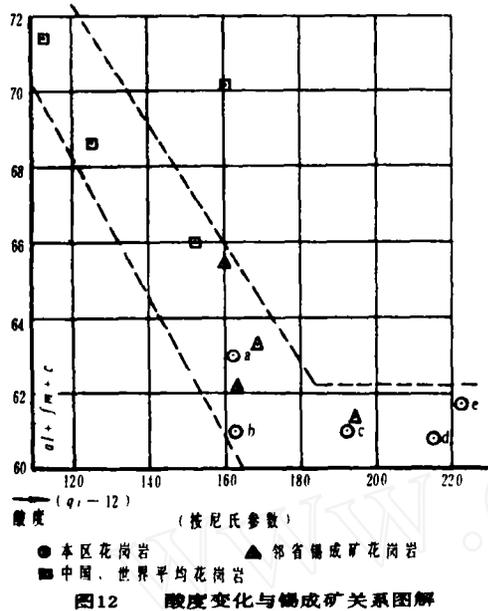


图12 酸度变化与锡成矿关系图解

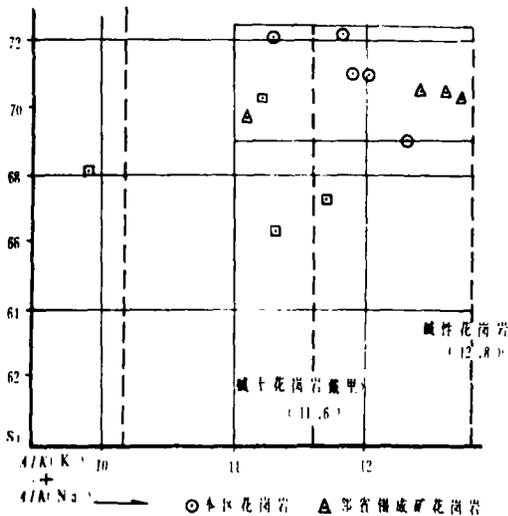


图13 碱度与硅质系数关系图

(四) 氟和硼等挥发分对锡的迁移和捕集作用 岩体两次花岗岩侵入都富含挥发分矿物。二云母花岗岩内部带—边缘带副矿物分别为黄玉—电气石、黄玉，萤石—黄玉组合。尤其在岩凸附近，黄玉—萤石—电气石云英岩十分发育，黄玉含量1~3%，局部达10%以上，萤石含量一般1~2%。黑云母花岗岩边缘带黄玉—电气石亦较发育。此外，正接触带广泛发育萤石、电气石、

黄玉—云英岩脉。F、B、H<sub>2</sub>O不仅在岩石形成过程中起“催化剂”作用，在锡矿化过程中对锡元素的迁移和富集也起到重要的作用。在挥发分向上移动过程中，将已经侵位但尚未固结或处于炽热状态的含矿质熔浆中的锡捕集到岩体上部（岩凸）沿构造裂隙充填，或岩凸之间的岩凹部位被同化交代的围岩等有利成矿部位沉淀。

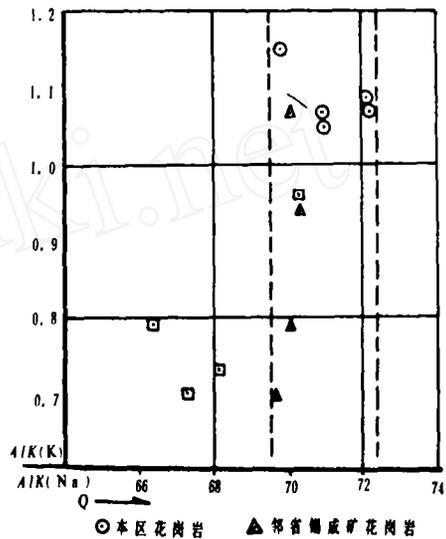


图14 碱质比与硅质系数关系图

(五) 结晶分异和深处分异作用与矿液的搬运富集有密切关系 如前所述，彭山隐伏花岗岩为燕山晚期两次侵入的杂岩体，岩浆岩分异程度很高。结晶分异作用产生冷凝边，造成内外带的不平衡，导致气液组分和造矿金属元素由内带向边缘运移的可能性。深处分异作用的暂时不连续性，第一次二云母花岗岩侵位时有部分矿质随挥发分上升在内外接触带沉淀。第二次黑云母花岗岩侵位时，深部岩浆房富碱、富硅、富挥发分，在挥发分强烈失去平衡的情况下，大量的含矿溶液向上移动冲向正接触带，少部分残存于内接触带。

本文属初步研究成果，许多有关成岩成矿问题还有待进一步工作，作者曾得到卢宇、潘家福、陈炳才、潘世伟等的帮助，成文后蒙包家宝、王达忠、陈实、刘家远审阅，在江西地质学会岩石学术委员会上许多同志提出了修补意见，在此一并致谢。

### 主要参考文献

- [1] 王联魁等, 南岭贵东花岗岩的分期和分相问题, 地质学会论文集
- [2] 刘振声、汪之明, 试论花岗岩类碱度与成矿的关系, 地质论评, 第24卷2期
- [3] 邓万明, 碱性长石结构状态研究的几个问题, 岩矿鉴定参考材料
- [4] 阮道远, 长石类高低温种属与有序度的测定, 湖北冶金地质, 1978年2期
- [5] 吕培基, 皖南歙县吕梁晚期许村花岗岩的初步研究, 中国地质学会论文集
- [6] 李时运等, 长江中下游某地区两期侵入岩的特征及其与找矿关系的初步研究, 地质学报, 第45卷4期
- [7] 邱家驷, 岩浆岩化学成分研究方法简介, 江西地质科技动态, 1979, 总第32期
- [8] 陈国达, 成矿构造研究法
- [9] 闻广、闻韬, 再论岩浆岩成矿专属性, 地质学报, 第43卷4期
- [10] 徐克勤, 华南多旋回的花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨, 地质学报, 第43卷1~2期
- [11] 黎彤、饶纪龙, 中国岩浆岩的平均化学成分, 地质学报, 第43卷3期
- [12] B. B. 梁霍维奇, 花岗岩类的副矿物及其合理命名, 地质科学研究所参考资料, 第四辑
- [13] [芬] V. 马莫, 花岗岩岩石学与花岗岩问题
- [14] 锡矿化同花岗岩深成岩的关系, 地质科技动态, 1978年第24期

## 锡矿成矿模式简介

广西冶金地质研究所 张峰慧

成矿模式, 又叫矿床模式, 是用简明的图表等形式对矿床地质特征、矿床的形成机制以及分布规律的高度的综合和概括, 它反映了控矿条件和成矿作用的本质联系, 是对自然界成矿作用的一种抽象。对矿床研究和找矿预测都有重要的指导意义。

国外按岩浆岩的侵位环境, 提出了三种锡的成矿模式:

1. 与深成一浅成花岗岩侵入体有关的成矿模式 1978年D. I. 格罗夫斯和T. S. 麦卡锡在研究造山带和非造山带花岗岩与锡矿化的关系后, 发现矿化最重要的因素是花岗岩原岩的分凝作用, 而不是其原始含锡量的高低。根据两种地质环境锡矿化产出的共同特征以及微量元素的含量变化或分布特征提出了花岗岩原地分凝结晶作用成矿模式(图1)。这一模式概括地总结了在花岗岩分凝结晶中, 演化成含锡花岗岩的机理以及锡矿化形成的过程, 它表明随着花岗岩岩浆的分凝结晶作用, 锡矿化发生在花岗岩体的一定部位, 由分凝结晶作用所产生的微量元素分布特征对评价含矿、不含矿花岗岩可能有一定的指导意义。

2. 斑岩锡矿成矿模式 R. H. 西里托等在研究了玻利维亚次火山岩型锡矿之后, 发现与典型的斑岩铜矿有许多相似之处。因而按斑岩铜矿的

机理提出了斑岩锡矿的成矿模式(图2)。其矿化机理大致为: 未达水溶液饱和的石英安粗岩—英安岩岩浆侵入到近地表时, 达到了水溶液饱和状态, 岩浆熔体的上部固结后就不再上升了, 但水溶液继续在熔体上部聚集, 当液压超过封闭压时, 冲破了固结边缘向上喷发, 而引起溶液的沸腾; 岩株外部及邻近围岩则产生角砾作用形成网脉; 在液压较高处形成热液侵入角砾岩, 热液喷发带出大量的热使岩浆很快冷却而成为斑状结构, 随着热液的排出, 发生了蚀变作用和矿化作用。

3. 多旋回矿化模式 C. K. 伯顿根据世界上大而富的锡矿床总是集中分布在几个地区的现象, 提出多旋回成矿的概念, 认为锡矿与整个地区的地质演化有关。马来西亚半岛西矿带比东矿带大而富, 主要是由于在大陆演化旋回中, 西矿带经受了七个深成岩活动幕, 东矿带只经受了四个幕的影响。由于地壳内岩浆、变质和热液的重复作用, 使锡发生转移和再沉淀而形成有不同时代不同矿物组合叠加的大矿床。

国内锡矿的成矿模式不但强调了矿床成因、形成机理, 而且还突出了矿床产出的构造位置、控矿地质条件和矿床的不同产出形式。

1. 个旧锡矿的成矿模式 个旧锡矿在成因上与燕山中晚期斑状黑云母花岗岩及粒状黑云母