



# 曾家垅锡矿床地质特征及控矿因素

曹汉生

矿区位于淮阳山字型弧顶前缘偏西，瑞昌弧形构造东部，彭山背斜西翼近转折端，为一大型夕卡岩型隐伏矿床。

## 矿区地质概况

(一) 地层 由老至新分述如下：

1. 震旦系下统洞门群 ( $Z_1d$ )，为中厚层状灰白色石英砂岩、长石英砂岩，厚约300米。

2. 震旦系上统南沱组 ( $Z_2n$ )，为薄层紫红色含砾凝灰质粉砂岩，厚约4米。

3. 震旦系上统陡山沱组 ( $Z_2d$ )，下段为中厚层状灰白色灰岩；上段为硅质岩夹含炭硅质页岩、粉砂岩，本组厚约30米。

4. 震旦系上统灯影组 ( $Z_2dn$ )，下段为厚层状灰白色灰岩；中段为薄层状灰白色灰岩与灰色硅质岩互层；上段为厚层状黑灰色硅质岩。本组厚约65米。

5. 寒武系下统王音铺组 ( $\epsilon_{1w}$ )，下段为含泥硅质岩夹硅质页岩；中段为含磷结核炭质页岩；上段为硅质岩夹炭质页岩，底部有一层不稳定的中厚层状灰岩。厚约250米。

6. 寒武系下统观音堂组 ( $\epsilon_{1g}$ )，为泥质粉砂岩，厚约360米。

(二) 构造 矿区位于南北向的彭山背斜北转折端附近西翼近核部，呈向北西缓倾的单斜构造 (图1)。

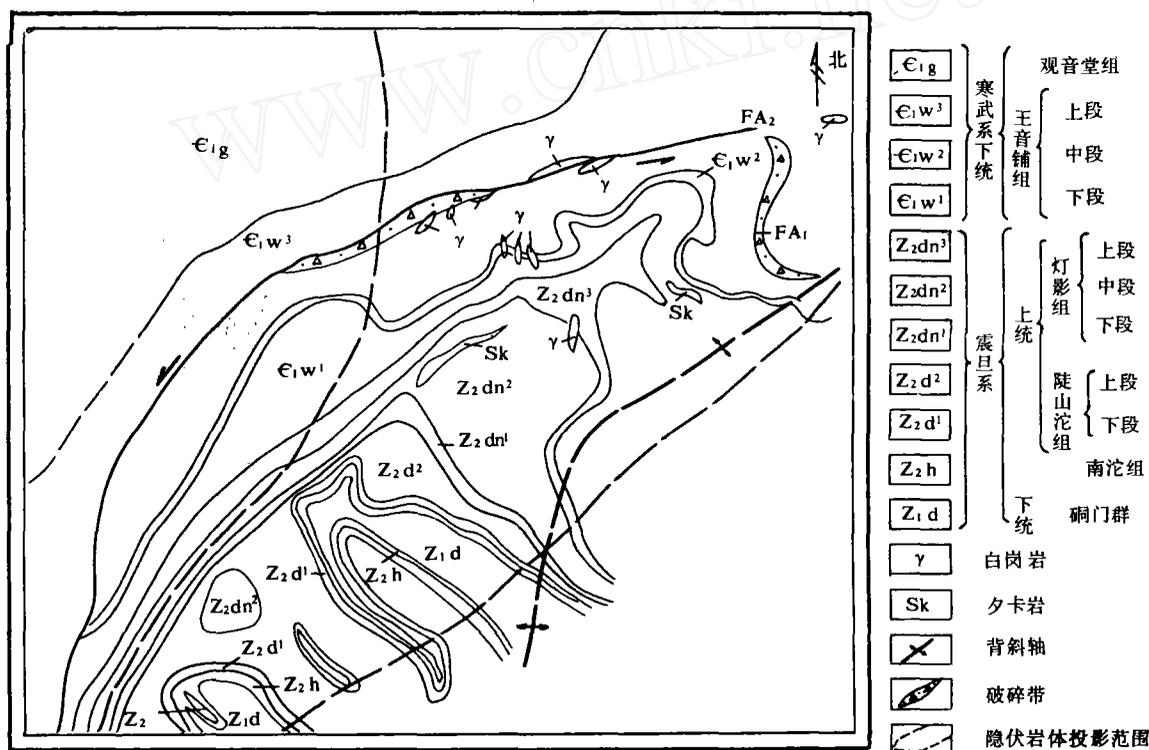


图1 曾家垅锡矿区地质平面图

背斜轴从矿区东南边部通过，其转折虚脱部位附近，提供了岩浆岩侵入的构造空间。次级的层

间拖拉褶曲、层间破碎带及由层间活动所形成的层间破碎理均很发育，是主要的导矿、容矿构造。

矿区边缘FA<sub>1</sub>、FA<sub>2</sub>断裂破碎带,属张扭性正断层,与锡矿体无明显关系。

(三) 岩浆岩 矿区深部有一个由二云母花岗岩、黑云母花岗岩杂岩体组成的隐伏岩株。根据岩性及接触关系,岩浆岩可分二次侵入。

第一次的二云母花岗岩侵入到震旦系、寒武系地层中,大都与围岩截接相交,为锡矿的成矿母岩。岩体距地面最浅处50米,已控制面积约7.5平方公里,为一向北东展布,向北西突出的近似椭圆形岩体(图2)。其中心部位出现两个岩峰,

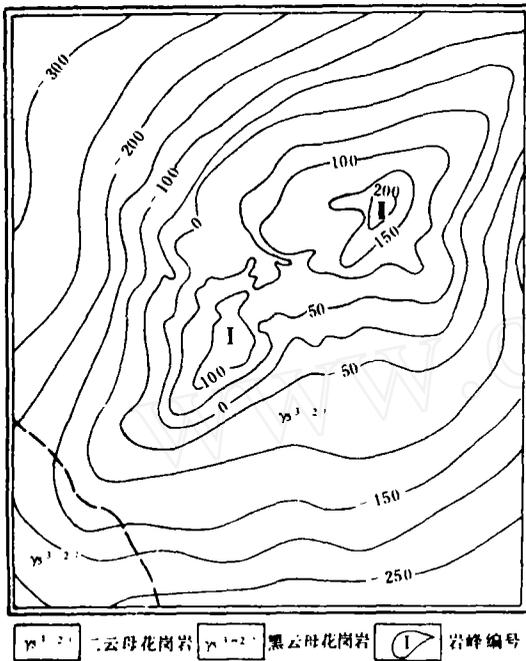


图2 曾家垅隐伏岩体等深线图

两岩峰间的凹地外接触带,夕卡岩化十分强烈,并形成了大型夕卡岩锡矿床。岩体可分三个相带:边缘相为细粒白云母花岗岩;过渡相为中粒白云母花岗岩;内部相为中粒二云母花岗岩。岩石具中粒花岗结构,局部具斑状结构。钾长石占32.7%,斜长石占23.9%,石英占33.7%,黑白云母占8%,副矿物主要为电气石、黄玉,次为锆石、磷灰石。斜长石有序度0.3~0.6,用二长温度计求得岩石古温度为530℃。K-Ar同位素年龄为104百万年,相当于燕山晚期(γ<sub>3</sub><sup>2</sup>)的产物。

第二次侵入的黑云母花岗岩隐伏在矿区南部

及西北边部。南部侵入到双桥山群浅变质岩系中,西北部突起与二云母花岗岩呈侵入接触关系。两岩体接触处,黑云母花岗岩具细粒相带及冷凝边,并出现伟晶岩壳。岩体边缘相为斑状黑云母花岗岩,内部相为黑云母花岗岩。岩石具连续不等粒晶粒结构,钾长石占32.8%,斜长石占23%,石英占37%,黑白云母占6%。副矿物主要为锆石,次为独居石、磷钇矿。斜长石有序度为0.4~0.64,较二云母花岗岩稍高,反映岩体结晶分异时间较晚。用二长温度计求得岩石古温度为400℃左右。

在地表南北向张裂隙及北东向张扭裂隙中,发育规模较小的白岗岩脉群,是二云母花岗岩的衍生岩脉,并见白岗岩穿插二云母花岗岩。

### 矿床地质特征

(一) 矿体特征 工业锡矿床由三个隐伏主矿体组成。

I号锡矿体隐伏于地下50~200米,底板标高为16~222米。分布于隐伏二云母花岗岩I号岩峰与陡山沱组中厚层状灰岩接触带上,受层间构造及岩性控制,形成夕卡岩层状矿体。矿体走向北东,倾向北西,倾角15°左右。沿走向长约500米,倾向延伸约750米,厚度0.6~4.95米,锡达到工业品位。

II号锡矿体隐伏于地下150~250米,底板标高38~141米,分布于隐伏二云母花岗岩I、II号岩峰凹地与灯影组下段厚层灰岩接触带夕卡岩中,呈层状、似层状产出。矿体走向北东,倾向北西,倾角15~25°。走向长约600米,倾向延伸约280米,厚度0.85~17.81米,锡达到工业品位。

III号锡矿体隐伏于地下150~250米,底板标高16~150米,分布于隐伏二云母花岗岩I、II号岩峰凹地灯影组中段薄层灰岩与硅质岩互层岩石接触带夕卡岩中,呈层状、似层状产出。矿体走向北东,倾向北西,倾角15~25°;走向长800米,倾向延伸400米,厚度1.06~19.64米,锡够工业品位。III号矿体位于II号矿体之上。

(二) 矿石特征 矿石化学成分较复杂(表1)。

矿石可选性试验表明,Sn为主要回收元素,

矿石化学成分 (%) 表 1

成分	矿体号		
	I	II	III
Sn	0.72	0.70	0.64
WO <sub>3</sub>	0.022	0.022	0.022
Bi	0.04	0.024	0.01
Mo	—	—	0.01
Cu	0.24	0.40	0.12
Pb	0.04	0.05	0.03
Zn	0.39	0.39	0.44
TFe	20.70	9.00	4.95
S	4.43	4.33	6.53
Ag (g t)	3	2	3
Ga	0.0058	0.003	0.003
In	0.0041	0.0052	0.0057
Cd	0.0065	0.0053	0.0053
As	0.40	0.64	0.06
BeO	0.005	0.005	0.005
Li <sub>2</sub> O	0.21	0.17	0.03
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.007	0.001	0.0075
CaF <sub>2</sub>	11.38	12.15	6.73
SiO <sub>2</sub>	25.36	37.06	35.74
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.30	0.50
MgO	12.61	14.60	3.54
CaO	11.61	16.72	18.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.98	4.11	8.42
Na <sub>2</sub> O	0.09	1.28	1.91
K <sub>2</sub> O	2.77	2.00	0.50

综合回收元素有: Cu、Zn、As、S。所回收的锡为锡石、马来亚石中之锡,对硫化锡中的锡(主要为黄锡矿及呈类质同象存在于其他金属硫化物晶格中的锡)、胶态氧化锡均无法回收。其次In、Cd含量较高,但未见单矿物,呈稀散状态分布于磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿中。混合硫化物产品: 锌精矿含In 0.231%, Cd 0.23%; 铜精矿含In 0.0575%, Cd 0.02%, In、Cd均可回收。

矿石物质组份亦较复杂,含锡工业矿物主要是锡石,其次是马来亚石、黄锡矿。其他矿物有磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、透辉石、透闪石、石榴石、符山石、阳起石、硅灰石、绿泥石、电气石、石英、云母、萤石等。

锡石呈四方柱及四方柱与四方单锥的聚形,少数为肘状双晶。大部分嵌布于夕卡岩脉石矿物粒间,其次是金属矿物粒间,粒径多在0.2~0.5厘米。

马来亚石呈单斜板状、信封状,粒度0.04×0.01~0.5×0.1毫米。

矿石主要为晶粒结构、交代溶蚀残余结构和包含结构,其次是固溶体分离结构、胶状结构。

矿石以浸染状、条带状及块状构造为主,其次细为脉状、角砾状构造。

(三) 蚀变与矿化 岩浆期后气热液蚀变极为发育,不同类型的蚀变常伴随一定的矿化。空间上从岩体内部向外接触带有如下分带性: 隐伏岩体内变质带具钾长石化、钠长石化,内接触带具云英岩化。外接触带靠近岩体部位为夕卡岩化、云英岩化,逐渐过渡到大理岩化、透辉石、透闪石角岩化,最外部为红柱石、空晶石角岩化。

1. 云英岩化: 主要发育在二云母花岗岩体的内接触带,其次发育在硅铝质围岩裂隙中的脉状云英岩。前者主要由石英、萤石及少量白云母、黄玉组成,伴随强烈的毒砂矿化; 后者主要为石英、电气石、萤石组成,锡石呈浸染状与之共生。脉群密集时可形成细脉型云英岩小锡矿体。

2. 夕卡岩化: 是矿区最广泛而强烈的蚀变,三个主要锡矿体皆发育在夕卡岩中。早期夕卡岩阶段形成石榴石、透辉石、硅灰石、符山石为主的简单夕卡岩。上述矿物常穿插、交代、包裹气成期的锡石、萤石、电气石; 晚期夕卡岩阶段形成透闪石、阳起石、绿帘石为主的复杂夕卡岩,并伴随大量的锡石、磁铁矿。这些矿物常交代、包裹早期夕卡岩矿物,是锡矿床主要的成矿期。夕卡岩主要发育于陡山沱组及灯影组碳酸盐岩与隐伏二云母花岗岩外接触带上,具单向渗滤交代特点,与围岩产状一致,呈层状、似层状产出。

### 控矿因素

(一) 岩浆岩控矿 隐伏二云母花岗岩与锡矿床的形成有亲缘关系。三个主矿体均赋存于隐伏二云母花岗岩的外接触带夕卡岩中,空间关系十分密切。尤其是岩石的化学特征是成锡的关键因素。

1. 岩石化学成分特征: 二云母花岗岩属铝过饱和和系列高硅、高碱、富钾质花岗岩(表2,图3),为查氏二类三科。其s值明显高于戴里碱土、

碱性花岗岩，而与云南、广东成锡花岗岩近乎一致。其 $c$ 值远低于碱土花岗岩，而和广东成锡花岗岩一致，表明岩体中氧化钙的含量较少，故斜长石为低号数 ( $An = 11 \sim 13$ ) 的更钠长石。 $b$ 值低于碱土、碱性花岗岩，高于云南成锡花岗岩，和广东成锡花岗岩接近，反映岩体中铁镁矿物较少。 $a'$ 值高达60%以上，远超过戴里碱土花岗岩、广东成锡花岗岩。 $Q$ 值高达35%以上，与云南、广东成锡花岗岩相近，远超过戴里碱土、碱性花岗岩，说明岩体更富于酸性。

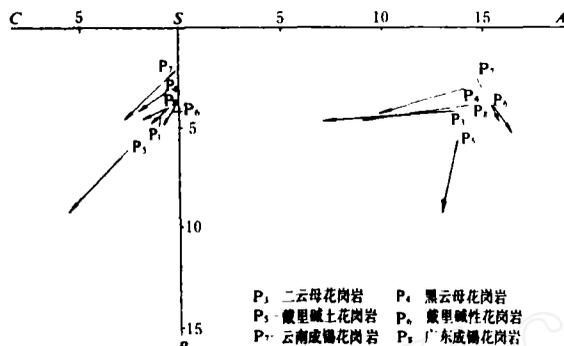


图3 岩浆岩TAS化学图解

2. 碱度控制：从表2中明显看出，二云母花岗岩的碱度值高于戴里碱土花岗岩，而低于云南、广东成锡花岗岩，其碱度总值较高。钾质系数高于戴里碱性、碱土花岗岩，而和云南、广东成锡花岗岩相近；钠质系数则低于戴里碱性、碱土花岗岩，而和广东成锡岩体相近（图4、5）。一般认为：我国东部成锡花岗岩具有高碱富钾低钠特征。上述资料表明，曾家垅二云母花岗岩的化学

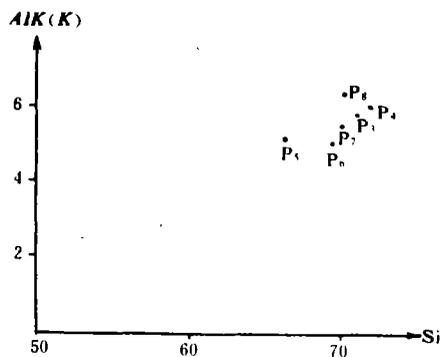


图4 花岗岩钾质系数对比图

(图例同图3)

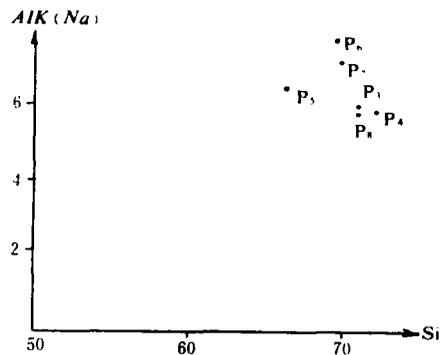


图5 花岗岩钠质系数对比图

(图例同图3)

特征，与我国东部成锡花岗岩相吻合，表明岩体碱度控制锡矿的生成。

同时，岩体地球化学特征表明（表3），二云母花岗岩体锡的含量为45ppm，远超过我国南方含锡花岗岩的平均含量25ppm，是不含锡花岗岩锡含量的8倍。为后期气热矿液锡的来源、聚集成矿，提供了物质基础。

3. 酸度控制：岩浆岩的酸度控制了所含主要金属矿种。对比闽广、闽浙的国内外资料，其酸度值 $s$ 与 $(a+b+c)$ 关系的变异图解（图6）上明显看出，二云母花岗岩投入成锡区域内。这与钙碱性系列侵入岩成矿专属性的第一级普遍规律是十分吻合的——其酸度值控制了锡矿的生成。

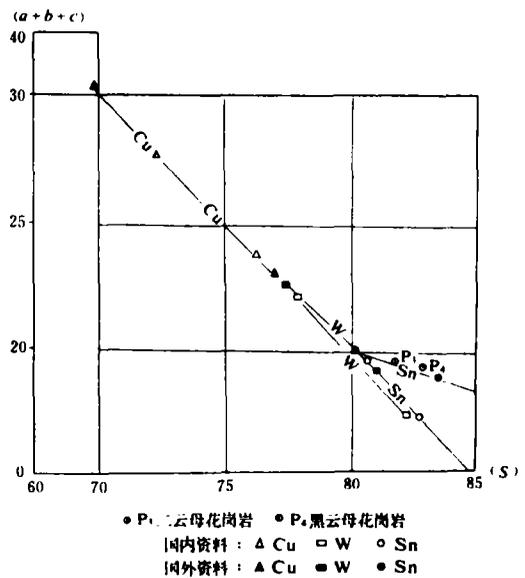


图6  $s$  与  $(a+b+c)$  关系变异图解

岩 浆 岩 数

岩 石 名 称	编 号	氧 化 物 ( % )												
		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	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	
二花 云 母 岩	细粒白云母花岗岩	P <sub>1</sub>	74.21	0.06	13.89	0.55	0.99	0.10	0.12	0.53	4.55	3.59	0.41	0.80
	中粒白云母花岗岩	P <sub>2</sub>	73.94	0.07	13.83	0.11	1.02	0.03	0.16	0.49	4.54	3.54	0.27	0.61
	中粒二云母花岗岩	P <sub>3</sub>	74.72	0.11	13.33	0.29	1.11	0.10	0.15	0.54	4.68	3.13	0.32	0.65
黑云母花岗岩	P <sub>4</sub>	76.22	0.12	12.43	0.11	1.54	0.07	0.20	0.50	5.00	3.13	0.05	0.49	
碱土花岗岩	P <sub>5</sub>	69.21	0.41	14.14	1.98	1.67	0.12	1.15	2.19	4.25	3.48	0.30	0.85	
碱性花岗岩	P <sub>6</sub>	73.30	0.11	12.33	2.58	1.28	0.02	0.26	0.46	4.20	4.55	0.05	0.86	
花岗岩类	P <sub>7</sub>	74.88	0.09	13.03	0.45	1.21	0.01	0.28	1.13	4.64	3.88	0.05	0.53	
花岗岩类	P <sub>8</sub>	74.57	0.08	13.31	0.82	1.17	0.02	0.12	0.50	5.25	3.12	0.08		

表 3

岩 体	Sn	W	Bi	Mo	Cu	Pb	Zn	As
二云母花岗岩	45	35	35	6	100	40	50	50
黑云母花岗岩	20	300	30	7	40	20	100	—

(单位: ppm)

由此可见曾家垅锡矿床的形成与隐伏二云母花岗岩的亲缘关系。其酸度控制了锡矿种; 其碱度不仅控制了锡矿种, 而且在岩浆期后成矿作用过程中, 碱份与挥发份可作为锡元素的“吸集剂”和“载体”, 使锡元素运移聚集成矿。

同样, 隐伏的黑云母花岗岩亦是成锡母岩。其化学成分以高硅、高碱、富钾、低钠为特征, 锡含量接近于我国南方含锡花岗岩。但迄今未发现与其直接有关的锡矿体, 这与岩体侵入部位、围岩、构造条件有关。

顺便指出: 隐伏二云母花岗岩、黑云母花岗岩的化学特征表明, 在该区寻找钨矿具有一定的地质条件。

4. 岩体空间控矿关系: 隐伏二云母花岗岩侵入的空间部位不同, 矿产类型亦有差异。岩体顶峰内接触带形成云英岩型毒砂矿体。其低凹部外接触带形成夕卡岩锡矿体(图7)。这与含矿溶液所含成矿元素的种类及岩体侵入深度的地质构造环境、围岩性质有关。

当岩体表面形态复杂, 尤其是二个岩峰突起之间的凹部, 形成富厚的工业锡矿体(图8)。因其上为硅质岩屏蔽, 矿液大量聚集, 碳酸盐岩经

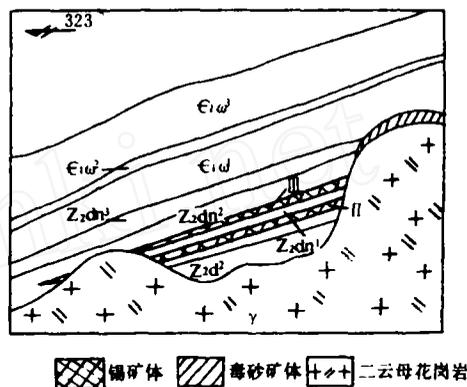


图 7

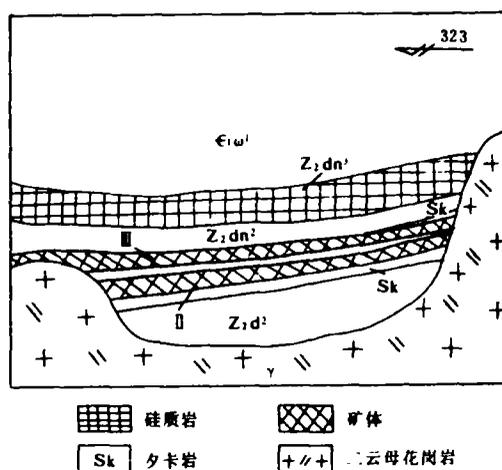


图 8

蚀变后孔隙度、颗粒度增大, 利于矿液渗透交代之故。

值 特 征 表														表 2							
扎 氏 数 值 特 征										碱 值 参 数				Si	Al	f/m	c	备 注			
a	b	c	\	Q	f	m	a'	h	c'	Alk(k)	Alk(Na)	Alk(k) + Alk(Na)	Alk(k) - Alk(Na)								
14.04	4.20	0.66	81.1	33.16	36	4.7	59.2	54.2		5.5	6.6	12.1	0.83							以内部相P <sub>2</sub> 代表岩体化学成分	
13.90	4.1	0.59	81.4	34.51	25.8	6.5	67.7	54.3		5.5	6.5	12	0.85								
13.5	1.1	0.59	81.72	35.96	32	6.44	67.3	50.5		5.8	5.9	11.7	0.98	71.1	15.1	1.4	0.6				
13.6	3.1	0.59	82.8	37.9	51	10.7	38.3	49.0		6	5.8	11.8	1.03	72.1	14.9	1.6	0.5				
13.7	5.59	2.69	79.9	27.83	60.1	34.5	4.9	55		5.2	6.1	11.6	0.81	66.3	15.7	4.3	2.2				戴里
15.5	4	0.2	80.3	29.4	82	9.8		61.7	8.2	5.1	7.7	12.8	0.66	69.5	13.8	3.5	0.5				戴里
14.7	2.2	1.1	82	33.5	67.6	20.6		56.2	11.8	5.57	7.1	12.7	0.79	70.2	14.6	1.6	1.1				云南成锡岩体
13.9	3.9	0.6	81.6	34.8	44.1	5.1	50.8	47.2		6.4	5.8	12.2	1.10	71.0	14.8	1.6	0.5				广东成锡岩体

## (二) 构造控矿

1. 彭山背斜转折部位岩层虚脱，为隐伏岩体提供了侵位空间，并控制了岩体的形态，是主要的导矿构造。

2. 接触带构造控矿：具工业意义的锡矿体，均产于岩体的外接触带上。

当岩体与碳酸盐岩层理呈大角度的斜交时，层理可作为热矿液运移的通道及聚集的场所，使渗滤交代作用得以充分进行，形成富、厚规模较大的矿体（图9）。

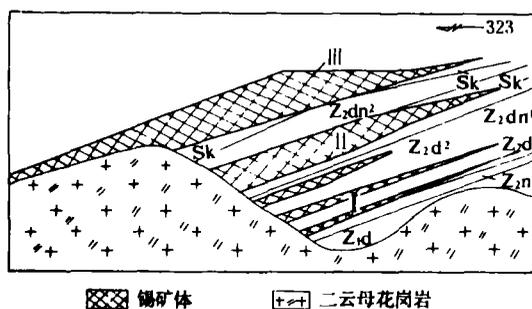


图 9

3. 地层假整合构造控矿，在不连续沉积的地层中，假整合构造面是热矿液运移、聚集的有利构造部位。如陡山沱组底部碳酸盐岩与南沱组火山碎屑岩间的假整合面，由于受彭山背斜隆起的影响形成破碎带，热矿液沿假整合面破碎带交代碳酸盐岩，形成有工业意义的1号矿体（图10）。

4. 次级层间拖拉褶皱、层间劈理、层理构造，是主要的容矿构造（图11）。

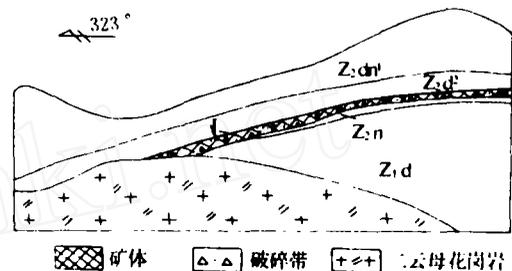


图 10

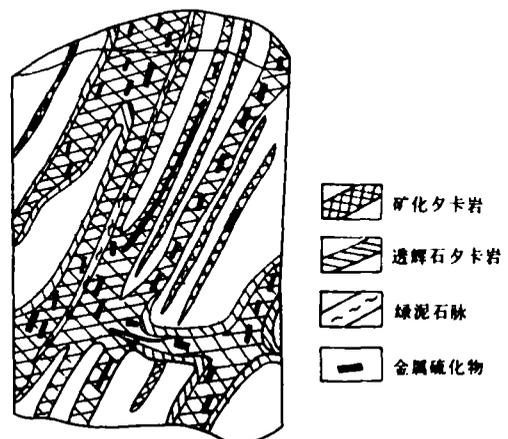


图11 层理构造破碎理构造控矿  
(水平方向为层理控矿，斜交陡立方向为破碎理控矿)

## (三) 地层岩性控矿

1. 曾家垅锡矿床产于二云母花岗岩与震旦系灯影组、陡山沱组碳酸盐岩的外接触带上。区域

上其它小锡矿床及锡矿点的矿体、矿化,有产于志留系龙马溪组砂、页岩裂隙中的云英岩细脉型矿床,及产于寒武系王音铺组碳酸盐岩夹层与隐伏二云母花岗岩外接触带上的夕卡岩矿体。此外,尚有产于隐伏二云母花岗岩中及其与震旦系嗣门砂岩外接触带上的云英岩细脉型锡矿体。说明成矿与围岩的时代无关,而成矿类型与围岩的岩性有关:围岩为碳酸盐岩,形成夕卡岩型矿体,围岩为硅铝质岩时,形成细脉充填型矿体。

2.曾家垅锡矿床的碳酸盐岩围岩主要化学成份:  $\text{SiO}_2 19.52\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 4.97\%$ 、 $\text{CaO} 39.10\%$ 、 $\text{MgO} 2.21\%$ 、 $\text{K}_2\text{O} 2.20\%$ 。当热矿液单向渗滤交代围岩时,围岩中的Ca、Mg、Al、Si即参与化学反应,形成规模较大的钙质夕卡岩体。K的加入对溶液中Sn元素的富集起着“吸集”作用。交代后形成的夕卡岩孔隙度增大,矿物镶嵌疏松、胶结较差。岩石硬脆,微细裂隙增多。矿物间的交代、包裹必然会产生大量的溶蚀、穿插、包容的空洞及裂隙,十分有利于含矿热液的运移交代及沉淀,起着良好的容矿、储矿作用。

3.灯影组顶部硅质岩厚度较大,结构致密,化学性质稳定,渗透性较差。不利于含矿气热液的交代、充填、渗透,故矿化极差。相反却起着良好的天然屏蔽作用,使含矿气热液在硅质岩的屏蔽之下,有充分的能量及时间交代碳酸盐岩而成矿。

综上所述,曾家垅锡矿床的形成,主要是岩浆岩、构造、地层岩性三大因素相互作用的结果。隐伏二云母花岗岩是成锡母岩,而期后热液活动十分强烈,使锡元素聚集于溶液中。陡山沱组及灯影组广泛发育的层间破碎带、层间小褶皱及劈理、裂隙,提供了良好的导矿、容矿空间。其硅、铝质围岩起着良好的屏蔽作用,使含矿热液聚集不易分散,而碳酸盐围岩化学性质活泼,利于热液交代,因而形成有工业意义的锡矿床。

本文插图由许颖琴同志清绘,表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘振声,汪之明,地质论评,1966,第24卷, No 2
- [2] 闻广,闻铭,地质学报,1963,第43卷, No 1

## 岩浆热液中硫的存在形式及其与成矿关系的实验研究

冶金工业部地质研究所 吴厚泽 吴双凤 池上荣

有色金属大部分来自热液硫化矿床。深入研究硫化矿床成矿特征、成矿规律,尤其是硫化矿床的共同组份——硫,在岩浆热液中的存在形式及其与成矿的关系是很有意义的。这不仅是矿床领域,而且也是地球化学范畴中尚未解决的一个理论问题。

在指导找矿勘探中,现有的热液硫化矿床的成矿理论起过很好的作用。但随着地质勘探和研究工作的不断发展,这种理论远不能解释硫化矿床成矿的若干过程。例如,关于成矿溶液的性质,一直认为它是一种含成矿组份很稀薄的溶液,所有成矿组份都溶解在溶液中,随温度、压力及其他物理化学条件的改变,硫化物就逐步沉淀下来

形成硫化矿床。按照这个理论,分析硫化矿床形成过程就会发现很多问题。由于硫化物溶解度小,成矿溶液中含有的成矿组份很稀薄,要沉淀下来形成一个大矿,例如象德兴那样一个铜矿,大约需要渤海湾那么多的成矿溶液。德兴岩体那么小,花岗岩岩浆最高的含水量也不超过12%,这显然是不可能的事情。用这个理论同样解释不了为什么350℃以上硫化矿物不能形成或形成都很少,而多形成低硫的矿物。但在较低温的条件,在同一种成矿溶液中所形成的矿物为富硫矿物。主要成矿温度为350~200℃,尤其是300~200℃。再有,斑岩铜矿成矿早期有粒状硬石膏出现,用传统的热力学计算也解决不了这个问题。这些现象的产