

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

云南西盟阿莫高温热液锡矿床的 地球化学特征及成矿模式

赵大贤 唐光庭

(云南省地质矿产局第五地质大队, 云南思茅)



作者对产于上元古界西盟群变质岩中的阿莫锡矿床作了元素地球化学、围岩蚀变、成矿流体及同位素地球化学研究, 认为该区硼、氟、锂、铷、铯和锡元素组合的浓集与酸性岩浆活动有关。矿石中的电气石是高温热液与围岩发生交代作用的 Fe-Mg-Li 电气石。单矿物 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+2.01 - +13.16\%$, $\delta^{34}\text{S}$ 为 $+2.6 - +7.2\%$, 成矿物质来源于花岗岩浆热液。成矿温度 $450 - 350^\circ\text{C}$, 压力 $450 \times 10^5 - 1000 \times 10^5 \text{Pa}$, 成矿时代为喜马拉雅期 (21.5Ma)。根据矿床的地球化学特征, 提出了该矿床为受喜马拉雅期隐伏花岗岩控制的高温热液锡石-石英脉型锡矿床的成矿模式。

西盟阿莫锡矿是 80 年代初云南省地质矿产局区域地质调查队首先发现的, 后经我队勘探现已开发利用, 具有良好的经济效益。施加辛¹⁾; 张金富、苏文宁²⁾; 税哲夫、史别林³⁾等曾先后对西盟锡矿作过研究。笔者收集整理了近年来所获资料, 对阿莫锡矿床的地质与地球化学特征及成矿模式予以讨论。

一、地质背景

西盟县阿莫锡矿床产于西盟隆起, 大黑山复背斜东翼。大地构造单元属于冈底斯-念青唐古拉褶皱系西南边缘的昌宁-孟连褶皱带³⁾。该区出露地层为上元古界西盟群变质岩(图 1)。地层自下而上为: (1) 老街子组 ($\text{Pt}_3 l$), 眼球状白云碱长混合片麻岩, 含电气石黑云钠长变粒岩, 上部为黑云母大理岩夹阳起石片岩和石榴透辉绿帘石岩及钠长片岩, 产 II 号锡矿脉, 厚 $> 640.34 \text{m}$; (2) 怕可组永龙段 ($\text{Pt}_3 P_1$), 底部为黑云母片岩夹二云母片岩, 产 I, III, IV 号锡矿脉, 中部为白云钠长变粒岩, 上部为金云母(黑云母)大理岩, 含透闪石白云质大理岩, 顶部为黑云母方解石片岩, 厚 $329.12 - 464.81 \text{m}$; (3) 怕可组永帮段 ($\text{Pt}_3 P_2$), 下部为黑云斜长片岩, 二云斜长片岩, 上部为厚层状大理岩及金云母大理岩, 厚 $> 588.01 \text{m}$; (4) 王雅组 ($\text{Pt}_3 w$), 绢云母片岩夹碳质绢云母片岩, 厚 $> 100 \text{m}$ 。经云南省地质科学研究所同位素地质实验室测定, 老街子组 ($\text{Pt}_3 l$) 眼球状混合岩中钾长石眼球的铷-锶年龄为

1) 张金富、苏文宁, 1983, 西盟大黑山锡矿床成矿作用和成因类型探讨。云南地质, 第 2 卷, 第 4 期, 第 289—297 页。

2) 史别林, 1985, 云南西盟锡矿成矿条件及其矿床成因(贵州工学院硕士论文摘要)。

3) 云南区域地质调查队, 1987, 云南区域地质志。

本文 1989 年 12 月收到, 1990 年 9 月改回, 季国容编辑。

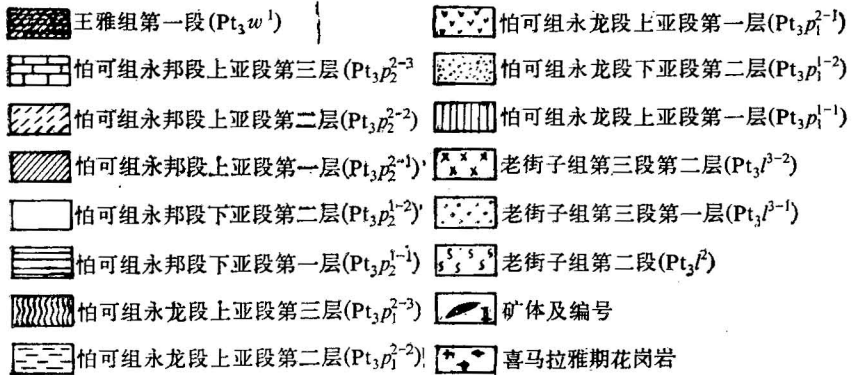
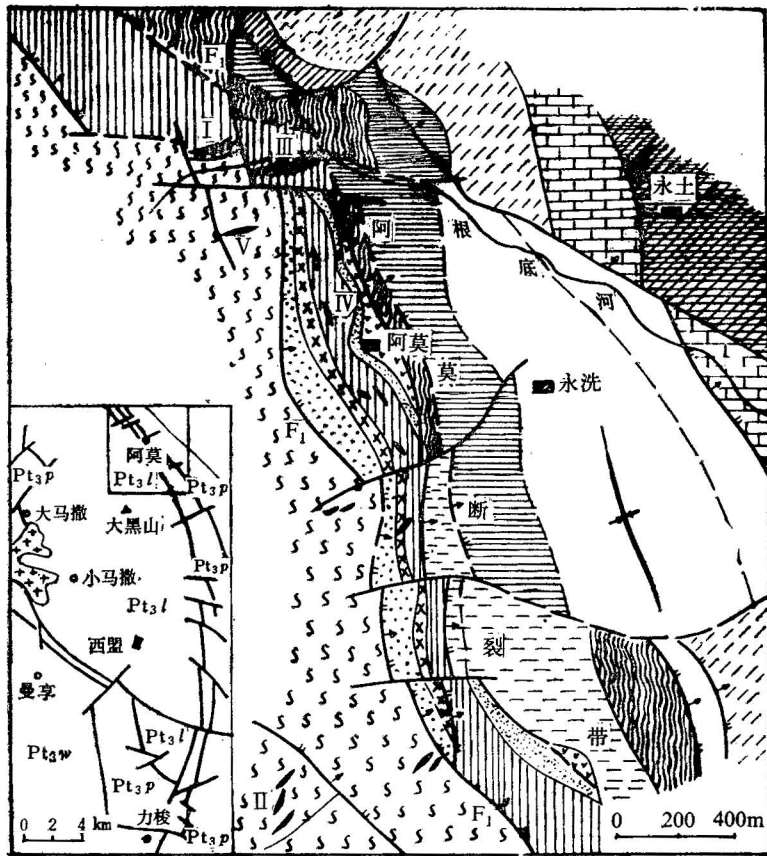


图 1 西盟阿莫锡矿区地质略图

Fig. 1 Sketch geological map of the Amo tin deposit in Ximeng County, Yunnan

688—514.8Ma, 据曹仁关同志的意见, 怕可组 (Pt_3P) 大理岩中的叠层石为 *Nucleella figuria* Komar, 时代可能为元古宙长城纪。

在西盟隆起的西翼, 于大马撒, 小马撒至力梭一带有若干喜马拉雅期花岗岩作近南北

向零星分布。小马撒花岗岩体的全岩(二云母花岗岩)铷-锶年龄为 50.5Ma, 熔融包体均一温度为 968—750°C, 二长石地质温度计估算的温度为 761—637°C, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为 0.7121—0.7183^[2], 属陆壳部分熔融的花岗岩岩浆高侵位结晶的产物。在大马撒至大黑山一带出露有喜马拉雅期花岗伟晶岩脉群, 花岗伟晶岩的单矿物(白云母)铷-锶年龄为 17.2—17.3Ma^[1]。围绕大黑山短轴复背斜核部有非常发育的环状断裂和褶曲分布, 背斜核部由西盟群老街子组(Pt₁l)混合片麻岩组成的“中心块体”所构成^②。通过矿区的北北西向阿莫断裂带(图 1)由一系列正断层和破碎带所组成, 沿断裂带有强烈的蚀变和矿化。阿莫断裂属环状构造的一部分, 在环状断裂之上又叠加了一系列的横断层, 它们呈放射状分布, 伴随放射状断裂还有一组平行于放射状断裂的次级断层, 通常为石英脉或电气石-石英脉所充填。这些断裂无疑起到了导矿和控矿作用。阿莫锡矿的主要矿体往往储存在放射状断裂与环状断裂的交切部位(图 1)。

二、矿床地质

1. 矿体特征

矿体呈脉状产于西盟群老街子组和怕可组永龙段变质岩中。矿脉多呈北东东-南西西向展布, 倾向北北西, 单个矿体多由若干矿脉所组成。矿脉与变质岩之片理呈角度相交, 矿脉旁侧均有蚀变, 矿体本身就是含锡石的蚀变岩石。现已发现五个规模较大的矿体, 其中以 I 和 III 矿体规模最大。I 号矿体分布于根底河北侧, F₁ 断层以西, 矿体赋存于怕可组永龙段下部蚀变二云母片岩及老街子组上段顶部强钠长石化变粒岩中, 由十余条矿脉组成。矿体走向 75°, 倾向北西, 倾角 50°—60°, 单个矿脉长 60—200m, 厚 1—8.67m, 延深 25—80m, 一般品位为 0.71—2.18%。III 号矿体分布于根底河南侧, F₁ 断层以东, 矿体赋存于怕可组永龙段下亚段中部斜长二云母片岩的破碎带中, 矿体直接底板为透镜状大理岩, 局部可延至老街子组上段变粒岩。III 号矿体由 16 条矿脉组成, 单个矿脉长 60—250m, 厚 1.88—7.23m, 延深 50—280m, 一般品位 0.51—3.11%。矿体走向为北东 75°—85°, 倾向北西, 倾角 30°—70°。近矿围岩具钠长石化、云英岩化、电气石化和硅化。

2. 矿石类型及矿石成分

根据 I, II, III, IV, V 号矿体, 矿石的自然类型是: (1) 锡石-石英脉型; (2) 锡石-电气石-石英脉(锡石-电英岩)型; (3) 锡石-云英岩型; (4) 锡石-硫化物型。主要金属矿物为锡石及少量白钨矿, 伴生毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、辉铋矿、黄锡矿、铁闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和自然铋; 次生矿物有钙砷铁矿、西盟石^[3]、臭葱石、泡铋矿和褐铁矿; 脉石矿物为石英、电气石、钠长石、白云母、带云母、黑云母、萤石、绿帘石、钾长石和碳酸盐矿物等。不同类型矿石的化学成分见表 1。

1) 云南省地质矿产局第五地质大队, 1987, 西盟锡矿区阿莫矿段 I, III 矿体初步勘探地质报告。
2) 范承钧等, 1985, 滇西锡矿带成矿规律及找矿方向。

表 1 矿石化学成分(重量%)
Table 1 Chemical composition of the ores (wt%)

矿石类型	Sn	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
伟晶岩型*	0.32	68.68	0.03	20.59	0.37	0.50	0.24	0.18	0.41	3.73	1.04
锡石-电气石-石英脉型	1.2	62.86	0.20	7.33	8.76	—	0.01	4.64	0.405	0.66	1.88
锡石-石英脉型	1.53	86.04	0.07	2.98	5.44	1.33	0.01	0.75	0.25	0.09	0.45
锡石-云英岩型	5.16	25.00	0.062	1.06	28.92	1.69	0.01	0.612	0.764	0.09	0.275
锡石-硫化物型	0.42	6.84	0.165	3.71	51.96	1.00	0.04	0.54	0.66	0.19	0.00
矿石类型	P ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	W	As	Bi	F	S
伟晶岩型*	—	0.008	0.005	0.127	0.085	0.003	0.001	—	—	2.64	—
锡石-电气石-石英脉型	0.065	0.0045	0.001	0.117	0.05	0.01	0.001	3.07	0.001	1.51	1.47
锡石-石英脉型	0.05	0.003	0.003	0.004	0.001	0.001	0.051	0.00	0.00	0.09	0.14
锡石-云英岩型	0.106	0.003	0.002	0.01	0.01	0.01	0.005	24.45	0.005	0.465	3.75
锡石-硫化物型	0.06	0.003	0.003	0.018	0.004	0.004	0.004	0.034	0.071	0.41	13.16

* 系大马撒锡石-伟晶岩型分析结果(据西盟锡矿阿莫矿区 I 和 III 矿体初步勘探地质报告)。
分析单位: 云南省地质矿产局测试中心。

3. 成矿阶段及成矿时代

按矿石自然类型及相互关系可划分出四个成矿阶段：(I) 锡石-硅酸盐阶段，主要形成云英岩型和电英岩型矿石；(II) 锡石-石英阶段，主要形成石英脉型矿石；(III) 锡石-硫化物阶段，形成硫化物矿石；(IV) 石英脉阶段(无矿)。该区主要矿体均在前三个阶段所形成，并以锡石-石英阶段(II)最为重要，锡石-硫化物型矿石没有见到独立的矿体。据 III 号矿体云英岩型矿石的铷-锶(带云母)年龄为 21.5Ma^D ，成矿时代为喜马拉雅期。

4. 围岩蚀变

本区蚀变作用广泛、强烈。蚀变类型多，具分带性。据 I 号矿体采矿场的蚀变特征，从矿体底板到顶板可分三个蚀变带：(1) 钠长石化带(矿体底板)，以钠长石化为主，叠加有硅化、电气石化，锡矿化弱，蚀变带宽度为 10—25m；(2) 叠加蚀变带(矿体)，具有硅化、电气石化、云英岩化多种蚀变，锡矿化强烈，蚀变宽度 5—50m；(3) 硅化带(矿体顶板)，以硅化为主，伴有电气石化，锡矿化弱，蚀变带宽度 5—40m。

(1) 钠长石化 钠长石化见于矿化带或矿体底板围岩中，近矿部位强烈，远离矿体逐渐减弱。钠长石呈 0.01—0.1mm 大小的“糖粒状”微粒交代混合岩或变粒岩、片岩中的长石和石英。

(2) 电气石化 本区电气石化极为发育，不同成因的电气石成分见表 2。在 $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}) - \text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO})$ 图解(图 2)中，混合岩与伟晶岩的电气石成分一致，具高 Na_2O 和高 FeO 的特点，矿石中的电气石低 Na_2O 和低 FeO ，高 MgO 。片岩中的电气石介于二者之间。在电气石成分对比图(图 3)中仍然得到同样的结

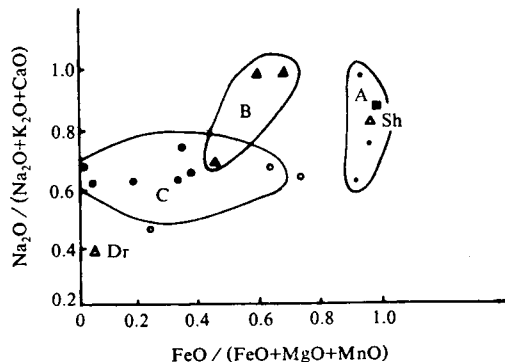


图 2 电气石的 $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ 与 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO})$ 关系图
(据 V. G. Ethier 等, 1977)

Fig. 2 $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}) - \text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO})$ diagram of tourmalines
(after V. G. Ethier et al., 1977)

- 混合岩；▲ 片岩；○ 矿石；■ 花岗岩伟晶岩；△ 标准电气石；Dr 镁电气石；Sh 黑电气石；
- A 混合岩、伟晶岩区；B 片岩区；C 高温热液电气石

1) 史别林, 1985, 云南西盟锡矿成矿条件及其矿床成因。

表 2 云南西盟阿莫锡矿床电气石的化学分析结果(重量%)*
Table 2 Chemical analyses of tourmalines from the Amo tin deposit, Ximeng county, Yunnan (wt%)

样号	岩矿石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Li ₂ O	B ₂ O ₃	SnO ₂	WO ₃	H ₂ O ⁺	Σ	Na ₂ O + Li ₂ O + CaO	FeO + MgO + MnO
		X17-1	混合岩	40.14		26.81	11.95	9.34	0.00	0.83	0.00	2.18	0.01		0.04	42 ⁻⁵	0.03	91.30
X105	混合岩	42.98	0.15	28.18	0.17	15.17	0.00	1.72	1.03	1.79	0.00	8.00				99.19	0.63	0.90
X459	眼球状混合岩	39.90	1.26	30.13	3.69	12.80	0.00	0.87	0.69	2.12	0.04	9.28				100.78	0.75	0.94
X442-1	混合岩中的电气石脉	39.50	0.15	32.35	0.50	1.00	0.00	9.58	0.90	2.03	0.04	9.95				95.64	0.68	0.09
X14	电 石石英片岩	48.87		29.38	6.23	3.28	0.00	2.23	0.00	2.07	0.01		0.004	0.007	0.45	92.53	0.99	0.59
X482	条纹状石英电 气石片岩	38.39	1.01	31.99	4.94	4.64	0.00	6.00	0.89	2.09	0.01	8.56				98.53	0.70	0.44
X72	钠长变粒岩中的电气石脉	41.53		34.61	4.27	3.35	0.00	1.84	0.00	2.22	0.008		0.02	1.54 ⁻⁵	0.07	88.05	0.99	0.66
X10	菱铁电气石石英脉	39.92	0.52	28.75	5.43	9.83	0.00	3.09	1.06	2.36	0.02	9.08	0.02	23 ⁻⁵	0.03	96.15	0.68	0.76
X412	石英电气石脉	36.66	0.89	31.93	3.36	8.79	0.00	5.19	0.80	1.89	0.04	9.50				99.05	0.69	0.63
X226	含锡石英电气石岩	44.47	1.02	25.76	3.85	3.04	0.00	5.82	0.79	2.30	0.05	6.63				93.73	0.73	0.34
X250-1	锡石英电 气石云英岩	37.44	0.00	31.85	5.04	3.98	0.00	6.29	0.95	1.95	0.00	8.55				96.05	0.67	0.39
X509	含锡石电气石岩	38.46	1.05	32.21	2.77	3.13	0.00	6.06	1.18	2.21	0.02	12.35				99.48	0.65	0.34
X575	电气石石英云母脉	39.50	0.00	31.64	0.07	3.95	0.00	10.94	1.98	1.66	0.00	8.46				98.20	0.46	0.26
X498	电气石石英脉	40.21	0.34	32.67	2.71	2.47	0.00	9.89	1.28	2.21	0.04	6.87				98.09	0.63	0.19
X624	电气石花岗岩伟晶岩	36.45	1.32	35.29	2.82	12.82	0.00	0.45	0.17	1.92	0.07	8.98				100.29	0.89	0.97

* 资料来源于施加辛。

分析者: 云南省地质矿产局测试中心。

果。广西大厂锡矿的电气石 Na_2O 高、 FeO 低,属海底热卤水沉积成因^[3]。B.E. Taylor (1984)指出^[4],与火成岩有关的脉状电气石是典型的黑电气石,而与块状硫化物矿床有关的层状电气石是镁电气石或富镁电气石与黑电气石的类质同像过渡种属。本区矿石中的电气石很可能是高温热液与围岩(片岩)发生交代作用的产物。

(3) 云英岩化 含锡云英岩体(脉)多产于阿莫断裂带的怕可组永龙段片岩中,富含云母(白云母或绢云母、带云母),云母含量 50—90%,石英 10—45%,锡石 1—15%,伴生少量金属矿物,白云母主要代替变质岩中的长石和黑云母。

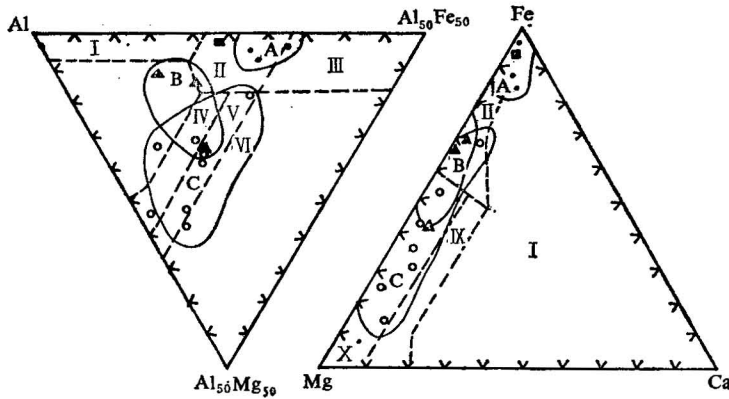


图 3 电气石在 $\text{Al}-\text{Al}_{50}\text{Mg}_{50}-\text{Al}_{50}\text{Fe}_{50}$ 和 $\text{Mg}-\text{Fe}-\text{Ca}$ 图解中成分分布范围
(据 V. G. Ethier 等, 1977)

Fig. 3 Range of chemical composition of tourmalines in $\text{Al}-\text{Al}_{50}\text{Mg}_{50}-\text{Al}_{50}\text{Fe}_{50}$ and $\text{Mg}-\text{Fe}-\text{Ca}$ diagram
(after V. G. Ethier et al., 1977)

I 富锂花岗岩; II 贫锂花岗岩; III 热液蚀变花岗岩; IV 富铝的变质泥岩和砂质岩; V 变质泥岩和砂质岩; VI 富 Fe^{3+} 石英-电气石岩、钙-硅质岩石和变泥质岩; IX 富钙变质泥岩; X 贫钙变质泥岩、变砂岩及石英-电气石岩。其它符号与图 2 同

(4) 硅化 硅化延续较长,在云英岩化和电气石化过程中均伴有石英化,在硫化物阶段亦有出现。石英包裹体测温为 $645-245^{\circ}\text{C}$ ^[5],个别已跨过 α 石英与 β 石英的相转变温度(573°C)(王濮, 1982)。矿石还见有萤石化和碳酸盐化等。

该区蚀变作用早期表现为碱质交代,中期以硅镁质交代为主,晚期为黄铁矿化及碳酸盐化。W.K. Witt (1988) 在研究昆士兰东北与锡矿化花岗岩的云英岩化和长石化蚀变作用伴生的高温热液流体的演化时指出,长石化蚀变的封闭温度为 $650-600^{\circ}\text{C}$,云英岩化作用的形成温度稍低,相当于 $520-450^{\circ}\text{C}$ ^[5],这个温度范围与该区蚀变温度范围相似。

三、岩石的元素地球化学

西盟地区 134 件岩、矿石样品的部分元素化学分析结果(表 3)表明矿石或矿化岩石中锡、硼、氟、锂、铷和铯明显浓集,在普通岩石中这些元素亦高于地壳元素平均值(黎彤,

1) 由云南省地质矿产局测试中心易凤煌同志测定(均一法)。

表 3 西盟阿莫锡矿岩、矿石化学分析结果

Table 3 Chemical analyses of rocks and ores from the Amo tin deposit, Ximeng

岩、矿石类别	样品数	元素含量平均值 (ppm)								
		Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	F	Sn	Cu	Pb	Zn	B
云英岩类	5	102	122	24	9130	17700	0	0	20	575
含锡石英岩类	16	24	9	5	1000	6870	6	13	31	220
电气石岩类	7	423	297	81	8800	570	0	86	71	14700
绿帘石岩	1	60	40	20	100	460				
花岗伟晶岩类	4	2330	1050	98	13800	270	0	0	400	
含锡磁黄铁矿	1	40	20	50	4100	110	500	2	100	2000
结晶片岩类	18	85	239	58	15200	94	33	42	892	242
变粒岩类	23	225	605	44	3250	76	15	15	605	125
花岗岩类	5	102	582	28	1320	34	840	280	420	46
混合岩类	4	60	153	20	830	58	0	500	100	250
片麻岩类	36	292	542	42	2750	50	0	10	663	156
大理岩类	14	43	36	23	561	33	0	50	20	67
Pt ₃ P ₂	2	130	290	80	680	20				
Pt ₃ P ₁	16	580	80	22	563	44	0	57	97	46
Pt ₃ P ₁	25	170	270	53	1440	104	38	30	862	236
Pt ₃ l ³	29	1320	696	56	4020	85	0	18	518	104
Pt ₃ l ²	20	143	430	30	1800	33	0	26	774	210
地壳元素平均值*		4.8	35.6	0.6	450	1.7	63	12	94	13

* 据黎彤(南京大学,1979,地球化学)。

测试单位: 云南省地质矿产局测试中心。

表 4 阿莫矿区矿石正交旋转因子贡献

Table 4 Crossed rotated factor contribution of the ores at Amo mining area

主成分	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇
因子贡献	5.061	3.740	3.252	1.129	1.147	1.144	1.035
贡献百分数	29.768	21.998	19.131	6.641	6.746	6.703	6.090
累积百分数	29.768	51.766	70.897	77.538	84.283	90.986	97.076

1976)。根据分层元素平均值(表 3)所作的阿莫矿区元素分层变化曲线图(图 4),可以看出 Li₂O 和 Rb₂O 及氟与硼有异常高的背景值,铍含量也高,这种特征在老街子组第二、三段和怕可组永龙段尤其明显,这些地层含锡平均值可达 33—104ppm,其它地层含锡

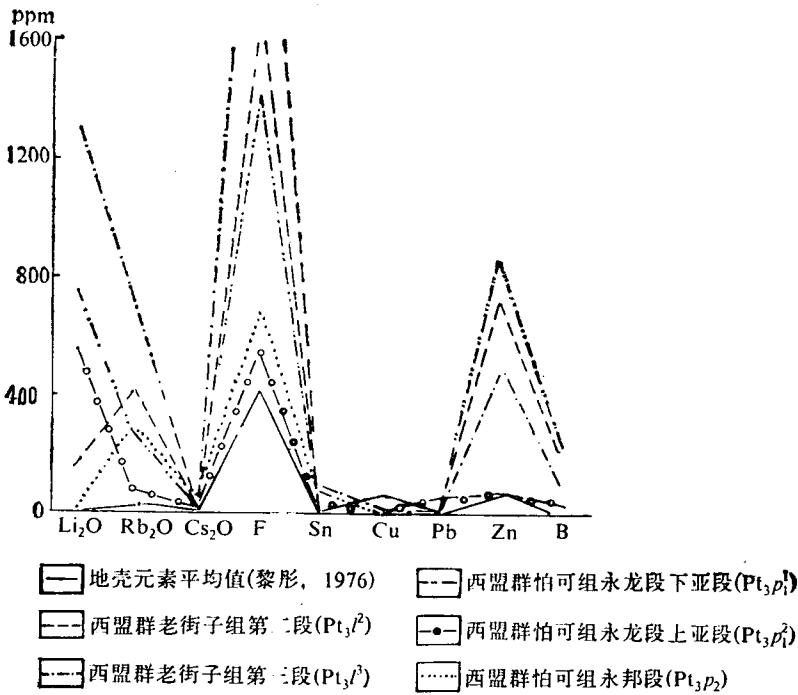


图 4 阿莫矿区元素分层变化曲线图

Fig. 4 Variation curves of element layering in the Amo mining area

则为 20—44ppm。通过分层元素含量的对比,锡含量随硼、氟、锂和铷的增高而增高,可以认为这些元素是锡的指示元素。为了研究本区与锡矿有关元素的共生组合关系及成因意义,对 I 和 III 矿体及附近的 18 件矿石和矿化岩石的 17 项化学分析指标进行了 R 型因子分析(即主成分分析),经电算处理给出了前 7 个主因子解(表 4)。为了突出各因子所代表的地质意义,采用了正交旋转。前 5 个主因子贡献的累积百分数为 84.283%,完全满足一般地质情况的使用。为了简化解释工作,略去绝对值小于 0.5 的载荷作投影图(图 5),可以清楚地判别:主成分 F₁' 是 Fe₂O₃, MgO, Li₂O, Cs₂O, Rb₂O, F 组合属稀有碱金属和岩浆气液元素组合,具有高温气成热液的地球化学特征;主成分 F₂' 是 B, Al₂O₃, MgO, TiO₂ 组合,表明镁电气石化与锡矿关系密切;主成分 F₃' 是 K₂O, Na₂O, P₂O₅ 组合,表明钾、钠交代为主的云英岩化和钠长石化亦是本区锡矿成矿作用的重要组成部分;主成分 F₄' 和 F₅' 是 WO₃ 和锡的单一变量,贡献不大。上述三种类别的成矿地质作用累积贡献达 70.897%,代表了本区最主要的成矿作用。

四、成矿流体的地球化学特征

在石英、电气石和锡石中,原生包裹体有:气液包裹体;气相二氧化碳和液相包裹体;气相、液相和子矿物包裹体;子矿物为 NaCl。包裹体大小为 8 × 4μm 至 40 × 30μm 之间,形态不规则。含二氧化碳包裹体分布规律为:中心为液相二氧化碳,往外为气相二氧化碳,最外为液相。液相 CO₂ 作不停运动,稍加热便消失,说明内压力大。据易凤煌对 14

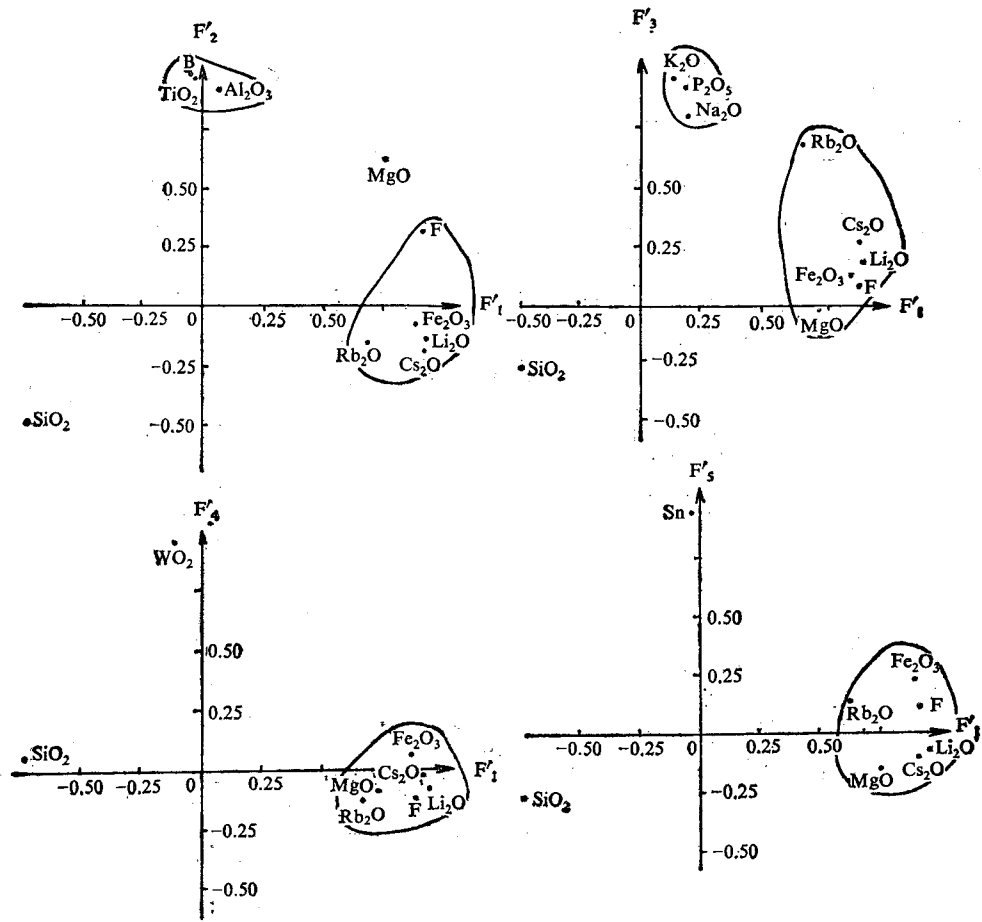


图 5 岩石和矿石 R 型因子分析正交旋转因子载荷投影图

Fig. 5 Diagram of crossed rotated factor loadings of R-mode factor analyses in the rocks and the ores

件样品的石英 127 个包裹体测定, 均一化温度为 540—270°C, 一般为 460—350°C, 锡石为 450—440°C。据史别林测定石英 305 个包裹体 (41 件样品) 结果, 硅酸盐阶段温度为 540—370°C, 石英阶段为 450—320°C, 硫化物阶段 420—260°C。含盐类子矿物在矿化部位及近矿石英中较多, 但在矿体深部有所减少, 在无矿石英中很少出现。盐度变化范围: 为 5—38% 锡石-硅酸盐 (I) 阶段为 14.3—17.65%; 锡石-石英 (II) 阶段为 18.9—38.0%; 锡石-硫化物 (III) 阶段为 14.6—25.2%。成矿流体富含 CO₂, F⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SO₄²⁻ 等组分, 具有较高的盐度及 CO₂/CH₄ 值 (表 5, 6)。按 E. Roedder 和 R. J. Bodnar 等^[6] (1980) 利用 NaCl-H₂O, CO₂-H₂O 体系中温度与密度, 压力关系得出各矿化阶段成矿流体的密度和最低压力值 (表 7)。锡石-石英阶段是重要的成矿阶段, 流体盐度最高, 作为沸腾程度的表征值 CO₂/CH₄ 亦最高。成矿流体从锡石-硅酸盐阶段进入锡石-石英阶段压力锐减, 而温度变化不大, 表明流体沸腾的主要原因是降压, 由于降压, 锡石-石英阶段的密度相应减少, 同时随着沸腾程度的增高盐度增高。到锡石-硫化物阶段又有压力、密度

表 5 阿莫矿区矿物包裹体液相成分 ($\mu\text{g}/10\text{g}$)
Table 5 Chemical composition of the liquid facies in mineral inclusions from the Amo tin deposit ($\mu\text{g}/10\text{g}$)

采 样 位 置	样 号	矿 物	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
大黑山伟晶岩	X1116-1	锡石	1.07	2.78	0.64	0.00	1.37	0.00	14.53	4.07
I 号矿体	X226	锡石	11.36	4.50	0.94	0.56	1.09	9.52	8.47	2.70
III 号矿体	X242	锡石	90.18	33.30	10.80	0.60	0.40	58.62	110.52	0.00
II 号矿体	X466	锡石	29.47	12.38	16.87	0.38	0.67	3.90	165.90	7.80
III 号矿体	X490-2	锡石	35.25	13.87	6.00	0.60	1.57	41.55	24.38	0.00

分析者: 地质矿产部矿床地质研究所程菜仙、陶恭益。

表 6 阿莫矿区矿物包裹体气相成分
Table 6 Chemical composition of the gaseous phase in mineral inclusions from the Amo tin deposit

矿 物	石 英						电 气 石						锡 石												
	白色(无色)												棕褐	褐	棕褐	黑	黑	褐	褐	黑	褐	褐	灰白	灰白	
H ₂ O	3.00	2.25	2.25	2.00	1.00	1.25	2.00	2.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CO ₂	>2.20	1.67	>2.20	>2.20	0.97	>2.20	1.67	>2.20	0.23	0.55	0.48	0.45	0.15	0.38	0.10	0.63	0.85	0.53	0.23	0.83	0.51	0.19	0.24	0.19	
CH ₄	0.09	0.08	0.35	0.10	0.25	0.11	0.08	0.08	0.58	>0.85	0.58	0.49	0.14	0.15	0.11	0.09	0.09	0.11	0.10	0.24	0.19	0.24	0.19	0.19	
CO ₂ /CH ₄	24.44	20.87	>6.28	>22	3.88	>20	20.87	>27.5	0.39	<0.65	0.83	0.92	1.07	2.53	0.91	7	8.89	4.82	2.3	3.46	2.68	2.68	3.46	2.68	

分析者: 中国科学院地球化学研究所。

表 7 阿莫锡矿成矿流体的密度、压力和深度*
Table 7 Density, pressure and depth of the ore-forming fluids
from the Amo tin deposit

矿化阶段	密度 (g/cm ³)	压力 (×10 ⁵ Pa)	深度 (km)
(I) 锡石-硅酸盐	0.89—0.98	600—1000	3.8—4.0
(II) 锡石-石英	0.76—0.91	180—250	0.8
(III) 锡石-硫化物	0.86—0.93	450—650	2.4—3.0

* 据史别林 1985 资料。

升高, 盐度减少的现象, 这可能显示盐度“稀释”过程。CO₂/CH₄ 值在锡石-硅酸盐阶段较小 (0.39—0.92), 可能矿化早期处于封闭的还原环境, 流体偏碱性, 进入锡石-石英阶段气相成分富含 CO₂, CO₂/CH₄ 急剧增高 (3.88—27.5), 反映锡石-石英阶段处于氧化开放环境, 溶液偏酸性, 其原因在于成矿溶液运移上升过程中, 因受张性构造的影响, 静压力降低, 在急剧降压的状态下, 流体沸点降低, 沸腾加剧, 由于溶液表面和内部气化, 引起 H₂O 与 CO₂ 上逸形成“酸性前锋”, 最后导致沸腾流体酸碱分离, 成矿流体酸碱度变化破坏了原有的化学平衡, 加速了金属矿物的选择性沉淀。

五、同位素地球化学

H. P. Taylor (1978) 认为世界范围内正常花岗岩 δ¹⁸O 值为 +6—+10‰^[7], 阿莫锡矿床矿石中锡石和石英的 δ¹⁸O 值为 2.01—13.16‰ (表 8)。根据 R. N. Clayton (1972) 的 SiO₂-H₂O 系统的氧同位素交换反应分馏系数 (α) 与温度 (T⁻²) 之间的函数关系式:

$$1000 \ln \alpha(Q - W) = 3.38(10^6 T^{-2}) - 3.40$$

用包裹体测温资料, 锡石-硅酸盐阶段 450℃, 则 δ¹⁸O_{H₂O} = 8.59‰; 锡石-石英阶段 390℃, δ¹⁸O_{H₂O} = 7.74‰; 锡石-硫化物阶段 340℃, δ¹⁸O_{H₂O} = 7.56‰。若按张理刚 (1985) 的分馏方程:

$$1000 \ln \alpha(Q - W) = 3.42 \times 10^6 T^{-2} - 2.86^{[8]}$$

则锡石-硅酸盐阶段 δ¹⁸O_{H₂O} = 7.97‰; 锡石-石英阶段 δ¹⁸O_{H₂O} = 7.11‰; 锡石-硫化物阶段 δ¹⁸O_{H₂O} = 6.92‰。阿莫锡矿介质水的 δ¹⁸O 值为 6.92—8.95‰, 据此推测矿床成因与花岗岩有关, 成矿流体来自岩浆水, 受大气降水和围岩因素的影响很小。

矿石中单矿物 δ³⁴S(CDT) 为 +3.20—+7.20‰ (表 9), 用硫化物矿物对的 Δδ³⁴S 值: δ³⁴S_{黄铁矿} = 5.5‰, δ³⁴S_{方铅矿} = 2.6‰ (据史别林), 按拉伊 (1974) 的分馏方程 1000 ln α(Py - G_n) = 9.3 × 10⁵ T⁻²^[8], 得出平衡温度为 293℃, 这个温度可能代表硫化物阶段的成矿温度。阿莫锡矿 δ³⁴S 为 +2.6—+7.2‰, 其变化范围没有超出花岗岩的 δ³⁴S 数值, 推论成矿物质中的硫化物来源于深部岩浆, 几乎没有受到生物硫或细菌还原硫酸盐的影响。

表 8 阿莫锡矿氧同位素组成

Table 8 Oxygen isotope composition of the Amo tin deposit

样号	采样位置	测定矿物	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})\%$	$\Delta\delta^{18}\text{O}\%$
X-I-6	I 号矿体	锡石	2.01	
X-I-1-3	I 号矿体	电气石	9.33	6.48
		锡石	2.85	
X-I-1-6	I 号矿体	石英	11.66	9.65
		锡石	2.01	
X-II-2-4	II 号矿体	石英	12.03	9.00
		锡石	3.03	
X-III-3-9	III 号矿体	石英	13.16	10.86
		锡石	2.30	
X-III-3-5	III 号矿体	锡石	2.55	
X-III-3-14	III 号矿体	锡石	2.08	
XP-1	大马撒花岗伟晶岩	石英	10.05	8.21
		锡石	1.84	

测定者：北京大学同位素地质实验室陈成业。

表 9 阿莫锡矿硫同位素组成

Table 9 Sulfur isotope composition of the Amo tin deposit

样号	采样位置	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{CDT})\%$	精度
XIII-4	III 号矿体	毒砂	7.20	0.2‰
XIII-5	III 号矿体	毒砂	6.45	
XIII-14A	III 号矿体	磁黄铁矿	4.42	
XIII-14B	III 号矿体	辉锑矿	3.20	
X-I-5	I 号矿体	黄铁矿	5.68	

测定单位：中国科学院地球化学研究所。

六、成矿模式

该区老街子组和怕可组永龙段岩石中普遍有异常高的硼、氟、锂、铷、铯和锡含量，这套元素组合的浓集可能与地层下部的酸性岩浆活动有关，根据本区封闭的重力负异常与西盟穹隆构造分布一致，推测围绕西盟穹隆核心有较大的隐伏花岗岩体存在¹⁾。按重力差

1) 吴上龙, 1983, 西盟地区地球化学异常特征与成矿初步总结。

值场的研究,大马撒、小马撒、佛殿山、南亢、南下戛、永农等地隐伏花岗岩体石近地表或距地表 1km 范围内,而在 5km 范围内隐伏花岗岩体全部显现,并连成一体¹⁾。经矿床地质、围岩蚀变及地球化学研究,证实成矿物质主要来源于花岗岩浆气成高温热液。笔者按矿床形成机理提出阿莫锡矿床的理想成矿模式(图 6),借以解释高温热液石英脉型锡矿床形成的典型地质环境。阿莫锡矿模式的重要构造特征是有较古老的变质岩组成的隆起,随着新构造运动的发展作继续抬升并伴有年青的花岗质岩浆活动,部分花岗岩浆可沿着环绕隆起核部的张性断裂向上侵位,成矿流体富含 F^{-} , B^{-} , CO_2 及 $NaCl$ 等组分,锡可以呈氟羟基络合物 $Sn(OH)_2F_2^{-}$ 的形式^[9] 迁移,并发生强烈的钠长石化、云英岩化、电气石化、硅化和锡矿化。成矿温度 450—350°C, 压力为 450×10^5 — $1000 \times 10^5 Pa$, 据矿区地质资料,矿床有明显的分带性: 在隆起的核心部位产有铌、钽、钨、锡矿化的伟晶岩,构成中心铌、钽、钨、锡异常区;在阿莫、永帮、班哲等地有强烈的锡、钨矿化(以阿莫锡矿床为例),形成锡、钨异常带;往外出现以铅、锌、银为主的硫化矿床(以西盟新厂富银铅—锌矿为例)并出现铅、锌、银异常区²⁾。它们在空间上构成从伟晶岩→高温热液→中温热液矿床的多种元素组合的矿床系列。

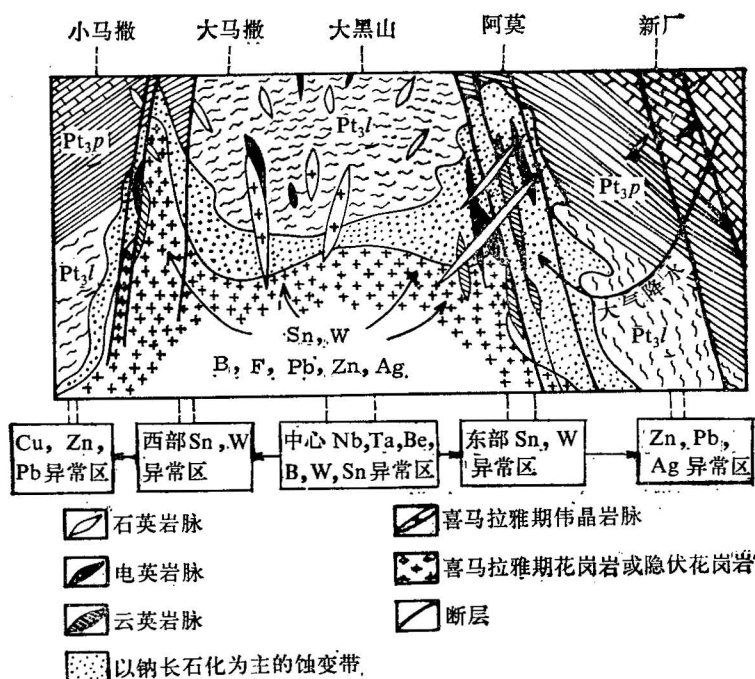


图 6 西盟锡矿成矿模式图

Fig. 6 Mineralogenic (metallogenic) model of the Ximeng tin deposit

范承钧高级工程师,陈毓川研究员审阅了本文的初稿并提出宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

1) 吴上龙,1983,西盟地区地球化学异常特征与成矿初步总结。

2) 赵大贤等,1986,西盟县新厂富银铅锌矿矿床特征及成因。

参 考 文 献

- [1] 施加辛, 1989, 新矿物——西盟石. 矿物学报, 第9卷, 第1期, 第15—19页。
- [2] 赵大贤, 1989, 云南西盟小马撒喜山期花岗岩体的岩石学特征及岩石成因. 岩石学报, 第3期, 第25—36页。
- [3] 韩发、哈钦森, R.W., 1989, 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据——含矿建造及热液沉积岩. 矿床地质, 第8卷, 第2期, 第25—37页。
- [4] Taylor, B. E. and Slack, J. P., 1984, Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive Sulfide deposit textural, chemical and isotopic relationship. *Econ. geol.*, Vol. 79, pp. 1703—1726.
- [5] Witt, W. K., 1988, Evolution of high-temperature hydrothermal fluids associated with greisenization and feldspathic alteration of a tin-mineralized granite, Northeast Queensland. *Econ. geol.*, Vol. 83, No. 2, pp. 310—334.
- [6] Roedder, E. and Bodnar, R.J., 1980, Geologic pressure determination from fluid inclusion study. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 8, pp. 263—301.
- [7] Taylor, H. P., 1978, Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks: *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 38, pp. 177—210.
- [8] 张理刚, 1985, 稳定同位素在地质科学中的应用. 陕西科学技术出版社。
- [9] 刘玉山、陈淑卿, 1986, 锡石溶解度和锡迁移形式的实验研究. 地质学报, 第60卷, 第1期, 第78页。

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC MODEL FOR THE AMO HYPOTHERMAL TIN DEPOSIT IN XIMENG COUNTY, YUNNAN PROVINCE

Zhao Daxian and Tang Guangting

(The Fifth Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, Simao, Yunnan)

Abstract

The Amo tin deposit in Ximeng County occurs on the east limb of the Daheishan anticlinorium of the Ximeng uplift. The exposed metamorphic rocks are of the Upper Proterozoic Ximeng Group. There occur strong albitization, tourmalinization, greisenization and silicification in the deposit. The Fe-Mg-Li tourmaline is of hypothermal metasomatic origin. The ores may fall into: (1) Cassiterite-quartz vein, (2) Cassiterite-tourmaline-quartz vein (cassiterite-tourmalite), (3) Cassiterite-greisen, and (4) Cassiterite-sulfide types.

The principal metallic mineral is cassiterite with minor scheelite and accessory arsenopyrite, pyrite, bismuthinite and sphalerite. Secondary minerals include Ximengite (Shijiaxin, 1989), bismutite and ioguneite. Tin ore of the greisen type has a Rb-Sr (taeniolite) age of 21.5 Ma (Shibieli, 1985), therefore the metallogenic epoch belongs to the Himalayan Stage. According to the mineral association and their mutual relationship, four mineralizing stages may be distinguished for the Amo tin deposit: (I) Cassiterite-silicate stage, (II) Cassiterite-quartz stage, (III) Cassiterite-sulfide stage, and (IV) Barren quartz vein stage. Sn, B, F, Li Rb and Cs related to acid magmatism are obviously concentrated in the metamorphic rocks of the Ximeng Group. It is inferred thus that there exist a hidden granite body.

The homogenization temperatures measured on 305 inclusions in quartz of 41 samples

range from 540°C to 260°C and those for the cassiterite-quartz stage are 450—320°C. The salinity of liquid inclusions and liquid-phase CO₂-bearing inclusions is 5—10%, and the salinity of daughter mineral-bearing inclusions is 5—38.0%. The CO₂/CH₄ value of the gaseous inclusions in cassiterite is 0.91—8.89 (Table 6). In the cassiterite-silicates stage, the density of the ore fluids is 0.89—0.98 g/m³, the pressure, 600×10⁵—1000×10⁵ Pa, and the depth is 3.8—4.0 km. In the cassiterite-quartz stage, the density of the ore fluids is 0.76—0.91 g/cm³, the pressure, 180×10⁵—250×10⁵ Pa and the depth is 0.8 km. In the Cassiterite-fulfide stage, the density of the ore fluids is 0.86—0.93 g/cm³, the pressure, 450—650×10⁵ Pa and the depth, 2.4—3 km. Table 7.

The δ¹⁸O values of cassiterite and quartz in the tin ores are 2.01—13.16‰. (Table 8). The δ¹⁸O H₂O values calculated are 6.92—8.59‰, the δ³⁴S values of the S-bearing ore minerals are 2.6—7.2‰, and the mineralizing temperature calculated according to sulfur isotopic geothermometer is 293°C in the sulfide stage. Oxygen and sulfur isotopic data imply that the ore-forming substances were derived from granitic magma. According to geophysical and geochemical data it is inferred that there exists a hidden granite body in this area. The Amo tin deposit is a hypothermal cassiterite-quartz vein type tin deposit genetically related to the hidden Himalayan granites.

作者简介

赵大贤, 生于1944年。1965年毕业于重庆地质学校矿产地质和勘探及岩矿鉴定专业, 现任云南省地质矿产局第五地质大队岩矿测试工程师, 长期从事金属矿产普查及岩矿测试工作。通讯处: 云南省思茅第五地质大队, 邮政编码: 665000。