

福建某稀有金属伟晶岩矿田地质地球化学特征

李兆麟 张金章 吴启志 欧阳仲辉

(南京大学地质系)

福建某稀有金属伟晶岩以富铌、钽而著称，并含锂、铍、铷、铯等稀有金属。本文着重对该区地质特征、控矿构造、伟晶岩类型、成矿阶段划分、空间分布规律、稀有元素地球化学、成矿温度等方面进行了研究和探讨。

一、矿田地质特征

本区伟晶岩成矿带位于一褶皱隆起带东南部的华夏系构造与南北构造斜交复合部位，呈北北东分布，该矿田位于成矿带的中南部（图 1）。本区出露地层主要为震旦系建欧群上亚群变质岩系和下侏罗统梨山组。区内为一轴向北北东向的复式褶皱。矿田、矿区、矿体分别为三级构造所控制。伟晶岩矿体往往赋存于三级构造的褶皱轴部。矿区内发育的近南北、北北东、北西和北北西向四组断裂，对矿体起着破坏作用。成矿带东西二侧分布的片麻状花岗岩体（A）及中粗粒花岗岩体（B）分别呈南北及北北东向延伸，B岩体与围岩呈侵入接触关系。在A、B岩体中有少量晚阶段的花岗斑岩分布。两岩体特征如下：

1. 二者都是经过多阶段形成

的复式岩体。钾长石的含量大于斜长石含量；石英在25—30%以上；黑云母在5%以下；岩体均发生不同程度钾长石化、钠长石化、白云母化等自变质交代作用。

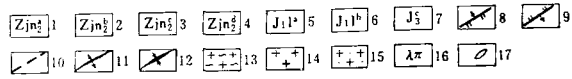
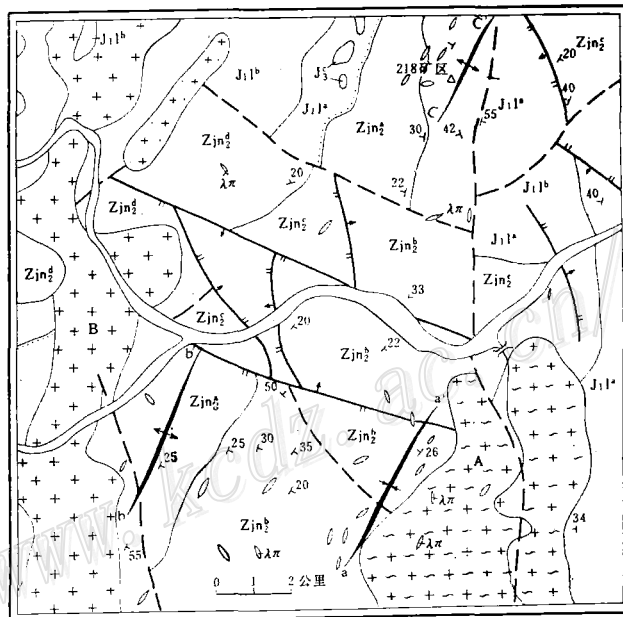


图 1 福建某伟晶岩矿田地质略图

Fig. 1. Diagrammatic geological map of a certain pegmatite ore field in Fujian province.

- 1—建欧群上亚群第一段；2—建欧群上亚群第二段；3—建欧群上亚群第三段；4—建欧群上亚群第四段；5—梨山组下段；6—梨山组上段；7—长林组；8—正断层；9—逆断层；10—推测断层；11—背斜；12—向斜；13—A岩体；14—B岩体；15—花岗闪长岩脉；16—岩脉；17—伟晶岩

花岗岩中铌钽含量表 表 1

岩石名称	含量		Nb ₂ O ₅ (ppm)	Ta ₂ O ₅ (ppm)	Nb ₂ O ₅ / Ta ₂ O ₅
	含	量			
A岩体中细粒片麻状花岗岩			28.5	20	1.43
B岩体中粒花岗岩			40	24	1.66
我国若干个富Nb、Ta花岗岩伟晶岩的母岩——黑云母花岗岩平均值			38	5	7.60
酸性岩克拉克值 (维诺格拉多夫, 1962年)			26	4.1	6.34

岩的有利条件。

2. 在岩体化学成分和查氏数值上表现为富硅富碱。SiO₂大于73%，S值在80以上，Q值多数在30以上，是SiO₂过饱和超酸性岩石。碱质总量K₂O+Na₂O大于7.5%，最高达10%以上，K₂O往往大于Na₂O，a值一般在13以上，a/c都大于7.5，多数大于20，因此也是富碱质花岗岩。

3. 两岩体中铌、钽的含量比一般酸性岩的丰度高，特别是Ta₂O₅的含量高出5倍，比我国某些富铌钽花岗岩伟晶岩母岩的平均值高4倍多，Nb₂O₅/Ta₂O₅比值低5倍左右(表1)。花岗岩中铌钽含量较高是形成本区稀有金属伟晶

二、伟晶岩矿床地质特征

在本区已发现近千条伟晶岩脉，除少数分布在花岗岩体中外，绝大多数分布在建瓯群变质岩系中，呈NNE向展布，与区域构造线方向一致。据钾-氩法同位素年龄测定，其形成时代为254.3—361百万年，属海西期。

伟晶岩体的规模大小不一，一般宽约数米至数十米，长约百米，呈透镜状、脉状、似层状产出。近矿围岩多为变粒岩。矿体产状与围岩片理产状往往一致，并具有同步褶曲的特征，部分矿脉产状与围岩斜交。

(一) 伟晶岩类型划分及其特征 总结前人对伟晶岩的分类经验^[1,4,5,6]，并结合本区伟晶岩的特点，可将本区伟晶岩划分为五类(表2)：

第Ⅰ类型 黑云母-微斜长石-钠奥长石伟晶岩。主要分布在A、B岩体内外交接触带，规模小，呈巢状、小透镜状。伟晶岩内部构造简单。

第Ⅱ类型 白云母-钠奥长石-微斜长石伟晶岩。主要分布在靠近花岗岩体的变质岩中，常呈脉群产出，矿体规模不大，多呈透镜状。伟晶岩内部分带为钠奥长石-微斜长石带和石英-云母带。交代作用较弱，细粒钠长石呈脉状交代微斜长石和钠奥长石，局部发育绢云母化。

第Ⅲ类型 弱钠长石化-白云母-微斜长石伟晶岩。远离花岗岩体分布，范围较广，往往呈大透镜体产出。结晶分异明显，形成块状石英微斜长石带、石英白云母带。绢云母化、钠长石化作用有所增强，并往往出现于伟晶岩顶部。

第Ⅳ类型 钠长石化-锂辉石-微斜长石伟晶岩。主要分布于本区东北部，离花岗岩体较远。矿体形态复杂，呈雁行排列或多层产出，分枝复合较为普遍。矿体规模大小不等，大者约数百米，小者数米。矿石具条带状、混杂状构造，不等粒结构。钠长石化、云英岩化和绢英岩化等交代作用强烈。石英具波状消光，钠长石双晶纹和云母解理呈褶曲，矿物具压碎结构，这表明在伟晶岩形成过程中曾遭受构造应力作用。

各类伟晶岩地质特征综合对比表

表 2

特征	类型	I、黑云母微斜长石钠奥长石伟晶岩	II、白云母钠奥长石微斜长石伟晶岩	III、弱钠长石化白云母微斜长石伟晶岩	IV、钠长石化锂辉石微斜长石伟晶岩	V、强钠长石化伟晶岩
矿体形态		巢状、小透镜状	似层状、透镜状	大透镜状	似层状、透镜状雁行排列	似层状
内部结构构造	结构	粒状结构	不等粒结构	块状构造	交代结构、混杂状构造	条带状构造
	伟晶作用		钠奥长石微斜长石带, 块状石英白云母带	块状石英微斜长石带, 块状石英白云母带	块状石英微斜长石带, 块状石英锂辉石带	石英微斜长石带
	交代作用		弱绢云母化钠长石化带	绢云母化钠长石化带	钠长石化带、云英岩化带、绢英岩化带	钠长石化带、云英岩化带、绢云母化钠长石化带
稀有矿物	独居石、褐帘石、锆石、锡石(少量)、磷灰石(少量)、钨铁矿(少量)	磷钇矿、锆石、钨铁矿(少量)、富铈锆石(少量)、锡石(少量)	铌钽铁矿、绿柱石、磷锂铝石、富铈锆石、含铷白云母	铌钽铁矿、锂辉石、锂电气石、磷锂铝石、富铈锆石、含铋锡石、绿柱石、硅铍石、黑磷云母	铌钽铁矿、含铋锡石、锰钽铁矿、细晶石、锂电气石、绿柱石、硅铍石、铯榴石、钽铁金红石、黑磷云母、富铈锆石	
副矿物	磁铁矿、榍石	电气石、磷灰石、石榴石	电气石、萤石、黄玉、磁铁矿	磷灰石、黄玉、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿、方铅矿、闪锌矿、绿帘石、白钛矿、萤石、软锰矿	磷灰石、黄玉、萤石	
标型矿物	独居石、钠奥长石	磷钇矿、白云母、钠奥长石	厚板状钨铁矿、粗粒绿柱石、磷锂铝石、白云母、微斜长石	锂辉石、铌钽铁矿、磷锂铝石	铌钽铁矿、锰钽铁矿、细晶石、钠长石	
特征组分		Ca—Na	Ca—K—Na	K—Na	K—Na—Li	Na
主要组分		TR	ΣY、Nb	Nb、(Ta)、Be	Nb、Ta、Li	Ta
包裹体特征	液相	70—60%	75—60%	75—65%	75—70%	80—65%
	气相	30—40%	25—40%	25—35%	25—30%	20—35%
	均匀化温度	400—200℃	340—300℃	270—180℃	260—200℃	200—180℃

第V类型 强钠长石化伟晶岩, 属富钽型。矿体以似层状为主, 具条带状构造。钠长石化强烈, 原生矿物常被交代呈残留体, 有的几乎全被晚期糖粒状、板条状钠长石和石英代替。

(二) **伟晶岩空间分布规律** 世界不同地区伟晶岩在空间分布上大多数具一定的规律性^[6]。本区不同类型伟晶岩在A、B岩体之间呈似对称带状分布(图2)。在水平方向, 随着远离岩体, 伟晶岩从简单向复杂演化(I—V类型); 交代作用从弱至强发展; 稀有元素矿化依次为TR→ΣY、Nb→Nb(Ta)、Be→Ta(Nb)、Li→Ta; 成矿温度有递降趋势。在垂直方向上, 随着伟晶岩出露高程的增加, 伟晶岩趋于复杂, 交代作用越强, 矿化强度越大, 钽含量也越高。例如IV类型伟晶岩标高为500米, 而第V类型强钠长石化富钽伟晶岩标高则为630—730米。

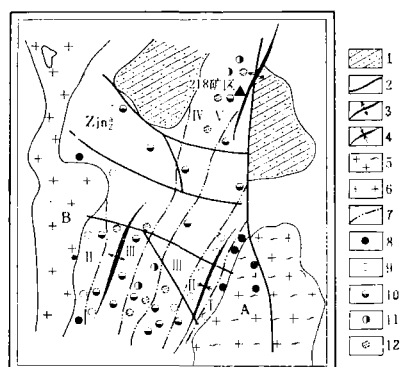


图 2 各类型伟晶岩水平分带示意图

Fig. 2. Schematic diagram showing horizontal zonation of various types of pegmatite

1—细砂岩；2—断层；3—背斜；4—向斜；5—A岩体；6—B岩体；7—各亚带分界线；8—黑云母微斜长石钠奥长石伟晶岩；9—白云母钠奥长石微斜长石伟晶岩；10—弱钠长石化白云母微斜长石伟晶岩；11—钠长石化锂辉石微斜长石伟晶岩；12—强钠长石化伟晶岩

三、伟晶岩地球化学特征

(一) 伟晶岩地球化学阶段的划分

在伟晶岩成岩成矿的整个过程中，依次形成不同世代的矿物组合，表现为一些碱金属为另一些碱金属代替。因此，可以把某些特征碱金属元素作为划分伟晶岩地球化学阶段的标志。从这一观点出发，本区伟晶岩可分为原生结晶和交代作用二期，按各期出现的特征碱金属元素又可划分为不同的演化阶段。

1. 原生结晶期：是指花岗岩浆分异作用晚期形成的富挥发份残余熔体（溶液）侵入到围岩中，在相对封闭的环境下结晶成粗粒、伟晶块状矿物组合的全过程。本期伟晶岩中碱金属按 Na、Ca→K→Li→K(Si) 顺序演化，依次形成下列矿物组合：粗粒石英-微斜长石-钠奥长石组合、块状石英-微斜长石组合、块状石英-锂辉石组合、块状（或粗粒）石英-白云母组合。在相应的岩相带中析出巨晶板状钶铁矿、块状磷锂铝石-锂辉石、粗粒绿柱石等矿物。

2. 交代作用期：是指在伟晶岩结晶的后期，由于某些碱金属元素、挥发份和水等大量富集，所形成的气成热液不断对早期矿物进行交代的全过程。该期所形成的各种矿物明显有别于原生结晶期。后期矿物常以脉状、网状交代早期矿物，呈交代残留结构、港湾状交代结构、粒状变晶和鳞片变晶结构等。在交代作用过程中碱金属依 Na→K(Si)→Li(Na)→K(Rb) 次序演化。

由于原生结晶作用各阶段含钾矿物的发育，使得晚期溶液中 K⁺ 的浓度下降，而 Na⁺ 相对增加。另一方面，钠奥长石等含钠矿物遭受交代或水解作用，使得 Na⁺ 再转入溶液中，也增加了钠的浓度。当钠质溶液对早期形成的矿物如微斜长石等不断广泛地交代时，则析出钠长石和石英，形成钠长石化带或强钠长石化伟晶岩。这种成岩机理我们已通过高温高压微斜长石碱性蚀变条件模拟实验得到证实^[2]。

稀有元素 Nb、Ta、Be 及 Sn 等在交代作用过程中随着挥发份富集而在晚期集中；另一方面，早期矿物中呈类质同象存在的稀有元素亦通过碱质交代作用重新活化转移到溶液中，并以络合物 NaNbF₇、NaTaF₇、Na₂BeF₄ 等形式迁移^[3]。此外，围岩中的 Ca、Mg、Fe 等元素可以转入到溶液中，由于温度、压力、pH 等条件的变化，将破坏上述络合物的稳定性，使其分解形成不易溶解的钶铁矿、钶钽铁矿、绿柱石、含钽锡石等。因此，钠长石化越强烈，伟晶岩中钶钽含量则越高。钠长石化的强度可作富钶钽伟晶岩的一个地球化学指示剂。

在钠长石化过程中可以从早期造岩矿物析出钾，溶液由钠质转为钾质，为下一阶段云英岩化提供条件。具铌钽矿化的伟晶岩都不同程度地发育着云英岩化带，且往往发育于矿体顶部或与围岩接触处，但范围比钠长石化带小，仅在第V类型伟晶岩中较发育。如14号脉云英岩化带厚达一米，主要析出富钽矿物，如细晶石、锰钽铁矿等。云英岩化交代作用较钠长石化更富钽，其中 Ta_2O_5/Nb_2O_5 比值为钠长石化带的 2.7—3.1 倍（表 3）。

钠长石化带、云英岩化带 Ta_2O_5/Nb_2O_5 比值变化表 表 3

脉号	岩相带名称	Ta_2O_5/Nb_2O_5
2	钠长石化带	1.08
	云英岩化带	1.80
6	钠长石化带	1.00
	云英岩化带	1.30

随着交代作用的发展，早期锂矿物被交代，部分锂转入溶液中，往往沿裂隙或与围岩接触部位形成晚期锂矿物集合体，如黑磷云母、铁锂云母等。伟晶岩末期，由于水份及钾的浓度增加，绢英岩化往往叠加在早期各阶段之上，甚至形成绢英岩化带，其中铌钽含量较钠长石化带、云英岩化带低，矿化变贫。

(二) 伟晶岩中稀有元素地球化学特征

1. 铌和钽：本区伟晶岩中铌、钽有如下地球化学特征（图3、4）：

a. 不同类型伟晶岩中 Nb_2O_5 和 Ta_2O_5 含量变化范围分别为 22—190ppm 和 20—800ppm，比母岩高几倍、几十倍。钽的递增率比铌更显著，在第V类型伟晶岩中 Ta_2O_5 增加 28 倍，而

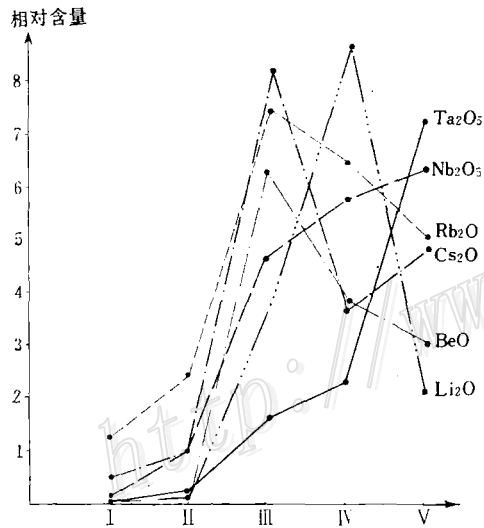


图 3 各类型伟晶岩中稀有元素相对含量变化曲线
Fig. 3. Diagram showing variation of relative abundance of rare metals in various types of pegmatite.

I—黑云母微斜长石钠奥长石伟晶岩；II—白云母钠奥长石微斜长石伟晶岩；III—弱钠长石化白云母微斜长石伟晶岩；IV—钠长石化锂辉石微斜长石伟晶岩；V—强钠长石化伟晶岩

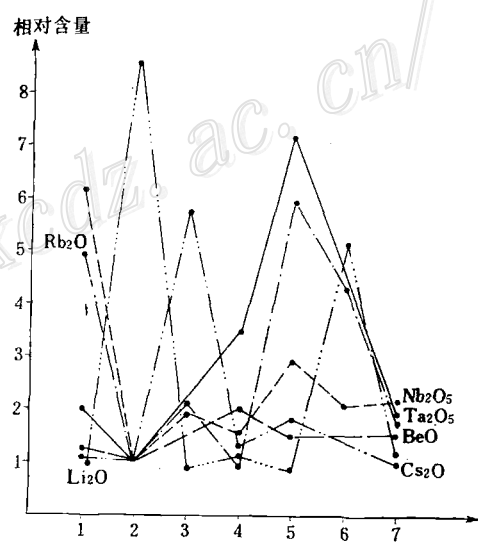


图 4 各岩相稀有元素相对含量变化曲线
Fig. 4. Diagram showing variation of relative abundance of rare metals in different petrofacies.

1—块状石英微斜长石带；2—块状石英锂辉石带；3—块状石英云母带；4—强钠长石化带；5—云英岩化带；6—黑磷云母化带；7—绢英岩化带

Nb_2O_5 只增加 6 倍。在空间上铌和钽都随着远离花岗岩体有增加趋势, 但钽比铌增加更快。

b. 在花岗伟晶岩中铌、钽的迁移富集与伟晶岩发育阶段有密切关系, 从早阶段至晚阶段 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 含量递增, 但铌的变化率较小。从图 4 可知, 当伟晶岩原生结晶作用转化为交代作用时 (钠长石化、云英岩化) Nb_2O_5 增加一倍, Ta_2O_5 增加 2—6 倍。

不同类型伟晶岩中白云母单矿物
铌、钽含量变化表 表 4

含量 氧化物	类型	白云母 奥长石 斜长石 伟晶岩	弱钠长石 化白云母 微斜长石 伟晶岩	钠长石 化微斜 长石 伟晶岩	强钠长石 化伟晶岩
Nb_2O_5 (ppm)		190	390	260	91
Ta_2O_5 (ppm)		<15	54	57	20
Ta_2O_5/Nb_2O_5		<0.079	0.140	0.220	2.28

分析单位: 南京中心实验室

c. Ta_2O_5/Nb_2O_5 的比值从简单伟晶岩向复杂伟晶岩演化不断增大, 在不同类型伟晶岩中, 其比值从第 III 类型 (0.4—0.54) → 第 IV 类型 (0.56—0.78) → 第 V 类型 (1.74—2.72) 增加; 在不同地球化学阶段从早阶段 (0.67—0.33) 到晚阶段 (0.79—1.86) 亦存在递增规律。

D. 不同类型伟晶岩中白云母的铌、钽含量不同, Ta_2O_5/Nb_2O_5 比值从第 II 至第 V 类型具有递增规律 (表 4)。这种变化特征与不同类型伟晶岩中铌、钽矿化规律相一致, 故云母中铌、钽含量可作为铌、钽矿化的地球化学指示剂。

2. 铍: 本区不同类型伟晶岩中铍含量变化在 10—960ppm, 为酸性岩平均含量的 2—192 倍。与国外某些含少量绿柱石的伟晶岩相比 (Be 为 10—57ppm) 高 0—16 倍^[7]。铍矿化主要在弱钠长石化白云母微斜长石伟晶岩中, 铍呈绿柱石析出。伟晶岩中 BeO 含量一般较其它类型高 2—6 倍。对铍的地球化学研究表明, 在同一地区如果铍在伟晶作用阶段大量富集, 则在气成-热液阶段相对变贫; 反之, 若在伟晶岩作用阶段未大量析出, 则可导致在气成-热液阶段富集^①。

在伟晶岩形成的不同地球化学阶段中, 铍的富集程度差异显著。在早期钾阶段晶出的粗晶块状绿柱石, 在块状石英微斜长石中呈不均匀分布。随着挥发份 F、OH 等和 SiO_2 的相对增加, 铍的浓度也增高。在早期 K(Si) 阶段中析出的较多粗粒绿柱石与块状石英、白云母共生。不同类型伟晶岩中铍含量由第 III 类型至第 V 类型明显下降, 即强交代作用的伟晶岩中铍含量变贫。在不同交代作用中铍含量以钠长石化阶段较高。其中铍主要呈类质同象分散形式存在, 仅形成少量绿柱石、硅铍石等独立矿物。因此, 本区伟晶岩中铍主要是在伟晶作用期的 K(Si) 阶段集中, 但铍的富集成矿与铌钽相比在本区处于次要地位。

3. 锂: 伟晶岩中 Li_2O 含量变化在 10—46500ppm, 不同类型伟晶岩中含量相当悬殊 (图 3)。第 IV 类型比第 II 类型高 15 倍, 比第 V 类型高 3 倍多。不同地球化学阶段中, Li_2O 在早期钠、钙阶段含量低 (<10ppm), 在钾阶段含量 >100ppm, 并局部析出磷锂铝石。在伟晶作用期锂阶段达到最大富集, 一般含量达 190—1740ppm, 最高含量为 46500ppm。如 2、6 号脉中有较多锂辉石、磷锂铝石等锂矿物的析出, 形成富锂、富钽伟晶岩。在钠长石化、云英岩化交代过程中, 锂的含量明显下降, 比石英锂辉石带低 10—38 倍。只有在黑鳞云母化、含锂电气石化过程 Li_2O 含量又明显升高。但由于晚期锂 (钠) 阶段规模小, 很少具工业意义。

① 李兆麟, 1975, 华南某些花岗岩中铍的地球化学 (全国稀有元素地质会议论文集)

在伟晶岩中, 锂可以呈类质同象形式分散在硅酸盐矿物中, 其中以黑鳞云母为较高, 达1.875%, 而微斜长石、钠长石、石英、绿柱石等则含锂较低(表5)。

锂在各种矿物中的含量(%)

表5

含量(%) 氧化物	矿物名称	锂辉石	磷锂铝石	黑鳞云母	绢云母	白云母	绿柱石	微斜长石	钠长石	石英
Li ₂ O		6.24	4.25	1.875	1.41	0.101	0.093	0.044	0.013	0.010

分析单位: 南京中心实验室

4. 铷和铯: 铷和铯具有近似的地球化学性质, 在不同类型伟晶岩或不同地球化学阶段, 铷、铯含量变化有近似的消长关系(图3、4)。它们在第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类型伟晶岩中比Ⅰ、Ⅱ类型高。在原生结晶作用期形成的块状石英微斜长石带中含量较高, 而在交代作用期则以晚期云英岩化含量明显增高, 但铯的变化率比铷大, 钠长石化则变贫。这与上述各地球化学阶段钾含量较高易产生类质同象有密切关系。

Rb₂O/Cs₂O比值从第Ⅰ类型到第Ⅴ类型从13→29→8.2→7.6→3.4。在晚期云英岩化作用中有少量铯榴石析出。

四、伟晶岩成因

本区伟晶岩的形成与A、B岩体有密切关系。在空间上花岗岩体与伟晶岩呈有规律地分布, 从岩体→简单伟晶岩→复杂伟晶岩; 随远离岩体矿物中包裹体均匀化温度逐渐降低(表2); 而挥发份渐趋增加(表6); 岩体中铷、铯含量较高, 为稀有元素伟晶岩的形成提供物质基础。上述诸点表明, 从花岗岩到伟晶岩具有继承发展的特征, 故可认为A、B岩体是本区伟晶岩的母岩。

当花岗岩浆侵入以后, 在结晶分异作用的晚期形成的富挥发份的熔体—溶液, 沿着构造裂隙运移。随着远离母岩挥发份不断增加, 大量挥发组份的存在能降低熔体—溶液的粘度和矿物结晶温度, 使硅酸盐形成低熔物质进行运移。在相对封闭的环境下(如背斜的轴部等)矿物能缓慢结晶形成伟晶状结构。随着温度的降低, 挥发份及水份的不断富集, 导致气热液的形成, 并对早结晶的矿物进行交代, 形成具有伟晶结构和交代结构共存的地质体。本区伟晶岩的形成过程是处在一个不稳定构造条件下, 受不同构造应力场, 不同强度应力的作用, 使伟晶岩形成典型的条带状构造。

由于物质成分的不同, 尤其是挥发份的不同, 交代作用的差异, 构造应力作用大小的变化以及围岩性质等因素的影响, 导致伟晶岩矿物共生组合、稀有元素矿化产生有规律的变化,

花岗岩、伟晶岩中
F、CO₂、P₂O₅含量(%) 表6

挥发组份 岩石名称	F	CO ₂	P ₂ O ₅
A、B岩体平均值	0.049	0.066	0.186
石英微斜长石带	0.039	0.072	0.460
石英锂辉石带	0.066		1.360
强钠长石化带	0.109	0.110	0.680
云英岩化带	0.115		0.030
绢云母化钠长石化带	0.099	0.0819	0.250
伟晶岩平均含量	0.090	0.088	0.620

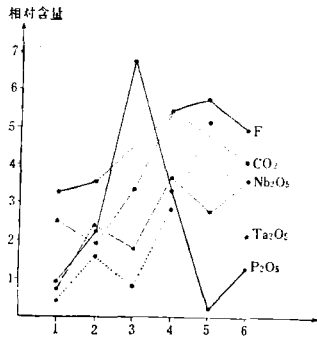


图 5 成矿元素铌钽与挥发组份相关曲线图

Fig. 5. Correlation of metallogenic elements Nb, Ta and volatile components.

1—花岗岩；2—石英微斜长石带；3—石英锂辉石带；4—强钠长石化带；5—云英岩化带；6—绢云母化钠长石化带

即伟晶岩从简单到复杂，稀有元素按 TR→ΣY、Nb→Nb、(Ta)、Be→Ta、(Nb)、Li→Ta 的方向演化，分别在岩体及远离岩体的变质岩中形成不同类型的伟晶岩。

在伟晶岩成矿过程中，挥发份对稀有元素的迁移与富集有着重要作用。据花岗岩岩石化学分析及包裹体微量气体分析表明(表 6)，F、CO₂ 的含量从花岗岩到伟晶岩晚期交代阶段是递增的，并与铌钽的含量呈同步消长关系(图 5)。P₂O₅ 增减趋势波动较大。

稀有元素铌、钽可与挥发份组成氟的络合物、碳氧络合物形式迁移，其中钽的迁移能力大于铌，因此本区富钽型伟晶岩远离母岩分布。

碱质交代作用特别是钠长石化作用是本区伟晶岩铌、钽矿化最重要的成矿作用，它使得早期矿物中呈分散状态存在的稀有元素铌、钽等发生活化转移并富集成矿。

据矿物中包裹体测温，伟晶岩形成温度为 400—180℃，富钽伟晶岩主要在较低温条件下形成(260—180℃)。伟晶岩钠长石化程度、成矿温度、稀碱元素含量及空间分布位置等因素，可作为本区找寻富钽伟晶岩的依据。

工作中得到徐克勤教授、刘英俊副教授、仇年铭、李绪章、福建地质二团大力支持，借此谨致谢忱！

参 考 文 献

- [1] 地质科学院地质矿产研究所稀有组 1975 中国稀有金属矿床类型 地质出版社
- [2] 李兆麟 1979 微斜长石碱性蚀变条件实验成岩成矿实验研究 科学出版社 64—69
- [3] 王玉荣等 1979 花岗岩结晶过程晚期铌钽富集成矿的地球化学机理探讨 地球化学 第四期 283—291
- [4] Cerny and A. C. Turnock, 1972, Distribution of rare elements in pegmatites of southeastern Manitoba, Section 10, Geoch. 24th Canada.
- [5] Солодов Н. А., 1962, Внутреннее строение и геохимия редкометаллических гранитных пегматитов. Изд. АН СССР 7—35.
- [6] Гинзбург А. И., 1955, Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. Тм. АН СССР, 12—53.
- [7] Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 1, 1964, Изд. «Наука» 107—117.

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF A CERTAIN PEGMATITE ORE FIELD OF RARE METALS IN FUJIAN PROVINCE

Li Zhaolin, Zhang Jinzhang, Wu Qizhi and Ouyang Zhonghui

(*Department of Geology, Nanjing University*)

Abstract

The ore field in question occurs in early Sinian metamorphic rocks, assuming intrusive contact with the adjoining rocks. On its east and west sides two intrusions—granitic bodies A and B—crop out, which contain in average one to five times as many Nb and Ta as acidite. The pegmatites are mostly found distributed in metamorphic rocks as lenticular or stratoid veins, only a few of them are observed in granites.

Pegmatites in this ore field might be divided into five types: I. biotite-microcline-albite pegmatite; II. muscovite-albite-microcline pegmatite; III. weakly albitized muscovite-microcline pegmatite; IV. albitized spodumene-microcline pegmatite; V. intensely albitized pegmatite. In spatial distribution, pegmatites alter regularly with the increasing distance from the granitic bodies: 1) types of pegmatites change from simple to complex; 2) metasomatism grows from weak to strong; 3) mineralization of rare elements varies in the order of REE→ Σ Y, Nb→Nb(Ta)Be→Ta(Nb)Li→Ta; 4) the ore-forming temperatures fall gradually.

The pegmatite-forming process might be divided into two periods—original crystallization and replacement. During the former period, as a result of magmatic crystallization differentiation, the melt-solution brought out massive microcline and quartz, and also gave birth to tabular columbite, variscite, beryl, etc. The alkali metals evolved in order of Ca, Na→K→Li→K (Li). Due to the accumulation of volatiles and H₂O, the earlier crystallized minerals tended to undergo albitization, greisenization and sericitization by replacement. With the intensification of albitization, Nb and Ta contents increased, and columbite, tantalite and microlite were separated out. During the replacement stage, alkali metals evolved in order of Na→K(Si)→Li(Na)→K(Rb).

Following is a summary of the geochemical characteristics of rare elements in pegmatites of this field.

Nb, Ta: From type I to V and from early to late stage, Nb, Ta contents as well as Ta_2O_5/Nb_2O_5 ratio increase. Ta-rich pegmatites are generally distributed far from the parent intrusion, where elevations are relatively high.

Be: Be content increases from type I to III with more beryl separated out, and decreases to some extent in types IV and V. It increases with the intensification of albitization in various replacement assemblages.

Li: Li_2O content increases from type I to IV with spodumene and anbygonite being separated out in type IV, then decreases in type V.

Rb, Cs: Rb and Cs vary in a similar way, which has much to do with K. The ratio of Cs/Rb decreases progressively from type I to V (from 13 to 3.4).

The homogeneous temperatures of inclusions in pegmatitic minerals fall from type I to IV ($400-180^{\circ}C$) and Ta-abundant pegmatites were formed at lower temperatures ($260-180^{\circ}C$). CO_2 content in inclusions increases or decreases in direct proportion to the contents of Nb and Ta.

The formation of pegmatites is evidently related to the intrusion of granites on both east and west sides. Following this intrusion, melt-solution were formed at the late stage of crystallization differentiation, which migrated and subsequently produced pegmatites under relatively closed conditions. Late stage hydrothermal replacement further concentrated rare elements, forming Nb, Ta-rich pegmatites. Pegmatites were formed in an unstable structural environment subjected to various degrees of stress. That accounts for their characteristic banded structures. Such factors as the intensity of albitization, mineral-forming temperatures and characteristics of spatial distribution serve as indicators in search for Ta-rich pegmatites.

<http://www.kcdz.com/>