

赣南花岗岩矿床

林运淮 陈世扬

(江西省地矿局赣南地质调查大队)

本文根据江西南部邻近地区近年来普查勘探和科研成果, 综合整理了与花岗岩有关矿床的类型、形成时期、分类和地质特征, 以飨读者, 错误之处, 尚希指正。

花岗岩矿床的含义

本文所述的花岗岩, 主要指黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩, 不包括辉石花岗岩、角闪石花岗岩、白岗岩以及碱性花岗岩。所谓花岗岩矿床, 是指成矿物质直接来自花岗岩浆或花岗岩石, 而且产于花岗岩中或其附近 1~2 km 范围内的矿床。矿床的形成是同一岩浆分异演化和气液作用的产物, 或由于花岗岩表生作用生成。在时间上花岗岩形成在矿床之前, 在空间上往往是矿床的围岩。这类矿床, 一般是原地生成的, 迁移异地一般很少超过原岩分布范围。

花岗岩类型和矿床形成时期

一、花岗岩类型 与铌钽、钨、铀、稀土等矿床有成生联系的花岗岩, 一般均富含硅、铝过饱和、偏碱, 绝大多数有钾大于钠的特征。除个别海西期花岗岩与花岗伟晶岩铌钽矿床有成因联系, 其它主要为燕山期不同阶段的产物。

据根大量测温数据, 花岗岩的成岩温度一般在 500~800℃, 主要在 600~700℃; 花岗岩锶同位素 Sr^{87}/Sr^{86} 初始值为 0.7135, 0.7110 (加里东期花岗岩岩基全岩值), 0.7128 (燕山期第三阶段花岗岩基全岩值), 0.7153 (燕山早期第二阶段花岗岩岩基全岩值)。氧的同位素 δO^{18} 9.84‰ (行洛坑), 9.8~13.01‰ (西华山)。由上可知, 花岗岩锶同位素 $Sr^{87}/Sr^{86} > 0.710$, 说明花岗岩的形成是陆壳物质改造的产物。根据花岗岩的地质特征, 可分为侵入型和原地一半原地型花岗岩。

侵入型花岗岩主要有燕山期各阶段侵入的岩脉、岩瘤、岩株和大部分岩基; 加里东期、海西期及印支期的岩株、岩瘤和少数岩基。它们的特点是与围岩接触, 一般有明显的界线, 在岩体周围一般有热变质晕

圈、冷凝边和不同的岩相带, 具流线和流层构造等, 俘虏体杂乱无章, 与区域构造线无成因联系。

原地一半原地花岗岩, 主要有各时期巨型花岗岩基, 部分产在区域性混合岩化地带, 岩石结构较粗, 有较大的斜长石斑晶排列, 与区域构造一致, 岩体内有残留阴影和片麻状构造, 和围岩呈过渡关系: 由混合花岗岩→混合岩→变质岩。在岩体边缘, 往往发育着肠曲状伟晶岩。在同一岩基中, 往往又存在着侵入作用的种种特征, 又有原地形成的迹象。

鉴于上述, 二类花岗岩的物质来源于陆壳, 原地一半原地型花岗岩部分具流动特点, 但侵位离原地较近, 岩浆分异程度低, 成矿作用差, 但岩石的表生溶液作用可形成风化壳型稀土矿床。侵入型花岗岩因流动大, 侵位高, 岩浆晚期自变质交代作用和气化作用较强, 演化程度较深, 形成大量的铌钽、钨、铍、锡、铋、钼、铅、锌、铀等原生矿床, 以及表生溶液作用形成的溶滤型铀矿床, 风化壳型稀土、铌钽矿床等。

原地一半原地型和侵入型花岗岩的空间关系, 自上而下由侵入花岗岩→半原地花岗岩→原地花岗岩; 在规模上由小而大; 由岩瘤(脉)→岩株→岩基→巨型岩基。在地表出露的岩瘤和岩株, 均为深部(数公里内)的原地一半原地花岗岩基的凸起伸出部分。

二、矿床的形成时期 不同时期花岗岩的矿床种类是有差别的。这不仅决定于岩浆原始造矿元素丰度和分异演化程度, 而且与多期多次成矿作用有关。

加里东期花岗岩仅有稀土磷酸盐矿物(独居石、磷钇矿)和锡石作为副矿物产出。海西期花岗岩开始形成伟晶岩型铌钽矿床。印支期岩体少, 分异差, 仅在副矿物中有独居石、磷钇矿及黑钨矿、晶质铀矿。

燕山期花岗岩侵入是铌钽、钨、锡、铍、铋、钼、铅、锌、铀和稀土的主要成矿期, 花岗岩由老而新的演化, 重叠交替产生黑钨矿床→铌钽矿床→铀矿床→稀土矿床; 亦反映了自高中温→中低温的成矿顺序。早期以钨—铍、钨—锡、钨—钼、钨—铜—铅—锌矿床为主, 成矿年龄自 1.32~1.85 亿年(图 1)。铌钽矿床的形成与燕山早期晚阶段的偏钠岩体有关, 成

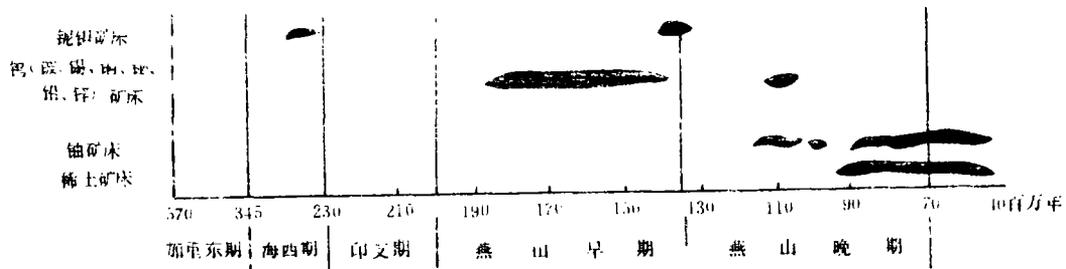


图1 花岗岩型矿床的主要成矿时期

矿年龄自1.32~1.40亿年，多次产生。中低温热液铀矿床自1.42亿年开始形成，但在燕山晚期铀源体剥露地表后，才是铀矿床的全盛期。稀土矿床形成时期较晚，在花岗岩体剥露地表后开始成矿，这可能与铀表生富集形成时期相当。

花岗岩矿床的分类及其地质特征

根据成矿物质来源，结合成矿作用、矿体产出部位和矿物组合等因素，将花岗岩矿床划为二类五型十四亚型（表1）。

一、矿质直接来自花岗岩浆内生成矿作用形成的矿床

(一) 变花岗岩型矿床 所谓变花岗岩，是指花岗岩结晶晚期自变质交代作用形成的钾长石化、钠长石化、云母（白云母、黑鳞云母、铁锂云母、锂云母等）化和云英岩化花岗岩。因在成分上相当于花岗岩类中的碱长岩，而在结构上不同于正常结晶的黑云母花岗岩，又不像气液矿物，故称为变花岗岩；在变花岗岩形成过程产生的矿床，称为变花岗岩型矿床。

这类矿床的形成期，处在花岗岩浆结晶晚期至气成热液期的过渡阶段，既有花岗岩浆晚期矿床的种种特征，又有岩浆期后气液矿床的种种迹象，没有截然的界限。因此，过去曾称之为气化—高温热液矿床。变花岗岩型矿床实际上是岩浆晚期至气液矿床的过渡型，其主要地质特点是：

1. 矿床主要分布在燕山花岗岩带中的小岩体群出露地段和岩基的边缘，其位置受岩浆—断裂控制，在两组断裂复合附近尤为明显（图2），往往呈串珠状分布。

2. 矿床围岩，主要有元古代—上古生代石英砂岩、板岩、片岩、混合岩和变粒岩，以及燕山早期的花岗岩。

3. 矿床产在大岩体的突出部位，或岩株、岩基舌状伸出的变花岗岩中。矿体一般 $<0.1\sim0.3\text{km}^2$ 、 $>0.3\text{km}^2$ 者一般具多形特征。

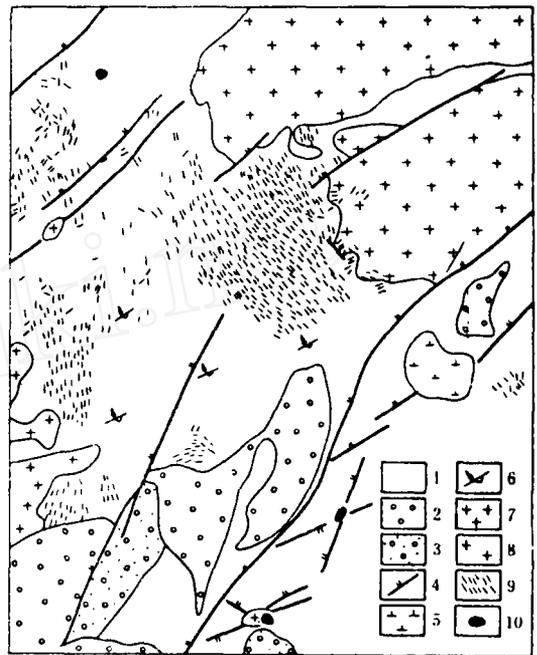


图2 变花岗岩型花岗岩伟晶岩型铌钽矿田平面示意图

(据909队资料综合)

- 1—前震旦系地层；2—白垩系；3—上侏罗统；4—断裂；5—海西期花岗岩；6—倒转褶皱；7—海西期花岗岩；8—燕山期花岗岩；9—花岗伟晶岩脉；10—钠长石化变花岗岩型铌钽矿体

4. 矿床矿物的组合特点：有大量岩浆早期结晶的造岩矿物和副矿物，如斜长石、石英、钾长石等，亦有强烈蚀变交代产生的大量（ $>10\%$ ）新矿物，如钾长石、钠长石、浅色云母等，可分为：

(1) 钠长石化花岗岩型铌钽矿床矿物组合，如黑鳞云母—钠长石组合、白云母—钠长石组合、铁锂云母—黄玉—钠长石组合，均以含大量钠长石（19~50%）和白云母（3~20%）、黑鳞云母为特征。工业矿物主要为铌钽铁矿和细晶石、白钨矿、黑钨矿等。白云母—钠长石化组合与铌钽、钨关系密切。

(2) 钾长石化—蒙脱石化—绢云母化花岗岩型钨钼矿床组合, 属多蚀变类型, 并伴有云英岩化和多期钾长石化。工业矿物有黑钨矿、白钨矿和辉钼矿, 其他有赤铁矿、磷灰石、独居石、锆石、萤石、褐帘石等四十余种。

(3) 浅色云母化花岗岩型钨钼矿床矿物组合, 特征矿物有 7~10% 浅色云母, 大量微斜长石 (30~45%)、斜长石 (15%)、石英 (30~35%), 白钨矿、黑钨矿、辉钼矿等嵌布在造岩矿物粒间, 其他矿物有黄铜矿、黄铁矿、辉铋矿、磁铁矿、钛铁矿、板钛矿、方铅矿、闪锌矿等五十余种。

5. 变花岗岩型矿床, 部分有明显的分带性, 如钠长石化变花岗岩型钨钼矿床, 自边缘往中心为似伟晶岩带→云英岩带→钠长石化带→黑云母花岗岩。

6. 变花岗岩矿床的形成, 根据矿石一般呈浸染状或细脉浸染状, 钨钼矿物大量被包围在造岩矿物和蚀变矿物中以及黑钨矿、白钨矿、辉钼矿等嵌布在造岩矿物粒间, 表明其形成是在岩浆结晶晚期至自变质交代作用阶段。随着交代作用的进行, 造岩矿物中的造矿元素大量产生活化转移。如黑云母中的钨和钨钼, 转化为白云母时, 比黑云母显著的降低 1~10 倍多 (表 2)。释出的钨与钙结合而形成白钨矿, 与铁锰结合而产生黑钨矿。释出的钨钼重新组合形成钨钼铁矿。

行洛坑单矿物分析表 (ppm) 表 2

矿石名称	样数	WO ₃	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
黑云母	5	8710	219	44
长石(斑晶)	5	284	8	8
白云母	12	2880	18	22

(据矿区勘探报告)

在花岗岩浆自变质交代作用至气化期的成矿热液, 据变花岗岩中黑钨矿石英脉的石英 δO^{18} 值为 12.41% (行洛坑) 与西华山花岗岩中黑钨矿石英脉 δO^{18} (12.50%) 值近似, 由此表明变花岗岩型矿床中的成矿热液, 是直接来自花岗岩的原始岩浆水。

(二) 花岗伟晶岩型钨钼矿床 这类矿床分布在海西期和燕山期花岗岩的内外接触带。矿床围岩为下古生代变质砂岩、板岩和花岗岩, 并严格受断裂裂隙构造控制, 呈群、带展布 (见图 2), 构成面积达数百平方公里的矿田, 伟晶岩脉可多达万条。

伟晶岩的造岩矿物主要有微斜长石 (20~45%), 更长石 (0~3%), 钠长石 (0~45%), 石英 (0~30%), 黑云母 (0~10%), 白云母 (0~10%) 等。根据矿物组合及与稀有元素富集关系, 分为二类型。

1. 原始结晶型, 根据矿物组合可分为:

(1) 微斜长石—更长石—黑云母组合, 含较多的更长石, 无钠长石和白云母。并有独居石、磷钨矿、锆石、磁铁矿、复稀金矿等。

(2) 微斜长石—更长石—二云母组合, 一般有磷钨矿、黑稀金矿、独居石、锆石等。

(3) 微斜长石—更长石—钠长石—白云母组合, 无黑云母, 主要稀有元素矿物有钨铁矿、钽钨铁矿、黑稀金矿、磷钨矿、绿柱石等。

2. 交代型, 由于钠长石化、白云母化和锂云母化作用, 形成主要的钨钼矿体。可分为:

(1) 钠长石—微斜长石—白云母组合, 无更长石和黑云母, 含大量的钨钼铁矿, 与钠长石呈消长关系, 稀有元素矿物还有钽钨铁矿、钨钼矿、钨钼钨矿、黑稀金矿、绿柱石、磷钨矿等。

(2) 锂辉石—钠长石—微斜长石组合, 无更长石和黑云母。白云母占 5~10%, 与钽关系密切 (Ta_2O_5 达 0.15%), 主要稀有元素矿物和副矿物有钽钨铁矿、钨钼矿、黑钽钨矿、钨钼钨矿、细晶石、锂云母、磷钨石、红绿电气石等。

伟晶岩的结构分带由边缘至核心一般是细粒结构带→文象结构带→中粒结构带→微斜长石 (锂辉石) 石英块体带→石英核, 并非所有的带同时出现, 往往缺少其一或其三。

伟晶岩的交代蚀变作用, 主要以钠长石化、云英岩化为主, 其次有绢云母化、黝帘石化、硅化、萤石化、碳酸盐化等。

根据伟晶岩矿床气液矿物和自变质交代蚀变类型, 内部有不同的冷凝分带特征。形成温度 455~503℃。常逐渐变为变花岗岩或黑云母花岗岩, 且矿物组合亦较近似。距离花岗岩由近而远的伟晶岩脉中稀有元素按 $\Sigma Ce \rightarrow \Sigma Y \rightarrow Nb \rightarrow Ta \rightarrow Li$ (Rb, Cs) 方向演化, 其形成可能是和变花岗岩具相同的花岗岩浆, 在岩浆结晶晚期, 由于挥发份大量集中, 形成富含挥发物的熔浆, 随着构造变动而侵入断裂裂隙中, 形成含稀有金属的伟晶岩型矿床。

(三) 气成—热液矿床 花岗岩浆结晶期后分离出的大量含矿热液和其它挥发组分, 进入断裂裂隙中, 随着温度的下降而断续的形成气化—高温 (300~500℃), 中温 (200~300℃), 低温 (50~200℃) 热液矿床。

这类矿床的成矿热液来源, 根据稳定同位素的测定结果表明: 西华山花岗岩脉中黑钨矿石英脉的石英 δO^{18} 平均值为 12.50%。花岗岩 δO^{18} 绝大部分为

11.72~13.01%，角岩 δO^{18} 为10.38%，岩株外围变质岩中的钨锡铍石英脉的石英 δO^{18} 平均值为13.01%。表明钨锡石英脉与花岗岩的 δO^{18} 值大体一致。据实验研究：在高温条件下岩浆水的氧同位素与岩浆中晶出的深成岩是处于平衡状态的，而且分馏效应很小。由此可以认为深成岩的 δO^{18} 值，与岩浆水的 δO^{18} 值是一致的。据此表明，钨、锡、铍矿床的成矿热液，是直接来自花岗岩的原始岩浆水。

1. 气成—高温热液型矿床，主要有夕卡岩型、云英岩型和石英脉型。

(1) 夕卡岩型白钨矿—铅锌矿床：这类矿床是夕卡岩化作用和矿化作用的重合，一般经岩浆期后气液双交代或接触渗滤交代形成，产在花岗岩和碳酸盐类岩石接触带附近，受接触带构造控制。有的矿产在夕卡岩旁侧，往往有明显的碱质交代作用。钠长石化及钾长石化在内接触带广泛存在，往往由于围岩中的钙进入花岗岩中而大量出现钙长石、中长石等组成斜长石。在碱质交代岩中或其附近，形成白钨矿富矿体。组成自岩体至未蚀变的原岩出现了花岗岩→碱质交代岩（矿体）→夕卡岩（矿体）→碳酸盐岩的带状分布。

白钨矿一般呈浸染状、小脉状分布在夕卡岩里，矿体形态呈囊状、透镜状、港湾状、扁豆状，形态复杂。

夕卡岩形成过程大体经历了二个时期：①夕卡岩化时期，早期出现无水硅酸盐，如透辉石、钙铝—钙铁榴石、符山石、硅灰石、方柱石等。这些矿物经均一法测定，形成温度为400~440℃，此后，便开始形成钾长石、斜长石等。其次为白钨矿、锡石、日光榴石、香花石、磁铁矿等。②石英硫化物期，早期生成绿帘石、绿泥石、绢云母、碳酸盐、石英。金属矿物有白钨矿、辉钼矿、磁黄铁矿、毒砂等。形成温度为213~245℃，相当于中温热液阶段。晚期大量产生石英、碳酸盐类矿物、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等。不同矿床其矿化亦有明显差别。

由于矿化作用的多期性，夕卡岩白钨矿床往往被云英岩或不同期次的含钨细脉带重叠，形成规模巨大的白钨矿—黑钨矿矿床。

(2) 云英岩型钨—锡、钨矿床：这类矿床是矿化气液充填交代的产物，一般分布在岩株顶部或岩基边缘，上部为变质岩不透水层隔挡。主要受断裂裂隙控制，呈线状产布。云英岩一般分布在显微细脉—细脉—大脉两侧，如石英脉间距较密则联合而成规模巨大的带体。在带体中石英脉的总厚一般只占云英岩总

厚3~5%，云英岩又可分为富云母云英岩和富石英云英岩。

云英岩矿体形态一般呈带状、囊状、扁豆状。

矿物共生组合有黑钨矿—锡石组合、锡石组合两种。共生矿物一般均有绿柱石、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等。非金属矿物有石英、黄玉、白云母、铁锂云母、萤石、长石等矿物。黑钨矿、锡石不但分布在石英脉中，而且相当部分浸染在云英岩里。

(3) 石英脉型钨、钨—锡、钨—铍、钨—铋、钨—钼、钨—铜—铅—锌矿床：按其产出部位可分为花岗岩中的石英脉（大脉、细脉）型、围岩（外接触带变质岩）中的石英脉（大脉、细脉）型矿床。均严格受断裂裂隙控制，按一定格式展布。

①花岗岩中的石英大脉型和石英细脉带型矿床。按工业矿物组合有钨—锡矿床、钨—铍矿床，多分布在岩基或岩株边缘，矿脉（带）上延至变质岩突然中断或变为硅化线。

主要矿物在垂直方向的变化，上部锡石、绿柱石、黄玉、白云母、黑钨矿较富；中部有辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、绿柱石、石榴石等，黑钨矿逐渐贫化；下部锡石绝迹，黑钨矿极微。硫化物虽然减少，但延深比黑钨矿大得多，碳酸盐矿物大量出现。围岩蚀变上部主要为云英岩化，往下为硅化、钾化等。

②围岩（外接触带变质岩）中的石英大脉型和细脉带型矿床，是黑钨矿床的主要类型。主要有钨—锡矿床、钨—铍矿床、钨—钼矿床、钨—锡—铜—铅—锌矿床。主要分布在震旦系至寒武系砂页岩中，泥盆系、二迭系、侏罗系中较少。在矿床附近或垂深2~3km内，一般有花岗岩（或隐伏的）存在。

大脉组和细脉带垂直方向的变化，总趋势是往上撒开，往下收敛或趋于合并断续插入隐伏的岩体中。

矿床的矿物组合在垂直方向的变化：上部黑钨矿晶体细小（0.05~0.1cm），锡石及白云母微量。围岩蚀变有白云母化、黄玉化、黄铁矿化、电气石化、硅化等。中部矿物组合非常复杂，钨、锡自上往下逐渐变富，晶体变粗，辉钼矿、辉铋矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、长石等大量产出，铋钼逐渐增多。围岩蚀变主要为硅化、绿泥石化、黄铁矿化。下部仅见微量黄铜矿、黄铁矿和大量碳酸盐类矿物，锡石、绿柱石等一般均已绝迹。硫化物随着石英大脉往下尖灭而消失。围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、碱性长石化。

2. 高中温热液—石英脉型钨、铅—锌—铍矿床：主要有石英脉型黑钨矿—白钨矿矿床、白钨矿床、铅锌矿床。其形成温度为206~309℃。矿床的矿物组合特点，铜铅锌硫化物普遍大量出现，种类繁多，气化至高温热液矿物大量减少，钨矿物多出现白钨矿、钨锰矿和钨铁矿。围岩蚀变种类有绿泥石化、硅化、萤石化、绢云母化等。但往往亦有少量的气化—高温蚀变类型。

(1) 石英大脉型钨矿床：多产于外接触带，若围岩为碳酸盐，多为白钨矿石英脉；若围岩为硅铝质变质岩，多为黑钨矿石英脉。呈平行大脉组或网状大脉延伸，严格受断裂裂隙按一定格式展布。矿物组合主要为黑钨矿组合、白钨矿组合、黑钨矿—白钨矿组合。共生矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿；方解石、磷灰石、长石、玉髓、滑石、石榴石、绿泥石等。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、夕卡岩化、绿泥石化等。

(2) 石英细脉型铅—锌—铍矿床：这类矿床多分布在复式岩基边缘突出部位，或在岩基中的晚期细粒花岗岩小侵入体的内外接触带（图3）。矿体由石

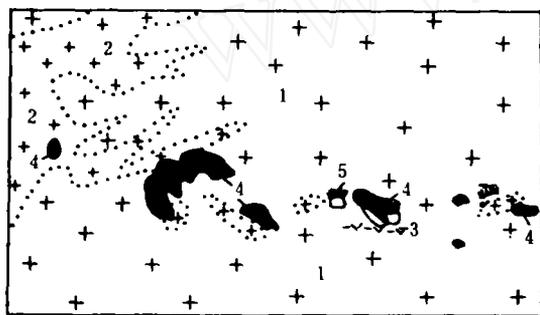


图3 漠山钨铅锌矿床地质示意图

- 1—粗粒黑云母花岗岩；2—细粒斑状黑云母花岗岩；3—伟晶岩脉；4—铍铅锌矿体；5—绿泥石化岩

英细脉—硫化物细脉穿插，或呈细脉浸染状铅锌矿及日光榴石组成。呈囊状、透镜状。矿石成分主要有方铅矿、闪锌矿、日光榴石。还有锡石、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、萤石、正长石、绿泥石、绢云母、白云母、方解石、阳起石、电气石、锆石等。围岩蚀变主要为绿泥石化，呈面形展布，其它有萤石化、绢云母、硅化等。

3. 中低温热液—石英脉—硅化破碎带型铀矿床：矿床形成温度120~280℃，矿床主要分布在燕山期复式侵入体的晚期小岩体附近，严格受断裂破碎带

控制。矿化带一般由赤铁矿化硅化岩、赤铁矿化硅化破碎带和成矿后的萤石石英脉组成，矿体呈脉状、透镜状、扁豆状。

矿床矿物组合简单，主要为沥青铀矿，其次为磷铀矿、钙铀云母、变钙铀云母、硅铀矿、铀黑。可分为①石英—赤铁矿—黄铁矿—沥青铀矿—方铅矿—萤石—绢云母组合；②石英—黄铁矿—沥青铀矿—方铅矿—萤石—黄铜矿—闪锌矿组合。其它矿物有绢云母、方解石—绿泥石等。围岩残留的矿物有微斜长石、斜长石、磷灰石、锆石、褐帘石、白云母等。

成矿前的蚀变有钾长石化、钠长石化、白云母化、云英岩化等。与铀关系密切的是硅化，且具多期特征，形成含沥青铀矿赤铁矿化硅化岩，沥青铀矿主要在硅化作用期间沉淀形成。含沥青铀矿、黄铁矿化硅化岩、钾长石化、赤铁矿化与铀有密切联系。绢云母化、粘土化等均较发育。

铀矿体多分布在后期隐伏的小侵入体附近，且多呈盲矿体产出。成岩成矿的时差较小，如沥青铀矿的年龄为0.75~1.14亿年，矿床围岩（花岗岩）为1.15~1.53亿年。由此表明成矿热液可能是花岗岩浆演化末期的残余岩浆水。铀以六价的铀酰硅酸盐络合物搬运，沿着断裂破碎带充填，U⁶⁺还原成U⁴⁺沉淀沥青铀矿。伴随着赤铁矿化、黄铁矿化、绢云母化及强烈的硅化作用而形成矿床。

二、矿质直接来自花岗岩的表生作用形成的矿床

(一) 溶滤型矿床 这类矿床的成矿物质，来源于已固结的花岗岩中，成矿热液是大气降水沿着孔隙或断裂渗透到深处，随着温度的升高和溶解力的增强，溶解花岗岩中的活性铀循环回返上升到有利的构造裂隙中富集，形成矿床。

1. 溶滤型铀矿床种类的划分

根据矿体形态、矿物组合和结构构造，可分为三种不同的亚型。

(1) 微晶石英脉型铀矿床：主要由大量红、黑色粒度极小（0.01~0.1毫米）的石英和微量的沥青铀矿、胶黄铁矿、胶赤铁矿（水针铁矿）等组成。脉幅一般自十厘米至数米，延长自数十至数百米，个别在千米以上。近矿围岩蚀变有水云母化和褪色化。

(2) 黑色萤石石英细脉型铀矿床：由大量的黑色萤石和微晶石英组成，单脉宽多自数毫米至数厘米，呈复脉或较密切的细网脉带产出，含铀矿物为含铀萤石和铀青铀矿，其它矿物有胶黄铁矿和白铁矿等。含铀萤石颗粒细小，结晶不良。脉侧围岩蚀变有水云母化。

(3) 微脉浸染型铀矿床: 主要由小于0.1~0.01 mm的含铀黑紫色萤石脉及沥青铀矿等显微细脉在花岗岩中穿插交织密切而成, 脉间围岩具强烈的水云母—黄铁矿化, 单体微脉短小, 但排列紧密, 断续延展构成规模较大的微脉浸染状矿体。近矿围岩蚀变普遍有粘土化。铀呈吸附状态分布在铁质和粘土矿物(水云母)和微斜长石的集合体中。这类矿床在成矿前, 围岩一般产生过强烈的自变质交代作用, 如钾长石化、钠长石化, 尤以白云母化较普遍。

2. 矿床分布特点: 一般分布在成矿前已剥露地表 >1000 km² 的复式岩基中, 由主体燕山期花岗岩, 次为加里东期、海西期和印支期花岗岩体组成, 并有多期的脉岩活动穿插(图4)。

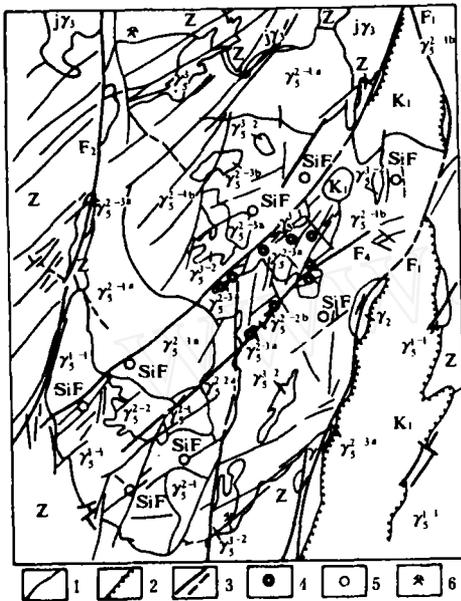


图4 某铀矿田矿床(点)分布示意图
(据傅增耀)

白垩系: K₁—紫色砂砾岩、页岩、泥岩; 震旦系: Z—千枚岩、片岩、片麻岩、混合岩; 燕山晚期: γ_5^{2-2} —细粒或中粒花岗岩; γ_5^{3-1} —细粒或中粒黑云母二长花岗岩; 燕山早期: γ_5^{2-3b} —中细粒二长花岗岩; γ_5^{2-3a} —中粒二云母花岗岩或中粒小斑状黑云母花岗岩; γ_5^{2-2b} —中细粒斑状黑云母花岗岩; γ_5^{2-2a} —中粒斑状黑云母花岗岩; γ_5^{1-1b} —粗中粒斑状黑云母花岗岩; γ_5^{1-1a} —中粗粒斑状黑云母二长花岗岩; 印支期: γ_5^{1-2} —中粗粒斑状黑云母花岗岩; γ_5^{1-1} —片麻状中粗粒斑状黑云母二长花岗岩; 加里东期: $j\gamma_5$ —各类混合岩; γ —时代未定混合岩; 1—地质界线; 2—不整合界线; 3—实测、推测断层; 4—矿床; 5—微晶石英、萤石脉型矿床、矿点; 6—铀矿

3. 产铀花岗岩(简称铀源体)的含铀丰度: 一般自10~35 ppm, 比一般花岗岩含铀丰度(4 ppm)高数十至数十个数量级。铀在各时期花岗岩中的丰度, 一般随着其演化和由老至新而渐次升高(表3)。

4. 铀在铀源体中的赋存状态: 花岗岩体未受蚀变影响的全岩铀, 主要是显微晶质铀矿和含铀副矿物晶体, 分布在黑云母及长石等造岩矿物中的绝大多数是活化铀, 如花岗岩自变质和碱交代作用, 铀大量活化转移, 据化学分析, 其释放率可达91%(表4)。特别是浅色云母化形成过程, 黑云母中的锆石、独居石等包裹体矿物分解, 并把类质同象的铀释放, 重新分配结合而形成晶质铀矿。如桃山岩体某铀矿床黑云母花岗岩中晶质铀矿只有1.43 g/t, 经交代作用变为二云母花岗岩时晶质铀矿增至5.93 g/t。在二云母花岗岩(5 kg重砂)中的晶质铀矿球在百粒以上, 最高达千粒以上。

5. 铀源体和铀矿床形成的时差: 铀源体剥露地表的风化作用, 使氧化带中的晶质铀矿逐渐全部体解消失, 其它含铀矿物亦不同程度的减少, 如某矿床在花岗岩中自地表至深部的变化: 0~40 m(无)→60 m(微)→135 m(还原带有1.3 g/t)→170 m(正常花岗岩1.5 g/t)。又如桃山二云母花岗岩铀含量27 ppm, 氧化带中铀含量降低到7.2 ppm。这是由于表生的氧化作用, 使岩体中的晶格铀转化为活性铀。大气降水使其转变为易溶的六价铀酰络合物, 沿孔隙断裂裂隙迁移, 有的在途中被粘土矿物、铁质、绿泥石和胶体矿物所吸附。有的随着地下水热液上升循环回返沿着裂隙上升, 随着温度和压力的降低, 经过一定的氧化导致络合物的体解, 在适宜构造裂隙中沉淀为沥青铀矿。

从铀源体的产生直至沥青铀矿的形成, 其时差达0.66~1.21亿年。即由侏罗纪燕山早期开始形成铀源体, 白垩纪—第三纪燕山晚期—喜山期形成矿床。这又说明了铀成矿作用是在花岗岩体剥露地表后进行的。

(二) 风化壳型矿床

1. 离子吸附型稀土矿床

(1) 矿床的母岩: 主要有黑云母花岗岩、钾长花岗岩、正长花岗岩、二长花岗岩、白云母花岗岩、二云母花岗岩等。虽然其形成时代不同, 矿物组合和TR含量不一, 但在有利的环境中, 均可形成离子吸附型矿床。据对百余个矿点(床)的统计: 大中型矿床分布在加里东期花岗岩中占39%, 海西期占6%, 印支期占6%, 燕山早期占39%, 晚期占10%。

燕山岩体含铀率度变化情况表 (据李俊慈, 略有变动)

表 3

期	阶段	代表性岩体	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	晶质铀矿 (g/t)
燕山 晚期	γ_5^{3-3}	花岗岩	9.20	33.40	3.60	
	γ_5^{3-3}	煌斑岩	5.25	21.00	4.00	
	γ_5^{3-2}	细粒花岗岩	16.00	13.00	0.80	
	γ_5^{3-1}	罗布里	12.00	19.00	1.60	
燕山 早期	γ_5^{2-3b}	大符上	12.00	25.00	2.10	6.88~2
	γ_5^{2-3a}	打鼓寨	19.30	28.10	1.50	
	γ_5^{2-2b}	罗坑	14.00	21.00	1.50	
	γ_5^{2-2b}	均峰	13.00	35.00	2.70	3.05
	γ_5^{2-1b}	斜脑上	15.00	21.00	1.40	
	γ_5^{2-1a}	黄陂	4.00	24.00	6.00	
印支期	γ_5^{1-2b}	三谷寺	6.90	32.00	4.60	0.83
	γ_5^{1-2a}	上银坑	7.60	73.50	9.70	
	γ_5^{1-1}	蔡江	6.00	22.00	3.70	
加里东期	γ_3	漳灌	5.40	40.10	7.60	
Z-C变质岩			3.88			

白云母花岗岩、白云母、黑云母含铀量分析表 (据刘义发资料)

表 4

样品号	全岩含铀量 (ppm)	黑云母占岩石中矿物重量 (%)	黑云母含铀量 (ppm)	白云母占岩石中矿物重量 (%)	白云母含铀量 (ppm)
1	5.8	4.7	32	2.1	6
2	15.6	4.7	56	3.6	3.6
3	29	3	260	4.0	2.1
4	23	—	45	—	12.5
5	125.5	—	1100	—	9
6	21.8	—	165	—	15.5
7	36	—	300	—	20.7
8	19.8	—	84.5	—	21
9	9.4	—	58	—	12
10	17.8	2.2	223	6.1	—
11	12	—	30	—	—
12	14.4	6.2	39	1.1	—
13	12.8	—	25.5	—	—
14	12	4	39	2.8	—
15	19	—	60.5	—	—
16	14.4	—	195.5	—	—
平均含量	24.3	—	169.5	—	—

稀土矿物和稀土元素在母岩中的分布比较均匀, 其赋存状态: ①在岩浆结晶期形成的独立矿物, 如独居石、硅铍钇矿、磷钇矿、硅铈钇矿等。②包裹在花岗岩的造岩矿物中, 呈类质同象或固体分散相, 如黑云母中含 TR_2O_3 0.09%, 长石0.01~0.018%, 石英0.004%, 白云母0.09%。其它矿物如磁铁矿, 含 TR_2O_3 达0.22%, 磷灰石1.45%, 锆石0.33%等。③在岩浆自变质交代作用阶段, 稀有元素重新组合分配, 生成部分新的稀土矿物, 如褐钇铈矿、氟磷钙钇矿、磷钇矿、钽钇矿等。在热液期仍有稀土矿物形成, 但较次要。母岩中 TR_2O_3 含量, 随着花岗岩由

老而新的演化而逐渐增加 (表 5)。

各时期花岗岩稀土含量表 (ppm)

表 5

岩体时代	加里东期	海西期	印支期	燕山早期			燕山晚期
				一阶段	二阶段	三阶段	
TR_2O_3	263	287	288	312	282	400	513
华南花岗岩平均值	208	152	195	256			

据赣南稀土研究报告。

(2) 成矿时期、地貌和气候条件: 矿床一般分布在白垩系红色盆地附近20km范围内, 有的成矿母岩直接与上白垩统地层沉积接触, 表明母岩(花岗岩)于白垩纪前已剥露地表。风化成矿作用的气候条件, 应与红盆形成时的气候大体相同, 具有潮湿炎热、雨量充沛的特点。矿床一般产在花岗岩区的中低山丘陵地带, 一般高于红色盆地。

(3) 矿体产状形态和矿物组合: 稀土矿体产在母岩的风化壳中, 呈椭圆、长条、分枝状等面型产布。垂直上一般呈透镜状, 位于平缓的山坡和宽阔的山头。这可能是较平缓的地形地下水流动比较缓慢, 有利于化学风化作用和风化壳的保存。矿体的数量、规模与风化壳的厚度、规模大小成正比。矿体厚度一般比风化壳小, 但有的风化壳全部是矿体。一般自上而下可分为: 腐植层→残积层→淋积层→母质层→母岩; TR_2O_3 在淋积层和母质层中较富。

风化壳矿体的物质成分, 一般以高岭土类粘土矿物为主, 其次为石英、钾长石、钠长石、黑云母、白云母。其它有磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿少量, 还有锆石英、独居石、萤石、钛铁金红石、黄铁矿、石榴石、氟磷钙铈矿、氟碳铈矿。其中粘土类矿物高岭石、埃洛石、白云母等含 TR_2O_3 较高。矿床的形成可能是母岩经自变质交代作用形成大量氟碳酸盐稀土矿物, 经表生作用而成矿。

2. 残积型稀土、铌钽矿床: 这类矿床的形成, 是由于花岗岩在风化作用过程中, 硬度大、抗风化力强的矿物未被分解和流失, 如磷钇矿、独居石、铌钽铁矿等矿物, 在原地附近保存富集, 和其它岩屑和矿物组成有工业价值的矿床。

(1) 磷钇矿—独居石—锆石矿床: 这类矿床的母岩有黑云母花岗岩, 正长岩和二长岩, 主要造岩矿物有钾长石、钠长石、石英和少量黑云母、白云母等; 副矿物主要有磷钇矿、独居石、锆石, 有的岩体还有褐帘石和硅铈钇矿、钽石、烧绿石、铁钽铀矿(?)、褐钇铌矿、锡石、易解石、铌铁矿、黑钨矿、白钨矿、方铅矿、闪锌矿、绿帘石、钙铝榴石、金红石、磷钼钽矿(?)、锐钛矿、磷灰石、板钛矿、磁铁矿、石榴石、绿柱石等。母岩的岩石化学特征属富碱铝过饱和系列, 铈族稀土 $SiO_2 > 73\%$, 钠碱度均比前者高。

风化壳矿体的分布面积较广, 长达数十公里, 厚1~10m不等。稀土矿物在风化壳中具明显的上富下贫特征。由于磷钇矿、锆石和独居石含量均较高, 且共存于同一矿床中, 从而提高了矿床工业价值。

(2) 铌钽矿床: 矿床的成矿母岩, 一般是变花岗岩, 如白云母—二云母花岗岩、钠长石化花岗岩等。岩体出露面积一般 $< 0.3 km^2$, 常与伟晶岩型铌

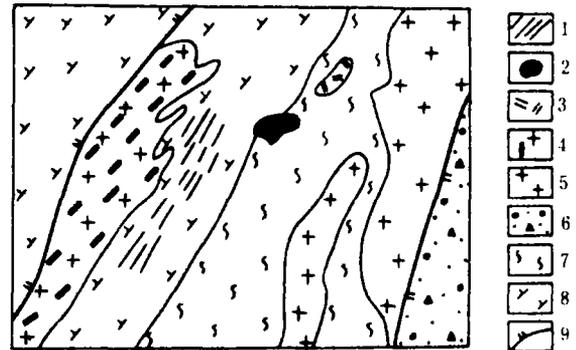


图5 伟晶岩型及风化壳型铌钽矿床地质平面示意图

1—伟晶岩铌钽矿脉; 2—风化壳型白云母花岗岩铌钽矿体(有黑钨石英脉赋存); 3—二云母花岗岩; 4—中粗粒钠长石化花岗岩; 5—黑云母花岗岩; 6—第三系; 7—混合岩; 8—板岩夹砂岩; 9—断层

钽矿床共生(图5)。

找矿方向

1. 在侵入花岗岩及其外接触带2~3km范围是找寻花岗岩矿床的远景地区。

2. 在燕山期的小岩瘤, 找铌钽矿; 大岩株, 找钨矿; 大岩基 ($> 1000 km^2$) 找铀矿; 在红盆边(20km范围内的花岗岩中), 找稀土、找铀矿。

3. 在花岗岩区, 中高山(海拔450~1100m)找钨矿和铌钽矿; 在低山丘陵(100~450m)找铀矿、找稀土。

4. 产铀岩体的铀含量, 一般 $> 10 ppm$, 并含较多的晶质铀矿; 产钨岩体一般含钨丰度 $> 50 ppm$, 并有较多的钨矿物和挥发份矿物。

5. 变花岗岩是花岗岩型矿床的找矿标志; 钠长石化花岗岩与铌钽有关; 白云母—云英岩化花岗岩, 与钨—锡—铍—钼矿床有关; 钾化—蒙脱石绢云母化与钨—钼矿床有关; 绿泥石化花岗岩与铅锌矿床有关; 在大岩基中有浅色云母化花岗岩小侵入体的地段, 为铀矿床成矿的有利地带。

主要参考文献

- [1] 莫柱芬等: 南岭花岗岩地质学, 地质出版社, 1980
- [2] 林运淮: 地质论评, 1980, 第26卷, 第4期
- [3] 康永孚: 地质地球化学, 1981, 第11期
- [4] 朱焱龄等: 赣南钨矿地质, 江西人民出版社, 1981
- [5] 林运淮: 地质论评, 1982, 第28卷, 第1期