宜春稀有矿化花岗岩与可可托海稀有矿化伟晶岩的异同剖析和启迪*

Anatomy and Inspiration of Yichun Rare Metal Granite and Keketuohai Rare Metal Pegmatite

朱金初[1] 张佩华[1] 饶 冰[1] 李福春[2] 熊小林[3]

(1 南京大学地球科学系和成矿作用国家重点实验室，江苏 南京 210093；2 南京农业大学资源与环境科学学院，江苏 南京 210095； 3 中国科学院广州地球化学研究所，广东 广州 510640)

Zhu Jinchu[1], Zhang Peihua[1], Rao Bing[1], Li Fuchun[2] and Xiong Xiaolin[3]

(1 Department of Earth Sciences and Key State Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2 College of Resource and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; 3 Guangzhou Geochemical Institute, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

摘 要 宜春稀有矿化花岗岩和可可托海稀有矿化伟晶岩均以超酸性、过铝、富含H_2O、F、P等挥发分、富含碱金属元素Na、Li、Cs和富含Ta、Nb、Sn等稀有金属元素为主要特征。虽然它们形成于不同的地质构造背景和温度压力条件，但它们在矿物岩石的结构构造和造岩矿物中的硅酸盐-熔体包裹体特征表明，它们均属岩浆成因，它们在空间分带和元素地球化学演化特征上的高度相似性，反应了它们形成机制的类同性，它们是由经过充分分离结晶作用和长期演化而形成的富含稀有金属元素和挥发分的残余熔浆直接结晶的产物。

关键词 稀有金属 花岗岩 伟晶岩 空间分带 分离结晶和演化 残余熔浆

1 地质构造背景

江西宜春雅山花岗岩，位于华南加里东褶皱带北缘武功山隆起区的东北部，区内出露的基底地层主要为不同变质程度的前震旦系板溪群和震旦系松山群，以泥砂质岩石为主，往往含碳质，有时含硅铁质岩层。深成岩浆活动从加里东期经印支期至燕山期均有发育，以中酸性为主，其中雅山花岗岩呈高侵位的岩株状产出，含Ta、Nb、Li等矿化，岩体在地表出露的总面积为9.5 km^2，直接围岩为浅变质的砂岩、粉砂岩、千枚岩和碳质板岩。花岗岩中云母K-Ar年龄和全岩Rb-Sr年龄主要在162～180 Ma范围内，属燕山早期产物（Yin Lin et al.，1995；胡受奚等，1983）。

新疆富蕴县的可可托海3号伟晶岩脉，产于阿尔泰山加里东—海西期造山带中。矿区附近出露的基岩地层，包括由晚奥陶世泥砂质岩石和泥盆纪—石炭纪火山沉积岩变质而成的各类片岩(黑云母、二云母、十字石和石榴石片岩)以及片麻岩和混合岩，出露的深成岩浆岩为由加里东晚期的辉长岩变质而成的斜长角闪岩(变辉长岩)和海西期的片麻状黑云母花岗岩、斑状黑云母花岗岩和二云母花岗岩。

可可托海3号伟晶岩脉以含Be、Li、Ta、Cs而闻名于世，它侵位于斜长角闪岩(变辉长岩)中。形态复杂，主要由两部分组成，上部是陡倾斜的筒状岩钟，在地表呈椭圆形，长约250 m，宽约150 m，深度 > 250 m，倾角陡，自上而下有逐渐膨大的趋势；下部是缓倾斜的板状体，沿走向长2160 m，沿倾向延伸1660 m，厚

* 国家自然科学基金（编号 49873017，40073008）和高校博士点基金（编号 1999028420）资助项目
第一作者简介 朱金初，男，1936 年生，教授，博士生导师，从事矿床学、岩石学和地球化学方面的研究工作。

20～60 m，平均40 m，倾角10～25 °（王贤觉等，1981；邹天人等，1986）。其形成时代，以往一向认为是海西期，陈富文等（1999）获得白云母的^{40}Ar-^{39}Ar年龄为178～169 Ma，证明了属于燕山早期。

2 岩石类型的空间分带

雅山花岗岩株在空间分布上具有明显的垂直分带特征，自下而上，其岩性的基本变化规律：中粒二云母花岗岩带（Ⅰ） →中粒白云母花岗岩带（Ⅱ） →中细粒（斑状）黄玉-锂云母-钠长石花岗岩带 （Ⅲ）→边缘伟晶岩壳 (stockscheider) （Ⅳ）。在Ⅲ、Ⅳ二带之间，往往发育有薄层的云英岩。各带之间呈渐变过渡关系。

可可托海 3 号伟晶岩脉具有十分典型的内部分带，根据岩石的结构特征和矿物共生组合特征，岩钟部分由外向内可以依次划分出 9 个矿物共生-结构带（王贤觉等，1981；邹天人等，1986），即：Ⅰ 文象、变文象伟晶岩带；Ⅱ 糖粒状钠长石带；Ⅲ 块状微斜长石带；Ⅳ 白云母-石英带；Ⅴ 叶钠长石-锂辉石带；Ⅵ 石英-锂辉石(-叶钠长石)带；Ⅶ 白云母-薄片状钠长石带；Ⅷ 锂云母-薄片状钠长石带；Ⅸ 石英和微斜长石核(分别为$Ⅸ_1$和$Ⅸ_2$)。在Ⅰ带的外围边缘，还存在一个不连续的细粒花岗岩边（朱金初等，2000）。

3 元素地球化学演化

如果我们将可可托海伟晶岩的内部分带与雅山花岗岩的垂直分带进行对比，不难发现，在化学成分上，前者的边缘带和外部带（Ⅰ至Ⅳ带）与后者的浅色花岗岩带（Ⅰ至Ⅱ带）基本相似，前者的中间带（Ⅴ至Ⅶ带，以叶钠长石+石英+锂辉石组合为特征）与后者的黄玉－锂云母－钠长石花岗岩带（Ⅲ 带）基本相似，都是Li、Ta、Nb、Sn稀有金属的主要赋存部位，前者的Ⅷ带与后者的云英岩带基本相似，前者的核部带(Ⅸ带)与后者的伟晶岩壳（Ⅳ带）基本相似。这种空间分带的相似性，反应了形成机制上的某些类同性。

在元素地球化学成分上，两个岩体均具有超酸性、Al过饱和、富含H_2O、F、P等挥发分、富含碱金属元素Na、Li、Cs等以及富含稀有金属元素Ta、Nb、Sn等的特征，属Li-F花岗质岩石范畴（Kovalenko et al，1970；Cerny,1992；王联魁、黄智龙，2000；朱金初等，2002）。且雅山花岗岩自下而上（不包括伟晶岩壳）和可可托海伟晶岩自外而内（不包括核部带），其F、Li、Na、Rb、Cs、Ta、Nb、Sn、W等元素含量，均有逐渐增多的趋势; 而Fe、Mg、Ca、REE等元素的含量则有逐渐减少的趋势。在矿物成分上，则表现为钾长石减少、钠长石增多、云母中锂含量增多等变化规律性。

4 矿物学特征

稀有矿化花岗伟晶岩和稀有矿化花岗岩之间最醒目的差别在于矿物颗粒度的大小，如稀有伟晶岩中晶体往往十分巨大，锂辉石晶体可长达2～3 m，绿柱石晶体可重达数吨，而稀有矿化花岗岩中主要造岩矿物的颗粒度一般不超过2～3 mm，这显然是两种不同的结晶环境所导致的巨大差异。

2 种环境中云母类矿物、斜长石类矿物和含锂矿物类型的变化，是十分有特色的。两地的云母都表现出(黑鳞云母→)白云母→锂白云母→锂云母的演化趋势（胡受奚等，1983）；两地斜长石都是以奥长石开始和以钠长石为主体，但雅山花岗岩中的钠长石均为细粒条板状，而可可托海伟晶岩中的钠长石则既可以是细粒条板状和糖粒状，亦可以是叶片状（叶钠长石）；两地均以富含 Li 矿物为特征，但前者中为锂云母，后者中的包括锂辉石、锂云母和锂霞石。显然，锂辉石和叶钠长石都是高压（≥0.2 GPa）条件下形成的。

在矿物结构和类型上，两地岩石中含 Ta、Nb、Sn 的有用副矿物一般均呈浸染状均匀分布，有时还被主要造岩矿物所包裹，细粒花岗岩或细晶岩韵律条带均十分常见。

在雅山花岗岩中，自形的六方（双锥）柱状的 α-石英斑晶十分普遍，大的可长 5 mm；“ 雪球结构 ”十分常见，即自形—半自形的钠长石条晶沿石英斑晶的六边形生长晶面，呈不连续的同心环带状排布，或沿

钾长石斑晶的两组解理方向发育；低熔(subsolvus)长石结构亦十分明显，即两种均匀分布的碱性长石（钠长石和钾长石），均具端员成分，这些都证明了它们是在较低的温度下从岩浆中直接结晶的（孙世华，1984；李福春等，2000；朱金初等，2002）。

5 硅酸盐-熔体包裹体

岩浆岩矿物中的硅酸盐-熔体包裹体是这些矿物在结晶过程中捕获的岩浆样品，它们为这些岩浆熔体的成分和温度提供重要信息（Roedder,1984; Webster et al, 1997）。这些硅酸盐-熔体包裹体在现代火山岩中保存较好，但在古老岩石中，由于变质、变形、重结晶和蚀变等原因，往往已在很大程度上受到破坏，甚至可能全部消失，但细致的研究工作仍提供了十分重要的信息。

大量的研究工作已经表明，在可可托海 3 号伟晶岩脉的边壳带和Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ带的石英、石榴石、长石、绿柱石和锂辉石等矿物中，仍保留了丰富的硅酸盐-熔体包裹体和/或熔体-流体包裹体（张恩世等，1987；吴长年等，1995；卢焕章等，1996；朱金初等，2000；张辉，2001）。其中硅酸盐熔融包裹体主要见于边壳带、Ⅰ带和Ⅲ带，分为两类，大多由硅酸盐（包括石英）晶体+气泡组成，大小一般不超过 25 μm；少数为一些脱玻化的硅酸盐熔融包裹体，由玻璃质、结晶质和气泡组成。根据已测定的温度数据，边壳带、Ⅰ带和Ⅲ带包裹体的均一化温度范围为 610～900℃。

流体-熔融包裹体主要见于Ⅳ～Ⅶ带的锂辉石和绿柱石中。它们大小不一，最大的可达 60 μm，大多为椭球状或管状，在热台上缓慢加热时，通常会在 480～550℃爆裂。包裹体中的硅酸盐子晶包括锂辉石、钠长石、石英、绿柱石和铯沸石等。

根据现在掌握的包裹体、矿物学和空间分带等综合资料，可以提出本矿区伟晶岩形成的大致的温度和压力范围为：边壳带、Ⅰ带、Ⅲ带和Ⅳ带，900～600℃，0.32～0.25 GPa；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ带和Ⅱ带，650～500℃，0.28～0.22 GPa；Ⅸ带和Ⅷ带，530～450℃，0.25～0.18 GPa。

对雅山花岗岩中的硅酸盐-熔体包裹体，以往未引起足够的重视，近年已有不断发现，进一步的研究工作正在进行之中。比照对雅山稀有矿化花岗岩已进行的熔融实验（中科院地化所，1979），估计该高侵位花岗岩形成的压力为 50～200 MPa，结晶温度大致为 650～570℃。

6 主要结论

雅山稀有矿化花岗岩和可可托海稀有矿化伟晶岩在总体化学成分上的相似性（超酸性、过铝、富碱、富挥发分、富稀有成矿元素、贫稀土等），反应了它们的母岩浆在形成和演化过程中行为的类同性；二者各岩相带在空间分带规律上的相似性和逐渐过渡关系，反应了循序渐进的分离结晶作用是形成这些花岗质岩浆的主要机制；Ta、Nb、Sn等稀有矿物在其中呈浸染状均匀分布，且被主要造岩矿物所包裹，以及 α-石英斑晶、雪球结构、两种端员组分碱性长石的均匀共生等特征，是他们从岩浆中直接结晶出来的重要证据；它们在整个花岗质岩体剖面中只占很小部分，且仅出现在几乎最晚阶段，说明它们是残余熔浆的结晶产物；熔体中H_2O、F、Li、P等组分的大量存在，是分离结晶作用能充分进行并导致形成这些富Li-F含稀有金属元素的花岗质熔浆的关键因素；二者产出环境的不同，反应了它们形成地质构造背景和温度压力等条件的差异性，导致了它们晶体大小的巨大差别和矿物类型的多样性。

参 考 文 献

陈富文, 李华芹, 王登红, 等. 1999. 中国阿尔泰造山带燕山期成岩成矿同位素年代学新证据[J]. 科学通报, 44(11): 1142～1148.

胡受奚, 曹晓云, 严正富, 等. 1983. 华南含锂-铌-钽交代蚀变花岗岩中云母的成分演化和分带[J]. 桂林冶金地质学院学报, (4): 1～10.

李福春, 朱金初, 金章东, 等. 2000. 钠长石花岗岩中雪球结构形成机理的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 19(1): 28～35.

卢焕章, 王中刚, 李院生. 1996. 岩浆-流体过渡和阿尔泰三号伟晶岩脉之成因[J]. 矿物学报, 16(1): 1～17..

孙世华. 1984. 云母和钽花岗岩的成因联系[A]. 岩石学研究(第四辑)[C]. 北京:地质出版社. 25～41.

王联魁, 黄智龙. 2000. Li-F花岗岩液态分离和实验[M]. 北京: 科学出版社. 280页.

王贤觉, 邹天人, 徐建国, 等. 1981. 阿尔泰伟晶岩矿物研究[M]. 北京: 科学出版社. 140页.

吴长年, 朱金初, 刘昌实, 等. 1995. 阿尔泰伟晶岩中流体熔融包裹体成分研究[J]. 地球化学, 24(4): 351～358.

张恩世, 张文淮, 刘 伟. 1987. 新疆可可托海伟晶岩形成机理的研究[J]. 地球科学, 12(4): 381～388.

中国科学院地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 421页.

朱金初, 饶 冰, 熊小林, 等. 2002. 富锂氟含稀有矿化花岗质岩石的对比和成因思考[J]. 地球化学, 31(2): 141～152.

朱金初, 吴长年, 刘昌实, 等. 2000. 新疆阿尔泰可可托海3号伟晶岩脉岩浆-热液演化和成因[J]. 高校地质学报, 6(1): 40～52.

邹天人, 张相宸, 贾富义, 等. 1986. 论阿尔泰 3 号伟晶岩脉的成因[J]. 矿床地质, 5(4): 34～48.

Cerny P. 1992. Rare-element granitic pegmatites. Part 1: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits [J]. Geoscience Canada, 18(2): 49～67.

Kovalenko V I, Kuz'min M I, Letnikov F A. 1970. Magmatic origin of lithium- and fluorine-bearing rare-metal granite [J]. Dokl Acad Sci USSR, Earth Sci Ser, 190: 189～192 (in Russian).

Roedder E. 1984. Fluid inclusions [M]. Mineral Soc Am, Reviews in Mineralogy, 12: 644.

Webster J D, Thomas R, Rhede D, et al. 1997. Melt inclusion in quartz from an evolved peraluminous pegmatite: Geochemical evidence for strong tin enrichment in fluorine-rich and phosphorus-rich residual liquids [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 61(13): 2589～2604.

Yin Lin, Pollard P J, Hu Shouxi, Taylor R G. 1995. Geologic and geochemical characteristics of the Yichun Ta-Nb-Li deposit, Jiangxi Province, South China [J]. Econ. Geol., 90: 577～585.