

## 华南两种类型花岗岩成岩-成矿作用的差异\*

## The rock-forming and ore-forming differences of two types of granites in South China

华仁民, 张文兰, 姚军明, 陈培荣

(壳幔演化与成矿作用研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

HUA RenMin, ZHANG WenLan, YAO JunMing and CHEN PeiRong

(State Key Laboratory of Crust-Mantle Evolution and Metallogeny, Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

**摘要** 华南地区主要产出两种类型的花岗岩类, 一是壳源的陆壳重熔型花岗岩类, 二是壳-幔混源的钙碱性浅成花岗岩类。二者不仅在成因上有很大差别, 在成矿作用上也明显不同。本文通过实例, 探讨了这两种类型花岗岩在成岩-成矿关系上的差异。研究表明, 陆壳重熔型花岗岩类的成岩与对应的成矿作用之间存在着明显的时间差, 以南岭地区为例, 在燕山中期第一阶段 170~150 Ma 达到高潮的陆壳重熔型花岗岩类, 其相关的钨锡等稀有金属矿化多发生在燕山中期第二阶段 150~139 Ma, 成岩与成矿相差 10~20 Ma, 这一时间差反映了这类花岗岩成岩作用与成矿作用之间在物质来源和地质构造背景等方面的差异。而那些壳-幔混源的钙碱性浅成花岗岩类, 由于其成岩时就具备这种条件, 因此成岩-成矿基本同时, 没有明显的时间差。由此可见, 大规模金属成矿作用主要与拉张的动力学背景、壳-幔相互作用、高的热流值, 以及深部流体的参与密切相关。

**关键词** 花岗岩类; 成因类型; 成矿作用; 时间差; 地幔流体; 华南

华南地区是中国重要的有色、稀有和贵金属矿产资源产地。大量研究成果表明, 华南的大规模金属成矿作用, 与各种花岗岩类、尤其是中生代花岗岩类有密切的成因关系, 并构成中国东部中生代“成矿大爆发”(华仁民等, 1999)的重要组成部分。20 世纪 70—80 年代, 与国际上 Chappell 等 (1974) 提出 S 型和 I 型, Ishihara (1977) 提出钛铁矿系列和磁铁矿系列基本同时, 国内学者主要针对华南地区广泛发育的花岗岩类也提出了若干成因分类的方案, 其中以徐克勤等提出的(大陆地壳)改造型和(过渡地壳)同熔型这两个成因系列最具有代表性(南京大学地质系, 1980; 徐克勤等, 1982)。

随着研究的不断深入, 对花岗岩类的物质来源及形成方式也有了許多新的认识。从物质来源的角度来看, 除了数量相对较少的幔源花岗岩外, 世界上大部分的花岗岩不是地壳来源就是壳-幔混合来源; 壳源花岗岩形成于较为成熟的大陆地壳, 所以又可以称为陆壳重熔型花岗岩类, 它基本上与改造型、S 型、部分钛铁矿系列花岗岩类相对应; 壳-幔混源花岗岩则类似于同熔型、I 型和磁铁矿系列花岗岩类。但需要指出的是, 这些分类方案提出的角度不同, 因此不可能彼此完全等同或替代。

两个不同成因系列的花岗岩类在成矿作用上的差异也是相当明显的, 前人对此已经有大量的研究成果。笔者等曾把华南与花岗岩类有关的矿床归结为几个主要的成矿系统, 其中最主要的有两个, 即: ①与陆壳重熔型花岗岩类有关的钨锡铋钼稀有金属及铀成矿系统, ②与钙碱性火山-侵入花岗岩岩浆活动有关的“斑岩-浅成热液金-铜成矿系统”(华仁民等, 2003)。二者所代表的实际上就是(华南)这两个不同成因系列的花岗岩类。

陆壳重熔型花岗岩类主要与 W、Sn、Bi、Mo、Li、Be、Nb、Ta、REE 以及 U 等金属的大规模成矿作用有密切的成因关系; 在华南, 它们主要分布在扬子板块以东南的加里东造山带, 尤其是南岭及其周边地区。而壳-幔混合来源的钙碱性花岗岩火山-侵入岩主要与 Cu、Pb-Zn、Au、Ag 等金属的大规模成矿作用有关; 在华南, 它们主要分布在东南沿海地带及内陆

\*本文得到国家自然科学基金项目(40572057)的资助

第一作者简介 华仁民, 男, 1946 年生, 教授, 主要从事矿床学领域的教学与研究工作。E-mail: [huarenmin@nju.edu.cn](mailto:huarenmin@nju.edu.cn)

的板块-地体结合部位。

笔者等近年来在研究工作中发现,华南地区两种不同类型花岗岩在成岩-成矿的时间跨度上也有相当明显的差异。

## 1 陆壳重熔型花岗岩类的成岩-成矿作用之间存在明显的时间差

如果把与花岗岩有关的成岩-成矿作用作为一次事件,那么,对于许多陆壳重熔型花岗岩类来说,这一事件延续的时间相当长;换言之,陆壳重熔型花岗岩类的成岩作用与相应的成矿作用之间存在着较为明显的时间差。南岭地区中生代陆壳重熔型花岗岩类的侵位在燕山中期的 160 Ma 左右达到高潮,但与其相关的 W、Sn、Nb-Ta 等金属成矿作用却明显滞后,主要发生在 150~138 Ma。

以赣南西华山钨矿为例,剔除早年跨度较大的 K-Ar 法测年数据,西华山花岗岩的成岩年龄数据集中在 157~150 Ma (李亿斗等, 1986; McKee et al., 1987; 陈志雄等, 1989; Maruejol et al., 1990)。而西华山钨矿的成矿年龄目前只有李华芹等(1993)一家数据较为可靠,他们所测定的西华山萤石 Sm-Nd 等时线年龄为(137.4±3) Ma,黑钨矿 Sm-Nd 等时线年龄为 139.2±2.8Ma,而石英中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄则为(139.8±4.5) Ma,三者相当一致,表明西华山钨矿的成矿年龄应在 139 Ma 左右。依据这个年龄,那么西华山钨矿的形成比西华山花岗岩至少要晚 10 多个百万年。

赣南大吉山花岗岩的年龄主要来自孙恭安等(1989)测定的 Rb-Sr 等时线年龄,其中与钨成矿关系较密切的中细粒白云母碱长花岗岩(大吉山花岗岩主体)的年龄为 161 Ma。而笔者等对采自大吉山黑钨矿石英脉中的两件云母进行的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  快中子活化法测年结果分别为 144 Ma 和 147 Ma (张文兰等, 2006),比大吉山白云母花岗岩年龄晚了 10 多个百万年。

湘南的骑田岭花岗岩目前较可靠的年龄为 157~161 Ma (黄革菲, 1992; 朱金初等, 2003; 毛景文等, 2004)。但是,王登红等(2003)发表的芙蓉锡矿白腊水矿石 Rb-Sr 等时线年龄为 136 Ma,李华芹等(2006)获得 10 号矿脉的 Rb-Sr 年龄为(137±5) Ma, 19 号矿脉的 Rb-Sr 年龄为(133±15) Ma; 赵葵东(2005)对芙蓉锡矿的硫化物进行 Rb-Sr 同位素测试,没有获得理想的等时线年龄,但其趋势线给出的年龄为(140±31) Ma。这些成矿年龄比花岗岩的成岩年龄晚了 10 Ma 以上甚至 20 Ma 以上。

湘南的长沙坪矿床,与成矿关系密切的花岗斑岩的年龄是(161.6±1.1) Ma (姚军明等, 2005),而长沙坪矿床的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(154.8±1.9) Ma,两者之间也有 7 Ma 的时间差。

在桂北姑婆山,笔者等用 LA-ICPMS 测定的姑婆山各单元花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 167~161 Ma (顾晟彦等, 2006);然而,笔者等最近测定的与姑婆山花岗岩体有关的烂头山锡矿的成矿年龄(Rb-Sr 等时线法)为 136 Ma (另文发表),比相关的岩体年龄晚 20 多个百万年。

由此看来,南岭地区陆壳重熔型花岗岩类成岩作用与相关的成矿作用之间存在较长的时间差并不是个别、偶然的现象,而是带有一定的普遍性。

对于这种成岩-成矿时间差,人们一般解释是由于要经历花岗岩浆冷凝、挥发份聚集、热液运移、金属矿物沉淀等较漫长的过程而造成的。但是笔者认为,一般来说这一时间不会很长,而本文所列举的花岗岩类与相关成矿作用之间 10~20 Ma 以上的时间差已经不能用正常的岩浆-热液过程来解释了;它所反映的,可能是陆壳重熔型花岗岩类与成矿作用二者在物质来源、形成背景和条件等方面的根本性差异。

## 2 壳-幔混源的钙碱性浅成花岗岩类基本上没有成岩-成矿时间差

与陆壳重熔型花岗岩明显不同,华南地区中生代壳-幔混源的钙碱性浅成花岗岩类与其伴随的成矿作用之间基本没有时间上的差距。

这一类岩浆活动及其产物主要分布在华南的东部地区,属于中国东部中生代火山-侵入岩带的一部分。这类岩浆活动的重要特征之一就是火山岩与浅成侵入岩的密切共生。它们大多是富钾的,与它们有关的成矿作用包括斑岩型铜(金)及银多金属矿床、浅成热液金(铜)矿床、以及介于二者之间的“中成热液”(mesothermal)多金属矿床,以及其他一些被称为“陆相火山岩型”的矿床。这类岩浆活动的产物还常形成一些夕卡岩型矿床。华南与这种类型花岗岩类有关的典型矿床有江西德兴铜厂、富家坞、福建中寮、钟腾、广东大宝山等斑岩型铜(多金属)矿床,湖南水口山、宝山、铜山岭等铅锌多金属矿床,江西冷水坑银铅锌矿床、江西银山金铜多金属矿床,广东钟丘洋铜铅锌矿床,浙江冶岭头金矿床,以及福建紫金山、碧田、台湾金瓜石等浅成热液金矿床。除台湾金瓜石金矿床形成于新生代、与活动板块边界的火山岩浆作用有较直接的关系外,其

他矿床都形成于中生代, 主要是燕山早期的 180~170 Ma 和燕山晚期的 140~95 Ma 这 2 个阶段(华仁民等, 2005)。它们的岩浆作用看起来并不直接与活动板块边界有关, 而主要是受陆内深断裂的控制; 但由于许多深断裂是继承了古俯冲带、古拼接受带等板块边界构造, 或是在后来发生的部分熔融事件中, 新生岩浆继承了早先形成的与俯冲和碰撞有关的含有较多幔源物质的特征, 因此有关的岩石在地球化学方面仍然显示出幔源组分参与的特征(如具有较低的  $T_{DM}$  等)。

研究表明, 这一成矿系统(尤其是斑岩型矿床)的成矿物质主要来源于岩浆岩本身; 而且总体来说, 成矿流体中岩浆挥发组分是非常重要的。

以著名的江西德兴斑岩铜矿为例。目前为止发表的铜厂等花岗闪长斑岩的年龄数据均在 180~170 Ma; 王强等(2004)用 SHRIMP 测定的锆石 U-Pb 年龄为(171±3) Ma。德兴斑岩铜矿的成矿年龄很少, 陆建军等测得辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(170.4±1.8) Ma (Lu et al., 2005), 与花岗闪长斑岩的年龄基本一致。

湘南的宝山铜多金属矿床与其成矿主岩——宝山花岗闪长斑岩的年龄也相当一致。王岳军等(2001)测定了湘南的水口山、宝山、铜山岭等岩体的锆石 U-Pb 年龄在 181~172 Ma 范围内, 其中宝山花岗闪长斑岩的年龄为(173.3±2.9) Ma; 而笔者等最近用黄铁矿 Rb-Sr 等时线法测定的宝山成矿年龄为 174.4 Ma。成岩-成矿年龄相当一致。

除了华南以外, 其他地区这类岩石的成矿作用也同样如此。例如中国西部的玉龙斑岩铜矿带, 据梁华英(2002)报道, 对该带 5 个赋矿斑岩体的 300 多个锆石年龄测定结果为 40.9~37.1 Ma; 而较早测定的辉钼矿 Re-Os 年龄为 36~35 Ma (杜安道等, 1994)。近年来中国在西藏发现了规模巨大的冈底斯斑岩铜矿带并进行了一定程度的研究, 现有成果表明, 含矿岩体(二长花岗斑岩、石英二长斑岩)的年龄为 17.6~14.5 Ma, 而由不同作者测定的若干典型矿床的 40 件辉钼矿 Re-Os 年龄为 16.7~13.6 Ma (侯增谦等, 2005), 岩体年龄与成矿年龄是一致的。

### 3 讨论与结论

陆壳重熔型花岗岩与有关的成矿作用在物质来源上是有差异的。许多矿床的成矿物质不像成岩物质的来源那么简单。近年来大量研究表明, 华南尤其是南岭地区中生代陆壳重熔型花岗岩类具有较高的  $I_{sr}$  值、较低的  $\epsilon_{Nd}$ 、较古老的 Nd 模式年龄, 它们的成岩物质主要地都是来源于该地区的基底岩石。这些壳源花岗岩所含有的较丰富的 W、Sn、Bi、Mo、Nb、Ta、REE、U 等成矿元素也来源于基底岩石。然而, 参与成矿作用的其他物质和组份, 例如成矿流体的来源, 就要复杂一些了。以华南花岗岩型铀矿床为例, 目前已普遍认同, 铀主要来源于印支期花岗岩, 归根结底是来源于地壳; 但是参与成矿的流体则有相当部分是来源于地幔。胡瑞忠等(2004)特别强调了幔源  $CO_2$  是铀成矿过程中必不可少的组份。范洪海等(2003)、姜耀辉等(2004)的研究则显示地幔物质及地幔流体在相山铀矿成矿过程中起了主导作用。

除了铀的成矿作用与地幔物质密切相关外, 南岭地区与燕山期陆壳重熔型花岗岩有关的 W、Sn 及其他稀有金属的成矿作用也显示出地幔物质参与的特征, 例如发育与成矿时间相近的基性岩脉、煌斑岩等; 但迄今为止国内关于地幔或深部流体参与这类成矿作用的专题研究尚不多见。Burnard 等(2004)研究了葡萄牙中部与海西期花岗岩有关的 Panasqueira 矿床的 He-Ar 同位素, 结果表明, 虽然该花岗岩是 S 型, 但相关的 W-Cu(Ag)-Sn 矿床的毒砂、黑钨矿所捕获的 He 有 75% 来源于地幔, 因此提出了幔源流体在花岗岩热液成矿作用中的重要意义, 并进一步推论成矿作用是(花岗岩形成)以后的幔源热-流体脉动(pulse)的结果。这一研究虽然没有提供花岗岩与矿床的年龄, 但实际上已经表明, Panasqueira 矿床不是与花岗岩同时形成的。

地幔物质及地幔流体参与了成矿, 但陆壳重熔型花岗岩本身却没有地幔物质或地幔流体参与成岩的证据, 这也佐证了二者形成于不同的时间和构造背景。华南地区中生代陆壳重熔型花岗岩类的侵位主要发生在印支期 245~205 Ma 和燕山中期 170~150 Ma; 而具有明显地幔成份特征的基性岩脉在华南的大规模活动要到 140 Ma 左右才开始。因此, 华南大规模的铀成矿作用始于燕山晚期也就不足为奇了。

除了基性岩脉等明显的地幔来源岩石外, 笔者注意到在华南许多规模较大的陆壳重熔型花岗岩内部或附近, 发育着大量的长英质或偏碱性浅成岩脉, 其时代也明显晚于主体花岗岩。过去往往认为它们是主体花岗岩演化晚期的产物, 但笔者认为, 它们很可能是另一次构造-岩浆-热事件的产物。再以湘南为例, 刘义茂等(2002)、赵振华等(2003)发表的与骑田岭花岗岩邻近的杉山岭正长岩为 141.30 Ma; 而切穿邻近千里山花岗岩的 NE 向花岗斑岩脉的  $^{40}Ar/^{39}Ar$  坪年龄为 144.41 Ma、等时线年龄为 142.34 Ma, 此外, 该地区的辉绿玢岩脉  $^{40}Ar/^{39}Ar$  坪年龄为 142.34 Ma (刘义茂等, 1997), 这些都显示该地区在 140 Ma 前后有一次重要的热事件。笔者认为芙蓉锡矿、柿竹园多金属矿的成矿作用可能与 140 Ma 前后的热事件有关, 从而

使成矿年龄比其主岩骑田岭花岗岩、千里山花岗岩要晚 20 Ma 左右。李华芹等 (2006) 测定的与芙蓉锡矿成矿关系密切的花岗斑岩、细粒花岗岩 SHRIMP 年龄为 140~145 Ma, 实际上已经是骑田岭主体花岗岩侵位 10 多个 Ma 后的另一次构造-岩浆-热事件产物了。由于它们形成于更为拉张的环境, 能够带来深源的热和流体, 导致了较早侵位的陆壳重熔型花岗岩中分散的成矿元素运移、富集而成矿

事实证明, 发生于大陆内部的大规模金属成矿作用, 必然与拉张的动力学背景、壳-幔相互作用、高的热流值, 以及深部流体的参与密切相关。而印支期 245~205 Ma 和燕山中期 170~150 Ma 的陆壳重熔型花岗岩类, 由于没有这样的条件, 所以不会直接成矿。这可能也是为什么印支期壳源花岗岩极少成矿的原因吧。

至于壳-幔混源的钙碱性浅成花岗岩类, 其物质来源、形成的构造背景及侵位方式已经满足成矿条件了, 所以成矿作用完全可以与岩浆活动伴随发生而不存在时间差。

### 参 考 文 献

- 陈志雄, 李善择, 朱晋干. 1989. 西华山和红岭钨矿床成矿地质特征的研究. 见: 宜昌地质矿产研究所. 南岭地质矿产科研报告集(二). 武汉: 中国地质大学出版社. 277~325.
- 杜安道, 何红廖, 殷万宁, 等. 1994. 辉钼矿的 Re-Os 同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~346.
- 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 等. 2003. 相山钨矿田成矿机理研究. 铀矿地质, 19(4): 208~213.
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 等. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束. 矿床地质, 24 (2): 108~121.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 等. 2004. 华南白垩—第三纪地壳拉张与铀成矿的关系. 地质前缘, 11(1): 153~160.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代三次大规模成矿作用. 矿床地质, 24 (2): 99~107.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 2003. 华南中, 新生代与花岗岩类有关的成矿系统. 中国科学(D辑), 33(4): 335~343.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质, 18 (4): 300~308.
- 黄革菲. 1992. 骑田岭复式岩体侵位时代讨论. 地质与勘探, (11): 7~11.
- 姜耀辉, 蒋少涌, 凌洪飞. 2004. 地幔流体与铀成矿作用. 地质前缘, 11(2): 491~499.
- 李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社. 1~126.
- 李华芹, 路远发, 王登红, 等. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义. 地质论评, 52(1): 113~121.
- 李亿斗, 盛继福, LeBel, 等. 1986. 西华山花岗岩下陆壳起源证据. 地质学报, 60(3): 256~273.
- 梁华英. 2002. 青藏高原东南缘斑岩铜矿成岩成矿研究取得新进展. 矿床地质, 21(4): 365.
- 刘义茂, 戴樟模, 卢焕章, 等. 1997. 千里山花岗岩体成岩成矿的 Ar/Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄. 中国科学(D辑), 27(5): 425~430.
- 刘义茂, 许继峰, 戴樟模, 等. 2002. 骑田岭花岗岩 Ar/Ar 同位素年龄及其地质意义. 中国科学(D辑), 32(增刊): 40~48.
- 毛景文, 李晓峰, Lehmann B, 等. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 Ar-Ar 测年及其地球动力学意义. 矿床地质, 22(2): 164~175.
- 南京大学地质系. 1980. 中国东南部花岗岩的时空分布, 岩石演化, 成因类型和成矿关系的研究. 南京大学学报(地质学专刊).
- 孙恭安, 史明魁, 张宏良, 等. 1989. 大吉山花岗岩体岩石学, 地球化学及成矿作用的研究. 宜昌地质矿产研究所编. 南岭地质矿产科研报告集(二). 武汉: 中国地质大学出版社. 326~363.
- 王登红, 陈毓川, 李华芹, 等. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义. 地质通报, 22(1): 50~56.
- 王强, 赵振华, 简平, 等. 2004. 德兴斑岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Sm-Nd 同位素地球化学. 岩石学报, 20(2): 315~324.
- 王岳军, 李惠民, 范蔚茗, 等. 2001. 湘东南中生代花岗岩类长岩锆石 U-Pb 法定年及其成因指示. 中国科学(D辑), 31 (9): 745~751.
- 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 等. 1982. 华南两个成因系列花岗岩类及其成矿特征. 矿床地质, 2.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征. 岩石学报, 21(3): 688~696.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究. 地质学报, 80(7): 956~962.
- 赵葵东. 2005. 华南两类不同成因锡矿床同位素地球化学及成矿机理研究. 南京大学博士学位论文. 127~132.
- 赵振华, 涂光炽, 等. 2003. 中国超大型矿床(II). 北京: 科学出版社. 54~56.
- 朱金初, 黄革菲, 张佩华, 等. 2003. 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究. 地质论评, 49(3): 245~252.
- Burnard P G and Polya D A. 2004. Importance of mantle derived fluids during granite associated hydrothermal circulation: He and Ar isotopes of ore minerals from Panasqueira. Geochim. Cosmochim. Acta, 68(7): 1607~1615.
- Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8: 173~174.
- Ishihara S. 1977. The mgt-series and ilm-series granitic rocks. Mining Geology, 27: 293~305.
- Lu J J, Hua R M, Yao C L. 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposit of Jiangxi Province, China. Geochim. Cosmochim. Acta, (Supp):A882.
- Maruejol P, et al. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan granites (SE China). Contrib. Mineral. Petrol., 104: 668~680.
- McKee E H, et al. 1987. Geochronology of the Xihuashan composite granitic body and tungsten mineralization, Jiangxi Province, south China. Econ. Geol., 82: 218~223.