

华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统*

华仁民 陈培荣 张文兰 刘晓东 陆建军 林锦富
姚军明 戚华文 张展适 顾晟彦

(南京大学地球科学系成矿作用研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘要 华南地区中、新生代的大规模金属成矿作用与花岗岩类活动密切相关, 并因此而呈现出丰富多彩的特征; 而不同来源、不同性质的花岗质岩浆活动又是该地区岩石圈演化过程不同时期、不同构造动力学背景的产物. 本文把华南地区与中、新生代花岗岩类有关的矿床划分为 4 个成矿系统, 即: (i) 与钙碱性火山-侵入(花岗质)岩浆活动有关的“斑岩-浅成热液金-铜成矿系统”; (ii) 与陆壳重熔型花岗岩类有关的钨锡铋钽稀有金属成矿系统; (iii) 与富钾花岗岩类有关的铜多金属成矿系统, 以及(iv)与 A 型花岗岩类有关的金铜及稀土成矿系统; 并简要地讨论了它们的基本特征. 从根本上来说, 华南地区中、新生代不同来源的花岗岩类及与其有关的成矿作用都是在伸展-拉张环境下壳-幔相互作用的结果.

关键词 成矿系统 花岗岩类 壳幔相互作用 中、新生代 华南地区

以南岭为中心的华南地区(本文不包括长江中下游成矿带)是我国重要的有色、稀有和贵金属矿产资源产地, 拥有许多大型、超大型矿床, 例如世界最大的铋矿床, 若干个世界级钨矿床, 我国最大的 3 个锡矿床(大厂、个旧、柿竹园), 我国目前开采的最大斑岩铜矿床, 以及许许多多的金、银、铜、铅锌、稀土、铀、锂、铍、铌、钽、铷等矿床. 华南地区又以不同时代、不同类型花岗岩类^[1]的广泛分布为重要特征. 长期以来, 我国地质学界对华南花岗岩开展了卓有成效的研究工作, 取得了举世瞩目的重要成果. 对华南花岗岩类及其成矿作用的研究曾经在上世纪 70 年代末至 80 年代初达到高峰, 基本上确定了不同时代、不同成因系列(如“改造型”、“同熔型”等)的花岗岩类特征及其与不同成矿作用的关系^[2~5]. 自上世纪 90 年代以来, 随着国际地学界关于“岩石圈计划”、“大陆动力学计划”等领域研究工作的广泛开展, 我国地质学界对华南等地区的地壳形成和演化、以及相关的花岗岩类成因与构造-动力学环境研究也蓬勃兴起, 与花岗岩类有关的成矿作用的研究也进一步深入, 并且又取得了许多重要成果和新认识^[6~9].

前人大量研究成果业已表明, 华南地区的金属成矿作用、包括与各种花岗岩类有关的成矿作用, 主要发生在中生代, 尤其是燕山期, 是中国东部大规模成矿作用或“成矿大爆发”的重要组成部分^[10~11]. 此外, 华南地区与花岗岩类有关的新生代成矿作用也有明显的表现, 如东部的台湾地区和西部的“三江”地区等(见后文).

成矿系统是当前矿床学研究的重要领域之一^[12]. 根据翟裕生^[13]的定义, 成矿系统是指在一定的地质时空域中, 控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程, 以及

2002-08-14 收稿, 2002-10-24 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号: G1999043209)和国家自然科学基金重点项目(批准号: 40132010)资助

所产生的矿床系列、异常系列构成的整体,它是具有成矿功能的一个自然系统.本文在归纳大量研究成果和最新认识的基础上,将华南地区中、新生代(以晚中生代为主)与不同构造环境、不同来源花岗岩类有关的成矿作用及其产物划分为 4 个主要的成矿系统,并简单讨论了它们的主要特征.限于研究程度,本文所划分的成矿系统主要考虑了控制矿床形成的地质要素和动力过程,而未涉及矿床形成后的变化和保存.

1 与钙碱性(花岗质)火山-侵入岩浆活动有关的成矿系统

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.王德滋等曾把中国东部中生代火山岩带划分为南、北两个钙碱性火山岩省及二者之间的橄榄安粗岩省^[14],这里所述的相当于南钙碱性火山岩省.由于中生代开始的古太平洋板块向欧亚大陆板块的俯冲作用,以及俯冲-挤压后的伸展和拉分作用,在中国东部引起了大规模的花岗质火山-侵入岩浆活动,其时代主要为燕山期,并形成了与此相伴随的大规模成矿作用.

这一类岩浆活动的产物以钙碱性的中酸-偏酸性岩石为主,如花岗闪长斑岩、花岗斑岩、英安斑岩、流纹英安斑岩等,同时也包括一部分高钾的钙碱性岩石.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.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^[15-16],以及其他一些被称为“陆相火山岩型”的矿床.笔者将与这类岩浆活动有关的成矿系统称为“斑岩-浅成热液金-铜成矿系统”^[16].这类岩浆活动的产物还常形成一些夕卡岩型矿床,它们也可以归入本成矿系统内.这一成矿系统中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,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,浙江治岭头金矿床,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^[17],其他矿床都形成于中生代燕山期,其中位于江南造山带边缘的江西德兴等地的岩浆活动主要为燕山早期^[18],而闽西南紫金山地区的岩浆活动为燕山晚期^[19].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、古拼接带等板块边界构造,如德兴地区的赣东北深大断裂带可能沿袭了晚元古代的板块俯冲带^[20],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^[21],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^[14-17],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;然而,总体来说,本系统的成矿流体是以环流的大气降水起着主导作用,并有来自岩浆的挥发组分不同程度地参与成矿;即使对于被认为是典型岩浆热液矿床的斑岩铜矿来说,大气降水在成矿晚阶段(往往也是工业铜矿体形成的阶段)的作用也是不可忽视的^[16,22].

2 与陆壳重熔型花岗岩类有关的成矿系统

华南尤其是南岭地区存在大量的中生代陆壳重熔型花岗岩类,相当于徐克勤等提出的“改造型”花岗岩^[23]、莫柱孙归纳的“转化型”花岗岩^[24]、王联魁等提出的“Li-F 花岗岩”中的系列 I 花岗岩^[25]等,它们与 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,前人在这方面已经有大量的研究成果.笔者认为,从总体上来说,可以把与陆壳重熔型花岗岩类有关的矿床归结为一个成矿系统.

与陆壳重熔型花岗岩类有关的成矿系统的基本特征,早在上世纪80年代初就有较为系统的研究成果^[23].一般来说,陆壳重熔型花岗岩类是多阶段的复式岩体,而与成矿作用有关的是演化到晚阶段的小岩体.但是,由于构造背景不同(基底性质、隆起或拗陷、深断裂的影响等)、形成深度及幔源物质参与程度不同,以及其他成岩条件的差异,陆壳重熔型花岗岩类包含了几种不同的情形,而与其有关的成矿系统也可以进一步划分出几个不同的类型.

第1种情形,当岩石主体相的二长花岗岩或黑云母花岗岩中的一部分经过结晶分异作用而形成晚阶段过铝质的小岩体(与典型的S型花岗岩较一致)时,往往与W, Sn, Bi, Mo(Nb, Ta)等矿化有关,前人曾称之为(含)钨锡花岗岩.例如,赣南西华山、漂塘、湘南瑶岗仙、粤北红岭等矿床就属于这种情况,这也是华南与陆壳重熔型花岗岩类有关的成矿系统的主体类型,本文称之为主体(S型)花岗岩型.第2种情形是在一些特定的区域地球化学背景条件下,重熔型花岗岩浆的演化(结晶分异-液态分离)可以导致更富集H₂O和Li, F, B, P等组分,从而形成所谓“Li-F花岗岩”,或富氟花岗岩,它与Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb(Sn, W)等稀有金属矿化有关,如广西栗木、湖南香花岭、江西雅山等^[25-26].不少研究者把前述第1种情形的岩体也归入这一类型内,有些人则把这两种情况的花岗岩统称为稀有金属花岗岩^[25-27].确实,这两种类型的岩石及成矿作用有着许多基本的共同特征,如酸性、铝过饱和、相对富碱(尤其是钾)、富含挥发组份(尤其是F)等,因此,也可以把二者合并成为一个类型.但是,至少是由于二者的演化程度不同吧,这两类岩石的确有一些不同之处,例如,大部分(含)钨锡花岗岩K₂O>Na₂O,而一些典型的Li-F花岗岩相对来说是富钠的^[26];陈毓川在总结桂北地区花岗岩类特征时,就曾指出栗木矿田花岗岩(属Li-F花岗岩)的Na₂O>K₂O,而其他含锡花岗岩都是K₂O>Na₂O^[28].此外,它们在P₂O₅和REE含量等方面也有一定的差异,第一种情形的(含)钨锡花岗岩含较低的P₂O₅和较高的REE,而第二种情形的Li-F花岗岩相对来说含较高的P₂O₅和较低的REE^[29].因此,本文仍把它分出来,并称之为Li-F花岗岩型.显然,本文的Li-F花岗岩与王联魁等提出的Li-F花岗岩^[25]相比,要狭义得多,而可能更接近于刘昌实等总结的陆内S型花岗岩中的富氟高磷类型^[29].第3种情形是岩浆的来源可能更深、但其侵位却更浅,从而形成一些“次火山岩相”的花岗质岩浆活动产物,有的甚至与火山岩共生,构成花岗质火山-侵入杂岩,有些还伴有中心式(塌陷)火山机构,王德滋等称之为“S型火山岩”^[7,30].它们中的许多岩体与斑岩锡矿有关,有些则与铀矿化有关,如江西的岩背、相山、石城,广东的银岩、西岭、塌山,浙江的洋滨等.对于这类岩石的成因类型,一些研究者认为应属于“同熔型”,岩浆来源于“上地幔至下地壳”^[31-32];但由于它们都是富铝的,有些火山岩(如江西相山、东乡)中含有红柱石、石榴子石等富铝矿物,并具有较高的铍同位素初始比值等特征,因此大部分研究者认为它们属于陆壳重熔型花岗岩类或陆壳重熔型火山-侵入杂岩或S型花岗质火山-侵入杂岩^[9,14,33-34].显然,这类岩石主要分布在华南的东南部,基本上出露于赣江断裂以东地区;而且在时代上相对年青,以<150 Ma为主.本文称之为火山-侵入杂岩型.

现分别以产于赣南的漂塘、大吉山、岩背为例,将上述3种情形(3个类型)的陆壳重熔型花岗岩类某些岩石化学方面的特征作一对比(表1).从表1可见,这3种类型花岗岩都是高硅富碱,有相似的较高的Rb/Sr比值,这些也是陆壳重熔型花岗岩的共同特征.三者之中的第1

和第 3 种岩石似乎在某些特征方面更相近一些, 它们都属弱过铝质, 有较低的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值、较高的 Zr/Hf 比、较低的 Ta 含量和较高的 REE 含量; 而第 2 种岩石的这些特征则与它们大不一样, 表现为中等过铝质, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, Ta 含量较高而 REE 含量很低. 而在轻、重稀土的比值上, 上述第 1, 2, 3 类花岗岩却呈现出轻稀土逐渐富集的趋势.

表 1 华南陆壳重熔型花岗岩类 3 种不同类型花岗岩岩石化学特征对比表^{a)}

	主体(S 型)花岗岩 ——漂塘(5)	Li-F 花岗岩 ——大吉山(4)	火山-侵入杂岩 ——岩背(8)
SiO_2 (%)	76.43	73.31	75.92
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	0.43	1.93	0.36
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (%)	8.02	8.98	8.05
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	0.76	1.15	0.59
A/NKC	1.06	1.16	1.02
Rb/Sr	44.79	39.4	41.62
Zr/Hf	15.24	3.13	19.59
Nb/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	31.69	63.32	74.74
Ta/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	11.19	142.43	未测出
$\Sigma\text{REE}/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	219.15	46.03	390.52
$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	0.41	0.99	1.46

a) 漂塘、大吉山样品的主量元素分析由南京大学现代分析中心完成(X 荧光光谱), 微量元素分析由中国科学院贵阳地球化学研究所矿床地球化学开放实验室完成(ICP-MS); 岩背的数据引自文献[29]. 括号内为样品数

华南燕山期与花岗岩类有关的铀矿床的定位常受该期不同源岩浆活动叠加在海西晚期-印支期的过铝质花岗岩之上的控制, 这可以归结为这一成矿系统的第 4 种情形, 本文称之为晚期叠加型. 常见的不同源岩浆活动叠加有: 粗安质岩浆活动叠加(例如赣南的猫尖洞)、花岗质岩浆活动叠加(如粤北诸广山、下庄)、流纹质岩浆活动叠加(如闽北毛洋头)、基性岩浆活动叠加(如赣南隘高、粤北下庄)、双峰式岩浆活动叠加(如赣南白面石)等. 当燕山期不同源、不同性质岩浆活动叠加时, 不仅提供了热量驱动流体运动, 促使较早期花岗岩中的铀活化富集, 而且还提供深源挥发组分(主要是 CO_2 , F)直接参与铀的成矿作用. 粤北下庄铀矿就是在印支期花岗岩的基础上, 由燕山晚期的 4 次酸性岩浆活动和 4 次基性-中基性岩浆活动的叠加而形成早、晚两期 5 个阶段的铀矿化¹⁾.

最近的许多研究成果表明, 华南某些地区实际上在燕山早期就发生过伸展裂解作用^[35-38]. 陈培荣等指出, 正是在这一动力学背景下, 南岭地区形成了一套典型的后造山(post-orogenic, 或称为“造山后”)花岗岩类, 它除了包含主体二长花岗岩和钾长花岗岩外, 还发育 A 型花岗岩类和双峰式火山岩组合^[39]. 因此, 华南地区中生代尤其是燕山期的陆壳重熔型花岗岩类主要不是在造山(挤压)背景下形成的, 而是在造山之后的伸展-裂解背景下形成的, 而且与玄武岩浆底侵等壳-幔相互作用密切相关^[8,40].

3 与富钾的花岗岩类有关的成矿系统

在华南某些地区不同程度地发育着中、新生代的富钾(花岗质)岩浆岩, 它们在化学成分上以富钾为特征, 在成因上则不是陆壳重熔型花岗岩类. 在关于岩石系列划分的 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图上,

1) 邓 平, 谭正中, 吴烈勤. 粤北花岗岩构造岩浆活动与铀成矿序列. 华南铀矿地质, 2000, 17(1-2): 32 ~ 43

它们都超出了正常的钙碱系列岩石范围, 其中有些属于高钾钙碱系列岩石, 有的属于富钾的碱性花岗岩, 有的则属于钾玄质系列中的偏酸性成员. 笔者把与这类富钾的花岗质(中-酸性)岩浆活动有关的成矿作用归入一个成矿系统. 由于这一类岩石的成因、背景、性质比较复杂, 所以又可以把它们分成两个次一级的成矿亚系统, 即: (i) 与板内高钾钙碱系列岩石有关的铜多金属成矿系统; (ii) 与钾玄质及其他富钾岩浆活动有关的成矿系统.

3.1 与板内高钾钙碱系列岩石有关的铜多金属成矿亚系统

板内高钾钙碱系列岩石以湘南地区的花岗闪长质小岩体为代表, 它们与铜铅锌多金属成矿作用关系密切, 并且形成了一批重要的多金属矿床, 如水口山、宝山、黄沙坪、铜山岭等. 王岳军等^[37]研究了湘南地区这类岩石的常量和微量元素地球化学特征, 认为它们属板内钾质岩石, 其成因与该地区在中生代岩石圈伸展-减薄背景下, 由于软流圈上涌导致幔源岩浆底侵, 与中下地壳物质混合后发生部分熔融有关. 他们还利用单颗粒锆石 U-Pb 法测定了湘南地区若干花岗闪长质小岩体的年龄值都在 175 Ma 左右, 属于燕山早期^[41].

这一成矿亚系统与本文第 1 个成矿系统(斑岩-浅成热液金-铜成矿系统)有许多类似之处, 因为与斑岩-浅成热液金-铜成矿系统有关的花岗岩类有不少是高钾的钙碱系列岩石. 但这两个成矿系统之间存在着明显的差异, 表现在 3 个方面: 一是本成矿系统的岩石在岩性上相对偏中性, 主要为花岗闪长岩乃至黑云母闪长岩, 很少有真正的(酸性)花岗岩; 二是本系列岩石侵位稍深, 且缺少伴生的同源火山岩, 而第 1 个成矿系统的岩石不仅侵位浅, 多呈斑岩产出, 且基本上伴随有火山岩; 三是本系列的成矿作用(至少在湘南)主要以铜、铅锌为主, 而金、银则相对较少.

湘南地区这几个板内高钾钙碱系列的小岩体恰恰处在华南地质构造的重要位置上. Gilder 等通过对华南地区 23 个中生代花岗岩体的 Sm-Nd, Rb-Sr 同位素测定, 发现一条由高 Sr, Nd 含量、高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值的花岗岩体构成的北东向的带, 并称之为“十杭带”(Shi-Hang zone)^[35]. Chen and Jahn 进一步论证了在华夏内部省及其附近的一些北东走向的低 T_{DM} 花岗岩带, 其中赣东北-赣西南的低 T_{DM} 带与湘南-桂中的低 T_{DM} 带在湘赣边界被高 T_{DM} 的诸广山花岗岩体隔断而不连接^[6], 这也可能是造成湘南地区和赣东北地区(如德兴)的花岗闪长质岩体虽然岩性基本相同、但在成矿作用特征上存在明显差异的原因之一.

3.2 与钾玄质及其他富钾岩浆活动有关的成矿亚系统

在上述湘南地区花岗闪长质小岩体向南西延伸方向的桂东南地区, 也出露一批富钾的侵入岩, 其中既有基-中性的岩石, 也有偏酸性的岩石, 如花山岩体等. 李献华等研究了它们的岩石学和地球化学特征, 发现它们具有与板内玄武岩相似的微量元素组成特征, 并称之为桂东南钾玄质侵入岩带^[36]. 郭新生等研究了桂东南罗容、马山富钾岩浆杂岩的 Nd 同位素组成, 也认为它们是形成于板内拉张构造环境的钾玄质侵入岩^[38]. 软流圈地幔上涌和岩石圈伸展-减薄是产生这类板内钾玄质岩石的根本原因; 而幔源岩浆上侵和随后的地壳熔融过程, 造成大量热量供给, 有利于流体和成矿物质的循环, 也有利于大规模成矿作用. 与这一类岩石有关的成矿作用主要有稀土、稀有与钨、锡等. 在华南西部的“三江”地区, 沿哀牢山-金沙江深断裂带, 分布着长达 1800 km 的新生代富碱侵入岩带. 其岩石种类较多, 既有超基性、基性岩, 也有中性、酸性岩, 后者主要有石英二长斑岩、二长花岗斑岩、正长花岗斑岩、正长(斑)岩、碱性花岗岩. 与该富碱侵入岩有关的金属矿产资源十分丰富, 尤其以斑岩型铜(钼)矿床最为重要,

如著名的藏东玉龙斑岩铜矿带^[42-43]以及云南的马厂箐^[42,44]等。张玉泉等认为玉龙和扎拉尕、莽总、多霞松多、马拉松多等斑岩铜矿的岩体应属于钾玄岩系列^[42]。

值得一提的是,在世界范围内,与中、新生代钾玄质侵入岩及其他富钾岩石有关的金铜多金属成矿作用正在受到越来越多的关注^[45],因此对这类岩石及其成矿作用的研究尚须进一步加强。

4 与 A 型花岗岩类有关的成矿系统

在华南地区存在着不同时代的 A 型花岗岩类,它们或形成于大陆边缘的伸展构造环境,或形成于板内的拉张环境。涂光炽等较早指出了华南存在着两个大型富碱侵入岩带,即浙闽沿海带和哀牢山-金沙江带,并认为前者在主量和微量元素含量方面都与澳大利亚 Lachlan 褶皱带的 A 型花岗岩很类似^[46]。王德滋等认为,我国东部晚中生代的先后两期 A 型花岗岩,分别是在陆-陆剪切造山导致的剪切拉张以及板块俯冲导致的弧后扩张这样两种不同的拉张背景下形成的^[47]。魏春生等通过岩石形成时代特征及物质来源的 Nd-Sr-O 同位素地球化学特征研究,认为中国东部 A 型花岗岩起源于俯冲洋壳^[48]。根据目前的资料,华南东部地区的中生代 A 型花岗岩主要分布于浙闽沿海、赣南、粤北等地,其中,浙闽沿海的晚中生代 A 型花岗岩类早就得到肯定并有大量研究成果,如福建魁岐花岗岩^[48-49],其年龄数据多在 109 ~ 90 Ma 之间^[48]。而赣南等地的某些 A 型花岗岩体则是近几年来才界定的,如定南的寨背岩体^[50]、龙南的陂头岩体^[51]、佛冈的恶鸡脑岩体^[52]等。

赣南一些准铝质的 A 型花岗岩与稀土矿化的关系比较密切,这些岩体一般富含 REE,平均在 500×10^{-6} 以上。赣南地区不仅存在 A 型花岗岩,而且存在双峰式火山岩,其中的酸性端员流纹岩和 A 型花岗岩一样具有板内花岗质岩石的地球化学特征,可称为 A 型火山岩。赣南地区广泛分布的大规模风化淋积型稀土矿床往往与这些 A 型花岗质岩石关系密切。

分布于云南“三江”地区、哀牢山-金沙江带的新生代富碱侵入岩已经在前一个成矿系统中作了介绍。它们中的一部分可能类似于 A 型花岗岩。胡瑞忠、毕献武等最近的研究认为姚安和马厂箐岩体在成分上类似于 A 型花岗岩^[42,53-54],为富集地幔部分熔融的产物,其中姚安岩体为典型的碱性系列,马厂箐岩体为碱性-亚碱性系列;他们还初步探讨了富碱侵入岩演化过程中铜、金和挥发分的地球化学行为。

因此,目前掌握的资料看,华南与 A 型花岗岩有关的成矿系统主要是稀土和铜、金成矿作用。

5 讨论和结论

华南地区中、新生代广泛发育着不同来源的花岗岩类,反映出华南地区岩石圈演化的特征。本文把华南地区与中、新生代不同来源花岗质岩浆活动有关的成矿作用划分为 4 个主要的成矿系统,即:(i)与钙碱性火山-侵入花岗质岩浆活动有关的“斑岩-浅成热液金-铜成矿系统”,(ii)与陆壳重熔型花岗岩类有关的钨锡铌钽稀有金属及铀成矿系统(包括主体花岗岩、Li-F 花岗岩、火山-侵入杂岩、晚期叠加等 4 种类型),(iii)与富钾花岗岩类(包括板内高钾钙碱系列岩石及钾玄质岩石等)有关的铜金多金属及稀有金属成矿系统,以及(iv)与 A 型花岗岩类有关的金铜及稀土成矿系统。它们构成了华南地区中、新生代大规模成矿作用的主体。

成矿作用是岩石圈演化的产物,从而也反映了岩石圈演化的过程及其动力学环境,华南地区上述几个成矿系统之间的差异是由它们形成于不同的成岩成矿构造动力学背景而造成的。

而关于华南地区中、新生代的岩石圈演化及其大陆动力学研究,是当前地学界的一个重大课题,不可能在本文的篇幅内展开讨论。但是,笔者认为,从现有的资料分析,以下3个方面可能是认识华南地区中、新生代岩石圈演化及有关的成矿构造动力学背景的关键所在。

(1) 在印支运动完成了华北-华南两大板块的拼接之后,华南地区在早、中侏罗纪经历了一次重大的构造体制转换,即由东西向的古亚洲构造域转变为北东向的太平洋构造域^[40,55]。笔者等最近指出,南岭地区燕山早期花岗岩呈东西向展布,而燕山晚期的花岗岩则总体呈北东向展布^[39],这一特征可能体现了上述构造体制转换。舒良树等也认为南岭地区是保留有上述两种构造体制物质与形态记录较多的地段,是构造体制转换位置之一^[40]。

(2) 华南地区花岗岩类的年代学数据显示,从江南造山带向闽粤沿海方向,花岗岩类的年龄值总体上逐渐变小^[6,8]。以南岭地区为例,燕山早期第1阶段花岗岩主要分布在南岭北部,第2阶段花岗岩主要分布在南岭南部,而燕山晚期(<140 Ma)花岗岩主要分布在闽粤沿海地区^[39]。李武显等在总结华南地区东部火成岩时空分布时也指出赣江以西侵入岩年龄多大于160 Ma,赣东闽西的火山岩和侵入岩年龄多在160~140 Ma之间,而浙闽沿海地区则为140~85 Ma^[56]。华南东部花岗岩类和火山活动的年代变化显然受太平洋板块俯冲带位置东移、俯冲角变陡以及陆壳向东变薄的影响。

(3) 华南地区晚中生代构造体制还经历了由“挤压-岩石圈增厚”向“拉张-岩石圈减薄”的转换过程,花岗岩类及相关的火山活动明显受到这一转换的控制。这里所说的“挤压-岩石圈增厚”包含了两种情况:一是陆陆碰撞的造山作用,二是洋壳向陆壳的俯冲作用。徐夕生等认为板块挤压作用导致地壳增厚,形成陆壳重熔岩石(S型花岗岩),而分布在东南沿海地区的花岗质(火山-侵入)岩浆则与弧后拉张、岩石圈减薄、软流圈上涌直接有关^[57]。至于这一转换发生的时间,似乎因地而异:徐夕生等以台湾中央山脉东侧大南澳基底杂岩所代表的晚中生代缝合带的年龄100~110 Ma作为转变年龄^[58];张德全等的研究显示闽西南紫金山地区的“挤压→拉张”转折发生在133 Ma,以才溪二长花岗岩为标志^[19];而近年来更多的研究成果表明,在华南大陆内部的赣南、湘南、桂东南等地,岩石圈的伸展-减薄在燕山早期就有发生^[35-39]。而这些地区的燕山早期花岗岩类主要地也是在岩石圈伸展-减薄的背景下形成的。

需要说明的是,由于华南地区中、新生代构造背景的复杂性,花岗岩类及相关的富碱、富钾岩石在分类命名上存在的不确定性,以及金属成矿作用的多样性等因素,想要把华南如此丰富多彩的矿床非常恰当地归纳到几个界限分明的成矿系统中去几乎是不可能的。事实上,即使是对于那些工作程度已经“较高”的大矿,不同的人还是会有不同的认识。例如对超大型的柿竹园矿床,大部分研究者认为与它有关的花岗岩属于陆壳重熔型或S型,也就是可归入本文的第2个成矿系统中的第1或第2种情况^[59];而有的研究者提出它是由夕卡岩岩浆成矿作用形成^[60];也有研究者认为有关的花岗岩属于铝质碱性花岗岩,并可与A型花岗岩对比^[61]。类似的情况屡见不鲜。因此,本文只能大致地对华南地区的金属成矿作用按其相关的花岗岩类的性质进行成矿系统的划分,并希望有助于在“花岗岩类成因-构造动力学背景-成矿作用特征”之间建立起有机的联系,并能有助于在宏观上把握华南地区中、新生代与不同来源花岗质岩浆活动有关的成矿作用的全貌和基本性质。

通过本研究使笔者更深切地认识到,总体来说,华南地区中、新生代各种类型的花岗质岩浆活动都是壳-幔相互作用的产物,其形成的构造动力学环境主要的不是以挤压为主,而是不同程度的伸展、拉张。正是由于地幔物质在不同程度上、不同形式的参与,才引起华南地区中、

新生代大规模的岩浆活动,并促成了该地区丰富多彩的大规模金属成矿作用。

致谢 参与本课题研究的张德全研究员、王岳军研究员、毕献武研究员为本文的完成提供了许多帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 Streckeisen A L. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 1976, 12: 1 ~ 13
- 2 中国科学院地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1979. 421
- 3 莫柱孙, 叶伯丹. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社, 1980. 363
- 4 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1981. 395
- 5 Xu Keqin, Tu Guangchi. *Geology of Granites and Their Metallogenic Relations*. Beijing: Science Press, 1984. 954
- 6 Chen J F, Jahn B M. Crustal evolution of southeastern China: Evidence from Nd and Sr isotope compositions of rocks. *Tectonophysics*, 1998, 284: 101 ~ 133
- 7 王德滋, 周金城. 我国花岗岩研究的回顾与展望. *岩石学报*, 1999, 15(2): 161 ~ 169
- 8 Zhou Xinmin, Li Wuxian. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: implication for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 2000, 326: 269 ~ 287
- 9 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化. 北京: 科学出版社, 2002. 295
- 10 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, 1999, 18(4): 291 ~ 299
- 11 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 1999, 18(4): 300 ~ 308
- 12 翟裕生, 王建平, 邓 军, 等. 成矿系统与矿化网络研究. *矿床地质*, 2002, 21(2): 106 ~ 112
- 13 翟裕生. 论成矿系统. *地学前缘*, 1999, 6(1): 13 ~ 28
- 14 Wang Dezi, Ren Qijiang. *The Mesozoic Volcanic-Intrusive Complexes and Their Metallogenic Relations in East China*. Beijing: Science Press, 1996. 159
- 15 Corbett G J, Leach T M. *Pacific Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization. A Workshop at the Pacrim Conference, Auckland, New Zealand, 1995*. 182
- 16 华仁民, 陆建军, 陈培荣, 等. 中国东部晚中生代斑岩-浅成热液金(铜)体系及其成矿流体. *自然科学进展*, 2002, 12(3): 240 ~ 244
- 17 Tan L P. The Chinkuashih gold-copper deposits. *Taiwan: Soc Econ Geol Newslett*, 1991, 7: 22
- 18 Hua Renmin, Dong Zhongquan. The characteristics and origins of granitic rocks of two genetic series in Dexing, Jiangxi. In: Xu Keqin, Tu Guangchi, eds. *Geology of Granites and Their Metallogenic Relations*. Beijing: Science Press, 1984. 347 ~ 366
- 19 张德全, 李大新, 丰友成, 等. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义. *地球学报*, 2001, 22(5): 403 ~ 408
- 20 华仁民. 赣东北深大断裂带形成机制的讨论. *南京大学学报(地球科学版)*, 1988, (1): 62 ~ 69
- 21 陈江峰, 江博明. 钍、铀、铅同位素示踪和中国东南大陆地壳演化. 见: 郑永飞, 主编. *化学地球动力学*. 北京: 科学出版社, 1999. 262 ~ 287
- 22 涂光炽. 从一个侧面看矿床事业的发展——若干重要矿床领域的新进展及找矿思维的开拓. *矿床地质*, 2002, 21(5): 97 ~ 105
- 23 徐克勤, 孙 翊, 王德滋, 等. 华南花岗岩成因与成矿. 见: 徐克勤, 涂光炽, 主编. *花岗岩地质与成矿关系*. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984. 1 ~ 20
- 24 莫柱孙. 试论南岭花岗岩的地质环境分类. *大地构造与成矿学*, 1985, 9(1): 1 ~ 8
- 25 王联魁, 黄智龙. Li-F 花岗岩液态分离与实验. 北京: 科学出版社, 2000. 280
- 26 朱金初, 饶 冰, 熊小林, 等. 富锂氟含稀有金属矿化花岗岩岩石的对比和成因思考. *地球化学*, 2002, 31(2): 141 ~ 152
- 27 赵振华, 增田彰正, M B 夏巴尼. 稀有金属花岗岩的稀土元素四分组效应. *地球化学*, 1992, (3): 221 ~ 233
- 28 陈毓川, 毛景文. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995. 64 ~ 65
- 29 刘昌实, 王汝成, 舒良树, 等. 陆内 S 型花岗岩的形成与演化. 见: 王德滋, 周新民, 等. *中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化*. 北京: 科学出版社, 2002. 93 ~ 130

- 30 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 等. 江西东乡-相山中生代S型火山岩带的发现及其地质意义. 科学通报, 1991, 36(19): 1491 ~ 1493
- 31 陈惜华, 胡祥昭, 丛献东. 西岭锡矿床岩体含矿性与成因类型的研究. 地球化学, 1986, (1): 50 ~ 57
- 32 刘师先. 塌山斑岩锡矿地质特征及成矿机理. 地球化学, 1992, (2): 149 ~ 157
- 33 沈渭洲, 刘昌实, 闵茂中, 等. 浙江洋滨斑岩锡矿的同位素地质研究. 矿床地质, 1994, 13(2): 186 ~ 192
- 34 沈渭洲, 王德滋, 刘昌实, 等. 岩背斑岩锡矿特征和成因. 高校地质学报, 1996, 2(1): 85 ~ 91
- 35 Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. Isotope and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *J Geophys Res*, 1996, 101(B7): 16137 ~ 16154
- 36 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征. 科学通报, 1999, 44(18): 1992 ~ 1998
- 37 王岳军, 范蔚茗, 郭峰, 等. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征. 岩石学报, 2001, 17(1): 169 ~ 175
- 38 郭新生, 陈江峰, 张翼, 等. 桂东南富钾岩浆杂岩的Nd同位素组成: 华南中生代地幔物质上涌事件. 岩石学报, 2001, 17(1): 19 ~ 27
- 39 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 南岭燕山后期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景. 中国科学, D辑, 2002, 32(4): 279 ~ 289
- 40 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造作用. 地质论评, 2002, 48(3): 249 ~ 260
- 41 王岳军, 范蔚茗, 郭峰, 等. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石U-Pb法定年及其成因指示. 中国科学, D辑, 2001, 31(9): 745 ~ 750
- 42 李朝阳, 徐贵忠, 胡瑞忠, 等. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景. 北京: 地质出版社, 2000. 29 ~ 45
- 43 张玉泉, 谢应雯, 梁华英, 等. 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩及成岩系列. 地球化学, 1998, 27(3): 236 ~ 243
- 44 谢应雯, 张玉泉. 云南洱海东部新生代岩浆岩岩石化学. 岩石学报, 1995, 11(4): 423 ~ 433
- 45 Muller D, Groves D J. Direct and indirect association between potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. *Ore Geol Rev*, 1993, (8): 383 ~ 406
- 46 涂光炽, 张玉泉, 赵振华. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究. 见: 徐克勤, 涂光炽, 主编. 花岗岩地质与成矿关系. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984. 21 ~ 37
- 47 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 中国东部晚中生代A型花岗岩的构造制约. 高校地质学报, 1995, 1(2): 13 ~ 21
- 48 魏春生, 郑永飞, 赵子福. 中国东部A型花岗岩形成时代及物质来源的Nd-Sr-O同位素地球化学制约. 岩石学报, 2001, 17(1): 95 ~ 111
- 49 王德滋, 彭亚鸣, 袁朴. 福建魁歧花岗岩的岩石学和地球化学特征及成因探讨. 地球化学, 1985, (3): 197 ~ 205
- 50 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背A型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义. 岩石学报, 1998, 14(3): 163 ~ 173
- 51 范春方, 陈培荣. 赣南陂头A型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造环境. 地球化学, 2000, 29(4): 358 ~ 366
- 52 包志伟, 赵振华, 熊小林. 广东恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义. 地球化学, 2000, 29(6): 462 ~ 468
- 53 毕献武, 胡瑞忠, Comell D H. 姚安金矿床成矿流体形成演化的稀土元素地球化学. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 263 ~ 265
- 54 毕献武, 胡瑞忠, Comell D H. 蚀变流体的来源: 矿化蚀变带中原生与次生长石的稀土元素证据. 科学通报, 2000, 45(13): 1429 ~ 1432
- 55 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 等. 中国东部的构造格局和动力演化. 北京: 原子能出版社, 1998. 1 ~ 12
- 56 李武显, 周新民. 中国东南部晚中生代俯冲带探索. 高校地质学报, 1999, 5(2): 164 ~ 169
- 57 徐夕生, 周新民, 唐红峰. 玄武岩浆的底侵作用与花岗岩的形成. 见: 王德滋, 周新民, 主编. 中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化. 北京: 科学出版社, 2002. 219 ~ 229
- 58 徐夕生, 周新民, 王德滋. 壳幔作用与花岗岩成因——以中国东南沿海为例. 高校地质学报, 1999, 5(3): 241 ~ 250
- 59 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 湖南柿竹园钨锡钼多金属矿床地质与地球化学. 北京: 地质出版社, 1998. 215
- 60 赵斌, 赵劲松, 李兆麟. 柿竹园矿床矿物包裹体的地质地球化学意义. 见: 中国科学院地球化学研究所等编, 资源环境与可持续发展. 北京: 科学出版社, 1999: 62 ~ 68
- 61 赵振华, 包志伟, 张伯友, 等. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔相互作用背景. 中国科学, D辑, 2000, 30, (增刊): 161 ~ 168