

华南地壳增长和构造演化的 年代学格架与同位素体系制约*

李献华

(中国科学院广州地质新技术研究所, 广州 510640)

关键词 同位素地球化学、同位素年代学、地幔地球化学

华南地壳演化的特点是岩浆、构造活动多期多阶段, 晚期活动的影响不断地叠加在早期活动历史上, 从而增加了研究的难度。然而, 在以往的研究基础上, 综合运用现代的高精度年代学分析技术和多元同位素体系研究方法, 将有可能揭示华南地壳增长和构造演化的复杂历史。本文将综合作者近年来对华南褶皱带和扬子地台南缘的研究和最新资料做一小结。

1. 晚太古代——华南地壳形成的最初阶段? 运用高精度单颗粒锆石 U-Pb 定年技术, 作者等 1989 年首先在汤湖花岗岩中发现了 2.5Ga 太古代残留锆石的存在^[1], 证实华南地壳岩石中存在太古代再循环物质。然而汤湖岩体的 Nd 模式年龄只有 1.8Ga, 表明花岗岩中的太古代组分比例不大。是否存在太古代基底已成为研究华南地壳演化的关键问题。最近的研究表明, 浙西南八都群变质沉积岩中也含有大量的晚太古-早元古代残留锆石, 并且普遍显示出晚太古代的 Nd 模式年龄, 表明这些变质沉积岩来源于晚太古代地壳^[2]。现在浙西南—闽西北已成为研究华南太古代基底的关键地区。到目前为止, 尽管还没有找到一块有准确可靠年龄的太古代岩石, 然而太古代再循环组分的普遍存在, 使我们相信华南地壳演化的历史最早应追溯到晚太古代。

2. 中元古代——华南地壳的快速生长期 华南一百多个前中生代地壳岩石样品的 Nd 模式年龄分布在 1.0~3.3Ga 之间, 并在 1.8Ga 和 1.4Ga 呈现出两个明显的峰值, 这表明华南前寒武纪地壳的形成时期为晚太古代—中元古代, 而晚元古代到古生代期可能没有明显的大规模新生地壳形成。沿扬子南缘的晚元古代沉积岩和福建长乐—南澳变质岩带的 Nd 模式年龄较年轻(1.2~1.5Ga); 闽西北—浙西南地区样品的 Nd 模式年龄变化范围最大(1.2~3.3Ga); 而华南“加里东褶皱带”中样品的 Nd 模式年龄相对一致(1.5~1.9Ga)。由于 Nd 模式年龄广义上反映的是地壳各个部分的“加权平均”地壳存留年龄, 因此并非每一个年龄值都代表一次真实的地幔分异或地壳形成时代。然而 1.8Ga 和 1.4Ga 两个 Nd 模式年龄峰值则难以用各个时代地壳组分的随机混合来解释, 有可能反映了新地壳的形成时代。大量的研究表明, 1.8Ga 是世界范围内一次最重要的早中元古地壳形成时期。因此, 1.8Ga 也是华南地壳的主要形成时期。在全球范围内, 虽然 1.4Ga 地壳增长远不如晚太古代(2.5~2.8Ga)和早中元古代(1.7~1.9Ga)那么显著, 但近年来在格林维尔造山带中普遍识别出 1.3~1.5Ga 的新地壳组分, 表明晚中元古代的区域地壳增生^[3,4]。

新近发表各类岩石中残留锆石 U-Pb 年龄主要集中在三个范围: 2.4~2.6Ga、1.7~2.0Ga 和 1.2~1.4Ga。1.7~2.0Ga 的残留锆石 U-Pb 年龄与 1.8Ga 的 Nd 模式年龄峰值相互制约, 证实了华南 1.8Ga 的地壳形成事件。同时, 浙西南的老地壳在这一时期被重熔改造。1.2~1.4Ga 的残留

* 本研究工作得到中国科学院院长基金、国家自然科学基金和中国科学院地球化学研究所所长基金的支持。

锆石 U-Pd 年龄在华南各类岩石中广泛分布,一方面有可能反映了这一时期前存地壳的广泛重熔改造,另一方面与 1.4Ga 的 Nd 模式年龄峰值相互验证在 1.2~1.4Ga 可能有新生地壳形成。最近报道的浙西南元古代地层中斜长角闪岩(原岩为拉斑质玄武岩)的 Sm-Nd 等时线年龄 1377Ma 和 1347Ma^[2,5],进一步证实了华南晚中元古的地壳增长。因此,1.2~1.4Ga 很可能是华南的早格林维尔造山期。

总之,中元古代是华南地壳快速增长时期,并以两阶段增长为特征,即第一阶段的早中元古代(~1.8Ga)的快速增长,与全球 1.7~1.9Ga 的大规模地壳增长一致,构成了华南地壳的主体;第二阶段是晚中元古代(1.2~1.4Ga)早格林维尔造山期的地壳增生。

3. 晚元古代——华南和扬子的陆—弧—陆碰撞造山期 近年来,皖南和赣东北蛇绿岩的 Sm-Nd 年龄(1.0~1.1Ga)以及大量的花岗岩类岩石的年龄资料(0.8~0.9Ga)表明,沿江南古陆南缘华南和扬子的晚元古代碰撞。然而,许靖华等都提出了二者的中生代碰撞造山模式。

为了对扬子和华南的构造演化做进一步的制约,作者沿扬子南缘系统分析了从中元古四堡群(及相应地层)到二叠纪各个时代的泥质沉积岩的 Sm-Nd 同位素组成。沉积岩样品的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值很一致,平均为 0.119, $\epsilon\text{Nd}(0)$ 值则呈现明显的双峰态分布: -11~-6 和 -13~-17。样品的 Nd 模式年龄总体上介于 1.2~2.0Ga 之间,其中四堡群(及相应层位)和显生宙沉积岩样品的 Nd 模式年龄一致分布在 1.7~2.0Ga 之间,而丹洲群(及相应层位)和震旦纪沉积岩样品的年龄值则较分散(1.2~1.9Ga)。在 Nd 模式年龄与沉积时代相关图上,投影点呈一明显的“V”型分布,上丹洲和下震旦的样品具有明显年轻的 Nd 模式年龄 1.2~1.5Ga。从震旦到二叠纪,沉积岩的 Nd 模式年龄随时间演化逐渐变老,并和四堡群和下丹洲群的沉积岩年龄趋于一致。样品初始 ϵNd 值随时间的演化趋势表明,大约在 1.0Ga 时,沉积物源区发生了显著变化,其中地幔组分明显增加。震旦纪以来,沉积物源区的地幔组分逐渐减少,趋于以约 1.8Ga 存留年龄的陆源区为主。

上述沉积岩 Sm-Nd 体系研究和已发表的蛇绿岩 Nd 同位素资料均支持华南与扬子晚元古陆—弧—陆碰撞造山构造演化模式,即大约在 1.2~1.1Ga 前,在华南与扬子之间由于洋壳对洋壳的俯冲形成了一原始大洋岛弧。靠近扬子一侧的边缘海扩张,形成了一些新生洋壳。这些新生洋壳具有明显的亏损地幔特征。1.1~1.0Ga 前,华南与扬子开始碰撞,残留洋壳构造侵位,而仰冲上来的岛弧则成为新的沉积物源区。这一碰撞以 0.9~0.8Ga 的造山运动和同期花岗岩形成而告终。

4. 古生代——地壳重熔再循环与褶皱变形时期 加里东晚期(以志留纪为主)花岗岩浆作用是华南早古生代最为重要的岩浆活动时期。在“加里东褶皱带”中广泛出露这个时期的花岗岩类,岩性包括偏基性的闪长岩、石英闪长岩,到中酸性的花岗闪长岩、黑云母花岗岩及少量混合花岗岩,主要岩性为黑云母花岗岩和花岗闪长岩,年龄在 400~450Ma,并主要集中在 430Ma 左右。这一时期的花岗岩浆活动对华南地壳发展产生了重要的影响,与区域地壳运动——加里东运动密切相关,使华南从震旦—奥陶纪以类复理石建造为特征的海相沉积环境迅速转变为山地环境,并导致志留纪地层普遍缺失,部分地区延续到下泥盆统。

加里东期花岗岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值范围主要为 0.708~0.720(个别高达 0.729?),其中花岗闪长岩和一些偏中基性侵入体的 Sr 同位素初始值较低,多数低于 0.710;而黑云母花岗岩的 Sr 初始比值一般高于 0.711。与 Sr 同位素组成特征相反,加里东期花岗岩的 Nd 同位素组成比较一致, $\epsilon\text{Nd}(T)$ 值为 -4~-10,主要集中在 -6~-8,花岗岩的 Sr-Nd 体系为一平缓的负相关关系,没有明显的地幔组分加入的趋势,反映以地壳岩石重熔为特征。长石 Pb 同位素体系也反映出加里东期花岗岩的壳源特征。因此,华南加里东期花岗岩的物质来源主要为区域前存古老地壳岩石,属典型的

壳型花岗岩。

总之,加里东晚期是华南早古生代最重要的岩浆活动时期,形成了广泛分布的壳型花岗岩。这次岩浆活动以古老地壳再循环物质的重熔为主,没有明显的地幔组分加入,即华南早古生代没有明显的地壳增长。

5. 印支期——块体碰撞拼贴与地壳重熔增生期 关于华南三叠纪的印支期花岗岩总的来看规模不大。然而,近年来一些详细的年代学工作证明,它至少要比人们所认识的发育得多,并主要出露在诸广山以西的华南西部。例如,大容山全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $235.8 \pm 2.2 \text{Ma}^{[6]}$, 微量锆石 U-Pb 不一致年龄为 $214 \pm 7 \text{Ma}^{[7]}$, 均属印支期。按照任纪舜等(1990)的观点,钦防地区并不是一个海西褶皱带,而是印支褶皱带,大容山、台马、旧洲等岩体均是印支运动的产物。其他一些确定的印支期花岗岩还有湖南淋洋岩体、广西牛庙、同安岩体、广东白云圩、闻韶、伍村、仙口、播植、马山等岩体^[8-11]。

Sr-Nd 同位素体系特征表明,广西牛庙、同安岩体和广东马山、伍村岩体具有 Nd 同位素初始值高和 Sr 初始值低的特点($\epsilon_{\text{Nd}}(T) = +0.14 \sim -2.4$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.703 \sim 0.706$), 属典型的壳幔混合型花岗岩。而另一类印支期花岗岩,如淋洋、闻韶、白云圩等岩体,则属于典型的壳型花岗岩,它们的 Sr 初始值大于 0.720, 而 $\epsilon_{\text{Nd}}(T) \approx -9$ 。

阳春盆地的马山闪辉二长岩在化学成分上类似于橄榄安粗质岩石(Shoshonitic rock), Sr 同位素初始值很低(~ 0.703), 而 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值却近于零, 元素与同位素组成上显示出地幔楔的富集交代特征, 表明其形成可能与俯冲带活动相关。这个结论与三水盆地第三纪玄武岩显示的古俯冲带再循环富集地幔源的结论一致^[12], 表明吴川—四会断裂带极有可能是一个块体俯冲碰撞拼合带。粤西大规模的韧性剪切带及同期的金矿化可能和这次碰撞拼合相关。

印支期是特提斯洋演化的重要时期。由于古特提斯洋的关闭, 诸广山以西的华南西部一些离散的块体在这一时期发生碰撞拼贴, 最典型的例子钦防海槽的关闭; 粤东块体沿吴川—四会碰撞带与粤西云开块体拼合。印支期碰撞使得华南地壳发生广泛的重熔改造, 如诸广山地区, 加里东期花岗岩重熔形成了印支期壳型花岗岩。而在一些碰撞带附近有地幔物质的加入, 形成壳幔混合型花岗岩和橄榄安粗岩类, 使区域地壳增生。

6. 燕山期——多阶段重熔增生与构造活动期

(1) 燕山期花岗岩的时空分布特征: 华南分布最为广泛, 大致可分为侏罗纪(燕山早期)和白垩纪(燕山晚期)两个时代。近年来的高精度同位素地质年代学研究表明, 在广西、广东、湖南、江西等地区大面积出露的侏罗纪花岗岩及其高度分异演化的小岩体的年龄主要集中在 $150 \sim 165 \text{Ma}$ 。例如, 高精度的颗粒锆石 U-Pb 年龄测定表明, 诸广山燕山期花岗岩主体的形成时代为 $155 \pm 1 \text{Ma}$, 邻区的贵东、佛冈、四会、西华山等岩体的形成年龄也在 155Ma 左右。然而这些岩体的岩性差异很大, 诸广山九峰岩体以二长花岗岩为主, 边缘相为花岗闪长岩; 鹅形岩体为钾长花岗岩; 而西华山岩体则是高度分异演化到晚期的二云母花岗岩, 但它们的年龄却十分相近, 表明 $\sim 155 \text{Ma}$ 可能是该地区燕山期最主要的岩浆活动时代。

白垩纪花岗岩主要分布在东南沿海地区。高精度的 Rb-Sr 和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄测定表明, 该期花岗岩主要形成于 4 个幕式阶段, 即早白垩世的 $138 \pm 2 \text{Ma}$ 和 $123 \pm 3 \text{Ma}$; 晚白垩世的 $105 \pm 5 \text{Ma}$ 和 $90 \pm 2 \text{Ma}$ 。白垩纪花岗岩以晚造山和非造山花岗岩为主, 具有 I 型和 A 型花岗岩的特征。

(2) 燕山期花岗岩的物质来源: 远离东南沿海大面积出露的侏罗纪花岗岩绝大多数属于地壳重熔型花岗岩, 在 Sr-Nd 相关图上主要落在大的负 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值; 高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初值的第 IV 象限内, 长石 Pb-

Pb 体系也与加里东期的壳型花岗岩一致。

东南沿海地区的白垩纪花岗岩多数显示出不同比例地幔物质的加入, Nd-Sr 同位素体系呈现出规律性的负相关关系; 长石 Pb-Pb 体系明显区别于华南各个时代的壳型花岗岩, 表现出低 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值的特征, 与华南地幔的 Pb 同位素组成范围相一致。

(3) 燕山期基性岩脉的期次: 最近对诸广山及邻区燕山晚期基性岩脉的年龄测定表明, 这些岩脉是多阶段幔源岩浆活动的产物, 岩脉主要形成于 137~142Ma、100~110Ma 和 ~90Ma。与白垩纪晚造山和非造山花岗岩活动期相比可以看出, 除 $123\pm 3\text{Ma}$ 这次活动外, 基性岩脉的三个活动期与花岗岩活动的另外三个重要活动期非常吻合, 表明二者是在相似构造环境下形成的。

(4) 燕山期的构造岩浆活动与地壳演化: 高精度年龄测定和同位素体系示踪表明, 燕山期的构造-岩浆活动始于 165Ma 前, 大面积出露的燕山早期花岗岩是区域挤压环境下形成的, 为地壳物质重熔的产物。

华南构造应力场在早白垩纪开始发生从挤压到剪切-拉张的转变。在东南沿海地区形成了一些非造山的 I 型花岗岩, 而在内陆沿主要构造断裂带附近形成一些拉斑质幔源基性岩脉, 在整个白垩纪, 华南地壳经历了四次主要的拉张作用, 即 ~140Ma、~123Ma、~105Ma 和 ~90Ma, 并导致幔源岩浆的加入, 从而使华南地壳发生了一定规模的增生。

华南燕山期壳型花岗岩的 Nd 模式年龄主要为 1.3~1.8Ga, 与加里东期花岗岩的 Nd 模式年龄基本一致。所不同的是, 后者在 1.4Ga 和 1.8Ga 显示出峰值, 而前者峰值为 1.6~1.7Ga, 这种差异可能反映出燕山期花岗岩的源岩是华南两种中元古基底岩石(1.8Ga 和 1.4Ga) 经过比较充分的再循环混合物。中生代壳幔混合型花岗岩的 Nd 模式年龄降低与花岗岩中所含的地幔组分比例密切相关, 即地幔组分比例越高, 花岗岩的 Nd 模式年龄值越低。

7. 小结 高精度同位素年龄分析和多元同位素体系的综合研究表明, 华南地壳主要在前寒武纪以幕增生的方式形成。地壳形成的主要时期在晚太古代(2.5Ga 或更老)、中元古代早期(~1.8Ga) 和中元古代晚期(1.2~1.4Ga)。晚太古代是华南地壳形成的最初阶段, 规模较小, 组成了区内的古陆核。1.8Ga 是华南地壳大规模增生时期, 和全球元古代地壳的快速增长时期一致。1.2~1.4Ga 是华南地壳增长和构造演化的又一重要时期, 即华南早格林维尔造山作用一方面使幔源物质(或新生地壳) 加入, 另一方面又使前存地壳发生大规模的重熔改造。

扬子南缘中元古至二叠系地层泥质沉积岩的 Sm-Nd 同位素体系的系统分析结果, 支持华南与扬子的晚元古碰撞造山模式。陆-弧-陆碰撞造山作用迅速改变了扬子南缘沉积岩的物源区。

早古生代志留纪华南地壳发生了广泛的壳内重熔再循环和构造变形, 但没有明显的地幔物质加入, 380Ma 的不整合构造事件结束了华南加里东期的构造-岩浆活动旋回。

随着大规模古特提斯洋的关闭, 华南西部的一些离散块体发生碰撞拼贴, 导致区域地壳的重熔和变质。沿碰撞带幔源物质的加入使地壳局部增生。华南燕山期的构造-岩浆活动和地壳演化可分为两个主要阶段: 第一阶段为侏罗纪挤压构造环境下的壳内重熔再循环; 第二阶段为白垩纪拉张环境下的幔源岩浆活动和深部重熔, 导致东南沿海及内陆局部地区的地壳增生。早白垩世是华南燕山期构造应力场从挤压向剪切-拉张转变的重要时期, ~140Ma、~123Ma、~105Ma 和 ~90Ma 是白垩纪的几次主要拉张期。

图 1 是华南地壳增生与构造演化的简化示意。

时代		年龄 (Ma)	事 件
中生代	白垩纪	~90	拉张环境下的非造山 A 型花岗岩和基性岩脉形成,地壳增生
		~105	拉张环境下的非造山 I 型花岗岩和基性岩脉形成,地壳增生
		~123	拉张环境下的非造山 I 型花岗岩形成,地壳增生
		~140	区域构造应力场从挤压向剪切-拉张转变,晚造山 I 型花岗岩及基性岩脉形成,地壳增生
	侏罗纪	~160	区域挤压环境下的地壳重熔,燕山早期大面积 S 型花岗岩形成
	三叠纪	~220	块体碰撞拼贴与地壳重熔增生,印支期 I 型与 S 型花岗岩形成
古生代	二叠纪		
	石炭纪		
	泥盆纪	~380	区域不整合构造运动
	志留纪	~430	地壳重熔再循环,加里东晚期 S 型花岗岩形成
	寒武纪		
元古代	晚元古代	~1000	华南与扬子陆—弧—陆碰撞造山期
	中元古代	~1300	华南早格林维尔造山期,地壳重熔增生
	早元古代	~1800	大规模的地壳快速增生
晚太古代		≥2500	古陆核形成,地壳演化的最初阶段

图 1 华南地壳增生与构造演化示意图

主要参考文献

- [1]李献华等,华南汤湖花岗岩中 25 亿年太古代残留锆石的发现及其意义初探,科学通报,1989,34(3).
- [2]Zhou Xinhua et al,1993,The source province of metamorphic rocks from southern Zhejiang-A case study. in:Memoir of Lithospheric Tectonic Evolution Research(1),Seismology Press.
- [3]Dickin,A. P. H and Higgins,M. D. Sm/Nd evidence for a major 1.5Ga crust-forming event in the central Grenville province. Geology,1992,20(2).
- [4]Daly,J. S, Late Mid-Proterozoic crust growth in the North Atlantic region. The International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology, Abstract Volume, 1990, 23.
- [5]胡雄健等,浙西南前寒武纪地质,北京:地质出版社,1991.
- [6]任纪舜等,中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿,北京:科学出版社,1990.
- [7]李志昌、刘树森,我国三叠纪年表,中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊,第 14 号,1989.
- [8]李献华,万洋山-诸广山花岗岩基的岩浆活动时代与地壳运动,中国科学, B 辑,1990,7.
- [9]朱金初等,广西花山复式花岗岩体成因的铷、钆和氧同位素研究,地质学报,1990,(3).
- [10]叶伯丹,两广云开地区同位素地质年龄数据及其地质意义,广东地质,1989,(3).
- [11]赵子杰等,广东阳春地区两类花岗岩类的铷-锶、氧同位素组成及其成因探讨,中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊,第 10 号,1985.
- [12]Zhu Bingquan et al., Geochronology of and Nd-Sr-Pb isotopic evidence for mantle source in the ancient subduction Zone beneath Sanshui Basin, Guangdong Province, China. Chinese J. Geochemistry. 1989, 8(1).