

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

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

朱金初¹⁾ 黄革非²⁾ 张佩华¹⁾ 李福春¹⁾ 饶冰¹⁾

1) 南京大学地球科学系, 210093; 2) 湘南地质勘察院, 湖南郴州, 423000

内容提要 湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩以角闪石黑云母二长花岗岩为主, 其全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 159 ± 1.2 Ma, 单颗粒锆石熔融法 U-Pb 年龄为 161 ± 2 Ma, Sr 同位素初始比值偏低 (0.70854), Nd 同位素初始比值偏高 (-5.4 ~ -5.8), Nd 模式年龄偏低 (0.94 ~ 1.49 Ga)。在岩石化学和微量元素方面, 属钙碱系列, 准铝, 富含 K、Rb 等大离子亲石元素和 Th、REE、Nb 等高场强元素。常见较多具有岩浆混合特征的微花岗岩类暗色包体。这些同位素、岩石学和微量元素特征, 总体上反映了菜岭超单元花岗岩的成岩组成中有明显的地幔物质的参与。该花岗岩可能是在燕山早期华南地壳开始拉张减薄的构造背景下定位的, 壳幔相互作用对本区大陆地壳物质的重熔和花岗岩浆的形成和演化起了重要的作用。

关键词 花岗岩 同位素年龄 岩石学 微量元素 物质来源 骑田岭岩体 湘南

骑田岭花岗岩体是南岭花岗岩的代表性岩体之一, 位于南岭山系中段, 湖南省南部, 郴县、宜章和桂阳三县交界处。整个岩体呈等轴状, 总面积约 520 km², 其东北边缘离郴州市区相距约 20 km。由于在骑田岭岩体内部和周围不远的范围内, 已发现了大量有色金属和稀有金属矿床, 其中不少达大型和超大型规模(刘梦庚等, 1996)。因此, 有关骑田岭花岗岩体的年龄、成因和成矿关系等问题, 早就引起广大地质工作人员的密切关注, 但目前仍有很多问题未能解决。本文在野外工作的基础上, 对骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩进行了全岩 Rb-Sr 等时线和单颗粒锆石 U-Pb 年龄测定、Sr-Nd 同位素组成分析以及花岗岩和暗色包体的岩石学、岩石化学和微量元素地球化学等方面的研究工作, 获得了一些新的认识。

1 区域地质概况

在大地构造上, 本区位于扬子地块和华夏地块的交接部位。出露的地层为以边缘海槽盆相砂泥质岩石为主的震旦系—志留系和以浅海台地相碳酸盐岩为主的泥盆系—中三叠统, 在一些受深断裂控制的断陷盆地中, 发育着上三叠统一侏罗系和白垩系—新近系的陆相沉积岩(图1)。断裂构造十分发育,

尤其以 NE 向为最重要, 其中茶陵—郴州—临武深大断裂直接穿过骑田岭岩体。花岗质岩基和岩株出露甚广, 除了东北部的彭公庙岩体和西南部的雪花顶岩体属加里东期外, 其余如骑田岭、九嶷山主体、九峰山、阳明山、塔山、大义山和千里山等岩体, 均属中生代构造—岩浆活动产物。中生代的花岗闪长质小岩体及基性岩(包括玄武岩、辉绿岩、辉橄岩和煌斑岩等)亦十分常见, 反应了中生代本区在板内构造背景的基础上, 发生过岩石圈的强烈伸展—减薄和深部幔源物质的上侵(郭锋等, 1997; 赵振华等, 1998, 2000; 王岳军等, 2001)。

2 侵位年龄

骑田岭花岗岩体是一个多阶段侵入的复式岩体, 它侵入的最新地层为早三叠世大冶灰岩, 在岩体南侧不远处的早白垩世红层中, 含岩性与骑田岭主侵入体岩性相当的花岗岩砾石及花岗质碎屑岩夹层, 据此可以认定, 骑田岭主侵入体的侵位时代, 在早三叠世与早白垩世之间, 但具体时间仍难以确定。针对骑田岭主侵入阶段花岗岩(指岩体中在出露面积上为主的和在时间上被晚阶段细粒花岗岩切穿的中粗粒斑状花岗岩), 中国科学院地质研究所在1961

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40073008, 40132010)资助成果。

收稿日期: 2002-07-29; 改回日期: 2003-01-22; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 朱金初, 男, 1936年生。现为南京大学地球科学系教授。通讯地址: 210093, 南京大学地球科学系; 电话: 025—3592206; Email: jczhugeo@public1.ptt.js.cn。

年最早用体积法测得一个黑云母 K-Ar 年龄值为 204 Ma, 样品取自岩体中部偏北东竹视水村附近的黑云母花岗岩^①。此后, 从 1963~1975 年, 中国科学院地球化学研究所、二机部三所和中国地质科学院宜昌地质矿产研究所又测得几个黑云母 K-Ar 及锆石和独居石的常规 U-Pb 年龄数据, 但变化范围较大^{②③}。由于不同的定年方法具有各自的特点和测定时仪器性能的局限性, 且样品采自岩基的不同部位, 导致了年龄数值的差异和对骑田岭花岗岩主岩体形成年龄的不同认识。总的说来, 在过去有关骑田岭主侵入阶段花岗岩年龄的文献中, 大多数把它看作是印支期的产物(贵阳地球化学研究所, 1979; 南京大学地质系, 1981; 湖南省地质矿产局, 1988; 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组, 1989), 亦有认为是早侏罗世的(莫柱孙等, 1980)。

20 世纪 80 年代后期, 湘南地质队用超单元填图法, 在骑田岭花岗岩体地区进行了 1:5 万区域地质调查(永春幅和宜章幅), 识别出 90 多个不同产状和大

小不等的侵入体(岩株、岩瘤、岩脉), 并结合在 1989~1990 年完成的 3 条全岩 Rb-Sr 等时线 (133~161 Ma) 和 4 个锆石常规 U-Pb 法年龄 (142~161 Ma) 等数据, 将骑田岭岩体划分成菜岭和芙蓉两个超单元。其中菜岭超单元属印支期, 它可进一步划分为枫树下、樟溪水、两口塘和青山里四个单元; 芙蓉超单元属燕山期, 它可进一步划分为礼家洞、五里桥、南溪、将军寨、荒唐岭和回头湾六个单元, 此后还有更晚阶段的超酸性花岗质岩脉, 未建立单元^④(黄革非, 1992; 郑基俭等, 2001)。

由于图面比较复杂, 本文将该图作了缩小、简化、归并和少量修改, 其基本空间分布和相互关系情况表示在图 2 上。菜岭超单元分布在骑田岭岩体的东部, 岩性以斑状角闪石黑云母二长花岗岩为主, 出露面积约为 88 km²。这里必须指出的是, 直至本文发表时为止, 有关菜岭地段花岗岩的同位素年龄只有一

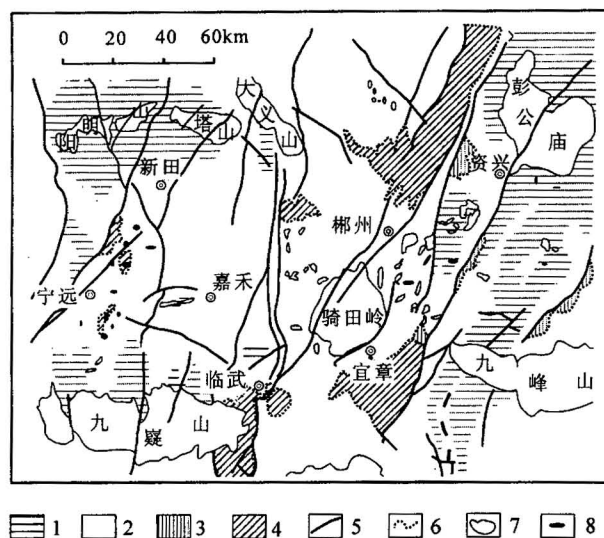


图 1 骑田岭地区区域地质简图

(据湖南省地质矿产局, 1988; 广东省地质矿产局, 1988, 编制)

Fig. 1 Simplified geologic sketch of Qitianling region (after Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province, 1988; Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong Province, 1988)

1—震旦系—志留系; 2—泥盆系—中三叠统; 3—上三叠统—侏罗系; 4—白垩系—新近系; 5—断裂; 6—盆地界线; 7—花岗质岩体; 8—基性岩

1—Sinian—Silurian; 2—Devonian—Middle Triassic; 3—Upper Triassic—Jurassic; 4—Cretaceous—Neogene; 5—fault; 6—basin boundary; 7—granite; 8—basic rock

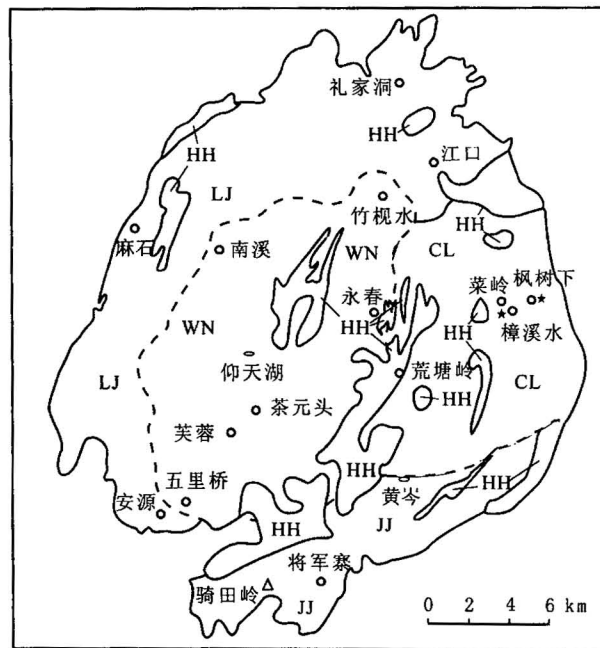


图 2 骑田岭花岗岩体地质单元划分简图

(据湘南地质队(1991)^④缩小并简化, 略加修改)

Fig. 2 Simplified geologic subdivision map of Qitianling granite pluton (modified after the South Hunan Geological Team, 1991^④)

CL—菜岭超单元; LJ—礼家洞单元; WN—五里桥和南溪单元; JJ—将军寨单元; HH—荒唐岭和回头湾单元; 五角星表示取样地点

CL—Cailing superunit; LJ—Lijiadong unit; WN—Wuliqiao unit and Nanxi unit; JJ—Jiangjunzhai unit; HH—Huangtangling unit and Huitouwan unit; asterisk—sampling locality

个,即由湖南省区测队采集并由宜昌地质矿产研究所 1975 年用常规 U-Pb 法测定的独居石年龄为 265 Ma^⑨。这一数据与地质依据明显不符,且与以往不同研究者在骑田岭岩体范围内用不同方法获得的年龄数据都相差甚远。

本文对菜岭超单元樟溪水单元的部分岩石样品进行了 Sr 和 Nd 同位素组成的测定。其结果列于表 1、表 2 和图 3。用 ISOPLOT 程序计算所获得的樟溪水附近 6 个样品的 Rb-Sr 等时线年龄为 159.0 ± 1.2 Ma; $I_{Sr} = 0.70854 \pm 0.00010$; MSWD = 0.13, 误差甚小,符合年龄测定要求。

表 1 樟溪水附近花岗岩的全岩 Rb-Sr 同位素组成数据表

Table 1 Rb-Sr isotopic data of granitic rocks near Village Zhangxishui

样品号	岩性	Rb ($\times 10^{-6}$)	Sr ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	2 σ
QT-26	花岗岩	274.8	237.3	3.394	0.716199	± 20
QT-27	花岗岩	412.5	82.7	14.300	0.740856	± 26
QT-28	花岗岩	340.8	186.5	5.102	0.720098	± 18
QT-29	花岗岩	292.7	215.9	3.988	0.717556	± 24
QT-30	花岗岩	322.9	196.5	4.859	0.719526	± 14
QT-31	暗色包体	320.4	201.8	4.736	0.719255	± 16

注:分析在南京现代分析中心用 VG354 表面热电离同位素质谱仪完成,对铯同位素标准 NBS-987 测定的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.710234 \pm 0.000004(2\sigma)$ 。

本文还对属于菜岭超单元枫树下单元的斑状角闪石黑云母二长花岗岩进行了单颗粒锆石熔融法 U-Pb 年龄测定,样号为 QT-38,样品采自人形电站附近,年龄测定在宜昌地质矿产研究所完成。测定仪器为 MAT260,测得年龄值为 161 ± 2 Ma。主要参数如下:样品重量 = $10\mu\text{g}$; U 含量 = 1202.6×10^{-6} , Pb 含量 = 62.2×10^{-6} ; 普通 Pb 含量 = 0.307 ng , 同位素原子比为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 78.7$; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} =$

表 2 菜岭超单元花岗岩的 Sm-Nd 同位素数据表

Table 2 Sm-Nd isotopic data for granitic rocks of Cailing superunit

样品号	地点	岩性	年龄 (Ma)	Sm ($\times 10^{-6}$)	Nd ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	ϵ_{Nd} (t)	T_{DM1} (Ga)	T_{DM2} (Ga)
QT29	樟溪水	花岗岩	160	13.98	65.83	0.1257	0.512288	-5.38	1.49	1.39
QT38	枫树下	花岗岩	160	11.89	117.6	0.0612	0.512209	-5.60	0.94	1.41
QT36	枫树下	包体	160	11.02	89.65	0.0742	0.512211	-5.83	1.03	1.42
HN37	不详	花岗岩	156	10.7	55.3	0.117	0.512297	-5.1	1.2	

注:① 分析在南京现代分析中心用 VG354 表面热电离同位素质谱仪完成,对铈同位素标准 La Jolla 测定的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 $0.511864 \pm 0.000008(2\sigma)$ 。② HN37 样品据 Gilder 等,1996。③ 样品的初始铈值 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 用 DePaolo 等(1979)的公式计算;样品的单阶段模式年龄 T_{DM1} 用 McCulloch 等(1978)的公式计算;两阶段模式年龄 T_{DM2} 用 Liew 等(1988)的公式计算。所用参数为: $\lambda_{\text{Sm}} = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2136$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.513151$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{C}} = 0.118$ 。

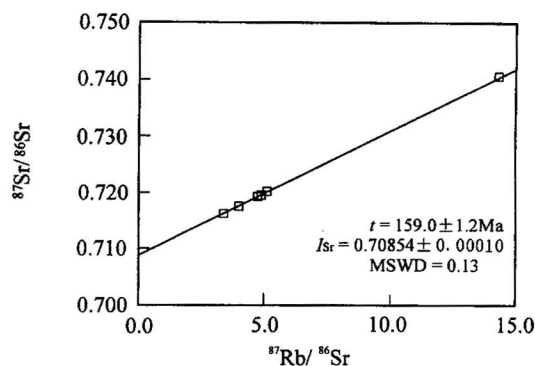


图 3 菜岭花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线

Fig. 3 Rb-Sr isochron age for granitic rocks of Cailing superunit

0.02542 ± 0.00033 ; $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = 0.17289 \pm 0.01117$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.04932 \pm 0.00325$; 数据点刚好落在以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 为坐标的协和曲线上。根据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 算得的表面年龄数据分别为 161 ± 2 Ma、 161 ± 10 Ma 和 163 ± 10 Ma,三个数据基本一致,且与前述樟溪水附近花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄十分接近。这些个 Rb-Sr 和 U-Pb 年龄数据,也与如下在以往和最近在不同时间用不同方法对骑田岭岩体不同部位主侵入阶段花岗岩测定的同位素年龄值基本一致:

① 郴县永春才口水,郴县湖南区测队采样,中南所用黑云母 K-Ar 法在 1964 年测定,为 158 Ma;② 宜章黄岑水库,中南所在 1974 年用黑云母 K-Ar 法测定,为 158 Ma;③ 宜章黄岑水库,中南所在 1975 年用常规锆石 U-Pb 法测定,为 $157.9 \text{ Ma}^{⑨}$;④ 郴县芙蓉磨池水和江口荒田冲,湘南地质队采集,宜昌地质矿产研究所在 1990 年用常规锆石 U-Pb 法测定,为 158.2 Ma 和 161.3 Ma;⑤ 郴县五里桥,湘南地质队采集,宜昌地质矿产研究所在 1990 年用全岩 Rb-Sr 等时线法测定,为 $161 \pm 11 \text{ Ma}^{⑨}$;⑥ 郴县竹枰水,笔者采集,2002 年在宜昌地质矿产研究所用锆石熔融 U-Pb 法测定,为 $160 \pm 1.5 \text{ Ma}$ 。根据这些信息,我们有理由认为,用 158~161 Ma 代表骑田岭主侵入阶段花岗岩中最重要一幕的侵位年龄,是可信的。而菜岭超单元花岗岩的侵位时

间,也属于主侵入阶段范畴。

3 Nd、Sr 同位素组成和物质来源

骑田岭花岗岩体长期以来一直被看作是地壳来源的(王联魁等,1982;湖南省地质矿产局,1988),越来越多的信息向这一认识提出了质疑。事实证明,地幔物质的参与也不可忽视。

花岗岩 Nd、Sr 同位素组成的研究,为了解大陆地壳的演化和讨论岩石的物质来源,提供重要信息。本文在获得 Rb-Sr 全岩等时线年龄的同时,算得樟溪水附近花岗岩样品的锶初始比值较小,其 I_{Sr} 值为 0.70854 ± 0.00010 。本文还测定了樟溪水和枫树下附近3个花岗岩和暗色包体样品的 Nd 同位素组成(表2)。Gilder 等(1996)的一个数据也列在表中。

由于在地幔部分熔融时,Nd 和 Rb 比 Sm 和 Sr 更趋向于进入熔体,因而在地壳物质中,Nd 和 Rb 比 Sm 和 Sr 更为富集。如果花岗岩的熔融源岩以地壳物质为主,则这些花岗岩应有较低的 Sm/Nd 值和初始 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值及较高的 Rb/Sr 值和初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值(I_{Sr});反之,如果源岩中有地幔物质的参与,则这些花岗岩的 Sm/Nd 值和 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值则相应较大,而 Rb/Sr 值和 I_{Sr} 值则相应较小。花岗岩样品的铷模式年龄,是该花岗岩样品从亏损地幔均一库中分离出来以后在地壳中的平均存留年龄,样品中新生地幔物质的加入,必然会导致铷模式年龄的减小。

20世纪80年代后期,朱金初等(1989)、沈渭洲等(1989)利用 Sr-Nd-O 同位素综合手段,研究了南岭山系西段与骑田岭岩体十分相像的花山等花岗岩体,指出它们具有较低 I_{Sr} 、较高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 及较低 T_{DM} 的特点,认为它们可能属壳幔混合来源。近年来 Gilder 等(1996)的研究表明,在北东向的十万大山和赣杭两个中生代火山沉积拉张盆地之间(简称十杭带)存在的某些花岗岩(其中包括一个骑田岭花岗岩的样品,但未能查知确切采样地点),具有高 Sm-Nd 含量、较高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和较低 T_{DM} 的特点,并认为该带在中生代时是一个拉张性质的裂谷活动带(或走滑)。Chen 等(1998)在华南识别出数条北东向的低 T_{DM} 花岗岩带,其中最显著的一条,开始于湖南东部的高垄山和千里山岩体,向西南延伸到广西的崑崙关岩体,其位置与 Gilder 等(1996)所称的十杭带的南段基本一致,并认为这些花岗岩之所以具有较小的铷模式年龄(<1.5 Ga),是壳幔相互作用和新生地幔物质加入的结果。Hong 等(1998)也提到过,在杭州—诸广山—花山这一具有高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和较低

T_{DM} 带花岗岩的形成过程中,地幔起了重要作用。李献华等(1999)在广西东南部的十万大山盆地两侧及其北东方向的延伸地区(花山和姑婆山一带),厘定出一条北东向展布的钾玄质侵入岩带,它们富集大离子亲石元素、高场强元素和稀土元素,且具高 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和较低 T_{DM} 的特点,与板内型或裂谷型钾玄岩相似,很可能是在中生代区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造背景下形成。这些研究成果在地域、方法和思路上有很多共同之处,而骑田岭花岗岩体刚好位于上述 Gilder 等(1996)所指出的十杭带和 Hong 等(1998)所指出的杭州—诸广山—花山带上。

从亏损地幔计算出的骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 $-5.4 \sim -5.8$,比典型的华南壳源型花岗岩明显偏高,它们的单阶段模式年龄 T_{DM1} 和两阶段模式年龄 T_{DM2} 为 $0.94 \sim 1.49$ Ga,比起华南中生代花岗岩的背景 T_{DM} 值(大约为 $1.7 \sim 1.8$ Ga)明显偏低,对于这些现象的最合理解释是,在骑田岭花岗岩形成过程中,有新生地幔物质的明显加入。

4 岩石学和微量元素地球化学特征

就岩性而言,菜岭超单元花岗岩以中粗粒斑状角闪石黑云母二长花岗岩为主。斑晶主要由微斜长石和少量斜长石组成,偶见卵状石英。微斜长石斑晶有时可达 $4 \sim 6$ cm,呈自形板状,有时呈卵球状,具微纹结构和卡氏双晶,含其他造岩矿物嵌晶,往往在边部含蠕英石,有时发育一斜长石镶边,形成似环斑结构。基质由斜长石、石英、黑云母、角闪石等矿物组成,斜长石为奥中长石,有时见韵律环带。暗色造岩矿物为黑云母和角闪石,其总含量一般在 $3\% \sim 10\%$ 之间,有时见暗色矿物的集合体。两种暗色造岩矿物的相对比例不一,角闪石含量最多可达 8% ,偶见少量几乎不含角闪石的黑云母正长花岗岩。副矿物有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、榍石、褐帘石、锆石和独居石等。

菜岭超单元花岗岩的重要特征之一,是岩石中常见有暗色微花岗岩类包体。其形态大多为浑圆状,个体大小不等,多数直径在 $5 \sim 20$ cm,大者可达 $60 \sim 80$ cm,小者甚微。它们与寄主花岗岩的关系,大多突变,有时渐变,偶见双重包体。暗色包体呈细粒状,具明显的火成结晶结构和在深成环境下的快速淬火特征。在暗色造岩矿物中,角闪石一般多于黑云母,其光学性质与寄主花岗岩中者相近,有时见单斜辉石,而缺失黑云母。磷灰石大多为针状,少数为柱状。根

据镜下检定和化学分析,包体成分以花岗闪长质为主,二长花岗质和石英二长闪长质为次。在包体内部及其与寄主花岗岩的接触界线的两侧,经常发育有粒径为1~3 cm的钾长石巨晶。上述这些寄主花岗岩和暗色包体的特征,与 Vernon (1983)、Hibbard (1981) 和 Barbarin (1988) 等所描述的岩浆混合特征,十分相似。

对樟溪水和枫树下地段的4个寄主花岗岩和2个暗色包体全岩样品,进行了湿法硅酸盐化学分析及微量元素和稀土元素含量分析,测试在南京大學成矿作用国家重点实验室完成。微量元素用德制等离子质谱仪 Finnigan Element II HRICP-MS 分析(其中样品 QT-30 的稀土元素用法制 ICP-AES 单道等离子光谱仪 JY385 分析),结果列于表3。由表3可见,菜岭花岗岩的 SiO_2 含量在66%~68%范围之内,碱金属元素含量高, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.32\% \sim 8.01\%$, 尤其是 K_2O 含量甚高,达4.37%~4.94%,里特曼岩系指数(Sigma 值)在2.2~2.7范围内,属钙碱性系列,铝饱和指数(ANKC)为0.89~0.97,属准铝范围。两个暗色包体的 SiO_2 含量稍低,在56%~64%范围之内,但 Fe、Mg、Ca、Mn、Ti、P、Cr、V 等元素含量偏高,尤其是 K 含量甚高, $\text{K}_2\text{O} > 5.1\%$, 铝饱和指数(ANKC)更低,为0.80~0.88。

菜岭花岗岩富含 Th、REE、Nb 等高场强元素(HFS)和 K、Rb 等大离子亲石元素(LIL),其 $\sum \text{REE} = 291 \times 10^{-6} \sim 626 \times 10^{-6}$,轻重稀土比值大, $(\text{La}/\text{Yb})_n = 5.1 \sim 23.1$, Eu 异常明显, $\delta\text{Eu} = 0.20 \sim 0.48$,球粒陨石标准化曲线为右倾型,左侧上

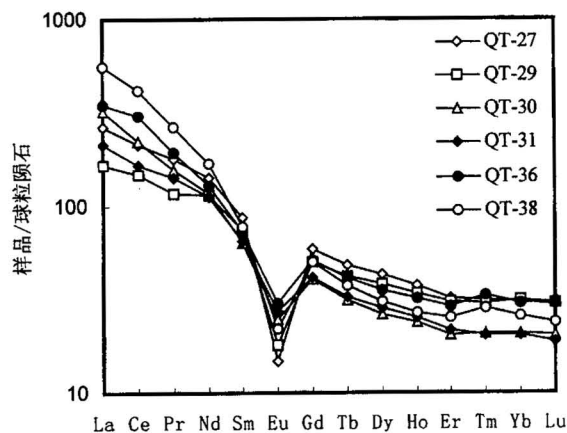


图4 菜岭超单元花岗岩和包体的球粒陨石标准化稀土配分曲线

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for granites and enclaves of Cailing superunit

表3 菜岭超单元花岗岩和包体的常量元素(%)
和微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 3 Major (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) contents
for granites and enclaves of Cailing superunit

样号	QT-27	QT-29	QT-30	QT-38	QT-31	QT-36
产地	樟溪水	樟溪水	樟溪水	枫树下	樟溪水	枫树下
岩性	花岗岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	包体	包体
SiO_2	67.64	67.01	66.50	66.67	63.80	55.96
TiO_2	0.860	0.880	0.720	0.890	1.050	1.779
Al_2O_3	12.60	13.06	14.01	13.70	13.80	14.52
Fe_2O_3	1.80	1.69	1.45	1.55	2.81	3.32
FeO	4.32	4.17	3.41	3.83	4.31	6.22
MnO	0.15	0.16	0.11	0.13	0.19	0.22
MgO	1.10	1.22	1.10	1.15	1.44	2.26
CaO	2.50	2.58	2.20	3.07	2.96	4.32
Na_2O	2.92	3.22	3.07	2.99	2.80	2.91
K_2O	4.46	4.37	4.94	4.42	5.29	5.11
P_2O_5	0.30	0.33	0.30	0.25	0.36	0.52
LOI	0.85	1.12	1.60	1.32	1.13	1.76
Total	99.50	99.81	99.41	99.97	99.94	98.91
ANKC	0.89	0.89	0.97	0.90	0.88	0.80
Sigma	2.21	2.40	2.73	2.32	3.15	4.97
V	70.3	59.7		76.5	103.9	115.5
Cr	55.78	19.33		36.78	192.07	46.29
Mn	1118.0	1222.4		1045.4	1604.2	1703.1
Co	11.37	11.27		10.99	14.94	22.41
Ga	21.91	21.74		21.59	20.88	22.55
Rb	427.2	421.0		250.7	275.0	304.3
Sr	91.76	152.7		223.3	260.7	244.9
Y	68.32	63.25		50.34	47.83	54.32
Zr	462.7	372.2		316.3	346.9	419.1
Nb	50.85	47.65		33.00	33.30	41.75
Sn	15.64	14.77		8.58	8.74	20.52
Cs	31.02	31.59		15.53	13.34	23.45
Ba	58.6	289.7		532.4	549.2	445.8
La	78.29	45.47	100.3	166.12	66.40	95.52
Ce	184.1	121.4	177.9	290.1	149.3	215.3
Pr	16.16	12.05	18.8	23.58	13.03	16.43
Nd	73.64	59.12	69.17	94.00	61.84	73.65
Sm	14.39	12.22	12.29	13.98	10.78	12.97
Eu	0.90	1.191	1.805	1.727	2.056	2.255
Gd	13.06	11.19	10.39	11.49	10.31	12.04
Tb	1.797	1.59	1.47	1.469	1.334	1.684
Dy	11.771	10.127	8.414	9.175	8.595	9.880
Ho	2.417	2.162	1.711	1.898	1.788	2.134
Er	7.52	6.649	4.286	5.69	5.243	6.374
Tm	1.01	0.95	0.6645	0.756	0.656	0.942
Yb	6.632	6.043	4.328	4.843	4.177	6.191
Lu	0.935	0.861	0.65	0.725	0.602	0.909
Hf	9.561	8.001		6.862	6.673	8.937
Ta	6.699	5.186		3.195	3.018	5.285
Pb	25.831	27.167		28.699	38.334	43.241
Th	56.028	27.404		43.869	19.234	19.963
U	15.382	9.41		6.592	4.063	5.672
REE	412.66	291.04	412.18	625.50	336.10	456.30
$(\text{La}/\text{Yb})_n$	7.96	5.07	15.62	23.13	10.72	10.40
δEu	0.20	0.31	0.48	0.40	0.59	0.54

翘且较陡,右侧接近平行(图4),反映了在成岩过程中,LREE 曾发生较强烈的分馏,其富集可能主要与花岗岩中十分常见的褐帘石和磷灰石有关,而

HREE 分馏则相对较弱。暗色包体的微量元素特征与寄主花岗岩相仿,但 LIL 元素 Sr、Ba、Pb、Eu 含量相对偏高,因而 Eu 异常中等, δEu 值为 0.54~0.59。在 Pearce 等(1984)判别花岗岩形成构造背景的洋脊花岗岩标准化的微量元素蛛网图和 Rb-(Y+Nb) 图解上(图 5、6)可见,莱岭花岗岩和暗色包体的特征与典型的板内花岗岩相近。

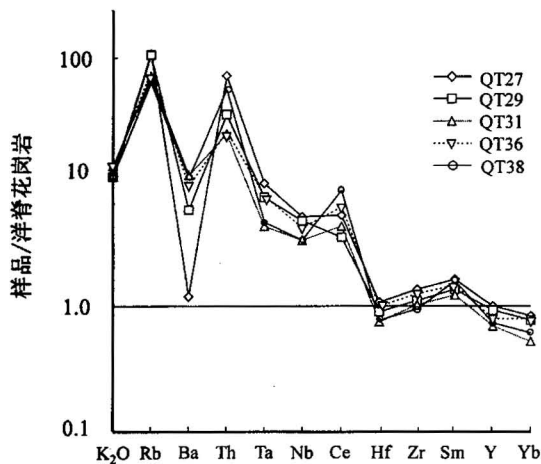


图 5 莱岭超单元花岗岩和包体的洋脊花岗岩标准化稀有元素含量蛛网图(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 5 Ocean ridge granite (ORG)-normalized trace elements spidergram for granites and enclaves of Cailing superunit(after Pearce et al., 1984)

根据上述资料,与寄主花岗岩相比,暗色包体在颜色和常量元素含量方面有明显差别,在微量元素特征方面也有一定差异,但在 Nd、Sr 同位素特征方面基本一致,其可能原因是在高温高压条件下不同性质岩浆相互作用时,Nd、Sr 等同位素的扩散速率和均一化时间,要比化学元素的扩散速率和均一化时间快得多,Lesher(1990)的实验就证明了这一点。

5 结论

通过本文研究,可以得到如下主要认识:

(1) 莱岭超单元花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 159.0 ± 1.2 Ma,单颗粒锆石熔融法 U-Pb 年龄为 161 ± 2 Ma,两者基本一致。结合其他已有数据及地质地球化学信息,可以认为,该地段花岗岩与大多数骑田岭岩体主侵入阶段花岗岩一样,主要是在燕山早期侵位的,而不是在印支期。

(2) 莱岭超单元花岗岩的初始铈值(ϵ_{Nd})偏高,铈模式年龄(T_{DM})偏低,铈初始比值(I_{Sr})也偏低,这些特征反应了新生地幔物质的明显加入。

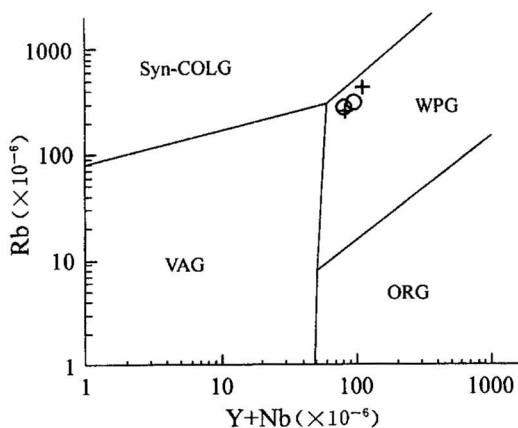


图 6 莱岭超单元花岗岩和包体的 Rb-(Y+Nb)图解(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 6 Rb-(Y+Nb) discrimination diagram for granites and enclaves of Cailing superunit

(after Pearce et al., 1984)

+-花岗岩;○—包体;ORG—洋脊花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩
+-Granite;○—enclave;ORG—oceanic ridge granite;VAG—volcanic arc granite;Syn-COLG—Syn-collision granite;WPG—intra-plate granite

(3) 莱岭超单元花岗岩的岩性以角闪石黑云母二长花岗岩为主,岩石中普遍含角闪石,岩石化学上属钙碱性、富钾、准铝,微量元素具板内花岗岩的特征,且暗色微花岗岩类包体常见,其中火成结晶结构、快速淬火结构、环斑结构、针状磷灰石等十分普遍,反应了壳幔相互作用对花岗岩形成的重要意义。

(4) 印支运动是华南地区经受的一次重要的挤压造山运动。由于骑田岭地区在燕山早期缺乏陆内俯冲和地壳增厚的证据,但深部构造岩浆活动强烈,跟随华南印支期挤压造山运动而来的燕山早期的构造松弛和拉张减薄,很可能是导致地幔物质上涌、地壳物质重熔、壳幔相互作用和骑田岭花岗岩形成的地质动力学背景。

在野外工作期间,得到了湘南地质勘察院和湖南省有色地勘238队在信息、资料和交通等方面的大力帮助;在成文过程中,王德滋、沈渭洲、陈江峰教授和李献华研究员等参与了有益的讨论和提出了宝贵的意见,在此一并致谢。

注 释

- ① 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 1975. 全国同位素地质年龄数据汇编(第一集).
- ② 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 1977. 全国同位素地质年龄数据汇编(第二集).

- ③ 全国同位素地质年龄数据汇编小组. 1983. 全国同位素地质年龄数据汇编(第三集).
- ④ 湘南地质队. 1991. 1:50000区域地质调查报告(永春幅和宜章幅).

参 考 文 献

- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系. 北京:地质出版社.
- 郭锋, 范蔚茗, 林柯, 林源贤. 1997. 湘南道县辉长岩包体的年代学研究及成因讨论. 科学通报, 42(15): 1661~1663.
- 广东省地质矿产局. 1988. 广东省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 贵阳地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学. 北京:科学出版社.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 黄革非. 1992. 骑田岭复式岩体侵位时代讨论. 地质与勘探, (11): 7~11.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 1999. 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, 44(18): 1992~1998.
- 刘梦庚, 章雨旭, 谢良珍. 1996. 南岭地区黑色、有色金属矿产图. 见: 刘兰笙等主编. 中国黑色、有色金属矿产图集. 北京:地质出版社.
- 莫柱孙, 叶伯丹. 1980. 南岭花岗岩地质学. 北京:地质出版社.
- 南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系. 北京:科学出版社.
- 沈渭洲, 朱金初, 刘昌实, 等. 1989. 从Nd模式年龄谈华南地壳的形成时间. 南京大学学报(地球科学), (3): 82~90.
- 王联魁, 朱为方, 张绍立. 1982. 华南花岗岩两个成岩成矿系列的演化. 地球化学, (4): 329~339.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 李旭. 2001. 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, 17(1): 169~175.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友. 1998. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学(D辑), 28(增刊): 7~14.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友, 熊小林. 2000. 柿竹园超大型钨多金属矿床的壳幔相互作用背景. 中国科学(D辑), 30(增刊): 161~168.
- 郑基俭, 贾宝华. 2001. 骑田岭岩体的基本特征及其与锡多金属成矿作用关系. 华南地质与矿产, (4): 50~57.
- 朱金初, 李向东, 沈渭洲, 等. 1989. 广西花山复式花岗岩体成因的铷、钕和氧同位素研究. 地质学报, 63(3): 325~335.

References

- Barbarin B. 1988. Field evidence for successive mixing and mingling between the Piolard Diorite and the Saint-Julien-la-Vêtre Monzogranite (Nord-Foréz, Massif Central, France). *Can. J. Earth Sci.*, 25: 49~59.
- Chen Jiangfeng, Jahn Bor-ming. 1998. Crustal evolution of southeast China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284: 101~133.
- DePaolo D J, Wasserburg G J. 1979. Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 615~627.
- Geology Department of Nanjing University. 1981. Granitoids of Different Ages in South China and Their Metallogenetic Relations. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Gilder S A, Gill G, Coe R S, et al. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *J. Geophys. Res.*, 101(B7): 16137~16154.
- Granitoid Research Group of Nanling Project. 1989. Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Guangdong Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional Geology of Guangdong Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Guiyang Geochemical Institute. 1979. Geochemistry of Granitoids in South China. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Guo Fen, Fan Weiming, Lin Ge, Lin Yuanxian. 1997. A discussion on geochronology and genesis of the gabbro xenolith in Daoxian, Hunan Province. *Chinese Science Bulletin*, 42(15): 1661~1663.
- Hibbard M J. 1981. The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 158~170.
- Hong Dawei, Xie Xilin, Zhang Jisheng. 1998. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny. *Resource Geology*, 48(4): 251~263.
- Huang Gefei. 1992. A discussion on ages of emplacement of Qitianling granite complex. *Geology and Exploration*, (11): 7~11 (in Chinese).
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional Geology of Hunan Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Leshner C E. 1990. Decoupling of chemical and isotopic exchange during magma mixing. *Nature*, 344: 235~237.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, et al. 1999. Geology and geochemical characteristics of shoshonitic intrusive zone in southeastern Guangxi Province. *Chinese Science Bulletin*, 44(18): 1992~1998.
- Liew T C, Hofmann A W. 1988. Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: Indications from a Nd and Sr study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98: 129~138.
- McCulloch M T, Wasserburg G J. 1978. Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation. *Science*, 200: 1003~1011.
- Mo Zhusun, Ye Bodan. 1980. Geology of Granites in Nanling Range. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, 25(4): 956~983.
- Shen Weizhou, Zhu Jinchu, Liu Changshi, et al. 1989. Formation time of South China continent-evidence from Nd model ages. *J. Nanjing University (Earth Science)*, (3): 82~90 (in Chinese with English abstract).
- Vernon R H. 1983. Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites. *J. Proc. R. Soc. N S W*, 116: 77~103.
- Wang Liankui, Zhu Weifang, Zhang Shaoli. 1982. Evolution of two petrogenetic-metallogenetic series for granitoids in South China. *Geochimica*, (4): 329~339 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, Li Xu. 2001. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in Southeast Hunan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 169~175 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. 1998. Geochemistry of the Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province. *Science in China (Series D)*, 41(supp.): 102~112.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, Xiong Xiaolin. 2001.

- Crust-mantle interaction and its contribution to the Shizhuyuan tungsten-polymetallic mineralization. *Science in China (Series D)*, 44(3): 266~276.
- Zhen Jijian, Jia Baohua. 2001. Major characteristics of Qitianling granite body and its relation to tin-polymetallic mineralization. *South China Geology and Mineral Resources*, (4): 50~57 (in Chinese).
- Zhu Jinchu, Li Xiangdong, Shen Weizhou, et al. 1990. Sr, Nd and O isotopic studies on the genesis of the Huashan granite complex. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 3(1): 41~54.

On the Emplacement Age and Material Sources for the Granites of Cailing Superunit, Qitianling Pluton, South Hunan Province

ZHU Jinchu¹⁾, HUANG Gefei²⁾, ZHANG Peihua¹⁾, LI Fuchun¹⁾, RAO Bing¹⁾

1) *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research and Department of Earth Sciences, Nanjing University*, 210093; 2) *South Hunan Geological Exploration Academy, Chenzhou*, 423000

Abstract

The granitic rocks of the Cailing superunit in the Qitianling pluton are mainly hornblende-biotite monzonitic granite. Its whole rock Rb-Sr isochron age is 159 ± 1.2 Ma. The single-crystal melting U-Pb method yields an age of 161 ± 2 Ma. The initial Sr ratio is relatively low (0.70854), the initial Nd ratios are relatively high ($-5.4 \sim -5.8$), and the Nd model ages are relatively young (0.94~1.49 Ga). In terms of petrochemistry and trace elements, the Cailing granites are calc-alkaline, metaluminous, enriched in LIL elements, such as K and Rb, and HFS elements, such as Th, REE and Nb. Mafic microgranitoid enclaves with mixing signature are very common. These isotopic, petrologic and trace element features suggest that there is obvious involvement of mantle materials in the granite constituents, and the Cailing granites were probably emplaced during the Early Yanshanian period under an extensional geotectonic environment. Mantle-crust interaction plays an important role in the melting of continental crust and in the course of generation and evolution of the Cailing granitic magma.

Key words: granite; isotopic age; petrology; trace elements; material source; Qitianling pluton; south Hunan
