

文章编号: 1000- 6524 (2002) 02- 0135- 08

闽西南地区中生代花岗闪长质岩石 的特征及其构造演化

毛建仁¹, 陶奎元¹, 李寄嶓², 谢芳贵¹

(1. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016; 2. 台湾大学 地质系, 台北 106- 17)

摘 要: 闽西南地区中生代存在两期花岗闪长质岩石, 其形成年龄分别为 183~ 162 Ma 和 108~ 105 Ma。花岗闪长质岩石 $K_2O + Na_2O > 6.0\%$, 晚期花岗闪长岩相对富 K_2O , 均属板内高钾钙碱型岩石。岩石富 LREE 和 LILE, $\delta Eu = 0.80 \sim 0.86$, Nb、Ta、Ti、Y 亏损, 具有岛弧/活动大陆边缘钙碱性岩石的特征, 指示源区性质很可能与受到早期俯冲作用所改造的岩石圈富集地幔有关, 或是源于软流圈的基性岩浆与地壳物质混合作用的结果。闽西南地区可能自早中生代以来存在多期次的岩石圈强烈伸展减薄作用, 幔源岩浆与中下地壳物质部分熔融形成的花岗质岩浆的混合形成了闽西南钾质岩石。随扩张增强, 晚中生代花岗闪长质岩石中幔源组分增加。

关键词: 花岗闪长岩; 中生代; 构造演化; 闽西南

中图分类号: P588. 12⁺ 1 **文献标识码:** A

Characteristics of Mesozoic granodioritic rocks in southwestern Fujian and their tectonic evolution

MAO Jian_ren¹, TAO Kui_yuan¹, LI Ji_yu² and XIE Fang_gui¹

(1 Nanjing Institute of Mineral Resources, Nanjing 210016, China; 2 Department of Geology,
National Taiwan University, Taipei 106- 17, China)

Abstract: Mesozoic granodiorites occurring in southwestern Fujian, whose ages are 183~ 162 Ma and 108~ 106 Ma respectively, belong to high_K calc_alkaline series of intraplate with $K_2O + Na_2O > 6.0\%$. Early and late granodiorites are enriched in Na_2O and K_2O respectively. The chondrite_normalized REE patterns are characterized by LREE enrichment with weak negative Eu anomalies ($\delta Eu = 0.80 \sim 0.86$). In the primitive mantle_normalized spidergrams, they are enriched in LILE and LREE with significant Nb, Ta, Ti, Y depletion and possess the geochemical features of calc_alkaline rocks in island arc or active continental margin. The geochemical characteristics of the two types of Mesozoic granodiorites suggest that their source region may be an enriched lithosphere mantle affected and altered by ancient subduction materials or

收稿日期: 2001- 11- 24; 修订日期: 2002- 03- 10

基金项目: 国土资源部“九五”科技专项资助项目(地科专 96- 02)

作者简介: 毛建仁(1951-), 男, 研究员, 主要从事岩石学研究。

source mixing between asthenosphere-derived basalts and crust materials. Perhaps there have occurred many times of lithospheric extension and thinning since Early Mesozoic in southwestern Fujian. The granodiorites were mixed between partial melts of middle/lower crust-derived materials and mantle magma. With the increasing extension, the mantle components in Late Mesozoic granodiorites gradually grow.

Key words: granodiorites; Mesozoic; tectonic evolution; southwestern Fujian

闽西南地区地处华夏陆块内部 4 个构造单元的复合部位,这 4 个构造单元分别为武夷晋宁期变质陆核、赣南加里东褶皱带、闽粤赣海西凹陷带和闽东燕山期岩浆活动带(毛建仁等, 1998)。该区是一个极富特色的铜金铅锌多金属成矿集中区,同时中生代岩浆活动强烈,并与相邻地区具明显差异(徐夕生等, 1999; 周新民等, 2000; 毛建仁等, 2001)。由于其大地构造位置的特殊性,长期以来对该区构造属性有不同意见:海西-印支期断裂凹陷带(王尔康等, 1993),海西-印支期地槽(郭令智等, 1980; 林增品, 1983),华南中生代一条碰撞造山带-前陆褶皱冲断带(李继亮, 1992; 王尔康等, 1992)和晚古生代大陆边缘裂谷系(林增品, 1983)等。华南地区晚中生代以来存在强烈的岩石圈减薄或软流圈地幔物质的上涌(董传万等, 1997; 李文达等, 1998, 周金城等, 2000, 周新民等, 2000),然而由于缺乏对早中生代具幔源贡献岩石的精确年代学研究,严重制约了对华南地区早中生代构造背景的深入理解(王岳军等, 2001; 毛建仁等, 2002)。闽西南地区的 EW 向和 NE 向构造岩浆带作为华南大地构造的重要构造转换部位,存在能有效示踪岩浆深部过程和构造背景的中生代高钾钙碱性花岗闪长岩体。这些岩体在时空上与铜多金属矿床关系密切,如汤泉、四方、罗卜岭、紫金山等岩体,以往因缺少精确年龄数据(变化于 128~105 Ma 之间),都将其定为晚中生代。新近的研究(毛建仁等, 2002; 李献华, 1999)表明并非如此。因此,闽西南地区花岗闪长质岩石成因及其形成时代的精确厘定将有助于加深对华南中生代大地构造演化的理解,对这些岩体的地球化学特征、源区性质及其所隐含的岩石圈深部动力学信息的了解,能有效示踪岩浆形成的深部过程和构造背景。本文通过多种同位素体系的精确定年,确定中生代有两期花岗闪长岩体,即早、晚中生代,讨论了以汤泉岩体和四方岩体为代表的花岗闪长岩的岩石学和地球化学特征及其形成的构造环境。

1 岩体地质学和岩石学

汤泉岩体位于福建省大田县境内,政和一大浦断裂带中段,处于北西向晋江永安大断裂和北东向太华-长塔复式背斜交汇处。汤泉岩体呈长轴走向北东的马蹄形,出露面积达 130 km²,其围岩有前震旦纪麻源群变质岩,晚泥盆世瓦崇组、挑子坑组,早石炭世林地组砂砾岩,晚石炭世船山组-早二叠世栖霞组灰岩,二叠纪文笔山组、翠屏山组和长兴组含煤细碎屑岩,早三叠世溪口组钙硅质泥岩以及早侏罗世梨山组砂砾岩,岩体与围岩呈明显的侵入接触关系,使梨山组地层形成热接触变质带。岩体中心相为细-中粒花岗闪长岩,二长花岗岩,边缘相为中-细粒花岗闪长岩,局部相变为石英闪长岩。花岗闪长斑岩体分布于汤泉岩体周边,呈岩脉、岩瘤状沿断裂、层间破碎带作为同源岩浆的浅成相侵入。花岗闪长岩总体呈中细粒花岗结构,边缘可变为细粒花岗结构,岩浆结晶结构清楚。典型矿物组合为石英

(20%~24%)+斜长石(40%~55%)+正长石(10%~16%)+黑云母(10%~15%)+角闪石(2%~3%),斜长石属 A_n 为 30 的更中长石,有时沿角闪石边缘出现黑云母。黑云母呈补丁状交代角闪石,蚀变后析出铁质和榍石。磷灰石沿角闪石和黑云母解理交代结晶。副矿物组合为磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石、铁钛矿物,尤其是磁铁矿含量高(3 996~14 275 g/t),以富含铁、钛、钙成分为特征。花岗闪长斑岩具斑状结构,斑晶含量为 10%~30%,以中长石为主。

四方岩体位于上杭县紫金山矿田的东北部,受矿田内北东和北北东向张性或张剪性断裂控制,呈长轴为北东向的岩株状连续出露,面积约 10 km²,并具有 NE 往 SW 收敛的趋势,其边缘常被次火山-浅成斑岩体侵入,如罗卜岭和紫金山斑岩体,这些斑岩体是闽西南地区高硫浅成低温热液型-中低温热液型-斑岩型“三位一体”铜矿的主要成矿母岩。围岩为早期的黑云母花岗岩、二长花岗岩以及寒武纪变质细碎屑岩和泥盆纪-石炭纪的粗碎屑岩,接触带附近岩石遭受强烈的热液蚀变。花岗闪长岩呈灰色,中细粒花岗结构,粒径 1~4.5 mm,主要矿物成分为:斜长石 46%~64%,石英 20%~24%,钾长石 15%~20%,普通角闪石 3%~8%,黑云母 2%~5%,钾长石有序度 0.32~0.55,三斜度 0.1~0.2,属中正长石,斜长石属 $A_n=36\sim 48$ 的中长石,钠长石双晶及环带构造发育,多数斜长石内部具不规则边界的熔蚀环带,边部为平行晶面的规则环带。沿黑云母解理常分布有长板状斜长石。普通角闪石绿色双晶发育。花岗闪长斑岩呈肉色至暗绿杂色,多斑结构,斑晶含量 45%~60%,粒径 0.28~6.18 mm,主要矿物为斜长石($A_n=32\sim 49$),石英斑晶熔蚀形态多处可见。副矿物组合属磁铁矿-磷灰石-榍石-锆石型,以富含 Fe、Ti、Ca 成分为特征。

2 岩体年代学

前人曾因汤泉岩体获得过 110 Ma 的年龄数据(黑云母 K-Ar 法,闽西队,1986)而将其归为燕山晚期岩浆作用的产物,常与上杭四方岩体的花岗闪长岩对比,并部署找 Cu、Au 矿工作,一直未取得突破。本次研究采用多种同位素定年方法,表明该岩体形成于燕山早期。U-Pb 同位素测定两粒锆石,结果在 ²⁰⁶Pb/²³⁸U - ²⁰⁷Pb/²³⁵U 不一致曲线谐和图上,两个点基本落在谐和线上,它们的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值与 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 的年龄值基本接近,1、2 两个数据点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄平均值为 182.9 Ma ± 3.6 Ma,作为汤泉岩体花岗闪长岩中锆石的结晶年龄。由于锆石结晶温度约 700 °C 左右(Harrison, 1987),高于全岩的固结温度,所以可将上述年龄作为汤泉花岗闪长岩开始固结的年龄。利用汤泉岩体 5 个全岩样品和 1 个钾长石样品的 Rb-Sr 等时线获得的全岩-矿物等时线年龄为 162.02 Ma ± 4.5 Ma, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 为 0.70843 ± 0.00002,相关系数为 0.9985。该年龄数据可作为汤泉花岗闪长岩全岩固结的年龄,全岩固结温度约在 560~600 °C 左右。黑云母的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法测试结果表明花岗闪长岩中黑云母的坪年龄为 158.1 Ma ± 0.7 Ma,等时线年龄为 156.8 Ma,两者基本一致。通常矿物等时线年龄可代表矿物结晶的年龄,黑云母对 Ar 的封闭温度较高(300 ± 50 °C),因此黑云母的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法定年结果可接近花岗闪长岩固结年龄的下限或冷却年龄。

四方花岗闪长岩 3 粒锆石 U-Pb 同位素测试结果表明,2 粒进行测试的锆石在 ²⁰⁷Pb/²³⁵U - ²⁰⁶Pb/²³⁸U 图解中,投影点落在 U-Pb 一致曲线上,说明样品中放射成因铅基本没有扩散丢失,岩石形成后没有受到明显的后期热事件的影响。1、2 号数据点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U

表面年龄统计权重平均值为 $107.8 \text{ Ma} \pm 1.2 \text{ Ma}$, 代表了岩体的形成年龄。角闪石样品的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法测试结果表明, 角闪石的坪年龄和等时线年龄分别为 $105.0 \text{ Ma} \pm 0.5 \text{ Ma}$ 和 105.10 Ma , 坪年龄和等时线年龄大体一致, 据此推断岩体的侵入时代大约在 105 Ma 。根据本次研究获得的单颗粒锆石 U-Pb 和单矿物 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄, 可以认为四方岩体形成的年龄约为 $108\sim 105 \text{ Ma}$, 属早白垩世, 与前人已有的 Rb-Sr 定年资料(如闽西地质大队和福建省地质科学院于 1994 年用 Rb-Sr 全岩-单矿物等时线法分别测得紫金山斑岩体年龄为 $110 \text{ Ma} \pm 0.3 \text{ Ma}$, 罗卜岭岩体为 $105 \text{ Ma} \pm 1 \text{ Ma}$) 一致, 与华南燕山晚期花岗岩 4 个主要形成期之中的第 3 期 $109\sim 101 \text{ Ma}$ 大体一致(李献华, 1999)。

3 岩体的地球化学特征

3.1 主元素

汤泉岩体花岗闪长岩的突出特征为准铝-过铝质, 结合 1:5 万广平幅、文江幅(闽西队, 1986) 24 个主元素分析数据, A/CNK 为 $0.91\sim 1.30$, 平均为 1.08 , 多数样品的刚玉分子(C) 在 $0.40\%\sim 3.10\%$ 之间, 在 $A/\text{NK}-A/\text{CNK}$ 图解上, 花岗岩大部分投影于准铝-过铝质花岗岩区。花岗闪长岩类的 SiO_2 含量变化范围较大, 为 $63.70\%\sim 73.50\%$, 分异指数(DI) 为 $67.0\sim 84.0$ 。在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 分类图解(Middlemost, 1994) 上, 汤泉岩体大都落入花岗闪长岩区, 一部分位于花岗岩区。岩石相对富 Na_2O , 在 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解上具有壳幔混合源 I 型花岗岩类的特征, 表明花岗闪长岩类源岩中含有一定量的幔源物质成分。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中表现为中钾-高钾钙碱性系列岩石。随着 SiO_2 含量的增加, 花岗闪长岩类的 CaO 、 MgO 、 FeO 、 Al_2O_3 、 TiO_2 和 P_2O_5 等与 SiO_2 呈现较明显的负相关关系, 而 K_2O 、 Na_2O 及 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 与 SiO_2 则呈正相关关系。

四方岩体岩石化学成分在 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 分类图解中全部位于花岗闪长岩区, SiO_2 含量变化范围较小, 为 $62.39\%\sim 67.88\%$, 岩石相对富 K_2O , 在 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图(张玉泉等, 1987) 中位于壳幔混合源 I 型向 A 型花岗岩过渡区。由于岩石 SiO_2 含量低, 总体为壳幔混合源 I 型花岗岩, 岩石 A/CNK 变化范围为 $0.91\sim 1.03$, 平均为 0.97 , 为准铝质, 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中为高钾钙碱性系列岩石。与汤泉花岗闪长岩相比, 相对富 K_2O 、 P_2O_5 , 贫 Na_2O 。

3.2 稀土元素和微量元素

汤泉岩体花岗闪长岩的稀土元素总量较低, 为 $112.21\sim 135.97 \mu\text{g/g}$, 反映稀土元素分馏程度的 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值较高, 为 $16.33\sim 22.25$, 与 LREE/HREE 值较高($12.43\sim 16.01$) 是一致的, δEu 为 $0.81\sim 0.86$, 平均值为 0.84 , 随 SiO_2 含量增加, 铕负异常增强, 表明经历了较强的分异演化。另一个显著特点是元素 Y 含量低, 为 $5.04\sim 7.28 \mu\text{g/g}$, 而反映重稀土元素之间分馏程度的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值较高, 为 $2.00\sim 2.34$ 。四方岩体稀土元素总量为 $124.65\sim 136.71 \mu\text{g/g}$, LREE/HREE 值为 $9.95\sim 8.96$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值较高, 为 $12.49\sim 9.83$, 与 LREE/HREE 比值高是一致的, δEu 为 $0.80\sim 0.85$ 。与汤泉花岗闪长岩相比, 元素 Y 含量较高, 为 $16.8 \mu\text{g/g}$, 反映重稀土元素之间分馏程度的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 比较低, 为 $1.71\sim 1.80$ 。汤泉和四方岩体的稀土元素配分型式都属轻稀土元素富集型, 曲线呈略向右倾的平滑型。

汤泉和四方花岗闪长岩体显示活动大陆边缘/岛弧钙碱性岩系的特征和演化趋势, 富集

Rb、Th、Zr、Hf、U、K, 贫 Ti、Nb、Ta、Ba、Sr、P、Y, Ba、Sr、P、Ti 亏损, 是由斜长石、磷灰石和钛铁矿物在岩浆中不同程度分离结晶所致。在原始地幔标准化的微量元素比值蛛网图上, 汤泉和四方花岗闪长岩 Rb、Th、U、K、La 和 Sm 呈正异常, Nb、Ta、Ti、Y 呈负异常, Ba 的负异常不明显, 曲线总体呈平坦型。与汤泉花岗闪长岩相比, 四方花岗闪长岩具有较高的相容元素含量, Cr= 30.1~39.4 $\mu\text{g/g}$, Co= 14.1~14.7 $\mu\text{g/g}$, V= 85.2~137.0 $\mu\text{g/g}$, Ni= 6.14~11.6 $\mu\text{g/g}$, 所有样品都具较为明显的 Nb、Ta 亏损, Nb/La= 0.35~0.67, 与岛弧特征的钾质岩石相似。Nb、Ta、Ti、Y 负异常和低 Nb/La 值表明其不可能直接由软流圈部分熔融产生 (Miller *et al.*, 1999), 其源区或受到了俯冲组分的影响, 或者是源区部分熔融过程中残留有石榴石矿物 (Foley *et al.*, 1992), 无明显 Eu 负异常表明花岗闪长岩不可能通过地壳加厚作用导致泥质岩石部分熔融或地壳重熔所形成。因此, 就目前闽西南地区花岗闪长岩的地球化学数据而言, 受到俯冲组分改造或影响的岩石圈地幔组成部分很可能对该岩浆的形成有重要贡献, 或可能是不同比例的软流圈组分和中下地壳物质混合后部分熔融作用的结果。

3.3 岩体的 Nd-Sr 同位素特征

汤泉花岗闪长岩的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值为 0.70769~0.70822, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 值范围为 0.40170~0.10275, 变化较小, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 0.512008~0.512032, 以 183 Ma 计算的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为 -9.61~-10.07。为了便于对比, 采用二阶段 Nd 模式年龄 (t_{DM}) 1.52~1.55 Ga 首次对四方岩体花岗闪长岩进行 Sr-Nd 同位素系统测定, 花岗闪长岩的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 值为 0.70635~0.70898, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 值为 0.1072~0.1131, 变化较小, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 0.512306~0.512391, 以不同年龄计算的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值分别为 -5.24 和 -2.22, 采用二阶段 Nd 模式年龄 (T_{DM}) 1.21 Ga 和 1.22 Ga。

目前有较可靠的年龄数据表明闽西南古元古古代麻源群形成的上限年龄为 1.9 Ga, 下限年龄尚缺少可靠的年代学数据, 中元古代马面群下部角斑岩中单粒锆石 U-Pb 年龄为 1438~1100 Ma (甘晓春等, 1993), 因此, 汤泉和四方花岗闪长岩的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值和模式年龄分别与中国东南部古元古和中元古代变质火山岩的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 和 t_{DM} 模式年龄 (凌洪飞等, 1999) 接近, 在 $\epsilon\text{Nd}(t)-t$ 图解 (凌洪飞等, 1999) 中, 汤泉岩体 3 个样品的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值位于中元古代变质岩 Nd 同位素演化域内, 四方岩体两个样品的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值一个位于中元古代变质岩 Nd 同位素演化域上部边界, 另一个位于上部边界之上, 反映花岗闪长岩可能主要是由闽西南元古宙相当之地壳衍生物经部分熔融形成, 晚中生代花岗闪长岩中有较多新生的幔源组分加入。在 $\epsilon\text{Nd}(t)-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 图上, 汤泉和四方花岗闪长岩主要位于第四象限左侧, 呈特征的负相关关系, 位于上地幔与地壳延长线上, 显示壳幔混合的特征, 四方岩体位于延长线上部, 反映其中幔源组分含量相对较高, 晚期的斑岩体中幔源组分增加。只有地幔物质的加入才能为下地壳深熔作用形成高钾钙碱性岩浆提供足够的热量 (Miller *et al.*, 1999), 据此, 我们认为花岗闪长岩是由古-中元古代相当之地壳衍生物部分熔融的花岗质岩浆与地幔起源的基性岩浆混合而形成的, 早中生代花岗闪长岩的源区物质更富钠。

4 讨 论

上述岩石地球化学资料表明, 闽西南地区高钾花岗闪长质岩石的来源很可能与受到过

早期俯冲作用影响的岩石圈地幔有关,或形成于岛弧环境,或是源于软流圈的基性岩浆与元古宙地壳物质的混合产物。同位素年龄表明,汤泉岩体形成时代为 182.9~162.02 Ma,形成于中生代早期,与目前桂东南钾质侵入岩带(158~180 Ma)(徐磊明等,1992)和湘东南钾质侵入岩带(172~181 Ma)(王岳军等,2001)的侵位年龄相对一致。因此,闽西南与桂东南湘东南 NE 向高钾岩带很可能是同期形成的。目前的研究表明,180 Ma 以来华南地区已属于陆内造山环境,不存在洋-陆或弧-陆俯冲碰撞作用的可能。同时已有研究也表明,具岛弧型微量元素特征的钾质岩石可产出于大陆板内环境(Leat *et al.*, 1988; Berbnan *et al.*, 1998; Wyborn, 1992),因此,闽东南早中生代花岗闪长质岩石不可能形成于岛弧构造背景,其岩石地球化学特征所反映的源区性质很可能与受到早期俯冲作用所改造的岩石圈富集地幔有关,或是源于软流圈的基性岩浆与地壳物质混合作用的结果。四方岩体同位素年龄为 108~105 Ma,形成于早白垩世,晚中生代时闽西南地区总体处于与华南软流圈地幔上涌有关的伸展拉张构造环境,发生较广泛玄武岩浆底侵作用,花岗闪长质岩浆中有较多地幔组分参与。这些资料表明闽西南地区可能自早中生代以来存在多期次的岩石圈强烈伸展减薄作用,由于软流圈上涌导致幔源岩浆底侵于中下地壳,与中下地壳物质部分熔融形成的花岗质岩浆混合形成了闽西南钾质岩石。这一初步认识很可能为深入研究华南岩浆事件的形成、中生代大地构造演化及深部过程提供新的思路。

5 结 论

闽西南地区中生代存在两期花岗闪长质岩石,其形成年龄分别为 183~162 Ma 和 108~105 Ma。花岗闪长质岩石 $K_2O+Na_2O>6.0$,晚期花岗闪长质岩石相对富 K_2O ,均属板内高钾钙碱性岩石。岩石富 LREE 和 LILE, $\delta Eu=0.80\sim 0.86$, Nb、Ta、Ti、Y 亏损,具有岛弧/活动大陆边缘钙碱性岩石的特征,指示源区性质很可能与受到早期俯冲作用所改造的岩石圈富集地幔有关,或是源于软流圈的基性岩浆与地壳物质混合作用的结果。闽西南地区可能自早中生代以来存在多期次的岩石圈强烈伸展减薄作用,幔源岩浆与中下地壳物质部分熔融形成的花岗质岩浆的混合形成了闽西南钾质岩石,随扩张增强,晚中生代花岗闪长质岩石中幔源组分增多。

References

- Bergnan S C, Dunn D P, Krol L C. 1988. Rock and mineral chemistry of Linhaisai minette and the orogin of Borneo diamonds, Central Kalimantan, Indonesia[J]. *Can. Mineral.*, 26: 23~44.
- Dong Chuanwan, Zhou Xinmin, Li Huimin, *et al.* 1997. Late Mesozoic interaction of crust- mantle mixing in southeastern Fujian: Isotopic evidence for Pingtan intrusive complex. *Chinese Sci. Bull.*, 1997. 42(9): 960~962 (in Chinese).
- Foley S, Amand N, Liu J. 1992. Potassic and ultrapotassic magmas and their orogin[J]. *Lithos*, 28: 181~185.
- Gan Xiaochun, Li Huimin, Sun Dazhong. 1993. Study of the geochronology for Precambrian metamorphic bases in northern Fujian[J]. *Fujian Geology*, 12(1): 17~31 (in Chinese).
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. 1980. Tectonic framework and crustal evolution in South China[A]. Guo Lingzhi. *Collected Geological Papers for International Interchange[C]*. Beijing: Geological Press, 106~109.
- Leat P T, Thompson N R, Morrison M A. 1988. Silitic magma derived by fractional crystallization from Miocene minette, Elkhend Mountain, Colorado[J]. *Mineral. Mag.*, 52: 577~586.

- Li Jiliang. 1992. Study of lithosphere texture and evolution in ocean- continent of southeastern China[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 3~ 16 (in Chinese).
- Lin Zengpin. 1983. Discussion for Cathaysia[J]. *Fujian Geology*, 2(2): 37~ 47 90 (in Chinese).
- Li Wenda, Mao Jianren, Zhu Yunhe, *et al.* 1998. Mesozoic petrology and deposite in southeastern China[M]. Beijing: Seismic Publishing House (in Chinese).
- Li Xianhua. 1999. Crataceous mantic activity and lithosphere extension in South China: contraining on geochronology and geochemistry[A]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Resource Environment and Continuous Development[C]. Beijing: Sciences Press, 264~ 275 (in Chinese).
- Ling Hongfei, Shen Weizhou, Huang Xiaolong. 1999. Nd and Sr isotopic compositions of granitoids of Fujian and their significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 255~ 262 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jianren, Tao Kuiyuan, Chen Sanyuan. 1998. The granitic magmatism and mineralization in southwestern Fujian[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 19(4): 311~ 320 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jianren, Tao Kuiyuan, Xie Fanggui, *et al.* 2001. Rock_forming and rock_forming processes and tectonic environments in Southwest Fujian[J]. *Acta Petrol. et Mineral.*, 20(3): 329~ 336(in Chinese with English abstract).
- Mao Jianren, Xie Fanggui, Tao Kuiyuan, *et al.* 2002. The geological characteristics from Tangquan pluton in southwestern Fujian and their significance[J]. *Acta Geologica Sinica* (in Chinese with English abstract) (in press).
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/ igneous rocks system[J]. *Earth. Sci. Rev.*, 37: 215~ 224.
- Miller C, Schuster R, Klotzli U, *et al.* 1999. Post_collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr- Nd- Pb- O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. *Journal of Petrology*, 40(9): 1 399~ 1 424.
- Wang Erkang, Liu Cong. 1992. An important Mesozoic collision orogenic belt in South China[A]. Li Jiliang. Lithosphere Texture and Evolution in Ocean- Continent of Southeast China[C]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 96~ 105 (in Chinese).
- Wang Erkang, Liu Cong. 1993. Late Palaeozoic volcanism in southwestern Fujian and northeastern Guangdong[A]. Li Jiliang. Lithosphere Texture and Tectonic Evolution in Continent of Southeastern China[C]. Beijing: Metallurgic Industry Press, 178~ 186.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, *et al.* 2001. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in Southeast Hunan Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 169~ 175 (in Chinese).
- Wyborn D. 1992. The tectonic significance of Ordovician magmatism in the eastern Lachlan Fold Belt[J]. *Tectonophysics*, 214: 177~ 192.
- Xu Leiming, Yuan Zongxin. 1992. Zircon U/Pb ages of monzonitic granite from Qinghu pluton and their significance[J]. *Guangxi Geology*, 38(1): 1~ 15(in Chinese).
- Xu Xisheng, Zhou Xinmin, Wang Dezi. 1999. Relationship between interaction of crust- mantle and petrogenesis of granites- for example in the coastal area of southeastern China[J]. *Geological J. China Univer.*, 5(3): 241~ 250 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Tu Guangzhi. 1987. Primary study for alkaline intrusions in Ailaoshan- Jinshajiang and relation to the valley tectonic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 3(1): 17~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Cheng Rong. 2000. Study of Late Mesozoic interaction of crust- mantle in the coastal area of Zhejiang and Fujian[J]. *Progre. in Natural Sci.*, 10(6): 572~ 574 (in Chinese).
- Zhou Xinmin, Li Wuxian. 2000. Petrogenesis of Late Mesozoic magmatic rocks in southeastern China: The model combined with lithosphere delamination and basaltic underplating[J]. *Progre. in Natural Sci.*, 10(3): 240~ 247 (in Chinese).

附中文参考文献

- 董传万, 周新民, 李惠民, 等. 1997. 闽东南晚中生代的壳幔混合作用: 平潭火成杂岩的同位素证据[J]. *科学通报*, 1997, 42(9): 960~ 962.
- 甘晓春, 李惠民, 孙大中. 1993. 闽北前寒武纪基底的地质年代学研究[J]. *福建地质*, 12(1): 17~ 31.

- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格局和地壳演化[A]. 郭令智. 国际交流地质学论文集(一)[C]. 北京: 地质出版社, 1980, 106~ 109.
- 李继亮. 1992. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 3~ 16.
- 林增品. 1983. 华夏古陆的探讨[J]. 福建地质, 2(2): 37~ 47.
- 李文达, 毛建仁, 朱云鹤, 等. 1998. 中国东南部中生代火成岩与矿床[M]. 北京: 地震出版社.
- 李献华. 1999. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展——地质年代学和地球化学制约[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 264~ 275.
- 凌洪飞, 沈渭洲, 黄小龙. 1999. 福建省花岗岩类 Nd- Sr 同位素特征及其意义[J]. 岩石学报, 15(2): 255~ 262.
- 毛建仁, 陶奎元, 陈三元. 1998. 闽西南花岗质岩浆作用与成矿[J]. 火山地质矿产, 19(4): 311~ 320.
- 毛建仁, 陶奎元, 谢芳贵, 等. 2001. 闽西南地区成岩成矿作用与构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 329~ 336.
- 毛建仁, 谢芳贵, 陶奎元, 等. 2002. 闽西南汤泉岩体的地质特征及其构造意义[J]. 地质学报(待刊).
- 王尔康, 刘 聪. 1993. 闽西南—粤东北晚古生代的火山作用[A]. 李继亮. 东南大陆岩石圈结构与地质演化[C]. 北京: 冶金工业出版社, 178~ 186.
- 王尔康, 刘 聪. 1992. 华南中生代一条重要的碰撞造山带[A]. 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 96~ 105.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭 峰, 等. 2001. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U- Pb 法定年及其成因指示[J]. 中国科学(D)辑, 3(9): 745~ 751.
- 徐磊明, 袁宗信. 1992. 清湖二长花岗岩锆石的铀- 铅同位素年龄及其地质意义[J]. 广西地质, 38(1): 1~ 15.
- 徐夕生, 周新民, 王德滋. 1999. 壳幔作用与花岗岩成因——以东南沿海为例[J]. 高校地质学报, 1999. 5(3): 241~ 250.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1987. 袁牢山—金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究[J]. 岩石学报, 3(1): 17~ 27.
- 周金城, 陈 荣. 2000. 浙闽沿海晚中生代壳幔作用研究[J]. 自然科学进展, 10(6): 572~ 574.
- 周新民, 李武显. 2000. 中国东南部晚中生代火成岩成因: 岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式[J]. 自然科学进展, 10(3): 240~ 247.