

# 钦杭带侏罗纪与铜和锡矿有关的两类花岗岩 对比及动力学背景探讨

郭春丽<sup>1</sup>, 许以明<sup>2</sup>, 楼法生<sup>3</sup>, 郑佳浩<sup>1,4</sup>

- (1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;  
2. 湖南省湘南地质勘察院, 湖南 郴州 423000; 3. 江西省地质调查研究院, 江西 南昌 330030;  
4. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

**摘要:** 钦杭成矿带是扬子地块与华夏地块自新元古代以来的碰撞拼接带, 后来在不同的地质历史时期形成了不同类型的矿床和相关的岩石。在侏罗纪形成两套成岩成矿系列, 一套为中侏罗世(180~170 Ma)与斑岩-矽卡岩-热液脉状铜金多金属矿床及其有关的钙碱性花岗闪长岩类; 另一套为晚侏罗世(160~150 Ma)与云英岩-石英脉-矽卡岩钨锡多金属矿床及其有关的钙碱性-碱性花岗岩类。本文对比了上述两个系列成矿花岗岩类母岩的空间分布、年代、岩石地球化学和 Sr-Nd 同位素特征, 并探讨了二者形成的构造动力学背景差异。前者可能是由于古太平洋俯冲板片沿钦杭断裂带发生局部重熔形成的, 后者形成于华南岩石圈大规模伸展减薄的环境下, 两者的形成过程均有地幔物质参与, 但是晚侏罗世与钨锡有关的花岗岩地幔贡献可能少一些。

**关键词:** 中侏罗世斑岩-矽卡岩-脉状铜金多金属矿床, 晚侏罗世云英岩-石英脉-矽卡岩钨锡多金属矿床, 花岗岩类; 钦杭成矿带, 华南

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)04-0463-22

## A comparative study of the Middle Jurassic granodiorite related to Cu and the Late Jurassic granites related to Sn in the Qin-Hang metallogenic belt and a tentative discussion on their tectonic dynamic setting

GUO Chun-li<sup>1</sup>, XU Yi-ming<sup>2</sup>, LOU Fa-sheng<sup>3</sup> and ZHENG Jia-hao<sup>1,4</sup>

- (1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Geological Exploration Institute of Hunan Province, Chenzhou 423000, China; 3. Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330030, China; 4. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Located in the interior of South China, the Qin-Hang (Qinzhou Bay to Hangzhou Bay) metallogenic belt was formed by the collision between the Yangtze craton and the Cathaysian block in late Neoproterozoic. Most ore deposits in the belt were formed in Mesozoic although different types of deposits occurred in different geological periods. Studies show that Mesozoic rock-forming and ore-forming processes could be subdivided two categories, i. e., Mid-Jurassic (180~170 Ma) porphyry-skarn-vein Cu polymetallic deposits and related granodiorites, and Late Jurassic (160~150 Ma) greisen-quartz vein-skarn W-Sn polymetallic deposits and related granites. In this paper, these two kinds of granitic source rocks were compared with each other in such aspects as spatial-temporal distribution, chronology, geochemical, Sr-Nd isotopic characteristics and tectonic settings. The former was derived locally from the remelting of subducted ancient Pacific plate along the Qin-Hang fault zone,

收稿日期: 2013-03-28; 修订日期: 2013-06-17

基金项目: 国家自然科学基金面上基金(41273043); 国家重点基础研究发展规划“973项目”(2012CB416704); 地质调查工作项目(1212011220523); 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007-11)

作者简介: 郭春丽(1978-), 女, 博士, 副研究员, 从事花岗岩与相关矿床研究, E-mail: gchunli@126.com。

whereas the latter was resulted from subducted plate windows in the central part of South China in a continental crustal extension and thinning setting. Abundant mantle materials were involved during the two types of rock-forming and ore-forming processes; nevertheless, less mantle materials were involved in the formation of Late Jurassic granitoids related to W-Sn deposits.

**Key words:** Mid-Jurassic porphyry-skarn-vein Cu polymetallic deposits; Late Jurassic greisens-quartz vein-skarn W-Sn polymetallic deposits; granitoids; Qin-Hang metallogenic belt; South China

钦州-杭州成矿带(简称钦杭带),亦称十万大山-杭州成矿带(简称十杭带),沿该带发育一系列铜金多金属和钨锡多金属矿产,构成了一个罕见的板内多金属成矿带。钦杭带是扬子与华夏两个古陆块在新元古代的碰撞拼接带,后期经历了多次开合。沿该带主要发育有 3 个时期的矿床:新元古代海底喷流沉积型铜锌矿床、侏罗纪与不同类型花岗岩类有关的铜金钨锡铅锌矿床、白垩纪与次火山岩有关的浅成低温热液型金银铅锌钨锡矿床(毛景文等, 2011)。其中,在侏罗纪形成两套截然不同的矿床及花岗岩类,一套是中侏罗世与斑岩-矽卡岩-热液脉状铜金多金属矿床及有关的钙碱性花岗闪长岩类;另一套是晚侏罗世与云英岩-石英脉-矽卡岩钨锡多金属矿床及有关的钙碱性-碱性花岗岩类。本文对上述两种花岗岩类在空间分布、年代、主量元素、稀土元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素特征等方面进行了详细对比,探讨了其不同起源和演化特征,并解释了这两个成岩成矿系列的形成机制和构造动力学背景的差异。

## 1 两个系列花岗质岩类的空间分布

Gilder 等(1996)通过华南花岗岩 Sr-Nd 同位素数据发现从广西的十万大山,经过桂东北、湘东南、赣西南,一直到杭州,为一个高  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  低  $t_{\text{DM}}$  带,并推断其为一个中生代的裂谷带;Hong 等(1998)也指出在华南大陆内部的杭州-诸广山-花山这一狭长地带的花岗岩幔源组分偏高;Chen 和 Jahr(1998)重新对华南花岗岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值和 Nd 模式年龄进行统计,指出在钦杭带的东侧也存在几条同样特征的带,是岩石圈伸展和壳幔作用的证据;陈江峰等(1999)考虑到万洋山-诸广山地区花岗岩体的  $t_{\text{DM}}$  值均大于 1 700 Ma,将 Gilder 等(1996)提出的十杭带肢解成为两个带;王德滋等(2002)通过总结前人的 77 个数据和测定 76 个中生代花岗岩体 Sm-Nd 同位素,认

为中国东南部中生代花岗岩的 Nd 模式年龄存在 3 个低值带和 1 个低值区。洪大卫等(2002)认为这条高  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  低  $t_{\text{DM}}$  带可能是扬子和华夏地块在新元古代时期的一条板块碰撞带,随后被古生代沉积所掩盖。杨明桂等(2009)比较清楚地将杭十带从构造地质上单独划分出,并命名为钦-杭结合带,该成矿带大致自西南端的广西钦州湾,经湘东和赣中延伸到东北端浙江杭州湾,整体呈北东向反 S 状弧形展布,全长近 2 000 km,宽 100~150 km。

华南低  $t_{\text{DM}}$  带也是我国重要的有色、稀有、稀土和钨金属成矿带,反映出低钨模式年龄花岗岩的形成过程同样是有利于矿床的形成(陈江峰等, 1999)。杨明桂等(2009)、毛景文等(2010)指出钦杭成矿带及其旁侧是华南地区最重要的 Cu-Au-Pb-Zn-Ag 多金属成矿带。蒋少涌等(2008)指出位于该带中部的湘南-桂北花岗岩带 W-Sn 矿床(点)数量多,储量大,是我国重要的 W-Sn 矿产基地。毛景文等(2007, 2008)也指出沿着该带有大批 W-Sn-Nb-Ta 多金属矿床。

如图 1 所示,沿钦杭带及其旁侧分布的与铜金多金属矿有关的中侏罗世花岗闪长岩类,从北到南分布有与赣东北德兴铜矿有关的花岗闪长斑岩,与银山铜铅锌银矿有关的英安斑岩和石英斑岩,与永平和东乡铜矿有关的花岗闪长岩,与湘东七宝山-赤马-石蛤蟆铜矿有关的花岗闪长岩,与湘东南水口山铅锌矿、宝山铜矿、铜山岭铜矿有关的花岗闪长质岩体和火山岩,与赣南营前金银铜铅锌矿有关的花岗闪长岩,与粤北大宝山铜金矿有关的花岗闪长斑岩。而晚侏罗世与钨锡多金属矿有关的花岗岩类集中分布于钦杭带中部,从北到南依次有与柿竹园钨锡钼多金属矿有关的千里山花岗岩,与黄沙坪钨锡铅锌矿有关的花岗岩,与新田岭钨矿和芙蓉锡矿有关的骑田岭花岗岩,与香花岭锡矿有关的癞子岭花岗岩,与大坳锡矿有关的九嶷山花岗岩,与姑婆山锡多金属矿有关的花山和姑婆山花岗岩。

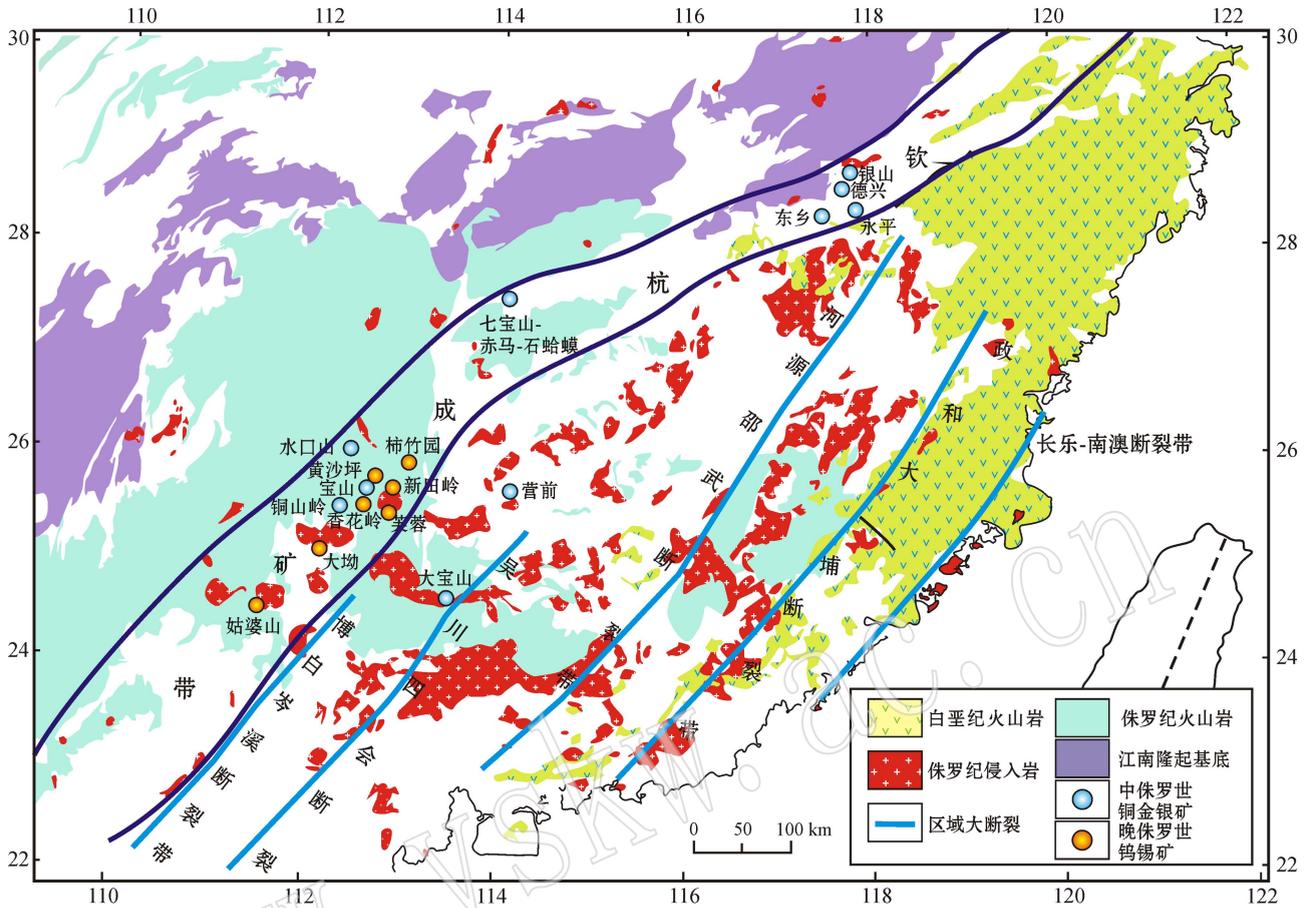


图1 中侏罗世铜金银多金属矿床和晚侏罗世钨锡多金属矿床在钦杭带的分布图(改编自徐先兵等, 2009)  
Fig. 1 Distribution of Mid-Jurassic Cu-polymetallic and Late Jurassic Sn-polymetallic deposits in the Qin-Hang belt (modified after Xu Xianbing *et al.*, 2009)

## 2 两个系列花岗岩类年代对比

前人报道的上述岩体的形成时代有多个,从 200~110 Ma 均有记载,但大多都是全岩或者全岩-矿物的 Rb-Sr 等时线年龄、全岩或矿物的 K-Ar 年龄。由于成矿岩体或多或少地受到蚀变的影响,这些蚀变直接影响到岩体的 Rb-Sr 同位素比值,因此全岩或者全岩-矿物的 Rb-Sr 等时线年龄可能并不代表岩体的真实侵位年龄。对于 K-Ar 年龄,由于全岩或矿物的 K-Ar 年龄的封闭温度较低,因此 K-Ar 年龄可能代表的是岩体的冷却年龄或者热液蚀变导致岩体的 K-Ar 同位素重置产生年轻的同位素年龄。由于锆石性质稳定,封闭温度较高(Lee *et al.*, 1997; Cherniak and Watson, 2000),不容易受到蚀变的影响,因此本次统计采用的是岩浆锆石的 U-Pb 年龄。对于成矿年龄,本次统计采用的是辉钼矿 Re-Os 年

龄和云母的 Ar-Ar 年龄。

中侏罗世钦杭带是斑岩-矽卡岩-热液脉状铜金银矿床和一些铅锌矿及其有关的花岗闪长岩类,成岩成矿时代大概在 182~158 Ma,集中于 180~170 Ma(表 1),粤北的大宝山铜矿床和赣南营前铜银铅锌矿床平行于行洛坑-西华山-始兴钨锡成矿带,虽然没有分布在钦杭带上,但是成岩成矿性质与其他几个矿床相似。铜金银多金属成矿作用略晚于成岩作用,略早于 160~150 Ma 钨锡多金属矿及其有关的花岗岩类。

晚侏罗世钦杭带中部的湘南-桂北集中分布与云英岩-石英脉-矽卡岩钨锡多金属矿床及有关的花岗岩类,成岩成矿时代大约在 165~152 Ma,集中在 160~150 Ma(表 2)。晚侏罗世是与花岗岩类有关的钨锡多金属矿床的大规模爆发期,主要发育于南岭地区。锡矿与钨矿在南岭地区的分布也并不十分一致。华仁民等(2008)指出南岭东段的赣南地区以

表 1 钦杭带中侏罗世铜金多金属矿床成岩成矿年龄统计

Table 1 Ages of mineralization and granodiorites related to Cu-Au polymetallic deposits in the Qin-Hang belt in Mid-Jurassic

矿床	省区	成岩年龄/Ma	测试对象及方法	参考文献	成矿年龄/Ma	测试对象及方法	参考文献
德兴 Cu 矿	江西	171 ± 3	花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	王强等, 2004	170.4 ± 1.8	德兴斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 年龄	Lu <i>et al.</i> , 2005
银山 Cu-Pb-Zn-Ag 矿	江西	179.6 ± 2.9 175.3 ± 1.1 176.6 ± 3.3	银山蚀变英安斑岩绢云母的 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 等时线年龄 蚀变石英斑岩绢云母的 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 等时线年龄	李晓峰等, 2006	178.2 ± 1.4 175.3 ± 1.1	银山铅锌银矿石中云母的 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 年龄	Li X F <i>et al.</i> , 2007b
永平、东乡 Cu 矿	江西	160 ± 2.3	永平花岗闪长岩的锆石 LA-ICP-MS 年龄	丁昕等, 2005			
营前 Cu-Ag-Pb-Zn 矿	江西	172.2 ± 3.1 167.6 ± 3.3 168 ± 3	SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	郭春丽等, 2010			
铜山岭 Cu-Pb-Zn 矿	湖南	181.5 ± 8.8 177.1 ± 1.6 164 ± 2	花岗闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄 花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	Wang Y J <i>et al.</i> , 2002 Jiang <i>et al.</i> , 2008			
宝山 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag 矿	湖南	173.3 ± 1.9 164.1 ± 1.9 162.2 ± 1.6 158 ± 2	花岗闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄 隐爆角砾岩中花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	Wang Y J <i>et al.</i> , 2002 伍光英等, 2005 陆远发等, 2006			
水口山 Cu-Pb-Zn 矿	湖南	172.3 ± 1.6 163 ± 2	单颗粒锆石 U-Pb 年龄 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	Wang Y J <i>et al.</i> , 2002 马丽艳等, 2006			
大宝山 W-Mo-Cu-Pb-Zn-Fe 矿	广东	175.8 ± 1.5 175.0 ± 1.7 174.6 ± 1.5 167 ± 2.5 166.6 ± 2.1 166.2 ± 3.1	花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 次英安斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 碱长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 白云母二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	Wang L <i>et al.</i> , 2011 王磊等, 2012 Li C Y <i>et al.</i> , 2012 刘莎等, 2012	164.7 ± 3 163.2 ± 2.3 165.2 ± 2.4 163.4 ± 2.4 166 ± 1	层状铜铅锌矿中辉钼矿 Re-Os 年龄 斑岩型和矽卡岩型钼矿中辉钼矿 Re-Os 年龄 辉钼矿 Re-Os 年龄	Wang L <i>et al.</i> , 2011 王磊等, 2012 Li C Y <i>et al.</i> , 2012

钨矿的密集产出为特征, 尽管大部分钨矿床都有锡的共生或伴生, 但是独立的锡矿床或以锡为主的矿床相对较少; 南岭中段的湘东南、桂东北一带是钨、锡并重, 但是锡的矿化已明显增强, 出现了一些以锡为主的矿床。

### 3 两个系列花岗质岩类岩石地球化学特征对比

#### 3.1 与斑岩-矽卡岩-脉状铜多金属矿有关的花岗岩闪长岩

德兴花岗闪长岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为 56.24% ~

68.08%, 水口山 60% ~ 65.05%, 宝山 57.35% ~ 68.8%, 其余岩体(铜山岭、营前、赤马和石蛤蟆)的 SiO<sub>2</sub> 含量 > 64.78%。德兴为闪长岩-花岗闪长岩, 水口山为二长岩-闪长岩-花岗闪长岩, 宝山为二长岩-花岗闪长岩, 其余可归为花岗闪长岩(图 2a); 图 2b 表明岩体除极少数样品外, 应该属钙碱性系列; 德兴花岗闪长岩的 K<sub>2</sub>O 含量 1.94% ~ 3.84%, 略低于高钾钙碱性岩石, 宝山为 3.69% ~ 4.81%, 略高于高钾钙碱性岩石, 其余岩体都投在高钾钙碱性区域(图 2c); 图 2d 中, 德兴花岗闪长岩的 A/CNK 为 0.85 ~ 1.54, 大多数大于 1.1, 水口山为 0.99 ~ 1.42, 为过铝质, 其余岩体为准铝质。可见, 大多数岩体可归为

表 2 钦杭带晚侏罗世钨锡多金属矿床成岩成矿年龄统计

Table 2 Ages of mineralization and granites related to W-Sn polymetallic deposits in the Qin-Hang belt in Late Jurassic

矿床	省区	成岩年龄/Ma	测试对象及方法	参考文献	成矿年龄/Ma	测试对象及方法	参考文献
骑田岭周边 W-Sn 多金属 矿	湖南	160 ± 2	菜岭超单元花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	付建明等, 2004c			
		160 ± 2	竹视水单元花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	朱金初等, 2005	156.1 ± 0.4 160.1 ± 0.9	云英岩型锡矿石中的白 云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 年龄	毛景文等, 2004
		155 ± 1 157 ± 1	芙蓉超单元花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	赵葵东等, 2006			
柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 多金属矿	湖南	183.17 ± 3.75 158.07 ± 3.16 162.55 ± 3.25	千里山花岗岩 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar 年龄	刘义茂等, 1997	160.8 ± 2.4	矽卡岩矿物 Sm-Nd 等 时线年龄	刘义茂等, 1997
		152 ± 2	千里山花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	Li X H <i>et al.</i> , 2004	149 ± 2	石榴石、萤石和黑钨矿 Sm-Nd 年龄	Li X H <i>et al.</i> , 2004
		152 ± 9 137 ± 7 136 ± 6	第一、二、三阶段花岗岩 全岩 Rb-Sr 年龄	毛景文等, 1995a			
香花岭 Sn 矿	湖南	155 ± 2	粗粒黑鳞云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	朱金初等, 2011	154.4 ± 1.1	香花岭白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 坪年龄	Yuan <i>et al.</i> , 2007
		154 ± 1	中粒二云母花岗岩 LA- ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	朱金初等, 2011	160 ± 1.2	香花铺白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 坪年龄	Yuan <i>et al.</i> , 2007
					158.7 ± 1.2	江峰岭白云母 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 坪年龄	Yuan <i>et al.</i> , 2007
黄沙坪 Pb-Zn-Sn- Mo 矿	湖南	161.6 ± 1.1	花岗斑岩年龄	姚军明等, 2005	154.8 ± 1.9 154.2 ± 2.2 153.9 ± 1.7	辉钼矿 Re-Os 年龄	华仁民等, 2006 姚军明等, 2007 毛景文等, 2007
		156 ± 2	金鸡岭花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	付建明等, 2004a	151.4 ± 2.4	辉钼矿 Re-Os 等时线 年龄	付建明等, 2007
		157 ± 1	砂子岭花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	付建明等, 2004a			
九嶷山 大坳 Sn 矿	湖南	156 ± 2	西山花岗质火山-侵入杂 岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄	付建明等, 2004a			
		160.8 ± 1.6 165.0 ± 1.91 63.0 ± 1.3	岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	顾晟彦等, 2006a			
		162 ± 1 162 ± 4	岩体的 SHRIMP 和 LA- ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	朱金初等, 2006b			

准铝质高钾钙碱性花岗闪长岩。

稀土元素球粒陨石标准化分布型式图上(图 3) 德兴、水口山、赤马和石蛤蟆相似, 而铜山岭、宝山、营前相似。前一组的  $\Sigma\text{REE} = 65.4 \times 10^{-6} \sim 241.31 \times 10^{-6}$  ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> = 8.92 ~ 37.58,  $\delta\text{Eu} = 0.91 \sim 1.06$ ; 后一组的  $\Sigma\text{REE} = 78.64 \times 10^{-6} \sim 352.82 \times 10^{-6}$  ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> = 4.43 ~ 29.07,  $\delta\text{Eu} = 0.62 \sim 0.94$ , 即德兴、水口山、赤马和石蛤蟆花岗闪长岩的稀土元素总和更小, 轻重稀土元素比值更大, 稀土元素标准化分布型式图更加向右倾斜, 铕负异常不明显。

在微量元素原始地幔标准化分布型式图上(图 4), 普遍存在高场强元素 Nb-Ta、Ti、P 的亏损, 表明在岩浆演化过程中存在磷灰石、钛铁矿的结晶分离作用, 而 Nb-Ta 亏损表明源区存在壳源物质或者岩浆上升过程中受到了地壳物质的混染。除德兴外, 其余岩体普遍亏损 Ba、Sr, 表明存在斜长石和碱性长石的结晶分离作用, 而德兴具有 Ba、Sr 的正异常, 可能存在长石的堆晶或者表明源区存在基性组分。上述特征明显有别于邻区三叠纪和晚侏罗世具有明显铕负异常、HREE 分异不明显的花岗岩类和桂东南

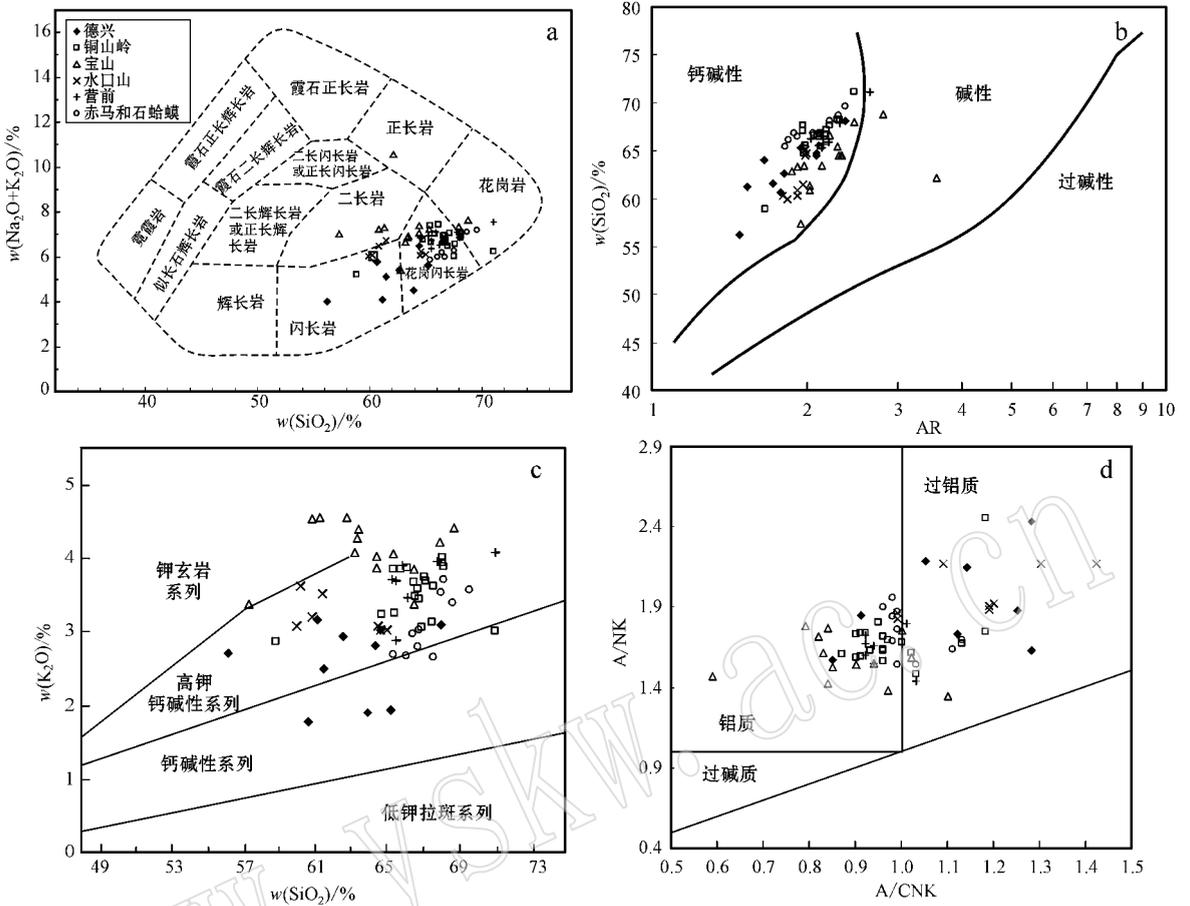


图 2 中侏罗世花岗岩质闪长岩 ALK - SiO<sub>2</sub> (a, Cox, 1979), SiO<sub>2</sub> - AR (b), K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> (c) 和 A/NK - A/CNK (d) 图解  
 Fig. 2 ALK - SiO<sub>2</sub> (a, Cox, 1979), SiO<sub>2</sub> - AR (b), K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> (c) and A/NK - A/CNK (d) diagrams

of the Mid-Jurassic representative granodiorites

数据来源: 德兴 (Wang Q *et al.*, 2003; Li X F and Munetake, 2007a), 铜山岭 (王岳军等, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003; 魏道芳等, 2007), 宝山 (王岳军等, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003; 伍光英等, 2005), 水口山 (王岳军等, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003), 营前 (郭春丽等, 2010), 赤马和石头蛤蟆 (彭头平等, 2004)

data sources: Dexing (Wang Q *et al.*, 2003; Li X F and Munetake, 2007a), Tongshanling (Wang Yuejun *et al.*, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003; Wei Daofang *et al.*, 2007), Baoshan (Wang Yuejun *et al.*, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003; Wu Guangying *et al.*, 2005), Shuikoushan (Wang Yuejun *et al.*, 2001; Wang Y J *et al.*, 2003), Yingqian (Guo Chunli *et al.*, 2010), Chima and Shihama (Peng Touping *et al.*, 2004)

无明显 Nb-Ta 负异常的钾玄质岩石 (Li X H *et al.*, 2000)。

### 3.2 与云英岩-石英脉-矽卡岩型钨锡多金属矿床有关的花岗岩

在 SiO<sub>2</sub> - ALK 分类命名图解中, 绝大多数落入花岗岩范围内 (图 5a)。其中黄沙坪花岗岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为 73.25% ~ 75.21%, 花山花岗岩为 69.96% ~ 79.51%, 姑婆山花岗岩为 69.04% ~ 76.31%, 九疑山花岗岩为 66.95% ~ 76.90%, 骑田岭花岗岩为 64.84% ~ 76.59%, 千里山花岗岩为 74.20% ~ 77.95%, 癞子岭花岗岩为 62.38% ~ 75.52%。

在图 AR - SiO<sub>2</sub> 分类命名图解中 (图 5b), 部分岩体投在“钙碱性”区域, 包括九疑山沙子岭和西山、骑田岭、千里山第一期似斑状花岗岩; 部分岩体投在“碱性”区域, 包括黄沙坪、花山、姑婆山、九疑山金鸡岭和螃蟹木; 千里山第二期等粒花岗岩和癞子岭花岗岩两个区域均有投点。

A/CNK - A/NK 图解 (图 5d) 中, A/CNK 值在 1.1 以下的属于“准铝质”, 包括花山、姑婆山、九疑山沙子岭和西山、骑田岭、千里山第一期似斑状花岗岩; 九疑山金鸡岭和螃蟹木花岗岩的 A/CNK 值在 1.1 以上, 属于“过铝质”, 黄沙坪、癞子岭和千里山第

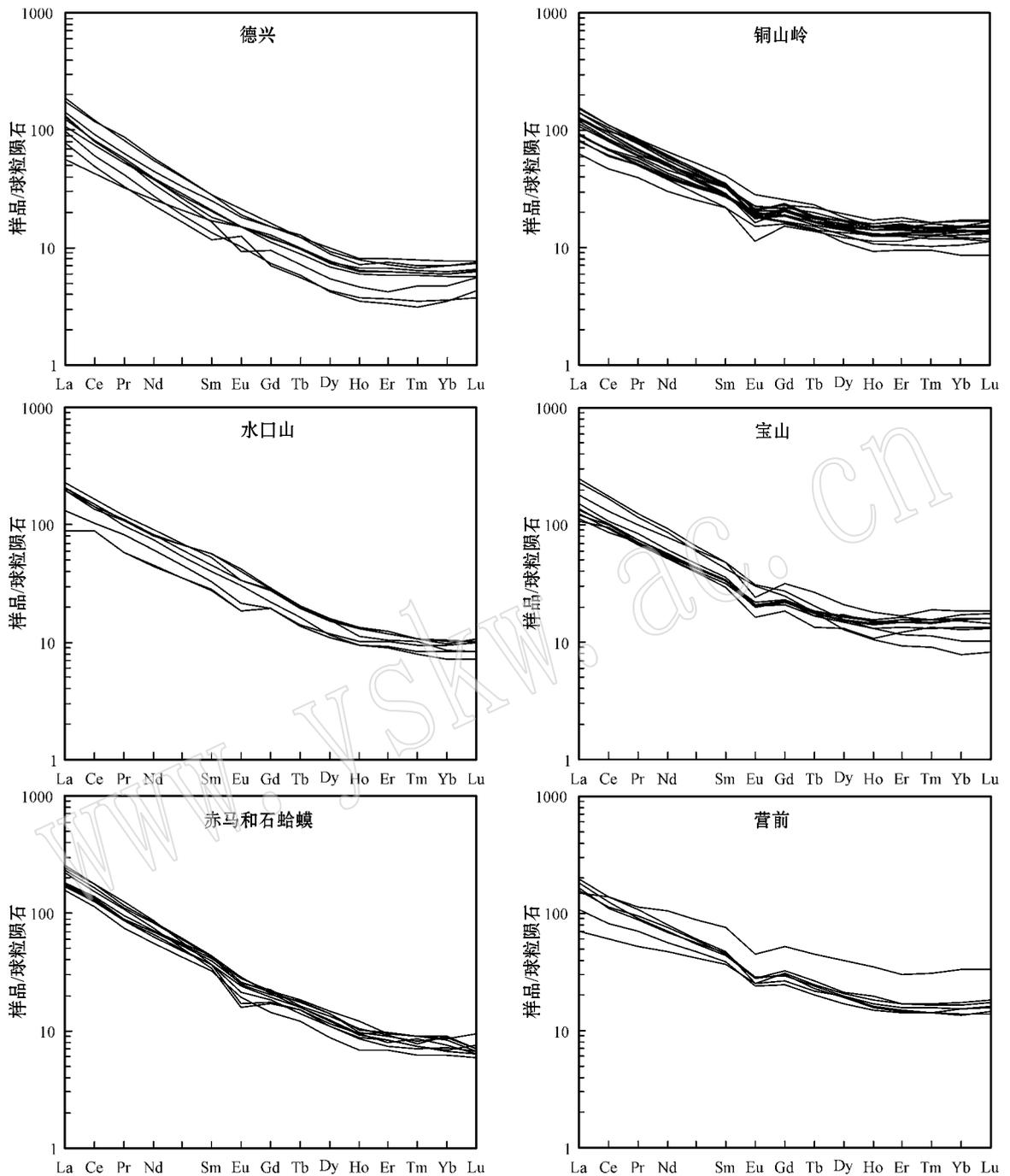


图 3 中侏罗世花岗质闪长岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(Sun and McDonough, 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of the Mid-Jurassic representative granodiorites (after Sun and McDonough, 1989)

数据来源：德兴(Wang Q *et al.*, 2003; 钱鹏等, 2005; Li and Munetake, 2007a), 其他同图 2

data sources: Dexing (Wang Q *et al.*, 2003; Qian Peng *et al.*, 2005; Li and Munetake, 2007a), others as for Fig. 2

二期等粒花岗岩在两个区域均有投点。大部分花岗岩属于高钾质(图 5c), 因此, 晚侏罗世花岗岩属于高钾准铝弱过铝质花岗岩类。

稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(图 6)上,

左侧岩体的稀土元素具有“斜倾式”分布特征, 包括骑田岭、九嶷山沙子岭和西山岩体、千里山第一期似斑状花岗岩、花山、姑婆山里松岩体; 右侧岩体的稀土元素具有“海鸥式”分布特征, 包括黄沙坪、癞子

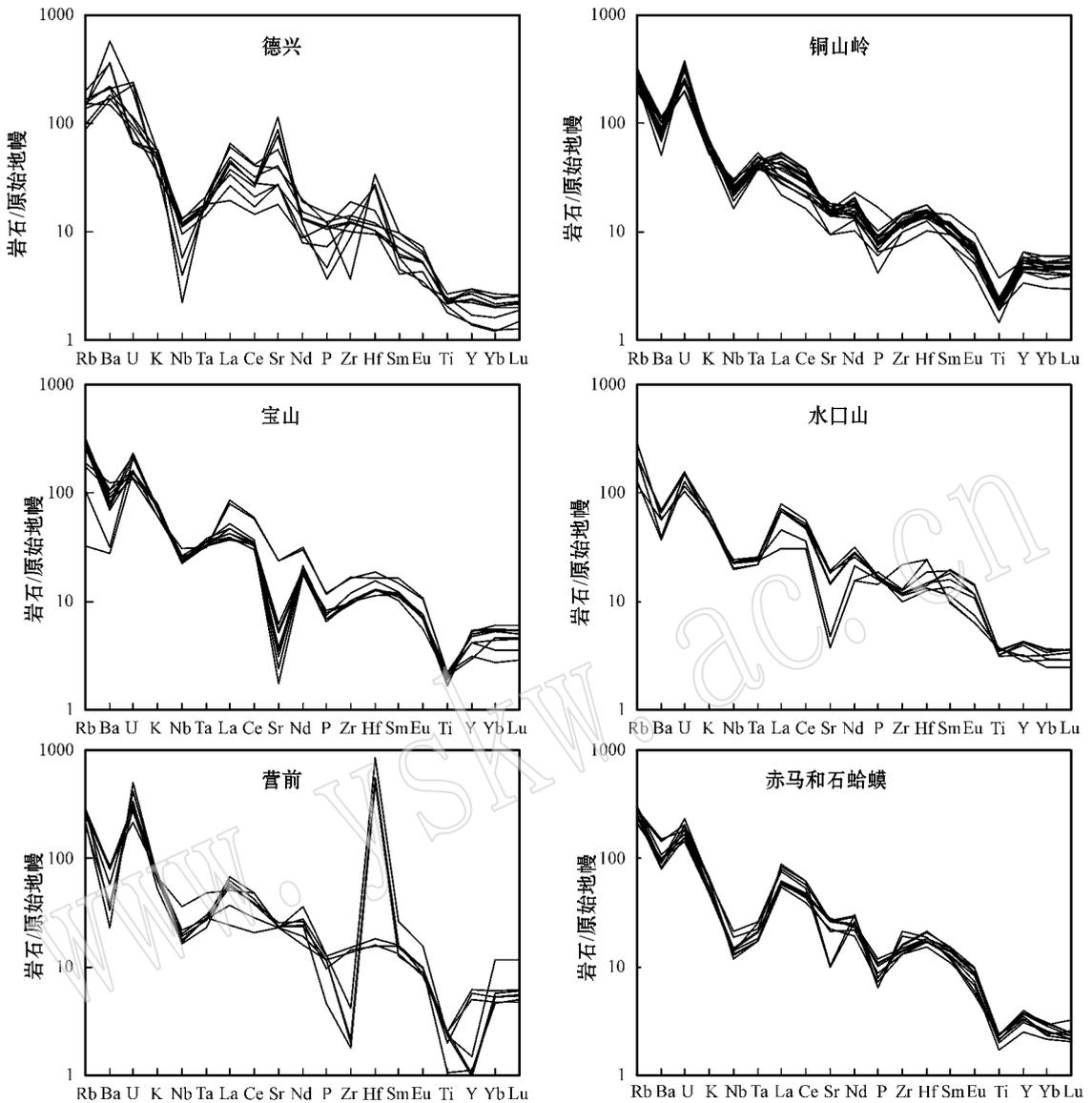


图 4 中侏罗世花岗岩质闪长岩微量元素原始地幔标准化分布型式图 (Sun and McDonough, 1989; 数据来源同图 3)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the Mid-Jurassic representative granodiorites (after Sun and McDonough, 1989; data sources as for Fig. 3)

岭、九嶷山金鸡岭和螃蟹木岩体、千里山第二期等花岗岩、癞子岭岩体、姑婆山新路和姑婆西岩体。“斜倾式”岩体的  $\Sigma\text{REE} = 124 \times 10^{-6} \sim 538 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 0.89 \sim 32.24$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.05 \sim 0.96$ ; 海鸥式”岩体的  $\Sigma\text{REE} = 8.0 \times 10^{-6} \sim 487 \times 10^{-6}$  ( $\text{La}/\text{Yb})_N = 0.62 \sim 13.10$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.002 \sim 0.23$ 。可见, 相对来说“海鸥式”岩体的稀土元素  $\Sigma\text{REE}$  范围更大, 轻重稀土比值更小, Eu 的负异常更明显。“海鸥式”的花岗岩的轻重稀土元素之间的分馏不明显, 普遍具有极低的 Eu 的负异常, 并且呈现“四分组效应”的

特征。赵振华等(1992)发现华南稀有金属花岗岩具有稀土元素“四分组效应”, 且认为具有这种特征是花岗岩浆作用最晚阶段残余熔体强烈的结晶分异作用导致挥发分  $\text{H}_2\text{O}$ 、F、Cl、B、P 和碱金属 Na、K 及 REE、Nb、Ta、Zr、Be 等成矿元素在残余熔体中高度富集, 为产生熔体-流体相互作用以及稀有、稀土矿床的形成提供了必要的物质基础 (Zhao *et al.*, 2002)。

而微量元素原始地幔标准化分布型式图(图 7)上, 所有的岩体都具有 Ba、Nb、Sr、P、Ti 的负异常, 表明在岩浆演化过程中存在斜长石、磷灰石、钛铁矿的

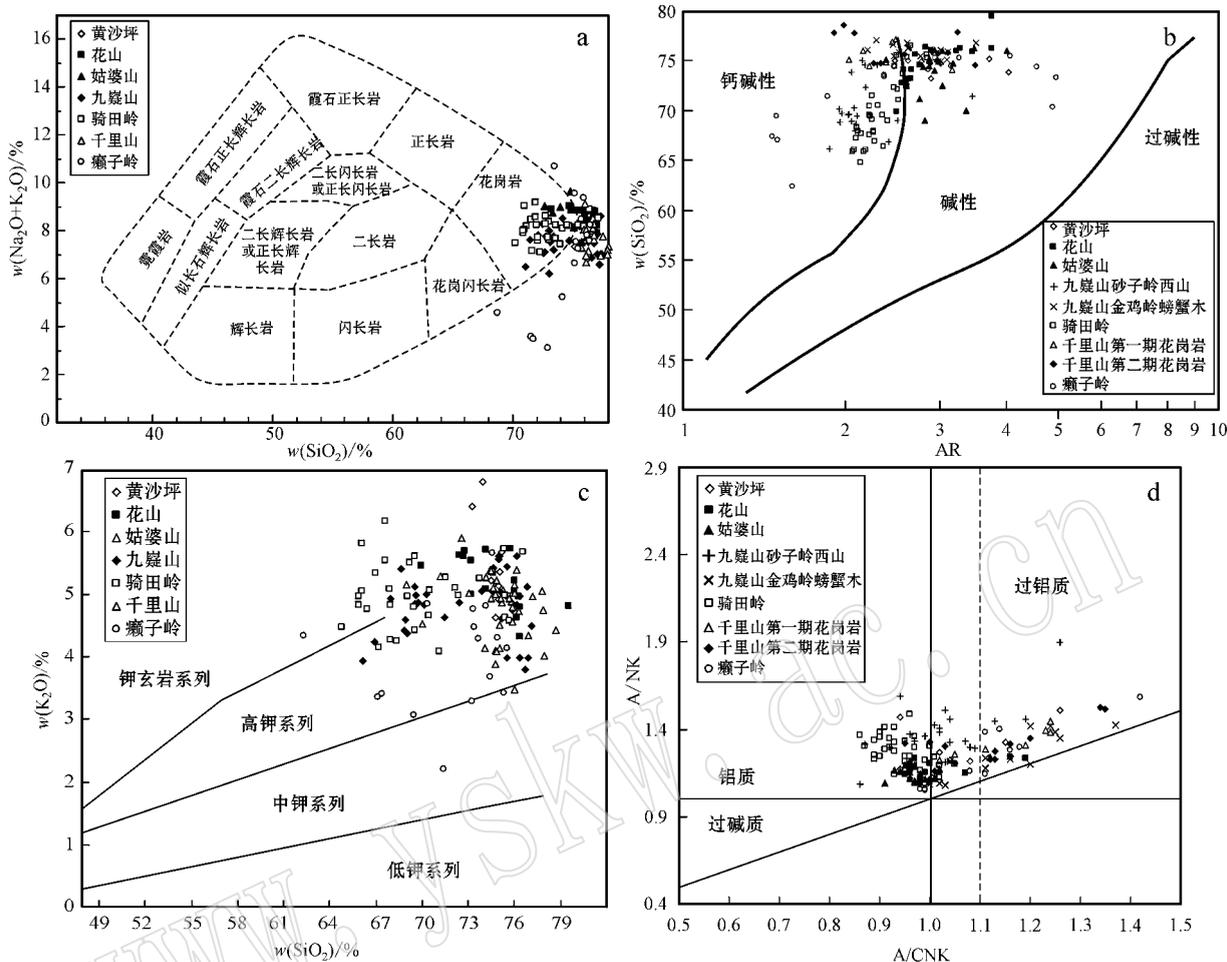


图 5 晚侏罗世花岗岩 ALK - SiO<sub>2</sub> (a, Cox, 1979) λ SiO<sub>2</sub> - AR (b) λ K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> (c) 和 A/NK - A/CNK (d) 图解

Fig. 5 ALK - SiO<sub>2</sub> (a, Cox, 1979), SiO<sub>2</sub> - AR (b), K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> (c) and A/NK - A/CNK (d) diagrams

of the Late Jurassic representative granites

数据来源：黄沙坪(姚军明等, 2005), 花山(顾晟彦等, 2006b), 姑婆山(顾晟彦等, 2006b), 九疑山(章邦桐等, 2001; 付建明等, 2004b), 骑田岭(邓希光等, 2005; 柏道远等, 2005), 千里山(毛景文等, 1995b; Jiang et al., 2006) 癞子岭(朱金初等, 2011)

data sources: Huangshaping (Yao Junming et al., 2005), Huashan (Gu Shengyan et al., 2006b), Guposhan (Gu Shengyan et al., 2006b), Jiuyishan (Zhang Bangtong et al., 2001; Fu Jianming et al., 2004b), Qitianling (Deng Xiguang et al., 2005; Bai Daoyuan et al., 2005), Qianlishan (Mao Jingwen et al., 1995b; Jiang et al., 2006), Laiziling (Zhu Jinchu et al., 2011)

结晶分离作用, Nb-Ta 亏损表明源区由壳源物质重熔或者岩浆上升过程中受到了地壳物质的混染。与稀土元素标准化图(图 6)相似, “斜倾式”和“海鸥式”岩体也呈现出两组不同的规律: 上述“斜倾式”花岗岩(骑田岭、花山、九疑山沙子岭和西山岩体、千里山第一期似斑状花岗岩、姑婆山里松岩体)的 Ba、Nb、Sr、P、Ti 的负异常较小, 而“海鸥式”花岗岩(黄沙坪、癞子岭、九疑山金鸡岭和螃蟹木岩体、千里山第二期等粒花岗岩、姑婆山新路和姑婆西岩体)的 Ba、Nb、Sr、P、Ti 的负异常较大, 且有明显的 Eu 负异常。

大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE)的比值通常可以代表岩浆分异的程度, LILE 更趋向于进入熔体, 因而往往在花岗质岩浆演化末期或花岗岩系列的最晚阶段富集。例如随着岩浆的演化, Th/U、Ba/Rb、Zr/Hf、Nb/Ta 比值降低, 而 Rb/Sr 和 Sm/Nd 比值增高。“斜倾式”花岗岩的 Th/U = 1.35 ~ 8.18, Ba/Rb = 0.01 ~ 7.87, Zr/Hf = 10.75 ~ 36.96, Nb/Ta = 3.40 ~ 17.11, Rb/Sr = 0.93 ~ 53.44, Sm/Nd = 0.11 ~ 0.32; “海鸥式”花岗岩的 Th/U = 0.46 ~ 6.03, Ba/Rb = 0.001 ~ 1.25, Zr/Hf = 3.34 ~ 33.21, Nb/Ta = 1.02 ~ 11.36, Rb/Sr = 3.33 ~

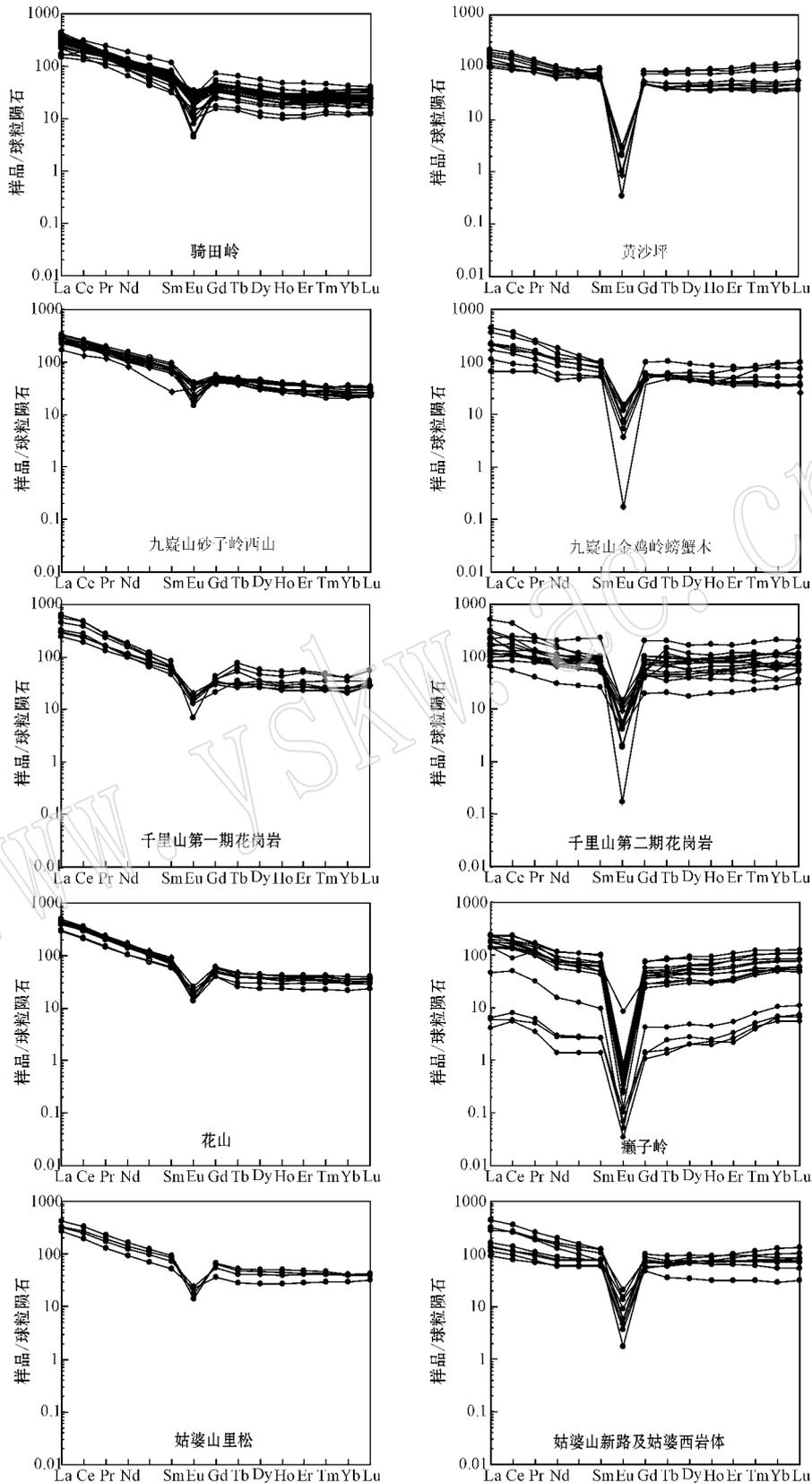


图 6 晚侏罗世花岗质岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图 (Sun and McDonough, 1989, 数据来源同图 5)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of the Late Jurassic representative granites (after Sun and McDonough, 1989, data sources as for Fig. 5)

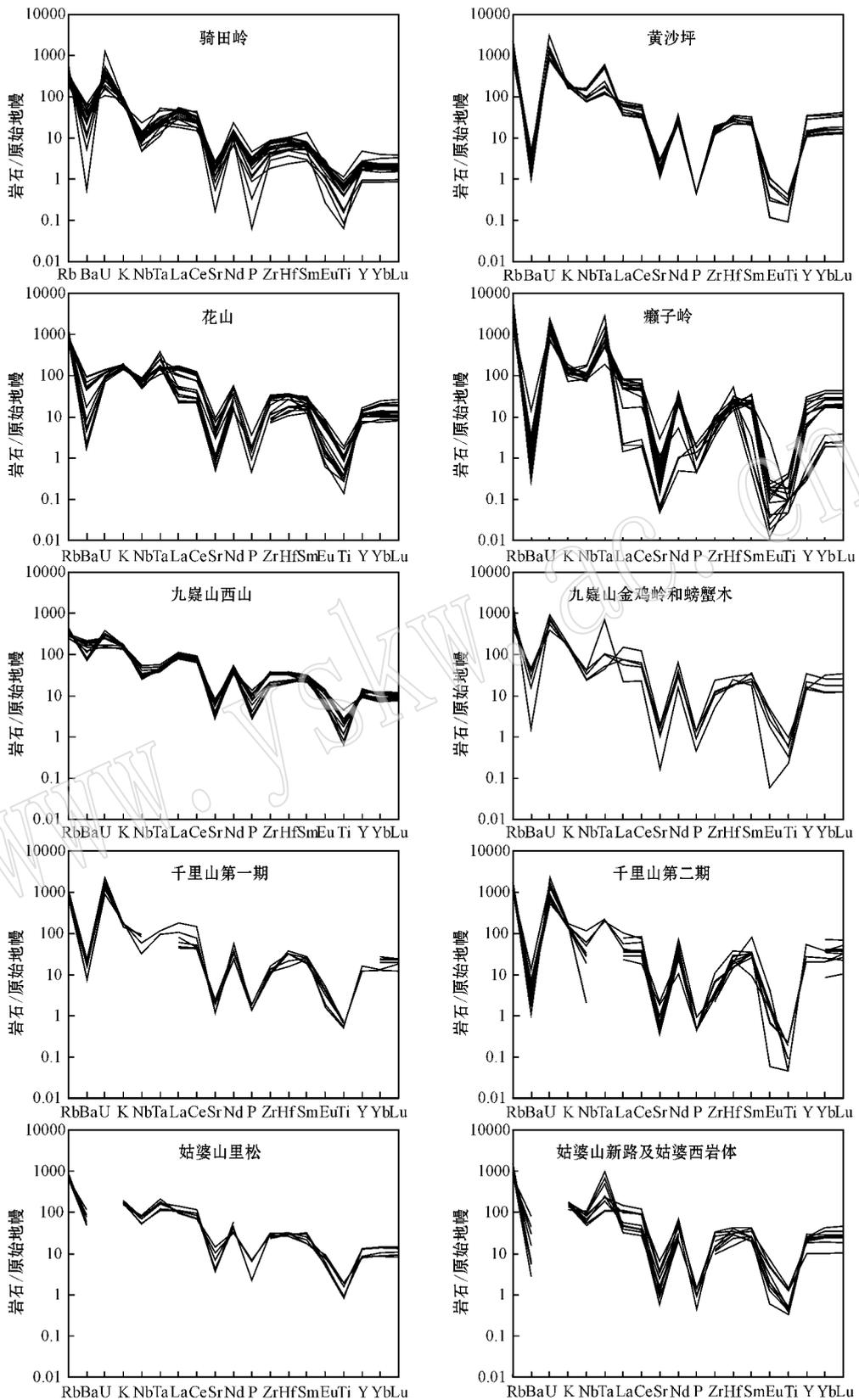


图 7 晚侏罗世花岗质岩微量元素原始地幔标准化分布型式图 (Sun and McDonough, 1989, 数据来源同图 5)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the Late Jurassic representative granodiorites (after Sun and McDonough, 1989, data sources as for Fig. 5)

4 218.18,  $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.17 \sim 0.44$ 。可见,“海鸥式”花岗岩较“斜倾式”花岗岩经历了更高的演化阶段。

## 4 两个系列花岗质岩类的物质来源

### 4.1 与斑岩-矽卡岩-脉状铜铅锌矿床有关的花岗岩闪长岩

图 8a 中,德兴花岗闪长岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.705\,028 \sim 0.705\,958$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -1.14 \sim 1.80$ , 接近原始地幔同位素组成;赤马和石蛤蟆的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.713\,530 \sim 0.722\,376$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -12.3 \sim -9.0$ , 与华南元古宙低成熟度基底岩石(沈渭洲等, 1995)有相似的同位素组成;湘南和赣南花岗闪长岩(铜山岭、宝山、水口山、营前)的初始锶和初始钕值居中,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.707\,880 \sim 0.710\,580$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -6.98 \sim -2.30$ 。

研究认为,花岗闪长岩可能是地幔岩石熔融后经分异结晶而成,或由底侵玄武岩浆演化而成,或由地壳岩石的深熔作用而成,或壳幔混染源区熔融作用而成(Arnaud *et al.*, 1992; Thompson, 1996; Wang Y J *et al.*, 2003)。湘南、赣南、湘东北花岗闪长质岩石高  $\text{SiO}_2$ , 低  $\text{MgO}$ , 具有明显的 Nb-Ta 负异常, 高不相容元素, 低  $\epsilon\text{Nd}$ , 高  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  初始值, 说明其岩浆不可能源自软流圈地幔派生产物, 也不可能直接源自富集岩石圈地幔;但是德兴花岗闪长岩  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.705\,028 \sim 0.705\,958$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -1.14 \sim 1.80$ , 说明源区应该有亏损的软流圈地幔的贡献。

而根据孔华等(2000)、Sen 和 Dunn (1994)、Rapp 和 Watson (1995), 单纯的麻粒岩深熔生成的岩浆常具正的 Eu 异常、低  $\text{K}_2\text{O}$  高  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $>4.3\%$ )、 $\epsilon\text{Nd} = -6.0 \sim -5.8$  的特征, 暗示这些花岗闪长质岩体不可能单独由麻粒岩相下地壳深熔作用形成。但由图 8b 可见德兴、赤马和石蛤蟆岩体、水口山部分点落入 10% 石榴石角闪岩和斜长角闪岩熔融曲线之间(Defant and Drummond, 1996), 因此不能排除麻粒岩相下地壳物质参与源区深熔作用。

另外, 赤马和石蛤蟆岩体落入元古宙基底范围(图 8a), 考虑到华南地区中新元古代地层主要是以变质玄武岩 + 泥质片麻岩成分为主的上墅群(周金城等, 2001), 推测湘东北花岗闪长质小岩体是上墅群和一定比例的下地壳石榴石斜长角闪岩深熔作用的产物;湘南、赣南花岗闪长质小岩体是底侵岩

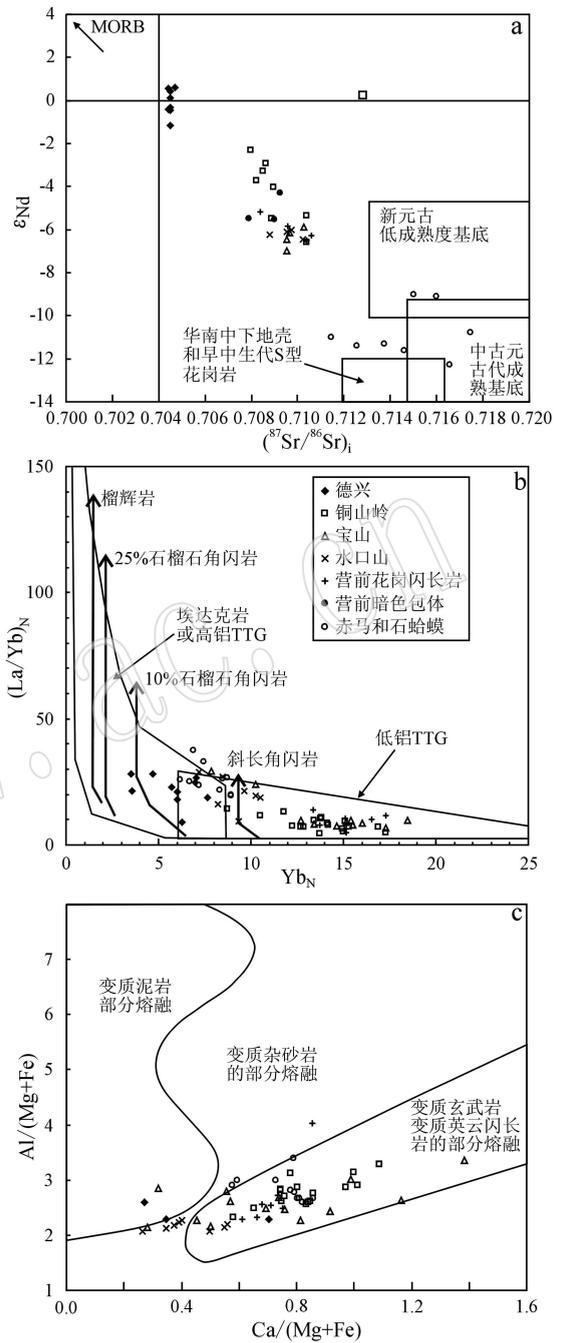


图 8 中侏罗世花岗质闪长岩  $\epsilon\text{Nd} - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  (a),  $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Yb}_N$  (b),  $\text{Al}/(\text{Mg} + \text{Fe}) - \text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  (c) 图解  
Fig. 8  $\epsilon\text{Nd} - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  (a),  $(\text{La}/\text{Yb})_N - \text{Yb}_N$  (b),  $\text{Al}/(\text{Mg} + \text{Fe}) - \text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  (c) diagram of the Mid-Jurassic representative granodiorites  
数据来源: 德兴(朱金初等, 1990; 金章东等, 2002; 王强等, 2004), 铜山岭、宝山、水口山(Wang Y J *et al.*, 2003), 营前(郭春丽等, 2010), 赤马和石头蛤蟆(彭头平等, 2004)  
data sources: Dexing (Zhu Jinchu *et al.*, 1990; Jin Zhangdong *et al.*, 2002; Wang Qiang *et al.*, 2004), Tongshanling, Baoshan, Shuikoushan (Wang Y J *et al.*, 2003), Yingqian (Guo Chunli *et al.*, 2010), Chima and Shihama (Peng Touping *et al.*, 2004)

石圈地幔成分的玄武岩和变质英云闪长岩混染源区部分熔融的产物,赣东北德兴花岗闪长质岩体则是亏损的软流圈地幔和变质英云闪长岩、变质泥岩混染源区部分熔融的产物(图 8c)。

#### 4.2 与云英岩-石英脉-矽卡岩型钨锡多金属矿床有关的花岗岩

根据前人数据统计,千里山花岗岩的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.707 2~0.718 2,  $\epsilon\text{Nd}$  = -11.55~-4.25, 骑田岭

花岗岩的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.710 88~0.712 81,  $\epsilon\text{Nd}$  = -7.57~-5.10; 姑婆山花岗岩的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.706 64~0.707 42,  $\epsilon\text{Nd}$  = -3.07~-1.72; 花山花岗岩的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> = 0.706 33~0.707 14,  $\epsilon\text{Nd}$  = -5.0~-2.5。在图 9a 中,所有的点均在原始地幔与华南元古宙基底之间分布。晚侏罗世花岗岩的 Nd 同位素两阶段模式年龄  $t_{\text{DM}} = 1.00\sim 3.2\text{ Ga}$ , 表明来源于太古宙和古、中元古代基底物质的熔融。

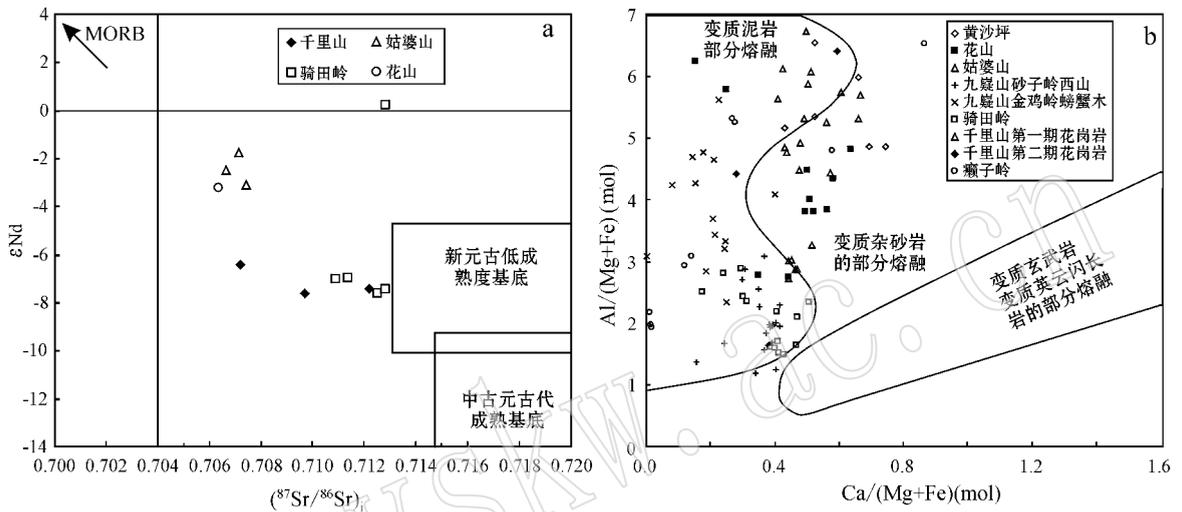


图 9 晚侏罗世花岗岩  $\epsilon\text{Nd}-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  (a, 原图引自彭头平等, 2004) 和  $\text{Al}/(\text{Mg}+\text{Fe})-\text{Ca}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  (b, Altherr *et al.*, 2000) 图解

Fig. 9  $\epsilon\text{Nd}-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  (a, after Peng Touping *et al.*, 2004) and  $\text{Al}/(\text{Mg}+\text{Fe})-\text{Ca}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  (b, after Altherr *et al.*, 2000) diagrams of the Late Jurassic granites

a: Sr-Nd 同位素数据来源: 千里山(毛景文等, 1995b; Jiang *et al.*, 2006), 花山、姑婆山(朱金初等, 1989, 2006a), 骑田岭(朱金初等, 2003; 柏道远等, 2005); b: 主量元素数据来源: 黄沙坪(姚军明等, 2005), 花山、姑婆山(顾晟彦等, 2006b), 九嶷山(章邦桐等, 2001; 付建明等, 2004b, 2005), 骑田岭(邓希光等, 2005; 柏道远等, 2005), 千里山(毛景文等, 1995b; Jiang *et al.*, 2006), 癞子岭(朱金初等, 2011)

data sources: a, Qianlishan(Mao Jingwen *et al.*, 1995b; Jiang *et al.*, 2006), Huashan, Guposhan(Zhu Jinchu *et al.*, 1989, 2006a), Qitianling(Zhu Jinchu *et al.*, 2003; Bai Daoyuan *et al.*, 2005); b, Huangshaping(Yao Junming *et al.*, 2005), Huashan, Gu Poshan(Gu Shengyan *et al.*, 2006b), Jiuyishan(Zhang Bangtong *et al.*, 2001; Fu Jianming *et al.*, 2004b, 2005), Qitianling(Deng Xiguang *et al.*, 2005; Bai Daoyuan *et al.*, 2005), Qianlishan(Mao Jingwen *et al.*, 1995b; Jiang *et al.*, 2006), Laiziling(Zhu Jinchu *et al.*, 2011)

根据花岗岩的地壳深熔论(Wyllie, 1977), 花岗岩主要是地壳来源的, 但是从我们的实践经验来看, 地幔尽管在物质组成上对花岗岩的贡献较小, 但它所提供的热量可能是多数花岗岩得以形成的重要因素, 这也是很多研究者相信地幔底侵作用可能是与花岗岩成因关系极为密切的一种地质作用过程(Bergantz, 1989; Petford and Gallagher, 2001)。而南岭中西段的湘南-桂北地区, 锡矿化的成岩成矿演化过程中, 明显有地幔物质的参与。Li Z L 等(2006)通过研究芙蓉锡矿石和有关花岗岩的 He/Ar

同位素组成, 得到黄铁矿和毒砂流体包裹体中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比值为 0.13~2.95 Ra, 低于地幔的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比值(6~7 Ra), 高于地壳的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比值(0.01~0.05 Ra), 表明成矿流体中的 He 具有两端混的特点, 深部地幔流体确实参与了成岩成矿过程。Li Z L 等(2007)通过对骑田岭花岗岩中钾长石的  $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ ,  $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$  和  $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$  值分别是 18.547~19.180, 15.598~15.825, 37.912~39.068, 硫化物矿石中的  $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ ,  $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$  和  $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$  值分别是

18.467 ~ 18.836、15.503 ~ 15.772、38.607 ~ 39.099, 硫化物矿石与骑田岭花岗岩中铅同位素的值相一致, 反映出铅均来源于上地壳, 且受到地幔物质的混染, 而矿石中硫同位素变化于  $-26.1\text{‰} \sim +10.4\text{‰}$ , 集中于  $+0.2\text{‰} \sim +10.4\text{‰}$ , 暗示热液流体中的 S 来源于地幔流体。蔡明海等(2008)测得新田岭钨矿矽卡岩中 1 件黄铁矿流体包裹体的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  为 4.08 Ra,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  为 342, 反映了此矿床中成矿流体中有地幔流体的显著参与。Wu 等(2007)测得柿竹园钨锡钼钨多金属矿床的  $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.06 \sim 1.66$  Ra,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 290 \sim 1072$ , 武丽艳等(2009)测得柿竹园矿田野鸡尾矿床硫化物中流体包裹体的 He, Ar 同位素的  $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.16 \sim 1.02$  Ra,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 296 \sim 463.3$ , 说明成矿流体具有壳幔两端混合的特征。Li X H 等(2009a)测得姑婆山里松花岗岩体和佛冈花岗岩基的  $\delta^{18}\text{O}$  值分别是  $6.2\text{‰} \sim 8.1\text{‰}$  和  $5.6\text{‰} \sim 9.0\text{‰}$ , 根据全岩的  $\text{SiO}_2$  含量估算其全岩  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $7.7\text{‰} \sim 11.2\text{‰}$ , 涵盖了全球典型 I 型花岗岩 ( $\delta^{18}\text{O} = 6\text{‰} \sim 10\text{‰}$ ) 和 S 型花岗岩 ( $\delta^{18}\text{O} = 10\text{‰} \sim 14\text{‰}$ ) 的全岩氧同位素组成变化范围, 表明幔源岩浆均不同程度地参与了佛冈和姑婆山里松岩体花岗岩的形成。刘家齐等(1987)测定尖峰岭岩体顶部似伟晶岩壳石英流体包裹体释放出来的  $\text{CO}_2$  的碳同位素数据为  $\delta^{13}\text{C} = -3.80\text{‰} \sim -8.02\text{‰}$ , 判断花岗岩演化过程中有幔源碳的加入。

由  $\text{Al}/(\text{Mg} + \text{Fe}) - \text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  图(图 9b)可判断花岗岩的源区, 大部分晚侏罗世花岗岩落入变质

泥岩部分熔融区域, 少部分落入变质杂砂岩部分熔融区域。

## 5 两个系列成岩成矿的差异与构造动力学背景的演化

在构造环境判别图解(图 10)中, 中侏罗世花岗岩闪长质岩投影在火山弧花岗岩(Volcanic Arc Granite)区域, 晚侏罗世花岗岩投影在板内花岗岩(Within Plate Granite)区域, 暗示这两个时代的花岗岩在形成构造环境、物质来源、幔源岩浆参与程度、形成温度和压力和成岩后期岩浆-熔体-流体相互作用等方面存在着根本性的差别。也就是说, 随着区域地质发展和时空框架的变换, 会产生不同类型的花岗岩岩浆活动及其相应的成矿作用。

周新民(2003)指出华南燕山期花岗岩是中国东部燕山期整个岩浆活动的一部分, 燕山期岩浆活动(包括以花岗岩为主的侵入杂岩和以流纹岩为主的火山岩)仅分布在我国海岸线内侧约 600 ~ 800 km, 即从黑龙江到海南岛约 4000 km 的范围内, 再往西就缺失, 因此, 自然而然地联想到很可能是古太平洋板块对我国大陆(也是欧亚板块的一部分)的消减作用起了主导作用。用消减作用模式来解释晚中生代华南地质问题始于 20 世纪 70 年代(Jahn *et al.*, 1976, 1986; 郭令智等, 1980, 1983), 后来不断被改进和升华。Lapierre 等(1997)认为中国东部晚侏罗世-早白垩世岩浆活动与太平洋俯冲有关, 晚白垩世

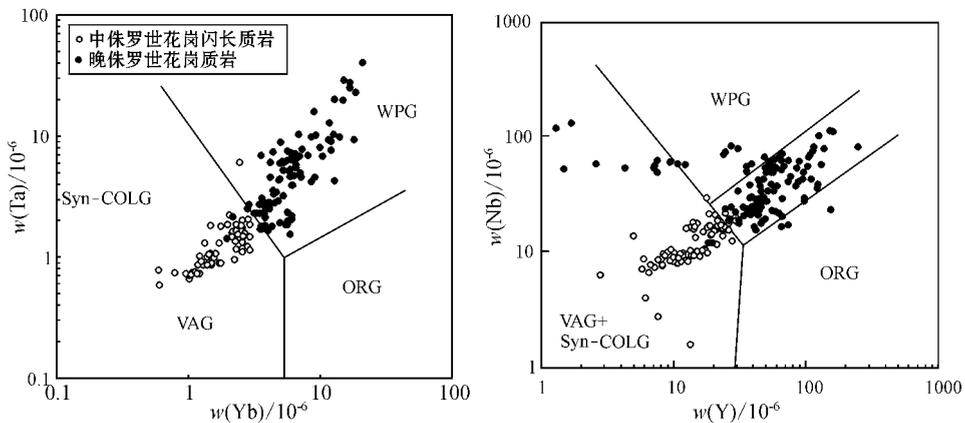


图 10 南岭地区中生代花岗质岩体的 Ta-Yb 和 Nd-Y 判别图解 (Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 10 Ta-Yb and Nd-Y discriminant diagrams of the Mesozoic granitoids (after Pearce *et al.*, 1984)

Syn-COLG—同碰撞花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋脊花岗岩

Syn-COLG—syn-collision granite; VAG—volcanic arc granite; WPG—intraplate granite; ORG—ocean ridge granite

开始转为陆内拉伸裂陷活动;邓晋福等(2000)认为,中国东部燕山期造山带是由于大陆岩石圈拆沉与大洋俯冲作用的联合所致,是复合型(大陆碰撞造山和大陆边缘造山)造山带;董树文等(2000)认为约在160~150 Ma前后,亚洲东部岩石圈发生巨量减薄,导致软流圈地幔侧向上涌补偿,致使太平洋板块、西伯利亚板块和印度洋板块向东亚大陆汇流,晚侏罗世-早白垩世出现了太平洋板块俯冲和最早的洋中脊扩张;Zhou和Li(2000)将太平洋俯冲的模式概括为消减作用与底侵作用、深熔作用相结合的模式;周新民(2007)提出自 $J_2$ 开始古太平洋板块对欧亚大陆板块消减,但被消减的古太平洋壳板片尚未达到110 km以下深度,不能诱发陆缘弧型岩浆作用,但通过华南的刚性地块其应力快速、及时地传递到内陆,并经伸展和断裂发生减压熔融,在华南内陆产生了燕山早期板内花岗岩和局部地段的裂谷型双峰式火山-侵入杂岩;同时还发生了底侵玄武岩浆与花岗岩浆之间的壳-幔相互作用;Oh(2006)认为早侏罗世Farallon-Izanagi洋岭俯冲是形成东北亚花岗岩包括华南花岗岩的主要原因;吴福元等(2007)通过对辽东半岛中生代花岗岩的研究发现:该区燕山期花岗岩可划分为侏罗纪(180~165 Ma)和早白垩世(131~117 Ma)两个阶段,其中前者的锆石饱和温度在750℃左右,而后者的形成温度大约比前者高出50~100℃左右(平均为799℃和865℃),显然,前者属于低温花岗岩,其形成可能与流体的加入有关,很可能反映了一种与俯冲作用有关的构造背景,而后者属于高温花岗岩,推测其高热的产生与岩石圈减薄而导致的软流圈上涌有关,并将这一过程推广到整个中国东部;Li和Li(2007)根据古地理和花岗岩时代,提出250~190 Ma期间在华南地区出现了一个1300 km宽的水平板片俯冲事件,然后于189 Ma开始逐渐拆沉的观点来解释180~140 Ma的岩浆作用;李晓峰等(2008)认为华南地区Cu-Mo-W-Sn矿床的成矿作用是不同时期大洋板块或者洋岭/转换断层多阶段俯冲的结果。

钦杭接合带是扬子地块与华夏地块在中新元古代(约830~800 Ma)板块俯冲、碰撞拼贴作用下形成的一条大陆碰撞缝合带(Wang X L *et al.*, 2006; Wang R X *et al.*, 2006; Li X H *et al.*, 2009b; Zhang *et al.*, 2012)。泥盆纪以来,该带是一条重要的板内断陷带(胡肇荣等, 2009)。洪大卫等(2002)认为扬子板块和华夏板块沿着华南内陆的杭州-诸

广山-花山带的对接碰撞可能发生过不止一次,加里东-印支-燕山期多次开合,成为地幔物质上涌加入地壳的一条重要通道,导致花岗岩的 $\epsilon Nd(t)$ 值升高和 $t_{DM}$ 值降低。沿该带分布的中生代板内钾玄质侵入岩表明该带在中生代发生了软流圈地幔上涌、岩石圈伸展和裂谷作用(李献华等, 2000; 郭新生等, 2001; Li X H *et al.*, 2009a)。总之,钦杭带是一个超地壳的深断裂带,也是一个构造薄弱带,在后期的地质作用下该带容易再次活动,诱发地幔物质沿钦杭断裂带上涌,发生强烈壳幔物质交换而引发岩浆活动。

Wang Q等(2005)研究认为与德兴斑岩铜矿有关的花岗斑岩为埃达克岩,其形成环境并非大陆弧而是在陆内沿钦杭裂谷带或伸展带由拆沉下地壳重熔的产物。毛景文等(2007, 2008)认为从德兴到大宝山这条长达100 km的与铜铅锌矿有关的花岗质岩石具有高氧逸度,显然岩石来自深部,可能由俯冲板片重熔或撕裂而形成。蒋少涌等(2008)认为钦杭带湘南-桂北段中生代的花岗质岩体属于A型花岗岩,可能形成于古太平洋板块俯冲引起的弧后或弧内拉张的构造环境,来自于亏损地幔的幔源岩浆沿超壳深断裂底侵导致了强烈的壳幔岩浆混合作用。而且,A型花岗岩预示其形成的压力较低,温度较高,暗示晚侏罗世时期湘南-桂北地区的地温梯度可能较中侏罗世更高一些。

综合上述观点,本文针对中、晚侏罗世分别与铜金银多金属矿床有关的钙碱性花岗闪长岩类和与钨锡多金属矿床有关的钙碱性-碱性花岗岩类形成提出一个构造动力学演化模式:中侏罗世,可能是由古太平洋板块北西向的俯冲过程中板片在钦杭断裂带位置局部开“天窗”,古太平洋板块局部重熔或撕裂重熔,底侵的基性岩浆上侵诱发元古宙地壳发生部分熔融,酸性岩浆与基性岩浆混合及同化混染,进一步分离结晶和演化形成的。该岩浆直接上升到浅表,则形成斑岩铜矿,与地壳大量混染或混熔后形成的岩浆则伴生铅锌银矿(图11a)。晚侏罗世,古太平洋板块北西向全面俯冲到华南板块下部,这个时期的华南地区全面进入岩石圈“伸展-减薄”的地球动力学环境。岩石圈伸展-拉张-减薄,导致下地壳拆沉,软流圈物质上涌底垫到上地壳底部,产生的玄武质岩浆底侵引发了地壳熔融,其中部分花岗岩质岩浆在演化后期发生了强烈的熔体-流体相互作用,最终导致了与高分异花岗岩有关的钨锡成矿作用。在

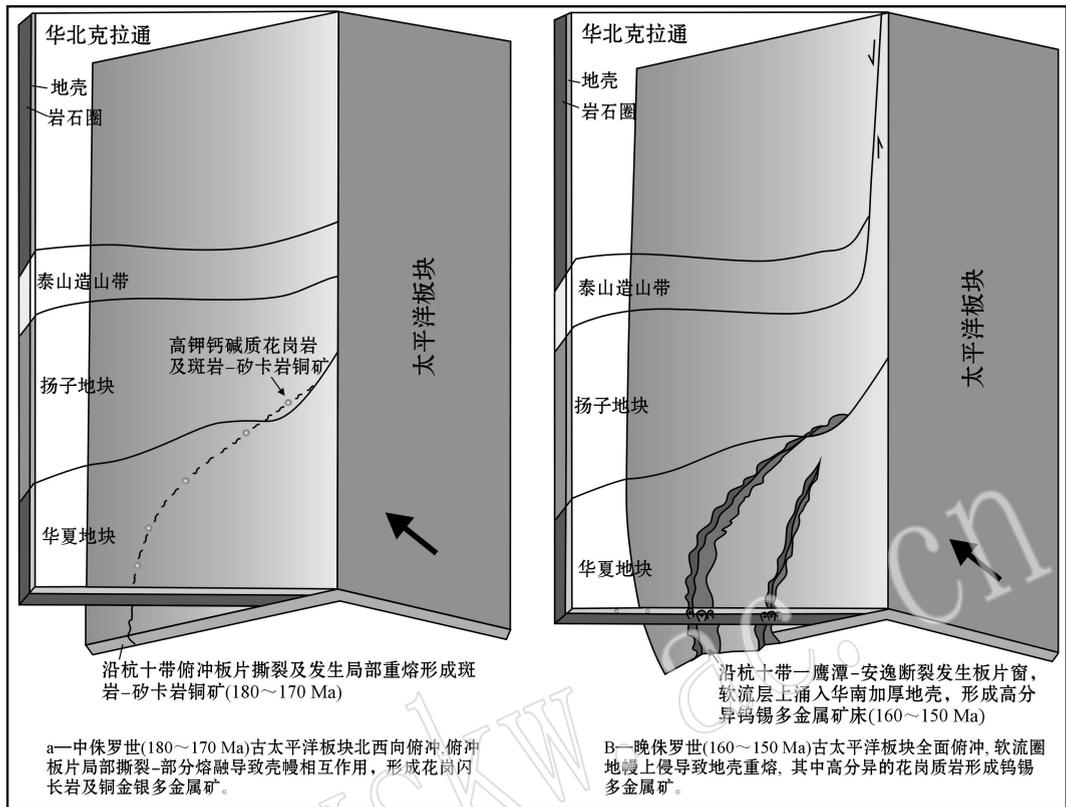


图 11 华南地区侏罗纪构造动力学演化与成矿的模式图

Fig. 11 Model of dynamic evolution and metallogenic pattern in Jurassic in South China

大陆边缘的弧后地带出现了一系列北东向裂谷带或伸展带,其与东西向深大古基底断裂的交汇部位,往往是岩浆活动和成矿作用的中心(图 11b)。

## 6 结论

(1) 华南中部高  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  低  $t_{\text{DM}}$  带的“钦杭断裂带”及其旁侧是我国重要的有色、稀有、稀土和铀金属成矿带。沿该带最重要的两个成矿期分别是与中侏罗世花岗闪长岩有关的铜金银铅锌矿和与晚侏罗世花岗岩有关的钨锡铌钽矿。

(2) 中侏罗世斑岩-矽卡岩-热液脉状铜金银铅锌矿及有关的花岗闪长岩类沿“钦杭带”从南到北都有分布,成岩成矿时代大概在 182~158 Ma,集中于 180~170 Ma;晚侏罗世云英岩-石英脉-矽卡岩钨锡多金属矿床及有关的花岗岩类集中分布于钦杭带中部,成岩成矿时代大约在 165~152 Ma,集中在 160~150 Ma。

(3) 中侏罗世花岗闪长岩类可归为准铝质高钾钙碱性花岗闪长岩,稀土元素分布图呈斜倾型,铀异

常不明显;晚侏罗世花岗岩类属于高钾准铝弱过铝质花岗岩类,稀土元素分布图具有斜倾式和海鸥式两种型式。两者的成岩成矿作用均有地幔物质的参与,但后者的地幔贡献可能更少一些,晚侏罗世该地区的地温梯度或许更高一些。

(4) 中侏罗世,古太平洋板块北西向俯冲过程中板片在钦杭带位置局部开“天窗”,俯冲的古太平洋板块局部重熔,底侵的基性岩浆上侵诱发元古宙地壳发生部分熔融且参与了成岩成矿作用,形成铜金银铅锌矿。晚侏罗世古太平洋板块全面俯冲到华南板块下部,岩石圈全面伸展-拉张-减薄导致下地壳拆沉,软流圈物质底垫到上地壳底部引发了地壳熔融,其中部分花岗岩质岩浆在演化后期发生了强烈的岩体-熔体相互作用导致出现钨锡铌钽成矿作用。

## References

Altherr R, Höll A, Hegner E, *et al.* 2000. High-potassium, calc-alkaline plutonism in the European Variscides: northern Vosges

- (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 50: 51~73.
- Arnaud N O, Vidal Ph, Tapponnier P, *et al.* 1992. The high-K<sub>2</sub>O volcanism of northwestern Tibet: Geochemistry and tectonic implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 111: 353~367.
- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, *et al.* 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in Southeast Hunan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 255~272 (in Chinese with English abstract).
- Bergantz G W. 1989. Underplating and partial melting: Implications for melt generation and extraction [J]. *Science*, 245: 1093~1095.
- Cai Minghai, Han Fengbin, He Longqing, *et al.* 2008. He, Ar isotope characteristics and Rb-Sr dating of the Xintianling skarn scheelite deposit in southern Hunan, China [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(2): 167~173 (in Chinese with English abstract).
- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence [J]. *Tectonophysics*, 284: 101~133.
- Chen Jiangfeng and Jahn Borming. 1999. Nd, Sr and Pb isotopic tracing and evolution of continental crust in Southeast China [A]. Zheng Yongfei. *Chemical Geodynamics* [C]. Beijing: Science Press, 262~287 (in Chinese).
- Cherniak D J and Watson E B. 2000. Pb diffusion in zircon [J]. *Chemical Geology*, 172: 5~24.
- Cox K G. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks* [M]. London, Boston: Allen G & Unwin, 1~450.
- Defant M J and Drummond M S. 1996. Derivation of some modern arc magmas by melting young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 347: 662~665.
- Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, *et al.* 2000. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic-deep processes in East China [J]. *Geological Review*, 46(1): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Deng Xiguang, Li Xianhua, Liu Yimao, *et al.* 2005. Geochemical characteristics of Qitianling granites and their implications for mineralization [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(2): 93~102 (in Chinese with English abstract).
- Ding Xin, Jiang Shaoyong, Ni Pei, *et al.* 2005. Zircon SIMS U-Pb geochronology of host granitoids in Wushan and Yongping copper deposits, Jiangxi province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 383~389 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shuwen, Wu Xihao, Wu Zhenhan, *et al.* 2000. On tectonic seesawing of the East Asia continent-Global implication of the Yanshanian movement [J]. *Geological Review*, 46(1): 8~13 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Li Huaqin, Qu Wenjun, *et al.* 2007. Re-Os isotope dating of the Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi mountains, southern Hunan province [J]. *Geology in China*, 34(4): 651~656 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, *et al.* 2004a. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geological significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 370~378 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, *et al.* 2005. Ascertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic settings [J]. *Geochimica*, 34(3): 215~226 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, *et al.* 2004b. Geochemistry and tectonic setting of Xishan aluminous A-type granitic volcanic-intrusive complex, southern Hunan [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 26(4): 15~23 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, *et al.* 2004c. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, South China, and its significance [J]. *Geology in China*, 31(1): 96~100 (in Chinese with English abstract).
- Gilder S A, Gill J, Coe R S, *et al.* 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 101(B7): 16137~16154.
- Gu Shengyan, Hua Renmin and Qi Huawen. 2006a. Study on zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Sr-Nd isotope of the Guposhan granite in Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(4): 543~553 (in Chinese with English abstract).
- Gu Shengyan, Hua Renmin and Qi Huawen. 2006b. Geochemistry and petrogenesis of the Yanshanian Huashan-Guposhan granites in Guangxi [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(2): 97~109 (in Chinese with English abstract).
- Guo Chunli, Mao Jingwen and Chen Yuchuan. 2010. SHRIMP zircon U-Pb dating, geochemistry, Sr-Nd-Hf isotopic analysis of the Yingqian intrusion in Jiangxi province, South China and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 919~937 (in Chinese with English abstract).
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. 1980. Tectonic framework and crustal evolution of southern part of China [A]. *Academic Memoir of International Communication Geology* (1) [C]. Beijing: Geology Press, 109~116 (in Chinese).
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen and Ma Ruishi. 1983. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the western Pacific ocean [J]. *Acta Geological Sinica*, 57(1): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xinsheng, Chen Jiangfeng, Zhang Xun, *et al.* 2001. Nd isotopic ratios of K-enriched magmatic complexes from southeastern Guangxi province: Implications for upwelling of the mantle in southeastern China during the Mesozoic [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 19~27 (in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Xie X L and Zhang J S. 1998. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny [J]. *Resource Geology*, 48: 251~264.
- Hong Dawei, Xie Xilin and Zhang Jisheng. 2002. Geological significance of the Hangzhou-Zhuguangshan-Huashan high  $\epsilon$ Nd granite belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 348~354 (in Chinese with English abstract).
- Hu Zhaorong and Deng Guohui. 2009. Tectonic characteristics of the Qinzhou-Hangzhou joint belt [J]. *Journal of East China Institute of*

- Technology (Natural Science), 32: 114~122 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Li Guanglai, *et al.* 2008. A preliminary study on the features and geologic implication of the accompanying metals in tungsten deposits in the Nanling region [J]. Geological Journal of China Universities, 14(4): 527~538 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin, Zhang Wenlan, Yao Junming, *et al.* 2006. The rock-forming and ore-forming differences of two types of granites in South China [J]. Mineral Deposits, 25 (supp.): 127~130 (in Chinese).
- Jahn B M, Chen P Y and Yen T P. 1976. Rb-Sr ages of the granitic rocks in Southeastern China and their significance [J]. Geological Society of America Bulletin, 86: 763~776.
- Jahn B M, Martineu F, Peucat J, *et al.* 1986. Geochronology of the Tananao schist complexes, Taiwan, and its regional tectonic significance [J]. Tectonophysics, 125: 145~160.
- Jiang Shaoyong, Zhao Kuidong, Jiang Yaohui, *et al.* 2008. Characteristics and genesis of Mesozoic A-type granites and associated mineral deposits in the southern Hunan and northern Guangxi provinces along the Shi-Hang belt, South China [J]. Geological Journal of China Universities, 14(4): 496~509 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Y H, Jiang S Y, Zhao K D, *et al.* 2006. Petrogenesis of late Jurassic Qianlishan granites and mafic dykes, Southeast China: Implications for a back-arc extension setting [J]. Geological Magazine, 143(4): 457~474.
- Jiang Y H, Jiang S Y, Dai B Z, *et al.* 2008. Middle to Late Jurassic felsic and mafic magmatism in southern Hunan Province, Southeast China: Implications for a continental arc to rifting [J]. Lithos, 107: 185~204.
- Jin Zhangdong, Zhu Jinchu and Li Fuchun. 2002. O, Sr and Nd isotopic tracing of ore-forming process in Dexing porphyry copper deposit, Jiangxi province [J]. Mineral Deposits, 21(4): 341~349 (in Chinese with English abstract).
- Kong Hua, Jin Zhenmin and Lin Yuanxian. 2000. Petrology and chronology of granulite xenolith in Daoxian county, Hunan province [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 30(2): 8~12 (in Chinese with English abstract).
- Lapierre H, Jahn B M, Charvet J, *et al.* 1997. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with tectonic activity in SE China [J]. Tectonophysics, 274: 321~338.
- Lee J K W, Williams I S and Ellis D J. 1997. Pb, U and Th diffusion in natural zircon [J]. Nature, 390: 159~161.
- Li C Y, Zhang H, Wang F Y, *et al.* 2012. The formation of the Dabaoshan porphyry molybdenum deposit induced by slab rollback [J]. Lithos, 150: 101~110.
- Li Xiaofeng, Chen Wen, Mao Jingwen, *et al.* 2006.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of sericite from altered dacite porphyry and quartz porphyry in Yinshan polymetallic deposit of Jiangxi province and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 25(1): 17~26 (in Chinese with English abstract).
- Li X F and Munetake S. 2007a. Hydrothermal alteration and mineralization of Middle Jurassic Dexing porphyry Cu-Mo deposit, Southeast China [J]. Resource Geology, 57(4): 409~426.
- Li X F, Watanabe Y, Mao J W, *et al.* 2007b. Sensitive high-resolution ion microprobe U-Pb zircon and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  muscovite ages of the Yinshan deposit in the Northeast Jiangxi province, South China [J]. Resource Geology, 57: 325~337.
- Li Xiaofeng, Watanabe Yasushi, Hua Renmin, *et al.* 2008. Mesozoic Cu-Mo-W-Sn mineralization and ridge/triple subduction in South China [J]. Acta Geologica Sinica, 82(5): 1~16 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Zhou H W, Liu Y, *et al.* 2000. Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: petology and geochemistry [J]. Chinese Science Bulletin, 45(7): 653~659.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 2000. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun basin, western Guangdong, and their tectonic significance: I. petrology and isotope geochronology [J]. Geochimica, 29(6): 513~520 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Liu D Y, Li W X, *et al.* 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite, SE China [J]. Geology Magazine, 141(2): 225~231.
- Li X H, Li W X, Wang X C, *et al.* 2009a. Role of mantle-derived magma in genesis of early Yanshanian granites in the Nanling range, South China: In situ zircon Hf-O isotopic constraint [J]. Science in China (Series D), 52(9): 1262~1278.
- Li X H, Li W X, Li Z X, *et al.* 2009b. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks in South China: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks [J]. Precambrian Research, 174: 117~128.
- Li Z L, Hu R Z, Peng J T, *et al.* 2006. Helium isotope geochemistry of ore-forming fluids from the Furong tin orefield in Hunan Province, China [J]. Resource Geology, 56: 9~15.
- Li Z L, Hu R Z, Yang J S, *et al.* 2007. He, Pb and S isotopic constraints on the relationship between the A-type Qitianling granite and the Furong tin deposit, Hunan Province, China [J]. Lithos, 97: 161~173.
- Li Z X and Li X H. 2007. Formation of the 1300 km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction mode [J]. Geology, 35: 179~182.
- Liu Jiaqi and Chang Hailiang. 1987. Study of temperature and pressure geochemistry on the Yanshanian granites and related quartz vein-type tungsten deposits in Nanling region [A]. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources. Contributions to Geology and Mineral Resources of the Nanling Area [C]. Wuhan Geology College Press: 145~196 (in Chinese).
- Liu Sha, Wang Chunlong, Huang Wenting, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and dynamic background of the Dabaoshan porphyry associated with Mo-W mineralization in northern Guangdong

- province [ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36( 3 ): 440 ~ 449( in Chinese with English abstract ).
- Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, *et al.* 1997. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and Sm-Nd isotopic ages of ore-forming of the Qianlishan granite [ J ]. *Science in China ( Series D )*, 27( 5 ): 425 ~ 430( in Chinese ).
- Lu J J, Hua R M and Yao C L. 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposit in Jiangxi province, China [ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69( Supp ): 882.
- Lu Yuanfa, Ma Liyan, Qu Wenjun, *et al.* 2006. U-Pb and Re-Os isotope geochronology of Baoshan Cu-Mo polymetallic ore deposit in Hunan province [ J ]. *Acta Petrologica*, 22( 10 ): 2 483 ~ 2 492( in Chinese with English abstract ).
- Ma Liyan, Lu Yuanfa, Mei Yuping, *et al.* 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite from Shuikoushan ore-field, Hunan province and its geological significance [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22( 10 ): 2 475 ~ 2 482( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, *et al.* 2011. Geological characteristics of the Qinhang ( or Shihang ) metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 85( 5 ): 636 ~ 658( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Li Hongyan and Pei Rongfu. 1995a. Nd-Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan province [ J ]. *Mineral Deposits*, 14( 3 ): 235 ~ 242( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Li Hongyan and Pei Rongfu. 1995b. Geology and geochemistry of the Qianlishan granite stock and its relationship to polymetallic tungsten mineralization [ J ]. *Mineral Deposits*, 14( 1 ): 12 ~ 25( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, *et al.* 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 23( 10 ): 2 329 ~ 2 338( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, *et al.* 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [ J ]. *Geological Journal of China Universities*, 14( 4 ): 510 ~ 526( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, *et al.* 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [ J ]. *Earth Science Frontiers*, 11( 1 ): 45 ~ 55( in Chinese with English abstract ).
- Mao Jingwen, Zhang Jiandong and Guo Chunli. 2010. Porphyry Cu, epithermal Ag-Pb-Zn, distal hydrothermal Au deposits: A new model of mineral deposit [ J ]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33( 1 ): 1 ~ 14( in Chinese with English abstract ).
- Oh C W. 2006. A new concept on tectonic correlation between Korea, China and Japan: Histories from the late Proterozoic to Cretaceous [ J ]. *Gondwana Research*, 9: 47 ~ 61.
- Pearce J A, Harris B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [ J ]. *Journal of Petrology*, 25: 956 ~ 983.
- Peng Touping, Xi Xianwu, Wang Yuejun, *et al.* 2004. Geochemical characteristics of the early Mesozoic granodiorites and their tectonic implication [ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28( 3 ): 287 ~ 296( in Chinese with English abstract ).
- Petford N and Gallagher K. 2001. Partial melting of mafic ( amphibolitic ) lower crust by periodic influx of basaltic magma [ J ]. *Earth and Planetary Science Letters*, 193: 483 ~ 499.
- Qian Peng and Lu Jianjun. 2005. The material resources of granodiorite porphyry in the Dexing copper ore district: A study on trace elements [ J ]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 20( 2 ): 75 ~ 79( in Chinese with English abstract ).
- Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at  $8 \sim 32 \times 10^{-9}$ : Implications for continental growth and crust-mantle recycling [ J ]. *Journal of Petrology*, 36: 891 ~ 931.
- Sen C and Dunn T. 1994. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa: Implications for the origin of adakite [ J ]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 117: 394 ~ 409.
- Shen Weizhou, Wang Dezi and Liu Changshi. 1995. Isotope geochemical characteristics and material sources of tin-bearing porphyries in South China [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 69( 4 ): 349 ~ 359( in Chinese with English abstract ).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [ A ]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [ A ]. Geological Society Special Press, 42: 313 ~ 345.
- Thompson A B. 1996. Fertility of crustal rocks during anatexis [ J ]. *Trans R Soc Edinburgh: Earth Science*, 87: 1 ~ 10.
- Wang Dezi and Zhou Xinmin. 2002. Genesis of late Mesozoic Granitic Volcanic-Intrusive Complex and Crustal Evolution in Southeast China [ M ]. Beijing: Science Press: 1 ~ 295( in Chinese ).
- Wang L, Hu M A, Yang Z, *et al.* 2011. U-Pb and Re-Os geochronology and geodynamic setting of the Dabaoshan Mo-polymetallic deposit, northern Guangdong Province, South China [ J ]. *Ore Geology Reviews*, 43: 40 ~ 49.
- Wang Lei, Hu Mingan, Qu Wenjun, *et al.* 2012. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong province and its geological implications [ J ]. *Geology in China*, 39( 1 ): 29 ~ 42( in Chinese with English abstract ).
- Wang Q, Xu J F, Jian P, *et al.* 2005. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization [ J ]. *Journal of Petrology*, 47( 1 ): 119 ~ 144.
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Jian Ping, *et al.* 2004. SHRIMP zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyrite [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 20( 2 ): 315 ~ 324( in Chinese with English abstract ).
- Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, *et al.* 2003. Petrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze

- Block J J. Science in China (Series D), 46(sup. ): 164~176.
- Wang R X, Zheng Y F, Wu Y B, *et al.* 2006. Reworking of juvenile crust: Element and isotope evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China [J]. Precambrian Research, 146: 179~212.
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, *et al.* 2006. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution [J]. Precambrian Research, 145: 111~130.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, *et al.* 2001. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusion in Southeast Hunan province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 169~175 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y J, Fan W M, Guo F, *et al.* 2002. U-Pb dating of early Mesozoic granodioritic intrusions in southeastern Hunan Province, South China and its petrogenetic implications [J]. Science in China (Series D), 45(3): 280~288.
- Wang Y J, Fan W M, Guo F, *et al.* 2003. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks adjacent to the Chenzhou-Linwu fault, South China: Implication for the lithosphere boundary between the Yangtze and Cathaysia blocks [J]. International Geological Review, 45: 263~286.
- Wei Daofang, Bao Zhengyu and Fu Jianming. 2007. Geochemical characteristics and zircon SHRIMP U-Pb dating of the Tongshanling granite in Hunan province, South China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(4): 482~489 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, *et al.* 2007. Discussions on the petrogenesis of granites [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217~1238 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying, Ma Tiegou, Bai Daoyuan, *et al.* 2005. Petrological and geochemical characteristics of granodioritic cryptoexplosion breccia and zircon [J]. Geoscience, 19(2): 198~204 (in Chinese with English abstract).
- Wu L Y, Hu R Z, Peng J T, *et al.* 2007. Helium and argon isotope compositions of fluid inclusions in pyrite from Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi deposit, Hunan Province [J]. Journal of China University of Geoscience, 18(Sup. ): 297~299.
- Wu Liyan, Hu Ruizhong, Peng Jiantang, *et al.* 2009. Helium and argon isotope compositions of fluid inclusions in pyrite from Yejiwei deposit in the Shizhuyuan W-Sn polymetallic ore field, Hunan province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 29(sup. ): 262~263 (in Chinese).
- Wyllie. 1977. A Crustal anatexis: An experimental review [J]. Tectonophysics, 43: 41~71.
- Xu Xianbing, Zhang Yueqiao, Jia Dong, *et al.* 2009. Early Mesozoic geotectonic processes in South China [J]. Geology in China, 36(3): 573~593 (in Chinese with English abstract).
- Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, *et al.* 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China [J]. Chinese Geology, 36(3): 528~543 (in Chinese with English abstract).
- Yao Junming, Hua Renmin and Lin Jinfu. 2005. Zircon LA-ICP MS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in southeast Hunan province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 688~696 (in Chinese with English abstract).
- Yao Junming, Hua Renmin, Qu Wenjun, *et al.* 2007. Molybdenite Re-Os isotope age of the Huangshaping Pb-Zn-W-Mo polymetallic deposit and implications in Hunan province [J]. Science in China (Series D), 47: 471~477 (in Chinese).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, *et al.* 2007. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan, China and its geological implications [J]. Acta Geologica Sinica, 81(2): 278~286.
- Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, *et al.* 2006. SHRIMP U-Pb dating of the Furong unit of Qitianling granite from Southeast Hunan province and their geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(10): 2611~2616 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Masuda Akimasa and Shabani M B. 1992. Tetrad effects of rare-earth elements in rare-metal granites [J]. Geochimica, (3): 221~233 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Xiong X L, Han X D, *et al.* 2002. Controls on the REE tetrad effect in granites: Evidence from the Qianlishan and Baerzhe granites, China [J]. Geochemical Journal, 36: 527~543.
- Zhang Bangtong, Dai Yongshan, Wang Ju, *et al.* 2001. Composite granitic batholith in the western Nanling region [J]. Geological Journal of China Universities, 7(1): 50~61 (in Chinese with English abstract).
- Zhang S B, Wu R X and Zheng Y F. 2012. Neoproterozoic continental accretion in South China: Geochemical evidence from the Fuchuan ophiolite in the Jiangnan orogeny [J]. Precambrian Research, 220~221: 45~64.
- Zhou Jincheng and Chen Rong. 2001. Geochemistry of late Mesozoic interaction between crust and mantle in southeastern Fujian province [J]. Geochimica, 30(6): 547~558 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin. 2003. My thinking about granite genesis of South China [J]. Geological Journal of China Universities, 9(4): 556~565 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin. 2007. Granite Genesis and Lithospheric Evolution on Late Mesozoic in Nanling Region [M]. Beijing: Science Press: 1~69 (in Chinese).
- Zhou X M and Li W X. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks of southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magma [J]. Tectonophysics, 326: 269~287.
- Zhu Jinchu, Li Xiangdong, Shen Weizhou, *et al.* 1989. Sr, Nd and O isotope studies on the genesis of the Huashan granite complex [J]. Acta Geologica Sinica, (3): 225~235 (in Chinese).
- Zhu Jinchu, Shen Weizhou, Liu Changshi, *et al.* 1990. Nd-Sr isotopic characteristics and genetic discussion of Mesozoic granitoids of syntaxis series in South China [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 9(2): 97~105 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Huang Gefei, Zhang Peihua, *et al.* 2003. On the emplace-

- ment age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling pluton, South Hunan province [ J ]. *Geological Review*, 49 ( 3 ): 245 ~ 252 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhu Jinchu, Wang Rucheng, Lu Jianjun, *et al.* 2011. Fractionation, evolution, petrogenesis and mineralization of Laiziling granite pluton, southern Hunan province [ J ]. *Geological Journal of China Universities*, 17 ( 3 ): 381 ~ 392 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhu Jinchu, Zhang Hui, Xie Caifu, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology, petrology and geochemistry of the Zhujianshui granite, Qitianling pluton, southern Hunan province [ J ]. *Geological Journal of China Universities*, 11 ( 3 ): 335 ~ 342 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, *et al.* 2006a. The Huashan-Goposhan A-type granitoid belt in the western part of the Nanling mountains: Petrology, geochemistry and genetic interpretations [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 80 ( 4 ): 529 ~ 542 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhu Jinchu, Zhang Peihua, Xie Caifu, *et al.* 2006b. Zircon U-Pb age framework of Huashan-Guposhan intrusive belt, western part of Nanling Range, and its geological significance [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 ( 9 ): 2 270 ~ 2 278 ( in Chinese with English abstract ).
- ### 附中文参考文献
- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 24 ( 4 ): 255 ~ 272.
- 蔡明海, 韩凤彬, 何龙清, 等. 2008. 湖南新田岭白钨矿床 He, Ar 同位素特征及 Rb-Sr 测年 [ J ]. *地球学报*, 29 ( 2 ): 167 ~ 173.
- 陈江峰, 江博明. 1999. Nd, Sr, Pb 同位素示踪和中国东南大陆地壳演化 [ A ]. 郑永飞. 化学地球动力学 [ C ]. 北京: 科学出版社, 262 ~ 287.
- 邓晋福, 赵国春, 赵海岭, 等. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山深部过程 [ J ]. *地质论评*, 46 ( 1 ): 41 ~ 48.
- 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等. 2005. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 24 ( 2 ): 93 ~ 102.
- 丁昕, 蒋少涌, 倪培, 等. 2005. 江西武山和永平铜矿含矿花岗岩体锆石 SIMS U-Pb 年代学 [ J ]. *高校地质学报*, 11: 383 ~ 389.
- 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 等. 2000. 论东亚大陆的构造翘变: 燕山运动的全球意义 [ J ]. *地质论评*, 46 ( 1 ): 8 ~ 13.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 2007. 湖南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究 [ J ]. *中国地质*, 34 ( 4 ): 651 ~ 656.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2004a. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义 [ J ]. *大地构造与成矿学*, 370 ~ 378.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2004b. 湘南西山铝质 A 型花岗岩质火山侵入杂岩的地球化学及其形成环境 [ J ]. *地球科学与环境学报*, 26 ( 4 ): 15 ~ 23.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2004c. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义 [ J ]. *中国地质*, 31 ( 1 ): 96 ~ 100.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2005. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析 [ J ]. *地球化学*, 34 ( 3 ): 215 ~ 226.
- 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 2006a. 广西姑婆山花岗岩单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其全岩 Sr-Nd 同位素研究 [ J ]. *地质学报*, 80 ( 4 ): 543 ~ 553.
- 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 2006b. 广西花山-姑婆山燕山期花岗岩的地球化学特征及成因研究 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 25 ( 2 ): 97 ~ 109.
- 郭春丽, 毛景文, 陈毓川. 2010. 赣南营前岩体的年代学、地球化学、Sr-Nd-Hf 同位素组成及其地质意义 [ J ]. *岩石学报*, 26 ( 3 ): 919 ~ 937.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 1980. 华南大地构造格架和地壳演化 [ A ]. 国际交流地质学术论文集 ( 1 ) [ C ]. 北京: 地质出版社, 109 ~ 116.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 1983. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化 [ J ]. *地质学报*, 57 ( 1 ): 11 ~ 21.
- 郭新生, 陈江峰, 张翼, 等. 2001. 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 [ J ]. *岩石学报*, 17 ( 1 ): 19 ~ 27.
- 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 2002. 试分析杭州-诸广山-花山高  $\epsilon$ Nd 值花岗岩带的地质意义 [ J ]. *地质通报*, 21 ( 6 ): 348 ~ 354.
- 胡肇荣, 邓国辉. 2009. 钦-杭接合带之构造特征 [ J ]. *华东理工大学学报 ( 自然科学版 )*, 32: 114 ~ 122.
- 华仁民, 张文兰, 李光来, 等. 2008. 南岭地区钨矿床共 ( 伴 ) 生金属特征及其地质意义初探 [ J ]. *高校地质学报*, 14 ( 4 ): 527 ~ 538.
- 华仁民, 张文兰, 姚军明, 等. 2006. 华南两种类型花岗岩成岩-成矿作用的差异 [ J ]. *矿床地质*, 25 ( 增刊 ): 127 ~ 130.
- 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 等. 2008. 十杭带湘南-桂北段中生代 A 型花岗岩成岩成矿特征及成因讨论 [ J ]. *高校地质学报*, 14 ( 4 ): 496 ~ 509.
- 金章东, 朱金初, 李福春. 2002. 德兴斑岩铜矿成矿过程的氧、锶、钨同位素证据 [ J ]. *矿床地质*, 21 ( 4 ): 341 ~ 349.
- 孔华, 金振民, 林源贤. 2000. 道县玄武岩中麻粒岩包体的岩石学特征及年代学研究 [ J ]. *长春科技大学学报*, 30 ( 2 ): 8 ~ 12.
- 李晓峰, 陈文, 毛景文, 等. 2006. 江西银山多金属矿床蚀变绢云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义 [ J ]. *矿床地质*, 25 ( 1 ): 17 ~ 26.
- 李晓峰, Watanabe Yasushi, 华仁民. 2008. 华南地区中生代 Cu-(Mo)-W-Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层的俯冲 [ J ]. *地质学报*, 82 ( 5 ): 1 ~ 16.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 2000. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学 and 同位素地质年代学 [ J ]. *地球化学*, 29 ( 6 ): 513 ~ 520.
- 刘家齐, 常海亮. 1987. 南岭地区某些燕山期花岗岩及其脉钨矿床的温压地球化学研究 [ A ]. 宜昌地质矿产研究所. 南岭地质矿产科研报告集 [ C ]. 武汉地质学院出版社, 145 ~ 196.
- 刘莎, 王春龙, 黄文婷, 等. 2012. 粤北大宝山斑岩钨矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄与矿床形成动力学背景分析 [ J ]. *大地构造与成矿学*, 36 ( 3 ): 440 ~ 449.
- 刘义茂, 戴瑾潼, 卢焕章, 等. 1997. 千里山花岗岩成矿的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  和 Sm-Nd 同位素年龄 [ J ]. *中国科学 ( D 辑 )*, 27 ( 5 ): 425 ~ 430.
- 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 等. 2006. 湖南宝山铜-钨多金属矿床成岩

- 成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究 [J]. 岩石学报, 22 (10): 2483~2492.
- 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 等. 2006. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP-U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 岩石学报, 22 (10): 2475~2482.
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 85(5): 636~658.
- 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995a. 湖南千里山花岗岩体 Nd-Sr 同位素及岩石成因研究 [J]. 矿床地质, 14(3): 235~242.
- 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995b. 千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系 [J]. 矿床地质, 14(1): 12~25.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景 [J]. 岩石学报, 23(10): 2329~2338.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. 高校地质学报, 14(4): 510~526.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. 地学前缘, 11(1): 45~55.
- 毛景文, 张建东, 郭春丽. 2010. 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌远接触带热液金矿床模型: 一个新的矿床模型 [J]. 地球科学与环境学报, 33(1): 1~14.
- 彭头平, 席先武, 王岳军, 等. 2004. 湘东北早中生代花岗闪长岩地球化学特征及其构造意义 [J]. 大地构造与成矿学, 28(3): 287~296.
- 钱鹏, 陆建军. 2005. 德兴铜矿花岗闪长斑岩物质来源的微量元素研究 [J]. 地质找矿论丛, 20(2): 75~79.
- 沈渭洲, 王德滋, 刘昌实. 1995. 华南含锡斑岩的同位素地球化学特征与物质来源 [J]. 地质学报, 69(4): 349~359.
- 王德滋, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化 [M]. 北京: 科学出版社: 1~295.
- 王磊, 胡明安, 屈文俊, 等. 2012. 粤北大宝山多金属矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义 [J]. 中国地质, 39(1): 29~42.
- 王强, 赵振华, 简平, 等. 2004. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学 [J]. 岩石学报, 20(2): 315~324.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 等. 2001. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征 [J]. 岩石学报, 17(1): 169~175.
- 魏道芳, 鲍征宇, 付建明. 2007. 湖南铜山岭花岗岩体的地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年 [J]. 大地构造与成矿学, 31(4): 482~489.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题 [J]. 岩石学报, 23(6): 1217~1238.
- 伍光英, 马铁球, 柏道远, 等. 2005. 湖南宝山花岗闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年 [J]. 现代地质, 19(2): 198~204.
- 武丽艳, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 2009. 湖南柿竹园钨锡多金属矿床野鸡尾矿床 He, Ar 同位素特征及成矿流体来源示踪 [J]. 矿物学报, 29(增刊): 262~263.
- 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 2009. 华南早中生代大地构造过程 [J]. 中国地质, 36(3): 573~593.
- 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用 [J]. 中国地质, 36(3): 528~543.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征 [J]. 岩石学报, 21(3): 688~696.
- 姚军明, 华仁民, 屈文俊, 等. 2007. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意义 [J]. 中国科学(D辑), 471~477.
- 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 2006. 湘南骑田岭岩体芙蓉超单元的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 岩石学报, 22(10): 2611~2616.
- 赵振华, 增田彰正, Shabani M B. 1992. 稀有金属花岗岩的稀土元素四分组效应 [J]. 地球化学, (3): 221~233.
- 章邦桐, 戴永善, 王驹, 等. 2001. 南岭西段金鸡岭复式花岗岩地质及岩浆动力学特征 [J]. 高校地质学报, 7(1): 50~61.
- 周金城, 陈荣. 2001. 闽东南晚中生代壳幔作用地球化学 [J]. 地球化学, 30(6): 547~558.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考 [J]. 高校地质学报, 9(4): 556~565.
- 周新民. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化 [M]. 北京: 科学出版社: 1~691.
- 朱金初, 李向东, 沈渭洲, 等. 1989. 广西花山复式花岗岩体成因的锶、钕和氧同位素研究 [J]. 地质学报, (3): 225~235.
- 朱金初, 黄革非, 张佩华, 等. 2003. 湖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 [J]. 地质论评, 49(3): 245~252.
- 朱金初, 王汝成, 陆建军, 等. 2011. 湘南癞子岭花岗岩体分异演化 and 成岩成矿 [J]. 高校地质学报, 17(3): 381~392.
- 朱金初, 沈渭洲, 刘昌实, 等. 1990. 华南中生代同熔系列花岗岩类的 Nd-Sr 同位素特征及成因讨论 [J]. 岩石矿物学杂志, 9(2): 97~105.
- 朱金初, 张辉, 谢才富, 等. 2005. 湖南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学 [J]. 高校地质学报, 11(3): 335~342.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 2006a. 南岭西段花山-姑婆山 A 型花岗质杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因 [J]. 地质学报, 80(4): 529~542.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 2006b. 南岭西段花山-姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义 [J]. 岩石学报, 22(9): 2270~2278.