文章编号: 0258-7106 (2009) 05-0696-11

江西会昌岽背玄武岩地球化学和 Sr-Nd 同位素特征及其地质意义*

励音骐[1], 厉子龙[1**], 毛建仁[2], 骆学全[2], 徐贻赣[3], 汪惠惠[1]

(1 浙江大学地球科学系, 浙江 杭州 310027; 2 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016; 3 江西省地质矿产局 912 地质大队, 江西 鹰潭 335001)

摘 要 江西会昌岽背地区晚中生代玄武岩的 SiO_2 含量为 49.06 %~50.14 %, K_2O 含量为 1.26 %~1.63 %。其微量元素显示出大离子亲石元素富集,高场强元素亏损,尤以明显的 Nb、Ta 亏损为特征;REE 总量为 $(135.5\sim146.8)\times10^{-6}$, $(La/Yb)_N\approx10$,表现出 LREE 富集的稀土元素配分模式,且无明显的 Eu 异常;Sr-Nd 同位素具有高 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ (0.70678~0.70695)和低 $\varepsilon Nd(t)$ (−2.46~−2.18)的特征。据以上特征并结合区域地质背景,反映出岽背玄武岩的源区可能为 EMⅡ型富集型大陆岩石圈地幔,其形成的构造环境为活动大陆边缘。较低的 Nb/U 比值(7~8)暗示该玄武质岩浆在形成过程中遭受了一定程度的大陆地壳混染或与俯冲过程有关的物质的加入。岽背玄武岩具有陆缘弧型地球化学特征,指示会昌地区在晚白垩世晚期(约 85 Ma)处于活动大陆边缘的构造环境,该玄武岩的形成可能与燕山晚期古太平洋板块向欧亚大陆的俯冲消减作用关系密切。底侵作用可能为会昌地区燕山晚期成矿岩浆的生成提供了流体和热,有利于铜多金属矿的形成。

关键词 地球化学; Sr-Nd 同位素; 玄武岩; EMⅡ型地幔源区; 活动大陆边缘; 会昌; 江西

中图分类号: P588.14+5 **文献标志码**: A

Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Dongbei basalts in Huichang area, Jiangxi Province, and their geological implications

LI YinQi[1], LI ZiLong[1], MAO JianRen[2], LUO XueQuan[2], XU YiGan[3] and WANG HuiHui[1]

(1 Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China; 2 Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China; 3 No. 912 Geological Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Yingtan 335001, Jiangxi, China)

Abstract

The Late Mesozoic Dongbei basalts, located in Huichang area of Jiangxi Province, have SiO_2 contents of 49.06%~50.14% and K_2O 1.26%~1.63%. They are rich in large-ion lithosphile elements and poor in high field strength elements, and have $\sum$REE of $(135.5\sim146.8)\times10^{-6}$, $(La/Yb)_N$ of ca. 10 and LREE enrichment, with strong negative Nb and Ta anomalies and no obvious Eu anomalies in the MORB-normalized spider diagram. The Sr-Nd isotopic compositions show that Dongbei basalts have high initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of 0.70678~0.70695 and low $\varepsilon Nd(t)$ of −2.46~−2.18. These geochemical characteristics indicate that the

* 本文得到江西瑞金-会昌地区矿产远景地质调查(项目编号:矿调[2005] 13-6)和中国地质调查局科技外事部基础研究项目(1212010611805)的联合资助

第一作者简介 励音骐,男,1984 年生,博士研究生,主要从事岩石大地构造学研究。Email: liyinqi@zju.edu.cn
** 通讯作者 厉子龙,男,1965 年生,教授,博导,主要从事岩石构造学和成矿作用研究。Email: zilongli@zju.edu.cn

收稿日期 2009-03-02; 改回日期 2009-06-10。许德焕编辑。

Dongbei basalts might have been derived from the source of EMⅡ-type lithospheric mantle under the tectonic setting of an active continental margin. The low values of Nb/U (7～8) suggest that the basalts probably experienced the addition of some subduction-related materials and/or a certain degree of crust contamination. The characteristics of the Dongbei basalts are similar to those of the basalts with the tectonic settings of an active continent margin, indicating that Huichang area lays in an active epicontinental environment during the late stage of Late Cretaceous (ca. 85 Ma). The Dongbei basalts might have had an intimate contact with the paleo-Pacific plate subduction underneath the Eurasia plate in the late Yanshanian period. The basaltic underplating may have provided fluid components and heat for the metallogenic magma of Huichang area during the late Yanshanian period, which contributed to the formation of copper deposits.

Key words: geochemistry, Sr-Nd isotopic component, basalt, EMⅡ mantle source, active continental margin, Huichang, Jiangxi

玄武岩是地质学研究的重要对象，其岩石地球化学及同位素特征与岩浆源区性质、古大地构造环境和深部地球动力学过程有着密切的联系(Momme et al.，2006；Sigmarssona et al.，2007；Kinmana et al.，2009；Fan et al.，2009)。根据玄武岩的地球化学特征可以反推判别玄武岩形成的构造环境(Pearce，1983；张树明等，2002；厉子龙等，2008)。利用微量元素和稀土元素比值以及 Sr-Nd-Pb 同位素特征可成功识别出各种地幔端员，有助于反演岩浆作用的动力学过程(肖龙等，2003；Xu et al.，2007；Kinmana et al.，2009)。

华南地区晚中生代岩浆活动发育，并且是伴生有众多大型 W、Sb、Hg、Sn、U、Nb-Ta 和 REE 等矿床的成矿区(华仁民等，2005；Zhou et al.，2006)。国内外学者对华南晚中生代火成岩的成因进行了长期探讨，目前，对华南晚中生代岩浆作用的动力学背景有 2 种不同的认识：一种观点认为，华南晚中生代岩浆活动是古太平洋板块向西俯冲作用的结果(李武显等，2001；王德滋等，2003；Zhou et al.，2006)；另一种观点则认为是陆内变形作用和岩石圈伸展减薄的结果(张旗等，2001；范蔚茗等，2003；胡瑞忠等，2007)。毛景文等(2004；2008)认为，侏罗纪成矿与板块俯冲有关，而白垩纪成矿则与岩石圈伸展有关。在华南地区的白垩纪盆地中，常存在同时代的玄武岩(陈卫锋等，2005)，对这些玄武岩的研究有助于查明华南中生代晚期的构造环境，探讨其大地构造意义，特别是就太平洋板块俯冲作用对中国东南大陆的影响程度和范围可以提供某些制约(张伯友等，2003；陈卫锋等，2005)。

江西会昌地区地处南岭成矿带东段与武夷山隆起南段西坡的复合部位。区内铜多金属矿产资源丰富，已发现有红山铜矿、青龙山铜矿、岩背锡(铜)矿、锡坑迳锡矿等多个矿田(陈世忠等，1998；周济元等，2000；许建祥等，2001)。铜多金属矿产的成矿时期主要集中在晚中生代，与燕山晚期的岩浆活动关系密切，且成矿类型以斑岩型铜矿(Cu 多金属矿)为主(徐贻赣等，2006)。斑岩型铜矿是世界上重要的铜矿工业类型之一，其区域分布特点和规律与地球演化过程中某些特殊事件密切相关，矿床的形成环境、岩浆源区及深部构造岩浆活动背景等问题一直是地质学家关注的热点(毛景文等，2005a；2005b；芮宗瑶等，2006；赵文津，2007)。因此，深入认识会昌地区晚中生代的大地构造环境和地球动力学过程，有助于更好地理解该地区燕山晚期大规模多金属成矿作用的成矿构造环境。在会昌的站塘一带，前人对中生代安山岩和玄武岩的构造背景及源区成分等问题作过探讨，认为站塘安山岩是富碱玄武质岩石部分熔融的产物，其形成与晚中生代岩石圈的伸展及玄武质岩浆的底侵有关(Xiong et al.，2003)。而站塘以南的岽背一带的玄武岩是否与站塘一带的玄武岩具有相似的地球化学和源区特征等则至今还未见报道。另外，前人在岽背玄武岩中发现了银、铜矿(化)点(周济元等，2000)。本文对岽背玄武岩开展了岩石学、地球化学和 Sr-Nd 同位素特征的研究，并与站塘一带的玄武岩进行了对比，以探讨其岩浆来源、形成的构造环境及成岩成矿的地球动力学背景。

1 区域地质概况和野外接触关系

岽背玄武岩产于江西会昌盆地东侧(图 1)。会昌盆地为红色陆相碎屑盆地，其展布受区内 NNE 向的石城-寻乌大断裂的控制，其内发育了一套厚约

2 400 m的晚白垩世砂岩、泥岩夹火山岩的沉积序列(赣州群),岽背玄武岩即产于这套含火山岩的沉积序列之中。岽背玄武岩出露于岽背村附近,长约 9 km,宽 100～300 m 不等,呈 NNE 向展布,其走向与会昌盆地内晚白垩世的沉积岩几乎平行,向北很可能延伸至站塘一带(图 1)。岽背玄武岩岩性单一,呈灰黑色,致密块状构造,部分露头风化后为褐红色(图 2a)。在站塘一带,除玄武岩之外,更多出露的是高钠安山岩(Xiong et al.,2003)。尽管站塘安山岩与玄武岩可能有着时间和空间上的耦合关系,但前人研究认为,后者并非前者的母岩(Xiong et al.,2003)。从野外接触关系看,岽背玄武岩的两侧均见有晚白垩世茅店组下段的紫红色泥岩、粉砂岩。周济元等(2000)将岽背玄武岩与其北的站塘安山岩都归于茅店组下段,认为其喷发很可能与石城-寻乌断裂有关(周济元等,2000),并运用 K-Ar 法测得这套玄武岩的年龄为(84.6±1.2) Ma,是燕山晚期火山活动的产物。

2 岩相学特征

岽背玄武岩由斑晶和基质组成,斑晶与基质的比例为 3∶17,呈斑状结构,基质具间粒-间隐结构。

该玄武岩的斑晶主要为橄榄石、辉石及少量斜长石。橄榄石斑晶的粒度一般为 0.2～1.5 mm,含量大于 5 % 辉石斑晶主要呈自形短柱状,以单斜辉石为主(图 2c) 斜长石斑晶呈板状,长约 0.3 mm。

该玄武岩的基质成分为微晶辉石和斜长石,以及少量橄榄石和不透明矿物。基质中的斜长石约占 65 %,呈细长条状,半定向或杂乱排列(图 2c),微晶辉

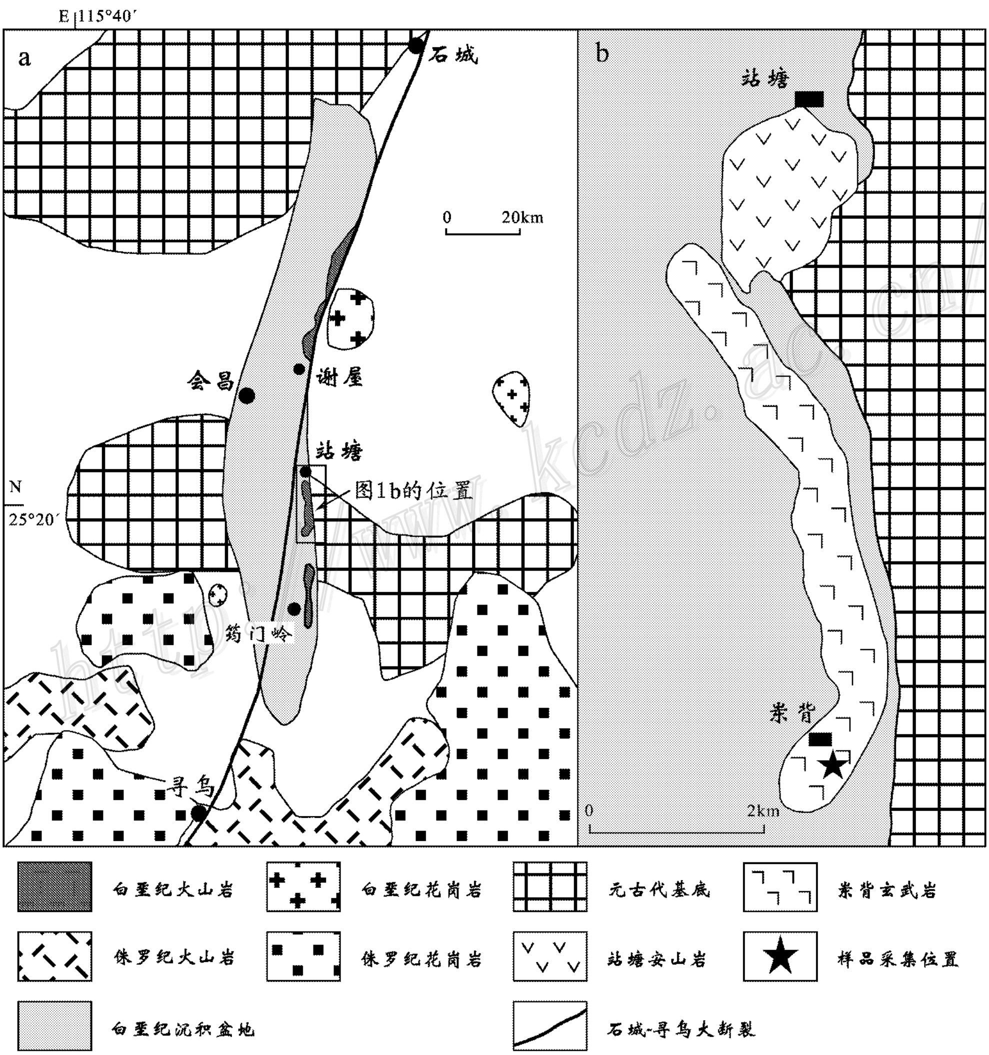


图 1 研究区的区域位置(a)及岽背玄武岩分布图(b)(据 Xiong et al.,2003 修改)

Fig. 1 Regional location of the study area (a) and distribution of Dongbei basalts (b) (after Xiong et al., 2003)

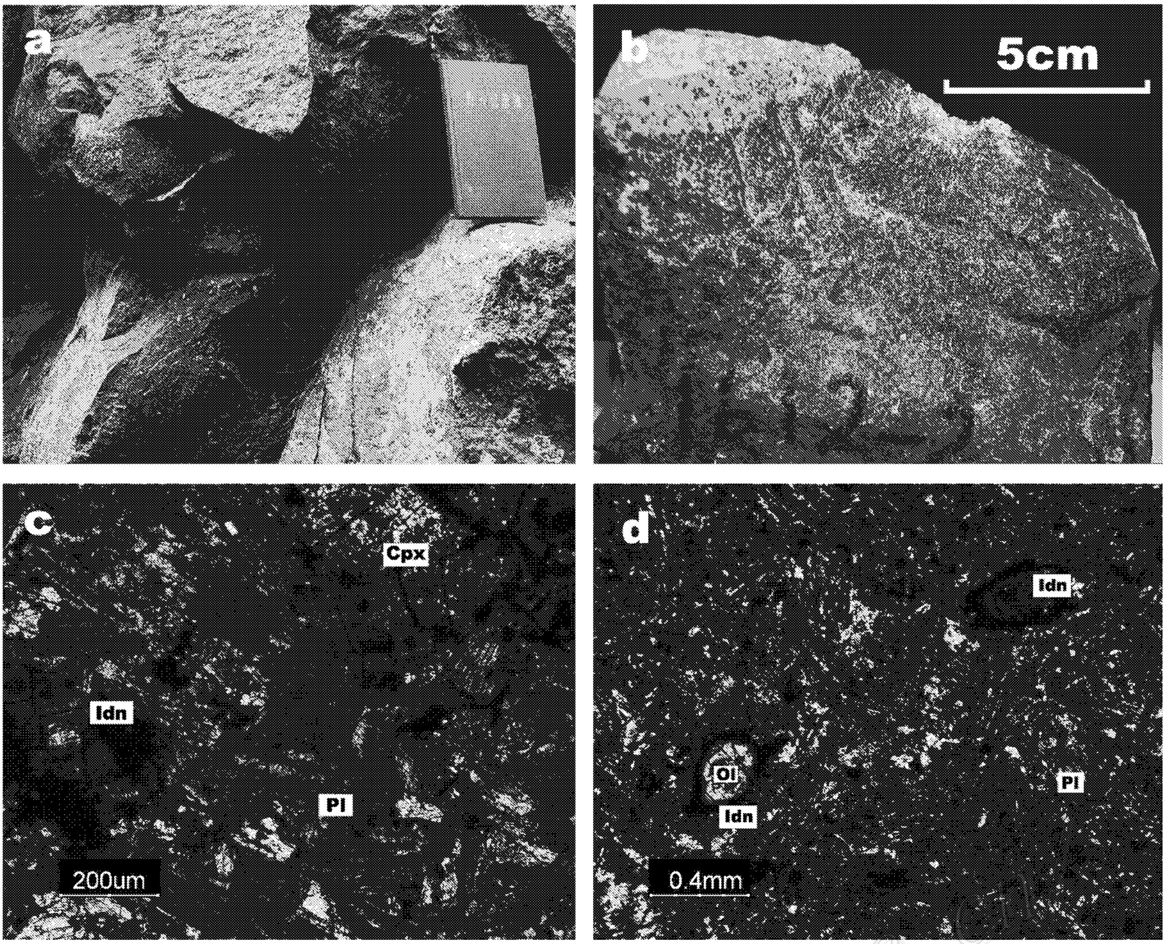


图 2　岽背玄武岩的野外及镜下照片

a. 岽背玄武岩野外露头照片，部分露头岩石呈褐红色；b. 岽背玄武岩中有较多的红褐色伊丁石或伊丁石化的橄榄石斑晶；c. 岽背玄武岩的主要矿物：伊丁石(Idn)(橄榄石的蚀变产物)、单斜辉石(Cpx)、斜长石(Pl)；d. 岽背玄武岩中伊丁石化的橄榄石(Ol)和伊丁石(Idn)

Fig. 2　Field and microscope photographs of Dongbei basalts

a. Field photo showing Dongbei basalts partly with rufous outcrop; b. Lots of rufous iddingsite or iddingsitized olivine porphyroblasts in Dongbei basalts; c. Major minerals in Dongbei basalts: iddingsite (Idn), clinopyroxene (Cpx), plagioclase(Pl); d. Iddingsitized olivine (Ol) and iddingsite (Idn) in Dongbei basalts

石、磁铁矿及隐晶质充填其中。基质斜长石的最大消光角 Np′∧(010)＝34°，An＝55，属拉长石。部分岩石具杏仁构造，多被方解石充填，充填物多者约占10 %。岩石中有较多的红褐色粒状矿物(图 2b)，经镜下鉴定为伊丁石或伊丁石化的橄榄石(图 2c、2d)。伊丁石可能是橄榄石在低温及氧化条件下发生蚀变的产物(王德滋等，1982)，且可能形成于陆相环境。

3　地球化学特征

3.1　样品和实验方法

基于野外观察和室内细致的岩相学研究，选出岽背地区 2 个具有代表性的玄武岩样品进行了全岩主量元素、微量元素以及 Sr-Nd 同位素分析。所分析的岩石样品采自岽背村路旁溪沟边的基岩，岩石较为新鲜，受蚀变程度较低。

全岩主量元素分析的实验方法　将样品(粒度＜200 目)约 2 g 在 100℃ 的烘箱内烘 3 小时，保存在干燥器中，8 小时后，首先进行样品烧失量的分析。放瓷坩埚在天平上，归零，准确称取 1.3～1.5 g 样品于瓷坩埚中，称得样品净重，放入 900℃ 的高温炉中灼烧 60 分钟后取出，稍微冷却后放入干燥器中冷却 3～4 小时，称样品加坩埚重，倒出样品(保留样品于干燥器内，备做 XRF 玻璃片)，称空坩埚重。然后，

制作 XRF 玻璃饼，称 0.5000 g 经 900℃烧过的样品和 4.0000 g $Li_2B_4O_7$ 熔剂于塑料瓶中，混匀后加 0.4 g 1 % LiBr 及 0.5 % NH_4I 助熔剂于 XRF 专用铂金坩埚中，倒入混合样品，1 250℃熔融，制成玻璃饼，备 XRF 测定。样品的全岩主量元素测试在中国科学院广州地球化学研究所同位素与年代学国家重点实验室的日本理学 X 荧光光谱仪(Rigaku ZSX 100-e 型)上完成。

微量元素分析的实验方法　将样品(粒度＜200 目)放入溶样器(Beaker)中，加入 2 ml 8N HNO_3 + 0.5 ml 8N HF，将溶样器置于电热板上，加热 1 小时 120℃、1 小时 210℃、22 小时 210℃，以去除大部分硅基体。待溶样器冷却至室温后，解开盖子，盖上白的蒸发专用盖板，用螺丝拧紧后置于电热板上，加热 1 小时 120℃、10 小时 120℃缓慢蒸干至湿盐状。再次加入 2 ml HNO_3，拧紧溶样器钢套，置于电热板上，加热 1 小时 120℃、1 小时 210℃、12 小时 210℃，进行溶样，再蒸干至泥块状。待溶样器冷却至室温后，第 3 次加入 3 ml HNO_3，方法同前。在经去离子水清洗、8N HNO_3 浸泡一天的 PET(聚酯)瓶中加入 Internal Standard(8N HNO_3)50 ml，放入样品溶液，加去离子水稀释至 250 ml，摇匀后取少量倒入细小塑料管中，备 ICP-MS 测试。样品的微量元素测试在美国哈佛大学行星与地球科学系 Charles H Langmuir 实验室的 X-Series ICP-MS 仪器上完成，定量分析方法采用内标法，内标元素选 Se、Ge、In、Bi(详见厉子龙等，2008)。

Sr-Nd 同位素分析的实验方法　用天平称取 0.18 g 样品，放至 Teflon 溶样器中，加入 1.2 ml 的 1∶1 HNO_3及 1.2 ml 的 HF，密封后置于低温电热板上，100℃加热保温 15 天。保温后的样品加入 4～6 ml 6N HCl，超声波振荡 1 小时，置于低温电热板上 100℃加热 1～2 天，使盐类溶解，溶液呈清澈透明状后，加热蒸干。用一次吸管加入 1 ml 6N HCl 和 1 ml 4 % H_3BO_3，并用超声波震荡，在低温电热板上 100℃保温过夜后，加 2 ml Milli-Q 去离子水，摇匀，倒入离心管离心，吸清液进行 AG50-8X 离子交换柱分离 Sr 和 REE。将经 AG50-8X 离子交换柱分离所得之蒸干的 REE 样品，以 0.8 ml 0.174N HCl 提取，使用 HDEHP 柱分离 Nd。样品的 Sr-Nd 同位素组分测试在中国科学院广州地球化学研究所同位素与年代学国家重点实验室的 MicroMass Isoprobe 型多接收器等离子体质谱仪上完成，详细的仪器参数见韦刚健等(2002)。

3.2　主量和微量及稀土元素特征

样品的主量元素和微量元素分析结果见表 1，同位素分析结果见表 2。

在崇背玄武岩样品的主量元素中，SiO_2 含量为 49.06 %～50.14 %，TiO_2 为 0.92 %～1.00%，Al_2O_3 为 15.23 %～15.86 %，K_2O+Na_2O 为 3.99 %～4.51 %，P_2O_5 为 0.25 %左右，$Mg^{\#}$ 为 41.6 %～47.3 %。在 TAS 分类图上，崇背玄武岩的样品一个落在亚碱性系列区，另一个则落在碱性系列区(图 3)。崇背北边的站塘玄武岩则属于亚碱性系列的岩石(图 3)(站塘玄武岩的数据引自 Xiong et al.，2003)。因此，结合矿物鉴定及前人资料，将崇背玄武岩定名为橄榄拉斑玄武岩。崇背玄武岩的 K_2O 含量为 1.26 %～1.63 %，据亚碱性玄武岩的 K_2O-SiO_2 含量关系(陈骏等，2004)，其应属中钾至高钾的钙碱性系列岩石。

从微量元素 MORB 标准化的蛛网图(图 4)可以看出，崇背玄武岩富含大离子亲石元素(K、Rb、Ba、Th)，贫高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf)和 Ti、Yb 等元素，尤其是 Nb 和 Ta 的含量形成显著的低谷(图 4)。这样的微量元素配分型式与华南沿海地区燕山晚期玄武岩的微量元素配分型式(图 4 中的阴影区)十分相似，具大陆边缘玄武岩的微量元素特征(Zhou et al.，2006)。

在稀土元素配分图(图 5)上，崇背玄武岩呈右倾型曲线，其 REE 总量为 $(135.50～146.80)\times10^{-6}$，LREE/HREE 为 8.97～9.00，$(La/Yb)_N\approx10$，表现为 LREE 相对于 HREE 富集的 REE 配分模式。$(Eu/Eu^*)_N=0.90～0.91$，无明显的 Eu 异常，说明该岩石基本上未发生斜长石的分离结晶作用。将崇背玄武岩与站塘玄武岩(Xiong et al.，2003)的微量及稀土元素进行对比，两者具有几乎完全一致的曲线特征(图 4 和图 5)。

3.3　Sr-Nd 同位素特征

在 Sr-Nd 同位素组成上，崇背玄武岩的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$比值为 0.70678～0.70695，$\varepsilon Nd(t)$为 −2.46～−2.18(表 2)。崇背玄武岩与站塘玄武岩的 Sr-Nd 同位素比值比较接近(表 2)，两者都具有负的 $\varepsilon Nd(t)$值，不过前者的 $\varepsilon Nd(t)$值较后者略微偏低。

表 1 岽背玄武岩及站塘玄武岩的主量元素和微量元素分析结果

Table 1 Major and trace element analyses of Dongbei and Zhantang basalts

样品编号	岽背玄武岩		站塘玄武岩				
	DB031612-1	DB031612-2	J5-1	J5-2	J5-3	J6-2	J6-5
主量元素/%							
SiO_2	49.06	50.14	52.24	51.23	52.92	52.43	52.32
TiO_2	1.00	0.92	0.99	0.96	0.95	0.96	0.95
Al_2O_3	15.86	15.23	16.72	16.77	16.76	16.51	16.45
$(Fe_2O_3)_T$	12.21	8.99	8.05	8.05	7.44	7.74	7.93
MnO	0.69	0.18	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
MgO	4.38	4.07	6.81	7.00	7.19	7.15	6.95
CaO	8.49	11.31	8.41	8.28	8.35	8.12	8.39
Na_2O	2.88	2.73	2.77	2.88	2.88	3.06	3.22
K_2O	1.63	1.26	1.65	1.60	1.55	1.70	1.66
P_2O_5	0.26	0.25	0.28	0.29	0.26	0.37	0.38
L.O.I	3.39	4.79	1.49	2.34	1.21	1.34	1.43
总和	99.85	99.87	99.55	99.54	99.65	99.52	99.81
$Mg^{\#}$	41.56	47.30	60.00	61.00	63.00	62.00	61.00
K_2O+Na_2O	4.51	3.99	4.42	4.48	4.43	4.76	4.88
微量元素/10^{-6}							
Cs	1.33	6.73	16.22	12.89	15.4	12.88	12.78
Rb	34.88	34.44	45.00	41.00	42.00	44.00	46.00
Ba	564.63	490.32	504.00	492.00	481.00	530.00	593.00
Th	5.56	5.48	5.88	5.53	5.86	6.73	7.01
U	1.14	1.26	1.32	1.17	1.23	1.28	1.4
Nb	9.18	8.80	8.80	8.30	9.10	8.50	8.60
Ta	0.45	0.43	0.43	0.41	0.44	0.4	0.44
Sr	613.96	617.62	591.00	683.00	685.00	663.00	688.00
Sc	24.69	23.10	26.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Zr	145.60	137.57	147.00	142.00	146.00	147.00	152.00
Hf	3.58	3.47	4.31	4.02	4.19	4.15	4.43
Y	23.18	19.88	21.00	20.00	21.00	20.00	22.00
V	188.44	181.08	208.00	196.00	205.00	196.00	206.00
Cr	294.41	314.56	235.00	222.00	240.00	179.00	187.00
Co	35.69	29.85	34.00	33.00	34.00	31.00	33.00
Ni	119.24	124.68	109.00	106.00	110.00	97.00	100.00
稀土元素/10^{-6}							
La	30.38	27.96	28.16	27.23	28.34	29.75	31.30
Ce	57.93	53.60	58.34	55.69	57.38	60.47	63.62
Pr	7.29	6.72	6.91	6.55	6.78	7.09	7.44
Nd	29.52	27.04	27.62	26.78	27.83	29.33	30.12
Sm	5.43	5.08	5.64	5.39	5.67	5.51	6.22
Eu	1.58	1.49	1.50	1.46	1.46	1.48	1.50
Gd	5.26	4.85	4.65	4.74	4.82	4.69	4.94
Tb	0.70	0.64	0.72	0.64	0.67	0.71	0.78
Dy	3.74	3.44	3.91	3.6	3.64	3.88	3.84
Ho	0.72	0.69	0.73	0.74	0.74	0.69	0.82
Er	1.99	1.90	2.08	2.02	2.11	2.18	2.15
Yb	1.96	1.81	1.94	1.92	1.95	1.90	2.00
Lu	0.30	0.28	0.27	0.27	0.26	0.29	0.28
$\sum$REE	146.80	135.50	142.47	137.03	141.65	147.97	155.01
$(Eu/Eu^*)_N$	0.90	0.91	0.90	0.88	0.85	0.89	0.83
$(La/Yb)_N$	10.03	10.01	14.00	14.00	15.00	16.00	16.00

注 站塘玄武岩的资料引自 Xiong et al.，2003；$Mg^{\#}=100^{*}(MgO/40.31)/(MgO/40.31+FeO/71.85)$；$(Fe_2O_3)_T$ 为全铁；N 为球粒陨石标准化。

表 2 崇背及站塘玄武岩的 Sr-Nd 同位素分析结果

Table 2 Sr-Nd isotopic analyses of Dongbei and Zhantang basalts

	崇背玄武岩		站塘玄武岩	
	DB031612-1	DB031612-2	J5-1	J6-2
$Rb/10^{-6}$	34.88	34.44	46.60	42.56
$Sr/10^{-6}$	613.96	617.62	681.8	695.1
$^{87}Rb/^{86}Sr$	0.1604	0.1574	0.1973	0.1768
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0.706976	0.707139	0.707100	0.706989
$(\pm 2\sigma)$	0.000016	0.000014	0.000020	0.000020
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	0.706783	0.706948	0.706862	0.706775
$Sm/10^{-6}$	5.43	5.08	5.42	5.68
$Nd/10^{-6}$	29.52	27.04	27.04	29.16
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0.1160	0.1185	0.1172	0.1178
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0.512467	0.512483	0.512566	0.512571
$(\pm 2\sigma)$	0.000007	0.000007	0.000009	0.000011
$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$	0.512402	0.512417	0.512501	0.512505
$\varepsilon Nd(t)$	−2.46	−2.18	−0.54	−0.45

注 站塘玄武岩的资料引自 Xiong et al.,2003;使用 $t=85$ Ma 作为玄武岩形成年龄来计算 Sr、Nd 同位素的初始比值以及 $\varepsilon Nd(t)$ 值。

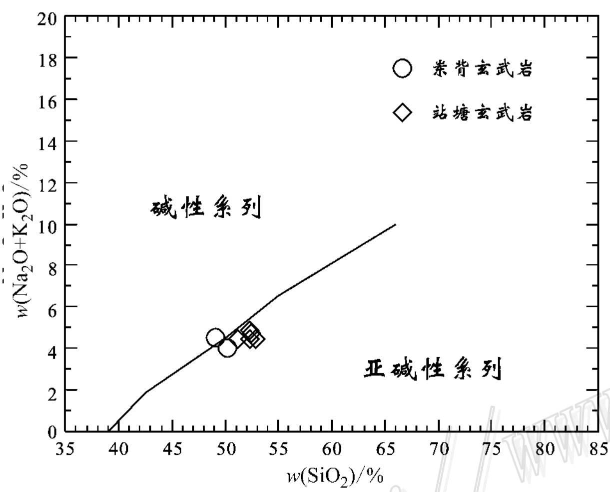


图 3 崇背玄武岩的 TAS 分类图(站塘玄武岩数据引自 Xiong et al.,2003)

Fig. 3 TAS diagram for Dongbei basalts (data of Zhantang basalts from Xiong et al.,2003)

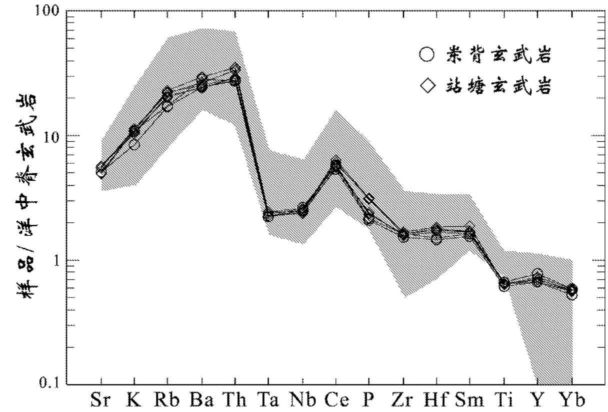


图 4 崇背玄武岩的微量元素蛛网图

洋中脊玄武岩的数据引自 Pearce,1982;阴影区为华南沿海地区燕山晚期玄武岩的微量元素配分型式(据 Zhou et al.,2006)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized spider diagram for Dongbei basalts

Normalization values of MORB from Pearce, 1982; Shade area representing data from the Late Yanshanian basalts in the coastal areas of SE China (after Zhou et al., 2006)

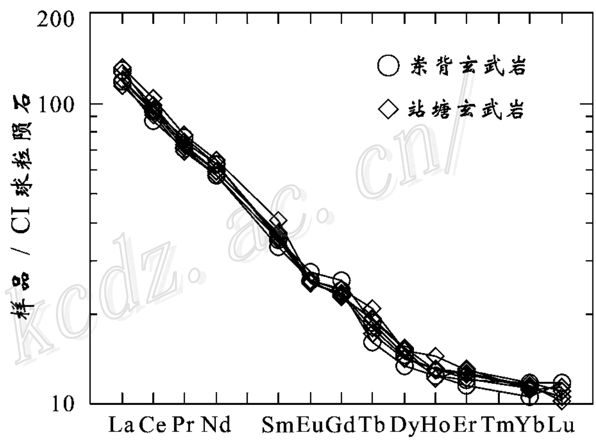


图 5 崇背玄武岩的稀土元素配分模式图(CI 球粒陨石数据引自 McDonough et al.,1989)

Fig. 5 CI chondrite-normalized REE pattern for Dongbei basalts (normalization values of CI chondrite are from McDonough et al., 1989)

4 讨 论

4.1 岩浆来源及构造环境

崇背和站塘相距仅 5 km,两处的玄武岩均产于会昌盆地晚白垩世的含火山岩沉积序列中(周济元等,2000;Xiong et al.,2003),其微量元素、稀土元素以及 Sr-Nd 同位素特征十分接近,是相同构造事件的产物。

Sr-Nd 同位素体系是判断玄武岩物质来源以及研究其成因的最有效的示踪剂(郑永飞,1999)。源自软流圈地幔的岩浆以高 $\varepsilon Nd(t)$ 值(约为 +8)、低 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值(约为 0.703)为特征,而源自岩石圈地幔的岩浆则以低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(约为 -9 ± 2)、高 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值(0.7073～0.7097)为特征(陈卫锋等,2005)。崇背和站塘玄武岩的 $\varepsilon Nd(t)$ 值为 −2.46～

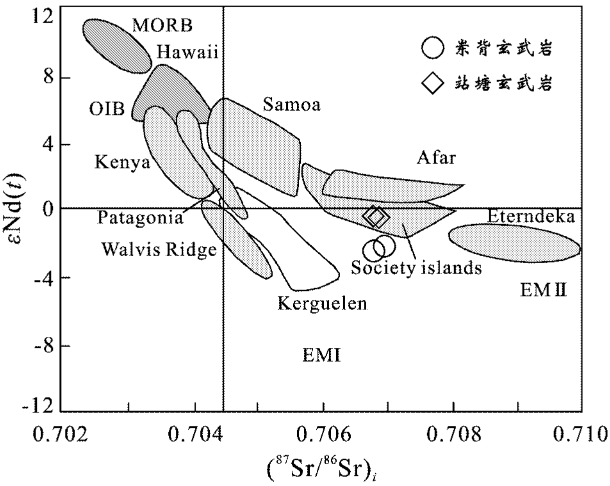
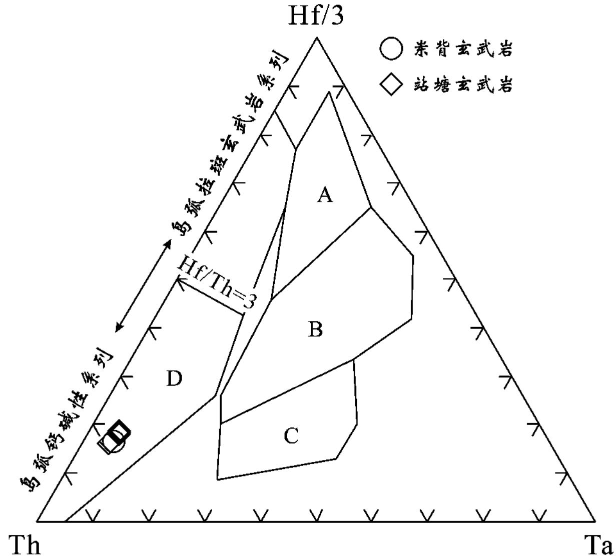


图 6 岽背和站塘玄武岩的 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$-εNd(t) 图解（底图引自范蔚茗等，2003）

Fig. 6 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$-εNd(t) diagram for Dongbei and Zhantang basalts (after Fan et al., 2003)



A—M-MORB; B—P-MORB; C—板内碱性玄武岩及分异产物；D—岛弧拉斑玄武岩及分异产物

图 7 岽背和站塘玄武岩的 Hf/3-Th-Ta 图解（据 Wood，1980）

Fig. 7 Hf/3-Th-Ta diagram for Dongbei and Zhantang basalts (after Wood, 1980)

－0.45，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值为 0.70678～0.70695，这种低 εNd(t) 和高 Sr_i 反映其源区为岩石圈地幔并有部分陆壳物质的混染。在 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$-εNd(t) 图解中，岽背和站塘的玄武岩都落在具 EMⅡ 型属性的 Society Islands 玄武岩区内及其附近（图 6），暗示两者可能均源自 EMⅡ 型富集地幔源区。

在微量元素蛛网图（图 4）中，岽背玄武岩显示出明显的 Nb、Ta 亏损，而且，在鉴别火山弧型玄武岩的 Hf/3-Th-Ta 图解（图 7）上，岽背和站塘玄武岩全部落在接近活动性元素端员的钙碱性玄武岩区域内，指示该地区的玄武岩形成于活动大陆边缘的环境。

在 $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$-$n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ 图解中，岽背和站塘玄武岩落在了大陆边缘火山弧岩浆与大陆地壳重叠的区域内（图 8），暗示玄武质岩浆在上升的过程中遭受了一定程度的大陆地壳的混染。大陆地壳相对于地幔富 U 而亏损 Nb（陈骏等，2004），MORB 和 OIB 的 Nb/U 比值为 47±10，而大陆地壳的该比值则在 12 左右（Hofmann et al.，1986；Woodhead et al.，1989；Taylor et al.，1995）。岽背玄武岩的 Nb/U 比值较低，仅为 7～8，也暗示其源区含陆壳物质较多，指示存在大陆壳物质的混染。

4.2 会昌中生代地球动力学过程及与成矿关系探讨

岽背玄武岩具有陆缘弧型岩石的元素地球化学及 Sr-Nd 同位素特征，指示出会昌地区在晚白垩世

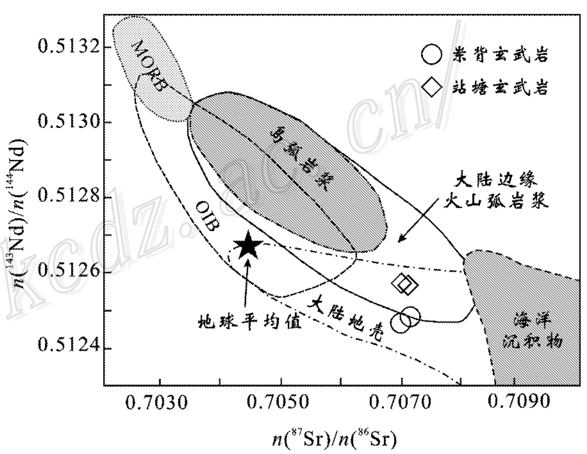


图 8 岽背和站塘玄武岩的 $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$-$n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ 图解（底图引自陈骏等，2004）

Fig. 8 $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$-$n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ diagram for Dongbei and Zhantang basalts (after Chen et al., 2004)

晚期（约 85 Ma）处于活动大陆边缘的构造环境，且玄武岩的形成可能与燕山晚期古太平洋板块向欧亚大陆的俯冲消减作用关系密切（Zhou et al.，2006）。华南地区在 180～80 Ma 期间持续受到了来自古太平洋板块的俯冲消减作用，由于俯冲是低角度的连续过程（李武显等，2001），因此，形成了异常宽的火山弧，致使会昌地区与华南沿海地区一样，也受到了

古太平洋板块俯冲消减作用的影响。崇背玄武岩的形成很可能是向西消减的古太平洋板块脱水使得上覆地幔楔湿熔融，从而产生底侵玄武岩浆的结果。崇背玄武岩大离子亲石元素富集和高场强元素亏损的微量元素分布特征可能跟变质脱水流体与古太平洋板片上覆地幔的交代作用有关，因为，大洋板片俯冲脱水所释放的流体一般富含大离子亲石元素而亏损高场强元素(陈骏等，2004)。由于海水的 Sr 含量较高，但十分贫 Nd，因此，当古太平洋板片释放出的海水进入到俯冲带的地幔岩浆源后，显著提高了岩浆的 $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$ 值，而 $n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ 值却受影响不大，从而造成崇背玄武岩具有高 $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$ 和低 $n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ 的同位素特征。此外，元素和同位素特征显示出，崇背玄武岩可能在岩浆上升过程中遭受过地壳物质的混染，或者，很可能与俯冲消减作用将更多的陆壳物质带入岩石圈地幔有关。正是在这种环境下，深部岩浆底侵上涌，不仅提供了热源，亦可引起地壳重熔或同熔，导致一系列与盆地火山岩有关的 Cu-Au-Ag、Au-Ag 和 Pb 多金属矿床的广泛发育。

5 结 论

岩石学和地球化学研究表明，产于晚白垩世的崇背玄武岩为橄榄拉斑玄武岩，属中钾至高钾的钙碱性系列岩石。崇背玄武岩具有陆缘弧型岩石地球化学特征，可能来自 EMⅡ型富集地幔源区，且其源区可能有与俯冲有关的陆壳物质的参与，暗示江西会昌地区在燕山晚期处于活动大陆边缘的构造环境，与古太平洋板块的俯冲消减作用密切相关。会昌地区斑岩型铜矿床的形成可能与崇背玄武岩的底侵作用有密切关系。

志 谢 在野外工作、元素分析等方面，本研究得到了南京地质矿产研究所沈莽庭高级工程师和张雪辉工程师，中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室马金龙研究员、胡光黔高级工程师、孙彦敏高级工程师和刘颖高级工程师，以及哈佛大学 C H Langmuir 教授和 Zhongxing Chen 博士的指导、支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。笔者对周新民教授等专家对本文提出许多建设性意见和建议深表谢忱。

References

Chen J and Wang H N. 2004. Geochemistry[M]. Beijing: Science Press. 357-360 (in Chinese).

Chen S Z, Zhou J Y and Cui B F. 1998. Study on the origin of Hongshan brecciated copper deposit in Huichang Jiangxi[J]. Volcanology and Mineral Resources, 4(10): 27-33 (in Chinese).

Chen W F, Chen P R, Xu X S and Zhang M. 2005. Geochemical characteristics of Cretaceous basalts in South China and its constraint to the Pacific plate subduction[J]. Science in China (Series D), 35 (11): 1007-1018 (in Chinese).

Fan W M, Wang Y J, Guo F and Peng T P. 2003. Mesozoic mafic magmatism in Hunan-Jiangxi provinces and the lithospheric extension[J]. Earth Science Frontiers, 10(3): 159-169 (in Chinese with English abstract).

Fan W M. Zhang C H. Wang Y J, Guo F and Peng T P. 2009. Geochronology and geochemistry of Permian basalts in western Guangxi Province, Southwest China: Evidence for plume-lithosphere interaction[J]. Lithos, 102: 218-236.

Hofmanm A W, Jochum K P, Seufert M, et al. 1986. Nd and Pb in oceanic basalts: New constraints on mantle evolution[J]. Earth and Planetary Science Letters, 79: 33-45.

Hu R Z, Bi X W, Peng J T, Liu S, Zhong H, Zhao J H and Jiang G H. 2007. Some problems concerning relationship between Mesozoic-Cenozoic lithospheric extension and uranium metallogenesis in South China[J]. Mineral Deposits, 26(2): 139-152 (in Chinese with English abstract).

Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China [J]. Mineral Deposits, 24(2): 99-107 (in Chinese with English abstract).

Kinmana W S, Neal C R, Davidson J P and Font L. 2009. The dynamics of Kerguelen Plateau magma evolution: New insights from major element, trace element and Sr isotope microanalysis of plagioclase hosted in Elan Bank basalts[J]. Chemical Geology, 264: 247-265.

Li W X and Zhou X M. 2001. Subduction of the paleo-Pacific plate and origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern china: Some supplement evidences for the model of lithosphere subduction and underplating of mafic magma[J]. Geotectonica et Metallogenia, 25 (1): 55-63 (in Chinese with English abstract).

Li Z L, Yang S F, Chen H L, Langmiur C H, Yu X, Lin X B and Li Y Q. 2008. Chronology and geochemistry of Taxinan basalts from the Tarim basin: Evidence for Permian plum magmatism[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(5): 959-970(in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xie G G, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 44～45(in Chinese with English abstract).

Mao J W, Li X F, Li H M, Qu X M, Zhang C Q, Xue C J, Wang Z L, Yu J J, Zhang Z H, Feng C Y and Wang R T. 2005a. Types and characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenic processes[J]. Acta Geologica Sinica, 79(3):342-372 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xie G G, Li X F, Zhang Z H, Wang Y T, Wang Z L, Zhao C S, Yang F Q and Li H M. 2005b. Geodynamic process and metallogeny: History and present research trend, with a special discussion on continental accretion and related metallogeny throughout geological history in South China[J]. Mineral Deposits, 24(3):193-205 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xie G G, Guo C Y, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 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).

Momme P, Tegner C C, Brooks C K R and Keays R R. 2006. Two melting regimes during Paleocene flood basalt generation in East Greenland: Combined REE and PGE modeling[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 15(1):88-100.

Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. In: Thorpe R S, ed. Andesites[C]. New York: John Wiley and Sons. 525-548.

Pearce J A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins[A]. In: Hawkesworth and Norry, ed. Continental basalts and mantle xenoliths[C]. Nantwich: Shiva. 230-249.

Rui Z Y, Zhang H T, Chen R Y, Wang Z L, Wang L S and Wang Y T. 2006. An approach to some problems of porphyry copper deposits[J]. Mineral Deposits, 25(4):491-500 (in Chinese with English abstract).

Sigmarssona O and Steinthórssob S. 2007. Origin of Icelandic basalts: A review of their petrology and geochemistry[J]. Journal of Geodynamics, 43(1):87-100.

Taylor S R and Mclennan S M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Rev. [J]. Geophys., 33(2):241-265.

Wang D Z and Shen W Z. 2003. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China[J]. Earth Science Frontiers, 10(3):209-220 (in Chinese with English abstract).

Wang D Z and Zhou X M. 1982. Petrology of the volcanic rocks[M]. Beijing: Science Press. 75-85 (in Chinese).

Wei G J, Liu Y, Tu X L, Liang X R and Li X H. 2002. Separation of Sr, Sm and Nd in mineral and rock samples using selective specific resins[J]. Rock and Mineral Analysis, 23(1):11-14 (in Chinese with English abstract).

Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Teriary volcanic province[J]. Earth and Planetary Science Letters, 50:11-30.

Woodhead J D and McCulloch M T. 1989. Ancient seafloor signals in Pitcairn Island lavas and evidence for large amplitude, small length-scale mantle heterogeneities[J]. Earth and Planetary Science Letters, 94(3):257-273.

Xiao L, Xu Y G, Mei H J and Sha S L. 2003. Geochemistry of Emeishan Flood basalts at Binchuan area, SW China: Rock types and temporal evolution[J]. Chinese Journal of Geological Science. 38(4):478-494 (in Chinese with English abstract).

Xiong X L, Li X H, Xu J F, Li W X, Zhao Z H, Wang Q and Chen X M. 2003. Extremely high-Na adakite-like magmas derived from alkali-rich basaltic underplate: The Late Cretaceous Zhantang andesites in the Huichang Basin, SE China[J]. Geochemical Journal, 37:233-252.

Xu J X, Xu Y G and Luo P. 2001. Characteristics of volcanic geology, mineral resources and ore-searching targets in the southeast Jiangxi[J]. Jiangxi Geology, 15(4):282-288 (in Chinese with English abstract).

Xu Y G, He B, Huang X L, Luo Z Y, Cheng S L, Xiao L, Zhu D, Shao H, Fan W M, Xu J F and Wang Y J. 2007. Identification of mantle plumes in Emeishan Large Igneous Province[J]. Episode, 30(1):32-42.

Xu Y G and Zeng Z L. 2006. Division of W and Sn multimetal mineralization region and its ore-searching direction in South Jiangxi[J]. Resources Survey and Environment, 27(4):290-296 (in Chinese with English abstract).

Zhang B Y, Zhang H X, Zhao Z H, Yang S F, Chen H L and Shi M Q. 2003. Permian island-arc basalt in West Guangdong and East Guangxi tectonic belt, South China: Implication for the Paleothethys[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 39(1):46-54 (in Chinese with English abstract).

Zhang Q, Zhao T P, Wang Y and Wang Y L. 2001. A discussion on the Yanshanian magmatism in Eastern China [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 273-281 (in Chinese with English abstract).

Zhang S M and Wang F Z. 2002. Basalts action on research geosphere deep-course and structural setting[J], Advance in Earth Sciences, 17(5):685-692 (in Chinese with English abstract).

Zhao W J. 2007. Deep tectono-magmatic setting for metallogenesis of large porphyry copper deposits[J]. Geology in China, 34(2):179-205 (in Chinese with English abstract).

Zheng Y F. 1999. Chemical geodynamics[M]. Beijing: Science Press. 262-283 (in Chinese).

Zhou J Y, Cui B F, Chen H M, Mao J R, Fang W B, Chen S Z, Wang W G and Zhang S L. 2000. Metallogenic regularities and prognosis of copper and tin deposits in the area of Hongshan-Xikengjing, south of Jiangxi province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 31-183 (in Chinese).

Zhou X M, Sun T, Shen W Z, Shu L S and Niu Y L. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic[J]. Episodes, 29(1):26-33.

附中文参考文献

陈 骏,王鹤年. 2004. **地球化学**[M]. **北京:科学出版社**. 357-360.

陈卫锋,陈培荣,徐夕生,张 敏. 2005. **华南白垩纪玄武质岩石的地**

球化学特征及其对太平洋板块俯冲作用的制约[J]. 中国科学(D辑),35(11):1007-1018.

陈世忠,周济元,崔炳芳. 1998. 江西红山隐爆角砾岩-斑岩型铜矿床的成因[J]. 火山地质与矿产,4(10):27-33.

范蔚茗,王岳军,郭 锋,彭头平. 2003. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展[J]. 地学前缘,10(3):159-169.

胡瑞忠,毕献武,彭建堂,刘 燊,钟 宏,赵军红,蒋国豪. 2007. 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题[J]. 矿床地质,26(2):139-152.

华仁民,陈培荣,张文兰,陆建军. 2005. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质,24(2):99-107.

李武显,周新民. 2001. 古太平洋岩石圈消减与中国东南部晚中生代火成岩成因--岩石圈消减与玄武岩底侵相结合模式的补充证据[J]. 大地构造与成矿学,25(1):55-63.

厉子龙,杨树锋,陈汉林,C H Langmiur,余 星,林秀斌,励音骐. 2008. 塔西南玄武岩年代学和地球化学特征及其对二叠纪地幔柱岩浆演化的制约[J]. 岩石学报,24(5):959-970.

毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 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,11:45-55.

毛景文,李晓峰,李厚民,曲晓明,张长青,薛春纪,王志良,余金杰,张作衡,丰成友,王瑞廷. 2005a. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报,79(3):342-372.

毛景文,谢桂青,李晓峰,张作衡,王义天,王志良,赵财胜,杨富全,李厚民. 2005b. 大陆动力学演化与成矿研究:历史与现状——兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用[J]. 矿床地质,24(3):193-205.

毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 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.

芮宗瑶,张洪涛,陈仁义,王志良,王龙生,王义天. 2006. 斑岩铜矿研究中若干问题探讨[J]. 矿床地质,25(4):491-500.

王德滋,沈渭洲. 2003. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J]. 地学前缘,10(3):209-220.

王德滋,周新民. 1982. 火山岩岩石学[M]. 北京:科学出版社. 75-85.

韦刚健,刘 颖,涂湘林,梁细荣,李献华. 2002. 利用选择性特效树脂富集分离岩石样品中的锶钐和钕[J]. 岩矿测试,23(1):11-14.

肖 龙,徐义刚,梅厚钧,沙绍礼,2003. 云南宾川地区峨眉山玄武岩的地球化学特征及时空演化[J]. 地质科学,38(4):478-494.

许建祥,徐贻赣,罗 平. 2001. 赣东南地区火山地质、矿产特征及找矿方向[J]. 江西地质,15(4):282-288.

徐贻赣,曾载淋. 2006. 赣南W、Sn多金属成矿区划及找矿方向[J]. 资源调查与环境,27(4):290-296.

张伯友,张海祥,赵振华,杨树锋,陈汉林,石满全. 2003. 两广交界处岑溪二叠纪岛弧型玄武岩及其古特提斯性质的讨论[J]. 南京大学学报(自然科学),39(1):46-54.

张 旗,赵太平,王 焰,王元龙. 2001. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题[J]. 岩石矿物学杂志,20(3):273-281.

张树明,王方正. 2002. 玄武岩在研究岩石圈深部过程及构造背景中的应用[J]. 地球科学进展,17(5):685-692.

赵文津. 2007. 大型斑岩铜矿成矿的深部构造岩浆活动背景[J]. 中国地质,34(2):179-205.

郑永飞. 1999. 化学地球动力学[M]. 北京:科学出版社. 262-283.

周济元,崔炳芳,陈宏明,毛建仁,方文碧,陈世忠,王文冈,张松林. 2000. 赣南红山-锡坑迳地区铜锡矿地质及预测[M]. 北京:地质出版社. 31-183.