

# 安徽沿江地区燕山期火成岩成岩成矿地质背景

杜建国<sup>1,2</sup>, 戴圣潜<sup>1,2</sup>, 莫宣学<sup>1</sup>, 邓晋福<sup>1</sup>, 许卫<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001)

**摘要:** 安徽沿江地区位于长江中下游 Cu, Fe 成矿带的中段。通过区内变质基底类型、时代和地球物理、地球化学资料等综合研究, 证明该区存在一元古宙基底缝合带, 即“古岩石圈尺度不连续”, 燕山期的强烈构造-岩浆-成矿活动是“古岩石圈尺度不连续”的“再活化”的表现。燕山期火成岩岩石构造组合以及岩浆作用有关的矿种组合表征它也是深达地幔的岩石圈尺度不连续, 实质上岩石圈尺度不连续为区内的重要控岩、控矿构造, 而燕山期挤压加厚环境中形成的高钾钙碱性系列火成岩及对应的 Cu, Au 组合、橄榄安粗岩系列火成岩及对应的 Fe, S 组合是岩浆成矿受壳幔相互作用和幔源物质贡献等因素控制的直接反映。同时, 文中还利用了 Nd-Sr 同位素示踪体系对区内中、新生代地幔类型进行了初步研究, 论证了中-新生代岩石圈/软流圈发生了灾变事件, 区内晚中生代属富集型地幔 (EM II), 火成岩为富集型地幔 (EM II) 与亏损地幔 (DM) 或下地壳 (LC) 相互作用的结果, 新生代则成为亏损型地幔 (DM), 这种地幔类型的变化是导致中国东部燕山期大规模岩浆成矿作用和岩石圈减薄的因素。

**关键词:** 岩石圈不连续; 燕山期再活化; 火成岩岩石组合; 成岩成矿背景; 安徽沿江地区

**中图分类号:** P588.1; P611 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2003)04-0551-10

中国东部地区中生代广泛发育的面型火成岩和“燕山期成矿大爆发”是一次大规模岩石圈/软流圈发生灾变事件的结果<sup>[1-3]</sup>。自东南沿海的面型火山—沉积盆地带向内陆方向(即向西)伸出3个NEE向线性火山—沉积盆地带, 这可能代表了中国东南地区3个大型岩石圈尺度的不连续, 在那里分布了3个以火山—沉积活动为主的凹陷带, 并对应形成3个成矿带及数个大型 Cu-Au(Fe, S)矿集区, 即长江中下游、德兴、永安—梅县—会昌。3个成矿带内以发育幔源和幔壳混合型火成岩类, 大量新生的地幔物质的注入陆壳并参与了燕山期岩浆-成矿作用; 而凹陷带两侧的隆起区内很少或无火山—沉积盆地发育, 且对应的是中深成壳源花岗岩套, 地幔物质贡献较少, 与盆地不同, 那里很少或无 Cu 矿床, 主要为与 Au,

Ag, Pb, Zn, W, Sn 矿床有关的成矿作用, 可能指示隆起区上与岩浆-成矿作用有关的构造主要形成于壳内的, 而不是达到地幔深度的岩石圈尺度的不连续, 其岩浆-流体-成矿物质可能主要来自再活化的陆壳内部。

关于岩石圈尺度不连续与超大型矿床形成与就位关系, 国内外一些地质学家相继对此进行了理论阐述<sup>[2,4-6]</sup>。本文选择中国东南地区3个岩石圈尺度不连续之一的长江中下游地区(安徽沿江部分)燕山期大规模岩浆与成矿作用为例对此作简要讨论。安徽沿江地区是长江中下游成矿带的主体部分, 那里分布有著名的铜陵铜金(硫)矿集区、庐枞铁铜(金)矿集区、宁芜铁(硫)矿集区以及安庆铜铁矿等。

## 1 安徽沿江地区火成岩岩石组合

长江中下游凹陷带地处大别山隆起带和江南隆起带之间, 具有“两隆夹一凹”的构造格局, 安徽沿江地区处于长江中下游凹陷带的中段, 也是其主体部分。

关于长江中下游地区火成岩的研究具有悠久的历史, 各类成果广泛见于各种文献, 而最新成果主要

收稿日期: 2003-04-30; 修订日期: 2003-06-04

基金项目: 国土资源部“十五”重点专项“大型矿集区深部精细结构及含矿信息”(20010103); 科学技术部国际合作项目(2001CB711002); 国土资源大调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价”(K1.4-2-2)和“1:25万安庆幅区域地质调查”(20011300009)项目联合资助

作者简介: 杜建国(1962—), 男, 博士, 教授级高工, 主要从事区域成矿分析、岩浆与成矿研究。E-mail: aags\_djg@mail.hfah.cn

体现在近十几年的工作中。毛建仁等(1990)将区内火成岩分为“长江系列”、大龙山式、“江南系列”、庙西式、苏州式等5种成因类型或式<sup>[7]</sup>,并认为“长江系列”、大龙山式成岩物质来源为上地幔,江南系列和庙西式、苏州式成岩物源分别来自下地壳和亏损的下地壳。常印佛等(1991)将区内燕山期分为同熔型和陆壳改造型两个基本的成因系列<sup>[8]</sup>,同熔型系列中分为扬子式和江南式两类,扬子式同熔型系列中尚包括两个成岩序列,第一成岩序列,为中基性—中性—中酸性—碱性—(酸性)成岩演变序列,主要与铜矿有关;第二成岩序列为基性—中基性—中性—中酸性—酸性—(碱性)成岩演变序列,主要与铁(硫)矿有关。李文达等(1998)将安徽沿江地区中生代火成岩分为中下扬子区(A区)(包括庐枞、铜陵、宁芜地区)、滁县—苏锡区(B区)(包括滁县、苏州、无锡一线的江北地区)、南扬子区(C区)(包括皖南、浙江、赣东北地区)<sup>[9]</sup>。邢凤鸣(1999)从区内火成岩的成因、组合及空间分布规律归纳为“夹心饼”,其内带(主带)即长江中下游岩浆岩成矿带,包括庐枞、铜陵、宁芜地区等,火成岩类型较复杂,主要岩石系列包括高钾钙碱性系列、橄榄安粗岩系列基性—酸性火山—侵入岩及碱性系列火山岩;内带南北两侧分别称为北外带和南外带,主要由钙碱性系列中酸性侵入岩组成;在内带的南北边缘叠加两条A型花岗岩带<sup>[10]</sup>。吴言昌(1999)根据沿江构造—岩浆岩带形成的地质构造背景<sup>[11]</sup>,将沿江构造—岩浆岩带分为主(亚)带、北(亚)带和南(亚)带。从前人就岩浆—成矿的分区研究结果可见,区内的岩浆—成矿作用在主(亚)带及北(亚)带、南(亚)带均存在一定差别。本文便于讨论,将安徽沿江中生代构造—岩浆—成矿带仍分为北、主、南3个带(图1),各带所出现的火成岩岩石构造组合见表1。

安徽沿江地区燕山期火成岩与两侧的隆起区相比具有自身的特色,火山—侵入岩空间分布主要受构造控制,形成火成岩岩石类型繁多,中—小型岩体众多,其中,出露面积大于0.2 km<sup>2</sup>的岩体近300个,此外尚有庐枞、宁芜、繁昌等大型火山—沉积盆地。火山喷出岩主要分布在盆地,呈北东向和近东西向展布,火山喷发中心位于北东向和近东西大断裂交会部位,那里也是大型铁矿矿集区出现位置。中小型侵入岩分布于凹陷带中相对隆起区或隆凹过渡部位,与之相关的为铜金矿,而大型深成侵入体则出露于凹陷带外侧的隆起区内,矿化也相对较弱。沿江地区火山—

侵入岩具有同源演化特征,火山—侵入岩的地球化学基本可以对比,但不同地区火山—侵入活动具有自身

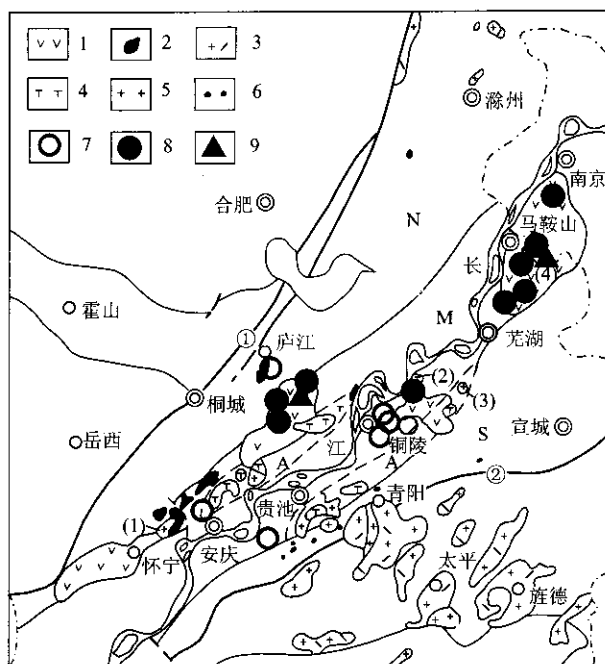


图1 安徽沿江地区中生代岩浆岩分布图  
(据邢凤鸣等,1999 略作修改)

Fig. 1 The locations of the Mesozoic magmatic rock belts in Anhui Province

① 郟城—庐江断裂带 ② 阳新—常州断裂。

岩浆岩带 N—北带 M—主带 S—南带 A—A型花岗岩带。

1—火山岩 2—正长闪长岩(石英闪长岩) 3—花岗闪长岩;

4—正长岩,石英正长岩 5—花岗岩 6—花岗闪长斑岩;

7—铜矿 8—铁矿 9—硫铁矿。

岩体(1)洪镇(2)滨江(3)浮山(4)霍里

特点。庐枞、宁芜两个火山岩盆地火山活动主要受北东—东西向断裂构造控制,火山地层—构造呈北东—东西向分布,盆地内火山活动分为4个旋回,火山岩主体属橄榄安粗岩系列,缺少中钾钙碱性系列火成岩伴生。繁昌火山盆地火山活动分为3个旋回,火山岩具有介于高钾钙碱性系列和橄榄安粗岩系列的特点。吴利仁等(1980)曾将庐枞、宁芜盆地的火山岩划为碱性系列<sup>[12]</sup>,但是深入地研究证实火山岩主体部分应属橄榄安粗岩系列,只是2个火山岩盆地晚期的浮山组和娘娘山组属碱性系列火山岩,在繁昌、贵池的局部地区见有由碱性系列火山岩组成的“双峰式火山岩”<sup>[10,13]</sup>。与碱性岩系列火山岩对应出现的富碱侵入岩(A型花岗岩),分布于主带与南、北带的结合部位,并侵入于南、北带的内部,为一套石英正长岩—正长岩—碱长花岗岩组合,毛建仁(1990)、邢凤鸣(1999)认为这套碱性岩、富碱侵入岩组合是区内岩浆演化晚期结晶分异的产

表 1 安徽沿江地区燕山期火成岩组合简表

Table 1 Igneous rocks association in area along Yangtze River of Anhui in Yanshanian

时代	岩石	北带	主 带			南带
			庐枞	贵池—铜陵—繁昌	宁芜	
	火山岩		上部:碱性玄武岩-玄武安粗岩-响岩组合 下部:安粗岩-粗安岩-粗面岩组合	繁昌、贵池地区:碱性玄武岩-流纹岩组合 安粗岩-粗安岩-粗面岩组合	上部:假白榴石、蓝方石响岩组合 下部:玄武安山岩-玄武粗安岩-粗面岩组合	
K <sub>1</sub>	侵入岩石	石英正长岩-正长岩-碱长花岗岩组合;二长花岗岩-花岗岩组合		铜陵地区:碱长辉长岩-碱长辉长闪长岩-辉石二长闪长岩组合 贵池地区:石英正长岩-正长岩-碱长花岗岩组合;二长花岗岩-花岗岩组合	辉长岩-辉长闪长(玢)岩-闪长(玢)岩-霓辉正长岩组合,花岗岩	二长花岗岩-花岗岩组合
J <sub>3</sub>	侵入岩	辉石闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩组合		铜陵地区:石英闪长岩-花岗闪长岩-石英二长岩-闪长岩组合		花岗闪长岩-花岗闪长斑岩

物<sup>[7,10]</sup>。邓晋福等(1992)提出宁芜盆地娘娘山组碱性岩系列与早期的橄榄安粗岩系列火山岩是2种不同的母岩浆形成<sup>[14]</sup>。笔者也认为这套碱性火成岩(包括碱性系列火山岩)与橄榄安粗岩系列不同,属独立的岩石系列,具有特殊的地质意义,它是区域地球动力学背景发生转换的重要火成岩记录。

综合前人对火成岩岩石学和年代学研究成果,沿江及相邻地区火成岩的起始时间有自南东向北西出现自老变新的趋势,赣东北地区火成岩形成于182~152 Ma<sup>[15]</sup>,江南隆起区内最早出现中深成花岗闪长岩形成年龄在137~140 Ma,而铜陵矿集区的小型侵入体年龄多在122~137 Ma<sup>[16]</sup>,庐枞、宁芜火山-侵入岩的同位素年龄集中于135~125 Ma、122~105 Ma两个区间<sup>[10]</sup>;A型花岗岩的同位素年龄为125~90 Ma。各个地区虽都有较晚的火成岩活动叠加,但是这种趋势一直逾大别—桐柏隆起区直至其北坡的信阳—桐柏一带,那里尚有早白垩世晚期的钙碱性岩浆活动<sup>[17]</sup>。

2 岩石圈尺度不连续及再活化的确定标志

岩石圈尺度不连续是对大型—超大型矿床或矿集区具有重要控制作用的聚矿构造。大型—超大型矿床主要产于古陆边缘带、裂谷带、板块俯冲带(碰撞带)、剪切带等大型构造带之内或大型构造的节点中<sup>[4]</sup>,而这些大型构造通常构成了大区域的岩石圈尺度不连续<sup>[5]</sup>。Kutina(1991)提出,矿床群集于扎根

于地幔的区域不连续与克拉通边缘及其邻近活动带的横向交切地区,它们是造山运动期间,热和岩浆上升以及金属富集的有利通道<sup>[6]</sup>。对于鉴别由古陆边缘、裂谷带、碰撞带等组成的古岩石圈尺度不连续的地质标志和方法较多,而如何确定隐伏的古岩石圈不连续尚存在一定困难,但是利用岩石学、成矿作用、地球物理、地球化学等多学科相互约束、相互配合的综合研究方法使我们重新认识古岩石圈尺度不连续成为可能。

安徽沿江地区是由南华纪—中三叠世稳定盖层覆盖的地区,盖层之下的构造面貌尚难被准确地勾勒,随着地球物理、地球化学研究理论和方法技术的提高,那里存在一深部岩石圈缝合带的观点已相继被一些地质学家所提出<sup>[18~21]</sup>。Li(1994)根据地球物理场变化,认为华北与扬子陆块的深部缝合带应位于南京—镇江—线,并提出了俯冲陆块的上、下地壳发生了拆离(detachment)的构造模型<sup>[18]</sup>。Chung(1999)根据苏北新生代玄武岩同位素地球化学研究<sup>[19]</sup>,提出苏北地区岩石圈地幔属华北型,而非扬子型。李曙光(2001)在综合前人观点并结合区内中、新生代火成岩同位素地球化学资料的基础上,进一步明确的提出沿长江一线是华北与扬子陆块的深部缝合带位置<sup>[20]</sup>。邓晋福(2001)根据江南、江北及沿江地区变质基底类型的变化,则认为沿江可能是一古元古宙造山带,并指出长江中下游成矿带的聚矿构造实质上是一种岩石圈尺度的不连续,燕山期大规模的岩浆—成矿活动就是代表了古岩石圈尺度不连续的再活化<sup>[21]</sup>。安徽沿江是岩石圈尺度的大型构造带的轮廓

已逐渐被人们所揭示,从以下几点进一步论证安徽沿江地区是一古岩石圈尺度不连续再活化的构造—岩浆成矿带。

2.1 基底类型

安徽沿江地区基底类型、分区及其对成岩成矿的控制作用,虽然早已成为人们所关注的问题。常印佛(1991)、常印佛和董树文(1998)等提出长江中下游地区存在“一盖多底”的观点已逐步被愈来愈多的地质成果所证实<sup>[8,22]</sup>。在江北、沿江地区,出露于地表的基底变质岩,零星地分布于安徽怀宁董岭、江苏埭城,近年在安徽嘉山南黄张八岭浅变质岩系之下的结晶片麻岩被证实属新太古代形成<sup>[23]</sup>,从这些变质岩中获得的同位素年龄资料都支持下扬子地区存在古元古代和太古宙形成的变质结晶基底。在江南隆起区地表出露的为中—新元古代的变质褶皱基底,但从同位素示踪结果,也支持其深部存在古元古代—太古宙变质基底的信息<sup>[24]</sup>。显然,在安徽沿江地区存在较典型的双层结构的变质基底。但是在组成地壳的结构上,二者存在较大差异。江北基底浅变质岩较薄,深变质岩较厚;相反,在江南基底中,浅变质岩系相对较厚,深变质岩系埋深较大。这已为地表观测结果和地球物理资料所证实<sup>[25]</sup>。由此可以推测,安徽江南、江北型存在两种不同类型的基底,二者的界线大致位于长江干流位置。

通过对区内花岗岩长石铅同位素示踪资料进行整理可以看出<sup>[10,26]</sup>,安徽沿江地区从北向南铅同位素比值有逐渐增高的趋势,北带花岗岩长石铅同位素

中<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb、<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值相对较低,同位素特征与大别区相似,与主带和江南区有较大的差别,反映北带成岩物源中有亏损的古老变质陆壳成分的加入;而主带和南带的花岗岩长石铅同位素<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb、<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值相对较高,与江南区铅同位素特征相似(表2),显示有较多的“新铅”(幔源组分)加入。在Nd同位素模式年龄中,也反映不同地区成岩物源和陆壳生长有较大差别<sup>[10,27,28]</sup>。江北地区Nd模式年龄变化于1.21~2.97Ga之间,其时代对应于中元古代—太古宙,这与区内发现中元古代—太古宙双层基底的认识一致。在江南隆起区,Nd模式年龄集中1.32~2.36Ga(集中于1.35~1.75Ga),为中—古元古代年龄,这与地表出露的变质岩年龄相当,同时也预示其深部尚存在未出露的古元古代基底。沿江地区Nd模式年龄较复杂,主带的庐枞、宁芜地区Nd模式年龄相对较年轻,为新元古代—中元古代年龄(0.81~1.74Ga)(平均1.29Ga),且以中元古代年龄为主,仅庐枞的巴家滩、霍里花岗岩的Nd模式年龄较高,分别达1.56Ga、1.74Ga。铜陵地区岩浆岩二阶段钨模式年龄为1.45~2.27Ga,主要集中于1.45~1.67Ga和1.86~2.27Ga两个区间,预示该区可能存在中—古元古代变质岩组成的双层基底,这与铅同位素示踪的结果基本一致。南带与江南隆起的Nd模式年龄一致。在Nd-Sr同位素体系中, $\epsilon(\text{Nd } t)$ 、 $f(\text{Sr})$ 均自北向南有增高趋势,北带与大别隆起相似,主带具有介于大别隆起和江南隆起之间的特

表2 安徽沿江及邻区中生代火成岩同位素组成

Table 2 Isotopic composition of Mesozoic igneous rocks from area along Yangtze River and its adjacent region, Anhui Province

地区	Nd-Sr			Pb-Pb			参考 文献
	$t_{\text{DMII}}/\text{Ga}$	$\epsilon(\text{Nd } t)$	$f(\text{Sr})$	$\mathcal{N}^{206}\text{Pb}/\mathcal{N}^{204}\text{Pb}$	$\mathcal{N}^{207}\text{Pb}/\mathcal{N}^{204}\text{Pb}$	$\mathcal{N}^{208}\text{Pb}/\mathcal{N}^{204}\text{Pb}$	
大别隆起	1.21~2.84	-5.8~-26.2	0.707 0~0.706 4	16.605	15.487	36.861	[27,28]
北带	1.25~1.89	-3.5~-15.5	0.705 5~0.706 5	16.62~17.846 (17.247)	15.365~15.907 (16.251)	36.82~39.489 (37.439)	[10,27,28]
庐枞	1.1~1.56	-2.2~-7.7	0.705 3~0.706 6	17.813~18.775 (18.146)	15.20~15.567 (15.518)	38.07~39.112 (38.341)	
主带	1.45~2.27	-6.3~-16.6	0.706 0~0.710 1	17.512~18.78 (18.067)	15.411~15.60 (15.541)	37.281~39.48 (38.321)	
铜陵	1.45~2.27	-6.3~-16.6	0.706 0~0.710 1	17.512~18.78 (18.067)	15.411~15.60 (15.541)	37.281~39.48 (38.321)	
宁芜	0.81~1.74	1.4~-10.2	0.7046 5~0.707 7	18.073~18.83 (18.355)	15.473~15.591 (15.581)	37.951~38.87 (38.381)	
南带	1.46~1.57	-5.2~-8.0	0.708 1~0.710 3	18.509~20.704 (19.062)	15.541~17.355 (16.251)	38.002~40.357 (39.147)	[10,27,28]
江南隆起	1.32~2.36	-2~-10.6	0.708 0~0.710 4	18.188~18.725 (18.31)	15.478~15.659 (15.591)	38.195~38.876 (38.539)	

点,南带基本与江南隆起相同,这也暗示沿江地区可能存在一江北和江南型两类基底的缝合带。

## 2.2 地球物理依据

安徽沿江中生代火山-沉积盆地区总体处于地幔隆起区,对应地壳较薄的位置,印证了地表构造地幔形态与深部莫霍面的起伏呈镜像反映的事实。陈沪生(1999)利用深部地球物理探测资料研究结果认为<sup>[25]</sup>,在大别隆起带与江南隆起带之间存在一狭窄的线状减薄带,在这一减薄带中沿南昌—铜陵—南京—盐城一线存在类似于星子杂岩的刚性陆核,它属扬子中央陆核的地表出露部分,该区较两侧的隆起区莫霍面埋深明显变浅,二者相差5~6 km;在岩石圈地幔厚度上,该区也是一减薄带,厚度较两侧相差50~50 km。特别值得注意的是,陈沪生(1999)利用电性资料也得出扬子区存在双层结构基底,高阻深变质岩系广泛分布全区,而低阻浅变质岩系受长江断裂带控制,在江北地区高阻变质岩系呈隆-凹相间北东向展布,高阻变质岩系埋深较浅,低阻变质岩系基本被剥蚀,沿江江南低阻变质岩埋深较大,向南逐渐变浅直至出露地表。区内高阻变质岩系厚度变化与下地壳呈镜像对称,高、低阻变质岩系两者之间宏观上呈镜像对称。综上所述,安徽沿江地区不仅在基底类型、地壳结构上存在江南、江北区的差别,同样岩石圈结构特征上也显示沿江中生代盆地发育区为一岩石圈减薄带。

## 2.3 古岩石圈尺度不连续的再活化

安徽沿江地区燕山期特殊的火成岩岩石组合和演化特征是岩石圈尺度不连续再活化最为直接的标志。火成岩的类型可以直接反映岩浆的物质来源,玄武岩岩浆直接起源于上地幔,安山质岩浆是壳幔发生强烈相互作用的结果<sup>[29]</sup>。安徽沿江地区广泛出现的橄榄安粗岩系、高钾钙碱性系列火成岩均是来自地幔或是壳幔强烈相互作用的产物,它表征这些火成岩是地幔物质沿岩石圈不连续直接进入地壳或地表的结果。同时,火成岩岩石构造组合已成为反演大地构造环境的重要依据,陆内火成岩岩石构造组合所表征的构造环境广泛见于国内外的文献<sup>[29~31]</sup>。沿江地区燕山期火成岩岩石组合相当于与俯冲作用有关的大陆边缘弧靠内陆的一侧的产物<sup>[9,14]</sup>,火成岩所包括的高钾钙碱性系列、橄榄安粗岩系列和碱性岩系列火成岩3个火成岩系列在空间上密切伴生,其中出现的只是时间演化存在先后关系,但它们蕴含有特殊的构造意义。在大陆边缘弧火成岩中,随时间推移,向大

陆内依次出现拉斑玄武岩系列、钙碱性系列、橄榄安粗岩系列火成岩<sup>[29]</sup>,因此橄榄安粗岩系列在反演火成岩形成构造背景中具有重要地位。王德滋(1991)提出橄榄安粗岩系列形成于岛弧或大陆边缘弧和大陆内侧或大陆内部的深大断裂带两种构造环境的观点<sup>[13]</sup>,并认为本区橄榄安粗岩系列属于中国东部的“橄榄安粗岩省”的一部分,其形成构造环境属于大陆边缘内侧的断裂活动带。同时,他在综合实验资料和橄榄安粗岩系列火成岩的产出特征,认为其形成的必须条件有二:一是玄武岩浆在35 km左右的较深部位、在1 GPa左右的压力下,经长时间的分离结晶;二有岩石圈断裂构造深及软流圈导出这种高度演化的岩浆。邢凤鸣(1999)研究也认为区内橄榄安粗岩系列形成于大陆深断裂或陆内裂谷环境<sup>[10]</sup>。邓晋福(1996)提出橄榄安粗岩系列既可形成于具有岛弧的大陆边缘环境,也可形成于陆内造山带,陆内造山橄榄安粗岩系列是造山岩石圈与外侧克拉通岩石圈会聚的产物<sup>[30]</sup>。鉴于本区燕山期地处大陆边缘靠大陆内侧的事实和橄榄安粗岩系列岩石出现时的空间位置,结合区内中生代沉积盆地的演化记录,笔者认为这套特殊火成岩系列形成于陆壳挤压加厚、岩石圈地幔局部上隆(发生底侵作用)的构造环境,橄榄安粗岩系列火成岩的分布区对应为地幔上隆过程中、其顶部出现的大型破裂带部位,这些大型破裂带、岩浆上侵通道最易出现于先存的大型古构造带之中。从区内稍晚出现的表征岩石圈根崩塌或大规模岩石圈拆沉的碱性系列火山岩、A型花岗岩的分布范围也证明了这一点。总之,区内在经历南华纪—中三叠世(长达600 Ma)的稳定沉积之后,到燕山期的大规模强烈火山活动,反映了燕山期区内岩石圈结构发生了巨变,火成岩岩石构造组合已成为中国东部大陆内部这次构造环境的重要地质记录。

在Nd-Sr同位素体系研究中,显示铜陵、庐枞、宁芜3个地区燕山期高钾钙碱性系列、橄榄安粗岩系列火成岩的壳幔源物质组成有一定的差异,庐枞、宁芜地区橄榄安粗岩系列物质来源主要来自亏损的地幔端员(DMM),而铜陵地区高钾钙碱性系列火成岩既有可能形成于亏损地幔端员(DMM)和下地壳(LC)的混合,也有可能形成于软流圈地幔与富集地幔(EM II)的混合。由基性岩限定地幔端员类型,安徽沿江地区正处于两种地幔类型的结合部位。笔者利用前人资料和二源(亏损地幔与下地壳)混合模

表3 安徽沿江及邻区中—新生代幔源基性岩浆岩 Nd-Sr 同位素组成  
Table 3 Nd-Sr isotopic composition of Mesozoic and Cenozoic igneous rocks of  
mantle-derived from area along Yangtze River and its adjacent region

地区	中生代					新生代		参考 文献
	$\epsilon(\text{Nd } t)$	$N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$	$N(\text{Sr})$	$N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd})$	$\epsilon(\text{Nd } t)$	$N(^{87}\text{Sr})/$ $N(^{86}\text{Sr})$	$N(^{143}\text{Nd})/$ $N(^{144}\text{Nd})$	
大别 隆起	-2.3 ~ -19.1	0.706 05 ~ 0.707 99	0.706 071 ~ 0.708 930	0.511 588 ~ 0.511 868				[ 20 ]
江北(皖 东—苏北)	-15.4 ~ -13.9	0.705 595 ~ 0.705 994	0.704 479 ~ 0.704 368	0.511 699 ~ 0.512 135	-3.2 ~ -4.6	0.703 3 ~ 0.703 5	0.513 0	[ 10 ,32 ]
主带	+1.4 ~ -13.9	0.706 58 ~ 0.717 67	0.705 3 ~ 0.709 22	0.5119 61 ~ 0.512 221	+2.7 ~ + 5.1	0.703 38 ~ 0.704 67	0.512 4 ~ 0.512 748	[ 10 ,27 ,28 ]
江南隆起	+3 ~ -9.2	0.706 49 ~ 0.709 42	0.704 03 ~ 0.708 86	0.512 072 ~ 0.512 661	+7.4	0.704 4 ~ 0.708 2	0.512 4 ~ 0.512 8	[ 9 ,10 ,31 ,33 ]

式对安徽沿江地区火成岩壳幔混合作用过程中的物质比例进行简单的估算,铜陵地区岩浆岩中幔源物质约 56% ~ 73% ,宁芜盆地的阳塘湖、蒋庙则达 89% 左右。这与邢凤鸣( 1999 )利用 AFC 模式估算的壳幔物质比例完全吻合。由此也证明新生幔源物质的注入是成矿的主要物质来源。

2.4 中—新生代地幔类型的变化

对中、新生代基性火成岩的 Nd-Sr 同位素体系资料总结表明<sup>[ 10 ,27 ,28 ,32 ,33 ]</sup>,安徽沿江及邻区中、新生代岩石圈地幔发生了显著的变化。从表 3 可见,大别山、江北中生代总体具有富集地幔的特点,可能代表了“ 华北型地幔 ”,沿江地区主带、江南隆起区具有亏损地幔与富集地幔混合的性质,则可能代表了“ 扬子型地幔 ”。如果沿江、江南区中生代的富集地幔部分代表了大陆岩石圈碎块的残余,即有可能那里的亏损岩石圈地幔与陆壳在地幔深度即发生了强烈相互作用使地幔性质发生了改变,抑或是软流圈地幔上涌( DMM )至岩石圈上地幔( EM II )发生了混合作用。在新生代,安徽沿江及江南地区则具有亏损地幔端员性质( DMM ),地幔组成基本一致,它反映岩石圈地幔在新生代达到了相对平衡和均一化。虽然,在新生代“ 华北型 ”与“ 扬子型 ”地幔的 Nd-Sr 组成虽然尚存在一定的差别,但总体已经开始向亏损地幔方向演化并具有亏损地幔性质。吴福元( 1999 )总结中国东部新生代玄武岩包体 Nd-Sr 同位素资料曾提出<sup>[ 31 ]</sup> 现今岩石圈地幔具有强烈亏损性质、系对流地幔,这与岩石圈地幔物质在中生代的大量溢出、软流圈地幔上涌有关,它也可能是岩石圈发生减薄的机制之一。

3 火成岩成矿专属性

成矿元素的地球化学性质决定了在它们在壳幔相互作用中出现分异、富集的双重特性,岩浆-成矿在不同大地构造环境中表现出的明显分带性、专属性,表现在岩浆-成矿受一定的构造作用控制,更重要的是受物源成分的制约,分异、富集只是源区物质最终发生变化的结果。

在岩石圈尺度不连续再活化时火成岩形成就位过程中,相伴出现的与火成岩活动有关的金属矿产也具有特征的成矿专属性,虽然这种成矿专属性所表现的共性具有普遍性,局部地区火成岩成矿元素的富集,即是岩浆成矿专属性的特殊体现。常印佛等( 1991 )指出长江中下游地区燕山期扬子式同熔型系列中第一成岩序列成铜( 金 ),第二成岩序列成铁( 硫 )的成矿专属性规律<sup>[ 8 ]</sup>。实际上是沿江地区扬子式同熔型系列中两种成岩序列分别代表了高钾钙碱性系列和橄榄安粗岩系列火成岩,二者在成岩幔源物质的比例和岩浆演化存在差别,因而反映出成岩成矿系列及矿种组合也有较大的不同。根据区内岩浆-成矿特点,可以初步将区内火成岩成矿专属性概括为:在隆起区和凹陷区过渡区,以壳幔混合源( 以幔源物质为主 )的高钾钙碱性系列火成岩对应形成 Cu ,Au 矿床。在凹陷区,而以幔源物质为主( 少量壳源物质 )的橄榄安粗岩系列火成岩对应形成 Fe ,S 矿床。在隆起区,以壳源物质为主( 少量幔源物质 )的钙碱性系列火成岩则主要形成 Ag ,Pb ,Zn ,W ,Mo 等矿产。因此,安徽沿江凹陷带是一由古岩石圈不连续再活化的大型构造-岩浆岩带,它所控制出现为一套幔源为

主的火成岩岩石组合,对应形成的为一套亲幔源物质的 Cu、Fe、S、Au 等矿产组合。

4 火成岩深部过程与成矿

中国东部中生代大规模岩浆-成矿活动与岩石圈巨减薄事件相对应,这次事件一直认为是由库拉-太平洋板块向欧亚大陆俯冲的结果<sup>[34]</sup>,在中国东部宽达上千 km 的岩浆岩带中,出现北东东向与俯冲带呈大角度斜交的 3 个火山-沉积盆地十分引人注目。前文已初步讨论了长江中下游凹陷带形成于古岩石圈尺度不连续燕山期再活化的环境中,事实上德兴、永安-梅县-会昌火山-盆地也分别形成于古缝合带、裂谷带基础上的再活化,与长江中下游拗陷带具有相似或相同的机理。

简要归纳了安徽沿江地区燕山期构造-岩浆-成矿事件序列(表 4),安徽沿江地区岩石圈尺度不连续燕山期再活化受中国东部滨太平洋构造域统一的地球动力学背景所制约,其发生的深部过程可以归为陆壳挤压收缩加厚→玄武质岩浆底侵→岩石圈拆沉减薄的变化过程,与此相对应的是深部壳-幔相互作用的变化,陆壳挤压加厚导致下地壳底部加热出现部分熔融或重熔,在隆起区(厚壳部分)形成一套壳源物质为主的钙碱性系列火成岩,地幔注入物质相对较少,在隆-拗过渡区形成壳幔混合型(同熔型高钾钙碱性系列)火成岩;在陆壳加厚到具有双倍陆壳时,楔形地幔上侵,在壳底或地幔隆起带中形成玄武质火成岩(橄榄安粗岩系列)。

表 4 安徽沿江地区燕山期构造-岩浆-成矿事件序列表

Table 4 Tectonic-magmatic-metallogenic events of Yanshan stage in area along Yangtze River, Anhui Province

时代	构造-岩浆事件	成矿事件
> 137 Ma	高钾钙碱性系列侵入岩 (陆壳收缩加厚)	夕卡岩型铜(铁)矿床、斑岩型铜(金)矿床
137 ~ 130 Ma	(宁静期、转换机制)	热液型银多金属矿床
130 ~ 125 Ma	橄榄安粗岩系列火山-侵入岩 (底侵岩浆侵位、岩石圈拆沉、减薄)	玢岩型铁矿床、夕卡岩型铁铜矿床、热液型多金属矿床
< 125 Ma	碱性岩系列火山岩、A 型花岗岩 (岩石圈大规模拆沉)	

岩石圈地幔物质大量的溢出,软流圈地幔物质的注入,这可能是导致岩石圈减薄的机制之一。在伴随

深部过程的岩浆-成矿事件中,也反映出壳幔物质变化过程,在隆起区,火成岩的成岩物源主要来自加厚陆壳物质的部分熔融(或重熔),注入的幔源物质较少,形成一套亲壳源成矿元素的矿产,相反在凹陷区,火成岩有大量新生幔源物质的加入,形成的矿产主要为亲幔源元素组合。

5 结论

综合前文所述,笔者就安徽沿江地区燕山期成岩成矿背景可得出以下几点结论:

(1)长江中下游 Cu-Fe 成矿带是一“古岩石圈尺度不连续”经历了燕山期“再活化”形成的构造-岩浆-成矿带,其主要控岩控矿构造实质上是“岩石圈尺度不连续”。

(2)安徽沿江地区南、北带变质基底存在显著的差别,而主带大致与两类基底缝合带位置吻合,它表征了“古岩石圈尺度不连续”的存在。燕山期火成岩岩石组合、火成岩成矿的矿种组合研究证实区内构造-岩浆-成矿带是有大量对流地幔物质注入的、通达地幔的岩石圈尺度不连续,它也是古岩石圈尺度不连续燕山期“再活化”的显著标志。

(3)从区内中、新生代地幔类型总体具有从中生代富集地幔(EM)向新生代亏损地幔(DM)方向演化的特征分析,反映了在滨太平洋构造域的影响下,中生代岩石圈地幔物质的溢出、软流圈地幔上涌,不仅反映了岩石圈/软流圈地幔发生了灾变,这也可能是区内燕山期大规模成矿作用和岩石圈巨减薄的深部机制之一。

(4)安徽沿江地区晚侏罗世高钾钙碱性岩石系列、早白垩世橄榄安粗岩系列两类岩石组合是形成于陆内挤压加厚的构造背景,而早白垩世晚期出现的碱性岩系列“双峰式”火成岩组合及 A 型花岗岩表征了区内进入了强烈伸展减薄的构造环境。

(5)区内成岩成矿背景受浅表构造环境和深部过程的统一机制所制约,幔源物质的贡献决定了火成岩岩石系列及其有关的矿种组合。在火山-沉积盆地(拗陷区)X 橄榄安粗岩系列—Fe、S 组合、隆-拗过渡区(高钾钙碱性系列—Cu、Au 组合)、隆起区(高钾钙碱性系列—Ag、Pb、Zn、W、Mo 组合)3 类次级构造背景下,火成岩岩石系列及其对应的矿种组合均存在明显的差别,它可作为区内今后成矿预测的主要标志。

本文在编写过程中得益于常印佛院士的启发和对全文的修改意见,陈江峰教授提供部分同位素测试数据,在此深表感谢!

## References [参考文献]:

- [ 1 ] DENG Jinfu, MO Xuanxue, ZHAO Hailing, et al. Lithosphere root/de-rooting and activation of the East China continent[ J ]. *Geoscience*, 1994, 8( 3 ) 349-356( in Chinese ). [ 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆活化[ J ]. 现代地质, 1994, 8( 3 ) 349-356. ]
- [ 2 ] DENG Jinfu, MO Xuanxue, ZHAO Hailing, et al. Catastrophe of the Yanshanian lithosphere and asthenosphere in the East China and the ore-forming environment[ J ]. *Mineral Deposits*, 1999, 18( 4 ) 309-315( in Chinese ). [ 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 岩石圈/软流圈系统的大灾变与成矿环境[ J ]. 矿床地质, 1999, 18( 4 ) 309-315. ]
- [ 3 ] WU Fuyuan, SUN Deyou. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in Eastern China[ J ]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 1999, 29( 4 ) 314-318( in Chinese ). [ 吴福元, 孙得有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[ J ]. 长春科技大学学报, 1999, 29( 4 ) 314-318. ]
- [ 4 ] ZHAI Yusheng, ZHANG Hu, SONG Honglin, et al. *The Huge Structure and Supper-large Deposits*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1-180( in Chinese ). [ 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造与超大型矿床[ M ]. 北京: 地质出版社, 1997. 1-180. ]
- [ 5 ] TU Guangchi. On some specialization of metallogenic material, geological settings, ore-forming mechanics of unconventional super-large deposits[ J ]. *Science in China( Series D )*, 1998, 28( Suppl ) 1-6( in Chinese ). [ 涂光炽. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些独特性[ J ]. 中国科学( D ), 1998, 28( 增刊 ) 1-6. ]
- [ 6 ] KUTINA J. Regional mantle-rooted discontinuities extending transversely to the margins of cratons and adjacent mobile belt: Metallogenic implication[ J ]. *Glob Tect Metall*, 1995, 5( 1-2 ) 7-18.
- [ 7 ] MAO Jianren, SU Yuxiang, CHEN Sanyuan, et al. *The Intermediate-Acid Intrusive Rocks and Metallization in the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 1-190( in Chinese ). [ 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 等. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[ M ]. 北京: 地质出版社, 1990. 1-190. ]
- [ 8 ] CHANG Yinfo, LIU Xiangpei, WU Yanchang. *The Copper-Iron Belt of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 1-238( in Chinese ). [ 常印佛, 刘湘培, 吴昌昌. 长江中下游铜铁矿带[ M ]. 北京: 地质出版社, 1991. 1-238. ]
- [ 9 ] LI Wenda, MAO Jianren, ZHU Yunhe, et al. *The Mesozoic Igneous Rocks and Mineral Deposits in Southeastern China*[ M ]. Beijing: Seismological Press, 1998. 1-159( in Chinese ). [ 李文达, 毛建仁, 朱云鹤, 等. 中国东南部中生代火成岩与矿床[ M ]. 北京: 地震出版社, 1998. 1-159. ]
- [ 10 ] XING Fengming, XU Xiang. *Yangtze Magmatic Belt and Metallogenesis*[ M ]. Hefei: Anhui People's Publishing House, 1999. 1-170( in Chinese ). [ 邢凤鸣, 徐祥. 安徽扬子岩岩浆带与成矿[ M ]. 合肥: 安徽人民出版社, 1999. 1-170. ]
- [ 11 ] WU Yanchang, CAO Fenyang, CHANG Yinfo. A preliminary study on the deep-seated structural-magmatic control over the metallogenic system around the Yangtze River in Anhui Province[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6( 2 ) 285-296( in Chinese ). [ 吴昌昌, 曹奋扬, 常印佛. 初论安徽沿江地区成矿系统的深部构造-岩浆控制[ J ]. 地学前缘, 1999, 6( 2 ) 285-296. ]
- [ 12 ] WU Liren, QI Jinying. *A Study on Petrology of Volcanic Rocks in Lower Reaches of Yangtze River*( No. 5 )[ M ]. Beijing: Science Press, 1985. 1-10( in Chinese ). [ 吴利仁, 齐进英. 长江下游中生代火山岩岩石学研究( 第五辑 )[ M ]. 北京: 科学出版社, 1985. 1-10. ]
- [ 13 ] WANG Dezi, ZHOU Jincheng, QIU Jiansheng. Present situation of the study on Shoshonite series[ J ]. *Journal of Nanjing University ( Earth Science )*, 1991, 3( 4 ) 321-328( in Chinese ). [ 王德滋, 周金城, 邱检生. 橄榄安粗岩系的研究现状[ J ]. 南京大学学报( 地球科学版 ), 1991, 3( 4 ) 321-328. ]
- [ 14 ] DENG Jingfu, YE Delong, ZHAO Hailing, et al. *Volcanism, Deep Internal Progresses and Basin Formation in the Lower Reaches of the Yangtze River*[ M ]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992. 1-184( in Chinese ). [ 邓晋福, 叶德隆, 赵海玲, 等. 下扬子地区火山作用、深部过程与盆地形成[ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 1-184. ]
- [ 15 ] YANG Minggui. *Ore-forming Regularite and Ore-searching Prediction of Luoxiao-Wuyi Uplift and Chenzhou-Shangrao Depression*[ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 1-115( in Chinese ). [ 杨明桂. 罗霄—武夷隆起及郴州—上饶拗陷成矿规律及预测[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998. 1-115. ]
- [ 16 ] ZHOU Taixi, CHEN Jiangfeng, ZHANG Xun, et al. Has the Indosinian magmatism occurred in Anhui Province[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 1988( 3 ) 63-73( in Chinese ). [ 周泰禧, 陈江峰, 张巽, 等. 安徽省印支期岩浆活动质疑[ J ]. 岩石学报, 1988( 3 ) 63-73. ]
- [ 17 ] DU Jianguo, ZHANG Peng. Mesozoic volcanic rocks in the northern part of Dabie orogenic belt[ J ]. *Geoscience*, 1999, 13( 1 ) 57-65( in Chinese ). [ 杜建国, 张鹏. 大别山北部的中生代火山岩[ J ]. 现代地质, 1999, 13( 1 ) 57-65. ]
- [ 18 ] LI Z X. Collision between the North and South China blocks: A crustal-detachment model for the suturing in the region east of the Tanlu fault[ J ]. *Geology*, 1994, 22 739-742.
- [ 19 ] CHUANG S L. Trace element and isotope characteristics of Cenozoic basalts around the Tanlu fault with implications for the eastern plate boundary between North and South China[ J ]. *The Jour of Geology*, 1999, 107 301-312.
- [ 20 ] LI Shuguang. Infrastructure of Mesozoic magmatic rocks and copper-iron metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze River

- reaches. [ J ]. *Geology of Anhui*, 2001, 11( 2 ):118-122( in Chinese ). [ 李曙光. 长江中下游中生代岩浆岩及铜铁成矿带的深部构造背景[ J ]. 安徽地质, 2001, 11( 2 ):118-122. ]
- [ 21 ] DENG Jinfu, Wu Zongxu. Lithospheric thinning event in the Lower Yangtze Craton and Cu-Fe metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze River Reaches[ J ]. *Geology of Anhui*, 2001, 11( 2 ):86-91( in Chinese ). [ 邓晋福, 吴宗絮. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游 Cu-Fe 成矿带[ J ]. 安徽地质, 2001, 11( 2 ):86-91. ]
- [ 22 ] CHANG Yinfo, DONG Shuwen, HUANG Dezhi, et al. On tectonics of " poly-basement with one cover " in Middle-Lower Yangtze Craton China[ J ]. *Volcanology and Mineral Resources*, 1996, 17( 1-2 ):1-15( in Chinese ). [ 常印佛, 董树文, 黄德志. 论中-下扬子" 一盖多底 " 格局与演化[ J ]. 火山地质与矿产, 1996, 17( 1-2 ):1-15. ]
- [ 23 ] TU Yinjiu, YANG Xiaoyong, ZHENG Yongfei, et al. U-Pb dating of zircon from gneiss at Nanhuang in East Anhui[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17( 1 ):157-160( in Chinese ). [ 涂荫玖, 杨晓勇, 郑永飞, 等. 皖东南片麻岩的锆石 U-Pb 年龄[ J ]. 岩石学报, 2001, 17( 1 ):157-160. ]
- [ 24 ] JIN Wenshan, ZHAO Fengqing, GAN Xiaochun, et al. Lithochemistry and metamorphism of Early Proterozoic Xingzi Group of Lu Shan Area, Jiangxi Province[ J ]. *Acta Petrologica Mineralogica*, 1996, 15( 1 ):1-9( in Chinese ). [ 金文山, 赵凤清, 甘晓春, 等. 江西庐山早元古代星子群变质作用和岩石地球化学特征[ J ]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15( 1 ):1-9. ]
- [ 25 ] CHENG Husheng, ZHANG Yonghong. *The Lithospheric Textural and Structural Features as Well as Oil and Gas Evaluation in the Lower Yangtze Area and Its Adjacent Region, China*[ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 1999. 1-286( in Chinese ). [ 陈沪生, 张永鸿. 下扬子及邻区岩石圈结构构造特征与油气资源评价[ M ]. 北京 : 地质出版社, 1999. 1-286. ]
- [ 26 ] ZHANG Ligang. *Block-Geology of Eastern Asia Lithosphere-Isotope Geochemistry and Dynamics of Upper Mantle, Basement and Granite*[ M ]. Beijing : Science Press, 1995. 1-252( in Chinese ). [ 张理刚. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学[ M ]. 北京 : 科学出版社, 1995. 1-252. ]
- [ 27 ] CHEN J F, YAN J, XIE Z, et al. Nd and Sr isotopic composition of igneous from the lower Yangtze region in eastern China : constraints on sources[ J ]. *Phys Chem Earth*, 2001, 26( 9-10 ):719-731.
- [ 28 ] CHEN J F, JAHN B M. Crustal evolution of southern China : Evidence from Nd and Sr isotopic compositions of rocks[ J ]. *Tectonophysics*, 1998, 284 :101-133.
- [ 29 ] CONDIE K C. *Plate Tectonics and Crustal Evolution*[ M ]. New York : Pergamon Press, 1982.
- [ 30 ] DENG Jinfu, MO Xuanxue, ZHAO Hailing, et al. *Continental Roots-Plume Tectonics of China—Key to the Continental Dynamics* [ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 1996, 1-110( in Chinese ). [ 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[ M ]. 北京 : 地质出版社, 1996. 1-110. ]
- [ 31 ] WANG Fangzheng, XIAO Long. A progress on igneous tectonic petrology study[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5( 4 ):245-250( in Chinese ). [ 王方正, 肖龙. 大地构造火成岩岩石学研究[ J ]. 地学前缘, 1998, 5( 4 ):245-250. ]
- [ 32 ] CHEN Daogong, ZHOU Haitao, YANG Jiedong, et al. The composition of Nd isotope from Cenozoic volcanic rocks and its significance in Shandong, Jiangsu, Anhui provinces[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 1990, 12 :925-927( in Chinese ). [ 陈道公, 周海涛, 杨杰东, 等. 鲁皖苏新生代火山岩的钕同位素组成及意义[ J ]. 科学通报, 1990, 12 :925-927. ]
- [ 33 ] LIAO Qun'an, WANG Xueming, XUE Chongsheng, et al. The characteristics of two kinds basalts in Cretaceous basin and their relations with the basin evolution[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15( 1 ):116-123( in Chinese ). [ 廖群安, 王学名, 薛重生, 等. 江西广丰白垩纪盆地中两类玄武岩特征及其与盆地演化关系[ J ]. 岩石学报, 1999, 15( 1 ):116-123. ]
- [ 34 ] WANG Dezi, ZHOU Xinmin, et al. *The Origin of Late-Mesozoic Granitic Volcanic-Intrusive Complex and Continental Crustal Evolution in Southeastern China*[ M ]. Beijing : Science Press, 2002. 1-295( in Chinese ). [ 王德滋, 周新民, 等. 中国东南部晚中生代花岗岩质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[ M ]. 北京 : 科学出版社, 2002. 1-295. ]

## PETROGENIC AND METALLOGENIC SETTINGS OF AREA ALONG YANGTZE RIVER IN YANSHANIAN , ANHUI PROVINCE

DU Jian-guo<sup>1 2</sup> ,DAI Sheng-qian<sup>1 2</sup> ,MO Xuan-xue<sup>1</sup> ,DENG Jing-fu<sup>1</sup> ,XU Wei<sup>2</sup>

( 1. *Faculty of Earth Science and Mineral Resources ,China University of Geoscience ,Beijing*  
100083 ,China 2. *Anhui Geological Survey ,Hefei 230001 ,China* )

**Abstract :** The area along Yangtze River of Anhui Province is the central segment of the iron-copper-metallogenesis belt of the Middle-Lower Yangtze River. The synthetical studies in this paper deal with the types and chronology of the metamorphic basement ,the data of geophysical and geochemical researches. It is proved that there is a basement suture zone of Proterozoic era in the area along Yangtze River metallogenic belt in Anhui Province , known as the “ old lithospheric discontinuities ”. The strong tectono-magma-metallogenesis in Yanshanian stage is the reactivation of the “ old lithosphere discontinuities ”. The character of igneous petrotectonic assemblage and deposit associations related with magmatism in Yanshanian stage also proved that it is a lithosphere scale discontinuity deep to the mantle and it is the major structure controlling the petrogenesis and metallogenesis in this area. The high-K calc-alkaline series igneous rocks which formed in the compressive thickened environment in Yanshanian stage and the parallelism Cu , Au association , the shoshonite series igneous rocks and the correspondent Fe , S association , directly indicate that the magmatic metallogenesis is controlled by crust-mantle interaction and the contribution of mantle material. In addition , this paper deals with the mantle types in Mesozoic and Cenozoic based on the Nd-Sr isotope tracer , and with the catastrophic events of lithosphere/asthenosphere in Mesozoic and Cenozoic. There was the enriched mantle ( EM II ) in Later Mesozoic , and the igneous associations were formed by the interaction the enriched mantle ( EM II ) with the depleted mantle ( DM ) and the lower crust ( LC ). And there was the depleted mantle ( DM ) in Cenozoic. The variations in the types of mantle are the key factors which lead to the large scale magmatic-metallogenesis and lithosphere thinning in Yanshanian stage in eastern China.

**Key words :** lithospheric discontinuities ; reactivation in Yanshanian stage ; igneous rock association ; petrogenic and metallogenic setting ; area along Yangtze River of Anhui Province