

文章编号: 1000- 6524 (2002) 03- 0223- 08

大别山北缘中生代火山- 侵入岩锶- 钕同位素组成特征及其物质来源

杨祝良¹, 沈加林¹, 沈渭洲², 谢方贵¹, 陶奎元¹

(1. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016; 2. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 报道了大别山北缘中生代(早白垩世)不同成因系列火山- 侵入岩的 14 个 Rb- Sr Sm- Nd 同位素分析数据, 其中正长岩类 I_{Sr} 值为 0.70843~ 0.71014, ϵNd 值为 - 14.7~ - 15.8, 亏损地幔两阶段模式年龄 T_{DM} 为 2.12~ 2.20 Ga; 高钾钙碱性系列岩石 I_{Sr} 值为 0.70750~ 0.71054, ϵNd 值为 - 17.2~ - 19.1, T_{DM} 为 2.32~ 2.48 Ga; 橄榄安粗岩系列岩石 I_{Sr} 值为 0.70873~ 0.70912, ϵNd 值为 - 20.7~ - 21.7, T_{DM} 为 2.60~ 2.68 Ga。通过与基底变质岩 Sm- Nd 同位素组成对比, 认为高钾钙碱性系列主要由类似于大别群的地壳岩石衍生而成, 正长岩类是由大别群和少量较年轻地壳岩石(卢镇关群和佛子岭群?) 衍生而成的, 而橄榄安粗岩系列则来源于富集地幔并可能混入少量更古老的类似于泰山群的地壳组分。

关键词: Sr- Nd 同位素; 物质来源; 火山- 侵入岩; 中生代; 大别山北缘

中图分类号: P588.14

文献标识码: A

Sr and Nd isotopic composition and material sources of Mesozoic volcano_intrusive rocks in the northern margin of Dabie Mountains

YANG Zhu_liang¹, SHEN Jia_lin¹, SHEN Wei_zhou², XIE Fang_gui¹ and TAO Kui_yuan¹

(1. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China; 2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Volcano_intrusive rocks in the Mesozoic volcanic belt along the northern margin of Dabie Mountains can be subdivided into three rock series, i. e., high_potassium calc_alkaline series (HKCA), alkaline series (A) and shoshonitic (SHO) series. 14 samples were measured for the Rb_Sr and Sm_Nd isotopic compositions, and the results show that the initial Sr ratios (I_{Sr}) are 0.70750~ 0.71054, 0.70843~ 0.71014 and 0.70873~ 0.70912, the initial Nd ratios (ϵNd) are - 17.2~ - 19.1, - 14.7~ - 15.8 and - 20.7~ - 21.7, and the two_stage depleted_mantle model ages (T_{DM}) are 2.32~ 2.48Ga, 2.12~ 2.20 Ga and 2.60~ 2.68 for HKCA, A and SHO, respectively. A comparison of Nd isotopic composition between these vol

收稿日期: 2001- 08- 21; 修订日期: 2002- 02- 05

基金项目: 原地矿部地调局科技专项资助项目(地科专 96- 32); 国土资源部科技司自由探索资助项目(2000406)

作者简介: 杨祝良(1967-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事岩石学 地球化学和旅游地学研究。

cano_in_intrusive rocks and the basement metamorphic rocks shows that the HKCA rocks were mainly derived from the Dabie Group-like crustal rocks, alkaline rocks were mainly derived from Dabie Group with small amounts of younger crustal rocks (Luzhengan Group and Foziling Group?), and the shoshonitic rocks were mainly derived from enriched mantles probably with incorporation of small amounts of even older Taishan Group-like crustal rocks.

Key words: Sr and Nd isotopes; sources of materials; volcano_intrusive rocks; Mesozoic; northern margin of Dabie Mountains

1 地质概况

大别山北缘中生代火山岩带位于华北陆块与大别陆块的结合部(图1),西起河南信阳,经罗山、光山、商城、安徽金寨、霍山、晓天,东至舒城与郟庐断裂带交接,呈近东西向夹在信阳-舒城断裂和桐柏-磨子潭断裂之间,长逾330 km,宽10~50 km不等。该带火山岩直接覆盖在前中生代变质褶皱基底之上(安徽省地质矿产局,1987;河南省地质矿产局,1989)。构成火山岩带的基底岩层大致有石炭系(山前类磨拉石建造,出露在中部)、泥盆纪信阳-佛子岭岩群(泥砂质类复理石沉积)和早古生代二郎坪-梅山岩群(变质火山沉积岩系,均出露在中部和中西部)以及中新元古代卢镇关群(变质花岗岩和变基性火山-沉积岩系,出露在东部)(杨坤光等,1999)。对该火山岩带构造属性的认识仍存在争议(安徽省地质矿产局,1987;河南省地质矿产局,1989;徐树桐等,1994;马文璞等,1997),总体来看,基底地层严格受东西向大断裂控制。

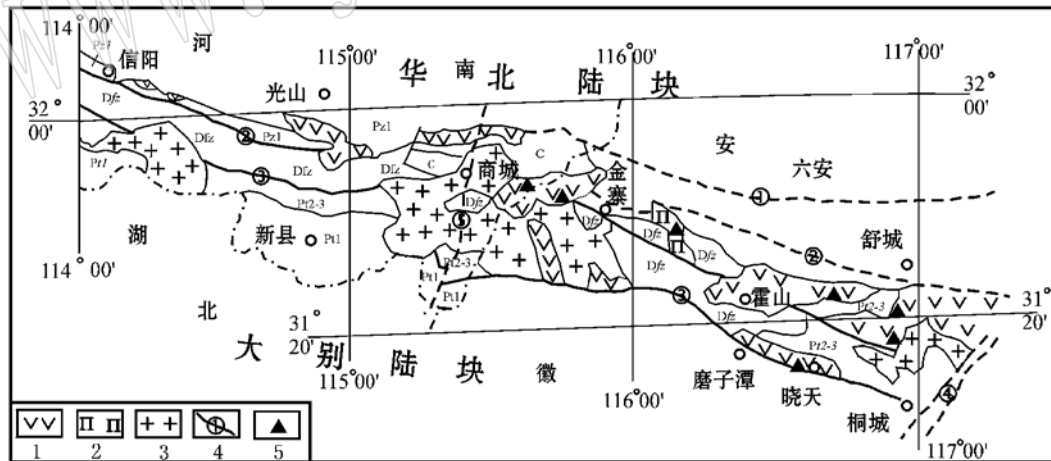


图1 研究区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

1—中生代火山岩; 2—中生代偏碱性火山-侵入岩; 3—中生代花岗岩类; 4—断裂; 5—采样点; C—石炭系; Dfz—泥盆纪佛子岭群; Pz1—早古生代梅山群; Pt2-3—晚元古代卢镇关群; Pt1—早元古代大别群; ①—六安断裂; ②—信阳-舒城断裂; ③—桐柏-磨子潭断裂; ④—郟庐断裂; ⑤—商麻断裂

根据迄今为止本带火山-侵入岩的同位素年代学资料(陈江峰等,1992;周泰禧等,1992a,1992b)及笔者等的年代学研究成果(杨祝良等,1999;Yang Zhuliang *et al.*,1999),大

别山北缘中生代火山-侵入岩都是在早白垩世时期形成的,其中高钾钙碱性系列包括安山质、英安流纹质及流纹质火山碎屑岩和熔岩,橄榄安粗岩系列包括粗安质、粗面质熔岩和火山碎屑岩,响洪甸碱性杂岩体则由碱性火山岩、碱性侵入岩和岩墙组成。碱性侵入岩侵入到粗面岩或粗面岩与佛子岭群片岩之间,由粗粒似斑状正长岩类和碱长正长岩-霞石正长岩类组成,其中霞石正长岩(136.1 Ma, 锆石 U-Pb 法)呈团块状、不规则状、透镜状或似层状被包裹在碱长正长岩(122.3 Ma, 锆石 U-Pb 法)中(Yang Zhuliang *et al.*, 1999)。空间上,商城及其以西(河南部分)以高钾钙碱性系列为主,商城以东(安徽部分)以橄榄安粗岩系列为主并出现正长岩类,最晚阶段出现高钾流纹岩岩穹,总体上高钾钙碱性系列、橄榄安粗岩系列和碱性岩系列紧密共存。时间上,三者虽没有很明确的先后关系,但从全区范围来看,似乎以高钾钙碱性系列(117.0~143.1 Ma)出现最早且持续时间最长,碱性岩系列(122.3~136.1 Ma)随之出现且持续时间稍短,而橄榄安粗岩系列形成最晚且时间跨度最小(128.0~130.8 Ma)。本区所有岩石均具富钾、富碱特征。

已有的关于该带火山-侵入岩的 Sr-Nd 同位素示踪研究主要是针对侵入岩类进行的(周泰禧等, 1992c, 1995; Chen *et al.*, 1998)。本文选择该带中几个具代表性的典型地区的火山-侵入岩样品,在前期岩相学详细鉴定的基础上,进行了 Sr-Nd 同位素组成分析,进而对其物质来源进行探讨。

2 测试条件、方法与结果

样品的 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素组成分析由中国科学院地质研究所同位素实验室完成,详细分析流程已有文献(黄萱等, 1990)叙述。质谱测定采用 VG354 质谱计。Sr 同位素比值测定采用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 进行质量分馏校正, Nd 同位素比值测定采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行标准化。实验室全流程本底: Rb、Sr 为 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ g, Sm、Nd 为 $10^{-11} \sim 10^{-12}$ g。岩石的初始 Sr、Nd 同位素组成分别采用 I_{Sr} 和 ϵNd 值表示, Nd 同位素亏损地幔两阶段模式年龄用 T_{DM} 表示,结果列于表 1。

3 讨论

3.1 Rb-Sr 同位素组成

由表 1 可以看出,大别山北缘中生代火山-侵入岩具有较高且相对一致的 Sr 同位素初始比值(I_{Sr} 值),变化范围为 0.70750~0.71054,说明其源区具有相似的 Sr 同位素组成,其中高钾钙碱性系列 I_{Sr} 值为 0.70750~0.71054,橄榄安粗岩系列为 0.70873~0.70912,而正长岩类则为 0.70843~0.71014,总体上差别不明显。就响洪甸碱性杂岩体而言,早期的霞石正长岩 I_{Sr} 值为 0.70843~0.70849,明显低于晚期碱长正长岩(0.71002~0.71014),表明碱长正长岩可能是霞石正长岩岩浆结晶分异形成的(刘昌实等, 1991)。

3.2 Sm-Nd 同位素组成

本区各类岩石 ϵNd 值均显示出极低的负值且有一定的变化范围(-14.7~-21.7),其中正长岩类最高,为-14.7~-15.8,高钾钙碱性系列稍低,为-17.2~-19.1,而橄榄安粗岩系列最低,为-20.7~-21.7。就正长岩类而言,早期霞石正长岩(-14.7~-15.0)稍高

表1 大别山北缘中生代火山-侵入岩 Sr-Nd 同位素组成
Table 1 Sr-Nd isotopic composition of Mesozoic volcano-intrusive rocks along the northern margin of the Dabie Mountains

样号	岩性	采样地	年龄 ^{a)} (Ma)	Rb (10 ⁻⁶)	Sr (10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (2σ)	I _{Sr}	Sm (10 ⁻⁶)	Nd (10 ⁻⁶)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd (2σ)	εNd	T _{DM} ^{b)} (Ga)
JT-05*	二长花岗岩	安徽金寨汤汇	131.8	79.16	811.1	0.2825	0.708025 ± 18	0.70750	6.551	39.36	0.1007	0.511575 ± 8	-19.1	2.48
HSY-4*	辉石安山岩	河南商城赤仙石	132.8	164.1	494.3	0.9614	0.712359 ± 14	0.71054	6.637	32.73	0.1226	0.511692 ± 8	-17.2	2.32
HSY-6*	高钾流纹岩	安徽舒城枫香树	117.0	205.3	467.0	1.273	0.712502 ± 16	0.71010	6.891	33.91	0.1229	0.511692 ± 6	-17.2	2.32
ASF-4*	玄武安山岩	安徽舒城晓天	126.8	53.27	807.0	0.1911	0.708621 ± 20	0.70831	10.08	62.20	0.09799	0.511606 ± 6	-18.6	2.43
ASF-8*	霞石正长岩	安徽金寨响洪甸	136.1	237.1	887.4	0.7737	0.709925 ± 15	0.70843	19.16	127.9	0.09063	0.511773 ± 6	-15.0	2.15
ASF-09-1*	碱长正长岩	安徽金寨响洪甸	122.3	233.1	855.8	0.7886	0.710008 ± 12	0.70849	22.13	144.0	0.09294	0.511793 ± 5	-14.7	2.12
AJX-04	辉石粗面安山岩	安徽舒城春秋山	128.0	297.5	775.7	1.111	0.711377 ± 16	0.71002	19.66	135.6	0.08769	0.511742 ± 7	-15.8	2.20
AJX-06-1	粗面岩	安徽六安毛坦厂	131.3	88.36	541.8	0.4721	0.709932 ± 20	0.70905	6.739	39.69	0.1027	0.511448 ± 5	-21.6	2.68
ASF-14**	粗面岩	安徽六安毛坦厂	131.3	88.36	541.8	0.4721	0.709932 ± 20	0.70905	6.739	39.69	0.1027	0.511448 ± 5	-21.6	2.68
ASF-15-1**	粗面岩	安徽六安毛坦厂	131.3	88.36	541.8	0.4721	0.709932 ± 20	0.70905	6.739	39.69	0.1027	0.511448 ± 5	-21.6	2.68
ALM-03**	粗面岩	安徽六安毛坦厂	131.3	88.36	541.8	0.4721	0.709932 ± 20	0.70905	6.739	39.69	0.1027	0.511448 ± 5	-21.6	2.68
ALM-04**	粗面岩	安徽六安毛坦厂	131.3	88.36	541.8	0.4721	0.709932 ± 20	0.70905	6.739	39.69	0.1027	0.511448 ± 5	-21.6	2.68

a) 年龄资料引自杨祝良等(1999);

b) 本区火山-侵入岩的 Sm/Nd 值(0.123~0.203)变化较大,为了减少这种变化对 Nd 模式年龄计算值产生的影响,采用两阶段模式计算,公式及有关参数如下:

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{DM} - ({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_m - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_m - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{DM}}{({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_c - ({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{DM}} (e^{\lambda t} - 1) \right]$$

式中: m 代表样品的现今测定值; t 代表岩石的结晶年龄(Liew *et al.*, 1988); $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$; $({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_c = 0.118$; $({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.2136$; $({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.513151$;

* 一高钾钙碱性系列; * * 一橄辉安粗岩系列。

于晚期碱长正长岩(-15.2~-15.8),也说明碱长正长岩可能是霞石正长岩岩浆分离结晶的产物。在 $\epsilon_{Nd}-t$ 关系图上(图2),早白垩世火山-侵入岩均位于本区直接基底——卢镇关群和佛子岭群(李曙光等,1994)演化区域的下方,其中响洪甸正长岩类位于大别群(李曙光等,1994)与佛子岭群和卢镇关群演化区域之间,高钾钙碱性系列位于大别群演化区域内,而橄榄安粗岩系列则位于泰山群花岗岩片麻岩(江博明等,1988)演化区域内。从总体上看,整个大别山北缘的早白垩世火山-侵入岩源区物质来源复杂,具有多来源物质混合的特征。

3.3 Nd-Sr 同位素相关性

在 Nd-Sr 同位素相关图上(图3),本区火山-侵入岩均位于第IV象限,相对于下扬子地区(宁芜和庐枞)及安徽滁州地区同时代火山-侵入岩(邢凤鸣等,1995),其位置更偏右偏下,表明其源区中古老地壳组分所占比例较高。与山东地区同时代橄榄安粗岩系列火山-侵入岩(I_{Sr} 值为0.7084~0.7092, ϵ_{Nd} 值为-15.8~-19.3)(王德滋等,1996)相比,本区橄榄安粗岩系列位置较为接近但稍偏下,表明两者可能有近似的源区,但源区中所含古老地壳组分所占比例有所不同。本区早白垩世橄榄安粗岩系列样品落在泰山群花岗岩片麻岩在130 Ma前的 Sr-Nd 同位素组成范围内,进一步说明有更古老基底物质加入。

3.4 Nd 模式年龄

如表1所示,本区早白垩世火山-侵入岩具有古老的亏损地幔两阶段 Nd 模式年龄

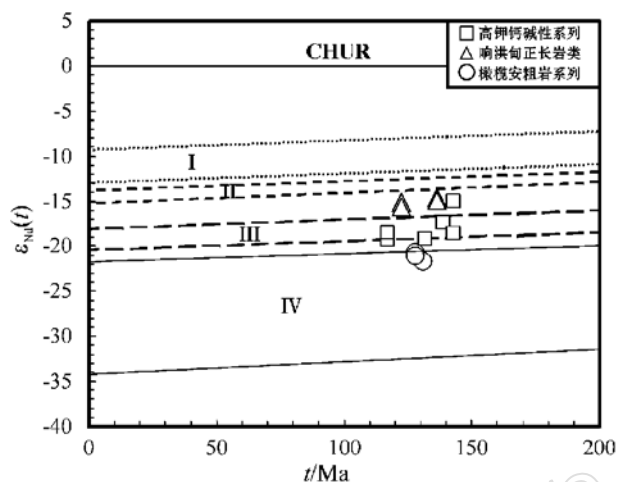


图2 大别山北缘中生代火山-侵入岩 $\epsilon_{Nd}-t$ 关系图
Fig. 2 $\epsilon_{Nd}-t$ diagram of Mesozoic volcano-intrusive rocks along the northern margin of Dabie Mountains

I—卢镇关群演化区(李曙光等,1994); II—佛子岭群演化区(李曙光等,1994); III—大别群(北大别)演化区(李曙光等,1994); IV—泰山群花岗岩片麻岩演化区(江博明等,1988)

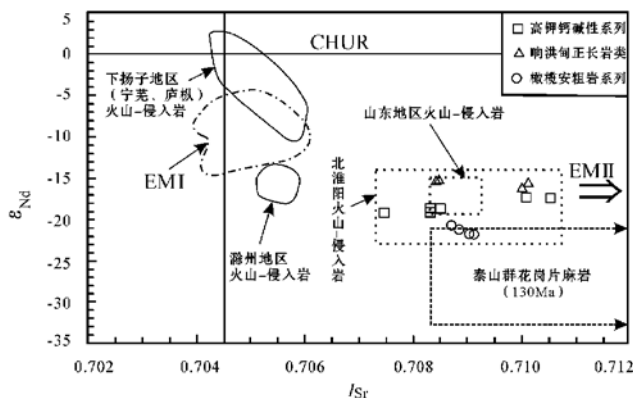


图3 大别山北缘中生代火山-侵入岩 Nd-Sr 同位素相关图
Fig. 3 Nd-Sr isotopic relation diagram of Mesozoic volcano-intrusive rocks along the northern margin of Dabie Mountains

EM I、EM II 为富集地幔端元(Hart, 1988),其他资料来源:下扬子(宁芜、庐枞)、滁州和山东地区火山-侵入岩(邢凤鸣等,1995;王德滋等,1996);泰山群花岗岩片麻岩(江博明等,1988)

(Liew *et al.*, 1988), 为 2.12~ 2.68 Ga, 其中安徽六安毛坦厂粗面岩最高, 为 2.68 Ga, 金寨响洪甸正长岩类最低, 为 2.12~ 2.20 Ga。李曙光等(1994)提供的北大别的大别群、北淮阳的卢镇关群和佛子岭群的 Nd 模式年龄分别为 2.27~ 2.61 Ga、1.58~ 1.82 Ga 和 1.73~ 1.91 Ga。笔者等根据泰山群花岗片麻岩的形成时代(2700 Ma, 江博明等, 1988)也计算了其 T_{DM} 值为 2.73~ 2.83 Ga。与这些基底的 Nd 模式年龄相比, 本区早白垩世火山-侵入岩的 T_{DM} 值大于其直接基底(卢镇关群和佛子岭群)的 T_{DM} 值, 其中, 正长岩类 T_{DM} 值(2.12~ 2.20 Ga)小于大别群的 T_{DM} 值, 高钾钙碱性系列样品的 T_{DM} 值(2.32~ 2.48 Ga)落在大别群的 T_{DM} 值范围内, 而橄榄安粗岩系列的 T_{DM} 值(2.60~ 2.68 Ga)则与泰山群花岗片麻岩的 T_{DM} 值较为接近, 这和上述数据点在图 3 中的分布特征相一致, 表明本区早白垩世火山-侵入岩在形成过程中直接基底岩石并没有起到主导作用, 而可能主要是由类似大别群的地壳物质衍生而成, 其中还有少量比大别群更年轻或更古老的地壳物质卷入。

4 物质来源

据上所述, 大别山北缘中生代(早白垩世)富钾富碱火山-侵入岩总体上具有较高的 Sr 同位素初始比值、极低的 Nd 同位素初始比值以及大于 2.1 Ga 的 Nd 模式年龄。它们的 Sr、Nd 同位素组成、 $\epsilon Nd-t$ 关系、Nd 模式年龄以及 Sr、Nd 同位素相关性的研究均表明源区的同位素组成(尤其是 Nd)具有一定的不均一性, 源区物质组成较为复杂且在横向上有较大的变化。高钾钙碱性系列、橄榄安粗岩系列和正长岩类三者 Sr 同位素组成没有本质的差异, 但 Nd 同位素组成却有明显的不同, 其中正长岩类 ϵNd 值最高, 橄榄安粗岩系列最低, 高钾钙碱性系列则介于两者之间, T_{DM} 值也显示出相似的变化规律。前人的研究(陈江峰等, 1992; 周泰禧等, 1992c, 1995)均认为这些岩石的形成与古老地壳物质有关。笔者等通过该火山-侵入岩与其直接基底卢镇关群和佛子岭群、北大别的大别群以及泰山群花岗片麻岩的 Nd、Sr 同位素组成及 Nd 模式年龄的比较, 认为本区早白垩世高钾钙碱性系列主要是由类似于大别群的地壳岩石衍生而成, 正长岩类是由大别群和少量较年轻地壳岩石(卢镇关群和佛子岭群?)衍生形成的, 而橄榄安粗岩则起源于富集地幔(王德滋等, 1996), 但其中所卷入的古老地壳物质(类似于泰山群)的量与山东地区同时代橄榄安粗岩系列可能有所不同。碱长正长岩和霞石正长岩之间 Sr、Nd 同位素组成的有限变化反映碱长正长岩很可能是由霞石正长岩岩浆结晶分异而成。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. 1987. Regional Geology of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. 1989. Regional Geology of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen J F, Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence [J]. Tectonophysics, 284: 101 ~ 133.
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Li Xueming, *et al.* 1992. Sr and Nd isotopic compositions of Mesozoic magmatic rocks in southeastern China and their tectonic implications [A]. Li Jiliang. Researches on lithosphere structure and its evolution of

- southeastern ocean and continent, China [C]. Beijing: China Science & Technology Press, 119~ 130 (in Chinese).
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Chen Daogong. 1998. Geochronology of Meso_and Cenozoic volcanic rocks[A]. Yu Jinsheng. Isotopic geochemical researches of China[C]. Beijing: Science Press, 36~ 48 (in Chinese).
- Hart S R. 1988. Heterogeneous mantle domains: Signatures, genesis and mixing chronologies[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 90: 273~ 296.
- Huang Xuan, Wu Liren. 1990. Nd- Sr isotopes of granites from Shan'xi Province and implications for tectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 6(2): 1~ 11 (in Chinese with English abstract).
- Jahn B M, Auvray B, Cornichet J. 1988. Evolution of Archeozoic crust, China: New crust accretion evidences from Taishan complex and the longtime depleted mantle[J]. Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 18: 34~ 57 (in Chinese).
- Liew T C, Hofmann A W. 1988. Precambrian crustal compositions, plutonic assimilations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: Indications from a Nd and Sr isotopic study[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 98: 129~ 138.
- Li Shuguang, Liu Deliang, Chen Yizhi, *et al.* 1994. Neodymium isotopic compositions of continental crust in the northern margin of Yangtze Block and its tectonic implications[J]. Geochemistry, 23 (Suppl.): 10~ 17 (in Chinese with English abstract).
- Liu Changshi, Yang Xinyi. 1991. The effect of protracted fractionation magma on change in initial Sr ratio in granitic batholith [J]. Geotectonica et Metallogenica, 15(2): 152~ 159 (in Chinese with English abstract).
- Ma Wenpu, Liu Wencan, Wang Guosheng. 1997. Replacing of Meishan Group in North Dabie Mountains and its correlation and tectonic implication[J]. Geoscience, 11(1): 95~ 101 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng, *et al.* 1996. Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite Province, Eastern China, and their metallogenesis[J]. Acta Geologica Sinica, 70(1): 23~ 34 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1995. The essential feature of magmatic rocks along the Yangtze River in Anhui Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 11(4): 409~ 422 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shutong, Liu Yican, Jiang Laili, *et al.* 1994. Tectonic regime and evolution of Dabie Mountains[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Yang Kunguang, Ma Changqian, Xu Changhai, *et al.* 1999. Different uplifts between North Huaiyang tectonic belt and Dabie orogene[J]. Science in China, 29(2): 97~ 103 (in Chinese).
- Yang Zhuliang, Shen Jialin, Shen Weizhou, *et al.* 1999. Isotopic geochronology of Mesozoic volcano- intrusive rocks in Beihuaiyang[J]. Geological Review, 45 (Suppl.): 674~ 680 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhuliang, Shen Weizhou, Shen Jialin, *et al.* 1999. Isotopic geochronology of Xianghongdian alkaline complex, northern margin of Dabie Shan, China[J]. Acta Geologica Sinica, 73(4): 404~ 410.
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Peng Zicheng, *et al.* 1992a. The age of the Mesozoic acidic and intermediate volcanic rocks from Anhui Province[J]. Collection of Mineralogy and Petrology, 8: 58~ 64 (in Chinese).
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Li Xueming. 1992b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of intrusions from Huoshan- Shucheng syenite zone, Anhui Province[J]. Geology of Anhui, 2(1): 4~ 11 (in Chinese).
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Li Xueming, *et al.* 1992c. Geochemical characteristics and petrogenesis of Xianghongdian alkaline complex, Anhui Province[A]. Li Jiliang. Researches on lithosphere structure and its evolution of southeastern ocean and continent, China[C]. Beijing: China Science & Technology Press, 182~ 192 (in Chinese).
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Zhang Xun, *et al.* 1995. Geochemistry of the North Huaiyang granite- syenite zone and its tectonic implication[J]. Geological Review, 41(2): 144~ 151 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安徽省地质矿产局. 1987. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈江峰, 周泰禧, 李学明, 等. 1992. 中国东南地区中生代岩浆岩的 Sr-Nd 同位素组成及其大地构造意义[A]. 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 119~ 130.
- 陈江峰, 周泰禧, 陈道公. 1998. 中-新生代火山岩年代学[A]. 于津生. 中国同位素地球化学研究[C]. 北京: 科学出版

- 社, 36~ 48.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 黄 萱, 吴利仁. 1990. 陕西省花岗岩类 Nd- Sr 同位素及其构造演化意义[J]. 岩石学报, 6(2): 1~ 11.
- 江博明, 欧弗瑞 B, 柯尼协 J, 等. 1988. 中国太古代地壳演化——泰山杂岩及长期亏损地幔新地壳增生的证据[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 18: 34~ 57.
- 李曙光, 刘德良, 陈移之, 等. 1994. 扬子陆块北缘的钕同位素组成及其构造意义[J]. 地球化学, 23(增刊): 10~ 17.
- 刘昌实, 杨心宜. 1991. 岩浆长期分离结晶对岩石锶同位素初始比值的影响[J]. 大地构造与成矿学, 15(2): 152~ 159.
- 马文璞, 刘文灿, 王果胜, 等. 1997. 梅山群的再定位. 区域对比和构造含义[J]. 现代地质, 11(1): 95~ 101.
- 王德滋, 任启江, 邱检生, 等. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用[J]. 地质学报, 70(1): 23~ 34.
- 邢凤鸣, 徐 祥. 1995. 安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点[J]. 岩石学报, 11(4): 409~ 422.
- 徐树桐, 刘贻灿, 江来利, 等. 1994. 大别山的构造格局和演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 杨坤光, 马昌前, 许长海, 等. 1999. 北淮阳构造带与大别造山带的差异隆升[J]. 中国科学, 29(2): 97~ 103.
- 杨祝良, 沈加林, 沈渭洲, 等. 1999. 北淮阳中生代火山- 侵入岩同位素年代学研究[J]. 地质论评, 45(增刊): 674~ 680.
- 周泰禧, 陈江峰, 彭子成, 等. 1992a. 安徽中生代中酸性火山岩的时代归属[J]. 矿物学岩石学论丛, (8): 58~ 64.
- 周泰禧, 陈江峰, 李学明. 1992b. 安徽霍舒正长岩带侵入体的⁴⁰Ar- ³⁹Ar 法同位素地质年龄[J]. 安徽地质, 2(1): 4~ 11.
- 周泰禧, 陈江峰, 李学明, 等. 1992c. 安徽省响洪甸碱性杂岩体的地球化学特征和岩石成因[A]. 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 182~ 192.
- 周泰禧, 陈江峰, 张 巽, 等. 1995. 北淮阳花岗岩- 正长岩带地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地质论评, 41(2): 144~ 151.