

# 大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据

戴圣潜<sup>1,2</sup> 邓晋福<sup>1</sup> 吴宗絮<sup>3</sup> 赵海玲<sup>1</sup> 陈江峰<sup>4</sup> 杜建国<sup>2</sup>

(1.中国地质大学,北京 100083;2.安徽省地质调查院,安徽 合肥 230001;  
3.国家地震局地质研究所,北京,100029;4.中国科技大学,安徽 合肥 230026)

**摘要:**在区域地质填图基础上研究了大别地区燕山期岩浆岩,重新划分了该区燕山期岩浆作用期次,发现大别地区在燕山期存在一个完整的造山岩浆旋回。首次提出本区燕山晚期岩浆岩为双峰式组合,与燕山早期岩浆岩属高钾钙(碱)性-钾玄岩组合一起构成一个从挤压到伸展的造山岩浆旋回,成为燕山期造山的重要佐证。岩浆岩成因特点揭示出本区的岩石圈结构在燕山期存在一个从双倍陆壳到正常陆壳的过程,深部地质过程则是底侵作用和拆沉作用的继续。

**关键词:**大别造山带;燕山期;岩浆岩;造山作用;钾玄岩

中图分类号:P588.1 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2003)02-0159-07

大别造山带中生代岩浆活动强烈,燕山期岩浆岩出露面积约占基岩的三分之一强。与变质作用、构造作用特别是超高压变质作用相比,中生代与造山过程有关的岩浆作用研究显得相对薄弱与滞后。作为印支期碰撞造山带,大别地区少见同碰撞期花岗岩,燕山期的岩浆活动却非常发育,这与典型造山带岩浆作用规律有很大差别,暗示大别地区造山过程有自己的特殊性。对于印支期缺乏同碰撞花岗岩的原因笔者已进行过讨论<sup>[1]</sup>,本文阐述燕山期岩浆作用的特点。

## 1 区域地质概况

以磨子潭—晓天断裂为界,将大别造山带分成南、北两部分。南侧是造山带的主体,主要为变质岩(大别杂岩)和燕山期花岗岩出露区。断裂北侧为北淮阳构造带,是秦岭加里东对接带的东延,主要由佛子岭和苏家河两个构造岩片叠加组成,未经变质的石炭系—二叠系浅海相和陆相类磨拉石沉积物以断片形式分布在皖豫交界地区。燕山早期的侵入体主要为花岗岩类,南、北大别在岩石组合、侵位构

造方面并无太大区别,应说明造山带内南、北大别的划分更多的只是代表印支期碰撞造山带的结构。燕山晚期的基性超镁铁岩主要分布在北大别地区,南大别地区很少出露,但大别山迄今为止所发现的含柯石英和微粒金刚石的超高压变质杂岩均见于南大别内。侏罗纪以来在这些岩系之上沉积了巨厚的磨拉石或类磨拉石建造以及火山—沉积建造(表1)。北淮阳带燕山期岩浆作用强烈,岩浆活动形成约300 km长的NWW—SEE向火山—侵入岩带。

## 2 燕山期岩浆岩的时空分布

### 2.1 空间分布

燕山期深成岩(主要是花岗岩类)遍布整个造山带,火山岩绝大部分分布在北淮阳地区。

晚侏罗世岩浆活动以大规模的喷发作用伴随深成作用为特征,喷发岩主要出露在造山带北部北淮阳构造带绿片岩相的佛子岭岩群分布区中,称为毛坦厂组、响洪甸组,下伏层位为中侏罗世红层。北淮阳地区的深成岩体大多数在其东西两端与火山

收稿日期:2002-07-25;改回日期:2003-01-22

基金项目:国家自然科学基金项目(49772155);原地质矿产部“九五”重大科技项目(9501102-03);中国地质调查局综合研究项目(200113900018)资助。

作者简介:戴圣潜,男,1963年生,博士生,主要从事区域构造、岩浆岩岩石学研究;E-mail:daisq66@sohu.com。

表1 大别造山带中生代地层简表  
Table 1 Summary of the Mesozoic stratigraphy in the Dabie orogen

时代 地层 单位	岩层地层单位	
	名称	主要岩性
白 垩 系	袁家桥组	砂岩与粉砂岩互层, 杂砂岩, 白云质胶结, 厚约1783m
	黑石渡组	粗砂岩、粉砂岩、钙质砂岩和含粉砂岩、砾岩互层, 上部为细砂岩、页岩夹泥炭层胶结, 厚约1870m
侏 罗 系	响洪甸组	深白流纹岩, 碱性粗面岩夹砂岩, 厚约512m
	毛坦厂组	下部为安山岩类(粗面岩、辉石安山岩), 安山岩(流纹岩)夹数层流纹岩夹粗砂岩, 上部为安山岩、流纹岩和安山岩的熔岩岩, 流纹岩、粗面岩和流纹岩互层, 流纹岩砂岩, 厚约129m
三 叠 系	凤凰台组	红色厚层砂岩及石英质砂岩, 厚约100m
	三夹铺组	下部为红色砂岩, 上部为石英质砂岩, 长石石英砂岩, 厚约179m
统		

岩相伴出露,形成大型岩株或者岩基。造山带内部本期深成岩体既有岩浆早期演化阶段的闪长质、石英二长闪长质的小型岩株、岩瘤,也有连续演化形成的系列岩石构成的大型岩株、岩基。晚侏罗世末期,火山活动萎缩为六安响洪甸和霍山戴家河两个孤立的碱性岩喷发点,指示晚侏罗世火成活动尾声的来临。

早白垩世岩浆活动产物未见有火山喷出岩层,仅见深成岩,主要出露在造山带北部。基性端元岩体大部分形成小的岩株,酸性端元岩体则形成大型岩株或岩墙。早白垩世末期,随着细粒岩墙状花岗岩的就位,造山带的岩浆活动越来越弱而趋于结束,随之转为稳定陆块演化阶段。

## 2.2 时间序次

大别地区的燕山期侵入岩,前人曾经归为从五台期到燕山期等不同时代的岩体<sup>[2]</sup>。原因是:(1)围岩绝大多数为中、深变质岩,这些变质岩时代本身一直存在争议;(2)岩体的同位素年龄较少,方法单一(以K-Ar法为主),且存在“变质”“成岩”年龄之争。北淮阳带的碱性岩有燕山早期(晚侏罗世)和燕山晚期(早白垩世)的不同意见。所以,厘定岩浆岩形成的先后时间关系,是研究本区燕山期岩浆活动规律的基础。

大别造山带燕山期火山岩以安山岩、粗安岩(安

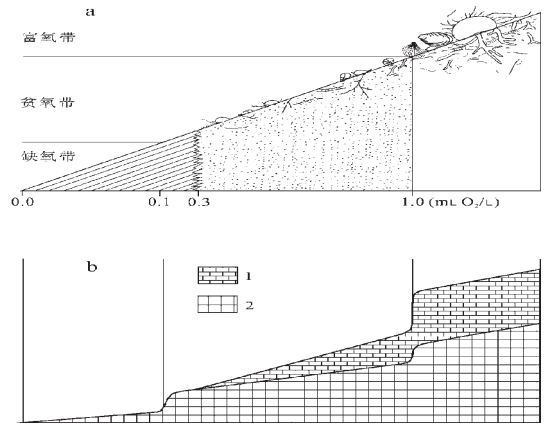


图1 岳西一带燕山期花岗岩体空间展布示意图  
Fig. 1 Spatial distribution of Yanshanian granite intrusions in the vicinity of Yuexi.

粗岩?)占主导优势,深成岩主要是花岗岩(且主要是狭义的花岗岩)。火山岩中安山岩、安粗岩的大量出现,表明地幔物质在岩浆形成中起了重要作用。而大别地区早白垩世花岗岩主要形成在地壳环境中,以壳源深熔成因为主<sup>[3-5]</sup>,晚侏罗世和早白垩世岩浆活动有着不同的成因。

1:5万区域地质填图表明,黑石渡组假整合或不整合覆盖在火山岩的末期组合——响洪甸组碱性火山岩之上(表1)。黑石渡组的双壳类为 *Ferganoconcha sinica*—*Sphaerium jeholense* 组合,其他尚有叶肢介及腹足类、植物、介形类等,根据古生物化石特征,黑石渡组的时代为晚侏罗世,顶部部分地层可能进入早白垩世<sup>[6,7]</sup>。黑石渡组沉积受大别山北缘走滑断裂控制,一般认为造山带边缘走滑断裂的出现是造山带构造应力场由早期的挤压向后期的伸展转换的标志,在本区,这个转换代表晚侏罗世的挤压增厚型地壳开始向拉伸减薄的构造环境变化。而碱性岩的出现通常标志着一个岩浆活动演化阶段即将结束,从火山—沉积地层层序上,响洪甸组和毛坦厂组为一个连续演化的岩浆活动产物,将碱性岩置于燕山早期阶段的末期自然而合理。因此,区内大量的白垩纪花岗质深成岩体不能和火山岩同时作为岩浆活动的产物。

从最新区域地质填图成果来看,大别地区燕山期深成岩体走向有两个方向(图1),早期岩体的侵位构造表现出挤压特征,多为长轴近NW向的椭圆形,燕山早期火山岩呈NW—NW向带状分布;晚期岩体或者在成因上与NE向构造紧密联系,或

者表现出被动型的岩墙充填特征,以 NE—NNE 向穿切早期岩体或火山岩。因此它们应该是有时间先后差异、在不同应力背景条件下侵位的。

大别地区燕山期岩浆岩同位素年龄集中在 130~100 Ma, 但 166~145 Ma 也存在一个峰值区。Cobbing E. J. et al.<sup>[8]</sup> 认为在秘鲁海岸岩基段,超单元是各个分离熔融池的产物,每个熔融池断断续续活动的时间大约为 10 Ma,邓晋福<sup>[9]</sup>认为,单个造山带尺度的岩浆活动旋回时间间隔为 10~20 Ma。因此,从时间跨度上看,大别地区的造山带燕山期岩浆活动划分为两期是比较合适的。

最近对属于镁铁—超镁铁岩的沙村岩体进行的锆石定年结果为 128 Ma<sup>[10]</sup>,不是前人认为的印支期同碰撞侵入岩<sup>[11-13]</sup>。Jahn et al.<sup>[14]</sup>也给出祝家铺辉长岩中角闪石的 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄(131±3)Ma。还有 Hacker and Wang<sup>[15]</sup>分别给出北大别辉石岩—辉长岩体的角闪石 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄为(124±0.6) Ma, (125±0.5) Ma 和(129±0.6)Ma。轿子岩岩体 Rb—Sr 等时线年龄(111±4) Ma<sup>[13]</sup>,这些资料证明存在早白垩世早期的基性岩带,其时代晚于响洪甸的碱性岩(霞石正长岩,137.15 Ma)<sup>[16]</sup>。笔者认为这些镁铁—超镁铁岩是碱性岩标志的晚侏罗世火成活动结束后白垩纪新一轮大规模岩浆活动的开始。镁铁—超镁铁岩的年龄与大别地区很大一部分花岗质岩石的年代一致<sup>[17,18]</sup>,表明大别地区燕山晚期同时出现了基性岩浆和酸性岩浆活动。

### 3 岩石学特征

#### 3.1 晚侏罗世火山—侵入杂岩

本阶段岩浆活动以大规模的火山喷发作用伴随深成作用为特征,造山带的火山岩均由晚侏罗世岩浆活动形成,岩性以安山岩、粗安岩(安粗岩?)为主,末期有碱性岩出现,同源侵入岩与火山岩相伴出露。

火山岩从西向东分布在金刚台、霍山—毛坦厂、晓天 3 个地区。霍山—毛坦厂、晓天地区以安山岩—粗安岩—粗面岩—碱性岩(碱性玄武岩、碱性粗面岩、假白榴石响岩)组合为特征。毛坦厂组下段为安山质集块角砾岩、安山质凝灰岩(爆发相)夹数层凝灰质粉砂岩(爆发间歇期沉积);上段为安山质角砾熔岩(爆发)→粗安岩(安粗岩)(喷溢)→粗面岩(喷溢)粗面质角砾熔岩(爆发)。响洪甸组岩性由碱性玄武岩→碱性粗面质凝灰岩→假白榴石响岩质粗面质集块岩、集块

熔岩组成。金刚台地区火山岩系厚度巨大,以爆发相占主导,但出现较多的英安岩、流纹岩。

前人把造山带的中生代侵入岩都当作和上述火山岩同源演化产物,笔者的工作表明只有部分岩体(主簿源岩体、司空山岩体、团岭岩体、上码头岩体、河棚岩体、响洪甸岩体等)属于这一阶段产物。岩性为石英闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩直到霞石正长岩,岩石类型构成一个较为完整的连续系列,表现出清楚的成分演化特征,而与早白垩世阶段的岩石类型存在显著差别。

#### 3.2 早白垩世侵入岩

早白垩世岩浆活动产物全部为侵入体,初期为镁铁—超镁铁岩—辉长岩、辉石岩、辉闪岩及橄辉岩,岩体规模一般较小。稍晚出现的是酸性岩——二长花岗岩、正长花岗岩等,按它们就位的深度,可分为深部和浅部两种。深部为此次岩浆活动的源区,为原地半原地深熔花岗岩,代表性岩体为九资河岩体<sup>[9]</sup>,出露于大别造山带的核部,其周围英山—罗田—岳西一带为麻粒岩相变质岩出露区,是造山带出露最深抬升最高的部位<sup>[19]</sup>,故使得深部的岩浆源区得以剥露。深部外围为源区移出的熔体聚合后向上侵位的产物,主要以天堂寨岩体为代表。浅部出露的白马尖岩体、洪冲岩体、大红岩等岩体的岩石为均质细粒,具有与晚侏罗世深成岩区分的特征性结构。这一阶段的花岗岩体表现出明显的结构演化特征,而与晚侏罗世花岗岩体的成分演化系列显著不同。早白垩世岩体总体以 NNW 向岩墙状展布为其空间延展特征,就位构造反映伸展环境,与晚侏罗世的挤压特点迥异。

对于大别造山带内部的镁铁—超镁铁岩,早期 1:20 万区域地质调查将其归为五台—吕梁期岩体<sup>[2]</sup>,20 世纪 80 年代以来,随着大别山地质研究的逐步开展,有人认为是变质蛇绿混杂岩,尽管不太典型,但仍代表消失的洋壳残片<sup>[20]</sup>。从同位素地质学角度出发,有的学者认为是与碰撞同时的岩体<sup>[10]</sup>。根据笔者的研究并结合最新的同位素资料<sup>[10,13,21]</sup>,认为这些镁铁—超镁铁岩代表早白垩世岩浆活动的开始,构成燕山晚期双峰式系列的基性端元。

### 4 岩石化学与地球化学特征

#### 4.1 晚侏罗世岩浆活动

大别造山带火山岩岩石化学的最大特征是富

碱富钾, SiO<sub>2</sub> 含量中等,在 TAS 图中,岩石主要类型为粗面岩、安粗岩及流纹岩,与镜下实际矿物定名相比,向酸性端元移动,岩石组合表现出单峰式特点(图 2)。结合 TAS 图解、硅—碱图解、AFM 图解,镜下实际矿物定名、Na<sub>2</sub>O 与 K<sub>2</sub>O 的相对含量(Na<sub>2</sub>O-2≤K<sub>2</sub>O),火山岩主要为钾玄岩系列及高钾钙碱性系列(图 3),部分为碱性岩系列,反映与岛弧消减带不同的陆内构造背景。里特曼指数,晓天地区毛坦厂旋回平均为 3.82,霍山—毛坦厂地区平均 3.89,金寨地区平均 2.9,说明从南到北、从西到东碱度逐渐增高;响洪甸旋回平均为 9.44,最高 13.7;表明演化晚期碱性程度的急剧增加。Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 毛坦厂旋回平均 4.18,最高 11。K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 两个旋回差不多,一般大于 1,平均 1.17,反映高碱高钾特点,在 TAS 图上晚侏罗世岩浆活动向富硅富碱方向演化。晚侏罗世火山活动以富集大离子亲石元素和贫过渡元素为特征,其中尤以 Sr、Ba 含量高,平均分别为 608×10<sup>-6</sup>、1961×10<sup>-6</sup>,高场强元素则和地壳含量近似。稀土元素以 ΣREE、LREE 高,轻度负 Eu 异常为特征,响洪甸组的稀土配分曲线形状与毛坦厂组相同,但位于后者之上,即 ΣREE、LREE、HREE 均较毛坦厂组高,说明两者的连续演化关系。

晚侏罗世侵入岩的 SiO<sub>2</sub> 为 57%~74.07%;全碱含量高,Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 为 5%~10%,相对富钾;从 AC-NK 值看,绝大部分为偏铝质,少数样品表现出过铝质。在硅—碱图中,本期岩体主要属于亚碱性系列,在 AFM 图解中为钙碱性演化趋势;在 K<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub> 图中,侵入岩岩石系列与同期火山岩均为钾玄岩系列及高钾钙碱性系列(图 3)。晚侏罗世侵入岩的微量元素特征是 Sr、K、Rb、Ta、Nb、Ce 等不相容元素不同程度富集;Zr、Sm 与洋中脊花岗岩接近,Y、Yb 等明显亏损。晚侏罗世侵入岩的稀土元素以 ΣREE、LREE 高,轻度负 Eu 异常为特征。时间上,从早期的闪长岩、石英闪长岩到晚期的碱性岩,稀土总量增高,负 Eu 异常增加;空间上从核部到浅部,也出现类似的演化趋势。

4.2 早白垩世岩浆活动

这一阶段的火成活动无喷发作用,全部为深成侵入岩,呈现清楚的双峰式特点(图 2)。

镁铁—超镁铁岩的代表性岩体有轿子岩岩体、祝家铺岩体、沙村岩体等,酸性岩的代表性岩体有九资河岩体、天堂寨岩体、白马尖岩体、洪冲岩体、大孤

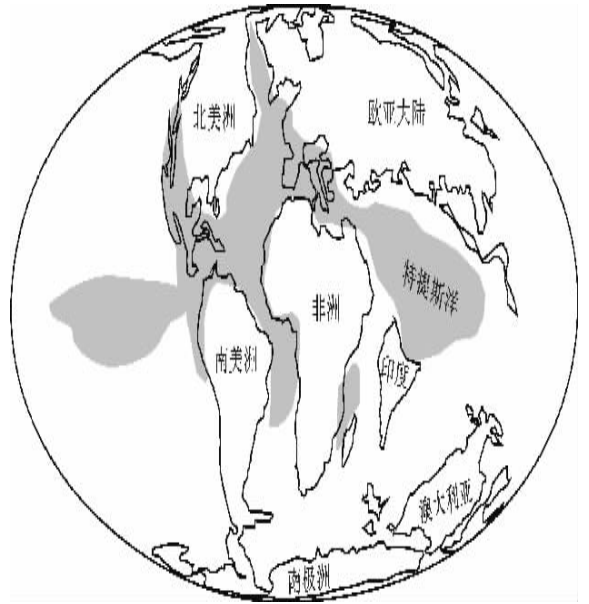


图 2 大别造山带燕山期岩浆岩 SiO<sub>2</sub> 含量频率分布  
Fig. 2 Frequency distribution of SiO<sub>2</sub> contents of Yanshanian rocks in the Dabie orogenic belt

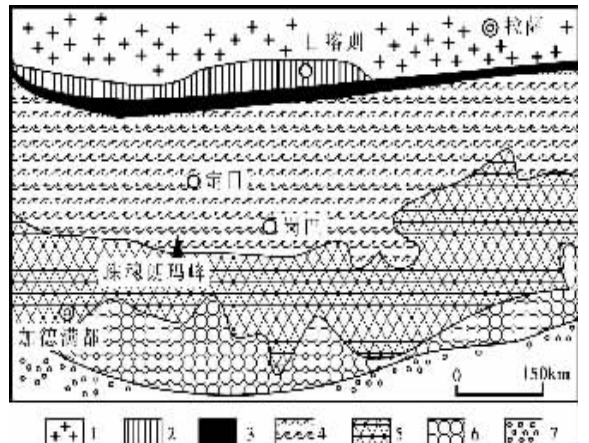


图 3 大别造山带燕山期花岗岩 SiO<sub>2</sub>—K<sub>2</sub>O 关系图  
(据 Rollinson,1993;Rickwood,1989)

Fig. 3 SiO<sub>2</sub>—K<sub>2</sub>O diagram of Yanshanian granites in the Dabie orogenic belt

坪岩体等。

镁铁—超镁铁岩石的化学成分显示除少量橄榄岩为铝过饱和系列外,绝大多数属正常系列;SiO<sub>2</sub>、AlO<sub>3</sub>、FeO<sub>3</sub> 含量较高,MgO、CaO 偏低,镁铁比值 0.9~17.5,从镁铁质到超镁铁质岩石均有。微量元素表现为大离子亲石元素尤其是 Pb、Ba 富集,高场强元素 Nb、Zr、Ti 及重稀土元素亏损;稀土元素总量变化较大,从 42.910×10<sup>-6</sup>~296.9×10<sup>-6</sup>,轻、重稀土分馏程度低,负 Eu 异常很不明显,反映在配分曲线上

为较为平缓的右倾型,无或极浅的Eu谷。

酸性侵入岩的SiO<sub>2</sub>含量高,平均72.95%,最高达77.74%,Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O平均8.44%,最高10.37%,属于高硅高碱类型。在硅—碱图上,样品落在亚碱性系列范围;AFM图解上,表现为钙碱性演化趋势的晚期。与晚侏罗世火成岩相比,本期活动在K<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub>图解上仅表现出高钾钙碱性系列特征。微量元素分析结果表明,酸性侵入岩仍然富集大离子亲石元素,具有低Rb、高Sr、高Ba特征(但Sr、Ba含量仍低于晚侏罗世火成岩)。高场强元素则低于花岗岩平均成分。轻稀土富集,负Eu异常有一定规律,源区及离源区不远的九资河、天堂寨岩体,主要为弱的负Eu异常,δEu大部分在0.7~0.9之间,晚期浅成的白马尖岩体、洪冲岩体具有造山带花岗岩最低的一类负Eu异常,其中大部分样品δEu在0.35~0.55(最低达0.18~0.25),比晚侏罗世岩浆活动的末期碱性岩还要低,表明本阶段酸性岩浆活动的源区与正常厚度的下地壳有关<sup>[2]</sup>。

## 5 火成活动成因与壳幔相互作用

燕山早期的岩石系列具有从闪长岩→石英二长闪长岩→二长花岗岩→正长岩→碱性岩连续演化特点。以高钾、富碱、富不相容元素、负Eu异常不明显为特征,特别是富Sr(575×10<sup>-6</sup>)、Ba(1670×10<sup>-6</sup>),硅—碱图上表现为钾玄岩系列和高钾钙碱性系列,微量元素中的大离子亲石元素富集,高场强元素与花岗岩平均成分近似,过渡元素以富集Ni、Cr为特征;具有低的δNd和高的δSr值<sup>[20]</sup>,均表明岩浆具有壳幔混合源区的特点,主要来源于上地幔与下地壳部分熔融产物。在岩浆上升、侵位过程中,AFC(Assimilation—Fractional Crystallization)混合机制起重要作用(按照Depaolo的公式以微量元素进行模拟,取同化混染速率和分离结晶速率比值γ=0.5,分离结晶程度F取0.8时的结果和实测值拟合较好)。马昌前<sup>[3]</sup>认为是幔源岩浆的分离结晶和地壳混染共同作用的产物。δEu无明显负异常,说明岩浆未曾与斜长石处于相平衡过程,岩浆来源于加厚的双倍陆壳下部或造山带的山根<sup>[2]</sup>。

从地层方面看,晚侏罗世火山岩之下最老的地层,是造山带中生代最早的红层沉积——凤凰台、三尖铺组,其时代为中侏罗世(表1)。它们和火山岩之间的高角度不整合代表一次强烈的挤压活动,其结果

造成地壳的收缩增厚。由此带来的等温面上升可以导致地壳物质的重熔<sup>[21]</sup>,与来自地幔的岩浆共同作用形成本区晚侏罗世母岩浆。岩浆就位过程中,总体仍处在挤压环境,岩体构造表现出强烈的强力就位特征。

因此,岩浆岩石学特点指示燕山早期(主要在J<sub>2</sub>—J<sub>3</sub>)大别地区处在强烈挤压的造山环境中。

覆于碱性岩之上的黑石渡组是造山带北缘一系列拉分盆地的沉积,这些拉分盆地的出现是造山带边缘走滑断裂作用的结果,代表挤压阶段末期造山带边缘应力状态首先由挤压转换为走滑,整个区域应力场很快就要由挤压转换为拉伸,标志着地壳即将开始减薄。

早白垩世火山作用的缺乏表明拉伸作用的加强或者快速拉伸已经出现,岩石系列表现为基性、超基性(超镁铁质)和酸性岩浆活动基本同时的双峰式,区别于晚侏罗世火成岩的钾玄岩系列为主的特点。其中酸性岩浆岩与晚侏罗世岩浆岩相比,富SiO<sub>2</sub>,贫TiO<sub>2</sub>,碱量相当,接近上地壳平均化学成分。虽然大离子亲石元素富集,但Sr、Ba含量低于晚侏罗世火成岩,高场强元素均低于晚侏罗世岩浆岩,表明演化过程较短,主要是正常地壳的下部重熔产物<sup>[4,5]</sup>,重熔的热源应来自稍早的基性岩浆和地壳深部的剪切热<sup>[9]</sup>。本期岩石负Eu异常较为明显(0.35~0.55),特别是侵位到浅部的几个岩体,具有造山带最低的负Eu异常(0.18~0.25),与晚侏罗世火成岩明显不同。结合本期岩体伸展体制下的NE向岩墙状产出,这些具有负Eu异常的中酸性火成岩岩浆源于正常陆壳的下部<sup>[22]</sup>,构造加厚形成的山根已经拆沉,岩石圈厚度已经较晚侏罗世减薄。这样,燕山晚期的双峰式组合特点表明造山作用进入了晚期崩塌阶段。

从燕山期火成活动的特点看,本区的岩石圈结构存在一个从较厚的双倍陆壳到正常陆壳的过程,它的地质作用是底侵作用和拆沉作用的连续过程,最终结果是造山带的山根消失,造山带最终转化为稳定的大陆内部环境。岩浆作用特点证明,大别地区在燕山期经历了挤压增厚(抬升)—伸展减薄(崩塌)的造山过程。燕山期大别造山带的构造格局表现出以罗田地区为核部的热穹隆构造,但出露最深的部位却没有超高压岩石,这一矛盾现象正好用大别地区存在印支期和燕山期两期造山解释。超高压岩石的折返剥露代表印支期造山带的崩塌,而燕山期岩浆岩所呈现的热穹隆构造反映了燕山期造山运动的

宏观构造特点, 现在的构造格局展现的是两期造山运动的叠加图像, 或者说反映了燕山期造山运动对印支期造山带的改造。

从岩石学研究得出的结论得到地球物理证据的支持, 高山等<sup>[24]</sup>的工作表明, 大别—苏鲁地区下地壳下部有  $V_p=6.9\sim 7.3$  km/s 的高速体, 这是底侵作用的主要地球物理证据。从岩浆演化结合地层、构造特点, 参考造山带基性岩带时代年龄的最新测定, 笔者认为造山带底侵—拆沉作用的最后一期时间是在  $J_3-K_1$ , 而不是高山等认为的印支期(180~230 Ma)。

## 6 结 论

(1) 大别造山带燕山期岩浆作用分为两期, 早期属高钾钙碱性—钾玄岩组合, 晚期为双峰式组合, 构成一个从挤压到伸展的造山岩浆旋回, 表明本区在燕山期存在一次重要的造山活动。

(2) 燕山早期岩浆岩是地幔上升的底侵岩浆和双倍陆壳下部的重熔岩浆的共同产物; 燕山晚期主要是正常地壳的中下部重熔产物。

(3) 成因特点揭示出本区的岩石圈结构在燕山期存在一个从双倍陆壳到正常陆壳的过程, 深部地质过程则是底侵作用和拆沉作用的连续进行。

研究工作得到常印佛院士的指导, 在此深表谢意!

## 参考文献(References):

- [1] 邓晋福, 戴圣潜, 吴宗絮, 等. 大别造山带岩石学结构和热结构及其地质意义[J]. 地质学报, 2000, 74(3): 206~215.  
Deng Jinfu, Dai Shengqian, Wu Zongxu, et al. Petrological structure and thermal structure the Dabie orogenic belt and its geological implications [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(3): 206~215 (in Chinese with English abstract).
- [2] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987. 265~324.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Regional Geology of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 265~324 (in Chinese with English abstract).
- [3] 马昌前, 杨坤光, 许长海, 等. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压地体的剥露机理[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 379~395.  
Ma Changqian, Yang Kunguang, Xu Changhai, et al. Mesozoic magmatism in the Dabie mountains: Implication mechanism of ultrahigh-pressure metamorphic terranes[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(1): 379~395 (in Chinese with English abstract).
- [4] 桑隆康, 王人镜, 张泽明, 等. 九资河—天堂寨地区燕山晚期花岗岩与大别造山带核部隆升[J]. 地质学报, 2000, 74(3): 234~246.  
Sang Longkang, Wang Renjing, Zhang Zeming, et al. Late Yanshanian granites in the Jiuzihe—Tiantangzhai area and uplift of the core of the Dabie orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(3): 234~246 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王强, 王人镜, 邱家骧, 等. 大别山核部九资河花岗岩体成因[J]. 地球化学, 2000, 29(2): 120~131.  
Wang Qiang, Wang Renjing, Qiu Jiexiang, et al. Petrogenesis of Jiuzihe granites in the core of Dabie mountains [J]. Geochimica, 2000, 29(2): 120~131 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨友根. 晓天组的生物组合特征[J]. 安徽地质, 1994, 4(4): 44~48.  
Yang Yougen. Features of biotic assemblages of the Xiaotian Formation [J]. Geology of Anhui, 1994, 4(4): 44~48 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨为民, 杨有根. 北淮阳地区的中生界[J]. 安徽地质, 1995, 5(4): 11.  
Yang Weiming, Yang Yougen. The Mesozoic group of the Beihuaiyang area [J]. Geology of Anhui, 1995, 5(4): 11~17 (in Chinese with English abstract).
- [8] Cobbing E J, Pitcher W S, Talyor W P. Segments and Superunits in the coastal batholith of Peru [J]. Geol., 85, 1977, 625~631.
- [9] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 岩浆活动旋回与地球多层对流系统[J]. 地学前缘, 1997, 4(3~4): 205~210.  
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. Cycles of magmatic activities and multilayered convection system of the earth [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3~4): 205~210 (in Chinese with English abstract).
- [10] 葛宁洁, 侯振辉, 李惠民, 等. 大别造山带岳西沙村辉长岩岩体的锆石 U—Pb 年龄及地质意义[J]. 科学通报, 1999, 44(19): 2110~2114.  
Ge Ningjie, Hou Zhenhui, Li Huimin, et al. U—Pb zircon ages of the gabbro intrusions in Sacun, Yuexi, Dabie orogenic belt and their geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(19): 2110~2114 (in Chinese).
- [11] 李曙光, 聂永红, 郑双根, 等. 俯冲陆壳与上地幔的相互作用——I. 大别山同碰撞镁铁—超镁铁岩的主要元素及痕量元素地球化学[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(6): 488~493.  
Li Shuguang, Nie Yonghong, Zheng Shuanggen, et al. Interaction between subducted continental crust and upper mantle: I. major and trace elements of the syncollision mafic—ultramafic rocks [J]. Science in China, (Series D), 1997, 27: 488~493 (in Chinese).
- [12] 李曙光, 聂永红, Hart S, 等. 俯冲陆壳与上地幔的相互作用——II. 大别山同碰撞镁铁—超镁铁岩的 Sr, Nd 同位素地球化学[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1): 18~22.  
Li Shuguang, Nie Yonghong, Hart S R. Interaction between subducted continental crust and upper mantle: II. Sr and Nd isotopic geochemistry of the syncollision mafic—ultramafic rocks [J]. Science in China, Series D, 1998, 28: 18~22 (in Chinese).
- [13] Chen D, Wu Y, Wang Y, et al. Ages, Nd and Sr isotopic compositions of the Jiaoziyuan gabbroic intrusion from the Northern Dabie terrain [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 7: 29~35.
- [14] Jahn B M, Wu F Y, Lo C H, et al. Crust—mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr—Nd isotopic evidence from post—collisional mafic—ultramafic

- ic intrusions of the northern Dabie complex, central China [J]. Chem. Geol., 1999, 157: 119~146.
- [15] Hacker B R, Wang Q. Ar/Ar geochronology of the ultrahigh-pressure metamorphism in central China [J]. Tectonics, 1995, 14(4): 994~1006.
- [16] Yang Zhuliang, Shen Weizhou, Shen Jialin, et al. Isotopic geochronology of the xianghongdian alkaline complex, northern Margin of the Dabie Mountains, China [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(4): 404~410.
- [17] Xue F, Rowley D B, Tucker R D. U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the north Dabie Complex, eastern Dabie Shan, China [J]. The Journal of Geology, 1997, 105: 744~753.
- [18] 陈江峰, 谢智, 刘顺生, 等. 大别造山带冷却年龄的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  和裂变径迹年龄测定 [J]. 中国科学(B 辑), 1995, 25(10): 1086~1091. Chen Jiangfeng, Xie Zhi, Liu Shunsheng, et al. Cooling age of Dabie orogen, China, determined by  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  and fission track techniques [J]. Science in China (Series B), 1995, 25(10): 1086~1091 (in Chinese).
- [19] 游振东, 陈能松, Christopher I Chalokwu. 大别山深部地壳的变质岩石学证据: 罗田惠兰山一带的麻粒岩研究 [J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 138~147. You Zhendong, Chen Nengsong, Christopher I Chalokwu. The metamorphism of deeper crust in the Dabie mountains: as evidenced by the study of granulites near huilanshan, luotian [J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(2): 138~147 (in Chinese with English abstract).
- [20] 徐树桐, 江来利, 刘贻灿, 等. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程 [J]. 地质学报, 1992, 66(1): 1~14. Xu Shutong, Jiang Laili, Liu Yican, et al. Tectonic framework and evolution of the Dabie Mountains in Anhui, Eastern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1992, 66(1): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李曙光, 洪吉安, 李惠民, 等. 大别山辉石岩—辉长岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 351~355. Li Shuguang, Hong Jian, Li Huimin, et al. U-Pb zircon ages of the pyroxenite - gabbro intrusions in Dabie mountains and their geological implications [J]. Geological Journal of China Universities 5(3): 351~355 (in Chinese with English abstract).
- [22] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根柱构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1~110. Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Continental Roots—Plume Tectonics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996, 1~110 (in Chinese with English abstract).
- [23] Pitcher W S. Granite and yet more granites forty years on [M]. Geol. Rund., 76, 1987, 51~79.
- [24] 高山, 张本仁, 金振民, 等. 秦岭—大别造山带下地壳拆沉作用 [J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(3): 532~541. Gao Shan, Zhang Benren, Jin Zhenmin, et al. Lower crustal delamination in the Qinling-Dabie orogenic belt Source [J]. Science in China, (Series D), 1999, 42(4): 423~433 (in Chinese).

## Evidence of magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogen

DAI Sheng-qian<sup>1,2</sup>, DENG Jin-fu<sup>1</sup>, WU Zong-xu<sup>3</sup>,  
ZHAO Hai-ling<sup>1</sup>, CHEN Jiang-feng<sup>4</sup>, DU Jian-guo<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China; 3. Institute of Geology, State Seismological Bureau, Beijing 100029, China; 4. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** On the basis of regional geological mapping, the authors studied Yanshanian rocks in the Dabie area, re-determined the phases of Yanshanian magmatism and found the existence of a complete orogenic magmatic cycle in the area. They for the first time propose that the late Yanshanian magmatic rocks in the area constitute a bimodal association, which combines with the early Yanshanian magmatic rocks (belonging to high-K calc-alkaline-shoshonitic association) to form a compressional to extensional orogenic magmatic cycle. This is important evidence of Yanshanian orogeny. The features of origin of magmatic rocks have revealed that the lithosphere structure in the area experienced a process from double continental crust to normal continental crust in the Yanshanian stage. The deep geological process was the continuation of underplating and delamination.

**Key words:** Dabie orogenic belt; Yanshanian stage; magmatic rock; orogeny; shoshonite