

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 中国东部燕山期火成岩构造组合 与造山—深部过程

邓晋福 赵国春 赵海玲 罗照华 戴圣潜 李凯明

中国地质大学,北京,100083

**内容提要** 中国东部燕山期火成岩构造组合可识别出两种类型,大多数的火成岩具有类似于安第斯和美国西部的大陆边缘弧的岩石学与地球化学性质;南岭地区则发育海西型黑云母、二云母和白云母花岗岩组合。沿岩浆构造带可识别出3个火成岩段。按岩浆—构造事件序列,北、中、南段分别为反时针、顺时针和反时针+顺时针的  $pTt$  轨迹。在中段,玄武岩岩浆底侵作用发生于陆壳增厚之后,即顺时针  $pTt$  轨迹的造山—深部过程被认为是钾玄岩组合占优势发育的主要原因。本文提出,类似安第斯的造山带是由于大陆岩石圈的拆沉(丢失了约120 km的大陆岩石圈根)与大洋俯冲作用的联合所致,而海西型的南岭造山带则是陆内俯冲作用与陆壳—岩石圈的巨大增厚作用所致。因此,中国东部燕山期是复合型(大陆边缘造山与大陆碰撞造山)造山带。

**关键词** 燕山期火成岩构造组合 造山—深部过程 反时针/顺时针  $pTt$  轨迹

中国东部燕山期岩浆—构造—成矿带是濒太平洋构造域的一部分。大量的论著问世,讨论它们的形成与演化,研究水平与程度均很高(刘训,1982;张勤文等,1982;涂光炽等,1983;徐志刚,1985;邓晋福等,1990)。但是,仍有一些问题不甚清楚,引起争论,例如:① 为何这个带可分布延伸进入陆内 >1000 km? ② 火成岩类属什么构造环境? ③ 为何发育挤压—拉伸交替的反转构造? 本文将对这些问题展开讨论。

## 1 燕山期火成岩类的岩石学与地球化学性质

### 1.1 两类火成岩构造组合

中国东部燕山期火成岩构造组合可识别出两种类型(邓晋福等,1996),安第斯型和海西型。南岭地区发育黑云母花岗岩—二云母花岗岩—白云母花岗岩组合与典型的 W-Sn 成矿带,这与喜马拉雅大陆碰撞造山带和中欧海西大陆碰撞造山带内发育的花岗岩类与成矿组合一样,我们把它称为海西型(Hercyn-type),主要通过陆内俯冲作用(把两个大陆的叠置称为陆内俯冲作用)完成造山过程。南岭以外的其他广大地区,则发育壳幔混合型的火成岩组合,除侵入岩外,有大量火山喷发。侵入岩由辉长岩—闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩或石英二长岩—正长岩—花岗岩组成,以花岗岩类占优势。火山岩由玄武岩—玄武安山岩或钾玄岩(shoshonite)—安山岩或安粗岩—粗面岩或英安岩—流纹岩构成,占优势的是安粗岩和安山岩,它们与安第斯和美国西部的大陆边缘火成岩类似,称之为安第斯型(Andes-type)或类似安第斯型(Andes-like)。因此,从造山带尺度的整体来看,燕山期东部造山带是大陆边缘与大陆碰

注:本文得到国家攀登专项(编号 SSER-111-2)、国土资源部项目(编号 9501112,9501102-04-02,9501105-03-02)和国家自然科学基金项目(编号 49772155)资助。

本文1999年5月收到,9月改回,刘淑春编辑。

撞复合型造山带。对于海西型的构造归属争议不大,因此,本文将主要集中于对争议较大的安第斯型火成岩类的讨论。

1.2 类似安第斯型的火成岩类特征

由图1、表1、表2可以看出,在造山带尺度上与其他构造地区相比较,中国东部燕山期火成岩(除南岭地区外)在岩石学与地球化学特征上具有与安第斯弧和美国西部类似的大陆边缘弧性质。

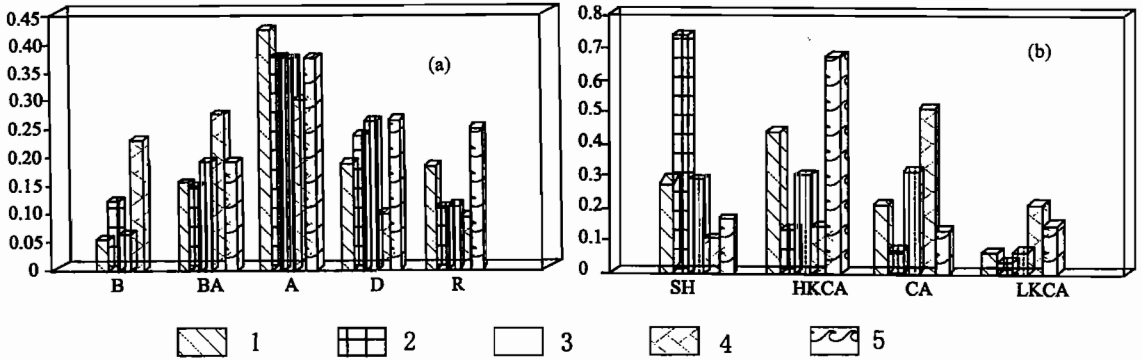


图1 中国东部北方地区燕山期火山岩与世界其他典型地区火山岩的岩石类型

(a, 基于 SiO<sub>2</sub> 含量的分类)和岩石系列(b, 基于 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 关系)频率分布图(据邓晋福等, 1996)

Fig. 1 Frequency distribution of the Yanshanian volcanic rock type in terms of SiO<sub>2</sub> content (a) and the rock series in terms of SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O relation (b) in the north part of East China by comparison with that in Andes Arc, Island Arc, and Qinghai-Tibet continental collisional orogenic belt (after Deng Jinfu et al., 1996)

B—玄武岩; BA—玄武安山岩; A—安山岩; D—英安岩; R—流纹岩; SH—钾玄岩;

HKCA—高钾钙碱性; CA—钙碱性; LKCA—低钾钙碱性

B—Basalt; BA—basaltic andesite; A—andesite; D—dacite; R—rhyolite; SH—shoshonite; HKCA—high potassic calcalkalic; CA—calcalkalic; LKCA—low potassic calcalkalic

1.3 与安第斯弧的区别

与包括安第斯在内的科迪勒拉造山带比较,中国东部燕山期火成岩主要差异在于:①缺乏英云闪长岩和奥长花岗岩;②较多数量的HKCA(图1b);③较高Zr和Nb含量(表1);

表1 中国东部燕山期火成岩与其他构造地区火成岩的Ti, Zr, Nb平均含量(据邓晋福等, 1996)

Table 1 Ti, Zr and Nb average contents of the Yanshanian igneous rocks in East China and other tectonic regions (after Deng Jinfu et al., 1996)

地区		TiO <sub>2</sub> (%)	Zr (× 10 <sup>-6</sup> )	Nb (× 10 <sup>-6</sup> )
中国东部	燕辽地区火山岩	0.80	205	16
	下扬子钾玄岩和安粗岩	0.95	164	
	南太行辉长岩和闪长岩	0.62	142	8
	燕辽地区花岗岩	0.42	155	14
	冀北A型花岗岩	0.55	466	33
弧钾玄岩		0.85	150	5~7
弧安山岩		0.58	90	
青藏大陆碰撞带钾玄岩		1.30	320	37
大陆裂谷碱性玄武岩		2.20	800	50~90

表2 中国东部燕山期火成岩和美国西部中生代—第三纪花岗岩类的ε<sub>Nd</sub>(t)和ε<sub>Sr</sub>(t)或I<sub>Sr</sub>

Table 2 ε<sub>Nd</sub>(t) and ε<sub>Sr</sub>(t) or I<sub>Sr</sub> of the Yanshanian igneous rocks in East China and Mesozoic and Tertiary granites in West USA

地区	ε <sub>Nd</sub> (t)	ε <sub>Sr</sub> (t)(或 I <sub>Sr</sub> )
中国东部燕山期火成岩 (据陈义贤等, 1997; Chen et al., 1997)		
I型花岗岩和火成岩	+4→-17	+4→+80
S型花岗岩	-3→-10	0.7070→0.7030
美国西部花岗岩类(据 Farmer et al., 1983)		
靠近海沟一侧	+8→-6	-20→+60
内陆	-6→-18	+60→+100

④ 较低  $\epsilon_{Nd}(t)$  和较高的  $\epsilon_{Sr}(t)$ (表 2)。笔者认为,这是由于中国东部处于远离海沟的内陆部位

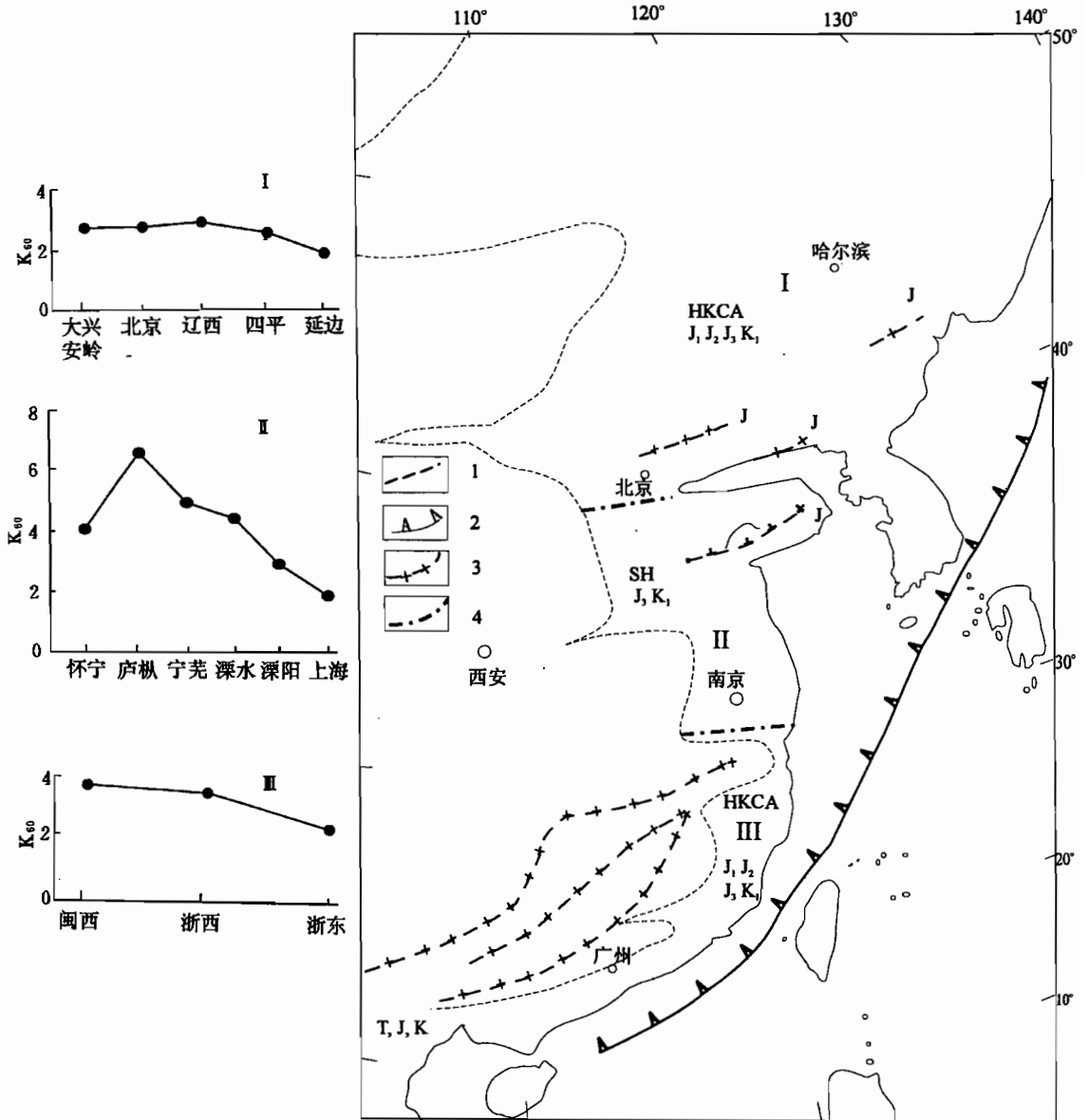


图 2 中国东部燕山期火成岩带的分段及其  $K_{60}$  (据邓晋福等,1996 补充修改)

Fig.2 Segmentation of the Yanshanian igneous belt and their  $K_{60}$  value in East China (after Deng et al., 1996 with some supplements)

1—火山岩西边界;2—大洋俯冲带;3—黑云母—二云母—白云母花岗岩带;4—火成岩段的边界和造山带的亚型: I—北段(燕辽亚型); II—中段(大别亚型); III—南段(东南沿海亚型)

1—West boundary of volcanic rocks;2—oceanic subduction zone;3—biotite—two mica—muscovite granite zone;4—boundaries of the igneous segments and subtypes of the orogenic belt: I—North (Yanshan—Liaoning subtype); II—Middle (Dabie subtype); III—South (southeast coast subtype)

以及局部地带存在陆内俯冲作用机制的原因。

## 2 燕山期火成岩带的分段性

沿火成岩带可划分出 3 个火成岩段(邓晋福等,1992,1994,1996;Wang et al.,1996)见图 2 所示。由图 2 可以看出,北段(图 2 中 I)是以 HKCA 为主,较长的喷发时间(从  $J_1$ — $J_2$ — $J_3$ — $K_1$ ),不明显的  $K_{60}$ ( $SiO_2$ 60%时  $K_2O$ %含量)的组成极性,但仍可见到辽西的  $K_{60}$ 最高,向东、西两侧降低。中段(图 2 中 II)则以钾玄岩(SH)系列为主,火山喷发时间短( $J_3$ — $K_1$ ),有唯一的白榴石响岩, $K_{60}$ 有一个明显的、但不对称的极性,以庐枞地区  $K_{60}$ 最高。南段的特征是,黑云母、二云母、白云母花岗岩带(海西型)与 HKCA 为主的火山岩带(安第斯型)的成对分布性,较长时间喷发(从  $J_1$ — $J_2$ 、 $J_3$ — $K_1$ )和不明显的  $K_{60}$ 极性。与北段相比,南段的 HKCA 系列中占优势的是流纹岩,而不是安山岩和安粗岩(邓晋福等,1992,1994,1996;Wang et al.,1996)。很有意义的是, $K_{60}$ 的分布样式与安第斯弧有差异,后者为从海沟—内陆, $K_{60}$ 持续升高;而东部燕山  $K_{60}$ 最高值不在火成岩带的西边界附近,形成  $K_{60}$ 呈不对称的凸起样式。 $K_{60}$ 主要反映陆壳厚度(Condie,1982), $K_{60}$ 不对称凸起暗示东部造山带的山根位置主要位于辽西—庐枞—南岭一线,与图 2 中北、中段内在此山根位置及其附近均由局部的二云母—白云母花岗岩的分布符合,它们暗示陆内俯冲作用的机制不但是南段的特征,而在北段、中段内部的陆内块体之间亦发生了陆内俯冲作用。这样,东部燕山期是大陆边缘与大陆碰撞复合型造山带,在这点上与典型的安第斯型大陆边缘造山带的差异可能决定了在上述讨论的那些岩石学与地球化学特征上的差异。火成岩带的分段性可能与造山—深部过程有关,亦可能还与大洋俯冲带倾角差异有关。

表 3 燕辽地区中生代岩浆—构造幕简表

Table 3 Scheme of Mesozoic magma—tectonic episodes in the Yanshan—Liaoning region

时代	燕山	辽西	建造	逆冲断层	花岗岩类	构造环境	岩浆构造幕
$K_2$	土井子组	孙家湾组	类磨拉石	孙家湾组之后,如南天门断裂		挤压造山	$K_2$ 燕山末期
$K_1$	青石砬组 南店组 花吉营组 西瓜园组 大北沟组	阜新组 九佛堂组	煤系 湖盆沉积		造山后 A型花岗岩	造山带崩塌、拉伸	$K_1$ 燕山晚期
$J_3$	张家口组 白旗组	义县组	火山岩	$J_2$ 之后,如龙潭、大凌河断裂		拉伸或中性	$J_3$
$J_2$	后城组 髫髻山组 九龙山组	土城子组 蓝旗组 海房沟组	类磨拉石 火山岩 类磨拉石	$J_1$ 之后,如汤河口断裂	造山花岗岩类	挤压造山	$J_2$ 燕山中幕
$J_1$	下花园组 南大岭组	北票组 兴隆沟组	煤系 火山岩			拉伸或中性	$J_1$ 燕山早幕
$T_3$	杏石口组	老虎沟组	类磨拉石	$T_3$ 前地层褶曲构造	造山后A型花岗岩	造山带崩塌、拉伸	$T_3$ 印支晚幕
$T_1+T_2$					造山花岗岩类(?)	挤压造山	$T_1+T_2$ 印支早幕

### 3 岩浆—构造事件序列和造山—深部过程

由表 3 可以看出,在燕山期造山阶段的尺度上看,北段的岩浆—构造事件序列指出:① 首先是源于软流圈的玄武质岩浆底侵于陆壳底部,并对陆壳加热;② 然后是由于逆冲断层作用陆壳缩短与增厚;③ 最后是造山崩塌(collapse)和陆壳抬升。这样,北段的地质事件序列指示造山—深部过程具有反时针  $pTt$  轨迹(图 3a),类似于安第斯造山带的地质事件序列(Pitcher, 1993),它们类似于岛弧和大陆边缘造山带特征的变质带的反时针  $pTt$  轨迹(Brown, 1994)。

然而中段(图 2),玄武质岩浆的底侵作用和火山喷发发育在陆壳缩短和增厚作用之后,笔者认为,这是该段占优势地发育钾玄岩系列的原因。这样的地质事件序列指示造山—深部过程具顺时针  $pTt$  轨迹(图 3b),它类似于大陆碰撞造山带特征的变质的顺时针  $pTt$  轨迹(Brown, 1994)。

南段的东、西两侧(图 2),从地质事件序列来看,可能分别为反时针  $pTt$  和顺时针  $pTt$  轨迹的造山—深部过程。这样,基于地质事件序列指示的造山—深部过程来看:① 3 个火成岩段的  $pTt$  轨迹不同,可能是他们的岩石学与地球化学性质差异的主要原因;② 如果从燕山期内部,次级时间尺度——造山幕来看,火山作用于逆冲构造亦常呈幕式发育几次(如表 3),每一次陆壳的加厚,由于山体的高海拔产生的位能必诱发造山带的伸展崩塌,因此,造山—深部过程的幕式发育可能是燕山期反转构造发育的重要原因;③ 与火成岩构造所指示的复合型造山带性质一样,造山—深部过程的反时针  $pTt$  与顺时针  $pTt$  轨迹的同时发育亦指示,东部燕山期造山带具大陆边缘与大陆碰撞复合型造山带。

### 4 中国东部燕山期造山带的成因模型

基于火成岩探针新技术(邓晋福等, 1994, 1996; 郑建平等, 1999; 朱大岗等, 1999),获得发育安第斯型火成岩组合地带的侏罗纪—白垩纪时期的岩石圈和陆壳的厚度分别为:60~80 km 和 50~60 km;而侏罗纪前的岩石圈和陆壳的厚度分别为:200~250 km 和 40 km,它指示大陆岩石圈丢失了至少 120 km 厚的根带,但陆壳加厚了约 10~20 km,进一步指示这是一种在造山环境下的大陆岩石圈的巨大减薄作用。然而对于海西型的南岭造山带来说,则岩石圈与陆壳均发生了巨大增厚作用。基于上述参数,结合火成岩系列及其性质、 $K_{60}$ 、火成岩分段及其造山—深部过程的  $pTt$  轨迹,笔者认为东部燕山期造山带成因模型如图 4 所示。

该模型可以较好的解释前言中提出

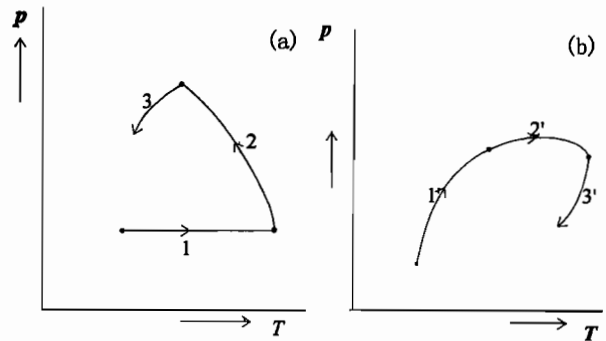


图 3 造山—深部过程  $pTt$  轨迹示意图

Fig. 3 Sketch showing  $pTt$  path of orogenic—deep processes

(a)—反时针  $pTt$  轨迹:1—玄武质岩浆底侵作用对陆壳加热;2—逆冲构造导致陆壳增厚;3—造山崩塌诱发隆升;(b)—顺时针  $pTt$  轨迹:1'—逆冲构造导致陆壳增厚;2'—玄武质岩浆底侵作用对陆壳加热;3'—造山崩塌诱发隆升

(a)—Counter-clockwise  $pTt$  path: 1—basalt magma underplating; 2—crust thickening by thrusting; 3—post orogenic extensional collapse; (b)—clockwise  $pTt$  path: 1'—crust thickening by thrusting; 2'—basalt magma underplating; 3'—post orogenic extensional collapse

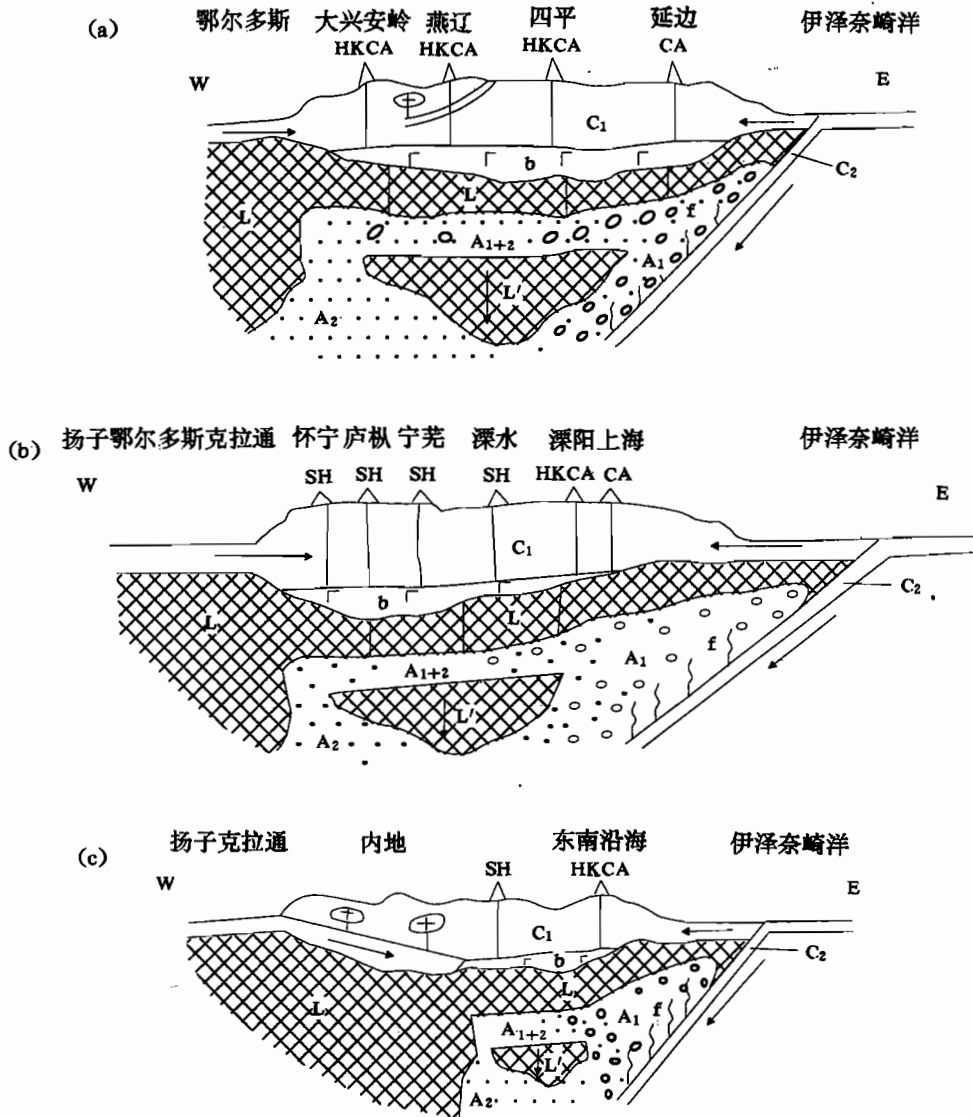


图4 中国东部燕山期岩石圈拆沉与大洋俯冲—大陆碰撞复合造山的联合成因模型  
(据邓晋福等,1996修改补充)

Fig. 4 A genetic model showing the Yanshanian lithosphere delamination in combination with the composite oceanic subduction and continental collision orogeny in East China

(after Deng Jinfu et al., 1996 with some supplements)

造山带亚型:(a)—燕山—辽宁亚型;(b)—大别亚型;(c)—东南沿海亚型;火山岩系列 CA, HKCA, SH 同图 1; b—玄武质岩浆底侵的岩浆房; C<sub>1</sub>—陆壳; C<sub>2</sub>—洋壳; L—岩石圈; L'—拆沉的岩石圈; A<sub>1</sub>—与大洋俯冲有关的软流圈; A<sub>2</sub>—与大陆碰撞有关的软流圈; A<sub>1+2</sub>=A<sub>1</sub>+A<sub>2</sub>; f—从大洋俯冲带放出的流体或熔体; +—二云母和白云母花岗岩

Subtypes of orogenic belt: (a)—Yanshan—Liaoning subtype; (b)—the Dabei subtype; (c)—the southeast subtype; volcanic series of CA, HKCA, SH are the same as those in Fig. 1; b—basaltic magma underplating chamber; C<sub>1</sub>—continental crust; C<sub>2</sub>—oceanic crust; L—lithosphere; L'—delaminated lithosphere; A<sub>1</sub>—asthenosphere related to the oceanic subduction; A<sub>2</sub>—asthenosphere related to the intracontinental orogeny; A<sub>1+2</sub>=A<sub>1</sub>+A<sub>2</sub>; f—fluids or melts released from the subduction oceanic slab; +—two-mica and muscovite granite

的问题①和②,大洋板块俯冲作用的顺利与受阻的交替,以及前面讨论的造山—深部过程的幕式发育,可以解释前言中问题③。

### 参 考 文 献

- 陈义贤,陈文奇,周新华等. 1991. 辽西及邻区中生代火山岩. 北京:地震出版社,279.
- 邓晋福,赵海玲. 1990. 中国东部上地幔热结构——由岩石学模型推导. 地质学报,64(4):344~349.
- 邓晋福,叶德隆,赵海玲等. 1992. 下扬子地区火山作用、深部过程与盆地形成. 武汉:中国地质大学出版社,184.
- 邓晋福,莫宣学,赵海玲等. 1994. 中国东部岩石圈根/去根作用于大陆活化. 现代地质,8(3):349~356.
- 邓晋福,赵海玲,莫宣学等. 1996. 中国大陆根-柱构造—大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社,110.
- 刘训. 1982. 对中国东部燕山运动的一些认识. 地质论评,28(5):428~438.
- 涂光炽,赵振华. 1983. 燕山期成矿作用的多样性. 地质论评,29(1):57~65.
- 徐志刚. 1985. 从构造应力场特征探讨中国东部中生代火山岩成因. 地质学报,59(2):109~126.
- 张勤文,黄怀曾. 1982. 中国东部中、新生代构造—岩浆活化史. 地质学报,56(2):111~121.
- 郑建平,路凤香, O'Reilly S Y 等. 1999. 华北地台东部古生代与新生代岩石圈地幔特征及其演化. 地质学报,73(1):47~56.
- 朱大岗,吴珍汉,崔盛芹等. 1999. 燕山地区中生代岩浆活动特征及其与陆内造山作用关系. 地质论评,45(2):163~172.
- Brown M. 1994. The generation, segregation, ascent and emplacement of granitic magma; the migmatite-crustally-derived granite connection in thickened orogens. *Earth Sci., Rev.* 36:83~130.
- Chen J F, Jahn B M. 1997. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophys.* 284:101~133.
- Condie K C. 1982. plate tectonics and crustal evolution. New York: Pergamon Press. 310.
- Farmer G L, DePaolo D J. 1983. Origin of Mesozoic and Tertiary granite in the wwestern United States and implications for Pre-Mesozoic crustal structure, 1. Nd and Sr isotopic studies in the geocline of Northern Great Basin. *Jour., Geophys., Res.* 88 (B4):3379~3401.
- Pitcher W S. 1993. The nature and origin of granite. London: Chapman & Hall, 321.
- Wang D Z, Ren Q J, Lin C S. 1996. The Mesozoic volcanic-intrusive complexes and their metallogenic relations in East China, Beijing: Sci. Press, 159.

### 作 者 简 介

邓晋福,男,1935生。现为中国地质大学(北京)教授、博士生导师,从事火成岩深部过程与岩石大地构造的教学与科研工作。通讯地址:100083,北京市学院路29号,中国地质大学。

## Yanshanian Igneous Petrotectonic Assemblage and Orogenic—Deep Processes in East China

Deng Jinfu Zhao Guochun Zhao Hailing Luo Zhaohua Dai Shengqian Li Kaiming

*China University of Geosciences, Beijing, 100083*

### Abstract

Two types of Yanshanian igneous petrotectonic assemblages in East China are recognized: most of the igneous rocks is characterized by the continental marginal arc in petrology and geochemistry like Andes and west USA; and the Hercyn-type biotite-, two mica-, and muscovite granite belt is developed in the Nanling region. Three segments of Yanshanian igneous rocks along the belt have been recognized. In terms of the magma-tectonic event sequence, the north, middle and south segments have CCW, CW, and CCW + CW  $pTt$  path, respectively. The CW  $pTt$  path of the middle segment, indicated from the basaltic magma underplating after the crustal thickening, is believed to be a cause for the dominant developing of the shoshonitic rock assemblage. This paper suggests that, the Andes-like orogenic belt resulted from the lithosphere de-

lamination (loss of about 120 km continental lithosphere root) in combination with the oceanic subduction, and the Hercyn-type Nanling orogenic belt is formed due to both the lithosphere and the crust thickening. Thus, the orogenic belt of East China in Yanshanian is believed to be a composite orogenic belt of continental marginal and continental collision orogeny.

**Key words:** Yanshanian igneous petrotectonic assemblage; orogenic—deep processes; CCW/CW  $pTt$  path

---

---