

# 鲁西地区地质构造特征及其形成机制

牛树银<sup>1</sup> 胡华斌<sup>1,2</sup> 毛景文<sup>2,3</sup> 孙爱群<sup>1</sup> 许传诗<sup>1</sup> 侯泉林<sup>4</sup>

(1. 石家庄经济学院资源学院, 河北 石家庄 050031; 2. 中国地质大学, 北京 100083;  
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100039)

**摘要:** 根据区域地层(体)中部老外部新的环状分布, 断裂构造的环状、放射状展布, 核部缓倾拆离滑脱构造的发育特点, 幔源岩浆活动以及区域岩石学、岩石化学、同位素地质学等方面的研究, 探讨了鲁西幔枝构造特征及其形成机制。研究认为鲁西地区北西向陡倾韧性剪切带切割了深部华北地幔亚热柱向外拆离的地幔岩, 导致其减压释荷形成深熔岩浆。岩浆演化序列表现出岩浆基性程度由高变低、侵入深度由深变浅、围岩蚀变由强变弱的总体演化趋势。由于强烈的岩浆上侵使得变质基底隆升、盖层拆离滑脱, 形成典型的鲁西幔枝构造, 在顶部则发育一系列明显的拆离掀斜断块。

**关键词:** 地幔热柱; 幔枝构造; 构造演化; 形成机制; 鲁西地区

**中图分类号:** P542<sup>+</sup>.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)01-0034-06

鲁西地区以其独特的地质特征和丰富的矿产资源而倍受地质学家的关注, 地质研究程度颇高。但对该地区地质演化, 尤其是燕山运动以来的构造演化尚存不同认识<sup>[1-3]</sup>。本文将从地幔热柱多级演化的角度, 简述鲁西地区的地质构造特征, 并探讨其形成机制。

地幔热柱演化的第三级构造单元称为幔枝构造(mantle branch structure), Maruyama 等<sup>[4]</sup>称之为三次柱, 是地幔热柱多级演化在岩石圈浅部的综合表现。幔枝构造一般由核部岩浆-变质杂岩、外围盖层拆离滑脱层、上叠断陷-火山沉积盆地等 3 个单元组成<sup>[5]</sup>。它们共同构成相互关联的统一整体。

## 1 规则的区域地层(岩体)展布

郯庐断裂以西的山东省西部地区以往被统称为鲁西断隆, 它十分显著地耸立在华北平原中东部。地形、地貌, 甚至地层(岩体)展布均以泰山—鲁山—邹县—临沂地区为中心, 向外呈环状展布。鲁西地区基底由新太古代泰山岩群、TTG 岩系和古元古代造山花岗岩体组成。其中泰山岩群岩性主要由斜长角闪岩和黑云变粒岩组成, 并和 TTG 岩系一起遭受了中—浅程度的变质作用<sup>[6]</sup>。盖层则由古生代、中生代和新生代碳酸盐岩、碎屑岩和火山岩组成。其中古生代主要由寒武系—中奥陶统碳酸盐岩夹碎屑岩组成, 中石炭统—二叠系

则为海相地层和陆相含煤碎屑岩建造; 中生界缺失三叠系, 仅发育侏罗系—白垩系, 为一套陆相碎屑岩建造; 新生界亦以陆源碎屑沉积夹火山岩为主(图 1)。

地层展布上具有一定规律性, 基底构造层主要出露于中部地区, 呈不甚规则的圆形展布, 其上尚残留有部分尚未完全拆离剥蚀掉的盖层掀斜地块。基底构造层向外逐渐呈同心环状展布有古生界、中生界、新生界。中新生代进入了强烈的地壳运动时期, 不仅伴有强烈的火山喷发、多期次岩浆侵入活动, 同时伴有大幅度的隆升, 差异隆陷明显, 甚至形成掀斜地块, 使得中生界分布零星, 且多表现为断陷盆地中的箕状沉积。这表明燕山运动以来, 鲁西地区进入了强烈的幔枝构造活动时期, 使得核部区强烈隆升, 盖层则大幅度向外拆离滑脱, 形成了典型的鲁西幔枝构造。

## 2 独特的地质构造特征

鲁西幔枝区的断裂构造展布具有明显的规律性。总体上以中部的新泰—泗水—平邑—蒙阴地区为中心, 向外呈同心环状和放射状断裂展布<sup>[7]</sup>。根据主要同心环状断裂展布, 可划分为 3 个基本完善的环状构造。从内向外分别为: (1) 肥城—沂源—临沂—曲阜环状断裂, 该环状断裂实际上是古生界寒武系—奥陶系盖层与基底间的主拆离滑脱带。尽管拆离滑脱

收稿日期: 2003-05-12; 改回日期: 2003-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272088); 中国地质调查局地质大调查项目(200110100038)和中国科学院知识创新项目(KZCX1-07)联合资助。

作者简介: 牛树银, 男, 1952 年生, 教授, 主要从事构造地质及构造成矿的教学和研究工作; E-mail: niusy@zue.edu.cn。

带不尽连续,但总体呈环状,是在基底向上隆升、盖层向外拆离过程中形成的一种正向滑脱带。也可能原为盖层与基底间的不整合界面,在上隆过程中被主拆离滑脱带所利用、改造。

(2)巨野—梁山—济南—淄博环状构造带,它是以古生界为底的中新世断陷—沉积岩系与古生界之间的拆离带。断裂

向外缓倾,倾角多为 10~30°,界面往往具有明显的滑脱作用。中新世断陷沉积从内向外沉积逐渐加厚,剖面上具有明显的箕状特征,外侧沉积厚度最大可达 600~1 000 m。

(3)马头集—范县—聊城—桓台环状断裂,它构成了以古生界为底的中新生代断陷—沉积岩系与以古近系为底的新生代火山—

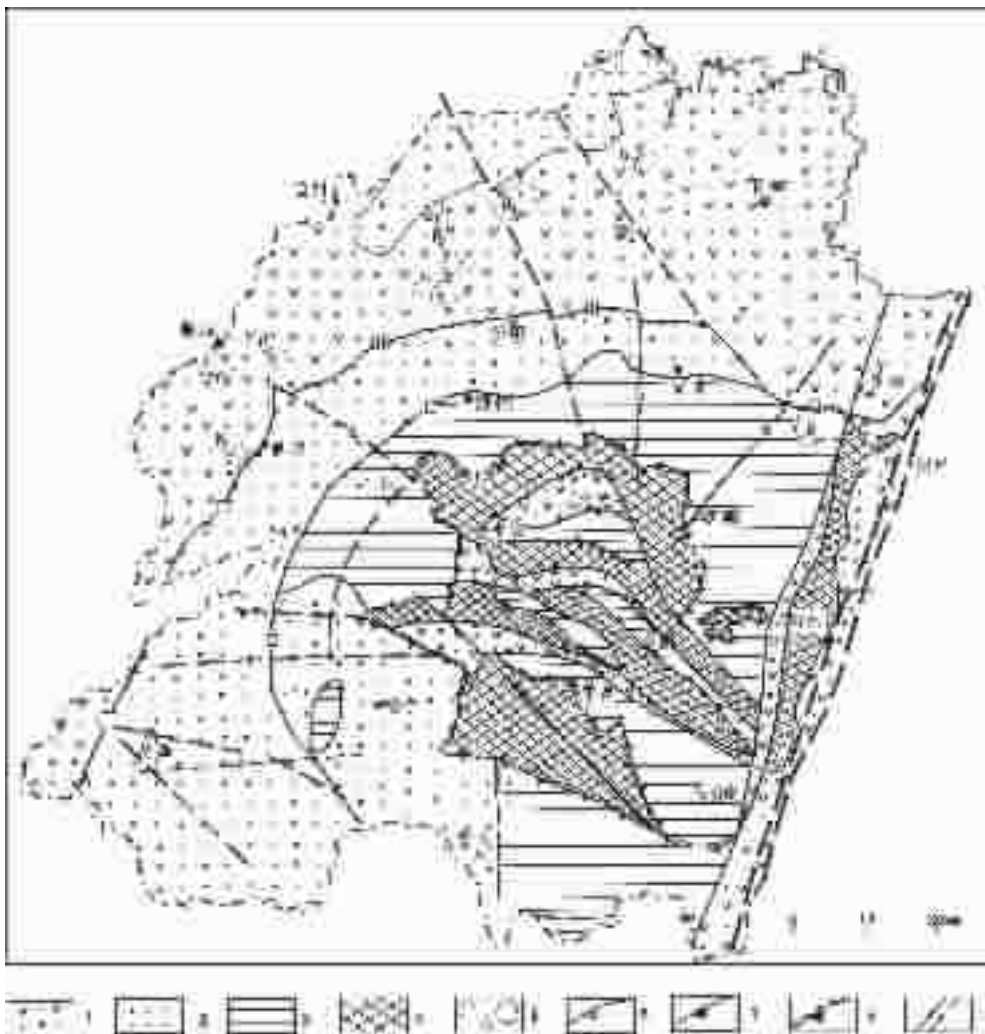


图 1 鲁西幔枝构造简图

- 1—以古近系为底的断陷火山—沉积盆地; 2—以古生界为底的断陷沉积盆地; 3—古生代拆离滑脱层; 4—核部岩浆—变质杂岩;
- 5—新生代玄武岩(隐伏为虚线); 6—反铲状断层; 7—次级拆离滑脱带; 8—主拆离滑脱带; 9—断层及推测断层
- I—基底外围主拆离滑脱带; II—古生界外围次级拆离滑脱带; III—断陷—火山盆地与断陷沉积盆地界线
- a—上五井断裂; b—金山—姚家峪断裂; c—文租断裂; d—肥城断裂; e—汶上一泗水断裂;
- f—郓城断裂; g—尼山断裂; h—微山断裂

Fig. 1 Schematic map of mantle-branch structure in western Shandong

- 1—Downfaulted volcanic—sedimentary basin on the bottom of Paleogene; 2—Downfaulted sedimentary basins on the bottom of Paleozoic; 3—Paleozoic detachment layer; 4—Igneous—metamorphic complex at the core; 5—Cenozoic basalt (the broken line denotes hidden); 6—Reverse listric faults; 7—Secondary detachment zone; 8—Main detachment zones; 9—Faults and inferred faults. I—Main detachment zones surrounding the crystalline basement; II—Secondary detachment zones surrounding the Paleozoic; III— Geological boundary between the downfaulted—volcanic basin and downfaulted—sedimentary basin. a. Shangwujing fault; b—Jinshan—Yaojiayu fault; c—Wenzu fault; d—Feicheng fault; e—Wenshang—Sishui fault; f—Yuncheng fault; g—Nishan fault; h—Weishang fault

沉积物的界线,同时亦是前述箕状沉积外围的铲状断裂,断裂以高角度倾向向中部倾斜(图 1)。

放射状断裂主要有夏蔚断裂、淄河断裂、上五井断裂、金山—姚家峪断裂、白泉庄—五色崖断裂、文租断裂、长清断裂、汶上—泗水断裂、蒙山断裂、郛城断裂、菏泽断裂、鳧山断裂、尼山断裂、独角山断裂等。尤以尼山断裂、郛城断裂、汶上—泗水断裂、肥城断裂、文租断裂、金山—姚家峪断裂、上五井断裂等规模较大,特征明显。一般情况,放射状断裂面以陡倾为主,同心环状断裂向外缓倾为主。两者相互切错,表明两组断裂为同应力场、同构造期的产物。分析认为应是鲁西幔枝构造形成期间发育的断裂体系。

值得指出的是,鲁西幔枝构造核部岩浆-变质杂岩区还出现了 4 条隆坳相间的构造组合,它们亦是幔枝构造活动的产物,并具有明显的弧形拆离滑脱带。山脉多呈向北突出的弧形,自东向西逐渐由北西转为近东西,尔后转为北东向。4 个隆起带自南向北依次为:(1) 尼山—母子山隆起带;(2) 蒙山隆起带;(3) 徂莱山—新甫山—孟良岗隆起带;(4) 泰山—鲁山—沂山隆起带。而在每条弧形隆起的凹侧,则为 4 条弧形断陷带,自南向北依次为泗平(泗水—平邑)断陷、汶蒙(大汶口—蒙阴)断陷、肥城断陷和莱芜断陷。各断陷均为中生代断陷火山-沉积建造。断陷与隆起之间均发育典型的铲状断裂,并控制着断陷中的箕状沉积。实际上,它们均是鲁西幔枝上隆、盖层向外拆离过程中被弧形断裂阻挡的掀斜断块,从隆起至断陷,表现出明显的由变质基底杂岩→寒武系—奥陶系→石炭系—二叠系→侏罗系—白垩系→古近系—新近系—第四系展布。其间的不整合面作为构造薄弱面,多被改造为拆离滑脱断层。铲状断裂外侧又为另一个隆坳组合(图 1),明显表现出了鲁西幔枝隆升过程中,从核部向外围拆离滑脱的总体特征。

### 3 强烈的幔源岩浆活动

鲁西地区中生代广泛发育典型的幔源岩浆岩,包括侵入岩、富钾火山岩和煌斑岩脉,其中,中生代侵入岩分布十分广泛,类型多样,但多数规模较小。从岩石谱系看,可划分为济南超单元、铜石超单元、埠村超单元、沂南超单元、卧福山超单元和雪野超单元,各超单元内岩性多样<sup>[7]</sup>。从岩性组合上可分为 5 组:(1) 二长闪长斑岩—二长斑岩—正长斑岩组合,以平邑铜石岩体为代表;(2) 辉石岩—二长闪长岩—正长岩组合,以枣庄沙沟岩体为代表;(3) 橄辉苏长辉长岩—二辉闪长岩(角闪闪长岩)—石英二长岩组合,以邹平地区岩体为代表;(4) 闪长(斑)岩—石英二长闪长(斑)岩—花岗(斑)岩组合,以沂南铜井一带岩体为代表;(5) 碳酸岩类,以雪野岩体为代表。前两类分布于鲁西南,临沂—费县—平邑—泗水一线之南,第三类主要分布于此线以北的广大地区,第四类则以鲁西的东部,近沂沐断裂带地域为多。碳酸岩分布在鲁西莱芜—淄博一带的八陡、乐疃、东石码、胡家庄、雪野等地。亦表明从幔枝

构造核部向外,岩浆岩的基性程度变低。

岩石学、岩石地球化学研究认为,前 4 类岩石是在幔源正长质岩浆或辉长质岩浆与地壳熔融物参与下生成的岩石组合<sup>[8]</sup>。碳酸岩是一类岩浆成因、碳酸盐矿物含量大于 50%、SiO<sub>2</sub> 含量小于 10%的幔源岩浆岩<sup>[9]</sup>。碳酸岩的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 为 0.70998~0.71048,ε<sub>Nd</sub> 为 -14.1~-16.7,是富集地幔源区部分熔融的产物<sup>[10]</sup>。

鲁西中生代富钾火山岩多分布于陆相断陷火山盆地中,代表性的盆地有蒙阴盆地、平邑—费县盆地、莱芜盆地、邹平盆地、临朐盆地和沂源盆地等。其中,以蒙阴盆地的青山组发育最好。按岩性岩相特征可划分为 3 个喷发旋回:第 1 旋回由玄武粗安质—粗安质火山碎屑岩与复成分砾岩组成;第 2 旋回由火山凝灰岩与粉砂岩互层组成;第 3 旋回是区内火山岩的主体,由偏碱性的中基性火山碎屑岩与熔岩组成,岩性包括粗面玄武岩、钾玄岩及相应成分的火山集块岩、火山角砾岩等。富钾火山岩的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 值较高,为 0.708715~0.711418,ε<sub>Nd</sub> 值为 -11.47~-19.64,显著偏低,显示了富集地幔源区部分熔融的结果<sup>[11]</sup>。

煌斑岩多分布在火山盆地的外围,主要产在鲁西地块南缘的枣庄和新庄附近,可区分为两类:一类为偏碱性超镁铁质煌斑岩;另一类为偏碱性的中基性煌斑岩,多侵入在寒武纪的地层中。上述煌斑岩具有与富钾火山岩一致的锶、钕同位素组成,其形成环境也应为富集地幔<sup>[11]</sup>。

鲁西中生代岩浆活动主要集中在两个时期,其一为早侏罗世,年龄为 180~190 Ma;另一期在早白垩世,年龄为 110~130 Ma。鲁西富钾火山岩样品的 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄值变化于 (114.8±0.6)Ma ~ (124.34±0.6)Ma,煌斑岩的 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄也集中在 (119.6±0.7)Ma<sup>[12]</sup>。由此可见,鲁西幔枝构造中生代活动的高潮时期为早侏罗世和早白垩世,尤以早白垩世的活动为强烈,进入新近纪,则以差异升降为主的地壳均衡代偿作用为主。这也与部分学者提出的早白垩世为全球地幔柱活动的高潮时期相一致。

### 4 鲁西幔枝构造的形成机制

华北地块经历了漫长的稳定地台型演化之后,自燕山运动以来进入了地幔热柱演化阶段。地球物理探测资料对岩石圈三维结构给予了强有力的支持。尽管这些资料反映的是现代岩石圈的结构,但由于岩石圈演化是较缓慢的过程,从演化趋势上分析,适当向前推断(如 100 Ma 以内)还是可信的。在北京—冲绳间幔壳结构剖面上,明显地显示出两个 V<sub>s</sub> < 4.2~4.3 km/s 的地幔隆起。物性上相当于两个地幔亚热柱:冲绳地幔亚热柱和以渤海为中心的华北地幔亚热柱。鲁西幔枝构造则是华北地幔亚热柱的次级构造单元。

参照地震层析资料揭示出来的华北东部盆岭区幔壳结构,结合该区中生代以来的岩浆活动以及新生代渤海周边地区大量幔源岩浆活动特征,可建立鲁西幔枝构造形成模式,

探讨其形成机制。

正是由于华北地幔亚热柱呈蘑菇状向外围扩展,加之地幔位势差的存在,使岩石圈深部物质可通过上地幔顶部幔壳过渡带、中地壳低速带(韧性流变拆离带)等向外围方向拆离流变。而这些低速软层一旦被持续活动的陡倾韧性剪切带所切割,加之剪切带造成的减压释荷作用,便可导致原本具有一定熔融性质的低速软化物质转变为深熔岩浆源,并可沿陡倾韧性剪切带上侵,甚至通过浅部脆性断裂直达地表,导致火山喷发;如果区域构造应力场处于挤压体制,或韧性剪切带较为紧闭,则岩浆上侵活动缓慢,活动时期漫长,壳源混入作用加强。主要侵入岩浆类型从早到晚可为橄榄岩、辉石岩、辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗岩,即总趋势为偏基性→偏中性→偏酸性→偏碱性演化。岩浆侵位深度由深成→浅成→超浅成演化,或者说随着成岩时序的演变,总体演化趋势是岩石的基性程度由高变低,成岩深度由

深变浅,围岩蚀变由强变弱,构成完整的侵入旋回<sup>[3]</sup>。

岩浆岩的侵位机制是长期讨论的地质焦点问题,已有十余种侵位模式被提出来<sup>[13,14]</sup>。王涛等<sup>[15]</sup>认为很多岩体的侵位不能用一种模式来说明,而往往在侵位过程中表现为一种复合作用。或者说是壳源与幔源两种岩浆混合的产物。不管是深源还是浅源,这种混合作用均存在,只是作用时间长短、壳源混入物的多少而已。如果侵位时间短、混入壳源物质少,岩浆作用表现为中基性,即深源特征;如果侵入时间长、壳源混入物质多,则向中酸性转化<sup>[16]</sup>(图 2)。

幔枝构造核部岩浆-变质杂岩中以中酸性花岗质侵入岩为主,则可能与地壳对岩浆的过滤作用有关。赖绍聪等<sup>[17]</sup>研究认为,随着地幔岩浆不断上侵,上地壳围岩密度逐渐变小,压力逐渐降低,并可起到密度过滤器作用,除少量基性岩浆快速侵入到地壳上部外,多数基性岩浆在一定深度就沿缓倾构

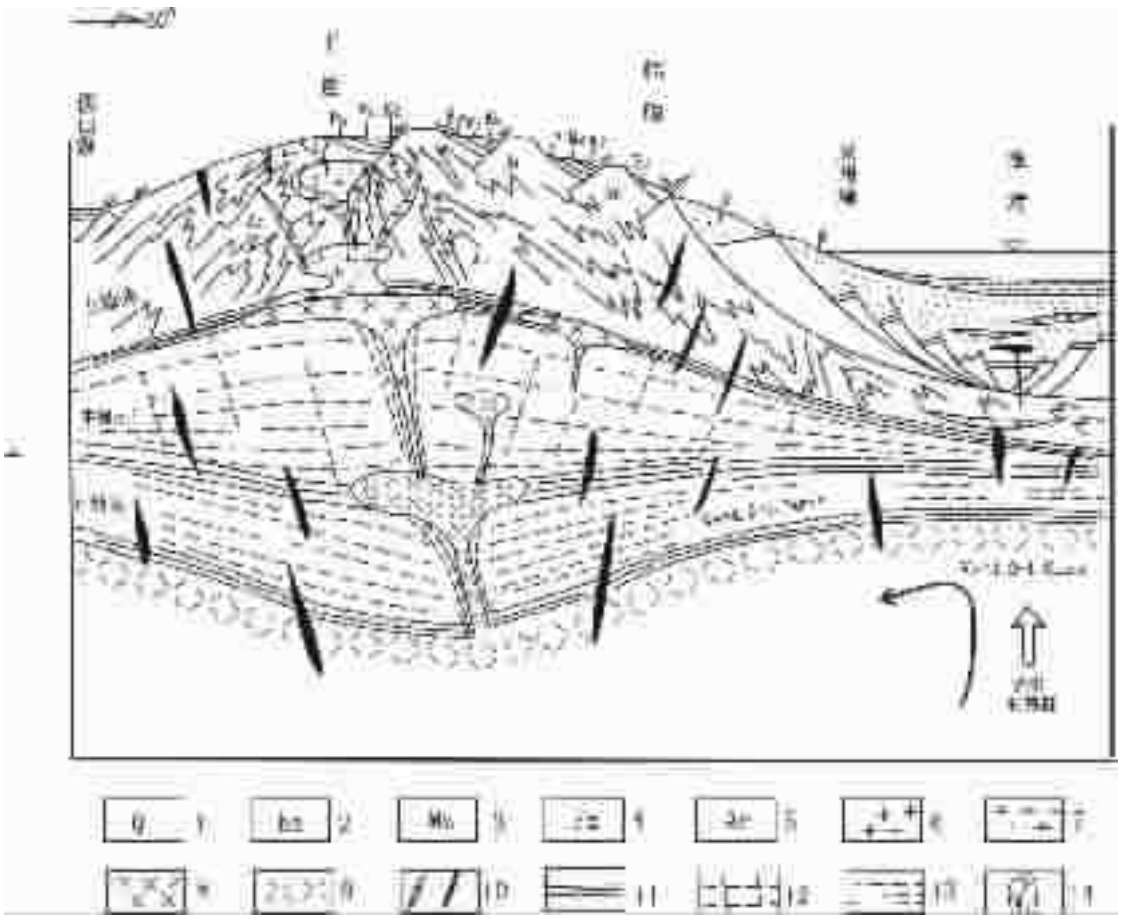


图 2 鲁西幔枝构造形成模式图

- 1—第四系;2—新生界;3—中生界;4—古生界;5—结晶基底岩系;6—中酸性侵入岩;7—中性侵入岩;8—基性侵入岩;
- 9—地幔岩;10—中酸性、基性岩脉;11—上、中、下地壳间的拆离滑脱带;12—中地壳构造层;13—下地壳构造层;14—陡倾韧性剪切带

Fig. 2 Genetic model of mantle-branch structure in western Shandong

- 1-Quaternary;2- Cenozoic;3-Mesozoic;4-Paleozoic;5-Crystalline basement series;6-Intermediate-acid intrusive rocks;7-Intermediate intrusive rocks;8-Basic intrusive rocks;9- Pyrolite;10-Intermediate-acid and basic dikes;11-Detachment zones between the upper and middle, lower crust;
- 12-Middle crustal structural layer;13-Lower crustal crustal layer;14-High-angle ductile shear zones

造薄弱带侵入到上地壳围岩之中。而其巨大的热(一般可达1200~1300℃)烘烤作用,足以使上覆原本就具有一定温压条件的硅铝层岩石熔融,形成中酸性岩浆源地。由于中酸性岩浆密度较小,浮力较大,因此,很容易导致中酸性岩浆接力(式)上侵,形成一系列中酸性深成侵入体及其一系列相关的脉岩。同时,带动外围的变质围岩一起隆升,外围盖层则大幅度拆离滑脱,以致于形成典型的幔枝构造。而进入新生代以来,尤其新近纪以来,幔枝构造的继续隆升,则应视为自早侏罗世、早白垩世幔枝构造形成主期之后的应力场调整,表现出明显的差异升降运动,以致于幔枝构造主期在一定深度形成的侵入岩及与之相关的矿床被抬升到近地表来。鲁西幔枝构造所具有的地形特征、地层(岩体)展布、环状、放射状断裂及上部缓倾拆离滑脱体系、幔壳岩浆组合、热液型金属矿产的形成均具有典型意义。

感谢山东省国土资源厅、山东省地质调查院、山东省地质科学研究所给予的热情支持。

#### 参考文献 (References):

- [1] 张自桓. 鲁西伸展构造——一个中—上地壳板块的提示[J]. 山东地质, 1995, 11(2): 23~31.  
Zhang Zihuan. Luxi extensional structure—implication for a middle—upper crust plate[J]. Geology of Shandong, 1995, 11(2): 23~31(in Chinese with English abstract).
- [2] 曹国权. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1~210.  
Cao Guoquan. Early Precambrian Geology of Western Shandong [M]. Beijing: Geologic Publishing House, 1996. 1~210(in Chinese with English abstract).
- [3] 金振奎, 刘泽容, 石占中. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(5): 1~5.  
Jin Zhenkui, Liu Zerong, Shi Zhanzhong. Types and genetic mechanism of fault in western Shandong[J]. Journal of the University of Petroleum, 1999, 23(5): 1~5(in Chinese with English abstract).
- [4] Maruyama S. Plume tectonics [J]. J. Geol. Soc. Japan, 1994, 100(1): 24~49.
- [5] 牛树银, 李红阳, 孙爱群, 等. 幔枝构造理论与找矿实践[M]. 北京: 地震出版社, 2002. 1~243.  
Niu Shuyin, Li Hongyang, Sun Aiqun, et al. Mantle Branch Structure Theory and Exploration Practice [M]. Beijing: Seismological Press, 2002. 1~242(in Chinese with English abstract).
- [6] 宋明春, 李洪奎. 山东省区域地质构造演化探讨[J]. 山东地质, 2001, 17(6): 12~21, 38.  
Song Mingchun, Li Hongkui. Study on regional geological structural evolution in Shandong Province[J]. Geology of Shandong, 2001, 17(6): 12~21, 38(in Chinese with English abstract).
- [7] 王世进, 张成基, 宋明春, 等. 山东省侵入岩岩石单位及其代号的厘定[J]. 山东地质, 2002, 18(1): 9~20.  
Wang Shijin, Zhang Cengji, Song Mingchun, et al. Classification of intrusives' units and its code names in Shandong Province[J]. Geology of Shandong, 2002, 18(1): 9~20(in Chinese with English abstract).
- [8] 林景仟, 谭东娟, 金焯. 鲁西地区中生代火成活动的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(3): 213~220.  
Lin Jingqian, Tan Dongjuan, Jin Ye.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of Mesozoic igneous activities in western Shandong[J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 1996, 15(3): 213~220(in Chinese with English abstract).
- [9] Woolley A R, Kempe D R C. Carbonatite: nomenclature, average chemical compositions and element distribution [A]. In: Bell K ed. Carbonatite—Genesis and Evolution [C]. London: Unwin Hyman, 1989. 1~14.
- [10] 杨学明, 杨晓勇, Lebas M J. 碳酸岩的地质地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地球科学进展, 1998, 13(5): 457~466.  
Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Lebas M J. Geological and geochemical characteristics of carbonatites and their implication for tectonic settings[J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(5): 457~466(in Chinese with English abstract).
- [11] 邱检生, 徐夕生, 罗清华. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的  $^{40}\text{Ar}$ — $^{39}\text{Ar}$  定年及源区示踪[J]. 科学通报, 2001, 46(18): 1500~1508.  
Qiu Jiansheng, Xu Xisheng, Luo Qinghua.  $^{40}\text{Ar}$ — $^{39}\text{Ar}$  dating and provenance tracing of K-rich volcanics and lamprophyre in western Shandong [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(18): 1500~1508(in Chinese).
- [12] 王世进, 张成基, 吕明英. 鲁西地区沂南超单元的基本特征[J]. 山东地质, 1998, 14(4): 4~15.  
Wang Shijin, Zhang Cengji, Lü Mingying. Basic characteristics of Mesozoic Yinan superunit in west of Shandong [J]. Geology of Shandong, 1998, 14(4): 4~15(in Chinese with English abstract).
- [13] Paterson S R, Fower T K. Re-examining pluton emplacement Process[J]. J. Struct. Geol. 1993, 115: 191~206.
- [14] 洪大卫. 花岗岩研究的最新进展及发展趋势[J]. 地学前缘, 1994, 1(1~2): 79~86.  
Hong Dawei. Recent developments in granite research [J]. Earth Science Frontiers, 1994, 1(1~2): 79~86(in Chinese with English abstract).
- [15] 王涛, 王晓霞, 李伍平. 试论花岗深成岩体的复合定位机制及定位空间问题[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 142~150.  
Wang Tao, Wang Xiaoxia, Li Wuping. Multiple emplacement mechanism and space of granitoid plutons[J]. Geological Review. 1999, 45(2): 142~150(in Chinese with English abstract).
- [16] 牛树银, 孙爱群, 邵振国, 等. 地幔热柱多级演化及其成矿作用[M]. 北京: 地震出版社, 2001. 1~225.  
Niu Shuyin, Sun Aiqun, Shao Zhengguo, et al. The Multiple Evolution of Mantle Plume and Its Mineralization[M]. Beijing: Seismological Press, 2001. 1~225(in Chinese with English abstract).
- [17] 赖绍聪. 岩浆作用的物理过程研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(2): 153~158  
Lai Shaocong. Advances in the physics process research on magmatism[J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(2): 153~158(in Chinese with English abstract).

## Structure in western Shandong and its genetic mechanism

NIU Shu-yin<sup>1</sup>, HU Hua-bin<sup>1,2</sup>, MAO Jing-wen<sup>2,3</sup>,  
SUN Ai-qun<sup>1</sup>, XU Chuan-shi<sup>1</sup>, HOU Quan-lin<sup>4</sup>

(1. *Shijiazhuang College of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China;*

4. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)*

**Abstract:** The structural characteristics of the western Shandong mantle branch and its genetic mechanism are discussed according to the outward-younging ring distribution of the strata, ring faults and radial faults, gently dipping detachments and mantle-derived magmatism, as well as regional petrology, petrochemistry and isotope geology. These studies suggest that the NW-trending, steeply dipping ductile shear belt cuts deep-seated pyrolite of the mantle sub-plume beneath North China, resulting in depressurizing and load-releasing to form anatectic magma. The magmatic evolutionary series shows a general trend of evolution from high to low basicity of magma, from great to shallow depths of magmatic intrusion and from strong to weak wall-rock alteration. Strong magmatic intrusion resulted in the uplift of the metamorphic basement and detachment of the cover, thus forming the typical western Shandong mantle branch structure. A number of obviously detached, tilted fault blocks are developed on top of this mantle branch.

**Key words:** hot mantle plume; mantle branch; structural evolution; forming mechanism; western Shandong area