

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

问题  
讨论

# 论东亚大陆的构造翘变

——燕山运动的全球意义

董树文<sup>1)</sup> 吴锡浩<sup>1)</sup> 吴珍汉<sup>1)</sup> 邓晋福<sup>2)</sup> 高锐<sup>3)</sup> 王成善<sup>4)</sup>

1) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081; 2) 中国地质大学,北京,100083; 3) 中国地质科学院岩石圈研究中心,北京,100037; 4) 成都理工学院,610059

**内容提要** 东亚大陆是在印支期(250~220 Ma)由诸多微陆块拼接而成,曾形成巨型的岩石圈(根)。其中陆块碰撞带岩石圈根可能深达200余千米或更深,俯冲的陆壳岩石曾深达约100 km,并发生超高压变质作用。当时中国东部上升为高原(5000~6000m),西部为特提斯海,构成东高西低的地貌景观。大约在160~150 Ma前后,亚洲东部岩石圈发生巨量减薄,山根垮塌,导致软流圈地幔侧向上涌补偿,形成巨量的火山岩和花岗岩,致使太平洋板块、西伯利亚板块和印度洋板块向东亚大陆汇流,出现了太平洋板块俯冲和最早的洋中脊扩张;蒙古—鄂克茨霍海的关闭和西伯利亚与亚洲陆块的碰撞;以及印度板块与澳大利亚板块脱离,拉萨微陆块拼贴到亚洲大陆之上等极性指向东亚的汇聚作用。其时代均发生在晚侏罗世—早白垩世,应是燕山期东亚岩石圈巨量减薄、崩塌的响应(岩石圈厚度减为100~70 km)。晚侏罗世沉没的岩石圈在现今核幔边界上(2700 km)被全球地震层析资料所证实。从此后至新生代东亚地貌格局发生了巨变,10 Ma前后完成了西高东低的转变。这种巨型构造地貌翘变的触动力源与燕山运动密切相关。虽然,燕山运动与岩石圈突发性减薄机理仍有不同的解释,但是,燕山运动所波及的范围和其对全球构造的影响远远超出了中国东部燕山地区的时空范畴。相信,燕山运动的全球意义将日益被地质学家和地球物理学家所接受。

**关键词** 构造翘变 燕山运动 东亚大陆 拆沉

亚洲大陆主体是印支期由诸多微陆块拼接而成。印度板块是在早喜马拉雅期碰撞于增生的亚洲大陆而成为亚洲大陆的一部分。越来越多的证据表明,中、新生代东亚大陆经历了从东高西低向西高东低变迁的巨型构造—地貌翘变,其转变点始于翁文灏(Wong W H, 1927)命名的燕山运动及相关的岩石圈减薄作用。

## 1 翘变的地质证据

中生代亚洲东部东高西低的地势是由于诸多陆块碰撞拼接所致。与其相联系的重大地质事件为:中朝与扬子陆块碰撞造成陆壳深俯冲(100 km深),发生超高压变质作用,形成大别—苏鲁超高压变质带(240~220 Ma)以及超高压岩石折返(220~180 Ma)(张长厚等,1998;匡小平等,1999)。另据岩石圈探针和晚古生代华北地块金伯利岩筒资料证明,中国东部在220 Ma前后的岩石圈厚度曾经达到>150~200 km(邓晋福等,1996),或>200 km(Griffin et al, 1998; Menzies et al, 1993, 1998)。

中、下扬子地区中、晚三叠世—早中侏罗世岩相古地理研究表明,当时的水流由东向西流动,与特提斯海撤退方向基本一致,表明中国东部可能一度上升为高山、高原。这在探讨大别造山带超高压岩石折返隆升过程,造山带根部暴露,其上岩石被剥蚀、搬运方向和体积估算时,已经认识一致。初步推测,在中—晚侏罗世(180~130 Ma)中国东部的地形达到最高,主要依据为 UHP 岩石折返到地壳浅部,而且有巨厚的火山喷发物质堆积(3~5 km 厚)。研究表明造山带核部在 129~136 Ma 火山活动十分活跃,火山沉积物厚度大于 3000 m(刘敦一等,1999,待刊资料)。此后,山地剥蚀作用超过上升速率,使地形高度逐渐降低,东部盆地、平原相继沉降。

东亚大陆地势东高西低向西高东低的转变,大致与印度板块碰撞于亚洲大陆及特提斯洋关闭的时期相一致,多数地质学家认定其年代始于 65 Ma 前后,古地磁资料定为  $50 \pm 10$  Ma (Patriat et al., 1984; Searle et al., 1987; Stock et al., 1988; Klootwijk et al., 1992; Le Picbon et al., 1988)。渐新世至早中新世青藏高原格局形成,阶段性隆升始于 8 Ma 前后(Molnar et al., 1993),第四纪以来才是高原的快速隆升期。

东亚大陆的这种东西向翘变导致了新生代地质环境的巨变,对地质地貌、矿产资源、气候生态等产生了深远的影响。在此之所以称上述大陆构造—地貌演变为翘变,是因为东西相对升降的转换部位存在着一个南北方向的“枢纽”,这就是鄂尔多斯、四川盆地、云贵一线的稳定陆块基底,这些陆块自晚侏罗世以来几乎没有水平移动(Yang et al., 1991, 1992; Enkin et al., 1992),四川地块只有顺时针旋转。现今地球物理断面资料证实南北带之下,岩石圈根依然保存,深达 150 km 左右。更重要的是,东亚大陆中新代翘变可能具有统一的地球深部过程的引发机制,即:中国东部巨厚岩石圈在晚侏罗世—早白垩世(燕山运动)突发性崩塌。

## 2 翘变的动力模式

中国东部微陆块拼接造成岩石圈增厚及其后岩石圈减薄已成为不争的事实(邓晋福等, 1996; Griffin et al., 1998; Menzies et al., 1993, 1998; 和政军等, 1998)。这种岩石圈减薄是多次减薄,还是突发性一次减薄的问题,虽看法不一,但并不影响我们的翘变构想,而且有理由相信它是突发性减薄。正是因为中国东部巨厚的岩石圈发生崩塌(100~150 km 厚),导致软流圈物质从它的两侧或周边作侧向补偿,牵引太平洋板块向西俯冲,印度洋板块向北东俯冲,甚至包括西伯利亚陆块与华北陆块碰撞。这种深部物质运动过程,可视为软流圈和岩石圈物质向中国东部汇流、聚集的主要原因和机制。其最显著的结果是印度洋板块拖着印度板块向东北方向运动,最终与亚洲大陆碰撞(图 1)。提出这种大陆动力学模式的证据有:

(1) 中国东部岩石圈的主拆沉期是 160~120 Ma,它以巨量的同期火山岩和花岗岩为证。业已证实,中国东部宽大的(500~1000 km)晚侏罗世—早白垩世火山岩和花岗岩与太平洋俯冲作用无关(陆志刚等, 1977; 陶奎元等, 1988; 毛建仁, 1994; 郭福祥, 1998),而是深部软流圈地幔与地壳相互作用的结果,其代表性岩石为钾玄岩系(shoshonite)。

(2) 岩石圈根沉落于软流圈地幔和下地幔,最终堆积于核幔边界(2700 km)的深部记录,已为全球地震层析资料所揭示(Maruyama, 1994),特别是在东亚大陆的核幔边界附近已经找到冷、重的岩石圈根崩落的堆积体(高速体)(Grad et al., 1997)对比,推测这些堆积体的时代为晚侏罗世(Van der Voo et al., 1999; Richards, 1999)。

(3) 太平洋或伊泽奈崎洋板块向东亚俯冲的时间为晚侏罗世(Van der Voo et al., 1999; Richards, 1999) 尽管有人提出它发生于中侏罗世(Maruyama et al., 1989; Ichikawa, 1990)

但太平洋洋底磁条带仍证实其最老的年代为晚侏罗世(Stanley, 1986)。

(4)西伯利亚陆块与华北和蒙古联合地块发生对接(Zhao et al., 1992)及蒙古—鄂霍茨克洋消失的时间也都是晚侏罗世—早白垩世,有关的三叠纪—中侏罗世海相地层的发现及其他地质证据,有力地支持了古地磁资料的推论(Nie et al., 1990)。

(5)印度洋板块向亚洲大陆俯冲时间的记录也是在晚侏罗世。印度板块脱离澳大利亚等冈瓦纳古陆的时间和特提斯洋反时针旋转关闭的起始点、拉萨地块与亚洲大陆拼贴等构造过程都是同步的(160~150 Ma?)。印度洋拖拉着印度陆块最终与亚洲大陆碰撞(50±10 Ma)(Chang et al. 1986; Leader et al., 1988; Yin et al., 1988; 杨振宇等, 1998)。

由上述可知,晚侏罗世至少在东半球是一个重大的变革时期,并以软流圈物质和岩石圈向东亚汇聚为其主要特点。所以,应该把中国东部晚侏罗世巨厚岩石圈突发性崩落与东半球深部物质的补偿性聚集作为统一的过程联系起来考虑,二者之间应该存在因果关系。如果作者的构想得到进一步证实,或许有可能产生亚洲大陆中生代岩石圈构造演化的一种新模式,燕山运动及其引发的岩石圈减薄作用可视为这种翘变机制的发动机。

本文的一个企图是探讨亚洲东部大陆上两个地质热点问题之间的联系,其一是东部中生代岩石圈的巨量减薄和大别山超高压岩石折返作用;其二是印度板块与欧亚板块大陆碰撞与新生代青藏高原隆升(刘代志, 1992; 崔军文, 1994; 许志琴等, 1996; 吕庆田等, 1997; 高锐, 1997; 肖序常等, 1998a, 1998b; 杨振宇等, 1998; 马宗晋等, 1998; 高锐等, 1998; 邓万明等, 1999)。两个地质过程相隔约 200 Ma。如果本文上述假设成立的话,二者之间就可能有机地连接起来,可以用统一的动力学过程予以解释。同时,我们的假设还涉及到其他一些重要问题,如:太平洋板块向亚洲俯冲是因太平洋中脊主动扩张而推动,还是因软流圈向东亚汇流而驱动,并拉张出被动的大洋中脊;西伯利亚地区与东亚大陆的碰撞动力源问题;地壳或岩石圈水平运动与垂直运动的互动和互补的动力学问题等。

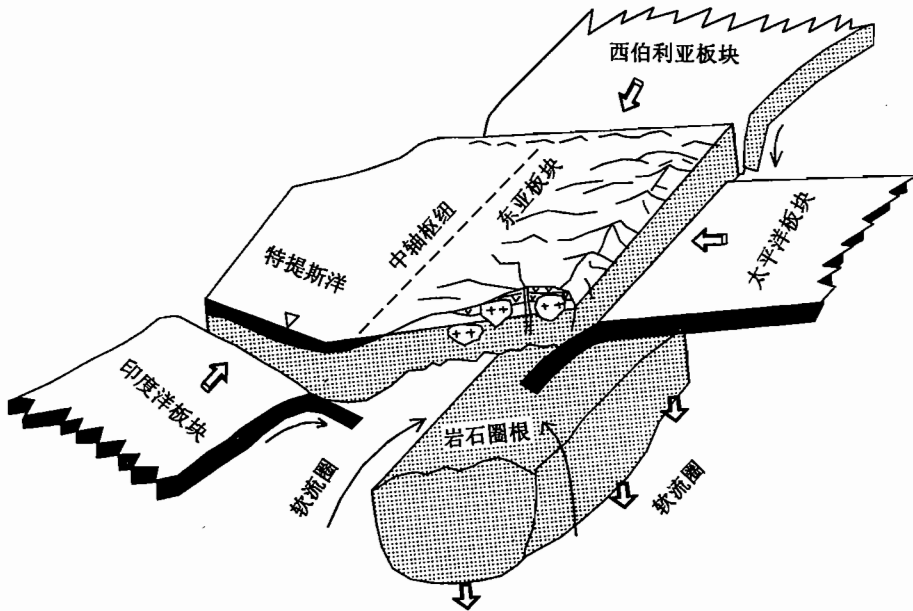


图 1 燕山期东亚大陆动力学示意图

Fig. 1 Geodynamic model of East Asia in the Yanshanian stage

东亚大陆翘变仅是一种有关东亚大陆中生代代岩石圈四维运动的新构想,既不同于 Tapponnier 等(1967, 1977)的东向滑移模式和 Kimura 等(1990)的构造挤出模式,也不同于张伯声等(1982)的地壳波浪运动模式;更不同于张宏仁(1998)的燕山事件。在此发表以期唤起同仁对燕山运动意义的重新审视及高度关注,同时抛出对东亚大陆动力学的一种新思路,供讨论。

### 参 考 文 献

- 崔军文. 1994. 岩石圈深层扩张与青藏高原隆升——岩石圈深层扩张模式初论. 地质论评, 40(2): 106~110.
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学等. 1996. 中国大陆根—柱构造. 北京: 地质出版社.
- 邓万明, 孙宏娟. 1999. 青藏高原新生代火山活动与高原隆升关系. 地质论评, 45(增刊): 952~958.
- 高锐. 1997. 青藏高原岩石圈结构与地球动力学的 30 个为什么. 地质论评, 43(5): 460~464.
- 高锐, 李廷栋, 吴功建. 1998. 青藏高原岩石圈演化与地球动力学过程——亚东—格尔木—额济纳旗地质断面的启示. 地质论评, 44(4): 389~395.
- 和政军, 李锦铁, 牛宝贵等. 1998. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应. 地质论评, 44(4): 407~418.
- 匡少平, 凌文黎, 张本仁. 1999. 大别造山带中镁铁质—超镁铁质岩石和榴辉岩有关问题的讨论. 地质论评, 45(6): 584~595.
- 刘代志. 1992. 青藏高原隆升的动力学模型研究. 地质论评, 38(1): 60~67.
- 吕庆田, 姜枚, 马开义等. 1997. 由震源机制和地震波各向异性探讨青藏高原岩石圈变形. 地质论评, 43(4): 337~346.
- 陆志刚, 陶奎元, 谢家莹等. 1977. 中国东南大陆火山地质及矿产. 北京: 地质出版社.
- 毛建仁. 1994. 中国东南大陆中、新生代岩浆作用与壳幔演化动力学. 火山地质与矿产, 15(2): 1~12.
- 马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 1998. 青藏高原三维变形运动学的时段划分和新构造分区. 地质学报, 72(3): 211~227.
- 陶奎元, 高天钧, 陆志刚等. 1988. 东南沿海火山岩基底构造及火山—侵入作用与成矿关系. 北京: 地质出版社.
- 肖序常, 李廷栋. 1998a. 青藏高原岩石圈结构、隆升机制及对大陆变形影响. 地质论评, 44(1): 112.
- 肖序常, 王军. 1998b. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述. 地质论评, 44(4): 372~381.
- 许志琴, 姜枚, 杨经绥. 1996. 青藏高原北部隆升的深部构造物理作用——“以格尔木—唐古拉山”地质及地球物理综合剖面为例. 地质学报, 70(3): 195~206.
- 杨振宇, Jean Besse, 孙知明等. 1998. 印度支那地块第三纪构造滑移与青藏高原岩石圈构造演化. 地质学报, 72(2): 112~125.
- 张伯声, 王战. 1982. 镶嵌构造波浪运动说. 构造地质学进展, 北京: 科学出版社.
- 张长厚, 柴育成, 宋鸿林等. 1998. 苏北—鲁东南高压、超高压变质带剥露过程中伸展构造作用. 地质论评, 44(3): 225~232.
- 张宏仁. 1998. 燕山事件. 地质学报, 72(2): 103~111.
- 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): 163~173.
- Chang C F et al. 1986. The Royal Society / Academia Sinica, 1985 geotraverse of Tibet—Preliminary conclusions. Nature, 323: 501~507.
- Enkin R J, Yang Z Y, Chen Y, Courtillot V. 1992. Paleomagnetic constraint on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permain to the present. J. Geophys. Res., 97: 13953~13989.
- Grad S P, Van Der Hilst R D, Widiyantoto S. 1997. Global seismic tomography: A snapshot of convection in the Earth. GSA Today, 7: 1~7.
- Griffin W, Zhang A, O'Reilly S. 1998. Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean Craton, In: Flower M, Chung S L, Lo C H. eds. Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia. Am. Geophys. Union Geodynamic Series, 27: 107~126.
- Ichikawa K. 1990. Pre-Cretaceous tectonic history of Japan. In: Ichikawa K, Mizutani S, Hara I, Hada S, Yao A, eds. Pre-Cretaceous Terrams of Japan, Usaka. Publication of IGCP 224, 407~413.
- Kimura G, Takahashi M, Kono M. 1990. Mesozoic collision-extrusion tectonics in Eastern Asia. Tectonophysics, 181: 15~23.
- Klootwijk C T, Gee J S, Peiree J W, et al. 1992. An early India-Asia contact: paleomagnetic constraints from Ninetyeast ridge, ODP leg 121. Geology, 20: 395~398.
- Le Picbon X, Bergerat F, Roulet M J. 1988. Plate kinematic and tectonic leading to the Alpine belt formation: A new analysis. In: Clark S P, Burckfiel Jr B C, Suppe J, eds. Processes in continental lithosphere deformation. GSA Special Paper 218.
- Leader M, Smith A, Yin J. 1988. Sedimentology and palaeoenvironmental evolution of the 1985 Lhasa to Golmud geotraverse. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 327: 107~143.
- Maruyama S, Liou J G, Seno T. 1989. Mesozoic and Cenozoic evolution of Asia. In: Ben-Avraham Z, ed. The evolution of the

- Pacific Ocean margins, Oxford. Oxford Univ. Press, 75~99.
- Maruyama S. 1994. Plume tectonics. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 100(1):24~29.
- Menzies M, Fin W, Zhang M. 1993. Palaeozoic and Cenozoic lithosphere and the loss of >120 km of Archaean lithosphere, Sino-Korean Craton, In: Pichard H, Alabaster T, Harris N. eds. *Magmatic Processes and Plate Tectonic*. Geol. Soc. Specil Pub., 76:71~78.
- Menzies M, Xu Y. 1998. Geodynamics of the North China Craton. In: Flower M, Chang S L, Lo C H, eds. *Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia*. Am. Geophys. Union Geodynamic Series, 27:155~165.
- Molnar P, England P, Martinod J. 1993. Mantle dynamics, Tibetan uplift and monsoon. *Reviews of Geophysics*, 31(4):357~396.
- Nie S Y, Rowley D B, Ziegler A M. 1990. Constrains in the location of Asian microcontinents in Paleo-Terhs during the late Paleozoic, in *Paleozoic Paleogeography*. In: Mekerrow W S, Scotese C R, eds. *Mem Geol. Soc. London*, 12:397~408.
- Patriat P, Achache J. 1984. India-Eurasia collision chronology has implication for crustal shortening and driving mechanism of plate. *Nature*, 311: 615~625.
- Richards M A. 1999. Prospecting for Jurassic slabs. *Nature*, 397: 203~204.
- Searle M, et al. 1987. The closing of Tethys and the tectonics of the Himalaya. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 98: 678~701.
- Stanley S. 1986. *Earth and life through time*. New York: W H Freeman and Company.
- Stock J, Molnar P. 1988. Uncertainties and implications of late Cretaceous and Tertiary position of North America relative to the Farallon, Kula, and Pacific plates. *Tectonics*, 7: 1339~1384.
- Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. *Nature*, 264: 319~324.
- Tapponnier P, Molnar P. 1977. Active faulting and tectonics in China. *Journal of Geophysical Research*, 82(20): 2905~2930.
- Van der Voo R, Spekman W, Bijwaard H. 1999. Mesozoic subducted slabs under Siberia. *Nature*, 397: 246~249.
- Wong W H. 1927. Crustal movement and igneous activities in Eastern China since Mesozoic time. *地质学报(Bull. Geol. Soc. China)*, 6(1):9~36.
- Yang Z, Ma X, Besse J, et al. 1991. Paleomagnetic results from Triassic section in the Ordos Basin, North China. *Earth Planet Sci. Lett.*, 104: 258~277.
- Yang Z, Courtillot V, Besse J, et al. 1992. Jurassic paleomagnetic constraint on the collision of the North and South China blocks. *Geophys Res. Lett.*, 19: 577~580.
- Yin J, Xu J, Liu C, Li H. 1988. The Tibetan Plateau, regional stratigraphical context and previous work. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 327: 5~52.
- Zhao X X, Coe R, Liu C, et al. 1992. New Cambrian and Ordovician paleomagnetic poles for the North China block and their paleogeographic implication. *J. Geophys Res.*, 97: 1767~1788.

## On Tectonic Seesawing of the East Asia Continent

### — Global implication of the Yanshanian Movement

Dong Shuwen<sup>1)</sup> Wu Xihao<sup>1)</sup> Wu Zhenhan<sup>1)</sup> Deng Jinfu<sup>2)</sup> Gao Rui<sup>3)</sup> Wang Chengshan<sup>4)</sup>

1) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*; 2) *Chinese University of Geosciences, Beijing, 100083*; 3) *Lithosphere Research Centre, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 4) *Chengdu College of Science and Technology, Chengdu, 610059*

#### Abstract

The East Asia continent was assembled by a lot of micro-continents during the Indosinian period (250~220 Ma), producing very thick lithosphere. The thickest part was more than 200 km, where the crust subducted 100 km or more and underwent UHP metamorphism. At that time, eastern China rose to form a plateau (5000~6000 m above sea level), while western China depressed as an ocean, showing a geological landscape of high mountains in the east and a sea basin in the west. At about 160~150 Ma, drastic thinning and collapsing of the lithosphere hap-

pened in east China due to delamination, leading to upwelling of asthenosphere and formation of great amounts of volcanic and granite belts, so that the Pacific plate in the east, Siberian plate in the north and Indian plate in the southwest converged towards the east Asian continent. This resulted in subduction of the Pacific plate and the earliest spreading of MOR; closing of the Mongol—Okhotsk Sea and collision between the Siberian and Asian plates; separation of the Indian plate from the Australia plate; and amalgamation of the Lhasa micro-continent onto the Asian continent. All these events took place in the same period; from the Late Jurassic to the Early Cretaceous (150~110 Ma). This is a response to the drastic thinning and collapsing of the east Asian lithosphere during the Yanshanian (the lithosphere thickness remained only less than 100 km). The lithosphere delaminated in the Late Jurassic is now found in the border between mantle and earth's core (2700km), which has been proved by the seismic tomography. Since then, the topographic landscape had a great change; high mountains in the west and low plains in the east. This reverse topography was completed during 10~3.5 Ma. It is believed that the dynamic source of the tectonic seesawing of East Asia is related to the Yanshan movement. Although the mechanism of the Yanshan movement and the sharp lithosphere delamination is still argued, the affected scope of the Yanshan movement and its influence on the global tectonics are far beyond the time-space extent of the Yanshan region in eastern China. It is expected that the new concept of Yanshan movement will be gradually accepted by geologists and geophysicists throughout the world.

**Key words:** tectonic seesawing; Yanshanian Movement; East Asia continent; delamination

#### 作者简介

董树文,男,1954年生。1975年毕业于合肥工业大学地质系,1988年毕业于中国地质科学院研究生部,获博士学位。现任中国地质科学院副院长,研究员,博士生导师。长期从事动力成岩成矿与大别山碰撞造山带研究,近年来重点探讨燕山运动和东亚大陆地球动力学问题。通讯地址:100037,北京市百万庄26号,中国地质科学院;电话:010-68312402;E-mail:swdmg@public.fhnet.cn.net。

---