

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

科技述评

从亚洲大陆块体拼贴过程看大陆 造山带的形成与演化

周焯秀¹⁾ 肖文交²⁾ 杨振宇³⁾ 朱日祥⁴⁾

1) 国土资源部航空物探遥感中心,北京,100083

2) 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化
开放研究实验室,北京,100029

3) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

4) 中国科学院地质与地球物理研究所,北京,100101

内容提要 本文就亚洲大陆喜马拉雅造山带和大别—苏鲁造山带构造演化模式进行详细讲述,并据大地构造学和古地磁学最新研究成果讨论并总结大陆造山带形成与演化模式,即大陆碰撞造山带的演化可能涉及以下5个连续的过程:碰撞→旋转→拼合→陆内挤压→反弹。

关键词 大陆造山带 大地构造学和古地磁学 旋转 反弹

地处欧亚板块、太平洋板块与印度板块交汇处的中国大陆及其周缘发育了各具特色的大陆碰撞造山带,其中有被称为“世界第三极”的青藏高原—喜马拉雅构造带,也有秦岭及含超高压变质构造带的大别—苏鲁造山带,这里成为研究大陆构造的理想天然实验室。

然而,迄今为止,有关这些造山带的时空演化的认识仍然存在较大的分歧。譬如,关于青藏高原的形成及演化模式就有8种之多(Pan, 1996),而有关大别—苏鲁造山带东段的形成演化至今是国际地学界争议的热点之一(Xu et al., 1992; Ames et al., 1993; Gilder et al., 1993; Okay et al., 1993; Yin et al., 1993; Li, 1994; Wang et al., 1994; Cong et al., 1995; Xue et al., 1996; 杨志坚, 1982; 徐树桐等, 1992; 方国柱, 1988; 潘国强等, 1990; 江来利等, 1995; 简平等, 1997; 肖益林等, 1998; 郭震宇等, 1998; 张建珍等, 1998; 匡小平等, 1999)。

随着研究手段的进步和资料的积累,对青藏高原—喜马拉雅构造带、秦岭及大别—苏鲁造山带的认识均有了不同程度的突破。本文通过对华北与华南陆块、印度与欧亚大陆碰撞和拼合及其之后的演化过程的综合剖析,试图探讨大陆碰撞造山带的演化特征。

1 华南陆块和华北陆块的碰撞造山演化过程

华南与华北陆块是我国东部的两大主要大地构造单元。在印度板块与欧亚板块碰撞之前,这两个陆块实际上是中国大陆的主体部分。有关华南与华北陆块的会聚时限、方式及演化过程已有初步的框架(周焯秀, 1985)。近十年来,随着我国古地磁学的发展与国际合作的增加,华南和华北陆块上的工作得到普遍开展,获得了一批较可信的古地磁数据,在此基础上对华北与华南块体会聚模式进行了讨论(Lin et al., 1985, 1990; Zhao et al., 1987, 1996; 翟永建等, 1989;

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 49672148, 49334050)和中国科学院“九五”重大项目成果。

本文1999年3月收到,10月改回,任希飞编辑。

Enkin et al., 1992; Yang et al., 1992; 朱日祥等, 1998), 并结合周边国家的相关资料, 对我国古地理再造进行了系统地探讨(Zhao et al., 1987, 1996; Yang et al. 1992; Ma et al., 1993)。

生物古地理研究表明早二叠世华南与华北陆块均发育有华夏植物群, 说明两者相距不远。晚二叠世两者在华北陆块的东部、大约现今徐淮冲断系以东的大别—苏鲁地区首先碰撞(Zhao et al., 1987, 1996; 朱日祥等, 1998)(图1)。此时的古秦岭海构造古地理格局呈现为夹持于华南与华北陆块之间的向西开口(夹角为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$)的残余海湾或海盆。而当时的华北陆块与蒙古陆块已成为整体, 并从晚二叠世到中、晚三叠世在华南陆块北向(或北北西向)漂移的驱动下而向北运动。华北陆块中、晚三叠世到早、中侏罗世的古地磁研究表明华北陆块发生 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 的逆时针旋转(Zhao et al., 1987, 1996), 产生这种旋转的动力可能源于华南陆块的向北推挤(Yang et al., 1992)。而这时, 华南陆块顺时针方向旋转了 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

板块碰撞时, 枢纽地区在强大的局部挤压作用下产生了高压甚至超高压变质作用, 而又可能在这个旋转过程中出现局部的拉张, 深部的超高压岩石可能发生折返。同时, 在相对旋转过程中, 两大陆块之间的微陆块或岛屿也逐渐向北归拢并最终会聚于拼合带之中, 形成秦岭—大别—苏鲁造山带特别复杂的物质组成和构造格局。由于中国东部两大块体从晚二叠世—早白垩世长期的造山作用, 原有的前二叠纪的蛇绿岩可能被肢解, 仅有小规模或局部的混杂堆积得以保留。华南陆块缓慢的北向运动, 早期的局部挤压转变为全面挤压, 可能持续到早白垩世, 主要的变形由秦岭造山带及其大型褶皱冲断带所消减(吴正文等, 1990)。由于在中国东部旋转和挤压并存, 沿造山带从东向西褶皱冲断作用亦有所差异。

如前所述, 华北与华南陆块在早、中侏罗世发生大规模的旋转后, 两大陆块也即进入拼合阶段。随着局部应力场的调整, 可能出现大规模的“构造逸出”或“逃逸构造”现象(escape or extrusion tectonics)。由于郯庐构造带处于特殊的构造位置, 在中国东部的构造演化过程中可能起到重要的调整作用。

早白垩世以来, 随着造山运动渐趋尾声, 向北的挤压已停止。地壳与上地幔积聚的巨大能量得以释放, 上地壳形成以伸展运动为主体的构造运动格局, 即进入所谓“反弹”的后造山作用阶段, 可能发生一系列不同机制的构造运动, 如断陷盆地、重力滑塌等。早白垩世至第三纪, 华北与华南地块发生了南移或南东移的现象(Tapponnier et al., 1990; Yang et al., 1993)。由于中国东南部濒临太平洋, 基本为自由边界, 所以, 华北与华南地块的向南反弹作用, 加上太平洋库拉板块向北西的俯冲挤压, 形成了大兴安岭—太行山—武陵山重力梯级带及其相应的地形高程阶梯, 造就了黔桂山地和中国东部的一系列中生代断陷盆地等“盆岭”构造格局。这种多期次的构造演变使得中国东部变得异常复杂, 掩盖了部分反弹的真面目。

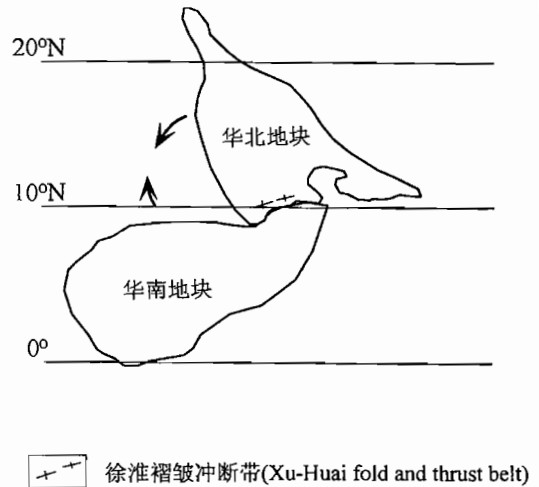


图1 华南与华北地块碰撞拼合的旋转模式

Fig. 1 Rotational collision and amalgamation model for the South and North China blocks

2 印度次大陆与欧亚大陆会聚演化过程

印度次大陆从冈瓦纳大陆裂离以后,持续向北运动。大约在 65 Ma,印度次大陆的西北部首先与欧亚大陆的兴都库什地区发生碰撞,碰撞“点”的地理位置约位于东经 70°,北纬 25°(周

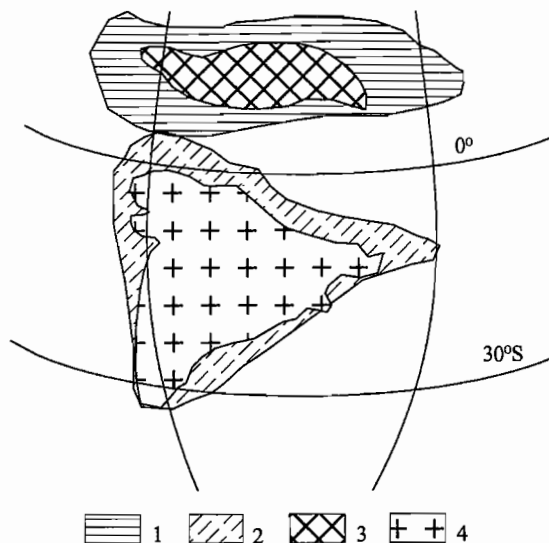


图 2 印度次大陆与欧亚大陆碰撞拼合的旋转模式

Fig. 2 Rotational collision and amalgamation model

for the Indian and Eurasian continents

1—碰撞变形前拉萨地块的可能形状;2—碰撞变形前印度地块的可能形状;3—拉萨地块;4—印度地块

1—Possible shape of Lhasa block before collision and deformation; 2—possible shape of India block before collision and deformation; 3—Lhasa block; 4—India block

现方式发生了变化,由以前的旋转拼合改变为陆内挤压。这个过程发生的构造运动异常剧烈,且波及面十分广泛。由于应力不均一和岩性不均匀而导致转换断层和走滑断层作用,整个构造格局发生进一步调整,如印支地块沿红河断裂和怒江断裂向东南逸出等构造逃逸现象(Tapponnier et al., 1990; Yang et al., 1993)。其后发生了褶皱冲断作用,不同层次的褶皱冲断作用使陆壳加厚并获得一定地形高程(周焯秀等,1982)。这一长期作用,势必最终导致重力均衡与热平衡被打破。这种均衡异常和局部热源的积累,因垂向不均一而出现层间地震。

23 Ma 以来,由于印度次大陆仍以 5 cm/a 的速度持续向北运动,使青藏地区地壳和地幔中积累了巨大的能量,通过“反弹”作用能量得以释放。这个释放能量的过程,可能是导致青藏地区后期整体隆升的主要原因之一。不难想象,大规模的褶皱推覆作用将增加海拔高程。但青藏高原的整体隆升是发生在 20 Ma 以来的事件(Harrison et al., 1992),因而其主要可能是深部物质分异、向上部空间自由界面扩散所致。当然,有关青藏高原的整体隆升机制仍需进一步的工作来证实,但碰撞造山作用的反弹过程是不可忽视的。

姚秀,1985)。由于印度次大陆北向运动的应力集中于这一局部地区,导致了高压甚至超高压变质作用(Spencer et al., 1995)。同时,由于陆块边缘不可能完全平直,从而使西部地区成为一个支点,印度次大陆及其微陆块在 50 Ma 左右发生旋转(Achache et al., 1984)。古地磁证据(Achache et al., 1984)表明印度次大陆与欧亚大陆在碰撞后发生了约 20°的逆时针旋转(图 2)。在旋转过程中,欧亚大陆南缘及印度次大陆北缘的微陆块随着特提斯海的由西向东闭合而归拢,以致于最终形成形态十分复杂的缝合线。49~55 Ma 印度次大陆与欧亚大陆才完全拼合(Beck et al., 1995)。拼合时中部的地理位置约为东经 90°、北纬 11°(Achache et al., 1984; Klootwijk et al., 1985)。这个承前启后的拼合过程反映了欧亚大陆与印度次大陆的碰撞作用从边缘构造的局部调整至拼合的过程,最终进入了全面挤压的阶段。

印度次大陆与欧亚大陆拼合后,印度次大陆仍以 5 cm/a 的速度向北运动,应力的表现

3 大陆碰撞造山带的演化过程

现代碰撞大地构造学认为,大陆碰撞造山带是会聚大陆板块及其边界复杂地质作用的记录,它汇集了洋壳消减(俯冲)、挤压、走滑和引张及其组合作用,并发育有相应的构造沉积记录。有关大陆碰撞造山带全面多学科的综合研究将有助于了解大陆的形成和演化。

根据亚洲及世界其它典型碰撞造山带的详细研究成果,大陆碰撞造山带的演化应包括以下5个主要的过程。

(1) 碰撞 这是大陆碰撞造山作用的早期阶段。随着大洋板块在海沟发生俯冲消减,由其分隔的两个大陆逐渐靠拢。由于陆块的边缘大都不可能是完全平直,而且运动方向也很少与陆块边缘完全垂直。这样,可能在大型犄角处首先接触而发生早期的陆—陆局部碰撞与局部强烈挤压,可能导致超高压变质岩的生成。如华南与华北地块最先在东部大别—苏鲁地区发生碰撞作用并向西逐渐迁移,喜马拉雅造山带的西部兴都库什地区最先碰撞,以及西伯利亚与华北地块在其西部首先碰撞等。

(2) 旋转 大陆块体在经过局部陆—陆碰撞后一部分地区首先形成陆相沉积环境,而另一部分地区仍处于海相环境,甚至发育深水沉积。由于持续的挤压作用,大陆块体间逐渐发生大规模旋转。如华北与华南碰撞具此特点,喜马拉雅造山带亦有此过程(周焯秀,1985),华北陆块与西伯利亚大陆之间也不例外(Zhao et al., 1996)。在这期间可能因旋转出现张裂导致超高压变质岩的“折返”等现象。

(3) 拼合 这是一个承前启后的阶段。在完成大规模的旋转后,大陆块体进入拼合阶段。此时,大洋盆地基本消减殆尽,大陆碰撞作用已完成了边缘构造的局部调整,而进入了全面拼合阶段。由于局部应力场的调整,可能出现不同规模的构造旋转现象。

(4) 陆内挤压和逸出 经过拼合阶段的不断调整,进入陆块间和陆缘挤压阶段。此阶段主要是前陆褶皱冲断带的逐步形成。同时,可能出现大规模的“构造逸出”或“逃逸构造”现象。

(5) 反弹 随着挤压作用的逐渐衰减枯竭,造山带进入相对松弛阶段,即所谓“反弹”,其积聚的巨大能量将得以释放。在这期间,以大量伸展构造的发育和岩浆活动为特征。

上述5个过程的出现是基于陆块之间的碰撞方式。普遍出现的斜碰撞可能出现5个过程,而正碰撞则不出现旋转现象。因此,大陆块体的地球动力学过程呈现“合久必分”、“分久必合”的特点,但“分”与“合”并不是固定不变的,而是一种动态的聚合和离散。从泛大陆的形成和分解成劳亚大陆和冈瓦纳大陆及一些游离陆块,到它们的进一步分解和重新组合,无不显示出这种动态过程。中国大陆及亚洲主要大陆块体可以看作是陆块与微陆块的一个动态拼合(mosaic)。

总之,现代构造地质学已经认识到大陆碰撞造山作用是具有变形脉冲的长期复杂的连续过程(李继亮,1991; Sengor, 1991; Hsüet al., 1991),人们已经逐步摒弃了幕式造山观。陆—陆碰撞或者大陆碰撞造山作用,包含了5个连续而漫长的过程,即:碰撞、旋转、拼合、陆内挤压和反弹阶段。各阶段具有不同的演化特点,也会由于大陆块体本身的不均一性、其边界的参差不齐与周边构造环境的影响而呈现出多种多样的组合,且每一个过程出现的时间尺度可能会因为不同的造山带而有所不同。

马醒华研究员、方大钧教授、王清晨研究员、吴汉宁教授、S. Gilder 博士、李继亮研究员、陈海泓研究员、柴育成博士、侯泉林博士、郭铁鹰教授、朱光教授和徐嘉炜教授对本文研究工作

给予了指导或与笔者进行了有益的讨论;Zhao Xixi 博士、黄宝春博士、白立新博士、潘永信博士以及中国科学院地球物理研究所在研究工作给予的支持和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 方国柱. 1988. 对中国大别山地区地体构造的初步探讨. 地质论评, 34(4): 334~342.
- 郭震宇, 董火根, 郭令智. 1998. 大别山五庙超高压变质岩的变形构造. 地质论评, 44(3): 249~254.
- 匡少平, 凌文黎, 张本仁等. 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.
- 简平, 杨巍然, 李志昌等. 1997. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩——同位素地质年代学的证据. 地质学报, 71(2): 133~141.
- 江来利, 徐树桐, 刘贻灿等. 1995. 大别山超高压变质带的构造背景. 地质论评, 41(3): 229~237.
- 李继亮. 1991. 碰撞造山带大地构造相. 现代地质学研究论文集(上). 南京大学出版社, 3~16.
- 潘国强, 荆延仁, 夏木林等. 1990. 大别山区含柯石英榴辉岩的发现. 地质论评, 36(4): 359~365.
- 吴正文, 柴育成, 黄万夫等. 1990. 北秦岭造山带燕山期推覆构造格局及其演化历史. 见: 王鸿桢等主编. 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 143~164.
- 杨志坚. 1982. 试论桐柏—大别山地质构造演化特征. 地质学报, 56(2): 123~135.
- 肖益林, 郑永飞, 傅斌等. 1998. 大别山麻粒岩包体的氧同位素研究. 地质论评, 44(2): 181~187.
- 徐树桐, 江来利, 刘贻灿等. 1992. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程. 地质学报, 66(1): 1~14.
- 程永建, 周焯秀. 1989. 华南与华北陆块显生宙的古地磁及构造演化. 地球物理学报, 32(3): 292~306.
- 张建珍, 杜建国, 张友联. 1998. 大别山榴辉岩岩石学及地球化学特征. 地质论评, 44(3): 255~263.
- 周焯秀, 程振炎, 刘文锦. 1982. 我国区域重力场的基本特征及初步分析. 物化探研究报道, (9): 12~18.
- 周焯秀. 1985. 中国大陆形成与演化的初步探讨. 地球物理、地球化学勘探所所刊, 1: 102~124.
- 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁等. 1998. 中国主要地块显生宙古地磁极移曲线与地块运动. 中国科学(D辑), 28(增刊): 1~16.
- Achache J, Courtillot V, Zhou Y. 1984. Paleogeographic and tectonics evolution of southern Tibet since Middle Cretaceous time; new paleomagnetic data and synthesis. J. Geophys. Res., 89: 10311~10339.
- Ames L, Tilton G, Zhou G Z. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons; U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. Geology, 21: 339~342.
- Beck R A, Durbank D W, Sercomho W J, et al. 1995. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia. Nature, 373: 55~58.
- Cong B L, Zhai M G, et al. 1995. Petrogenesis of ultrahigh-pressure rocks and their country rocks at Shuanghe in Dabie shan, Central China. Eur. J. Mineralogy, 7: 119~138.
- Enkin R, Yang Z Y, Chen Y, et al. 1992. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of China from the Permian to the present. J. Geophys. Res., 97: 13953~13989.
- Gilder S A, Zhao X X, Coe R S, et al. 1993. Discordance of Jurassic paleomagnetic data from South China and their tectonic implications. Earth Planet. Sci. Lett., 119: 250~269.
- Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. 1992. Raising Tibet. Science, 255: 1663~1670.
- Hsü K J, Li J L, Chen H H, et al. 1991. Tectonics of South China: Key to understanding west-Pacific geology. Tectonophysics, 183: 8~39.
- Klootwijk C T, Conaghan P J, Powell C McA. 1985. The Himalayan Arc: Large-scale continental subduction, oroclinal bending and back-arc spreading. Earth Planet. Sci. Lett., 75: 167~183.
- Li Z X. 1994. Collision between the North and South China blocks; a crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault. Geology, 22: 739~742.
- Lin J L, Fuller M, Zhang W Y. 1985. Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks. Nature, 313: 444~449.
- Lin J L, Fuller M, Zhang W Y. 1990. Paleomagnetism, North China and South China collision, and the Tan-Lu fault. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser A, 331: 589~598.
- Ma X, Yang Z, Xing L. 1993. The lower Cretaceous reference pole from the North China, and its tectonic implications. Geophys. J. Int., 115: 323~331.
- Okay A, Sengor A M C. 1992. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultra-high-pressure rocks in China. Geology, 20: 411~414.

- Pan Y S. 1996. Geological Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains. Beijing: Seismological Press.
- Sengor A M C. 1991. Timing of orogenic events; a persistent geological controversy. In: Muller D W. ed. Controversies in Modern Geology. London: Academic Press, 405~476.
- Spencer D A, Tonarini S, Pognante U. 1995. Geochemical and Sr-Nd isotopic characterization of Higher Himalayan eclogites (and associated metabasites). *Eur J Mineral*, 7: 89~102.
- Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, et al. 1990. The Ailao Shan / Red River metamorphic belt Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343: 431~437.
- Wang Q, Cong B. 1994. UHPM rocks—a window to pry into geodynamics of orogenic belt. First Workshop on UHP Metamorphism and tectonics, Stanford, U. S. A. , 92~94.
- Xu S T, Okay A I, et al. 1992. Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 26: 80~82.
- Xue F, Rowley D B, Baker J. 1996. Refolded syn-ultrahigh-pressure thrust sheets in the South Dabie complex, China. Field evidence and tectonic implications. *Geology*, 24: 455~458.
- 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.
- Yang Z, Besse J. 1993. Paleomagnetic study on Permian and Mesozoic sedimentary rocks from North Thailand supports the extrusion model for Indochina. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 117: 525~552.
- Yin A, Nie S. 1993. An indentation model for the north China and the south China collision and the development of Tanlu and Honam Fault system, eastern Asia. *Tectonics*, 12: 801~813.
- Zhao X, Coe R. 1987. Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China. *Nature*, 327: 141~144.
- Zhao X, Coe R. 1996. Paleomagnetic constraints on the tectonics of South China. *J. Australian Earth Sci.*, 43: 643~672.

Formation and Evolution of Continental Orogenic Belts: Examples from Continental Amalgamation in the Himalayan and Dabie—Sulu Orogens in Asia

Zhou Yaoxiu¹⁾ Xiao Wenjiao²⁾ Yang Zhenyu³⁾ Zhu Rixiang⁴⁾

1) *Areo-geophysics and remote sensing Survey, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100083*

2) *Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution, Institute of Geology and Geophysics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

3) *Institute of Geodynamic, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

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

Abstract

The process of continental orogeny is reviewed through tectonic and geophysical analyses in the Himalayan and Dabie—Sulu orogens. The evidence from both tectonics and paleomagnetism has shown that the formation and evolution of the continental orogenic belts are characterized by the following 5 continuous processes: collision → rotation of blocks → amalgamation → intra-continental compression → collapse.

Key words: continental orogenic belts; tectonics and paleomagnetism; rotation; collapse

作者简介

周焯秀,男,1940年生。现为国土资源部航空物探遥感中心教授级高级工程师,长期从事地球物理学与造山带地质学研究。通讯地址:100083,北京海淀区学院路29号,国土资源部航空物探遥感中心。