

亚洲形变与全球变冷 ——探索气候与构造的关系

汪品先

(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

摘要 亚洲是当代地球上唯一夹在两个汇聚大陆边缘的陆地,在亚洲与西太平洋之间由于地形和气压的巨大反差,形成最为强烈的能流和物流。这种反差,是亚洲在新生代晚期经受全球最大构造形变的产物。印度与亚洲碰撞,太平洋板块转向,边缘海张裂,中国地形倒转,大江东流,陆架和沿海平原形成,这一系列变化造成了区域性甚至全球性的严重气候后果。探索亚洲形变与新生代全球变冷的可能关系,从而揭示气候与构造的关系,是我国地学界责无旁贷的任务。

关键词 气候变化 构造形变 亚洲 新生代

1 引言

对于地球科学来说,20世纪的结尾是新时期的开端:一门贯穿不同圈层、揭示地球表层环境变化机理的“地球系统科学(Earth system science)”,正在兴起。研究地球系统,难点在于不同圈层变化过程的耦合。海洋与大气过程的时间尺度不同,两者的耦合已属不易;岩石圈变化与大气过程的时间尺度相差更大,揭示构造与气候间的关系自然难度也更大。

处在起步阶段的地球系统科学,可以从其它学科得到借鉴。生态学早在50年代就开始向系统科学发展,现在的系统生态学(systems ecology)通过能流(energy flow)和物流(material flow),把千差万别的生物世界与周围环境联结起来^[1]。地球系统的研究与生态系统有相似之处,同样可以通过能流和物流把地球不同圈层的过程联成完整的系统。地球表面能流的变化引起气候变迁,M.米兰科维奇发现的地球轨道周期便属此类;地球表面物流的变更也会具有更大的气候后果,近年来谈虎色变的“温室效应”便是一例。人类社会的工业化,把石炭纪等地质时期里植物光合作用固定的碳又从岩石圈重新放回到大气圈去,产生了“洪太尉误走妖魔”类型的“温室效应”。正是这种危机感驱使人类重视地球表层各圈层间的相互作用,促成地球系统中“全球变化”的研究。

新生代晚期以来,地球上最大幅度的构造变化发生在亚洲和西太平洋区,带来了物流和能流的巨变;同一期间,地球表面环境最显著的气候变化在于全球变冷,原来无冰盖的地球变为两极都有冰盖笼罩。最大的气候变化与最大的构造变化有无内在联系?这正是

作者简介:汪品先 男 61岁 教授、中国科学院院士 海洋地质学专业

1998-05-07收稿,1998-05-18收修改稿

本文试图讨论的问题。

2 强烈的反差

亚洲和西太平洋,是当今世界上地形反差最强的地区。从海拔 8 848m的珠穆朗玛峰到太平洋俯冲带深逾万米的海沟,落差近 2 万米,而到最近的海沟(如菲律宾海沟,深 10 497m)相距不过 4 000km(图 1)。巨大的地形反差造成极强的物流,以青藏高原为核心的亚洲东南部及其岛屿,向世界大洋提供了大约 70% 的陆源悬移沉积物^[2]。同时,沿着西太平洋全球最长的俯冲带,又集中了世界大洋 75% 的边缘盆地^[3],这一连串边缘海“捕获”了亚洲提供的大部分沉积物,使得世界最大的大洋与大陆之间的物质交换复杂化。其实无论是地球表面的海陆之间或者地下深处的壳幔之间,这里都是物质交换最活跃的地带,因为沿着西太平洋岛弧,发生着全球最大规模的俯冲作用和火山活动。

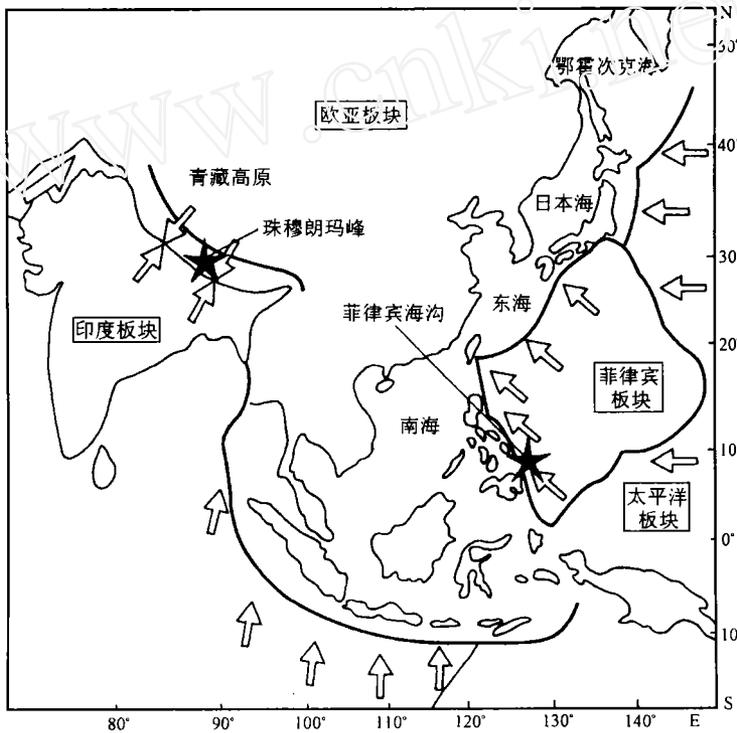


图 1 现代亚洲和西太平洋区的强烈构造运动和地形反差

最高峰与深海沟(★)之间落差近 2 万米,相距只有 4 000km。箭头示板块移动方向,粗线示板块界线

Fig.1 Diagram showing intensive tectonic movement and topographic contrast in modern Asia and Western Pacific

强烈的反差也见于大气圈。现代世界大洋最高表层水温区 (> 29℃) 出现在西太平洋新几内亚岛以北,以多年 28℃ 等温线为界的西太平洋暖池 (WPWP) 从热带西太平洋穿越边缘海延展到热带东印度洋,成为全球海平面上的加热中心。而青藏高原又是 5 000m 高空的全球最高加热区,如果再考虑到西伯利亚冷高压的存在,可以看出本区在大气圈内也是反差最强的。这种气温上的反差与亚洲太平洋间的海陆反差相结合,决定了本区季

风系统的强盛,尤其是冬夏季风反差之强居全球第一;海面的加热又使本区的热带风暴特别活跃。

在强烈反差驱动下,本区的物流和能流特别突出,在全球气候系统中的作用也格外显著。而这类反差又是在相当晚近的地质时期方才出现,反映出本区变化速率之高。

3 巨大的变速

与澳大利亚之类由超级大陆崩解而成的大陆不同,亚洲是由诸多地块与造山带拼合而成的。如图 1 所示,亚洲是当今世界上唯一夹在两个板块汇聚边缘之间的大陆。正当始新世印度与亚洲板块碰撞的时候,西太平洋区也发生急剧的变化。太平洋板块的移动方向,在 43Ma B.P.前后由 NNW 转为 NWW^[4],在此前后如今菲律宾海的东部形成了宽逾 200km、长达 3 000km 的新洋壳,是一段快速的火山喷发期^[5]。处在“两面夹攻”形势下的亚洲大陆,遭受了新生代全球最大的形态变化^[6]。而西边的碰撞造山和东边的边缘海张裂,很可能是同一个过程的不同表现^[7]。

尽管青藏高原隆升的时代尚有争议,西太平洋边缘海的形成年龄也不全清楚^[4],中国在新近纪晚期经历了地形倒转,已无疑义。直到 50Ma B.P.的始新世早期,不仅印度与亚洲之间尚有特提斯海的东段相隔,而且欧洲与亚洲也被图尔盖海峡分开^[8],使中国的西部濒临海洋(图 2)。相反,中国的东部受燕山运动的影响,在当时的安第斯型大陆边缘可能有高近 3 500~4 000m、宽约 500km 的山脉发育于今天的华夏古陆^[9]。因此中国至少在古新世时仍然是东部高于西部的地势(图 3B),与今天的西高东低(图 3B')相反。

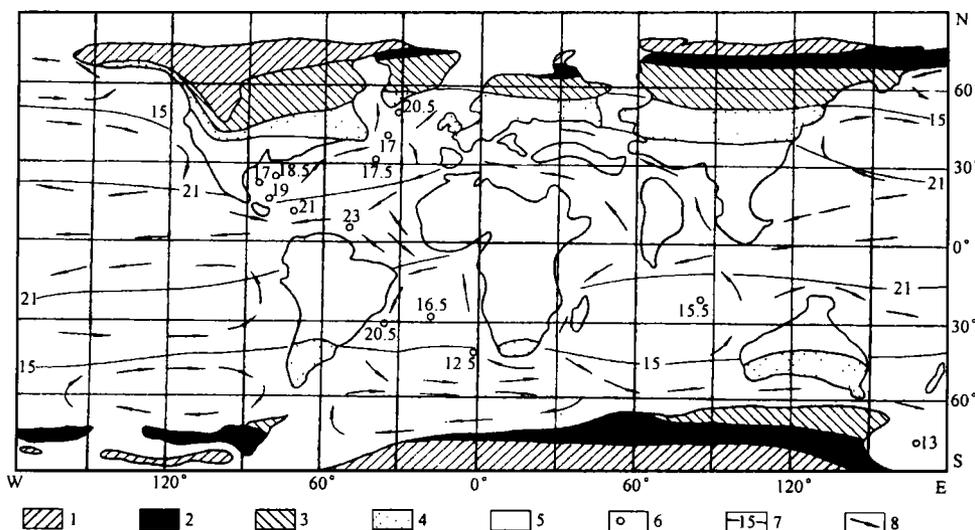


图 2 始新世早期(约 50Ma B.P.)全球古地理、古环境略图

(海陆分布据 [10], 植被带据 [11], 洋流格局据 [12], 海水同位素古温度据 [13])

1. 混合针叶林 2. 针叶阔叶混交林 3. 常绿阔叶林 4. 副热带雨林 5. 热带雨林
6. $\delta^{18}\text{O}$ 表层水温 7. 表层水等温($^{\circ}\text{C}$)线 8. 海流方向

Fig.2 Global paleogeography and paleoenvironmental pattern at early Eocene (about 50Ma B.P.)

只有在地势倒转之后,才能出现大江东流的地势。长江、黄河按规模名列世界前茅,

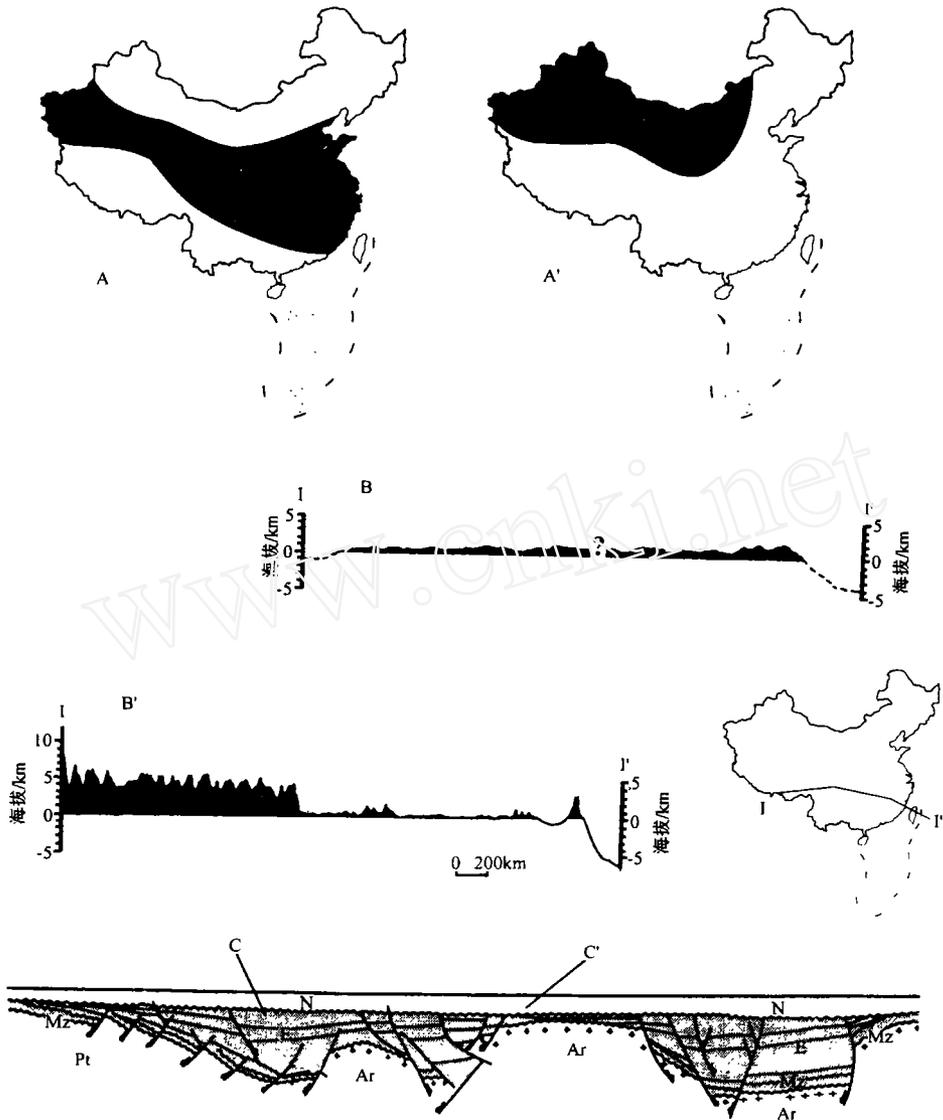


图3 新生代我国地形、气候带和沉积盆地构造特征的变化示意图
 上: 中国干旱带(黑色区)分布范围图。A. 晚白垩世至古新世(据[14]修改); A'. 现代
 中: 中国地势东西向剖面图。B. 晚白垩世至古新世; B'. 现代; I~I'. 剖面位置
 下: 中国东部沉积盆地的构造层(以辽河盆地^[15]为例)。C. 早第三纪的地层,
 仅充填断裂盆地; C'. 晚第三纪以来的地层, 广泛分布于平原区。

图中 N 为晚第三纪, E 为早第三纪, Mz 为中生代,

Pt 为元古代, Ar 为太古代

Fig.3 Mid-Cenozoic changes of topography, climatic zonation and tectonic features of sedimentary basins of China

论年龄却远逊于国外的大河。亚马逊河、恒河、尼日尔河等都有一二千万年的历史^[16], 密西西比河简直可以上溯到古生代^[17], 而长江、黄河却只有一二百万年^[18], 说明目前中国的三级地形很晚方才形成。而新生代晚期亚洲的形变具有加速的特征, 越近现代变幅越大。

最近的初步统计表明,我国陆海盆地的平均沉积总速率从新生代初期以来增加了大约 6 倍^[19](表 1),反映出从青藏高原到海上诸岛都在新生代晚期加速隆升,使边缘海快速充填,形成了全球中低纬区最宽的陆架,在末次冰期旋回中成为东亚和西太平洋地区变速最大的地理景观。例如在末次冰消期(15 000~7 000a B.P.)的 8 000 年间,我国的东海岸线从冰期低海面时的冲绳海槽西缘退到华北平原,跨度 1 200km,即使以平均速度计也超过每天 0.4m,如此迅速的岸线位移,已属地质奇观。

表1 中国陆海新生代盆地沉积物充填量初步估算(据[19]修改)

Table 1 Preliminary estimations of sediment volumes in Cenozoic basins of China (including both onshore and offshore basins)

代	世	沉积充填总量 /10 ⁴ km ³	年平均充填量 /km ³ · (10 ³ a) ⁻¹
新 生 代	更新世	247	1.4
	上新世	419	1.2
	中新世	664	0.4
	渐新世	315	0.3
	始新世	429	0.2
	古新世	235	0.2

4 形变与气候

由上可见,亚洲和西太平洋区不仅反差大、物流强,而且这种反差在特殊的高速变化过程中形成,应当具有格外强烈的气候环境后果。新生代晚期青藏高原的隆升早已成为古环境研究的热点,其实海洋变迁的气候意义不见得在高原之下。数值模拟的结果表明,类特提斯海(Paratethys)近 3 000 万年以来从亚洲西部的收缩和消失,对亚洲季风的影响不亚于青藏高原的隆升^[20];而亚洲东部出现一系列边缘海的重大气候后果,还有待揭示和证明。现在至少可以说,西太平洋暖池的出现和黑潮的强化,与岛弧和边缘海的形成有必然联系。在澳大利亚尚未飘移北上,印尼诸岛尚未形成,太平洋和印度洋间海流畅通的时候,太平洋赤道暖流可以西行至非洲以东;在吕宋岛弧旋转而呈径向分布前,也不容易使西行的赤道暖流在吕宋以东分为南北两支,不容易有强劲的黑潮北上和棉兰老暖流南下,而现在棉兰老暖流是西太平洋暖池暖水的重要来源¹⁾。

在陆地方面,高原的存在可以改变大气环流的格局,早经我国学者指出^[21]。10 年前美国学者通过数值模拟发现新生代晚期世界几大洲的高原隆升,可以引起西风带分叉等大气环境的变化,从而产生北半球北部降温等气候后果,与地质记录相符^[22]。我国最近进行的大气环流数值模拟表明:即使没有其它大陆的高原,单靠青藏高原的隆升便足以取得相似的效果²⁾。高原隆升不仅通过改变地球表面能流的格局而影响气候,而且还通过物流的改变带来气候后果。硅酸盐的化学风化是一种消耗 CO₂ 的过程,高原隆升使风化作用加剧,可以导致大气 CO₂ 浓度的下降,造成全球降温^[23]。这种假设引起地学界的高度

1) 胡敦欣面告,1997

2) 刘骥平. 青藏高原隆起对全球气候的影响. 中国气象科学院硕士论文. 1997

重视,因为深海底栖有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 测量表明,世界大洋的底层水温确实从大约5000万年前至今下降了十余度,地球也从两极无冰盖的暖室期演变到先是南极、后是两极有冰盖的冰室期^[24],大气 CO_2 浓度下降3~4倍^[25](图4)。反映大陆壳风化速度的海水锶同位素值($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)在新生代的变化^[26],与上述变冷趋势有很好的相关性,也为高原隆升与全球变冷的关系提供了有力的支持。

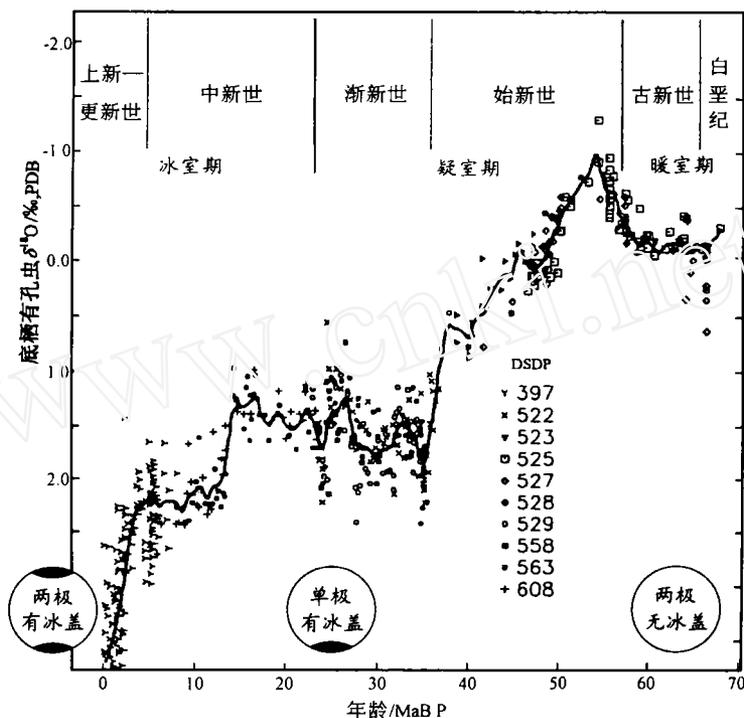


图4 新生代全球变冷示意图

曲线为 DSDP 大西洋 10 个钻孔中不同时期底栖有孔虫的氧同位素值的平均值^[24], 显示出从新生代早期两极无冰盖的暖室期 (Hot House), 经过冰盖不明的疑室期 (Doubt House), 进入新生代晚期极地有冰盖的冰室期 (Ice House)

Fig.4 Diagram showing Cenozoic global cooling

有趣的是亚洲季风演变与上述过程的关系。进入晚第三纪以来,随着冰盖增大使水分冻结,全球干旱气候逐步加剧^[11, 27],而我国却出现干旱带退缩到西北地区的逆转趋势(图 3A'),反映出东亚季风环流替代行星环流,由季风将海洋的水分输上大陆使中国东部由干变湿^{[14] 1}。高原隆升、全球变冷和东亚季风,都是新生代晚期出现的现象;那么三者之间有无因果关系?

已经知道,海陆的反差使季风形成,高原的隆升使季风加强。早始新世以前亚洲没有欧洲和印度(见图 2),可能相当于无季风或前季风时期,行星风系造成横贯大陆的干旱带(图 3A);青藏高原隆升的开始,既可以使全球变冷,又可以加强夏季风,使我国干旱带向

1) Wang Pinxian. Progress in Late Cenozoic paleoclimatology of China: A brief review. In: Whyte P *et al.* eds. The Palaeoenvironment of East Asia from the Mid-Tertiary (1). Hong Kong University, 1984. 165~187

西北退缩(见图 3A');而北极冰盖的出现可以导致西伯利亚冷高压的形成,带来强劲的冬季风,使得黄土高原形成巨厚的堆积^[28, 61]。这种东亚季风演化的假定模式有待验证。如果真是如此,那么高原隆升的构造过程与全球变冷、季风发育的气候过程之间,便找到了因果关系。

5 结束语

我国所在的亚洲东部,是当代地球上能流和物流最为活跃,新生代以来变化速率最大的地区,应当在全球气候环境变化中起着突出的作用。为了揭示构造运动与气候演变的关系,有必要集中探索青藏高原隆升与全球变冷和亚洲季风演变的相互关系,在东亚季风区取得早第三纪以来的深海或陆相连续沉积序列,从中提取高原隆升剥蚀、温度变化和季风演变的信息,为构造与气候相互关系的假设进行验证,这是我国地学工作者得天独厚的工作条件,也是责无旁贷的国际责任。

致谢 黄维和吴梅英同志协助文字及图件处理,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 H. T. 奥德姆. 蒋有绪,徐德应等译. 系统生态学. 北京:科学出版社,1997. 15~24
- 2 Milliman J D, Meade R H. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*, 1983, **91**(1):1~21
- 3 Tamaki K, Honza E. Global tectonics and formation of marginal basins: Role of the western Pacific. *Episodes*, 1991, **14**(3):224~230
- 4 金性春,周祖翼,汪品先. 大洋钻探和中国地球科学. 上海:同济大学出版社,1995. 24~25
- 5 Bloomer S H, Taylor B, MacLeod C J *et al.* Early arc volcanism and the ophiolite problem: A perspective from drilling in the western Pacific. *Geophysical Monograph*, 1995, **88**:1~30
- 6 汪品先. 上下五千万年——现代自然环境宏观格局的由来. *科学*, 1997, **49**(3):18~22
- 7 Jolivet L, Tamaki K, Fournier M. Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis. *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**(B11):22 237~22 259
- 8 Зубаков В А. Глобальные Климатические События Неогена. Москва: Гидромеоиздат. 1990, 1~223
- 9 Chen Peiji. Coastal mountains of Southeast China, volcanism and desert climate during the Upper Cretaceous. In: Sun A, Wang Y eds. Sixth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota, Short Papers. Beijing: China Ocean Press, 1995. 189~191
- 10 Barron E J. Explanations of the Tertiary global cooling trend. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1985, **50**:45~61
- 11 Wolfe J A. Distribution of major vegetational types during the Tertiary. *Geophysical Monograph*, 1985, **32**:357~375
- 12 Haq B U. Paleogene paleoceanography: Early Cenozoic ocean revisited. *Oceanologica Acta*, 1981, Proceedings 26th International Geological Congress, Geology of Oceans Symposium: 71~82
- 13 Crowley T J, North G R. Paleoclimatology. New York: Oxford University Press, 1991. 190
- 14 Wang Pinxian. Neogene stratigraphy and paleoenvironments of China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*

1) Wang Pinxian. Late Cenozoic environmental evolution in China: Marine factors and records. In: Jablonski N G ed. The Changing Face of East Asia during the Tertiary and Quaternary. Hong Kong University, 1997. 263~274

Palaeoecology, 1990, 77:315~334

- 15 王 涛等. 中国东部裂谷盆地油气藏地质. 北京:石油工业出版社,1997. 25
- 16 Rizzini A, Vezzani F, Cococetta V *et al.* Stratigraphy and sedimentation of a Neogene-Quaternary section in the Nile Delta area. *Marine Geology*, 1978, 27(3, 4):327~348
- 17 Potter P E. Significance and origin of big rivers. *Journal of Geology*, 1978, 86:13~33
- 18 李吉均,方小敏,马海洲等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. 中国科学(D辑),1996,26(4):316~322
- 19 廖宗廷. 中国中生代盆地沉积充填量的初步估算. 同济大学学报,1995,23(增刊):161~164
- 20 Ramstein G, Fluteau F, Besse J *et al.* Effect of orogeny, plate motion and land-sea distribution on Eurasian climate change over the past 30 million years. *Nature*, 1997, 386:788~795
- 21 叶笃正,罗四维,朱抱真. 西藏高原及其附近的流场结构和对流层大气的热量平衡. 气象学报,1957,28:108~121
- 22 Ruddiman W F, Kutzbach J E. Forcing of Late Cenozoic Northern Hemisphere climate by plateau uplift in southern Asia and American West. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94(D15):18 409~18 427
- 23 Raymo M E, Ruddiman W F. Tectonic forcing of Late Cenozoic climate. *Nature*, 1992, 359:117~122
- 24 Miller K G, Fairbanks R G, Mountain G S. Tertiary oxygen isotope synthesis, sealevel history, and continental margin erosion. *Paleoceanography*, 1987, 2:1~19
- 25 Lasaga A C, Berner R A, Garrels R M. An improved geochemical model of atmospheric CO₂ fluctuations over the past 100 million years. *Geophysical Monograph*, 1988, 32:397~411
- 26 McArthur J M. Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Terra Nova*, 1994, 6(4):331~358
- 27 Singh G. History of aridland vegetation and climate: A global perspective. *Biological Review*, 1988, 63:159~195
- 28 Liu Tungsheng, Guo Zhengtang. Geological environments in China and global change. 刘东生文集. 北京:科学出版社,1997. 192~202

DEFORMATION OF ASIA AND GLOBAL COOLING: SEARCHING LINKS BETWEEN CLIMATE AND TECTONICS

Wang Pinxian

(Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract

In the modern Earth System, the energy flow and material flow are most active in Asia and Western Pacific. Nearly 20km contrast in topography occurs within a distance of only 4 000km, between the highest peak in the World (Qomolangma Feng or Everest, 8 848m a.s.l.) and one of the deepest trenches in ocean (Philippine Trench, w.d. 10 497m). The world-wise heating centres at the sea surface level (the Western Pacific Warm Pool) and at 5 000m a.s.l. (the Tibetan Plateau), as well as the coldest Siberian High Cell, all are around this region. In result, the eastern and southern parts

of Asia with its islands contribute nearly 70% of the total terrigenous suspended load to the global ocean, and the region is also distinguished by the most active winter monsoon as well as strong tropical cyclones.

Asia is the only continent which is sandwiched between two convergent continental margins and has experienced the most significant tectonic deformation in the Cenozoic. It is believed that the India-Asia collision and the NWW turn of the Pacific Plate has given rise to the uplift of the Tibetan Plateau on one hand, and to the formation of the Western Pacific marginal seas on the other. The series of seas, separating the largest continent from the largest ocean in the world, have modified the material and energy flux between land and ocean, and the evolution of their island arcs has led to serious climate consequences. An example is the Indonesian Islands, their formation may have given rise to the beginning or strengthening of the Western Pacific Warm Pool and the Kuroshio warm current. Meanwhile, the tectonic changes in the early Miocene led to a reversal of the topographic trend in China from west-tilting to east-tilting, with the west-east gradient continuously increasing since then. This explains why the geological records of such large rivers as Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow River) can be traced back only to the Pleistocene.

The radical changes in topography of Asia must have profound climate impact. As shown by numerical modeling, the accelerating uplift of the Tibetan Plateau may have changed the global atmospheric circulation and hence, have been responsible for the late Cenozoic global cooling. Moreover, long-term increased chemical erosion in rapidly uplifting areas could reduce atmospheric CO_2 and lead to the "Ice House" regime. On the other hand, the climate pattern in China underwent a reorganization around the beginning of Miocene: the planetary system of atmospheric circulation has been replaced by monsoonal circulation system, and the general pattern has maintained up to now. The Mid-Cenozoic realignment of the climate pattern in China can be ascribed to the India / Asia collision and the increase in size of the Asian continent, while the intensified uplift of the Tibetan Plateau should have led to the strengthened monsoon system. The hypothetical relationships between the deformation of Asia, the late Cenozoic global cooling, and the evolution of Asian monsoons is to be verified by careful studies on continuous stratigraphic sequences both of marine and continental origin.

Key words climate change, tectonic deformation, Asia, the Cenozoic