

Retrospective and Complement to Research on “Indian Plate”

—Change a Way to Look at the Earth

Xiaosi Fang¹, Yansheng Chang²

¹Geological Museum of China, Beijing

²Peking University Press, Beijing

Email: fangxiaosi@sina.com, changys@pku.edu.cn

Received: Aug. 6th, 2016; accepted: Aug. 22nd, 2016; published: Aug. 30th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

At about 200 ma ago, Gondwanaland was split by a rift system, according to the development process of present East African Rift system, into South America Plate, Africa Plate, Australia Plate, Antarctic Plate and India-Indochina Plate. The rift system itself developed to the present Mid-Atlantic Ridge, Indian Ridges, and Pacific Ridges gradually. Triassic dinosaurs, found at both Indian and Indo-China plates, showed that Indo-China Plate was also a part of Gondwanaland and that Indian Plate and Indo-China Plate were located together as Indian-Indo-China Plate. When separated from Gondwanaland, and collided with South-China Plate, it was merged in Eurasian Plate at the Equator in Late Triassic-Early Jurassic period. The collision had brought Gondwana fauna like sea reptiles Ichthyosaurus, crinoids, and terrestrial dinosaurs to South China (Guizhou, Yunnan, Sichuan, etc.). In its further movement northward, Indian-Indo-China Plate was split by the Ninety East Ridge into two parts from south to north: Indo-China Plate at its east and Indian Plate at its west. Indian Plate, driven jointly by the Ninety East Ridge and Maldive Ridge, moved northward and collided with Eurasian Plate again, at the region of present Himalaya, forming present Himalaya topography. The two collisions were caused by the forming of rift systems. So understanding the formation of the rift systems is the key to reconstruct the route of Indian Plate movement which in turns helps to interpret many geological phenomena happened since Mesozoic.

Keywords

Rift System, Eurasian Plate, Indian-Indochina Plate, Indian Plate, Ninety East Ridge

“印度板块”研究回顾及思维再完善

—换个方式审视地球

暨庆祝中国地质博物馆建馆100周年(1916-2016)

方晓思¹, 常燕生²

¹中国地质博物馆, 北京

²北京大学出版社, 北京

Email: fangxiaosi@sina.com, changys@pku.edu.cn

收稿日期: 2016年8月6日; 录用日期: 2016年8月22日; 发布日期: 2016年8月30日

摘要

依据当今非洲大裂谷的发育过程可以推断出, 2亿多年前由于受到裂谷系的作用, 致使冈瓦纳古陆全面解体, 出现了南美洲板块、非洲板块、澳大利亚板块、南极洲板块、印度-印支板块; 之后裂谷系又逐渐发展成大西洋海岭、印度洋海岭、太平洋海岭。古生物学又证实, “印度板块”与“印支板块”都生存有三叠纪恐龙动物, 这表明“印支板块”曾经是冈瓦纳大陆的一部分, 与“印度板块”曾经也是一个相互连接的整体, 即“印度-印支板块”。从冈瓦纳大陆分离出来, “印度-印支板块”于晚三叠世后期至早侏罗世初期, 在赤道附近同“华南大陆板块”发生撞击, 自此并入欧亚板块, 并将冈瓦纳大陆的海生爬行动物鱼龙、棘皮类海百合及陆生恐龙等生物先后带入亚洲南部的贵州、云南、四川等地区。随着印度-印支板块与欧亚板块向北移动, 印度-印支板块又受到来自“东经九十度海岭”的切割, 新的裂谷系将其由南至北分成西部的印度板块和东部的印支板块。被分割的印度板块在“东经九十度海岭”和马尔代夫海岭合力推动下, 向北移动, 至喜马拉雅地区, 再次与欧亚板块发生撞击, 形成当今的地貌景观。两次撞击都与裂谷系相关联, 因此对裂谷系的认识, 有助重塑印度板块的运动轨迹, 有助重新解释中生代以来众多的地质现象。

关键词

裂谷系, 欧亚板块, 印度-印支板块, 印度板块, 东经九十度海岭

1. 研究过程回顾

中国西南部地区是恐龙最早出现的地方, 它一面世就以数量巨大、群体成熟而著称。然而这些恐龙是我国本土的产物? 还是外来的物种? 这些问题长期以来都悬而未决。有关中国恐龙起源问题, 寻找它们的原始发生地以及种群演化记录, 几十年一直成为这一领域的重大课题。

滇中地区是我国地质前辈早期从事地质研究的区域之一, 1941年卞美年将禄丰盆地出露的“红色岩层”命名为“禄丰系”, 划归瑞替克阶[1]; 杨钟健则依据古脚类恐龙进一步划分出“下禄丰系”, 时代定为晚三叠世; 1959年杨钟健又将这套“红层”修定为“禄丰群”, 重新命名为“上禄丰组”、“下禄丰组”, 时代归属晚三叠世晚期-中侏罗世。对于滇中“红层”中的恐龙动物群, 杨钟健认为, “含蜥龙动物群的下禄丰组, 只能是三叠纪晚期, 而不是侏罗纪”[2]。还在1943年就曾提出, 四川盆地红层主要为侏罗纪沉积, 恐龙化石均来自于红层之中(杨钟健等: “秦岭地区的一些地质问题”)。所以作出如此

判断, 现在推测, 可能基于对恐龙起源以及恐龙宏观上的分布, 以区别在不同区域中, 恐龙之间存在着“新老”演化关系, 当时这一结论似乎“平息”了中国恐龙在起源方面的众多疑问。

20世纪六十年代, 盛莘夫、常芝瑞等以及中国科学院南京古生物研究所[3], 都曾表明修改云南这套地层年代, 由三叠纪改划为侏罗纪。第二届全国地层会议(1979)和《中国的侏罗系》也都一致确认[4], 含禄丰蜥龙动物群的红层, 禄丰组归属下侏罗统。此后中国科学院古脊椎动物与古人类研究所在云南多处地点相继发现真正的蜥脚类恐龙, 特别是在禄丰县、武定县的禄丰组中找到古脚类(Palaeopoda)与蜥脚类(Sauropoda)共生的证据。武定昆明龙(*Kunmingosaurus wudingensis*)是一类产于亚洲侏罗纪早期的蜥脚类恐龙, 比禄丰龙进化, 赵喜进(1985)作了鉴定描述, 董枝明(1991)后又将其归属到蜀龙科。按照古生物一般规律, 具有亲缘关系的原始祖先类型和进步类型同时存在, 含化石层位的时代确定, 以后期演化的进步类型为准, 这一原则为禄丰组划归下侏罗统增加了依据。

禄丰龙属于板龙科(Plateosauridae)一类恐龙, 在非洲南部和德国等地均有发现。Galton (1976)在对北美的古脚类系统研究后提出, 板龙科的一些属种可以从晚三叠世延续到早侏罗世, 因此古脚类与蜥脚类共生是“不容怀疑的”。赵喜进后来也“主张整个下禄丰组归里阿斯期(孙艾玲等, 1985)”, 提出云南和四川早期出现的恐龙是同一时期的动物群。

20世纪60年代中期, Jain等(1964, 1975, 1977)在印度半岛中部早侏罗世的珂他组(Kota Fm.)中采得一批恐龙化石, 其中 *Barapasaurus* 是最著名的一种大型蜥脚类(董枝明等, 1983) [5] [6]。以往认为, “‘珂他组’比‘下禄丰组’层位高, 前者属侏罗纪, 后者属三叠纪”, 实际上两地含恐龙的地层同属下侏罗统。此后, 又见有更原始的古脚类化石 *Massospondylus* 报道, 说明在印度存在着比云南禄丰更古老的恐龙物种。还有信息提到, 印度石油天然气委员会地质实验室的工作人员, 又在印度西部古吉拉特邦卡奇地区发现侏罗纪中期12具恐龙脊椎化石, 无疑这些化石从地质时代和生物起源方面都在证实, 印度半岛与非洲大陆的联系更为密切。根据笔者2002年测制的“禄丰杨家庄三叠-侏罗系剖面”的地层层序表明, 在禄丰沙湾一带, 禄丰组底部普遍缺少一套三叠纪“一平浪煤系”以上的连续过渡沉积。这套地层位于早侏罗世禄丰组之下, 晚三叠世舍资组之上的鱼坝村组; 可以确定, 禄丰地区缺失了三叠纪晚期-侏罗纪初期的一套沉积, 当然也缺少这一时期的恐龙化石记录[7]。

大量证据表明, 印度半岛出现恐龙的时代要早于欧亚大陆, 恐龙生物群应该是通过印度板块由南方大陆迁徙到欧亚地区。除此路线外, 目前还没有任何迹象显示, 恐龙会通过西亚的哈萨克斯坦或古特提斯海沿岸区域来至中国。如果是这样, 亚洲的恐龙从何处而来? 云南、四川的恐龙又源于何地? 如何解释“中国恐龙起源”的问题就再次浮出水面。

传统观念提出, 印度板块只在新生代才与欧亚板块有过接触, 依据这一思路不难发现, 在板块相撞的那一时刻, 恐龙已经绝灭了, 从时间上讲, 恐龙已经错失了由印度板块向欧亚板块迁徙的可能性, 当然也排除了恐龙由欧亚板块向印度板块迁徙的可能性。针对传统观念带来的种种疑问, 我们提出了一个新的见解, ① 中国恐龙的出现与印度板块有关; ② 依据时间推测, 印度板块在中生代就与云南地区有过接触, 恐龙由此进入亚洲; ③ 根据中国最早出现恐龙实例判断, 印度板块在喜马拉雅地区的撞击不应该是唯一一次, 此前还曾发生过类似撞击事件, 时间应在侏罗世初期; ④ 从中国恐龙的出现, 联系到我国西南地区的南北向分布的横断山脉、三江并流等地质构造带无疑是受到强大动力挤压的结果, 西南地区出现的构造体系与板块碰撞应该有直接的关系; ⑤ 古地磁测试显示, 侏罗纪以后禄丰地区发生了明显的地壳向南移动和顺时针旋转[8]; ⑥ 由于技术资料所限, 当时的魏格纳不可能推论出印度板块完整的运行轨迹。

综合这些年来研究, 一个新的思维开始形成: 印度板块不是一次, 而是二次撞击过欧亚板块, 第一次撞向云南三江地区, 第二次撞向西藏喜马拉雅地区。

印度板块二次撞击欧亚板块的观点是在滇中侏罗纪生物地层研究中产生的, 这些年来对这一观点的认识正在逐步深入, 并且对关键问题的剖析也更加趋向真相。

2006~2011 年期间曾发表了相关论述:

2006: 印度板块—古亚洲板块碰撞及亚洲恐龙的出现。地质通报, 25(7), 862~873 [9]

2008: 滇中侏罗纪红层。北京: 地质出版社[7]

在上述论文和专著中首次提出了印度板块二次撞击欧亚板块的观点(图 1)。

2011: 依据恐龙化石恢复印度板块的运行轨迹。地质通报, 30(11), 1689~1696 [10]

在 2011 年撰写的论文中又有了新的进展, 增加了泰国孔敬地区晚三叠世奈丰组(Nam Phong Fm.)产出的古脚类(即原蜥脚类 Prosauropoda)、蜥脚类等恐龙资料[11], 丰富了印度板块二次撞击的证据。文章通过印度和泰国都产出三叠纪恐龙的证据, 揭示了在亲缘关系上它们同属冈瓦纳大陆生物区; 也指出这两个不同地域曾经是相邻、相连接的事实, 只是后来被孟加拉湾分开, 隔海相邻(图 2)。笔者力图通过印度板块从冈瓦纳大陆分离的完整过程, 修定印度板块在漂移中的运行轨迹和时间轨迹。文章的缺欠在于, 没有跳出印度板块的传统观念, 建立起印度半岛与泰国孔敬地区相互链接的意识, 忽略了印度板块在撞击过程中与“印支板块(Indo-China Plate)”应该是一体, 即忽略了一个“泛印度板块”的概念, 这是前期研究中的重要失误。

2. 思维的逐渐完善

如果“二次撞击”这一设想能够成立, 需要涉及 3 个必要条件, ① 在脱离冈瓦纳大陆时, 印度板块与印支板块是一个相连的整体, 即“印度 - 印支板块”; ② 根据我国恐龙的出现, “印度 - 印支板块”第一次撞击欧亚板块的时间大体发生在侏罗纪早期; ③ 将“印度 - 印支板块”切割开, 成为印度板块第二次撞击欧亚板块的必要前提。

(一) 一些研究者认为, 恐龙作为一个群体最早起源于中三叠世冈瓦纳大陆, 在这个区域中繁衍生息。随着古大陆的四分五裂, 冈瓦纳大陆上的同源生物随之迁移扩散。在漂移中, 由于各板块之间受到不同地理环境的影响, 同源生物又会在不同区域内发生新的变异和演化, 逐渐形成具有本地域特征的恐龙动物种群。

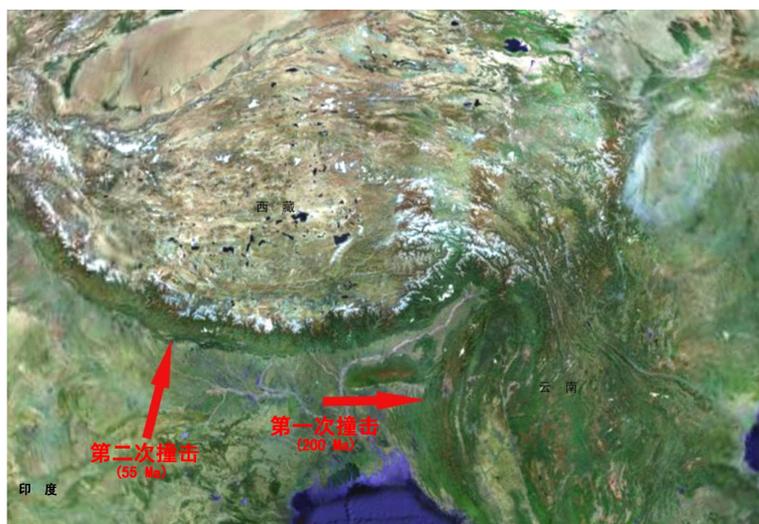


Figure 1. Sketch map showing the Indian Plate hit Eurasian Plate twice (Fang Xiaosi et al., 2006)

图 1. 印度板块两次撞击欧亚板块 (据方晓思等, 2006)



橙色曲线表示印度板块运行轨迹

Figure 2. Appearance of the Bay of Bengal and second collision of Indian Plate with the Eurasian plate (modified from Fang Xiaosi et al., 2011)

图 2. 孟加拉湾的出现与“印度板块”第二次撞击欧亚板块(据方晓思等, 2011; 略有修改)

晚三叠世时期的恐龙属早期恐龙, 类型比较单调, 在南非、南美洲阿根廷、北美洲的美国以及欧洲的英国、法国、葡萄牙、德国等地均有发现, 主要以古脚类为主。古脚类, 也称为原蜥脚类, 其牙齿、前肢、爪的发育介于食肉类和食植物类之间, 常见属种有 *Orinosaurus capensis*, *Massospondylus* sp., *Melanorosaurus readi*, *M. sp.*, *Euskelosaurus browni*, *E. africanus*, *E. sp.*, *Plateosaurus stombergensis*, *P. cullingworthi*。Galton (1976)在对北美的古脚类系统研究后提出, 板龙科(Plateosauridae)特征为, 腰带三射型, 腰椎具 3 个荐椎, 肠骨上的耻骨突比较靠近前部, 前肢短小, 后肢强壮, 牙齿勺状, 代表了发育不正常的一类蜥臀类恐龙, 其中一些种类可以从晚三叠世延续到早侏罗世, 云南一带首次出现的禄丰龙就属这类恐龙[7]。由于缺失三叠系的恐龙生存记录, 禄丰龙动物群明显是代表了早侏罗世的生物种群面貌。有报道, 印度中部 Maleri 组曾发现晚三叠世古脚类 *Massospondylus* 以及兽脚类恐龙, 由此证实恐龙在这一地区的出现要早于我国的西南地区, 相比之下印度板块与冈瓦纳古陆有着更直接的联系。

对于“印度板块撞击欧亚板块”这起地质事件, 传统观念解释说, 白垩纪以后“印度板块”脱离了冈瓦纳大陆, 即自新生代开始逐渐远离非洲板块向北漂移, 最终在喜马拉雅地区与欧亚板块相撞。然而事实并非如此, 通过对大洋中脊研究发现, 大西洋中脊与印度洋中脊是同时期的产物(图 9)。大西洋海岭分隔南美板块、非洲板块的时间, 以及印度洋海岭“圈裹”非洲板块的时间, 都是发生在三叠纪。毫无疑问, 晚三叠世“印度板块”如果还没脱离非洲板块, 印度洋海岭就成为它向北漂移不可逾越的障碍[12]。此后“印度板块”无论是在白垩纪, 还是在新生代(或者是在侏罗纪), 都不存在与欧亚板块相撞的可能性。鉴于对印度半岛和亚洲大陆恐龙动物群的研究, 一幅新的图景展现出来: 随着印度洋海岭的扩张, “印度-印支板块”作为一个整体, 于晚三叠世脱离冈瓦纳大陆开始漂移, 至赤道附近, 第一次与欧亚板块相撞, 时间大体是在晚三叠世后期-早侏罗世初。

“印度-印支板块”作为整体来自冈瓦纳大陆

印支半岛(Indo-China Peninsula), 亚洲南部三大半岛之一, 旧称印度支那半岛, 又称中印半岛。位于中国和南亚次大陆之间, 西临孟加拉湾、安达曼海和马六甲海峡, 东临太平洋的南海。

受传统观念影响, 我们常把印度板块与印支板块分隔开, 然而它们确实是一个整体, “印度-印支板块”。Weishampel D B.等在 2004 年版《恐龙》[13]一书中全面总结了全球各大洲、各时代的恐龙分布, 其中示意了在亚洲的印度中央邦和安得拉邦以及在泰国的孔敬地区, 均发现上三叠统恐龙遗迹。有关印度的恐龙报道是由 S. Chatterjee, T. Roy-Chowdhury, S. L. Jain, T. S. Kutty, P. Robinson, R. Lydekker,

F. von Huene 等完成的[14]-[16]。在泰国, Buffetaut, E.等(1995年)报道了孔敬地区四处地点产有“最古老的南亚恐龙”, 其类型为古脚类及蜥脚类等。化石产地位于泰国东北部 Chaiyaphum 省 Ban Non Thaworn, 村庄附近的 KhokHinPoeng。在报道中提及的三叠纪恐龙个体约 6.5 m, 被命名为 *Isanosaurusattavipachi*, 发现于陆相奈丰组(the Nam Phong Formation)红色砂岩中。奈丰组的时代由含孢粉钻井数据确定, 时代比侏罗纪老, 但不早于诺利克阶, 为诺利克阶(Norian)晚期或瑞提阶(Rhaetian) [17] [18]。上述印度中央邦、安得拉邦以及在泰国孔敬地区的上三叠统恐龙化石表明, 这些恐龙都是来自冈瓦纳大陆, 源于同一个生物区。可以确信, 脱离冈瓦纳大陆前, “印度地块”与“印支地块”曾是古陆的一部分, 印度与泰国、缅甸一带在三叠纪彼此相邻, 生物通过陆地能够相互往来; 脱离冈瓦纳大陆后, 它们就以一个新的、独立的“印度 - 印支板块”这样的整体形式存在着。

Weishampel D B.等提出, “亚洲的上三叠统恐龙化石仅限于印度和泰国”。结论表明, 印度、泰国等地存在着比云南禄丰组更古老的恐龙种类, 在晚三叠世期间, “印度 - 印支板块”上的恐龙动物还没有向外扩散, 直到三叠纪以后恐龙才进入亚洲大陆, 出现了具有亚洲地域特色的早侏罗世恐龙动物群。这些化石无疑从地质时代和生物起源方面为大陆漂移提供了有力的证据, 也为后来的撞击事件提供了证据。虽然印度半岛与印支半岛之间现在被孟加拉海湾隔绝, 但化石说明了一切, 印度与泰国及东南亚一带曾经有着地域上的联系, 曾经是一块完整的陆地。

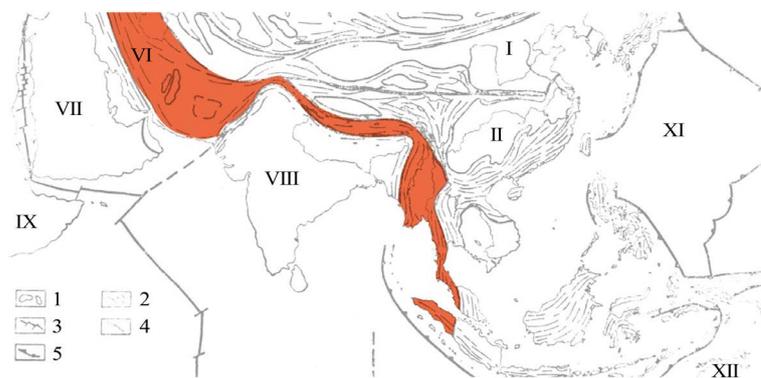
李春昱先生等(1983)对印度、东南亚地区研究中, 曾在印度与泰国西部之间划出了一个与冈瓦纳大陆有联系的“中间板块”。提出“滇西地台型古生代沉积区与掸邦, 可能代表一个稳定地块, 均位于澜沧江断裂以西。……从古生物区划而论, 滇西和掸邦原始应该划属于冈瓦纳板块”。由于当年“沿澜沧江再向南(笔者注: 泰国清迈、清莱一带), 冈瓦纳和欧亚两个古板块的分界, 缺乏明显的标志”, 因此“以澜沧江断裂为界, 向南穿过马来半岛和苏门答腊, 作为中间板块与欧亚板块之间的缝合线”。上述中的重要一点是, 他从“印支板块”中划出一部分作为“中间板块”, 并认为与“印度板块”同属于冈瓦纳大陆。遗憾的是由于当时缺少证据, 李春昱只把“缝合线”以西的缅甸及泰国西部确定下来, 没能将以东区域也划入冈瓦纳大陆范围。目前依据晚三叠世的恐龙证据, 将印度板块、“中间板块”以及“中间板块”以东地块共同划归于冈瓦纳大陆是没有疑义的(图 3), 即从印度至泰国以东一带都应属于曾经的南方古陆一部分, 曾经的印度 - 印支板块。

(二) 洪汉净等(2005)认为, 欧亚板块(Eurasian plate)是全球六大板块之一, 不同的是, 北美洲板块、南美洲板块、非洲板块、澳大利亚板块、南极洲板块为简单板块, 唯独欧亚板块为组合板块。其中, 我国大陆是由华北、华南、塔里木、柴达木、羌塘、冈底斯等古板块拼合而成的, 至少在中生代以前, 华北、华南、塔里木、柴达木 4 个板块各自有独立的运动轨迹。在印支期, 中特提斯洋扩张, 古特提斯洋逐渐关闭, 西北、华北、华南、羌塘、印支(笔者注: 加上印度)、滇缅泰马等 6 大古板块拼合成中国古大陆[19] [20]。

加里东运动后扬子地台和东南加里东褶皱带共同组成“华南大陆板块”, 晚古生代中已不再与冈瓦纳大陆保持较密切的关系, 代表处于低纬度带的一个独立板块。综合以往的研究结论, Mc. Elhinny 等(1981)认为, 晚古生代以后“华南大陆板块”的位置是在“在赤道附近”; 林金录等(1985)(图 4)则将其“置于南半球低纬度带”(刘本培等, 1986, p.267) [21] [22]。总之依据上述观点, 此间“华南大陆板块”所处位置应该在靠近赤道的南半球一带。

根据朱志文等(1981)对雅鲁藏布江南北两侧古地磁样品测算后提供的数据表明, 晚侏罗世印度板块的位置在古纬度 23°S - 1°N 之间(李春昱等, 1983) [23] [24]。

这些数据大体提供给我们这样的信息, 三叠纪 - 侏罗纪“印度 - 印支板块”与“华南大陆板块”的总体位置处于赤道附近。洪汉净等(2005)还提出过, 晚三叠纪(220~208 Ma)以及 200 Ma 年左右滇缅泰马地



I. 塔里木-中朝板块; II. 华南及东南亚板块; VI. 土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块;
VII. 阿拉伯板块; VIII. 印度板块; IX. 非洲板块; XI. 菲律宾板块; XII. 澳大利亚
板块

Figure 3. Schematic division of the “middle sector” by Li Chunyu *et al.* (1983)
图 3. 李春昱等(1983) “中间板块”划分示意图

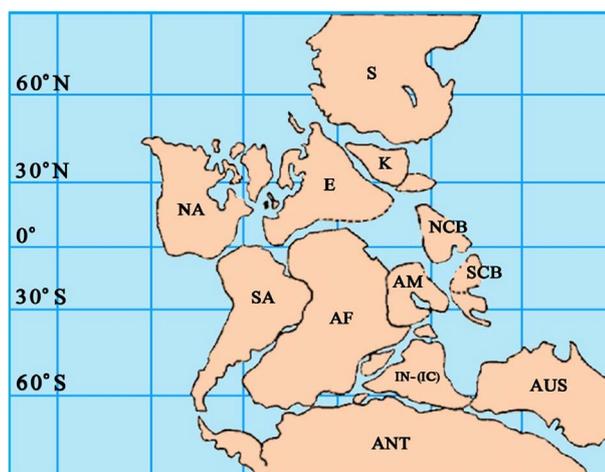


Figure 4. In Late Permian paleogeographic reconstruction map
(modified from Lin Jinlu *et al.*, 1985)
图 4. 晚二叠世古地理重建图(据林金录等, 1985; 引用略有修改)

块、印支地块(笔者注: 加上印度地块)在欧亚南缘发生过碰撞[25]。综合这些信息, 从宏观上推理, “印度-印支板块”晚三叠世-早侏罗世, 大体在南半球赤道附近与欧亚板块南缘发生过接触。

“印度-印支板块”与晚三叠世“贵州龙动物群”、“关岭动物群”的关联

漂移中的“印度-印支板块”第一次在赤道附近撞击了属于欧亚大陆的“华南大陆板块”, 直接引发了冈瓦纳大陆生物的迁徙, 在贵州南部出现了海相“贵州龙动物群”及“关岭动物群”[26]。

晚三叠世后期“印度-印支板块”逐渐接近“华南大陆板块”, 即中国的西南部的云南、广西南部。受其影响, 晚三叠世滇西一带逐渐抬升, 曾经广泛分布的上扬子海迅速消减, 形成近海盆地和海陆交互沉积区, 出现以海相过渡类型为主的活动陆棚碎屑岩及内陆河湖盆地沉积形式。板块接触前, 在相邻的陆壳边缘之间形成了新的滨海环境, 由“印度-印支板块”带来的冈瓦纳大陆海生动物, 经浅海进入这片新的水域, 并逐渐扩展到“华南大陆板块”的滨湖区(图 5)[27]。

突然在贵州一带出现的“贵州龙动物群”和“关岭动物群”, 是属于晚三叠世后期生物, 它们适于开阔海域和比较宁静的水体环境。“贵州龙动物群”以海生爬行动物贵州龙为主, 包括有幻龙、鱼类、

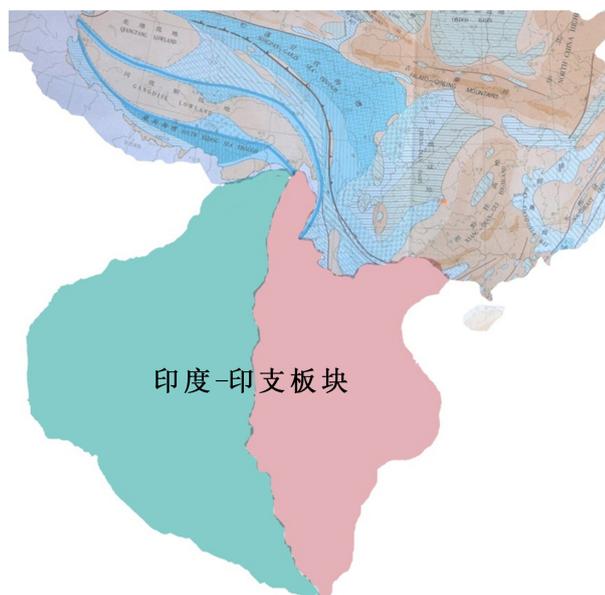


Figure 5. In Late Triassic, “Indian-Indo China Plate” at a position close to Eurasian Plate
图 5. 晚三叠世“印度-印支板块”接近欧亚板块

节肢动物虾类。“关岭动物群”更是一个门类众多，数量丰富的化石群，包括有脊椎动物中的海生爬行动物鳍龙动物、海龙(海蜥)类、鱼龙类以及鱼类、棘皮动物海百合、头足动物菊石、软体动物双壳类、微体古生物牙形石等。过去这类生物主要出现在与冈瓦纳大陆相关的古地中海区域，与亚洲本土生物没有直接的联系，属外来物种。

“印度 - 印支板块”带来的冈瓦纳海生生物，通过上扬子海的水体进入广西、贵州，再通过近海盆地等通道，进入湖北、安徽等地。因此晚三叠世在这一地区先后出现了海百合、菊石、双壳、牙形石、鳍龙、鱼龙、海蜥、槽齿类等生物，如贵州兴义的胡氏贵州龙 *Keichousaurus hui*，茅台混鱼龙 *Mixosaurus maotaiensis*，意外兴义龙 *Shingyisaurus unexpectus*，宋氏清镇龙 *Chincheniasungi*，邓氏三桥龙 *Sanchiaosaurus dengi*，东方广西龙 *Kwangsisaurus orientalis*，远安贵州龙 *Keichousaurus yuananensis*，龟山巢湖鱼龙 *Chaohusaurus guishanensis*，南漳湖北鳄 *Hupehsuchus nanchangensis*，湖北汉江蜥 *Hanosaurus hupehensis* 等。显然，晚三叠世当“印度 - 印支板块”与“华南大陆板块”在靠近过程中，属于冈瓦纳大陆的“贵州龙动物群”和“关岭动物群”在新的环境中不仅生存了下来，而且还得到扩展。由此可见我国三叠纪水生爬行动物“具有世界性，……在性质上表现了与欧洲阿尔卑斯和德国同一时代的动物群有着密切的关系，大体属于古地中海生物区。”

晚三叠世的海生爬行动物，除中国贵州、西藏外，目前在世界其他地方，也有发现。如德国的 *Muschelkalk* 地区，奥地利、瑞士和前苏联 *Kolymskye*，欧洲 *Albes* 地区，加拿大的不列颠哥伦比亚，美国的加利福尼亚、内华达和俄勒冈地区，墨西哥的所罗拉以及新西兰等地。“这些地点的研究工作已经开展了很长的时间了，实际上，传统的世界水生爬行动物的研究也仅仅局限于这些地区。相应地，过去的研究结论也主要受这些地点化石材料研究的影响，因此，不免存在片面性。中国，尤其是贵州鳍龙类材料的研究将毫无疑问地改变传统的观念(赵喜进，徐星，1999) [28]。”

然而“贵州龙动物群”和“关岭动物群”却来去匆匆，在上三叠统卡尼阶的竹杆坡组和瓦窑组中突然出现，又“瞬间”隐去，生存了仅仅几百多万年的时间，它们的消失无疑受到了外界的影响和控制。有一点很清晰，它们是迁徙来的物种，没有展示完整的演化过程，一出现就是一个成熟的种群；还有一

点, 新的环境没有“赐予”它们长久的繁衍机遇, 也不允许它们缓慢的绝灭。它们似乎像是“从天而降”, 却又“悄然退去”, 在短暂的地质进程中, 毫无疑问板块运动成为一个主要控制因素。板块间在撞击过程中, 为这群生物的生存繁衍营造出新的环境; 随着“印度-印支板块”与滇西南地区“缝合”在一起, 陆地形成, 海洋消失, 具有冈瓦纳大陆特色的“贵州龙动物群”和“关岭动物群”也随之消失。从中我们能够觉察到, 地壳漂移与撞击, 主宰着“贵州龙动物群”和“关岭动物群”的命运。所有这一切完全是由于“印度-印支板块”与“华南大陆板块”的撞击, 导致了冈瓦纳大陆生物能在欧亚大陆出现。

通过“印度-印支板块”恐龙登上欧亚板块

在我国西南地区先后出现了晚三叠世“贵州龙动物群”、“关岭动物群”和早侏罗世“禄丰龙动物群”, 尽管动物群体本身习性不同, 产出的时代、地点不同, 但它们先后出现绝不是孤立的地质事件。几个动物群都归属于“冈瓦纳大陆生物”, 是欧亚板块以外的物种。这宗生物连锁迁徙事件一直是个谜, 但“地壳漂移”为我们提供了解开这个谜团的钥匙。

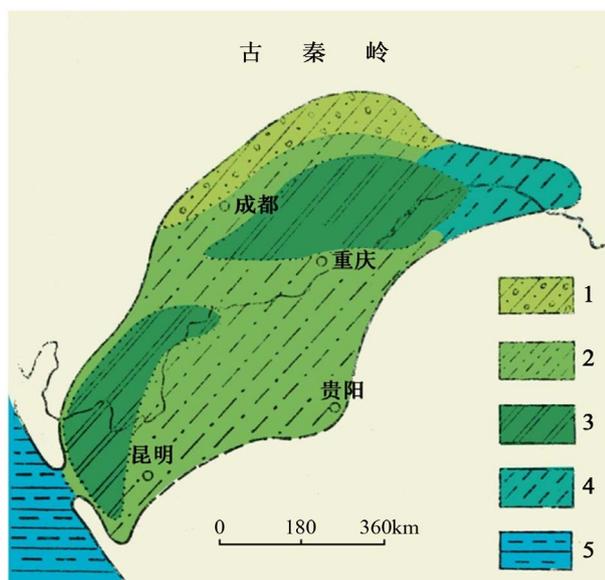
侏罗纪初期板块开始了真正的撞击, 代表冈瓦纳大陆的“印度-印支板块”不断挤压代表欧亚大陆的“华南大陆板块”, 它们之间完成了由靠近到愈合, 两个板块在澜沧江-点苍山-哀牢山-红河一带相互衔接起来。受到“印度-印支板块”的冲击, 中国西南地区地壳迅速抬升, 在川滇一带形成盆地, 由过去的海相沉积转变为陆相沉积(图 6~图 7)。“印度-印支板块”上的恐龙动物通过路桥及河流水系先后登上欧亚板块, 进入川滇盆地的湖泊地带。冈瓦纳大陆恐龙动物群的迁徙, 大体是由西向东、由南向北进入新的陆地, 并逐渐扩散, 在云南、四川、贵州(西)一带繁衍, 成就了欧亚板块早期的“恐龙盛世”(表 1)[7]。

“禄丰龙动物群”是欧亚大陆最早出现的动物群, 也是亚洲地区侏罗纪早期最重要的动物群。在演化方面与本地区爬行类没有联系, 是一群成熟的外来物种[9], 在后来的发展中成为新大陆上的“霸主”。“禄丰龙动物群”主要由鱼类、两栖类、爬行类、哺乳类和无脊椎动物门类组成。其中爬行动物种类异



Figure 6. In Early Jurassic, “Indian-Indo-China Plate” at a position close to Eurasian Plate

图 6. 早侏罗世“印度-印支板块”接近欧亚板块地理图



1. 滨湖砂砾相; 2. 浅湖砂泥岩相; 3. 湖心泥灰岩相; 4. 沼泽含煤相(叠加); 5. 海陆交互碎屑岩相

Figure 7. Sedimentary Facies map in Early Jurassic when dinosaurs came into Sichuan and Yunnan basin (Liu Benpei, 1986, Figures 17-19)

图 7. 早侏罗世恐龙进入中国川滇盆地岩相分异图(据刘本培, 1986, 图 17-19)

Table 1. Fossil assemblage of early Jurassic *lufengosaurus* fauna in Yunnan China

表 1. 中国云南早侏罗世禄丰龙动物群化石组合

古脚类: 中国安琪龙 *Anchisaurus sinensis*, 黄氏云南龙 *Yunnanosaurus huangi*, 巨硕云南龙 *Yunnanosaurus robustus*, 许氏禄丰龙 *Lufengosaurus huenei*, 巨型禄丰龙 *Lufengosaurus magnus*, 新洼金山龙 *Jinshanosaurus xinwaensis*, 金沙江龙 *Chishakiangosaurus*, 杨氏易门龙 *Yimenosaurus youngi* 等;

原始蜥脚类: 武定昆明龙 *Kunmingosaurus wudingensis*, 云南大冲龙 *Dachongosaurus yunnanensis*, 澜沧江龙 *Lancangjiangosaurus cachuensis*;

兽脚类: 尹氏芦沟龙 *Lukousaurus yini*, 三叠中国龙 *Sinosaurus triassicus*, 出口峨山龙 *Eshanosaurus deguchianus*, 双脊龙 *Dilophosaurus* 等;

兽孔类: 云南卞氏兽 *Bienotherium yunnanensis*, 美小卞氏兽 *Bienotherium elegans*, 小卞氏兽 *Bienotherium minor*, 巨型卞氏兽 *Bienotherium magnum*, 中国渐凸兽 *Oligokyphus sinensis*, 小禄丰兽 *Lufengia delicata* 等;

原始哺乳类: 欧氏摩尔根兽 *Morganucodon oehleri*, 黑果棚始带齿兽 *Eozostrodon hekuopengensis*, 芮氏中国尖齿兽 *Sinoconodon rignegi*, 帕氏中国尖齿兽 *Sinoconodon parringtoni*, 张家洼中国尖齿兽 *Sinoconodon changchiawaensis*, 杨氏中国尖齿兽 *Sinoconodon yangi*;

鸟臀类: 禄丰滇中龙 *Doanichongosaurus lufengensis*, 禄丰卞氏龙 *Bienosaurus lufengensis*, 奥氏大地龙 *Tatisaurus oehleri*;

古鳄类: 许氏扁颌鳄 *Platyognathus sui*; 假鳄类的不全硕鳄 *Pachysuchus imperfectus*;

原鳄类: 甲板小鳄 *Microchampsascutata*; 喙头类大洼禄丰喙蜥 *Lufengocephalustawae*。

常丰富, 包括有龟鳖类、古脚类、原始蜥脚类、兽脚类、鸟脚类、副鳄类、假鳄类、原鳄类、兽孔类等。

另有报道, 西藏东部的昌都位于欧亚板块的西南边缘, 自晚三叠世末期, 就受到了来自印度-印支板块的影响。昌都扎曲河畔至达马拉山西坡一带的沉积, 记录了两个板块在衔接中, 生物与地层逐渐由海相到陆相的变化。该剖面分布于察雅一带, 20世纪70年代中国科学院科学考察队测制的(赵喜进等, 1978: 西藏古生物), 整个剖面是由一套滨海相地层过渡为陆相红色碎屑岩地层。下侏罗统大野组为滨海

相杂色碎屑岩沉积, 向上渐变为湖相沉积; 底部化石: 海生动物弓鲛、硬齿鱼、鳄类、鱼龙、蛇颈龙等, 上部化石: 达马拉龙、禄丰龙、西藏巨齿龙等陆生爬行动物[7] [9]。中侏罗统达布卡组为湖泊相红色碎屑岩沉积, 含恐龙化石。

根据地质地貌总体状况分析, 当印度板块逐渐与亚洲板块接触时, 这一带出现了“陆桥”, 将海洋与陆地局部相接, 成为恐龙的通道。恐龙通过昌都盆地, 沿澜沧江进入云南、四川、贵州一带的“‘滇湖’、‘西昌湖’、‘巴蜀湖’”(陈丕基, 1979) [29], 由此恐龙真正跨上欧亚大陆。恐龙习性喜水, 依附水体, 沿着河流迁徙, 在平缓的河流两岸、湖泊周围繁衍生息。恐龙动物首次在亚洲大陆出现, 它标志着“印度-印支板块”与“华南大陆板块”开始合为一体, “印度-印支板块”第一次与欧亚板块的撞击发生了。

(三) 2 亿多年前, 冈瓦纳古陆为什么会被分割开, 出现全面解体? 晚白垩世后期印度-印支板块为什么又被分割成为两半? 通过对现代“非洲大裂谷”的研究, 找出了答案, 就是由于受到“裂谷系”的瓦解。

“非洲大裂谷”位于非洲东部, 自莫桑比克至埃塞俄比亚, 形成了一条南北走向的断陷带。在裂谷作用下, “索马里板块”将从非洲大陆分离出来, 它们之间会被一条红海那样的狭长海域隔离开。“东非大裂谷”使我们了解到, 通过“裂谷系”的地质作用, 可以将广袤的非洲陆地分割出众多小的陆块。

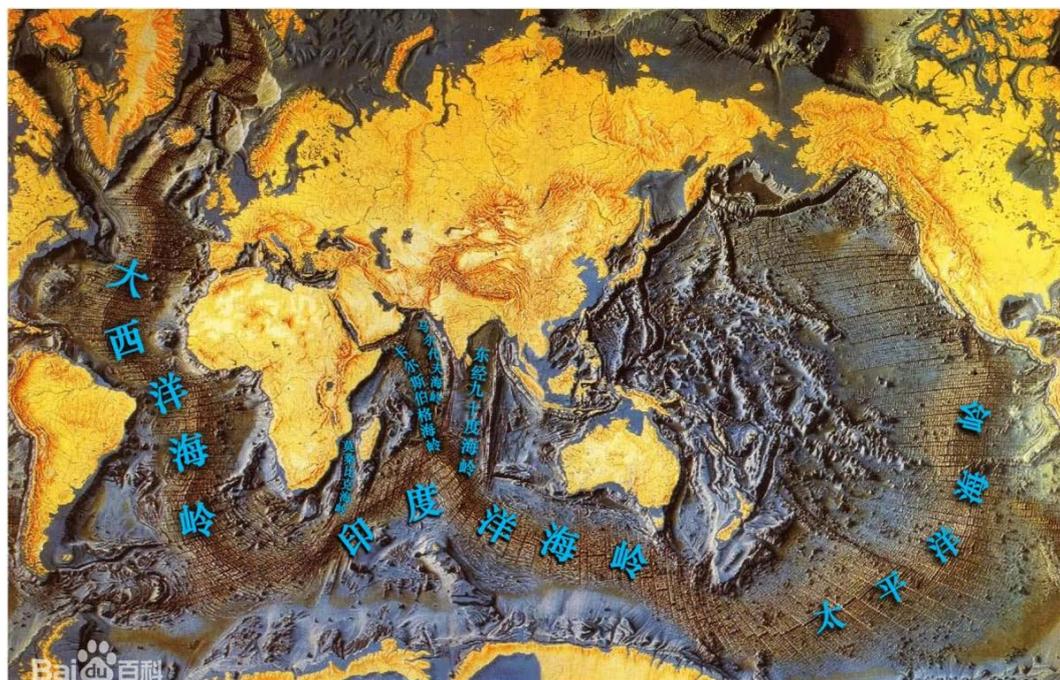
裂谷系是发育在地壳或岩石圈上的区域性大型构造, 在地球表面形成狭长的带状裂谷。2 亿多年前的中生代, 正是在裂谷系的作用下, 引发了冈瓦纳古大陆被分解的地质事件, 出现了南美洲板块、非洲板块、澳大利亚板块、印度-印支板块、南极洲等多个板块。之后的裂谷系又逐渐发展成大西洋海岭、印度洋海岭、太平洋海岭, 并推动着这些被切割的板块分散开。

当年的陆壳裂谷系与洋壳裂谷系如今已发展成大洋中脊, 在这一过程中, 地球表面被裂谷系“撕裂”的纵横交错。根据海底岩浆流的年代测算, 其形成年代不早于三叠纪。随着大西洋海岭的壮大, 如今大西洋中脊绕过南非大陆进入印度洋, 在其中部形成倒置的“Y”字形印度洋中脊。其中东南一支在新西兰与南极洲之间进入太平洋, 与东太平洋海岭相连; 另一支卡尔斯伯格海岭作为中印度洋海岭进入亚丁湾, 与红海断裂和东非大裂谷北端相连。

和古大陆相比, 裂谷系出现的时间要晚, 它属于古大陆的后期产物。南美洲板块、非洲板块, 以及夹在其中的大西洋海岭, 可视为冈瓦纳古陆的残留遗迹。通过观察不难看出, 海岭的形状与大陆间裂开的轮廓线是多么的一致, 这是大西洋海岭对两个板块分割的结果(图 8) [30] [31], 只是当初这条“大西洋裂谷系”不是如此壮观, 当初仅仅是“大陆上的一些小裂谷”。随着大陆裂谷的扩张, 陆壳变薄甚至完全拉开, 逐渐发展成陆壳的裂谷系与洋壳的裂谷系相接, 地幔物质上涌形成新的洋壳, 并统一成巨大海岭, “平静”地推移着非洲板块、南美洲板块渐行渐远? 上述这起地质事件, 已成为非洲板块、南美洲板块被裂谷系切割的典范事例。

类似事例还有, 马达加斯加岛从非洲大陆被分割开, 也是由于裂谷系引起的, 只是时间要晚。马达加斯加岛位于非洲的东南部, 曾经与莫桑比克东部陆地相连, 一条南北走向的莫桑比克海岭彻底切断了马达加斯加与陆地间的联系。其后“马达加斯加地块”受海岭的推动, 逐渐脱离非洲大陆, 成为隔海相望的岛屿。1999 年 Flynn 等为此提供了可靠的证据[32], 他们在马达加斯加岛不仅找到晚三叠世卡尼阶(T₃)原蜥脚类恐龙骨骼, 还发现有中侏罗世以及晚白垩世恐龙化石。可见, 三叠纪期间马达加斯加岛与非洲大陆曾经是相连的, 如果它们一直分离, 马达加斯加就不会出现恐龙, 因为恐龙动物不可能泅渡海峡 100 多 km, 从非洲本土抵达马达加斯加岛。

切割了马达加斯加之后, 莫桑比克海岭经赞比西河进入非洲东部地带, 并向北继续渗入到陆地内部, 直至红海南端, 形成“东非裂谷系”。在与“红海裂谷系”相接后, 造就出目前世界上最长的“非洲-阿拉伯大裂谷”。



全球洋底地貌图

Figure 8. Global ocean topography
图 8. 全球海洋地貌图

“裂谷”一词是由英国地质学家约翰·华特·古格里(JohnWalter Gregory, 1894), 在对东非裂谷研究时提出的一个地质术语, 用来描述东非大陆崩裂, 引发区域性地壳岩石圈上的垂直断裂。裂谷与造山作用无关, 是大陆崩裂, 大洋开启的构造事件。当具有一定成因联系的裂谷组合相互连接, 就构成全球性巨大规模的构造带, 即“裂谷系”。根据裂谷系的演化趋势及不同发育阶段可划分出, 早期的大陆裂谷系, 中期的陆间裂谷系, 以及最终的大洋裂谷系。“东非大裂谷”属“大陆裂谷系”, 目前没有地幔物质上升, 仅仅表现出大陆型的火山喷发特征。“红海裂谷系”, 包括“亚丁湾裂谷系”, 属陆间裂谷系, 是大陆裂谷继续扩张, 陆壳变薄甚至完全拉开, 地幔物质上涌, 但并未形成新的洋壳, 其意义是, “唯一能反映出大陆裂谷系演化为大洋裂谷系过程的构造”。可以看出大陆裂谷与大洋中脊关系密切, 具有成因上的联系(《地质词典(一)》, pp. 319-324), 似乎可将大陆裂谷系看作是大洋裂谷系在切割陆壳过程中的一种形式变化。

当老一轮裂谷系周期过后, 新一轮裂谷周期又会产生。在新的裂谷系作用下, 出现了“印度-印支板块”再次被分割的地质事件, 由此揭开印度板块第二次撞击欧亚板块的序幕。

印度板块第二次与欧亚板块相撞出现在北半球, 是由“东经九十度海岭(Ninety east ridge)”引起。东经九十度海岭属印度洋海岭的分支, 它将印度板块从“印度-印支板块”中分割开来, 并使印度板块出现顺时针转动, 最终向北在喜马拉雅地区撞击了欧亚板块。图 9 是笔者复原印度板块运动轨迹的一个的思路, 由裂谷系以及海岭的切割作用, 直接主导了板块的运行轨迹。

东经九十度海岭大致沿东经 90°经度线延伸, 从孟加拉湾东南部开始, 止于迪亚曼蒂纳海底断裂带, 南北介于北纬 10°和南纬 34°之间, 长 5,000 km, 宽约 185~450 km。在南纬 2°附近, 山脊水深下降到 3, 640 m, 构成一狭窄的鞍部, 将印度洋东部分出中印度洋海盆和西澳大利亚海盆。康迪(Condie, 2001)提出东经九十度海岭源于布罗肯脊, 是凯尔盖朗地幔柱被印度洋中脊隔开的部分。在印度板块(笔者注: 还应包括印支板块及“华南大陆板块”等整体)向北移时, 于白垩纪后期出现了这条东经九十度海岭。依据印

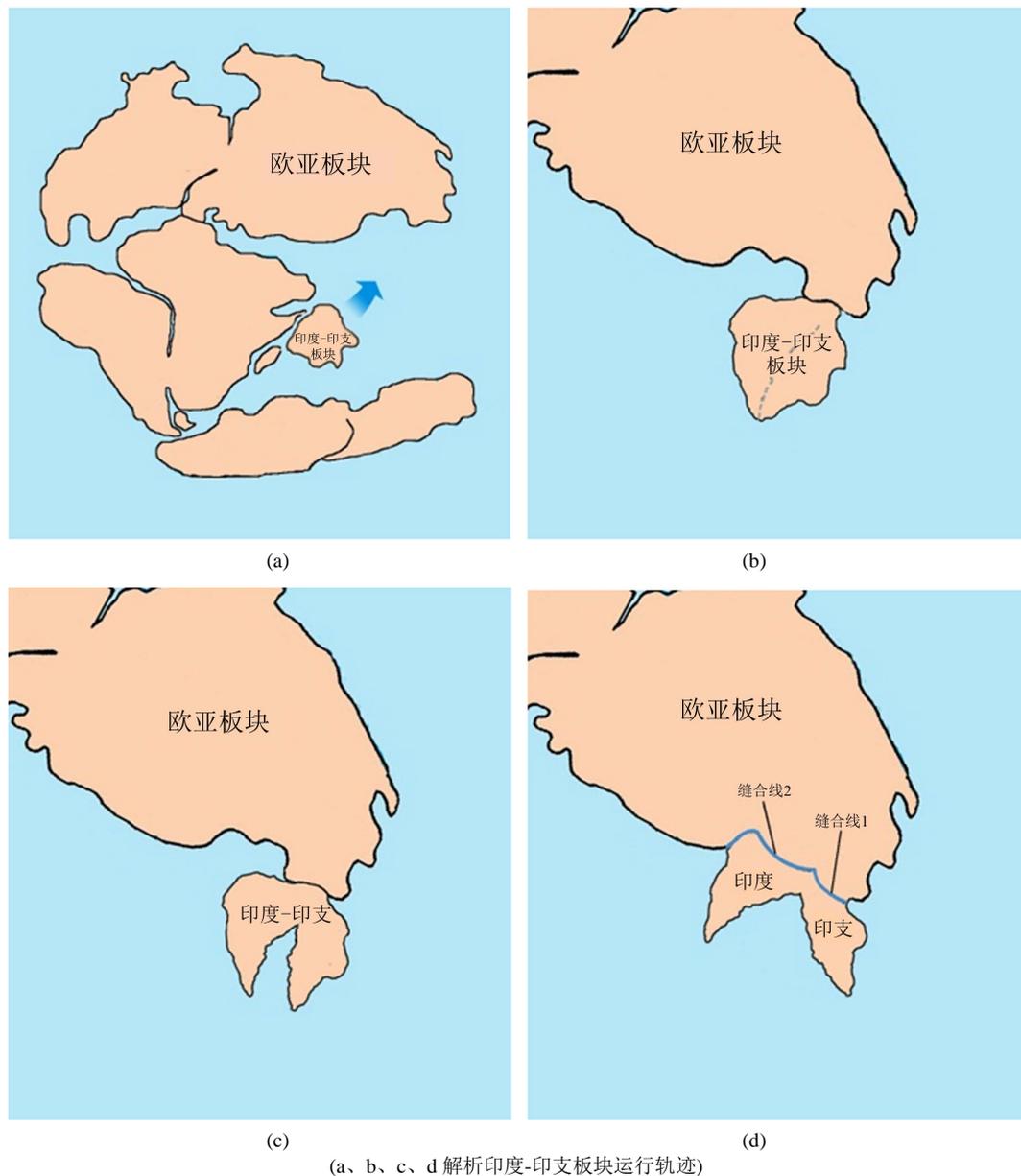


Figure 9. Movement schematic of Indian Plate

图 9. 印度板块运行轨迹示意图

度洋中脊以北，海岭火山年龄数据的持续变新，证明了这一点，裂谷系自北向南发展，逐渐形成东经九十度海岭。海岭成分主要为拉斑玄武岩，玄武岩年龄分析在海岭北边约有 81.8 ± 2.6 百万年(笔者注：相当晚白垩世坎潘阶 Campanian)，止于迪亚曼蒂纳海底断裂带的海岭玄武岩年龄为 43.2 ± 0.5 百万年(笔者注：相当始新世鲁帝特阶 Lutetian)。(见：东印度洋海岭。搜搜百科[引用日期 2013-05-6])。根据玄武岩年龄推断，至晚白垩世坎潘期，裂谷系已不断地将印度-印支板块分裂，并由大陆裂谷系过渡到大洋裂谷系，地幔物质涌出，开始推动印度板块和印支板块分别向两侧运动。

值得注意的是，被分割后的印度板块在漂移中，顺时针向北运行(而印支板块呈逆时针转动，尾端的“马来西亚”、“印度尼西亚”等处出现弧形扩散)。正是由于两条海岭成就了印度板块径直运行轨迹，一条东经九十度海岭，另一条是“马尔代夫海岭”，也称“查戈斯-拉克沙海台”。马尔代夫海岭自印

度西南岸沿东经 75°线向南延伸, 由北至南串联起阿明迪维群岛、拉克沙群岛、马尔代夫群岛、查戈斯群岛等岛屿。马尔代夫海岭与东经九十度海岭平行分布, 正好将印度板块夹在中间, 在两条海岭左右推动下, 印度板块最终在喜马拉雅地区又与欧亚板块相聚。

印度洋中脊派生出多条次一级海岭, 它们时代晚, 分布密集, 其中包括有进入孟加拉湾的东经九十度海岭、进入亚丁湾的阿拉伯海岭, 以及切割马达加斯加岛的莫桑比克海岭等, 它们同属印度洋的海岭, 都经历了“裂谷事件”, 只是发生在不同的时间、不同区域, 切割了不同的板块。很明显裂谷系的出现, 不仅穿越了洋壳、切割了洋壳, 它也穿越了陆壳、切割着陆壳, 造成地壳间的移动。针对“大陆漂移”一词, 李春昱等认为该命名有缺欠。这一术语使人认为, 好像只有陆地移动, 实际上不光是陆地移动, 在板块漂移中, 代表大海的“洋壳”和代表陆地的“岩壳”相对都在运动。他提议把“大陆漂移”这个术语改成“地壳漂移(Crustal drift)”也许更为恰当[33]。

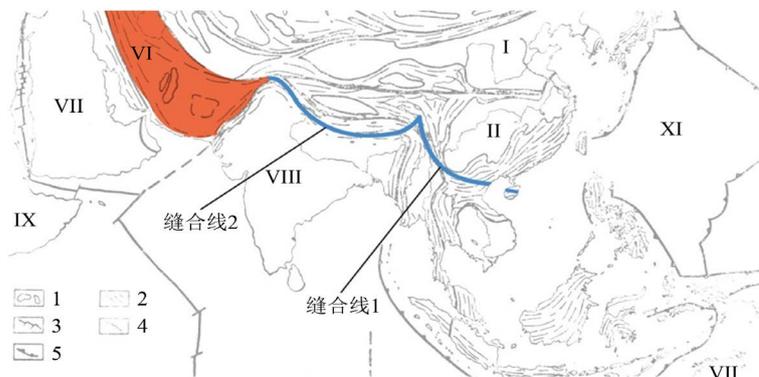
上述裂谷系的作用再现了冈瓦纳大陆被“肢解”、印度-印支板块被切割的过程, 这也成为研究地壳漂移和海洋演变的重要证据。应用“裂谷系”新的理论, 可以解释中生代以来众多的相关地质事件。

宏观这一区域, 从冈瓦纳古陆分离出来的“印度-印支板块”, 在与欧亚板块相互衔接过程中, 可划分出 2 条板块缝合线, 分别作为二次撞击的证据。第一条, 沿澜沧江-点苍山-哀牢山-红河一线为界, 西南一侧属“印度-印支板块”, 东北一侧属欧亚板块; 另一条李春昱先生提出的, “沿印度河上游及雅鲁藏布江是印度板块与欧亚板块之间的缝合线”(图 10)。

3. 小结

现实中的东非大裂谷, 从全球来看无非是一起局部的构造运动, 然而它像一扇窗子, 让我们透过它瞭望到, 曾经的联合古陆被分解源于裂谷系。沿着这一思路, 结合板块构造学、古生物学、古地磁学, 我们对全球重大地质事件的观察会更深刻, 解释会更合理。

法国地质学者弗罗马热(J. Fromaget), 1934 年将印支半岛晚三叠世前诺利克期与前瑞替克期的两个造山幕, 命名为印支褶皱(Indasinides)。而后黄汲清(1945)引用了“印支运动(Indosinian movement)”这一概念, 将其看作中国的中生代初期的地壳运动。“目前一般认为, 印支期地壳运动在时间上, 应包括整个三叠纪到早侏罗世之前的地壳运动[33]”。宏观这场地壳运动, 其实不仅仅发生在印支半岛、印度半岛、在中国



缝合线 1. 澜沧江-点苍山-哀牢山-红河缝合线; 缝合线 2. 印度河上游及雅鲁藏布江缝合线; I. 塔里木-中朝板块; II. 华南及冈底斯板块; VI. 土耳其-中伊朗板块; VII. 阿拉伯板块; VIII. 印度及印支板块; IX. 非洲板块; XI. 菲律宾板块; XII. 澳大利亚板块

Figure 10. Revision to the “middle sector” division and the collision sutures of two plates (Li Chunyu *et al.*, 1983; see Figure 3 of the article)

图 10. 对“中间板块”划分的修订及两条板块撞击缝合线(据李春昱等, 1983; 见本文图 3)

的南部、欧洲的阿尔卑斯等区域, 它实际波及到全球[34] [35], 引发了全球范围生态系统的破坏与重建。

受裂谷系影响, 南方的冈瓦纳大陆、北方的劳亚大陆被分割出了大大小小不同的地壳板块。地壳板块在缓慢的穿越着地球纬度线, 温度随着纬度的变化直接影响了板块上的恐龙生存与演化[36]。种种迹象揭示出, 恐龙对温度依赖性很强, 赤道附近的环境可能更适应恐龙的生存与发展; 随着板块向两极漂移, 进入地球高纬度区域, 温度趋于寒冷, 抑制着恐龙的生存能力。可以想象, “漂移”、“空间”与“时间”的交汇, 为恐龙编织出一条生命线。运动中的板块到达这一纬度线时, 导致了恐龙大量消失, 这条线成为恐龙终点“死亡线”。然而由于到达终点线的时间、位置的不同, 决定了恐龙绝灭的不等时性, 在地质学中被称为穿时现象。即同一板块上的恐龙并不是同时死亡, 而是随着时间和地点的变化, 恐龙地层的沉积界面在逐渐提高, 与时间界面成为“斜交发展”趋势。正如向北漂移的板块, 居其北部的恐龙消失的时间会早些, 南部地区的相对就要晚。

中生代以来“印度-印支板块”这次撞击, 在中国西南地区造就了经向分布的横断山脉和云贵高原, 造就了四川盆地、云南石林等地质景观, 带来了丰富的矿产和水力资源, 还为三叠纪、侏罗纪分别带来了冈瓦纳大陆水生爬行动物和陆生恐龙动物群。而后, 印度板块的单独碰撞又导致青藏高原隆升, 诞生了珠穆朗玛峰世界第一高峰, 成为新生代以来地球上最重大的地质事件之一。

对“印度板块”运行轨迹的传统解释, 存在着太多的不可思议性, 纠正它的偏差, 更新一个理念, 确实困难重重。尽管新的思维存在不少纰漏, 但新的认知更接近真实, 相信在今后的研究中会得到进一步完善。

致 谢

成文期间李震宇博士帮助收集所需的地质资料; 叶锦华博士以及他所在的中国地质调查局发展研究中心-境外地质矿产信息室的同仁, 热情地提供了东南亚一带有关地质研究报告; 岳昭博士翻译并修改了论文中的英文内容, 在此仅表谢意。还要提到亦师亦友的李佩贤先生, 他的离世让我备感难过, 生前他一直提出不同观点, 并激励我不放弃自己的责任, 借论文发表之际以示悼念。

参考文献 (References)

- [1] 卞美年. 云南红色地层[J]. 中国地质学会志, 1941, 21(2-4): 157-198.
- [2] 《杨钟健文集》编辑委员会. 杨钟健文集[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [3] 中国科学院南京古生物研究所, 等. 云南中生代红层[M]. 北京: 科学出版社, 1975.
- [4] 《中国地层典》编委会. 中国地层典·侏罗系[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [5] 董枝明, 周世武, 张奕宏. 四川盆地侏罗纪恐龙化石[J]. 中国古生物志(新丙种), 1983(23): 1-145.
- [6] 李奎, 张玉光, 杨开基. 四川盆地侏罗纪恐龙骨骼及红层的微量元素组合特征[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [7] 方晓思, 李佩贤, 张志军, 程政武, 庞其清, 张子雄, 黄宝春. 滇中侏罗纪红层[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [8] 黄宝春, 李永安, 方晓思, 孙东江, 庞其清, 程政武, 李佩贤. 滇中禄丰地区侏罗系磁性地层学研究[J]. 地质通报, 2005, 24(4): 322-328.
- [9] 方晓思, 张志军, 卢立伍, 韩迎建, 赵喜进, 李佩贤. 印度板块-古亚洲板块碰撞及亚洲恐龙的出现[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 862-873.
- [10] 方晓思, 常燕生. 依据恐龙化石恢复印度板块的运行轨迹[J]. 地质通报, 2011, 30(11): 1689-1696.
- [11] Buffetaut, E., Suteethorn, V., Le Loeuff, J., Cuny, G., Tong, H., and Khansubha, S. (2002b) The First Giant Dinosaurs: A Large Sauropod from the Late Triassic of Thailand. *Comptes Rendus Palevol*, 1, 103-109. [http://dx.doi.org/10.1016/S1631-0683\(02\)00019-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1631-0683(02)00019-2)
- [12] Ali, J.R. and Aitchison, J.C. (2008) Gondwana to Asia: Plate Tectonics, Paleogeography and the Biological Connectivity of the Indian Sub-Continent from the Middle Jurassic through Latest Eocene (166-35 Ma). *Earth-Science Reviews*, 88, 145-166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.01.007>

- [13] Weishampel, D.B., Dodson, P. and Osmolska, H. (2004) *The Dinosauria*. University of California Press, Oakland. <http://dx.doi.org/10.1525/california/9780520242098.001.0001>
- [14] Kutty, T.S. (1969) Some Contributions to the Stratigraphy of the Upper Gondwana Formations of the Pranhita-Godavari Valley, Central India. *Journal of the Geological Society of India*, **10**, 33-48.
- [15] Kutty, T.S. and Roy-Chowdhury, T. (1970) The Gondwana Sequence of the Pranhita-Godavari Valley, India, and Its Vertebrate Faunas. *Proceedings and Papers of the Second Gondwana Symposium*, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, 303-308.
- [16] Jain, S.L. (1983) Spirally Coiled "Coprolites" from the Upper Triassic Maleri Formation, India. *Palaeontology*, **26**, 813-829.
- [17] Buffetaut, E., Martin, V., Sattayarak, N. and Suteethorn, V. (1995) The Oldest Dinosaur from Southeast Asia: A Prosauropod from the Nam Phong Formation (Late Triassic) of Northeastern Thailand. *Geological Magazine*, **132**, 739-742. <http://dx.doi.org/10.1017/S0016756800018951>
- [18] Buffetaut, E., Suteethorn, V., Cuny, G., Tong, H., Le Loeuff, J., Khansubha, S. and Jongautcharyakul, S. (2000) The Earliest Known Sauropod Dinosaur. *Nature*, **407**, 72-74. <http://dx.doi.org/10.1038/35024060>
- [19] 洪汉净, 于泳, 陶玮, 等. 组合板块与中国大陆构造尘形[M]//张中杰, 高锐, 吕庆田, 等. 中国大陆地球深部结构与动力学研究. 北京: 科学出版社, 2004: 204-213.
- [20] 洪汉净, 马宗晋, 程国梁, 郑秀珍. 我国大陆古板块运动演化的特征[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 23-28.
- [21] 刘本培. 地史学教程[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [22] 林金录. 华南和华北断块的地极移动曲线[J]. 地震地质, 1985, 7(1): 81-83.
- [23] 李春昱, 汤耀庆. 亚洲古板块划分以及有关问题[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 1-10.
- [24] 朱志文, 朱湘元, 张一鸣. 青藏高原古地磁及大陆漂移[J]. 地球物理学报, 1981, 24(1): 40-49.
- [25] Gradstein, F.M., *et al.* (2004) A New Geologic Time Scale, with Special Reference to Precambrian and Neogene from the Dabie Mountains, Central China. *Episodes*, **27**, 83-100.
- [26] 赵元龙. 贵州——古生物王国[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2002.
- [27] 中国地质科学院地质研究所. 中国古地理图集[M]. 北京: 北京地图出版社, 1985.
- [28] 赵喜进, 徐星. 贵州龙[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1999.
- [29] 陈丕基. 中国侏罗, 白垩纪古地理轮廓——兼论长江起源[J]. 北京大学学报(自然科学), 1979(3): 99-109.
- [30] 赵文津. 大陆漂移, 板块构造, 地质力学[J]. 地球学报, 2009, 30(6): 717-731.
- [31] 金性春. 漂移的大陆[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [32] Flynn, J.J., Parrish, J.M., Rakotosaminana, B., Simpson, W.F., Whatley, R.L. and Wyss, A.R. (1999) A Triassic Fauna Madagascar, Including Early Dinosaurs. *Science*, **286**, 763-765. <http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5440.763>
- [33] 地质矿产部《地质辞典》办公室. 地质辞典(一)[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [34] 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [35] 任纪舜. 印支运动及其在中国大地构造演化中的意义[J]. 中国地质科学院院报, 1984(2): 31-44.
- [36] 科尔伯特, E.H. 脊椎动物的进化——各时代脊椎动物的历史[M]. 周明镇, 刘后一, 周本雄, 译. 北京: 地质出版社, 1976.



Submit or recommend next manuscript to SCIRP and we will provide best service for you:

Accepting pre-submission inquiries through Email, Facebook, LinkedIn, Twitter, etc.

A wide selection of journals (inclusive of 9 subjects, more than 200 journals)

Providing 24-hour high-quality service

User-friendly online submission system

Fair and swift peer-review system

Efficient typesetting and proofreading procedure

Display of the result of downloads and visits, as well as the number of cited articles

Maximum dissemination of your research work

Submit your manuscript at: <http://papersubmission.scirp.org/>