古亚洲洋和古特提斯洋的闭合时代
——论二叠纪末生物灭绝事件的构造起因

李朋武[1,2], 高 锐[1], 管 烨[1], 李秋生[1]
1. 中国地质科学院 地质研究所岩石圈中心, 北京 100037
2. 中国地质大学 岩石圈构造与深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083

摘要: 通过对比分析华南地块和基墨里大陆(包括保山、缅泰和羌塘地块)间、华北和西伯利亚地块间的古纬度和纬度运移量, 分别确定了古特提斯洋和古亚洲洋的闭合时代。结果表明: (1) 基墨里大陆东部的保山地块与华南地块于晚二叠世碰撞, 然后继续和华南地块、缅泰地块、羌塘地块一起向北漂移, 直到晚三叠世, 即在云南三江地区, 古特提斯洋的闭合时代为晚二叠世晚期; (2) 早二叠世西伯利亚地块开始快速向南漂移, 并于二叠纪末期(~250 Ma)和华北地块发生碰撞, 即位于两地块间古亚洲洋最终闭合时代为二叠纪末; (3) 峨眉山和西伯利亚两个大火成岩省的形成时代和大洋的闭合时代吻合, 而大火成岩省在时间上又与全球生物灭绝事件吻合, 进而推断二叠纪末的生物灭绝事件可能与古亚洲洋和古特提斯洋的闭合密切相关。

关键词: 集群灭绝; 古地磁; 古亚洲洋; 古特提斯洋; 大陆碰撞
中图分类号: P541 文献标识码: A 文章编号: 1671-5888(2009)03-0521-07

The Closure Time of the Paleo-Asian Ocean and the Paleo-Tethys Ocean: Implication for the Tectonic Cause of the End-Permian Mass Extinction

LI Peng-wu[1,2], GAO Rui[1], GUAN Ye[1], LI Qiu-sheng[1]
1. *Lithosphere Research Center, Institute of Geology, CAGS, Beijing* 100037, *China*
2. *Geo-detection Laboratory, Ministry of Education of China, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*

Abstract: A comparative analysis of paleolatitudes and latitudinal displacements was undertaken for the South China, Cimmerian continent (including Baoshan, Shan-Thai and Qiangtang blocks), the North China and Siberian blocks by using available paleomagnetic data to determine the collisional and amalgamation history of these blocks. The results show that (1) the Baoshan block collided with the South China block in the Late Permian and continued to drift rapidly northwards, together with the South China and Shan-Thai blocks, until the Late Triassic; (2) the paleo-Asian ocean separating North China and Siberian blocks closed in the end-Permian, and North China block collided with Siberian block in the end-Permian(ca. 250 Ma); (3) the age correlations between the end-Permian mass extinctions, Siberian traps and Emeishan traps large igneous province and the final closure time of paleo-oceans show that the mass extinctions are closely related to the evolution of these ancient oceans, suggesting that the collision of continents are the main tectonic cause of end-Permian mass extinctions.

收稿日期: 2008-10-21
基金项目: 国家自然科学基金项目(40774026); 中国地质大学(北京)地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室开放课题项目(GDL0503)
作者简介: 李朋武(1965—), 男, 黑龙江阿城人, 研究员, 主要从事古地磁学和大地构造学研究, Tel: 010-68999664, E-mail: lipengwu@cags.net.cn。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: mass extinction; paleomagnetism; the paleo-Asian ocean; paleo-Tethys ocean; the collision of continents

0 引言

自大约600 Ma以来,显生宙至少曾经发生过5次巨大的生物集群灭绝事件[1]。最大的5次生物集群灭绝事件分别发生在奥陶纪末、晚泥盆世、古生代末、三叠纪末和中生代末。其中,古生代末的事件使鲢、四射珊瑚、三叶虫等动物全部灭绝。经过多年的研究,最终使生物集群灭绝的原因还在争论之中。

许多理论用来解释灭绝事件,诸如外星撞击、冰川、火山、海平面变化、气候变化、超级大陆的形成、中毒等。其中,陨石撞击、大的火山作用和海平面变化是被多数人承认和讨论最多的普遍原因。

由于大的火山作用能产生和陨石撞击类似的效果,所以生物灭绝原因就不可避免地和地球的物理环境变化相关,并最终追索到地球的构造历史。生物栖息环境的破坏、气候变化、缺氧环境、海平面变化将对生物灭绝起主要作用。这些因素和洋盆的演化密切相关,而洋盆演化又和构造活动,尤其是大陆地块的运动息息相关。

本文的目的就是通过分析古代洋盆或大陆地块的运动历史来寻找引起生物灭绝的可能原因。通过对比分析华南地块和基墨里大陆(包括保山、缅泰和羌塘地块)间、华北和西伯利亚地块间的古纬度和纬度运移量,分别确定了古特提斯洋和古亚洲洋的闭合时代。发现这两个洋盆的闭合(大陆碰撞)、大火山岩省(西伯利亚大火山岩省和峨眉山大火山岩省)和生物灭绝3者在时间上有很好的对应性。

1 地块间纬度漂移量的对比

1.1 古地磁数据和分析方法

来自华南地块、华北地块、西伯利亚地块、保山地块、思茅地块、缅泰和羌塘地块的400多个古地磁数据被选择用于地块运动分析,数据已经陆续发表[2-4],这里不再列出。图1和图2分别为华南地块和基墨里大陆(包括保山、缅泰和羌塘地块)间、华北和西伯利亚地块间的古纬度和纬度运移量对比曲线。采样点纬度与古纬度的差值即纬度漂移量。古纬度或纬度漂移量对比曲线的收敛与发散分别指示地块的碰撞和分离。

多学科的数据,诸如古纬度、古生物地理和与俯冲或碰撞相关的岩浆岩年龄等数据,被用来限定地块的古位置和地块碰撞时代。

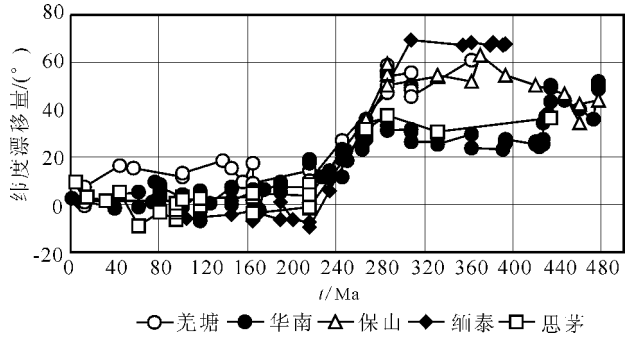

图1 华南、保山,缅泰、思茅和羌塘地块纬度运移量演化曲线

Fig. 1 Curves for the latitudinal displacements of the South China, Baoshan, Shan-Thai, Simao and Qiangtang blocks

1.2 分析结果

在晚奥陶世,保山地块开始向南漂移,华南地块开始向北漂移,表明保山和华南地块之间的古特提斯洋盆于晚奥陶世之后逐渐张开,冈瓦那大陆开始裂解。利用视磁极移曲线拟和对比方法,张世红等[5]认为早中泥盆世,华南才和冈瓦那大陆分离。但从图1中,450 Ma开始的华南快速运动,以及约400 Ma至290 Ma间,华南和保山地块明显的古纬度差,又使得古特提斯洋盆于晚奥陶世之后逐渐张开成为可能。这种不同的分析结果需要有待进一步验证。

至早泥盆世末(约390 Ma),保山地块和华南地块间的纬度距离达到最大宽度,约29°。早泥盆世(约390 Ma),保山地块位于南纬29.7°。从早泥盆世(390 Ma)到晚石炭世(290 Ma),保山地块纬度位置基本稳定,但晚石炭世之后,非常快速向北运移,缅泰地块也如此。

晚石炭世和早二叠世(约263 Ma)间,华南地块纬度位置基本稳定,之后与保山和缅泰地块一起向北快速运移,直至晚三叠世。印支地块的古纬度从243 Ma(中三叠世早期)的8.3°N、238 Ma(中三叠世)的10.6°N、216 Ma(晚三叠世)的26°N到209

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Ma(早侏罗世)的 24.9°N 间变化, 表明早三叠世至晚三叠世间的快速运移[3]。古地磁数据表明, 保山和思茅地块间的碰撞发生在中—晚二叠世。晚三叠世时(约 216 Ma), 保山地块、缅泰地块和华南地块快速运移停止。

从寒武纪到晚奥陶世(~ 450 Ma), 西伯利亚地块位于北纬低纬度位置, 华北地块位于南纬 20°左右(图 2), 在此期间, 两地块纬度位置基本稳定, 没有明显的纬度漂移。晚奥陶世起, 华北和西伯利亚地块均开始快速向北运移, 与始于晚奥陶世的冈瓦那大陆的裂解相对应。根据纬度漂移量和古纬度值(图 2), 晚石炭世至早二叠世(310~ 275 Ma), 纬度宽度达到 39°最大, 约 4 000 km。之后, 西伯利亚地块便开始快速向南运移, 而华北缓慢向北漂移, 直至二叠纪末(~ 250 Ma), 华北和西伯利亚地块发生碰撞, 其间的古亚洲洋盆闭合。在纬度漂移量和古纬度对比曲线上, 表现为两地块相应曲线的收敛。古地磁数据表明, 二叠纪期间, 华北和西伯利亚地块相向运动, 反映了二叠纪为古亚洲洋闭合阶段。二叠纪末的碰撞可能导致了索伦—林西缝合带的形成。

2　古特提斯洋和古亚洲洋的最后闭合时代

源于冈瓦纳大陆地块的裂离和向北漂移伴随着古特提斯、中特提斯和新特提斯 3 个洋盆的张开和相继的闭合[6-7]。在三江地区, 昌宁—孟连缝合带内洋壳的残余被认为代表了一个晚古生代的洋盆——古特提斯洋[8-9]。在三江地区, 利用古地磁数据和地质数据, 古特提斯洋的年龄已被论述[2-3], 洋盆闭合时代在晚二叠世。基墨里大陆和华南地块碰撞后的快速向北漂移发生在晚二叠世至晚三叠世期间。基墨里大陆主要由羌塘地块、滇缅泰(Sibumasu)地块组成。在云南省和缅甸, Sibumasu 地块北端由保山地块、腾冲地块或缅泰地块(Shan-Thai block)组成。Sibumasu 地块在早二叠世时, 具有典型的冷水冈瓦纳动物群; 而晚二叠世, 为暖水特提斯动物群[10]。在 Rob Van Der Voo 的著作中[10], 利用古地磁数据也论述了晚古生代晚期组成基墨里大陆地块的快速向北运动。

晚二叠世碰撞和碰撞后的快速漂移也被以下证据所支持: (1) 昌宁—孟连缝合带内的蛇绿混杂岩和晚三叠统砾岩的不整合, 标志了三叠纪挤压造山作用和地块快速运移结束, 限定了古特提斯的闭合时代是在晚三叠统砾岩沉积以前。(2) 根据动物群数据, Shen 等[11] 认为缅泰、保山和腾冲地块在阿塞尔期/早萨克马期均是冈瓦纳域内印支生物省的一部分, 然后从晚萨克马期后, 由于缅泰、保山和腾冲地块向北漂移接近华南和印支地块, 形成独立的过渡省——基墨里区的 Sibumasu 省。它们最终于晚二叠世并入华夏生物省。(3) 来自越南变质基底的 U-Pb 锆石年龄结果揭示出大部分陆壳被(258±6) Ma 到(243±5) Ma 间短期的韧性变形和高温变质作用所影响。热构造作用由滇缅泰地块向华南—印支拼合作用所引起[12]。(4) 晚二叠世—三叠纪同碰撞或碰撞后的花岗岩出露在昌宁—孟连缝合带东侧的临沧块体内, U-Pb 锆石年龄为 254~ 213 Ma。这些花岗岩的侵入是由于保山地块和华南地块的碰撞引起的[13]; (5) 晚二叠世—晚三叠世, 华南地块的沉积模式快速发生明显变化, 浅海相沉积变为陆相沉积。这一变化解释为由华北和华南地块的碰撞引起的[14-15]。现今解释是, 这一快速变化是由华南地块快速向北漂移引起的, 进而归因于基墨里大陆和华南地块的碰撞作用。后一种解释应更合理。

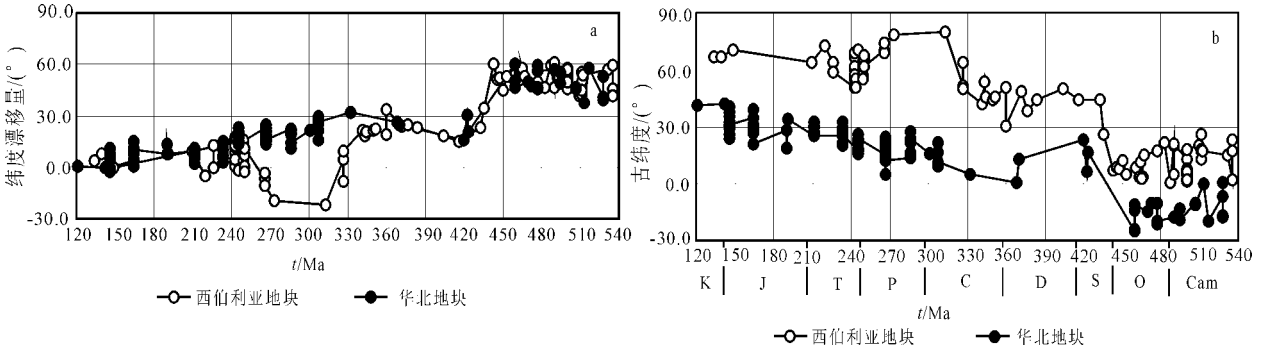

图 2　华北和西伯利亚地块纬度运移量(a)和古纬度(b)演化曲线

Fig. 2　Curves for latitudinal displacements (a) and for paleolatitude evolution (b)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

索伦—林西缝合带被认为是华北和西伯利亚地块间古亚洲洋最后闭合的界线。根据古地磁数据分析,得到两个主要结论:(1)早二叠世以后西伯利亚地块开始快速向南漂移;(2)二叠纪末期(~250 Ma)西伯利亚地块和华北地块发生碰撞,导致索伦—林西缝合带的形成。二叠纪末期(~250 Ma)碰撞也获得以下证据的支持:

(1)苏尼特左旗白音宝力道地区,发育岛弧闪长岩带。该带呈近东西向展布,由角闪闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩组成。地球化学指示这些闪长岩具有岛弧深成岩浆作用的亲缘性,为岛弧花岗岩,应与洋壳向北俯冲有关。与该带相伴出现的是其北面二连至东乌珠穆沁旗一带同时期的火山-沉积岩系,二者共同组成早古生代的弧-盆体系[16]。岛弧闪长岩带南侧巴颜哈拉图地区发育碰撞型花岗岩,主要由花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩组成。与岛弧闪长岩带相比,同碰撞花岗岩带分布更广泛,在苏尼特左旗南、北和锡林浩特一带均可见及,花岗岩地球化学构造环境判别为同碰撞花岗岩,与岛弧闪长岩有完全不同的构造环境。意味着该带可能与较晚的碰撞作用而不是与俯冲作用有关[16]。白音宝力道地区岛弧花岗岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄为(309±8) Ma,而巴颜哈拉图碰撞型花岗岩Rb-Sr全岩等时线年龄为(228±21) Ma,U-Pb年龄约为250 Ma[17-18],与同一岩体上得到的锆石蒸发法年龄218~257 Ma基本一致。巴颜哈拉图花岗岩岩体在索伦缝合带两侧均有出露,并且没有发现发生变质的证据。白音宝力道岛弧闪长岩带和巴颜哈拉图碰撞花岗岩分别是洋壳俯冲和随后大陆碰撞的结果,如果索伦缝合带是最后拼合的界线,则最后拼合年龄约在228 Ma和309 Ma之间[17-18]。

(2)吉林省中部大榆树岩体位于索伦—林西缝合带内,属于高钾碱性I型花岗岩。地球化学指示岩浆来源于加厚地壳底部基性玄武岩的部分熔融,具有同碰撞的地球化学特征[19]。锆石U-Pb同位素年龄为(248±4) Ma,表明大榆树岩体形成于二叠纪末期。该岩体提供了华北和西伯利亚地块二叠纪末碰撞,或索伦—林西缝合带二叠纪末形成的直接证据[19]。

(3)从早石炭世至晚二叠世以前,西拉木伦河—长春—延吉一线南北具有各自不同的植物地理区系,安加拉植物地理区系和华夏植物地理区系[20-23]。在寒武纪至早石炭世,西伯利亚和华北生物区系的分界为贺根山缝合带,在早石炭世至早二叠世,生物分界线才移到西拉木伦河—长春—延吉一线[24-25]。西拉木伦河断裂向西经那日吐、温都尔庙北、苏计南,向东经通辽、双辽、怀德至延吉,东西长达2 000 km以上。这条断裂带南北分属不同的植物区系,以北广泛发育晚石炭—早二叠世海相碎屑岩和灰岩以及晚二叠世陆相细碎屑岩,含丰富的冷水型动物化石;以南主要发育晚石炭—早二叠世陆相细碎屑岩夹海相碎屑岩及泥灰岩,以及晚二叠世火山碎屑岩,含有暖水型动物化石[20]。西拉木伦河断裂两侧生物和沉积建造明显不同,为重要的分界线[20-21, 23, 26]。直到晚二叠世中期大兴安岭南部仍有残余海盆存在,造成晚二叠世南北植物化石仍保持区系特征[27]。作为不同植物区系的分界,索伦—林西缝合带应是地块缝合的最终位置。

(4)在索伦山—西拉木伦河—长春—延吉缝合带周围,几乎遍布全区的海相沉积在晚二叠世和早三叠世变为陆相沉积。同时,伴随安加拉植物群向华北北部扩展,造成这一时期华夏和安加拉植物群的混生[22, 28-29]。正如石光荣[29]指出的那样,在晚二叠世晚期时,华北地块与西伯利亚地块可能正处于碰撞上升阶段,海水已全部从该地区退出,由于两地块拼合,其间的洋闭合,使得安加拉植物群与华夏植物群在对接带附近相互渗透并形成混生植物群带。同时,在苏尼特左旗等地哲斯组顶部的陆相磨拉石沉积以及一些地区晚二叠世和三叠纪地层的缺失或为陆相沉积,也说明晚二叠世发生过隆升而海水退出[30]。

(5)延边地区位于中国中亚造山带(CAOB)东部,有广泛的花岗岩侵入,新的锆石U-Pb年龄数据表明这些花岗岩于晚古生代到晚中生代期间就位(285~116 Ma)[31],排除了以前早古生代加里东期侵入的认识。基于年龄数据,花岗岩被分为4期:早二叠世(285±9) Ma,早三叠世(249~245 Ma),侏罗纪(192~168 Ma)和白垩纪(119~116 Ma)。早二叠世的英云闪长岩(tonalite)可能与古亚洲洋板块向华北地块之下俯冲有关,三叠纪同碰撞二长花岗岩(monzogranites)反映了碰撞作用发生的时代以及古亚洲洋的最终闭合[31]。

3 讨论与结论

Retallack等[32]在澳大利亚和南极洲通过P/T

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地层边界角砾岩的化学和矿物学特点, 调查了地外星体撞击可能的作用、寻找撞击石英、分析了 P/T 边界铱异常。在 3 个地点由同位素和古植物确定的边界处, 发现薄层的粘土岩角砾, 证实为再沉积的土, 而不是冲击岩屑。

在华南许多剖面中, 酸性凝灰岩(或称"粘土层")出现在瓜达卢普阶/乐平阶(Guadalupian/Lopingian)边界(或中—晚二叠世边界)和 P/T 边界, 建议二叠纪末的生物集群灭绝事件由两个主要事件构成[33]。除了大的生物集群灭绝事件外, 还有许多小的灭绝事件。撞击事件是突发的不是渐变的, 因此撞击假说不能解释所有古生代生物集群灭绝事件。

火山作用大的火山岩省作为生物灭绝原因的证据是通过年龄的精确测定而得到的, 大的火山岩省年龄和生物灭绝年龄可以对比[34]。大的火山岩省作为生物灭绝原因的另一个证据是作为灭绝事件标志的粘土层的出现, 因为粘土层被认为是火山灰沉积的产物。大的火山岩省年龄和生物灭绝年龄的对比, 揭示二者有很好的一致性, 例如瓜达卢普阶末灭绝/峨眉山火山岩省、二叠纪末灭绝事件/西伯利亚火山岩省、三叠纪末灭绝事件/中大西洋火山作用和托阿尔阶灭绝事件/Karoo 火山岩省[34]。和生物灭绝年龄对应最好的例子是印度德干火山岩省。Wang 等[35]认为瓜达卢普阶末灭绝事件与峨眉山玄武岩在时间上对应, 可能存在成因关系。

海平面变化研究表明大的海平面变化与 5 个大的生物灭绝事件和多数较小的灭绝事件具有一致性[36]。冰川性海面升降的驱动机制可能仅仅对应奥陶纪末和泥盆纪末生物灭绝事件。其他几次海平面变化可能与岩石圈底部超地幔柱冲击(最终喷发)引起的区域性穹隆作用(相继又破坏)有关[36]。海平面变化的真正原因还不是十分清楚, 是值得讨论和研究的。

基墨里大陆东部的保山地块和华南地块的碰撞发生在晚二叠世, 引起了三江地区古特提斯洋的闭合。早二叠世西伯利亚地块开始快速向南漂移, 并于二叠纪末期(~ 250 Ma)和华北地块发生碰撞。印度地块和欧亚大陆碰撞发生在白垩纪末, 引起了新特提斯洋的闭合。地块的运动甚至碰撞, 完全会引发海平面变化、火山作用、生物栖息环境的改变, 海陆格局的重新分配也完全会引起气候环境的异常变化。

德干火山岩省在印度快速向北漂移和欧亚碰撞期间喷发[37]。西伯利亚火山岩省和峨眉山火山岩省也分别是在西伯利亚与华北地块碰撞、基墨里大陆与华南地块碰撞期间喷发。火山作用不一定是大的集群灭绝事件的主因, 但至少可能对已经脆弱的生态环境雪上加霜。

峨眉山和西伯利亚两个大火成岩省的形成时代和大洋的闭合时代吻合, 而大火成岩省在时间上又与全球生物灭绝事件吻合, 进而推断二叠纪末的生物灭绝事件可能与古亚洲洋和古特提斯洋的闭合密切相关。如果海平面变化、火山喷发、气候变化、栖息环境的变化是生物灭绝的直接原因, 那么地块的碰撞(或洋盆闭合)是这些直接原因的引发者, 可以看作生物集群灭绝的首因。

参考文献(**References**):

[1] Bowring Samuel A, Erwin Douglas H, Isozaki Yukio. The tempo of mass extinction and recovery: the end-Permian example[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1999, 96(16): 8827-8828.

[2] 李朋武, 高锐, 崔军文, 等. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析[J]. 地球学报, 2005, 26(5): 387-404.
LI Peng-wu, GAO Rui, CUI Jun-wen, et al. Paleomagnetic results from the Three Rivers Region, SW China: implications for the collisional and accretionary history[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(5): 387-404.

[3] Li Peng-wu, Gao Rui, Cui Jun-wen, et al. Paleomagnetic analysis of eastern Tibet: implications for the collisional and amalgamation history of the Three Rivers Region, SW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 24(3): 291-310.

[4] 李朋武, 高锐, 管烨, 等. 内蒙古中部索伦—林西缝合带封闭时代的古地磁分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(5): 744-758.
LI Peng-wu, GAO Rui, GUAN Ye, et al. Palaeomagnetic constraints on the final closure time of Solonker-Linxi suture[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(5), 744-758.

[5] 张世红, 朱鸿, 孟小红. 扬子地块泥盆纪—石炭纪古地磁新结果及其古地理意义[J]. 地质学报, 2001, 75(3): 303-313.
ZHANG Shi-hong, ZHU Hong, MENG Xiao-hong. New paleomagnetic results from the Dovonian-Carboniferous successions in the Southern Yangtze block and

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

their paleogeographic implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(3): 303-313.

[6] Metcalfe I. Palaeozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region multidisciplinary constraints and implications for biogeography[C]// Hall R, Blundell D. Biogeography and Geological Evolution of SE Asia, Backhuys Publishers. Amsterdam: The Netherlands, 1998: 25-41.

[7] Metcalfe I. The Tethys: How many? How old? How deep? How wide? [C]// Ratanasthein B, Rieb S L. Proceedings of the International Symposium on Shallow Tethys (ST) 5, Chiang Mai, Thailand, February, 1999. Chiang Mai: Faculty of Science, Chiang Mai University, 1999: 1-15.

[8] Wang X, Shi G R, Sugiyama T. Permian of West Yunnan, Southwest China: a biostratigraphic synthesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 647-656.

[9] Feng Q L. Stratigraphy of volcanic rocks in the Changning-Menglian belt in southwestern Yunnan, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 657-664.

[10] Rob Van Der Voo. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus oceans[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1993: 1-411.

[11] Shen S, Shi G R, Fang Z. Permian brachiopods from the Baoshan and Simao blocks in western Yunnan, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20(6): 665-682.

[12] Carter A, Roques D, Bristow C, et al. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism (Indosinian Orogeny) in Vietnam[J]. Geology, 2001, 29: 211-214.

[13] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-231.
ZHONG Da-lai. Paleotethysides in Western Yunnan and Sichuan[M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-231.

[14] Yin An, Nie S Y. An indentation model for North and South China and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, Eastern Asia [J]. Tectonics, 1993, 12: 801-813.

[15] Yin An, Nie S Y. A phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions[C]// Yin A, Harrison M. The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 442-485.

[16] 徐备, 陈斌. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中古生代造山带的结构及演化[J]. 中国科学: D辑, 1997, 27(3): 227-232.
XU Bei, CHEN Bin. Structure and evolution of the Mid-Paleozoic orogenic belt between Siberian plate and North China plate, northern Inner Mongolia[J]. Science in China: Ser. D, 1997, 27(3): 227-232.

[17] Chen Bin, Jahn Bor-ming, Wilde S A, et al. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 2000, 328: 157-182.

[18] Chen Bin, Zhao G C, Wilde S A. Subduction- and collision-related granitoids from southern Sonidzouqi, Inner Mongolia: isotopic ages and tectonic implications[J]. Geological Review, 2001, 47(4): 361-367.

[19] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(2): 174-181.
SUN De-you, WU Fu-yuan, ZHANG Yan-bin, et al. The final closing time of Xar Moron River-Changchun-Yanji plate suture zone, evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2004, 34(2): 174-181.

[20] 黄本宏. 天山—兴安褶皱区东部古生代末植物地理区系及其地质意义[C]// 中国北方板块构造文集: No. 1. 北京: 地质出版社, 1983: 138-155.
HUANG Ben-hong. On Late Paleozoic palaeophytogeographic regions of eastern Tianshan-Hingan foldbelt and its geological significance[C]// Contributions for the project of plate tectonics in northern China: No. 1. Beijing: Geological Publishing House, 1983: 138-155.

[21] 黄本宏, 丁秋红. 中国北方安加拉植物群[J]. 地球学报, 1998, 19(1): 97-104.
HUANG Ben-hong, DING Qiu-hong. The Angara flora from Northern China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1998, 19(1): 97-104.

[22] 彭向东, 张梅生, 张松梅, 等. 吉黑造山带二叠纪生物古地理区划及特征[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(4): 361-365.
PENG Xiang-dong, ZHANG Mei-sheng, ZHANG Song-mei, et al. The division and its characteristic of Permian paleobiogeography in Jilin and Heilongjiang orogenic belt[J]. Journal of Changchun University of

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Science and Technology, 1998, 28(4): 361-365.

[23] 张梅生, 彭向东, 孙晓猛. 中国东北区古生代构造古地理格局[J]. 辽宁地质, 1998, 18(2): 91-96.
ZHANG Mei-sheng, PENG Xiang-dong, SUN Xiao-meng. The Paleozoic tectonic geographical pattern of Northeast China[J]. Liaoning Geology, 1998, 18(2): 91-96.

[24] 王五力, 郑少林, 张立君, 等. 中国东北环太平洋带构造地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1-267.
WANG Wu-li, ZHENG Shao-lin, ZHANG Li-jun, et al. Tectonostratigraphy in the tectonic zone around the Pacific Ocean, Northeast, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1-267.

[25] 郭胜哲. 中朝板块与西伯利亚板块拼合时限的确定及其生物地层学依据[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1986(14): 127-136.
GUO Sheng-zhe. On determination of convergence time between Siberian plate and Sino-Korean plate and its biostratigraphic evidence[J]. Bulletin of the Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1986(14): 127-136.

[26] 王道永, 王成善, 杜思清. 内蒙古东北部及周边地区前中生代构造发展演化史[J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(4): 529-536.
WANG Dao-yong, WANG Cheng-shan, DU Si-qing. The tectonic evolution of the northeast of Neimongol and its adjacency in pre-Mesozoic era[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25(4): 529-536.

[27] 和政军, 刘淑文, 任纪舜, 等. 内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世沉积演化及构造背景[J]. 中国区域地质, 1997, 16(4): 403-409.
HE Zheng-jun, LIU Shu-wen, REN Ji-shun, et al. Late Permian-Early Triassic sedimentary evolution and tectonic setting of the Linxi region, Inner Mongolia[J]. Regional Geology of China, 1997, 16(4): 403-409.

[28] 张泓. 安加拉古陆外围晚二叠世混生植物群特征及形成机制的讨论[J]. 地质论评, 1988, 34(4): 343-350.
ZHANG Hong. The characters of the Late Permian mixed floras around Angra Land and their formative mechanism[J]. Geological Review, 1988, 34(4): 343-350.

[29] 石光荣, Archbold N W. 西太平洋地区二叠纪海洋生物地理区系的演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(1): 1-8.
SHI Guang-rong, Archbold N W. Evolution of Western Pacific Permian marine provincialism[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(1): 1-8.

[30] 刘刚. 内蒙苏尼特左旗地区构造演化初探[J]. 断块油气田, 1997, 4(4): 24-29.
LIU Gang. Study about the tectonic evolution in Sonid Zuoqi, Inner Mongolia[J]. Block Oil and Gas Field, 1997, 4(4): 24-29.

[31] Zhang Yan-bin, Wu Fu-yuan, Simon A Wilde, et al. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of 'Early Paleozoic' granitoids at Yanbian, Jilin Province, Northeast China[J]. The Island Arc, 2004, 13: 484-505.

[32] Retallack Gregory J, Seyedolali Abbas, Krull Evelyn S, et al. Search for evidence of impact at the Permian-Triassic boundary in Antarctica and Australia[J]. Geology, 1998, 26(11): 979-982.

[33] Yukio Isozaki. End-Permian killer volcanism and double-phased mass extinction[J]. Goldschmidt Conference Abstracts, 2003: A177.

[34] Wignall P B. Large igneous provinces and mass extinctions[J]. Earth Science Reviews, 2001, 53(1/2): 1-33.

[35] Wang X D, Sugiyama T. Diversity and extinction patterns of Permian coral faunas of China[J]. Lethaia, 2000, 33: 285-294.

[36] Hallam A, Wignall P B. Mass extinctions and sea-level changes[J]. Earth Science Reviews, 1999, 48(4): 217-250.

[37] Subbarao K V. Deccan volcanic province. West volume. Mem. Geological Society of India. P. B. 1922, Gavipuram PO, Bangalore 560019, India[J]. Current Science, 2000, 79(5): 663-664.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net