

# 南沙海区及邻区构造演化动力学的若干问题

周蒂, 吴世敏, 陈汉宗

(中国科学院 边缘海地质重点实验室, 中国科学院 南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

**摘 要:** 通过南沙海区地球物理资料及围区地质地球物理资料的对比分析, 指出南沙海域及邻区中生代经历晚三叠世碰撞缝合事件及巽他陆块的形成, 晚白垩世板块运动重大变格及东亚陆缘的大规模裂谷作用, 始新世板块运动重大变革及古南海的消亡, 中新世变革事件及南海今日面貌的奠基等四个重要演化阶段。并提出“东亚陆缘超级剪切”动力学模式来概括南沙海区及邻区这新生代构造演化; 在特提斯构造域西段 (印度部分)、东段 (澳大利亚部分) 及西太平洋构造域这三大体系的竞争和联合的影响下, 东亚陆缘岩石圈交替承受“左行压扭”和“右行张扭”超级剪切应力场的作用, 导致南海等边缘海的张开或关闭, 以及周边地块的裂离、拼合。

**关键词:** 南沙; 构造; 动力学

**中图分类号:** P541    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-1552 (2005) 03-0339-07

从区域的角度看, 南沙海区的中新生代构造演化与两个海密切相关——古南海和南海; 从全球的角度看, 南沙海区的中新生代构造演化与两大构造域有关——特提斯构造域和西太平洋构造域。在两大构造域动力过程的背景上研究古今两个南海的中新生代构造演化, 是我们的基本思想。以下就古南海的属性和南海的形成机制这两个问题阐述我们的看法, 并提出尚待进一步深入研究的主要科学问题。

## 1 古南海的构造属性问题

早已消失殆尽的古南海, 在纳土纳岛—加里曼丹岛北部—巴拉望岛一线的蛇绿岩套和混杂岩中留下了踪迹。根据蛇绿岩套中的深海放射虫, 推测古南海的年龄为晚侏罗纪到早白垩纪; 根据混杂岩基质的年龄, 推测古南海从晚白垩纪开始向南俯冲消减 (Hutchison, 1989)。到晚始新世时, 南沙微陆块的西段与加里曼丹陆块碰撞, 古南海从西段开始封

闭, 而向东封闭时代逐渐变新, 到早中新世时古南海完全消亡 (吴世敏等, 2004), 与南海扩张结束的时间大致相同。

我们在南沙海区的调查研究所获得的一个重要认识是, 在南沙地块除郑和隆起以外的大范围内发育了中生代海相地层, 可与礼乐盆地和西北巴拉望盆地的晚三叠纪至早白垩纪的海相地层对比 (Kudrass *et al.*, 1986), 也可与南海东北部已钻遇的晚侏罗纪至早白垩纪的海相地层对比 (夏戡原和黄慈流, 2000)。围绕郑和隆起的西南、南和东南边缘的海区存在一条呈 U 形展布的南薇—安渡—礼乐中生代沉降带, 其中生界及与其假整合或低角度不整合的下第三系海相沉积层分布绵延数百公里, 厚度可达 3 ~ 4 km, 同沉积期构造以拗陷为主, 期后受褶皱、掀斜和削蚀, 与上覆地层呈大角度不整合。

对于古南海的属性, 许多人认为是古太平洋的一个海湾 (Taylor and Hayes, 1983; Holloway, 1982; Hall, 1998), 夏戡原和黄慈流 (2000) 认为是中特提

收稿日期: 2004-07-29; 改回日期: 2005-03-18

基金项目: “十五” 科研院所社会公益研究专项项目 (编号 2001DIA50041)、国家重点基础发展规划课题 (G2000046702) 及中国科学院重要方向项目 (KZCX2-SW-117) 资助。

作者简介: 周蒂 (1944 - ), 女, 博士, 责任研究员, 博士生导师、本刊编委。从事海洋地质研究。Email: zhoudiscs@scsio.ac.cn

斯海的东延。但根据蛇绿岩套的深海放射虫所推测古南海的年龄为晚侏罗纪到早白垩纪;比中特提斯洋短得多,比比古太平洋更是短得多。古南海以北在晚白垩世到始新世发育巨大的拉关(Rajang)群增生楔,说明俯冲的古南海洋壳上曾发育相当厚的沉积层,这些都与开阔大洋的俯冲增生带有很大的不同。因此我们认为古南海更像是一个发育在中特提斯洋和古太平洋过渡部位上的边缘海盆。在南沙地块发育的中生代海相地层显然与古南海有关,从其分布的广度、沉积的厚度和拗陷的形态来看,可能代表古南海北部陆架裂谷期后热沉降阶段的沉积。若能证实,则古南海应是与(新)南海类似的陆缘扩张成因,而不是海湾或残留海成因。

上述认识是否正确,尚需进一步研究。如果古南海是陆缘扩张成因,它与特提斯和西太平洋域的动力过程是什么关系?有什么大地构造和油气资源意义?这些是我们今后研究南沙海区时需要着重探讨的重要问题。

## 2 南沙海区及邻区构造演化的四个重要阶段

南海位于欧亚大陆东南边缘,邻近特提斯构造域和滨太平洋构造域的交会处。沿特提斯构造域发生的冈瓦那大陆边缘的渐次裂解、漂移和向欧亚大陆的碰撞拼贴,以及沿滨太平洋构造域发生的俯冲会聚都控制和影响了南海的形成演化;这些都在南沙海区的构造发育中有所表现。以下在综合研究南沙海区及大区域地质、地球物理、地球化学资料的基础上,分析南沙海区及其邻区中生代板块作用的重大变革事件,并进一步探讨南海形成演化的动力学背景。

### 2.1 晚三叠世碰撞缝合事件及巽他陆块的形成

对晚三叠世的碰撞拼合事件及印支运动的重要性早已达到共识,它使扬子地块沿红河断裂带与印支地块缝合,印支地块及冈底斯地块沿雅鲁藏布江及昌宁—双江断裂带与中缅马地块缝合,在欧亚大陆东南边缘形成了一个稳定的巽他陆块。根据Hutchison(1989),巽他陆块包括实皆断裂以东、红河断裂以南、越东断裂以西、苏门答腊断裂以北的地区,而加里曼丹岛的古晋带、沙巴和苏拉威西西部则是其陆缘浅海。但是,姚伯初等(1994)认为巽他陆块的北界沿红河断裂进入南海后,通过西沙海槽通向台湾;按照这一看法,巽他陆块还应包括西沙一中

沙地块,以及当时与之相连的南沙地块。

巽他陆块的东界就是当时欧亚大陆的东南边界,也就是当时欧亚大陆与古太平洋(古太平洋)的分界,因此其位置的确定有重要意义。一般认为当时东亚陆缘走向NNE,有一条绵延4000 km平行于陆缘的燕山期火山岩带(Hilde *et al.*, 1977)。在我国的闽粤地区、珠江口盆地及越南南部的侏罗纪至白垩纪中酸性火山岩已确认属于这条火山岩带,但在两者之间火山岩带如何延伸则还不清楚,寻找答案的一个关键就是南沙海区。

我们在南沙海区资料分析时注意了中生代火山岩的分布问题。从地震剖面和磁异常来看,前新生代基底中可能有一些中酸性岩,如地块西部的日积礁、南薇滩、万安滩以东等处;前人拖网在地块东部的仁爱礁、仙娥礁一带获得流纹岩强蚀变的流纹岩、闪长岩及橄榄辉长岩,同时采得中上三叠统至下侏罗统三角洲相粉砂岩。但是,南沙海区中生界海相沉积分布很广(夏戡原和黄慈流,2000),说明当时除郑和隆起外大都属于古南海的范围。如果古南海是陆缘裂解形成的边缘海,则南沙海区当时位于巽他陆块的陆缘,即巽他陆块的边界在现今南沙地块的东缘。北巴拉望卡拉棉群岛所见的中生代俯冲增生杂岩是古太平洋向巽他陆块俯冲的结果(图1a)。

### 2.2 晚白垩世板块运动重大变革及东亚陆缘的大规模裂谷作用

晚白垩世是全球板块运动发生重大变革的时期。在特提斯构造域,冈瓦那大陆北缘发生大规模裂解,印度在120 Ma裂离后,自90 Ma起快速向北飞奔(Hutchison, 1991);澳大利亚也于90 Ma离开南极洲,以较慢的速度向北运动。在西太平洋构造域,东亚陆缘构造应力场发生变革,自三叠纪以来一直占优势的挤压被引张代替,开始了大规模NE走向的裂谷作用。

我们认为,晚白垩世东亚陆缘的大规模张裂的开始是由于西太平洋俯冲带向大洋方向发生了突然后撤,其依据是:(1)张裂带延伸规模之大,只有西太平洋俯冲带可与之匹配,走向也一致;(2)与俯冲相伴的火山岩带发生向海方向的迁移,如我国东部、广东沿海和珠江口盆地、越南南部等地所见;(3)晚白垩世裂谷充填不成熟粗粒红色碎屑沉积,与以后的裂谷不同(Ru *et al.*, 1994);(4)南沙地块自三叠纪到早白垩世都处于海相环境,在晚白垩世初突然上升成陆,形成一个重要的区域不整合,这也可以作为俯冲带发生的跃迁的佐证。

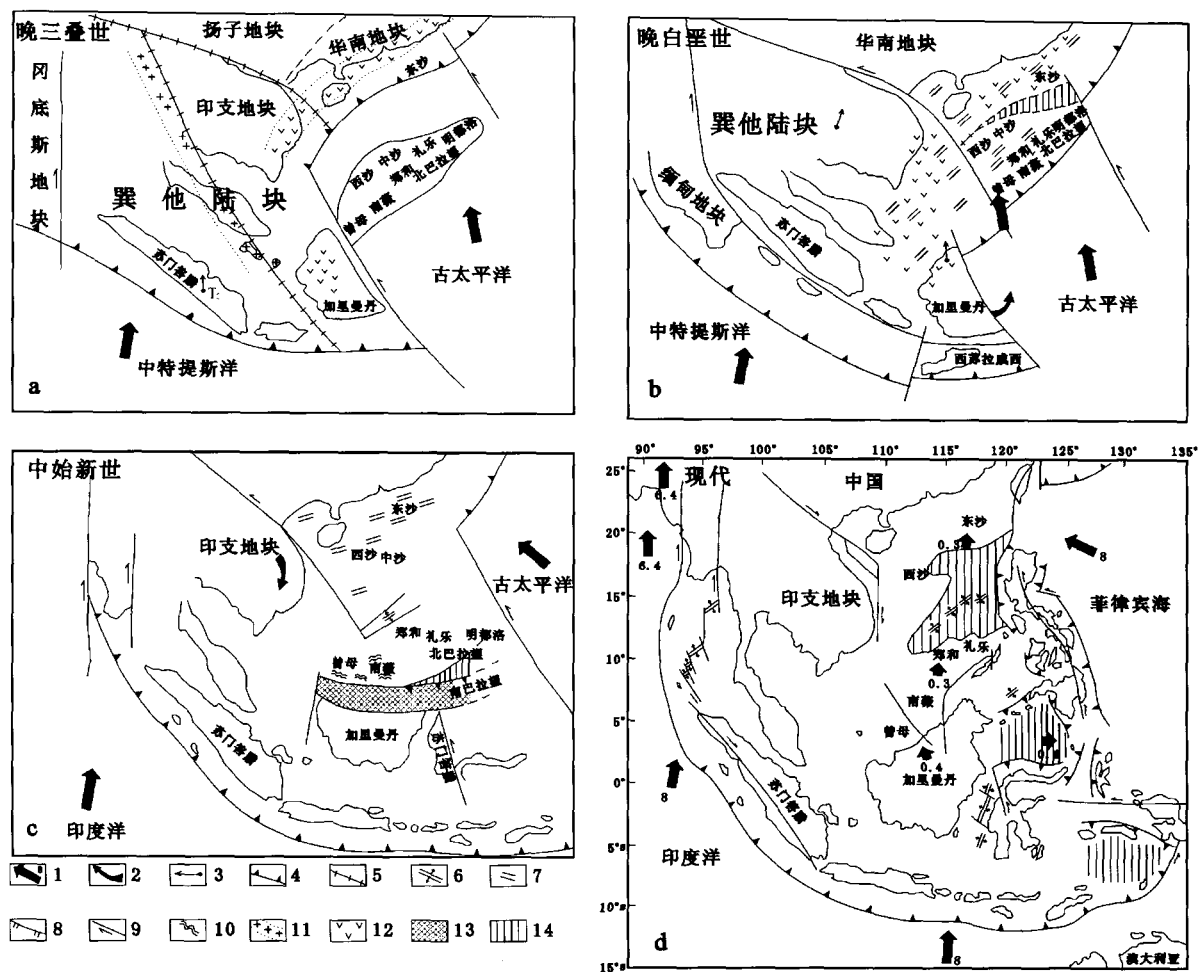


图1 南沙及邻区中生代以来主要构造演化阶段示意图

1 - 板块绝对运动矢量 (cm/a); 2 - 地块旋转方向; 3 - 古地磁北极方向; 4 - 俯冲带; 5 - 碰撞带; 6 - 扩张轴; 7 - 张裂带; 8 - 推覆带; 9 - 走滑断裂; 10 - 挤压带; 11 - 含锡花岗岩; 12 - 中酸性岩浆岩; 13 - 增生楔; 14 - 残留古洋壳

Fig. 1 Sketch showing the tectonic evolution history about Nansha and its adjacent regions

晚白垩世西太平洋俯冲带的突然后撤与特提斯构造域的印度向北飞奔在时间上的吻合不是偶然的。特提斯构造域西段的印度亚板块向北运动早于东段的澳大利亚亚板块,速度也快,因此洋中微板块向欧亚大陆的碰撞发生在西部(西藏和缅甸),这就对欧亚大陆产生了向东的挤压分量,推动大陆及其下的地幔向东蠕动,促成了西太平洋俯冲带的后撤(Tamaki, 1995)(图1b)。

此阶段的张裂是南海张开的前奏,但为什么在南海而不是其他地方形成洋盆?这应与古南海开始向南俯冲有关,而后者又与特提斯洋的西段加速向北俯冲,导致加里曼丹地块逆时针旋转有关。

## 2.3 始新世板块运动重大变革及古南海的消亡

始新世时在特提斯构造域和西太平洋构造域几乎同时发生了运动模式的重大变革,在前者是印度与西藏于45 Ma左右的“硬碰撞”(Dewey et al., 1989)在后者是太平洋板块扩张方向于43~41 Ma突然由NNW变为NW(Clague et al., 1975)。Rona and Richardson (1978)指出始新世变革事件波及全球,最主要特点是板块相对运动的南北分量剧减而东西分量剧增。

对于南沙群岛及其邻区,这次变革的最重要影响是南沙地块与加里曼丹的碰撞和古南海西段的消亡。我们的地震剖面表明,在南沙海区的区域性大角度不整合面之下广泛分布的中、下构造层,在西部

(曾母—南薇)被强烈挤压,形成 NE 走向的褶皱,之后又被块断掀斜,变形有向西南方向增强的趋势;而在东部礼乐盆地,这套地层只被块断掀斜,褶皱局部且轻微(Zhou *et al.*, 1995)。挤压应力从西南向东北减弱的变化特征表明,应力来源于南沙地块与加里曼丹之间由西向东发展的碰撞。碰撞时间应早于张应力占主导地位而导致块断掀斜的时间,即早于晚渐新世。在沙捞越至沙巴,沿卢帕尔线分布的含蛇绿岩块混杂岩的基质时代为始新世(Williams *et al.*, 1988),拉羌群增生楔西段时代为古新世到始新世,加里曼丹北部一系列东西走向的山间盆地最底部的沉积都是中—上始新统含火山岩的磨拉石建造(Hutchison, 1989),说明沿卢帕尔线的碰撞最可能的时间是晚始新世(图 1c)。

## 2.4 中新世变革事件及南海今日面貌的奠基

早中新世末,澳大利亚陆块经过长途跋涉终于接近了欧亚大陆(图 1d),其北缘于 25 Ma 左右与巽他弧沟系碰撞(Hall *et al.*, 1995)。这个碰撞是弧—陆碰撞,产生的能量远不能与印度—西藏之间的陆—陆碰撞相比,但由于澳洲之巨大,其碰撞效应仍是可观的;最明显的结果是导致了班达弧的 180°的弯曲,形成了迄今地球上最壮观的弧形构造,将一部分早白垩世洋壳封闭成班达海(Lee and McCabe, 1986)。与此同时,菲律宾岛弧在沿一条 NW 走向的断裂左行滑动约 2000 km,大约 20 Ma 时(Rangin *et al.*, 1990)或晚些(Hall, 1998)到达南海东部,使南海和苏拉威西海封闭。这两种作用都使南海及其周缘的区域应力场由张性重新变为压性,并持续至今。

这种应力场的转变在南沙海区及邻区得到充分

的表现。在沙巴陆上,中中新世初发生了大规模北西向逆冲,使下第三系拉羌群浊积岩向北推进 300 km,推覆到南沙地块的渐新世—早中新世碳酸盐平台之上,形成了南沙海槽前陆盆地(Hinz and Schlüter, 1985; Hinz *et al.*, 1989)。第二次逆冲开始于晚中新世,持续到现在,使第一期推覆体增厚,克罗克山脉隆起并形成反 S 形弯曲(Benard *et al.*, 1990)。

过去多数认为在中中新世早期南海中央海盆扩张的停止与南沙地块与沙巴和巴拉望的碰撞有关。但这种机制不好解释克罗克山脉拉羌群浊积岩的反 S 形弯曲,也不足以解释南沙海槽前陆盆地的形成,更不能解释地震剖面揭示的南沙地块碳酸盐平台向沙巴的下插。苏达权等(1996)的地球物理反演表明沙巴海外地壳厚度仅 14 ~ 17 km,指示在南沙海槽之沉积层下可能伏有洋壳。这说明南沙地块与沙巴—巴拉望的会聚有两个阶段:古南海向南俯冲阶段,以及其后的沙巴—巴拉望向北推覆阶段。南沙地块与沙巴—巴拉望之间可能并未发生碰撞,沙巴和巴拉望的地壳主要由中生代洋壳和上覆新生代增生楔组成,不是典型的陆壳。

南沙地块与加里曼丹—巴拉望之

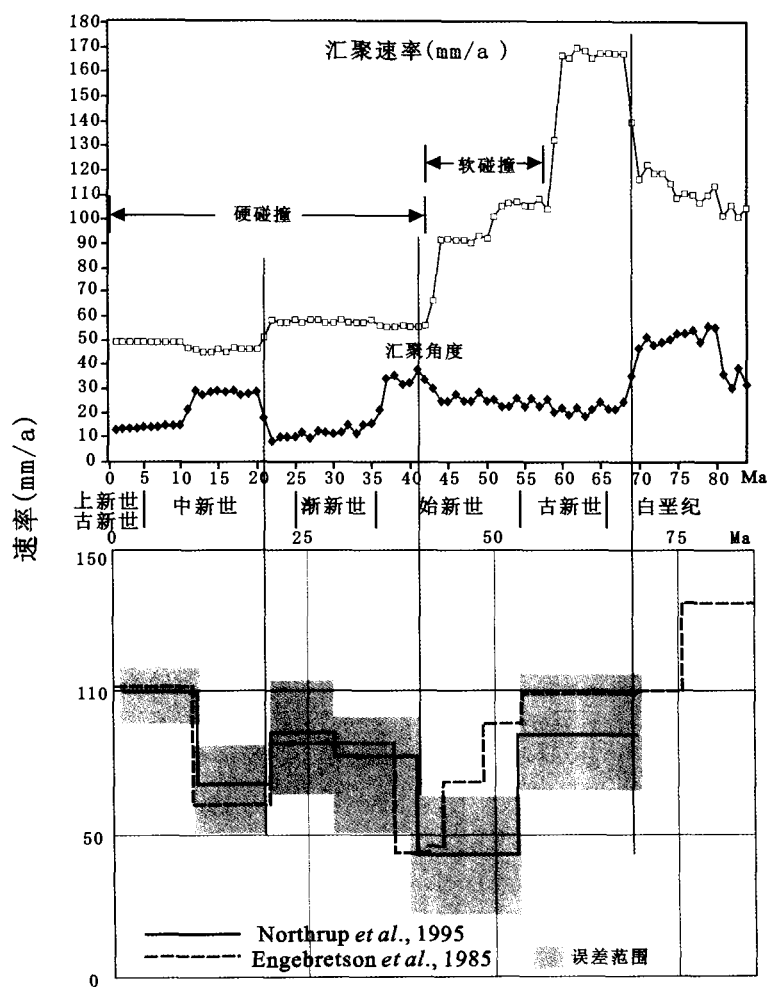


图 2 晚白垩世以来欧亚、印度、太平洋板块汇聚速率曲线图

Fig. 2 Curves showing the rate of convergence between the Eurasian, India and Pacific plates since Late Cretaceous

间会聚特征的这种东西差异很好地解释了前述南沙地块东西段在变形特征上的差异。

### 3 南沙地块及邻区中新生代构造演化动力学分析

特提斯构造域和西太平洋构造域的动力过程的重要特征之一是板块会聚速率和方向的时空变化。这种变化通过地幔流的传递,导致了东亚陆缘的超级剪切,从而控制了南沙地块及邻区的中新生代构造演化。

#### 3.1 特提斯构造域和西太平洋构造域会聚的时空变化

根据印度洋的磁条带可估算印度洋亚板块与欧亚板块之间的会聚历史;图2上方是 Lee and Lawver (1995)总结的会聚速率和方向曲线。菲律宾海板块四周全被岛弧环绕,它与欧亚板块之间的会聚估计要复杂得多,只有通过第三个板块作参照,不同学者的估算结果非常相近,见图2之下方。Northrup *et al.* (1995)计算了菲律宾海板块与欧亚板块之间在不同时间段会聚方向的变化。这些资料为我们以下的分析提供了重要依据。

#### 3.2 中生代以来南沙地块及邻区应力场的时空变化

将前一节对南沙海区几邻区板块作用的重大变革事件与图2及汇聚方向变化对比,可发现非常好的一致性,说明欧亚、太平洋和印度洋—澳大利亚这三大板块的相互作用的强度和方式的变化的确对该去的构造演化起控制作用。李思田等(1990)曾指出,中国东部及邻区中新生代沉积盆地的应力状态在发生NE向左行走滑时为压性,在发生NE向右行走滑时为张性,他将着两种状态分别称为“左行压扭体制”和“右行张扭体制”。整个东亚陆缘看来也是如此,其区域应力场的变化与重大变革事件相对应,大体经历了四个阶段:

##### 3.2.1 第一阶段为晚三叠世至早白垩世(图2右边第一个区段)

古太平洋向欧亚板块东缘NNW向左行斜交俯冲,古特提斯洋刚刚关闭,东亚陆缘处于以压扭应力为主的状态;地块间的会聚、碰撞和拼贴成为主要构造现象,巽他陆块形成;加里曼丹岛西南部施瓦纳山脉大片分布的I型中酸性岩浆活动可能古太平洋的俯冲有关,而古南海可能是由该俯冲产生的弧后盆地,海相沉积中有特提斯化石分子说明古南海可能有水道与古中特提斯洋相通。

##### 3.2.2 第二阶段为晚白垩世到早始新世(图2右边第二个区段)

由于印度从冈瓦纳大陆裂离并高速向北运动,特提斯构造域的会聚速度达到最高峰,它对欧亚板块的作用相对于古太平洋占了上风,欧亚板块岩石圈由左行压扭体制变格为右行张扭体制。由于古太平洋西缘的俯冲带在晚白垩世向洋后撤,菲律宾海与欧亚的会聚速度降到最低谷,它对东亚陆缘的挤压应力释放,大规模裂谷作用开始,并伴有亚碱性为主的中酸性岩浆活动。

##### 3.2.3 第三阶段为中始新世到早中新世(图2右边第三个区段)

区域应力场继承了第二阶段的右行张扭特点,但菲律宾海与欧亚的会聚方向更为偏西,使右行特征更为明显。运动的积累导致了相互关系的一些质的变化,引发了一些重大变形事件。如印度经过长途飞跑于中始新世到达欧亚陆缘,发生“硬碰撞”和随后的楔入,使印支、华南等陆块相继挤出,在东亚陆缘产生了大规模走滑拉张。Tapponnier *et al.* (1982, 1986)认为这种走滑拉张是南海张开的原因。又如古南海向南的俯冲至此时导致了南沙地块西段与加里曼丹的碰撞,在南沙地块引起下第三系和中生界的褶皱,在加里曼丹北部导致了山间盆地的形成。

##### 3.2.4 第四阶段为中中新世到现代(图2左边第一个区段)

此阶段一方面特提斯域的西段印度—西藏碰撞带由于青藏高原的变形隆升消耗了能量,削弱了传播式挤出对东亚大陆的影响,另一方面在其东段澳大利亚陆块向北西运动加速并最终从东南方逼近欧亚大陆。因此,东亚陆缘重新出现左行压扭体制主导的格局,导致了沙巴—巴拉望在早中新世末的大规模北西向推覆,阻止了南海的继续扩张,并形成一系列前陆盆地。在东面,菲律宾群岛在20~10 Ma期间已向北运移到南海并向西仰冲,形成了马尼拉海沟俯冲带。晚中新世时澳大利亚陆架与帝汶发生碰撞,使从东南向西北的挤压又出现一次高潮,沙巴推覆体继续增厚并向前推进,形成了今日之地貌形态,并使南海周缘个沉积盆地发生构造反转,对油气运移和聚集起了很大的作用。

综上所述,南沙海区及邻区这新生代构造演化的动力学背景可用“东亚陆缘超级剪切”模式来概括:在特提斯构造域西段(印度部分)、东段(澳大利亚部分)及西太平洋构造域这三大体系的竞争和联

合的影响下,东亚陆缘岩石圈交替承受“左行压扭”和“右行张扭”超级剪切应力场的作用,导致边缘海的张开或关闭,以及周边地块的裂离、拼合、运移和变形。

### 参考文献:

- 李思田,杨士恭,吴冲龙,程守田. 1990. 中国东部及邻区中新生代裂陷作用的大地构造背景. 见王鸿祯,杨森楠,刘本培等,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,109-126.
- 苏达权,黄慈流,夏戡原. 1996. 南沙海槽地壳性质研究. 地质科学, 31(4): 409-415.
- 吴世敏,周蒂,刘海龄. 2004. 南沙地块构造格局及其演化特征. 大地构造与成矿学, 28(1): 23-28.
- 夏戡原,黄慈流. 2000. 南海这中新生代特提斯期沉积盆地的发现与找寻中生代含油气盆地的前景. 地学前缘, 7(3): 227-238.
- 姚伯初,曾维军, Hayes D E, Spangler S. 1994. 中美合作调研南海地质专报. 武汉:中国地质大学出版社, 141-160.
- Benard F *et al.* 1990. Evidence of multiphase deformation in the Rajang - Crocker Range (northern Borneo) from Landsat imagery interpretation: geodynamic implications. *Tectonophysics*, 183: 321-339.
- Clague D A, Dalrymple G B and Moberly R. 1975. Petrography and K - Ar ages of dredged volcanic rocks from the western Hawaiian Ridge and the southern Emperor Seamount. *Geol Soc Am Bull*, 86: 991.
- Dewey J F, Cande S and Pitman W C. 1989. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone. *Eclogae Geol Helv*, 82: 717-734.
- Hall R. 1998. The plate tectonics of Cenozoic SE Asia and the distribution of land and sea. In: Hall and Holloway (eds.). *Biogeography and geological evolution of SE Asia*. London: Backhuys Publishers, 99-124.
- Hall R, Ali J R, Anderson C D and Baker S J. 1995. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate. *Tectonophysics*, 251: 229-250.
- Hilde T W C, Uyeda S and Kroewke L. 1977. Evolution of the Western Pacific and its margin. *Tectonophysics*, 38(1-2): 145-165.
- Hinz K and Schlünter H U. 1985. Geology of the dangerous grounds, South China Sea, and the continental margin off southwest Palawan: Results of SONNE cruises SO-23 and SO-27. *Energy*, 10(3/4): 297-315.

- Hinz K, Fritsh J, Kempter E H K, Mohammad A M, Mohamed D, Vosberg H, Weber J and Benavidez J. 1989. Thrust tectonics along the northwestern continental margin of Sabah/Borneo. *Geologische Rundschau*, 78(3): 705-730.
- Holloway N H. 1982. North Palawan block, Philippines - Its relation to Asian mainland and role in evolution of South China Sea. *AAPG Bulletin*, 66(9): 1355-1383.
- Hutchison C S. 1989. Geological evolution of Southeast Asia. In: *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, 13. Oxford: Clarendon Press, 355.
- Hutchinson C S. 1991. Neogene arc - continent collision in Sabah, Northern Borneo (Malaysia) - Comment. *Tectonophysics*, 200: 325-332.
- Isozaki Y, Amisicaray E A and Rillon A. 1988. Permian, Triassic and Jurassic bedded radiolarian cherts in North Palawan Block, Philippines: Evidence of Late Mesozoic subduction - accretion. In: Report No. 3 of the IGCP project 224: Pre - Jurassic evolution of eastern Asia. Osaka, 99-115.
- Kudrass H R, Wiedicke M, Cepek P, Kreuzer H and Muller P. 1986. Mesozoic and Cenozoic rocks dredged from the South China Sea (Reed Bank area) and Sulu Sea and their significance for plate tectonic reconstructions. *Marine and Petroleum Geology*, 13: 19-30.
- Lee Chao-shing and McCabe R. 1986. The Banda - Celebes - Sulu basin: a trapped piece of Cretaceous - Eocene oceanic crust. *Nature*, 322: 51-54.
- Lee Tung-Yi and Lawver L A. 1995. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 251: 85-138.
- Li Sitian, Yang Shigong, Wu Chonglong and Cheng Shoutian. 1990. Tectonic background of the Mesozoic and Cenozoic rifting in east China and adjacent areas. In: Wang Hongzhen, Yang Sennan, Liu Benpei (eds). *Tectonopaleogeography and palaeobiogeography of China and adjacent regions*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 109-126.
- Northrup C J, Royden L H and Burchfiel B C. 1995. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, 23(8): 719-722.
- Rangin G, Bellon H, Benard F, Letouzey J, Muller C and Sannudin T. 1990. Neogene arc - continent collision in Sabah, Northern Borneo (Malaysia). *Tectonophysics*, 183: 305-319.
- Rona P A and Richardson E S. 1978. Early Cenozoic global plate reorganization. *Earth and Planet Sci Letters*, 40: 1-11.
- Ru Ke, Zhou Di and Chen Hanzong. 1994. Basin evolution and hydrocarbon potential of the northern South China Sea. In:

- Zhou Di, Liang Yuan-bo and Zeng Cheng-kui (eds.). Oceanology of China Seas, Volume 2. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 361 – 372.
- Su Daquan, Huang Ciliu and Xia Kanyuan. 1996. Study on the crust setting of Nansha trough. *Geological Sciences*, 31 (4): 409 – 415 (in Chinese with English abstract).
- Tamaki K. 1995. Opening tectonics of the Japan Sea. In: Taylor B (ed.). Backarc basins: Tectonics and magmatism. New York: Plenum Press: 407 – 420.
- Tapponnier P, Peltzer G, A Y Le Dain, Armijo R and Cobbold P. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611 – 616.
- Tapponnier P, Peltzer G and Armijo R. 1986. On the mechanism of the collision between India and Asia. In: Coward M P and Ries A C (eds.). Collision tectonics. *Geol Soc Sp Publ*, 19: 115 – 157.
- Taylor B and Hayes D E. 1983. Origin and history of the South China Sea. In: Hayes D E (ed.). The tectonic and geological evolution of Southeast Asia Seas and Islands: Part 2. *Geophys Mongr*, 27: 23 – 56. Am Geophys Union, Washington.
- Williams P R, Johnston C R, Almond R A and Simamora W H. 1988. Late Cretaceous to Early Tertiary structural elements of West Kalimantan. *Tectonophysics*, 148: 2790 – 297.
- Wu Shimin, Zhou Di and Liu Hailing. 2004. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha block, South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 23 – 28.
- Xia Kanyuan and Huang Ciliu. 2000. The discovery of meso – Tethys sedimentary basins in the South China Sea and their oil and gas perspectives. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 227 – 238.
- Yao Bochu, Zeng Weijun, Hayes D E and Spangler S. 1994. The geological memoir of South China Sea surveyed jointly by China and USA. Wuhan: China University of Geosciences Press, 141 – 160.
- Zhou D, Ru K and Chen H. 1995. Kinematics of Cenozoic extensions in South China Sea continental margins and its implication on tectonic evolution of the region. *Tectonophysics*, 251(1 – 4): 161 – 177.

## SOME REMARKS ON THE TECTONIC EVOLUTION OF NANSHA AND ITS ADJACENT REGIONS IN SOUTHERN SOUTH CHINA SEA

ZHOU Di, WU Shimin and CHEN Hanzong

(CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology and South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, GD 510301, China)

**Abstract:** After analyzing the geological and geophysical data about Nansha and its adjacent regions, the authors point out that there exist four key evolutionary stages, i. e., the unification of Sundaland in Late Triassic, the rifting of the eastern margin of Asia in Late Cretaceous, the subduction of proto – South China Sea during Eocene, and the opening of South China Sea in Late Oligocene. A megashear model was proposed to interpret the Cenozoic evolutionary dynamics of Nansha and its adjacent areas. The interaction between the two large convergent zones, the Tethys and the Circum – Pacific, resulted in the convergent forces competing and combining with one another. This shearing was characterized by alternative sinistral transcompression and dextral transtension. The variation in stress field led to the opening and closing of the South China Sea and the splitting, moving and colliding of its adjacent blocks.

**Keywords:** Nansha; tectonics; dynamics