

大南海地区新生代板块构造活动

姚伯初 万 玲 吴能友

(广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075)

摘要:在新生代澳大利亚板块和欧亚板块之间的大洋中,存在一些地块(微板块);同时,澳大利亚板块北部边缘的一些地块先后和澳大利亚板块分离,向北运动,与一些和欧亚板块分离出来的地块先后发生碰撞缝合。在此期间,由于地块分离而发生海底扩张,产生许多小洋盆,如南海、苏禄海、苏拉威西海、安达曼海等,最后形成了东南亚地区今日的构造景观。笔者从大南海地区新生代的构造演化史之框架来研究南海地区新生代的构造演化历史,认为南海地区新生代的构造活动既与印度板块和欧亚板块的碰撞有关,也与太平洋板块向欧亚板块的俯冲活动有联系;同时,还受到澳大利亚板块向北运动之影响。南海地区在新生代发生过两次海底扩张,第一次海底扩张发生在 42~35 Ma 前,是受印度板块和欧亚板块碰撞而引起欧亚大陆之下向东南方向之地幔流的影响而发生的,其海底扩张方向为 NW-SE,产生了南海西南海盆;第二次海底扩张发生于 32~17 Ma 前。由于太平洋板块向欧亚板块俯冲,俯冲的大洋岩石圈已达 700 km 深处,阻挡了欧亚大陆的上地幔向东南方向之流动,从而转向南流动,引起南海地区南北向海底扩张,即新生代第二次海底扩张,产生了南海中央海盆。南海新生代洋盆诞生之后,由于大南海地区继续有地块碰撞和边缘海海底扩张,对南海南部地区产生挤压,从而使这里的沉积发生变形,这就引起万安运动(南海南部)。

关键词: 板块运动; 板块俯冲; 地块运动; 海底扩张; 磁异常条带

中图分类号: P546 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)02-0113-10

南海是西太平洋边缘海中最大海盆之一,面积约 300 万 km^2 ^[1-2]。从其构造发育史看,它具有独特的发育模式,它既不是如菲律宾海、日本海那样的弧后盆地,也不是像白令海和班达海那样的被岛弧圈捕的边缘海,而是如大西洋那样,通过大陆张裂与分离、海底扩张而生成的边缘海盆。

E. Ben-Auraban 等^[3]首先在南海中央海盆中对比出东西向的磁异常条带,但未鉴别出其时代。B. Taylor 等^[4]分析了中央海盆的磁异常,并首次对比出 5d~11 号东西向磁异常条带,由此计算出它是在晚渐新世到早中新世(32~17 Ma B.P.)期间通过南北向海底扩张而形成的。对南海另外两个次海盆(西北海盆和西南海盆),当时由于资料不多,他们未做讨论。1983 年,他们利用中美合作调查南海海洋地质第一阶段(1979~1980 年)所采集的地质地球物理资料,进一步证实了中央海盆 5d~11 号磁异常条带的存在,并利用重力资料,推测西南海盆是和中央海盆于同一时代生成的^[5]。陈圣源^[6]利用笔者在南海西南海盆采集的地磁资料,在南海西南海盆中鉴别出 M7~M11(126~119 Ma B.P.)磁异常条带,由此何廉声^[7]提出南海发生过两次海底扩张,第一次海底扩张发生在晚白垩世早期。吕文正^[8]

在西南海盆对比出 20~27 号磁异常条带,由此他提出南海第一次海底扩张发生在晚白垩世至早古新世(70~63 Ma B.P.)。姚伯初^[9]根据磁异常走向、沉积构造层组合和海山走向等资料,推测西南海盆和西北海盆是在晚始新世生成的,由此提出南海第一次海底扩张发生在晚始新世。姚伯初等^[10]利用中美联合调查南海海洋地质第二阶段所采集的综合地球物理资料,采用高通滤波方法,去掉洋壳下部地壳层磁性体对观测磁异常资料之影响,在西南海盆中鉴别出 18~13 号磁异常条带,由此认为其形成时代是晚始新世至早渐新世(42~35 Ma B.P.)。此后,姚伯初^[11]根据区域地质构造、海盆洋壳厚度及水深等资料,结合磁异常分析结果,进一步确认新生代南海第一次海底扩张是发生在晚始新世到早渐新世。

1988 年,何廉声^[12]在研究南海北部构造运动时,发现在渐新世和中新世地层之间存在一区域不整合面,他认为此期间在南海存在一次构造运动,是海底扩张前的构造运动,因此他命名为“南海运动”。姚伯初^[13]认为新生代南海北部曾发生过 3 次区域构造运动。他又认为,在中生代末至新生代早期(K₃-E₁),这里发生过一次构造运动,运动方向为北西—南东,

收稿日期:2004-01-07; 改回日期:2004-02-20

基金项目:国家重点基础研究发展规划“973”项目(G2000046705)和国土资源部重大科技项目资助。

作者简介:姚伯初,1940 年生,男,教授级高级工程师,主要从事海洋地球物理、区域地质构造调查与研究;E-mail:bcyao@163.net。

在地表产生一系列 NE 向构造,这次构造运动被命名为“神狐运动”;第二次运动发生在晚始新世,他将其命名为“南海运动”,并认为何廉声将这一运动的时间定得晚了。因为按何廉声的原意,南海运动是发生在新生代南海海盆发生海底扩张前的一次构造活动,而南海海盆新生代第一次海底扩张是从 42 Ma 前开始的。在中中新世末期,这里又发生一次区域构造运动,运动方向为 NW—SE 向,称做“东沙运动”。因为南海北部在新生代为被动大陆边缘,因此,姚伯初将神狐运动引起的不整合面称做张裂不整合面(rifting unconformity),南海运动产生的不整合面称做分离不整合面(break-up unconformity)。第三次构造运动发生在中中新世末期,在南海北部被称做东沙运动;在南海南部被命名为万安运动。

笔者试图从大南海(Great South China Sea)地区,即从澳大利亚北部至华南南部新生代的构造活动来讨论南海地区新生代的构造演化史。地质资料表明,在新生代,从澳大利亚板块北部有一部分地块和澳大利亚破裂分离后向北漂移;同时,也有一部分地块从亚洲大陆东南边缘分离后向南漂移,这两部分地块先后在东南亚地区发生碰撞缝合,加上原来位于亚、澳板块之间大洋中的地块,以及此期间发生的海底扩张产生了一些小洋盆,形成了今日东南亚地区的构造景观。南海地区新生代的构造活动是在大南海地区新生代构造活动这一大的构造背景下展开的。因此,在研究南海地区新生代构造运动时,必须考虑从澳大利亚北部到华南南部地区的构造活动。这就是笔者提出大南海构造问题的原由。

1 地质构造特征

西太平洋边缘分布着许多边缘海盆,这些边缘海盆排列成两个海盆链:白令海、鄂霍次克海、日本海、菲律宾海和南海组成的北东向海盆链,以及南海、苏录海、苏拉威西海和班达海组成的一近南北向海盆链。在边缘海盆之间,分布着许多微板块(micro-plate),本文称做地块(block),这些地块中,一部分在新生代之前分布于欧亚大陆和印度—澳大利亚大陆之间的海洋中,另一部分则是新生代从两大板块破裂分离出来的,还有一部分是在新生代由洋壳俯冲增生而产生的地块^[14-20]。另外,菲律宾群岛和菲律宾海板块在新生代的相互旋转及其不断向北移动,也是大南海地区新生代构造活动的重要组成部分^[21]。

由图 1 看出,今日澳大利亚至东南亚地区由一系列边缘海盆和地块组成,其中,边缘海的起源大体分为 3 类:第一类是由海底扩张形成的,如南海盆地、苏录海盆和苏拉威西海盆;第二类是由弧后扩张形成的,如安达曼海盆;第三类是由岛弧圈捕老洋盆而形成的,如班达海。地块的起源也是多种多样的,有从大陆地块破裂分离并随海底扩张而漂移到现今位置的,如南沙地块和礼乐—东北巴拉望地块;有由洋盆俯冲而形成的岛弧及增生楔,如东婆罗—西南巴拉望地块;还有一部分地块在前新生代位于欧亚板块和印澳板块之间,新

生代经过一系列构造运动而到达今日位置的,如南部和东部苏拉威西地块^[18]。这些地块在新生代经过一系列平移、旋转和洋壳俯冲、增生、闭合及最后碰撞缝合在一起,形成了今日的构造景观。下面分析这些边缘海和地块在新生代的构造活动过程,并讨论它们的构造活动特征,以及碰撞缝合过程,目的是希望了解它们的构造活动对南海新生代构造运动的影响。

2 大南海地区的边缘海盆

菲律宾海: 菲律宾海盆被近南北走向的 Palau—Kyushu 脊分为西菲律宾海盆和帕里西威拉海盆。磁异常资料表明,西菲律宾海的年龄为 59~26 Ma^[22]。深海钻探资料和岛屿火山岩资料表明,该海盆在新生代经历过长时期和长距离移动,在 50~40 Ma 期间,它向北运动并逆时针方向旋转了 50°;在 40~25 Ma 期间仅有向北平移而无转动;而在 25~0 Ma 期间,它向北移动,并沿逆时针方向转动了 40°^[23-24]。由此可见,西菲律宾海盆在新生代经过了向北的长距离运移和逆时针方向 90°的转动。

南海: 南海深海平原的水深 3 700~4 400 m^[1]。北部地壳热流平均 2.5 HFU,而南部海盆的热流值比较散乱,平均 2.8 HFU。由水深资料计算的洋壳年龄为始新世至中新世, Taylor 等^[4,3]在中央海盆中对比出 11~5 d 号磁异常条带(32~17 Ma),认为南海海盆是在晚渐新世至早中新世之间通过海底扩张形成的。姚伯初等^[10]在西南海盆中对比出 18~13 号磁异常条带,推测该次海盆的年龄为 42~35 Ma(晚始新世至早渐新世)。因此,南海海盆的形成经历过两次海底扩张:第一次发生在晚始新世至早渐新世,为 NW—SE 向扩张,产生了北东向的南海西北海盆和西南海盆。在海底扩张过程中,南沙地块向东南方向运动,直到早渐新世与南婆罗洲地块碰撞。第二次海底扩张发生在晚渐新世至早中新世,原位于北部边缘的礼乐—东北巴拉望地块与北部边缘分离,向南运动,直到早中新世与西北婆罗—苏录地块碰撞,形成西婆罗—西南巴拉望地块,其后面发生海底扩张,形成中央海盆。由此可见,在新生代,南海地区经历过两次陆块破裂分离、海底扩张、古洋壳俯冲和陆块碰撞,最后形成今日的构造景观(图 1)。

苏录海: 卡加延脊将苏录海盆分为西北苏录海盆和东南苏录海盆^[25]。西北苏录海盆曾被命名为沙巴—巴拉望造山带东延部分^[26],或婆罗—苏录碰撞带^[27]的一部分。深海钻探和地球物理资料表明,这里新生代沉积厚 0.5~3.5 s(双程走时),下伏晚中新世末的不整合面,在不整合面之下为强烈变形的克拉克组(始新统)。因此,西北苏录海为陆壳。东南苏录海盆的沉积厚 1.0~2.0 s, ODP 资料表明,最小的洋壳年龄为 15 Ma。Silver et al^[28]根据区域地质和 ODP 资料认为,苏录海是在 20~15 Ma 通过海底扩张形成的。覆于基底之上的最老沉积为晚中新世放射虫红泥,其下伏 250 m 厚酸性火山碎屑凝灰岩,再往下是枕状熔岩和辉绿岩。由此可见,苏录海盆是由苏录火山弧破裂分离后发生海底扩张而形成的内弧海盆。在其东

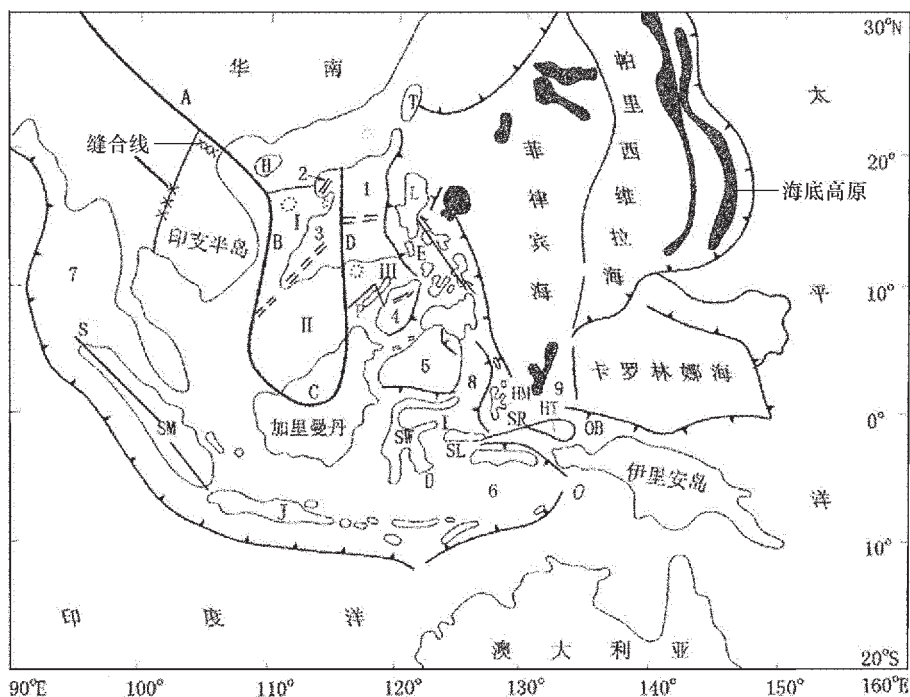


图 1 大南海地区的地质构造简图

A—红河—莺歌海断裂;B—南海西缘断裂;C—卢帕尔断裂;D—中南—礼乐断裂;E—菲律宾断裂;SR—索琅断裂;S—苏门答腊断裂;T—台湾;H—海南岛;L—吕宋岛;P—巴拉望岛;SW—苏拉威西岛;HT—鸟头岛;SL—塞兰岛;HM—哈马黑拉岛;SM—苏门答腊岛;J—爪哇岛;1—南海中央海盆;2—南海西北海盆;3—南海西南海盆;4—苏禄海;5—苏拉威西海;6—班达海;7—安达曼海;8—望加锡海;9—阿如海槽;I—西沙—中沙地块;II—南沙地块;III—礼乐—东北巴拉望地块;OB—奥比地块

Fig.1 Simplified tectonic map of the Great South China Sea area

A—Red River—Yinggehai fault; B—Western Margin fault of the South China Sea; C—Lupar fault; D—Zhongnan—Red Bank fault; E—Philippine fault; SR—Sorong fault; S—Sumatra fault; T—Taiwan Island; H—Hainan Island; L—Luzon Island; P—Palawan Island; SW—Sulawesi Island; HT—Bird’s Head Island; SL—Seram Island; HM—Halmahera Island; SM—Sumatra Island; J—Java Island; 1—Central Basin of the South China Sea; 2—Northwest sub-Basin of the South China Sea; 3—Southwest sub-Basin of the South China Sea; 4—Sulu Sea Basin; 5—Celebes Sea Basin; 6—Banda Sea Basin; 7—Andaman Sea Basin; 8—Makassar Sea Basin; 9—Aru Trough; I—Xisha—Zhongsha Block; II—Nansha Block; III—Red Bank—Northwest Palawan Block; OB—Obi Block

南边缘,存在一条俯冲海沟,叫做苏禄海沟,它是一条活动俯冲海沟。

苏拉威西海: 苏拉威西海的平均热流值为 1.58 HFU, 由 Parsons et al^[29]公式计算,其年龄为 51 Ma。Weisse^[30]在该海盆中对比出 20、19、18 号磁异常条带,走向为 NE 向,表示其年龄为 47~42 Ma。ODP770 井的资料表示,海底之下是 420 m 的深海沉积,最老年为始新世。再往下是枕状熔岩、角砾化的块状玄武岩和辉绿岩。Hall 认为,在约 40 Ma 时,菲律宾海由其左旋旋转并向北平移而到达苏拉威西海的东部,当时菲律宾海的扩张脊向西延至苏拉威西海,使其开始海底扩张,直到 31 Ma 时,海底扩张停止。作者由区域地质资料推测,苏拉威西海应是内弧海盆,今日的苏拉威西群岛和苏禄群岛在地质时期为一火山弧,始新世时该弧破裂分离为苏拉威西弧和苏禄弧,其间发生海底扩张而形成苏拉威西海盆。

班达海: 班达海周围为岛屿所围绕,西部是苏拉威西岛,北部为布鲁岛和塞兰岛,东部有鸟头岛,南部为帝汶岛。海盆中大部分地区的磁异常较平静,只有南部有限地区存在磁异常条带,其走向为 NEE 向(N60°~70°E),与印度洋的阿戈深渊的磁异常走向相同,因此推测其年龄与印度洋的阿戈深渊可能相同,为白垩纪。班达海的平均热流值为 1.1 HFU,平均水深 5 km。这进一步证明其年龄较老。因此,推测它可能是被帝汶—班达弧所圈捕的印度洋盆之一部分。

安达曼海: 安达曼海海盆的中央扩张脊之走向为 NE—SW 向,而扩张方向为 NNW—SSE 向。扩张轴比较短,由几条转换断层将其错开^[31]。在南部,转换断层和左旋走滑的苏门答腊断裂系相连。由有限的磁异常条带推测,洋盆是在 13 Ma 前(中中新世)开始扩张的,扩张速率为 3.72 cm/a。安达曼海的扩张脊和巽他弧及海沟并不平行,因此,认为它是由泄漏

的转换断裂系所启动的海底扩张而形成的边缘海盆。

阿戈(Agu)海槽: 位于 Palau-Kyushu 脊的南部,其南部是鸟头岛,是由洋壳俯冲、弧后扩张而形成的。卡罗林那海在它的东南部,后者沿帕劳脊俯冲,使该脊分离为东西两部分,其间发生海底扩张,形成小洋盆,即阿古海槽。海盆中沉积仅 300 m 厚。地震震源机制分析表明,洋盆中部存在走滑活动,而非伸展运动。由于洋盆太窄,未对比出磁异常条带,但 Anderson^[32]由区域地质估算,其年龄约为 10~12 Ma。

3 大南海地区的地块构造

在大南海地区,存在许多地块,这些地块在新生代早期,大多不在今日位置,它们在新生代经过一系列构造运动,并发生旋转和平移,最后到达今日位置。下面将对一些主要地块进行讨论,特别是那些和南海新生代构造活动有重要影响的地块。

西沙—中沙地块: 该地块位于南海西部边缘,其西部以南海西缘—万安断裂与印支地块为界,北部通过西沙海槽断裂与华南地块为邻,南部经过南海西南海盆中部残留扩张脊及其向西延伸的断裂与南沙地块相接,东部以中南—礼乐断裂与礼乐—东北巴拉望地块相连。该地块为减薄陆块,地壳厚度在 18~28 km 之间。在西沙群岛永兴岛上钻探西永—1 井,发现新近系之下为元古宙花岗片麻岩,与越南的地质图对比分析,发现这里可与昆嵩地块的元古宙变质岩对比^[33]。因此,笔者认为,西沙—中沙地块和印支地块为一古老地块,在印支运动后期,它们和华南地块缝合在一起。在新生代神狐运动中,它沿南海西缘断裂向东南运动,地壳被拉薄,并和印支地块发生分裂。Hayes^[34]通过整个南海在新生代构造运动的研究,认为该地块的地壳在新生代沿水平方向被拉长约 500 km。

南沙地块: 南沙地块位于南海西南部,其西北界是从南海西南海盆中部的残留扩张脊及其向西南延伸的断裂;南部为西北婆罗洲地向斜,界线为卢帕尔断裂;东界以中南—礼乐断裂与礼乐—东北巴拉望地块相接。该地块为一地壳减薄陆块,地壳厚度在 16~25 km 之间。在新生代之前,它与西沙—中沙地块相连;新生代由于西南海盆的海底扩张(晚始新世—早渐新世),它与后者分离。大约在 35 Ma 前,它与婆罗洲地块碰撞。在南沙地块上,分布着曾母盆地、北康盆地、南薇西盆地、南薇东盆地和永署礁盆地等新生代沉积盆地。新生代沉积最厚处分布在曾母盆地西北部和北康盆地西南部,那里沉积厚度超过 15 km;而由重力资料估算地壳厚度仅 20~22 km。因此,作者曾推测这里曾经是一个小洋盆,称做曾母海盆^[35]。在南沙地块中部,曾母盆地与北康盆地交界处,分部着廷贾断裂,此断裂在晚新生代为一走滑断裂。西方学者将该断裂西南部地区称做路科尼亚地块。该地块新生代沉积的主要特征是基底高地上沉积着一套中中新世碳酸盐岩和礁灰岩,其上为晚中新世广阔海洋及海岸平原相泥岩和沙岩^[36]。此地块的地温梯度较高,在 41°~42° C/100 m 之间^[37]。

礼乐—东北巴拉望地块: 该地块位于南海东南部,西界为中南—礼乐断裂,东界是马尼拉海沟至菲律宾南部棉打老岛西部海域,北界为南海中央海盆的残留扩张脊。Taylor 等^[38]认为,该地块在新生代早期和华南地块连在一起,晚渐新世至早中新世南海中央海盆发生海底扩张,此地块和华南地块破裂分离,并向南运动,直到和西北婆罗—苏录地块碰撞,停在今日的位置。此地块的地壳为减薄陆壳,地壳厚度在 14~24 km 之间。礼乐滩上的桑帕吉它—1 井揭示,这里基底为早白垩世砂岩、页岩、煤层和砂岩团块,其顶部不整合面之上覆盖着古新世陆架灰岩。德国太阳号调查船在 1982 年 SO23 航次及 1983 年 SO27 航次南海—苏录海调查航次中^[39],在此地块进行过拖网取样。在 SO23 航次的 23 站位(9°24'N, 115°52'E)处采集到富含蕨类植物砂岩和粉砂岩、带印模黑色页岩和变质橄榄辉长岩,其年代为 341~258 Ma(晚三叠世至早侏罗世)。在 36 站位(12°06'N, 116°35'E)处(此站位在礼乐滩上)采集到含变质沉积岩的角砾岩、泥胶合的砾岩和氧化锰,年代为 146 Ma(晚侏罗世)。这些资料说明,礼乐—东北巴拉望地块的新生代沉积基底应为中生代沉积岩、变质岩和火成岩。在北巴拉望岛,最老岩石是片岩、千枚岩、板岩和石英岩,上覆中二叠世砂岩、凝灰岩和板岩,以及中至上二叠世纺锤灰岩。中三叠统含牙形虫燧石。在卡拉棉岛,Fontain^[39]发现瑞替阶灰岩(侏罗纪至三叠纪),上面不整合地覆盖着放射虫燧石。在明都洛岛,变质基底为片岩和板岩,含大理岩及石英岩。在东北巴拉望岛,基底由石炭纪至二叠纪灰岩组成,上覆侏罗纪地层,其底部为玄武岩团块,包括含鲕状岩的长石砂岩、杂砂岩、泥岩和燧石^[40]。在巴拉望岛,大陆基底延伸到乌卢根断裂,其南部是蛇绿岩套。

西北婆罗—西南巴拉望地块: Haile^[41]曾将西北婆罗地向斜分为古晋带、锡布带和米里带。古晋带代表西婆罗洲大陆边缘古陆架带。200 km 宽的锡布带主要由陡倾高度变形的低变质复理石组成,由 30 km 宽的卢帕尔混杂岩缝合线与古晋带分开^[42]。锡布带的地层厚度超过 15 km,它被解释为沉积在白垩纪洋壳上的增生楔和浊流沉积,以后由于南沙地块的来到而被挤压变形。锡布带中的拉姜群一般变质到绿片岩相,含石英板岩及千枚岩,它代表晚白垩世至早始新世的增生楔沉积^[43]。在米里带中,分布着晚白垩世至始新世琅巴望群,它包含粗粒透镜状砂岩、广泛分布的红色泥岩和煤层。它表示河流三角洲相至海岸泻湖相,代表南沙地块大陆边缘沉积。到西北沙巴,古南海洋壳俯冲时间从晚始新世到中中新世,增生楔沉积被命名为克拉克群。在东北婆罗洲,它被分为西克拉克群和东克拉克群。西克拉克群的时间范围从古新世到始新世,它主要由杂砂岩、粉砂岩和泥岩组成的浊流沉积系,含少量灰岩和砾石。东克拉克群由一套厚层复杂构造结构的韵律粗细碎屑互层组合,它具有一般浊流复理石之特征,但少数泥屑岩呈红色或绿色,而不是典型的黑灰色,其主要沉积结构特征是具递变层理和底面印痕,其中波痕表示存在强

水流。巴拉望岛乌卢根断裂之南及巴拉巴克岛,被蛇绿岩、角闪岩和绿片岩所覆盖^[4],这些岩石沿向东南倾斜的逆牵引席出露,并与晚白垩世至早中新世砂岩、页岩、泥岩及灰岩混合^[45-46]。南巴拉望岛的强烈变形岩石被解释为中生代南海洋壳沿婆罗—南沙海槽俯冲时的增生楔沉积。因此,西北婆罗—西南巴拉望地块应是古南海向南俯冲时的增生楔,它是从大洋地壳发育而成的,而西北婆罗地块应属于南沙地块。

西南婆罗(巽它)地块: 位于南沙地块之南,中间界线是卢帕尔断裂。西加里曼丹和沙捞越西南由较老岩石组成,这个基底向南和向西在广阔的沿海冲积平原之下一直伸展到爪哇海和巽它陆架。这个地块最老岩石出现在古晋带附近,并可能在西婆罗分散存在结晶片岩、闪长岩、砂岩和大理岩。在古晋带附近,其年龄为前晚石炭世,也可能更老。在古晋地区,结晶基岩之上覆盖着与中性和基性熔岩互层的石炭二叠纪灰岩与页岩,这些岩石之上是复理石型砾岩、砂岩和页岩沉积物。在整个西婆罗的南部地区都发现有类似的石炭纪和二叠纪岩石组合。所有上述岩石单元皆为大量深成岩所切割,成分从辉长岩和苏长岩经闪长岩和云英闪长岩过渡到花岗岩,以云英闪长岩类为主。另外,Haile 等人^[47]对这些侵入体中的角闪石和黑云母用钾—氩法所测年代相当于中侏罗世到晚白垩世。因此,许多地质学家认为这里存在石炭二叠纪消亡复合体和岩浆弧,其上叠加一白垩纪岩浆弧。在爪哇海,钻井资料证实,前新生代基底由火山岩、深成岩、变质岩和蛇绿岩组成,年代大都是白垩纪。

哈马黑拉地块: 它位于菲律宾海板块的南部,西部通过马鲁古海与苏拉威西岛相接,南部经过马鲁古的索琅(Sorong)断裂和奥比地块相邻,东部是菲律宾海。这个地块在地质上属菲律宾海板块,后者现在相对欧亚板块在逆时针旋转,聚敛速率向南增加,菲律宾海沟终止于哈马黑拉地块北端。该地块的古近系、新近系与火山弧有关,覆盖在前古近系蛇绿岩套上^[48]。此蛇绿岩套为中生代洋壳及其沉积,上覆叠瓦状白垩纪到始新世火山弧与沉积岩,弧火成岩为深成岩,侵入于蛇绿岩中。再往上,是晚始新世灰岩和渐新世基性枕状熔岩及火山碎屑岩。下中新统为灰岩,中中新统至上新统为火山碎屑岩夹灰岩,第四系是弧火成岩。下渐新统枕状熔岩之上为一不整合面,上覆晚渐新世灰岩。这一不整合面标志着菲律宾海板块和澳洲板块在 25 Ma 时沿索琅断裂发生过碰撞,碰撞之后菲律宾海板块继续向西北运动,因此该断裂变为左旋走滑断裂。形成哈马黑拉地块基底的蛇绿岩套夹有与弧有关的沉积岩。此蛇绿岩套包括超基性堆积岩和辉长岩及火山岩。蛇绿岩套的深成岩组分之化学成分及矿物表明它是形成于构造弧建制。哈马黑拉地块蛇绿岩套中的火山岩包括玻古安山岩、岛弧拉斑玄武岩和具洋岛弧特征的杏仁状玄武岩。在蛇绿岩露头中,一般可见放射虫燧石。这里也存在变质岩,包括薄层闪岩和蓝片岩。闪岩的 K-Ar 年龄为白垩纪,或更老。变质粒玄岩 K-Ar 年龄为 $(142 \pm 4) \text{ Ma}$ ^[49]。由上述讨论推测,该蛇绿岩套的时代可能是侏罗纪。

奥比地块: 该地块位于今日菲律宾海板块最南端,其

北部通过马鲁古索琅断裂与哈马黑拉地块相邻,西部以马鲁古海沟与马鲁古海相连,南部经过苏拉索琅断裂与澳大利亚板块相接。Pigram 等^[50]认为,奥比地块和斑垓—苏拉地块、布敦岛地块、布鲁—塞兰地块和松巴地块原属于澳大利亚板块,当 25 Ma 前澳大利亚板块与欧亚板块碰撞时,这些地块被刮下,并沿苏拉索琅断裂被菲律宾海板块向西带到今日位置。在该地块上,基底是中生代蛇绿岩、晚白垩世弧火山碎屑沉积岩和渐新世弧火山及火山碎屑岩。在这些岩石之上,覆盖着早中新世浅水灰岩和中中新世至晚中新世火山碎屑岩。再往上,是上新世灰岩及第四纪砾岩和砂岩。古地磁资料表明,晚白垩世火山岩形成于 $11^\circ \pm 4^\circ \text{ N}$ 处,已旋转 180° 。晚渐新世火山岩已逆时针方向旋转 60° ,当时位于 $12^\circ \pm 6^\circ \text{ S}$ 处。晚中新世火山岩以顺时针方向旋转 15° ,向北移动 22.5° ^[51]。

斑垓—苏拉地块: 此地块的地层包括古生代至第四纪地层^[52]。最老的岩石为晚古生代板岩和片岩,被二叠纪—三叠纪花岗岩所侵入,上覆二叠纪至三叠纪酸性火山岩。这些基底岩石不整合地被大陆和浅海侏罗纪粗粒碎屑岩所覆盖。再往上,始新世、中新世和第四纪浅水灰岩不整合地覆盖其上。晚白垩世火山岩形成于 $19^\circ \pm 5^\circ \text{ S}$ 处,已逆时针方向旋转约 30° 。地层分析表明,侏罗纪后,苏拉地区的地层和巴布亚新几内亚不同,但与米苏尔地区相似,这说明早白垩世之后,苏拉地块已和巴布亚新几内亚分开了。因此,笔者认为,从晚白垩世开始,苏拉地块开始与澳大利亚板块分离。

索琅断裂带: 在该断裂带北部的菲律宾海板块地区,是澳大利亚板块和菲律宾海板块的碰撞缝合带。古地磁资料表明,菲律宾海板块在构造历史方面和索琅断裂带内完全不同。菲律宾海板块白垩纪、新近系、古近系岩石具小的磁倾角和低的纬度。古地磁资料表示,早中新世后,它向北移动了 10° 。菲律宾海板块在 40~25 Ma 期间基本无移动,渐新世火山活动记录了印度洋板块在其南部俯冲的历史。在 25 Ma 时,火山活动停止,这里存在一早中中新世灰岩与下伏岩石之间的区域不整合面,表示此时澳大利亚板块与菲律宾海板块之间开始碰撞。碰撞之后,菲律宾海板块开始逆时针方向旋转,它和澳大利亚板块之间出现走滑边界。在此次事件中,西太平洋和东亚边缘发生了许多事件:哈马黑拉和桑吉黑弧之间的碰撞;索琅断裂分叉引起哈马黑拉地区的地层变形;菲律宾海沟开始形成;苏拉威西一带发生蛇绿岩与苏拉地台碰撞事件等。

4 大南海地区新生代区域构造活动历史

大南海地区位于欧亚板块的东南边缘,澳大利亚板块的北部,它包含许多小洋盆和地块。这些地块中,有一部分是在新生代经构造运动从印支和华南分离出来的,另一部分是从澳大利亚板块分离并向北漂移过来的;而大部分小洋盆是在地块运动过程中由海底扩张形成的。另外,菲律宾海板块在新生代从赤道附近向北漂移,到大约 5 Ma 前,在台湾地区与欧亚板块接触而基本接近今日的位置。

在约 90 Ma 前,位于欧亚板块边缘的加里曼丹地块和从澳大利亚板块漂移过来的米拉塔斯 (Meratus) 地块发生了碰撞,形成了西加里曼丹地块,即西南婆罗地块^[53]。米拉塔斯地块包含今日的东北爪哇岛、西南加里曼丹和西苏拉威西岛。这次碰撞引起古南海洋盆向加里曼丹—苏录地块俯冲,在北部亚洲边缘产生一次北东向张裂构造运动。在大约 85 Ma 时,燕山造山带的岩石圈发生拆沉,也产生北东向张性构造运动。这两次时间间隔很短的运动叠加在一起,在南海北部被命名为神狐运动,在南海南部被命名为礼乐运动。神狐运动在东亚边缘产生北东向断裂和地堑半地堑,它们后来发育成沉积盆地。在米拉塔斯地块南部,即苏门答腊和爪哇南部,印度—澳大利亚板块向北俯冲,印度洋沿爪哇海沟斜向俯冲于欧亚板块之下。菲律宾海板块此时位于赤道之南,在其南部,印度洋板块向北俯冲;在其北部,北新几内亚板块向南俯冲;在 44 Ma 前,菲律宾海作为弧后扩张,开始形成西菲律宾洋盆(图 2—A)。

在 65 Ma 时,印度板块和欧亚板块发生了碰撞,此次碰撞是板块边缘的接触碰撞;到约 43 Ma 时,两大板块开始硬碰撞,即板间海域消失,大陆岩石圈开始碰撞。此次碰撞引起欧亚板块向东南方向运动^[54-56],在东亚边缘产生了又一次张性构造运动,南海地区称做南海运动(南海北部),或西卫运动(南海南部)。此次运动在该地区引起又一次张裂活动,神狐

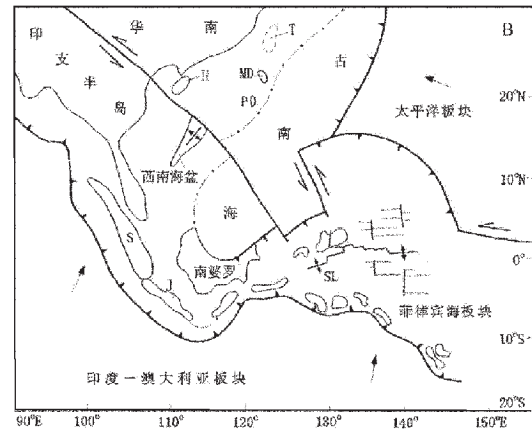
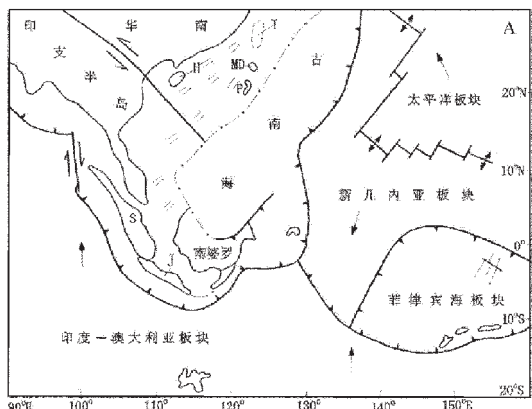
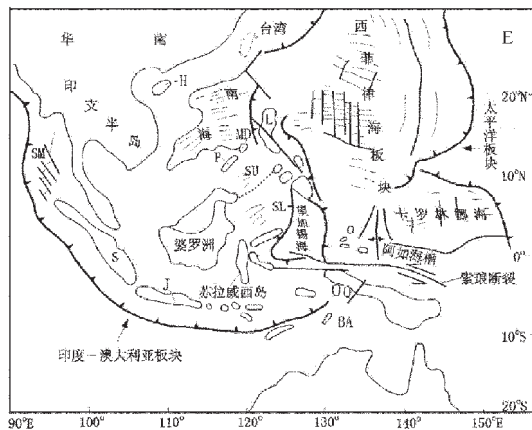
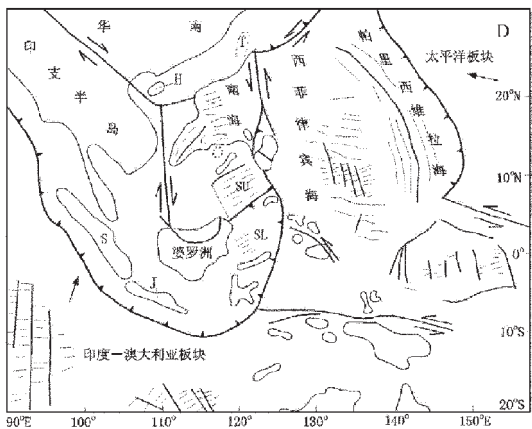
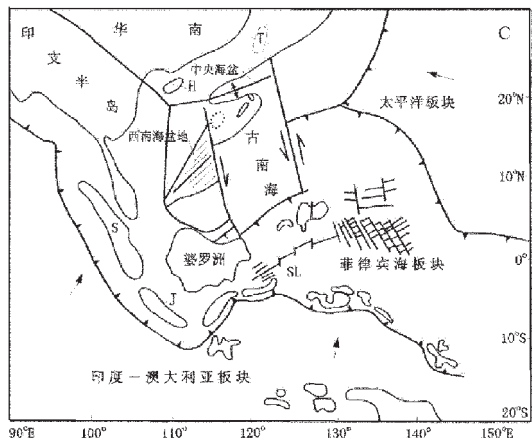


图 2 东南亚地区新生代构造演化图
 MD—明都洛岛; L—吕宋岛; P—巴拉望岛; S—苏门答腊岛;
 J—爪哇岛; T—台湾岛; H—海南岛; SL—苏拉威西海;
 SU—苏录海; SM—安达曼海; BA—斑达海

Fig.2 tectonic evolution of the Southeast Asia
 MD—Mindoro Island; L—Luzon Island; P—Palawan Island;
 S—Sumatra Island; J—Java Island; T—Taiwan Island; H—Hainan
 Island; SL—Celebes Sea; SU—Sulu Sea; SM—Andaman Sea;
 BA—Banda Sea

运动形成的地堑半地堑被进一步拉开,沉积盆地发展史进入第二阶段—坳陷阶段。此次运动之后,南海地区发生第一次海底扩张;南沙地块向东南方向运动,在其后面,由海底扩张而形成了南海西南海盆与西北海盆。在约 35 Ma 时,向南运动的南沙地块与西南加里曼丹(巽它)地块发生碰撞,西南海盆的海底扩张停止了。Longley 认为这是一次关键事件,他将南沙地块称做路科尼亚地块(Luconia block)。Hail^[57]在沙捞越地区的露头中发现了晚始新世不整合面,Murphy^[58]和 Benard^[59]根据年代地层学解释也认为是晚始新世。Hutchson^[29]发现,由于印度板块和欧亚板块在 43 Ma 时发生碰撞,印度洋的扩张脊从东北印度洋跳到东南印度洋,引起了区域板块位置调整。同时,他在东南亚地区普遍发现了一个晚始新世不整合面,并认为与这次构造运动与板块位置调整事件有关。在 43 Ma 前,太平洋板块的运动方向由北北西转向北西西,北新几内亚板块已俯冲殆尽。新几内亚—太平洋脊的俯冲引起伊豆—小笠原—马里亚纳前弧玻古安山岩喷发,三描理士—吕宋蛇绿岩是这个玻古安山岩弧的西部。印度—澳大利亚板块继续向北俯冲于欧亚板块之下,西菲律宾海盆的扩张脊向西延伸到吕宋岛之南,苏拉威西海盆在 43 Ma 前开始海底扩张。由于南海西南海盆在 42 Ma 前开始海底扩张,古南海洋盆继续俯冲于西南婆罗之下(图 2—B)。

在 32 Ma 时,位于华南地块东南边缘的礼乐—东北巴拉望地块开始和亚洲大陆分离,向南漂移,其间开始南海新生代第二次海底扩张。引起此次海底扩张的深部构造原因可能是由于印度板块和欧亚板块的碰撞而引起的亚洲大陆上地幔向东南方向之地幔流,受到东部边缘向欧亚板块俯冲的太平洋板块之阻挡,转而向南流动,带动亚洲板块东南边缘地块向南运动,从而使有些地块(如礼乐—东北巴拉望地块)与亚洲大陆分离,其间产生海底扩张。在 34 Ma 前,西菲律宾海盆和苏拉威西海盆的海底扩张停止了,东菲律宾海(帕里西威拉海盆)开始海底扩张。而古南海洋壳继续向东北婆罗—西南巴拉望地块之下俯冲,带动礼乐—东北巴拉望地块向南运动(图 2—C)。

在约 25 Ma 时,逆时针方向旋转的菲律宾海板块南端俯冲带和澳大利亚板块北端发生了碰撞,澳大利亚板块北部的印度洋向菲律宾海板块的俯冲停止了,俯冲带逐步变成了左旋走滑断裂,即索琅断裂。在此时,印支地块仍在向东南方向挤出,但它的挤出量可能被其他陆架和泰国湾的伸长所吸收^[68]。此次碰撞运动对南沙地块和礼乐—东北巴拉望地块产生影响,造成区域上的挤压。到大约 17 Ma 前,该地块和东北婆罗—西南巴拉望地块碰撞,海底扩张停止,南海中央海盆诞生了。在约 15 Ma 时,菲律宾海板块上的吕宋岛与欧亚板块的卡加延脊(苏录海盆内)及北巴拉望发生了碰撞,引起了苏录小洋盆向苏录弧的俯冲^[68]。在 13 Ma 时,从澳大利亚板块上刮下来的东南苏拉威西地块和西苏拉威西地块(属巽他地块)发生了碰撞,此次碰撞加快了巽他地块的逆时针方向旋转^[69]。在 11 Ma

时,礼乐—东北巴拉望地块和加里曼丹—苏录地块发生了碰撞,在东北婆罗(沙巴地区),浅层区域不整合面就和此次碰撞有关。这 3 次时间间隔很短的碰撞事件对南沙地块都产生强烈影响,造成了新生代沉积中的晚中新世区域不整合面。在南沙地区被命名为万安运动(图 2—D)。

在 6 Ma 时,斑垓—苏录地块和巽他地块发生了碰撞^[69],这次碰撞在东爪哇盆地产生背斜构造,对南沙地区也产生一定影响。在 5 Ma 时,菲律宾弧和巴拉望地块发生过碰撞^[17],引起吕宋岛边缘的俯冲带从西边跳到东边。这次碰撞对西北巴拉望盆地和沙巴盆地产生影响,对南沙地区也产生一定影响。这两次时间相隔很短的碰撞事件在南沙海域新生代沉积中产生了中新世和上新世之间的不整合面。在 5 Ma 前,向北运动的菲律宾海板块在台湾地区与欧亚板块发生碰撞,台湾岛开始出现并逐渐形成(图 2—E)。

5 讨论

新生代大南海地区的构造活动极其复杂和剧烈,这里,印度—澳大利亚板块向北运动,其北部边缘被刮下不少地块按不同路径向北运动,并和亚洲南部的地块发生碰撞;欧亚板块南部边缘在新生代向东南方向张裂,以及南北方向的张裂,发生海底扩张和地块碰撞;菲律宾海板块在新生代向北平移和转动,先后和澳大利亚板块与欧亚板块发生碰撞,最后形成了今日东南亚地区的构造景观。因此,东南亚地区是新生代构造极其活跃和复杂的地区,新生代南海地区的构造活动就是在这个构造背景下展开的。形成新生代南海地区的构造景观,是和新生代印度—澳大利亚板块、欧亚板块、菲律宾海板块和太平洋板块的构造运动密切相关的。研究南海地区新生代构造运动,必须研究上述板块在新生代的构造活动及其相互作用过程。这里仍然有不少问题还是知之甚少:(1)根据地质资料和古地磁资料,初步认为菲律宾海板块在新生代向北运移并逆时针方向旋转了 90°,但对其运动过程仍不清楚。(2)对印度板块和欧亚板块碰撞后在亚洲大陆下产生向东南方向的地幔流动,至今还有争论,Tapponier 模式并不为大多数地质学家所接受,而南海新生代海底扩张需要上地幔流动的动力学解释。(3)从构造特征分析看出,南海洋盆是一个典型的小大西洋,是由大陆岩石圈发生张裂与分离、海底扩张而形成的,但对大陆岩石圈张裂与分离时的变形特征还不清楚,这需要进一步开展详细研究。(4)南海洋盆中存在一系列东西向(中央海盆)和北东向(西南海盆)海山链,与大西洋海盆中海山较少是有区别的,为什么存在这种区别?这需要进一步探讨。

参考文献(References):

- [1] 薛万俊.南海地貌图[A].见:何廉声,等主编.南海地质地球物理图集[C].广州:广东省地图出版社,1987.
Xue Wanjun. Explanation for Map of Geomorphology of the south

- China Sea [A]. In: He Liansheng, et al (eds.), Atlas of Geology and Geophysics of South China Sea [C]. Guangzhou: Guangdong Science, 1987.
- [2] 鲍才旺. 南海地形图[A]. 见: 何廉声, 等主编. 南海地质地球物理图集[C]. 广州: 广东省地图出版社, 1987.
- Bao Caiwang. Explanation for Map of Topography[A]. In: He Liansheng et al (eds.), Atlas of Geology and Geophysics of South China Sea [C]. Guangzhou: Map Publishing House of Guangdong Province, 1987.
- [3] Ben-Avraham Z, Uyeda S. The evolution of the China Basin and the Mesozoic Paleogeography of Borneo [J]. Earth and Planet. Sci. Lett., 1973, (18): 365~375.
- [4] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Sea Basin [A]. In: Hayes D E (eds.), The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asia Seas and Islands, Geophysical Monograph [C]. AGU, Washington, 1980, (23): 89~104.
- [5] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea Basin [A]. In: Hayes D E (eds.), The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophysical Monograph [C]. AGU, Washington, 1983, (27): 23~56.
- [6] 陈圣源. 南海磁力异常图[A]. 见: 何廉声, 等主编. 南海地质地球物理图集[C]. 广州: 广东省地图出版社, 1987.
- Chen Shen Yuan. Explanation for map of magnetic anomaly [A]. In: He Liansheng, et al (eds.), Atlas of Geology and Geophysics of South China Sea [C]. Guangzhou: Map Publishing House of Guangdong Province, 1987.
- [7] 何廉声. 南海地质构造图[A]. 见: 何廉声, 等主编. 南海地质地球物理图集[C]. 广州: 广东省地图出版社, 1987.
- He Liansheng. Explanation for map of tectonics [A]. In: He Liansheng, et al (eds.), Atlas of Geology and Geophysics of South China Sea [C]. Guangzhou: Map Publishing House of Guangdong Province, 1987.
- [8] 吕文正. 南海中央海盆条带磁异常特征及构造演化[M]. 海洋学报, 1987, 9(1): 69~78.
- Lü Wenzheng. The characteristics of magnetic anomalies and its tectonic significance in Central Basin of South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1987, 9(1): 69~78.
- [9] 姚伯初. 南海海盆在新生代的构造演化[A]. 见: 南海地质研究[C]. 广州: 广东科学技术出版社, 1991. 9~23.
- Yao Bochu. Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic [A]. Geological Research of South China Sea [C]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1991. 9~23.
- [10] 姚伯初, 曾维军, Hayes D E, 等. 中美合作调研南海地质专报[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- Yao Bochu, Zeng Weijun, Hayes D E, et al. The Geological Memoir of South China Sea Surved Jointly by China and USA [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1994.
- [11] 姚伯初. 南沙海槽的构造特征及其构造演化史[A]. 见: 南海地质研究[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 1~14.
- Yao Bochu. Tectonic Characteristics and Evolution of the Nansha Trough [A]. In: Geological Research of South China Sea [C]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1996. 1~14.
- [12] 何廉声. 多旋回板块构造运动与南海新生代构造[A]. 见: 南海地质研究[C]. 广东科学技术出版社, 1988. 98~108.
- He Liansheng. Polycyclic Plate Tectonic Movements and the Cenozoic Tectonics of the South China Sea [A]. In: Geological Research of South China Sea [C]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998. 98~108.
- [13] 姚伯初. 南海北部陆缘新生代构造运动初探[A]. 见: 南海地质研究[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 1~12.
- Yao Bochu. The explanation of Tectonics in North Margin of South China Sea [A]. Geological Research of South China Sea [C]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1993. 1~12.
- [14] Hamilton W. Tectonics of the Indonesian region [J]. US Geological Survey, Prof. Paper, 1979, 1078, 345~361.
- [15] Hamilton W. Plate tectonics and island arcs [J]. Geological Survey of American Bulletin, 1988, 100: 1503~1527.
- [16] Hutchison C S. Formation of marginal seas in Southeast Asia by rifting of the Chinese and Australian continental margins and implications for the Borneo region [J]. Geol. Soc. Malaysia, Bulletin, 1986, 20: 201~220.
- [17] Hutchison C S. Geological Evolution of South-East Asia. In: Oxford Monographs on Geology and Geophysics [M]. Oxford: Clarendon Press, 1989. 13.
- [18] Hall R. Cenozoic plate tectonics reconstructions of SE Asia [A]. In: Matthews A J, et al. (eds.), Petroleum Geology of Southeast Asia [C]. Geol. Soc. Special Publ., 1997, 126: 1~23.
- [19] Longly I M. The tectonostratigraphic evolution of SE Asia [A]. In: Fraser A J, et al. (eds.), Petroleum Geology of Southeast Asia [C]. Geological Society Special Publication, 1997, 126: 311~339.
- [20] Yao B. Tectonic evolution on the southern margin of the South China Sea [J]. CCOP Technical Bulletin, 1995, 25: 143~160.
- [21] Hall R, Ali J R. Cenozoic motion of the Philippine Sea Plate: paleomagnetic evidence from eastern Indonesia [J]. Tectonics, 1985, 14: 1117~1132.
- [22] Kroenke L W, Scott R. Old questions answered and new ones asked [J]. Geotimes, 1978, 23(7): 20~23.
- [23] Hall R, Ali J R. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate [J]. Tectonophysics, 1995a, 241: 229~250.
- [24] Hall R, Fuller A, et al. The Philippine Sea Plate: Magnetic and Reconstructions [A]. In: Taylor B, et al. (eds.), Active margins and Marginal Basins: A Synthesis Pacific Drilling Results [C]. AGU Monographs, 1995b, 88: 371~404.
- [25] Hutchison C S. The Eocene unconformity on Southeast and East Sundaland [J]. Geol. Soc. Malaysia, Bulletin, 1992, 32: 69~88.
- [26] Rangin C, Silver E A, T Von Breyman. In: Proc. ODP Init. Repts [R]. Ocean Drilling Program, College Station, TX, 1990, (124): 51~64.
- [27] Hinz K, Block M. Summary of geophysical data from the Sulu and Celebes seas [R]. In: Proc. ODP, Init. Repts., Ocean Drilling Program, College Station, TX, 1990, 124: 87~92.

- [28] Silver E A and Rangin C. Leg tectonic synthesis[R].In:Silver E A, et al. Proceedings of the ODP, Scientific Results.1991,124:3~9.
- [29] Parsons B, Sclater J G.An analysis of the variation of ocean floor bathymetry and heat flow with age[J]. Geophys.Res.,1997,82:803~827.
- [30] Weissel J K.Evidence for Eocene oceanic crust in the Celebes Basin [A].In:Hayes D E (ed.),The tectonic and geologic evolution of Southeast Asia Seas and Islands [C].Geophysical Monograph 1980, 23:37~43.
- [31] Curry J R, Emmel A E, et al. Structure tectonics, and geologic history of the northeastern Indian Ocean[A]. In:Nairn A E M,et al. (eds.), The Ocean Basins and Margins, Vol.6,The Indian Ocean[C]. New York:Plenum Press,1982.399~450.
- [32] Anderson R N, Langseth M G, Hayes D E. Heat flow,thermal conductivity,thermal gradient: a geophysical atlas of the east and southeast Asian seas;GSA Map and Chart Series 1978,MC~25.
- [33] 龚跃华,李唐根.南海西部海域重磁场特征[A].见:姚伯初,等主编.南海西部海域地质构造特征和新生代沉积[C].北京:地质出版社,1999.31~43.
Gong Yuehua, Li Tanggen. Gravity and magnetic feature of Western Part of South China Sea [A]. In:Yao Bochu,et al.(eds.), Geological and Tectonic Characteristics and Cenozoic Sedimentation of the Western South China Sea [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1999.31~43.
- [34] Hayes D E. Margins of the Southeast subbasin of the South China Sea—a frontier exploration target?[J]. Energy,1985,10,3/4:373~382.
- [35] 姚伯初.南海新生代的构造演化与沉积盆地[A].见:南海地质研究[C].武汉:中国地质大学出版社,1998.1~17.
Yao Bochu.The Tectonic Evolution and sedimentary Basins of South China Sea In Cenozoic [A]. Geological Research of South China Sea [C]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1998.1~17.
- [36] Epting M. Sedimentology of Miocene carbonate buildups, Central Luconia,offshore Sarawak [J].Geol.Soc.Malaysia,Bulletin,1980, 12: 17~30.
- [37] Hutchison C S. Multiple Mesozoic Sn–W–Sb granitoids of Southeast Asia[A]. In:Roddick,J.A.(des.). Circum–Pacific Plutonic Terranes [C]. Geological Society of America Memoir,1983,159:35~60.
- [38] Kudrass H R,Wwiedicke M,et al. Mesozoic and Cenozoic rocks dredged from the South China Sea (Reed Bank area)and Sulu Sea and their significance for plate–tectonic reconstructions[J]. Marine and Petroleum Geology,1986,3:19~30.
- [39] Fontaine H. Note on the geology of the Calamian Islands[J]. North Palawan,Philippines,CCOP Newsletter,1979,6(2):40~46.
- [40] Hashimoto W, Matsumaru K, et al.Larger foraminiferal assemblages useful for the correlation of the Cenozoic marine sediments in the mobile belt of the Philippines [J]. Geol. Paleot. Southeast Asia,1977, 18:103~123.
- [41] Haile N S. Borneo.Spencer A M (eds.), Mesozoic–Cenozoic orogenic belts: data for orogenic studies[J].Geol.Soc.London Spec. Publ., 1974,4:333~347.
- [42] Tan D N K.Lupar Valley,West Sarawak,Malaysia[R]. Geol.Surv. Malaysia Report, Kuching,Sarawak,1979,13.
- [43] TanDNK,Lamy J M.Tectonic evolution of theNW Sabah continental margin since the late Eocene[J].Bulletin of the Geological Society of Malaysia,1990,27:241~269.
- [44] Raschka H, Nacario E, et al.Geology of the ophiolite of central Palawan Island[J].Philippines–Ofioliti,1985,10,2/3:375~90.
- [45] Wolfart R, Cepek P, Gramann F, et al. Stratigraphy of Palawan Island,Philippines[J]. Newsl. Stratig.,1986, 16:19~48.
- [46] Faure M, Marchader Y, Rangin C. Pro–Eocene synmetamorphic nappes in the Mindoro–Romblon–Palawan area (West Philippines) and implications for the history of SE Asia[J].Tectonics,1989,8:963~979.
- [47] Haile N S, McElhinny M W. Paleomagnetic data and radiometric ages from the Cretaceous of West Kalimantan (Borneo), and their significance in interpreting regional structure[J]. J.Geol. Soc. Lond. 1997, I :133~144.
- [48] Hall R. Terrane amalgamation at the boundary of the Philippine Sea Plate [J].Tectonophysics,1990,181:207~222.
- [49] Pigarm C J, Davies H .Terranes and the accretion history of the New Guinea orogen [J].BMR J.Aust.Geol.Geophys.1987,10:193~211.
- [50] Pigarm C J, Panggabean H. Rifting of the northern margin of the Australian continent and the origin of some microcontinents in Eastern Indonesia[J].Tectonophysics,1984,107:331~354.
- [51] Ali J R, Hall R. Evolution of the boundary between the Philippine Sea Plate and Australia: paleomagnetic evidence from eastern Indonesia[J]. Tectonophysics,1995,251:251~275.
- [52] Garrard R A, Supandjono J B. The geology of the Banggai–Sula/ Microcontinent/Eastern/ Indonesia[R]. In:Proceedings of the 17th Annual Convention of the Indonesia Petroleum Association,1988, I :23~52.
- [53] Bransden P J E and Matthews S J. Structural and Stratigraphic Evolution of the East Java Sea Indonesia[R]. In:Proceedings of the 21st Annual Convention of the Indonesia Petroleum Association, 1992, I :417~454.
- [54] Tapponier P, Peltzer G, et al.Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology,1982,10:611~616.
- [55] Tapponier P, Peltzer G, Argjio R.On the mechanics of the collision between India and Asia[A]. In:Coward M, Pand Ries A C (eds.), Collision Tectonics [C]. Geological Society of London Special Publication,1986, 19:115~157.
- [56] Briais A, Patriat P, Yappionier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research,1993, 98:6299~6328.
- [57] Haile NS.Evidence of multiphase deformation in the Rajang–Crocker Range (northern Borneo) from Landsat imagery interpretation: geodynamic implication –comment (2) [J].Tectonophysics,1992,204:

- 178-180.
- [58] Murphy R. W. The Manila trench-west-Taiwan foldbelt: A flipped subduction zone[J]. *Bull. Soc. Malays.*, 1973, 6: 27~42.
- [59] Benard F, Muller C, Letouzey J, et al. Evidence of multi-phase deformation in the Ronjong-Crocker Range (Northern Borneo) from Landsat imagery interpretation: Geodynamics implications[J]. *Tectonophysics*, 1990, 183: 321~339.
- [60] Handiwiria Y E. The Stratigraphy and Hydrocarbon occurrences of the Salodik Group, Timori PSC area East Arm of Sulawesi[M]. In: *Proceedings of PIT X I X I katan Ahli. Geological Indonesia*, Bandung, 1990, 11~13.

Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea area

YAO Bo-chu, WAN Ling, WU Neng-you

(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China)

Abstract: There existed some blocks (micro-plates) in the oceans between Australia and Asia in the Cenozoic, when some blocks were separated from the Australian plate and moved northward and collided and sutured with some blocks that were separated from the Eurasian plate. In this period small ocean basins such as the South China Sea, Sulu Sea, Celebes Sea and Andaman Sea formed as a result of block separation and seafloor spreading, and finally the present tectonic framework formed in the Great South China Sea area. After a study of the Cenozoic tectonic history of the Great South China Sea area, the authors believe that Cenozoic tectonic activities in the Great South China Sea were not only related to collision between the Indian Plate and Eurasian Plate but also to subduction of the Pacific Plate beneath the Eurasian Plate and were also affected by the northward movement of the Australian Plate. In the South China Sea Basin there occurred two events of seafloor spreading in the Cenozoic. The first seafloor spreading, which was oriented in a NW-SE direction, occurred before 42-35 Ma BP under the influence of the southeastward mantle flow beneath the Eurasian continent caused by India-Eurasia collision. The first seafloor spreading gave rise to the Southwest Basin of the South China Sea. The second seafloor spreading took place before 32-17 Ma BP. As the Pacific plate was subducted beneath the Eurasian plate to 700 km depth, the SE-directed flow of the upper mantle of the Eurasian continent was blocked and then turned toward the south, thus causing N-S-trending seafloor spreading in the South China Sea area, i.e. the second seafloor spreading. The second seafloor spreading resulted in the formation of the Central Basin of the South China Sea. After the Cenozoic South China Sea Basin was produced, collision between the blocks and seafloor spreading continued in the Great South China Sea area, and under the compression of these northward blocks the south margin of the South China Sea, sediments in the area were deformed, thus producing the Wanan movement (at about 10 Ma BP) on the south margin of the South China Sea.

Key words: plate movement; plate subduction; block movement; seafloor spreading; magnetic anomaly lineation