

# 南海南部海区前陆盆地形成与演化

张 翀, 吴世敏, 丘学林

(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, 广州 510301)

**摘要:**将南沙地块南缘与加里曼丹—巴拉望地块作为一个构造演化的整体进行研究, 对南海南部构造边界的蛇绿—混杂岩及岩浆岩的分布和岩性, 以及南海南部前陆盆地的构造与沉积特征加以描述、分析, 发现前陆盆地系统的形成时间是从西南往东北, 逐渐由晚始新世末—早中新世—中中新世, 与南边的俯冲碰撞带形成时间相对应, 认为南沙地块南缘与加里曼丹—巴拉望地块之间经历了一个与古南海消亡息息相关的连续演化的过程。

**关键词:**前陆盆地; 蛇绿岩; 古南海

**中图分类号:** P736.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0256-1492(2007)01-0061-10

居南海南部海区重要位置的南沙群岛海区, 其范围包括  $12^{\circ}$  N 以南的南沙群岛及其邻近属于我国断续国界线以内的海域, 简称南沙海区, 面积达  $706.80 \text{ km}^2$ 。南沙海区包括大陆架、大陆坡及深海盆三大地貌单元, 以大陆坡地貌为主, 它超过了南沙海区总面积的四分之三。南沙海域及相邻地区莫霍面的深度由北部海盆区向岛礁区加深, 由  $9 \text{ km}$  加深到  $20 \sim 26 \text{ km}$ ; 南沙海槽莫霍面深  $19 \sim 22 \text{ km}$ ; 巽他陆架区和纳土纳岛附近的莫霍面深度为  $20 \sim 22 \text{ km}$ 。

南海南部及其邻域分布有多个新生代沉积盆地, 沿南部陆缘分布有曾母盆地、文莱—沙巴盆地、南沙海槽盆地、西巴拉望盆地和北巴拉望盆地。对于这几个盆地的类型划分, 已有许多学者从不同的角度进行了很多的工作, 既有依据盆地所处构造背景及成因机制进行盆地分类的<sup>[1-3]</sup>, 分别将曾母盆地、文莱—沙巴盆地、南沙海槽盆地及北巴拉望盆地划分为周缘前陆盆地、类前陆盆地、挠曲前陆盆地及陆块裂离盆地; 也有侧重于构造位置及沉积特征进行的盆地分类<sup>[4-5]</sup>, 将曾母盆地、文莱—沙巴盆地、北巴拉望盆地分别划为前陆盆地、弧前盆地、张裂型盆地; 还有根据盆地的发育及构造演化进行的分类<sup>[6-7]</sup>, 认为曾母盆地、文莱—沙巴盆地、南沙海槽盆地以及西巴拉望盆地是随着南海南部边界连续演化而发育的一系列前陆盆地, 曾母盆地后期还经历了多期走滑拉张影响。

对南沙—巴拉望各沉积盆地存在不同成因假

设, 南沙海槽及巴拉望西北海槽的挤压构造性质和成因都存在重大的分歧。Hamilton<sup>[8]</sup>, Ludwig 等<sup>[9]</sup>, Tayler 和 Hayes<sup>[10-11]</sup> 以及 Holloway<sup>[12]</sup> 提出, 在中中新世之前, 加里曼丹—巴拉望西北海槽及沙巴—中南巴拉望大陆边缘之下是向东南俯冲的洋壳, 洋壳上的沉积物被刮落在俯冲增生楔中, 因此, 这是一个不活动的俯冲带。Hinz<sup>[13]</sup> 提出外来混杂堆积逆掩在渐新世一下中新统碳酸盐之上。Hinz 将南沙海槽东南坡推覆构造划分为“主推覆带系统”和“下推覆带系统”。其中“主推覆带系统”形成早, 是由古近系克罗克(Crocker)组和包含白垩系燧石、细碧岩并含蛇绿岩组成的混杂岩, 在中中新世形成, 其结束时间是  $17 \text{ Ma}$ , 这正好是南海扩张终止时间。“下推覆系统”则自中中新世活动到现代。郭依辉等<sup>[14]</sup> 提出, 中中新世加里曼丹逆时针旋转与南沙微板块碰撞, 产生南沙海槽的冲断构造。Yan<sup>[15]</sup> 对南沙海域划分出 5 个构造带, 对其中加里曼丹—巴拉望推覆带的变形作了定性的描述, 并且指出南沙海域存在晚中生代的挤压变形。Schluter<sup>[16]</sup> 提出, 渐新世中期因南海扩张使得礼乐微板块向南运动, 其南部洋壳向南俯冲到卡加延(Cagayan)—苏禄脊之下。早中新世礼乐微大陆南缘的克罗克组与卡加延脊北面的燧石—细碧岩群碰撞。在早—晚中新世, 逆冲岩楔逆冲在渐新世—中新世碳酸盐岩之上, 南海扩张到  $15.5 \text{ Ma}$  停止, 同时菲律宾板块加速运动。因而, 巴拉望—南沙海槽和北西苏禄海与南东苏禄海一起在中中新世到现代向西北逆冲。张光学<sup>[17]</sup> 提出早中新世以来南沙地块与西北加里曼丹—苏禄岛弧碰撞。中中新世澳大利亚与巽他—加里曼丹地块碰撞, 产生南沙海槽冲断带。周蒂、吴世敏等<sup>[6]</sup> 提出中始新世—早中新世古南海向南俯冲使南沙地块与加里曼丹碰撞, 产生南沙地块内的白垩

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(40576025)

**作者简介:** 张 翀(1981—), 女, 博士生, 从事构造地质研究, E-mail: happylazycat@163.com

**收稿日期:** 2006-07-26; **改回日期:** 2006-08-10. 张光威编辑

纪和古近纪的褶皱。沙巴—巴拉望早中新世末向北推覆,中中新世到现代澳洲北移,形成南沙海槽前陆盆地。晚中新世澳洲与帝汶碰撞使前陆盆地向北西冲断运动再现高峰。Fuller 等<sup>[18]</sup>研究南沙—沙捞越和加里曼丹的小侵入体古地磁特征提出,加里曼丹在 25~10 Ma 时逆时针旋转 50°。

南沙海域南部这些主要的沉积盆地都经历了拉伸、俯冲碰撞及走滑等各种演化阶段。在不同的构造演化阶段,各盆地具有不同盆地原型和沉积构造特征。换言之,各盆地尤其是主要盆地是不同原型盆地的复合叠置型盆地。以往关于南沙—巴拉望西北前陆盆地的性质和演化歧义的一个重要根源在于对盆地的分析分类都仅着眼于盆地属性的某一方面,或将盆地各发展阶段割裂来研究。因此,盆地的分类无法概括其全部的属性特点。另一方面,在分析南海南部边界—前陆盆地系统的演化时,将各前陆盆地的演化以及南部构造边界的演化割裂分别加以研究,没有从统一、演化的角度进行研究,这也造成了前陆盆地以及南部边界的性质和演化的分歧。

事实上,南沙地块南缘与加里曼丹—巴拉望地块之间经历了一个连续演化的过程。本文研究将南沙—巴拉望西北前陆盆地和南海南部构造边界作为一个构造演化的整体,对其构造特征加以分析,给出一个统一的动态的南沙地块南部构造边界—前陆地区演化模型。

## 1 南海南部构造边界的演化

区域构造上,南沙海区属于欧亚板块东南缘。作为一个新生代微板块,由于南沙地块南部边界的位置本身运动的复杂性,致使南部边界的划分及其时空演化尚未有统一的意见和系统的研究。目前主要存在以下 3 种南界划分方式:(1)把南沙海槽东南部陆架—陆坡边界作为南沙地块南部边界<sup>[11-12,19]</sup>;(2)将加里曼丹陆上的卢帕尔断裂带—拉美消减碰撞带的南界—克罗克碰撞造山带的东界作为南沙地块南部边界<sup>[4]</sup>;(3)将南部边界大致以廷贾走滑断裂及巴拉巴克断裂为界分成 3 段<sup>[7]</sup>:西南段称卢帕尔断裂,早期为一条晚白垩世—早中新世的俯冲带,古南海沿此带向西南俯冲,后期转为挤压褶皱带(西布带);中段为沙巴地区的克罗克碰撞造山带,原来深海相的沉积经碰撞造山后,变形强烈,在碰撞带的内侧形成一系列逆冲带;东北段以巴拉望岛北侧的断裂将南沙块体与巴拉望岛的混杂岩带分开<sup>[20-21]</sup>。本文采用了第 3 种划分方案。

南沙海区的南部边界为古南海向南俯冲形成的一条俯冲碰撞带。碰撞带上常形成的蛇绿岩、大洋火山弧、弧后边缘盆地、弧前盆地和海沟/增生杂岩等构造相,携带有丰富的构造演化信息。现就蛇绿—混杂岩及其对应的岩浆岩详述如下。

### 1.1 蛇绿—混杂岩

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和混杂岩中留下了踪迹<sup>[27]</sup>(图 1),形成了一条俯冲增生带,即为西北婆罗洲—巴拉望俯冲增生带。加里曼丹岛的北部是由数个蛇绿岩块体组成的,Hamilton(1979)<sup>[19]</sup>认为这些块体是白垩纪和古新近纪时的混杂岩带。卢帕尔—阿迪(Lupar-Audio)杂岩带从纳土纳群岛向东南延至沙捞越,并向东至沙巴的阿迪(Audio)缝合带,再向北东延到巴拉望杂岩带。该带的蛇绿岩套一直作为“古南海”存在的证据。至今在该带只发现晚侏罗世至早白垩世的放射虫燧石岩,未发现更老的化石。

加里曼丹岛中生代地层分布与卢帕尔缝合带有关。卢帕尔断裂自纳土纳群岛的东北侧向东延入加里曼丹,经卢帕尔河转为北东向,沿卡普阿斯河、伊兰山脉至佩农加。它是西布构造带和古晋构造带之间的俯冲缝合带,缝合于早渐新世<sup>[22-23]</sup>。以卢帕尔断裂为界,断裂以北为古南海的北地槽带。卢帕尔断裂附近有基性、超基性侵入体,为始新世晚期古南海壳向南的俯冲带<sup>[19-24]</sup>,也是古晋带和西布带的分界线。西布带的拉羌群(Rajiang)为一套由硬砂岩、凝灰岩、泥质板岩、杂砂岩、灰岩、放射虫硅质岩和海底基性、超基性喷发岩组成的蛇绿岩建造,厚度大于 15 000 m。有小型酸性侵入体,主要特点为岩层强烈褶皱、倒转并发生区域变质,但向海区变质程度减弱。Hutchison<sup>[25]</sup>发现拉羌群的 Barremian 燧石为晚白垩世,姚伯初等<sup>[26]</sup>认为拉羌群是古南海向加里曼丹—西南巴拉望地块俯冲式的沉积。拉羌群分为卢博安图(Lubok Antu)、卢帕尔(Lupar)以及贝拉加(Belaga)3 个组。卢博安图混杂岩带位于卢帕尔断裂以北,其中含燧石、玄武岩、辉长岩、蛇纹岩,以及砂页岩和灰岩岩块,燧石岩块含早白垩世放射虫,黑色泥质基质含早始新世超微化石。在卢博安图混杂岩分布区以北是卢帕尔组,为一套下白垩统浊积岩系,其中含有似整合的大型蛇绿岩体,称为帕空(Pakong)基性杂岩,主要由辉长岩和枕状玄武岩组成,缺少幔源橄榄岩。卢帕尔缝合线向东延伸,在卡普阿斯河上游出现卡普阿斯混杂岩,由燧石、超

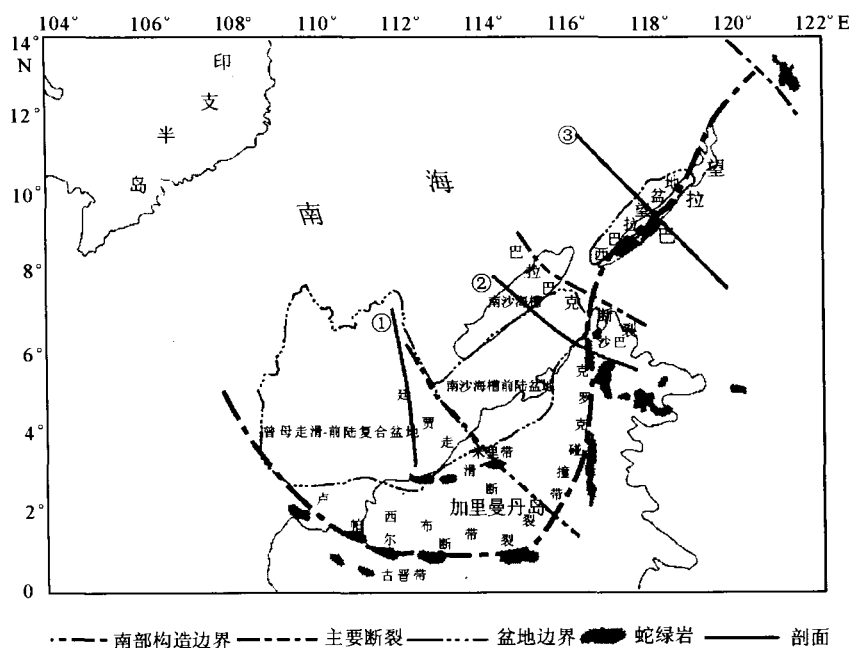


图 1 南海南部及邻区构造略图

Fig. 1 Structural map of southern South China Sea and its adjacent areas

基性岩和枕状熔岩的岩块组成,变形十分强烈。再向东约 100 km,在巴士克劳以北出现两个较小的蛇绿岩体;再往东约 200 km 在姆瓦腊古松附近见达璠组基性—超基性杂岩。

卢帕尔杂岩带向东在沙巴与阿迪(adio)缝合线会合,该带为一条近南北走向的狭窄基性—超基性岩带,长约 70 km,由绿片岩、构造岩和蛇纹石化的蛇绿岩组成<sup>[26]</sup>。沙巴俯冲增生带出露有侏罗系—中中新统蛇绿岩套,其岩性为深海铁镁质、超铁镁质岩和硅质岩—细碧岩、碎屑岩。其主要特点有基纳巴卢山花岗闪长岩(K-Ar 年龄为 10~12 Ma)<sup>[27-28]</sup>和喜马拉雅期的基性、超基性侵入岩,基性、超基性岩侵入于细碧岩和玄武岩中,并出现中等到强烈褶皱和浅变质到深变质作用。基纳巴卢断裂带的超基性岩包括纯橄榄岩、含薄层铬铁矿。沙巴的蛇绿岩岩石地球化学显示大洋洋底沉积物和大洋地壳(MORB 拉斑)以及岩石圈地幔特点<sup>[29]</sup>。

西布带向东北延伸与菲律宾的巴拉望俯冲增生带相连<sup>[30]</sup>。巴拉望俯冲增生带晚白垩世发生强烈活动,古近纪末再次活动。沿断裂带有蛇绿岩出露,蛇绿岩从下往上由层状的方辉橄榄岩、辉长岩、枕状玄武岩和细碧岩、红色放射虫燧石、泥质岩和微晶灰岩组成,形成一个完整的序列。其辉长岩经受绿片岩相和角闪岩相变质,形成条带状角闪—斜长片麻岩,厚 1~2 km,其角闪石的钾—氩年龄为(101±

15)和(140±20)Ma(早白垩世);燧石中的放射虫年代为晚白垩世或早白垩世巴雷姆—阿普特期<sup>[28]</sup>。巴拉望带燕山期岩浆岩以晚白垩世大规模的海底基性火山喷溢和基性、超基性岩浆侵入形成的蛇绿岩套为特征。在活动带中由顶部的细碧岩、硅质岩,中部的基性岩,下部的枕状细碧岩组成,并有基性、超基性岩侵入,为一系列的辉长—辉绿岩岩脉、闪石—榴辉岩岩墙和橄榄岩岩床。南巴拉望块体被蛇绿岩占据,蛇绿岩逆冲到 Panas 组的长英质浊积岩之上产生了多种浅变质岩<sup>[25]</sup>。

## 1.2 新生代岩浆岩

加里曼丹出露有大量的新生代岩浆岩,它们分布于古晋构造带和西布构造带内,呈弧形展布<sup>[31-32]</sup>,弧形构造均向南和西南凸出<sup>[25]</sup>。在时间上,新生代岩浆活动由东向西、由北向南有减弱的趋势。Soeria-Atmadja 等<sup>[31]</sup>对该岩浆弧内 Basang、Kelian、Muyup、Mt. Muro、Masuparia、Muara Wahau 和 Sintang 等主要岩浆岩发育地区的岩浆岩及其年龄资料,对一些样品进行常量元素和微量元素含量分析,利用  $\omega(\text{K}_2\text{O})-\omega(\text{SiO}_2)$  图解和原始地幔标准化蛛网图判定了不同时代岩浆岩的性质及产出的大地构造环境(表 1)。从表 1 中可以看出,加里曼丹新生代岩浆活动以钙碱性为主,大都与俯冲作用相关。一些学者<sup>[33]</sup>认为,始新世—中中新世的钙碱性岩浆活动与古南海的南向俯冲有关。

### 1.3 南部边界的演化

由上述可以看出,南沙海区及其邻区的燕山期基性—超基性岩浆岩主要分布在加里曼丹岛北部、巴拉望岛以及民都洛岛,常与燧石岩和深海沉积共生而构成蛇绿岩,有时在混杂岩中呈岩块出现,代表因构造变动而逆冲上来的古洋壳碎片,指示古会聚带的存在,呈弧形展布的新生代岩浆岩也暗示了大洋俯冲带存在。

南沙地块的演化与古南海的消亡与现今南海的扩张息息相关。虽然古南海的构造属性及其俯冲消亡的原因,现在还不是很清楚,但越来越多的证据已证实了古南海的存在。我们认为,南沙地块南部边缘与加里曼丹—巴拉望块体之间经历了一个连续的演化过程,即随着古南海的向南俯冲消亡,原本为古南海所隔的南沙地块与加里曼丹—巴拉望地块碰撞拼贴,形成了西北婆罗洲—巴拉望俯冲增生带。具体体现为:晚始新世时,古南海洋壳向西北婆罗洲俯冲消减<sup>[19,24,34-39]</sup>,南沙块体向南推移与加里曼丹碰撞,古南海西段消亡,形成卢帕尔增生杂岩带。始新世时期结束的消减作用形成西布构造带。始新世时期古南海消减形成西布构造带后,中新世古南海的消减作用向北、向东转移至沙巴地区,形成沙巴俯冲增生带。它以廷贾右行走滑断裂与西布带为界。古南海的消减作用继续向北、向东转移,南沙地块继续

向南漂移,到中中新世,南沙地块(礼乐滩)与巴拉望岛发生碰撞,沿巴拉望岛北侧产生一个挤压带,形成巴拉望俯冲增生带。由此,南沙海区南部构造边界基本成形。古南海对加里曼丹向南的俯冲碰撞,是自西向东递进的,从加里曼丹岛北部—巴拉望岛的俯冲碰撞带形成时间来看,是自西南往东北逐渐变新的,为晚始新世—早中新世—中中新世。另外,南沙海域南部婆罗洲—巴拉望陆架存在西宽东窄的现象,由西部的 100 km 向东变窄为 40 km<sup>[39]</sup>。对应上面叙述的 3 段俯冲碰撞作用,分别在该带的北侧形成南沙南部前陆盆地地区,即曾母前陆盆地、南沙海槽前陆盆地和西巴拉望前陆盆地(图 1)。

## 2 南海南部前陆盆地的形成与演化

南沙海域新生代发育着一系列的前陆盆地。该沉降区雏形主要由于古南海的南向俯冲,南沙地块与加里曼丹—西南巴拉望地块碰撞而形成,这些盆地主体呈现前陆盆地的特点<sup>[4]</sup>。廷贾走滑断裂及巴拉巴克断裂将该前陆盆地区分成曾母走滑—前陆复合型盆地、南沙海槽前陆盆地和西巴拉望前陆盆地(图 1),由于后期的叠加和改造又各具特色,现分述如下,前陆盆地区区域背景及综合地层对比列于表 2。

表 1 加里曼丹新生代岩浆岩及其大地构造环境(据 Soeria-Atmadja 等,1999)

Table 1 Cenozoic magmatite and tectonic setting of Kalimantan

年代	岩浆作用		岩浆岩分布
上新世—更新世	板内	拉斑玄武岩系列	Busang;玄武岩岩体和岩脉;Kelian 和 Mt. Muro;高原玄武岩;Masuparia;橄榄玄武岩溢流;Sintang;玄武岩;Usun Apar;玄武岩溢流;Linau—Balui;玄武岩
晚中新世—更新世	与俯冲有关	钙碱性,有些富镁	Dent 和 Semporna 半岛;熔岩流、凝灰岩和玄武岩;上 Tarakan 盆地;安山岩、玄武岩和凝灰岩;苏禄山脉;安山岩、玄武质熔岩流和火山碎屑岩系列
中中新世—上新世	与俯冲有关	高钾钙碱性	Usun Apau;英安岩、熔结凝灰岩;Kinabalu;花岗质侵入岩;Mt. Hose;英安质凝灰岩和熔岩;Linau—Balui;英安岩、安山岩和玄武岩高原;Cagayan ridge;玄武岩和闪长玢岩
晚渐新世—中新世	与俯冲有关	钙碱性	Busang;酸性凝灰岩(安山岩、英安岩和流纹岩);Masuparia;花岗质侵入岩、安山质—英安岩质火山碎屑岩和熔岩流;Mt. Muro;安山岩和玄武安山质熔结角砾岩和凝灰岩;Kelian 和 Muyup;安山岩岩株、岩脉;Muara Wahau;安山质熔岩流和火山碎屑凝灰岩(英安岩)、英安岩脉;Sintang;玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩
始新世—早渐新世	与俯冲有关	钙碱性	Singkawang;英安岩;Mandai;英安岩;Piyabung;火山碎屑凝灰岩和角砾岩;Kelian;硅质火山碎屑岩(流纹岩);Nyaan;集块岩、熔结凝灰岩和英安岩

表 2 南海南部前陆盆地背景及综合地层对比

Table 2 Regional background and stratigraphic correlation of foreland basins in southern South China Sea

时 代			曾母盆地		文莱—沙巴盆地		西巴拉望盆地		
			地层	岩 性	地层	岩 性	地层	岩 性	
第四纪(Q)			北康组	开阔海、海岸平原相砂泥岩互层	第四系	滨海平原半深海相砂岩、粉砂岩和黏土，夹灰岩	卡卡组	浅海相礁灰岩和生物砂屑灰岩，夹泥岩	
新近纪(N)	上新世(P)	晚(P2)			利昂组	河口粗粉砂岩，河流相砂岩粉砂岩，夹煤层			
	早(P1)								
	中新世(M)	晚(M3)	T1	南康组	滨、浅海相礁灰岩	贝莱特组	泛滥平原和港湾相砂岩、粉砂岩	里克斯组	浅海相砾岩与砂岩互层，灰褐色灰岩、燧石层和页岩
		中(M2)	T2	海宁组	滨海相、海陆交互相页岩夹灰岩，礁灰岩	塞塔普组	海陆交互相页岩，夹细砂岩	帕瑞瓜组	
		早(M1)						卡蒙加组	半深海—深海相厚层页岩和泥岩，夹粉砂岩与砂岩互层
	古近纪(Pg)	渐新世(O)	晚(O2)	曾母组	河流及港湾河道相砂岩夹泥岩和煤层，海相页岩与灰岩互层（磨拉石建造）	移卢组或克罗克组	三角洲平原——深水页岩地层或浅海-深海浊积岩系（已变质）	克罗克组	浅海—深海相浊积岩系（复理石建造）
早(O1)									
始新世(E)		Tg							
古新世		拉羌群	浅海—深海相浊积增生楔（已变质）						
晚白垩世			丹脑组	蛇绿岩建造	构造混杂的碎屑沉积，含有蛇绿岩			变质浊积岩系	
大地构造位置			卢帕尔断裂带北侧、俯冲板块之上		俯冲板块之上，克罗克碰撞造山带北侧		巴拉望岛北侧断裂附近，近洋盆边界		
碰撞时间			晚始新世末—渐新世		渐新世—早中新世		中中新世		
构造环境			挤压聚敛		挤压聚敛		挤压聚敛		
形成机制			陆陆碰撞，洋壳消亡		陆陆碰撞，洋壳消亡		陆陆碰撞，岩石圈挠曲变形		

## 2.1 曾母盆地

曾母盆地是我国南海最南端的一个大型新生代沉积盆地, 面积 168 712 km<sup>2</sup>, 属我国传统疆界线以内的海域面积为 127 208 km<sup>2</sup>。曾母盆地在构造位置上应归属前陆盆地, 无论构造上还是在沉积上都具有明显的不对称性(图 2①)。

在构造特征方面, 曾母盆地具有明显的南挤北张的特征。盆地受控于南沙地块与婆罗洲地块的碰撞和盆地两侧的卢帕尔断裂与廷贾走滑断裂的综合作用, 构造活动以断裂为主, 并伴有局部褶皱。在盆地南侧发生挤压、褶皱、逆冲, 形成造山褶皱带; 盆地的北部基底则向上抬升形成箕状构造, 正断层发育, 构造较简单<sup>[12]</sup>。中构造层的变形与变质程度也是南强北弱。由于南侧陆块在中新世后持续向北逆

冲, 沉积中心不断向北迁移<sup>[39-40]</sup>。

在沉积特征上, 中央加里曼丹造山带为盆地的主要物源区, 盆地南部以不断向北推进的三角洲沉积组合为主<sup>[40]</sup>。盆地中部及北部的半地堑早期接受来自邻近断隆的碎屑充填; 中期以海侵超覆披盖沉积及生物礁碳酸盐沉积为主; 晚期三角洲沉积体系向盆地中部扩展<sup>[4, 40]</sup>。从晚始新世末或早渐新世开始到第四纪, 曾母盆地沉积了巨厚的新生代沉积物。晚始新世末—渐新始是盆地的断拗期, 最大沉积厚度可达 5 000 m, 以河流相砂岩夹泥岩为主, 地层大部分已褶皱变形, 与上覆地层及其基底均呈角度不整合; 中新世为盆地拗陷阶段, 以海相及滨海—浅海相沉积为特征, 与下伏地层呈角度不整合接触, 与上覆地层呈顶超接触关系; 上新世—第四纪为一套披覆型沉积体系, 沉积了浅海半深海相沉积<sup>[41-42]</sup>。



## 2.2 南沙海槽前陆盆地

南沙海槽前陆盆地的形成是由西南往东北,经过多期推覆构造作用逐渐演化而成的,其范围包括文莱—沙巴盆地和现在的南沙海槽盆地<sup>[7]</sup>。

文莱—沙巴盆地是南沙地块向加里曼丹地块俯冲所形成的前陆盆地,面积约  $9.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,西南以廷贾断裂与曾母盆地相隔,盆地东北端一直延伸到巴拉巴克断裂。盆地西部(文莱区)的基底为已经褶皱变形的晚渐新世—早中新世梅利甘组—麦粒瑞组—坦布龙组的三角洲平原—深水页岩地层,盆地东部(沙巴区)的基底为褶皱的晚始新世—早中新世克罗克组深海复理石。沉积盖层为早中新世或中中新世—第四纪地层,其沉积环境从南向北呈北西向由靠近物源区的海岸平原,逐渐过渡为浅海环境至开阔海环境,以海退为主;纵向上表现为后期的较粗沉积物依次叠置在前期较细沉积物之上<sup>[5,41]</sup>。在地质构造上,西部主要以近东西向—北东向生长断层为主,并发育与之相伴生的滚动背斜、挤压背斜;东部以北东向断层为主,断层多具有走滑性质,并发育扭动构造、泥刺穿构造及背斜<sup>[42]</sup>。

南沙海槽盆地呈北东向延伸,盆地水深 2 000~2 800 m,巴拉巴克海峡以西海槽水深可达 3 475 m。据 Hamilton(1979)和 Hinz(1985)提供的地震反射测量剖面,南沙海槽为一俯冲海沟,沟底向东南插入巴拉望和西北婆罗洲之下,被埋没的海沟底由晚白垩世—古新世的老洋壳组成。在老洋壳基底之上,沉积了始新世至现代厚约 2 000~6 000 m 的海相沉积<sup>[43]</sup>。南沙海槽盆地沉积、构造上具有明显的不对称性(图 2②),盆地东南侧挤压、褶皱明显,边缘逆冲断层发育;西北侧正断层发育,并向上抬升,沉积变浅<sup>[1,40]</sup>。在上构造层的沉积特征方面,盆地南部为快速堆积并持续向北推进的三角洲相碎屑沉积;中、北部则以浅海台地—生物礁碳酸盐沉积或深海浊流沉积为主,中新世以后出现非补偿性的沉积环境,部分地段接受远海悬浮泥质沉积<sup>[39]</sup>。

## 2.3 西巴拉望盆地

西巴拉望盆地位于北巴拉望盆地南部、乌鲁根断裂西南侧。其西界是南沙海槽,东界是巴拉望岛,南界为邦吉—巴拉巴克断层。盆地内断层以北东向为主,北西向断层少量,并发育地垒、地堑和断背斜构造(图 2③)。

西巴拉望盆地的地层<sup>[23,43-44]</sup>自下而上为:(1)克罗克组的中始新世—中中新世早期复理石建造和构

造混杂的晚白垩世—早始新世的碎屑沉积夹早白垩世蛇绿岩。早始新世主要为浅海相细砂岩、粉砂岩,夹页岩、泥岩。渐新世—早中新世主要为开阔浅水陆架灰岩、泥质砂岩和泥岩,局部为珊瑚和红藻礁灰岩。早中新世为可塑性页岩夹坍塌砾岩。早中新世—中中新世为深—半深海相厚层页岩和泥岩,夹粉砂岩与砂岩互层。(2)中中新世—晚中新世为浅海相砾岩与砂岩互层、灰褐色灰岩、燧石层和页岩,与下伏地层呈不整合接触。(3)上新世、更新世的现代沉积主要由浅水灰岩组成,局部为钙屑灰岩,孔隙发育。

## 2.4 前陆盆地系统的演化

古南海消亡过程中,南沙块体与加里曼丹—巴拉望块体碰撞造山,在山前形成一系列前陆盆地。从各前陆盆地的形成时间来看,是自西南往东北变新,逐渐由晚始新世末—早中新世—中中新世,与南边的俯冲碰撞带形成时间相对应。具体体现为:晚始新世末期—渐新世,古南海往南俯冲消减过程中,南沙块体与加里曼丹块体碰撞。期间古洋盆消失,在俯冲带上形成增生楔(拉羌群)。在其构造负荷作用下,俯冲增生带以北发生挠曲沉降,在山前形成曾母前陆盆地。后期受走滑拉张影响而形成一个走滑—前陆复合型盆地。渐新世—早中新世的文莱—沙巴盆地与同时期的曾母盆地的形成机制相同,即随着南沙地块与加里曼丹岛的俯冲碰撞,加里曼丹岛东部与拉羌群同时代的克罗克组发生褶皱变质,并仰冲于俯冲板块之上,西部文莱区先与加里曼丹岛缝合,形成前陆盆地;而东部则仍属古南海范畴,发育残留洋盆沉积。早中新世末,南沙地块开始自西向东沿现今的南沙海槽方向与加里曼丹北部地区的沙巴发生碰撞缝合,沙巴地区的克罗克组普遍发生褶皱变质并以叠瓦状仰冲于南沙地块之上,形成叠瓦式推覆体,并在其北侧形成南沙海槽前陆盆地<sup>[13,45]</sup>。前陆盆地范围逐渐向北东扩展,而残留洋盆则逐渐向北东收缩。受现今南海扩张的影响,古南海濒临消失,南沙地块继续向南漂移,到中中新世,南沙地块(礼乐滩)与巴拉望岛碰撞,沿巴拉望岛北侧发生大规模的 NW 向推覆,推覆的前缘向南沙地块变新,部分卷入第四纪沉积,产生一系列的推覆逆冲褶皱。在推覆体的巨大荷载作用下,在巴拉望西南发育了上新世—第四纪的西巴拉望前陆盆地,南沙地块构造格局基本奠定。

### 3 结论

南沙地块的演化与古南海的演变息息相关,南沙地块南缘与加里曼丹—巴拉望地块之间经历了一个连续演化的过程,具体演化模型如下:

(1)始新世时,古南海加速往南俯冲消减,自西段开始消亡,形成卢帕尔增生带,始新世时期结束的消减作用,形成西布断褶带。晚始新世—渐新世,南沙块体首先与加里曼丹地块碰撞,形成曾母前陆盆地。

(2)中新世古南海的消减作用向北、向东转移至沙巴地区,形成沙巴断褶带,南沙地块继续向南漂移。渐新世—一早中新世,随着南沙地块与加里曼丹岛的俯冲碰撞,西部文莱区先与加里曼丹岛缝合,形成前陆盆地,中中新世以来,南沙地块开始自西向东沿现今的南沙海槽方向与加里曼丹北部地区的沙巴发生碰撞缝合,在其北侧形成南沙海槽前陆盆地。

(3)古南海的消减作用继续向北、向东转移,南沙地块继续向南漂移,到中中新世,南沙地块(礼乐滩)与巴拉望岛发生碰撞,沿巴拉望岛北侧产生一个挤压带,形成巴拉望断褶带。在巴拉望西南发育西巴拉望前陆盆地。至此,南沙地块构造格局基本奠定。

**致谢:**在成文过程中,刘海龄研究员提出许多宝贵意见,对此深表谢意。

#### 参考文献 (References)

- [1] 杜德莉,曾维军,吴能友. 南海及邻域中、新生代盆地类型与油气资源关系探讨[J]. 地质评论, 1998, 44(6): 580-589. [DU De-li, ZENG Wei-jun, WU Neng-you. Type and hydrocarbon potentials of Meso-Cenozoic basins in the South China Sea and its surrounding areas[J]. Geological Review, 1998, 44(6): 580-589.]
- [2] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京:地质出版社, 1989. [JIN Qing-huan. Geology and Oil-Gas Resources of South China Sea[M]. Beijing Geological Publishing House, 1989.]
- [3] 金庆焕,李唐根. 南沙海域区域地质构造[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 1-8. [JIN Qing-huan, LI Tang-gen. Regional geologic tectonics of the Nansha Sea area[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(1): 1-8.]
- [4] 夏骥源. 南沙群岛及其邻近海区地质地球物理与油气资源[M]. 北京:科学出版社, 1996. [XIA Kan-yuan. Geology, Geophysics and Oil-gas Resources in Nansha Isle and its Neighboring Sea Areas[M]. Beijing: Science Press, 1996.]
- [5] 姚伯初,万玲. 南海南部海域新生代万安运动的构造意义及其油气资源效应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 69-77. [YAO Bo-chu, WAN Ling. Tectonic significance and its petroleum effect of the Wan'an tectonic movement in the south of the South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004, 24(1): 69-77.]
- [6] 周蒂,吴世敏. 南沙海区构造演化及其动力学研究报告[R]. 2000. [ZHOU Di, WU Shi-min. Structural evolution and dynamics research report of Nansha Sea Zone[R]. 2000.]
- [7] 吴世敏,周蒂,刘海龄. 南沙地块构造格局及其演化特征[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(1): 23-28. [WU Shi-min, ZHOU Di, LIU Hai-ling. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha Block, South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(1): 23-28.]
- [8] Hamilton W. Tectonics of the Indonesian region[J]. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1977.
- [9] Ludeig W J, Kumar N, Houtz R E. Profliter Sono-buoy measurement in the South China Sea basin[J]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84: 3 505-3 518.
- [10] Tayler B, Hays D E. The tectonics evolution of the South China Sea basin[C]//The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, eds. D. E. Hayes, American Geophysical Union, Geophysical Monograph, 1980, 23, 89-104.
- [11] Tayler B, Hays D E. Origin and history of South China Sea Basin[C]//The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, American Geophysical Union, Geophysical monograph, Washington DC, 1983, 27: 23-56.
- [12] Holloway N H. The north Palawan block, Philippines; Its relation to the Asian mainland and its role in the evolution of the South China Sea[J]. Geological Society Malaysia Bulletin, 1982, 66(9): 1 355-1 383.
- [13] Hinz K J, Fritsch E H, Kenpiten A, et al. Thrust tectonics along the north-western continental margin of Sabah/Borneo, Geologische Rundschau[J]. 1989, 73(3): 703-730.
- [14] 郭依辉,黄映. 南沙海域东南部地形地貌特征[C]//南沙海域东南部地质地球物理综合研究专辑. 武汉:中国地质大学出版社, 1996: 26-39. [GUO Yi-hui, HUANG Ying. Geomorphic and topographic features of Southeastern Nansha Sea Area[C]//Geological and Geophysical integrated studies of Southeastern Nansha Sea Area. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 26-39.]
- [15] Pin Yan, Hailing Liu. Tectonic-stratigraphic division and blind fold structures in Nansha Waters, South China Sea [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, (24): 337-348
- [16] Schl ter H U, Hinz K, Block M. Tectono-stratigraphic terranes and detachment faulting of the South China Sea and Sulu Sea[J]. Marine Geology, 1996, 130: 39-78.
- [17] 张光学. 南沙海槽东南缘逆掩推覆构造研究[C]//南沙海域东南部地质地球物理综合研究专辑. 武汉:中国地质大学出版社, 1996: 66-75. [ZHANG Guang-xue. Thrusting-nappe Structural Researches in Southeast Margin of Nansha Trough [C]//Geological and Geophysical integrated studies of Southeastern Nansha Sea Area. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 66-75.]

- [18] Fuller Mike, Jason R Ali, Steve J Moss, et al. Paleomagnetism of Borneo[J]. Journal of Earth Sciences, 1999, 17: 3-24.
- [19] Hamilton W. Tectonics of the Indonesian region[R]. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1979.
- [20] Katili J A. Geology of Southeast Asia with particular reference to the South China Sea[J]. Energy, 1981, 6(11): 1 077-1 091.
- [21] Hutchison C S. Stratigraphic-tectonic model for Eastern Borneo[J]. Geol. Soc. Malaysia Bull, 1988, 22: 135-151.
- [22] 刘海龄. 南沙西部海域伸缩型右旋走滑双重构造系统及其动力学过程[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(3): 11-17. [LIU Hai-ling. On an extension-contraction-type dextral strike-slip duplex system in western Nansha waters, South China Sea and its dynamic process[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1999, 19(3): 11-17.]
- [23] 刘海龄. 南沙超壳层块边界断裂的运动学与动力学特征[J]. 热带海洋学报, 1999, 18(4): 8-16. [LIU Hai-ling. On dynamic process and kinematic characteristics of boundary faults of Nansha Transcrustal Layering Block[J]. Tropic Oceanology, 1999, 18(4): 8-16.]
- [24] Hamilton W. Map of sedimentary basins of the Indonesian region[G]. U. S. Geol. Survey Map, 1973; I-875-B
- [25] Hutchison C S. The Rajang accretionary prism and Lupar Line problem of Borneo[C]//Tectonic Evolution of Southeast Asia, London: The Geological Society, 1996: 247-262.
- [26] 姚伯初. 南海海槽的构造特征及其构造演化史[C]//南海地质研究[八]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 1-13. [YAO Bo-chu. Structural features of Nansha Trough and its Tectonic Evolution[C]//Geological research of South China Sea (Memoir 8). Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 1-13.]
- [27] 周 蒂, 吴世敏, 陈汉宗. 南海海区及邻区构造演化动力学的若干问题[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 339-345. [ZHOU Di, WU Shi-min, CHEN Han-zong. Some remarks on the tectonic evolution of Nansha and its adjacent regions in Southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 339-345.]
- [28] 周 蒂, 刘海龄, 陈汉宗. 南海海区及其周缘中-新生代岩浆活动及构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 354-363 [ZHOU Di, LIU Hai-ling, CHEN Han-zong. mesozoic-Cenozoic magmatism in Southern South China Sea and its surrounding areas and its implications to tectonics[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 354-363.]
- [29] Omang S, Barber A. Origin and tectonic significance of the metamorphic rocks associated with the Darvel bay ophiolite, Sabah, Malaysia[C]//Tectonic Evolution of Southeast Asia, Spec. Publ. Geol. Soc. Lon, 1996: 106, 263-279.
- [30] 张文佑. 中国及邻区海陆大地构造[M]. 北京: 科学出版社, 1986. [ZHANG Wen-you. Oceanic and Continental Geotectonic Geology of China and Its Neighbouring Areas[M]. Beijing: Science Press, 1986.]
- [31] Soeria-Atmadja R, Noeradi D, Priadi B. Cenozoic magmatism in Kalimantan and its geodynamic evolution[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1999, 17: 25-45.
- [32] Carlile J C, Mitchell A H G. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia (Special Issue) [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1994, 50: 91-142.
- [33] 丁清峰, 孙丰月, 李碧乐. 东南亚北加里曼丹新生代碰撞造山带演化与成矿[J]. 吉林大学学报地球科学版, 2004, 34(2): 193-200. [DING Qing-feng, SUN Feng-yue, LI Bi-le. Evolution of Cenozoic collision orogen of north Kalimantan and its metallogenesis[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(2): 193-200.]
- [34] Daines S R. Structural History of the West Natuna Basin and the Tectonic Evolution of the Sunda Region[M]. Proceedings 14<sup>th</sup> Annual Convention, Indonesian Petroleum Association, 1985: 39-65.
- [35] 丘元禧, 张伯友. 华南古特提斯东延问题的探讨[J]. 中国区域地质, 2000, 19(2): 175-180. [QIU Yuan-xi, ZHANG Bo-you. On eastern extension of the paleo-Tethys in South China. Regional Geology of China[J]. Regional Geology of China, 2000, 19(2): 175-180.]
- [36] 徐志成, 沈政威. 东亚构造与资源研究[M]. 北京: 地质出版社, 1985. [XU Zhi-cheng, SHEN Zheng-wei (translation). Structures and Resources of East Asia [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.]
- [37] Almasco J N, Rodolfo K, Fuller M, et al. Paleomagnetism of Palawan, Philippines[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 369-389.
- [38] 阎 贫, 刘海龄. 南海及其周缘中新生代火山活动时空特征与南海的形成模式[J]. 热带海洋学报. 2005, 24(2): 33-41. [YAN Pin, LIU Hai-ling. Temporal and spatial distributions of Meso-Cenozoic igneous rocks over South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(2): 33-41.]
- [39] 龚 铭, 李唐根, 吴亚军, 等. 南海海域构造特征与盆地演化[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2001 [GONG Ming, LI Tang-gen, WU Ya-jun, et al. Structural Features and Basin Evolution in Nansha Sea Area[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2001.]
- [40] 刘昭蜀, 赵焕庭. 南海地质[M]. 北京: 科学出版社, 2002. [LIU Zhao-shu, ZHAO Huan-ting. Geology of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2002.]
- [41] 钟广见, 王嘹亮. 南海西南部新生代盆地类型及演化历史[J]. 海洋湖沼通报, 1996(2): 24-34. [ZHONG Guang-jian, WANG Liao-liang. The types of Cenozoic Basins in the Southwest of South China Sea and their evolution[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1996(2): 24-34.]
- [42] 刘振湖. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿, 2005, 29(3): 410-417. [LIU Zhen-hu. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in Southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 410-417.]
- [43] 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室. 南海地质构造与陆缘扩张[M]. 北京: 科学出版社, 1988. [Laboratory of Oceanic Geologic Structure, South China Sea Institute of

- Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Geologic Structure and epicontinental expansion of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1988.]
- [44] Houtz R E, Hayes D E. Seismic refraction data from Sunda Shelf[J]. AAPG Bull, 1984, 68(12): 1 870-1 878.
- [45] Hinz K, Schluter H U. Geology of the Dangerous Grounds, South China Sea, and continental margin off southwest Palawan; result of SONNE cruises SO23 and SO27[J]. Energy, 1985, 10(3-4): 279-315.
- [46] Letouzey J, Sage L. Geological and Structural map of Eastern Asia[M]. AAPG Bookstore. American Association of Petroleum Geologist, 1988.

## FORMATION OF FORELAND BASINS IN THE SOUTH OF THE SOUTH CHINA SEA

ZHANG Chong, WU Shi-min, QIU Xue-lin

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

**Abstract:** The south margin of Nansha microblock and Kalimantan-Palawan block was taken as a whole to discuss its structural evolution during Cenozoic. Through describing the distributions and lithologic characters of ophiolite-melange and magmatic rocks along southern structural boundary of the South China Sea, and analyzing the structural-sedimentary characters of foreland basins in the south of the South China Sea, we found that the forming of those foreland basins was gradually from southwest to northeast, and it started in late Eocene in the southwest and in middle Miocene in the northeast, corresponding to the forming of subduction zone along the south margin. We suggested that in Tertiary the south margin of Nansha microblock and Kalimantan-Palawan block experienced a successive evolving process which was closely linked with the die-out of proto-South China Sea.

**Key words:** foreland basin; ophiolite; proto-South China Sea