

doi:10.3799/dqkx.2011.089

南沙中部海域沉积地层特征及其构造成因

吴朝华^{1,2}, 赵美松^{1,2}, 刘海龄^{2*}

1. 中国科学院研究生院, 北京 100049

2. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东广州 510301

摘要: 为了深入了解南沙中部海域的沉积特征及构造演化过程, 选取了该区具代表性的 02N02 测线对其进行详细的构造和地层解释。发现研究区南部存在一整套厚度较大的中生代甚至更老的地层, 该地层普遍发生了强烈的褶皱作用, 褶皱翼部存在一系列 NE-NEE 向断裂, 控制沉积明显, 背斜顶部多被剥蚀, 翼部为充填沉积。新生代地层 T_g (中始新世) 到 T_{40} (中中新世) 界面之间, 为裂谷充填和披覆沉积, 层内控制沉积的断裂普遍发育, 而 T_{40} 界面之上为平整的盖层沉积, 断裂作用极少, 地层厚度变化不大。结合以上特征对比区内与 02N02 测线相交的 87N4 测线、临近的 90N9 等测线, 以及横穿该区的 94N2 测线, 分析了南沙中部海域中、新生代地层的构造成因, 并进一步探讨了其中、新生代地层的演化过程。

关键词: 南沙中部海域; 构造特征; 构造演化; 沉积学; 披覆沉积; 中—新生代; 海洋地质。

中图分类号: P736.1

文章编号: 1000-2383(2011)05-0853-08

收稿日期: 2011-04-18

Characteristics of Sedimentary Strata in Central Nansha Sea Area and Its Tectonic Origin

WU Chao-hua^{1,2}, ZHAO Mei-song^{1,2}, LIU Hai-ling^{2*}

1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

2. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China

Abstract: To further understand the characteristics and tectonic evolution of sedimentary in the central waters of the Nansha, we select typical survey line 02N02 in this area and present detailed interpretation of its structure and stratigraphy. It finds that there is a set of thick Mesozoic or even older strata in the area, especially in the southern area, which generally has strong folding, and there is a series of NE-NEE-trending faults controlling the deposition obviously in the wings of folds. Anticline has been eroded at the top, deposited in the wings. The filling and coating deposition between Cenozoic T_g (the top of Middle Eocene) and T_{40} (the bottom of Middle Miocene) interface in rift valleys were controlled by faults, and the formation of cap rock above T_{40} with little change in stratigraphic thickness were less controlled by faults. Combining these features above and comparing the line 87N4 intersecting with line 02N02 and the line 90N9 nearby the line 02N02 to the east, and the line 94N2 crossing this area, we analyze the Mesozoic and Cenozoic tectonic origin of the central Nansha Sea area, and further discuss its evolution.

Key words: central Nansha Sea area; structural features; tectonic evolution; sedimentology; filling deposits; Meso-Cenozoic; marine geology.

位于欧亚、印度—澳大利亚、太平洋 3 大板块的交汇处的南海, 是东特提斯多岛洋体系的重要组成部分(刘海龄等, 2004b), 已成为地学界研究的重点地区之一。而地处南海南部的南沙地块, 是一个具有中生代海相地层和岩浆岩及变质岩基底的新生代微板块, 它不仅与南海及该地区多个大型板缘含油气

盆地(万安盆地、南沙海槽盆地等)的形成密切相关, 而且其内部发育有众多的板内盆地(南薇西盆地, 北康盆地等)(刘海龄等, 2004a)。此外, 研究南沙地块在中生代与华南大陆发生的缝合及随后在新生代发生的裂离过程将有助于人们更深入地了解南海及邻近海区的构造演化过程。

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40976029); 国家重点基础研究“973”发展计划(Nos. 2009CB2194, 2007CB411700)。

作者简介: 吴朝华(1985—), 男, 硕士研究生, 主攻南海区域大地构造及油气地质研究。E-mail: wu_chao_hua@126.com。

* 通讯作者: 刘海龄, E-mail: liuh82@126.com

前人对南沙地块开展过不少调查工作,也对本地区的构造特征做了一些研究,这些研究包括:南沙海域新生代的构造区划(金庆焕和李唐根,2000);新生代的构造运动和演化(姚永坚等,2002);南部海区前陆盆地的形成与演化(张翀等,2007). Yan and Liu(2004)对南沙海域的构造—地层划分和隐伏褶皱构造作过初步的分析;Liu *et al.* (2011)对整个南海的前新生代基底进行了构造分区等. 但对南沙地块的构造成因及其演化史还缺少系统的认识,大多停留在对该海域构造特征的宏观描述上,对地处南沙腹地的南薇—安渡断块更是缺乏细致的构造解释和构造成因分析. 解决这些问题将有助于进一步认识南海地区的大地构造演化及研究区内中、新生代盆地的油气勘探工作. 本文利用中科院南沙综合科学考察队 20 多年来在南沙地区所获得的重要地球物理资料,重点选择了中部地区较具代表性的 02N02 测线的地震资料进行了地质解释,并与该线东侧的 90N9 测线、94N5 测线和横穿该区的 94N2 测线进行了对比分析,同时结合围区中、新生代地震、钻井和拖网资料,对南薇—安渡断块中、新生代的构造地层特征进行了系统分析,进而探讨了研究区中生代以来的构造成因及演化过程.

1 区域地质背景

研究区位于南海西南大陆坡之上,海底较平坦,水深约 1 500~2 000 m,全区被珊瑚礁覆盖,至今仍未发现任何其它露头出露(Hutchison and Vijayan, 2010). 沿着 02N02 测线由西北往东南,西北部的南薇西盆地与西面的万安盆地相邻,二者交界处附近

为李准滩等组成的隆起带,该带海水等深线密集,坡度较陡. 测线中部地区为南薇西盆地和北康盆地的沉积拗陷区,海底平整,水深变化不大. 往东南,在南沙海槽边界处海底再次隆起,该隆起带往北东方向的等深线大致可延伸到南沙中部海域,而最南端为位于南沙海域与婆罗洲交界处的南沙海槽,总体上呈现 3 坳夹 2 隆的构造格局(图 1).

大地构造演化方面,南薇—安渡断块位于南沙中部海域,随着三叠世发生的印支运动,华南和印支地块碰撞缝合,南沙地块也与华南地块缝合,成为华南大陆的一部分(夏戡原等,2004). 中生代期间,本区发育过 T_3-J_1 、 J_3-K_1 这 2 个时期的海盆,海水较深,即具有两次海进海退的沉积旋回(周蒂等,2005). 中生代晚期,随着太平洋板块向西北聚合,华南地区形成了以花岗岩和流纹岩为主的燕山期火山岩带(Yan *et al.*, 2006). 白垩纪以后地块曾一度长期隆起,遭受剥蚀(刘海龄等,2007). 晚渐新世到中中新世期间,随南沙地块漂离华南大陆并在婆罗洲北部发生俯冲,而俯冲消减的正是中、新生代期间存在于南沙地块东南的古南海(Taylor and Hayes, 1983). 伴随着白垩纪末—第三纪早期的地壳拉伸、裂隙,该区形成了以南薇西盆地和北康盆地为代表的新生代沉积盆地,经历了中生代末期以来的礼乐运动(发生在晚白垩世末的一次张性构造运动,产生了一系列的 NE-NNE 向张性断裂)、西卫运动(发生在中、晚始新世之间的一次构造运动,主要造成区域抬升)、南海运动(发生于早、晚渐新世之间,表现为与南海中央海盆扩张有关的一次破裂不整合面)和南沙运动(发生于中、晚中新世之间的构造运动,构造应力由张应力转变为以挤压为主的压应力)4 次

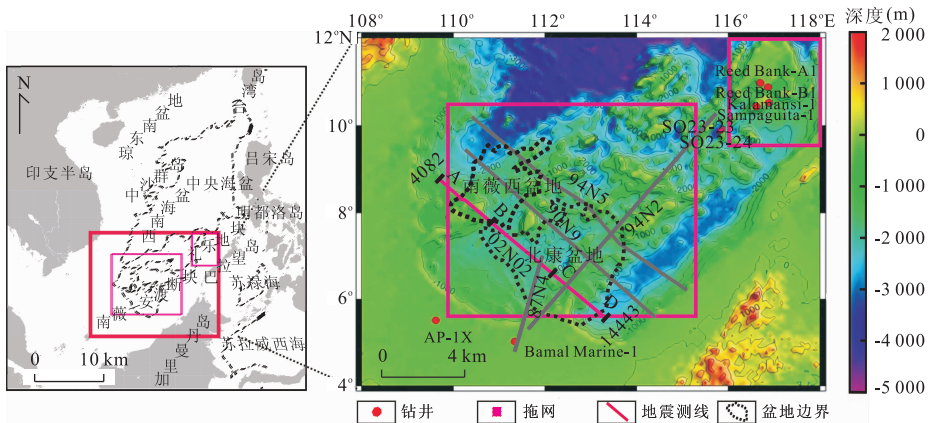


图 1 研究区区域概况
Fig. 1 Regional map of the research area

重要的构造运动(姚永坚等,2002). 因此,其形成、发展和演化与南海及周边地区大地构造活动密切相关.

南薇—安渡断块也是南沙超壳层块内的 3 个壳体层块之一(刘海龄等,2002),区内断裂褶皱较为发育. 控制该断块的断裂系统分别为北部康泰—雄南超壳伸展断裂带西段、南部八仙—巴兰—约克—库约超壳逆冲推覆断裂带西段、西部李准—廷贾壳体走滑断裂带及东部的费信—司令壳体走滑断裂带(刘海龄,1999).

岩性地层方面,该区存在很厚的中生界和下第三系沉积地层. 其中下第三系地层为裂陷充填沉积和一定的裂后披覆沉积,与上第三系地层呈明显角度不整合(吴世敏等,2004). 中生代地层形成明显的连续褶皱,呈拗陷沉积,厚度较大的地段多出现在宽缓的向斜翼部,背斜顶部剥蚀明显,为未变质或弱变质的沉积岩(刘海龄等,2007).

2 构造—沉积特征

地层方面,由于本区缺乏钻井资料,所以利用了外围前人已经标定好时代的地震地层剖面 87N4 测线(中国科学院南沙综合科学考察队,1989)追踪过来,同时再通过与 02N02 测线相交的 94N2 测线把地震地层界面延伸到 90N9 测线和 94N5 测线,做区域上的追踪对比,从而建立了研究区地震地层层格架,结合研究区附近拖网钻井资料(Taylor and Hayes, 1980, 1983; Kudrass *et al.*, 1986)划分出该区 T_{20} 、 T_{30} 、 T_{40} 、 T_{70} 、 T_g 和 T_m 这 6 个主要反射层位(图 2). 整套地层分为上(T_{40} 以上至海底)、中($T_{40}-T_g$)、下(T_g-T_m)3 个构造层,对应上构造层为大规模稳定的裂后披覆沉积,中构造层为裂陷充填沉积,而下构造层为中生代强烈褶皱地层.

由 02N02 地震测线地质解释图(图 3)可以看出该区 3 个构造层位的主要构造—沉积特征. 上构造层(T_{40} 以上到海底)相对较薄(1~3 km),以连续性好、低频率的平行—亚平行强反射波组为特征,为明显的海相沉积. 中构造层($T_{40}-T_g$)厚约 1~3 km,厚度变化明显,为同裂谷充填沉积,该套地层发生明显倾斜,反射杂乱;地层褶皱、断裂发育,以 NE-NEE 向张扭断层和 NW、SN 向走滑断层为主. NW 向、SN 向断层构成大型拗陷和盆地边缘,对区域沉积有一定的控制作用(王宏斌等,2001; 徐行等,2003). 而对局部沉积起控制作用的、广泛存在于南

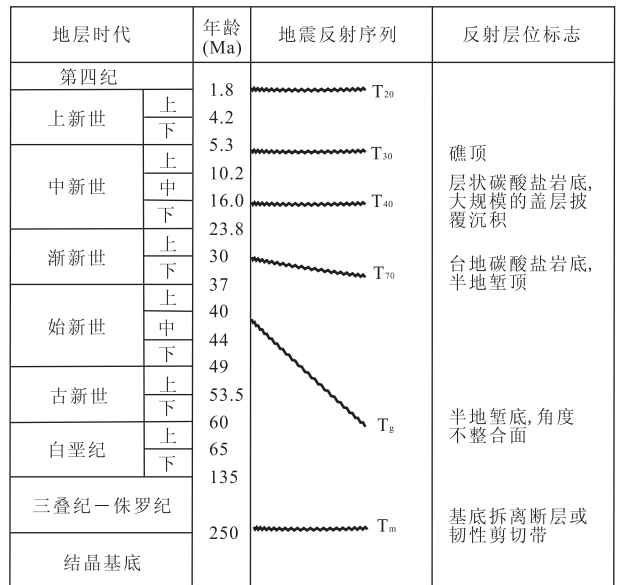


图 2 南沙地块地层沉积序列

Fig. 2 Sedimentary sequences of Nansha block

沙中北部地区的 NE-NEE 向延伸的张性正断层大致与邻区深海平原磁异常的方向平行,表明存在大量裂谷作用形成的张性正断层的地区是地壳拉伸减薄作用的产物(Huchon *et al.*, 2001),也说明了该区当时发生过同裂谷沉积作用. 在新生代沉积地层之下的中生代地层(T_g-T_m)分布较为稳定,厚度较大,表现为拗陷沉积形式,其具体时代由于目前缺乏钻井资料而无法确定,但根据邻区礼乐盆地的拖网、钻井资料(图 1)和西南面曾母盆地的地震剖面资料,推测其可能为三叠—侏罗纪海相地层. 中、新生代地层之间为明显的角度不整合接触.

2.1 新生代

对于上构造层中的新生代裂后沉积(T_{40} 以上),大部分地区沉积平坦,也有部分地区呈局部穹窿状突起,与海底大致平行,从图 4a 中可以看出 T_{40} 界面为裂陷充填沉积和裂后披覆沉积的界面. 本区在该界面之上主要为滨—浅海相沉积(王嘹亮等,2002;徐行等,2003). 其中,从南沙海槽往西,反射层 T_{30} 从开始连续性很好的地震相变为波状起伏的反射特征,显示了上新世以来不同地区沉积地层的古环境差异. 而 T_{70} 界面上、下地层地震反射特征也明显不同,界面之下为中弱振幅、中低频、断续—连续、中连续性反射;之上为中强振幅、中、高频、相对较连续且平行的反射,反应了沉积物粒度下粗上细的特点(图 4a). 同时,地震剖面图 4b 中也显示, T_g 反射层上下两套地层反射特征也极为不同, T_g 之下的下构造层呈现一定的杂乱反射,同相轴不连续,显示该

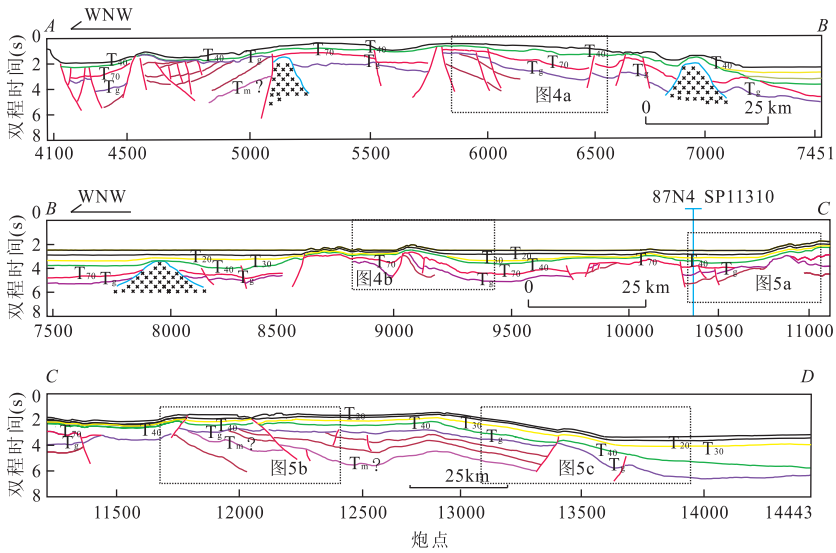


图 3 02N02 地震测线地质解释

Fig. 3 Sketch geological interpretation for the seismic line 02N02

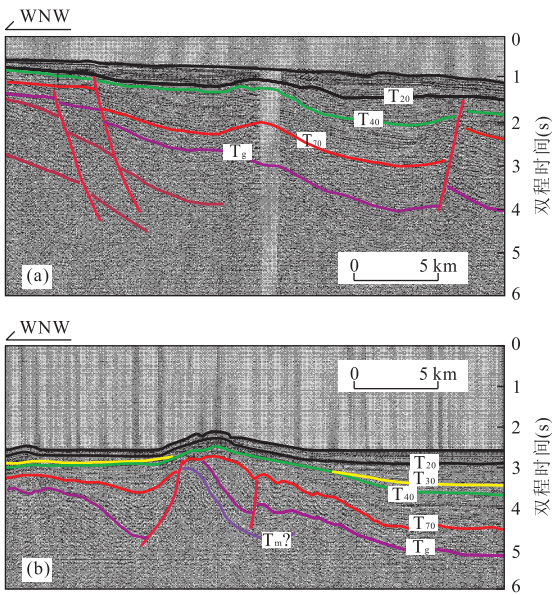


图 4 南沙中部海域 02N02 地震剖面(位置见图 3)
Fig. 4 The central segment of seismic profile line 02N02 in Nansha

a. 炮点 5820~6600 段; b. 8823~9427 段

层位在中生代末期—新生代初期可能经历了抬升、剥蚀的改造过程。T_g 为裂隙充填沉积和裂前沉积的界面。

2.2 中生代

下构造层 T_g—T_m 的中生代地层方面,本区至今仍无钻井和拖网。在研究区东面,德国“太阳”号在礼乐盆地西南部的仁爱礁(SO23-23 站)、仙娥礁(SO23-24 站)等处获得了拖网样品,从中识别出了

中三叠世灰黑色纹层状深海硅质页岩、晚三叠世—早侏罗世的纹层状硅质页岩以及滨浅海相三角洲相砂泥岩(Kudrass *et al.*, 1986; 李家彪, 2005)(图 1)。而在研究区西面地区越南南部的湄公河流域残留了巨厚的中生代含火山岩系的浅海沉积,其中三叠系—中侏罗统的滨浅海碎屑岩系厚度达到 2 000 m,大多变质,上侏罗统厚度超过 2 000 m,主要为中酸性火山岩系(金庆焕等, 2001)。此外,在研究区东部的礼乐盆地的 Sampaguita-1 井、Kalaman-si-1 井钻到了 K₁ 的浅海相砂岩、粉砂岩, Reed Bank-A1 井钻遇到 K₂ 浅海相碎屑岩,在研究区西南部的 AP-1X 井钻遇到 K₂ 深成岩(Taylor and Hayes, 1980, 1983)(图 1)。

本区下构造层(反射层 T_g—T_m)的震相表现为同相轴断续、高频、细密、倾斜层状的特征,推断本区中生代地层为未变质或弱变质的深水泥页岩。沿着测线西北部往东南追踪,中生代地层逐渐变厚。中、新生代之间的 T_g 界面代表裂陷的基底不整合面,同相轴粗糙、扭曲,反应了长期风化剥蚀的特点。图 5a 中部地区显示局部背斜顶部被剥蚀,顶部的剥蚀不整合面为 T_g 界面。对比 90N9 测线处剖面确定褶皱的轴向大致为 NE 向,褶皱翼部被新生代 NE 向相向倾滑的控裂断裂所切割而断陷成为新生代盆地基底,褶皱宽缓的向斜之上沉积厚度较大,背斜剥蚀的岩层可能成为向斜沉积地层的物质来源,表明新生代早期该区有一定的均夷作用。

图 5b 中显示断层两侧局部地区的中生代地层近于平行,表明断层为新生代时期形成,断穿中生代

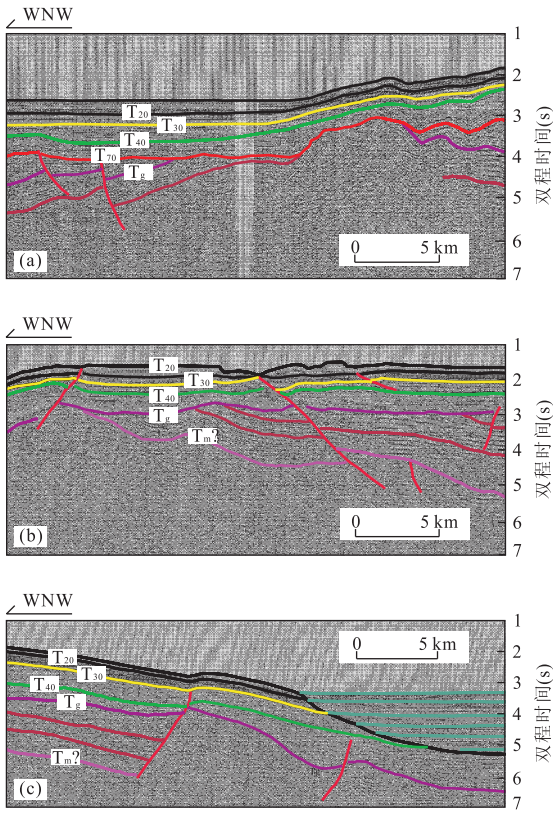


图 5 南沙中部海域 02N02 测线地震剖面(位置见图 3)
Fig. 5 Seismic profile line 02N02 in the central waters of Nansha

a. 炮点 10260~11050 段; b. 炮点 11680~12410 段; c. 炮点 13080~13945 段

地层,但活动时期是从新生代初期到 T_{30} 甚至海底。下部中生代地层与新生代之间明显的角度不整合。 $T_g - T_m$ 的下构造层地层为强烈褶皱背斜的一翼,倾向南东方向。从地震相特征上看,下构造层与上覆盖层明显不同,高频,层次密集,同相轴弯曲方向与褶皱方向一致。该图中褶皱北西翼与图 5b 南东向倾斜地层正好连成向斜沉积拗陷,其上沉积了较厚的新生代沉积盖层。继续往东南方向,在接近南沙海槽处,发育一整套完整的中、新生代地层,时代从三叠到现今。 T_{40} 界面及以下地层被正断层所断开。该断层对沉积具有一定控制作用。 T_{40} 往上为中中新世以后的新生代沉积,到 T_{30} 之上反射面平整,同相轴连续稳定,而 T_g 之下沉积了一套较厚的中生代地层,弱振幅,高频,层次密集,明显的平行层状反射结构,中、新生代地层之间明显的角度不整合,反射特征差异明显。再往东, T_g 被小型正断层断开,界面上明显的断陷充填沉积。 T_g 反射面之下存在中生代地层甚至更老的基底岩,反射粗糙,同相轴紊乱,不易识别(图 5c)。根据图 3 的测线解释并结合以上所有剖

面,不难发现沿着测线自北东往南西,中生代地层形成了连续绵延的强烈褶皱,褶皱地层厚度较大。

3 中、新生代构造成因分析

结合本区区域地质特征可将本区的构造演化历史划分为 6 个阶段(图 6)。

第 1 阶段为中生代沉积阶段(三叠纪—侏罗纪)(图 6a),主要是中生代早、中期稳定的水平沉积;第 2 阶段为挤压褶皱阶段(晚侏罗世—早白垩世)(图 6b),主要是由于中生代晚期位于研究区南部的古南海海底扩张,扩张脊近东西向,扩张方向为近南北向,研究区向北运动,与琼中地块碰撞,使本区地层受挤,发生褶皱,此次运动相当于燕山运动;第 3 阶段为抬升剥蚀阶段(晚白垩—中始新世)(图 6c),研究区褶皱的中生代地层隆升成陆、遭受风化剥蚀;第 4 阶段为断陷阶段(晚始新世—早渐新世)(图 6d),新生代早期,由于研究区北部的西南次海盆发生地幔隆升,上覆岩石圈发生伸展拆离作用,使剥蚀夷平的中生代地层发生一系列的铲式断裂,形成了一系列的地堑、半地堑构造,接受了晚始新世—早渐新世

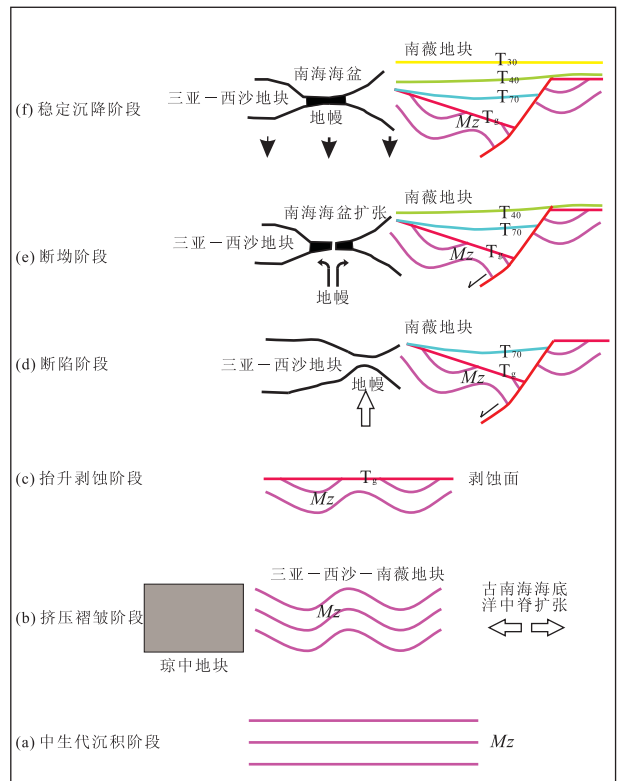


图 6 构造演化史剖面示意

Fig. 6 Schematic tectonic evolution profile

的充填沉积;第 5 阶段为断拗阶段(晚渐新世—早中新世末)(图 6e),南海海盆发生海底扩张(Taylor and Hayes, 1980, 1983),南薇地块与三亚—西沙地块分离,向南漂移,伸展断裂作用减弱,逐渐出现拗陷作用,局部地区接受披覆沉积;第 6 阶段为研究区稳定的热沉降阶段(中中新世—现在)(图 6f),南海扩张停止,研究区地幔发生大规模冷却,普遍发生热沉降,沉积作用覆盖全区.基于以上,笔者对研究区中、新生代构造成因分析如下.

3.1 中生代

从图 3 中所反映的 T_g 以下的中生代地层来看,沿测线往 ESE 方向,炮点 5000—5500 位置和炮点 10300—11100 位置处为 2 个不完整的背斜,背斜顶部遭受剥蚀,背斜间形成宽缓的向斜,向斜沉积较厚,背斜两翼倾向相反.从褶皱的形态上看,本区中生代地层发生强烈的褶皱作用,造成整个地区内地层明显弯曲变形,形成一系列连续褶皱,褶皱背斜、向斜相间排列,具明显的纵弯褶皱作用特征,所以本区中生代时期褶皱是在强烈的挤压作用下形成的.轴向大致为 NE 向,与中生代厚度等值线方向一致,推断应力来源为北西—南东向的强烈挤压作用.而同属南沙地块的研究区东部的礼乐盆地中生代地层,形成大型宽缓褶皱,起伏不大,地层基本单一倾向,被一系列张性断裂所断开,局部呈多米诺骨牌式展布.对比发现,本区明显比南沙东部地区褶皱强烈.可以推断,中生代早期,南沙地块中部和东部地区由于古中南转换断层(其南段可能为费信—司令走滑断裂带的前身)(刘海龄等,2010.南沙微板块在冈瓦纳大陆裂解和亚洲大陆增生过程中的作用.973“南海大陆边缘”第四次学术讨论会)的存在,向北运动的速率可能不同,中部地块先到达华南南缘,与其发生碰撞,而东部的礼乐地块继续往北运动,此时,南沙中部地块与华南地块碰撞受阻,发生强烈褶皱.因而,本区中生代时期地层呈现出比南沙东部地块地层更强的褶皱作用.

3.2 新生代

新生代初期,南海发生海底扩张,南沙地块属于被动大陆边缘.据测线中所反映的新生代地层情况,区内存在不少岩体侵入,造成局部地区因岩体上涌而被动褶皱. T_{40} 界面以下,局部地区存在穹窿构造,单个背斜孤立存在,为顶薄褶皱,翼部为上层披覆沉积,属于横弯褶皱的特征.根据褶皱伴生的断层,大多为张应力作用所形成的正断层,推断区内新生代 T_{40} 界面以下褶皱类型以横弯褶皱为主.虽然在始新

世—中新世期间西南海盆及中央海盆先后扩张,在南沙南部地区形成西北婆罗洲俯冲带,存在一定挤压作用,但根据区内形成的褶皱断裂特征判断,挤压作用仅仅是加强了这种褶皱作用的效果,并未形成明显的新的区域性纵弯褶皱.

T_{40} 界面之上地层的波状起伏特征,则是由于中新世以后,中央海盆扩张结束,地幔内部的岩浆作用大大减弱,而南部的俯冲作用也停止,南部边界缝合,区域应力大大削弱,本区开始转为稳定的热沉降这一系列过程造成. T_{40} 界面之上形成平稳的沉积特征,沉积作用覆盖全区,并且从测线剖面特征上看, T_{40} 界面之上岩层存在弯曲的部位基本不存在断层作用.波状起伏地层的形成,一方面由于下部地层褶皱强烈,断裂明显, T_{40} 之上的稳定的沉积作用整合地沉积在下部发生一定褶曲的岩层之上,形成顺应下部岩层形态的“褶皱”;另一方面,区内局部地区存在的沉积礁体(图 5a 中部 T_{40} 之上的隆起)引起的差异压实作用也可能加强了这种波状特征.

4 结论

南沙中部海域中生代以来经历了复杂的构造演化,中生代地层特征存在明显的不同,地层内部也均存在反射差异.笔者根据研究区内及周边临近地区的地震、钻井、拖网资料,识别出研究区 T_{20} 、 T_{30} 、 T_{40} 、 T_{70} 、 T_g 和 T_m 这 6 个主要反射层位,结合本区经历的几次大的构造事件将本区划分为上、中、下 3 个构造层位.

上构造层(T_{40} —海底),为沉积较薄(1~3 km)的海相地层.地层的反射同相轴连续性较好,震相清晰明显,地层内基本不存在断裂褶皱构造,表明 T_{40} 以后研究区可能经历了稳定的裂后热沉降,发生了大规模稳定的海相披覆沉积.

中构造层(T_{40} — T_g),沉积了一套厚度明显变化的新生代地层,为新生代早期的裂陷充填沉积和局部范围内的披覆沉积.同时,层内还识别出 T_{70} 反射界面,反应了半地堑裂陷充填沉积的结束.

下构造层(T_g — T_m),是发生了强烈褶皱断裂作用的中生代地层,地层厚度较大,特别是接近南沙海槽处存在一套厚度较大而且稳定的地层.地层内部存在连续的褶皱,背斜顶部遭受剥蚀,翼部存在一定的披覆.同东部礼乐盆地中生代地层对比得出:中生代早期,南沙地块中部和东部地区由于古中南转换断层的存在,向北运动的速率可能不同,中部地块先

到达华南南缘,与其发生碰撞,而东部的礼乐地块继续往北运动,此时,南沙中部地块与华南地块碰撞受阻,发生强烈褶皱。

References

- Huchon, P., Nguyen, T. N. H., Chamot-Rooke, N., 2001. Propagation of continental break-up in the southwestern South China Sea. *Geological Society, London, Special Publications*, 187(1): 31—50. doi: 10.1144/GSL.SP.2001.187.01.03
- Hutchison, C. S., Vijayan, V. R., 2010. What are the Spratly islands? *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(5): 371—385. doi: 10.1016/j.jseaes.2010.04.013
- Jin, Q. H., Li, T. G., 2000. Regional geologic tectonics of the Nansha Sea area. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 20(01): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., Wu, J. M., Lao, Q. Y., 2001. Analysis of sedimentary basins in western waters of the Nansha and petroleum resources. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Kudrass, H. R., Wiedicke, M., Cepeck, P., et al., 1986. Mesozoic and Cainozoic rocks dredged from the South China Sea (Reed bank area) and Sulu Sea and their significance for plate-tectonic reconstructions. *Marine and Petroleum Geology*, 3(1): 19—30. doi: 10.1016/0264-8172(86)90053-X
- Li, J. B., 2005. Formation and evolution of Chinese marginal resource effects of the sea. Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Liu, H. L., 1999. On dynamic process and kinematic characteristics of boundary faults of Nansha transcrustal. *Tropic Oceanology*, 18(4): 8—16 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Xie, G. F., Yan, P., et al., 2007. Tectonic implication of Mesozoic marine deposits in the Nansha islands of the South China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 38(3): 272—278 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Yan, P., Liu, Y. C., et al., 2004a. Characteristics of Cenozoic sedimentary basement structures and their control-basin mechanism within Nansha micro-plate. *Marine Science Bulletin*, 23(6): 38—48 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Yan, P., Zhang, B. Y., et al., 2004b. Pre-Cenozoic basements of the South China Sea and eastern Tethyan realm. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(1): 15—28 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Yan, P., Sun, Y., et al., 2002. Layer-block tectonics of the Nansha microplate. *Geology in China*, 29(4): 374—381 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Zheng, H. B., Wang, Y. L., et al., 2011. Basement of the South China Sea area: tracing the Tethyan realm. *Acta Geologica Sinica*, 85(3): 801—819 (in press).
- Nansha Comprehensive Science Expedition of the Chinese Academy of Science, 1989. Comprehensive survey reports on the Nansha Islands and adjacent seas (1) volume 1. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Taylor, B., Hayes, D. E., 1980. The tectonic evolution of the South China Sea basin. In: Hayes, D. E., ed., The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian Seas and islands. Geophys. Monogr., vol. 23., AGU, Washington, D. C.,
- Taylor, B., Hayes, D. E., 1983. Origin and history of the South China Sea basin. In: Hayes, D. E., ed., The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian Seas and islands, Part 2. Geophys. Monogr., vol. 27., AGU, Washington, D. C.,
- Wang, H. B., Yao, B. C., Liang, J. Q., et al., 2001. Tectonic characteristics and division of the Beikang basin. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 21(2): 49—54 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. L., Wu, N. Y., Zhou, Z. Y., et al., 2002. History of Cenozoic sedimentary evolution of the Beikang basin, southwestern South China Sea. *Geology in China*, 29(1): 96—102 (in Chinese with English abstract).
- Wu, S. M., Zhou, D., Liu, H. L., 2004. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha block, South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(1): 23—28 (in Chinese with English abstract).
- Xia, K. Y., Huang, C. L., Huang, Z. M., 2004. Upper Triassic-Cretaceous sediment distribution and hydrocarbon potential in South China Sea and its adjacent areas. *China Offshore Oil and Gas*, 16(2): 73—83 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X., Yao, Y. J., Wang, L., F., et al., 2003. Cenozoic sedimentation of Nanweixi basin, the southern South China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 17(3): 170—175 (in Chinese with English abstract).
- Yan, P., Deng, H., Liu, H., et al., 2006. The temporal and spatial distribution of volcanism in the South China Sea region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(5): 647—659. doi: 10.1016/j.jseaes.2005.06.005
- Yan, P., Liu, H. L., 2004. Tectonic-stratigraphic division and blind fold structures in Nansha waters, South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(3): 337—

348. doi:10.1016/j.jseas.2003.12.005

Yao, Y. J., Jiang, Y. K., Zeng, X. H., 2002. Cenozoic tectonic movement in Nansha area, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 16(2): 113—117, 124 (in Chinese with English abstract).

Zhang, C., Wu, S. M., Qiu, X. L., 2007. Formation of foreland basins in the south of the South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 27(1): 61—70 (in Chinese with English abstract).

Zhou, D., Chen, H. Z., Sun, Z., et al., 2005. Three Mesozoic sea basins in eastern and southern South China Sea and their relation to Tethys and Paleo-Pacific domains. *Journal of Tropical Oceanography*, 24(2): 227—235 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

金庆焕, 李唐根, 2000. 南沙海域区域地质构造. 海洋地质与第四纪地质, 20(1): 1—8.

金庆焕, 吴进明, 劳秋元, 2001. 南沙西部海域沉积盆地分析与油气资源. 武汉: 中国地质大学出版社.

李家彪, 2005. 中国边缘海形成演化与资源效应. 北京: 海洋出版社.

刘海龄, 1999. 南沙超壳层块边界断裂的运动学与动力学特征. 热带海洋, 18(4): 8—16.

刘海龄, 谢国发, 阎贫, 等, 2007. 南沙海区中生界岩相分布及构造特征. 海洋与湖沼, 38(3): 272—278.

刘海龄, 阎贫, 刘迎春, 等, 2004a. 南沙板内新生代沉积基底构造特征及其控盆机制. 海洋通报, 23(6): 38—48.

刘海龄, 阎贫, 张伯友, 等, 2004b. 南海前新生代基底与东特提斯构造域. 海洋地质与第四纪地质, 24(1): 15—28.

刘海龄, 阎贫, 孙岩, 等, 2002. 南沙微板块的层块构造. 中国地质, 29(4): 374—381.

王宏斌, 姚伯初, 梁金强, 等, 2001. 北康盆地构造特征及其构造区划. 海洋地质与第四纪地质, 21(2): 49—54.

王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等, 2002. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史. 中国地质 29(1): 96—102.

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, 黄志明, 2004. 南海及邻区中生代(晚三叠世—白垩纪)地层分布特征及含油气性对比. 中国海上油气, 16(2): 73—83.

徐行, 姚永坚, 王立非, 2003. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征. 中国海上油气地质, 17(3): 170—175.

姚永坚, 姜玉坤, 曾祥辉, 2002. 南沙海域新生代构造运动特征. 中国海上油气地质, 16(2): 113—117, 124.

张翀, 吴世敏, 丘学林, 2007. 南海南部海区前陆盆地形成与演化. 海洋地质与第四纪地质, 27(1): 61—70.

中国科学院南沙综合科学考察队, 1989. 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一)上卷. 北京: 科学出版社.

周蒂, 陈汉宗, 孙珍, 等, 2005. 南海中生代三期海盆及其与特提斯和古太平洋的关系. 热带海洋学报, 24(2): 227—235.