

DOI: 10. 16562/j. cnki. 0256-1492. 2017. 02. 007

# 南海中—西沙地块前新生代构造变形特征

朱荣伟<sup>1,2</sup>, 刘海龄<sup>1</sup>, 姚永坚<sup>3</sup>, 周洋<sup>1,2</sup>, 王印<sup>1,2</sup>, 黎雨晗<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室, 广州 510301; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

**摘要:**为确定南海西部的中—西沙地块是否存在前新生代地层与构造,对研究区内多道反射地震剖面资料进行了地层-构造解释,并结合围区钻井、拖网等岩石地层资料,在研究区北部发现了前新生代地层-构造变形形迹。运用回剥法、去断层恢复法和地质反序法对前新生代地层的构造变形进行了古恢复。结果表明,研究区的地层可划分为上、中、下三套构造层,其中属于前新生界的下构造层可见褶皱、逆冲等挤压构造样式,前新生代末期,其构造形态表现为一系列连续的宽缓褶皱,结合断层逆冲推覆方向可判断其主要挤压应力来自于东南方向,并推测该挤压作用与古南海的扩张有关。

**关键词:**构造变形;前新生界;中—西沙地块;南海西部

**中图分类号:**P736.1 **文献标识码:**A **文章编号:**0256-1492(2017)02-0067-08

位于欧亚、印度-澳大利亚、太平洋三大板块交汇处的南海,是东特提斯多岛洋体系的重要组成部分<sup>[1]</sup>,已成为地学界研究的重点地区之一。在中生代,太平洋板块向东亚大陆挤压,礼乐地块和华南地块之间的海域向华南俯冲,礼乐地块与华南大陆碰撞拼贴<sup>[2]</sup>,晚白垩世—晚渐新世时期,受 SE 向拉张作用,华南陆缘开始张裂,至渐新世,南海海盆开始扩张,礼乐地块随南沙地块向南运移<sup>[3]</sup>,在南沙地块的北缘形成了新生代南海。

有关南海前新生代残留地层的存在状态已得到越来越多的讨论<sup>[4-8]</sup>,且已有钻井在南海北部的潮汕凹陷、台西南盆地、北港隆起和南部的礼乐滩盆地等地区钻遇前新生代(中生代)地层。目前无论是通过地球物理资料解释得到的前新生代地层还是通过钻井发现的前新生代地层多位于南海东北部以及南部礼乐滩和南沙地块西部,然而散布在南海中西部的中—西沙微地块,迄今很少发现前新生代地层构造变形形迹,更鲜有对其前新生代构造特征进行揭示、并分析其与南海岩石圈形成演化的关系。本文拟通过中国科学院南沙综合科学考察队在南海西部获得的重要地球物理资料,重点选择穿越中—西沙地块

的多道地震剖面进行地质解释,并结合前人对围区的钻井和拖网资料,对中—西沙地块地层、构造特征进行研究,分析中—西沙地块的前新生代地层构造特征,并以期通过恢复其古构造形态,分析中—西沙地块在前新生代末期的构造特征及其与南海区域大地构造形成演化的关系,这不仅有利于确定南海前新生代构造格局,而且能为南海西部油气资源的开发提供大地构造上的依据。

## 1 区域地质背景

研究区中—西沙地块位于南海西部(图 1),其北侧为西沙海槽和西北次海盆,南隔南海西南次海盆与南沙地块相望,西以南海西缘断裂为界,与印支半岛相邻,东连南海中央海盆,与吕宋岛弧区隔海相望。

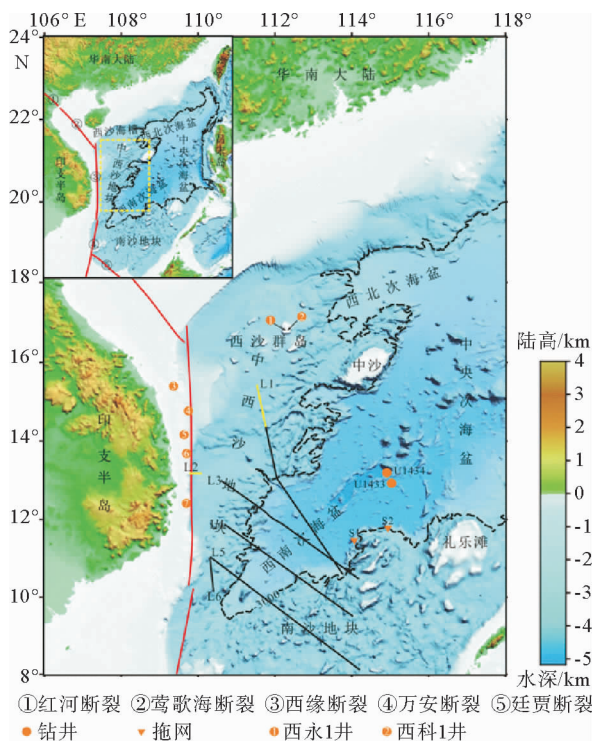
在大地构造上,前人研究认为中—西沙地块与南沙地块存在着以西南次海盆扩张脊为轴的共轭关系<sup>[10-12]</sup>,在古特提斯时期,两地块为源自冈瓦纳大陆的同一地块,即“琼南地块”,为古特提斯东段多岛洋体系中的漂移地块,并与其北侧的“琼中地块”于印支期缝合形成琼南缝合带,成为华南大陆的一部分<sup>[13]</sup>,白垩纪以后中—西沙地块曾一度长期隆起,遭受剥蚀<sup>[14]</sup>,至白垩纪晚期,由于南海岩石圈发生减薄拉伸,海南岛及中—西沙和南沙等地块开始向东南—南方向裂离印支-华南古陆,中中新世伴随着南海扩张的结束,中—西沙地块才逐渐漂移至现今的位置<sup>[3,15-17]</sup>。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41476039、91328205 和 41276048);“中国海及邻域地质地球物理及地球化学系列图”项目(GZH200900504-WX02)

**作者简介:**朱荣伟(1988—),男,博士研究生,主要从事海洋地质与油气地质研究,E-mail:zhurongwei1209@126.com

**通讯作者:**刘海龄(1958—),研究员,博导,E-mail:liuh82@126.com

**收稿日期:**2016-09-11;**改回日期:**2016-10-25. 文凤英编辑



黄色虚线框为研究区范围,红色线段为断层,黑色线段为反射地震测线,黄色线段为本文展示的地震剖面的测线位置

图1 研究区位置及测线分布图(底图引自文献[9])

Fig. 1 Location of the study area and distribution of seismic lines

与南海北部相比,目前中—西沙地块内钻井或拖网较少。属于我国的钻井中仅有西永1井、西科1井钻穿新生代地层、钻入前新生代基底。西永1井揭示:井深1279~1384.6 m为一套浅灰至深灰色片麻状花岗岩(或花岗片麻岩)<sup>[18]</sup>,但对于这套岩石的形成年龄还存在着争议<sup>[19]</sup>。曾鼎乾用Rb-Sr法测得该基底片麻岩的年龄为6.27亿年<sup>[19]</sup>,属前寒武纪。中科院地质研究所对该基底片麻岩中的脉岩进行了年龄测定,年龄值为68.9 Ma<sup>[19]</sup>,为中生代末期。中国科学院地质研究所八室用K-Ar法测得该基底片麻岩的变质年龄为 $96.34 \pm 1.18$  Ma,属于早白垩世晚期。孙嘉诗认为,虽然Rb-S法所测得的变质岩年龄6.27亿年可以代表变质岩的原岩年龄,但只有原岩为火成岩时年龄值才代表原岩的形成时代,如果原岩为沉积岩则年龄值所代表的是碎屑沉积物颗粒形成年龄的平均值,其沉积年龄应晚于6.27亿年<sup>[19]</sup>。加之,根据西永-1井的岩心研究资料,其中的变质岩正副都有,Rb-Sr等时线又不是用一块标本测出的,很难保证都是正变质岩,因此用Rb-Sr法获得的该基底片麻岩年龄会比其中的沉积原岩的年龄偏老。而K-Ar法测得的年龄 $96.34$

Ma才可以代表片麻岩的变质年龄<sup>[19]</sup>。西科-1井成功钻取了长达1268.02 m的岩心,并在井深1257.52 m处钻遇由变质岩和侵入岩组成的结晶基底,并对基底的花岗岩进行了锆石U-Pb年龄测定,结果表明西沙岛礁基底花岗岩形成年龄为144~158 Ma,是晚侏罗世构造-岩浆作用的产物<sup>[20]</sup>。而在中沙微地块北部拖网所得的黑云母斜长石片麻岩样品之K-Ar法年龄为117~128 Ma<sup>[21]</sup>,属于早白垩世中晚期。

## 2 地层-构造特征

### 2.1 地震构造层划分

通过综合分析穿过中—西沙地块的多条多道反射地震剖面,同时结合研究区附近的钻井、拖网资料,并参考Yan和Liu在南海海域识别出的地震地层反射特征<sup>[6]</sup>,确定出 $T_g$ 和 $T_4$ 两个重要的地震地层反射界面,其中 $T_g$ 表示裂谷前和裂谷期沉积层的分界面,是南海地区分布最广泛的区域不整合面,也代表新生界的底界面; $T_4$ 代表裂谷期充填沉积和裂谷后披覆沉积层的分界。根据这两个反射界面,可将中-西沙地块的沉积层划分为上、中、下三套构造层(图2),其中上构造层与中构造层属于新生代沉积层,下构造层属于前新生代沉积层。这三套构造沉积层具有不同的地震相和构造变形特征,分别代表着地质构造演化历史的3个不同时期的产物。上构造层( $T_0-T_4$ )为裂谷后的稳定热沉降披覆沉积;中构造层( $T_4-T_g$ )为裂谷期断陷充填沉积;下构造层( $T_g-T_b$ )为裂谷前沉积地层,地层内部可见一些逆冲推覆构造和褶皱等挤压构造现象,顶部遭受剥蚀削截,与上覆地层呈角度不整合接触。因地震剖面上 $T_g$ 之下的的基底地层具有明显的成层性,当属沉积岩范畴。结合上述西永1井花岗岩片麻岩原岩Rb-Sr法年龄6.27亿年和西科1井花岗岩锆石U-Pb法年龄158 Ma,可推断该沉积岩的形成年龄应晚于6.27亿年,早于侵入其中的花岗岩的年龄158 Ma,最晚应是中侏罗世形成的沉积地层。根据西永1井花岗片麻岩K-Ar法年龄 $96.34 \pm 1.18$  Ma和中沙微地块北部拖网样品黑云母斜长石片麻岩K-Ar法年龄117~128 Ma,可推断该构造层变质年龄应为128~96 Ma期间,即早白垩世中晚期。

### 2.2 前新生代地层构造变形特征

按照上述地震构造层划分原则,对研究区的沉

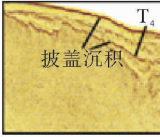
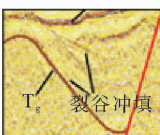
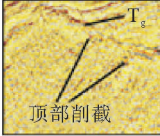
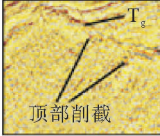
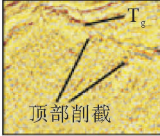
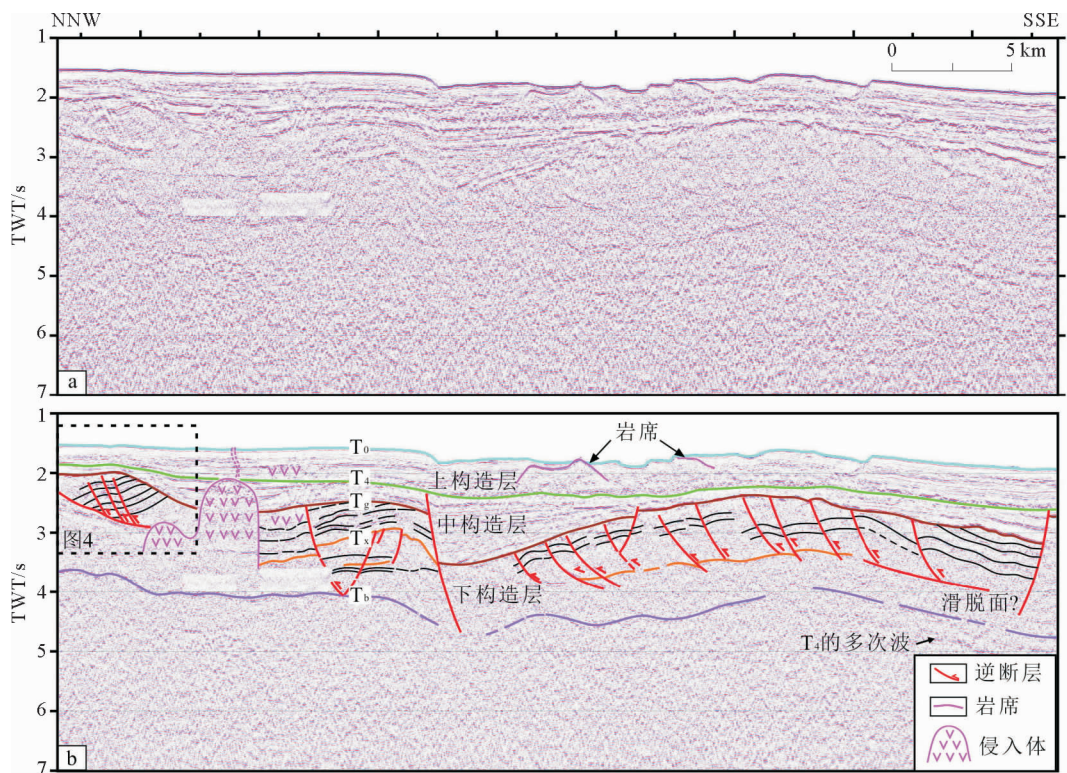
地层时代	年龄 /Ma	地震反射序列及反射特征	构造层	实例
第四纪	1.8	低—中等振幅, 中—高频, 平行—亚平行反射, 具披覆沉积特征。	上构造层	
上新世	4.2			
	5.3			
中新世	11.5	中—高等振幅, 低—中频, 平行—亚平行反射, 常具裂谷充填特征。	中构造层	
	16.5			
渐新世	23.8	中—高等振幅, 低—中频, 平行—亚平行发射, 内部可见挤压构造, 顶部削截。	下构造层	
	32			
始新世	37			
	40			
古新世	49	中—高等振幅, 低—中频, 平行—亚平行发射, 内部可见挤压构造, 顶部削截。	下构造层	
	53.5			
前新生代	60	中—高等振幅, 低—中频, 平行—亚平行发射, 内部可见挤压构造, 顶部削截。	下构造层	
	65			
结晶基底	?	+++++++ T <sub>f</sub> +++++++		

图 2 研究区地震构造层划分及反射特征  
Fig. 2 Division of seismotectonic layers and reflection characteristics in the study area

积层进行了划分。上构造层(T<sub>0</sub>—T<sub>4</sub>)厚度较薄, 约为 0.5 km, 但相对稳定(图 3), 在多道地震剖面上, 其地层反射连续性好, 表现为低—中等振幅, 中—高

等频率的特点, 内部呈平行或亚平行状反射, 局部可见来自深部岩浆活动侵扰形成的岩浆侵入体或岩席, 整体上具有热沉降披覆沉积的特征。中构造层(T<sub>4</sub>—T<sub>g</sub>)厚度总体较薄, 厚度一般小于 0.5 km, 但在断陷处其厚度变化较大, 最大厚度可达 2 km 左右, 在多道地震剖面上其地层反射连续性好, 具有中—高等振幅, 低—中等频率的特点, 且内部反射层呈平行或亚平行状反射, 局部可见由于新生代断层活动而形成的半地堑结构和裂谷充填沉积以及底辟构造, 从其反射特征推测该底辟可能为泥底辟, 从其刺穿层位可推测该底辟活动时间较晚, 且至今底部仍存在少量泥底辟活动, 另外, 其底界面(T<sub>g</sub>)振幅较强, 且具有较强的双相位特征。

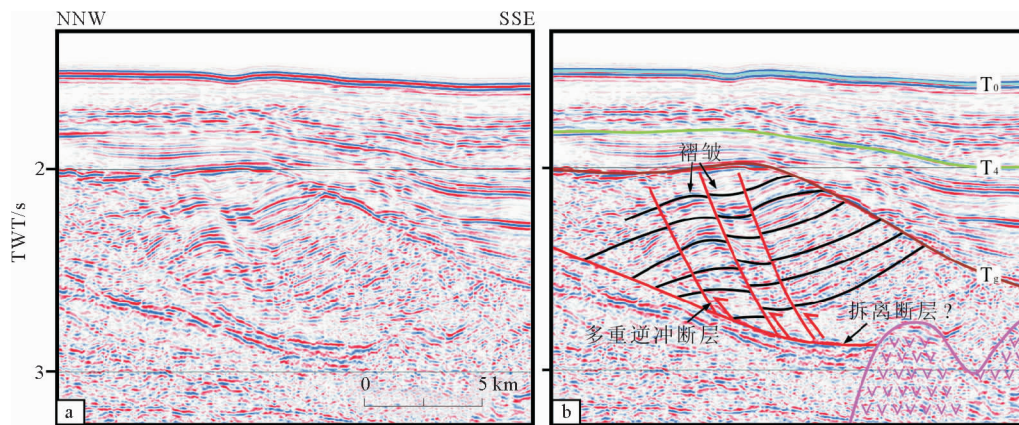
由于地震数据质量问题或受岩浆活动侵扰, 仅在研究区局部区域见到下构造层(T<sub>g</sub>—T<sub>b</sub>), 且其底界面 T<sub>b</sub> 往往不能清晰可见, 其顶部往往与 T<sub>g</sub> 面呈一定的角度相交, 导致下构造层与中构造层形成角度不整合的地层接触关系。下构造层内部反射相对杂乱, 可见明显的逆冲断层、褶皱等挤压构造现象(图 3、图 4、图 5), 且在 T<sub>g</sub> 与 T<sub>b</sub> 之间存在一条不连续的地层反射界面。各逆冲断层均倾向 SSE, 倾角上也都为上陡下缓且均收敛于同一滑脱面。逆冲断层组合上呈明显的叠瓦状排列组合, 形成典型的叠



(a)原始地震剖面;(b)地震地质解释剖面

图 3 L1 测线局部地震剖面段及其地质解释图(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Local seismic section and geological interpretation of seismic line L1



(a)原始地震剖面;(b)地震地质解释剖面

图4 L1测线反映逆冲推覆构造透镜体的典型地震剖面段及其地质解释图

Fig. 4 Typical seismic profile (a) and geological interpretation (b) of seismic line L1 reflecting thrust structures

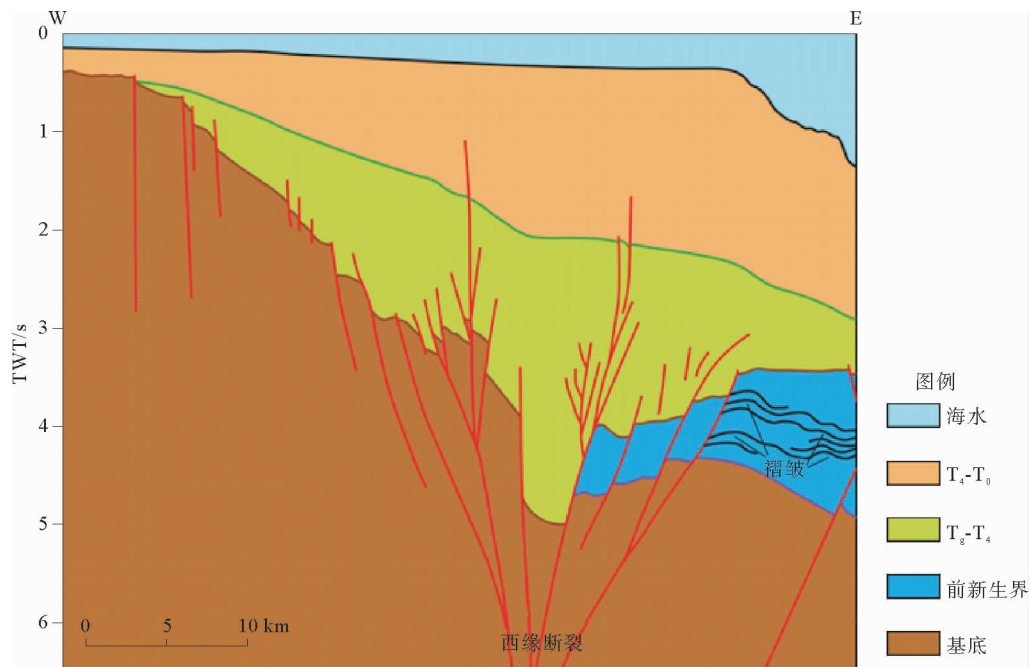


图5 L2测线下构造层反映褶皱现象地震剖面段(剖面位置见图1,据文献[21]修改)

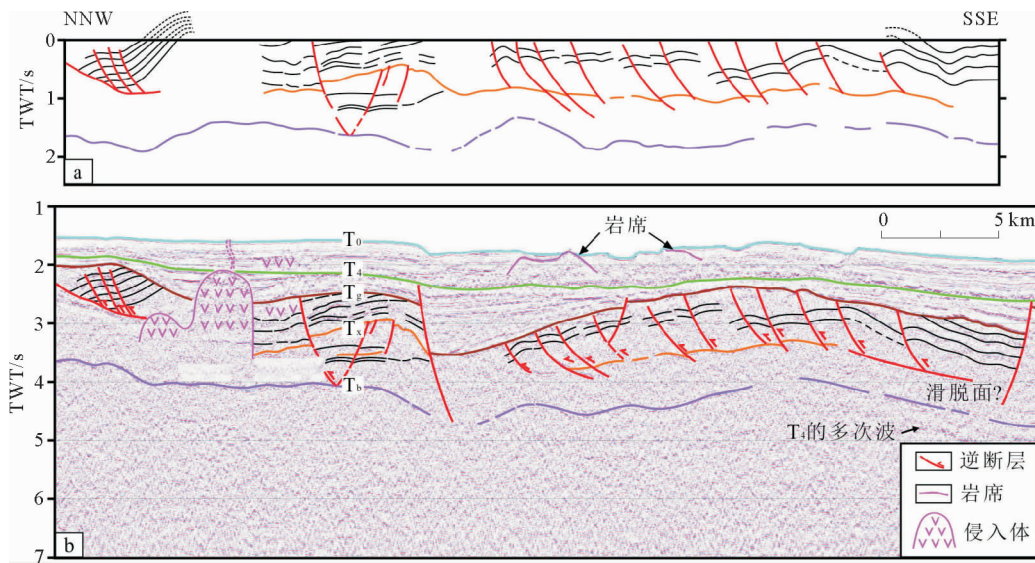
Fig. 5 Seismic section of lower structural layer reflecting the folds in seismic line L2

瓦状逆冲构造(图3和图4)。断层的逆冲方向由SSE往NNW逆冲,据此可推测中—西沙地块在前新生代受到来自东南方向的挤压作用,该挤压作用可能与中特提斯时期古南海的打开有关。从图4中褶皱和逆冲断层的相互关系来看,断层切割褶皱,褶皱形成时间要早于断层形成时间,早期挤压形成褶皱被后期的逆冲断层错断,表明研究区在前新生代存在较长时间的挤压构造作用。

### 3 前新生代地层古构造恢复

为了重建前新生代地层在前新生代末期的构造

形态,本文在不考虑热沉降产生差异的前提下,通过回剥法<sup>[22]</sup>和去断层恢复法<sup>[23-24]</sup>筛除新生代地层和新生代活动断层的影响,并通过地质反序法将前新生代地层的构造样式恢复到前新生代末期的形态(图6)。其构造样式在前新生代末期表现为一系列连续的宽缓褶皱样式,内部发育一系列向北逆冲的叠瓦状断层,且切割的褶皱的轴面倾向具有向南倾斜的趋势,表明研究区在前新生代时期曾遭受过强烈的挤压作用,且挤压的动力主要来自于东南或南方向。



(a)前新生界古构造恢复图;(b)地震地质解释;

黑色虚线表示推测地层线

图 6 L1 测线北段前新生界古构造恢复图(剖面位置见图 1)

Fig. 6 The Pre-Cenozoic tectonic restoration and its geological interpretation of seismic line L1

## 4 讨论

受中生代岩浆活动的影响,研究区的前新生代地层基底部分被岩浆活动所复杂化,尤其在研究区南部表现得尤为明显<sup>[1,25]</sup>,因此,在过研究区的多道地震剖面上通常较难识别出前新生代地层。目前虽仅在研究区北部发现前新生代地层(图 3,图 5),但从目前这些仅有剖面中,我们仍可判断研究区在前新生代经历了复杂的挤压作用,导致研究区的前新生代地层形成褶皱、逆冲等挤压构造样式(图 3-6),且可推测研究区在前新生代受到来自东南方向的挤压作用。

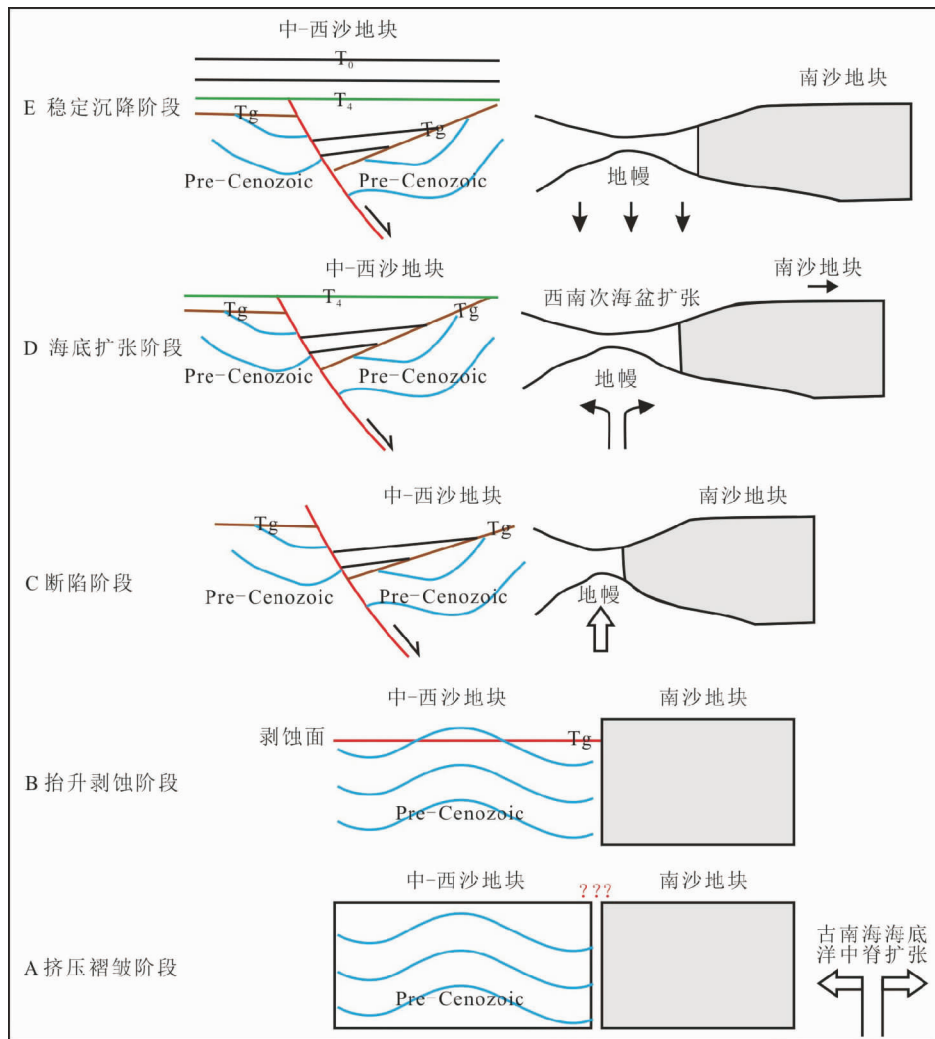
该挤压作用可能是由于晚侏罗世—早白垩世时期(图 7A),位于南沙地块南部的古南海发生海底扩张,推挤南沙地块向西北漂移,导致南沙地块与中西沙地块发生某种方式的接触(具体接触形式还需进一步研究),从而使两地块拼贴在一起形成琼南地块,致使本区地层受到挤压,形成褶皱、逆冲断层等构造样式。此次构造运动相当于燕山运动,造成了全区地层普遍褶皱抬升,并且可能由于研究区不同区域当时所处的应力位置的不同,导致其前新生代地层褶皱表现出一定的差异性。在晚白垩世—中始新世(图 7B),受礼乐运动影响,研究区褶皱的中生代地层隆升成陆、遭受差异性的风化剥蚀,导致剥蚀夷平后的前新生代地层顶界面( $T_g'$ )起伏不平,同

时,该时期的区域应力作用开始由挤压转为伸展。至新生代早期(晚始新世—早渐新世)断陷阶段(图 7C),由于中—西沙地块与南沙地块之间地幔隆升,上覆岩石圈发生伸展拆离作用,致使研究区形成一系列的铲式断裂,从而形成了一系列的地堑、半地堑构造。随着晚渐新世至中中新世早期西南海盆发生海底扩张<sup>[26]</sup>(图 7D),中—西沙地块与南沙地块开始分离,南沙地块向南漂移,伸展断裂作用减弱,逐渐出现拗陷作用,中中新世海底扩张结束后(图 7E),研究区进入稳定沉降阶段,开始接受披覆沉积。

## 5 结论

(1)通过多道地震反射剖面的解释,可在研究区北部识别出前新生代地层,且根据其地震反射特征,研究区的地层可划分为上、中、下三套构造层,其中上构造层和中构造层属于新生代沉积层,下构造层属于前新生代沉积层。

(2)研究区下构造层中可见褶皱、逆冲断层等挤压构造现象,前新生代末期,其构造形态表现为一系列连续的宽缓褶皱,且褶皱轴面具有向北倒斜的趋势,结合断层逆冲方向可判断其主要挤压应力来自于东南方向,结合区域背景,推测该挤压作用是由于古南海的扩张,推挤南沙地块向西北移动,导致南沙地块与中西沙地块发生某种方式的接触,从而使研究区地层受到挤压,形成褶皱、逆冲等构造样式。



A. 晚侏罗世-早白垩世; B. 晚白垩世-中始新世; C. 晚始新世-早渐新世; D. 晚渐新世至中中新世早期; E. 中中新世至第四纪

图7 中-西沙地块构造演化史剖面示意图

Fig. 7 Schematic diagram of tectonic evolution history of Zhongsha-Xisha block

### 参考文献 (References)

- [1] 刘海龄, 阎贫, 张伯友, 等. 南海前新生代基底与东特提斯构造域[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(1): 15-28. [LIU Hailing, YAN Pin, ZHANG Boyou, et al. Pre-Cenozoic basements of the South China Sea and eastern Tethyan realm [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 24(1): 15-28.]
- [2] Holloway N H. North Palawan block, Philippines, its relation to Asian mainland and role in evolution of South China Sea [J]. AAPG Bulletin, 1982, 66(9): 1355-1383.
- [3] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Basin[C] // Hayes D E. The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands. Geophysical Monograph Set 23. Washington D C: AGU, 1980: 89-104.
- [4] 赵美松, 刘海龄, 吴朝华. 南海南北陆缘中生代地层-构造特征及碰撞造山[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1454-1464. [ZHAO Meisong, LIU Hailing, WU Chaohua. Mesozoic stratigraphic and structural features and collisional orogeny between the northern and southern continental margins of the South China Sea [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(4): 1454-1464.]
- [5] 胡卫剑, 江为为, 郝天珧, 等. 南海前新生代残留盆地分布综合地球物理研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3315-3324. [GUO Xiaoran, ZHAO Minghui, HUANG Haibo, et al. Crustal structure of Xisha block and its tectonic attributes [J]. Chinese J. Geophy, 2016, 59(4): 1414-1425.]
- [6] Yan P, Liu H. Tectonic-stratigraphic division and blind fold structures in Nansha Waters, South China Sea[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 24(3): 337-348.
- [7] Wang Y L, Qiu Y, Yan P, et al. Seismic evidence for Mesozoic strata in the northern Nansha waters, South China Sea [J]. Tectonophysics, 2016, 677: 190-198.
- [8] 吴朝华, 赵美松, 刘海龄. 南沙中部海域沉积地层特征及其构造成因[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2011, 36(5): 853-860. [WU Chaohua, ZHAO Meisong, LIU Hailing. Characteristics of sedimentary strata in central Nansha Sea area and

- its tectonic origin [J]. *Earth of Science-Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(5): 853-860. ]
- [9] 杨胜雄, 邱燕, 朱本铎, 等. 南海地质地球物理图系[M]. 天津: 中国航海图书出版社, 2015. [YANG Shengxiong, QIU Yan, ZHU Benduo, et al. Atlas of Geology and Geophysics of the South China Sea[M]. Tianjin: China Navigation Publications, 2015. ]
- [10] 姚伯初. 南海西南海盆的岩石圈张裂模式探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 37-48. [YAO Bochu. On the lithospheric rifting model in the southwest subbasin of South China Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1999, 19(2): 37-48. ]
- [11] 郭晓然, 赵明辉, 黄海波, 等. 西沙地块地壳结构及其构造属性[J]. 地球物理学报, 2016, 59(4): 1414-1425. [GUO Xiaoran, ZHAO Minghui, HUANG Haibo, et al. Crustal structure of Xisha block and its tectonic attributes [J]. *Chinese J. Geophy*, 2016, 59(4): 1414-1425. ]
- [12] 丘学林, 赵明辉, 敖威, 等. 南海西南次海盆与南沙地块 OBS 探测和地壳结构[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3117-3128. [QIU Xuelin, ZHAO Minghui, AO Wei. OBS survey and crustal structure of the Southwest Sub-basin and Nansha Block, South China Sea [J]. *Chinese J. Geophy*, 2011, 54(12): 3117-3128. ]
- [13] 刘海龄, 杨恬, 朱淑芬, 等. 南海西北部新生代沉积基底构造演化[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 54-67. [LIU Hailing, YANG Tian, ZHU Shufen, et al. Tectonic evolution of Cenozoic sedimentary basements in the northwestern South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(3): 54-67. ]
- [14] 刘海龄, 谢国发, 阎贫, 等. 南沙海区中生界岩相分布及构造特征[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(3): 272-278. [LIU Hailing, XIE Guofa, YAN Pin, et al. Tectonic implication of Mesozoic marine deposits in the Nansha islands of the South China Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(3): 272-278. ]
- [15] Liu H L, Sun Y, Guo L Z, et al. On the kinematic characteristics and dynamic process of boundary faults of the Nansha ultra-crust layer-block [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(4): 452-463.
- [16] Hall R. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20(4): 353-431.
- [17] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 大南海地区新生代板块构造活动[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 113-122. [YAO Bochu, WAN Ling, WU Nengyou. Cenozoic plate tectonic activities in the great South China Sea area [J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 113-122. ]
- [18] 秦国权. 西沙群岛“西永—井”有孔虫组合及该群岛珊瑚礁成因初探[J]. 热带海洋, 1987, 6(3): 10-20. [QIN Guoquan. A preliminary study of foraminifera assemblages of Well 1 Xiyong, Xisha Islands and their coral reef formation [J]. *Tropical Oceanography*, 1987, 6(3): 10-17. ]
- [19] 孙嘉诗. 西沙基底形成时代的商榷[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(4): 5-6. [SUN Jiashi. A discussion of the formation ages of the bedrock in the Xisha Islands [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1987, 7(4): 5-6. ]
- [20] 修淳, 张道军, 翟世奎, 等. 西沙岛礁基底花岗岩岩石的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(3): 115-126. [XIU Cun, ZHANG Daojun, ZHAI Shikui et al. Zircon U-Pb age of granitic rocks from the basement beneath the Shi island, Xisha islands and its geological significance [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2016, 36(3): 115-126. ]
- [21] 金翔龙. 南海地球科学研究报告[J]. 东海海洋, 1989, 7(4): 30-42. [JIN Xianglong. Geosciences research report of South China Sea [J]. *Donghai Marine Science*, 1989, 7(4): 30-42. ]
- [22] 周洋, 刘海龄, 朱荣伟, 等. 南海北部陆缘古双峰—笔架碰撞造山带空间展布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(4): 77-84. [ZHOU Yang, LIU HaiLing, ZHU, Rongwei, et al. Spatial distribution of ancient Shuangfeng-Bijia orogen on northern continental margin of South China Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2016, 36(4): 77-84. ]
- [23] 马如辉, 王安志. 利用构造恢复原理制作古构造演化图[J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 34-36. [MA Ruhui, WANG Anzhi. Mapping palaeostructural evolution with tectonic reconstruction theory [J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(1): 34-36. ]
- [24] Zhang J, Sun Z, Zhang Y F, et al. Mesozoic deformation in the Chaoshan Depression of the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea [J]. *Marine Geophysical Research*, 2016, 37(3): 1-14.
- [25] 阎贫, 刘海龄. 南海及其周缘中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 Hailing. Temporal and spatial distribution of meso-cenozoic igneous rocks over South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(2): 33-41. ]
- [26] Expedition 349 Scientists. South China Sea tectonics: opening of the South China Sea and its implications for southeast Asian tectonics, climates, and deep mantle processes since the late Mesozoic [R]. *International Ocean Discovery Program Preliminary Report*, 349. 2014.

## A PRELIMINARY ANALYSIS OF PRE-CENOZOIC TECTONIC DEFORMATION OF ZHONGSHA-XISHA BLOCK IN SOUTH CHINA SEA

ZHU Rongwei<sup>1,2</sup>, LIU Hailing<sup>1</sup>, YAO Yongjian<sup>3</sup>, ZHOU Yang<sup>1,2</sup>, WANG Yin<sup>1,2</sup>, LI Yuhua<sup>1,2</sup>

(1. GAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese

Academy of Science, Guangzhou, 510301;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing, 100049;

3. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, 510760)

**Abstract:** Multi-channel seismic data are interpreted with the support of drilling and trawling samples from surrounding areas to identify Pre-Cenozoic strata in the middle-west block of the western South China Sea. Results suggest that the Pre-Cenozoic strata do occur in the north of the study area. Upon this fact, the tectonic deformation of the Pre-Cenozoic strata is reconstructed using the back-stripping method, the fault-recovery method and the antitone structural analysis method. The strata can be divided into upper, middle and lower structural layers in the study area. Compressive structures, such as folds and thrusts, are found in the lower structure layer. By the end of Pre-Cenozoic, the region was suffered from continuous gently folding. Combined with the fault thrust direction, it is concluded that the main compressive stress came from the southeast direction, which may be related to evolution of the paleo-South China Sea.

**Key words:** tectonic deformation; Pre-Cenozoic; Zhongsha-Xisha block; western South China Sea