

南海东北部陆缘区新近纪早期反转构造特征及其动力学意义

尚继宏¹, 李家彪¹

(1. 国家海洋局 第二海洋研究所 国家海洋局海底科学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 通过深入分析 九七三 项目所获取的高分辨率多道地震剖面, 结合区域钻井资料, 探讨了新生代以来南海东北部陆缘所历经的新生代早期张裂、中新世晚期阶段性挤压及上新世以来的稳定热沉降等复杂构造运动; 张裂背景下的南海东北部陆缘在中新统中部、下部出现的背斜、逆断层等典型压性反转构造, 凸现了南海东北部陆缘在晚中新世发生的阶段性挤压构造运动; 分析表明, 此构造活动是东沙运动在台西南海域的表现, 其动力来源同菲律宾海板块的北西向运动有关。

关键词: 南海东北部陆缘; 马尼拉俯冲带; 背斜; 褶皱; 挤压; 不整合面

中图分类号: P722 7; P542

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2009)03-0073-11

1 引言

南海是东亚陆缘最大的边缘海之一, 其形成演化机制与菲律宾海板块的运动及其周边地块紧密相关, 一直是地球科学界所关注的热点。南海在新生代经历了大陆岩石圈张裂到海盆扩张完整的演化过程, 其东部海盆被普遍认为形成于晚渐新世至中新世(32~17 Ma)^[1-2]。目前对南海的研究针对早期大陆岩石圈张裂及海盆演化模式的探讨较多, 但对晚期南海海盆如何从一个张裂的陆缘海盆逐渐转变为稳定的沉降盆地演化历史的研究较少。这种转变的动力来源、具体的转变过程及其构造产物如何, 是深化对南海海盆和陆缘构造演化的重要课题。近来有研究人员在南海东北部海区局部位置发现有中新统层序的异常隆起、褶皱等压性构造存在, 并对其断裂特征做了一定描述与分析^[3-6], 但对这种压性构造所对应的地质年代、分布范围、挤压特征、动力来源等问题却未深入探讨。本文结合前人资料, 通过重点分析南海东北部陆缘高分辨率多道地震剖面中新近纪早期地层中所孕育的压性反转构造以及这种构造所揭示的南海海盆演化的转变特点, 并联系

周边地块新生代以来的构造演化特征, 对南海北部陆缘新生代以来的构造演化过程, 特别对南海海盆从张裂到沉降之间这一转变历史做了深入分析, 以期对南海晚期演化模式有进一步的认识。

2 南海构造演化背景

晚三叠世的印支运动结束了冈瓦纳大陆与劳亚大陆的分裂, 使印支地块沿红河褶皱带与扬子、华南地块碰撞拼接, 特提斯洋北支关闭^[7-8]。侏罗纪至早白垩世的燕山运动使联合的亚洲大陆东南边缘开始了自北西向南东构造活动逐渐变新的安第斯型主动大陆边缘的演化阶段, 东亚大陆边缘具有主动大陆边缘特征^[9]。这种俯冲作用逐渐加强, 直至中生代末期至新生代初期, 以神狐运动为代表的构造运动深刻改变了南海及邻区的地球动力学状态, 南海古大陆边缘的俯冲作用逐渐减弱, 构造机制由原来的挤压变形逐渐转变为张裂拉伸^[10], 大陆边缘性质由主动转为被动, 进入了岩石圈张裂的演化阶段, 开创了南海新生代形成演化的崭新历史^[11-12]。

从古新世到始新世地壳不断张裂, 盆地不断下

收稿日期: 2008-03-03; 修订日期: 2008-12-05。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB411704); 国家自然科学基金资助项目(40676024/D0603)。

作者简介: 尚继宏(1977), 男, 宁夏回族自治区平罗县人, 助理研究员, 从事海洋地质和构造地貌研究。E-mail: shang94021@tom.com

陷,南海北部边缘逐渐由陆地发展为浅海。晚始新世至早渐新世的南海运动代表了南海北部大陆边缘从张裂到扩张开始的这一过程^[5,10],虽然对该构造事件的持续时间、表现形式和动力来源仍有诸多异议,但就南海东部海盆的形成而言,晚渐新世以来的多期次不同方向、不同扩张轴的张裂成盆特征已经

逐渐被地学界所公认。中中新世以后南海海盆的扩张趋于停止,并代之以马尼拉海沟的向东俯冲^[11,13]。在晚中新世和早上新世随着菲律宾海板块向西北方向移动,吕宋岛弧系统开始与南海东北部大陆边缘碰撞,并最终使南海海盆关闭,从此南海海盆进入了不断冷却的沉降演化新阶段^[2,14]。

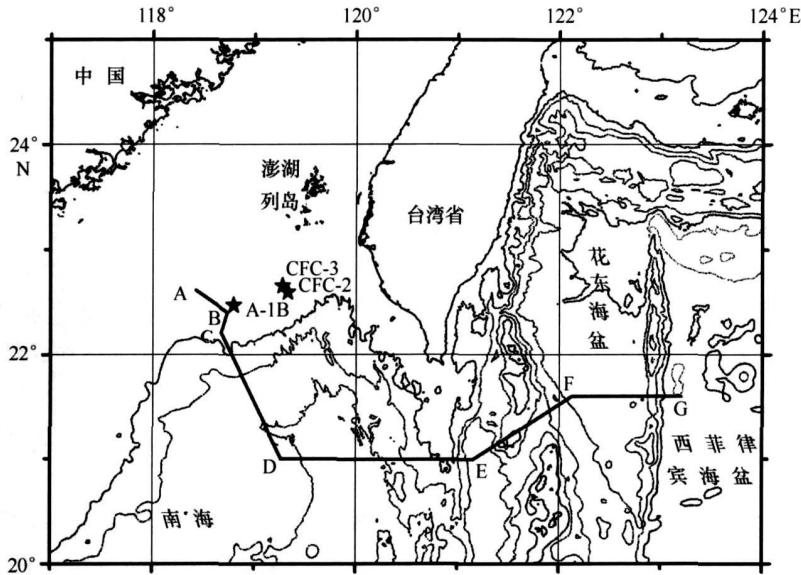


图1 研究区域位置略图

水深数据来源于台湾海洋科学研究中心水深资料库。折线代表本次“九七三”地震测线位置。字母为测线拐点标号。星号代表台湾石油公司钻井位置

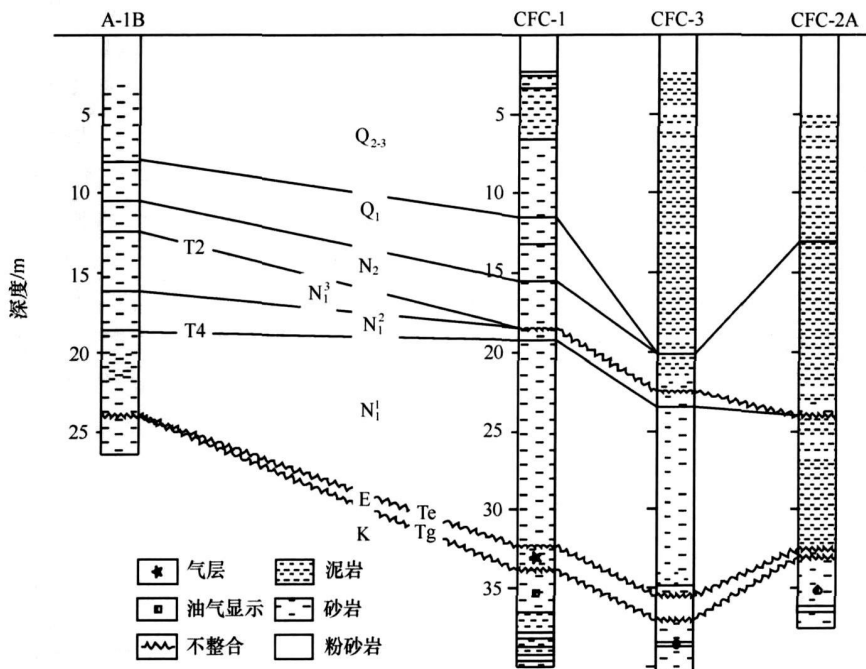


图2 台西南盆地海域地层柱状图(修改自王善书等^[15])

3 南海东北部地震层序

3.1 数据处理

根据九七三项目所采集的多道地震剖面资料清晰显示出南海东北部陆架至台湾以东东海盆之间新生代以来的沉积反射记录,尤其显示了南海东北部陆架陆坡段的沉积层序特征和构造反射现象(测线位置

见图1)。剖面数据采集使用了MSX型地震仪,枪阵总容量达 85 m^3 。道间距为 12.5 m ,总道数达240道,采样间隔为 2 ms 。炮间距为 50 m ,近炮检距为 250 m ,拖缆总长为 $3\,237.5\text{ m}$ 。为提高数据分辨率,我们对整条剖面的数据解编、预测反褶积、速度分析、动校正及偏移等常规流程进行处理后,又做了增益补偿及时变滤波,以突出剖面中层、浅层反射波效果。

表1 研究区地震层序划分及地层分布

地层		反射界面	距今时间 /Ma	岩性描述	沉积环境	构造演化阶段	
新生代	新近系	全新统	1.81	泥岩为主 夹砂岩	中-外 浅海	稳定 热沉降	
		更新统			外浅海		
		上新统					
		中新统	上	5.33	泥、砂 岩互层	外浅海- 半深海	阶段性 挤压
			中			11.61	
			下	15.97		页岩为主 夹粉砂、细砂	内浅海- 外浅海
	T4						
	古近系	渐新统	23.03	砂泥岩 互层	浅海相	陆缘 张裂期	
		始新统					
		古新统					
中生代	白垩系	白垩统	65.5	轻质 变质岩	河流- 内浅海		
		Tg					

3.2 层序对比

设计测线时特意对陆架区做了轻微转折以连接台湾石油公司已有的钻井A-1B,据估算实际测线拐点B离钻井距离不超过 500 m (见图1)。根据台湾石油公司在台西南海域A-1B,CFG-3,CFG-2A钻井地层资料(见图2),区域新生代地层普遍有三个重要不整合面——中新统顶界不整合面T2、下中新统/中中新统不整合面T4和古近系顶界不整合面

T6。同为台西南盆地,各钻井对应的地层厚度和层序也略有不同:A-1B井缺失古近系,但具有一定厚度的上中新统,且与中中新统整合接触,而CFG-1,CFG-3,CFG-2A井钻遇渐新统,岩性为浅海相砂、泥岩互层,但普遍缺失上中新统,中中新统也仅有薄薄的一层(CFG-2A井缺失);各井下中新统普遍较厚。金庆煊^[16]将台西南盆地新生代地层划分为三大不整合面共四层,它们分别对应于T2,T4和T6。对

比以上钻井资料,我们将南海东北部陆缘区新生代以来地震层序划分为四层,由上至下分别为 T2 之上的上新统及以上沉积, T2 T4 之间的上中新统至中中新统, T4 T6 之间的下中新统以及 T6 Tg 之间中生代基底以上残留的古近系(见表 1, 地质年代参照文献[17])。值得注意,由于此次地震测线并没有严格经过 A-1B 钻井,对比反射剖面与钻井地层发现剖面下中新统与新生代基底之间仍有一个具有一定厚度的杂乱反射层,根据周围相邻几口钻井地层推测为陆架区残留古近纪地层。

4 南海东北部陆缘地震反射和构造特征

4.1 古近系张性构造反射特征

陆缘段 T6 Tg 之间的古近系为剖面新生代最下层沉积,也是沉积厚度最薄的一层,最大厚度不超过 0.7 s(双程走时),位于穿透率较差的丘状不连续高频反射基底之上,仅在剧烈起伏的陆架区、上陆坡段及深海海盆的局部凹陷区域内发现,并且厚度分布不均,而下陆坡段则缺失(见图 3)。根据海区钻井资料显示,该层沉积岩性为浅海相沙、泥岩互层,揭露厚度 30~170 m,以不整合覆于早-中白垩系碎屑岩系上,沉积环境为滨海及浅海。该层反射总体表现较为混乱、复杂且不连续,振幅呈中强反射。沉积间杂大量沿陆缘方向延伸的北西倾向、间或南东向正断层,具典型断陷盆地反射波特征。该层沉积在陆架区及陆坡段的局部基底高位处缺失或者减薄,而在陆架区、上陆坡段及深海海盆的多处凹陷部位则有残留,其中的层序甚至可进一步划分(见图 4)。

广泛存在于陆架区古近纪沉积中的犁式正断层以及以正断层为特征的地堑、半地堑沉积等,皆表明南海东北部陆缘在新生代早期处于张性分裂状态。在靠近主干断裂的区域发育的楔状或半地堑状断层的断距及断裂深度都很大。在这些地堑、半地堑断陷中绝大部分凹陷内残留有古近纪地层,以渐新统为主,始新统和古新统较薄,而整个陆架及陆坡段的基底高位处完全缺失古近系。这种特征很好地对应了新生代早期发生在南海东北部区域大陆边缘的剧烈张裂运动:在高低不平的基底之上张性应力所导致的地壳拉张、破裂孕育出诸多以正断层为特征的地堑、半地堑、裂谷等,而局部基底高位处的沉积则受到侵蚀或剥蚀,残留的沉积滑脱下沉至裂谷、地堑之内。这些地堑、半地堑、裂谷、局部凹陷分布不均,其中的古近系厚度也多有不同,这些都反映了陆缘

张裂过程的复杂性和多样性。这种不连续的中生代基底之上的地壳张裂最早可能在中生代末期就已经开始,而至少持续至中中新世之前,渐新世则可能为裂离活动最剧烈的时期。

4.2 中新统压性构造反射特征

研究区 T4 T6 之间沉积经与钻井对比判定为下中新统,相比古近系此层相对有序,具有从陆架向海盆方向逐渐递增的沉积厚度(陆坡段局部基底高位处除外)。据海区钻井资料,下中新统由浅海页岩夹粉砂岩和细砂岩组成,由北西向南东变细,以不整合超覆于上渐新统或中生界之上。反射波显示依然较为混杂但却比之下的地层要连续很多,呈现乱中有序的特点。值得注意的是,虽然该层以下沉积被多处主干正断层所控制,孕育有大量北东向正断层及滑脱断层为代表的张性断裂带,但此层沉积表现却完全不同:首先该层的沉积厚度在局部高位处发生反转,高位处更厚,低位处也没有减薄,这与正常沉积模式相悖;其次,在陆架区与陆坡段交界处有几处明显的逆断层和背斜,这是一种典型的压性构造。这种发生在前期张裂背景下的特殊压性构造及沉积厚度的反转都说明研究区最早可能在早中新世之后就受到阶段性侧向挤压作用力,致使前期已沉积的地层发生横向褶皱和变形。

经与钻井对比夹生于 T2 T4 不整合面之间的沉积为中中新统与上中新统,其中中中新统所占比例较大,上中新统较薄,整体层位较厚,以区域不整合面与上新统及下中新统相接。在几处钻井中上中新统只见于 A-1B 钻井,且与中中新统整合接触;钻井揭示此层沉积岩相多为浅海砂岩、泥岩互层至泥岩夹砂岩,由北西向南东变细,整体以不整合上下沉积层相接。多道地震反射波的表现较为有序,反射振幅较强,尽管有广泛发育的断层组将多处地层分割,使得层序呈现上下错断特征,但总体连续性相对较好。总体向海盆方向逐渐增加的沉积厚度显示期间相对较为快速的沉积环境,但陆架区及陆坡近陆架段基底高位处的几处连续的反射同相轴拱起及多处延伸至下中新统的逆断层明显受同期或后期横向挤压作用力及下部沉积断层控制,其力学性质同早中新世地层中出现的褶皱类似,可以归结为相同源动力作用的结果。沉积层中发育的褶皱与逆断层在中中新统顶界以 T2 不整合与上新统相接,在沉积拱起部位两侧形成明显的上超并被上新统截断(见图 5),此特征显示区域挤压活动停止于上新世之前,而

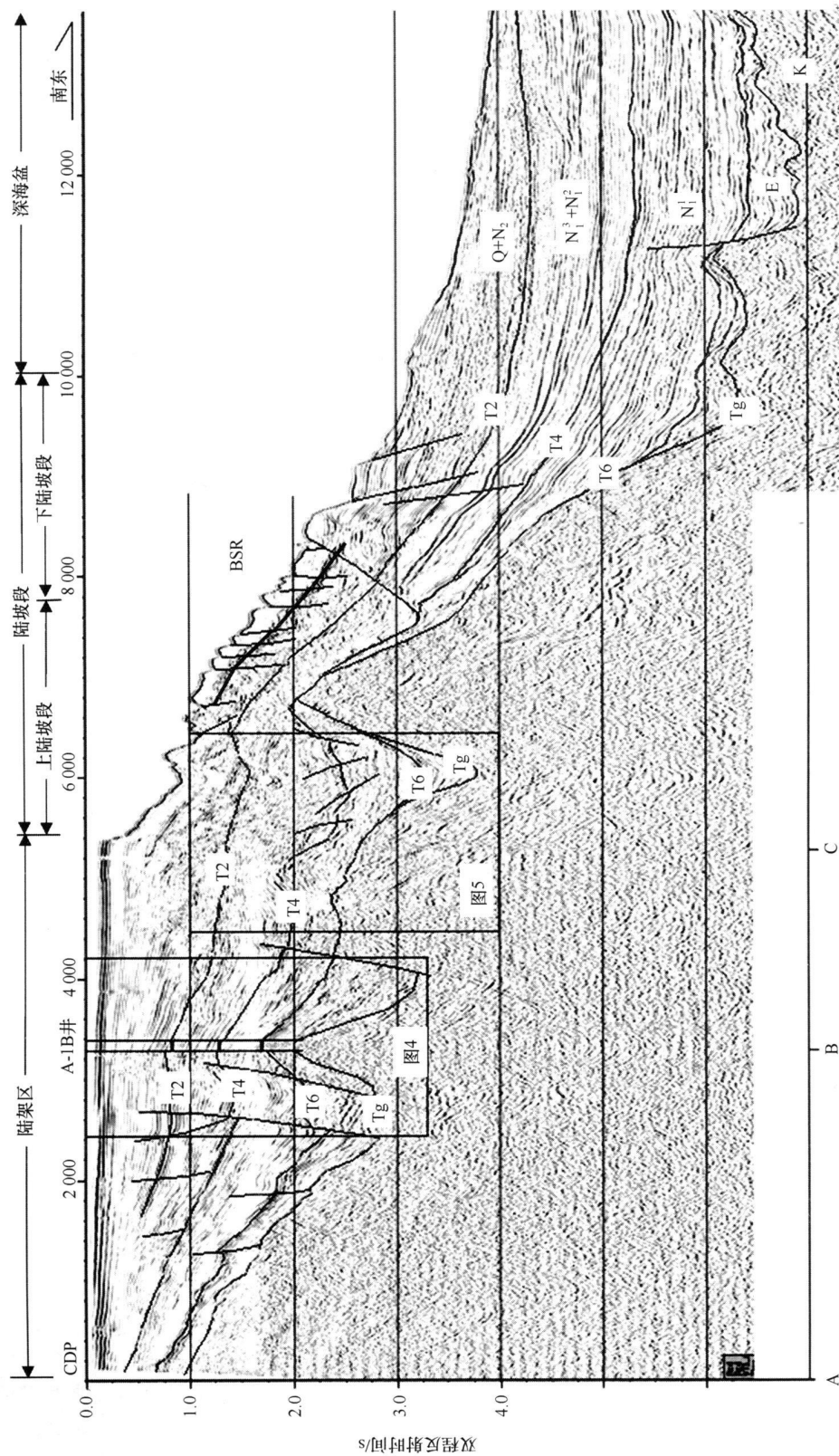


图3 南海东北部陆缘段地震剖面及解释

图下部字母对应图1中实际测线拐点编号, 图中两矩形框分别为图4及5所示区域

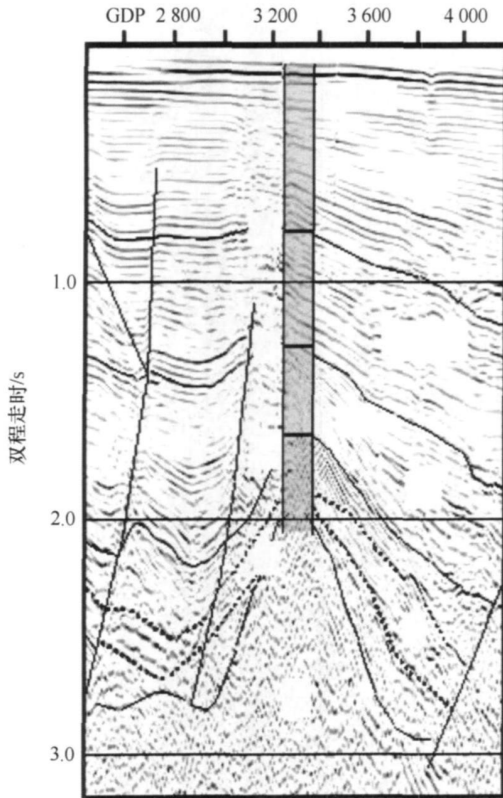


图4 A-1B 钻井与剖面地层对比示意图
(位置见图3)

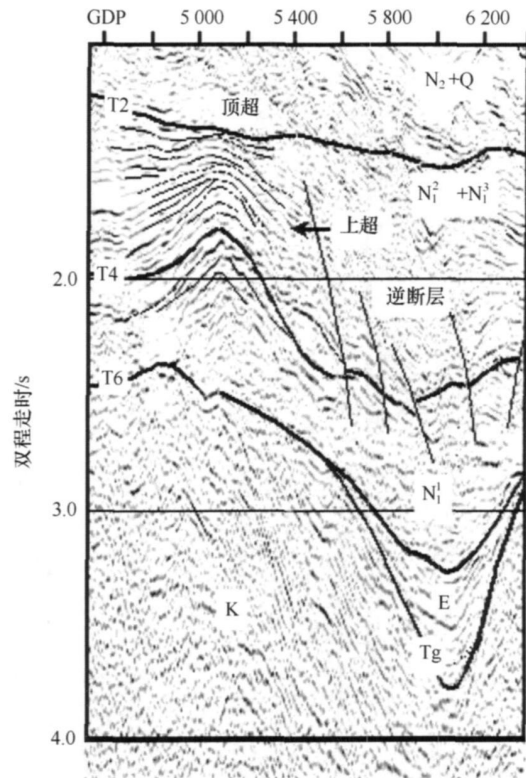


图5 陆缘区新近纪下部地层中的反转构造
(位置见图3)

晚中新世则有可能是活动的最剧烈时期。对于下陆坡及深海盆,中新统沉积构造的这种反转现象不甚明显,沉积中夹生的几处北西倾向正断层说明此次挤压活动发生的区域位置及构造影响力有限,只涉及陆架区及上陆坡段。

剖面在中中新统尤其在中新统、下中新统出现了比较特别的构造现象。陆架区的褶皱和上陆坡段沉积层中存在的多处逆断层,主要集中分布在剖面上共深度点道集(CDP)4 400~6 600之间(见图3,5)。一般来讲,褶皱、逆断层等地质构造皆说明区域在特定历史时期受到过横向、纵向或剪切方向的挤压作用力,而此处的这种反转构造显示的挤压特征与南海东部海盆在32~17 Ma的张性背景下理应出现的张裂成盆特征明显不符,说明南海东北部陆缘区域在晚中新世左右受到过阶段性侧向挤压,致使早期的张裂构造发生部分反转,从而在陆架区的前期沉积内部生成局部压性褶皱及沉积拱起,甚至引起中新统和上新统地层之间的角度不整合及多处上中新统的缺失,尤其是存在于陆架、陆坡交界处以及上陆坡处的一系列逆断层、背斜构造及沉积层褶皱变形等在剖面上被上新统以区域不整合超覆,基本上已经能够说明此次构造

运动的发生时间处于晚中新世左右(11.6~5.3 Ma, 据 Gradstein 等^[17]最新地质年代表推算),而且这种压性构造也表现出了一定的地域性。这是南海东部海盆演化历史的一次重大构造调整,也是南海海盆的扩张乃至西太平洋边缘海演化过程中构造应力状态发生转变的重大构造事件之一。

4.3 上新世以来热沉降演化反射特征

T2 以上的最上层沉积层序表现较为连续、稳定,经判定属上新世以来的沉积。钻井揭示上新统以上为广海沉积环境,在台西南区域的沉积厚度为1 237~2 340 m,由西向东增厚,以泥岩为主夹砂岩。剖面上显示该层反射波振幅较强,是盖层中最厚而且反射波表现最为有序的一层。除却在上陆坡段基底高位处由于重力滑塌及海底峡谷水流冲刷而表现出略微减薄之外,在陆缘段其他区域则呈现出一系列近平行朝海盆方向逐渐均匀加厚的反射波层组。陆架区较为平坦舒缓的海底面在陆坡处被多个滑塌正断层组所切割,并因重力作用而形成典型半地堑状滑塌构造,朝下陆坡方向逐渐加厚堆积从而形成混杂沉积,在海底面形成高低起伏的隆丘和峡谷。在深海平原段海底丘状起伏又逐渐趋缓,表层沉积因海底洋流

的作用也逐渐减薄,在台湾浅滩南峡谷处减为最薄。陆坡段与陆架区分界处的坡折线十分明显: CDP5 400 至 CDP10 000 之间的海底面坡度较陆架区及深海盆明显增大; 陆坡段表层沉积反射波特征与两边地层(陆架区和深海盆地)也有明显差别: 典型滑脱正断层组所形成的锯齿状海底构造相对于较为平坦的陆架区及平缓起伏的深海盆地极为明显。

巨厚的近水平状沉积说明区域在此期间处于稳定的加速沉积环境,相应的构造特征反映了地壳的冷却和沉积的负荷,证明同期盆地构造活动逐渐减弱,形成稳定的沉积,并开始发生大面积的下沉。剖面上新近纪早期形成的向斜凹陷部位全部为晚期沉积物所覆盖,浅层沉积呈近水平披覆,沉积速度较快,形成大型的沉积拗陷。这种连续的沉积覆盖基本不受断层作用影响,这同古近纪沉积中所出现的张性断层控制下的半地堑状沉积及其对应的顶界不整合披覆覆盖有明显区别。陆架区及深海海盆浅层近平行、次水平状连续沉积形成的超厚沉积层及陆坡段羽状反射等皆证明研究区在上新世以后是处于稳定的连续快速沉降演化阶段。另外,由于陆坡段较大的坡度及表层广泛发育的滑脱断层组,致使海底面之下形成大量滑塌体、堆积体、断裂带等为天然气水合物的生成和稳定存贮提供了极为有利的构造地貌环境,而地震剖面上表现出的陆坡段海底面之

下的浅层沉积中发育的典型似海底反射层(BSR)也证实了研究区是富有潜力的水合物形成带^[18-19]。

5 反转构造成因分析

5.1 反转构造的其他剖面证据及其分布

南海东北部陆架陆坡段多道地震剖面中新近纪早期地层所表现出来的拱升现象及中新统顶界不整合在区域附近其他剖面上其实也有类似反映。早在2004年在李家彪等^[11]所研究的马尼拉海沟中段(18°7'N, 119°7'E)的单道地震剖面上就出现过类似的中浅层反射构造层上拱现象。值得注意的是,剖面上该地层的隆起发生且只发生在中浅层反射中,其上部的表层反射及之下的深层反射波依然连续而平整(图6)。正常持续的板片俯冲活动所引起的增生楔前端的褶皱应该是上下一致的,至少中上层及表层的褶皱应该同时出现,即便受到底流的剥蚀而被削平,反射层位也应出现超覆不整合现象,但该剖面反射层明显上下整合接触且只有中浅层发生褶皱,说明俯冲的板片在俯冲活动开始之后不久发生了阶段性的俯冲加速。如果说马尼拉海沟的俯冲是发生在中中新世左右,那么从剖面上的地层推断,此构造活动的时间就在中新世—上新世交接之时,这也同我们文中所推断的晚中新世左右的阶段性挤压构造活动时间相一致。

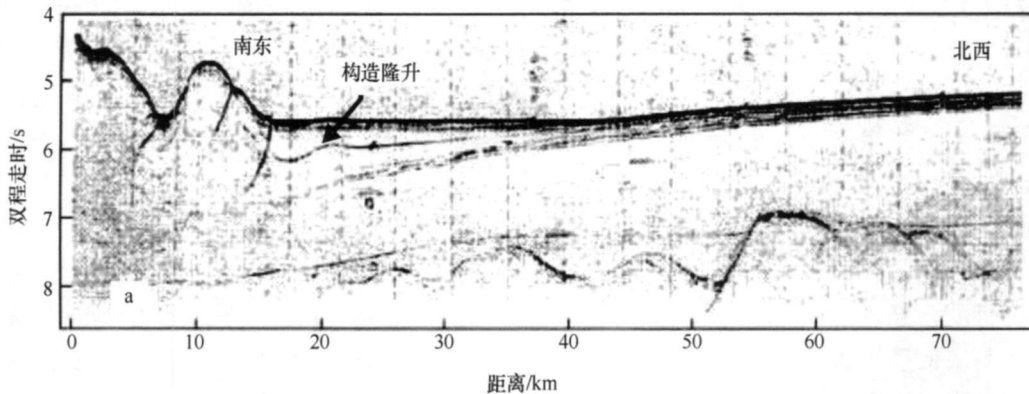


图6 马尼拉海沟中段地震反射图(修改自文献[11],图3a)

在南海北部陆缘相邻区域已经有其他研究者发现类似的压性构造。L dmann等^[3]在东沙海区调查研究中发现在过去5 Ma以来东沙海区经历过两次阶段性隆升事件,它们分别对应于中新世—上新世交界处及早更新世晚期的两次构造运动;李平鲁等^[4]在收集到的珠江口盆地地震剖面上发现在中中

新世末至晚中新世末(10~5 Ma左右)盆地发生过块段升降,局部挤压褶皱、隆起,有断裂和频繁的岩浆活动;吴时国等^[6]将其在SONNE95航次地震剖面中所发现的不整合面同ODP钻孔地层进行了对比,认为本区T2不整合面对应9.8 Ma左右在南海东北部东沙海区发生的东沙运动,而且东沙运动使

东沙隆起进一步加剧,盆地发生差异沉降和产生一系列北东向断层和岩浆活动。据此可推断,发生在中新世晚期的地层隆升现象所对应的构造运动影响区域主要包括南海东北部东沙海区、台西南盆地附近及马尼拉海沟俯冲前缘海域,而在西沙以北以及海南岛附近区域,则并无相关文献发现类似特征。

5.2 动力来源

对应于南海东北部陆缘区中新统顶界不整合面及其以下地层中所发育的压性构造,其动力来源是什么,与区域构造运动有什么联系,根据周边的板块运动特征,最有可能是以下三种原因中的一种或者多种作用的结果:印度板块与欧亚板块碰撞远程效应的传播^[20];抑或是西菲律宾海板块持续向北西向运动造成对欧亚大陆边缘的挤压;也有可能是深部地幔热流上涌或局部热点引起的上部沉积层变形。

首先从第一种原因来分析,印度板块与欧亚板块早在 55 Ma 以前就已经开始相互碰撞并导致特提斯洋消亡,而这种碰撞至今依然继续^[21-22];如果两者碰撞远程效应的传播对欧亚大陆东缘造成侧向挤压,则这种挤压作用力也应该会影响到上新统以上的沉积层序,而且更应该扩散至整个欧亚大陆东南陆缘的绝大部分区域。实际上在研究区域剖面上这种挤压特征只发生在新近纪下部地层中,上新统以上及古近纪地层并无此特征,而且在南海西沙以西、以北海区,新近纪以来盖层中并未发现持续的压性反射构造特征,这样本区新近纪早期地层中存在的挤压型构造是两大板块相互碰撞远程影响的可能性较小。

南海东北部地处菲律宾海板块与欧亚板块俯冲碰撞区域,汇聚边缘的岩浆及热液活动一直都在延续,在南海形成演化过程中深部高温地幔有可能对大陆边缘产生强烈的热作用,这也可能成为使沉积层发生褶皱变形的内在动力,而剖面上陆缘区参差起伏的新生代基底似乎印证了这一说法。实际上若在早中新世或者中中新世真实发生过地幔物质的上涌,则中新统以下地层应该会同时受到基底隆升的影响。随地幔物质的上涌同时发生褶皱,而且深部层序的构造作用应更为强烈,但实际剖面上陆架区及上陆坡段构造反转特征在 T6 以下并未出现,而且之下的地层亦无隆升现象,甚至在个别区域还出现沉积凹陷和张裂(见图 5)。另外,如果基底的突起确实与地幔物质上涌有关,则从层序特征上来

看此活动更有可能发生在晚中生代至早新生代期间,并在古近纪晚期受到剥蚀才出现缺失古近纪沉积的现象,但这样一来其与古近纪之后沉积就关系不大,而剖面上的压性反转构造主要存在于中新统中,所以对热点或地幔物质在早中新世、中中新世上涌的解释也不合理。

其实自菲律宾海板块在始新世晚期形成以来^[23]一直有北北西向或者北西西向的移动,虽然期间可能发生过相当角度的旋转,但板块主体运动方向一直都是北西,之后逐渐与欧亚大陆发生挤压和碰撞^[24]。这种碰撞最有可能是剖面上新近系下部地层中的反转构造形成的动力来源。值得注意的是菲律宾海板块的西缘开始凌驾于南海地壳之上,因而逐渐形成马尼拉俯冲体系的时间在中中新世—上新世之间^[25-27],此构造运动的时间与本区压性构造有很好对应,而南海东北部陆缘广泛存在的北东向断裂带也表明两大板块的碰撞对陆缘区域也产生相当的影响。

综合以上分析我们认为剖面上新统以下地层中表现出来的这种挤压特征及南海海盆东北部陆缘区域在中新世晚期出现的这种演化过程中的阶段性逆转最有可能是受菲律宾海板块北西向运动并与当时已经张裂开来的南海地块相碰撞并抬升,进而形成马尼拉海沟俯冲体系过程的影响,这是两大板块相互碰撞的压性动力在南海北部陆缘的体现。

5.3 区域构造运动的关系

从研究区东侧的马尼拉海沟俯冲带来看,震源机制解清晰显示吕宋岛弧之下有向东倾斜的贝尼奥夫带,从南到北的横向震源分布剖面则反映从俯冲到碰撞的板块交汇方式的转变^[28]。Tokuyama 等^[14]认为 5 Ma(上新世)以来菲律宾海板块与欧亚大陆边缘发生弧陆碰撞,欧亚大陆边缘俯冲到菲律宾板块之下,而之前两大板块的俯冲边界则很模糊;Huang 等^[13]和 Liu 等^[26]认为在晚中新世和早上新世,随着菲律宾海板块向西北方向移动,吕宋岛弧系统开始撞入大陆边缘,并最终使南海海盆关闭;丁巍伟等^[27]将此俯冲事件提前,认为自中新世中期以来南海洋壳开始沿着马尼拉海沟向菲律宾海板块俯冲,形成活动大陆边缘的增生部分——恒春海脊,与此同时菲律宾海板块向北西方向移动,前缘的吕宋岛弧距今 6.5 Ma 以来朝着亚洲陆缘斜向汇聚,形成了被动大陆边缘的增生部分——高屏斜坡;Bachman 等^[25]以及 Brias

等^[29]认为马尼拉俯冲带形成于南海海盆扩张结束后,并在中新世早期就开始沿着马尼拉海沟向菲律宾海板块俯冲,而在中中新世之后菲律宾海板块开始凌驾于古南海板块之上,从而产生了马尼拉及吕宋岛弧体系。总之,根据前人的研究成果,可以推断出马尼拉俯冲带及吕宋岛弧的形成时间总体介于中中新世与上新世早期之间。

研究区域地处南海东部海盆东北角,隶属台西南盆地,毗邻东沙海区东北部。新生代南海张裂之后区域又历经多次复杂构造运动。L dmann等^[3,30]认为自新近纪以来区域发生过一次剧烈构造活动——东沙运动,该运动发生时间介于中新世上新世,上新世—更新世,并伴生岩浆构造事件;吴时国等^[5-6]及李鲁平等^[4]将南海扩张以来区域构造运动划分为两期,即东沙运动和流花运动,东沙运动发生在晚中新世末到早上新世初(9.8~4.4 Ma),在 seismic 剖面上显示为不整合面。我们收集的剖面上所显示的本区反转构造也发生于晚中新世,且此构造的发生位置及出现时间均与上述几位研究者所描述的东沙运动相一致,据此可以判断两者为同期构造活动。

东沙运动的时间、马尼拉俯冲带形成时间以及剖面上所反映的南海东北部陆缘新近纪早期地层中的压性反转构造所出现的时间相互一致,而南海东北部陆缘与马尼拉俯冲带紧密相邻,这是否暗示着它们之间有某种联系。虽然 L dmann等^[30]认为东沙运动的动力是岩浆的侵入所引起的,但从此次我们所收集到的剖面上来看,岩浆的活动时间更应该是中生代晚期至新生代早期,而中中新统、下中新统中存在的反转构造所对应的活动时间应该在晚中新世—上新世左右。时间上的一致及区域地理位置的靠近使我们理由相信:新近纪早期地层中的压性反转构造其动力来源于中新世—上新世交接的东沙

运动,而东沙运动的原动力则极有可能与马尼拉俯冲带的形成原因相一致,都是西菲律宾海板块北西向运动的结果。

6 结论

根据地震剖面资料分析,南海东北部陆缘在新生代以来历经了前期张裂、中期阶段性挤压及后期稳定热沉降等复杂的构造运动,其中发生在晚中新世左右的阶段性挤压运动是南海东部海盆从扩张到热沉降运动的转折点,是南海海盆成型的标志之一,也是欧亚大陆东南陆缘响应西菲律宾海板块北西向运动的外在表现。

(1)南海北部陆缘新生代以来主要历经了古近系陆缘张裂和海盆扩张,晚中新世—上新世之间的阶段性局部挤压,上新世以来稳定热沉降等复杂构造运动。

(2)剖面上陆架区及陆坡段在中新统尤其在晚中新统—中中新统中出现褶皱、逆断层等典型压性反转构造,证明南海北部大陆边缘的演化历史在中新世晚期发生了重要转变,由前期的张裂构造活动转变为阶段性挤压构造活动。

(3)新近纪早期地层中存在的压性反转构造对应了南海东部海盆在中新世晚期所经历的重要构造运动——东沙运动,此挤压反转构造是东沙运动在台西南海域的体现。

东沙运动反映出马尼拉俯冲带形成过程中出现过短期的阶段性增速事件,此构造事件的本质是菲律宾海板块北西向压应力在欧亚大陆东南陆缘的表现,但此次构造运动为什么发生在晚中新世—上新世期间,它同南海海盆的关闭和成型以及台湾造山带的形成是否存在一定的联系,相关的讨论必将继续下去,而我们对西太平洋边缘海盆的认识也将更加深入。

参考文献:

- [1] TAYLOR B, HAYES DE. Origin and history of the South China Sea Basin [M]// HAYES DE, ed. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asia Seas and Islands. AGU Geophys Monog Ser, v27. 1983: 23-56.
- [2] 李家彪,金翔龙,高金耀.南海东部海盆晚期扩张的构造地貌研究[J].中国科学,2002,32(3):239-248.
- [3] LUDMANN T, WONG How-Kin, WANG Pin-xian. Pliocene-Quaternary sedimentation processes and neotectonics of the northern continental margin of the South China Sea[J]. Marine Geology, 2001, 172: 331-358.
- [4] 李平鲁.珠江口盆地新生代构造运动[J].中国海上油气(地质),1993,7(6):11-17.
- [5] 吴时国,刘文灿.东亚大陆边缘的俯冲带构造[J].地学前缘,2004,11(3):15-22.
- [6] 吴时国,刘展,王万银,等.东沙群岛海区晚新生代构造特征及其对弧陆碰撞的响应[J].海洋与湖沼,2004,35(6):481-490.

- [7] SUN Dong-gi. On the Permian biographic boundary between Gondwana and Eurasia in Tibet, China as the eastern section of the Tethys [J]. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*, 1993, 100: 59–77.
- [8] 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(1): 33–37.
- [9] 杨森楠. 中、新生代太平洋陆缘带的构造格局和构造转换[J]. *地质前缘*, 1997, 4(3–4): 247–255.
- [10] 姚伯初. 南海断裂特征及其构造意义[M]//南海西部海域地质构造特征和新生代沉积. 北京:地质出版社, 1999: 32–43.
- [11] 李家彪, 金翔龙, 阮爱国, 等. 马尼拉增生楔中段的挤入构造[J]. *科学通报*, 2004, 49(10): 1000–1008.
- [12] 姚伯初, 刘振湖. 南沙海域沉积盆地与油气资源分布[J]. *中国海上油气*, 2006, 18(3): 150–160.
- [13] HUANG Chi-yue, WU Wei-yu, CHANG Chung-pai, et al. Tectonic evolution of accretionary prism in the arc-continent collision terrane of Taiwan[J]. *Tectonophysics*, 1997, 281: 31–51.
- [14] TOKUYAMA H, ASHII J, SOH W, et al. Active Submarine Faults off Tokai[M]. Tokyo: University of Tokyo Press, 1998: 151.
- [15] 王善书. 沿海大陆架及毗邻海域油气区(上册, 中国石油地质志, 卷十六)[M]. 北京:石油工业出版社, 1992: 438–453.
- [16] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京:地质出版社, 1989: 257–262.
- [17] GRADSTEIN F M, OGG J G, SMITH A G, et al. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene[J]. *Episodes*, 2004, 27(2): 83–100.
- [18] 宋海斌, 吴能友, 吴时国, 等. 南海东北部 973 剖面地震资料处理及其 BSR 特征[M]//李家彪, 高抒. 中国边缘海海盆演化与资源效应, v. 3. 北京:海洋出版社, 2004: 182–185.
- [19] 尚继宏, 李家彪. 南海东北部陆坡与恒春海脊天然气水合物分布的地震反射特征对比[J]. *海洋学研究*, 2006, 24(4): 12–20.
- [20] 张原庆, 钱祥麟, 李江海. 板块碰撞远程效应的传播与地球层圈间的运动[J]. *地质前缘*, 2001, 8(4): 341–343.
- [21] 李春峰. 西太平洋边缘海与古特提斯边缘海的对比研究[M]//李家彪, 高抒. 中国边缘海海盆演化与资源效应, v. 3. 北京:海洋出版社, 2004: 46–53.
- [22] 方晓思, 张志军, 卢立伍, 等. 印度板块古亚洲板块碰撞及亚洲恐龙的出现[J]. *地质通报*, 2006, 25(7): 862–873.
- [23] 臧绍先, 宁杰远. 菲律宾海板块与欧亚板块的相互作用及其对东亚构造运动的影响[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(2): 188–197.
- [24] HALL R, ALI J R, ANDERSON C D, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea plate[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251: 1229–1250.
- [25] BACHMAN S B, LEWIS S D, SCHWELLER W J. Evolution of a forearc basin, Luzon Central Valley, Philippines[J]. *Amer Assoc Petrol Geol*, 1983, 67: 1143–1162.
- [26] LIU Cha-Shine, HUANG Ian L, TENG Louis S. Structures of south-western Taiwan[J]. *Marine Geology*, 1997, 137: 305–319.
- [27] 丁巍伟, 杨树锋, 陈汉林, 等. 台湾岛以南海域新近纪的弧-陆碰撞造山作用[J]. *地质科学*, 2006, 41(2): 195–201.
- [28] TANG J C, CHEMENDA A I. Numerical modeling of arc-continent collision: application to Taiwan[J]. *Tectonophysics*, 2000, 325: 23–42.
- [29] BRIAS A, PAUTOT G. Reconstructions of the South China Sea from structural data and magnetic anomalies [C]// Jin Xiang-long, KUDRASS H R, PAUTOT G, eds. *Marine Geology and Geophysics of the South China Sea. Proc Symp on Recent Contributions to the Geological History of the South China Sea*. Beijing: China Ocean Press, 2000: 60–70.
- [30] LUDMANN Thomas, WONG How Kin. Neotectonic regime on the passive continental margin of the South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 1999, 311: 113–138.

Inversion structure features and their dynamic significances in Early Neogene strata at continental margin of the northeast South China Sea

SHANG Ji-hong¹, LI Jia-biao¹

(1. Key Laboratory of Submarine Geosciences of State Oceanic Administration, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration; Hangzhou 310012, China)

Abstract: Combining with regional well-log data, the complicated tectonic movements were explored at continental margin of the northeast South China Sea (SCS) such as rifting at Early Cenozoic, phasic extrusion at Late Miocene and stable thermal sedimentation after Pliocene by analyzing high resolution multi-channel

seismic profiles acquired in the national "973" project. Therein, the typical extruding inversion structures such as anticlines and reversed faults existing at Mid- Lower Miocene strata especially in back of totally rifting evolutionary conditions manifested the phasic extruding tectonic movement occurred at about Late Miocene in the northeast SCS. Analyzed results show that the inversion structure is the external performance of Dongsha movement. And its dynamic origin is related to the northwest movement of Philippine Sea Plate.

Key words: continental margin of northeast SCS; Manila subducting zone; anticline; fold; extrusion; unconformity