

南海南部裂离型盆地构造特征

段亮¹, 裴健翔¹, 张亚震¹, 刘为¹,
唐历山¹, 张道军¹, 吴智平²

1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司; 2 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院

摘要 基于前人研究及已钻井、地震、重磁等资料,发现南沙地块与中沙-西沙地块在地壳结构、重力异常及基底岩性等方面具有对称相似性,认为二者以南海扩张脊为轴呈共轭关系。在三大区域构造事件的控制下,盆地发育三大不整合面:初始裂陷不整合面(RU面)、破裂不整合面(BU面)、碰撞不整合面(CU面)。据此可将盆地划分为3套构造层,并建立起统一的构造格架。整体上,以CU面为界,裂离型盆地均呈“下断上拗”的结构特征:下构造层(RU—BU)主要为双断式的地堑结构,主要发育NE、NEE、NW向大型断裂;中构造层(BU—CU)主要为单断式的箕状—双断式的地堑结构,在继承早期大型断裂的基础上发育一系列近EW向次级断裂;上构造层(CU—海底)为稳定的拗陷结构,断裂不发育。

关键词 南海; 礼乐盆地; 北康盆地; 南薇西盆地; 裂离型盆地; 构造特征
中图分类号: TE121.2 **文献标识码**: A

0 引言

南海位于太平洋板块、欧亚板块和印度—澳大利亚板块等三大板块的交汇处,它是在中生代大陆边缘背景上扩张而成的新生代边缘海,油气资源十分丰富。自20世纪60年代以来,周边国家在南沙海域进行了大量的勘探开发工作,发现了较多的大中型油气田。从20世纪70年代开始,我国开展了以南海资源调查为目的的勘探工作,特别是“十二五”重大专项,普查了南海南部含油气盆地的基本地质条件,跟踪研究了南沙海域勘探开发的现状和动态,形成了一系列成果认识,尤以礼乐盆地更为丰富。姚伯初^[1]最早分析了礼乐盆地的地形地貌、地球物理特征及地壳结构,提出中南—礼乐断裂是礼乐盆地和(西)北巴拉望盆地向南陆块漂移时的一条走滑断裂,并论述了它在南海新生代构造运动中的重要意义。高红芳等^[2]结合礼乐盆地的构造沉降特征,将其幕式变化与构造演化相结合,认为盆地的3幕构造沉降与3个构造层及3个演化阶段相对应,初步揭示了构造活动对沉积的控制作用。

詹美珍等^[3]通过物探资料分析认为,礼乐盆地的主要活动断裂有NE向和NW向2组。孙龙涛等^[4]通过对地震、钻井、拖网等资料的分析认为,礼乐盆地发育中生代—新生代海相地层,存在晚白垩世与晚渐新世的2个区域性不整合面,并将中生代—新生代沉积层分为3套构造层。杨树春等^[5]对礼乐盆地的构造热演化史进行了模拟研究,结果表明盆地在新生代经历了2次连续的拉张,该过程使得盆地逐步升温,且在不同构造部位热流值不同,表现为深水区长经历的古热流值最高。阮爱国等^[6]通过广角地震反演研究,认为礼乐盆地与中沙-西沙地块互为共轭,并计算了扩张速率。丁巍伟等^[7]基于过礼乐盆地的地震测线,计算了礼乐盆地与伸展相关的一些要素,并将盆地伸展活动分为2期。其中,第1期主伸展期发生在古近纪大陆裂谷期;第2期发生在漂移期之后,南部陆缘依然有伸展活动,但强度大为减弱。

前人对南沙海域南部的北康盆地和南薇西盆地也进行了一定程度的研究,包括重磁异常^[8]、构造运动^[9]、沉积演化^[10]、层序地层^[11]、油气地质条件^[12]等

收稿日期: 2017-11-22; 改回日期: 2018-04-20

本文受“十三五”国家科技重大专项“海洋深水油气勘探关键技术”(编号:2017ZX05026-001)资助

段亮: 1987年生,硕士,现为中海油湛江分公司勘探地质工程师,主要从事南海周缘盆地石油地质勘探与研究工作。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油二区商业楼; E-mail: duanliang@cnooc.com.cn

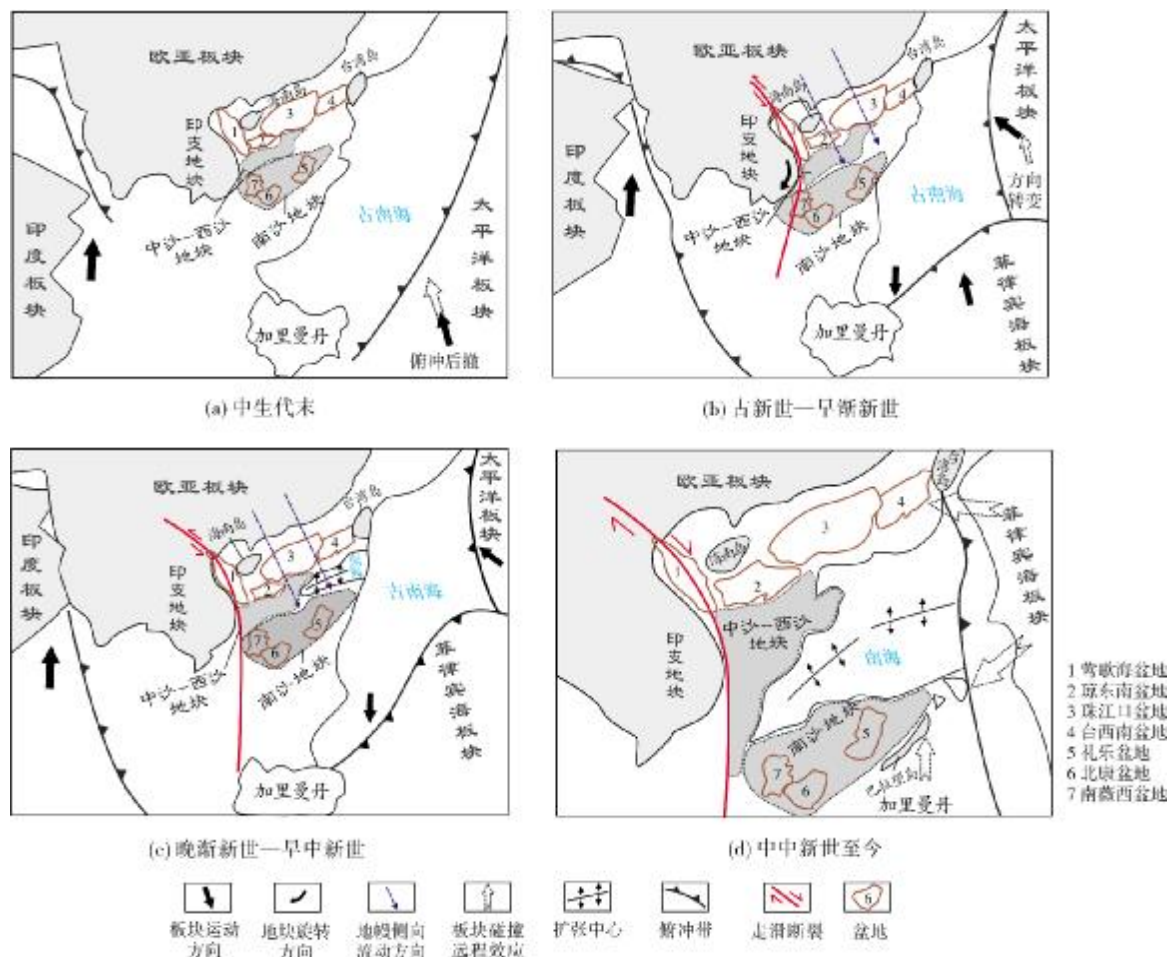
方面,并取得了一系列成果。

前人的研究大多针对单个盆地,但也有一些是针对整个南海及其周缘一系列盆地而开展的,可对于具有相似构造背景和演化过程的一些盆地并没有针对性的论述,同时还存在相邻盆地的构造层解释不统一,同一盆地不同时期、不同机构的研究结果差异较大等问题。例如,礼乐盆地、北康盆地、南薇西盆地、(西)北巴拉望盆地,这些盆地在伸展背景下形成,后期因南海扩张而离开了形成之初的位置,它们具有相似的演化过程。笔者将在伸展背景下形成、后期又经历了漂移分离过程的盆地称为裂离型盆地。为了更深入地认识该类盆地,本文基于大量重新处理的二维地震资料,通过区域构造事件分析、关键界

面地震响应研究等,类比了裂离型盆地的结构、构造和断裂系统,建立了统一的构造格架,以期为下一步勘探提供有价值的指导。

1 区域构造演化与构造事件

研究表明,南海的演化史既是一部板块裂解、漂移和碰撞的演化史,又是一部古南海消亡与新南海扩张相伴的演化史(图1)。尽管在新生代期间发生了多次构造运动,并造成了不同盆地的差异响应,但在区域上,南海及其周缘盆地的形成演化主要受三大构造事件所控制(图2),即中生代末的陆缘裂解事件、渐新世晚期的南海扩张事件、早中新世末的陆块汇聚事件。



1.1 陆缘裂解事件

中生代末,东亚陆缘的区域构造应力场出现了重大

变革。太平洋板块因NW向俯冲后撤反转(图1a),触发了华南陆缘的大规模裂解,导致地幔上隆,地壳减薄,断裂继承性活动,断裂性质由压性、压扭性转变为

地质年代	地质年龄/ Ma	区域构造 事件	地震反射 界面	区域构造演化阶段					构造运动
				珠江口 盆地 ^[17]	琼东南 盆地 ^[24]	礼乐 盆地	北康 盆地	南薇西 盆地	
第四纪	上新世	晚	11.6	坳陷期	坳陷期	坳陷期	坳陷期	坳陷期	南沙运动
	中新世	中	16.0	坳陷期	坳陷期	坳陷期	坳陷期	坳陷期	南海运动
	渐新世	早	23.0	断陷期	断陷期	断陷Ⅱ期	断陷Ⅱ期	断陷Ⅱ期	南海运动
	古近纪	晚	27.8	断陷期	断陷期	断陷Ⅰ期	断陷Ⅰ期	断陷Ⅰ期	礼乐运动

图2 南海海域主要盆地区域构造事件及演化阶段

张性和张扭性，产生了一系列NE—NEE向的张裂构造^[16]，揭开了新南海构造演化的序幕，形成了礼乐盆地、北康盆地、南薇西盆地等伸展盆地的雏形。该事件在南海形成了一个区域性的初始裂陷不整合面（Rifting Unconformity，简称RU），即盆地新生代基底面。

古新世—早渐新世，太平洋板块俯冲方向由NW向转变为NWW向，欧亚板块与印度板块开始硬碰撞，印支地块顺时针方向旋转挤出，诱发西卫运动，古南海开始向加里曼丹俯冲（图1b）。此时，南沙地块尚未裂离，其上的盆地继承早期的断陷结构，断裂十分发育。

1.2 南海扩张事件

渐新世晚期，地幔流缓慢向东南蠕散积聚，印度—澳大利亚板块与欧亚板块之间的新特提斯海闭合，并发生板块碰撞。受此影响，华南陆缘发生大规模的张裂活动，陆壳逐渐减薄、破裂，进而形成新南海洋壳。而古南海洋壳则向南俯冲，使南沙地块与加里曼丹碰撞^[17]（图1c）。此时，全球海平面急剧下降，并形成低海面，地层之间的沉积间断和岩相变化广泛发育，形成了一个区域性的破裂不整合面^[18]（Break up Unconformity，简称BU）。

值得注意的是，南海扩张先后经历了西北次海盆、中央海盆和西南次海盆的扩张，由于不同海盆的扩张事件对不同盆地的影响有所差异，因此不同盆地

的破裂不整合面的响应时间也会不同（图2）。孙珍等^[19]通过地震和数值模拟分析，提出该不整合面存在穿时现象，具有“东早西晚”的特征，即礼乐盆地的破裂不整合面在时间上早于北康盆地和南薇西盆地，但它们在构造属性上却是相同的；同样，珠江口盆地的破裂不整合面要早于琼东南盆地。也正是这一原因，造成了南海各盆地在地质系统划分上的不统一。

1.3 陆块汇聚事件

中中新世以后，太平洋板块对欧亚板块的作用力逐渐加强，南海停止扩张；随着印度—澳大利亚板块继续向北楔入，菲律宾海板块快速北移，造成南海南部裂离型盆地呈剪刀式收缩。大约在16 Ma时，菲律宾岛弧到达南海东部，同时由于苏禄海进一步扩张，向北挤压，使南沙地块上的礼乐盆地、（西）北巴拉望盆地与加里曼丹陆核拼合而产生褶皱、不整合和逆冲断裂、推覆逆掩体等，形成一个非常显著的区域性碰撞不整合面^[18]（Collision Unconformity，简称CU，又称MMU^[20]）。盆地随后进入稳定沉降阶段^[21]（图1d）。

该阶段是裂离型盆地的重要演化阶段，这既造成了盆地内局部地层因俯冲碰撞而发生构造反转，并遭受抬升剥蚀，也促成了这些盆地由断陷结构向坳陷结构的转换，形成了“下断上坳”结构。同时，该时期局部岩浆活动强烈，在南海海域各工区的地震剖面上，均可见刺穿各时代地层的岩浆活动记录，如形成的海山、海丘。

2 南沙地块与中沙-西沙地块呈共轭关系

南沙地块在构造属性上属于华南陆缘,这已被众多学者所认可。高金尉等^[22]利用多条多道地震反射剖面 and 重力异常数据,研究了南海共轭被动陆缘洋陆转换带构造特征的差异性,探讨了南海被动陆缘的类型和伸展模式。董冬冬等^[23]基于最新的高质量多道地震数据、水深数据,及其他地球物理资料,开展了南海共轭陆缘构造不对称性的对比研究。郝天珧等^[24]进行了中沙隆起与礼乐盆地深部结构的对比分析,推断其在南海扩张之前应为同一块体,属于共轭大陆边缘上的“共轭点”。

本文基于已钻井和最新地震资料,结合前人的研究成果,认为南沙地块与中沙-西沙地块呈共轭关系,二者在地壳结构、重力异常及基底岩性等方面均具有对称的相似特征。

2.1 地壳结构

根据地壳的厚度和速度特征,可将盆地分为沉积层、上地壳、下地壳以及地幔等4层结构。阮爱国等^[6]将穿越礼乐盆地东北部、向西北方向延伸的广角地震OBS973-2剖面与北部陆缘的OBS2006-1剖面进行了对比,结果表明,二者结构极为类似,都为典型的陆壳结构^[25]:(1)沉积层,礼乐盆地主体与北部陆缘厚度相似,可达到8 000~10 000 m,速度也差距不大,均在1.8~3.6 km/s范围;(2)上地壳,礼乐盆地厚约10 km,与北部陆缘类似,速度均在5.5~6.4 km/s之间;(3)下地壳,二者的厚度也都在10 km左右,速度为6.6~7.1 km/s。因此,礼乐盆地与中沙-西沙地块的地壳结构相似,二者可能呈共轭关系。

2.2 重力异常

南海区域重力异常具有南高北低、东高西低的特征。南部礼乐盆地、北康盆地、南薇西盆地的区域重力异常值在10~30 mGal(毫伽)之间,北部的台湾海峡—东沙群岛海域的在0~10 mGal之间,西侧的万安盆地附近为0~20 mGal,中部深海盆一般在±10 mGal,向东过渡到10~30 mGal^[26],其中,中沙地块与礼乐盆地北部低凸起均呈大范围自由空气重力异常,数值达100 mGal以上。

区域重力异常总体走向以NE、NEE向为主,东西两侧呈SN向。在北部陆坡区呈现NW向异常切割NE向和NEE向异常的特征,这与海底地形呈现明显的正相关;南海东部边缘及北部陆架区呈带状分布,优势方向为NE—NNE向;在南部海域的北康盆地和南薇西盆地,其重力异常仍以NE—NNE向为主,但局部有明显的NW向分布的异常^[21]。因此,重力异常也反映了礼乐盆地与中沙-西沙地块互为共轭。

2.3 基底岩性

礼乐盆地是在中生代沉积基底上发育的新生代叠合盆地。对礼乐盆地已钻的Sampaguita-1井(后文缩写为S-1)分析发现^[27],礼乐盆地的基底主要为中生代末期的沉积岩(图3),局部含有火山岩和火山集块岩;相邻的(西)北巴拉望盆地C-1井钻遇中生界侏罗系燧石、硅质碎屑沉积岩,南巴拉望盆地P-1井揭示白垩纪末的沉积岩。“Sonne”号在礼乐滩南部断崖上拖网取样采集到晚三叠世—早侏罗世富含蕨类的陆相砂岩、粉砂岩及海相页岩,同时在礼乐-巴拉望地块,有角闪石、片岩、片麻岩、石榴子石云母片岩、石英千枚岩、流纹质凝灰岩等发育^[28]。因此,从基底岩性来看,礼乐盆地、巴拉望盆地的基底以中生界沉积岩为主,局部含变质岩,这一特征与(南海北部)珠江口盆地东部(东经113°~东经118°)的基底性质相似^[29-30]。

北康盆地、南薇西盆地是中生代末—新生代初在长期隆升背景上,由地壳拉伸裂陷而形成的陆内张裂盆地^[31],其地壳性质为减薄的大陆壳。其中,在南薇西盆地西部的P-2X井(图3),钻遇了花岗岩基底;北康盆地虽未有钻井直接揭示,但孙珍等^[19]、赵中贤等^[32]通过各盆地的钻井数据、地震反射、磁异常特征和前人成果的综合分析,认为北康盆地、南薇西盆地的基底地震反射杂乱,推测岩性主要为火山岩和变质岩,与珠江口盆地西部和琼东南盆地的基底性质类似(图3)。

因此,南沙海域裂离型盆地的基底岩性与南海北部盆地的类似,具体表现为:礼乐盆地与珠江口盆地东部的基底主要为中生代沉积岩,局部含有火山岩与变质岩;北康盆地、南薇西盆地与珠江口盆地西部及琼东南盆地的基底主要为前古近系变质岩、火成岩,少见沉积岩^[29]。

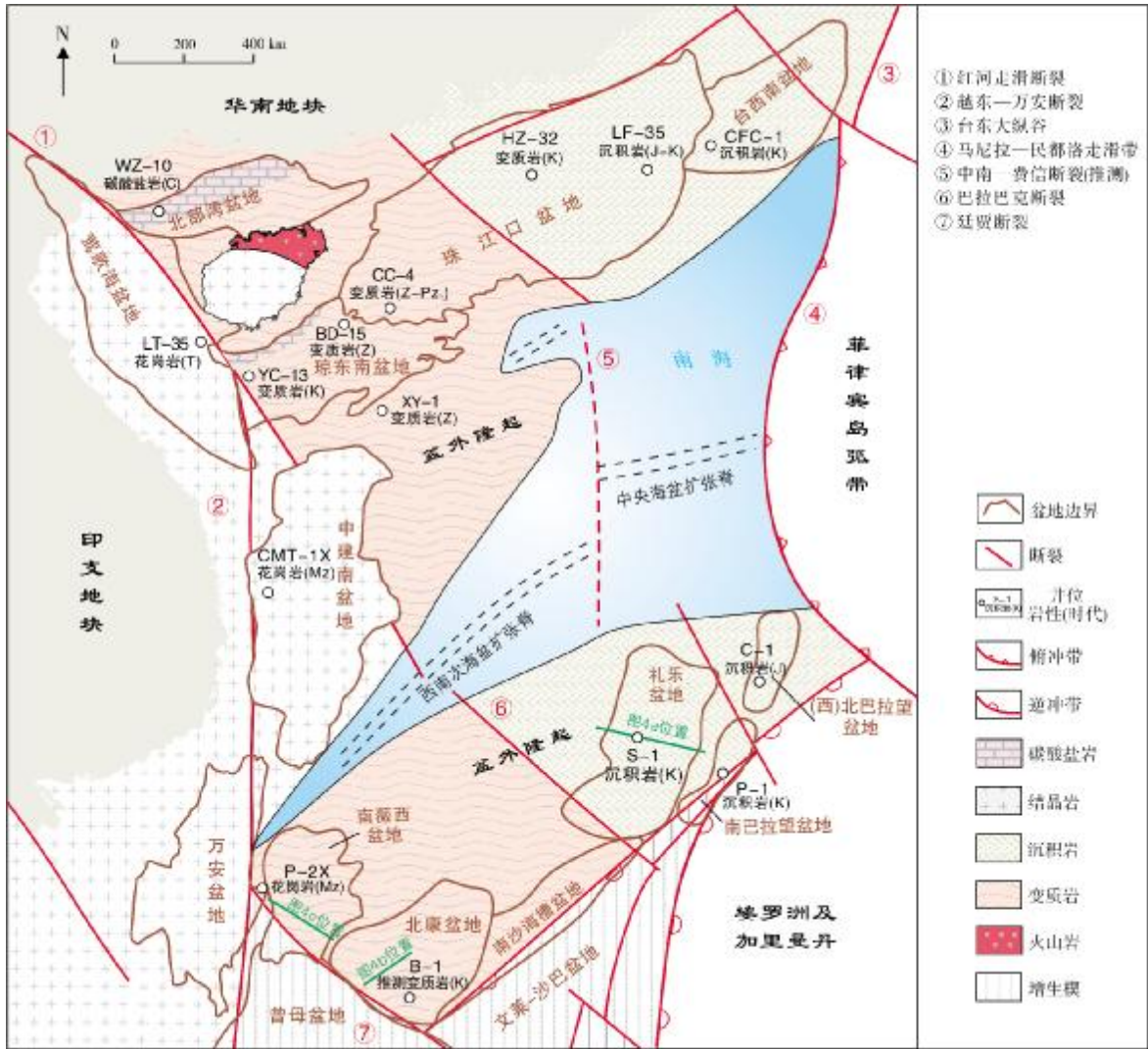


图3 南海区域构造及基底岩性分布

3 关键界面的地震响应特征

3.1 RU面地震响应特征

RU面是白垩系与古近系之间的大型不整合面,在南海北部对应T100地震反射面,在南沙海域则为盆地新生界基底的反射面。该界面一般呈中—低频、中强振幅、中连续—断续反射特征,同相轴粗糙,界面下部反射杂乱,绕射强烈,具风化剥蚀面的反射特征,界面之上呈弱振幅、中连续反射特征。不同的裂离型盆地,RU面的地震响应特征也有差异。

礼乐盆地的RU面表现出中强振幅、中—差连续

的反射特征,其下伏地层为一套低频、中强振幅、连续性差的波组(图4a);在坳陷内部,由于晚渐新世—早中新世碳酸盐岩沉积体的屏蔽作用,地震反射整体偏弱,其下部主要为杂乱弱反射,中强振幅地层超覆其上。新生界基底反射与下部中生代地层呈大角度不整合接触,尤其是在礼乐盆地的北部低凸起,地层上超、下削关系比较清晰。

北康盆地、南薇西盆地的RU面更模糊,仅从界面特征上难以识别。与礼乐盆地不同的是,这2个盆地的基底并非沉积岩,而主要为变质岩,局部为火成岩,因此RU面之下为空白、杂乱的反射特征(图4b, 4c),成层性差;界面之上为有一定连续性的超覆地层,成层性较好。

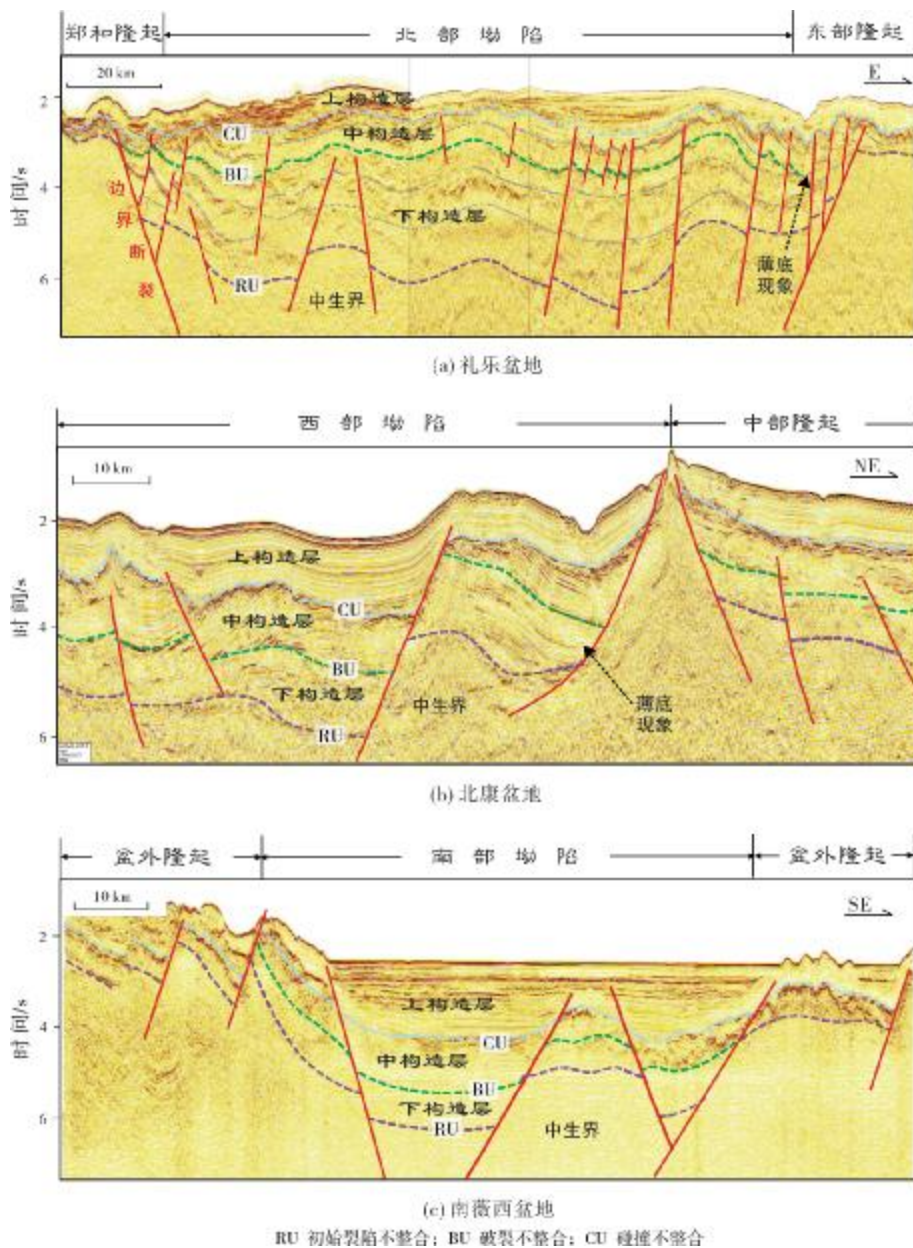


图4 南海南部区域地震地质剖面(剖面位置见图3)

3.2 BU面地震响应特征

BU面是南海扩张的响应面,该界面特征较为复杂,波形变化不定,且存在“东早西晚”的穿时现象,但多表现出低频、较连续的双相位、强反射特征。

礼乐盆地的BU面在不同区域差异较大,表现为盆地边缘明显、内部模糊的特征。在坳陷内部,BU面呈中等—弱振幅、连续、较强反射特征,与上部、下部地层呈整合接触(图4a)。而在礼乐盆地的东部隆起边缘和北

康盆地的中部隆起边缘,BU面对下部地层的削蚀非常显著,造成明显的“薄底现象”(图4a、4b,图5),其上部可见大套中频、强振幅、差连续—杂乱反射特征,下部多为连续性和成层性均较好的平行反射特征。在礼乐盆地的北部低凸起,BU面上下地层的反射特征差异明显,界面之下为低连续—断续、杂乱反射波组,界面之上为中—高连续反射波组。S-1井证实,BU界面是早渐新世末的一个岩性突变面,之上均为大套的碳酸盐岩沉积,钻遇的礁灰岩厚达200 m,之下为碎屑岩沉积。

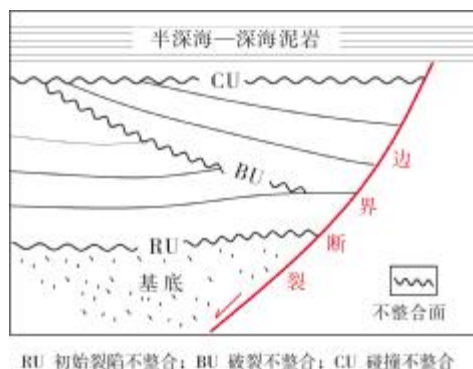


图5 南海南部关键界面接触关系模式

北康盆地、南薇西盆地的BU面不仅在隆起边缘见有“薄底现象”(图4b, 4c), 而且在拗陷内部也见明显的上超、下削特征, 局部表现为强振幅、连续反射^[33]。

南海扩张的多幕性和穿时性, 导致了北康盆地、南薇西盆地的BU面在时代上晚于东部的礼乐盆地。孙珍等^[18]结合已有的地震剖面资料, 系统分析和对比了南沙海域各盆地的结构特征和沉积历史, 认为在南海北部及礼乐—巴拉望地区, 磁条带信息揭示了: 南海第1幕扩张始于32 Ma, 但此时扩张范围仅为西北次海盆和中央海盆, 在北康—南薇西地区影响不明显; 23.8 Ma后, 南海发生洋脊跃迁, 西南次海盆开始扩张, 并在北康盆地、南薇西盆地得到明显响应, 形成了一个破裂不整合面, 即BU面。该破裂不整合面已被马来西亚石油公司钻遇(图3北康盆地中的B-1井), Leong^[34]将该面定义为古近系顶界面。南海海盆的幕式扩张, 造成了BU面“东早西晚”的穿时现象, 但其构造属性是一致的, 都是南海扩张事件造成的结果。

3.3 CU面地震响应特征

CU面是南海扩张停止的响应面, 也是扩张后南沙陆块与婆罗洲陆块汇聚碰撞而形成的不整合面, 这一界面是整个南沙海域最连续、最易追踪的界面, 同时也是该区域的断拗转换面(图4)。

该不整合面有2个明显特征: 从构造特征上看, CU面是个断拗转换面(图5), 其下部地层往往发育大量断裂或褶皱, 地层产状较陡, 且均发生不同程度的翘倾, 而其上部地层产状平缓; 从沉积特征上看, CU面是个岩性界面, 界面之下的大部分正向构造区域可发育大套碳酸盐岩或丘状生物礁沉积, 而界面之上多为弱振幅、平行连续的半深海—深海相泥

岩沉积, 局部发育重力流水道。因此, 无论是相同盆地的不同拗陷, 还是不同盆地内部的拗陷, CU面都能够被清楚地识别, 该面是南沙海域最重要的区域性不整合面, 也是该区域最明显的标志层(图5)。

4 裂离型盆地结构特征

尽管前人已经对礼乐盆地、(西)北巴拉望盆地、北康盆地、南薇西盆地等的结构与构造特征进行了初步分析, 但因所采用的地震资料或年代久远, 或品质较差, 或处于盆地外围^[35], 故难以满足研究需要。

本文的研究应用了合作采集的、总量超过 2×10^4 km的二维地震资料^[30]。这些资料经过多次波衰减与剩余噪音压制等技术手段重新处理后, 成像品质得到了显著改善, 且范围覆盖了整个礼乐盆地及少部分南薇西盆地、北康盆地, 故能够满足新区勘探研究的需要。本文以RU、BU、CU三大不整合面为界, 将礼乐盆地、北康盆地、南薇西盆地等三大裂离型盆地的新生代地层划分为3套构造层, 其中, 中构造层、下构造层均为地堑或半地堑结构, 上构造层为稳定的拗陷结构, 这一特征在整个南海海域都类似。

4.1 礼乐盆地结构特征

礼乐盆地早期为中生代沉积基底之上发育的断陷型盆地, 后期演化经历了陆块漂移, 并与婆罗洲及加里曼丹地块发生碰撞, 逐渐向前陆盆地类型过渡。依据三大区域不整合面RU、BU、CU, 将盆地新生界划分为3套构造层(图4a)。下构造层(RU—BU)主要为双断的地堑式结构(图4a), 该套地层由大型断裂控制的地堑、地垒组成, 在盆地拗陷中部发育巨厚的始新—下渐新统。中构造层(BU—CU)继承了早期的断陷结构(图4a), 但受南海扩张事件影响, 盆地东部强烈拉张, 造成了沉降中心向东部迁移, 局部表现为东断西超的箕状结构, 形成半地堑式充填。上构造层(CU—海底)的地层厚度稳定, 为一套稳定披覆的半深水—深水相沉积。总体上, 以CU面为界, 礼乐盆地呈“下断上拗”的结构特征(图4a): 中、下构造层为断陷结构, 断裂大量发育, 受断裂差异活动影响, 部分地层发生翘倾抬升, 局部削蚀现象明显; 上构造层断裂不发育, 地层平缓, 厚度稳定, 为拗陷结构。

4.2 北康盆地结构特征

北康盆地位于廷贾断裂(图3, ⑦号断裂)北侧,

为南沙地块内裂离型盆地。该盆地以新生代沉积为主,自下而上划分为3套构造层(图4b)。与礼乐盆地类似,下构造层(RU—BU)为双断式的地堑结构,在边界大断裂的控制作用下,盆内形成了多个垒堑相间的充填单元,该构造层厚度稳定,整体从拗陷到两侧隆起带呈阶梯状减薄趋势。中构造层(BU—CU)为一套中—强波组的不连续反射,地层产状较陡,顶部削蚀明显,整体结构继承了下部双断式的地堑结构。上构造层(CU—海底)为一套拗陷期厚度稳定的披覆盖层,该构造层的厚度要大于礼乐盆地。总体上,北康盆地“下断上拗”的特征十分明显。

4.3 南薇西盆地结构特征

南薇西盆地与北康盆地、礼乐盆地的结构相似,但因为靠近西南次海盆,盆内新生代沉积层多发育岩浆刺穿和喷发活动,形成众多的海山、海丘^[19]等特殊岩体。纵向上盆地可分为3套构造层(图4c):以CU面为界,下构造层、中构造层为断陷结构,发育大量呈骨牌状排列的正断裂,地层发生翘倾,局部被侵蚀;而上构造层内的地层变形微弱。

5 裂离型盆地断裂特征

裂离型盆地均具有“下断上拗”的结构特征:下部为地堑或半地堑结构,断裂发育,走向以NE、NNE、NW为主,对盆内沉积构造具有明显的控制作用;上部为稳定的披覆盖层,断裂不发育。

5.1 礼乐盆地断裂特征

礼乐盆地呈NNE走向,可划分为一隆两拗:北部拗陷、中部隆起、南部拗陷(图6)。由于合作采集的二维地震资料实现了对礼乐盆地的全覆盖,因此能够对该盆地断裂的活动期次和断裂控制作用进行分析。

研究发现,盆地断裂非常发育,走向上主要分为3组(图6),分别为NNE、NW和NE—NEE,其中NE—NEE走向的断裂最为发育。根据形成时间的不同,可将断裂划分为2期:早期的主要为NNE向和NW向,是盆地的初始断裂;后期受南海扩张事件影响,在早期NNE向和NW向断裂的基础上,派生出NE向和NEE向断裂,构成了盆地复杂的断裂系统。

不同期次的断裂对盆地的控制作用有所差别。早期的NNE向和NW向断裂处于隆起带附近,基本控

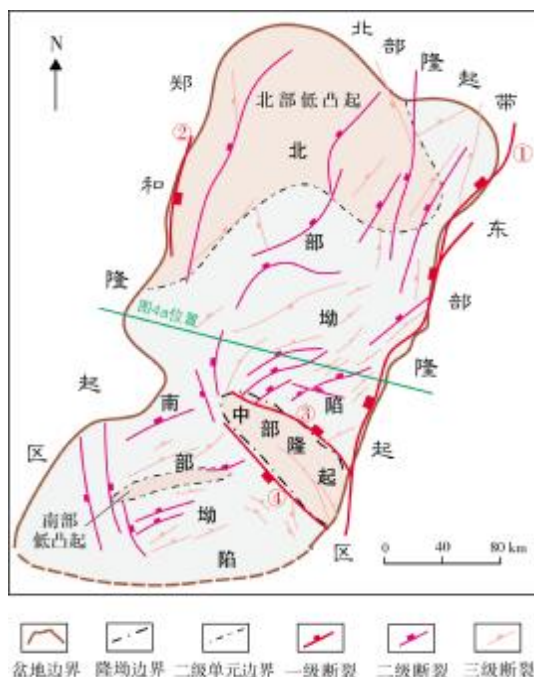


图6 南海南部礼乐盆地断裂系统展布

制了盆地构造格局(图6)。例如,盆地东部NNE走向的①号断裂、西部NNE走向的②号断裂,规模巨大,为盆地的边界断裂,它们分别与东部隆起区和郑和隆起区直接相接;中部隆起上NW走向的③号、④号断裂则分隔盆地内的南部拗陷与北部拗陷。晚期的NE—NEE走向的断裂在拗陷中部大量发育,控制着局部构造。

根据断裂的规模和控制作用,将礼乐盆地的断裂系统划分为3级(图6):一级控盆/控拗,二级控构造带,三级因断裂的断距较小,控制沉积作用不明显。研究区①号、②号、③号、④号断裂均为一级断裂,它们共同控制盆地的形成演化及拗陷充填^[16]。

5.2 北康盆地断裂特征

北康盆地呈NE走向,可划分为西部拗陷、中部隆起、东北拗陷、东南拗陷和东南隆起等5个二级构造单元^[19,36](图7)。根据部分地震剖面及区域重磁成果,北康盆地基底的断裂系统比较发育^[11,37],走向上主要包括NE、NW和SN共3组(图7)。其中,以雁行排列的NE走向的断裂为主,而NW向和近SN向的数量较少,但规模差别却较大。在断裂活动期间,伴生发育了一系列的岩浆活动,尤其在盆地东部地区,火成岩体为酸性、中性岩类。盆地中的褶皱也比较发育,局

部构造以背斜、半背斜和断鼻为主,其次为断块构造,部分为刺穿构造,这些都明显受构造活动的控制。西部地区的褶皱主要呈NW走向排列,东部地区的褶皱则以NE走向展布为主。

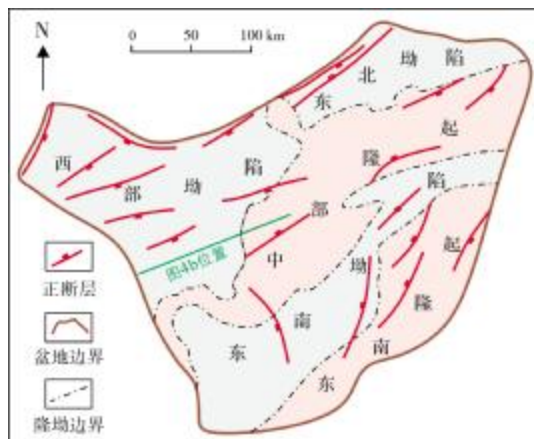


图7 南海南部北康盆地断裂系统展布

5.3 南薇西盆地断裂特征

南薇西盆地总体呈NNE走向,隆坳相间(图8)。盆地地层变形强烈,构造特征十分复杂,断裂系统在平面上比较一致,均为NE走向(图8),但倾向各有不同(图8,图4c),坳陷区表现为倾向相对的地堑式断裂组合,隆起附近则表现为倾向相背的断裂组合^[38]。

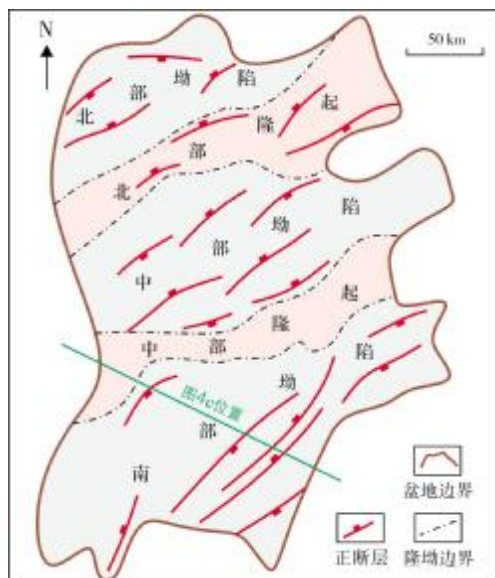


图8 南海南部南薇西盆地断裂系统展布

6 结论

(1) 南海及其周缘盆地的形成演化,主要受三大构造事件控制:陆缘裂解事件形成了盆地雏形,多幕南海扩张造成了破裂不整合面穿时,陆块汇聚事件促成了盆地断拗转换。在三大区域构造事件控制下,盆地发育三大不整合面:初始裂陷不整合面(RU面),破裂不整合面(BU面),碰撞不整合面(CU面)。

(2) 经对比发现,南沙地块与中沙-西沙地块地壳结构相同、重力异常相似,且基底岩性可类比,这2个地块呈共轭关系。

(3) 地震响应上,RU面的特征与基底类型有关,在非沉积基底的坳陷,呈杂乱特征,无成层性,在沉积基底的坳陷,则与上部地层呈高角度不整合接触;BU面在坳陷中部虽难以识别,但在隆/坳边界处“上超下削”特征明显,局部伴有“薄底”现象;CU面为断拗转换面,是一区域标志性界面。

(4) 裂离型盆地均具有“下断上拗”的结构特征。依据三大不整合面可划分为3套构造层:下构造层(RU—BU)、中构造层(BU—CU)为地堑或半地堑结构,断裂走向以NE、NNE、NW为主,断裂控制作用显著;上构造层(CU—海底)为稳定的披覆盖层,断裂不发育。

参考文献

- [1] 姚伯初. 中南—礼乐断裂的特征及其构造意义[J]. 南海地质研究, 1995: 1-14.
- [2] 高红芳, 曾祥辉, 刘振湖, 等. 南海礼乐盆地沉降史模拟及构造演化特征分析[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 385-390.
- [3] 詹美珍, 詹文欢, 姚衍桃, 等. 南海南部礼乐滩及其邻域活动断裂分析[J]. 工程地质学报, 2007, 15(增刊1): 7-11.
- [4] 孙龙涛, 孙珍, 周蒂, 等. 南沙海区礼乐盆地沉积地层与构造特征分析[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(2): 151-158.
- [5] 杨树春, 全志刚, 郝建荣, 等. 南海南部礼乐盆地构造热演化研究[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(3): 359-364.
- [6] 阮爱国, 牛雄伟, 丘学林, 等. 南沙礼乐滩的海底地震仪广角地震试验[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3139-3149.
- [7] 丁巍伟, 李家彪, 黎明碧. 南海南部陆缘礼乐盆地新生代的构造-沉积特征及伸展机制: 来自 NH973-2 多道地震测线的证据[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(5): 895-904.
- [8] 林珍. 南沙中部海域北康盆地重、磁异常解释[J]. 南海地质研究, 2002: 69-76.
- [9] 刘振湖, 郭丽华. 北康盆地沉降作用与构造运动[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 51-57.
- [10] 王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 96-102.
- [11] 许红, 陆永潮, 施和生, 等. 南沙群岛海域北康盆地生物礁高精度层序地层学及其新近纪生物礁层序演化模式[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(2): 48-54.

- [12] 刘振湖,王嘹亮,高红芳. 南海南薇西盆地地质构造特征与油气前景[C]//第三届全国沉积学大会论文摘要汇编, 2004.
- [13] 吴智平,刘雨晴,张杰. 中国南海礼乐盆地新生代断裂体系的发育与演化[J]. 地质前缘, 2018, 25(2): 221-230.
- [14] 姜华,王华,李俊良,等. 珠江口盆地珠三坳陷层序地层样式分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(1): 87-92.
- [15] 廖计华,王华,孙志鹏,等. 琼东南盆地深水区长昌凹陷构造演化及其对层序样式的控制[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(8): 3121-3131.
- [16] 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, 1999, 18(4): 9-17.
- [17] 张翀,吴世敏,丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 61-70.
- [18] 孙珍,赵中贤,李家彪,等. 南沙地块内破裂不整合与碰撞不整合的构造分析[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3196-3209.
- [19] 孙珍,赵中贤,周蒂,等. 南沙海域盆地的地层系统与沉积结构[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(5): 798-806.
- [20] HUTCHISON C S. Marginal basin evolution: the southern South China Sea[J]. Marine and petroleum geology, 2004, 21(9): 1129-1148.
- [21] 张亮. 南海构造演化模式及其数值模拟[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(中国科学院海洋研究所), 2012.
- [22] 高金尉,吴时国,彭学超. 南海共轭被动大陆边缘洋陆转换带构造特征[J]. 大地构造与成矿学, 2015, 39(4): 555-570.
- [23] 董冬冬,吴时国,李家彪. 南海共轭大陆边缘的构造对比及差异伸展模式[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(5): 1059-1070.
- [24] 郝天珧,徐亚,孙福利,等. 南海共轭大陆边缘构造属性的综合地球物理研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3098-3116.
- [25] 李家彪. 南海大陆边缘动力学: 科学实验与研究进展[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 2993-3003.
- [26] 姚伯初,万玲,等. 中国南海海域岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 180-221.
- [27] 阎贫,王彦林. 南沙礼乐盆地 Sampaguita 气田发现的启示[J]. 海洋开发与管理, 2013(增刊 1): 64-67.
- [28] KUDRASS H R, WIEDICKE M, CEPEK P, 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(1): 19-30.
- [29] 孙晓猛,张旭庆,张功成,等. 南海北部新生代盆地基底结构及构造属性[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(6): 1312-1323.
- [30] 邓志勇,张治忠,廖显锋,等. 深水崎岖海底地震资料问题及处理对策: 以南海 L 盆地二维地震重处理为例[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(3): 1-7.
- [31] 张莉,王嘹亮,易海. 北康盆地的形成与演化[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 245-248.
- [32] 赵中贤,孙珍,陈广浩,等. 南沙海域新生代构造特征和沉降演化[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(5): 815-821.
- [33] 姚永坚,杨楚鹏,李学杰,等. 南海南部海域中新世(T_3 界面)构造变革界面地震反射特征及构造含义[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1274-1286.
- [34] LEONG K M. The petroleum geology and resources of Malaysia [M]. Kuala Lumpur, Malaysia: Petronas(Petroleum Nasional Berhad), 1999.
- [35] 徐行,姚永坚,王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(3): 170-175.
- [36] 杨木壮,吴进民. 南海南部新生代构造应力场特征与构造演化[J]. 热带海洋, 1996, 15(2): 45-51.
- [37] 王宏斌,姚伯初,梁金强,等. 北康盆地构造特征及其构造区划[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(2): 49-54.
- [38] 金庆煊,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.

编辑:董庸

Tectonic characteristics of extensional detachment basin in southern South China Sea

DUAN Liang, PEI Jianxiang, ZHANG Yazhen, LIU Wei,
TANG Lishan, ZHANG Daojun, WU Zhiping

Abstract: Based on drilling data, seismic data, gravity anomaly and magnetic anomaly, it is revealed that there is symmetrical similarity between Nansha massif and Zhongsha-Xisha massif in crustal structure, gravity anomaly and basement lithology, which are conjugated with the expansion ridge of South China Sea as axis. Under the control of three tectonic events, three unconformity surfaces developed including RU (Rift Unconformity), BU (Breakup Unconformity), and CU (Collision Unconformity), which can be identified on seismic profiles. Then a unified framework with three tectonic layers was setup in the basins of different massifs. According to seismic data, we study the tectonic characteristics of three basins such as Liyue Basin, Beikang Basin, and Nanweixi Basin in Nansha massif. Divided by the CU surface, the structure of these basins show the characteristics of "lower fault and upper depression" on the whole. In the lower tectonic layer (RU-BU), graben developed with faults of different strike such as NE, NEE and NW. In the middle tectonic layer (BU-CU), half-graben or graben developed with sub-faults of EW strike besides the former faults. In the upper tectonic layer (CU-seabed), stable depression developed.

Key words: South China Sea; Liyue Basin; Beikang Basin; Nanweixi Basin; extensional detachment basin; tectonic characteristics

DUAN Liang: MSc, Geology Engineer. Add: CNOOC Zhanjiang Company, Zhanjiang, Guangdong 524057, China