

文章编号:1009-3850(2014)01-0081-14

南海中部西区新生代构造演化规律 与盆地形成演化动力学机制探讨

蔡嵩^{1,3}, 夏斌^{1,2}, 蔡州荣²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:本文以现代构造地质与地球动力学理论为指导,利用平衡剖面技术对南海中部西区进行了构造演化特征及演变史的恢复,制作了其上下构造层的构造纲要图,划分了南海中部西区新生代以来经历的三大构造演化阶段:(1)裂陷阶段;(2)拗陷阶段;(3)区域沉降。并指出了其动力学机制:始新世末,印度板块与欧亚板块发生碰撞产生的远距离效应以及渐新世西太平洋板块向东亚大陆边缘产生的俯冲效应是南海中部西区新生代构造演化的主要动力学机制。

关键词:南海中部西区;新生代;平衡剖面技术;构造演化;动力学机制

中图分类号:P546

文献标识码:A

南海拥有丰富的油气资源,是世界油气勘探的热点地区之一,也是我国石油公司海上油气勘探的重要区块。南海中部西区构造特征复杂,构造演化规律不明确,构造问题是其内部盆地油气勘探的难点之一。

南海中部西区(东经108°~117°,北纬13°~18°,面积约15万平方千米)的主体部分属于南海北部陆缘的一部分,包括琼东南盆地、莺歌海盆地、中建南盆地和西沙隆起(图1)。目前的油气勘探成果表明,南海北部陆缘有着非常好的油气远景,其油气的生油层以及储油层基本上都位于新生代的沉积地层中^[1-3]。但南海中部西区由于受多种因素的制约和影响,油气勘探程度及地质综合研究程度甚低,油气地质调查与油气勘探及研究工作甚少。因此,深入研究南海中部西区新生代构造演化规律与盆地形成动力学机制,对指导该区乃至整个南海油气勘探具有重要的意义。本文通过平衡剖面技

术对中部西区骨干地震剖面进行构造演化特征及演变史的恢复,结合地球物理资料和区域地质资料,制作了南海中部西区上下构造层的构造纲要图,并在前人的研究基础上对南海中部西区新生代构造演化规律与盆地形成演化动力学机制进行探讨。

1 研究区地质概况

南海属西太平洋最大的边缘海之一,亦是我国四大海域中唯一一个具有大洋型地壳的海盆,其位于太平洋板块、欧亚板块和印度—澳大利亚板块三者交汇之处^[4-6]。中、新生代以来,三大板块错综复杂的相互作用和复杂的深部动力活动,导致南海成为了世界上少有的复杂构造活动区,故南海在西太平洋边缘海成因研究中具有举足轻重的作用和地位^[7-8]。南海北部陆缘新生代以来经历过多次的构造运动,形成了一系列北东东向张裂型的沉积盆

收稿日期:2013-07-26; 改回日期:2013-08-04

作者简介:蔡嵩(1986-)男,博士研究生,主要从事构造地质专业研究。E-mail:46506990@qq.com

通讯简介:夏斌(1959-)男,博士,教授。电子邮箱:xb698xy@qq.com

地^[9-11]。根据所属构造位置及所受区域应力场的不同,南海北部大陆边缘(主要是陆架和陆坡)可划分为3个大的构造区带:(1)东部的张裂构造带;(2)西北部的走滑拉分构造带;(3)西南部的剪切-张裂构造带^[12]。其中东部张裂构造带包括珠江口盆地和琼东南盆地,构造轴向呈NE向;西北部走滑拉分构造带主要指莺歌海盆地,构造轴向呈NW向;西南部剪切-张裂构造带主要指中建南盆地,构造轴向呈近NS向。南海中部西区的主体部分位于三大构造带的交汇处,集走滑、张裂和剪切构造作用于一体,构造异常复杂。

前人研究认为,印度与欧亚板块碰撞(43Ma)作用对南海中部西区构造演化尤为重要,在南海中部西区产生了两种不同的构造效应。第一种构造效应表现为碰撞造成了华南大陆深部地幔物质的东南方向流动^[13-16],是南海北部边缘陆缘扩张的主要成因机制。第二种板块碰撞效应是造成了印支地块顺时针的旋转^[13,17],形成了在莺歌海盆地及中建南盆地剪刀式的东西向张裂构造作用。

虽然前人已在南海中部西区开展了大量的工作,但是由于受深水勘探技术等因素的影响,对其盆地形成演化过程和动力学机制的认识仍很欠缺。

2 研究区平衡剖面分析

本文选择了南海中部西区内的4条骨干地震剖面制作平衡剖面(两条NW向,两条NEE向),剖面位置如图1所示。

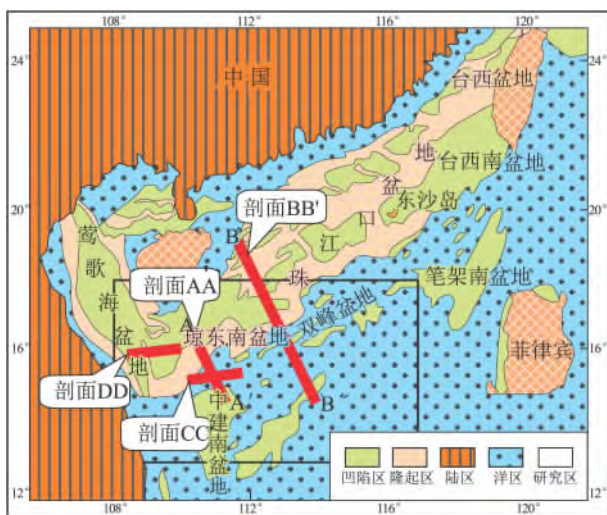


图1 南海中部西区及平衡剖面所在位置图

Fig.1 Location of the western part of the central South China Sea and measured balanced cross sections

平衡剖面的制作是在2Dmove软件上完成,完成后的平衡剖面如下图所示(图2)。

从剖面AA'可看出,早渐新世时凹陷最强,断裂最发育,断裂对沉积的控制明显(图2)。对剖面AA'的伸展量和伸展率进行了计算(图6A、B)。剖面AA'在下渐新世时期伸展最强裂,速度最快,达到3.497km/Ma,中新世以后逐渐停止伸展。

剖面BB'显示,从始新世至渐新世,断陷分布分割性强,从中新世开始后逐渐形成较统一的凹陷沉积(图3)。对剖面BB'的伸展量和伸展率进行了计算(图6C、D)。剖面BB'下渐新世及上渐新世下段时期伸展最强烈,伸展速度超过5km/Ma。

剖面CC'为NEE向,断陷特征从始新世一直持续至中中新世,受断裂控制强(图4)。对剖面CC'的伸展量和伸展率进行了计算(图7A、B)。剖面CC'显示渐新世伸展速度最快,达1.3km/Ma,中中新世再次强烈伸展。

剖面DD'为NEE向,断陷较连续,下部断裂系统发育,中新世以后多为继承性断裂(图5)。对剖面的伸展量和伸展率进行了计算(图7C、D)。DD'构造演化剖面显示,盆地伸展速度在上渐新统上段沉积时期达到1.734km/Ma,到早中新世突然下降。

由平衡剖面及其伸展率的计算结果可知,NW-SE向的伸展速率比NEE向较大,显示了研究区张裂的主要方向为NW-SE向,主要发生在始新世至渐新世期间。

3 南海中部西区新生代的构造层特征及构造演化规律

南海中部西区主体属于南海北部陆缘的一部分,其构造演化规律也应与南海北部边缘盆地基本相似。南海北部陆缘盆地的形成和演化与各期次板块构造运动密不可分,相关研究^[3,18,19]表明:在神狐运动(晚白垩世-古新世)、珠江运动(始新世)、南海运动(渐新世-早中新世)和东沙运动(中中新世以后)等多次构造运动的影响下,南海北部陆缘自中生代末以来盆地演化经历了陆缘裂陷和裂后沉降两个大的演化阶段。本文在前人的研究基础上,认为南海中部西区新生代以来形成了两大构造层序:上构造层(中新统-全新统)和下构造层(古近系),并经历裂陷、拗陷和区域沉降3个构造演化阶段(表1)。

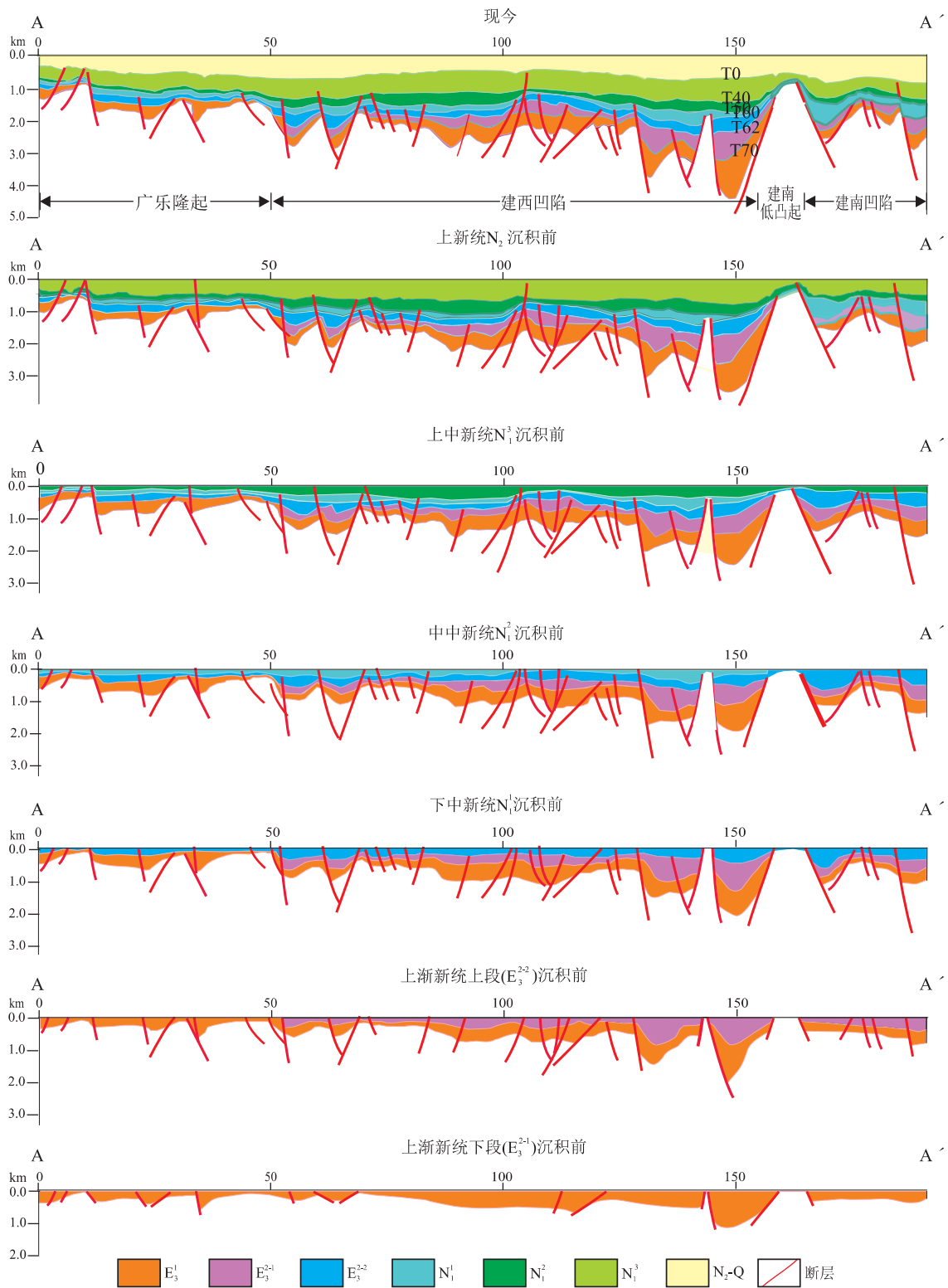


图2 研究区平衡剖面图 AA'

Fig. 2 The balanced cross section A-A' in the study area

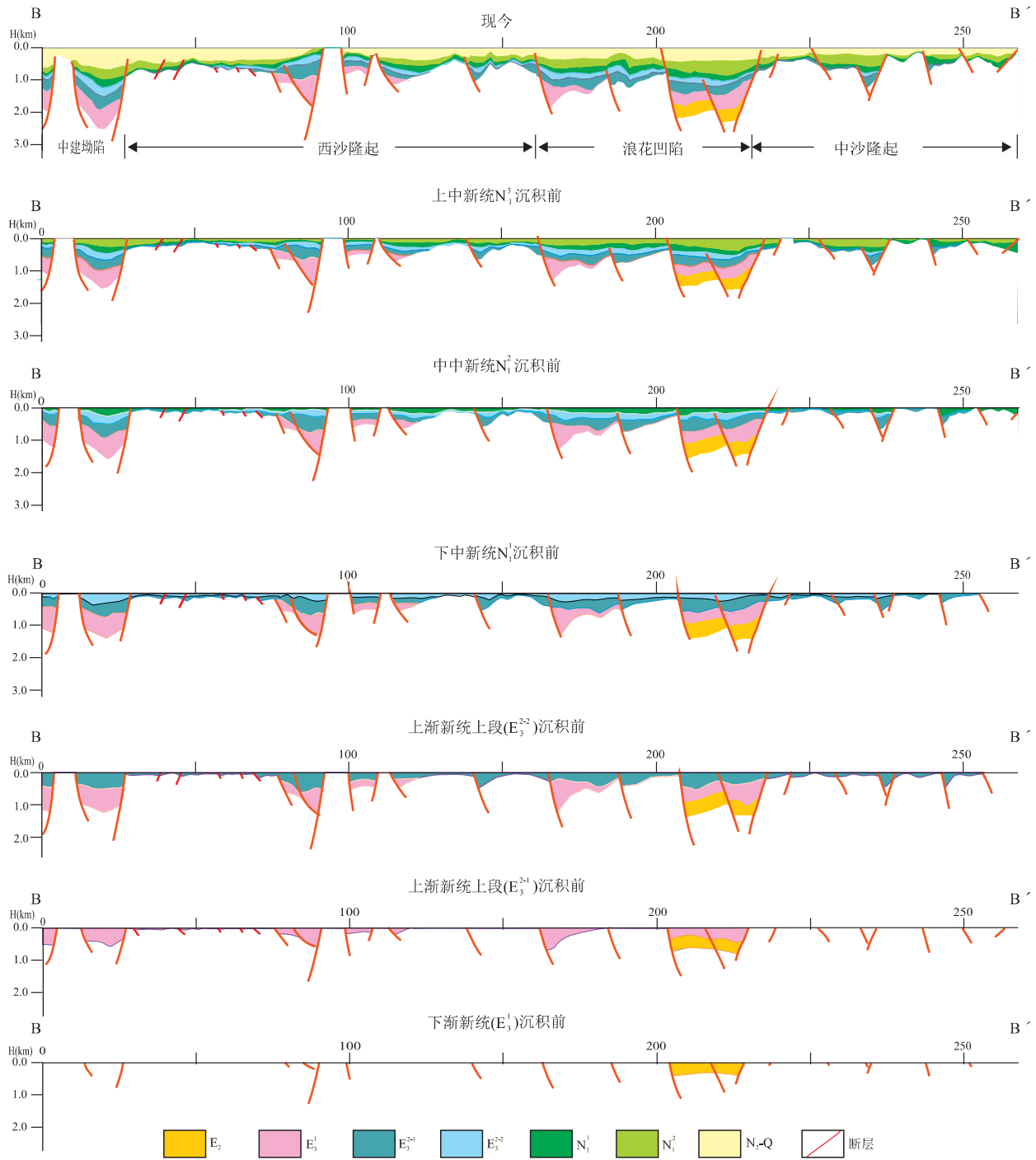


图3 研究区平衡剖面图BB'

Fig.3 The balanced cross section B-B' in the study area

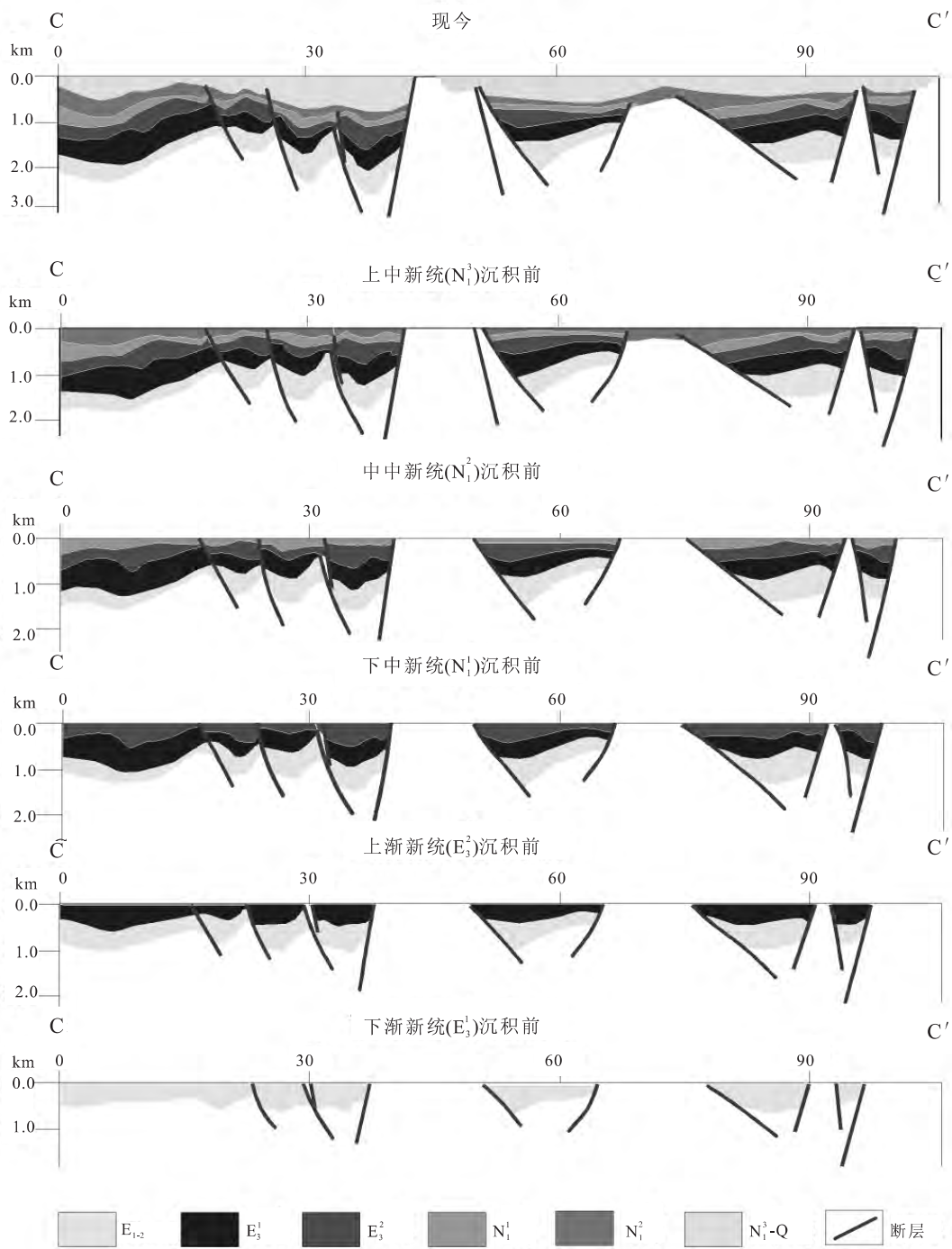


图4 研究区平衡剖面图 CC'

Fig.4 The balanced cross section C-C' in the study area

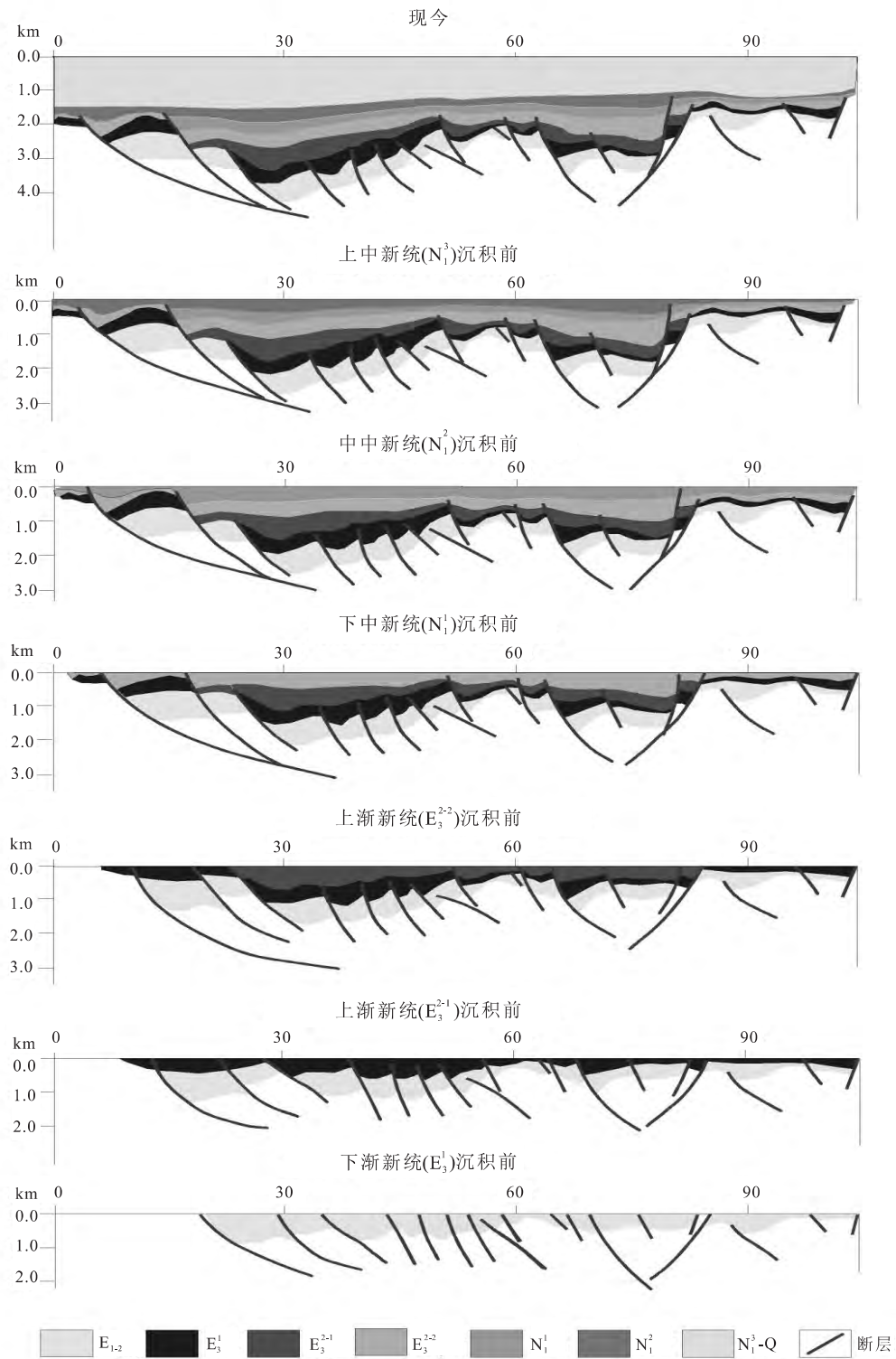


图5 研究区平衡剖面图 DD'

Fig. 5 The balanced cross section D-D' in the study area

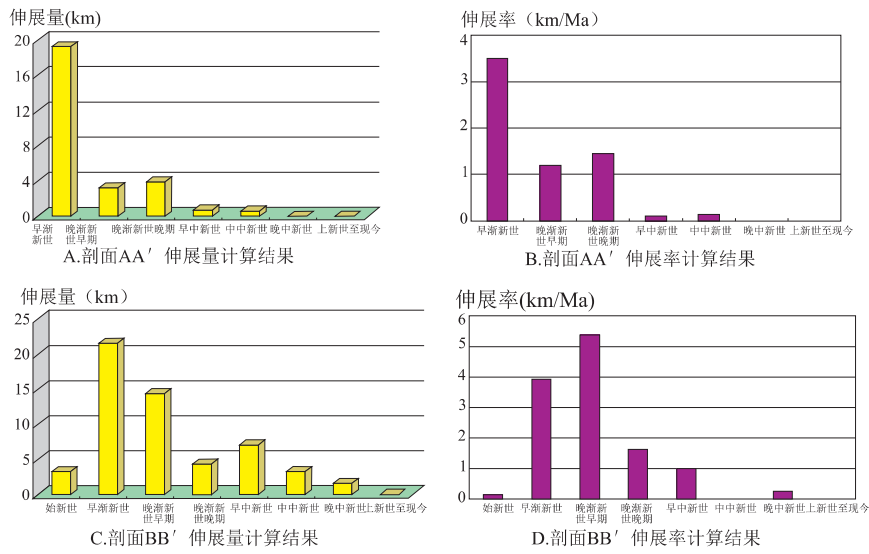


图 6 AA'和 BB'平衡剖面伸展量和伸展率计算结果

Fig. 6 Calculations of the extensional quantities and extensional rates for the balanced cross sections A-A' and B-B' in the study area

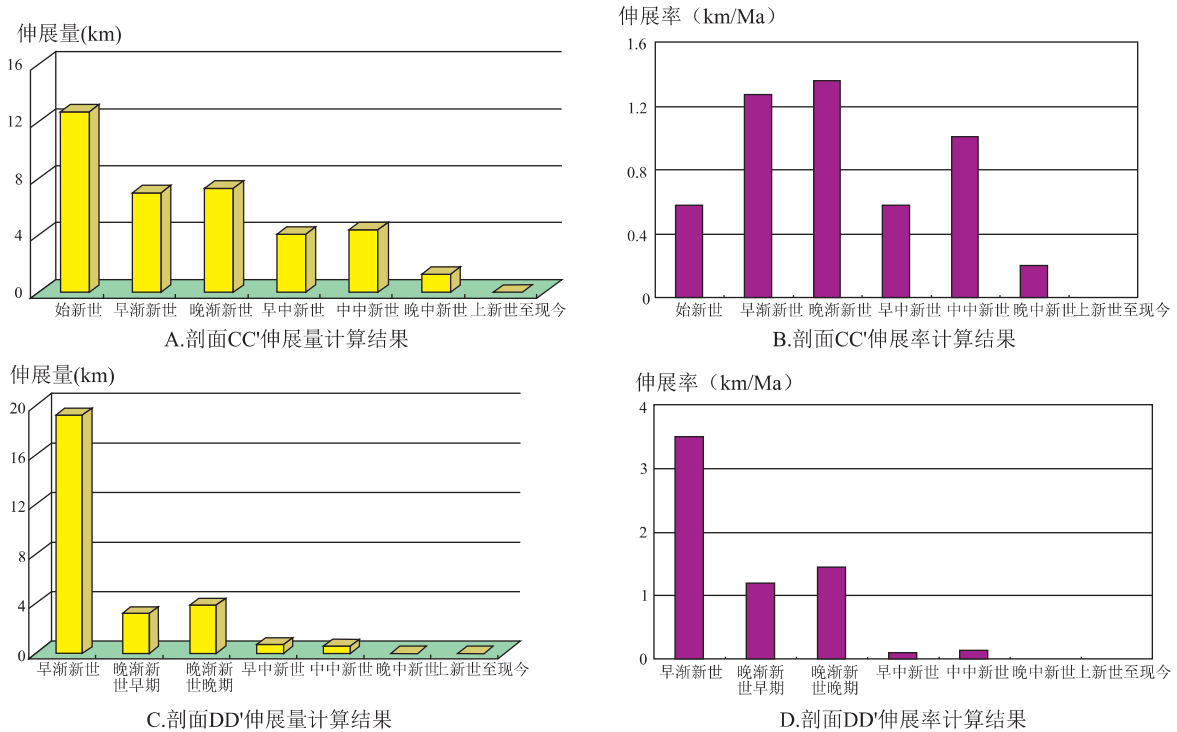


图 7 CC'和 DD'平衡剖面伸展量和伸展率计算结果

Fig. 7 Calculations of the extensional quantities and extensional rates for the balanced cross sections C-C' and D-D' in the study area

表 1 研究区新生代构造运动划分表

Table 1 Division of tectonic movements during the Cenozoic in the study area

地质时代	代号	底界年龄/Ma	构造运动与盆地演化阶段		构造层序
			构造运动	盆地演化阶段	
新近纪	更-全新世	Q	1.806	东沙运动	上构造层 (I)
	上新世	N ₂	5.332		
	中新世	N ₁ ¹	11.608		
		N ₁ ²	15.97	南海运动	
		N ₁ ³	23.03		
古近纪	渐新世	E ₃	28.4	珠江运动二幕	裂陷阶段
		E ₃	33.9	珠江运动一幕	
	始新世	E ₂	55.8	神狐运动	
	古新世	E ₁	65.5		
		AnE			

3.1 南海中部西区上、下构造层特征

在前人的研究工作中,由于研究机构和出发点不同,对南海北部大陆边缘盆地的边界一直比较模糊,划分也比较随意,没有统一的边界划分方案。本文在前人划分方案的基础上,根据南海中部西区的重力异常反演资料,对盆地边界、断裂等进行分析,制作了南海中部西区上下构造层的构造纲要图。

在南海中部西区的平衡剖面剖面(图2)上可以看出,上构造层与下构造层具有明显差异:上构造层地层连续且厚度较均匀,断裂体系不发育,反映了坳陷沉积特征;下构造层断裂发育,断陷分割性强,其沉降主要受断裂构造控制,反映了裂陷沉积特征。

积特征。

上构造层在剖面上以坳陷型构造为特征,断裂不发育,主要发育海相沉积,为典型的凹陷沉积特征(图8)。南海中部西区上构造层为裂后沉降阶段形成的坳陷沉积层,各盆地(凹陷)间连通性较好,盆地覆盖面积比下构造层大,断裂以下构造层及基底的继承断裂为主,呈NE、NW和近NS向。

南海中部西区下构造层在剖面上以伸裂型构造为特征,断裂发育,控制着盆地的沉积和充填,从中部西区各剖面沉积充填特征来看,下构造层主要发育冲积扇、河流-三角洲相及湖相等陆相沉积。在南海中部西区内下构造层中,各盆地(凹陷)分割性强,断裂体系在琼东南盆地、西沙地块、中沙地块以NE向为主,少量呈近EW向和NW向;断裂体系在莺歌海盆地以NW向为主,在中建南盆地以NS向和EW向为主(图9)。南海中部西区内各主要盆地的边界受大断裂的控制,而且各盆地内的凹陷也受断裂的控制,如琼东南盆地南部的华光凹陷,中建南盆地的建西、建东和建南凹陷等。相对于各大盆地而言,西沙地块和中沙地块上发育的一些小凹陷则受断裂的控制较弱,很多基底断裂直接切过凹陷的中部,这可能跟断裂形成的时间较早,而这些小凹陷则普遍缺失最底部地层有关。

综上所述,南海中部西区上构造层与下构造层存在以下几点差异:

(1) 上构造层各盆地之间基本相连;下构造层各盆地(凹陷)之间分割性强,彼此间相对较独立。



图 8 南海中部西区构造纲要图(上构造层)

Fig. 8 Tectonic outline of the upper structural layers in the western part of the central South China Sea

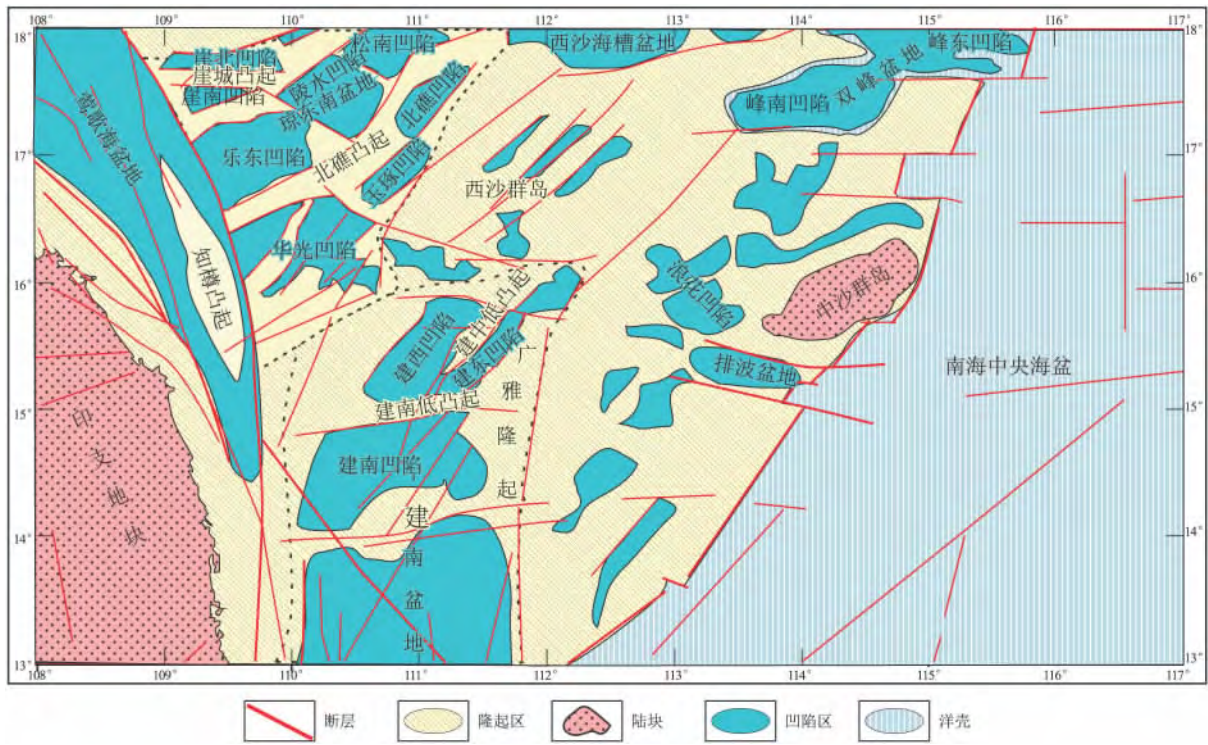


图9 南海中部西区构造纲要图(下构造层)

Fig.9 Tectonic outline of the upper structural layers in the western part of the central South China Sea

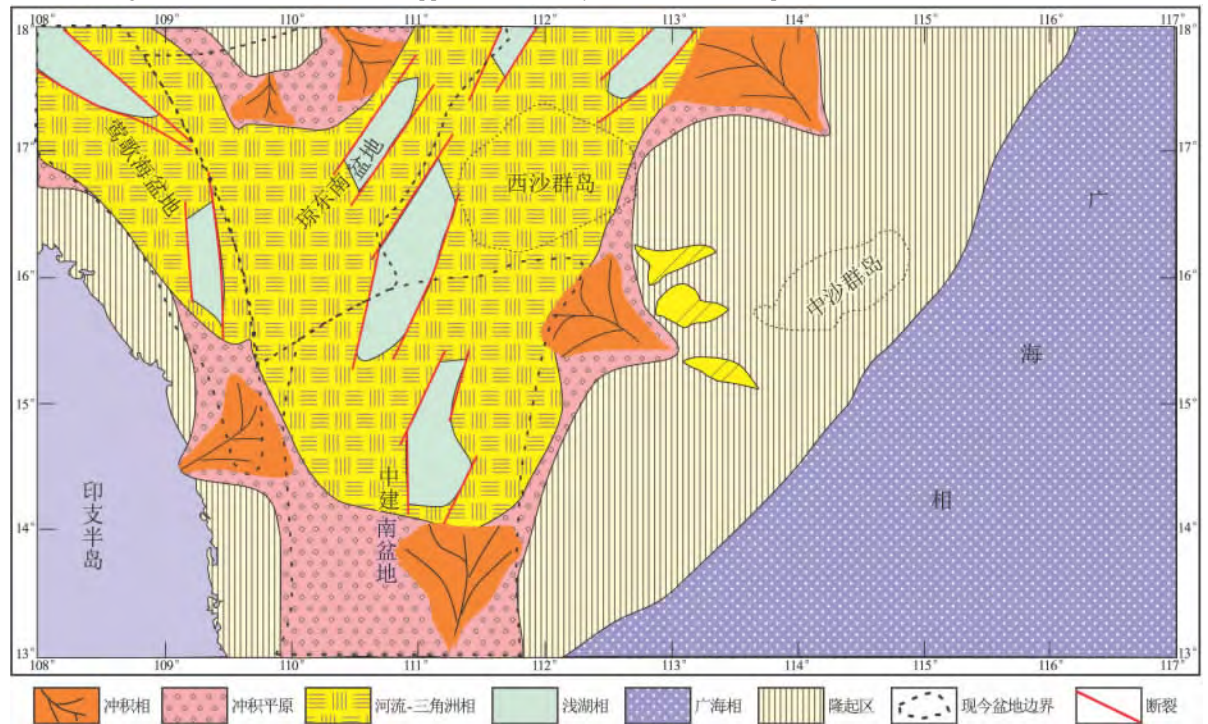


图10 南海中部西区沉积-构造演化平面图(古新世)

Fig.10 Plan showing the sedimentary-tectonic evolution during the Palaeocene in the western part of the central South China Sea

(2) 上构造层断裂不发育,多为继承性断裂,断裂对沉积的控制作用不明显;下构造层断裂较发育,各盆地(凹陷)受断裂控制明显,基本上以大断裂为边界。

(3) 上构造层以海相沉积为主,岩性以泥页岩为主,形成有利的区域盖层;下构造层以冲积扇、河流-三角洲相及湖相等陆相沉积为主,岩性主要砂岩、泥页岩等,有机质丰富。

3.2 南海中部西区新生代构造演化规律

根据南海中部西区的上下构造层特征、平衡剖面分析并结合其它地质资料,把南海中部西区的构造演化划分三个大阶段:裂陷阶段、坳陷阶段、区域沉降阶段,并根据其所受到的5期构造运动分为5个小阶段进行探讨。

3.2.1 阶段一:一期张裂阶段

古新世时期(65~55Ma),由于燕山运动使得造山带岩石圈之拆沉,在亚洲东南边缘产生了向东南方向之蠕动,也产生了北东向张性构造运动^[20]。南海中部西区处于张裂和走滑交汇的特殊构造位置,发育NE向、NW向和近NS向3组断裂构造,琼东南盆地主要表现为一些相对独立的小断陷,由NE向断裂控制,断陷内发育浅湖相沉积,周缘为河流三角洲相;莺歌海盆地的小断陷则由NW向断裂所控制,属于红河断裂带的一部分;中建南盆地北部

发育近南北向的小断陷,由近NS向断裂控制,南部则未钻遇古新世地层,地震剖面上也未显示,根据前人的少量研究资料分析,推测为隆起剥蚀区。此时期对应的构造运动为神狐运动(图10)。

3.2.2 阶段二:二期张裂阶段

始新世(55~33Ma)时期,南海中部西区受印度板块和欧亚板块碰撞引起的地幔物质东南向流动的影响,裂陷进一步扩大,以盆地单元的沉积特征逐渐明显。河流-三角洲相沉积面积逐渐缩小,湖盆面积急剧扩大,先前浅湖相过渡为深湖相,局部发育有沼泽相,这时期的断裂构造仍以继承性断裂发育为主,裂陷至始新世末达到高潮,这期裂陷构造运动在南海北部称为珠琼运动。该时期研究区南部陆缘在伸展张裂及深部拆沉作用下,隆起区面积大幅度减小,向北海侵范围逐渐扩大(图11)。

3.2.3 阶段三:三期张裂阶段

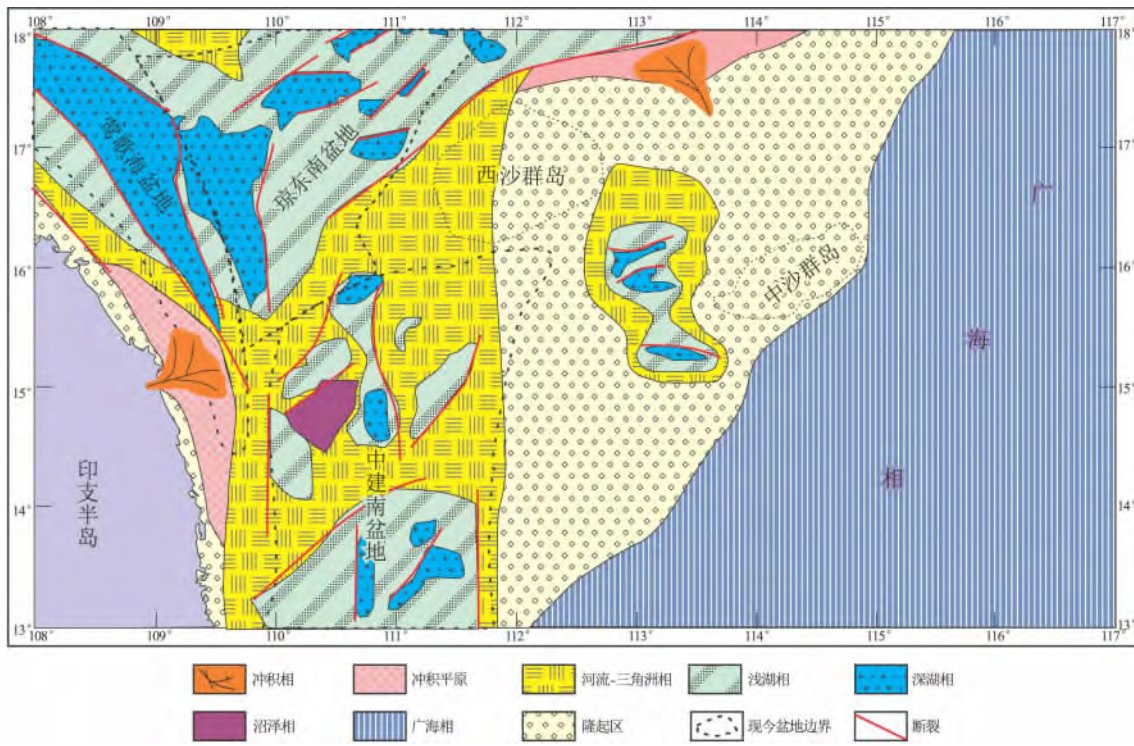


图 11 南海中部西区沉积-构造演化平面图(始新世)

Fig. 11 Plan showing the sedimentary-tectonic evolution during the Palaeocene in the western part of the central South China Sea

渐新世(32Ma)时期,由于受到亚洲东部边缘向欧亚板块俯冲的太平洋板块之阻挡,地幔物质转向南流动^[21],南海中部西区的张裂作用继续增大,进入海陆过渡相沉积阶段,晚渐新世陆缘南部由于持续拉伸作用及岩石圈拆沉作用逐渐没入水中,与广海相连(图12)。

3.2.4 阶段四:坳陷阶段

中新世(23~5Ma)开始,礼乐-东北巴拉望地块与加里曼丹-西南巴拉望地块发生碰撞,南海海盆的海底扩张停止^[6],此期南海北部的构造运动称为南海运动,该运动在南海中部西区产生了区域性不整合面。南海运动之后,南海中部西区裂陷阶段结束,进入坳陷阶段,构造活动较弱,普遍接受了海路交互相至海相沉积,构成盆地上构造层,相对于下

构造层断裂体系不发育。此时南海中部西区几乎全部没入水中,全面接受海相沉积,南海中部西区内各断陷连通性较好,基本上连成一片,以浅海、半深海及滨海相沉积为主,琼东南盆地除了南部广乐隆起之外大部分进入半深海相沉积,中建南盆地南

部为滨海相,局部为泛滥平原相,北部大部分区域为半深海相。中中新世末时受菲律宾板块左旋的影响,南海北部陆缘发生的东沙运动,但主要影响陆缘东部地区,产生了一系列NW向的张裂性断层,对南海中部西区的影响不大(图13)。

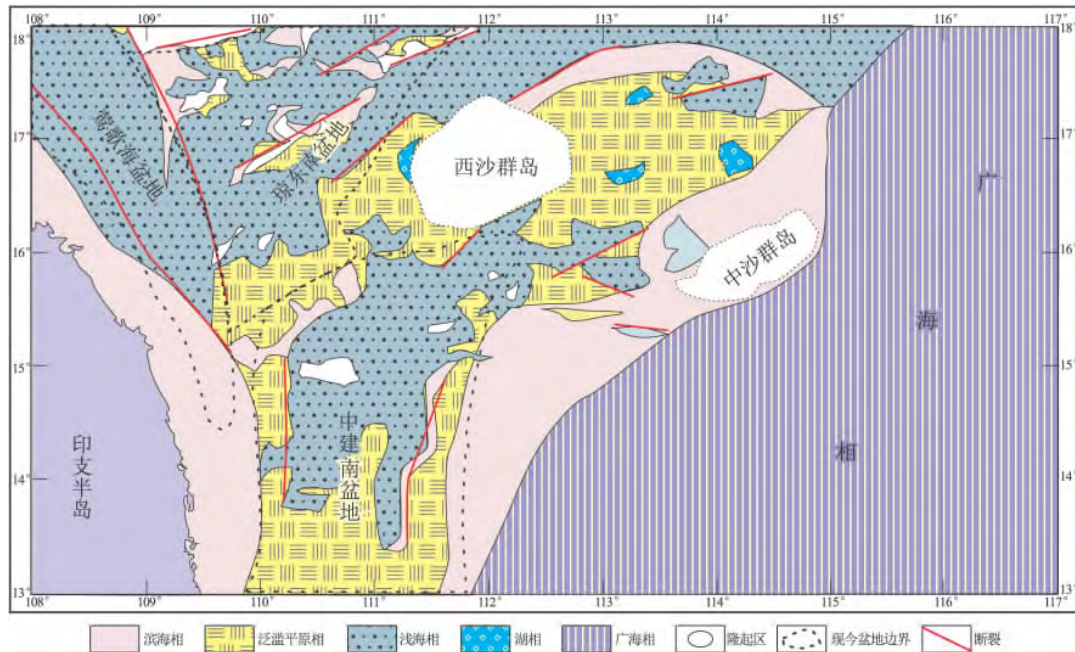


图 12 南海中部西区沉积-构造演化平面图(渐新世)

Fig. 12 Plan showing the sedimentary-tectonic evolution during the Oligocene in the western part of the central South China Sea

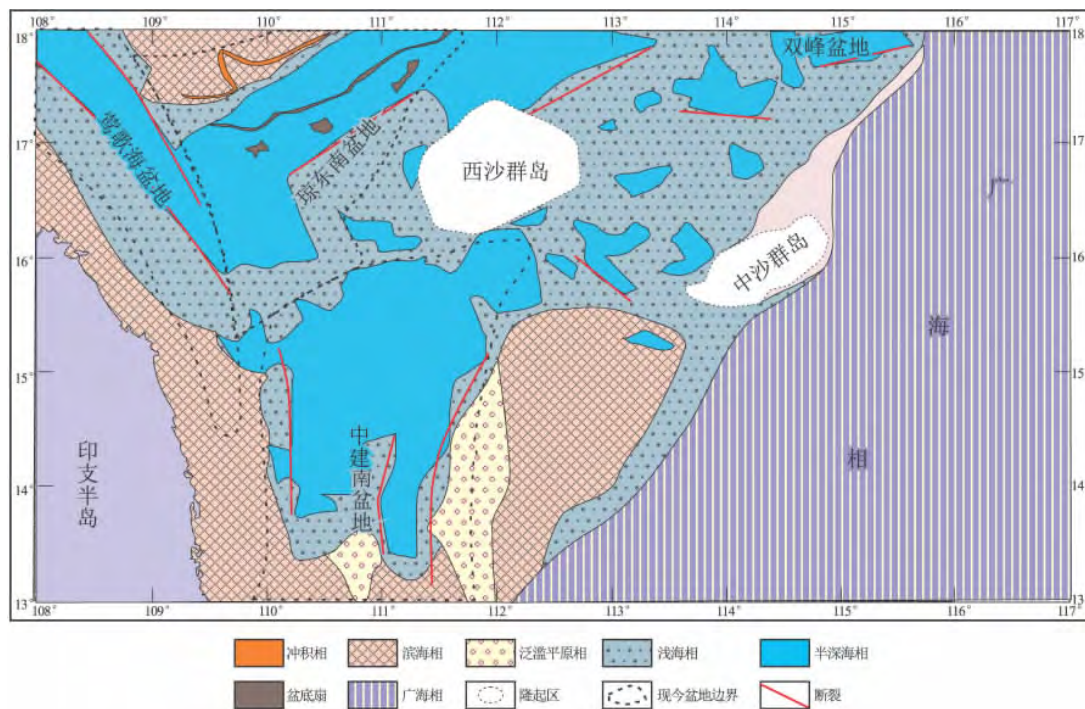


图 13 南海中部西区沉积-构造演化平面图(中新世)

Fig. 13 Plan showing the sedimentary-tectonic evolution during the Miocene in the western part of the central South China Sea

3.2.5 阶段五:区域热沉降阶段

上新世(5Ma)以后,板块间相互作用减弱,南海中部西区构造运动基本停息,进入区域热沉降阶

段,沉积相发育较简单,从北向南从浅海相向深海相过渡,该时期由于构造运动弱,断裂不发育,海相沉积的泥页岩成了油气成藏的区域盖层(图14)。

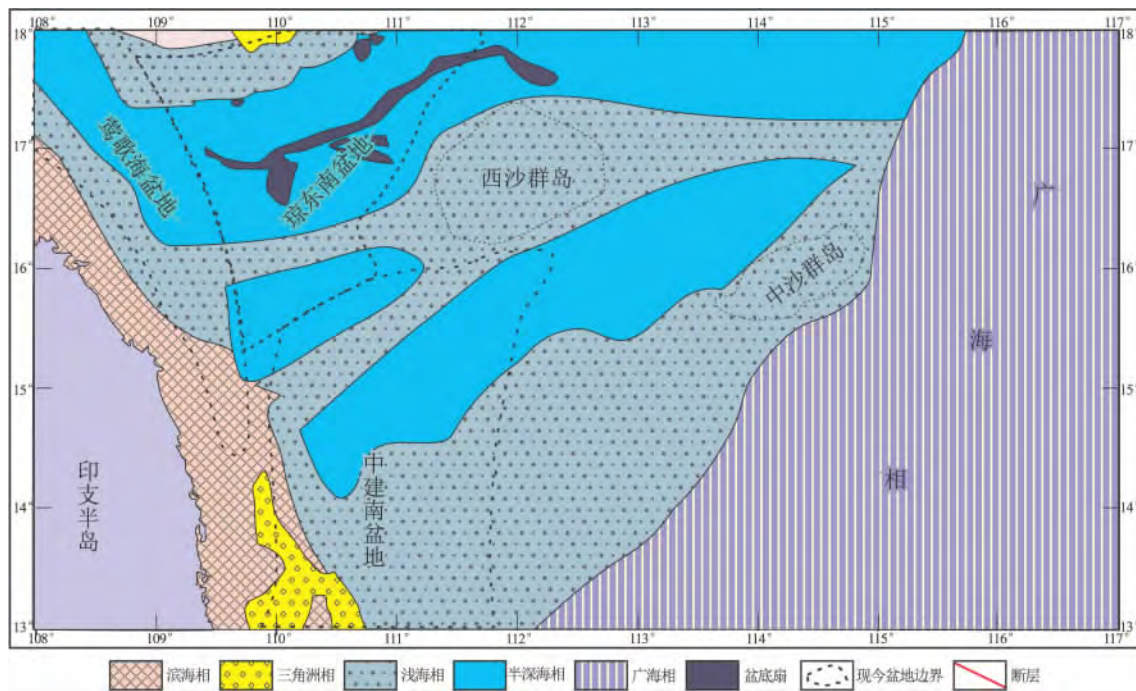


图14 南海中部西区沉积-构造演化平面图(上新世)

Fig. 14 Plan showing the sedimentary-tectonic evolution during the Pliocene in the western part of the central South China Sea

4 南海中部西区盆地形成演化的动力学机制

南海地处欧亚、太平洋、印-澳三大板块的交会处。南海北部大陆边缘连接着太平洋构造域与特提斯构造域。南海中部西区所在区域属于特提斯东南段的一部分,是特提斯洋在新生代从西往东闭合后的残留海。所以研究南海中部西区的盆地形成演化动力学机制时不但要考虑太平洋构造的影响,还要考虑特提斯构造的影响。

目前对于包括南海中部西区在内的南海北部大陆边缘盆地成因机制,主要有如下3种观点:(1)弧后扩张^[22],把整个南海看成是太平洋板块俯冲的弧后盆地。太平洋板块的俯冲及俯冲带的后退是盆地发育的主要机制,南海北部是区域应力场从挤压转为松弛,地幔向洋一侧蠕散,陆缘断裂解体的结果;(2)南海海底扩张^[23-24],此观点认为南海北部盆地形成演化的动力学机制是随着南海海底扩张所致。(3)地幔柱引起的局部对流,导致大面积的伸展可以解释南海北部盆地在早第三纪伸展的构造现象^[25]。

本文认为“南北向构造拉张”和“地幔上涌”这两种动力学因素的共同作用是南海中部西区盆地形成演化的主要动力学机制。

始新世晚期,印度板块向北部运动,与欧亚板块发生碰撞,特提斯洋东段闭合。两板块碰撞产生远距离效应,效应之一是华南大陆深部地幔物质向东南方向流动,华南大陆开始大规模NW-SE向张裂(图15A)。效应之二是印支地块南部产生顺时针旋转,南海中部西区发生EW向的张裂(图15B)。

渐新世,西太平洋板块向东亚大陆边缘俯冲,太平洋板块运动方向由NNW转向为WNW,阻挡了华南大陆深部地幔东南流的趋势,改向南流,南海中部西区发生近SN向张裂(图15C)。

经过以上一系列构造演化,研究区盆地基本形成,中新世以后,研究区进入了拗陷沉降时期。

5 结论

(1)由南海中部西区平衡剖面及其伸展率的计算结果显示,NW-SE向的伸展速率比NEE向较大,显示了南海中部西区张裂的主要方向为NW-SE向,张裂主要发生在始新世至渐新世期间。

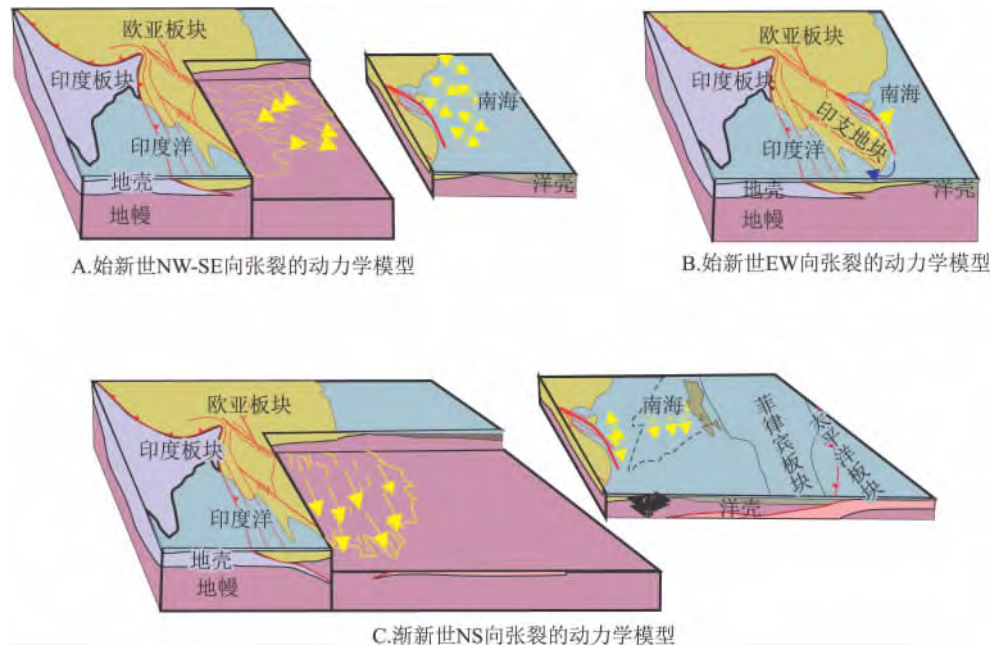


图 15 南海中部西区构造演化动力学模型

Fig. 15 Dynamic model for the tectonic evolution in the western part of the middle South China Sea

(2) 受板块构造影响,南海中部西区形成上构造层(新近系)和下构造层(古近系)两大构造层序,经历了张裂阶段、拗陷阶段和区域沉降3个演化阶段。

(3) 始新世晚期,印度板块与欧亚板块发生碰撞产生的远距离效应,以及渐新世西太平洋板块向东亚大陆边缘产生的俯冲效应是南海中部西区构造演化的主要动力学机制。

参考文献:

- [1] 朱伟林,张功成,高乐.南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J].石油学报,2008,29(1):1-9.
- [2] 张功成.南海北部陆坡深水水区构造演化及其特征[J].石油时报,2010,31(4):528-531.
- [3] 蔡周荣,刘维亮,万志峰,郭峰.南海北部新生代构造运动厘定及与油气成藏关系探讨[J].海洋通报,2010,29(2):161-165.
- [4] FRANKE D, BARCKHAUSEN U, BARISTEAS N, et al. The continent-ocean transition at the southeastern margin of the South China Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28: 1187-1204.
- [5] 闫义,夏斌,等.南海北缘新生代盆地沉积与构造演化及地球动力学背景[J].海洋地质与第四纪地质,2005,25(2):53-59.
- [6] 姚伯初.南海新生代的构造演化与沉积盆地[C].南海地质研究(十).北京:地质出版社,1998.1-17.
- [7] 蔡周荣,张毅,刘维亮,等.南海的形成演化与新特提斯在南海的重新活化[J].沉积与特提斯地质,2008,28(3):21-24.
- [8] 陶维祥,赵志刚,何仕斌,等.南海北部深水西区石油地质特征及其勘探前景[J].地球学报,2005,26(4):359-364.
- [9] CULLEN A, REEMST P, HENSTRA G, et al. Rifting of the South China Sea: new perspectives [J]. Petroleum Geoscience, 2010, 16(3):273-282.
- [10] 吕炳全,赵会民.西太平洋边缘海盆的形成与演化[J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(1):57-62.
- [11] 谢建华,夏斌,张宴华,王喜臣.南海形成演化探究[J].海洋科学进展,2005,23(2):212-218.
- [12] 刘海龄,杨恬,朱淑芬,张伯友,丘学林,施小斌.南海西北部新生代沉积基底构造演化[J].海洋学报,2004,3:54-67.
- [13] TAPPONNIER P, PELTZER G, ARMIJO P, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. Geology, 1982, 10:611-616.
- [14] 姚伯初,曾维军.中美合作南海调研报告[M].武汉:中国地质大学出版社,1994.
- [15] 姚伯初,曾维军,陈永清,等.南海北部陆缘的重力、热流和地震资料对地壳拉伸模式之检验[J].海洋地质,1997,1:43-79.
- [16] 周蒂,陈汉宗,吴世敏,等.南海的右行裂解成因[J].地质学报,2002,76(2):180-190.
- [17] 孙珍,钟志洪,周蒂,丘学林,吴世敏.红河断裂带的新生代变形机制及莺歌海盆地的实验证据[J].热带海洋学报,2003,22(2):1-9.
- [18] 郭令智,钟志洪,王良书,等.莺歌海盆地周边区域构造演化[J].高校地质学报,2001,7(1):5-10.
- [19] 吕宝凤,殷征欣,蔡周荣,万志峰.南海北部新生代构造演化序列及其油气成藏意义[J].地质学报,2012,86(8):1249-1261.
- [20] 姚伯初,万玲,吴能友.大南海地区新生代板块构造运动[J].中国地质,2004,31(2):113-122.

- [21] 姚伯初. 南海海盆新生代的构造演化史[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(2): 1-13.
- [22] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J]. 地质学报, 1983, 1: 5-12.
- [23] 茹克. 南海北部边缘叠合式盆地的发育及其大地构造意义[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1): 22-31.
- [24] 姚伯初, 曾维军, 陈永清. 南海北部陆缘的地壳断裂及其在地壳拉伸中的作用[J]. 海洋地质, 1996, 2: 46-59.
- [25] 李思田, 林畅松, 张启明, 等. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂陷的动力过程及10Ma以来的构造事件[J]. 科学通报, 1998, 43(8): 797-810.

Cenozoic tectonic evolution and dynamic mechanisms for the western part of the central South China Sea

CAI Song^{1,3}, XIA Bin^{1,2}, CAI Zhou-rong²

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*; 2. *School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China*; 3. *Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Abundant petroleum resources reside in the South China Sea, an important target area for the offshore petroleum exploration in China and also one of the hotspots for the petroleum exploration in the world. In the light of the theories of modern tectonic geology and geodynamics and balanced cross section technique, the authors in this study contend that the western part of the central South China Sea has gone through three stages of tectonic evolution since the Cenozoic, including rifting, down-warping, and regional subsidence. The dynamic mechanisms contain the distal effects triggered by the Indian-Eurasian plate collision at the latest Eocene and the subduction effects of the Western Pacific plate toward the East Asian continental margin during the Oligocene.

Key words: western part of the central South China Sea; Cenozoic; balanced cross section technique; tectonic evolution; dynamic mechanism