2009 年 9 月，第 15 卷，第 3 期，339–350页
September 2009，Vol. 15， No.3， p. 339–350

高 校 地 质 学 报
Geological Journal of China Universities

南海中北部陆架–陆坡区新生代构造–沉积演化

丁巍伟，黎明碧[1]，何 敏[2]，唐 勇[1]，方银霞[1]

（1. 国家海洋局 海底科学重点实验室，杭州 310012；2. 中海石油（中国）有限公司 深圳分公司，广州 510240）

摘要：南海中北部陆架–陆坡区作为南海地区的一个重要地质构造单元，记录了大陆张裂到海盆扩张的丰富信息。通过对研究区地震剖面的解释，分析了该地区新生代的构造与沉积特征，同时通过平衡剖面恢复工作，建立了新生代演化模型。研究显示南海中北部陆架–陆坡区新生代构造演化可以分为三个阶段：古新世—始新世的裂陷阶段、渐新世—早中新世的裂陷–坳陷过渡阶段以及中中新世以来的坳陷阶段。沉积环境经历了河流–湖泊、浅海和深海的演化过程。南海北部陆缘下NW–SE方向流动的地幔流的存在使得伸展活动具有由北向南发育的机制。同时陆坡区盆地（如白云凹陷）显示出韧性伸展的特征，这与地幔上涌热岩石圈伸展引起的该区域地壳强烈韧性减薄和颈缩变形相关。

关键词：南海；新生代；平衡剖面恢复；构造–沉积演化；伸展方式

中图分类号：P546　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1006–7493(2009)–03–0339–12

Cenozoic Tectono-Sedimentary Evolution in the Middle Part of Northern Continental Shelf-Slope Region, South China Sea

DING Wei-wei[1], LI Ming-bi[1], HE Ming[2], TANG Yong[1], FANG Yin-xia[1]

(1. *Key Laboratory of the Submarine Geoscience, State Oceanic Administration, Hangzhou* 310012, *China;*
2. *CNOOC China Limited–Shenzhen, Guangzhou* 510240, *China*)

Abstract: The middle part of the northern continental shelf-slope region lies in the south of the Pearl River Basin. As an important structure unit of the northern continental margin of the South China Sea, it has experienced multiphase tectonic events and bears a thinned crust, upon which Cenozoic rifted-depressions with great hydrocarbon potential are developed. Several seismic profiles crossing the study area are introduced in this article. Based on the interpretations and balanced cross-section restorations of these profiles, combined with structural geology, a Cenozoic tectono-sedimentary model is established. The results show that three stages can be proposed for this region: the rift stage from Paleocene to Eocene, the rift-depression stage from Oligocene to the Early Miocene, and the depression stage after the Middle Miocene. The sedimentation environment transformed from the fluvial and lake facies to the shallow sea facies, and finally to the deep sea facies. The existence of NW–SE direction mantle flow under the continental crust in the north continental margin of South China Sea made the extension activities migrate from north to south. Results also show that the depressions (such as the Baiyun Sag) on the continental slope are featured by ductile deformation. It appears to be caused by the ductile thinning and necking of the crust in response to hot lithopheric stretching, together with mantle upwelling.

Key words: South China Sea; Cenozoic; balanced cross-section restoration; tectono-sedimentary evolution; lithopheric stretching

---

收稿日期：2008–10–17；**修回日期**：2009–02–04

基金项目：国家重点基础研究发展计划（编号：2007CB411704）；国家自然科学基金（批准号：40806023）和国家海洋局基本科研业务费专项资金项目（编号：1404–10）联合资助

作者简介：丁巍伟，男，1977年4月生，博士，副研究员，主要研究方向为构造地质学；E-mail: wwdingsio@yahoo.com.cn

1 前言

南海是西太平洋最大的边缘海之一，位于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块的交汇处，也是太平洋构造域和特提斯构造域的结合部位，经历了复杂的地质演化过程，地质内涵十分丰富,被国内外学者誉为“地球上最好的天然实验室”。南海中北部陆架–陆坡区作为南海地区的一个重要地质构造单元，记录了大陆张裂到海盆扩张的丰富信息。同时研究区也是油气勘探的一个重要地区，有良好的物源供给，新生代沉积较厚，具有形成富生烃盆地的有利条件。而这一切的研究都有赖于对陆缘张裂过程的深入理解和相关基础科学理论的突破。因此，作者利用中德合作“南海地球科学联合研究”以及中海油公司相关航次的地震资料，对南海中北部陆架–陆坡区（神狐—统暗沙区至白云凹陷区）新生代构造变形和沉积沉降特征进行了研究，包括地层单元的识别、主要地震剖面的构造反演以及研究区不同位置之间的构造–沉积方面差异进行研究，进而重建其新生代构造与沉积演化史，并探讨动力学机制。

2 区域地质背景

研究区域位于珠江口盆地的南部，范围包括18o~21oN,112o~116oE内呈NE向展布的陆架–陆坡带，南界以陆坡与海盆的分界线为界（图1）。研究区中生代位于挤压增生的欧亚大陆边缘，经历了强烈的NE向的逆冲断裂和频繁的岩浆活动，形成本区基本构造格局（Holloway，1982；Taylor and Hayes，1983）。晚白垩世以来，受到拉张性区域应力场的影响开始伸展断陷，先后经历了多幕次的伸展活动，包括神狐运动（晚白垩世—早始新世）、珠琼运动一幕（早–中始新世）、珠琼运动二幕（渐新世）、南海运动（晚渐新世—早中新世），形成了一系列的半地堑–地堑及隆坳相间的结构（Ru and Pigott, 1986; Zhou et al, 1995）。区内分布或延伸入区内的正向构造单元包括北部的神狐暗沙隆起、番禺低隆起、东沙隆起和南部的一统暗沙隆起,在这些隆起围限的负向沉积单元即为珠二坳陷（图1）。根据珠二坳陷内下第三系的发育情况，又可进一步划分为白云凹陷、顺德凹陷和开平凹陷（由东至西）。另外，在位于下陆坡

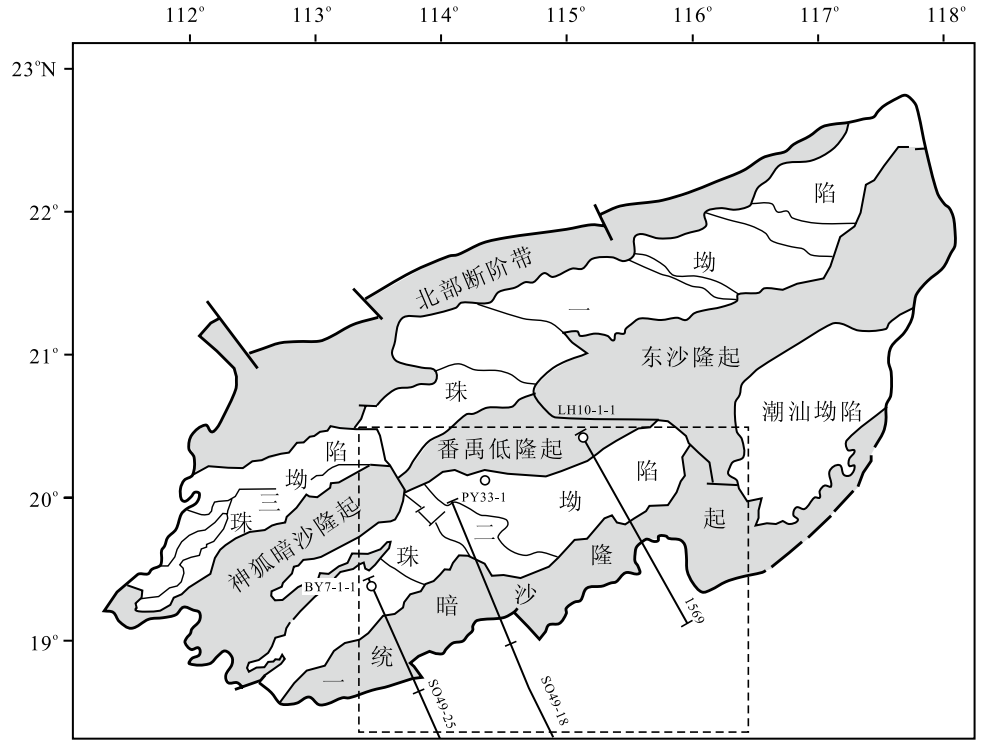


图1 珠江口盆地构造区划图（方框内为本文研究区）

Fig. 1 Structure units of the Pearl River (squared part is the study area)

区的一统暗沙隆起上也分布一系列半地堑或由多个半地堑组合而成的小型凹陷（或洼陷）。研究区新生代地层及主要构造事件见图2。

3　新生代构造与沉积特征分析

作者对经过研究区的三条骨干地震剖面进行解释（SO49–25陆架陆坡段、SO49–18陆架陆坡段以及1569测线，具体位置见图1）（图3），共识别出五个层序单元，自上而下地层时代分别为晚中新世—第四纪（N_1^3+Q）、中中新世（N_1^2）、早中新世（N_1^1）、渐新世（E_3）和古新世—始新世（E_{1+2}）。层序标定根据区内钻井资料，包括过测线的BY7–1–1井、PY33–1井、LH10–1–1井以及邻近的ODP1148井。在地震解释的基础上，通过平衡

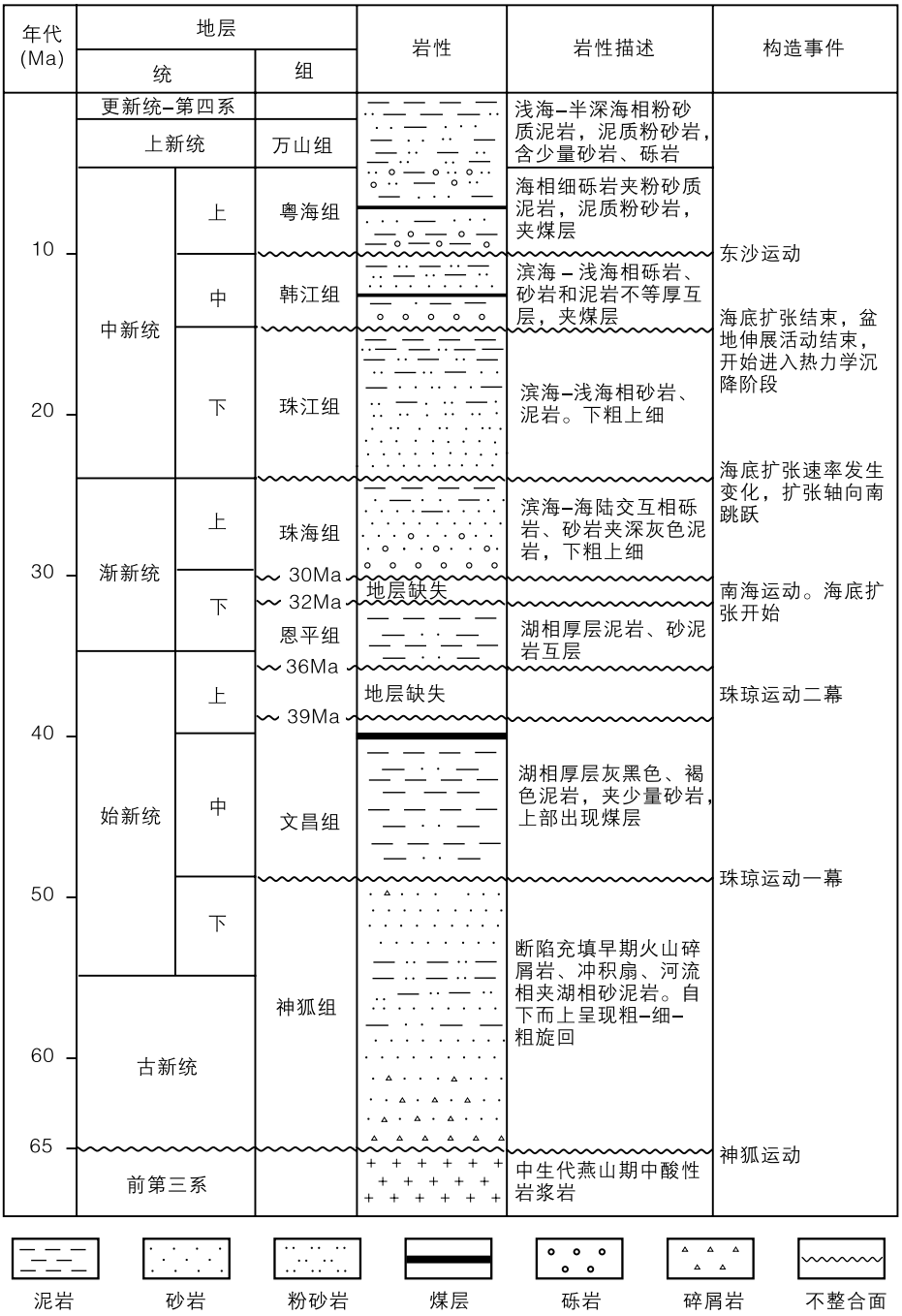


图2　研究区新生代构造–沉积事件图（据秦国权等，2002；黎明碧等，2005；庞雄等，2006）

Fig. 2　Summary of Cenozoic tectono-sedimentary events of the study area (according to Qin et al, 2002; Li et al, 2005; Pang et al, 2006)

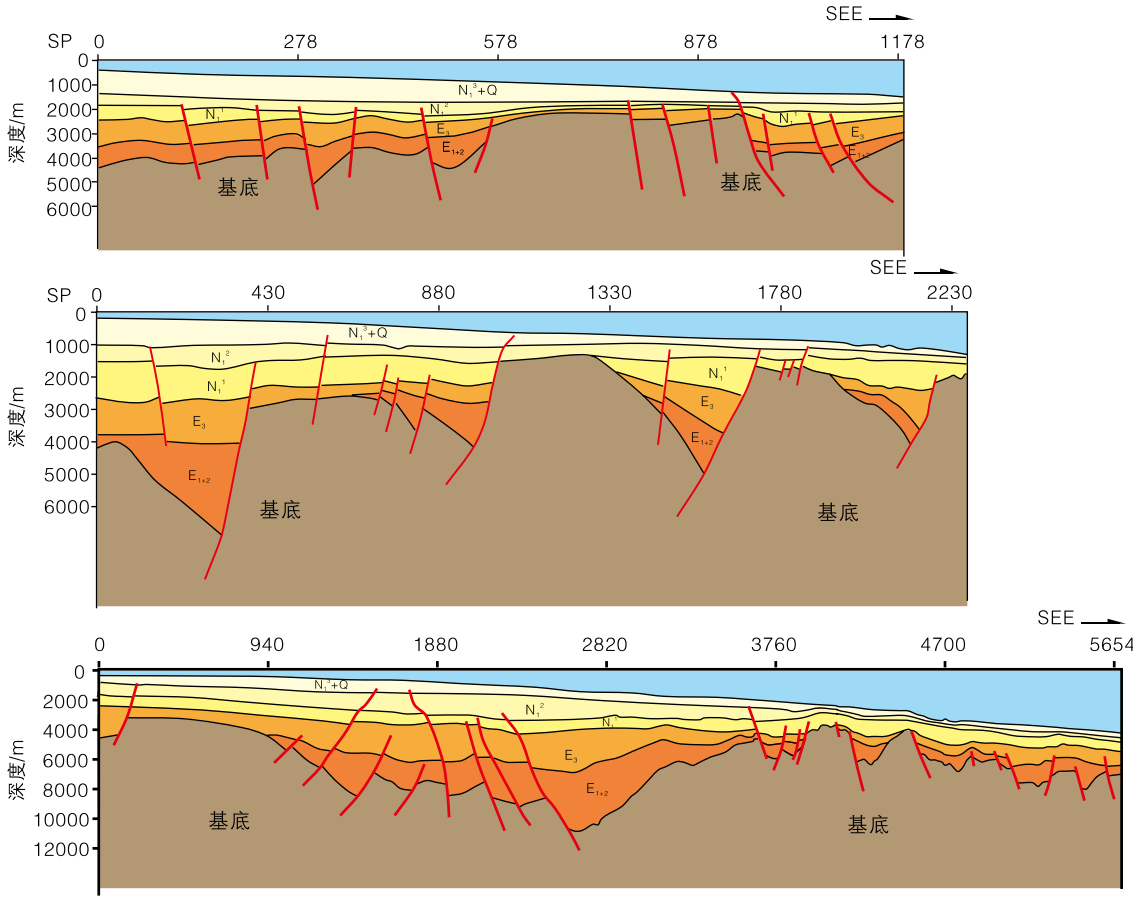


图3 地震剖面解释图（由上至下依次为SO49-25测线，SO49-18测线，1569测线）

Fig. 3 Interpretation of seismic profiles (from top downwards are SO49-25, SO49-18, 1569 profiles)

剖面恢复工作，对研究区新生代的构造与沉积演化进行研究。海域平衡剖面恢复与陆地不同，不仅要考虑水体的压实作用，而且要考虑不同时期的水深变化。本文中不同时期沉积环境及古水深依据郝诒纯等（1996）对珠江口盆地第三纪微体古生物（包括沟鞭藻，浮游有孔虫，孢粉，钙质超微化石等）及古海洋学研究得出。平衡剖面恢复采用Paradium公司的Geosec 2D软件进行。

3.1 SO49-18测线陆架陆坡段反演分析

SO49-18测线呈NNW-SSE走向，始于珠江口盆地珠二坳陷，向东南经过一统暗沙隆起进入南海深海盆。地震剖面显示形态总体表现为一系列倾向NW的正断层及由其控制的半地堑，并发育了一系列的同向调节断层。这些半地堑南断北掀，具有规模大和主干断距大的特点（图3）。平衡剖面恢复图见图4。

古新世—始新世 伸展活动开始，表现为一系列切割中生界基底的正断层，但是在不同区域又有各自的特点。在珠二坳陷和一统暗沙隆起区断层在古新世—始新世活动最为强烈，伸展量最大。由于强烈的断裂活动，在断陷靠近主干断裂的区域快速沉积，呈现明显的楔状，表现为一系列半地堑和梯形连续排列的基地断块山。断陷早期以及晚期珠二坳陷区的伸展活动强度明显要强于一统暗沙隆起区，这在断层断距大小以及其所控制的半地堑的规模上得以体现。沉积主要表现为由一系列构造高地分隔的山间湖泊，沉积物类型以陆缘沉积为主，早期神狐组为断陷初期的沉积，包括火山碎屑岩、冲积扇、河流相为主夹湖相砂泥岩，晚期湖泊面积扩大，水体加深，形成了文昌组—恩平组的湖相-深湖相砂泥岩、泥岩。而分隔各断陷的构造高地一直处于相对隆升的阶段，分隔性强，仍以滨浅湖相沉积为主。

渐新世 南海地区扩张规模进一步扩大，并最终导致32 Ma以来南海开始发生海底扩张运动，形成了区域性的不整合面。图4显示该时期伸展

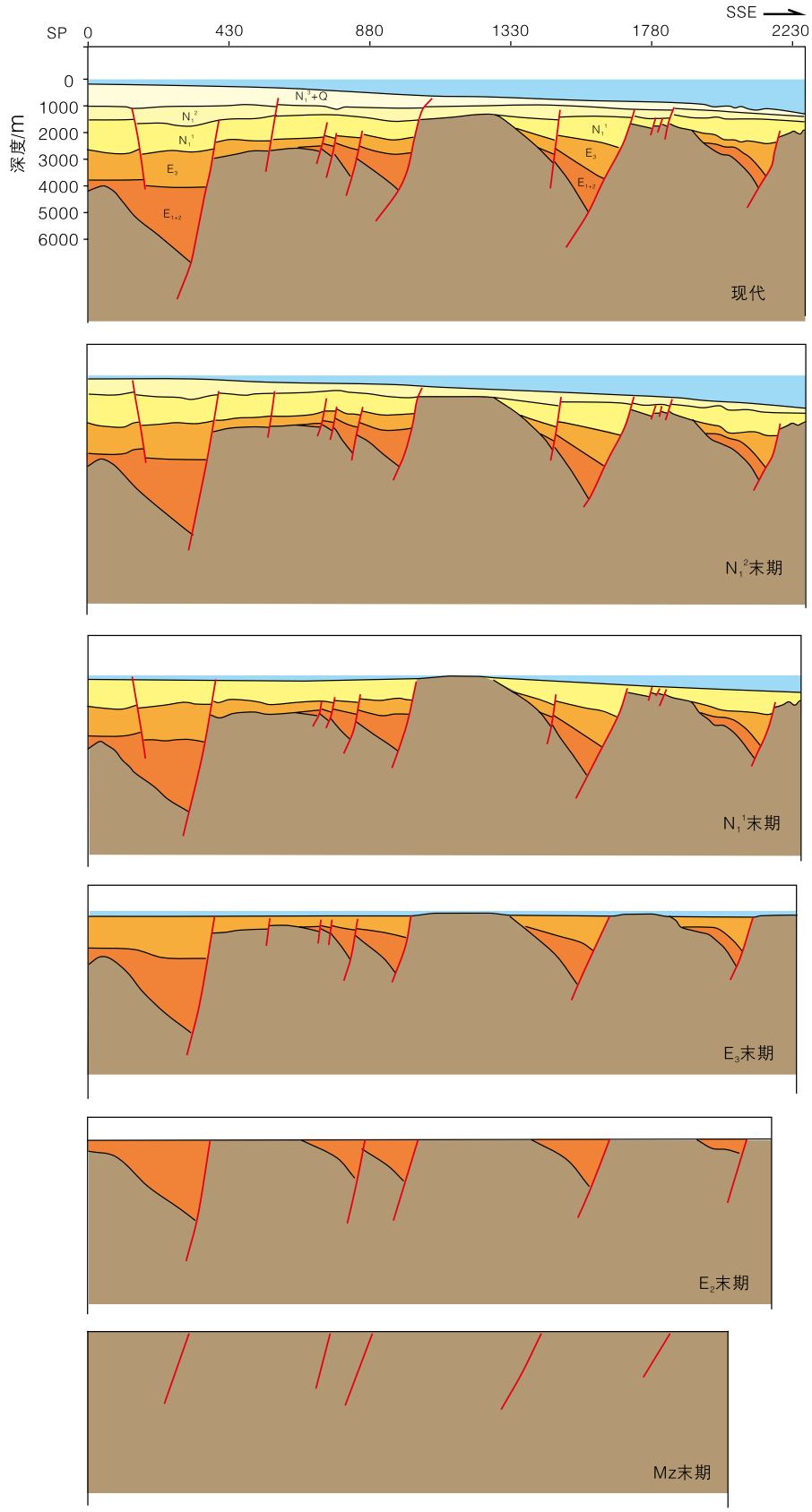


图4　SO49–18测线平衡剖面恢复示意图

Fig. 4　Balanced cross-section restoration model of seismic line SO49–18

活动有所减弱，推测与其南部海底扩张活动向北的应力相关。南海整体开始发生沉降，海平面上升，部分构造高地处于海平面以下，隆起区的部分断陷已经连成一体。珠二坳陷区断层的断裂活动开始减弱，沉积速率减低，半地堑中渐新世沉积的楔形结构没有始新世明显。而一统暗沙隆起区断层依然控制沉积，半地堑形态依然很明显。研究区开始广泛发育恩平组上段–珠海组滨–浅海相的砂泥岩沉积。但由图4可以看出该时期仍有大量的隆起区分隔了断陷盆地，表现为半封闭海湾的沉积环境。

早中新世—中中新世 断层的活动性明显减弱，珠二坳陷区断层对沉积基本没有控制作用，进入热力学沉降阶段。但是在一统暗沙隆起区断层活动性明显要强于珠二坳陷区，在早中新世断层活动对沉积依然起到控制作用。该时期的伸展量主要体现在该区域。随着海底扩张作用的进一步进行，海平面继续上升，在继承前期沉积格局的基础上，沉积范围进一步扩大，沉积物继续向构造高地超覆，隆起区出露海面的面积越来越小，大部分已经位于海平面以下。该时期珠二坳陷和一统暗沙隆起区逐步转变为开放的正常浅海环境，形成了砂泥岩为主的浅海相沉积。而出露海面的隆起高部位成为孤岛分布，不再起屏障作用。随着南海北部陆缘的进一步沉降，沉积中心也由珠二坳陷区向一统暗沙隆起区转移。

中中新世至今 伸展活动停止，沉积基本不受伸展断层影响。该时期北部陆缘盆地的沉积范围达到最大，绝大部分的构造高地均已没入水下，接受沉积。珠二坳陷和一统暗沙隆起区的各断陷已经被沉积物填平，陆缘沉积物越过隆起直接注入海盆，沉积沉降中心南移至海盆中心，现代陆架–陆坡–海盆的格局形成。这种地形格局的形成与南海停止扩张的年龄十分接近，可能是南海扩张停止在南海北部陆缘的响应。该时期为开放式浅海–半深海的沉积环境，形成了泥岩–砂泥岩的海相沉积。

3.2 SO49–25测线陆架陆坡段反演分析

SO49–25测线陆架陆坡段呈NNW–SSE走向，前端部分位于珠二坳陷南缘，主体位于一统暗沙隆起上，与其东侧的SO49–18测线不同，该测线断陷特征不如前者所在地区明显，断层断距不大，基本上为南倾，形成北断南掀的与SO49–18线不同的结构特征（图3）。SO49–25测线所在研究区伸展活动不太强烈，与其主体位于一统暗沙隆起区有关（图5）。平衡剖面恢复图见图6。

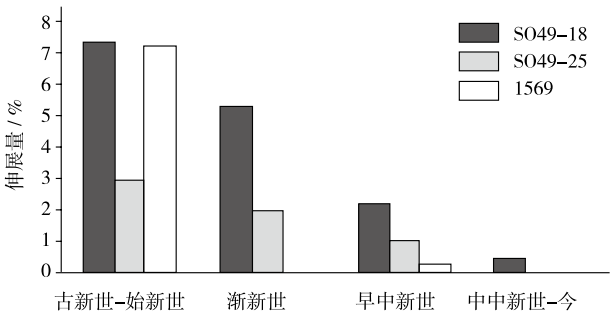


图5 根据GeoSec软件获得的各剖面不同时期伸展量
Fig. 5 Stretching amounts in different stages, counted by GeoSec software

古新世—始新世 伸展活动最为明显，伸展量相对最大（图5），形成了一系列的地堑–半地堑结构，并被其中部一个大范围的构造高地所阻隔。北侧珠二坳陷区的伸展活动要强于南侧，断距更大，其控制的沉积也相对较厚。断陷内主要充填早期的河流–滨浅湖相沉积，在局部深部位可能发育深湖相沉积。

渐新世 珠二坳陷区伸展作用基本停止，断层对沉积的控制作用很弱，而南侧的一统暗沙隆起区断层依然对沉积起控制作用，该时期的伸展量主要体现在这一地区。随着海底扩张活动的进行，研究区整体发生沉降，海平面上升，沉积规模进一步扩大，构造高地也开始没入水下，对沉积的阻碍作用减弱，大量的陆源沉积物开始越过这些隆起区向南部迁移。

中新世 断层活动基本停止，对沉积不起控制作用。测线所在研究区整体都没入水下，形成开放的浅海环境，为砂泥岩为主的浅海相沉积区。该时期沉积中心已经转移至海盆，陆坡上的断陷均已被充填满，沉积物表现为过路沉积，现代陆架–陆坡–海盆的构造格局已经形成。该时期以来为浅海–半深海相的沉积环境，形成了泥岩–砂泥岩的海相沉积。

3.3 1569测线平衡剖面恢复分析

1569测线呈NNW–SSE向，穿越珠二坳陷白云

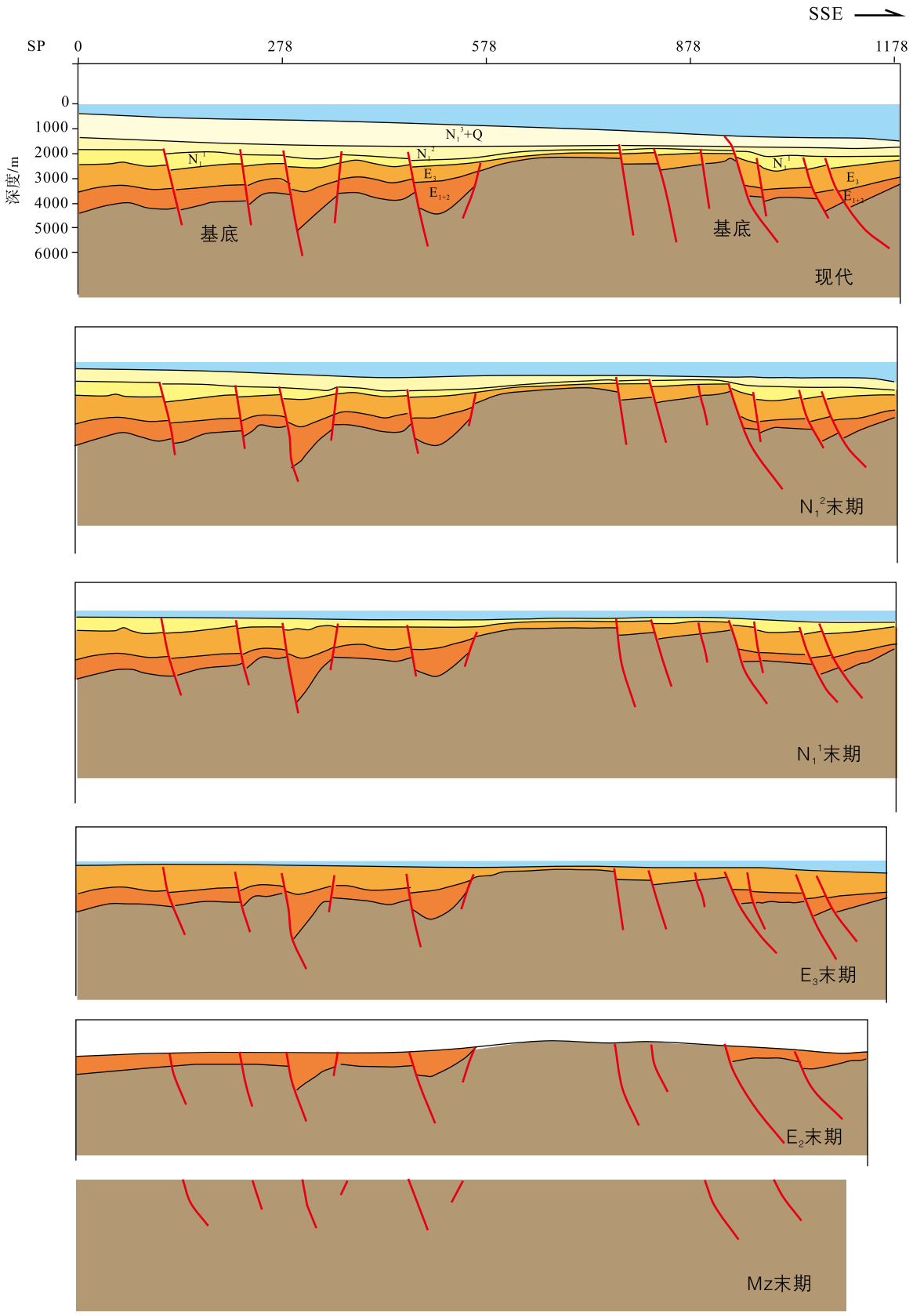


图6 SO49-25测线平衡剖面恢复示意图

Fig. 6 Balanced cross-section restoration model of seismic profile SO49-25

凹陷主体。剖面显示白云凹陷呈碟型，中间深边缘浅，新生界基底深度最深可达11 km。白云凹陷并没有明显的边界断层，但沉降量很大，而且未形成一般被动陆缘盆地常见的双层结构（下断上坳）（图3）。平衡剖面恢复图见图7。

古新世—始新世 从平衡剖面恢复分析，白云凹陷伸展作用主要发生在这个阶段，该时期伸展率达到7.3%（图5），占整个剖面伸展率的90%。但该期的伸展作用并未形成地堑-半地堑的结构，而是以边伸展边沉积的形式进行，断层

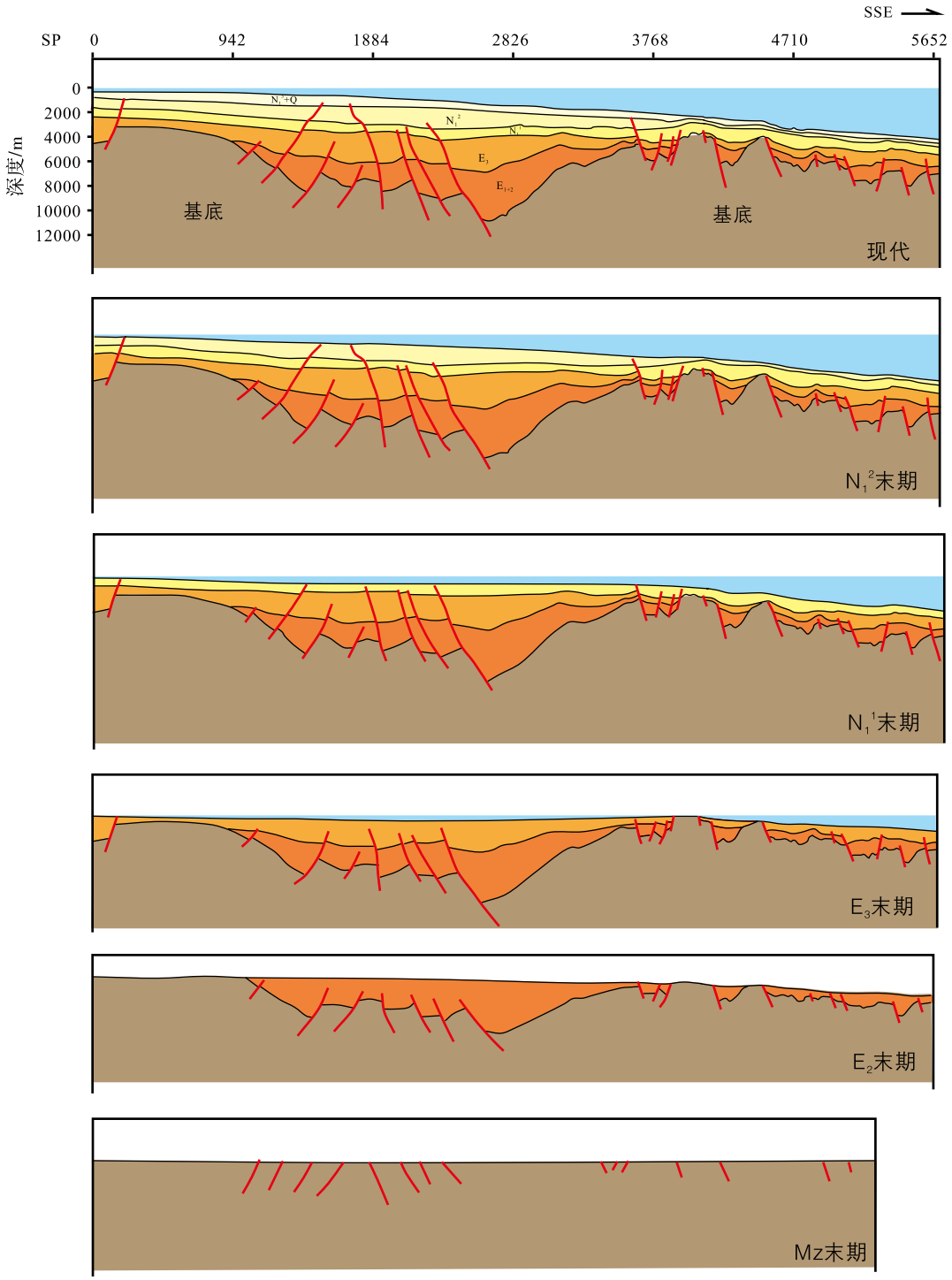


图7 1569测线平衡剖面恢复示意图

Fig. 7 Balanced cross-section restoration model of seismic profile SO49-1569

的断距较小，而且主要作用在白云凹陷的中央部位。而在白云凹陷的南部伸展作用相对较弱，形成一些小的地堑-半地堑结构，但沉积物主要集中在白云凹陷。该时期沉积主要表现为由一系列构造高地分隔的山间湖盆，白云凹陷区面积尤其宽广，并具有极高的沉积速率，形成了巨厚的文昌-恩平组的河湖相三角洲体系砂泥岩。而分隔各断陷的构造高地一直处于相对隆升的阶段，分隔了各个断陷，以滨浅湖相沉积为主。

渐新世　伸展作用明显减弱，伸展量下降到0.7%（图5），大部分的构造高地均没入水下，白云凹陷继续沉降，沉积范围进一步扩大。沉积中心主要位于凹陷的中部地区，形成了碟型的沉积格局，南部的部分断陷已经连成一体。部分构造高地形成了出露海面的孤岛，不再起屏障作用。白云凹陷主要为浅海相的沉积环境，发育了珠海组浅海陆架三角洲砂泥岩沉积体系，随着沉积的推进，陆架坡折带逐渐向南推移到凹陷的南侧。

中中新世至今　伸展活动停止，白云凹陷及南缘整体都已没入水下，沉积范围达到最大。构造高地上也开始接受沉积，白云凹陷的沉降作用相比前期有所减弱，大部分的陆源沉积物开始越过凹陷区向南迁移，形成了顺陆坡的EW向槽带沉积，沿陆坡发育斜坡扇，而在盆地中心发育盆地扇，沉积了珠江-韩江组深水扇系统砂泥岩，形成了规模巨大的珠江深水扇系统。上新世以来沉积速率明显减低，沉积位置和样式也发生了重要变化，沉积中心北移至陆架区，分布范围较大，为万山组浅海-半深海相的砂泥岩沉积。

4　讨论

4.1　南海陆缘张裂具有由北向南发展的趋势

在南海发生海底扩张活动以前，南海的北部和南部陆缘经历了三期的拉张过程（Ru and Pigott, 1986; Zhou et al, 1995）。前人研究表明（Zhou et al, 1995; L ü dmann and Wong, 1999），位于南海北部陆缘最北部的北部湾盆地裂离作用发生在晚白垩世（65 Ma），时间最早，而珠江口盆地的开始发生裂离的时间在59 Ma的晚古新世。西部的琼东南盆地裂离作用时间开始于44 Ma的早始新世，显示了裂离活动由北向南发展趋势。

本项目的SO49-18，SO49-25以及1569测线也体现出相似的特征，最为明显的为SO49-18测线。从图4可以看出，在古新世—始新世断层活动主要集中在测线北部的珠二坳陷区，同时也是沉积中心，珠二坳陷区的伸展活动强度明显要强于一统暗沙隆起区。渐新世以来伸展活动南移，珠二坳陷断层的断裂活动开始减弱，而一统暗沙隆起区断层依然控制沉积，半地堑形态依然很明显。在SO49-25测线的反演图中（图6）可以看出，在古新世—始新世北测珠二坳陷区的伸展活动要强于南侧，断距更大，控制的沉积也相对较厚。渐新世以来珠二坳陷区伸展作用基本停止，断层对沉积的控制作用很弱，而南侧的一统暗沙隆起区断层依然对沉积起控制作用，该时期的伸展量主要体现在这一地区。

对南海陆缘深度地热特征（张健和汪集旸，2000; Shi et al, 2003）和地幔对流结构（张健和宋海斌，2001；张健等，2001）的研究表明，南海北部陆缘带具有NW向SE的单向地幔流，该地幔流产生的向洋一侧的拖曳力，导致岩石圈板块底部向上和向洋的张应力。而岩石圈流变研究表明，南海北部陆缘岩石圈上地壳呈脆性，下地壳表现为塑性，地球动力学特征迥异。在向洋的张应力作用下，上地壳以简单剪切方式变形，下地壳以延性流动方式变形，向上的拱张力使得脆性的岩石圈首先发生断裂，然后在向洋的拉张应力场作用下，断块沿断面随塑性流动的下地壳滑动，陆缘带由NW向SE扩张、离散和裂解，形成了由北向南发展的陆缘地堑系（图8）。

4.2　陆架与陆坡盆地具有不同的伸展方式

位于南海中北部陆缘的珠江口盆地横跨了陆架和陆坡区，根据对地震测线的反演结果，陆架区和陆坡区的伸展方式和沉积过程均有不同的特点。其中陆架区盆地具有被动陆缘盆地伸展型断陷盆地的典型特征，形成了裂谷期和裂后沉降期的双层构造。其中裂谷期以强烈伸展的铲式正断层为特征，这些正断层同时也为同沉积边界主干断层，由于断裂的强烈活动，沉积受断层控制，断层表现为生长断层，断层附近的沉积厚度明显大于远离断层的沉积厚度，呈楔状，整体表现为一系列的地堑-地堑结构，形成了隆凹相间的格局。后裂谷期伸展作用基本停止，断层对沉积控

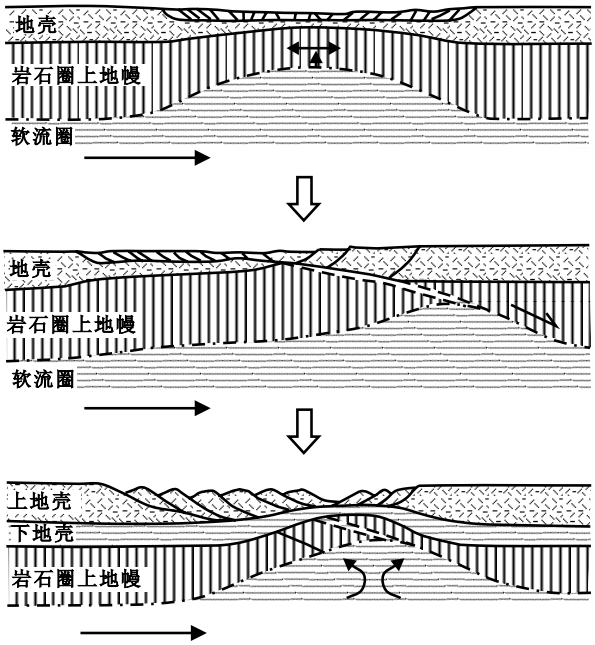


图8 南海陆缘裂解模型示意图（据张健，2001改编）
Fig. 8 Rifting model for the continental margin of the South China Sea (revised according to Zhang et al, 2001)

制作用不明显。与陆架区脆性伸展方式不同，以白云凹陷为代表的陆坡区并未发育边界正断层，断裂带主要发育在盆地的中部，总体表现为中间深两边浅的碟型构造。从经过该凹陷地震测线的平衡剖面恢复可以得知，虽然这些正断层对沉积具有一定的控制作用，但是盆地区强烈的沉降活动和巨厚的沉积显然受到其他因素的影响。

根据对南海北部地壳拉张因子的研究表明(张云帆等, 2007)，珠江口盆地白云凹陷主凹拉张因子最大可以达到4，在伸展变形前的初始地壳为一热减薄地壳，这可能与研究区在晚中生代处于俯冲带前缘(Li et al, 2007)，在新生代变形期间位于构造转换带相关(孙珍等, 2005)。在伸展活动开始后，这种地壳上的薄弱带成为伸展活动较为集中的地区。裂陷与伸展活动导致白云凹陷下的地幔上涌较高，根据白云凹陷电缆深反射测得的1530测线莫霍面分布图(黄春菊等, 2005)，白云凹陷处于处于莫霍面强烈隆起区上，由北端的25 km过渡至南端的18 km左右，从陆架到洋陆边界存在多个抬升陡坎。地幔在新生代较高的上涌位置导致脆性地壳或上地幔中部分熔融物质的出现并明显变热，熔融事件往往会使得构造变形进一步加深，导致相应更强烈的构造和岩浆活动。研究区强烈的热事件使得下地壳韧性减薄作用对盆地形成的贡献越来越大，白云凹陷韧性伸展变形在总伸展量中占有更高的比例，从而显示出与脆性伸展所不同的伸展变形特征。同时岩石圈中大体积岩浆熔融体的出现不仅会改变岩石圈的热动力学性质，导致岩石圈强度的急剧降低和变形在岩浆体上部的集中，从而使变形从大的边界断裂演变为集中在坳陷内岩浆体周围的小断裂群中，而且岩浆体底侵作用降低了岩石圈的强度，岩石圈弹性较差，凹陷产生了非断裂原因的持续沉降。

5 新生代构造与沉积演化

通过对研究区地震资料解释以及平衡剖面恢复工作，并结合前人的研究成果（黎明碧等，2002；2005；彭大均等，2005；庞雄等，2005，2006），表明南海中北部陆架–陆坡区的构造演化可以分为三个阶段，分别为古新世—始新世的裂陷阶段、渐新世—早中新世的裂陷–坳陷过渡阶段以及中中新世以来的热力学沉降阶段，沉积环境经历了河流–湖泊、浅海和深海的演化过程。

1）裂陷阶段（古新世—始新世）

晚白垩世以来，亚洲东部陆缘中生代以来的俯冲活动大为减弱，开始了主动陆缘向被动陆缘的转化，处于拉张性应力环境（Taylor and Hayes，1983；龚再升等，1997；李家彪，2005）。南海北部陆缘开始裂离减薄，形成了一系列NE—NNE向张性断裂所控制半地堑或多个半地堑组合形成的凹陷，其间被低凸起分割，形成隆凹相间的格局（吴世敏等，2001，2005；丁巍伟等，2002）。该时候沉积主要表现为一系列构造高地分隔的山间湖泊，沉积物类型以陆缘沉积为主。早期神狐组为断陷初期的沉积，包括火山碎屑岩、冲积扇、河流相为主夹湖相砂泥岩，晚期湖泊面积扩大，水体加深，形成了文昌组—恩平组的湖相–深湖相砂泥岩、泥岩。而分隔各断陷的构造高地一直处于相对隆升的阶段，分隔性强，仍以滨浅湖相沉积为主。在部分地区，如白云凹陷，西沙海槽等区域，由于独特的构造因素，如隆起的莫霍面，伸展前为地壳薄弱带，强烈的热事件等，表现出韧性伸展的特征，产生了非断裂原因的持续沉降。

2）裂陷–坳陷过渡阶段（渐新世—早中新世）

渐新世末期区域构造动力学条件发生了转变。该时期印澳板块与欧亚板块的汇聚速度减到最低，印支地块的挤出活动结束，红河断裂带大规模左行平移活动也随着结束（Tapponnier, 1990）。而始新世末期开始欧亚板块和太平洋板块的汇聚速度开始增加，到渐新世末期增加到100 mm/a（Leloup et al, 1995）。水平压应力的持续积累限制了早第三纪形成的NE向断陷的进一步发育，并使得整个中国东部都经历了一次挤压运动。

研究区的伸展作用大幅减弱，南海整体发生沉降，海平面上升，部分构造高地处于海平面以下，隆起区的部分断陷已经连成一体。研究区开始广泛发育恩平组上段–珠海组滨–浅海相的砂泥岩沉积。该时期在陆架区域仍有大量的隆起区分隔了断陷盆地，表现为半封闭海湾的沉积环境。而在陆坡区域沉积规模进一步扩大，构造高地开始没入水下，对沉积的阻碍作用减弱，大量的陆源沉积物开始越过这些隆起区向南部迁移。

3）坳陷阶段（中中新世至今）

中中新世开始印澳板块的北向俯冲以及菲律宾海板块的北向移动开始影响整个区域的构造动力学过程。南海的应力场状态由早期的拉张变为后期的压性状态，整个地区开始进入热力学沉降阶段。

研究区断层活动基本停止，随着海平面的继续上升，沉积范围达到最大，绝大部分的构造高地均已没入水下，接受沉积。珠二坳陷和一统暗沙隆起区的各断陷已经被沉积物填平，陆缘沉积物越过隆起直接注入海盆，沉积沉降中心南移至海盆中心，现代陆架–陆坡–海盆的格局形成。在白云凹陷处沉降作用相比前期有所减弱，大部分的陆源沉积物开始越过凹陷区向南迁移，形成了顺陆坡的EW向槽带沉积，沿陆坡发育斜坡扇，而在盆地中心发育盆地扇，沉积了珠江–韩江组深水扇系统砂泥岩，形成了规模巨大的珠江深水扇系统（庞雄等，2005，2006）。

6　结论

通过对南海中北部陆架–陆坡区地震剖面的解释，识别出5个主要层序单元。在地震解释的基础上，通过平衡剖面恢复工作，对研究区新生代的构造与沉积演化进行研究。研究显示南海中北部陆架–陆坡区新生代构造演化可以分为三个阶段：古新世—始新世的裂陷阶段、渐新世—早中新世的裂陷–坳陷过渡阶段以及中中新世以来的坳陷阶段，沉积环境经历了河流–湖泊、浅海和深海的演化过程。南海北部陆源由于单向地幔流的影响，伸展活动具有由北向南发育的机制。同时陆架和陆坡盆地具有不同的伸展方式：陆架区盆地以脆性伸展为主，形成了伸展型断陷盆地典型的双层结构；而陆坡区盆地（如白云凹陷）显示出韧性伸展的特征，产生非断裂成因的持续沉降。

References:

Ding Weiwei, Chen Hanlin, Yang Shufeng, et al. 2002. Geological and geophysical analysis of the southwestern and eastern sub-basins, South China Sea [J]. Geological Journal of China Universities, 8 (3): 268–279. (in Chinese with English abstract)

Gong Zaisheng, Li Sitian, Xie Taijun, et al. 1997. Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation in the Continental Margin, South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 63–186. (in Chinese)

Hao Yichun, Xu Yulin, Xu Shice, et al. 1996. Tertiary Microfossils and Paleooceanography Analysis of the Pearl River Basin, South China Sea [M]. Beijing: China University of Geosciences Press. 1–136. (in Chinese)

Holloway N H. 1982. North Palawan block, Philipp Isles—Its relation to Asian mainland and role in evolution of South China Sea [J]. AAPG Bulletin, 66 (9): 1355–1383.

Huang Chunju, Zhou Di, Chen Changming, et al. 2005. Deep crustal structure of Baiyun Sag, northern South China Sea revealed from deep seicmic reflection profile [J]. Chinese Science Bulletin, 50 (10): 1024–1031.

Leloup P H, Lacassin R, Tapponnier P, et al. 1995. The Ailao Shan–Red River Shear Zone (Yunan, China), Tertiary transform boundary of Indochina [J]. Tectonophysics, 251: 183–190.

Li Jiaobiao. 2005. Evolution of China's Marginal Seas and Its Effects on Natural Resources [M]. Beijing: Ocean Press. 228–268. (in Chinese)

Li Mingbi, Jin Xianglong, Chu Fengyou, et al. 2002. Sequence division and sedimentary evolution of Cenozoic in the middle Shenhu–Yitong Ansha Uplift [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 20 (4): 545–551. (in Chinese with English abstract)

Li Mingbi, Jin Xianglong, Li Jiabiao, et al. 2005. Miocene deposition and paleo-slope evolvement of the middle part of northern continental slope in the South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 27 (3): 73–79. (in Chinese with English abstract)

Li C F, Zhou Z Y, Li J B, et al. 2007. Structure of the northeasternmost South China Sea continental margin and ocean basin: geophysical constraints and tectonic implications [J]. Marginal Geophysical Research, 28: 59–79.

Lüdmann T and Wong H K. 1999. Neotectonic regime on the passive continental margin of the northern South China Sea [J]. Tectonophysics, 311: 113–138.

Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. 2006. The Pearl River Deep-Water Fan System and Petroleum in South China Sea [M].

Beijing: Science Press. 142–190.

Pang Xiong, Chen Changmin, Shi Hesheng, et al. 2005. Response between relative sea-level change and the Pearl River deep-water fan system in the South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 12 (3): 167–175. (in Chinese with English abstract)

Peng Dajun, Pang Xion, Chen Changmin, et al. 2005. From shallow–water shelf to deep-water slope—the study on deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Sedimeniologica Sinica, 23 (1):1–11. (in Chinese with English abstract)

Qin Guoquan. 2002. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin, South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 16 (1): 1–10. (in Chinese with English abstract)

Ru K, Pigott J D. 1986. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea [J]. AAPG Bull., 70 (9): 1136–1155.

Shi X, Qiu X L, Xia K Y, et al. 2003. Characteristics of the surface heat flow in the South China Sea [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 22 (3): 265–277.

Sun Zhen, Pang Xiong, Zhong Zhihong, et al. 2005. Dynamics of Tertiary tectonic evolution of the Baiyun Sag in the Pearl River Mouth Basin [J]. Earth Science Frontiers, 12 (4): 489–498. (in Chinese with English abstract)

Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, et a1. 1990. The Ailao Shan–Red River metamorphic belt: Tertiary leftlateral shear between Indochina and South China [J]. Nature, 243: 43l–437.

Taylor B and Hayes D E. 1983. Origin and history of South China Sea Basin [M] // Hayes D E. Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2, Geophys. Monogr. 27, Washington D.C. AGU, 23–56.

Wu Shimin, Yang Tian, Zhou Di, et al. 2001. Tectonic setting of the North Margin of South China Sea [J]. Geological Journal of China Universities, 7 (4): 419–426. (in Chinese with English abstract)

Wu Shimin, Yang Tian, Zhou Di, et al. 2005. Discussion on the extension model for the conjugate continental margin of South China Sea [J]. Geological Journal of China Universities, (11) 1: 105–110. (in Chinese with English abstract)

Zhang Jian and Song Haibin. 2001. The thermal structure of main sedimentary basins in the northern margin of the South China Sea [J]. Journal of Geomechanics, 7 (3): 238–244. (in Chinese with English abstract)

Zhang Jian and Wang Jiyang. 2000. Deep thermal characteristics in the northern margin of the South China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 45 (10): 1095–1100.

Zhang Jian, Xiong Liangping and Wang Jiyang. 2001. Characteristics and mechanism of geodynamic evolution of the South China Sea [J]. Chinese Journal of Geophysics, 44 (4): 602–610.

Zhang Yunfan, Sun Zhen, Zhou Di, et al. 2007. Stretching characteristics and its dynamic significance of the northern continental margin of South China Sea [J]. Science in China (Series D), 37 (12): 1609–1616. (in Chinese)

Zhou D, Ru K and Chen H Z. 1995. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region [J]. Tectonophysics, 251 (1): 161–177.

参考文献:

丁巍伟, 陈汉林, 杨树锋, 等. 2002. 南海西南次海盆与东部次海盆地质与地球物理分析[J]. 高校地质学报, 8 (3): 268–279.

龚再生, 李思田, 谢泰俊, 等. 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 63–186.

郝诒纯, 徐钰林, 许仕策, 等. 1996. 南海珠江口盆地第三纪微体古生物及古海洋学研究[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1–136.

黄春菊, 周蒂, 陈长民, 等. 2005. 深反射地震剖面所揭示的白云凹陷的深部地壳结构[J]. 科学通报, 50 (10): 1024–1031.

黎明碧, 金翔龙, 初凤友, 等. 2002. 神狐——统暗沙隆起中部新生代地层层序划分及沉积演化[J]. 沉积学报, 20 (4): 545–551.

黎明碧, 金翔龙, 李家彪, 等. 2005. 南海中北部中新世陆坡区凹陷沉积与古陆坡形态演变[J]. 海洋学报, 27 (3): 73–79.

李家彪. 2005. 中国边缘海形成演化与资源效应[M]. 北京: 海洋出版社, 228–268.

庞雄, 陈长民, 彭大均, 等. 2006. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 142–190.

庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 2005. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应[J]. 地学前缘, 12 (3): 167–175.

彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等. 2005. 从浅水陆架走向深水陆坡——南海深海扇系统的研究[J]. 沉积学报, 23 (1): 1–11.

秦国权. 2002. 珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化[J]. 中国海上油气 (地质), 16 (1): 1–10.

孙珍, 庞雄, 钟志洪, 等. 2005. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘, 12 (4): 489–498.

吴世敏, 杨恬, 周蒂, 等. 2001. 南海北部陆源的构造属性问题[J]. 高校地质学报, 7 (4): 419–426.

吴世敏, 杨恬, 周蒂, 等. 2005. 南海南北共轭陆缘伸展模型探讨[J]. 高校地质学报, (11) 1: 105–110.

张健, 宋海斌. 2001. 南海北部大陆架盆地热结构[J]. 地质力学学报, 7 (3): 238–244.

张健, 汪集旸. 2000. 南海北部大陆边缘深部地热特征[J]. 科学通报, 45 (10): 1095–1100.

张健, 熊亮萍, 汪集旸. 2001. 南海深部地球动力学特征及其演化机制[J]. 地球物理学报, 44 (4): 602–610.

张云帆, 孙珍, 周蒂, 等. 2007. 南海北部陆缘新生代地壳减薄特征及其动力学意义[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 37 (12): 1609–1616.