

赵迎冬, 甘华军, 陈善斌, 等. 珠琼运动的厘定——来自北部湾盆地福山凹陷构造沉积特征的启示[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 948–959.
Zhao Yingdong, Gan Huajun, Chen Shanbin, et al. Determination of Zhu–Qiong movement: The enlightenment from tectonic and sedimentary characteristics of Fushan Sag, Beibuwan Basin[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 948–959(in Chinese with English abstract).

珠琼运动的厘定——来自北部湾盆地福山凹陷构造沉积特征的启示

赵迎冬^{1,2} 甘华军² 陈善斌^{1,2} 王观宏^{1,2} 王祥^{1,2} 章诚诚^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074;
2. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:南海北部盆地构造运动的认识向来存有争议,尤其是在珠琼运动的厘定上更是难以统一。通过分析南海及其周缘盆地的动力学背景特征,认为珠琼运动为发生在始新世至渐新世的一次大型伸展构造运动,根据其动力学背景可分为两幕。北部湾盆地福山凹陷在珠琼运动期间表现出明显的两期伸展背景,分别对应珠琼运动的两次幕式活动。根据福山凹陷沉降速率变化、控沉积断裂与不同期次断裂分布特征,认为珠琼运动一幕的活动时间为早一中始新世,即 54~39.4 Ma,动力学机制为印度洋板块俯冲欧亚板块引起东南方向的地幔流并导致太平洋板块俯冲后退;珠琼运动二幕的活动时间为晚始新世至渐新世,即 39.4~25.5 Ma,起因于海南地幔柱柱头到达岩石圈底部引起东南方向的伸展效应。

关键词:构造运动;南海北部盆地;珠琼运动;福山凹陷;始新世—渐新世

中图分类号:P548;TE 121 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015)04-0948-12

Determination of Zhu–Qiong movement: The enlightenment from tectonic and sedimentary characteristics of Fushan Sag, Beibuwan Basin

ZHAO Ying-dong^{1,2}, GAN Hua-jun², CHEN Shan-bin^{1,2},
WANG Guan-hong^{1,2}, WANG Xiang^{1,2}, ZHANG Cheng-cheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The understanding of tectonic activity in the north basins of South China Sea has long been controversial. It is especially difficult for researchers to hold identical views in the problem of the determination of the Zhu–Qiong movement. Based on the research on the dynamic setting in the South China Sea and its surrounding basin, the authors believe that the Zhu–Qiong movement was a great extensional tectonic activity between Eocene and Oligocene, and it could be divided two episodes according to the dynamics in different stages. Fushan Sag is located in the southeast corner of Beibuwan Basin, which is one of the northern basins of

收稿日期:2014-10-16;改回日期:2015-03-16

基金项目:国家自然科学基金项目(41272122)资助。

作者简介:赵迎冬,男,1985年生,博士生,主要从事盆地分析方面的研究;E-mail:9li_0123@163.com。

the South China Sea. The sag's tectonic and sedimentary characteristics show that there existed two backgrounds of extensional structure during the Zhu-Qiong movement, corresponding respectively to two episodes of Zhu-Qiong movement. In addition, according to the characteristics of the change of sedimentary rate as well as the time of the formation of faults which controlled sedimentation and distribution of multi-phase faults, it is held that the activity of the first episode of Zhu-Qiong movement occurred in Early-Middle Eocene (54Ma-39.4Ma). Its dynamics mechanism was that the West Pacific plate drew back in subduction caused by SE-trending mantle flow under the subduction of Indian plate beneath Eurasian plate. And the activity of the second episode of Zhu-Qiong movement took place in Late Eocene to Oligocene (39.4Ma-25.5Ma). The dynamics mechanism of this stage was different from that of the previous phase, and the extensional effect of Hainan mantle plume action on the lithospheric bottom led to the tectonic activity in this episode.

Key words: tectonic activity; northern basins of South China Sea; Zhu-Qiong movement; Fushan sag; Eocene-Oligocene

About the first author: ZHAO Ying-dong, male, born in 1985, doctor candidate, engages in analysis of basin and petroleum geology; E-mail: 9li_0123@163.com.

构造运动是由地球内动力引起岩石圈地质体变形、变位的机械运动,按地壳的运动方向可分为水平运动与垂直运动,可产生褶皱、断裂等各种地质构造,因此更直观的可将其分为褶皱运动与张裂运动。包括北部湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地等南海周缘盆地群成盆动力学背景相似,都经历了典型断陷盆地先断后坳的沉降阶段^[1-2],因此所经历的构造运动可以统一划分与命名。广东地质学会在1991年定义的南海北部盆地所经历的4次构造运动:神狐运动、珠琼运动、南海运动与东沙运动,并厘定了各构造运动的性质与大致活动时间^[3]。后续的研究又逐步厘定了各构造运动在各个盆地的影响,并确定了各关键界面的年龄^[4,5]。然而随着研究的深入,所产生的分歧也越来越大,主要表现在地层界面年龄与构造运动形成背景上,对深入研究盆地造成了很大的影响。福山凹陷位于北部湾盆地东南部,是一个新生代形成的箕状凹陷,其构造沉积特征能很好地反映当时构造运动的背景。因此本文从大尺度的区域动力学背景出发,结合小尺度的福山凹陷构造沉积特征,探讨了南海北部构造运动的形成机制,尤其是分歧最大的珠琼运动,路线如图1所示。

1 构造运动认识的分歧

南海海域位于欧亚板块、太平洋板块和印-澳板块的交汇地带,其独特的构造背景使之成为地球动力学的研究前缘与热点,已有大量的国内外专家发表了研究成果^[6-13]。这些成果不但阐述了南海形成的原因,也分析了南海周缘盆地形成的背景,但

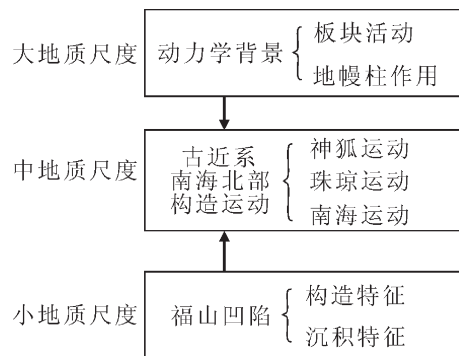


图1 研究路线

Fig. 1 The research route

观点分歧较大,始终没有形成统一的方案。其中之一就是来自构造运动发生时期的分歧,其形成原因主要有两点,第一是地层界面年龄的不统一,如北部湾盆地界面年龄就主要存在两套方案,最大的差别在于渐新统底界面年龄,一是将渐新统底界面年龄定为32 Ma^[4],而另一方案将渐新统底界面年龄定为36 Ma^[5]。同样的问题也出现在其他盆地中,因此选取合适的地层界面年龄方案是统一构造运动的先决条件。第二就是各研究机构或个人容易从各自研究区出发来认识构造运动,如北部湾盆地将涠洲组与流沙港组的交界面(始新统与渐新统的界面)定位珠琼运动二幕的发生界面,而其临近的莺歌海盆地却将崖城组与岭头组的交界面(上始新统与中始新统的界面)定位珠琼运动二幕的发生界面。如果单是研究同一盆地内的构造运动,显然根据地层组的接触关系确定构造运动是最合适的,然而纵观整个南海周缘盆地,很可能因局限在单个盆地内

而将局部的构造变动误认为是整体的构造运动。

鉴于以上两点,已有前人对此问题进行了分析,并重新厘定了四大构造运动的性质与发生时间^[16],然而该方案依然存在问题,如从白垩系末期到渐新世末期,南海共可识别出6期构造运动(图2),但普遍只定义了其中的4期,且对应的期次也不一致。如图2所示,在神狐运动与南海运动的厘定上,方案比较确定,关键的问题在于珠琼运动一幕与二幕的厘定,如珠琼一幕究竟是对应构造运动②期还是构造运动③期,珠琼二幕是对应构造运动③期还是构造运动④期?不仅如此,还需要解释哪几期构造运动为局部性质,哪几期为区域性的构造运动,且是何形成时间与机理。因此对珠琼运动的厘定就成为了理清南海地区构造运动的关键所在。

2 各构造运动发生的动力学背景与时期

2.1 板块活动影响下的南海盆地构造

南海及其周缘盆地位于印度洋板块、太平洋板

块、欧亚板块交汇处,其大地构造位置特殊,演化过程复杂,前人已经从多个角度分析了南海的演化与南海周缘盆地的关系,总结起来可分为:弧后盆地扩张模式、被动大陆边缘模式、碰撞挤出模式、地幔柱模式、右行拉分模式^[6-13]。事实上这些模式都存在一些问题^[17],只用单一模式无法全面解释南海及周缘盆地存在的特殊现象,所得结论也就存在一定的片面性,因此越来越多的人尝试综合运用这些模式来探讨南海的形成及其周缘盆地的演化^[12,18],本文也比较倾向于这种综合模式。

如图3所示,将太平洋板块的扩张速率、太平洋板块-欧亚板块的汇聚速率、印度洋板块-欧亚板块的汇聚速率等多因素汇聚于一起,并将图2中所示的6期构造运动投在其中。首先,可以看出在54 Ma至36 Ma期间太平洋板块与欧亚板块汇聚速率最低,但却对应于太平洋板块扩张速率最高的时期,显示出两板块汇聚速率受太平洋板块活动的影响并不明显。而且由于许多南海周缘盆地的地幔域地化特征表现出强的印度洋域信息^[19],而不是太

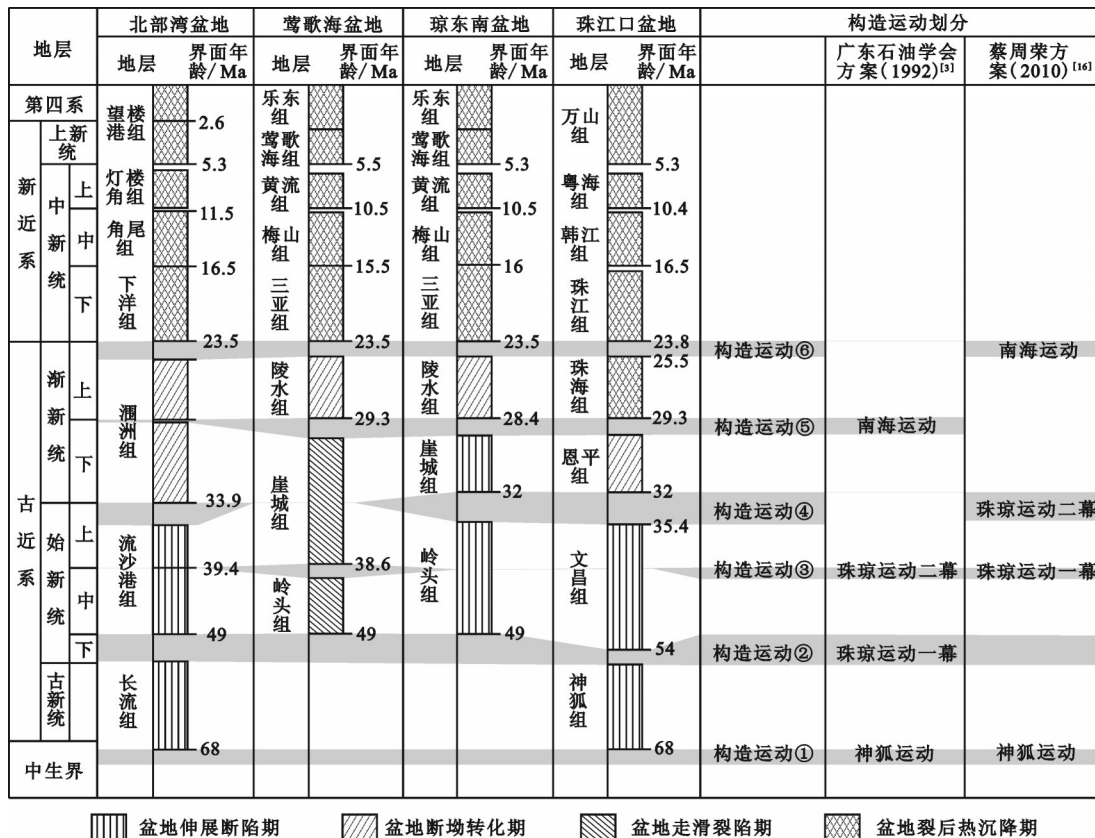


图2 南海北部盆地构造活动对比(据文献[4,5,14,15]改编)

Fig.2 The contrast of tectonic activities in the north basins of South China Sea (after references [4,5,14,15])

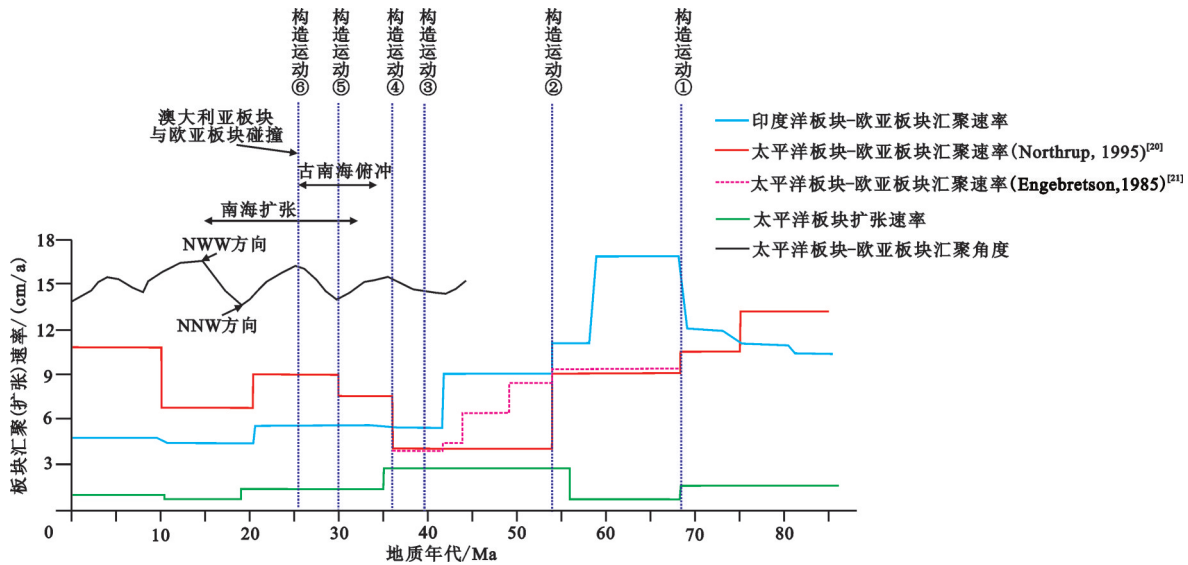


图3 南海北部盆地构造运动与板块活动(据文献[20-23]改编)

Fig.3 The relationship between the plate activity and tectonic activity in the north basins of South China Sea (after references [20-23])

太平洋板块特征,因此可以认为印度洋板块NNE向碰撞欧亚板块时,产生了大规模向东、南东方向的地幔流动,影响到太平洋板块的向欧亚板块的俯冲汇聚,使处于高速扩张期的太平洋板块在其西南边缘出现俯冲后退的现象,这与任建业所提出的弧后盆地被动扩张模式相同^[7]。

其次,图3中还显示出至少有4期构造运动是与太平洋板块的活动有关。在太平洋板块与欧亚板块汇聚速率明显下降的时期(68 Ma与54 Ma)与两期伸展构造运动一致(构造运动①期与②期),而在两板块汇聚速率突然升高的时期(36 Ma与30 Ma)则对应于两期隆升褶皱运动(构造运动④期与⑤期)。但是构造运动③期与⑥期受太平洋板块活动影响并不明显,其中构造运动⑥期与澳大利亚板块此时期碰撞欧亚板块相关^[24],表现为褶皱抬升,形成区域性的不整合。而构造运动③期并无明显的构造事件与之对应,且地层不整合界面只出现在少数几个盆地中。

由此看出太平洋板块与欧亚板块的汇聚速率依然是形成南海周缘盆地早期张裂与抬升的主控因素,只是张裂的动力学背景应与印度洋板块的俯冲活动有关。当太平洋板块俯冲速率下降时,出现应力松弛,给欧亚板块边缘的伸展提供了空间^[21],而此时印度板块NNE向碰撞欧亚板块至东南亚地区产生了大规模向东、南东方向的地幔流动^[25],向东南

流动的地幔流促使了欧亚板块边缘地壳的伸展与减薄^[26],形成张裂构造运动。在68 Ma时期的伸展张裂运动可称为神狐运动,54 Ma时期的伸展张裂运动部分学者认为是珠琼运动一幕的开始。当太平洋板块俯冲速率增大时,板块间的应力调整为挤压状态,形成褶皱抬升构造运动,盆地内出现不整合,如36 Ma时期的褶皱运动,代表着始新统与渐新统的分界面。由于南海周缘盆地在该期抬升作用后紧接着又发生了一期伸展运动,因此习惯上将这两次构造运动合称为一期,部分学者将其定位珠琼运动二幕。而发生在30 Ma时期的褶皱运动因不整合特征不明显,多数地区只表现出平行不整合特征,并没有命名。

此外,新生代以来发生的张裂运动具有旋转性,断裂走向表现为由NE向调整为近EW向,因此不少学者认为这是太平洋板块俯冲角度的变化所导致^[27],俯冲角度从古新统的NW向调整为渐新统的NNW向甚至是SN向,具顺时针旋转特点。然而Jackson等在研究新近系太平洋板块运动方向时,发现太平洋板块活动呈现出NNW到NEE方向的周期性摆动特征^[23](图3),在始新世中期至渐新世末期就至少发生过两期完整的摆动,因此简单的理解太平洋板块俯冲是呈顺时针方向调整显然并不准确。如图3所示,其在42~25 Ma发生过多俯冲方向的调整。而南海北部盆地群中所表现出的断裂

只具备单一顺时针旋转特征^[18,28],说明该阶段的构造应力背景并不只是受到板块活动作用那么简单。

2.2 海南地幔柱作用影响下的构造运动

前文提到在36 Ma时期除褶皱运动外还发生了一期伸展运动,但在太平洋板块的活动上并找不到其动力源背景,因此该时期形成的伸展运动有别与古新世至中始新世时期的伸展运动。此外伸展应力方向的调整也不受板块活动的影响,可推断该阶段南海周缘盆地群的伸展动力有另一来源。根据在纳吐纳岛-加里曼丹岛北部-巴拉望岛一线的蛇绿岩套和混杂岩,推测在现今南海地区存在一古南海,而古南海与现今南海在时空演化上存在关系^[29,30],其俯冲消亡应与现今南海海盆的扩张密切相关。因此现今南海实际上是从古大陆边缘演化而来的,这种演化促使陆壳边缘张裂为洋壳。结合以上,本文认为古南海的俯冲与南海海盆的打开都是受南海地幔柱的作用,并促使该阶段周缘盆地的伸展裂陷。海南岛下部存在一地幔柱^[31](位置见图4-a),当地幔柱上涌的柱头到达欧亚板块古陆壳底部时,开始熔融与流变上部地壳,并改变方向向东南流动,该地幔流动作用使欧亚板块边缘重新进入伸展张裂阶段。根据南海海盆磁异常条带的研究,认为南海扩张的时期为早渐新世一早中新世(32~17 Ma)^[9],因

此可以认为在32 Ma时期地幔柱上涌至现今南海中央海盆的位置,造成了海底扩张并形成洋壳。由此看出,在渐新世早期(33.9 Ma)形成的这次伸展运动也为地幔柱作用成因,伸展方向与古南海俯冲方向一致为SSE方向。实际上由于南海扩张作用的影响,多数盆地在此时期出现热回沉现象,表现出断坳共存的特征。而在25.5 Ma时期澳大利亚板块北缘与巽他沟弧系碰撞^[24],致使伸展作用完全停止,热回沉作用成为主导,并在多数盆地内形成破裂不整合,为南海运动界面形成主因。

2.3 古近系构造运动的初步分析

根据以上分析,可以大致分析出图2中古近系的6期构造运动:

构造运动①:开始于68 Ma左右,即白垩纪末期,称为神狐运动,表现为伸展张裂运动,是南海周缘盆地张裂的开始,在震害上表现为Tg不整合。其动力学机制是太平洋活动速率降低导致其对欧亚板块的俯冲减弱,形成拉张应力场,但作用力较弱,只有部分盆地在此阶段成盆。该伸展运动到古新世末期(56 Ma)受太平洋板块活动速率增大而停止。

构造运动②:开始于54 Ma左右,即始新统早期,表现为伸展张裂运动。由于其动力机制受太平洋板块、印度洋板块共同作用,因此活动强度相对

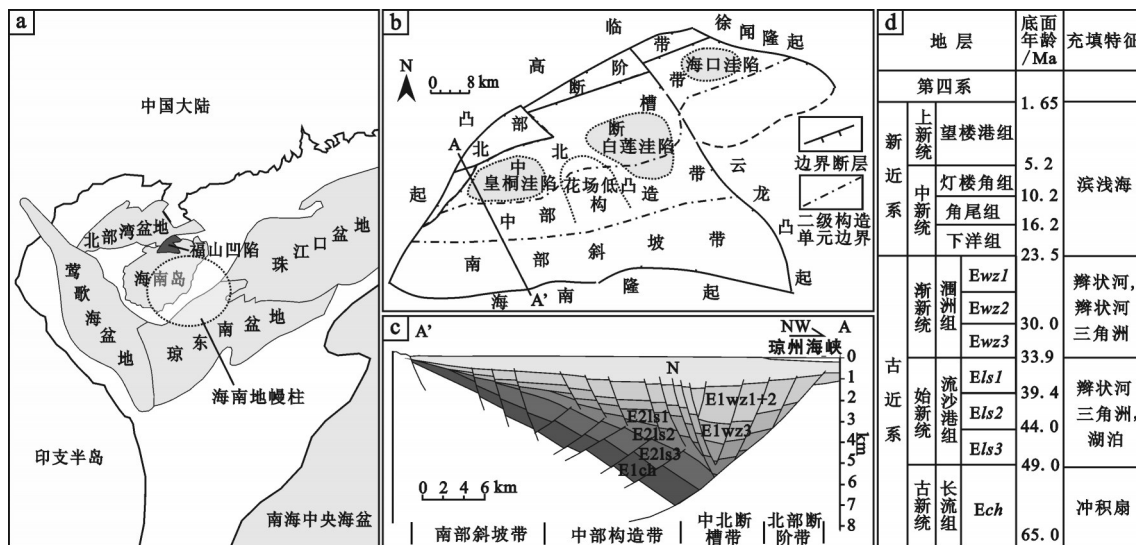


图4 北部湾盆地福山凹陷构造纲要

a—南海北部区域概况;b—福山凹陷构造纲要;c—福山凹陷剖面图;d—福山凹陷地层柱状图

Fig.4 Tectonic outline and location of Fushan sag, Beibuwan basin

于神狐运动要大的多,造成整个南海周缘盆地均发生张裂。由于构造运动普遍表现出幕式特征,该期构造运动还可分成多个次级幕式运动,即断层幕式活动。根据 Engebretson 在 1985 年的研究,太平洋板块俯冲速率的降低可分成 4 个阶段,即该期张裂运动可以分为四期断层幕式活动,如表 1 所示。其中第二期(49 Ma)与第三期(44 Ma)活动最强,形成大规模的裂陷,而第一期(54 Ma)与第四期(42 Ma)活动最弱,这使得多数盆地在断层幕式活动二期(49 Ma)才开始形成张裂。

构造运动③:发生于 39.4 Ma 左右,表现为局部盆地的褶皱抬升运动,只发生在莺歌海盆地中。

构造运动④a:由于前文中指出在 36 Ma 左右发生了两次构造运动,一次为褶皱抬升性质,另一期为伸展张裂性质,因此本文将其区分为④a 与④b。而实际上由于两次构造运动间隔较短,习惯上可当做一期构造运动。首先,构造运动④a 发生于 36 Ma,即始新统末期,表现为褶皱抬升运动。该构造运动的动力学机制为太平洋板块与欧亚板块汇聚速率上升导致地壳发生隆升,并且由于汇聚速率上升幅度巨大,致使整个南海周缘盆地均形成大规模角度不整合。

构造运动④b:开始于 33.9 Ma,即始新世晚期,表现为伸展张裂运动。其动力学机制为海南地幔柱柱头到达岩石圈底部并开始向东南流动,引发该区域的伸展作用,同理该期伸展运动也可以分为多期次级幕式运动。

构造运动⑤:发生于 30 Ma,表现为褶皱抬升运

动,其动力学机制为太平洋板块与欧亚板块的汇聚速率再次上升。由于此次两板块汇聚速率的上升幅度不大,因此形成的不整合界面并不明显,多数盆地只表现出假整合的特征。同样该期构造运动没有命名,但是构造运动后,多数盆地的裂陷作用仍然继续发育,因此将其当成南海运动是不正确的。

构造运动⑥:发生于 25.5 Ma,表现为褶皱抬升运动,即渐新统末期,称为南海运动。其动力学机制为澳大利亚板块碰撞欧亚板块导致伸展运动停止,并形成抬升剥蚀。由于该期构造运动较为强烈,在多数盆地形成了大型角度不整合,为古近系与新近系的分界面。

综合以上,如表 1 所示,南海北部盆地主要的伸展期对应于珠琼运动,但只从构造背景上似乎确定不了每一幕的发生时期,因此还需要从更多方向寻找依据。

3 福山凹陷古近系构造沉积特征与珠琼运动的关联

福山凹陷位于北部湾盆地东南角,南侧为海南隆起,北入琼州海峡,东临云龙凸起,西与临高凸起相接,古近纪地层分布在平面上表现为三角形,总面积为 2920 km²,是一个新生代形成的箕状凹陷。由于主控断层活动速率的迁移性加上构造变换带的影响,使福山凹陷还形成了两凹夹一凸的构造格局。如图 4 所示,白莲洼陷与皇桐洼陷是福山凹陷的主要生烃灶,而中部的花场低凸则是主要的油气聚集带。古近系的裂陷作用是福山凹陷形成的主

表 1 南海北部盆地构造运动

Table 1 The division of the tectonic activity in the north basins of South China Sea

构造运动	起止时间/ Ma	运动形式	命名	动力学背景
构造运动 ⑥	25.5	褶皱抬升	南海运动	澳大利亚板块的碰撞
构造运动 ⑤	30	褶皱抬升		太平洋板块-欧亚板块汇聚速率上升
构造运动 ④b	33.9-25.5	伸展张裂	珠琼运动? 幕	太平洋板块的活动速率降低; 地幔柱柱头到达岩石圈底面引起向南的伸展应力
构造运动 ④a	36	褶皱抬升	珠琼运动? 幕	太平洋板块-欧亚板块汇聚速率上升
构造运动 ③	39.4	局部不整合	珠琼运动? 幕	
构造运动 ②	54-36	伸展张裂	珠琼运动? 幕	太平洋板块-欧亚板块汇聚速率降低; 印度洋板块向东北俯冲欧亚板块引起东南方向的地幔流
构造运动 ①	68-56	伸展张裂	神狐运动	太平洋板块的活动速率降低; 太平洋板块-欧亚板块汇聚速率降低

因,形成了北东向、东西向、北西向的主断裂系。与其他南海诸盆地一样,福山凹陷新生代主要受神狐、珠琼、南海和东沙4期构造运动影响。中始新统流沙港组可分为三段,可对应于珠琼运动早期,为湖泊相-三角洲相沉积,而渐新统涠洲组也可分为三段,可对应珠琼运动晚期,主要为辫状河-辫状河三角洲相沉积。因此分析福山凹陷流沙港组与涠洲组的构造沉积特征就能找到更多有关珠琼运动活动特征的信息。

3.1 沉积相带分布与构造活动时间

断陷盆地中多数大型断裂都具有同沉积特征,其形成与活动控制着沉积相带的分布,因此根据沉积相带的变化可以确定断裂的形成时期,从而进一步分析构造活动发生的时间。如前文所述,福山凹陷的断裂活动表现出幕式特征,新的断裂应形成于某些断裂幕开始的时间。福山凹陷对珠琼运动的响应为流沙港组与涠洲组,其中流沙港组可分为 E_{l1} 、 E_{l2} 、 E_{l3} ,分别对应于3期断层幕式活动。根据流沙港组在福山凹陷的地层年龄, E_{l3} 应对应于构造运动②期的第二期断层幕式活动(49~44 Ma), E_{l2} 应对应于构造运动②期的第三期断层幕式活动(44~42 Ma), E_{l1} 似乎应对应于构造运动②期的第四期断层幕式活动(42~36 Ma),但时间上略有差别。如图5-a所示, E_{l3} 时期形成了走向为NE相的断裂,并控制着沉积相带的分布,使南部辫状河三角洲的各亚相界面明显,东部也控制着扇三角洲的延伸。断裂在 E_{l2} 时期持续活动,但控沉积作用不强(图5-b),这说明在 E_{l3} 与 E_{l2} 的沉积期内(49~40 Ma)伸展应力的方向大致没有改变。在 E_{l1} 时期形成了具有NEE走向的新断裂,特别是一些大型断裂控制着西部次凹的沉积相带变化(图5-c),说明 E_{l1} 时期是伸展应力发生调整的时期,时间上为39.4 Ma。然而太平洋板块旋转方向调整时间为42 Ma^[23],所产生的应力方向调整也应该在此时间段,这就与盆地应力场调整时间相矛盾,说明福山凹陷所在的南海北部盆地群构造应力方向的调整与板块活动关系并不明显。因此本文认为在39.4 Ma南海北部盆地群是受到了其他作用的影响而使区域构造应力方向发生调整。

3.2 凹陷沉降速率与构造活动强度

前文探讨了南海周缘盆地在渐新世时期的张

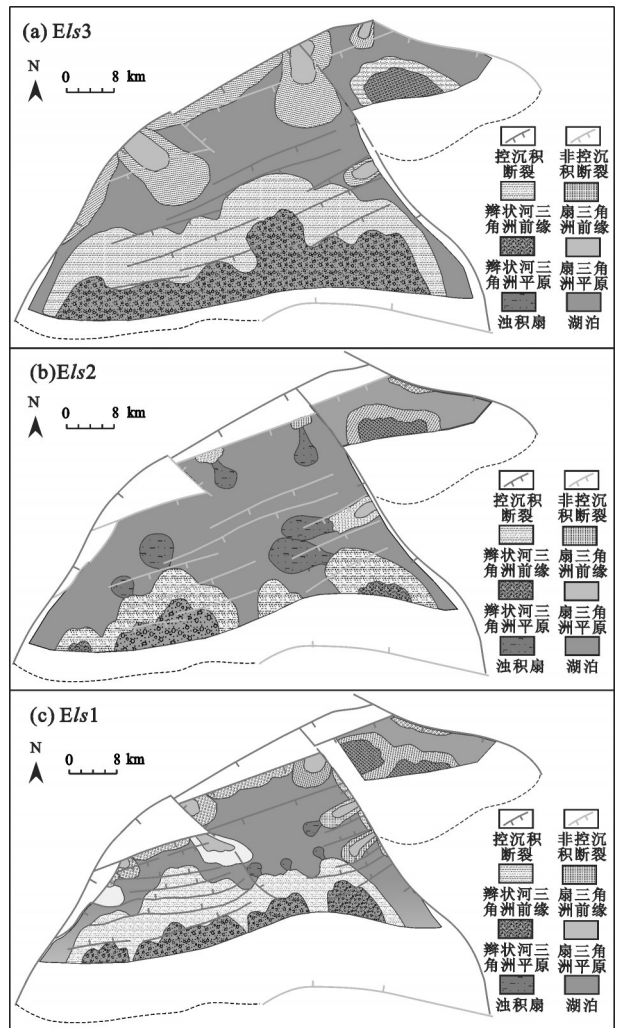


图5 福山凹陷沉积相与同沉积断裂分布
Fig.5 The distribution of sedimentary facies and syndepositional faults in Fushan sag

裂运动是受海南地幔柱活动影响,而通过对福山凹陷始新统一渐新统地层沉降速率的统计可以说明该时期构造活动强度的变化特征。如图5所示,无论是东部白莲洼陷还是西部皇桐洼陷在涠洲组时期各段的沉降速率都明显大于流沙港组时期(E_{l1} 除外),说明渐新世的构造活动强度要大于始新世中期。而与其他南海北部盆地火山岩分布特征一致^[22],在福山凹陷涠洲组沉积层内出现多套大范围玄武岩层分布,流沙港组沉积层内只有少量安山岩出现,说明在涠洲组沉积时期福山凹陷可能为类似主动裂陷的伸展背景,而流沙港组沉积期为类似被动裂陷的伸展背景,这种伸展背景的不同造成了沉

降速率的不同。

根据太平洋板块的活动特征,构造运动②期可分成4个次级期次,表现为4期断层幕式活动,其中第二、三期强,第一、四期弱。然而通过统计福山凹陷两个次注中各层段最大沉降速率,却发现在流沙港组沉降速率的变化与4期断层幕式活动强度变化并不一致。主要表现为福山凹陷Els1时期的沉降速率要明显大于Els2与Els3(图5),而Els1所对应的第四期断层幕式活动(42 Ma)下降幅度却是最弱的。并且Els1时期的沉降速率与渐新世涠洲组近似,考虑到板块活动在42 Ma以后已不是构造运动的主要作用源,产生的构造强度也不再可能超过前期,加上Els1时期构造应力调整时间的问题,本文认为在晚始新世时期(39.4~36 Ma)南海周缘盆地的动力学背景已发生改变,由板块活动改变为地幔柱作用,而不是之前所认为出现在始新世末期。需要说明的是,由于始新世与渐新世的气候差异造成了两者沉积环境大不相同,很容易误把两者的地层界面(33.9 Ma)当做构造运动转换的界面。而莺歌海盆地在39.6 Ma形成的不整合面也可能与南海北部盆地群动力学背景改变有关。盆地动力学背景的改变代表着新一期构造运动的开始,即珠琼运动二幕的开始,因此珠琼运动一幕与二幕的分界面应为39.4 Ma。

3.3 断裂走向与构造应力变化

断裂走向的变化亦可说明区域构造应力场的变化,特别是存在多组断裂的情况下。福山凹陷的

断裂分布就存在这种情况,首先根据断裂方向可将其分为下层反向、上层顺向(相对与地层倾斜方向)的双层组合结构,这种双层断裂组合是由不同时期地层倾斜角度改变造成的^[33]。其次在上层顺层断裂中也可分为两种情况,其一是形成于Els1时期,该组断裂活动性强,向下切入Els2地层中,且直至渐新世末期均有活动;其二是形成于Ewz2时期,该组断裂活动性较弱,断裂规模普遍较小,最多只贯穿了Ewz3。因此本文将此三组断裂分别进行统计(图6):A系断裂,为下层反向断裂,形成于49 Ma,根据走向玫瑰花图,其主伸展应力方向为SSE向22.4°;B系断裂,为上层顺向深层断裂,形成于39.4 Ma,根据走向玫瑰花图,其主伸展应力方向为SSE向10°;C系断裂,为上层顺向浅层断裂,形成于30 Ma,根据走向玫瑰花图,其主伸展应力方向为SSE向5°。

A系断裂形成时期,太平洋板块的俯冲后退形成了南海北部盆地群珠琼运动一幕,断裂的走向代表着该期构造运动的应力方向,因此珠琼运动一幕构造应力的方向为SSE向22.4°。B系断裂形成时期,南海北部盆地群动力学背景改变为海南地幔柱活动,形成珠琼运动二幕,构造应力场方向也调整为SSE向10°。C系断裂形成于30 Ma,事实上大多数断裂是发育在27 Ma之后,断裂形成也受珠琼运动二幕影响。该阶段构造应力方向有轻微变化,由SSE向10°转变成SSE向5°,说明动力学背景有所调整,由于该时期在南海海盆发生洋脊跳跃^[34],说明动力学背景的调整是地幔流动方向改变引起。构造

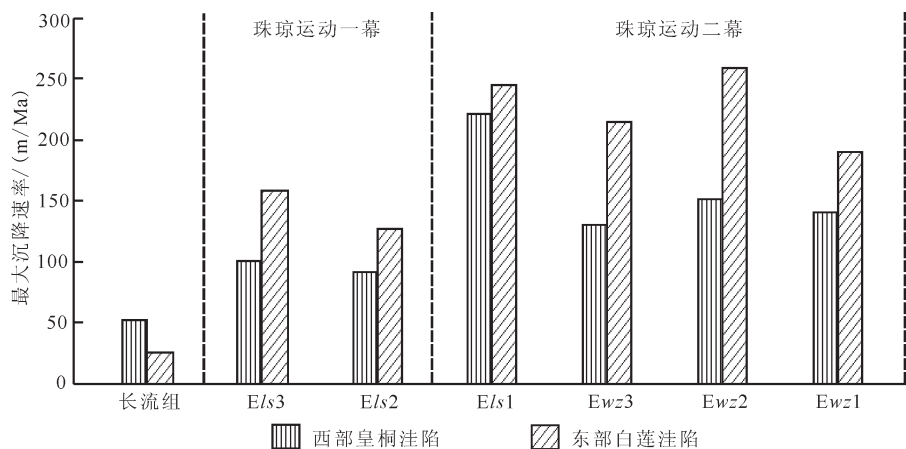


图6 福山凹陷古近系最大沉降速率

Fig.6 The Paleogene sedimentation rates in different segments in Fushan sag

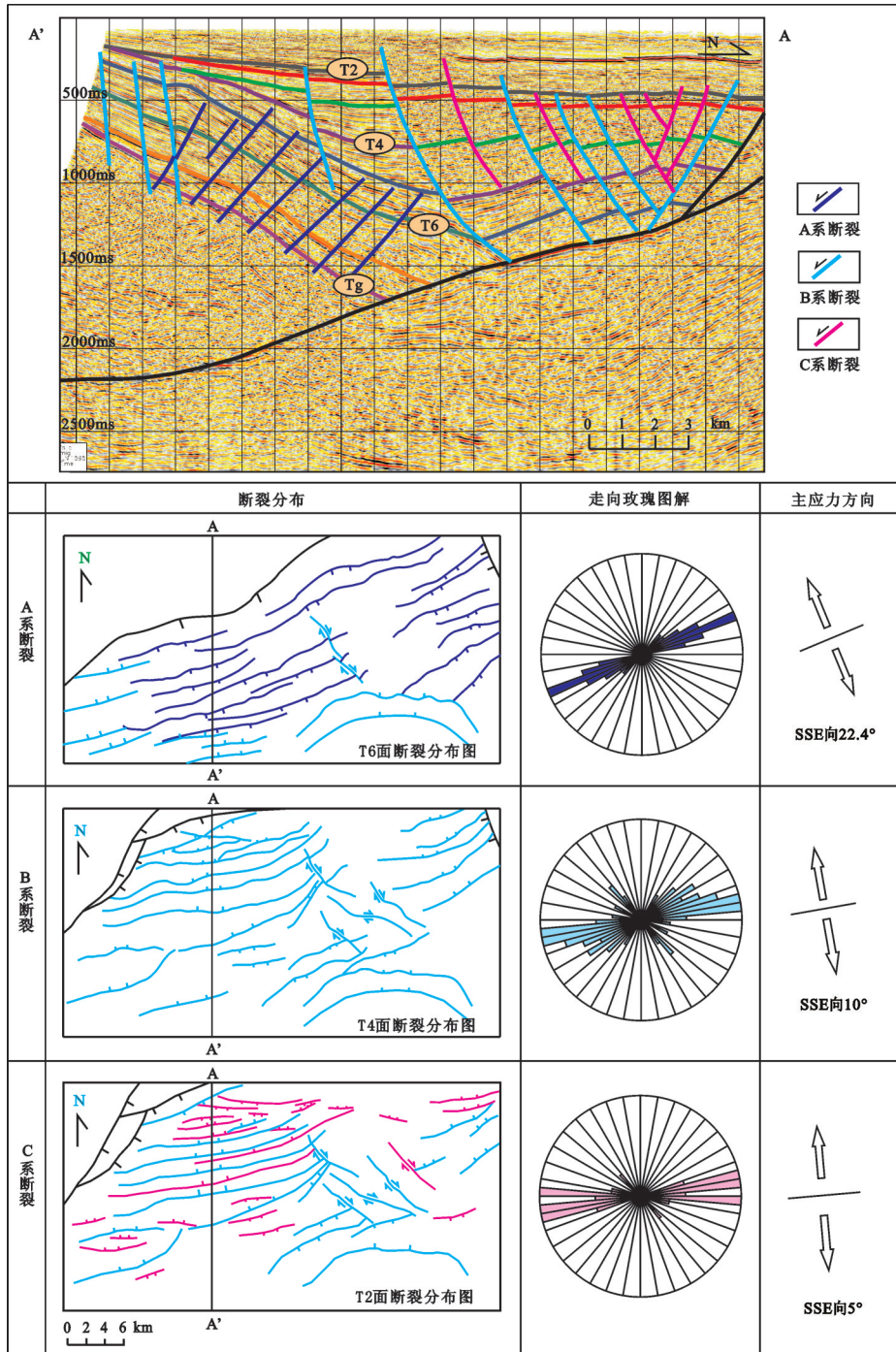


图7 福山凹陷断裂体系分布特征

Fig.7 The distribution characteristics of fault system in Fushan sag

应力方向的不断调整说明该地区动力学背景复杂,受多重因素影响,因此要严格区分不同动力学背景下的构造运动及其表现性质。即珠琼运动一幕为SSE向22.4°的一次伸展构造运动;珠琼运动二幕为SSE向10~5°的一次伸展构造运动。

4 对珠琼运动的厘定

通过区域动力学背景与福山凹陷构造沉积特征,可以认定珠琼运动为古近纪时期的大型伸展构造运动,其伸展动力学背景有两种,根据这两种不

表2 珠琼运动活动特征
Table 2 The characteristics of Zhu-Qiong movement

构造运动	次级幕式活动	活动时期	福山凹陷沉积响应	盆地伸展动力学背景
珠琼运动	断层幕式活动④ (27~25.5 Ma)	晚渐	Ewz1	印度洋板块俯冲欧亚板块引起东南方向的地幔流导致太平洋板块俯冲后退
	断层幕式活动③ (30~27 Ma)	新世	Ewz2	
	断层幕式活动② (34~30 Ma)	早渐	Ewz3	
	断层幕式活动① (39.4~36 Ma)	晚始	Els1	
	断层幕式活动③ (44~39.4 Ma)	中始	Els2	地幔柱柱头到达岩石圈底面引起东南方向的伸展效应
	断层幕式活动② (49~44 Ma)	新世	Els3	
	断层幕式活动① (54~49 Ma)	早始	无沉积层	
		新世		

同的伸展背景,可将珠琼运动划分为两幕。如表2所示,珠琼运动一幕为始新世早—中期的—次伸展运动,并表现出3期活动强度不等的断层幕式活动,其中第一期断层的幕式活动较弱,而第二期与第三期活动较强,其动力学背景为印度洋板块俯冲欧亚板块引起东南方向的地幔流导致太平洋板块俯冲后退。珠琼二幕为晚始新世—渐新世的一次伸展运动,可分为4期断层幕式活动,活动强度较为一致,动力学背景为海南地幔柱柱头到达岩石圈底面后引起东南方向的伸展效应。

此外,南海北部其他盆地在珠琼运动期间的沉降量也表现出动力学背景调整的特征。首先,就北部湾盆地来讲,其北部的涠西南凹陷表现出始新统沉降速率大于渐新统,而中部的乌石凹陷与迈陈凹陷却表现出始新统与渐新统沉降速率大致相同^[35],加上南部福山凹陷沉降速率的变化特征,说明在南北方向上伸展动力机制发生了改变。在琼东南盆地与珠江口盆地的沉降量上,表现出西部的琼东南盆地渐新统沉降速率大于始新统,且该时期盆地东部沉降速率大于西部^[36]。而珠江口盆地情况则刚好相反,整体表现为始新统沉降速率要大于渐新统^[37]。由此看出,整个南海北部盆地所表现出早始新世形成的珠琼运动一幕与晚始新世形成的珠琼运动二幕的伸展机制完全不同,珠琼运动一幕的裂

陷活动较弱,其强弱变化在平面上并无规律,而珠琼运动二幕裂隙活动较强,在平面上表现出东弱西强,北弱南强的特征^[38],即靠近海南地幔柱附近的裂隙活动最强,往四周逐渐减弱。

最后,在始新统与渐新统的交界面有一大型不整合面,其产生的抬升剥蚀量并不小于南海运动产生的抬升剥蚀量,在不考虑伸展动力背景的情况下很容易误将其理解为珠琼运动二幕。但其与珠琼二幕发生的时间间隔较远,运动性质更是有本质性的差别,不能将其并入珠琼运动中,因此应该给予其新的命名以方便区分。

致谢:审稿专家和编辑部李亚萍老师提出了宝贵修改意见,在此表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 林长松, 高金耀, 虞夏军, 等. 南海北部新生代的构造运动特征[J]. 海洋学报, 1992, 28(4): 81-86.
Lin Changsong, Gao Jinyao, Yu Xiajun, et al. Characteristics of tectonic movement in the northern part of South China Sea during the Cenozoic[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 28(4): 81-86(in Chinese with English abstract).
- [2] 王洪才, 李三忠, 刘鑫, 等. 南海北部陆缘盆地群新生代构造过程与油气运聚规律[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(1): 73-82.
Wang Hongcai, Li Sanzhong, Liu Xin, et al. Cenozoic geological processes and their bearing on hydrocarbon migration and accumulation in the continental marginal basin group of the northern South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(1): 73-82(in Chinese with English abstract).
- [3] 饶春涛. 南海北部陆缘盆地新生代构造运动的统一命名[J]. 中国海上油气, 1992, 6(1): 9-10.
Rao Cuntao. Unified name of Cenozoic Tectonic Movement in the continental margin basin system of the northern South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 1992, 6(1): 9-10(in Chinese).
- [4] 杜同军. 琼东南盆地层序地层和深水沉积充填特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 58-76.
Du Tongjun. Sequence stratigraphic and deep water sedimentary characteristic in the Qiongdongnan basin[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 58-76(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘新宇, 谢金有, 张伙兰, 等. 南海北部莺琼盆地浮游有孔虫年代地层研究[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(2): 181-192.
Liu Xinyun, Xie Jinyou, Zhang Huolan, et al. Chronostratigraphy of planktonic foraminifera in the Yinggehai-Qiongdongnan basin[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2009, 26(2): 181-192 (in Chinese with English abstract).
- [6] Karig D E. Origin and development of marginal basins in the

- western Pacific[J]. *Geophys. Res.*, 1971, 76: 2543–2561.
- [7] 任建业, 李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 203–213.
Ren Jianye, Li Sitan. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western pacific[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 203–213(in Chinese with English abstract).
- [8] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo P. On the mechanics of the collision between India and Asia[J]. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 1986, 19: 115–157.
- [9] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea[C]/Hayes D E(ed.). *The Tectonics and Geological Evolution of Southeast Asia Seas and islands: Part 2. American Geophysical Union, Washington, D.C.*, 1983, 27: 23–56.
- [10] 刘昭蜀. 南海地质构造与陆缘扩张[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 80–92.
Liu Zhaoshu. The geological structure and continental margin expansion of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1988: 80–92(in Chinese with English abstract).
- [11] 栾锡武, 张亮. 南海构造演化模式: 综合作用下的被动扩张[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 9(6): 59–74.
Luan Xiwu, Zhang Liang. Tectonic evolution modes of South China Sea: passive spreading under complex actions[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 9(6): 59–74(in Chinese with English abstract).
- [12] 鄢全树, 石学法. 海南地幔柱与南海形成演化[J]. *高校地质学报*, 2007, 13(2): 311–321.
Yan Quanshu, Shi Xuefa. Hainan Mantle Plume and the Formation and Evolution of the South China Sea[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(2): 311–321(in Chinese with English abstract).
- [13] 周蒂, 陈汉宗, 吴世敏, 等. 南海的右行陆缘裂解成因[J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 180–190.
Zhou Di, Chen Hanzong, Wu Shiming, et al. Opening of the South China Sea by dextral splitting of the East Asian Continental Margin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(2): 180–190(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱伟林, 米立军. 中国海域含油气盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
Zhu Weilin, Mi Lijun. Atlas of Oil and Gas Basins, China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010(in Chinese with English abstract).
- [15] 蒋仲雄, 曾麟, 李明姘, 等. 中国油气区第三系(VIII)南海北部大陆架油气区分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
Jiang Zhongxiong, Zeng Lin, Li Mingxing, et al. Tertiary in Petroliferous Regions of China, VIII. The north continental shelf region of South China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994(in Chinese with English abstract).
- [16] 蔡周荣, 刘维亮, 万志峰, 等. 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.
Cai Zhourong, Liu Weiliang, Wang Zhifeng, et al. Determination of Cenozoic tectonic movement in the northern South China Sea and the relationship between oil–gas reservoir and tectonic movement[J]. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(2): 161–165(in Chinese with English abstract).
- [17] 夏斌, 崔学军, 谢建华, 等. 关于南海构造演化动力学机制研究的一点思考[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(3): 221–227.
Xia Bin, Cui Xuejun, Jie Jianhua, et al. Think about the dynamics mechanism study on formation and evolution of South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(3): 221–227(in Chinese with English abstract).
- [18] 吕宝凤, 殷征欣, 蔡周荣, 等. 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.
Lv Baofeng, Yin Zhengxin, Cai Zhourong, et al. Cenozoic tectonic evolution sequence in Northern South China Sea and its oil/gas significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(8): 1249–1261(in Chinese with English abstract).
- [19] 朱炳泉, 王慧芬, 陈毓蔚, 等. 新生代华夏岩石圈减薄与东亚边缘海盆构造演化的年代学与地球化学制约研究[J]. *地球化学*, 2002, 31(3): 213–221.
Zhu Bingquan, Wang Huifen, Chen Yuwei, et al. Geochronological and geochemical constraint on the Cenozoic extension of Cathaysian lithosphere and tectonic evolution of the border sea basins in East Asia[J]. *Geochimica*, 2002, 31(3): 213–221(in Chinese with English abstract).
- [20] Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific plate relation to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia[J]. *Geology*, 1995, 23: 719–722.
- [21] Engebretson D C. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin[J]. *Special Paper*, 1985, 206: 1–59.
- [22] Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251: 85–138.
- [23] Jackson E D, Shaw H R, Baggar K E. Calculated geochronology and stress field orientation along the Hawaiian chain[J]. *Earth and Planet Sci. Lett.*, 1975, 26: 145–155.
- [24] Hall R, Ali J R, Anderson C D, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251: 229–250.
- [25] Yin A. Cenozoic tectonic evolution of Asia: A preliminary synthesis[J]. *Tectonophysics*, 2010, 8: 293–325.
- [26] Tamaki K. Opening tectonics of the Japan Sea. In: Taylor B, ed. *Backarc Basins: Tectonics and Magmatism*[M]. New York: Plenum Press, 1995, 407–420.
- [27] 闫义, 夏斌, 林舸, 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): 53–61.
Yan Yi, Xia Bin, Lin Ge, et al. The sedimentary and tectonic evolution of the basins in the north margin of the South China Sea

- and geodynamic setting[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(2): 53–61(in Chinese with English abstract).
- [28] 程世秀, 李三忠, 索艳慧, 等. 南海北部新生代盆地群构造特征及其成因[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(6): 79–93.
Cheng Shixiu, Li Sanzhong, Suo Yanhui, et al. Cenozoic tectonics and dynamics of basin groups of the northern South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(6): 79–93(in Chinese with English abstract).
- [29] 周蒂, 吴世敏, 陈汉宗. 南沙海区及邻区构造演化动力学的若干问题[J]. *大地构造与成矿学*, 2005, 29(3): 339–345.
Zhou Di, Wu Shimin, Chen Hanzong. Some remarks on the tectonic evolution of Nansha and its adjacent regions in southern South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2005, 29(3): 339–345(in Chinese with English abstract).
- [30] 闵慧, 任建业, 高金耀, 等. 南海北部古俯冲带的位置及其对南海扩张的控制[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(4): 599–605.
Min Hui, Ren Jianye, Gao Jinyao, et al. Location of the ancient subduction zone in the northern South China Sea and its constraints on the spreading of the South China Sea Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 34(4): 599–605(in Chinese with English abstract).
- [31] Lebedev S, Nolet G. Upper mantle beneath Southeast Asia from S velocity tomography[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(B1): 20–48
- [32] 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10 Ma以来的构造事件[J]. *科学通报*, 1998, 43(8): 797–810.
Li Sitian, Lin Changsong, Zhang Qiming. Dynamic process of the periodic rifting and tectonic events since 10 Ma in the marginal basins north of the South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(8): 797–810(in Chinese).
- [33] 赵迎冬, 王华, 甘华军, 等. 海南福山凹陷盆地形态演化[J]. *中国矿业大学学报(自然科学版)*, 2014, 43(6): 1078–1086.
Zhao Yingdong, Wang Hua, Gan Huajun, et al. The analysis about evolution of basin morphology in Fushan sag of Hainan province[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2014, 43(6): 1078–1086(in Chinese with English abstract).
- [34] Briais A, Patriat P, Tapponier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and sea floor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. *Geophys. Res.*, 1993, 98(B4): 6299–6328.
- [35] 胡望水, 吴婵, 梁建设, 等. 北部湾盆地构造迁移特征及对油气成藏的影响[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(54): 920–927.
Hu Wangshui, Wu Chan, Liang Jianshe, et al. Tectonic transport characteristics and their influences on hydrocarbon accumulation in Beibuwan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(54): 920–927(in Chinese with English abstract).
- [36] 尹新义, 任建业, 裴健翔, 等. 琼东南盆地断裂活动性定量计算及其发育演化模式[J]. *高校地质学报*, 2010, 16(3): 388–396.
Yin Xinyi, Ren Jianye, Pei Jianxiang, et al. Quantitative calculation on fault activity and fault propagation mechanism in Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2010, 16(3): 388–396(in Chinese with English abstract).
- [37] 高红芳. 南海北部陆缘东西部新生代沉积盆地基底特征对比分析[J]. *南海地质研究*, 2008: 23–34.
Gao Hongfang. Comparing the basement characteristics of Cenozoic sedimentary basins on the eastern and western margins of the northern South China Sea[J]. *Research of Geological South China Sea*, 2008: 23–34(in Chinese with English abstract).
- [38] 宋洋, 赵长煜, 张功成, 等. 南海北部珠江口与琼东南盆地构造-热模拟研究[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(12): 3057–3069.
Song Yang, Zhao Changyu, Zhang Gongcheng, et al. Research on tectono-thermal modeling for Qiongdongnan Basin and Pearl River Mouth Basin in the northern South China Sea[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2011, 54(12): 3057–3069(in Chinese with English abstract).