

张莉, 雷振宇, 王智刚, 等. 南海双峰盆地的形成演化及其对构造样式的约束[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(4): 39-45.

南海双峰盆地的形成演化及其对构造样式的约束

张莉^{1,2}, 雷振宇^{1,2}, 王智刚^{1,2}, 骆帅兵^{1,2}, 帅庆伟^{1,2}, 刘建平^{1,2}

(1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510760; 2 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510760)

摘要:南海北部深水区已逐渐成为我国南海北部油气资源调查的热点区域, 开展南海北部双峰盆地构造样式及成因分析研究对进一步认识南海北部沉积盆地的形成演化和评价油气资源潜力具有重要的借鉴意义。利用广州海洋地质调查局已有的二维地震资料, 在对双峰盆地地震层序和构造精细解释的基础上, 厘定了双峰盆地主要的构造样式; 采用平衡剖面技术, 重建了双峰盆地的构造演化史; 结合南海北部区域构造背景, 分析了双峰盆地的性质和成因。研究认为, 双峰盆地为与洋壳热沉降有关的坳陷沉积盆地。从神狐运动开始, 双峰盆地经历了大陆破裂—大陆裂解—海底扩张完整的构造演化旋回, 在持续伸展构造应力场的作用下, 形成了双峰盆地, 主要发育伸展构造样式、转换-伸展构造样式、重力滑动构造样式和火成构造样式 4 类, 其中伸展构造和火成构造较为发育。

关键词:构造样式; 成因分析; 双峰盆地; 南海

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.029

0 引言

南海位于欧亚板块、印度-澳大利亚板块以及太平洋板块交汇处^[1], 新生代时太平洋板块向欧亚板块俯冲, 印度-澳大利亚板块与欧亚板块发生强烈碰撞, 早前拼合的古陆块发生滑移、裂离, 形成现今复杂的沟-弧-盆体系和新生的南海海盆^[1-4]。南海受这 3 大板块的影响巨大, 构造十分复杂, 而南海北缘陆块也因此成为最复杂的被动大陆边缘之一。

近年来, 南海北部深水区发现多个大型油气田, 油气勘探开发取得重大突破, 南海北部油气资源调查也逐渐由浅水区向深水区转变^[5-6]。中国学者对双峰盆地深水沉积充填特征、物源供给模式等方面有一定的研究基础^[7-10], 但在新生代构造特征、盆地形成演化和盆地性质及成因等方面研究程度较低。在前人研究的基础上, 本文利用广州海洋地质调查局已有的二维地震资料, 通过对双峰盆地地震层序和构造精细解释, 厘定了双峰盆地主要的构造样式, 采用平衡剖面技术, 重建了双峰盆地的构造演化史,

分析了双峰盆地的性质和成因, 为进一步评价油气资源潜力和圈定重点勘探目标提供依据。

1 地质背景

双峰盆地主体位于南海北部陆缘, 盆地面积约 3.7 万 km², 水深范围为 2000~3500 m, 属于南海北部超深水区。双峰盆地西邻西沙海槽盆地、北邻尖峰北盆地和珠江口盆地, 盆地北部与南部隆起区呈斜坡断阶过渡关系, 西部以一缓斜坡带与西沙隆起相邻, 南部与中沙隆起以断层为界, 东部与南海中央海盆相连(图 1)^[1,11]。

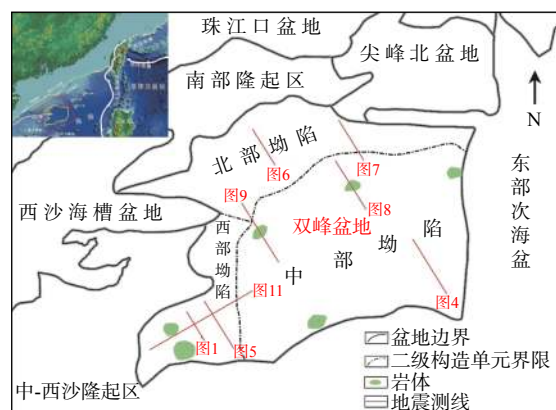


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

收稿日期: 2021-02-03

资助项目: 中国地质调查局项目“南海 X 油气资源调查”(DD20190213)

作者简介: 张莉(1965—), 女, 博士, 正高级工程师, 主要从事海洋地质、海洋石油地质等方面的研究工作. E-mail: zhangligmgs@qq.com

根据盆地地层发育特征及基底性质,将双峰盆地划分为北部坳陷、西部坳陷和中部坳陷 3 个二级构造单元^[11](图 1)。通过对双峰盆地地震层序精细解释,主要识别了 T₂、T₃、T₄、T₅、T₆、T₇ 和 T_g 共 7 个地震反射界面,其中 T₂、T₃、T₄、T₅ 和 T₆ 在全区均有分布,T₇ 和 T_g 仅分布于盆地的西部坳陷与北部坳陷,中部坳陷 T_g 反射不明显^[11](图 2)。

南海北部陆缘新生代以来经历了神狐运动、珠琼运动、南海运动和东沙运动^[12-17]。前人关于神狐运动和东沙运动的时间基本没有异议,分别对应于 T_g 和 T₄ 地震反射界面,但是关于南海运动和珠琼运动的时间存在较大争议,主要是因为缺乏对不整合界面的区域性对比。尽管很多学者根据磁条带强调南海扩张的时间可能较早,为始新-渐新世或早渐新世,但盆地 T₇-T₆ 海陆交互沉积表明该时

期开始发生大规模的海进^[11],南海开始扩张,盆地由裂陷向坳陷转化。通过对地震资料精细解释以及对珠江口盆地、琼东南盆地、西沙海槽盆地和双峰盆地进行地层对比认为,南海运动起始于早渐新世末(T₇),结束于晚渐新世末(T₆),在地震剖面上对应 T₆ 反射界面。

双峰盆地的形成与构造样式特征与南海北部的拉伸和解体有关,其伸展模式有很多观点,其中具有代表性的有纯剪切模式、简单剪切模式及分层剪切模式^[18-26]。根据已有的地震资料,双峰盆地北部陆坡发育 SE 向的正断层和地堑-半地堑构造,南部中沙海域地层发育 NW 向的正断层和地堑-半地堑构造,比较符合纯剪模型^[27],因此,双峰盆地中部坳陷的形成与纯剪切模式有关,进而形成海盆。

地质年代		反射界面	区域 年龄/Ma	珠江口 盆地	琼东南 盆地	姚伯初 (1993)	黄慈流等 (1994)	李平鲁等 (1994)	袁玉松等 (2008)	蔡周荣等 (2010)	构造运动	构造演化阶段				
新 生 代	第四纪		T ₂	1.8		东沙运动	蓬莱事件	东沙运动	东沙运动	东沙运动	东沙运动	稳定热沉降阶段	后大洋扩张期			
	上新世	N ₂	T ₃	5.5	万山组		莺歌海组							东沙事件		
		晚	N ₁ ³	T ₄	10.5		粤海组								黄流组	
			中	N ₁ ²	T ₅		16.4								韩江组	梅山组
	中新世	早	N ₁ ¹	T ₆	23.3	珠江组	三亚组	南海运动	南海运动	南海运动	南海运动	初始热沉降阶段	大洋扩张期			
			晚	E ₃ ²	T ₇	28.0	珠海组							陵水组	南海事件	珠琼运动Ⅱ幕 珠琼运动Ⅰ幕
				早	E ₃ ¹	T ₈	33.9							恩平组		
	古 近 纪	渐新世	E ₂ ³	T ₉	55.8	文昌组	神狐运动	西布事件	神狐事件	神狐事件	神狐事件	神狐运动	初始裂陷阶段	大陆裂解期		
			E ₂ ²													
			E ₂ ¹													
古新世		E ₁	T _g	65												
	前新生代															

图 2 双峰盆地综合地层柱状图

Fig.2 Integrated stratigraphic column of Shuangfeng Basin

2 双峰盆地构造样式

通过对地震剖面进行精细解释,双峰盆地主要发育 4 类构造样式:伸展构造样式、转换-伸展构造

样式、重力滑动构造样式和火成构造样式。

2.1 伸展构造样式

双峰盆地伸展构造样式主要包括伸展断层-滚动背斜构造样式、伸展断块构造样式和潜山-披覆

构造样式。在伸展断层-滚动背斜构造样式中, 铲式伸展断层的下降盘往往伴生有逆牵引背斜以及一系列密集调节断层, 包括同向和反向断层, 构成了“卷心菜”样式(图 3)。较大规模的滚动背斜往往与控盆或控凹的边界大断层有关, 一般发育于 T_6 界面之下。伸展断块构造样式主要是指与控盆控凹断裂同时期的次级断裂, 它们与主干断裂产状一致, 多成排发育, 形成一系列的断块组合(图 4)。潜山-披覆构造样式通常继承早期断块发育, 基底断块不断被后期地层超覆, T_6 之后地层披覆其上而形成披覆背斜构造(图 5)。

2.2 转换-伸展构造样式

转换-伸展构造样式由一束向上撒开的一组较陡倾的断层和地层正断形成的向形组成了负花状构造, 代表了走滑或转换-伸展作用。主要发育于 T_4 — T_6 , 部分断层持续活动到 T_2 (图 6)。这些转换伸展断裂带分带性强, 并且很可能在深部交汇, 构成更大规模的花状构造样式, 体现了构造的层次性。

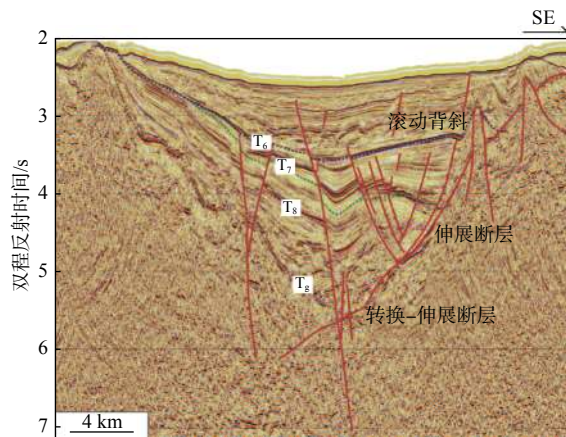


图 3 伸展断层-滚动背斜构造解释剖面

Fig.3 Interpreted profile of extensional faults and rolling anticline structures

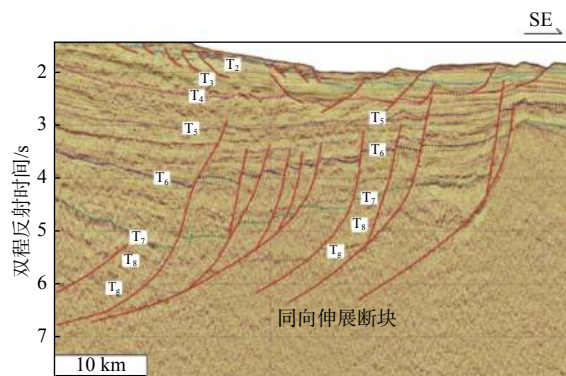


图 4 伸展断块构造解释剖面

Fig.4 Interpreted profile of an extensional fault block structure

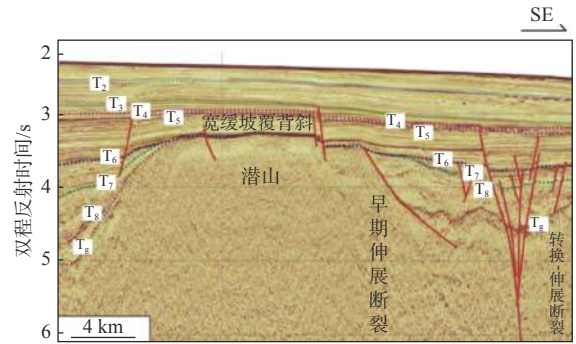


图 5 潜山-披覆背斜构造解释剖面

Fig.5 Interpreted profile of a buried hill drap anticline structure

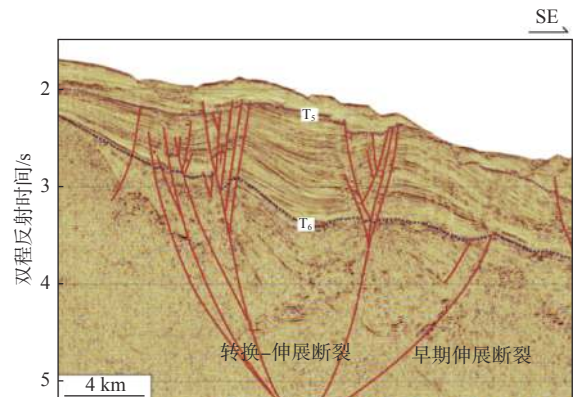


图 6 负花状构造解释剖面

Fig.6 Interpreted profile of a reverse flower structure

花状构造具有密集的转变-伸展断裂, 这些断裂较陡直, 贯通性强, 并且发育时期多较晚, 而成为优势油气输导通道。

2.3 重力滑动构造样式

重力滑动构造样式主要发育在陆坡(图 7), 特别是下陆坡, 沉积物在势能和重力作用下发生向下坡方向的滑动, 导致陆坡破裂, 从而在现今陆坡地貌发育一些陡崖和波状起伏, 地层内部褶皱普遍。

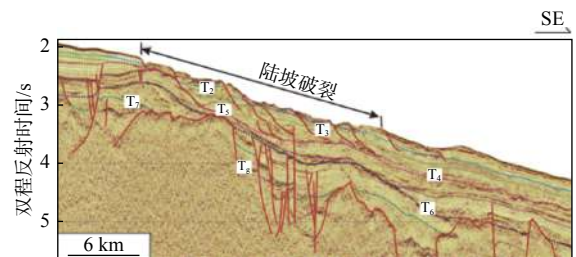


图 7 重力滑动构造样式解释剖面

Fig.7 Interpreted profile of gravity sliding structure

2.4 火成构造样式

双峰盆地火成构造类型包括火山喷发构造(图 8)和火山侵入构造(图 9), 与岩浆侵入或喷发

作用有关,且上覆地层变形明显。在火山喷发构造中,火山锥、火山通道和火山口较为发育(图8)。岩浆上涌形成火山通道,表现为杂乱反射,与周围接触地层接触边界模糊。火山通道使地表形成穹状隆起,岩层产状向四周倾斜,继之岩浆物质向外溢出。由于岩浆喷发后在火山口堆积成高地后,形成火山锥,地震剖面上具有丘型反射轮廓,内部呈现杂乱反射。火山口顶部呈地堑或半地堑式地层,表明受火山岩冷却收缩的影响,出现破火山口特征。在地震剖面上,岩浆侵入构造(图9)侵入体高度很大,且倾角很陡,因此周围上覆地层在岩浆垂直侵入作用下发生弯曲和抬升,地震反射终止。

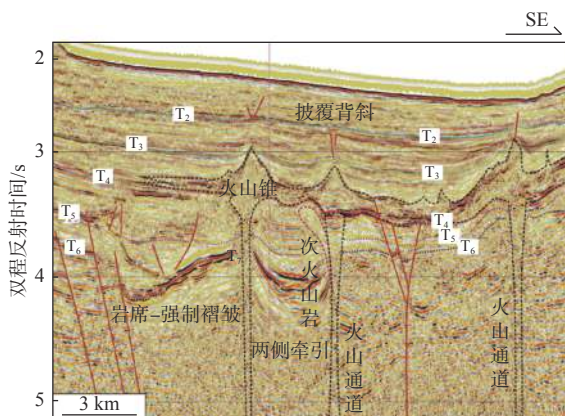


图8 火成岩喷发构造解释剖面

Fig.8 Interpreted profile of igneous rock eruption structure

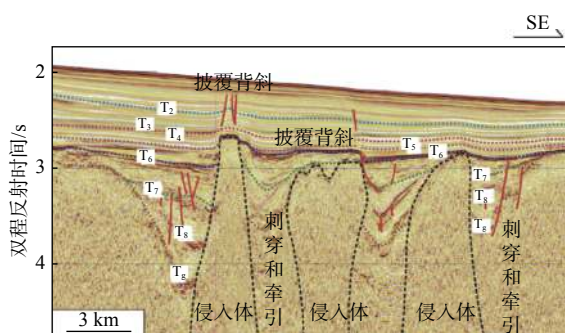


图9 火成岩侵入构造解释剖面

Fig.9 Interpreted profile of igneous rock intrusive structure

3 双峰盆地形成演化特征

双峰盆地属于欧亚板块东南的华南加里东褶皱带,从中生代末、新生代初的神狐运动开始,经历了大陆破裂—大陆裂解—海底扩张完整的构造演化旋回(图10)。在持续伸展构造应力场的作用下,形成了双峰盆地,发育了以伸展构造和火成构造为特色的构造体系。

3.1 大陆裂解期

3.1.1 初始裂陷阶段(古新—始新世, T_8-T_9 , 65~33.9 Ma)

双峰盆地形成于古新世,神狐运动的发生形成了珠江口盆地北部断裂带,双峰盆地基底发生张裂,发育一系列 NE—NEE 向断裂。在地震反射剖面上,神狐运动表现为双峰盆地区域性大的不整合面(T_9),解释为新生代盆地的基底。始新世裂陷作用进一步加强,使得早期形成的一系列 NE—NEE 向断陷进一步发育完善,断陷更深、规模扩大,但基本保持了孤立断陷的格局。

3.1.2 中裂陷阶段(早渐新世, T_7-T_8 , 33.9~28 Ma)

中裂陷阶段双峰盆地继续发育,岩浆活动也逐渐活跃,从早期的裂隙式喷发逐渐向晚期的中心式喷发转变,主要分布在南部盆地带。

3.2 大洋扩张期

大洋扩张期洋盆开始形成,南海北部陆缘进入被动大陆边缘的演化历程^[28],双峰盆地中部拗陷开始发育,该时期主要有与洋壳玄武岩同时期的玄武岩喷发。南海 ODP1148 井显示,28.5~23.5 Ma 期间,南海深海出现明显的沉积间断,缺失大约 2.5~3 Ma 的地层^[29],该时期大陆裂谷进入高潮期,开始大规模海进,覆盖了双峰盆地,仅存在几个孤立的隆起区。晚期由于深部地幔的再次上涌,导致整个区域隆升,特别是北部陆缘盆地普遍发生了隆升剥蚀事件,约 23.3 Ma 大洋扩张期结束,形成了 T_6 不整合,南海北部陆缘破裂结束。

3.3 后大洋扩张期

3.3.1 初始热沉降阶段(早—中中新世, T_4-T_6 , 23.3~10.5 Ma)

早中新世,双峰盆地进入初始热沉降阶段。该时期火山活动比较强烈,双峰盆地中部拗陷有大量的海底玄武岩火山喷发,并沉积覆盖在新生洋壳上。早期控盆的 EW 及 NEE 向断裂活动微弱,仅在中-西沙隆起区发育水下低隆起,特别是北部形成了陆架-陆坡-海盆的构造-地貌格局,后期热沉降作用使得盆地由断陷向拗陷转化。此外,ODP1148 井钻遇介形虫和底栖有孔虫化石群,表明早渐新世为中、上陆坡环境,而到中新世则变为水深>2000 m 的下陆坡环境,并出现与现代相近的底栖生物组合^[29-30]。

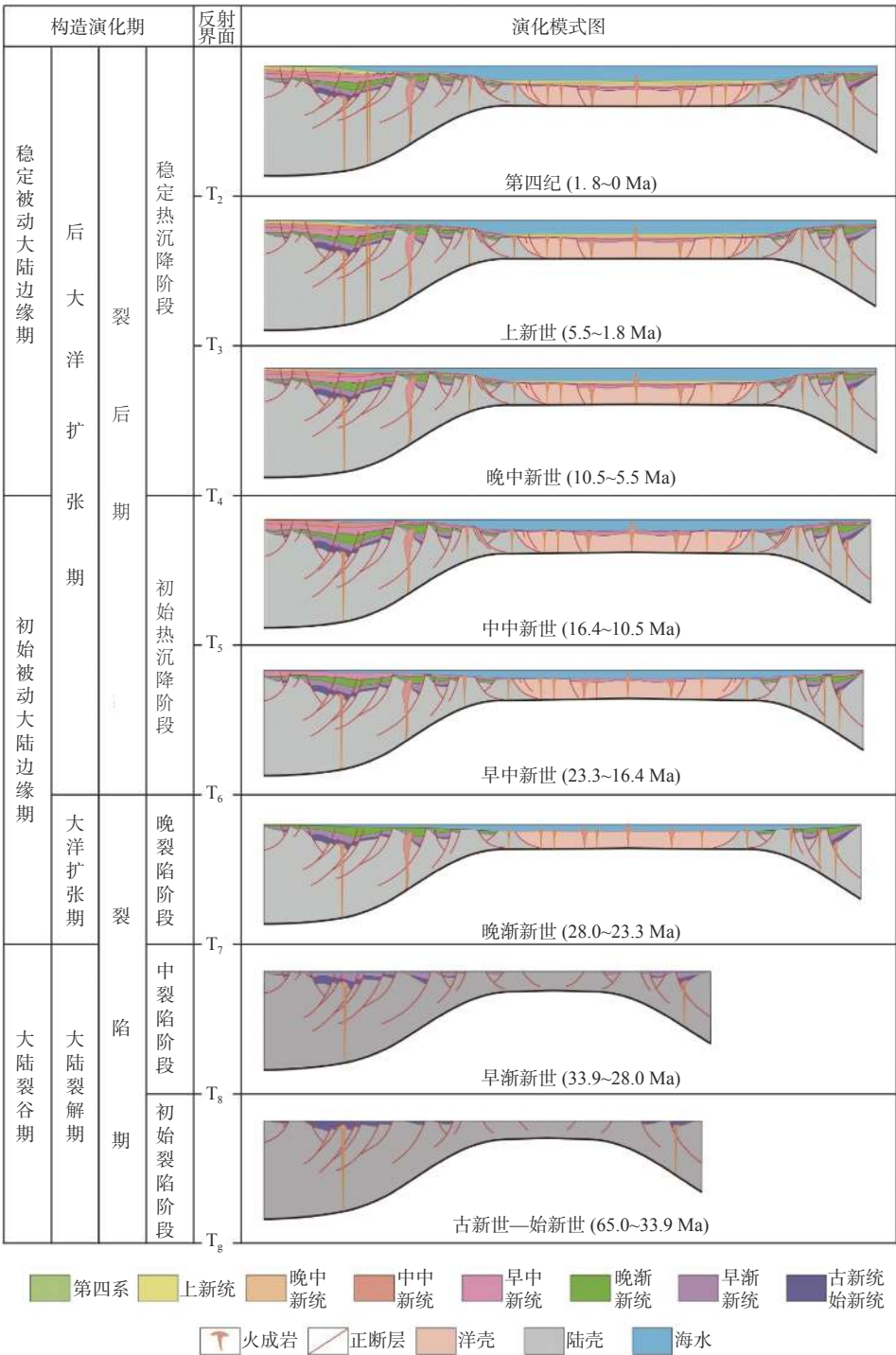


图 10 双峰盆地构造演化剖面模式图

Fig.10 Structural evolutionary model of the Shuangfeng Basin

3.3.2 稳定热沉降阶段（晚中新世—第四纪, T₀—T₄, 10.5~0 Ma）

晚中新世双峰盆地进入稳定热沉降阶段, 物质来源主要为南海北部陆坡陆缘碎屑沉积物和垂相物源, 呈半深海-深海沉积环境, 发育重力搬运沉积、深水浊流、等深流等。晚中新世的东沙运动使得断块挤压抬升破裂, 并伴有中-基性岩浆喷发, 形成了

一系列以 NW—NWW 向张扭性为主的断裂。

4 双峰盆地演化对构造样式的约束

通过地震剖面及重磁资料分析, 双峰盆地的西部拗陷的基底性质可能具有陆-洋过渡壳特征, 因此没有将其划入双峰海盆区。在 NNW—SSE 的地震

剖面上,表现为海底地形平坦,新生代盆地基底起伏大,火山活动强烈;在平行于该区构造线方向的SWW-NEE方向的地震剖面上(图11)也表现类似特征。因此,推测双峰海盆南北向扩张时期作为洋壳区和陆壳区近SN向可能存在一条NE向的区域深大断裂,与中-西沙海槽海盆北沿缝合带的情况类似,该区地壳未能张开形成洋壳,但其陆壳性质由于受东侧洋盆扩张的深部作用影响而遭受严重改造,伴随出现强烈岩浆活动。洋盆扩张结束后,随着洋壳逐渐冷却,该区与双峰海盆区一起热沉降,形成NEE向拗陷带及其控拗边界断层。

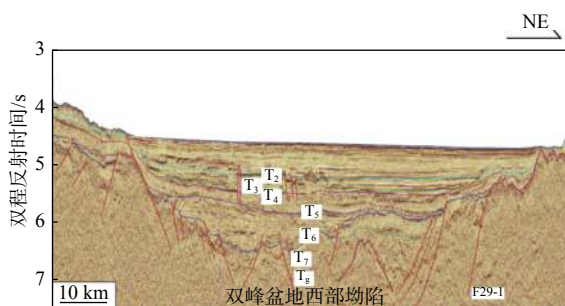


图11 双峰盆地西部拗陷SWW-NEE向剖面地震反射特征

Fig.11 Seismic reflection of SWW-NEE profile in western depression of Shuangfeng Basin

早白垩—始新世中期,南海北部处于古太平洋板块向东南亚斜向俯冲活动大陆边缘,而这一时期的动力学背景是变化的,早白垩世处于挤压环境,晚白垩—始新世中期则转为拉张环境。早渐新世南海开始扩张,至晚渐新世,形成南海初始被动大陆边缘。因此,双峰盆地在新生代的大地构造位置处于太平洋活动大陆边缘;若相对于南海区而言,自晚渐新世至今,双峰盆地则处于南海被动大陆边缘。在整个新生代,区内盆地应处于张性动力学背景之下。

通过对双峰盆地新生代盆地赋存的大地构造位置、动力学背景及沉积演化特征的分析并结合前面对各盆地成因探讨认为,双峰盆地的性质可确定为与洋壳热沉降有关的拗陷沉积盆地,其中部拗陷的基底为新生代洋壳,西部拗陷的基底性质具有陆-洋过渡壳特征。

5 结论

在对双峰盆地地震剖面精细构造-地层解释的基础上,厘定了双峰盆地的构造样式,探讨了双峰

盆地的构造演化历史和成因,主要结论如下:

(1)双峰盆地主要发育4类构造样式,分别为伸展构造样式、转换-伸展构造样式、重力滑动构造样式和火成构造样式。

(2)双峰盆地主要经历了白垩纪晚期—古新世早期的神狐运动、始新世末的珠琰运动、晚渐新世末的南海运动和中中新世末的东沙运动,构造演化阶段可划分为古新—早渐新世大陆裂解期(古新—始新世初始裂陷和早渐新世中裂陷阶段)、晚渐新世大洋扩张期和早中新世—第四纪后大洋扩张期(早—中中新世初始热沉降和晚中新世—第四纪稳定热沉降阶段)。

(3)双峰盆地的形成与双峰海盆扩张及其扩张后的热沉降有关,经历了早期断陷沉积和晚期为拗陷沉积2个阶段,其中部拗陷的基底为新生代洋壳,盆地性质为与洋壳热沉降有关的拗陷沉积盆地。

参考文献:

- [1] 龚再升,李思田,谢泰俊,等.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,1997.
- [2] 金庆焕.南海地质与油气资源[M].北京:地质出版社,1989.
- [3] 姚伯初.南海新生代的构造演化与沉积盆地[J].南海地质研究,1998,10(0):3-5.
- [4] 刘振湖.南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):410-417.
- [5] 张功成,米立军,吴时国,等.深水区:南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J].石油学报,2007,28(2):15-21.
- [6] 朱伟林,钟锴,李友川,等.南海北部深水油气成藏与勘探[J].科学通报,2012,57(20):1933-1841.
- [7] 钟广见.南海西北次海盆新生代构造事件的沉积记录[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [8] 丁巍伟,黎明碧,赵俐红,等.南海西北次海盆新生代构造-沉积特征及伸展模式探讨[J].地学前缘,2009,16(4):147-156.
- [9] 钱星,张莉,易海,等.南海北部双峰南陆坡区的构造层序及沉积充填过程[J].海洋地质与第四纪地质,2015,35(1):21-27.
- [10] 赵钊,赵志刚,沈怀磊,等.南海北部超深水双峰盆地构造演化与油气地质条件[J].石油学报,2016,37(S1):47-57.
- [11] 张莉,雷振宇,许红,等.南海北部深水双峰盆地地震层序特征及勘探前景[J].海洋地质与第四纪地质,2020,40(1):1-11.
- [12] 何廉声.南海北部新生代构造主要特征[C]//第二届全国构造地质学学术会议论文集,1979.
- [13] 姚伯初.南海北部陆缘新生代构造运动初探[J].南海地质研究,1993(5):1-12.
- [14] 黄慈流,钟建强.南海东北部及其邻区新生代构造事件[J].热带海洋,1994,13(1):55-62.
- [15] 李平鲁,梁惠娴.珠江口盆地新生代岩浆作用及其与盆地演化和油气聚集的关系[J].广东地质,1994,9(2):23-24.
- [16] 袁玉松,丁玫瑰.南海北部深水盆地特征及其动力学背景[J].

- 海洋科学, 2008, 32(12): 102-110.
- [17] 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.
- [18] MCKENZIE D. Some remarks on the development of sedimentary basins[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1978, 40(1): 25-32.
- [19] WERNICKE B. Low-angle normal faults in the Basin & Range Province: nappe tectonics in an extending orogen[J]. *Nature*, 1980, 219(25): 645-648.
- [20] LISTER G S, ETHRIDGE M A, SYMONDS P A. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins[J]. *Geology*, 1986, 14: 246-250.
- [21] ZHOU D, RU K, CHEN H Z, et al. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251: 161-177.
- [22] HAYES D E, NISSEN S S, BUHL P, et al. Throughgoing crustal faults along the northern margin of South China Sea and their role in crustal extension[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(11): 22435-22446.
- [23] NISSEN S S, HAYES D E, YAO B C. Gravity heat flow and seismic constraints on the process of crustal extension: northern margin of the South China Sea[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(11): 22447-22483.
- [24] 姚伯初, 邱燕, 吴能友, 等. 南海西部海域地质构造特征和新生代沉积[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [25] 吴世敏, 杨恬, 周蒂, 等. 南海南北共轭边缘伸展模型探讨[J]. 高校地质学报, 2005, 11(1): 105-110.
- [26] 朱荣伟, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海西南次海盆两侧陆缘新生代构造沉降特征及演化过程[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(6): 82-92.
- [27] 吴振利, 李家彪, 阮爱国, 等. 南海西北次海盆地壳结构: 海底广角地震实验结果[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(10): 1463-1476.
- [28] 崔莎莎, 何佳雄, 陈胜红, 等. 珠江口盆地发育演化特征及其油气成藏地质条件[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 384-391.
- [29] 邵磊, 李献华, 汪品先, 等. 南海渐新世以来构造演化的沉积记录: ODP1148站深海沉积物种的证据[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 539-544.
- [30] 房殿勇, 王汝建, 邵磊, 等. 南海ODP1148站深海相渐新统硅质成岩作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(2): 75-79.

ORIGIN AND EVOLUTION OF THE SHUANGFENG BASIN OF THE SOUTH CHINA SEA AND THEIR CONSTRAINTS ON STRUCTURAL STYLES

ZHANG Li^{1,2}, LEI Zhenyu^{1,2}, WANG Zhigang^{1,2}, LUO Shuaibing^{1,2}, SHUAI Qingwei^{1,2}, LIU Jianping^{1,2}

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510710, China;

2 Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The deep-water area of the northern South China Sea, i.e the Shuangfeng Basin in other words, has gradually become a hot spot for oil and gas exploration. Over the others, it is of great significance to carry out the study of structural style so as to know better about the origin and evolution of the basin. Using the 2D seismic data from Guangzhou Marine Geology Survey, the main structural styles of Shuangfeng Basin are determined based on the detailed interpretation of seismic sequences and structures. The structural evolutionary history of the Shuangfeng Basin is then reconstructed with the technique of balanced section. The nature and genesis of Shuangfeng Basin are also analyzed together with regional tectonic background in the north of South China Sea. It is revealed that the Shuangfeng Basin is a depression related to thermal subsidence of oceanic crust. Since the Shenhu movement, the basin has experienced a complete tectonic cycle from continental fracturing, through continental disintegration to seafloor spreading. The Shuangfeng Basin is formed under the action of continuous extensional tectonic stress. There are four types of extensional structural styles: extensional, transition-extensional, gravity sliding structure, and igneous structures.

Key words: structural style; genetic analysis; Shuangfeng Basin; South China Sea