

西沙周缘深水沉积盆地演化及油气勘探潜力

鲁银涛,王彬,吕福亮,贺晓苏,范国章,吴敬武

(中国石油杭州地质研究院)

摘要 西沙周缘深水沉积盆地位于南海西北部深水区,属新生代盆地,主要经历了三次构造运动和断陷与拗陷两个演化阶段。西沙北拗陷带和中建拗陷沉积了厚层的断陷期和拗陷期地层,断陷早期发育烃源岩,断陷晚期发育主要储层;拗陷早期发育储层,拗陷晚期发育区域盖层,具备优越的生储盖条件。西沙南拗陷带构造运动强烈,地温梯度高,局部出现洋壳基底,拗陷发育时代较晚。推测西沙周缘沉积盆地成藏模式与莺歌海盆地类似,中中新统海相泥岩具有生烃潜力,深水水道砂体可作为储层,海相泥岩为区域盖层。通过分析各个盆地(拗陷)的生储盖特征,认为西沙周缘具有优越的油气地质条件,是进行油气勘探的有利区域。

关键词 南海;西沙;深水盆地;含油气盆地;构造演化;油气勘探潜力

中图分类号:TE111.1

文献标识码:A

1 概述

西沙周缘新生代地层构造复杂,沉积了大厚度的新生界,是深水油气地质研究的重要区域。本文在前人研究的基础上,利用重力、磁力和地震资料,对西沙周缘进行了细致的构造区划研究,通过分析构造性质,探讨了各构造带油气潜力。

西沙周缘深水沉积区位于南海西北部,整体处于水深大于500m的范围,其中西北部水深为500~1500m,东部水深为1500~3000m,南部水深为2000~4000m(图1)。

在新生代构造作用下,西沙周缘发育琼东南、珠江口、中建南、北部湾、莺歌海及双峰盆地等多个新生代沉积盆地^[1-2],形成隆拗相间的构造格局。这些新生代的盆地(拗陷)都具有较大规模,充填有巨厚的新生代沉积。西沙周缘已发现多个大中型油气田,更加明确了它是寻找大中型油气田的有利区域。

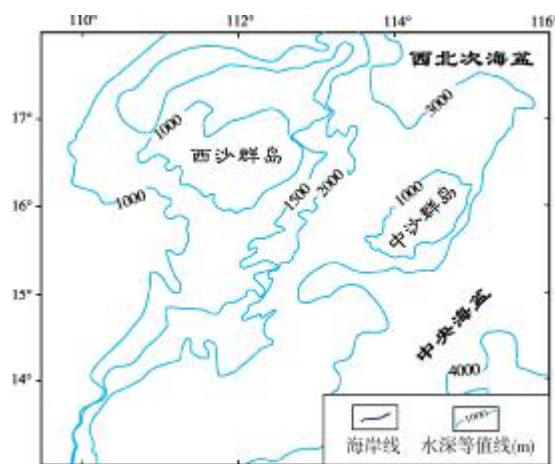


图1 西沙周缘水深图

2 构造演化

2.1 构造位置

南海新生代经历了两期海底扩张,形成了新生

收稿日期:2011-02-15;改回日期:2011-09-18

本文得到国家重点基础研究发展计划(973计划,课题编号:2009CB219406)项目支持

鲁银涛:1983年生,工程师。2005年毕业于中国地质大学(武汉),获学士学位;2008年毕业于中国科学院海洋研究所,获硕士学位。现从事南海构造演化及海洋油气勘探研究。通讯地址:310023 浙江省杭州市西溪路920号;电话:(0571)85229302

代洋盆。在洋盆构造体系之下,可将南海区域分为五个构造区带:北部被动大陆边缘、南部主动大陆边缘、西部走滑体系、东部主动大陆边缘和中部洋盆区^[3]。

西沙周缘位于北部被动大陆边缘、西部走滑体系、中部洋盆区的交汇部位,整个构造演化与南海北部一致,晚期构造受红河断裂带改造。在这个构造背景下,西沙周缘构造形迹方向与北部大陆边缘一致,以 NE 向为主。通过分析各个构造区带的地壳性质认为,地壳性质从北向南由陆壳转变为洋壳。北部的陆架区为陆壳,南部的洋盆区为洋壳。西沙隆起带、西沙南坳陷带、中沙隆起带所处的西沙周缘处于洋壳—陆壳过渡带(图 2),该处构造活动强烈,火山、断裂活动频繁^[4-5]。

西沙周缘地壳厚度不均,处于中心位置的西沙隆起、中沙隆起地壳厚度最大,南北地壳厚度都有减薄(图 3),反映了其处于南海被动拉张环境。相比之下,南部的地壳厚度更小,说明西沙周缘南部构造运动比北部更强烈。

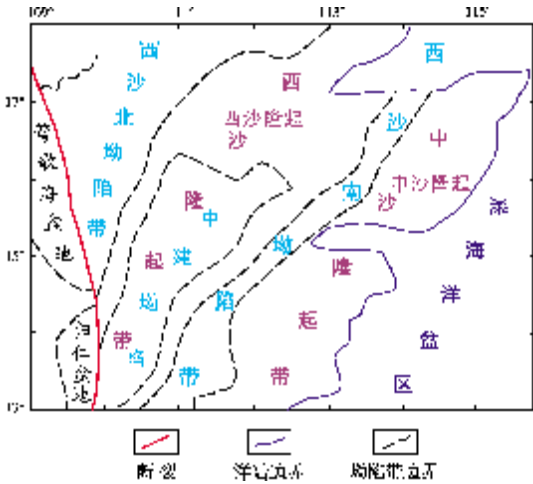


图 2 西沙周缘构造格局图

2.2 构造演化

新生代以来,南海西沙周缘主要经历了三个构造演化阶段:古新世—渐新世的陆内/陆缘裂离、晚渐新世—中中新世的海底扩张和中中新世—现今的

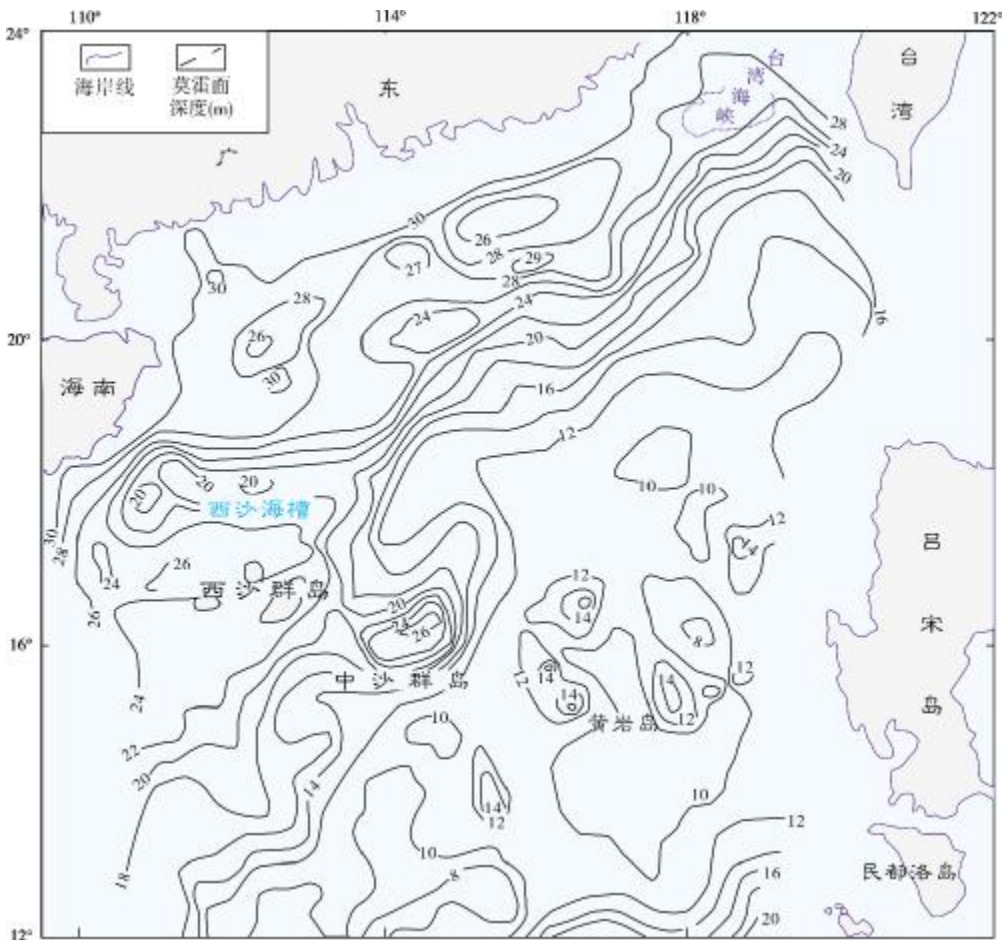


图 3 西沙周缘莫霍面深度图^[6-7]

热沉降^[1-3]。

2.2.1 古新世—渐新世(华南大陆裂离及第一次海底扩张)

在古新世—渐新世,印度—澳大利亚板块和欧亚板块俯冲碰撞,造成印支地块和华南地块向东南逃逸,华南大陆出现张裂,这次构造运动称作“神狐运动”^[8-12]。这次构造运动的结果为南海北部陆缘开始断陷,形成了一系列北东向地堑—半地堑。这些地堑—半地堑被周边隆起、凸起和低凸起区包围,形成了初始的隆坳相间格局。

在晚渐新世,由于地壳拉张减薄作用,地壳破裂,南海开始出现 NE 向海底扩张脊,进入第一次海底扩张阶段。此时南海南部与南海北部开始分离,断陷作用逐渐减弱,开始进入海陆过渡相沉积。

2.2.2 晚渐新世—中中新世(第二次海底扩张)

在晚渐新世—中中新世,南海东部开始出现近 EW 向海底扩张脊,南海进入第二次海底扩张阶段,该区域性构造运动被称为“南海运动”^[8-12]。受南海运动的影响,南海产生了区域性的抬升和剥蚀,并伴有 NEE—EW 向张性断裂和强烈的基性和中酸性岩浆活动。南海运动在地震剖面上表现为区域性不整合面(T_{60}),形成了最终的隆坳相间的构造格局。

在南海运动后,伴随着区域性沉降,整个南海盆

地由断陷转变为坳陷,开始进入坳陷沉积阶段。

2.2.3 中中新世—上新世(区域热沉降)

在中中新世—上新世,菲律宾板块和太平洋板块向 NWW 方向推挤、碰撞,以及印度—澳大利亚板块向 NNW 方向推挤,导致南海海底扩张停止,并伴随大规模的岩浆喷发活动。此区域性构造运动在南海北部称为“东沙运动”^[8-12]。

“东沙运动”使得南海北部盆地在沉降过程中发生断块升降、隆起剥蚀、褶皱、断裂和频繁的岩浆活动,自东向西,其运动强度和构造变形逐渐减弱。在珠江口盆地表现为断块升降、局部剥蚀、断裂和岩浆活动,产生了一系列至今仍活动的 NWW 向断裂;而在南海北部西区(琼东南盆地、莺歌海盆地)表现为断块升降和大规模的沉降,形成了莺歌海和琼东南盆地(上新世—现今)的巨厚沉积。东沙运动后,南海盆地进入坳陷晚期沉积阶段。

3 盆地演化

与区域构造演化相对应,西沙周缘盆地经历了断陷和坳陷两个演化阶段。从地震剖面上可以观察到 T_{60} 为区域不整合面(图 4),以 T_{60} 为界,可将盆地充填分为上、下两套构造层, T_{60} 之下称为下构造层, T_{60} 之上称为上构造层。下构造层由陆相沉积向上逐渐过渡为海陆过渡相沉积;上构造层由海陆过渡相沉积再向上过渡到海相沉积。这种层序特征反映了西沙周缘的

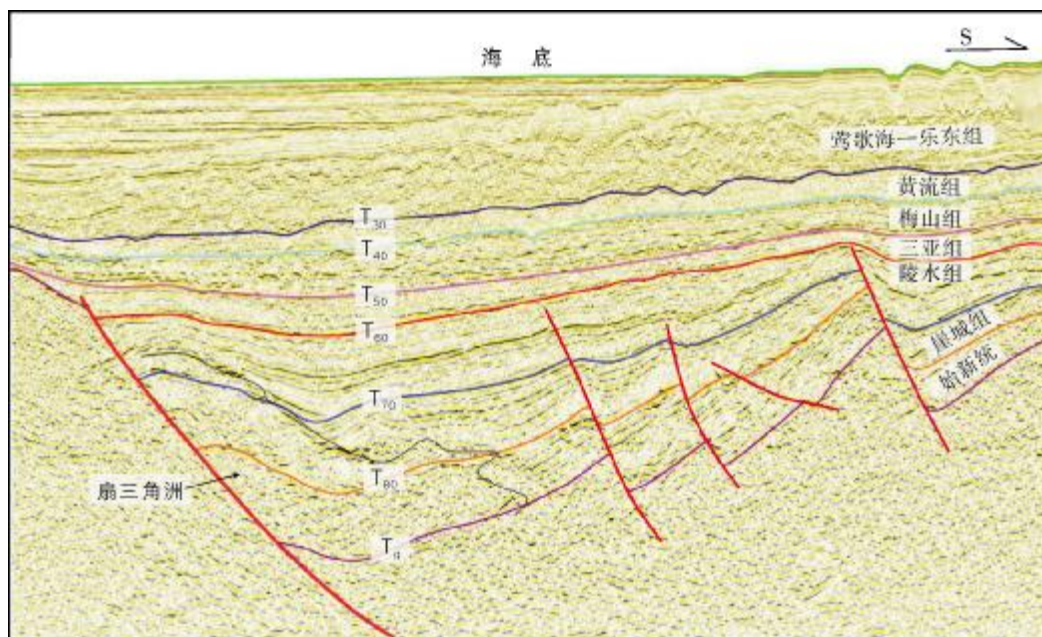


图 4 西沙北坳陷带地震剖面及解释成果图

构造演化是由陆向海的过渡,同时,也反映了南海扩张的过程。

神狐运动开始后,西沙周缘进入断陷期演化阶段,在该阶段以陆相沉积为主。早期为陆相和海陆过渡相沉积,发育了区内崖城组海陆过渡相含煤烃源岩;晚期海平面上升,逐渐过渡为海相沉积,发育了滨浅海相碎屑岩储层。

南海运动后盆地演化进入坳陷期,坳陷早期是重要的储层发育期,沉积了三亚组滨海相砂岩和梅山组浅水碳酸盐岩两套储集体,坳陷晚期沉积了厚层的海相沉积。

东沙运动对盆地内部构造的形成、油气运移和聚集产生了极为重要的影响。该构造运动使整个南海进入最大海侵期,沉积了半深海—深海地层,这一时期是区域性盖层发育的重要时期。

4 构造带特征

西沙周缘琼东南、珠江口盆地、中建坳陷、邻区北部湾、中建南盆地充填地层由北至南逐渐变新。北部湾盆地和珠江口盆地北部沉积地层比较老,充填有下第三系古新统。向南至琼东南和珠江口盆地南部,盆地内沉积有始新统;中建坳陷内局部充填有始新统;双峰盆地、西沙东坳陷和西沙南坳陷充填的最古老地层为残留的渐新统陵水组。

地层发育时代由北至南逐渐变新的这种特征表明,南海北部陆缘的张裂是由北至南逐步完成的,受张裂作用控制,南海北部陆缘盆地(坳陷)的形成也

是由北至南逐渐完成的。通过对西沙周缘构造格局的研究与地层对比,结合重力、磁力及地震等基础资料研究,可将西沙周缘构造带分为西沙北坳陷带、西沙隆起带、西沙南坳陷带、中沙隆起带及深海洋盆区(图2)。

西沙北坳陷带包括琼东南盆地和珠江口盆地南部珠Ⅱ坳陷,该构造带沉积最老地层为始新统。西沙隆起带包括西沙隆起、珠江口南部隆起和中建坳陷,整体为一个古隆起带。在古隆起的背景下受拉张作用发育中建坳陷,其发育时代与西沙北坳陷带时代相当,沉积有始新统。西沙南坳陷带包括双峰盆地、西沙东坳陷和西沙南坳陷,该构造带内各盆地(坳陷)形成比较晚,最老地层为始新统陵水组。中沙隆起带为中沙隆起等洋陆过渡区域的隆起区,与西沙隆起一样,一直为一古隆起,沉积地层很薄,基本为渐新统以后的海相沉积地层;深海洋盆区为中央海盆和西南次海盆(图1,图2)。

西沙周缘各盆地(坳陷)为南海北部被动拉张体系下的产物。其中的琼东南盆地和珠江口盆地为陆内断陷盆地,其基底为陆壳基底,受拉张作用,早期受断裂控制明显,发育地堑和地垒构造,为断陷期沉积,是盆地初始形成期;晚期由于热沉降作用,进入坳陷期沉积(图4)。西沙隆起位于洋陆过渡带,其中的中建坳陷为陆缘断陷,其基底为洋陆过渡型地壳,火山发育,基底受火山强烈改造而十分复杂(图5)。中建坳陷也经历了断陷期和坳陷期,从形成机制上看为断陷型盆地。西沙南坳陷已出现洋壳型基底,该

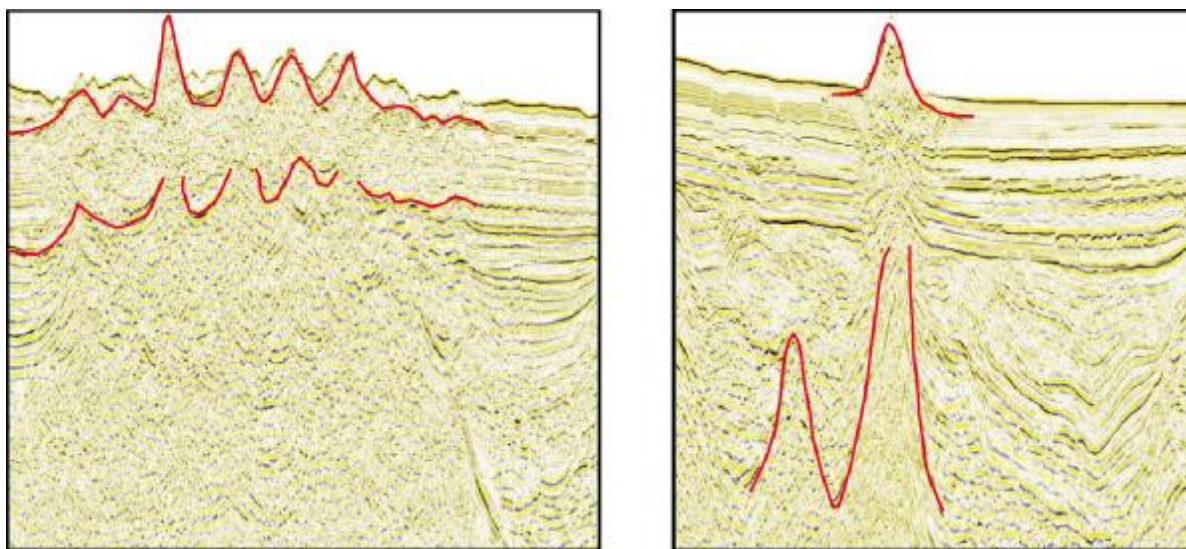


图5 中建坳陷火山反射特征

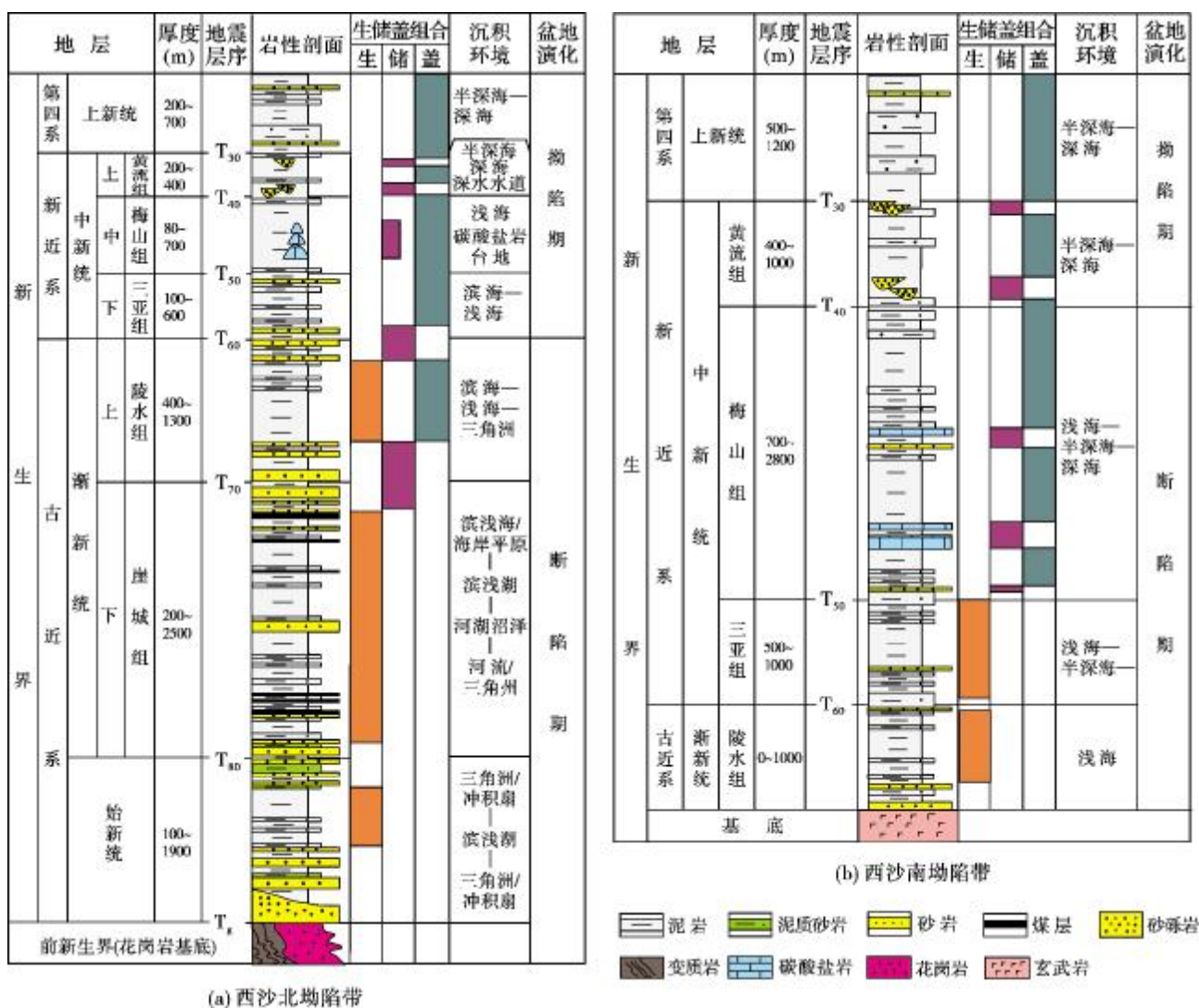
处发育时代晚,热流值高,火山活动频繁,属于年轻的裂谷型盆地。

5 油气勘探前景

西沙北坳陷带与西沙隆起带等新生代沉积盆地,经历了早期的断陷期,形成了陆缘断陷构造单元,接受了良好的河湖相沉积,为盆地的烃源岩形成提供了良好的物质基础。断陷晚期,断陷构造单元规模扩大,发育了海相和海陆交互相沉积,既形成了烃源岩,又发育了良好的储层条件。坳陷期,盆地整体沉降,接受沉积,最终发育成完整成熟的大型沉积盆地,并保存了良好的油气资源。

西沙北坳陷带 总面积约为 $5.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 构造带内琼东南盆地和珠江口盆地是典型的被动大陆

边缘型盆地^[13-15],具有明显的早期断陷、晚期坳陷的沉积反射特征。断陷期地层断裂发育,发育一系列地堑—半地堑和地垒构造,呈隆坳相间的构造格局。坳陷期地层断裂相对不发育,规模相对较小,地震反射呈连续、平行状。以琼东南盆地为例,其地层厚度可达到 8 200 m,断陷期沉积与坳陷期沉积都比较厚,存在一种典型的下生上储型的油气成藏模式(图 6a)。其中,断陷期沉积达 4 000 m,沉积有始新统和下渐新统崖城组,是区内烃源岩发育的主要层位。上渐新统陵水组海陆过渡相砂岩是储层发育的重要层位,坳陷期沉积有 4 200 m。该阶段沉积有三亚组滨海相—浅海、半深海相砂岩、梅山组碳酸盐岩台地以及生物礁^[19],是储层发育的重要层位,该阶段还发育上中新统黄流组—



第四系半深海—深海相泥岩,是盖层发育的重要层位。

中建坳陷 整体位于西沙隆起带上,面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$,是受拉张作用在西沙隆起上的一个局部坳陷。该坳陷靠近洋壳、陆壳边界,火山作用频繁,基底结构也十分复杂。中建坳陷形成时代与琼东南盆地相当,发育始新统,成藏模式也是下生上储型,其地层厚度达 5 500 m。断陷期沉积达 4 100 m,坳陷期沉积相对较薄,为 1 400 m,属于“薄皮型”坳陷。其盆地充填历史与西沙北坳陷带一致,断陷早期沉积河湖相的烃源岩,断陷晚期发育海陆过渡相储层;坳陷期发育滨浅海砂岩储层和碳酸盐岩储层,并发育半深海—深海相泥岩盖层(图 6a)。

西沙南坳陷带 面积约 $4.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,其地层时代较新,地震剖面上识别出最老地层为上渐新统陵水组,所以西沙南坳陷带是受拉张作用发育较晚的沉积单元。其中双峰盆地断陷期沉积厚度仅 1 000 m,坳陷期沉积厚度 3 400 m,属于“厚皮型”盆地(图 6b)。双峰盆地基底为洋壳基底,火山熔岩发育。该处地温梯度高,可达 $8^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ^①。在该高地温梯度背景下,推测其生油门限为 1 400 m,对应的地层为中中新统梅山组。所以西沙南坳陷带中,中中新统梅山组可能具有生油潜力,其海相泥岩可作为烃源岩;而西沙南坳陷带内发育的深水水道砂体具有作为储层的条件;上覆的厚层深海相泥岩是有利的盖层。这类高地温梯度盆地在莺歌海盆地已有勘探实例^[20-21],也具有较好的勘探前景。

6 结 论

西沙隆起周缘的构造单元受南海北部被动拉张体系的影响,发育了一系列北东向的新生代沉积盆地。这些沉积盆地在新生代构造作用下经历了三次主要构造运动和断陷期与坳陷期两个沉积阶段。

西沙北坳陷带沉积了巨厚的断陷期沉积和坳陷期沉积,具有优越的生油潜力,构造、储层类型多

样,既发育一系列构造背斜,也发育中新统碳酸盐岩和生物礁,还发育浅海和深水水道砂体,作为盖层的海相泥岩厚度也十分可观。所以,西沙北坳陷带是油气勘探十分优越的区域。

西沙隆起带上的中建坳陷属于“薄皮型”坳陷,具有良好的生储盖条件,但是,因其靠近洋盆区,位于洋壳—陆壳过渡带,地壳拉张减薄强烈,火山活动比西沙北坳陷带频繁,油气藏可能受破坏比较严重。

西沙南坳陷带是新的盆地单元类型,有洋壳型的盆地基底,热流值高,有利于烃源岩的成熟,坳陷期沉积也具有较大规模。西沙南坳陷发育许多大型水道,这些深水水道砂体具有形成储层的潜力,所以西沙南坳陷带同样具有良好的油气资源前景。

参 考 文 献

- [1] 姚伯初. 南海海盆在新生代的构造演化[J]. 南海地质研究, 1991, 3: 9-23.
- [2] 姚伯初. 南海西北海盆的构造特征及南海新生代的海底扩张[J]. 热带海洋, 1999, 18(1): 7-15.
- [3] 李家彪. 中国边缘海形成演化与资源效应[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 228-240.
- [4] 费鼎. 南海北部区域构造和陆壳向洋壳的转化[J]. 地球物理学报, 1983, 26(5): 459-467.
- [5] 杨恬, 吴世敏, 刘海龄, 等. 南海西北部重磁场及深部构造特征[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 364-370.
- [6] 宋海斌, 郝天珧, 江为为, 等. 南海地球物理场特征与基底断裂体系研究[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 24-33.
- [7] 刘光鼎. 中国海地球物理场特征[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 1-12.
- [8] 吴世敏, 周蒂, 丘学林. 南海北部陆缘的构造属性问题[J]. 高校地质学报, 2001, 7(4): 419-426.
- [9] 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.
- [10] 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(5): 543-549.
- [11] 周祖翼. 珠江口盆地的形成与南海的构造演化[J]. 海洋科学, 1993, 17(5): 62-66.

^① Shipboard Scientific Party. Exploring the Asian monsoon through drilling in the South China Sea [R]// Wang P, Prell W L, Blum P, et al. Proceedings of the ocean drilling program. United States Geological Survey, 2000, 184: 16-17.

- [12] 钟建强. 珠江口盆地的构造特征与盆地演化[J]. 海洋湖沼通报, 1994, 16(1): 1-8.
- [13] 姚根顺, 袁圣强, 吴时国, 等. 琼东南盆地深水区双物源沉积模式及勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(6): 685-691.
- [14] 谢文彦, 张一伟, 孙珍, 等. 琼东南盆地新生代发育机制的模拟研究[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 232-241.
- [15] 冯志强, 曾维军. 珠江口盆地的构造演化与南海之形成[J]. 地质学报, 1982, 60(3): 212-222.
- [16] 王根发, 吴冲龙, 周江羽, 等. 琼东南盆地第三系层序地层分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 124-128.
- [17] 解习龙, 葛立刚. 琼东南盆地断陷期层序地层模式[J]. 地质科学, 1997, 32(1): 47-55.
- [18] 杜振川, 丁述理, 魏魁生. 琼东南盆地第三纪高分辨率层序地层划分特征[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 12(6): 709-712.
- [19] 吴时国, 袁圣强, 董冬冬, 等. 南海北部深水区中新世生物礁发育特征[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 117-121.
- [20] 龚再升, 杨甲明, 郝芳, 等. 莺歌海盆地与琼东南盆地成藏条件的比较及天然气勘探方向[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2001, 26(3): 286-290.
- [21] 赵必强, 肖贤明, 胡忠良, 等. 莺歌海盆地东方 1-1 气田天然气来源与运聚模式[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 156-161.

编辑: 金顺爱

Basin Evolution and Petroleum Prospecting Potential of Deepwater Sedimentary Basins around Xisha Islands

Lu Yintao, Wang Bin, Lü Fuliang, He Xiaosu, Fan Guozhang, Wu Jinwu

Abstract: The Cenozoic sedimentary basins around Xisha Islands distribute in the deep water region in the northwest part of South China Sea. Three tectonic movements and two tectonic evolutions, one rift-faulting and one depression, have been undergone in this region since Cenozoic era. As a result, a large thickness of Cenozoic sediments deposited in the North Depression Belt and Zhongjian Depression. Source rock and reservoirs mainly formed respectively during the early and the late rift-faulting stages while reservoirs and regional cover formed respectively during the early and the late depression stages. It is deemed that there are excellent source-reservoir-caprock conditions where. In South Depression Belt, affected by intensive tectonic movements and accompanying high geothermal gradient, the ocean crust basement occurred in local and so depressions developed late. It is deduced that the hydrocarbon accumulation model of these peripheral basins is probably similar with that of Yingehai Basin, in which the marine middle Miocene mudstone is of good hydrocarbon-generating potential and the deep-water channel sandstone can be severed as reservoirs with marine mudstone acted as the regional cover. By analysis of the characteristics of hydrocarbon plays in every basins or depression, it is concluded that abundant hydrocarbon resource exists in the Xisha Islands region which is significant for exploration.

Key words: Tectonic evolution; Deepwater basin; Petroliferous basin; Oil and gas potential; Xisha Islands; South China Sea
 Lu Yintao; male, Master. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China