

天然气地质学

琼东南盆地构造演化特征及其 对油气藏的控制浅析

赵民^{1,2}, 张晓宝¹, 吉利明¹, 张功成³

(1. 中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中海石油(中国)有限公司北京研究中心, 北京 100027)

摘要:琼东南盆地为一新生代含油气盆地。通过对南海扩张、红河断裂及太平洋板块等琼东南盆地地区构造演化主控因素的分析, 结合其内部层序及断裂特征将琼东南盆地新生代以来的构造演化分为晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷、早中新世—中中新世区域热沉降和晚中新世以来的新构造3大构造演化阶段。在构造演化基础上分别探讨了琼东南盆地构造演化与烃源岩、储盖层及其圈闭形成之间的关系, 进一步指出琼东南盆地中部构造调节区域(崖北凹陷、松西凹陷、陵水低凸起、松涛凸起、陵水凹陷、松南凹陷、中央低凸起及北礁凹陷)为琼东南盆地油气勘探最有利的区域。

关键词:含油气盆地; 琼东南盆地; 构造演化; 传递带; 油气藏

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)03-0494-09

0 引言

琼东南盆地位于南海北部陆缘, 西靠莺歌海盆地, 东北为神孤隆起, 北邻海南隆起, 南与永乐隆起相接, 分布范围为东经 $108^{\circ} 80' \sim 112^{\circ} 70'$ 、北纬 $16^{\circ} 00' \sim 18^{\circ} 00'$, 总面积为 $(3.9 \sim 4.1) \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地发育在南海北部减薄的地壳之上, 为一新生代陆缘拉张盆地^[1-4]。盆地总体呈北东—南西向延伸, 具有“三拗两隆”的构造区划格局, 即北部拗陷带(包括崖北凹陷、松西凹陷和松东凹陷3个凹陷)、崖城—松涛北部凸起带, 中央拗陷带(包括崖南凹陷、乐东凹陷、陵水凹陷、松南凹陷及宝岛凹陷等)、南部隆起带(北礁凸起)和南部拗陷带(华光凹陷、北礁凹陷等)。

琼东南盆地以其独特的地质背景、优越的天然气成藏条件成为我国潜在的海上油气富集区。虽然琼东南盆地油气勘探自20世纪80年代钻第一口探井(莺9井)以来, 相继发现了崖13-1大气田、崖13-4气田和一批重要的含油气或见油气显示的圈闭, 引起国内外学者的广泛关注。但是之后近30年琼东南盆地油气勘探没有取得重大突破。近年来, 随

着对琼东南盆地各项研究工作的不断深入以及高新技术手段应用的不断加强, 使人们对该盆地的油气地质特征有了较全面和深入的认识。本文在前人研究的基础上, 通过对琼东南盆地的构造特征及演化分析研究, 探讨了琼东南盆地构造演化对油气成藏的控制, 期望能对琼东南盆地下一步油气勘探工作有所借鉴。

1 琼东南盆地的构造演化

1.1 琼东南盆地演化与南海扩张

琼东南盆地作为南海北部陆缘新生代盆地之一, 其形成和演化与南海的扩张密切相关。南海是西北太平洋边缘海中面积最大的海盆, 约为 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在大地构造位置上, 南海处于欧亚板块、太平洋板块和印度—澳大利亚板块这3大板块衔接部位(图1)。

自Luding^[5]首次提出南海中央海盆的地壳为洋壳以来, 由于其特殊的大地构造位置以及研究思路、方法、手段和研究程度的局限, 对南海的成因与

收稿日期: 2009-11-18; 修回日期: 2010-01-06.

基金项目: 国家科技重大专项(编号: 2008ZX05025-006); 国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2009CB219400)联合资助.

作者简介: 赵民(1978-), 男, 陕西渭南人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事盆地构造分析研究工作. E-mail: zhaomin07@163.com.

演化动力学机制及其扩张时序认识仍不统一。其中南海演化成因概括为以下 7 种模式:①南海是经多阶段、幕式扩张而形成的“海底扩张模式”^[6-13];②南海是与印度—欧亚板块碰撞挤出构造有关的走滑拉分盆地——走滑拉分模式^[14-16];③南海是与太平洋板块俯冲有关的弧后盆地——弧后盆地模式^[17-21];④南海盆地的形成与地幔柱及侧向地幔流有关——地幔柱模式^[22-25];⑤南海盆地的形成是由于陆缘扩张所致——陆缘伸展扩张模式^[26-29];⑥南海盆地在其具有单向流动的地幔流背景下,经上部地壳被单向拉张、断陷,发生深部熔融,同时伴随地幔物质侵入上涌而形成——单向拉张模式^[30-31];⑦联合机制模式^[32-36]认为南海是在多种来源的动力共同作用下形成的。如果不考虑动力来源,那么“海底扩张模式”则是目前关于南海成因的最主要观点,为大多数学者所认同。

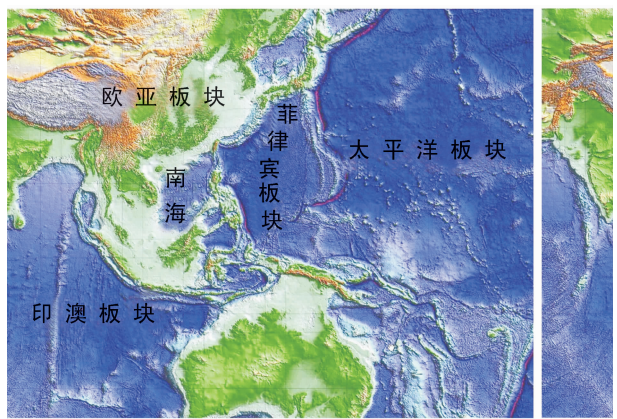


图 1 南海区域构造背景

海底扩张是由于地幔膨胀形成热对流,使板块之间产生运动,出现洋中脊,深部岩浆涌出,地壳扩张增生,地球磁极倒转磁化,从而形成正、负相间的磁异常条带。因此,条带磁异常有规律分布是海底扩张的有力证据和直接表现。南海磁测(航测与船测)资料^[37]显示,南海中央海盆内分布着大范围的明显区别于南北两侧陆缘区平缓磁异常的条带磁异常(图 2)。总的来看,这套条带状磁异常的强度从西南向东北有增强的趋势。条带状磁异常的走向大致有 2 组,一组是 NE 走向;另一组为近 EW 走向。方迎尧等^[37]通过对条带磁异常的分析与鉴别认为:始新世—渐新世(32.3~25.1Ma)南海开始第一期扩张,为 SN 向扩张活动,使统一的中沙、西沙及南沙陆块破裂,发育新生洋中脊;中新世(24.6~17.4Ma)开始第二期扩张活动,扩张方向转为 NW—SE 向;上新世以来扩张基本停止,新生洋壳冷却和收缩引起区域性下沉,逐渐形

成现今南海中央深海盆地。Taylor 等^[6]在南海中央海盆中对比出 11-5d 号磁异常条带(32~17Ma),认为南海海盆是在晚渐新世至中中新世之间通过海底扩张形成的。吕文正^[7]在西南海盆对比出 32-27 号磁异常条带,并由此推断海底扩张起始于晚白垩世至早古新世(70~60Ma)。Briais 等^[8]通过对南海磁异常的研究提出在磁异常 11-7 号条带形成期间(32~21Ma),南海海底扩张活动主要发生在西北海盆及东部海盆。姚伯初等^[9]在西南海盆中对比出 18-13 号磁异常条带,推测该次海盆的年龄为 42~35Ma(晚始新世至早渐新世)。图 2 明显可见近 EW 向磁异常条带被 NE 向磁异常条带错断。这一现象说明 NE 向磁异常条带反映地层形成时代比 EW 向的晚,也说明它们所代表的海底扩张的生成时间顺序 SN 向海底扩张的时间早于 NW—SE 向扩张,也就是说南海海盆的形成至少经历了 2 期扩张。故笔者认为方迎尧对南海扩张的 2 期划分可能更符合客观实际。

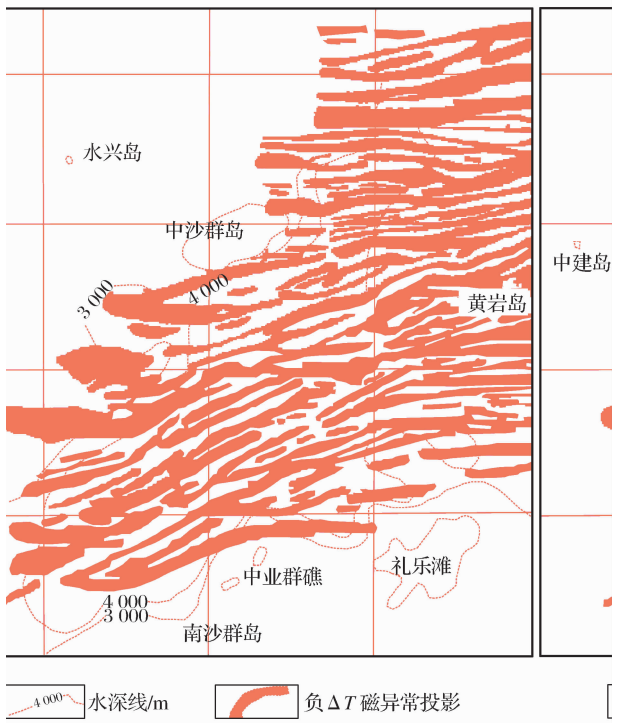


图 2 南海中央海盆 ΔT 条带状磁异常轴趋势
(据方迎尧等^[37],1998)

1.2 琼东南盆地构造演化阶段划分

琼东南盆地是在南海扩张的背景下,受红河断裂带走滑作用以及太平洋板块(菲律宾板块)挤压等主控因素制约,经历了 3 次区域性构造运动^[6,9,38-40],即神狐运动、南海运动和东沙运动而形成。根据琼东南盆地内部发育层序和断裂活动特

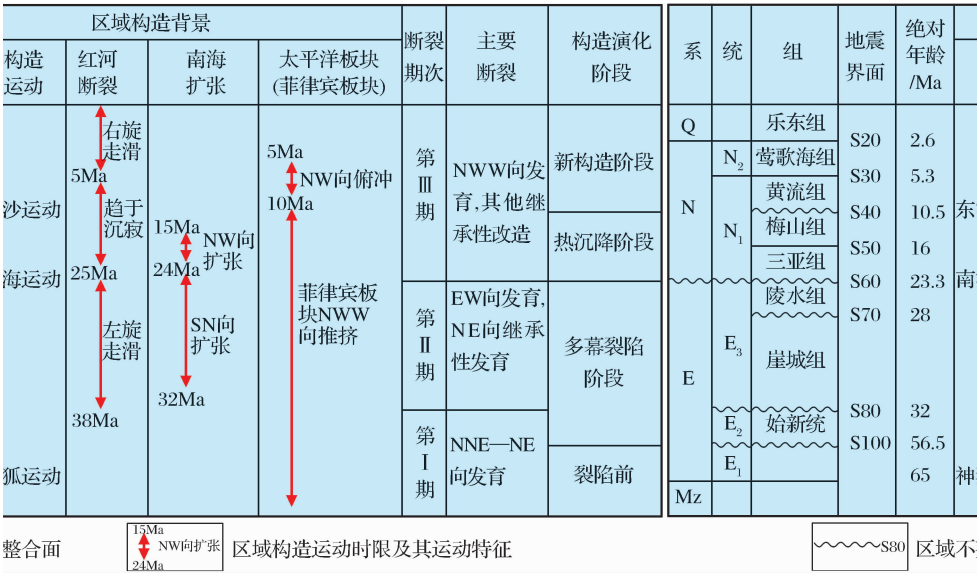


图3 琼东南盆地地层与构造演化示意(据张功成等^①,2006,修改)

征,结合区域构造演化主控因素,将琼东南盆地新生代的构造演化分为晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷、早中新世—中中新世区域热沉降和晚中新世以来的新构造3大构造演化阶段^①(图3)。

白垩纪晚期—古新世早期,神狐运动致使上白垩统一—中古新统、下古新统地层缺失,地壳迅速减薄,在地震剖面上表现为区域性角度不整合(S100)。琼东南盆地的基底主要为华南加里东褶皱带向海上的延伸部分^[41-43],自神狐运动后琼东南盆地前新生代褶皱基底开始进入裂陷早期。

晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷阶段(S100—S60):琼东南盆地在多幕裂陷阶段分别沉积了始新统、下渐新统崖城组和上渐新统陵水组3套地层,其中,深水區始新统、下渐新统崖城组和上渐新统陵水组最大厚度分别为2 400 m、2 600 m和3 400 m,整个古近系地层最大厚度超过6 000 m。其幕式裂陷作用的标志分别为区域性的不整合面S100(始新统底)、S80(下渐新统崖城组底)及S70(上渐新统陵水组底)^①(图3)。古近纪的断裂(图4)活动可分为2期:第Ⅰ期在太平洋板块向欧亚板块的NNW—NW俯冲以及红河断裂早期左旋走滑作用影响下主要发育NNE—NE、NW向断裂,该基底断裂将琼东南盆地分割为以NE向为主的若干小断陷;第Ⅱ期主要受南海SN向扩张(南海运动)影响而使EW向断裂发育,NE向断裂继承性改造,在琼东南盆地形成区域不整合面S60——破裂不整合面(Breakup Unconformity)^[40],上渐新统陵水组顶部和下中新统三亚组底部地层缺失。始新世,琼东南盆地NE向断陷和NW向断陷发生裂陷形成若干小凹陷,凹

陷内沉积物具有多物源、近源特征。自琼东南盆地边缘至凹陷中心,发育冲积扇—河流—滨浅湖或中深湖沉积序列。下渐新统崖城组沉积期间,盆地进一步拉张,水体加深,沉积速度快,开始形成海陆过渡相及浅海相沉积,在南部、北部的断陷和隆起带上形成了新的凹陷(如崖南凹陷)。上渐新统陵水组沉积期间,沉积了包括海岸平原、扇三角洲、滨海和浅海相地层。

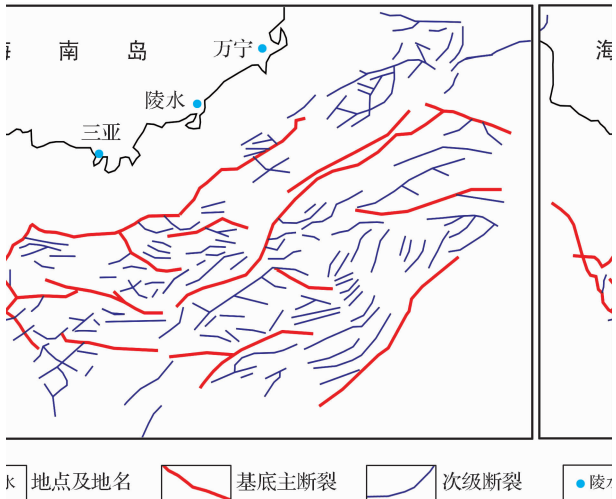


图4 琼东南盆地晚白垩世—晚渐新世断裂平面分布(据李绪宣等^[2],2005,修改)

早中新世—中中新世区域热沉降阶段(S60—S40):琼东南盆地经历了多幕裂陷后在中中新世早期进入热沉降阶段,即坳陷期。该期沉积作用较裂陷

① 张功成,钟锴,侯国伟,等. 琼东南盆地深水區地质特征与勘探潜力. 中海石油研究中心勘探研究部,内部报告,2006.

期明显减弱,沉积了下中新统三亚组和中中新统梅山组地层,厚度为1 000~2 000 m,沉积环境由海湾逐渐向浅海、开阔海演化。该期红河断裂处于相对沉寂期,南海扩张方向开始由SN向转为NW向,在此作用影响下,琼东南盆地内主要发育NWW向断裂,其他断裂继承性活动,断裂整体活动性不强。

晚中新世以来为新构造阶段(S40—海底):晚中新世开始,琼东南盆地周边应力场发生明显变化。受盆地西部红河断裂晚中新世以来的右旋走滑以及太平洋板块向欧亚板块的NW向俯冲双重作用,琼东南盆地形成了东部挤压、西部拉张的格局。尤其受到新构造阶段红河断裂走滑拉分活动影响,琼东南盆地西部沉降作用加剧,成为整个盆地沉降中心。该阶段分别沉积了上中新统黄流组、上新统莺歌海组和第四系乐东组地层,为浅海一半深海相沉积。东沙运动发生于中中新世晚期,使琼东南盆地在沉降过程中发生断块升降、隆起剥蚀及频繁的基性岩浆喷发,形成区域不整合S40。此后,构造活动减弱。由于该期断裂主要是坳陷期断裂继承性活动而形成的,故将中新世早期至今划分为第Ⅲ期断裂形成期。最后,琼东南盆地形成现今的构造格局。

1.3 琼东南盆地拉张背景下形成的结构特征

琼东南盆地是处在拉张构造背景下形成的新生代断陷盆地,盆地结构完全受区域构造演化控制,主要体现在构造运动所形成的断裂对盆地沉积与构造格局的控制。纵向上,琼东南盆地以S60为界限划分为上构造层、下构造层^[44-45](图5);下构造层断裂发育,盆地内部受基底断裂控制形成一系列的半地堑、地堑、地垒、掀斜断块、断阶和断隆等构造形态^[46];上构造层断裂不发育,表现为受裂后热沉降及后期构造叠加作用形成一些披覆背斜构造及正反转背斜构造形态。横向上,琼东南盆地晚白垩世—晚渐新世多幕断陷阶段经历2期断裂形成了NE走向(5号断层东部、6号断层及2号断层东部等)、近EW走向(5号断层西部、3号断层和2号断层西部等)和NW走向(4号断层和14号断层等)3组对沉积充填具有控制作用的基底主断裂。断裂的空间分布表现为由盆地西部近EW向为主转变为盆地东部的NE向为主,断裂走向变化的盆地中部主要起到构造调节作用,发育了NW—NNW向的断裂。其中近EW向和NE向延伸的基底主断裂控制了盆地“南北分带”;NW向基底主断裂的发育则造成盆地“东西分块”(图6)。

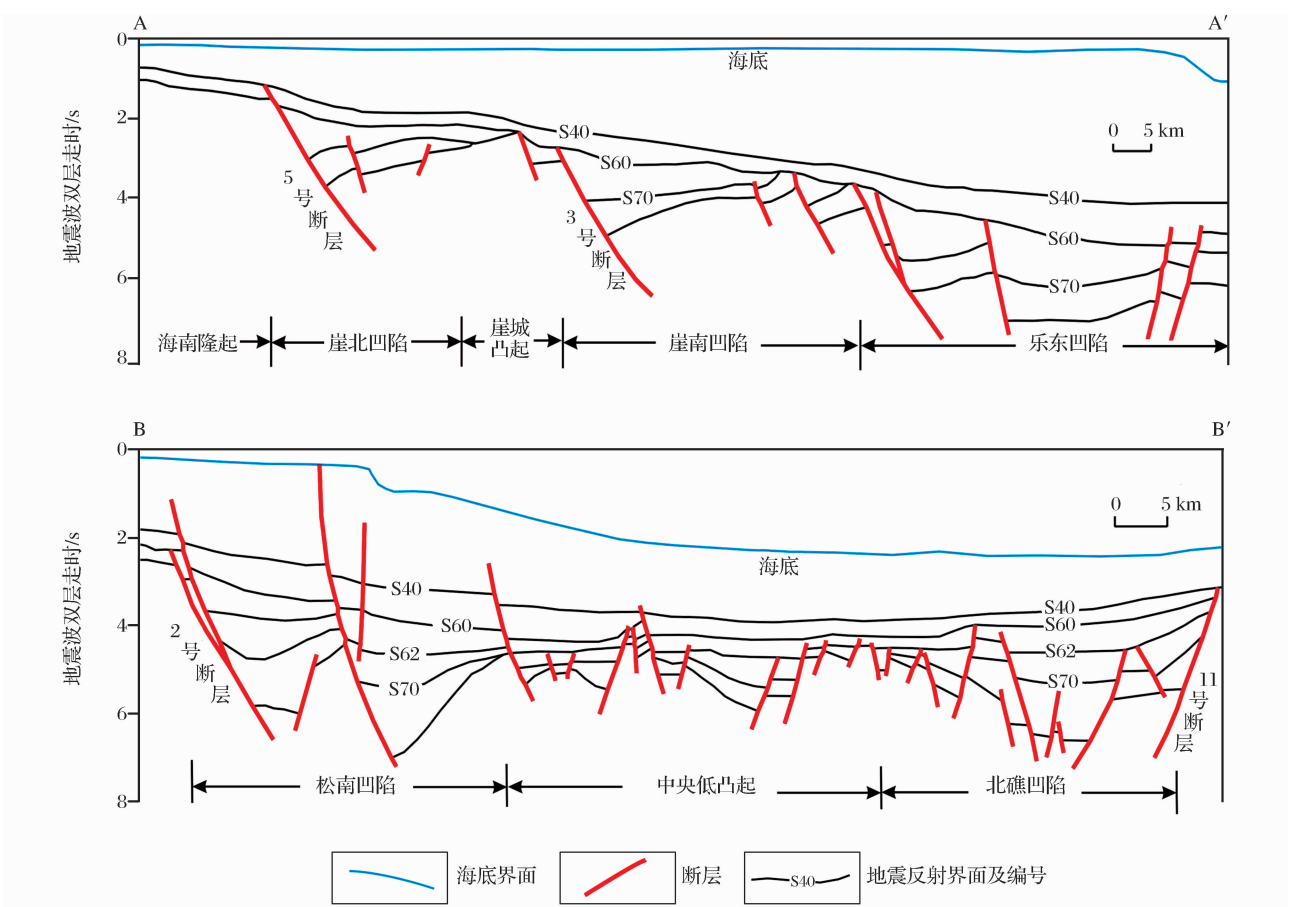


图5 琼东南盆地2条主测线剖面解释(据李绪宣等^[46],2006,剖面位置见图6)

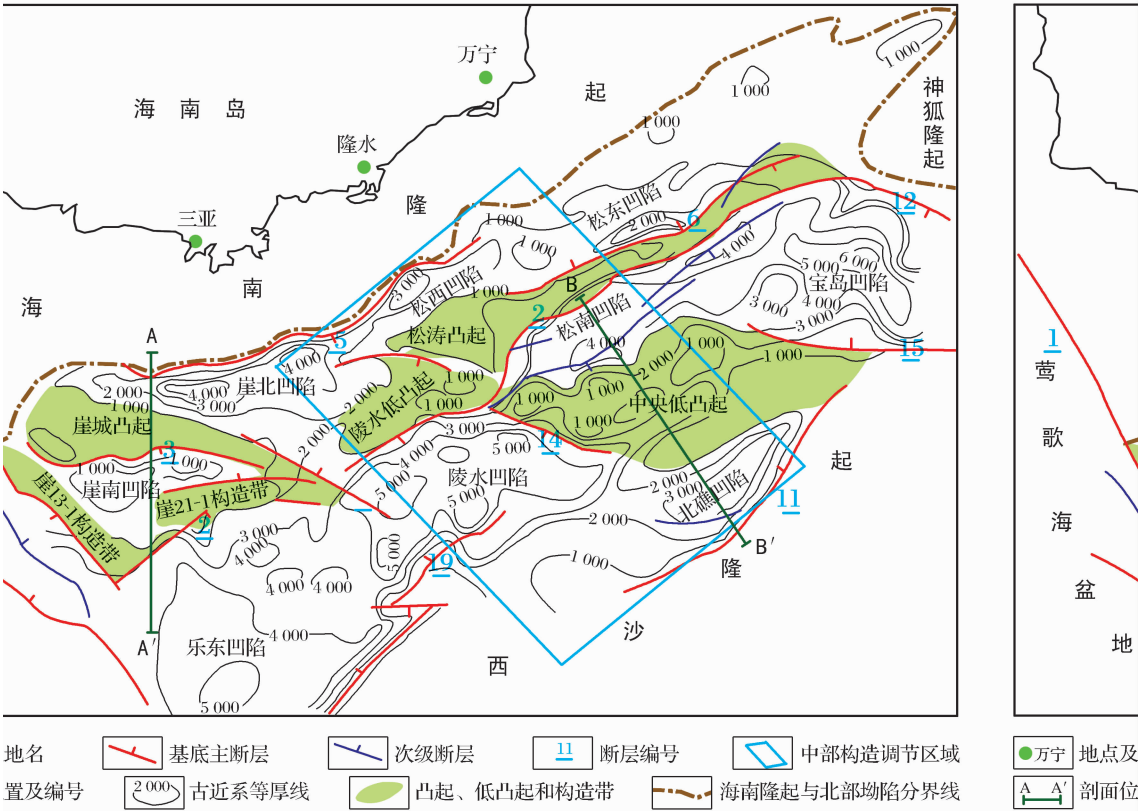


图 6 琼东南盆地古近系构造—沉积格局(据李绪宣等^[2], 2005, 修改)

2 构造演化对油气藏的控制

油气藏是盆地形成演化过程中的产物,其形成严格受盆地构造演化的控制,体现在构造作用控制烃源岩、储盖层的发育特征及圈闭形成的地质条件上。

2.1 琼东南盆地构造发育对凹陷烃源岩的控制

目前的研究表明琼东南盆地主要发育 3 套烃源岩,即始新统湖相泥岩、下渐新统崖城组半封闭海相泥岩以及近海滨岸沼泽煤系和中中新统梅山组一下中新统三亚组浅海相泥岩。其中始新统与下渐新统崖城组烃源岩的形成和展布受盆地断陷活动及断陷结构控制,而中中新统梅山组一下中新统三亚组烃源岩主要受区域性热沉降控制。古新世末,琼东南盆地在太平洋板块向欧亚板块的 NW—NW 向俯冲以及红河断裂早期左旋走滑作用影响下形成以 NE 向为主的若干小断陷。始新世时各断陷主要为冲积扇—河流—小型湖泊沉积充填,断陷边缘为短源河流、冲积扇沉积,由于裂陷的快速沉降,凹陷中央水体较深,处于欠补偿状态,发育中深湖相泥岩沉积,封闭的深水缺氧环境对有机质的保存非常有利,形成了始新统湖相烃源岩。早渐新世时期,由于南海 SN 向断陷开始扩张,琼东南盆地在前期裂陷的

基础上发育 EW 向断陷,沉积了下渐新统崖城组地层。早渐新世早期,海水沿西沙海槽侵入,水体扩大,形成以海湾为特征的古地理地貌特征,沉积了一

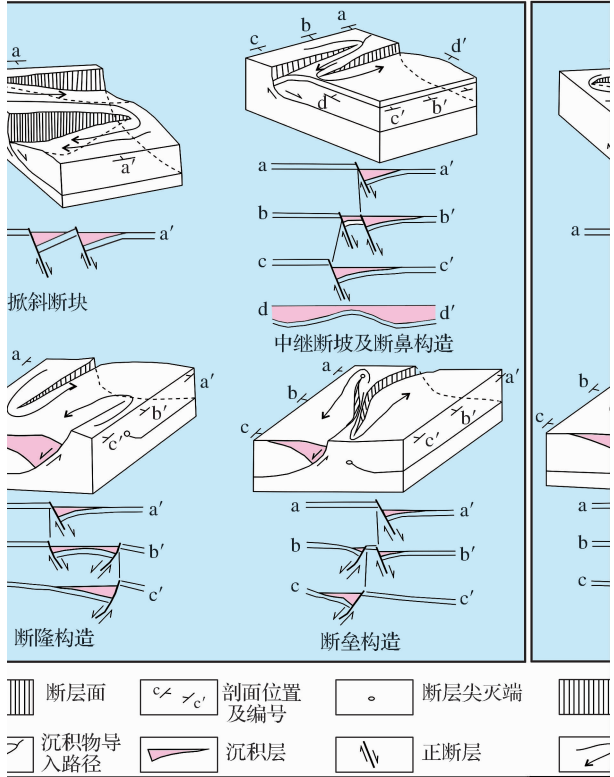


图 7 伸展体系中传递带构造样式(据李绪宣等^[46], 修改)

套海岸沼泽一半封闭浅海相地层。各凸起周缘发育平原沼泽—滨海相沉积,发育富有机质的海岸平原煤系烃源岩;北部有松涛凸起、南部有北礁凸起的阻挡,为中央坳陷带半封闭浅海海湾的形成创造了条件,深海钻探资料表明这种封闭一半封闭的环境,既有利于海源有机体的发育,又有利于形成缺氧的底部环境,使有机质得以保存,形成了下渐新统崖城组海相烃源岩^①。下中新统三亚组—中中新统梅山组烃源岩主要在盆地坳陷期形成,盆地主要发生区域热沉降,形成北高南低的地形格局,北部坳陷带主要发育海岸平原—三角洲相及滨海相、浅海相沉积体系,中央坳陷带则发育半深海相沉积体系。烃源岩主要以浅海相地层为主,有机质平均值为0.17%~0.47%^①,一般表现为深水沉积相比浅水沉积相的有机碳含量高。

2.2 琼东南盆地构造发育对储层、盖层的控制

琼东南盆地在区域拉张背景下形成一系列的半地堑、地堑、地垒、掀斜断块、断阶和断隆等构造样式,其中诸如掀斜断块、中继断坡、断隆和断垒(图7)等凸起构造样式作为伸展构造体系中的传递带类型对储集岩的形成具有一定控制作用^{②[47-51]}。

当断层间距相对较大的控凹基底断裂同向倾斜叠覆时,由于控凹断裂的长期活动,作为断层上盘的断块一侧发生大幅度沉降,而充当断层下盘的断块一侧则发生相应幅度的抬升,这样形成掀斜断块构造。如崖北凹陷与崖南凹陷之间断块翘起区的崖城凸起(图5)。断块掀斜运动期间,常发育来自断块抬升剥蚀区的扇三角洲砂体等,这些粒度较粗的砂体构成了向凸起区超覆的断陷沉积层序的重要储集岩类型。

如果同向倾斜断层间距较小,断层在扩展期间常通过中继断坡串联扩展成一条规模较大的断裂带^[52],在断层相互连接中继断坡部位,亦常发育河流—三角洲砂岩体。断隆是相向倾斜的2条控凹基底断裂在空间上发生叠覆时,通过断层之间的共同上盘断块翘倾形成的低凸起构造带或构造鼻。如松南凹陷与北礁凹陷之间的中央低凸起断隆构造(图5),中央坳陷带亦多发育此种构造样式。由于断隆区的断块属于2条叠覆断层的共同上盘,因此隆起区常发育于断陷沉降的内部,在基岩之上一般发育断陷期的沉积层序。隆起区顶部的断陷沉积层序一般由浅滩砂体组成,隆起侧翼则可以发育向断陷沉降区流动及向隆起上超的浊积砂岩。断垒是由相背倾斜的、控凹型基底叠覆断层的共同下盘抬升构成,如松东凹陷与松南凹陷间的松涛凸起。断垒在断裂

活动期间的大幅度抬升导致其上缺失盆地断陷期间的沉积层序,断块的抬升和侵蚀将为临近断陷区提供好的砂源,容易形成较好储集岩。

琼东南盆地中诸如掀斜断块和断垒等凸起或隆起区,在裂后沉降阶段,随着海侵范围逐渐增大,普遍发育下中新统三亚组和中中新统梅山组滨海相滨岸砂、浅滩砂岩,这些成为研究区重要的储集岩类型。现已在YC13-1气田下中新统三亚组海滩砂岩中获得高产油气流,储层孔隙度为6.9%~17.7%,平均渗透率为 $673.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,埋深适中,储层物性良好^[53]。

琼东南盆地新近系的沉积层序均可作为良好的区域盖层,包括下中新统三亚组、中中新统梅山组、上中新统黄流组、上新统莺歌海组和第四系,上渐新统陵水组泥岩段可以构成局部盖层。琼东南盆地区域性盖层主要发育于盆地坳陷沉降期,由于盆地内断裂活动较弱,盆地内充填因物源区的衰退而主要发育大面积的细粒沉积体系,它们披盖于盆地早期的凸起和构造带之上,伴随盆地继续沉降,埋藏到一定深度时通常形成良好的区域盖层。

2.3 琼东南盆地构造演化与圈闭的形成

前文已述及,琼东南盆地是在拉张的背景下,受红河断裂带走滑作用以及太平洋板块(菲律宾板块)挤压等主控因素制约,经历了晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷、早中新世—中中新世区域热沉降以及晚中新世以来的新构造3大演化阶段而形成。结合琼东南盆地新生代以来的构造演化特征,其圈闭形成亦可分为3期:第1期为晚白垩世—晚渐新世,伴随着琼东南盆地强烈的拉张及快速沉降,主要形成与基底断裂相关的潜山圈闭、披覆背斜和与断裂活动相关的断陷及断坳层序中的构造圈闭,如背斜圈闭、断鼻圈闭和断层圈闭等;第2期为早中新世—中中新世,由于构造活动减弱,该期主要形成披覆背斜圈闭和地层、岩性圈闭;第3期为晚中新世至今,主要形成压扭和挤压背斜圈闭和地层、岩性圈闭。

琼东南盆地绝大部分圈闭发育于晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷阶段和热沉降阶段沉积层序中,局部构造的基底形态及其断陷沉积层序的构造形态与断裂活动方式密切相关。晚渐新世以来断裂活动减弱,圈闭构造数量较晚白垩世—晚渐新世明显减少。

① 刘铁书,黄正吉,赵志刚,等.琼东南盆地油气资源评价.中海石油研究中心勘探研究部,内部报告,2003.

② 王良书,钟志洪,李成,等.琼东南盆地机构和构造动力学研究.南京大学、中国海洋石油有限公司南海西北分公司,内部报告,2000.

3 结论

(1) 琼东南盆地为一新生代陆缘拉张盆地,它受南海扩张、红河断裂带走滑作用以及太平洋板块(菲律宾板块)挤压等主控因素的共同作用,经历了3大演化阶段:晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷阶段(S100—S60);中新世早—中期区域热沉降阶段(S60—S40);晚中新世以来的新构造阶段(S40—海底)。

(2) 琼东南盆地构造演化在一定程度上对油气藏形成具有控制作用,主要表现在以下几方面:琼东南盆地3套主力烃源岩形成与分布均受盆地断陷活动及断陷结构控制;盆地在区域拉张背景下形成的诸如掀斜断块、断隆和断垒等传递带类型对盆地内有利储集岩具有控制作用;盆地拗陷沉降期,由于盆地内断裂活动较弱,盆地内大面积的细粒沉积体系披盖于盆地早期的凸起和构造带之上,埋藏到一定深度时形成了良好区域盖层;晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷阶段和热沉降阶段是盆地内圈闭的主要形成期,且以构造圈闭为主。

(3) 通过对盆地构造分析可知,断裂走向由盆地东部的NE向向盆地西部近EW向转变时,起调节作用的盆地中部,是伸展体系中传递带构造样式发育较多的区域,所以具备有利储集岩形成的条件。在其周围又有崖北凹陷、松西凹陷、陵水凹陷、松南凹陷和北礁凹陷在盆地多幕裂陷期形成的烃源岩,加上古近纪形成的区域盖层以及各构造演化期形成的圈闭,均为该区域油气藏的形成提供了有利条件,由此可以推测,琼东南盆地中部构造调节区域将会是下一步油气勘探最易实现突破的最有利区域。

参考文献:

- [1] Gong Zaisheng, Yang Jiaming, Yang Zuxu, *et al.* China Offshore Oil and Gas Field[M]. Beijing: Petroleum Publishing Industry Press, 1997: 1-223. [龚再升, 杨甲明, 杨祖序, 等. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-223.]
- [2] Li Xuxuan, Zhu Guanghui. The fault system and its hydrocarbon carrier significance in Qiongdongnan basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(1): 1-7. [李绪宣, 朱光辉. 琼东南盆地断裂系统及其油气输导特征[J]. 中国海上油气, 2005, 17(1): 1-7.]
- [3] Xie Wenyan, Zhang Yiwei, Sun Zhen, *et al.* Characters and formation mechanism of faults in Qiongdongnan basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(1): 71-78. [谢文彦, 张一伟, 孙珍, 等. 琼东南盆地断裂构造与成因机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 71-78.]
- [4] Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Yang Shaokun, *et al.* Gas Geology in the Continental Margin of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Petroleum Publishing Industry Press,

- 2007: 1-391. [朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 1-391.]
- [5] Luding W J. The Manila trench and west Luson trough—III. seismic refraction measurements[J]. Deep Sea Research and Oceanography Abstracts, 1970, 17(3): 553-562.
- [6] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin[M]// Hayes D E. Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands; Part 2. Washington D C: American Geophysical Union, 1983: 23-56.
- [7] Lü Wenzheng. Characteristics of magnetic anomalies of central basin and tectonic evolution of the South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1987, 9(1): 69-78. [吕文正. 南海中央海盆条带磁异常特征及构造演化[J]. 海洋学报, 1987, 9(1): 69-78.]
- [8] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea; Implications for the Tertiary tectonics of southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [9] Yao Bochu, Zeng Weijun, Hayes D E, *et al.* Report on Sino-US Cooperative Investigation on the South China Sea[M]. Wuhan: Chinese University of Geosciences Press, 1994: 1-150. [姚伯初, 曾维军, Hayes D E, 等. 中美合作调研南海地质专报[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994: 1-150.]
- [10] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Sea[M]// Hayes D E. The Tectonics and Geological Evolution of Southeast Asia Seas and Islands Washington D C: American Geophysical Union, 1980: 89-104.
- [11] He Liansheng. Atlas of Geology and Geophysics of the South China Sea; Geotectonic Map of the South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Cartographic Press, 1987. [何廉声. 南海地质地球物理图集: 南海大地构造图[M]. 广州: 广东地图出版社, 1987.]
- [12] He Liansheng. Formation and evolution of South China Sea and their relation to oil and gas resources[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1988, 8(2): 15-28. [何廉声. 南海的形成、演化与油气资源[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1988, 8(2): 15-28.]
- [13] Yao Bochu. Tectonic evolution of the South China Sea basin in Cenozoic[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996, 16(2): 1-13. [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.]
- [14] Tapponnier P, Peltier G, Armijo R. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology, 1982, 10: 611-616.
- [15] Tapponnier P. On the mechanics of the collision between India and Asia[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1986, 19: 113-157.
- [16] Xu Junyuan, Yang Weiran, Zeng Zuoxun, *et al.* Genesis of South China Sea: Intervening of dextral pull—Apart and sinistral transpression[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 193-206. [许俊远, 杨巍然, 曾佐勋, 等. 南中国海成因: 右行拉分作用与左行转换挤压作用交替[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):

- 193-206.]
- [17] Karig D E. Origin and development of marginal basins in the western Pacific[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1971, 76 (11): 2543-2561.
- [18] Ben Avraham Z, Uyeda S. The evolution of the China basin and the Mesozoic paleogeography of Borneo[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1973, 18: 365-376.
- [19] Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the western Pacific ocean[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1983, 57(1): 11-12. [郭令智, 施央申, 马瑞士. 西太平洋中新世活动大陆边缘和岛弧构造的形成和演化[J]. *地质学报*, 1983, 57(1): 11-12.]
- [20] Hawkins J W, Lonsdale P F, MacDougall J D, *et al.* Petrology of the axial ridge of Marianna trough backarcspreading center[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1990, 100: 226-250.
- [21] Stern R J, Lin P N, Morris J D. Enriched back-arc basin basalts from the northern Marianna trough: Implications for the magmatic evolution of back-arc basin[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1990, 100: 210-225.
- [22] Huang Fulin. Study on the crustal structure and deep processes of the South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1986, 6(1): 31-40. [黄福林. 论南海的地壳结构及深部过程[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1986, 6(1): 31-40.]
- [23] Wang C, Yang J, Zhu W, *et al.* Some problems in understanding basin evolution[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2: 29-44.
- [24] Gong Zaisheng, Li Sitian. Continental Margin Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1997. [龚再升, 李思田. 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.]
- [25] Li Sitian, Lin Changsong, Zhang Qiming. *et al.* Episodic rifting process of continental marginal basins and tectonic events since 10 Ma in the northern South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(8): 797-810. [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.]
- [26] Hamilton W. Tectonics of the Indonesian Region[R]. US Geology Survey Professional Paper 1078, 1979: 1-345.
- [27] Chen Guoda. A solution to the genesis for Cenozoic basin of post-platform orogenic zone in east China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1988, 12(1): 1-16. [陈国达. 中国东部后地台造山带新生代盆地成因一解[J]. *大地构造与成矿学*, 1988, 12(1): 1-16.]
- [28] Chen Guoda. The marginal extensional belt of east Asia continental—Investigating the origin of a discrete continental margin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1997, 21(4): 285-293. [陈国达. 东亚陆缘扩张带——一条离散式大陆边缘成因的探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 1997, 21(4): 285-293.]
- [29] Xu Yigang, Huang Xiaolong, Yan Wen, *et al.* Constraints on the Cenozoic tectonic evolution of northern South China Sea (I): Mantle derived xenoliths[J]. *Geochimica*, 2002, 31(3): 230-242. [徐义刚, 黄小龙, 颜文, 等. 南海北缘新生代构造演化的深部制约 (I): 幔源包体[J]. *地球化学*, 2002, 31(3): 230-242.]
- [30] Zhang Xunhua, Zhu Yinkui. ODP and the formation of the South China Sea[J]. *Marine Sciences*, 1996, 3: 42-46. [张训华, 朱银奎. 大洋钻探与南海的形成[J]. *海洋科学*, 1996, 3: 42-46.]
- [31] Zhang Xunhua. Unidirectional extension and the formation of the south China[J]. *Marine Geology Development*, 1997, 5: 1-3. [张训华. 单向拉张与南海海盆的形成[J]. *海洋地质动态*, 1997, 5: 1-3.]
- [32] Ren Jianye, Li Sitian. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western Pacific[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 203-213. [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.]
- [33] Zhou Di, Chen Hanzong, Wu Shimin, *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. [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.]
- [34] Xie Jianhua, Xia Bin, Zhang Yanhua, *et al.* Study on formation and evolution of the South China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(2): 212-218. [谢建华, 夏斌, 张宴华, 等. 南海形成演化探究[J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(2): 212-218.]
- [35] Yan Yi, Xia Bin, Lin Ke, *et al.* The sedimentary and tectonic evolution of the basins in the South China Sea and geodynamic setting[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(2): 53-61. [闫义, 夏斌, 林柯, 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.]
- [36] Xia B, Zhang Y, Cui X J, *et al.* Understanding of the geological and geodynamic controls on the formation of the South China Sea: A numerical modelling approach[J]. *Journal of Geodynamics*, 2006, 42: 63-84.
- [37] Fang Yingyao, Zhou Fuhong. Characteristics of striped magnetic anomalies and seafloor spreading in the central basin of the South China Sea[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 1998, 22(4): 272-278. [方迎尧, 周伏洪. 南海中央海盆条带状磁异常特征与海底扩张[J]. *物探与化探*, 1998, 22(4): 272-278.]
- [38] Ru Ke, Pigott J D. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea[J]. *AAPG Bulletin*, 1986, 70(9): 1136-1155.
- [39] Ren Jishun, Chen Tingyu, Niu Baogui, *et al.* Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas[M]. Beijing: Science Press, 1992: 1-200. [任纪舜, 陈廷恩, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-200.]
- [40] Yao Bochu. The explanation of tectonics in north margin of the South China Sea[J]. *Geological Research of South China Sea*, 1993, 5: 1-12. [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.]
- [41] Yao Bochu, Zeng Weijun, Chen Yizhong, *et al.* The crustal

- structure in the eastern part of the northern margin of the South China Sea[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1994, 37(1): 27-35. [姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘东部的地壳结构[J]. *地球物理学报*, 1994, 37(1): 27-35.]
- [42] Yan P, Zhou D, Liu Z. A crustal structure profile across the northern continental margin of the South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 2001, 338: 1-21.
- [43] Qiu X, Ye S, Wu S, *et al.* Crustal structure across the Xisha trough, northwestern South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 2001, 341: 179-193.
- [44] Wei Kuisheng, Cui Hanyun, Ye Shufen, *et al.* High precision sequence stratigraphy in Qiongdongnan basin[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(1): 9-66. [魏魁生, 崔旱云, 叶淑芬, 等. 琼东南盆地高精度层序地层学研究[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2001, 26(1): 9-66.]
- [45] Wei Kuisheng, Chu Meijuan, Cui Yingkai, *et al.* Characteristics of time-space combination of lowstand system tracts and their exploration significance in eastern Qiongdongnan basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(6): 650-655. [魏魁生, 楚美娟, 崔颖凯, 等. 琼东南盆地东部低位体系域的时空组合特征及油气勘探意义[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(6): 650-655.]
- [46] Li Xuxuan, Zhong Zhihong, Dong Weiliang, *et al.* Paleogene rift structure and its dynamics of Qiongdongnan basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(6): 713-721. [李绪宣, 钟志洪, 董伟良, 等. 琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及动力学机制[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(6): 713-721.]
- [47] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, *et al.* East African rift system and the irrelevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(8): 1234-1253.
- [48] Liu Delai, Wang Wei, Ma Li, *et al.* Transfer zone analysis in extensional basin—A study on Songliao basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1994, 13(2): 5-9. [刘德来, 王伟, 马莉, 等. 伸展盆地转换带分析——以松辽盆地北部为例[J]. *地质科技情报*, 1994, 13(2): 5-9.]
- [49] Hu Wangshui, Wang Xiepei. Transform structures in northern part of Songliao basin and its significance in petroleum geology[J]. *Oil & Gas Geology*, 1994, 12(2): 164-172. [胡望水, 王燮培. 松辽盆地北部变换构造及石油地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 1994, 12(2): 164-172.]
- [50] Chen Fajing, Jia Qingsu, Zhang Hongnian, *et al.* Transfer zone and its relation with distribution of sand bodies[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 144-148. [陈发景, 贾庆素, 张洪年, 等. 传递带及其在砂体发育中的作用[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 144-148.]
- [51] Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, *et al.* Control of transfer zone on sandbodies in the extensional structure system—A new approach to reservoir prediction[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(1): 19-25. [王家豪, 王华, 肖敦清, 等. 伸展构造体系中传递带的控砂作用——储层预测的新思路[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 19-25.]
- [52] Larsen P H. Relay structures in lower Permian basement involved extensional system, East Greenland[J]. *Journal of Structural Geology*, 1988, 10(1): 3-8.
- [53] Tao Weixiang, He Shibin, Zhao Zhigang, *et al.* Reservoir distribution in deepwater area of the Qiongdongnan basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2006, 28(6): 554-559. [陶维祥, 何仕斌, 赵志刚, 等. 琼东南盆地深水区储层分布规律[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(6): 554-559.]

Characteristics of Tectonic Evolution in the Qiongdongnan Basin and Brief Discussion about Its Controlling on Reservoirs

ZHAO Min^{1,2}, ZHANG Xiao-bao¹, JI Li-ming¹, ZHANG Gong-cheng³

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Beijing Research Center of CNOOC, Beijing 100027, China)

Abstract: Qiongdongnan basin is a Cenozoic petroliferous basin. In this paper, according to analysis of main controlling factors on regional tectonic evolution in the Qiongdongnan basin (i. e. spreading of the South China Sea, Red River Rift, the Pacific plate, etc.), in combination with features of the internal sequences and faults in the Qiongdongnan basin, the tectonic evolution of Qiongdongnan basin in Cenozoic Era can be divided into three stages: Tectonic evolution of multiphase rifting stage from late Cretaceous to late Oligocene, thermal subsidence stage from early to mid-Miocene Epoch, and new tectonic stage in late Miocene Epoch. Based on the tectonic evolution of Qiongdongnan basin, we discuss the correlated function of tectonic evolution to formation of source rocks, reservoirs, cap rocks and traps, and then point out that the structurally adjusted middle area in the Qiongdongnan basin (i. e. Yabei sag, Songxi sag, Lingshui low uplift, Songtao salient, Lingshui sag, Songnan sag, central low uplift, Beijiao sag) would be the profitability of oil and gas accumulation, which is possible to achieve a breakthrough for the future exploration of oil and gas in the Qiongdongnan basin.

Key words: Petroliferous basin; Qiongdongnan basin; Tectonic evolution; Transfer zone; Petroleum reservoir.