

文章编号:1009-2722(2014)09-0026-10

琼东南盆地深水区东区凹陷带 结构构造及其演化特征

纪沫¹,张功成¹,杨海长¹,杨东升¹,李春雷²

(1 中海油研究总院,北京 100027;2 中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江 524057)

摘要:琼东南盆地深水区东区凹陷带,即松南—宝岛—长昌凹陷,位于琼东南盆地中央坳陷东端。在大量地震资料解释的基础上,对 38 条主要断层进行了详细分析。获得以下认识:(1)琼东南盆地深水区东区凹陷带平面上表现为近 EW 向展布的平行四边形,剖面结构表现为自西向东由半地堑—不对称的地堑—半地堑有规律变化。(2)琼东南盆地深水区东区凹陷带断裂系统可划分控制凹陷边界断层、控制洼陷沉积中心断层和调节性断层 3 类。(3)琼东南盆地深水区东区凹陷带古近纪时期受到太平洋板块俯冲和南海海盆扩张的双重影响,构造应力场发生 NW—SE→SN 转变。构造演化可划分为 3 个阶段:~32 Ma,应力场以区域性 NW—SE 向伸展为主,断裂系统以 NE—SW 向为主,控制凹陷边界;32~26 Ma,以南海海盆近 SN 向拉张应力场为主,断裂系统以 NWW—SEE 向为主,断层活动控制凹陷沉积中心;26~ Ma,区域性伸展与南海海盆扩张应力均逐渐减弱,NE—SW 向和 NWW—SEE 向断裂继承性发育。(4)琼东南盆地深水区东区凹陷带内部主要断层在渐新统崖城组和陵水组沉积时期活动速率快,地形高差大、沉积水体深、沉积厚度大,控制了崖城组和陵水组的大规模沉积,有利于烃源岩的发育。圈闭以受断层控制的断鼻和断块为主,长昌主洼凹中隆起带发育 2 个最为理想的构造圈闭。

关键词:琼东南盆地凹陷带;松南—宝岛—长昌凹陷;断裂活动;构造演化

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

21 世纪以来,世界范围内的深水地区油气勘探和实践不断取得重大突破,墨西哥湾、巴西坎波斯湾盆地、西非、俄罗斯、挪威和东南亚的深水地区不断发现大型油气田,深水盆地已成为当今全球油气勘探的热点区^[1,2]。2006 年 6 月,珠江口盆地白云凹陷 LW3-1-1 深水天然气重大发现标志着我国深水勘探进入新的历史阶段;2010 年底琼东南盆地的首次深水钻探也获得了陵水 22-1

构造的深水天然气发现,深水勘探首次在珠江口盆地—琼东南盆地取得了全面突破,揭示了南海北部大陆边缘良好的油气勘探前景^[1-3]。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,引起国内外学者的广泛关注^[4]。

但近 30 年来,琼东南盆地油气勘探没有取得重大突破,也暗示了南海北部深水盆地油气的生成、运移和最终成藏具有其复杂性^[1,2,4]。研究表明,南海深水盆地与世界上典型的被动陆缘深水盆地在区域构造背景和构造属性上存在明显差异,受控于南海扩张、红河断裂带走滑和菲律宾海板块聚敛的共同作用,发育珠江口、琼东南等多个

收稿日期:2014-05-05

基金项目:国家重点基础研究计划(973 计划)(2009CB219400);国家科技重大专项(2011ZX05025)

作者简介:纪沫(1982—),女,博士,工程师,主要从事石油地质和构造地质研究工作。E-mail:jimo@cnooc.com.cn

沉积盆地,其构造属性和成盆机制具有特殊性^[1,2,5-7]。深水油气勘探的巨大风险和高经济门槛决定了勘探早期的石油地质基础研究尤为关键,特别是与深水盆地结构构造相关的构造特征已成为亟待解决的重要基础地质科学问题^[3,5,8-11]。纵观琼东南盆地研究历程,2008 年以前,琼东南盆地东部边界仅到宝岛凹陷,研究未涉及长昌凹陷^[12-14];2008 年以来,琼东南盆地整体研究向东扩展,但由于资料的缺乏,长昌凹陷的详细研究尚未全面展开^[1,3,15-20];2011 年以来,长昌凹陷作为主要研究对象,开展了中新统微观构造^[21],渐新统崖城组沉积充填及烃源岩特征^[22]和火成岩侵入体对温度场及烃源岩成熟度的影响^[23]等研究工作。本文在二维地震资料(约 11 500 km)解释的基础上,对 38 条主要断层进行了详细分析,并对其进行分类。结合前人区域地质背景研究的综合分析,对琼东南盆地深水区东区凹陷带的断陷期构造演化进行精细划分,从而进一步探讨其构造演化的动力学背景。

1 区域地质背景及研究概况

琼东南盆地位于南海北部的海南岛与西沙群岛之间的海域,即 $15^{\circ}37' \sim 19^{\circ}00'N$, $109^{\circ}100' \sim 113^{\circ}38'E$ 。盆地长轴方向总体呈 NE 走向,西以①号断层与莺歌海盆地为界,东北以神狐隆起与珠二、珠三拗陷相邻。大地构造位置处于欧亚板块、太平洋板块和印度—澳大利亚板块 3 大板块衔接部位,受 3 个板块相互作用的影响。

琼东南盆地深水区东区凹陷带,即松南—宝岛—长昌凹陷(图 1),带内油气预测资源丰富,具有广阔的勘探前景;琼东南盆地深水区东区凹陷带属珠江口盆地与琼东南盆地的衔接部位(图 1),北接神狐隆起,西南由松涛凸起、松南低凸起和北礁凸起所围限,向东与西沙海槽沟通,整体呈近 EW 向展布。上具有“下断上拗”特征,以古近系和新近系之间的不整合面为界,可划分为古近系的裂陷和新近系的拗陷 2 个沉积构造层。下构造层充填始新统(?)、渐新统崖城组(E_3y)和陵水组(E_3l);上构造层充填中新统三亚组(N_1s)、梅山组(N_1m)、黄流组(N_1h),上新统莺歌海组和第四系乐东组。

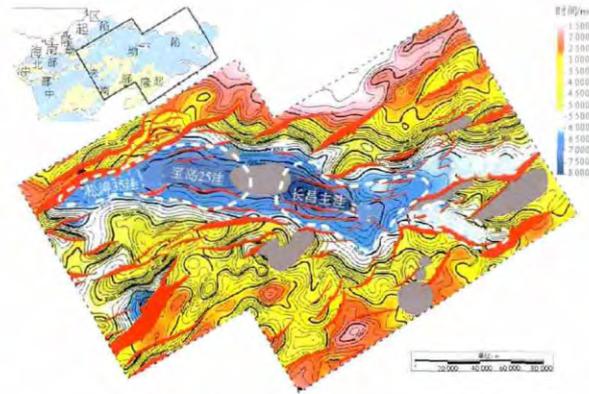


图 1 琼东南盆地深水区东区凹陷带构造

Fig. 1 Sketch geological map of Eastern Sag belt, in deep-water area of Qiongdongnan basin

2 琼东南盆地深水区东区凹陷带结构特征

琼东南盆地深水区东区凹陷带自西向东依次发育松涛 35 洼、宝岛 25 洼、长昌主洼和长昌东洼,4 个洼陷平面组合表现为近 EW 走向的平行四边形,剖面上表现为半地堑→地堑→地堑→半地堑的对称结构;断裂系统具有以 NE—SW 走向和近 NWW—SEE 走向为主,断距和延伸长度差异较大的特点。

2.1 凹陷结构特征

琼东南盆地深水区东区凹陷带为一个统一而稳定的继承性凹陷,不同于中央拗陷内陵水—乐东凹陷的近 NE—SW 向展布,松南—宝岛—长昌凹陷平面表现为近 EW 向展布的平行四边形(图 2),剖面结构表现为自西向东有规律变化,西端松涛 35 洼为北断南超的半地堑结构(图 3AA'),中西部宝岛 25 洼为不对称的地堑结构(图 3BB'),中东部长昌主洼为不对称的地堑结构(图 3CC'),东端长昌东洼为南断北超的半地堑结构(图 3DD')。

松涛 35 洼是由②号断层控制的北断南超的半地堑(图 3AA'),洼陷整体呈北东向延伸。洼陷沉降中心偏向北部②号断层下降盘处,南部发育若干小型断层,总体呈缓坡状抬高,过渡到松南低凸起。②号断层以下陵水组沉积较厚,而相应的崖城组则较薄,说明②号断层陵水组沉积时活动强度大于崖城组时期。

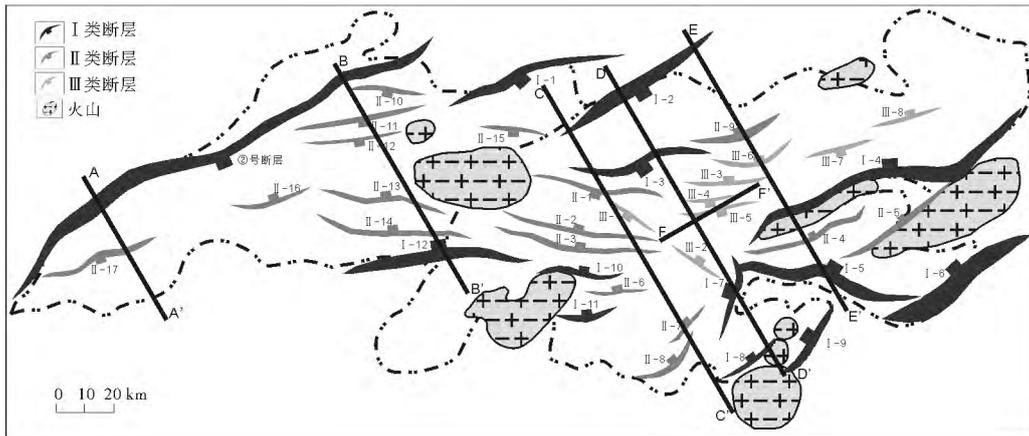


图2 琼东南盆地深水区东区凹陷带断裂分布

Fig. 2 Faults map of Eastern Sag belt, in deep-water area of Qiongdongnan Basin

宝岛 25 洼整体为不对称的双断地堑结构(图 3BB'),北部边界受控于②号断层,南部边界受控于 I-12 断层,沉积和沉降中心不完全受控于边界断层,主要受控于洼陷中部的 NWW—SEE 的 II 类断层。洼陷内陵水组沉积厚度最大,崖城组厚度小于陵水组沉积厚度。

长昌主洼受 NWW—SEE 走向和 NE—SW 走向的 2 组断裂控制,洼陷西部主要呈不对称地堑结构,洼陷中部随着凹陷走向转换结构呈地堑—半地堑复合结构特征(图 3CC')。洼陷沉降中心位于 NWW—SEE 走向断裂的下降盘,洼陷内陵水组厚度最大,崖城组厚度小于陵水组沉积厚度,说明 NWW—SEE 走向断层陵水组沉积期活动强度明显增大。

长昌东洼为南断北超的半地堑结构(图 3DD'),呈近 NE—SW 向展布。受控于近 NE—SW 走向 I-4 断层控制,洼陷北部发育一系列倾向 NW 的反向断层,总体呈缓坡状抬高,过渡到神狐隆起。沉积和沉降中心位于 I-4 断层下降盘,陵水组厚度最大,崖城组厚度小于陵水组。

2.2 断裂发育特征

琼东南盆地深水区东区凹陷带主要断裂系统(图 2)以 NE—SW 走向和近 NWW—SEE 走向为主,剖面结构表现为自西向东有规律变化,凹陷边界部位断层以 NE—SW 走向为主,宝岛 25 洼和长昌主洼部位断层以近 NWW—SEE 走向为主。

琼东南盆地深水区东区凹陷带独特的结构构造受控于复杂的断裂体系(图 2)。松南—宝岛—长昌凹陷断裂系统具有以 NE—SW 走向和近 NWW—SEE 走向为主,断距和延伸长度差异较大的特点。本文选取 38 条断层,对断层进行详细分析,将琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)断裂系统可划分为 3 类(图 3)。

I 类断层 即控制凹陷边界断层,主要分布于凹陷南北边界部位(图 2),受控于太平洋板块俯冲区域性 NW—SE 向伸展应力场(~ 32 Ma)。平面上走向以 NE—NEE 向为主(图 4),平面延伸较长,剖面上切穿 T_{100} — T_{40} 层位,发育时间长,垂直断距较大。区域上与控制中央坳陷演化的②号断裂带关系密切。与②号断裂带的共同点可归纳为以下 3 点:①相同的构造位置, I-1 和 I-2 断层展布于②号断裂带东端、长昌凹陷北部边界,即中央坳陷的北部边界部位;②相同的断层走向和倾向, I-1 和 I-2 断层呈 NE—SW 向展布,断层倾向 SE;③相同的切穿层位和发育时限, I-1 和 I-2 断层切穿 T_{100} — T_{40} 层位(图 3CC'),为断陷期到凹陷期持续发育的继承性断层。同时, I-1 和 I-2 断层也具有不同于②号断裂带的特点,即 I-1 和 I-2 断层仅控制凹陷边界而不控制长昌凹陷的沉积中心和沉降中心。笔者将这个特殊现象解释为 I-1 和 I-2 断层为②号断裂带东部末端的雁列型分支断层,由于断层末端能量的减弱,对于沉积作用的控制作用也相应的逐渐减弱,仅控制了长昌凹陷的北部边界。

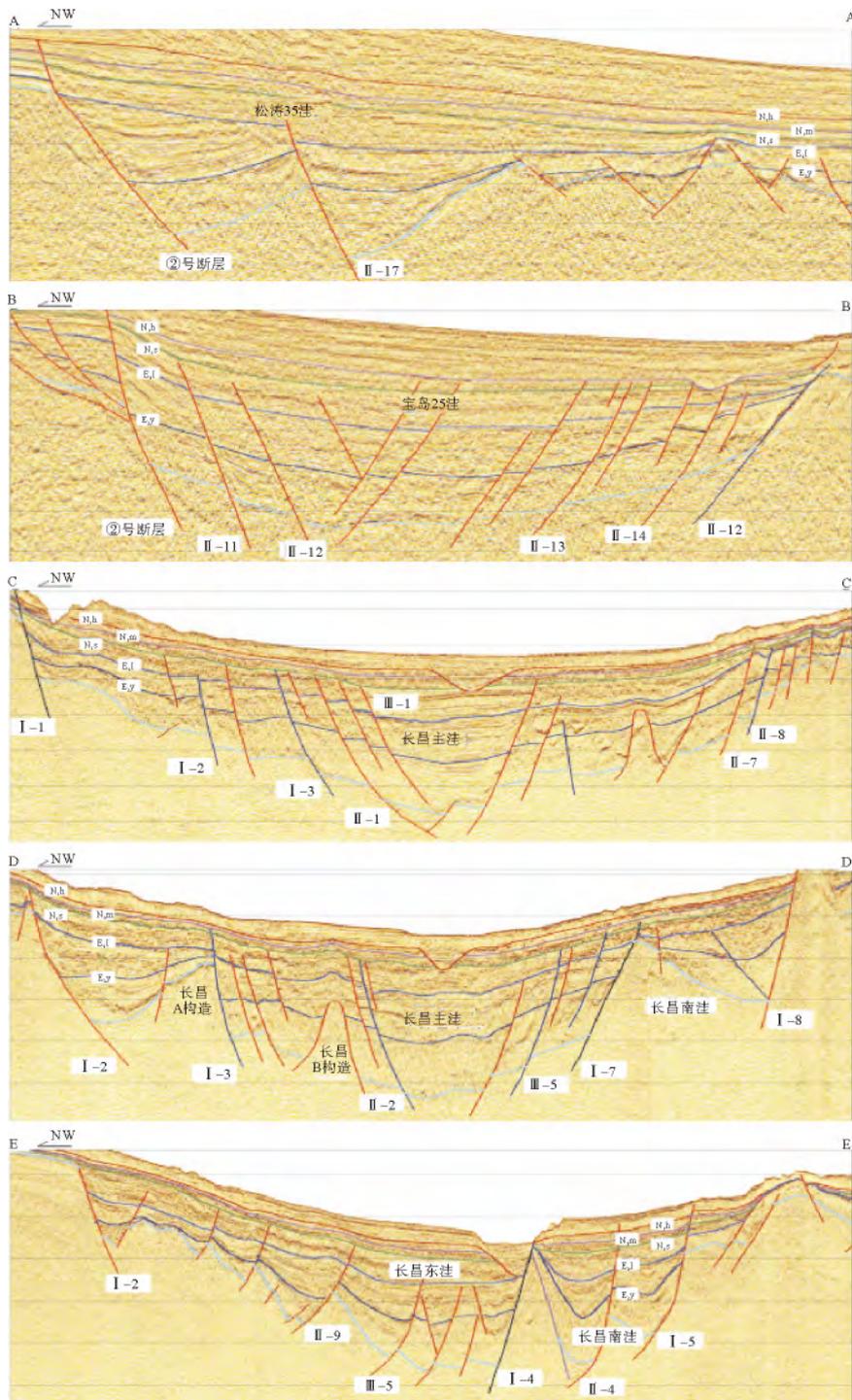


图 3 琼东南盆地深水区东区凹陷带地震剖面

Fig. 3 Seismic sections of Eastern Sag belt, in deep-water area of Qiongdongnan Basin

II 类断层 主要分布于洼陷中部(图 2), 多数控制洼陷沉积中心。平面上走向以 NWW—SEE 为主(图 4), 平面延伸为 20~57 km, 剖面上切穿 T_{100} — T_{60} 层位, 垂直断距为 212~1 304 ms。

II-1、II-2 和 II-3 断层(图 2), 走向以 NWW—SEE 为主, 受控于南海海盆扩张的近 SN 向拉张应力场(32~26 Ma)。II-1 断层倾向 SW, 发育于长昌主洼北侧(图 3CC'); II-2 和 II-3 断层倾向

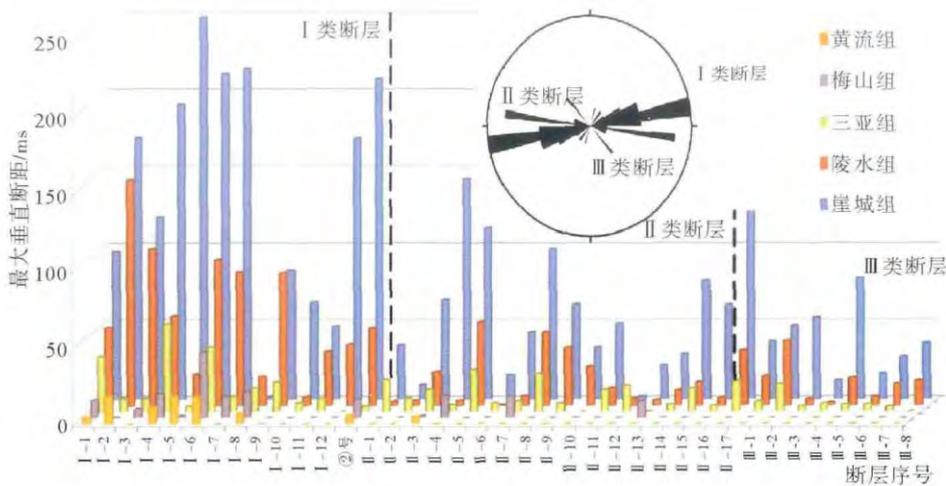


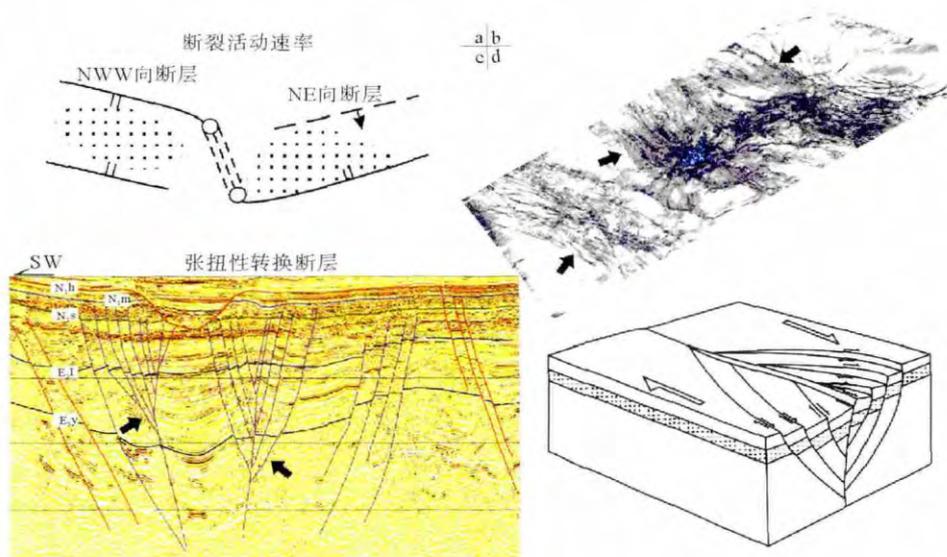
图4 断裂活动速率柱状图和断裂走向玫瑰花图

Fig. 4 Histogram of fault activity velocity and rose diagram of fault strike

NE,发育于长昌主洼南侧。长昌主洼古近纪地层在II-1、II-2和II-3断层所夹持的部位明显加厚,即II-1、II-2和II-3断层主控长昌凹陷沉降中心和沉积中心。

III类断层 即调节性断层,主要包括继承性发育的NE—SW走向断层和NW—SE走向张扭性断层(图2、4)。平面延伸为16~29 km,剖面上切穿 T_{100} — T_{60} 层位,垂直断距为203~691 ms。III-1和III-2断层发育于长昌主洼(NWW—SEE

走向)向长昌东洼(NE—SW走向)转换的部位(图2);III-1断层倾向SW,III-2断层倾向NE,III-1和III-2断层走向均为NW—SE向。III-1断层平面上表现为相互平行的直线型断层,北端与控制沉积的NWW—SEE走向II-1断层相接;III-2断层南端靠近长昌凹陷东南部边界(图5a、b);III-1和III-2断层剖面上表现为负花状构造,各分枝间具有正断距,切穿 T_{100} — T_{60} 层位(图5c、d)。III-1和III-2断层将长昌凹陷控制凹陷边界的



a 转换带构造模式(据文献[26]修改); b 张扭性断层沿层切片; c 张扭性断层剖面特征; d 张扭性断层模式(据文献[27]修改)

图5 长昌凹陷中部“转换带型”张扭性断层

Fig. 5 The transional fault in Changchang Sag

NE—SW 向断层和内部控制沉积中心的 NWW—SEE 向断层有机的结合起来,是太平洋板块俯冲区域性 NW—SE 向伸展应力场和南海海盆扩张的近 SN 向拉张应力场共同作用调谐发育的产物。

综上所述,琼东南盆地深水区东区凹陷带具有不同于中央坳陷多数凹陷的特点,将其归纳为以下 3 点:①凹陷走向呈近 EW 向展布;②凹陷内部结构东部和西部具有差异性;③凹陷沉积和沉降中心不完全受边界断层控制。

$$V_f = \Delta H/t = (h_h - h_f)/t^{[24, 25]}$$

3 琼东南盆地深水区东区凹陷带构造演化特征

琼东南盆地深水区东区凹陷带独特的结构构造受控于复杂的断裂体系,主要断裂活动发育于古近纪断陷阶段,裂后坳陷阶段构造活动明显减弱。琼东南盆地深水区东区凹陷带复杂的结构构造特征不能以同一构造背景控制的简单构造应力场下发育的断层系统解释,应将其划分为不同期次进行解释。

3.1 岩石力学属性

琼东南盆地基底缺失中生代地层,盆地东部宝岛凸起、宝岛凹陷东部、长昌凹陷以古生代沉积岩和变质岩地层为主,盆地南部隆起带东部以元古代片麻岩为主,长昌凹陷基底以早古生代变质岩为主,凹陷东部分布大量玄武岩刚性基底和玄武岩海底火山,这些新生代玄武岩刚性基底呈 NE 方向条带状展布,位于大陆型地壳和大洋型地壳之间的过渡型地壳构造域^[28]。

宝岛 25 洼和长昌主洼具有不对称地堑结构,基底结构具有“碟状”坳陷的特征。不同于断陷结构中基底普遍呈现刚性的特征,表明松南—宝岛—长昌凹陷基底较为“柔软”。长昌凹陷基底为早古生代变质岩和沉积岩,主要岩性为变质砂砾岩和碎屑沉积岩^[28];南海海盆扩张是在红河断裂左行走滑平移下自北西至南东向裂离,软流圈向东南方向蠕散驱动的陆缘扩张^[29];南海北部地壳在南海形成过程中由陆向洋拉伸程度逐渐增大,地壳厚度逐渐变薄,地壳的减薄与莫霍面起伏呈

镜像关系^[30];琼东南盆地地壳减薄明显大于上地壳^[15,31];白云凹陷与长昌凹陷具有相似的复式裂陷特点,孙珍等^[32]将其与下地壳的韧性伸展联系,提出白云凹陷裂陷初期可能具有较热的岩石圈,变形过程包含了较多的韧性伸展贡献。因此,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)“碟状”基底结构的形成机制应为纯剪切模型,其与“松软”的弱变质岩、沉积岩基底,软流圈物质上涌和新生代玄武岩岩浆的烘烤作用以及南海海盆扩张引起的地壳减薄和韧性伸展作用密切相关。

3.2 构造应力场

琼东南盆地构造演化既受到太平洋构造域的现代太平洋板块和菲律宾海板块的俯冲作用影响,也受到新特提斯构造域的印—澳板块俯冲和碰撞作用的改造。琼东南盆地经历多幕裂谷期、区域热沉降期和新构造活动期 3 个演化阶段^[33],对应了区域上晚渐新世/早中新世及中/晚中新世期间的 3 次海退不整合事件^[13,34],分别为:①始新世—早渐新世印支半岛旋转挤出影响琼东南盆地的裂谷阶段;②南海海底扩张控制琼东南盆地断—坳转换的热沉降阶段;③晚中新世以来印藏碰撞、菲律宾板块碰撞以及区域性玄武岩降活动相关的地幔底辟控制的构造沉降阶段。琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)构造演化明显受控于晚渐新世以前被动大陆边缘背景下的陆壳裂陷作用和晚渐新世—中中新世期间的南海海盆扩张作用。

在古新世—早渐新世,印度板块与欧亚板块在古新世开始初始碰撞,在亚洲东部产生向东的地幔流动^[29];同时,太平洋板块向欧亚板块的汇聚速率从 80 mm/a 迅速减小到 38 mm/a^[30],这种汇聚速率的显著降低引起了水平压力在太平洋和欧亚板块之间的传递减小,产生区域性 NW—SE 向拉张应力场,形成以 NE—SW 向为主导方向的半地堑裂陷群,在琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)表现为大规模控制凹陷边界断层(I 类断层等)的发育。

南海海盆扩张的构造演化可划分为 3 个主要阶段^[35]:①~32 Ma,古南海向婆罗洲的俯冲控制了南海地区的陆缘伸展裂陷,伸展应力场从

SE135°变为 SE170°,陆架向陆坡方向,地质结构由单地堑、半地堑和不对称地堑组成的复式地堑模式逐步变为由对称地堑、小地堑组成的复式地堑模式;②32~25.5 Ma,西北次海盆沿中西沙北侧深裂陷槽开始扩张,东部次海盆发生破裂,扩张方向为近 SN 向,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)表现为控制沉积中心断层(Ⅱ类断层)的发育,凹陷中部不对称地堑结构的形成;③23~16 Ma,扩张脊跃迁,在南部形成新扩张脊,向西延伸至西南次海盆,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)停止伸展裂陷,进入裂后热沉降期。

对比南海北部珠江口盆地,分隔断陷沉积层序与坳陷沉积层序的破裂不整合面具有自东向西逐渐变晚的特征,珠江口盆地东部为 33~32 Ma、西部为 28~27 Ma,琼东南盆地为 23~22 Ma,盆地的断坳转换时间与 Briaais 等^[36]提出的南海海底或张活动开始于 32 Ma 相一致。因此,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)构造不对称地堑结构形成的纯剪切变形模式的时限应定为 32 Ma。

3.3 演化模型

琼东南盆地深水区东区凹陷带构造演化明显受控于晚渐新世以前被动大陆边缘背景下的陆壳裂陷作用和晚渐新世—中中新世期间的南海海盆扩张作用。在古新世—早渐新世,印度板块与欧亚板块在古新世开始初始碰撞,产生区域性 NW—SE 向拉张应力场,形成以 NE—SW 向为主导方向的半地堑裂陷群,在琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)表现为大规模控制凹陷边界断层(Ⅰ类断层等)的发育。渐新世,南海西北次海盆沿中西沙北侧深裂陷槽开始扩张,扩张方向为近 SN 向,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)表现为控制沉积中心断层(Ⅱ类断层)的发育,凹陷中部不对称地堑结构的形成;在早中新世,南海海盆扩张脊跃迁,在南部形成新扩张脊,向西延伸至西南次海盆,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)停止伸展裂陷,进入裂后热沉降期。

综上所述,结合孙珍等^[35]对于琼东南盆地构造背景的研究成果,将琼东南盆地深水区东区凹

陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)新生代时空演化模式可划分为 3 个阶段(图 6):

①~32 Ma,应力场以区域性 NW—SE 向伸展为主,断裂系统以 NE—SW 向为主,Ⅰ类断层活动并控制凹陷边界;

②32~26 Ma,以南海海盆近 SN 向拉张应力场为主,断裂系统以 NWW—SEE 向为主,Ⅱ类断层活动控制凹陷沉积中心;

③26~ Ma,区域性伸展与南海海盆扩张应力均逐渐减弱,NE—SW 向和 NWW—SEE 向断裂继承性发育。

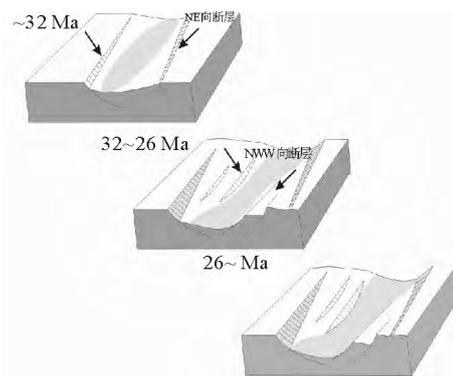


图 6 琼东南盆地深水区东区凹陷带构造演化模式
Fig. 6 Tectonic evolution model of Eastern Sag belt, in deep-water area of Qiongdongnan Basin

4 构造断裂活动与有利构造圈闭

前人认为琼东南盆地发育 3 套烃源岩,即始新统烃源岩、崖城组海陆过渡相煤系及浅海相泥岩烃源岩、陵水组煤系及浅海相泥岩烃源岩^[22, 37-39]。长昌凹陷渐新统烃源岩为凹陷边缘的扇三角洲、滨海沼泽、海岸平原煤系及凹陷中央的浅海相泥岩或泥炭层,即地堑式烃源岩发育模式^[22]。尽管传统意义上的控凹断层不甚发育,但松南—宝岛—长昌凹陷内部控制凹陷边界断层(Ⅰ类断层)和控制沉积断层(Ⅱ类断层)的长期活动,特别是崖城组和陵水组沉积时期这些断层的活动速率快,控制了崖城组和陵水组的沉积厚度,其中长昌主洼作为主要的沉降中心,陵水组厚度最大,达到 2 300 m,崖城组厚度也达到 1 700 m。因此,琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)断裂构造的长期活动有利于烃源

岩的发育。

琼东南盆地圈闭成藏模式以凸起构造型和水道构造岩性复合型为主, 琼东南盆地深水区东区凹陷带(松南—宝岛—长昌凹陷)内部构造圈闭以受断层控制的断鼻和断块为主, 长昌主洼中隆起带发育 2 个最为理想的构造圈闭(图 7)。长昌 A 构造位于凹中隆起带中部, 圈闭类型为断鼻, 构造规模大, 构造部位处于 I-3 断层下盘的基底隆起上, 受 I-3 断层控制。I-3 断层在剖面上, 上升盘为基岩隆起, 下降盘为长昌主洼, 组成长昌主洼由边界断层向沉积中心演变的二台阶; 其平面走向具有自西向东规律性变化的特点, 由 NWW—SEE 转为 NE—SW 再转为 NWW—SEE, 断层总体倾向 SSE—SE; 断层发育于凹中隆起带北部边缘, I-2 控制凹陷边界断层与 II-1 控制洼陷沉积中心断层之间, 本文认为其发育演化受太平洋板块俯冲区域性 NW—SE 向伸展应力场和南海海盆扩张的近 SN 向拉张应力场相叠加的“转换带型”凹中隆作用的控制。长昌 B 构造位于长昌凹陷中部、凹中隆构造带南侧, 是一个复杂化的断背斜型圈闭, 构造部位处于长昌凹陷主洼由 NWW—SEE 走向转为 NE—SW 走向的转换部位, 受 3 条“转换带型”张扭性断层(III-3、III-4 和 III-5)控制, 古近纪断陷期凹陷强烈拉张, III-3、III-4 和 III-5 张扭性断层在太平洋板块俯冲区域性 NW—SE 向伸展应力场和南海海盆扩张的近 SN 向拉张应力场控制的双向构造应力场作用下调谐继承性发育, 控制形成了长昌 B 构造坳垒相间隆起构造的雏形。

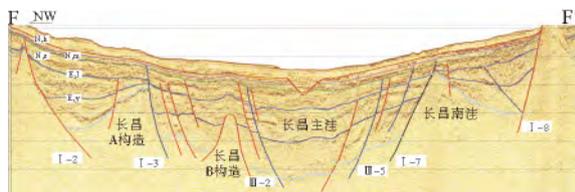


图 7 过长昌 A 构造和长昌 B 构造地震剖面

Fig. 7 Seismic sections crossing Changchang A and Changchang B traps

5 结论

(1) 琼东南盆地深水区东区凹陷带平面表现

为近 EW 向展布的平行四边形, 剖面结构表现为自西向东半地堑—不对称的地堑—半地堑有规律变化。

(2) 琼东南盆地深水区东区凹陷带断裂系统可划分控制凹陷边界断层、控制洼陷沉积中心断层和调节性断层 3 类。

(3) 琼东南盆地深水区东区凹陷带古近纪时期受到太平洋板块俯冲和南海海盆扩张的双重影响, 构造应力场发生 NW—SE→SN 转变。构造演化可划分为 3 个阶段: ①~32 Ma, 应力场以区域性 NW—SE 向伸展为主, 断裂系统以 NE—SW 向为主, 控制凹陷边界; ②32~26 Ma, 以南海海盆近 SN 向拉张应力场为主, 断裂系统以 NWW—SEE 向为主, 断层活动控制凹陷沉积中心; ③26~ Ma, 区域性伸展与南海海盆扩张应力均逐渐减弱, NE—SW 向和 NWW—SEE 向断裂继承性发育。

(4) 琼东南盆地深水区东区凹陷带内部主要断层在崖城组和陵水组沉积时期活动速率快, 控制了崖城组和陵水组的大规模沉积, 有利于烃源岩的发育。圈闭以受断层控制的断鼻和断块为主, 长昌主洼凹中隆起带发育 2 个最为理想的构造圈闭。

参考文献:

- [1] 朱伟林, 钟 锴, 李友川, 等. 南海北部深水区油气成藏与勘探[J]. 科学通报, 2012, 57(20): 1 833-1 841.
- [2] 张功成, 米立军, 屈红军, 等. 全球深水盆地群分布格局与油气特征[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 369-378.
- [3] 雷 超, 任建业, 李绪深, 等. 琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 560-569.
- [4] 赵 民, 张晓宝, 吉利明, 等. 琼东南盆地构造演化特征及其对油气藏的控制浅析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 494-502.
- [5] 朱伟林. 南海北部深水区油气勘探关键地质问题[J]. 地质学报, 2009, 83: 1 059-1 064.
- [6] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin [M]//Hayes D E. The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands; Part 2. AGU Geophys Monogr, 1983, 27: 23-56.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] 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): 15-22.
- [10] 吴时国, 姚根顺, 董冬冬, 等. 南海北部陆坡大型气田区天然气水合物的成藏地质构造特征[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 324-328.
- [11] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 肖军, 王华, 陆永潮, 等. 琼东南盆地构造坡折带特征及其对沉积的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 55-63.
- [13] 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其动力学机制[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 713-721.
- [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] 袁玉松, 杨树春, 胡圣标, 等. 琼东南盆地构造沉降史及其主控因素[J]. 地球物理学报, 2008, 51(2): 376-383.
- [16] 佟殿君, 任建业, 雷超, 等. 琼东南盆地深水区岩石圈伸展模式及其对裂后期沉降的控制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(6): 963-974.
- [17] 张功成, 刘震, 米立军, 等. 珠江口盆地—琼东南盆地深水区古近系沉积演化[J]. 沉积学报, 2009, 27(4): 632-641.
- [18] 林海涛, 任建业, 雷超, 等. 琼东南盆地2号断层构造转换带及其对砂体分布的控制[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(3): 308-316.
- [19] 能源, 吴景富, 漆家福, 等. 琼东南—珠江口盆地深水区构造样式及其分布特征[J]. 天然气工业, 2011, 8: 32-37.
- [20] 李亚敏, 施小斌, 徐辉龙, 等. 琼东南盆地构造沉降的时空分布及裂后期异常沉降机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(1): 47-57.
- [21] 于俊峰. 琼东南盆地文昌凹陷三维地震区中新统微观构造成因探讨[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2): 66-72.
- [22] 张义娜, 张功成, 梁建设, 等. 琼东南盆地文昌凹陷渐新统崖城组沉积充填及烃源岩特征[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(5): 7-14.
- [23] 唐晓音, 张功成, 梁建设, 等. 琼东南盆地文昌凹陷火成岩侵入体对温度场及烃源岩成熟度的影响[J]. 地球物理学报, 2013, 56(1): 159-169.
- [24] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2): 15-17.
- [25] 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.
- [26] 漆家福, 夏义平, 杨桥. 油区构造解析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [27] Morley C K, Nelson R A, Patton T, et al. Transfer zones in the East African Rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1990, 74: 1 234-1 253.
- [28] 鲁宝亮, 王璞珺, 张功成, 等. 南海北部陆缘盆地基底结构及其油气勘探意义[J]. 石油学报, 2011, 32(4): 580-587.
- [29] Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia; new insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology, 1982, 10: 611-616.
- [30] 张云帆, 孙珍, 周蒂, 等. 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), 2007, 37(12): 1 609-1 616.
- [31] Clift P D, Sun Z. The sedimentary and tectonic evolution of the Yinggehai-Song Hong basin and the southern Hainan margin, South China Sea: Implications for Tibetan uplift and monsoon intensification[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2006, 111: B06405.
- [32] 孙珍, 庞雄, 钟志洪, 等. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 489-498.
- [33] 张功成. 南海北部陆坡深水区构造演化及其特征[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 528-541.
- [34] 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.
- [35] 孙珍, 孙龙涛, 周蒂, 等. 南海岩石圈破裂方式与扩张过程的三维物理模拟[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(3): 435-447.
- [36] Briaies 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: 6 299-6 328.
- [37] 黄保家, 黄合庭, 李里, 等. 莺—琼盆地海相烃源岩特征及高温高压环境有机质热演化[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3): 11-17.
- [38] 李文浩, 张枝焕, 李友川, 等. 琼东南盆地古近系渐新统烃源岩地球化学特征及生烃潜力分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 700-708.
- [39] 李友川, 米立军, 张功成, 等. 南海北部深水区烃源岩形成和分布特征[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 970-978.

STRUCTURAL PATTERN AND EVOLUTION OF EASTERN SAG BELT, IN DEEP-WATER AREA OF QIONGDONGNAN BASIN

JI Mo¹, ZHANG Gongcheng¹, YANG Haizhang¹, YANG Dongsheng¹, LI Chunlei²

(1 CNOOC Research Institute, Beijing 10027, China; 2 CNOOC China Limited, Zhanjiang Branch, Zhanjiang 524057, Guangdong, China)

Abstract: The deep-water area of the northern continental margin in the South China Sea, a potential area with unique geological setting and excellent geological conditions for gas accumulation, has got great attention from scholars both at home and abroad. It is required to solve the basic geological problems in the early stage of the deep-water exploration, which has high risk and high economic threshold. The structural geology of the deep-water basins is no doubt one of most important geological problems to be solved. The Eastern Sag belt of the Qiongdongnan Basin, i. e. the Songnan-Baodao-Changchang Sag, is located in the east part of the Central Depression of the Qiongdongnan Basin, where complicated fault systems dominate. Our study suggests that: (1) the Eastern Sag belt of the Qiongdongnan Basin is in a shape of parallelogram in a plane view, with changes from a half-graben to an asymmetric graben to a half-graben in the section from west to east. (2) The fracture system can be subdivided into three types, i. e. the boundary fault in the border, the depositional fault in the center and the transfer fault in between. (3) These faults are developed and constrained by the joint action of the subduction of the Pacific Plate and the spreading of the South China Sea in Paleogene. As the tectonic stress field switched from NW-SE to NS, the structural evolution of the region could be divided into three phases. In the phase of pre-Eocene (~32 Ma), the boundary fault system with a NE-SW strike was controlled by the extensional stress in NW-SE direction; In the phase of Late-Eocene—early Oligocene (32-26 Ma), the growth fault system with a NWW-SEE strike was controlled by the extension in SN direction; In the phase after Late Oligocene (26~ Ma), the fault systems in NE-SW and NWW-SEE direction inherited from the former as the decrease in the regional extension and the spreading of the South China Sea. The movement of faults was accelerated while the Yangcheng and Lingshui Formations were deposited, that controlled the mass deposition of the Yangcheng and Lingshui Formations and benefited the sedimentation of source rocks. (4) The structural traps in shapes of fault nose and fault block developed in the inner-sag uplift can be considered as the most optimum exploration targets.

Key words: the Eastern Sag belt of the Qiongdongnan Basin; the Songnan-Baodao-Changchang Sag; fault movement; structural evolution history