

北部湾盆地雷东凹陷主控断层发育特征及其形成机制

刘平,李文龙,唐圣明,李涛,孙文钊,杨宝成

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江 524057)

摘要:北部湾盆地是我国海域较早开展油气勘探的地区之一,已经历 50 多年的油气勘探历程。目前的油气勘探区块主要集中于涠西南、福山凹陷等局部地区,盆地整体勘探程度较低,勘探突破少。因此,加强雷东凹陷等后备区的地质研究与资源评价十分必要。分析了北部湾盆地雷东凹陷主控断裂的发育特征、演化规律及其形成机制,并探讨了其对沉积充填与油气运聚成藏的控制作用。北部湾盆地雷东凹陷 3 条主干断裂的活动对沉积相带分布的控制作用十分明显,形成了东、西 2 个次洼,次洼内各有 2 个沉降中心。东次洼北断裂和西次洼南断裂是受 NW—SE 向拉张作用形成的 NE 向伸展断层,而西次洼北断裂是具平移剪切断层性质的转换断层。始新世早期,西次洼南断裂活动强烈,西次洼北断裂、东次洼北断裂开始发育;始新世晚期,西次洼南断裂活动减弱直至停止,西次洼北断裂、东次洼北断裂持续活动直至渐新世晚期停止;中新世断裂不发育,整体为拗陷阶段。雷东凹陷油气勘探应从有利疏导体系评价着手,在凹中隆、南部斜坡、北部陡坡等有利的油气优势运聚区寻找突破。

关键词:主控断裂;发育特征;形成机制;疏导体系;雷东凹陷

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.02007

1 研究意义

北部湾盆地的石油勘探从 1963 年钻探涠浅 1 井至今已有 50 多年^[1,2]。北部拗陷带中涠西南凹陷是已证实的富生烃凹陷,已发现 2 个大中型油田和多个中小型油田,是中国海洋石油公司的主要石油生产基地^[3,4]。南部拗陷带中福山凹陷是另一个证实的富生烃凹陷,已发现多个中小型油田,是中国石油公司的勘探开发生产基地^[5,6]。

目前除了涠西南凹陷和福山凹陷的勘探程度较高外,其他凹陷的勘探程度较低。2016 年 1 月,中国石化公司部署在北部湾海域的“涠四井”顺利完成两层含油层测试,并试获高产油气流,日产油气超过千吨。该井试油成功充分证明北部湾盆地的后备油气勘探领域前景广阔,给北部湾海域未来的勘探突破带来了新希望。

雷东凹陷是北部湾盆地东部的次一级构造单元^[7](图 1)。自 20 世纪 90 年代初发现以来,仅在 2007 年钻探了第 1 口风险探井 QS9-1-1。尽管有较好的烃源岩条件和储盖组合,但没有获得商业油气发现。因此,本文拟通过对北部湾盆地雷东凹陷主控断裂的发育特征、演化规律及其形成机制的研究,探讨其对沉积充填与油气运聚成藏的控制作用,为北部湾盆地油气勘探后备区评价提供依据。

收稿日期:2016-11-01

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划(91428205)

作者简介:刘平(1978—),女,博士,工程师,主要从事海洋油气勘探开发研究工作。E-mail:liup_zhanjiang@163.com

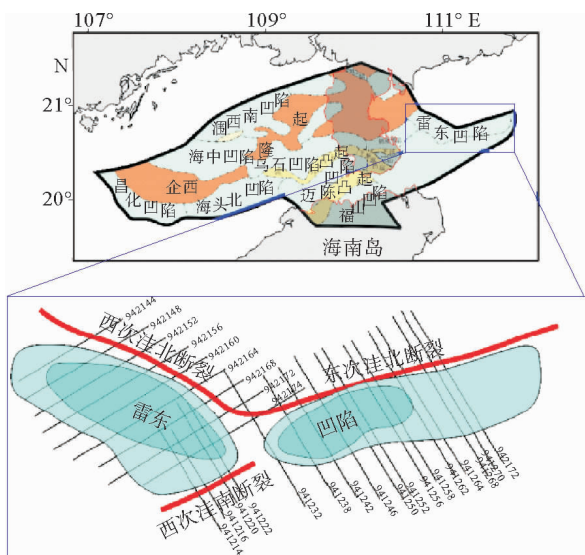


图 1 研究区构造位置及地震测网
Fig. 1 The tectonic locations of the study area and seismic profiles

2 地质背景

北部湾盆地总体走向为 NE 方向,盆地从北往南分为 3 个次级单元:北部拗陷带、企西隆起、南部拗陷带^[8,9]。

雷东凹陷是北部湾盆地南部拗陷带东部的次一级构造单元,是一个以古近和新近系沉积为主的新生代拗陷^[2,8]。其北为粤桂隆起区,南为海南隆起,西与锦和凹陷相邻,东为北部湾盆地边缘,整体上属于北部湾盆地南部拗陷和珠江口盆地珠三拗陷之间的隆起背景上的拗陷。雷东凹陷可以进一步分为东、西 2 个次一级洼陷,两洼陷均为北断南超的箕状断陷,洼陷形态受 NE 和 NW 2 组断裂控制。

雷东凹陷具有北部湾盆地其他拗陷类似的早断晚拗的三元结构特征^[4,9]。自下而上发育的地层有古近系长流组、流沙港组、涠洲组,新近系下洋组、角尾组、登楼角组、望楼港组和第四系^[10,11](图 2)。T60 地震反射界面是一个区域角度不整合面,是海陆地层分界面。上部为海相沉积地层,断裂不发育,地层平缓、起伏不大;其下为陆相沉积地层,断裂发育,地层构造变形强烈。

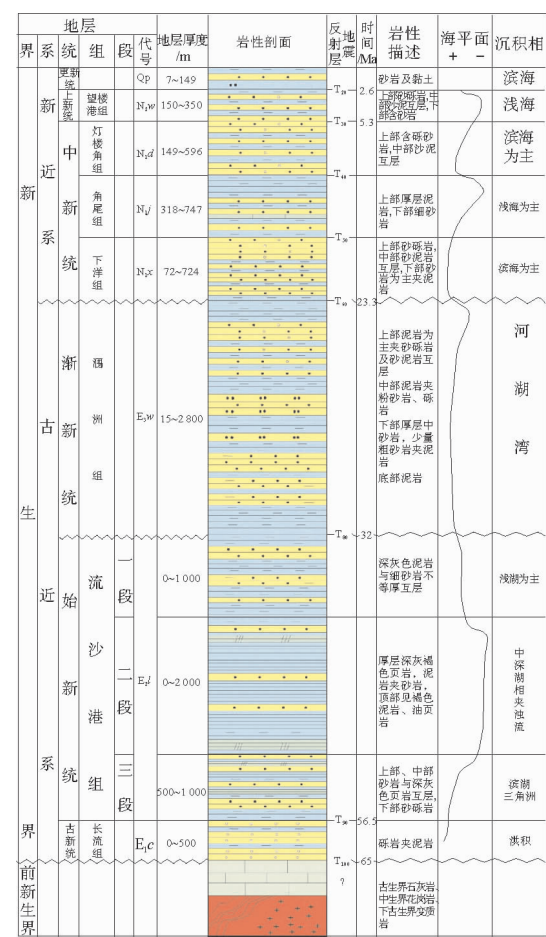


图 2 北部湾盆地地层综合柱状图(据文献[7])
Fig. 2 The integrated stratigraphic column of Beibuwan Basin (from reference [7])

3 主控断层发育特征

北部湾盆地雷东凹陷的控凹断裂有 3 条,分别是西北部的西次洼北断裂、南部的西次洼南断裂以及东北部的东次洼北断裂,前两者控制凹陷西洼的发育演化,后者控制凹陷东洼的发育演化^[8,9](图 1)。

3.1 西次洼北断裂

西次洼北断裂为 NW 走向,平面延伸距离约 50 km,主断面倾向为 SW 向。西段与浅层断层组合为“y”字型;中段平缓,为座椅状或铲状;东段稍陡,板状断层发育(图 3)。

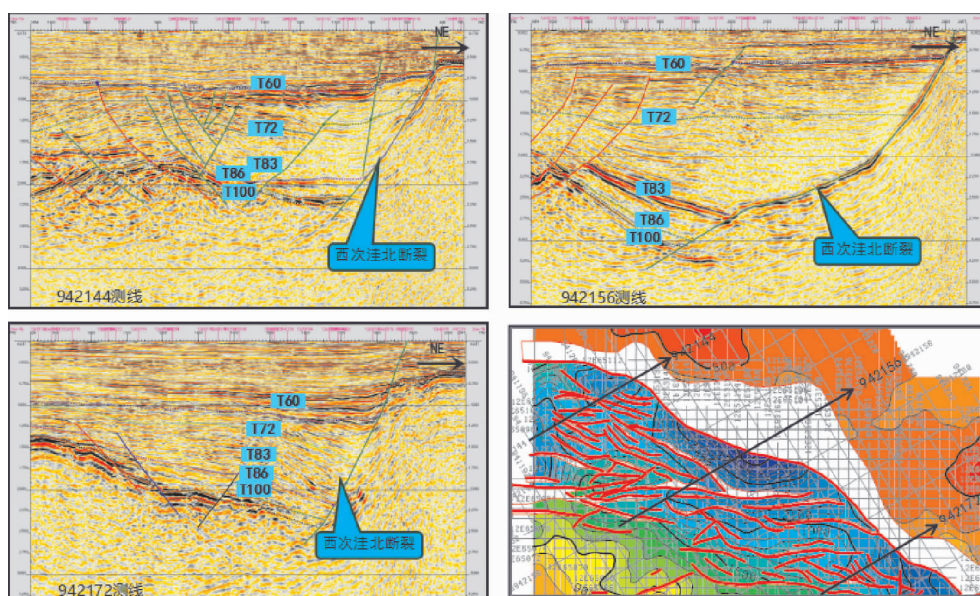


图 3 过雷东凹陷西次洼北断裂的地震反射剖面

Fig. 3 The seismic profiles of North Fault in Western Sub-Sag, Leidong Sag

断距反映沉积充填强度^[12]。西次洼北断裂在西 1 洼、西 2 洼的断距较大,沉积了较厚的流二段和涠洲组地层(图 4)。早期断裂活动速率低,流二段沉积时期活动速率为 48 m/Ma;晚始新世至渐新世断裂活动平均速率为 120 m/Ma(图 4)。西次洼北断裂存在 2 期主要裂陷:古新世—始新世裂陷、渐新世裂陷(涠洲组沉积时期右旋拉张裂陷)。同时,西 1 洼断裂活动强度比西 2 洼大。

3.2 东次洼北断裂

东次洼北断裂为 NE 走向,平面上延伸距离超过 70 km,主断面倾向为 SE 向。西段为板状断层,中段为铲状断层,东段平缓。坡度由西至东逐渐变缓,与西次洼北段裂呈镜像关系(图 5)。

东次洼北断裂在东 1 洼、东 2 洼断距较大,沉积了较厚的流二段和涠洲组地层(图 6)。东次洼北断裂早期活动速率低,流二段沉积时期平均活动速率为 40 m/Ma,沉降中心靠近东 2 洼;晚始新世至渐新世断裂平均活动速率为 123 m/Ma,沉降中心在东 1 洼。东 1 洼断层总体活动强度比东 2 洼大(图 6)。

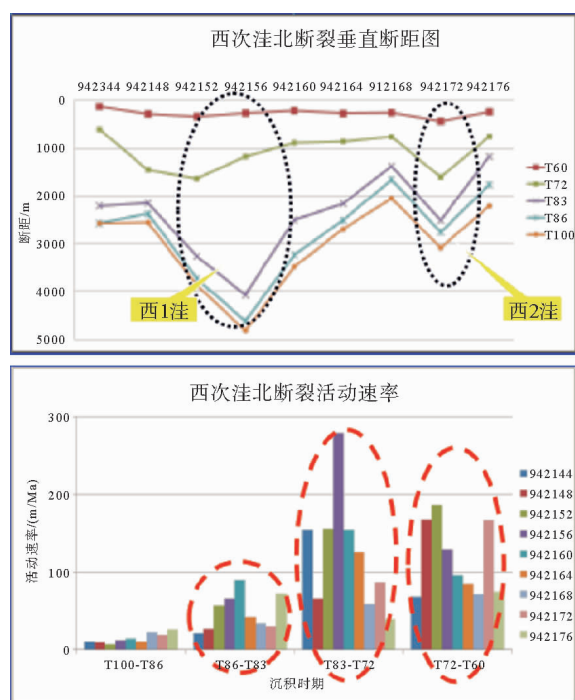


图 4 雷东凹陷西次洼北断裂垂直断距分布和断裂活动速率

Fig. 4 The distribution of vertical fault throw and fault activity rate of North Fault in Western Sub-Sag, Leidong Sag

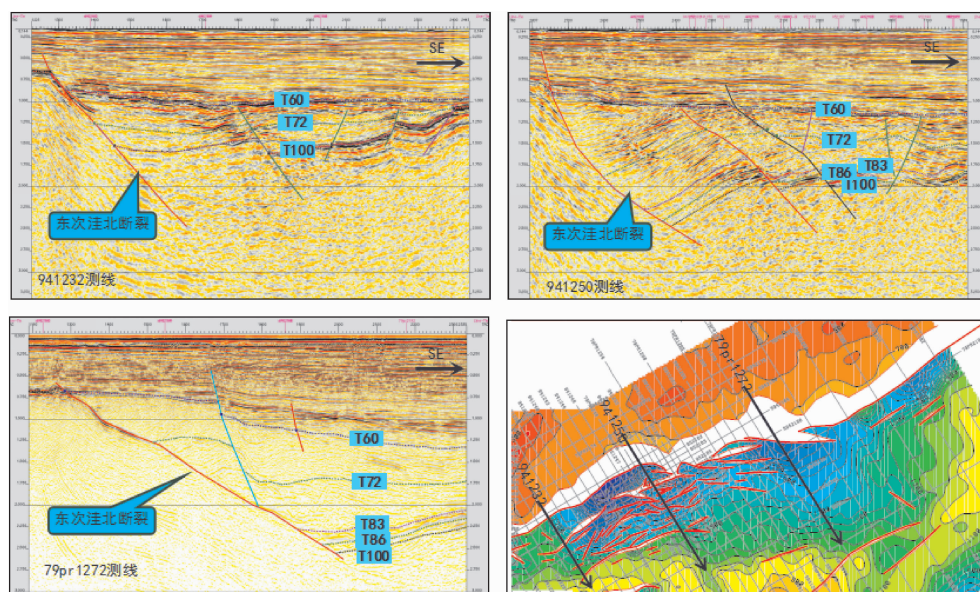


图 5 过雷东凹陷东次洼北断裂的地震反射剖面

Fig. 5 The seismic profiles of North Fault in Eastern Sub-Sag, Leidong Sag

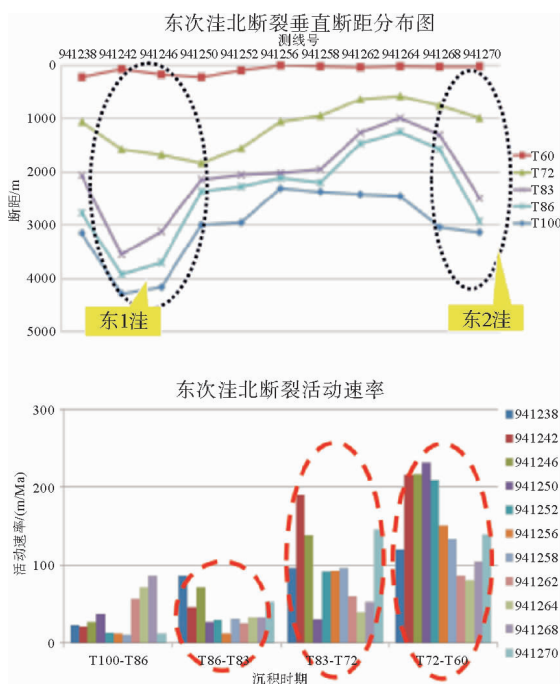


图 6 雷东凹陷东次洼北断裂垂直断距分布和断裂活动速率

Fig. 6 The distribution of vertical fault throw and fault activity rate of North Fault in Eastern Sub-Sag, Leidong Sag

3.3 西次洼南断裂

西次洼南断裂为 NE 走向,主断面倾向为 NW 向,西部为板状断层,向东变化为铲状断层(图 7)。西次洼南断裂流二段沉积时期平均活动速率为 200 m/Ma,比其他 2 条主控断裂活动强度大,沉积了非常厚的流二段地层;渐新世断裂基本不活动(图 8)。西次洼北断裂、东次洼北断裂始新世活动稍弱,渐新世活动性强。

总体而言,主干断层的活动为沉积层序的发育提供了可容空间,断层活动控制着凹陷的沉降中心^[8,9,12]。雷东凹陷 3 个主干断层活动强度在平面上的迁移导致沉降中心的变化,3 条主干断裂的活动形成了东、西两个次洼以及次洼内各有两个沉降中心^[4]。早期断层活动性较强,其对沉积控制作用较强,随着时间的推移其控制性减弱。早期主干断层对沉积相带分布的控制作用十分明显,在靠近主干断层处发育以深湖—半深湖相为背景的各类水下扇—扇三角洲粗碎屑沉积体,其分布形态具有靠近主干断层相变剧烈,而在缓坡带相变相对缓慢的特点。

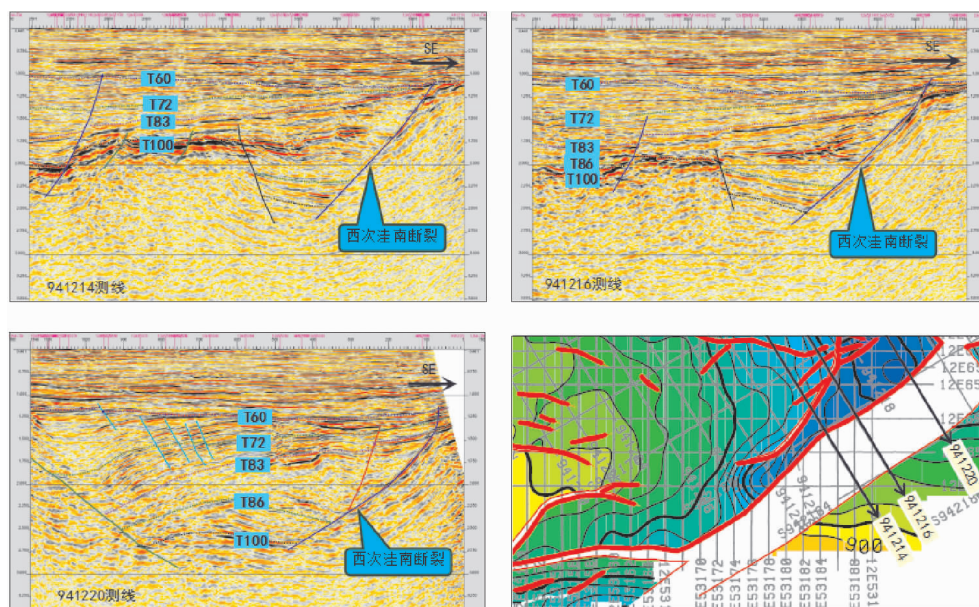


图 7 过雷东凹陷西次洼南断裂地震反射剖面

Fig. 7 The seismic profiles of South Fault in Western Sub-Sag, Leidong Sag

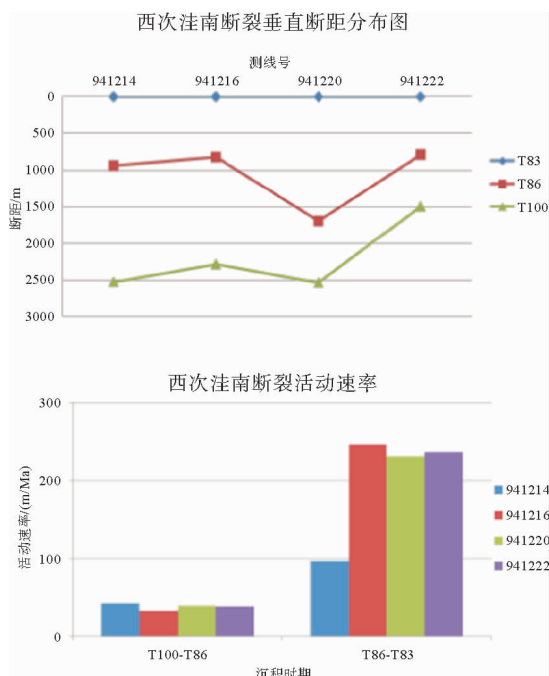


图 8 雷东凹陷西次洼南断裂垂直断距分布和断裂活动速率

Fig. 8 The distribution of vertical fault throw and fault activity rate of South Fault in Western Sub-Sag, Leidong Sag

4 雷东凹陷主控断层形成机制

4.1 主控断层发育机制

前人研究表明,北部湾盆地古近纪断陷活动具有明显的幕式特征,而且在时空分布上差异明显,地层沉积沉降中心亦具有迁移特征^[4,9]。如图 9,北部湾盆地锦和凹陷北断裂和雷东东次洼北断裂是受 NW—SE 向拉张作用下形成的 NE 向伸展断层,在 2 条断层的中间部位,岩桥受斜向引张,引张方向大致与 2 条断层尖灭点方向一致,并会叠加右旋剪切作用力,局部应力作用导致 2 条主干伸展断层发生斜向扩展而衔接起来,从而形成雷东西次洼北断裂转换断层。

西次洼北断裂具平移剪切断层性质,断裂运动方向和性质沿断裂方向发生转换,把侧向滑移(沿走向滑移)转换成沿倾向滑移。因而雷东凹陷西次洼起到调节带的作用,具有转换带构造的特征,使锦和凹陷北断裂和雷东东次洼北断裂 2 个区域应力场控制的主干断层位移在三维空间守恒^[12,13]。

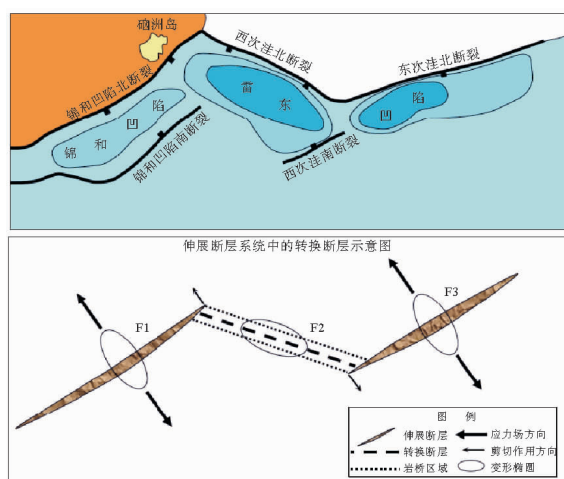


图 9 雷东凹陷主干断裂形成机制模式

Fig. 9 The formation mechanism of major faults in Leidong Sag

雷东凹陷主控断裂的形成演化与其所在的区域构造背景息息相关^[9,13]。北部湾盆地处于南海北缘,印—澳板块与欧亚板块碰撞所引起的印支板块的逃逸作用、太平洋板块对欧亚板块的俯冲以及南海在古近纪的扩张作用,分别在南海北部发生珠琼运动(一幕、二幕)、南海运动,先后形成NW—SE、SN向区域拉张应力^[14,15],这是雷东凹陷在内的北部湾盆地断陷形成与演化的关键所在。

4.2 雷东凹陷构造演化规律

前人对北部湾盆地构造演化开展了诸多分析,主要认为盆地演化经历了古新世的初始断陷阶段、始新世的断陷鼎盛阶段、渐新世的断—坳转换3个阶段^[4,9,10,13]。雷东凹陷位于北部湾盆地南部坳陷和珠江口盆地珠三坳陷之间的隆起背景上,其构造应力场更为复杂,构造迁移特征明显。

雷东凹陷西次洼构造演化剖面如图10。古新世,凹陷北部的主干断裂不甚活跃,因此,凹陷可能没有长流组沉积地层。

始新世,在NW—SE拉张应力作用下,东次洼和西次洼主干断裂活动加剧,雷东凹陷东西分割,形成了2个北断南超的半地堑,控制了流沙港组湖相、河流相沉积。在流三段沉积末期、流二段沉积初期,断裂活动出现一个小的活跃期,形成了一系列小断层,这些断层断开了流三段。之后又

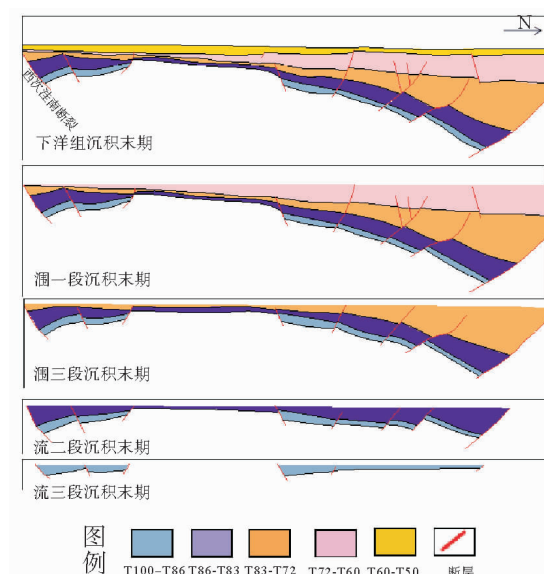


图 10 雷东凹陷西次洼构造演化剖面(12e53146线)

Fig. 10 The tectonic evolution profile of Western Sub-sag in Leidong Sag (Line 12e53146)

归于相对平静,继续接受湖相沉积。

渐新世,构造应力发生顺时针方向旋转,转为NW—SEE向,主干断裂活动进一步加剧,在西次洼中段表现为调节断层的特征。这一时期的断裂活动控制了涠洲组沉积,但是西次洼断裂活动明显大于东次洼,导致西次洼涠洲组地层明显要厚。这一时期还形成了一系列的NE向的小断层,仅断开涠洲组。由于断块南掉、滑脱、翘倾的作用,在东次洼形成了凹中隆构造带。

在渐新世末期,由于南海运动,凹陷整体抬升遭受剥蚀^[14,15]。进入中新世之后,凹陷进入热沉降阶段,发生大规模海侵,接受海相沉积。

5 油气勘探意义

2007年,雷东凹陷钻探了第1口风险探井QS9-1-1,位于东次洼的凹中隆构造带上(图11)。QS9-1-1井虽有油气运移的痕迹,但运移进来油气只有少量,没有大规模的油气侧向运聚成藏,没有获得商业油气发现^[2,7]。

QS9-1-1井钻探表明雷东凹陷不缺烃源,缺的就是没有好的油气运移通道,油气的运移条件制约才是导致油气未能成藏的主要原因^[12]。东次洼北断裂断距较大,断开了流二段泥岩,导致断

层上升盘的流二段烃源岩直接和下降盘的砂岩对接,因而来自凹陷中心的油气经过东次洼北断裂后严重垂向泄漏。而在下降盘,流二段之上的岩

性以砂岩为主,不利于侧向输导至前山 9-1 构造,因而该井流二段之上的大套砂岩没有油气大规模充注成藏。

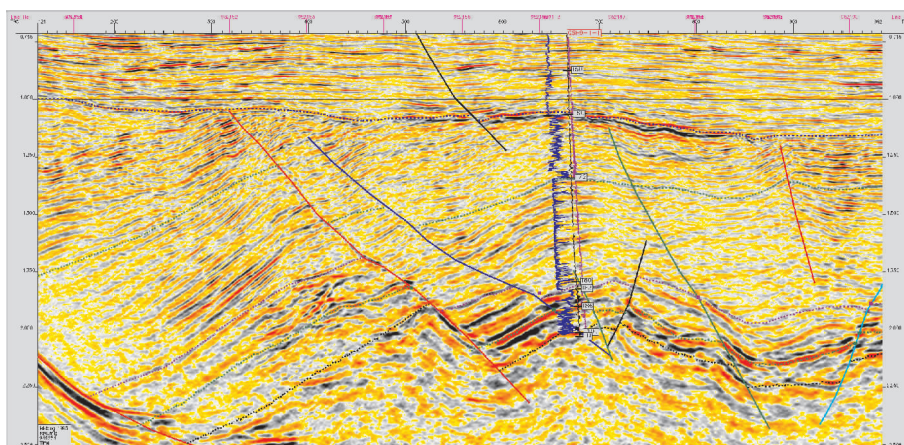


图 11 过 QS9-1-1 井地震剖面(951251 测线)

Fig. 11 The seismic profile through the QS9-1-1 well (Line 951251)

因此,雷东凹陷作为一个生烃凹陷要想在今后有大的发现,关键是要建立起整个凹陷的有利疏导体系^[7,12]。雷东凹陷侧向输导系统主要包括基底区域不整合面、流二段顶面上覆的砂岩体和底面下伏的砂岩体、T60 区域不整合面。垂向输导系统包括断层、垂向叠置的砂岩体。根据烃源岩生烃强度、储盖层空间展布和时空匹配关系推测,凹中隆、南部斜坡、北部陡坡是有利的油气优势运聚区。

6 结论

北部湾盆地雷东凹陷西次洼北断裂、西次洼南断裂以及东次洼北断裂分别控制凹陷西洼和东洼的发育演化。始新世早期,西次洼南断裂活动强烈,西次洼北断裂、东次洼北断裂开始发育;始新世晚期,西次洼南断裂活动减弱直至停止,西次洼北断裂、东次洼北断裂持续活动直至渐新世晚期;中新世断裂不发育,整体为拗陷阶段。3 条主干断裂的活动对沉积相带分布的控制作用十分明显,形成了东、西 2 个次洼以及次洼内各有 2 个沉降中心。雷东凹陷东次洼北断裂与锦和凹陷北断裂一样,是受 NW—SE 向拉张作用下形成的 NE 向伸展断层,而其间的西次洼北断裂具平移剪切

断层性质,是具调节作用的转换断层。雷东凹陷油气勘探应从有利疏导体系评价着手,在凹中隆、南部斜坡、北部陡坡等有利的油气优势运聚区寻找突破。

参考文献:

- [1] 包建平,刘玉瑞,朱翠山,等.北部湾盆地原油地球化学特征与成因类型[J].石油与天然气地质,2007,28(2):293-298.
- [2] 赵志刚,吴景富,李春荣.北部湾盆地洼陷优选与油气分布[J].石油实验地质,2013,35(3):285-290.
- [3] 朱伟林,江文荣.北部湾盆地涠西南凹陷断裂与油气藏[J].石油学报,1998,19(3):18-22.
- [4] 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(6):920-927.
- [5] 罗 群,庞雄奇.海南福山凹陷顺向和反向断裂控藏机理及油气聚集模式[J].石油学报,2008,29(3):363-367.
- [6] 刘恩涛,王 华,林正良,等.北部湾盆地福山凹陷构造转换带及其油气富集规律[J].中南大学学报,2012,43(10):3946-3953.
- [7] 朱伟林,米立军.中国海域含油气盆地图集[M].北京:石油工业出版社,2010:144-158.
- [8] 李春荣,张功成,梁建设,等.北部湾盆地断裂构造特征及其对油气的控制作用[J].石油学报,2012,33(2):195-203.
- [9] 张智武,刘志峰,张功成.北部湾盆地裂陷期构造及演化特征[J].石油天然气学报,2013,35(1):6-11.
- [10] 徐建永,张功成,梁建设,等.北部湾盆地古近纪幕式断层活动规律及其与油气的关系[J].中国海上油气,2011,23

- (6):362-368.
- [11] 黄保家,黄合庭,吴国瑄,等. 北部湾盆地始新统湖相富有机质页岩特征及成因机制[J]. 石油学报,2012,33(1):25-31.
- [12] 李思田,解习农,王 华,等. 沉积盆地分析基础与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2004:275-305.
- [13] 魏春光,何雨丹,耿长波,等. 北部湾盆地北部坳陷新生代断裂发育过程研究[J]. 大地构造与成矿学,2008,32(1):28-35.
- [14] 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.
- [15] 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,2006,28(4):82-86.

DEVELOPMENT AND FORMING MECHANISM OF MAJOR FAULTS IN LEIDONG SAG, BEIBUWAN BASIN

LIU Ping, LI Wenlong, TANG Shengming, LI Tao, SUN Wenzhao, YANG Baocheng

(Zhangjiang Branch of CNOOC, Zhangjiang 524057, Guangdong, China)

Abstract: As one of the earliest offshore basins for oil and gas exploration in China, the Beibuwan Basin has experienced more than 50 years of oil and gas exploration. The current oil and gas exploration blocks are mainly located in some local regions, such as the Weixinan Sag, Fushan Sag and so on. The exploration density of the whole basin remains low. And no breakthrough has been made recently. Therefore, it is necessary to carry out more researches on geology and to make further resource evaluation in backup blocks, such as the Leidong Sag. In this paper, the characteristics as well as the evolution and formation mechanism of some major faults in the Leidong Sag are analyzed and their control over the sediment infilling and oil and gas accumulation discussed. There are three major faults in the region which control the distribution pattern of sedimentary facies and two sub-sags with individual depositional centers are formed. The North Fault in the Eastern Sub-sag and the South Fault in the Western Sub-sag are extensional in NE direction, influenced by NW-SE stretching stress, while the North Fault in the Western Sub-sag is a transform one characterized by transformation and shearing. In Early Eocene, the activity of the South Fault in the Western Sub-sag was intensified. The North Fault in the Eastern Sub-sag and the North Fault in the Western Sub-sag started to develop. In Late Eocene, the activity of the South Fault in the Western Sub-sag slowed down and eventually stopped. The North Fault in the Eastern Sub-sag and the North Fault in the Western Sub-sag kept active until late Oligocene. The whole sag turned into a depression stage in Miocene with little fault activity. The oil and gas exploration in the Leidong Sag should restart from the evaluation of advantageous migration system. Breakthroughs may be achieved on the uplift, southern slope, and northern steep slope.

Key words: major fault; development characteristics; formation mechanism; migration system; Leidong Sag