

东濮凹陷古近纪断层活动性对洼陷 演化及生烃的影响

余海波^{1,2,3},程秀申¹,漆家福²,谈玉明¹,徐田武¹

(1.中国石化中原油田分公司 勘探开发研究院,河南 濮阳 457001; 2.中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 3.中国石化中原油田分公司 博士后科研工作站,河南 濮阳 457001)

摘要:为明确东濮凹陷古近纪断层活动性对研究区不同沉积时期的洼陷形态、特征及沉积-沉降中心迁移规律的控制作用,利用地震、钻井、测井及重磁等资料对东濮凹陷进行构造解析。结果表明:研究区在沙四段上亚段沉积时期为统一广盆;在沙三段下亚段沉积时期断陷强烈,导致洼陷出现分隔性;在沙三段中亚段1—4砂组沉积时期,形成多断多凸多洼构造格局;沙二段沉积时期以后,早期产生的二级和三级断层的活动性逐渐减弱或消失,大量的三级和四级断层产生,多断多凸多洼构造格局更加明显。由于地壳重力均衡沉降作用,导致东濮凹陷地层分布发生跷跷板式分异,与断层活动性共同控制洼陷的演化。东濮凹陷古近纪发育的控洼断层的活动性控制洼陷的演化和烃源岩分布,断层的产状控制洼陷形态和干酪根类型。

关键词:同沉积断层 洼陷演化 均衡沉降 断层活动性 东濮凹陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Effects of Paleogene faulting on the subsag evolution and hydrocarbon generation in Dongpu Sag

YU Haibo^{1,2,3}, CHENG Xiushen¹, QI Jiafu², TAN Yuming¹, XU Tianwu¹

(1. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang City, Henan Province, 457001, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum(Beijing), Beijing City, 102249, China; 3. Postdoctoral Research Station, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang City, Henan Province, 457001, China)

Abstract: In order to clarify the control of Paleogene faulting on subsag morphology, features and migration of sedimentation-subsidence center in different sedimentary period in Dongpu Sag, the structure of Dongpu Sag was interpreted and analyzed using the seismic data, drilling, logging data and heavy magnetic data. The results show that it is a universal basin in the sediment of the fourth member of Shahejie Formation in Dongpu Sag. Then the intense fault movement resulted in the division of sag during the sedimentation of the lower third member of Shahejie Formation. A framework characterized of multifaults, multiuplifts and multisubsags formed during the sedimentation of 1-4 sand group in the middle third member of Shahejie Formation. The activity of the second-level and the third-level faults formed in the early stage were gradually weakened or stopped after the sedimentation of the second member of Shahejie Formation. Large numbers of third-level and the fourth-level faults formed, and the framework characterized of multifaults-multiuplifts-multisubsags became more obvious. The equilibrium crustal gravity subsidence resulted in the seesaw-type differentiation of the strata and controlled the evolution of subsags combined with the fault activity. The Paleogene fault activity controlled the subsag evolution and the distribution of hydrocarbon source rocks in Dongpu Sag, and the occurrence of the fault controlled the morphology of subsag and the type of kerogen.

收稿日期:2018-07-03。

作者简介:余海波(1983—),男,湖北随州人,助理研究员,博士,从事区域构造及盆地分析方面的研究工作。联系电话:15824838201, E-mail:327351464@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“东濮凹陷油气富集规律与增储领域”(2016ZX05006-004)。

Key words: synsedimentary fault; subsag evolution; equilibrium subsidence; fault activity; Dongpu Sag

裂陷盆地的形成和演化往往经历多期的快速拉伸,具有幕式和瞬时性特征^[1-6]。由于每期构造运动的速率和方式不同,导致盆地的地层充填、洼陷结构和构造样式等也存在较大差异。在洼陷的边界陡坡侧常以控洼的同沉积断层作为边界,缓坡侧则以地层顶部的上超线或剥蚀线作为边界。同沉积断层的活动性控制不同沉积时期洼陷的分割、构造圈闭的发育以及不同断层组合的油气富集,有利于油气的运移聚集,是油气藏高效勘探开发过程中的重点研究方向。

东濮凹陷位于华北地台中部,是华北中、新生代盆地的过渡带,在印支运动形成的古坳陷带和燕山运动形成的古隆起带上。其为渤海湾盆地最南端的一个负向三级构造单元,属于临清坳陷的一部分,东侧以兰聊断层与鲁西隆起为界,西侧超覆于内黄隆起之上,南隔兰考凸起与开封坳陷相望,北侧以马陵断层与莘县凹陷相连,整体北窄南宽,面积约为5 300 km²^[7-11]。东濮凹陷为新生代裂陷盆地,自东向西发育兰聊断裂带、东部次凹带、中央低凸带、西部次凹带和西部斜坡带5个二级构造单元;其古近纪发育一系列NNE向正断层,整体上可以分为兰聊断裂带、黄河-文西-观城断裂带和长垣-石家集-宋庙断裂带,断层延伸长度、切割深度和断距等存在很大差异^[7-9],形成大量的凸起和洼陷等三级构造单元,且不同级别断层对盆地内部洼陷演化的控制作用不同。虽然前人发现东濮凹陷古近纪发育的断层存在不同的活动期次,但未明确其对研究区不同沉积时期的洼陷形态和特征以及沉积-沉降中心迁移规律的控制作用,进而影响对烃源岩及油气成藏的评价。为此,笔者基于东濮凹陷古近系最新分层方案,对区域地震剖面进行解释,重新认识东濮凹陷的构造演化,明确多断多凸多洼的构造格局,改变了先前的两洼一隆一斜坡的认识,研究成果可以为研究区下步的精细勘探奠定基础。

1 古近纪断裂发育特征

沙四段沉积时期为东濮凹陷古近纪盆地初始发育期,其沉积厚度薄,且全盆稳定分布,以发育西倾断层为主。无论是单条断层,还是整个断裂带在同一沉积时期沿走向的位移都发生变化。在沙四段沉积时期,东濮凹陷主要发育兰聊断层和杜寨断层等,黄河-文西-观城断裂带、长垣-石家集-宋庙

断裂带还未发育;白庙以南的兰聊断层南段的位移明显大于白庙以北的兰聊断层中段和北段的位移,而毛岗以北的兰聊断层北段的位移则更小;该时期杜寨断层也开始活动,但并未改变断裂带总位移,总体上表现为从南向北位移逐渐减小的趋势。

沙三段沉积时期为东濮凹陷控盆、控凹断层强烈活动时期,盆地二级断层和部分三级断层形成,基本奠定了盆地的构造格架。沙三段下亚段—沙三段中亚段沉积时期,断层活动速率和盆地拉伸速率增大,发育沉积楔形体。沙三段上亚段沉积时期,断层活动速率和盆地伸展速率较小;该时期形成的断层有东倾的,也有西倾的,其中西倾断层包括黄河断层、文西断层、卫西断层和观城断层等,东倾断层包括长垣断层、石家集断层、马寨断层、六塔断层、宋庙断层、文东断层和卫东断层等。

在沙二段—沙一段沉积时期,研究区发育的断层分为新生性、继承性、改造性和消亡性。继承性断层仍为主导断层,但其活动性存在明显差异,表现为盆地沉降运动转换时期黄河断层、长垣断层北段、文西断层南部、徐楼断层以及兰聊断层北段的强烈活动。新生性断层主要发育于中央构造带的东翼,包括盆地南部的春东断层、马东断层、徐东断层、新东断层和盆地中部的玉皇庙断层,以及盆地北部的文东断层、卫东断层等也开始形成。改造性断层主要与应力场的变化有关,自沙二段沉积时期以来,在伸展构造背景下,叠加了右旋应力场,使盆地早期断裂分叉改向。消亡性断层的典型代表为高平集断层、马厂断层、三春集断层、杜寨断层和濮城断层在沙二段沉积后期也逐渐停止活动。

东营组沉积时期为东濮凹陷古近纪盆地由断陷型向拗陷型转换的过渡时期,总体构造活动较弱,但由于延续时间长,因此断层的断距仍很大。从盆地整体结构和主要断裂活动性上看,东营组沉积时期研究区的断裂活动与沙二段和沙一段沉积时期类似,如黄河断层、长垣断层北段、兰聊断层白庙以北地区的断层活动强度均相对较大;主要区别表现为北部中央隆起带的东倾断层活动强度大,如卫东断层、文东断层;受早期发育的西倾的文西断层、卫西断层以及在该时期强烈活动的卫东断层、文东断层控制,北部中央隆起带构造格局定型。新近纪—第四纪,东濮凹陷的大多数断层基本停止活动,仅黄河断层、兰聊断层等个别断层继续活动,但活动强度与古近纪相比明显减弱。根据研究区断

层发育的构造带,对断层进行命名;在同一构造带不同构造位置,由于断层活动性差异,同一条断层具有分段性,因此自北向南依次以编号对断层进行命名,例如:文东1号断层、文东2号断层。

2 断层活动性对洼陷演化的影响

虽然针对盆地和洼陷的研究尺度不同,但对盆地和洼陷形成、演化控制要素的研究则基本一致。断层的活动性控制洼陷的演化和烃源岩分布,断层的产状控制洼陷的形态和干酪根类型,进而控制形成不同类型的洼陷。盆地(洼陷)的成因受控盆(控洼)断层的产状及活动强度、地壳重力均衡沉降作用等因素控制^[12-15]。在不同沉积时期洼陷的沉降-沉积中心会发生迁移,导致不同地区洼陷的形成和演化也存在差异。根据纵向上的地层叠置关系,以及某一构造位置地层厚度的变化与沉降-沉积中心的关系,可将洼陷分为早衰型、继承型和晚成型。依据分布范围、沉积厚度和基底埋深等,可以将洼陷划分为I、II和III级;其中,I级洼陷继承性发育,埋藏深,地层厚度大;II级洼陷埋藏较深,地层厚度较大;III级洼陷埋藏较浅,地层厚度较薄^[16-27]。根据研究区洼陷发育的构造带名称,对洼陷进行命名;在一些构造带发育多个洼陷,根据沉积厚度和范围由大到小依次以编号对洼陷进行命名,例如:前梨园洼陷1、前梨园洼陷2和前梨园洼陷3。

2.1 洼陷初始形成期(沙四段沉积时期)

在印支期—燕山期,东濮凹陷发生多次南北向挤压运动。由于印支晚期和晚燕山期存在区域上的挤压运动,东濮凹陷发生抬升剥蚀,缺失侏罗系和白垩系,并发育一些近EW向的断层。在东濮凹陷古近纪盆地南部,由于高平集断层的强烈活动,导致盆地南高北低,高平集断层下盘的三叠系整体剥蚀,仅在盆地中北部残留三叠系。沙四段下亚段沉积时期构造活动较弱,东濮凹陷古近纪盆地继承中生代末期的古构造地貌,南部地形高,未沉积沙四段下亚段,主要发育兰聊断层和杜寨断层,整体呈西高东低的箕状凹陷。兰聊断层的活动性具有分区分段性差异,在中段活动强烈,且受杜寨断层控制,盆地的沉降-沉积中心位于前梨园地区,地层最大厚度约为400 m,向西斜坡逐渐超覆尖灭。

沙四段上亚段沉积时期是东濮凹陷古近纪盆地主要同沉积断裂发育的第1期,兰聊断层主要控制前梨园洼陷和葛岗集洼陷的发育(图1),沉积-沉降中心的主体位于前梨园洼陷,其次位于葛岗集洼

陷。前梨园洼陷属于继承性洼陷,其形成受兰聊断层和杜寨断层活动强度及地壳重力均衡沉降作用的共同控制,为断拗洼陷,基底埋深为7 000 m,最大地层厚度为1 400 m,具有较好的成烃条件,因此将前梨园洼陷确定为I级洼陷。葛岗集洼陷属于晚成型洼陷,兰聊断层为葛岗集洼陷形成的主控断层,沉积-沉降中心紧临断层上盘,地壳重力均衡沉降作用对洼陷的形成不具有控制作用,为断陷洼陷,基底埋深为6 700 m,最大地层厚度为1 000 m;根据洼陷成烃条件,可以将葛岗集洼陷确定为II级洼陷。根据构造演化恢复剖面可以看出,东濮凹陷沙四段上亚段整体为东断西超,兰聊断层在前梨园洼陷呈上陡下缓的铲式,在葛岗集洼陷呈多米诺式,而断层产状的差异也是影响洼陷性质的重要因素。研究区同时发育不同性质的洼陷,反映出东濮凹陷古近纪盆地南北基底沉降及兰聊断层的活动强度和产状等主控因素存在差异。

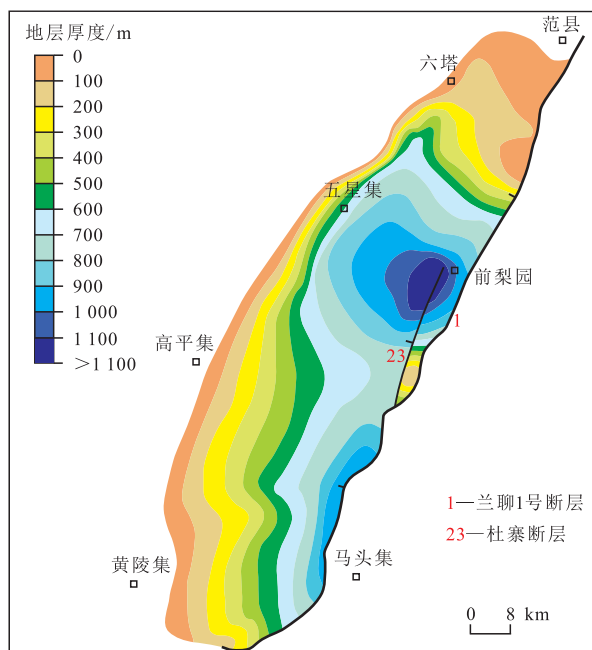


图1 东濮凹陷沙四段上亚段沉积时期洼陷平面分布特征

Fig.1 Characteristics of subsag distribution in plane in the sedimentary period of the fourth member of Shahejie Formation in Dongpu Sag

2.2 洼陷缓慢发育期(沙三段下亚段沉积时期)

沙三段下亚段沉积时期是东濮凹陷古近纪盆地主要同沉积断裂发育的第2期,石家集、卫西、文西等二级和三级断层相继产生,导致盆地北部沉积-沉降中心由前梨园洼陷向西转移至海通集洼陷,南部沉积-沉降中心保持不变(图2)。盆地南部仍为箕状凹陷,葛岗集洼陷地层变厚反映出兰聊断层在南段活动强烈,在盆地中北部沉积-沉降中心向西转移反映出兰聊断层的活动强度明显减弱,但

文西2号断层活动强烈。沙三段下亚段的分布特征与沙四段上亚段具有明显差异,表明沙三段下亚段与沙四段上亚段的原型盆地的构造应力在盆地南部、中部和北部不同。盆地南部的兰聊断层控制形成半地堑式断陷,盆地中部的文西-卫西断裂系和长垣断裂系控制形成柳屯-海通集地堑式断陷。

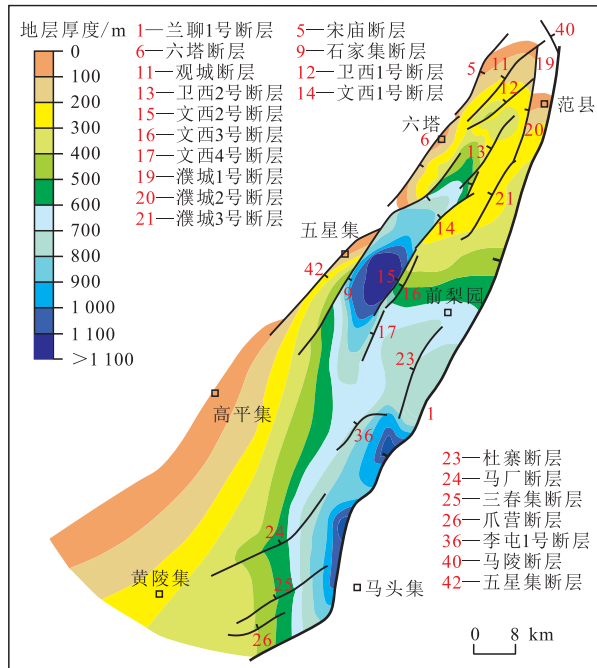


图2 东濮凹陷沙三段下亚段沉积时期洼陷平面分布特征
Fig.2 Characteristics of subsag distribution in plane in the sedimentary period of the lower third member of Shahejie Formation in Dongpu Sag

沙三段下亚段沉积时期研究区发育文西断层、石家集断层和五星集断层等5条主要断层,控制形成柳屯-海通集洼陷、葛岗集北洼陷、葛岗集南洼陷和前梨园洼陷。柳屯-海通集洼陷属于晚成型洼陷,具有地堑式洼陷结构,受控于文西、石家集和五星集断层,主控断层为文西断层,受断裂活动强度和地壳重力均衡沉降作用共同控制,柳屯-海通集洼陷的基底埋深为6 400 m,最大地层厚度为1 200 m,具有较好的成烃条件,可以将柳屯-海通集洼陷确定为I级洼陷。葛岗集北和葛岗集南洼陷均属于继承性洼陷,具有东断西超的半地堑式洼陷结构;兰聊断层为主控断层,沉积-沉降中心紧邻兰聊断层上盘,地壳重力均衡沉降作用不具有控制作用,葛岗集北和葛岗集南洼陷基底埋深分别为4 700和5 700 m,最大地层厚度为1 100 m;依据洼陷成烃条件,确定葛岗集北和葛岗集南洼陷均为I级洼陷。前梨园洼陷属于早衰型洼陷,其分布范围和埋深均较小,具有东断西超的半地堑式洼陷结构;主要受控于杜寨断层,且断裂活动对洼陷发育演化的

控制作用强于地壳重力均衡沉降作用,洼陷性质变为断陷,基底埋深为5 500 m,最大地层厚度为750 m;依据成烃条件,可以将前梨园洼陷确定为II级洼陷。分析沙三段下亚段构造演化恢复剖面,认为柳屯-海通集洼陷发育的兰聊断层上盘地层厚度近似相等,表明兰聊断层活动性减弱,文西断层和长垣断层的强烈活动致使沉积-沉降中心西迁,且受地壳重力均衡沉降作用控制。兰聊断层在葛岗集北洼陷的产状为上陡下缓的坡坪式,整体呈东断西超的半地堑,不同地区盆地的基底沉降和断裂活动性以及产状仍存在差异。

2.3 多洼格局定型期(沙三段中亚段1—4砂组沉积时期)

沙三段中亚段1—4砂组沉积时期为东濮凹陷断裂强烈活动期,也是古近纪主要同沉积断裂发育的第3期,共发育11条主要断层,控制形成12个洼陷,沉积-沉降中心的主体位于海通集洼陷,其次位于柳屯洼陷(图3)。该时期广泛发育东断西超或西断东超的半地堑式断陷,仅在兰聊断层南部和北部发育地堑式断陷,断裂活动是洼陷演化的主控因素。黄河、长垣和文东等断层形成并剧烈活动,东濮凹陷西部洼陷被分割成多个次洼,中央隆起带逐步形成;西南洼陷开始发育,逐渐形成多凸多洼的构造格局。

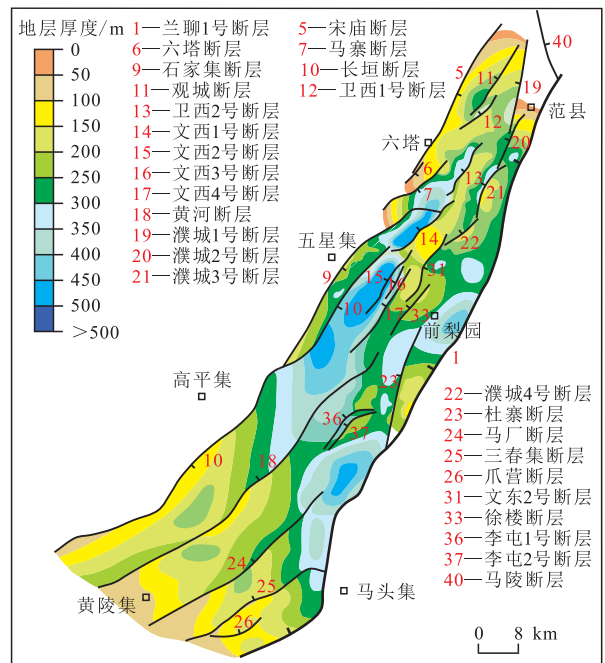


图3 东濮凹陷沙三段中亚段1—4砂组沉积时期洼陷平面分布特征

Fig.3 Characteristics of subsag distribution in plane in the sedimentary period of 1-4 sand groups in the middle third member of Shahejie Formation in Dongpu Sag

沙三段中亚段1—4砂组沉积时期东濮凹陷发育的洼陷数量多,地层厚度普遍偏薄;其中地层厚度为600~650 m的洼陷有海通集洼陷和柳屯洼陷,具有较有利的成烃条件。该时期研究区以继承型洼陷为主,盆地应力场环境未发生改变,且不断发育的晚成型洼陷反映出断裂的活动性逐渐加强。研究区大量发育断陷洼陷,反映出以断裂活动占主导,地壳重力均衡沉降作用相对较弱;仅有葛岗集北洼陷、葛岗集南洼陷和前梨园洼陷3为具有断拗性质的洼陷,在这些洼陷的兰聊断层活动性减弱,地壳重力均衡沉降作用相对加强。分析沙三段中亚段1—4砂组沉积时期构造演化恢复剖面,认为该时期与沙三段中亚段5—9砂组沉积时期相比,海通集洼陷发育的控洼断层没有变化,断裂活动强度持续增强,地壳重力均衡沉降作用减弱,逐渐演变为东断西超的半地堑式断陷;葛岗集北洼陷也没有变化,洼陷的演化受兰聊断层的产状、活动强度及地壳重力均衡沉降作用共同控制,洼陷性质仍为断拗,反映出在沙三段中亚段1—4砂组沉积时期葛岗集北洼陷的构造应力场稳定。

2.4 洼陷稳定发育期(沙二段上亚段沉积时期)

沙二段上亚段沉积时期是东濮凹陷古近纪主要同沉积断裂发育的第4期,为洼陷演化的衰退期,洼陷数量逐渐减少,盆地沉积-沉降中心的主体为海通集-孟岗集洼陷,其次为前梨园洼陷等局部次洼,沉积-沉降中心出现明显的迁移性,反映出盆地中段的长垣断层和文西2号断层活动强烈,兰聊断层的活动性表现为盆地中段强、南段和北段弱(图4)。

沙二段上亚段沉积时期,研究区发育长垣断层、黄河断层和兰聊断层等11条主要断层,控制形成海通集-孟岗集洼陷、前梨园洼陷等9个洼陷。东濮凹陷北部东掉的卫东、文东(西支)断层形成并强烈活动,北部的沉积-沉降中心向东移至中央隆起带东翼和前梨园洼陷;整体以继承型洼陷为主,新发育濮-卫洼陷。该时期东濮凹陷发育断拗性质的洼陷有海通集-孟岗集洼陷、古云集洼陷、柳屯洼陷、文南洼陷、濮城东洼陷和孟岗集洼陷等,断陷性质洼陷有前梨园洼陷、濮-卫洼陷和葛岗集洼陷。盆地东部兰聊断裂带发育东断西超的半地堑式断陷,西部主要发育断拗式地堑,地壳重力均衡沉降作用导致盆地东、西部洼陷的演化出现分异。分析沙二段上亚段沉积时期的构造演化恢复剖面,发现兰聊断层在前梨园洼陷和柳屯洼陷的活动性增强,地壳重力均衡沉降作用减弱,前梨园洼陷演变为具

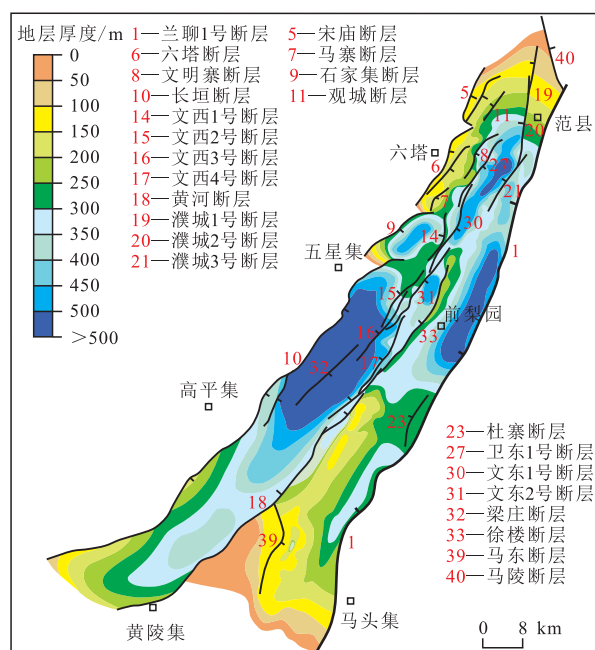


图4 东濮凹陷沙二段上亚段沉积时期洼陷平面分布特征

Fig.4 Characteristics of subsag distribution in plane in the sedimentary period of the upper second member of Shahejie Formation in Dongpu Sag

有断陷性质的洼陷。文西1号断层和石家集断层继续控制柳屯洼陷的发育,仍形成断拗式地堑。葛岗集洼陷和孟岗集洼陷的地壳重力均衡沉降作用表现为东部减弱、西部增强。兰聊断层主要控制葛岗集北洼陷的形成,导致其演变为断陷式地堑。黄河断层、长垣断层等的活动性与地壳重力均衡沉降作用共同控制孟岗集洼陷的发育,沉积-沉降中心由靠近黄河断层迁移至黄河断层和长垣断层中间,反映出长垣断层的活动性有所增强,洼陷性质仍为断拗式地堑。

2.5 洼陷改造期(东营组沉积时期)

东营组沉积时期,东濮凹陷西部地壳重力均衡沉降作用减弱,发育半地堑式断陷,东部为地堑式断拗(图5)。沙二段上亚段沉积时期,东濮凹陷的地壳重力均衡沉降作用表现为东部较弱、西部较强。东营组沉积时期,表现为东部较强、西部较弱。沙一段沉积时期,整个东濮凹陷的地壳重力均衡沉降作用均增强,与沙二段上亚段沉积时期和东营组沉积时期呈渐变过渡。此外,东营组沉积时期,东濮凹陷东、西部的地壳重力均衡沉降作用呈规律性变化,与沙二段上亚段沉积时期的地壳重力均衡沉降作用形成跷跷板式分异;且黄河断裂、卫东断裂系等强烈活动,四级和五级小断层的活动性普遍增强;至东营组沉积末期,湖盆萎缩消亡,整体抬升剥蚀。

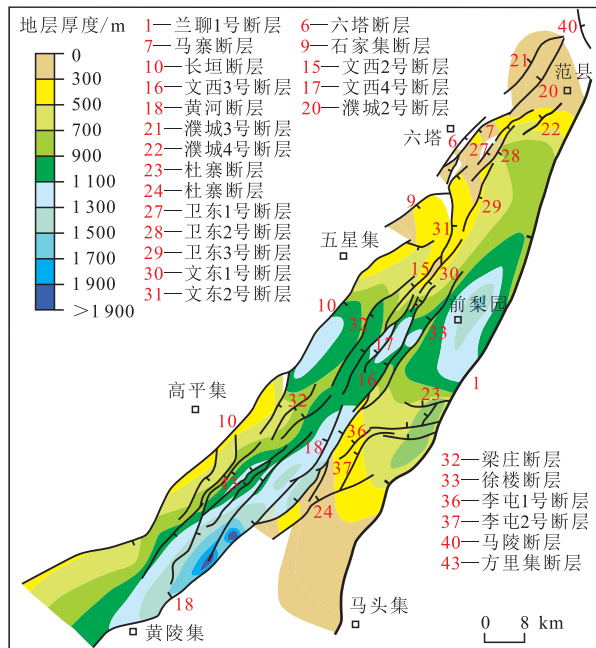


图5 东濮凹陷东营组沉积时期洼陷平面分布特征

Fig.5 Characteristics of subsag distribution in plane in the sedimentary period of the Dongying Formation in Dongpu Sag

东营组沉积时期,东濮凹陷发育黄河断层、兰聊断层和长垣断层等8条主要断层,控制形成孟岗集洼陷1、前梨园洼陷等6个洼陷,沉积-沉降中心的主体位于孟岗集洼陷,其次位于前梨园洼陷。洼陷整体为继承性发育。分析东营组沉积时期构造演化恢复剖面,发现东濮凹陷东部的地壳重力均衡沉降作用明显增强,控制前梨园洼陷的兰聊断层的活动性相对变弱;柳屯洼陷在该时期已经消失,且沉积地层较薄;兰聊断层在孟岗集洼陷的活动性明显减弱,而葛岗集洼陷在该时期不发育。研究区西部的黄河断层、长垣断层和梁庄断层持续性活动,控制孟岗集洼陷的发育,黄河断层活动性较强,孟岗集洼陷的沉积-沉降中心靠近黄河断层,洼陷性质变为东断西超的半地堑式断陷。

3 断层活动性对洼陷生烃的影响

沙四段沉积时期,东濮凹陷为单断湖盆,兰聊断层和杜寨断层开始活动,沉积-沉降中心的主体位于前梨园洼陷;湖盆呈缓慢的水进,沉积范围逐渐扩大,形成广水沉积;在前梨园-胡状集地区沉积巨厚盐岩,最大厚度达1200 m,有利于发育优质烃源岩。沙三段下亚段沉积时期为研究区呈现多凸多洼构造格局以及成烃单元出现差异的初始期,石家集、卫西、文西等二级和三级断层相继开始活动,导致北部沉积-沉降中心由前梨园洼陷向西移至海

通集洼陷,东濮凹陷的箕状特征开始解体,西部出现沉积-沉降中心,盆地由沙四段沉积时期的单断大洼变为双断多洼;北部盐湖范围缩小,但仍为较强的还原环境,有利于优质烃源岩的发育。沙三段中亚段1—4砂组沉积时期为多凸多洼构造格局及成烃单元潜力的定型期,黄河、长垣和文东等断层产生并剧烈活动,西部洼陷带被分割成多个次洼,中央隆起带逐步形成,西南洼陷开始发育,沉积-沉降中心的主体仍位于柳屯-海通集洼陷,北部盐湖面积虽然较大,但由于分割性变强,不同洼陷优质烃源岩的发育特征存在差异。沙二段上亚段沉积时期的断陷期是研究区洼陷持续演化、成藏单元独立成藏的开始期,盆地沉积-沉降的中心主体为海通集-孟岗集洼陷,北部东倾的卫东-文东断裂系切割西倾断裂系,使东部洼陷的沉降幅度增大,也导致中浅层构造更加复杂;该时期盆地烃源岩不发育,主要发育良好的砂岩储层,且洼陷持续演化。古近纪东濮凹陷北部兰聊断层的产状为多米诺式,控制形成的洼陷多而浅,发育Ⅱ₁和Ⅱ₂型干酪根中等烃源岩;中部兰聊断层产状为铲式,控制形成的洼陷窄而深,发育Ⅰ和Ⅱ₁型干酪根优质烃源岩;南部兰聊断层产状为坡坪式,控制形成的洼陷宽而缓,发育Ⅲ和Ⅱ₂型干酪根差烃源岩。

4 结论

东濮凹陷古近纪盆地在沙四段沉积时期为统一广盆,沉积厚度薄且全盆分布稳定,主要发育西倾的兰聊断层和杜寨断层。沙三段沉积时期为控盆、控凹断层强烈活动期,沙三段下亚段沉积时期石家集、卫西、文西等二级和三级断层相继发育,断陷强烈,导致洼陷出现分隔性;沙三段中亚段1—4砂组沉积时期,黄河、长垣和文东等断层发育并剧烈活动,形成多断多凸多洼构造格局。沙二段上亚段沉积时期盆地北部东掉的卫东、文东(西支)断层发育并强烈活动。至沙二段沉积时期以后,早期产生的二级和三级断层的活动性逐渐减弱或消失,大量三级和四级断层产生,多断多洼多凸构造格局更加明显。地壳重力均衡沉降作用导致东濮凹陷古近纪盆地发生跷跷板式分异,与断层活动性共同控制洼陷的演化。

东濮凹陷古近纪控洼断层活动期为沙四段、沙三段下亚段、沙三段中亚段1—4砂组和沙二段上亚段沉积时期,分别对应洼陷演化的单一断陷期、多断剧烈断陷期、多断断陷期和断陷期。断层活动性

控制洼陷的演化和烃源岩分布,断层的产状控制洼陷的形态和干酪根类型。北部兰聊断层产状为多米诺式,控制形成的洼陷多而浅,发育Ⅱ₁和Ⅱ₂型干酪根中等烃源岩;中部兰聊断层产状为铲式,控制形成的洼陷窄而深,发育Ⅰ和Ⅱ₁型干酪根优质烃源岩;南部兰聊断层产状为坡坪式,控制形成的洼陷宽而缓,发育为Ⅲ和Ⅱ₂型干酪根差烃源岩。

参考文献:

- [1] 张君龙,蒙启安,漆家福.断陷盆地多期构造变形特征与油气聚集——以海拉尔—塔木察格盆地南贝尔凹陷为例[J].石油实验地质,2012,34(4):368-375.
ZHANG Junlong, MENG Qi'an, QI Jiafu. Multi-stage structural deformation features and hydrocarbon accumulation in faulted basin: a case study in Nanbeier Sag of Hailar-Tamtsag Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(4): 368-375.
- [2] 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10 Ma以来的构造事件[J].科学通报,1998,48(8):797-810.
LI Sitian, LIN Changsong, ZHANG Qiming, et al. The dynamic process of episodic fissure in the continental margin basin in the northern part of the south China sea and the tectonic events since 10 Ma[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 48(8): 797-810.
- [3] 林畅松,张燕梅,李思田,等.中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型[J].地球科学——中国地质大学学报,2004,29(5):583-588.
LIN Changsong, ZHANG Yanmei, LI Sitian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 583-588.
- [4] 焦养泉,李思田,解习农,等.多幕裂陷作用的表现形式:以珠江口盆地西部及其外围地区为例[J].石油实验地质,1997,19(3):222-227.
JIAO Yangquan, LI Sitian, XIE Xinong, et al. Manifestation of multistage episodic rifting—take western Pearl River Mouth basin and its peripheral area as an example[J]. Experimental Petroleum Geology, 1997, 19(3): 222-227.
- [5] HARDY S. Numerical modeling of the response to variable stretching rate of a domino fault block system[J]. Marine and Petroleum Geology, 1993, 10(2): 145-152.
- [6] 茹克.南海北部边缘叠合式盆地的发育及其大地构造意义[J].石油与天然气地质,1988,9(1):22-30.
RU Ke. The development of the superimposed basin on the northern margin of the South China Sea and its tectonic significance[J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(1): 22-30.
- [7] 程秀申.东濮古近纪伸展断陷构造样式[D].北京:中国地质大学(北京),2011.
CHENG Xiushen. Structural styles in Dongpu Paleogene extensional faulted depression[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2011.
- [8] 李继东.东濮凹陷构造特征与断块群成藏条件分析[D].北京:中国地质大学(北京),2008.
LI Jidong. Analysis of structural characteristics and reservoir condition of fault blocks in Dongpu Depression [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2008.
- [9] 谈玉明,程秀申,陈书平,等.东濮凹陷复杂断块群及勘探潜力分析[J].石油与天然气地质,2011,32(4):584-592.
TAN Yuming, CHENG Xiushen, CHEN Shuping, et al. Complex fault-block groups in Dongpu Sag and their exploration potential [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 584-592.
- [10] 漆家福,杨桥,陆克政,等.渤海湾盆地基岩地质图及其所包含的构造运动信息[J].地学前缘,2004,11(3):299-307.
QI Jiafu, YANG Qiao, LU Kezheng, et al. Geologic map of sub-outcrop and its implied information of tectogenesis in Bohai Bay basin province [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 299-307.
- [11] 程秀申,漆家福,陈书平,等.关于东濮凹陷构造单位的探讨[J].断块油气田,2009,16(4):15-18.
CHENG Xiushen, QI Jiafu, CHEN Shuping, et al. Discussion on structural units of Dongpu Depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(4): 15-18.
- [12] 漆家福,夏义平,杨桥.油区构造解析[M].北京:石油工业出版社,2009.
QI Jiafu, XIA Yiping, YANG Qiao. Structural analysis of oil area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.
- [13] 朱光有,金强,张水昌,等.济阳拗陷生烃洼陷的成因类型及生烃潜力比较[J].天然气工业,2005,25(11):17-21.
ZHU Guangyou, JIN Qiang, ZHANG Shuichang, et al. Research on the genetic type and hydrocarbon generation potential of the hydrocarbon generation sag in Jiyang Depression [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(11): 17-21.
- [14] 温宏雷,邓辉,李正宇,等.渤海海域新近系明化镇组断裂控藏作用定量评价——以黄河口凹陷中央构造脊为例[J].油气地质与采收率,2017,24(4):36-42.
WEN Honglei, DENG Hui, LI Zhengyu, et al. Quantitative evaluation of control effect of faults on hydrocarbon accumulation in the Minghuazhen Formation, Bohai Sea: A case study of central structural ridge in Huanghekou sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 36-42.
- [15] 张辉,胡望水,李伟,等.关键层面古地貌演化剖面的建立及地质意义[J].油气地质与采收率,2018,25(2):8-14.
ZHANG Hui, HU Wangshui, LI Wei, et al. Establishment of paleo-topography evolutionary section of key strata boundary and its geological implications [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(2): 8-14.
- [16] 马立驰,王永诗,景安语,等.济阳拗陷滩海地区古近系构造样式及其控藏作用[J].油气地质与采收率,2018,25(1):1-5.
MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu, et al. Paleogene tectonic styles and their controls on hydrocarbon accumulation in the shallow sea of the Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(1): 1-5.
- [17] 邓爱居,张少华,李凤群,等.饶阳凹陷肃宁地区新生代断裂活动及其对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2017,24(3):18-24.

- DENG Aiju, ZHANG Shaohua, LI Fengqun, et al. Cenozoic fault activity and its control on hydrocarbon accumulation in Suning area of Raoyang sag, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(3): 18-24.
- [18] 李艳友, 漆家福, 周赏. 走滑构造差异变形特征及其主控因素分析: 基于砂箱模拟实验 [J]. *石油实验地质*, 2017, 39(5): 711-715.
- LI Yanyou, QI Jiafu, ZHOU Shang. Differential deformation and its main controls on strike-slip structures: Evidence from sandbox experiments [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(5): 711-715.
- [19] 徐春华, 王亚琳. 渤海湾盆地济阳拗陷凹陷结构类型及其对沉积的控制作用 [J]. *石油实验地质*, 2017, 39(5): 587-592.
- XU Chunhua, WANG Yalin. Depression and apophysis structure type and its controls on deposition in the Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(5): 587-592.
- [20] 徐小龙, 蒋有录, 王红亮, 等. 东濮-莘县凹陷兰聊断裂活动及对沉积的控制 [J]. *特种油气藏*, 2017, 24(1): 16-21.
- XU Xiaolong, JIANG Youlu, WANG Hongliang, et al. Lanliao faulting activities and their control over sedimentation in the Dongpu-Xinxian Sag [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2017, 24(1): 16-21.
- [21] 王飞龙, 牛成民, 汤国民. 莱州湾凹陷中央构造带断层活动性及其控藏作用 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2017, 36(6): 1-9.
- WANG Feilong, NIU Chengmin, TANG Guomin. Activity and reservoir-controlling action of the faults in the central structure belt of Laizhou Bay Sag [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2017, 36(6): 1-9.
- [22] 卿颖, 冯建伟, 杨少春, 等. 基于物理-数值联合模拟的多期断裂形成机制及演化研究 [J]. *山东科技大学学报: 自然科学版*, 2018, 37(1): 60-70.
- QING Ying, FENG Jianwei, YANG Shaochun, et al. Formation mechanism and evolution of multi-phase fault based on physical and numerical simulation [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2018, 37(1): 60-70.
- [23] 潘志鸿, 庞雄奇, 郭坤章, 等. 东濮凹陷濮卫地区沙三段储层孔隙定量演化 [J]. *中国石油勘探*, 2018, 23(1): 91-99.
- PAN Zhihong, PANG Xiongqi, GUO Kunzhang, et al. Quantitative simulation of porosity evolution in the third Member of Shahejie Formation in Puwei area in Dongpu depression [J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(1): 91-99.
- [24] 许淑梅, 张海洋, 张威, 等. 渤海湾盆地-东海陆架盆地-菲律宾海盆地古近纪沉降中心迁移及其动力学意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(2): 11-18.
- XU Shumei, ZHANG Haiyang, ZHANG Wei, et al. Migration of subsidence centers in the Bohai Bay Basin, East China Sea Shelf Basin and the Philippine Sea Basin in paleogene and their geodynamic implications [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(2): 11-18.
- [25] 信延芳, 郭兴伟, 温珍河, 等. 渤海新生代盆地浅部构造迁移特征及其深部动力学机制探讨 [J]. *地球物理学进展*, 2015, 30(4): 1 535-1 543.
- XIN Yanfang, GUO Xingwei, WEN Zhenhe, et al. Cenozoic shallow tectonic migration and the deep dynamic mechanism in the Bohai Sea [J]. *Progress in Geophysics*, 2015, 30(4): 1 535-1 543.
- [26] 林玉祥, 赵承锦, 朱传真, 等. 济阳拗陷惠民凹陷新生代沉积-沉降中心迁移规律及其机制 [J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(4): 509-519.
- LIN Yuxiang, ZHAO Chengjin, ZHU Chuanzhen, et al. Migration pattern and geodynamic mechanism of Cenozoic depocenter and subsidence center in Huimin Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(4): 509-519.
- [27] 胡才志, 曾佐勋, 任建业, 等. 黄骅拗陷新生代沉降中心迁移: 数值模拟证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(4): 573-584.
- HU Caizhi, ZENG Zuoxun, REN Jianye, et al. Subsidence center migration of the Huanghua Depression in Cenozoic: evidence of numerical modeling [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 34(4): 573-584.

编辑 邹澍滢