

东濮凹陷古近系构造特征及其 对油气成藏的控制作用

余海波^{1,2},程秀申¹,徐田武¹,张玉体¹,谈玉明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.中国石化中原油田分公司 博士后科研工作站,河南 濮阳 457001)

摘要:为了明确东濮凹陷古近系的构造特征及其与渤海湾盆地其他拗陷的差异,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,并结合原油样品及相关分析化验资料研究构造演化对油气成藏的控制作用。研究表明:东濮凹陷古近纪盆地是在距今51 Ma发育的第2期开裂盆地,具有沉降深(6 400 m)、速率快(246 m/Ma)的特征,在北东向断层的切割作用及构造频繁转换作用下,盆地具有非均质性强、横向变化大的特征,发育多凸多洼的盆地结构,为复式含油气系统奠定了构造格架基础。依据有效烃源岩分布、油气成藏期古构造脊、流体差异性等因素,将东濮凹陷划分为10个油气系统,具有油气近源聚集的特征。东濮凹陷正向构造的规模大、幅度高、坡度陡,与生储盖有效配置,利于油气向构造高部位运聚和保存,控制着油气的分布和富集。本次研究采用体积守恒法,综合地层厚度趋势法、邻近厚度对比法及镜质组反射率法等,认为东濮凹陷东营组剥蚀量整体为200~800 m,古近系持续深埋、稳定保存,为弱改造、复式含油气系统型盆地,具有油气近源聚集、正向构造控富、连续成藏的特征。

关键词:多凸多洼;含油气系统;剥蚀量恢复;油气成藏;东濮凹陷

中图分类号:TE111.1

文献标识码:A

Paleogene tectonic characteristics and their controlling effect on hydrocarbon accumulation in Dongpu Sag

YU Haibo^{1,2}, CHENG Xiushen¹, XU Tianwu¹, ZHANG Yuti¹, TAN Yuming¹

(1. Exploration and Development Research Institute, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang City, Henan Province, 457001, China; 2. Postdoctoral Research Station, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang City, Henan Province, 457001, China)

Abstract: To clarify the Paleogene tectonic characteristics of the Dongpu Sag and the difference from those of other depressions in the Bohai Bay Basin, we conducted the tectonic analysis of the Dongpu Sag with seismic, drilling, well logging, gravity and magnetic data and studied the controlling effect of tectonic evolution on hydrocarbon accumulation with crude oil samples and related laboratory data. The results show that the Paleogene basin in the Dongpu Sag is a Phase 2 fracture basin developed at 51 Ma with deep sedimentation (6 400 m) and a high rate (246 m/Ma). Influenced by NE fault cutting and frequent tectonic transition, the basin exhibits strong heterogeneity and drastic lateral change and enables the development of many uplifts and sags, laying the tectonic groundwork for the composite petroleum system. According to the distribution of effective source rocks, paleotectonic ridges during hydrocarbon accumulation, fluid differences, and other factors, the Dongpu Sag can be divided into 10 petroleum systems featured by near-source hydrocarbon accumulation. The forward structure of the Dongpu Sag has a large tectonic scale, high amplitude, and a steep slope, and is effectively arranged with the source-reservoir-cap assemblage, which is conducive to the migration and accumulation of oil and gas towards the high part of the structure and controls the distribution and enrichment of oil and gas. Through the methods of volume conservation, comprehensive formation thickness trend, comparison in adjacent thickness, and vitrinite reflectance, we think that de-

denudation of the Dongying Formation in the Dongpu Sag is 200–800 m on the whole. The Paleogene formation is continuously deep buried and stably preserved, and the Dongpu Sag is a weakly transformed basin with the composite petroleum system, which is featured by near-source hydrocarbon accumulation as well as rich and continuous accumulation controlled by the forward structure.

Key words: uplifts and sags; petroleum system; denudation recovery; hydrocarbon accumulation; Dongpu Sag

东濮凹陷位于渤海湾盆地西南角,油气勘探开发已经40余年,取得了大量的研究成果。目前已进入高成熟勘探阶段,先前主要以源外构造油气藏为勘探目标,针对该类目标勘探面积减小、储量减少、效益变差的现状,如何突破传统思维,采用新方法、新理论预测有利的增储区带显得尤为急迫。

在20世纪80年代具有代表性的是以地洼学说为指导,研究东濮凹陷及中原地区中生代盆地的形成演化与油气成藏特征;90年代利用三维地震和钻井等资料,在全区进行连片构造图编制和研究。自21世纪以来,许多学者针对东濮凹陷的盆地结构、断层系统、断层组合、构造样式、运动学特征、动力学条件、断块群类型及形成机制的研究较多,而对东濮凹陷不同时期同沉积断裂活动性、隆洼格局演化对油气系统的控制以及关键构造变革期剥蚀强度对油气成藏的影响则研究较少。

为此,笔者以东濮凹陷区域地震剖面为基础,从华北克拉通、渤海湾盆地区域构造背景出发,研究东濮凹陷的开裂时间、基底沉降量、抬升量、拉张量及其与渤海湾盆地其他拗陷的差异,并分析构造特征对油气成藏的控制作用,明确不同沉积时期裂陷盆地结构,细分构造单元和成藏单元,为研究区下一步的精细勘探指明方向。

1 古近系构造特征

渤海湾盆地位于华北东部地块,为华北克拉通破坏的中心区域^[1],周围被太行山山脉、燕山褶皱带、胶辽隆起和鲁西隆起所限,平面上呈斜体“N”字形,总面积约为 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$,为新生代裂谷盆地^[2]。其新生代构造体系叠合于中生代构造背景之上,发育雁列式、帚状、网状等多种构造体系类型^[3]。根据古近系分布特征,整个盆地可以划分为下辽河-辽东湾、渤中、黄骅、冀中、临清、济阳、昌潍7个拗陷以及沧县、埕宁、邢衡和内黄4个隆起。盆地的形成和演化经历了古近纪裂陷和新近纪的裂后热沉降作用,同时受到区域剪切应力场的影响^[4],与典型的裂谷盆地相比还有一定的差异。盆地内部发育4条区域性走滑断裂带,不同的断裂部位在盆地内的发育

程度不同^[5-6],使盆地内各拗陷的发育也具有明显的差异^[7]。根据各拗陷所处的应力场环境,可以将渤海湾盆地划分为北部、南部剪切构造区 and 中部转换拉张构造区^[8]。东濮凹陷位于南部剪切构造区,其位于华北地台中部,为华北中、新生代盆地的过渡带,在印支运动形成的古拗陷带和燕山运动形成的古隆起带上^[9]。东濮凹陷是渤海湾盆地最南端的一个负向三级构造单元(图1),属于临清拗陷的一部分,其北窄南宽,面积约为 $5\,300 \text{ km}^2$,地处中国中原地区,包括豫北、豫东、鲁西南之沿黄河两岸的两省九个县市。

1.1 北东向独立断陷

东濮凹陷在早古生代为伸展背景下的海相克拉通盆地,晚古生代为伸展背景下的近海克拉通盆地,三叠纪为挤压背景下的克拉通内大型挠曲盆地,印支期—燕山期发生过多次挤压运动,东濮凹陷受近南北向挤压持续隆起;燕山旋回盆地缺失侏罗系和白垩系,三叠纪盆地南部和北部边缘被隆起分隔,内部形成东西向展布的宽缓褶皱。古近纪前东濮凹陷的基底为东西高、南北低的构造格局,具有南北分区、宽缓褶皱变形的特征(图2),基底之上为北东向的独立断陷。

由东濮凹陷及邻区东西向地质剖面可以看出(图3),向东馆陶组底面与石炭系—二叠系不整合面接触,向西馆陶组底面依次与古近系沙四段、中生界三叠系或石炭系—二叠系不整合面接触。整体来看东濮凹陷古近纪盆地表现为东断西超,向东与鲁西隆起隔开,向西超覆于内黄隆起之上。

针对过东濮凹陷南部和北部短联络测线地震剖面进行构造解析发现,在东濮凹陷南部边界由于北倾的封丘断层的分隔作用(图4a),石炭系—二叠系与沙四段之间为不整合接触,沙三段和沙二段发育很全,沙二段上亚段与馆陶组为不整合接触。封丘断层上升盘残留石炭系—二叠系,局部残留沙四段。同样可以看出,在印支期—燕山期封丘断层活动,东濮凹陷南部和开封盆地北部三叠系均缺失;在古近纪封丘断层继续活动,断层上升盘地层发生剥蚀,东濮凹陷与开封盆地不连通。由东濮凹陷北部测线地震剖面解释可以看出(图4b),马陵断层下

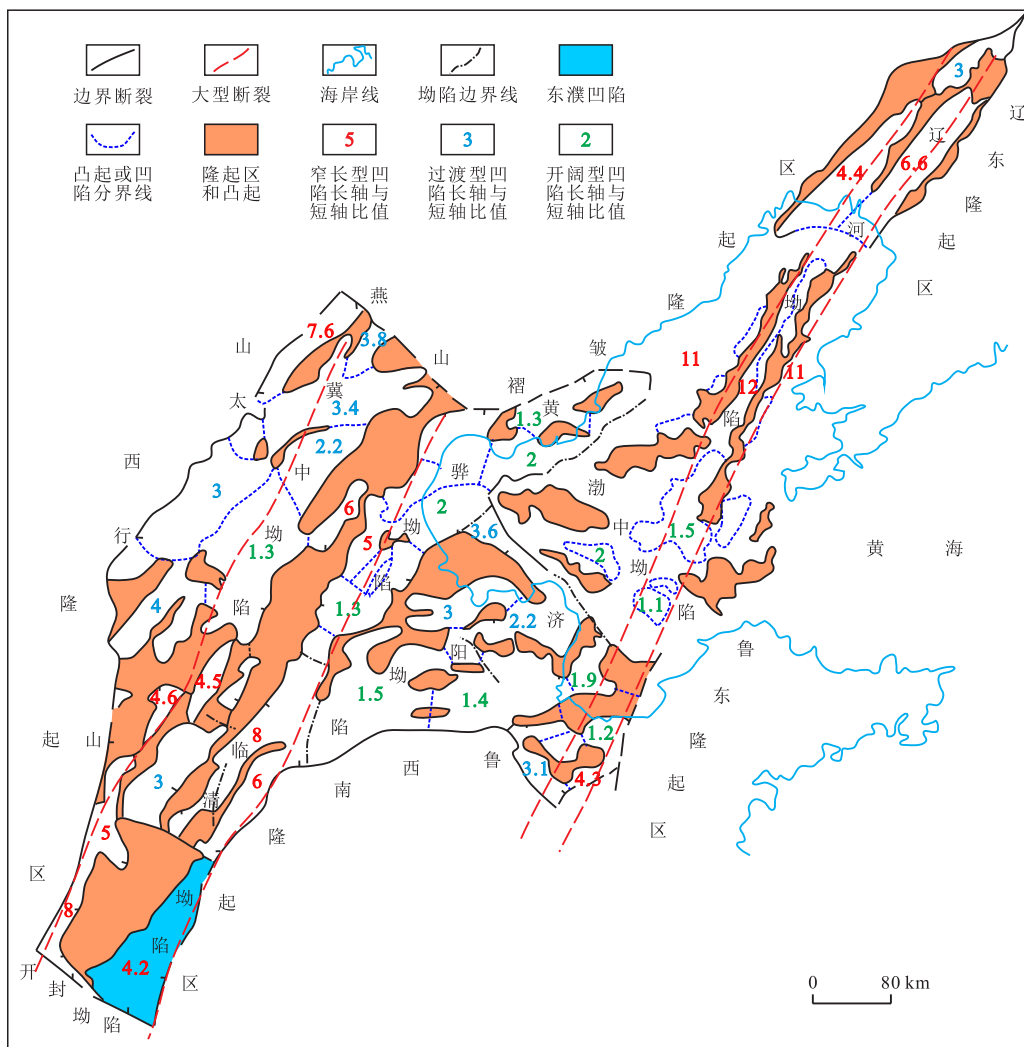


图1 渤海湾盆地次级构造单元划分

Fig.1 Division of secondary tectonic units in Bohai Bay Basin

降盘残留地层为石炭系—二叠系、三叠系、侏罗系及古近系,在上升盘残留地层为石炭系—二叠系、三叠系及沙二段下亚段。在印支期—燕山期,马陵断层活动,在临清坳陷马陵断层下降盘保留侏罗系;古近纪,马陵断层持续性活动,上升盘翘起剥蚀,下降盘保留较厚的古近系。

东濮凹陷古近纪盆地为受兰聊断层、封丘断层和马陵断层控制的相对独立的断陷,与邻区不连通,凹陷的形成和演化受兰聊断层控制,具有西高东低的构造格局。在东濮凹陷的西部主要剥蚀前寒武系、寒武系—奥陶系、石炭系—二叠系及中生界,流域面积约为 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,凹陷的汇聚面积仅为 $0.53 \times 10^4 \text{ km}^2$,物源搬运距离约为300 km,形成了“远源汇聚、高隆闭流”的古地貌环境,为东濮凹陷古近系沉积细粒物质及盐岩的发育提供了物质基础。

1.2 晚期开裂盆地

根据渤海湾盆地区域地震剖面解释成果^[10],孔

店组在冀中坳陷、黄骅坳陷南区和济阳坳陷发育,在东濮凹陷、辽东湾坳陷、下辽河坳陷和渤中坳陷缺失(图5a)。根据绝对天文年代标尺以及与总GR序列、La2010理论偏心率曲线的综合对比结果,将东营组的顶界(距今23.03 Ma)作为建立东濮凹陷绝对天文年代标尺的锚点,确定凹陷北部各组段的地质年龄界限:沙四段、沙三段、沙二段、沙一段和东营组底界的地质年龄分别为距今51.00, 44.21, 37.28, 30.78和28.49 Ma。结合其他坳陷资料分析认为,渤海湾盆地古近纪发育2期开裂盆地,早期(距今60 Ma)在盆地中央发育冀中坳陷、黄骅南区和济阳坳陷,晚期(距今51~45 Ma)在盆地南部和东北部发育东濮凹陷、渤中坳陷、黄骅中区、下辽河坳陷和辽东湾坳陷,东濮凹陷古近纪盆地为距今51 Ma发育的第2期开裂盆地。

将渤海湾盆地各坳陷古近系顶面拉平,不同地区基底沉降量和沉降速率差异明显(图5b)。冀中

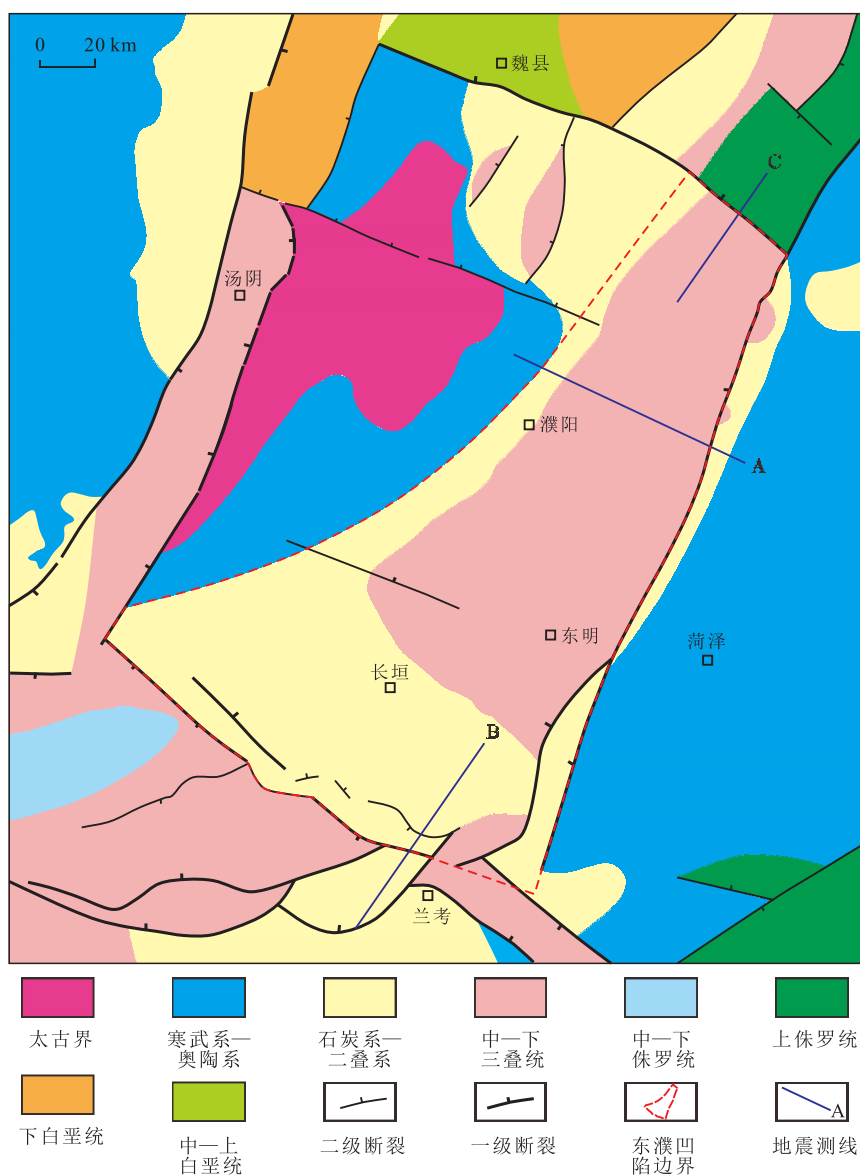


图2 东濮凹陷及邻区古近系沉积前基底结构

Fig.2 Paleogene presedimentary base structure of Dongpu Sag and its adjacent areas

坳陷的累积基底沉降量为 6 300 m, 沉降速率为 175 m/Ma; 黄骅南区的累积基底沉降量为 3 400 m, 沉降速率为 94 m/Ma; 济阳坳陷的累积基底沉降量为 6 000 m, 沉降速率为 167 m/Ma; 东濮凹陷的累积基底沉降量为 6 400 m, 沉降速率为 246 m/Ma; 渤中坳陷的累积基底沉降量为 5 500 m, 沉降速率为 212 m/Ma; 下辽河坳陷的累积基底沉降量为 4 700 m, 沉降速率为 224 m/Ma。整体上, 渤海湾盆地古近系的沉降速率在南部和东北部较快, 以东濮凹陷在渤海湾盆地沉降速率最快。东濮凹陷、冀中坳陷和济阳坳陷古近系的基底沉降量在渤海湾盆地相对较大, 以东濮凹陷沉降最深。

渤海湾盆地的伸展运动在沙一段沉积时期之前强烈, 沙一段沉积时期之后各地区伸展运动普遍

较弱, 至东营组沉积末期伸展运动停止。济阳坳陷和渤中坳陷古近系的伸展量最大, 分别为 37 和 28 km, 伸展速率分别为 1.03 和 1.08 km/Ma; 下辽河坳陷和黄骅中区古近系伸展量最小, 分别为 5 和 8 km, 伸展速率分别为 0.24 和 0.42 km/Ma。根据东濮凹陷中区东西向区域地震剖面的构造演化恢复, 在沙四段沉积时期的伸展量为 3 km, 沙三段沉积时期为 5.5 km, 沙二段和沙一段沉积时期为 2 km, 东营组沉积时期为 1.5 km; 东濮凹陷古近系的累积伸展量为 12 km, 在渤海湾盆地相对较小, 伸展速率为 0.46 km/Ma, 在渤海湾盆地相对较弱。

根据渤海湾盆地各凹陷平面上的长轴与短轴之比, 可以分为窄长型(长轴与短轴之比大于 4)、过渡型(长轴与短轴之比为 2~4)和开阔型(长轴与短

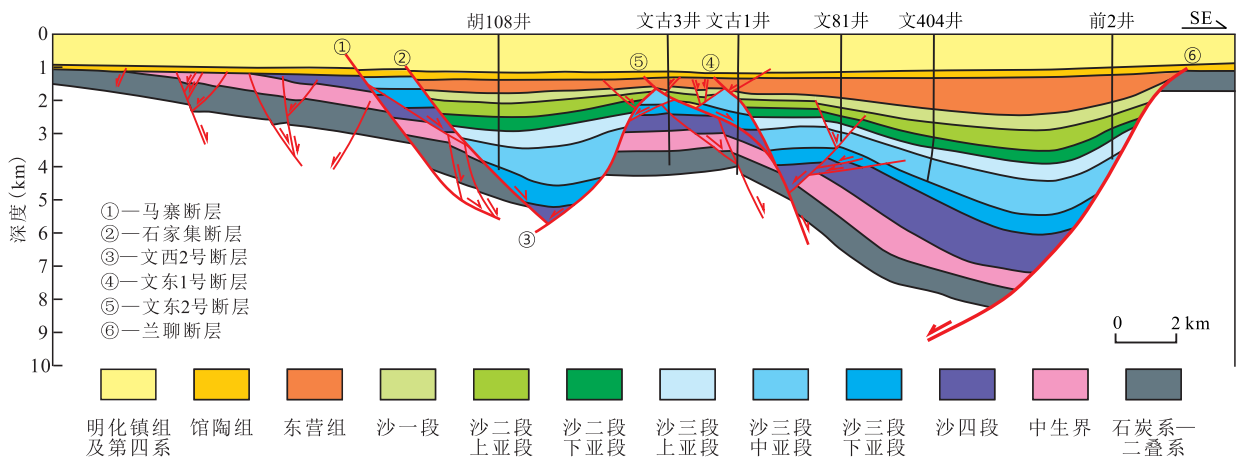


图3 过东濮凹陷东西向区域地质剖面(位置见图2测线A)

Fig.3 EW section passing through Dongpu Sag(Line A in Fig.2)

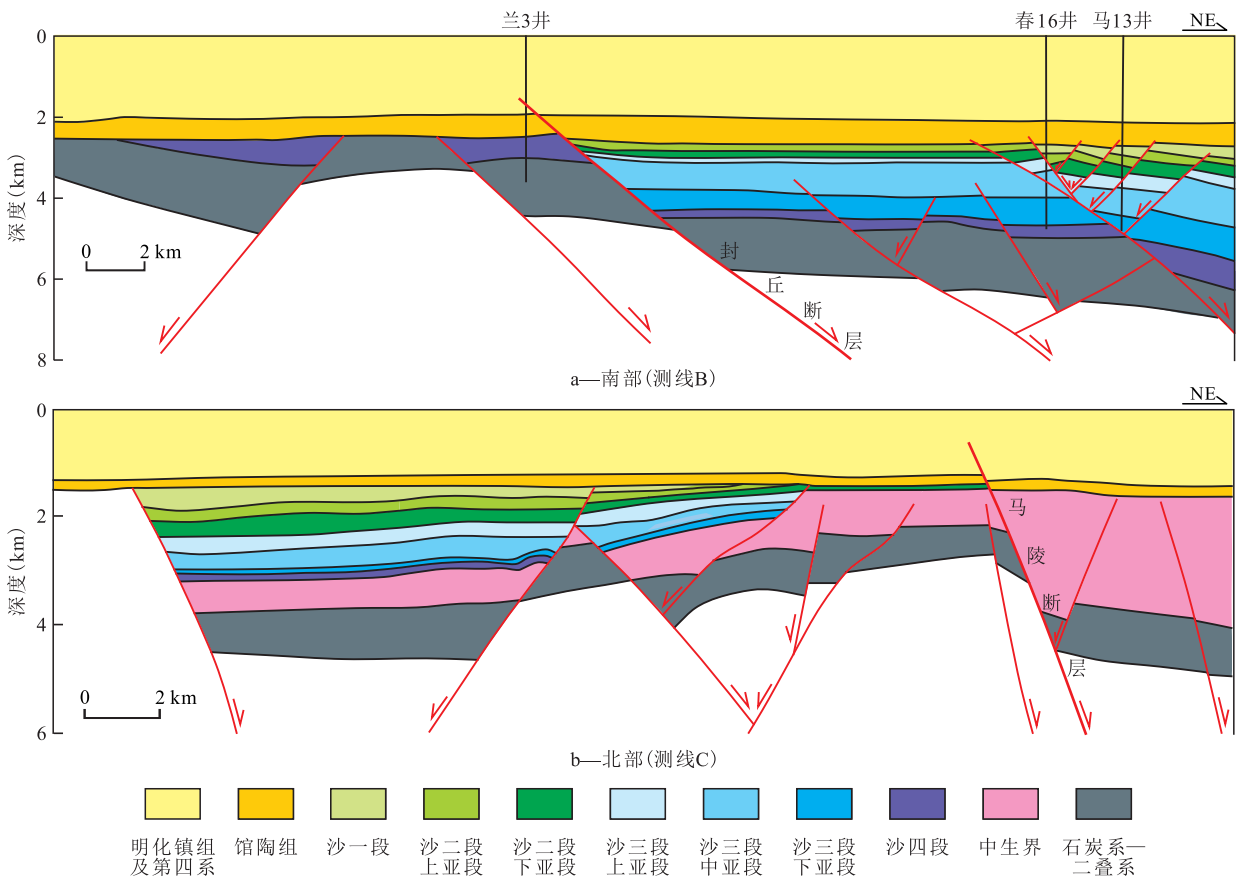


图4 过东濮凹陷南部和北部地质剖面(位置见图2测线B和C)

Fig.4 Sections passing through southern and northern Dongpu Sag(Lines B and C in Fig.2)

轴之比为1~2)共3种凹陷类型(图1)。其中,窄长型凹陷主要分布于渤海湾盆地郜庐断裂走滑构造带、兰聊断裂走滑构造带和太行山断裂走滑构造带,并受其中1组走滑断裂控制,例如辽河凹陷辽西凹陷的长轴与短轴之比为11,辽中凹陷的长轴与短轴之比为12。过渡型凹陷主要分布于拉分-走滑过渡区,受一强一弱2组断裂控制,例如冀中拗陷霸县凹陷的长轴与短轴之比为2.2,保定凹陷的长轴与短

轴之比为3。开阔型凹陷主要分布于中部拉分构造带,受北东、北西向2组断裂共同控制,例如黄骅拗陷北塘凹陷的长轴与短轴之比为1.2,南堡凹陷的长轴与短轴之比为1.6。

东濮凹陷受兰聊断裂走滑带控制,其长轴与短轴之比为4.2,为窄长型凹陷,盆地空间小,有利于油气的近源聚集。东濮凹陷古近纪盆地开裂晚,导致烃源岩发育层位比较新,为沙四段上亚段—沙三段

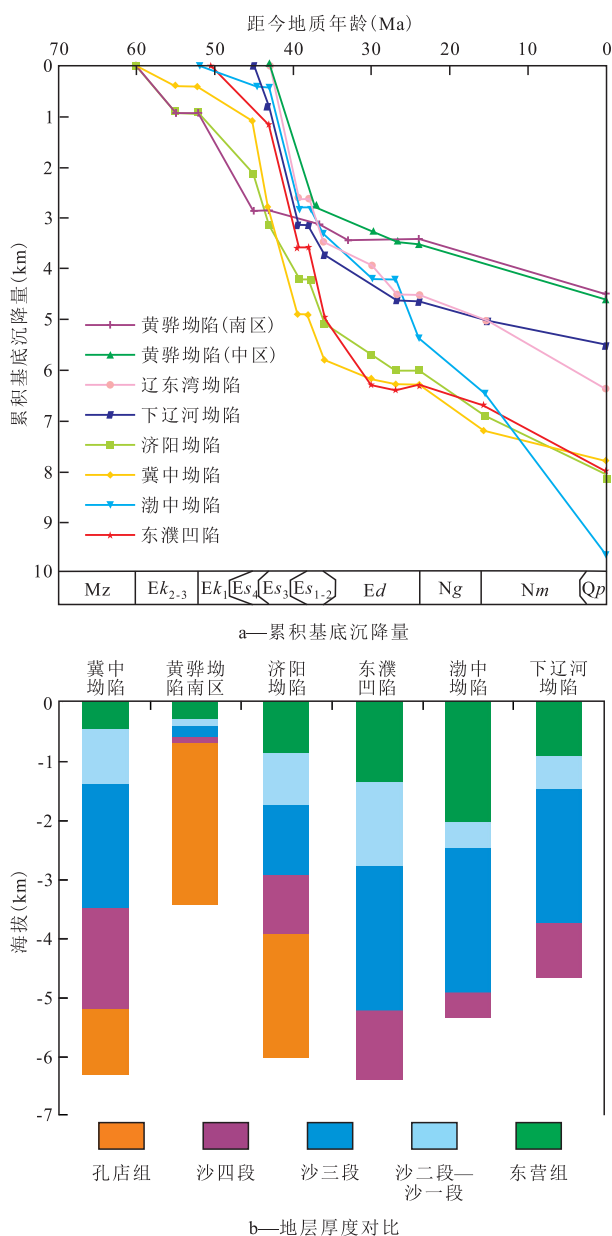


图5 渤海湾盆地新生代不同地区累积基底沉降量

Fig.5 Cumulative base sedimentation in different Cenozoic regions of Bohai Bay Basin

下亚段;古近系沉降深且速率快,导致烃源岩的品质偏差,实测东濮凹陷古近系烃源岩样品的总有机碳含量,其中大于2%,1%~2%,0.4%~1%及小于0.4%的样品分别占总样品数的6.7%,13.3%,33%和47%。其烃源岩总有机碳含量在渤海湾盆地为中等偏下。

2 对油气成藏的控制作用

2.1 构造格局控制油气藏类型

根据东濮凹陷20条主测线地震剖面解析结果可以看出,在不同沉积时期主干断层的活动强度存在差异,且不同区段位移分配不均匀。控盆的兰聊

断层在沙四段上亚段和沙三段下亚段沉积时期活动强烈,垂直断距大;沙三段下亚段沉积时期之后兰聊断层活动相对减弱,控注的二、三级断层大量发育。兰聊断层位移变化具有分段性特征,暗示横向构造的存在。在沙四段及沙三段下亚段沉积时期,盆地中北部控注断层发育较多,之后南部控注断层开始发育。断层活动具有期次性和迁移性,控制东濮凹陷形成多凸多洼的构造格局^[11-12]。

古近纪东濮凹陷主要同沉积断层大量开始活动时间为沙四段沉积时期、沙三段下亚段沉积时期、沙三段中亚段1—4砂组沉积时期、沙二段上亚段沉积时期,分别对应初始裂陷期、强烈裂陷期、多断裂陷期、裂陷减弱期4个时期,从断层平面分布特征可以看出(图6),受东西向褶皱基底影响,沙四段沉积时期湖盆保留东西向展布特征。断层活动具有分期性、分段性变化特征。沙三段下亚段沉积时期,兰聊断层在凹陷中部和南部活动强烈,黄河断层和长垣断层不发育;而在沙二段上亚段沉积时期兰聊断层在凹陷北部活动强烈,此时黄河断层和长垣断层活动强度增大,与沙三段下亚段沉积时期断裂活动相比,东濮凹陷整体发生跷跷板式变化。走滑应力分布从侧列变为羽列,且逐步加强。二级、三级断层持续活动导致凹陷分割,由单断大洼向多断多凸多洼转变。

古近纪东濮凹陷构造应力方向发生改变,太平洋板块向西俯冲之后东撤,地幔隆升从东向西发生转移,受东西向的拉张应力影响,近东西向盆地逐步转变为北东向多洼裂陷盆地。古近系基底形成东西向转换带和转换断层,在古近纪发育的北东向断层的切割下,构造带在多次、多性质应力改造下形成复杂的构造单元。依据构造、沉积特征及划分标准,结合最新的构造研究成果,对东濮凹陷的构造单元进行划分。将东濮凹陷亚二级构造单元划分为兰聊断阶带、东部次凹带、中央低凸带、西部次凹带、西部斜坡带。其中,兰聊断阶带构造单元之前的划分依据不清晰,本次研究认为兰聊断层持续活动,为通天断层,以通天断层断点的平面连线作为构造单元的边界,采用斜投影法确定断层在地表的平面位置^[13],与原划分依据相比兰聊断阶带构造单元的划分依据更加合理,三级构造单元划分更加细化。由于不同沉积时期东濮凹陷的构造带转换快,重新厘定后划分出43条一、二级断层,35个正向构造和12个负向构造的三级构造单元。东濮凹陷具有多断多凸多洼的特征,主要同沉积断层大量开始活动的4个时期发育的二级断层为37条,断层

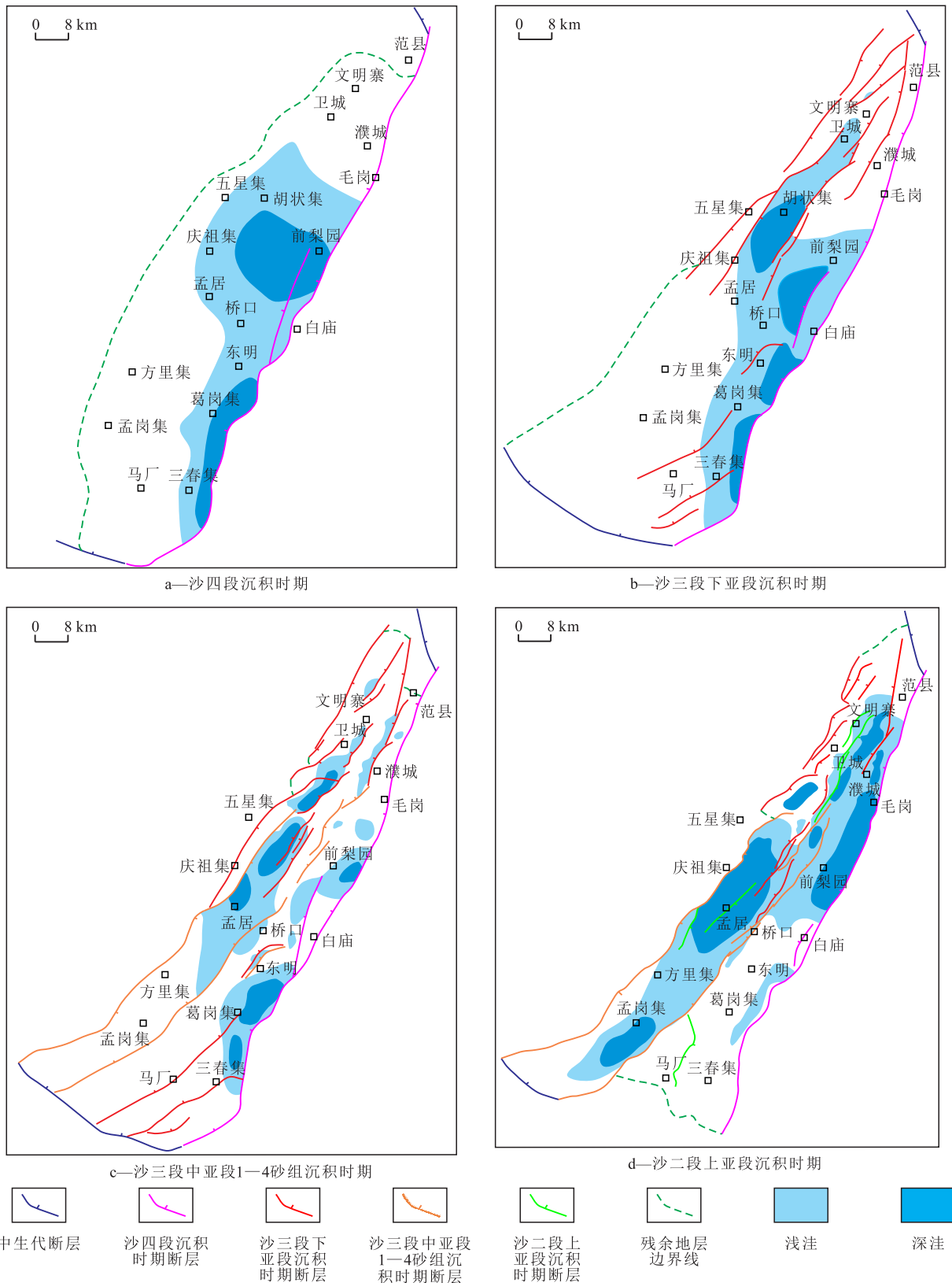


图6 东濮凹陷主要同沉积断层平面分布特征

Fig.6 Plane distribution of main syndepositional faults in Dongpu Sag

总长度为 797 km, 而东濮凹陷的总面积为 5 300 km², 反映出二级断层在凹陷平面分布的密度大, 为强断陷盆地。东濮凹陷与渤海湾盆地其他坳陷相

比, 二级断层数量较多, 分布密度相对较大、分割性强, 以发育断背斜、断鼻、断块构造油气藏为主, 岩性-地层油气藏较少。

2.2 正向构造控制油气富集

东濮凹陷古近系主要发育文留、马厂、胡状集-庆祖集等14个正向构造,约占凹陷勘探面积的45%,主要分布于中央低凸带和西部斜坡带。其中,构造面积大于50 km²的正向构造有13个,大于100 km²的正向构造有8个;文留构造面积最大,为270 km²;文明寨构造面积最小,为20 km²。正向构造活动强度高,控洼断层规模大,除控凹的兰聊断层外,在主要的16条控洼断层中,断距大于500 m的有14条,大于1 000 m的有10条;其中,黄河断层和长垣断层的断距较大,分别达到4 000和3 600 m。

东濮凹陷古近系正向构造具有隆起幅度大、构造坡度陡的特点。在14个正向构造中,隆起幅度大于1 000 m的有8个,为500~1 000 m的有5个;以文留构造和胡状集-庆祖集构造的隆起幅度最大,分别达到3 400和3 300 m,观城构造的隆起幅度最小,为500 m。构造坡度大于10°的有10个,大于15°的有7个;以文留构造和马厂构造坡度最大,分别达到25°和23°。

东濮凹陷古近系发育的正向构造与烃源岩、盖层、储层配置优越。优质烃源岩主要分布于构造主体及周围斜坡,构造顶部到洼陷中心最大距离不超过14 km。正向构造与优质盖层具有良好的匹配关系,沙二段下亚段泥膏岩(北部主体构造厚度大于200 m)和沙三段中上部泥岩、盐岩(北部主体构造厚度大于100 m)为区域盖层,其下探明石油地质储量占总探明石油地质储量的67%。沙二段下亚段广泛分布的河流相砂体和沙三段中亚段中央低凸带主体发育的滩坝砂、低凸带两侧的浊积砂、斜坡带发育的三角洲砂体均与上覆盖层具有良好的配置关系^[14-15]。

东濮凹陷古近系发育的正向构造的圈闭幅度大、坡度陡,油气向高部位运聚充分、动力强,优越的生储盖配置有利于油气富集保存。在油气源条件相似的情况下,正向构造规模决定油气富集程度。例如文留构造的面积为270 km²,其探明油气当量占东濮凹陷总探明油气当量的36%;而凹陷南部地区的油气源条件相对较差,油气探明储量则较少。

2.3 弱构造运动调整下油气接力成藏

综合地热史分析(图7)及地震剖面解释结果认为,东濮凹陷存在3期关键构造运动,分别为印支-燕山运动、东营运动和新构造运动。地震剖面上,三叠系与沙四段分界面局部存在明显的角度不整合(图3)。例如毛岗地区在沙四段沉积时期之前构

造活动强烈,发育转换断层,古地形呈东北高、西南低;三叠纪发生强烈的削截、减薄或尖灭,而印支-燕山运动时间早,对油气分布没有影响;东营组与上覆地层呈角度不整合,盆地或洼陷边缘有明显的削截现象,在西部斜坡带缺失,东营运动经历10 Ma,主要断层继续活动,有利于深层油气的输导。新构造运动时期,明化镇组剥蚀量较小,与上覆地层呈平行不整合,经历1~2 Ma,断层活动较弱,有利于油气的保存。

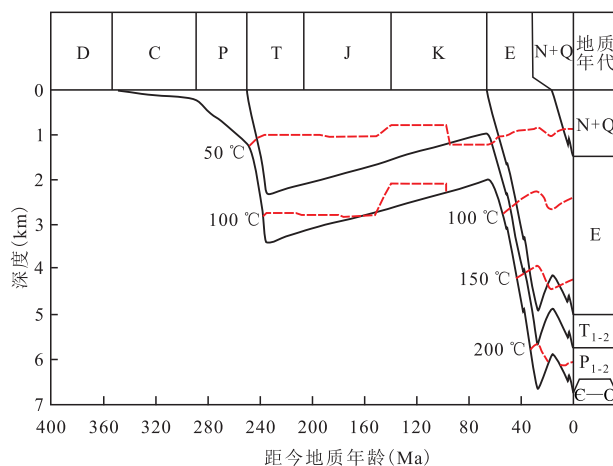


图7 东濮凹陷地热史分析

Fig.7 Geothermal history of Dongpu Sag

东营运动是最重要的构造变革期,其活动范围广、经历时间长,为盆地伸展裂陷阶段向坳陷阶段过渡,对盆地内油气藏的形成和保存起到了重要的控制作用^[16-18]。恢复地层剥蚀量的方法很多,目前众多学者和专家采用了多种方法,但对东濮凹陷东营组剥蚀量恢复结果存在分歧^[19-20]。

本次研究认为东濮凹陷古近系是独立断陷,具有“远源汇聚、高隆闭流”的古地貌环境,首次提出并运用体积守恒法进行东营组剥蚀量恢复,同时结合残余厚度、地震资料、地热指标分析等方法,得出东营组剥蚀厚度分布。从西部斜坡带—中央低凸带—凹陷中心,地层剥蚀量顺次减小,整体为200~800 m。西部斜坡带的剥蚀量为700~800 m,孟岗集洼陷、濮城-前梨园洼陷中心的剥蚀量明显小于其他地区,柳屯洼陷、海通集洼陷、葛岗集洼陷的剥蚀量相比周边地区也较小。兰聊断层、黄河断层、长垣断层等对剥蚀量的影响较大,在断层两侧剥蚀量的差异非常明显。黄河断层下降盘为孟岗集洼陷中心,上升盘为中央低凸带,剥蚀量最大差值达500~600 m,中央低凸带文留-卫城地区的剥蚀量整体为300~600 m。北部地区剥蚀厚度有向西北方向逐渐增大的趋势,南部地区以黄河断层为界,

西部从洼陷中心向西北方向剥蚀量逐渐增加,东部剥蚀量由北向南逐渐增大,马厂、三春集地区的剥蚀量达800 m左右。东营运动使东濮凹陷并不是整体简单地水平抬升,而是在整体抬升的同时伴随着断层活动的差异升降,剥蚀强度较小,改变了前人认为的剥蚀量为1 000~2 000 m^[19-20]。研究区古近系为持续深埋且稳定保存,为油气持续生烃和接力成藏提供了支撑。

2.4 盆地结构控制各油气系统近源分布

东濮凹陷古近系多凸多洼的盆地结构为形成复式油气系统奠定了构造格架基础。依据有效烃源岩分布、油气成藏期古构造脊分布及流体差异性等因素,将东濮凹陷划分为10个油气系统,分别为濮卫、濮城、马寨、柳屯、海通集、前梨园、葛岗集北、葛岗集南、西南洼和观城油气系统(图8,表1)。各油气系统均具有独立的烃源岩区,油气分布受控于周围相邻生油洼陷,油气侧向运移距离较短,为下一步油气资源量计算及勘探评价的基础单元。

烃源岩母质来源分析结果表明,濮卫、濮城、马寨、柳屯、海通集、前梨园油气系统的油气具有高伽马蜡烷、低Pr/Ph的特征,与该区的烃源岩生物标志物特征吻合;西南洼、葛岗集北、葛岗集南油气系统的油气具有低伽马蜡烷、高Pr/Ph的特征,与该区的烃源岩生物标志物特征也吻合^[21-24]。此外,油气成

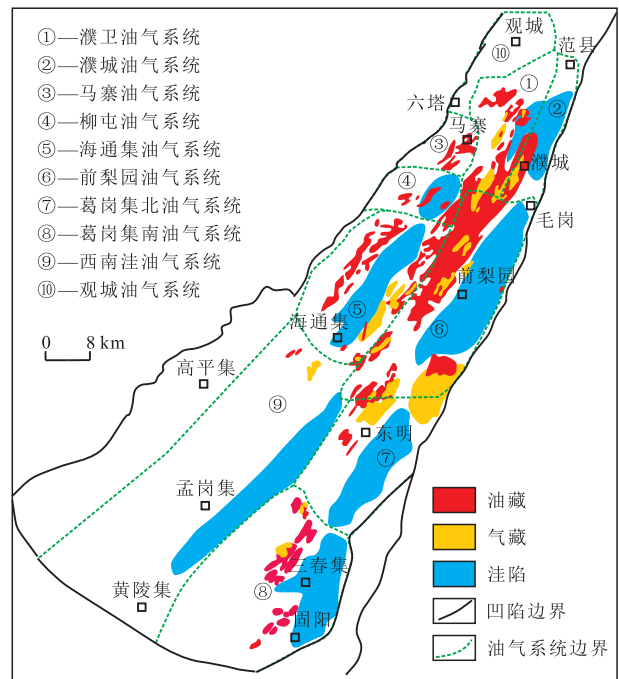


图8 东濮凹陷油气系统划分

Fig.8 Division of petroleum systems in Dongpu Sag

熟度分析结果表明,10个油气系统的油气成熟度差异较大,由高到低依次为前梨园、海通集、葛岗集北、柳屯、葛岗集南、西南洼、濮城、濮卫、马寨和观城油气系统,与该区的烃源岩热演化程度吻合。烃源岩母质来源与油气成熟度分析结果均表明,东濮凹陷10个油气系统的油气均具有近源分布的特征。

表1 东濮凹陷油气系统划分及油气来源
Table1 Division of petroleum systems and oil and gas sources in Dongpu Sag

| 序号 | 油气系统 | 周边构造 | 油 气 来 源 |
|----|------|-------------------|---|
| 1 | 濮卫 | 文明寨、卫城、古云集、户部寨、濮城 | 主体构造油源主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,近洼构造油源主要来自沙三段中亚段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 2 | 濮城 | 濮城、陈营 | 主体构造油源主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,近洼构造油源主要来自沙三段中亚段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 3 | 马寨 | 马寨、马寨北 | 主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段 |
| 4 | 柳屯 | 邢庄、胡状集北、文西北 | 主要来自沙三段中亚段,其次来自沙四段上亚段—沙三段下亚段 |
| 5 | 海通集 | 胡状集、庆祖集、文西、刘庄西 | 主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,其次来自沙三段中亚段和上亚段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 6 | 前梨园 | 文东、文南、刘庄、白庙北、桥口北 | 主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,其次来自沙三段中亚段、上亚段和沙一段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 7 | 葛岗集北 | 桥口南、新霍、唐庄、白庙南 | 主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,其次来自沙三段中亚段和上亚段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 8 | 葛岗集南 | 马厂、徐集、三春集 | 主要来自沙四段上亚段—沙三段下亚段,其次来自沙三段中亚段和上亚段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 9 | 西南洼 | 赵庄、方里集、孟居、南何家、林寨 | 主要来自沙三段中亚段,其次来自沙三段下亚段和沙一段,煤成气来自石炭系—二叠系 |
| 10 | 观城 | 观城 | 沙四段上亚段—沙三段下亚段有一定的生烃能力 |

3 结论

东濮凹陷古近纪盆地为受兰聊断层、封丘断层和马陵断层控制形成的相对独立断陷,具有“远源汇聚、高隆闭流”的古地貌环境。利用体积守恒法,结合残余厚度分析等方法进行东营组剥蚀量恢复,明确东营组剥蚀量整体为200~800 m,古近系持续深埋、稳定保存,为油气持续生烃和接力成藏提供支撑。

东濮凹陷古近纪盆地为距今51 Ma发育的第2期开裂盆地,具有沉降深且快、中间有抬升、拉张量小且弱、断层分隔性强、构造转换快的显著特征。其开裂晚、沉降深且速率快,导致烃源岩主要发育层系较新(沙四段上亚段—沙三段下亚段),烃源岩品质在渤海湾盆地为中等偏下,凹陷空间小,有利于油气近源聚集。

二级断层多且分割性强,导致东濮凹陷以发育构造油气藏为主,岩性-地层油气藏较少。由于研究区构造带转换快,重新厘定后形成43条一、二级断层,35个正向构造和12个负向构造的三级构造单元。其中,古近系主要发育文留、马厂、胡状集—庆祖集等14个正向构造,圈闭面积和幅度大、坡度陡,优质烃源岩中心与构造高点距离近,具有良好的储盖组合,油气向高部位运聚充分、动力强,有利于油气富集保存。

东濮凹陷具有多断多凸多洼的盆地结构特征,为形成复式油气系统奠定了构造格架基础。依据有效烃源岩分布、油气成藏期古构造脊分布及流体差异性等因素,将东濮凹陷古近系划分为10个油气系统,各油气系统均具有独立的烃源岩区,油气侧向运移距离较短,具有近源分布的特征。

参考文献

- [1] 李三忠,索艳慧,戴黎明,等.渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J].地学前缘,2010,17(4):64-89.
LI Sanzhong, SUO Yanhui, DAI Liming, et al. Development of the Bohai Bay Basin and destruction of the North China Craton [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(4): 64-89.
- [2] REN J Y, TAMAKI K, LI S T, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas [J]. Tectonophysics, 2002, 344(3/4): 175-205.
- [3] 徐守余,严科.渤海湾盆地构造体系与油气分布[J].地质力学学报,2005,11(3):259-265.
XU Shouyu, YAN Ke. Structural system and hydrocarbon distribution in the Bohai Gulf Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(3): 259-265.
- [4] 漆家福.渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J].中国地质,2004,31(1):15-22.
QI Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation [J]. Geology in China, 2004, 31(1): 15-22.
- [5] 池英柳,赵文智.渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集[J].石油学报,2000,21(2):14-20.
CHI Yingliu, ZHAO Wenzhi. Strike-slip deformation during the Cenozoic and its influence on hydrocarbon accumulation in the Bohai Bay Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(2): 14-20.
- [6] QI J F, YANG Q. Cenozoic structural deformation and dynamic processes of the Bohai Bay basin province, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(4): 757-771.
- [7] 宋景明,何毅,陈笑青.对渤海湾盆地断裂体系的认识[J].石油地球物理勘探,2009,44(增刊1):154-157.
SONG Jingming, HE Yi, CHEN Xiaoqing. Recognition of fault systems in Bohai Bay Basin in China [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(Supplement 1): 154-157.
- [8] 滕长宇,邹华耀,郝芳.渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集[J].中国科学:地球科学,2014,44(4):579-590.
TENG Changyu, ZOU Huayao, HAO Fang. Control of differential tectonic evolution on petroleum occurrence in Bohai Bay Basin [J]. Scientia Sinica: Terrae, 2014, 44(4): 579-590.
- [9] 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.
- [10] 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾盆地新生代构造演化[J].石油大学学报:自然科学版,1995,19(S1):1-6.
QI Jiafu, ZHANG Yiwei, LU Kezheng, et al. Cenozoic tectonic evolution in Bohai Bay Basin province [J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 1995, 19(S1): 1-6.
- [11] 余海波,程秀申,漆家福,等.东濮凹陷古近纪断层活动性对洼陷演化及生烃的影响[J].油气地质与采收率,2018,25(6):24-31.
YU Haibo, CHENG Xiushen, QI Jiafu, et al. Effects of Paleogene faulting on the subsag evolution and hydrocarbon generation in Dongpu Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(6): 24-31.
- [12] 余海波,程秀申,徐田武,等.东濮凹陷古近纪盆地结构控烃控藏特征[J].现代地质,2020,34(6):1119-1131.
YU Haibo, CHENG Xiushen, XU Tianwu, et al. Characteristics about hydrocarbon accumulation controlled by structure in Paleogene of Dongpu Sag [J]. Geoscience, 2020, 34(6): 1119-1131.
- [13] 王步清,黄智斌,马培领,等.塔里木盆地构造单元划分标准、依据和原则的建立[J].大地构造与成矿学,2009,33(1):86-93.
WANG Buqing, HUANG Zhibin, MA Peiling, et al. Establishment of division standard, evidence and principle of structural units in Tarim Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(1): 86-93.

- [14] 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.
- [15] 尚墨翰. 东濮凹陷构造—沉积演化与油气成藏的关系[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 50-53, 57.
SHANG Mohan. Relationship between structural-depositional evolution and oil-gas accumulation in Dongpu sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 50-53, 57.
- [16] 丁增勇, 王良书, 钟锴, 等. 渤海湾盆地新生界残留地层分布特征及其构造意义[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 405-413.
DING Zengyong, WANG Liangshu, ZHONG Kai, et al. Distribution characteristics and tectonic significance of Cenozoic remnant formation, Bohai Bay Basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(3): 405-413.
- [17] 史卜庆, 吴智平, 王纪祥, 等. 渤海湾盆地东营运动的特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 1999, 21(3): 196-200.
SHI Buqing, WU Zhiping, WANG Jixiang, et al. A study on the geological characteristics and geodynamic origin of Dongying movement, Bohai Bay Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(3): 196-200.
- [18] 纪友亮, 胡光明, 黄建军, 等. 渤海湾地区中生代地层剥蚀量及中、新生代构造演化研究[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 351-358.
JI Youliang, HU Guangming, HUANG Jianjun, et al. Eroded strata thickness of Mesozoic and evolution of Mesozoic and Cenozoic basins in the Bohai Bay Basin area [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 351-358.
- [19] 鲁雪松, 蒋有录, 常振恒, 等. 东濮凹陷东营组地层剥蚀厚度估算及其意义[J]. 地质科技情报, 2007, 26(2): 8-12.
LU Xuesong, JIANG Youlu, CHANG Zhenheng, et al. Calculation of the erosion thickness of Dongying formation in Dongpu depression and its significance [J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(2): 8-12.
- [20] 靳广兴, 卓勤功. 东濮凹陷东营组地层剥蚀厚度恢复[J]. 断块油气田, 2006, 13(6): 18-20.
JIN Guangxing, ZHUO Qingong. Estimation of eroded sediment thickness of Dongying formation in Dongpu Depression [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2006, 13(6): 18-20.
- [21] 李红磊, 张云献, 周勇水, 等. 东濮凹陷优质烃源岩生烃演化机理[J]. 断块油气田, 2020, 27(2): 143-148.
LI Honglei, ZHANG Yunxian, ZHOU Yongshui, et al. Hydrocarbon evolution mechanism of high quality source rock in Dongpu Sag [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2020, 27(2): 143-148.
- [22] 谈玉明, 李红磊, 张云献, 等. 东濮凹陷古近系优质烃源岩特征与剩余资源潜力分析[J]. 断块油气田, 2020, 27(5): 551-555, 572.
TAN Yuming, LI Honglei, ZHANG Yunxian, et al. Analysis to high quality source rock characteristics and residual resource potential in Dongpu Sag in Paleogene [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2020, 27(5): 551-555, 572.
- [23] 徐田武, 张洪安, 李继东, 等. 渤海湾盆地东濮凹陷盐湖相成烃成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(2): 248-261.
XU Tianwu, ZHANG Hong'an, LI Jidong, et al. Characters of hydrocarbon generation and accumulation of salt-lake facies in Dongpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(2): 248-261.
- [24] 余海波, 程秀申, 漆家福, 等. 东濮凹陷古近纪断裂活动对沉积的控制作用[J]. 岩性油气藏, 2019, 31(5): 12-23.
YU Haiibo, CHENG Xiushen, QI Jiafu, et al. Control of fault activity on sedimentation of Paleogene in Dongpu Sag [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(5): 12-23.

编辑 邹澂滢