

吴斌. 渤海湾盆地辽东-渤东凸起构造带地质结构与形成演化[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(7): 25-35.

WU Bin. Geological architecture and tectonic evolution of Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt, Bohai Bay Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(7): 25-35.

渤海湾盆地辽东-渤东凸起构造带 地质结构与形成演化

吴斌

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要:为了明确渤海湾盆地辽东-渤东凸起构造带的形成演化过程与油气的关系,结合研究区最新三维地震数据,详细分析了辽东-渤东凸起构造带的地质结构特征和隆升时间,对比了构造变形特征,确定了隆升时间的差异性,在此基础上建立了辽东-渤东凸起构造带的形成演化模式。研究认为,渤东低凸起受控于伸展断层,辽东凸起受控于早期伸展断层和晚期走滑断层,构造带内除辽东断层以外,各主干断层均在孔店组—沙四段沉积期开始活动,峰值期出现在沙三段和东营组沉积期,馆陶组沉积后断层活动变弱。辽东-渤东凸起构造带从南向北逐渐抬升:渤东低凸起在沙四段沉积末期抬升,辽东凸起南段在沙三段沉积末期抬升,辽东凸起北段在东三段沉积末期抬升。构造演化分为孔店组-沙四段沉积期、沙三段沉积期、沙一二段沉积期、东三段沉积期、东营组沉积末期和现今等 6 个阶段。构造演化与油气运聚成藏密切相关,辽东-渤东凸起构造带的形成时间早于周缘生烃凹陷主要生、排烃期,有利于油气在凸起带附近聚集。渤东低凸起由伸展断层控制,油气主要在凸起区聚集成藏;辽东凸起由伸展断层与走滑断层共同控制,油气主要在斜坡区聚集成藏。

关键词:渤海湾盆地; 辽东-渤东凸起构造带; 地质结构; 隆升时间; 构造演化

中图分类号:P744.4; P618.13

文献标识码:A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.243

0 引言

凸起是含油气盆地的次一级区域性正向构造单元^[1],是了解含油气盆地形成演化与构造变形特征的重要窗口。同时,其独特的形成演化史和良好的油气成藏条件又决定了凸起是油气聚集的主要部位^[2-4],是油气勘探的重要领域。因此,详细揭示凸起的地质结构、隆升时间、形成机制、构造演化史及其与油气成藏作用之间的关系始终是盆地动力学和石油地质学共同研究的方向。

收稿日期: 2023-10-23

资助项目: 国家科技重大专项课题“中国近海富烃凹陷优选与有利勘探方向预测”(2016ZX05024-002); “十四五”国家重大科技项目“近海重点潜在富烃洼陷评价技术”(KJGG2022-0301)

第一作者: 吴斌(1985—),男,博士,高级工程师,主要从事沉积盆地构造特征方面的研究工作。E-mail: wubin20@cnooc.com.cn

渤海湾盆地内凸起众多,在辽西凸起、石臼坨凸起等地区已发现大量的油气田和含油气构造,但是位于东北部的辽东-渤东凸起构造带(图 1)却少有油气发现。前人研究认为,辽东-渤东凸起构造带是区域伸展构造变形和郯庐断裂带右旋走滑变形叠加的结果^[5-7],其结构与构造演化过程复杂,从而导致油气成藏条件与其他凸起构造带具有明显差异。辽东-渤东凸起构造带的形成演化控制了研究区大多数圈闭的形成,影响沉积物源发育、沉积充填过程和有利储集相带展布,并且决定该凸起构造带的地质年龄及油气潜力,所以厘清该凸起构造带的隆升时间非常关键。目前,对于辽东凸起初始隆升时间的研究存在较大的争议。一些学者认为辽东凸起北段隆升时间为沙三段沉积末期^[8],而另一些学者则认为其形成时间较晚,形成于东三段沉积末期^[9-10]。同样,对于渤东低凸起的隆升时间也存在 4 种观点: ①渤东低凸起是受郯庐断裂在中生代

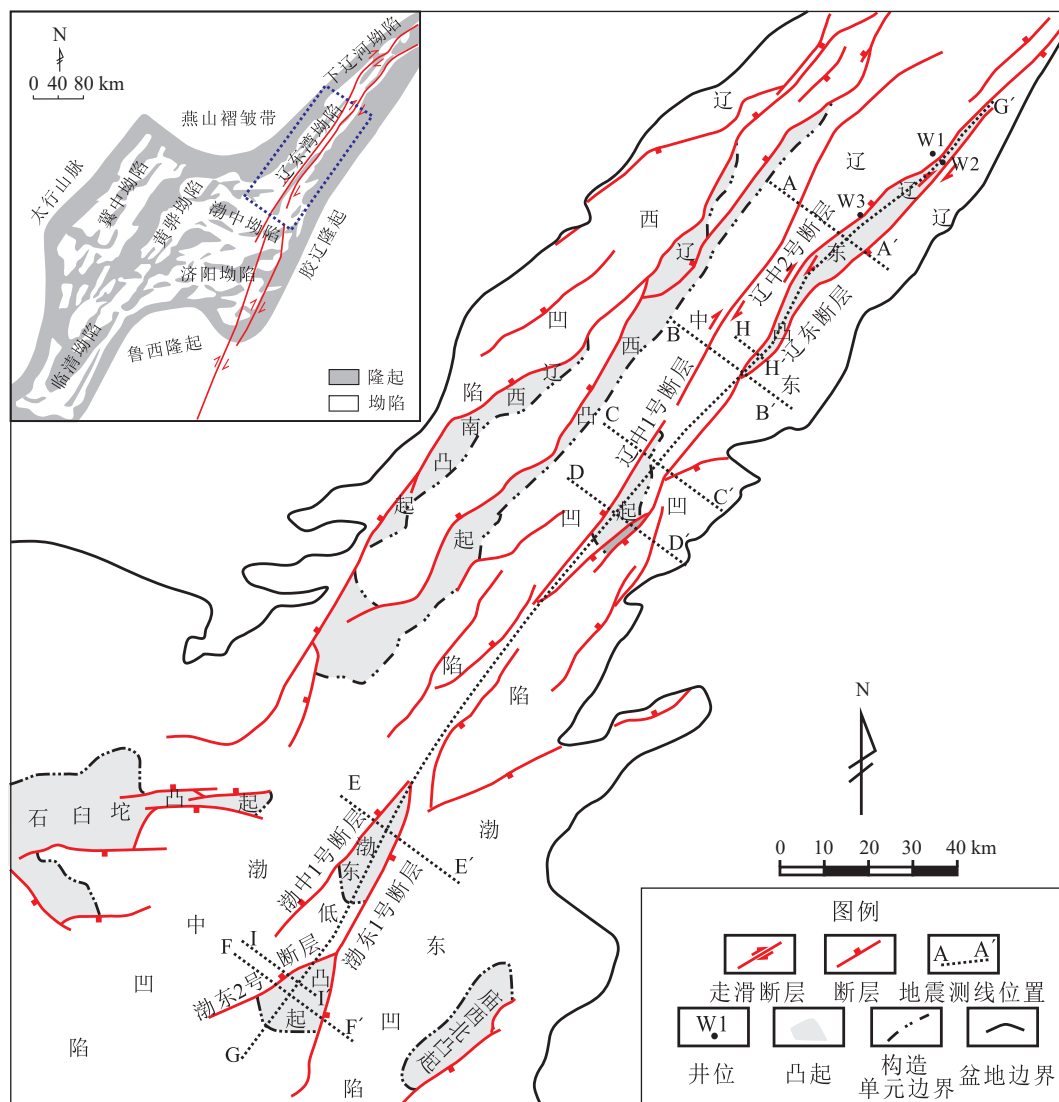


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

末期的走滑作用形成^[11]；②渤东低凸起在沙三段沉积末期受区域伸展-走滑作用形成^[12]；③渤东低凸起形成时间较晚，在东二段沉积前受EW向伸展作用形成^[3]；④渤东低凸起南北两端隆升存在差异性，北段隆升时间早于南段^[13]。

针对上述问题，本文基于钻井测井、三维地震和地球化学资料，对辽东-渤东凸起构造带的构造特征、隆升时间进行详细分析，查明了构造变形特征，确定了隆升时间，在此基础上结合区域背景分析，建立了辽东-渤东凸起构造带的形成演化模式，探讨了其对油气成藏的控制作用。

1 区域地质背景

渤海湾盆地位于中国东部，是中国含油气最丰

富的盆地之一，总面积约 $2.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，其北临燕山褶皱带，南抵鲁西隆起，东接胶辽隆起，西至太行山脉，平面上呈斜体菱形（图1a）。辽东-渤东凸起构造带位于渤海湾盆地的东北部，包括辽东凸起和渤东低凸起，凸起被夹持在凹陷中（图1b）。研究区发育前新生界基底，古近系孔店组（ E_{1-2k} ）、沙河街组（ E_2s ）、东营组（ E_3d ），新近系馆陶组（ N_1g ）、明化镇组（ N_2m ）和第四系的沉积盖层。

渤海湾盆地是发育在华北克拉通上的大型中、新生代裂陷盆地^[14-16]，就动力学背景而言，目前普遍认为渤海湾盆地的形成受岩石圈伸展、深部地幔上涌和板块构造运动的影响^[17-19]。岩石圈底部地幔上涌引起的地壳引张作用是古近纪断陷盆地形成和演化的主要原因^[20-21]；太平洋板块俯冲、印度板块与欧亚板块碰撞引起的走滑拉分作用，使盆地

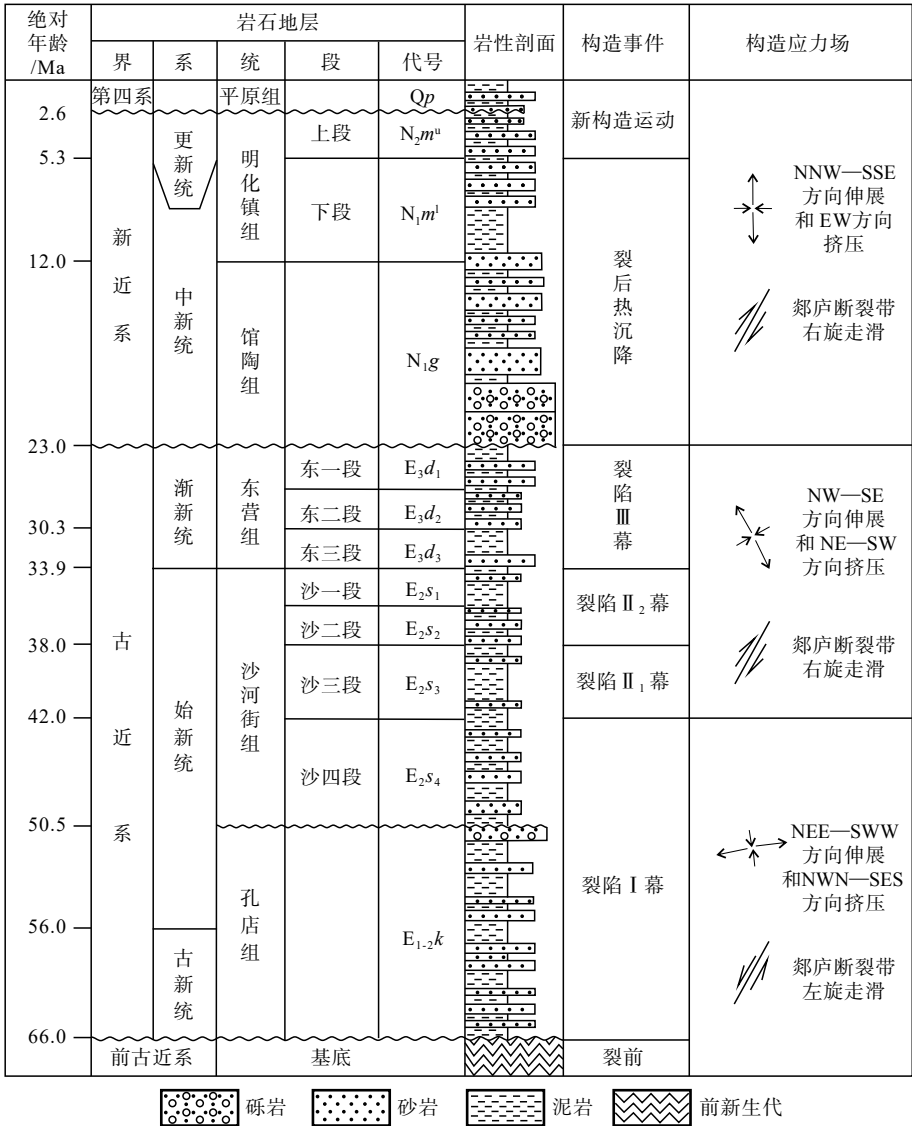
处于右旋走滑应力场之下,盆地内发育走滑性质的构造变形或被走滑作用改造,控制了古近纪和新近纪走滑拉分盆地的形成和演化^[22-24]。

古新世—早始新世(65~42 Ma),受西太平洋板块 NNW 向俯冲和郯庐断裂带左旋走滑作用的影响^[23,25],渤海湾盆地在 SWW—NEE 向伸展和左旋走滑作用的影响下,沉积了孔店组和沙四段。中晚始新世(42~32.8 Ma),受印度-欧亚板块 NE 向硬碰撞的影响,太平洋板块转为 NWW 向俯冲,郯庐断裂带转为右旋走滑,盆地在 NW—SE 向伸展及右旋走滑作用的影响下^[22,26],沉积了沙三段和沙一、二段。渐新世(32.8~23.3 Ma),太平洋板块 NWW 向俯冲速率增大,印度-欧亚板块持续硬碰撞,郯庐断裂带右旋走滑作用进一步增强^[27-28],盆地受裂陷

伸展和右旋走滑作用的影响,沉积了东营组。在东营组沉积末期发生的喜山 II 幕构造运动使渤海湾地区地壳发生大范围上升,形成了古近系与新近系之间的区域不整合面^[29]。进入新近纪(23 Ma 至今),受太平洋板块 NNW 向俯冲以及日本海大规模的急剧隆升作用的影响,盆地受控于近 NS 向的裂陷伸展和右旋走滑作用^[25],导致了断层的复活和广泛的岩浆作用,稳定沉积了馆陶组、明化镇组和第四系(图 2)。

2 地质结构

渤海湾盆地辽东-渤东凸起构造带整体走向呈 NNE 向,具有西南低、东北高的特征。凸起两侧有



据文献 [30-31] 修改

图 2 渤海湾盆地辽东-渤东凸起构造带地层特征和构造应力场

Fig.2 Generalized stratigraphy and tectonic stress regime of Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt

一系列 NNE 和 NE 方向的断层将其与相邻的凹陷相隔。辽东-渤东凸起构造带在发展演化过程中与其两侧的边界断层同步消长,但该凸起构造带在不同区段的结构特征,断层样式和地层展布存在差异(图 3)。

2.1 辽东凸起

辽东凸起由北段和南段 2 部分组成。辽东凸起北段夹持于辽中 2 号断层和辽东断层之间。辽中 2 号断层走向为 NE 向,倾向为 NW 向,具有“Y”字型剖面组合样式,控制了辽中北洼新生代沉积。辽东断层走向为 NNE 向,是一条近于直立的断层,走滑特征明显,对辽东凹陷沉积的控制作用不明显(图 3a、b)。辽中 2 号断层和辽东断层在凸起的南段相交,并且辽东断层切割辽中 2 号断层(图 3b)。凸起局部残留孔店组—沙四段和东一二段,整体被新近系—第四系覆盖。

辽东凸起南段夹持于辽中 1 号断层和辽东断层之间。辽中 1 号断层走向为 NNE 向,倾向为 NW 向,具有“Y”字型剖面组合样式,控制了辽中中洼新生代沉积。凸起上残留孔店组—沙四段、沙三段、东一二段,整体被新近系—第四系覆盖(图 3c、d)。

2.2 渤东低凸起

渤东低凸起整体上呈 NE 走向,凸起被两侧的断层所夹持,呈双断地垒结构(图 3e、f)。渤东低凸起有南、北 2 个高点,被中部的斜坡分成南、北 2 部分。渤东低凸起北部受控于渤中 1 号断层和渤东 1 号断层。渤中 1 号断层位于渤东低凸起北段西侧,走向为 NNE 向,倾向为 NWW 向,断层较陡直,在深层主要表现为正断层特征,而浅层分支断层明显增多,并呈雁行式排列,控制了渤中凹陷新生界的沉积。渤东 1 号断层走向 NNE,倾向 SEE,断层切割较深,浅层与调节断层相交,呈“Y”字型剖面组合样式,控制了渤东凹陷新生界的沉积(图 3e)。渤东 1 号断层和渤东 2 号断层分别位于渤东低凸起南段东、西两侧,走向分别为 NNE 和 NE 向,倾向分别为 SEE 和 NW 向。在渤东低凸起南段的倾没端,渤东 1 号和渤东 2 号断层发生相交,在平面上形成“入”字型或“屋脊”状构造。在剖面上,这 2 条断层均表现为断面直立,断距较大,浅层发育花状构造,地层构造变形程度相对较弱。凸起上古近系东二下亚段直接覆盖于孔店组或中生界之上,缺失

部分孔店组、沙河街组和东营组(图 3f)。

辽东-渤东凸起构造带纵向上总体表现为“北高南低”的结构特征(图 3g)。辽东凸起新生界沉积厚度较薄,浅层断层不发育,古近系顶部遭受强烈的剥蚀,凸起区大部分地方缺失孔店组、沙河街组和东营组,与新近系馆陶组呈角度不整合接触。渤东低凸起新生界沉积厚度较厚,浅层断层发育,凸起区东二下亚段直接覆盖于孔店组、中生界或元古界潜山之上,呈不整合接触。

3 构造带断层活动性

在断陷盆地,凸起与断层往往相伴而生、兴衰同步^[32-33],断层的活动特征与相邻凸起带的构造演化联系密切^[34-35]。在辽东-渤东凸起构造带周缘有多条断层,主要有辽中 1 号断层、辽中 2 号断层、辽东断层、渤中 1 号断层和渤东 1 号断层。通过最新的三维连片地震数据,求取了这 5 条断层的活动速率,对比其演化特征和规律(图 4)。

除辽东断层以外,各主干断层均在孔店组—沙四段沉积期开始活动,沙三段和东营组沉积期断层活动性最强,馆陶组沉积开始后断层活动微弱,其中,辽中 2 号断层垂向活动最为显著,断层的最大活动速率为 270 m/Ma。在辽东凸起,辽中 2 号断层活动性最强,辽中 1 号断层活动性次之,辽东断层的活动性最弱。在渤东低凸起,渤中 1 号断层的活动性大于渤东 1 号断层。

除上述几条主干断层之外,在辽东-渤东凸起构造带之上还发育有一系列 NE 和近 EW 向次级断层,这些断层对辽东-渤东凸起的形成控制作用不明显,多发育在东营组沉积,仅对凸起进行了一定程度的改造。

4 构造带隆升时间

在构造特征研究的基础上,对地层分布特征、接触关系、沉积特征、事件性沉积响应等开展了研究,厘清了辽东-渤东凸起构造带的隆升时间,重塑其构造演化过程。

4.1 辽东凸起隆升时间

地层的垂向发育和横向展布体现了盆地构造单元的形成与演化^[36]。在辽东凸起北段西侧,辽中凹陷古近纪地层沉积厚度大、层位全。在东侧辽东

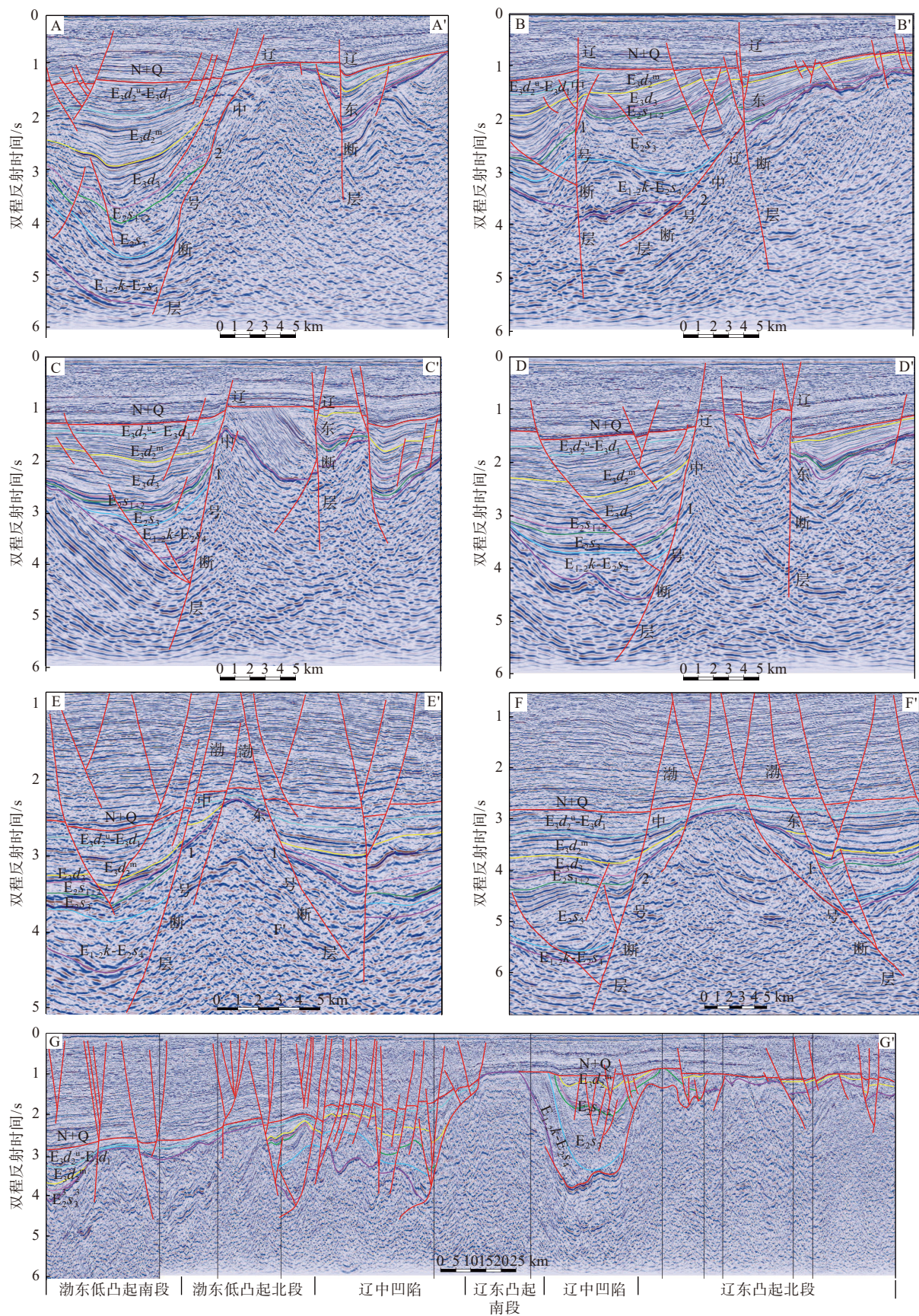


图 3 辽东-渤东凸起构造带结构剖面

Fig.3 Structural profiles of Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt

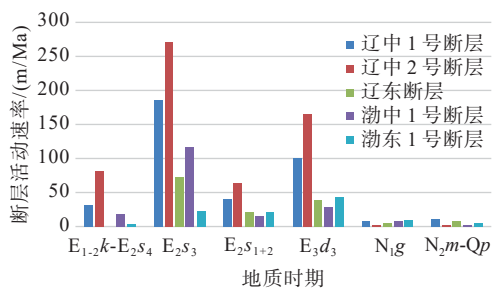


图4 辽东-渤东凸起构造带主要断层活动量对比

Fig.4 Comparison in activity amount of main faults in Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt

凹陷内部地层沉积薄且层位较少, 沉积地层超覆在东部斜坡带之上。凸起上部为孔店组一沙四段, 与上覆东二段呈不整合接触, 由此可以推测辽东凸起北段形成时间是在沙四段沉积末期到东三段沉积末期之间。相对于凸起的北段, 辽东凸起南段后期改造作用强, 在其北部的倾末端可见孔店组一沙三段残留地层发生旋转、抬升剥蚀, 但是其残余厚度

与东侧辽东凹陷内沉积的孔店组一沙三段厚度接近, 推测在沙三段沉积时期辽东凸起南段与辽中凹陷是连为整体的, 到沙三段沉积末期逐渐发生分离和抬升^[8]。

一些学者认为^[37], 如果地层层序向凸起上超, 凸起抬升时间早于地层沉积期; 如果地层层序和凸起的结构平行, 凸起抬升时间则晚于地层沉积期。从过辽东凸起北段 NW—SE 向的地震剖面可以观察到(图 5), 在辽东凸起西部陡坡带, 东二下亚段底界面具有“下削上超”的特征, 凸起高部位东二下亚段具有顶薄翼厚的特征。在上述分析的基础上建立地层接触关系的演化模式(图 5): 在东三段沉积早期, 辽中 2 号断层活动, 在断层西侧稳定沉积了东三段; 到东三段沉积末期, 受辽东凸起北段隆升影响, 断层西侧地层发生逆时针旋转, 致使东三段顶部地层遭受削蚀, 翼部东二下亚段向凸起方向超覆, 说明凸起是形成于东三段沉积末期。

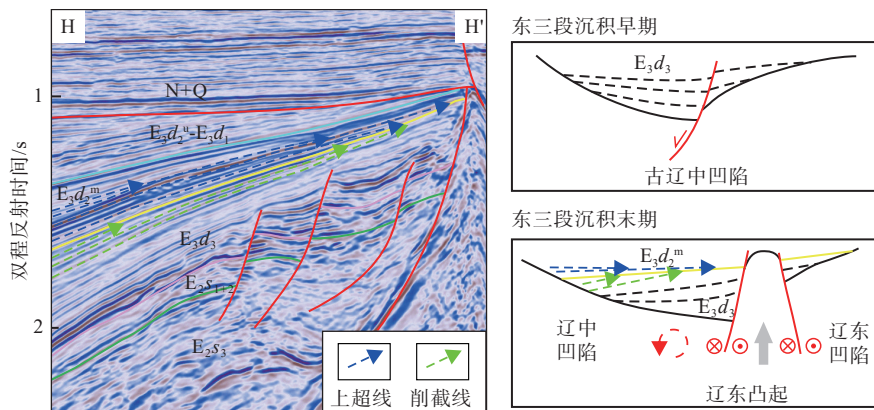


图5 辽东凸起北段地层接触关系和演化模式

Fig.5 Stratigraphic contact relationship in the northern part of Liaodong Uplift

沉积方面的证据以辽东凸起北段西侧的 JZ23-1-A 井为例(图 6)。在沙三段和沙一二段沉积时期沉积物主要为细粒沉积, 反映的是一种远源辫状河三角洲沉积; 到了东三段沉积时期, 沉积物的粒度变粗, 主要沉积的是灰色泥岩、砂岩、含砾砂岩、砾岩, 反映的是一种近源扇三角洲沉积, 沉积物粒度比较粗。这些沉积现象表明在东三段沉积末期凸起已经形成, 成为物源区。另一证据是在辽东凸起北段的东二下亚段发育大量事件性沉积——湖底扇^[9], 表明这一时期凸起已经形成, 持续隆升, 由于凸起区周围坡度变陡, 沉积物的稳定性下降, 使凸起区附近的沉积物滑塌, 产生大量湖底扇沉积。

一些学者^[10]分析了辽东凸起北段 4 口井的磷灰石裂变径迹, 认为辽东凸起北段隆升时间为

30~11.5 Ma。因此, 综上所述认为, 辽东凸起北段的隆升开始时间为东三段沉积末期, 辽东凸起南段的隆升开始时间为沙三段沉积末期。

4.2 渤东低凸起隆升时间

渤东低凸起北段基底之上直接覆盖东二下亚段, 南段则在基底之上覆盖很薄的孔店组, 从地层来看, 北段隆升时间早于南段。从过渤东低凸起南段 NW—SE 向的地震剖面可以观察到(图 7), 在靠近凸起一侧的沙三段、沙一二段、东三段和东二下亚段具有强振幅、低频率和中等连续的楔状反射特征, 为近源扇三角洲沉积, 推测渤东低凸起南段形成时间为沙四段沉积末期, 北段形成时间为中生代末期。

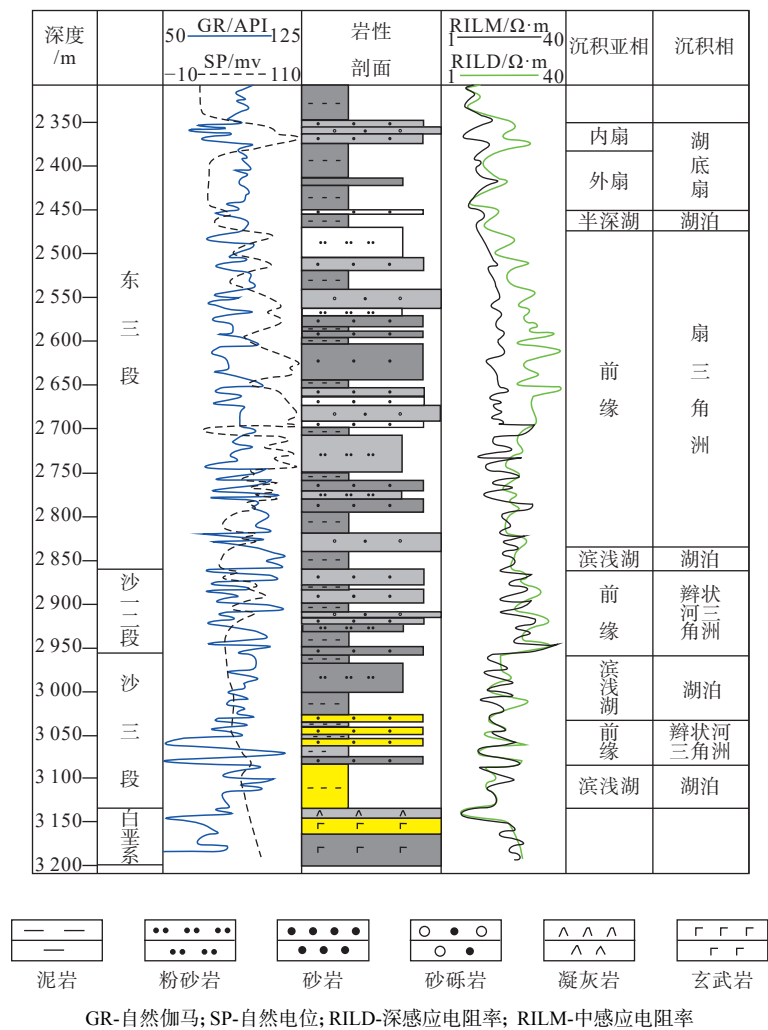
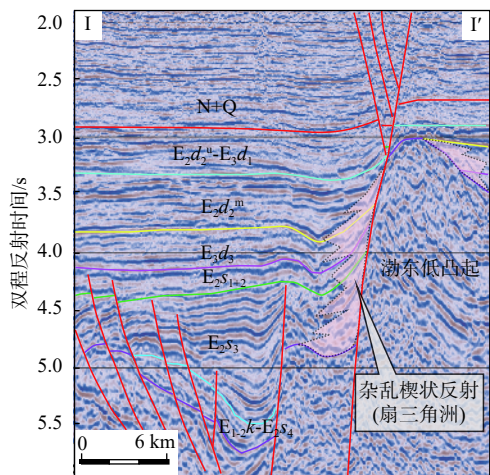


图 6 辽东-渤东凸起构造带 JZ23-1-A 的井相分析

Fig.6 Facies analysis of main wells in Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt



剖面位置见图 1

图 7 渤东低凸起南段的地震相解释剖面

Fig.7 Seismic facies interpretation section of the southern section of Bodong Low Uplift

渤海湾盆地海域部分在新生代演化中经历了多旋回断陷作用^[28],形成多个不整合面,目前认为

渤海湾盆地存在孔店组沉积末期、沙四段沉积末期、沙三段沉积末期及东营组沉积末期等发育一系列构造抬升事件^[38-40]。结合上述分析,认为渤东低凸起形成时间为沙四段沉积末期。

5 构造演化

辽东-渤东凸起构造带所在的渤海湾盆地为华北克拉通东部新生代陆内断陷-拗陷型盆地^[33]。受印度板块与欧亚板块的碰撞作用、西太平洋板块的俯冲作用、地幔热活动影响^[23],具有复杂的构造演化史。本文在区域地质背景分析的基础上,结合地质结构、断层活动性和隆升时间等方面的研究,建立了辽东-渤东凸起构造带的构造演化模式,将其形成演化划分为 6 个阶段(图 8)。

孔店组—沙四段沉积前,渤东低凸起北段受郯庐断裂走滑作用影响已经形成,孔店—沙四段

沉积期,受NW—SE向拉张应力和左旋走滑作用的影响,渤中1号断层和渤东1号断层开始活动,使渤东低凸起北段发生抬升,持续遭受剥蚀,而南段开始抬升,该凸起把大渤中凹陷分割成箕状凹陷结构的渤中凹陷与渤东凹陷。此时辽东凸起两侧边界断层也开始活动,但是辽东凸起南北两段尚未从胶辽隆起剥离,沉积与剥蚀受辽中1断层和辽中2号断层的控制,沉积地层具有“东剥西沉”的特征。

沙三段沉积期,受NW—SE向拉张应力和右旋走滑作用的共同影响,渤东低凸起持续隆升,凸起区普遍缺失沙三段沉积。辽东凸起南段受辽东断层开始活动的影响,率先从胶辽隆起剥离,辽东凸起和辽东凹陷开始发育。辽东凸起北段尚未从胶

辽隆起剥离,沉积与剥蚀受辽中2号断层控制。

沙一二段沉积期,受弱拉张、弱走滑作用影响,渤东低凸起和辽东凸起南段活动微弱,在凸起周缘的斜坡区和凹陷区沉积了一套厚度稳定的地层。

东三段沉积期,受右旋走滑作用持续增强影响,渤东低凸起和辽东凸起南段持续活动,大部分地方缺失东三段沉积。辽东凸起北段受辽东断层强烈活动的影响,从胶辽隆起剥离,成为剥蚀区或水下低凸起。辽东凸起北段的形成标志着古辽中凹陷瓦解,形成了辽中凹陷和辽东凹陷。东营组沉积末期为断拗转换期,研究区整体抬升,受挤压应力场和右旋走滑作用的共同影响,渤东-辽东凸起构造带整体抬升,地层遭受严重剥蚀,形成区域上古近系和新近系之间的角度不整合接触。

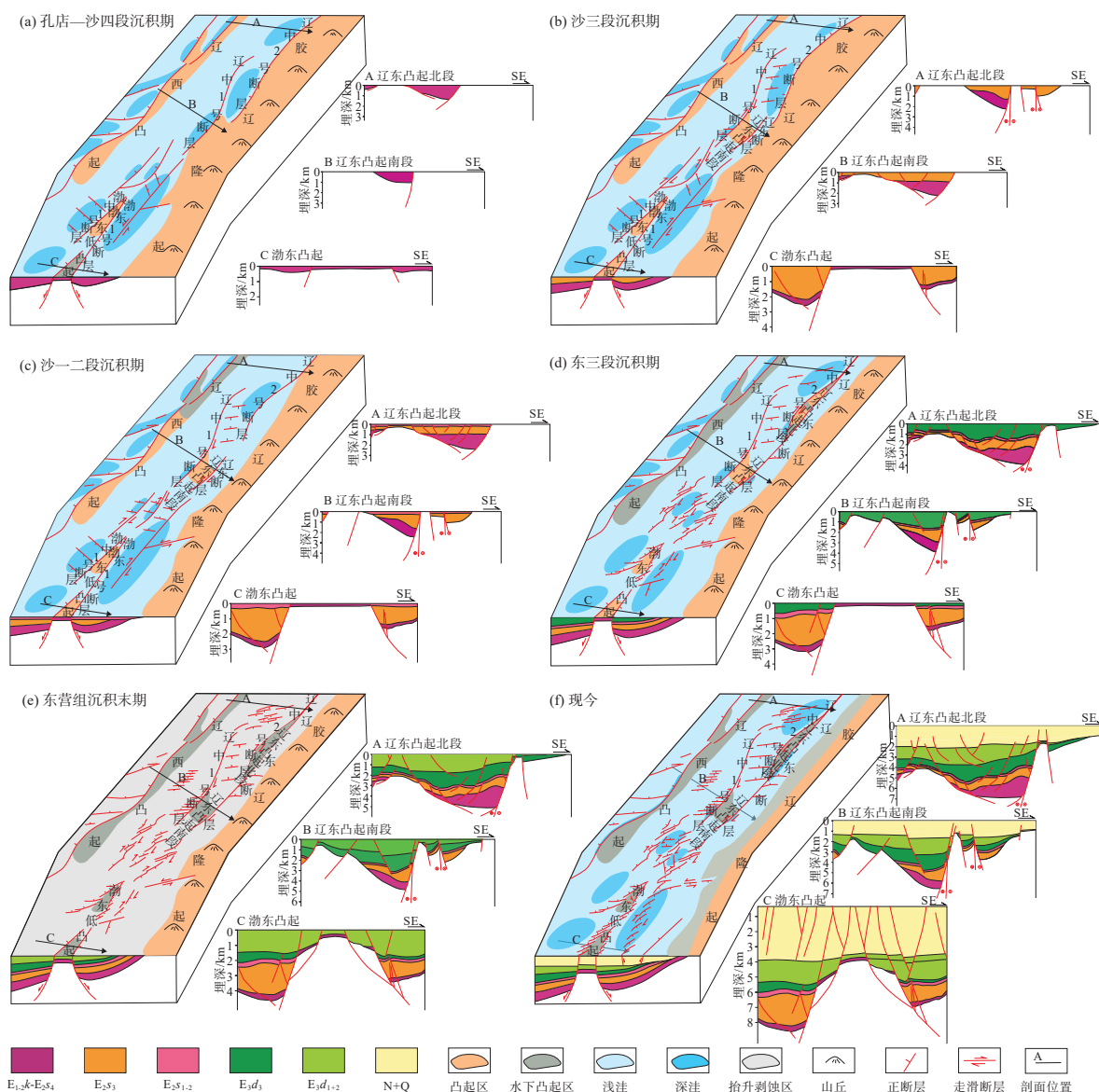


图8 辽东-渤东凸起构造带平面演化模式

Fig.8 Plane evolution model of the Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt

现今研究区进入整体拗陷阶段,受 SN 向弱拉张应力场和弱走滑作用的共同影响,渤海-辽东凸起构造带消亡,新近系—第四系的沉积地层披覆在凸起和凹陷之上。

6 石油地质意义探讨

渤中凹陷和辽中凹陷是辽东-渤东凸起构造带的主要生烃凹陷,发育沙三段、沙一二段和东三段3套烃源岩,主要生、排烃期为东营组沉积末期、馆陶组沉积末期和现今^[5]。辽东-渤东凸起构造带形成时间是在沙四段沉积末期到东三段沉积末期,早于各烃源岩主要生、排烃期,是油气长期运移的指

向区。辽东-渤海凸起构造带经历了复杂构造变形运动,多期构造变形叠加,使得圈闭在纵向上叠复合,形成多种类型的油气藏,主要包括潜山油气藏、断块油气藏和披覆背斜油气藏。从辽东-渤海凸起构造带目前的已钻井看,早期受伸展断层控制后期受走滑断层影响的渤海低凸起,油气沿伸展断层向凸起区聚集,在凸起区的油气藏类型主要是潜山油气藏和披覆背斜油气藏;受走滑断层控制的辽东凸起,油气运移受走滑断层的阻挡,主要在斜坡区聚集,油气藏类型以断块油气藏为主,而在辽东凸起的倾没端,油气主要在斜坡区和凸起区聚集,油气藏类型主要为披覆背斜油气藏和断块油气藏(图9)。

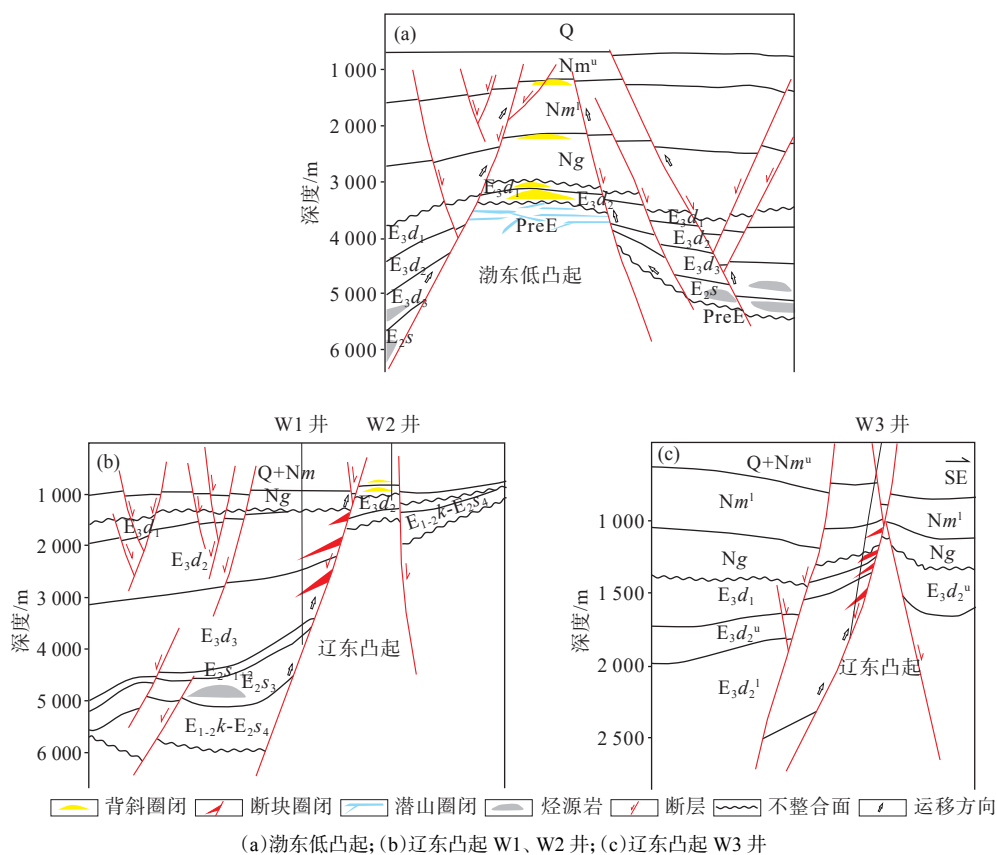


图 9 辽东-渤东凸起构造带成藏模式

Fig.9 The hydrocarbon accumulation model in Liaodong-Bodong uplift tectonic belt

7 结论

(1)明确了辽东-渤海凸起构造带的构造特征,其中,渤海低凸起主要受控于伸展断层,辽东凸起主要受控于早期伸展断层和晚期走滑断层。该凸起构造带除辽东断层以外,各主干断层均在孔店

组一沙四段沉积期开始活动,峰值期出现在沙三段和东营组沉积期,馆陶组沉积开始后断层活动较微弱。

(2) 确定了辽东-渤东凸起构造带隆升时间, 其中, 渤东低凸起南段在沙四段沉积末期抬升, 渤东低凸起北段在中生界沉积末期抬升, 辽东凸起南段在沙三段沉积末期抬升, 辽东凸起北段在东三段沉

积末期抬升。

(3)辽东-渤海凸起构造带的形成演化可以划分为6个阶段:沙四段沉积期、沙三段沉积期、沙一二段沉积期、东三段沉积期、东营组沉积末期和现今。每个时期凸起构造带的构造特征和沉积特征各不相同。

(4)辽东-渤海凸起构造带的形成时间早于周缘生烃凹陷主要生、排烃期,有利于油气在凸起带附近聚集。伸展断层控制的渤海低凸起,油气主要在凸起区聚集成藏;走滑断层控制辽东凸起,油气主要在斜坡区聚集成藏。

参考文献:

- [1] 李曰俊,杨海军,张光亚,等.重新划分塔里木盆地塔北隆起的次级构造单元[J].岩石学报,2012,28(8):2466-2478.
- [2] 吕丁友,张宏国,麻旭刚,等.渤海东部凸起区与斜坡区油气勘探实践与认识[J].地质科技情报,2018,37(5):90-95.
- [3] 王应斌,王海军,孙和风.渤海低凸起构造演化及成藏条件[J].石油与天然气地质,2010,31(2):151-158.
- [4] LEVORSEN A I. Geology of Petroleum [M]. 2nd ed. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1967.
- [5] 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.
- [6] 吴智平,薛雁,颜世永,等.渤海海域渤东地区断裂体系与盆地结构[J].高校地质学报,2013,19(3):463-471.
- [7] 李伟,郭甜甜,吴智平,等.平衡剖面方法在伸展、走滑作用叠加、配比关系分析中的应用:以渤海海域辽东湾拗陷为例[J].地质论评,2019,65(6):1501-1514.
- [8] 贾楠,刘池洋,张功成,等.辽东湾拗陷新生代差异抬升事件的确定及其地质意义[J].地学前缘,2015,22(3):77-87.
- [9] 彭靖淞,徐长贵,吴奎,等.郯庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解[J].石油学报,2015,36(3):274-285.
- [10] CHENG Y J, WU Z P, YAN S Y, et al. Cenozoic tectonic evolution of Liaodong dome, Northeast Liaodong Bay, Bohai, offshore China, constraints from seismic stratigraphy, vitrinite reflectance and apatite fission track data[J]. *Tectonophysics*, 2015, 659: 152-165.
- [11] 葛建党.郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系[J].海洋石油,2001,107(1):14-20.
- [12] 任云鹏,黄颖,鲁凤婷,等.渤海海域渤东低凸起差异演化及控藏作用[J].海洋地质前沿,2022,38(2):55-61.
- [13] 张参,官大勇,王明臣,等.渤海海域渤东低凸起中南段构造演化与油气成藏[J].东北石油大学学报,2014,38(6):68-75.
- [14] 蒋有录,刘培,宋国奇,等.渤海湾盆地新生代晚期断层活动与新近系油气富集关系[J].石油与天然气地质,2015,36(4):5-13.
- [15] 朱伟林,吴景富,张功成,等.中国近海新生代盆地构造差异性演化及油气勘探方向[J].地学前缘,2015,22(1):88-101.
- [16] 侯贵廷,钱祥麟,宋新民,等.渤海湾盆地形成机制研究[J].北京大学学报(自然科学版),1998,34(4):503-509.
- [17] 柳永军,徐长贵,吴奎,等.辽中南洼走滑反转带的形成及其对油藏的控制作用[J].大庆石油地质与开发,2016,35(3):16-21.
- [18] 夏庆龙,田立新,周心怀,等.渤海海域构造形成演化与变形机制[M].北京:石油工业出版社,2012:58-63.
- [19] 徐守余.渤海湾地区盆地动力学分析及油田地质灾害研究[D].北京:中国地质大学(北京),2004.
- [20] 朱日祥,徐义刚,朱光,等.华北克拉通破坏[J].中国科学:地球科学,2012,42(8):1135-1159.
- [21] 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.
- [22] HUANG L, LIU C Y. Evolutionary characteristics of the sags to the east of Tan-Lu Fault Zone, Bohai Bay Basin (China): implications for hydrocarbon exploration and regional tectonic evolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79: 275-287.
- [23] HUANG L, LIU C Y, ZHOU X H, et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: evidence and regional dynamics analysis [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2012, 55(3): 476-487.
- [24] 漆家福,邓荣敬,周心怀,等.渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造[J].中国科学(D辑):地球科学,2008,38(s1):19-29.
- [25] ZHANG Y Q, MA Y S, YANG N, et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China[J]. *Journal of Geodynamics*, 2003, 36: 591-613.
- [26] HSIAO L Y, GRAHAM S A, TILANDER N. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system: Paleogene structure and evolution of the Tan-Lu Fault system, Liaodong Bay, Bohai, offshore China[J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(1): 71-97.
- [27] 侯贵廷.渤海湾盆地地球动力学[M].北京:科学出版社,2014.
- [28] NORTHROP C J, ROYDEN L H, BURCHFIELD B C. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia[J]. *Geology*, 1995, 23: 719-722.
- [29] 黄雷,周心怀,刘池洋,等.渤海海域新生代盆地演化的重要转折期:证据及区域动力学分析[J].中国科学:地球科学,2012,42(6):893-904.
- [30] HU P P, YANG F L, TIAN L X, et al. Stress field modelling of the Late Oligocene tectonic inversion in the Liaodong Bay Sub-basin, Bohai Bay Basin (northern China): implications for geodynamics and petroleum accumulation[J]. *Journal of Geodynamics*, 2019, 126: 32-45.
- [31] TENG C Y, HAO F, ZOU H Y, et al. Tan-Lu Fault system and its significance in oil accumulation in the central Liaodong Bay subbasin, Bohai Bay Basin, China[J]. *AAPG Bulletin*, 2016, 100(2): 289-314.
- [32] 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: 757-771.

- [33] 周玉琦, 周荔青, 郭念发. 中国东部新生代盆地油气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [34] 詹润, 朱光, 杨贵丽, 等. 渤海海域新近纪断层成因与动力学状态 [J]. 地学前缘, 2013, 20(4): 151-165.
- [35] 罗群. 断裂控烃理论的概念、原理、模式与意义 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(3): 113-124.
- [36] 李伟, 戚建庆, 周东红, 等. 辽东湾坳陷辽西凸起的形成与演化 [J]. 大地构造与成矿学, 2019, 43(5): 911-923.
- [37] LEE W. Thickness maps as criteria for regional structural movements[J]. AAPG Bulletin, 1954, 38(6): 1303-1304.
- [38] 辽河油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷三): 辽河油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 56-91.
- [39] 胜利油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷六): 胜利油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 18-84.
- [40] 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷六): 大港油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 32-114.

Geological architecture and tectonic evolution of Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt, Bohai Bay Basin

WU Bin

(CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: To clarify the formation and evolution process of Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt and its relationship with oil and gas in Bohai Bay Basin, by combining the latest three-dimensional seismic data in the study area, the tectonic characteristics and the uplift time of the tectonic belt was analyzed in detail, the structural deformation characteristics were compared, and the difference in the uplift time was determined, based on which the formation type and evolution model of the tectonic belt was established. It is considered that the Bodong Low Uplift in the tectonic belt is mainly controlled by the extensional fault, while the Liaodong Uplift is mainly controlled by the early extensional fault and the late strike slip fault. Except for the Liaodong Fault, all the main faults in the tectonic belt started to move in the sedimentary period of the Kongdian Formation and the fourth member of Shahejie Formation, or the Sha-4 Member for short, and the peak period is from the sedimentary period of Sha-3 Member and Dongying Formation, and the fault activity was relatively weak after the deposition of Guantao Formation. The uplift time of the tectonic belt rose gradually from south to north: Bodong Low Uplift rose at the end of the deposition of the Sha-4 Member, the southern section of Liaodong Uplift rose at the end of the deposition of the Sha-3 Member, and the northern section of Liaodong Uplift rose at the end of the deposition of the third member of Dongying Formation (or Dong-3 Member in short). The tectonic evolution could be divided into six stages: sedimentary period the Kongdian Formation to Sha-4 Member, sedimentary period of the Sha-3 Member, sedimentary period of the Sha 1 and 2 Members, sedimentary period of the Dong 3 Member, the end of the Dongying Formation, and the present. The tectonic evolution is closely related to the migration and accumulation of oil and gas. The formation time of the tectonic belt before that of the main hydrocarbon generation and expulsion period of the peripheral hydrocarbon generation depression, which is conducive to the accumulation of oil and gas near the tectonic belt. It was easy for oil and gas to accumulate in the bulge area of Bodong low uplift controlled by extensional fault, and for oil and gas to accumulate in the slope area controlled by strike slip fault.

Key words: Bohai Bay Basin; Liaodong-Bodong Uplift tectonic belt; geological architecture; uplift time; tectonic evolution