

渤海海域盆地石油地质条件与大中型油气田分布特征

钟 锴^{1,2},朱伟林^{1,2},薛永安³,周心怀^{3,4},徐长贵³,牛成民³

[1. 同济大学 海洋地质国家重点实验室,上海 200092; 2. 同济大学 海洋资源研究中心,上海 200092; 3. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司,天津 300452; 4. 中海石油(中国)有限公司 上海分公司,上海 200335]

摘要:在回顾渤海海域盆地(渤海湾盆地海域部分)油气勘探历程及相关石油地质理论研究的基础上,总结了渤海海域盆地的新生代构造-沉积演化历程,分析了渤海海域盆地的石油地质条件,着重指出了与相邻陆区的显著差异。首先,渤海海域盆地两期构造旋回相应发育了沙河街组 and 东营组两套优质烃源岩,其中东营组烃源岩为海域盆地所特有,且晚期快速沉降有助于其成熟,因此,渤海海域盆地具有更为优越的烃源条件;其次,渤海海域盆地新近系广泛发育浅水-极浅水三角洲,是海域特有的一套勘探层系;最后,郑庐断裂带海域部分的长期持续活动最终形成了渤海海域盆地大中型油气田集中分布的油气富集带,是当前渤海油气勘探的重要领域。充分认识渤海海域盆地演化的特殊性及其独特的石油地质条件和油气富集规律,对今后的渤海油气勘探及相关研究具有参考价值。

关键词:海陆差异;浅水三角洲;郑庐断裂带;大中型油气田;渤海海域盆地

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Petroleum geologic conditions and distributional features of large- and medium-sized oil and gas fields in Bohai Sea Basin

Zhong Kai^{1,2}, Zhu Weilin^{1,2}, Xue Yong'an³, Zhou Xinhui^{3,4}, Xu Changgui³, Niu Chengmin³

[1. State Key laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Marine Resources Research Center, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Tianjin Branch of CNOOC(China) Co., Ltd., Tianjin 300452, China; 4. Shanghai Branch of CNOOC(China) Co., Ltd., Shanghai 200335, China]

Abstract: On the basis of reviewing the petroleum exploration history of the Bohai Sea Basin (the offshore part of the Bohai Bay Basin) and the related petroleum geologic theories, we summarized the Cenozoic tectonic-sedimentary evolution of the Bohai Sea Basin, and analyzed its petroleum geologic conditions, with focus on their significant differences from that of the onshore part of the Bohai Bay Basin. First of all, two sets of high-quality source rocks of the Shahejie Formation and Dongying Formation are developed as the results of two tectonic cycles of the Bohai Sea Basin. The distribution of source rocks of the Dongying Formation is limited to this basin, and the rapid subsidence in late stages contributes to its maturity, both of which manifest the more favorable hydrocarbon source conditions in the Bohai Sea Basin. On the other hand, shallow-extremely shallow-water deltas, a unique series of strata for exploration in the offshore part, are widely developed in the Neogene of the Bohai Sea Basin. In addition, the long-term sustained activities of the Tanlu fault zone in the offshore part eventually resulted in the play fairway with several large- and medium-sized oil and gas fields in the Bohai Sea Basin, which is an important field for oil and gas exploration in the Bohai Sea at present. It's of referential value for future Bohai Sea exploration and related studies to fully understand the particularity of evolution of the Bohai Sea Basin and its unique petroleum geologic conditions and oil and gas accumulation patterns.

Key words: differences between offshore and onshore parts, shallow-water delta, Tanlu fault zone, large-and medium-sized oil and gas field, Bohai Sea Basin

收稿日期:2018-09-13;修订日期:2018-10-10。

第一作者简介:钟锴(1974—),男,高级工程师,石油地质与海洋油气勘探。E-mail:zhongkai@tongji.edu.cn。

通讯作者简介:朱伟林(1956—),男,教授,石油地质与海洋油气勘探。E-mail:zhuwl@tongji.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41702228);国家科技重大专项(2016ZX05027-001-008);海洋地质国家重点实验室自主课题(MG20180101)。

识束缚,揭示了渤海活动断裂带的分段、分期次时空演化对油气成藏的差异控制作用,提出了活动断裂带油气差异富集理论^[5-6]。

应用联片三维地震资料和配套勘探技术,发现了一批大中型高产优质油气田,形成了五大亿吨级优质油田群(锦州、金县、石东、黄东和莱北油田群),自营勘探储量发现创造了历史新高,新增探明石油地质储量 $12.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。更重要的是新发现油田储量品质优良,中轻质油储量比例由 22% 增加到 79%,改变了以稠油为主的储量结构,为渤海油田的持续高产稳产奠定了坚实的储量基础(图 2)。

1.2 油气勘探历程对石油地质研究的启示

渤海海域的勘探实践表明,油气勘探的突破得益于对石油地质理论或认识的创新和勘探技术的进步,但最为关键的是理论认识的创新;而每一次理论和认识的因循守旧则会导致勘探走入困境^[1-2]。

20 世纪 80 年代之前,由于资料的局限和认识的束缚,单纯借鉴陆区,以古近系和潜山为勘探重点领域,勘探成效不佳;80 年代后对外合作以后,即便是诸多国际石油公司应用了当时全球最为先进的勘探技术和勘探理念,也未能获得油气勘探的重大突破^[1-2]。

直至 20 世纪末,通过反复的勘探实践和认识创新,渤海石油地质条件研究取得了“新构造运动控制晚期成藏”理论的突破,勘探重点转移到凸起区,勘探层系由古近系转移到新近系,并发现了一批亿吨级油气田,获得了首次勘探的重大突破^[3-4]。然而,随着渤海凸起区勘探程度的不断提高,构造圈闭钻探殆尽。至 21 世纪初,渤海勘探再度陷入了困境,储量发现再度步入低谷(图 2)。

2005 年以来,加强了对渤海海域复杂断裂带油气成藏关键主控因素的攻关,认识了渤海活动断裂带对油气富集的差异控制作用,将勘探重点由凸起区转移

至凹陷区及活动断裂带,指导勘探获得了第二次发现高峰(图 2)。

因此,有必要在回顾勘探历程的基础上,对渤海海域盆地的石油地质条件的研究和认识做全面的梳理,充分认识渤海海域盆地演化的特殊性及其独特的石油地质条件和油气富集规律,以期对今后的油气勘探及相关研究提供参考。

2 成盆机制与新生代构造演化

2.1 “伸展-走滑双动力源”动力学成因机制

渤海海域发育的大型伸展断裂和以郯庐断裂带为代表的大型走滑断裂体系,前者包括莱北断裂、石南断裂、沙南断裂、黄北断裂和潍北断裂等,控制了渤海中南部地区凸起和凹陷的形成演化,反映了盆地具伸展属性;而盆地内部 NNE 向郯庐走滑断裂带和 NW 向张蓬莱断裂系具明显性质的大型走滑-伸展复合断裂性质,并对海域盆地的形成演化也产生了重要的控制作用。这两种性质断裂体系的存在决定了渤海与由伸展或走滑作用形成的单一机制盆地有所差别,应是伸展和走滑共同复合作用的结果^[1]。夏庆龙等^[7]提出了“伸展-走滑双动力源”动力学机制(图 3),即:地幔上隆导致在渤海地区形成不同方向的伸展作用,而太平洋板块的斜向碰撞和挤压在渤海地区形成了走滑作用,并对早期的伸展构造体系进行了叠加和改造,最终造就了渤海海域的独特性与复杂性。

渤海海域新生代盆地就是在这种“伸展-走滑双动力源”背景下形成、发育的。渤海湾盆地古近纪的裂陷作用主要是地幔热活动引起的,上地幔上隆和软流圈在岩石圈底部的侧向流动导致地壳引张破裂,形成伸展构造变形;同时,受 NE-SW 向区域挤压影响,渤海湾盆地一些 NNE 向深大断裂(特别是郯庐断裂带)发生右旋剪切作用,进而深刻影响了渤海海域新生代盆地的构造格局。

2.2 新生代构造演化

渤海海域盆地新生代期间受到西太平洋板块俯冲、印度洋板块碰撞远程效应等区域构造应力以及地幔热活动等多动力源的共同作用,经历了郯庐断裂带从左旋到右旋走滑的构造体制转换及地幔上涌到热沉降作用的叠加影响。

古近纪早期被地幔热隆起引发的区域性拉张作用所主导,上地幔上隆和软流圈在岩石圈底部的侧向流动导致地壳引张破裂,以伸展构造变形为主。古近纪

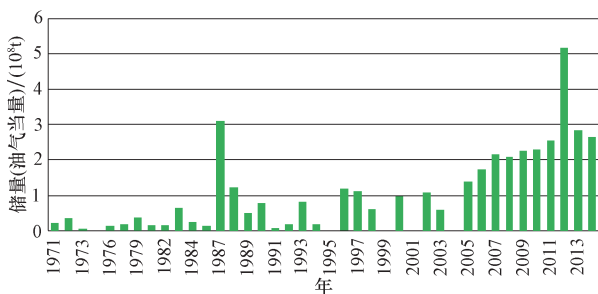


图 2 渤海油田自营勘探三级储量统计(截至 2014 年)

Fig. 2 Statistics of 3P reserves for self-operated exploration in Bohai oilfield (by 2014)

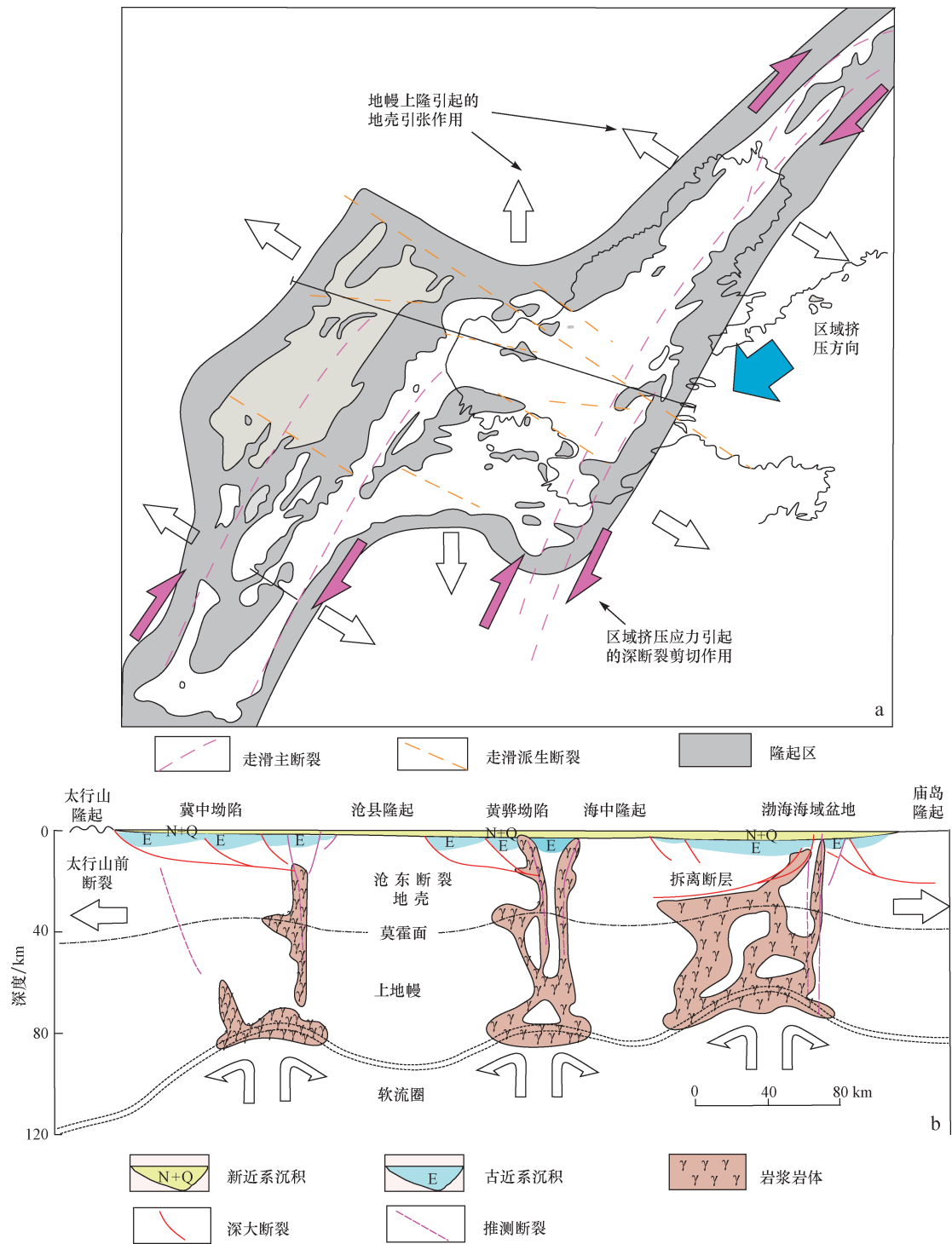


图 3 渤海湾盆地新生代构造动力学模式^[7]

Fig. 3 The Cenozoic tectonodynamics model of the Bohai Bay Basin^[7]

a. 渤海湾盆地新生代构造动力学平面示意图; b. 渤海湾盆地新生代构造动力学剖面示意图

晚期,因为区域性地幔热活动引发的伸展作用减弱,板块构造动力对郯庐断裂带作用引起的走滑作用就相对增强,走滑及其相关派生构造开始发育。

新近纪时期,渤海湾盆地整体进入热沉降阶段,渤海海域盆地逐渐成为区域沉降和沉积的中心,郯庐断裂带的右旋走滑作用占据主导地位。走滑作用成为改

造改期盆地结构的主导因素,走滑及其派生构造也继承古近纪时期构造发育,并对油气最终富集成藏起了关键作用^[8-9]。

综上所述,渤海海域盆地新生代演化具有典型的多旋回性叠加特征,可分为以下 5 个构造演化阶段(表 1)。

表1 渤海海域盆地构造演化阶段划分^[1]Table 1 Classification of tectonic evolution stages of the Bohai Sea Basin^[1]

地层	年龄/Ma	盆地构造演化幕	构造沉降速率/ (m · Ma ⁻¹)	层序地层序列		盆地成因动力学机理
				层序组	层序	
平原组	2.0	新构造活动幕	60	VI	VI - B	新构造近东西向挤压伴随右旋走滑扭动
明华镇组上段	5.1		40		VI - A	
明华镇组下段	12.0	第二裂后热沉降幕	30	V	V - C	岩石圈热沉降
馆陶组上段	20.2		50		V - B	
馆陶组下段	24.6		50		V - A	
东营组一段	27.4	裂陷Ⅱ幕	100	IV	IV - D	右旋走滑拉分伴随幔隆和上下地壳的非均匀不连续伸展
东营组二段	30.3		100		IV - C, B	
东营组三段	32.8		190		IV - A	
沙河街组一、二段	38.0	第一裂后热沉降幕	80	Ⅲ	Ⅲ - B, A	岩石圈热沉降
沙河街组三段	42.0	裂陷Ⅰ ₂ 幕	220	Ⅱ	Ⅱ - C, B, A	北北西-南南东方向的 拉伸伸展伴随幔隆
孔店-沙河街组四段	65.0	裂陷Ⅰ ₁ 幕	150	I	I - C, B, A	

2.2.1 裂陷一幕:始新世(65~38 Ma)孔店组—沙河街组三段沉积期

渤海湾盆地在古新世早-中期普遍处于暴露剥蚀阶段,晚古新世期一早始新世开始沉积,发育了孔店组地层,由此进入断陷期。

渤海湾盆地在孔店组-沙河街组四段沉积期属于局部湖盆断陷期,沉积范围相对局限。至沙三段沉积期,开始进入全盆地范围的断陷期,强烈快速的裂陷作用在各凹陷形成半深湖-深湖沉积环境,相应沉积了一套巨厚的暗色泥岩^[10]。因此,渤海海域盆地发育了和整个渤海湾盆地类似的沙三段烃源岩,即渤海海域第一套主力烃源岩。

2.2.2 初始裂后热沉降阶段:渐新世(38~32.8 Ma)沙河街组一、二段沉积期

沙三段沉积结束后,全区进入初始裂后热沉降阶段,广泛发育破裂不整合面,盆地的充填类型相应发生了明显变化:①沙一、二段无论是沉积厚度、还是岩性在全区变化不大;特别是沙一段以泥岩夹白云岩、生物灰岩为特征的“特殊岩性”段,全盆地可以追踪对比;②沙一、二段沉积期的盆地分布范围较沙三段的盆地分布范围广得多,湖盆以“水浅面广”为特征;③沙一、二段沉积期断裂活动微弱;④沙一、二段沉积之前裂陷一幕和沉积之后的裂陷二幕在动力学体制上有明显差异,裂陷二幕体现出显著的走滑拉分动力学机制,而裂陷一幕上、下地壳的非均匀不连续伸展作用明显。

总之,以上特征都显示沙一、二段沉积期盆地进入构造相对平缓的时期,具有明显的热沉降拗陷特征。

2.2.3 裂陷二幕:渐新世(32.8~24.6 Ma)东营期

东营组沉积时期,渤海海域盆地再次进入强烈的断陷期,即裂陷二幕,表现为断层活动速率和构造沉降速率再次变大,渤海海域开始成为了渤海湾盆地的断陷沉积和区域沉降中心,广泛发育深湖相沉积环境,形成了渤海海域盆地第二套主力烃源岩,即渤海海域盆地特有的——东营组烃源岩。

2.2.4 第二期裂后热沉降阶段:新近纪(24.6~5.1 Ma)馆陶组—明下段沉积期

24.6 Ma以来,渤海海域再次进入区域性缓慢热沉降阶段。该期在东营组顶部发育区域性不整合面,标志着古近纪裂陷期的结束以及新近纪裂后热沉降拗陷期的开始,盆地充填整体表现为向心式广覆充填。

该阶段,渤海海域广泛发育浅水-极浅水三角洲沉积体系,形成了渤海海域盆地特有的一套新近系勘探层系。

2.2.5 新构造运动阶段:(5.1 Ma至今)

新构造运动阶段在渤海海域盆地具体表现为区域性快速沉降,以及相对罕见的同期次断裂强烈活动。其力源可能与5.4 Ma以来印藏碰撞青藏高原大规模隆升的远距离效应导致的郯庐断裂的右旋走滑运动,形成了典型的花状构造等一系列晚期走滑作用相关构造圈闭,并伴随明上段以及第四系沉积中心的迁移变化。

新构造运动造成渤海海域的浅层晚期断裂和油气运移的活跃,也导致了晚期走滑相关构造圈闭的定型,奠定了渤海海域盆地极其特殊的“油气晚期成藏”的

特征。

综上所述,渤海海域盆地作为渤海湾盆地的海域部分,其构造-沉积演化与相邻陆区相比,虽有共性,但更多表现出了差异。特别是在区域构造作用和郯庐断裂带的共同作用下,渤海海域先后经历了两期断陷的构造旋回及新构造运动,对海域盆地的石油地质条件造成了深刻影响,并最终决定了其油气富集规律的差异性,而认识这一海陆差异性对于指导海域盆地的油气勘探具有重要意义。

3 关键石油地质条件及其特殊性

3.1 烃源条件

渤海海域的烃源条件优越,主要发育在古近系,自下而上依次发育:孔店组-沙四段、沙三段、沙一二段和东营组共4套烃源岩。沙三段和东营组是主力烃源岩,其中东营组是海域特有的一套主力烃源岩;孔店组-沙四段、沙一段、沙二段发育次要烃源岩或者局部区域的次要烃源岩。

3.1.1 孔店组-沙四段

古新世中期,整个渤海湾盆地开始了裂陷作用,并由裂陷初期孤立、分散的一批局限古湖泊逐渐发展为彼此连通的若干较大湖泊。但海域的孔店组-沙四期的古湖泊面积相对较小(尤其是孔店组沉积),凹陷充填以冲积扇-辫状河三角洲平原沉积为主,烃源岩分布相对局限。因此,孔店组-沙四段仅在渤海海域盆地的局部地区形成了一套次要烃源岩。

3.1.2 沙三段

至始新世中期,沙三段沉积期湖盆凹陷多表现为强烈的半地堑结构特征,发育半深-深湖相沉积,由于盆缘断裂的持续活动,在断裂的下降盘发育近物源的扇三角洲、湖底扇,与良好的深湖相生油泥岩交互,凹陷的沉降沉积中心相对比较稳定。因此,沙三段在整个渤海湾盆地的现今陆地和海域部分广泛发育,形成了渤海海域盆地的第一套主力烃源岩。

3.1.3 沙一、二段

沙一、二段沉积期为第一期裂后热沉降阶段,裂陷区活动较弱,受沙三段末期区域性构造抬升的影响,沉积速率明显降低,烃源岩厚度总体不大,但品质较高,且分布广泛,形成了渤海海域范围内的次要烃源岩。

3.1.4 东营组

东营组沉积期,渤海海域成为了整个渤海湾沉积和沉降的中心,海域东营期沉降速率是陆区的2~3倍;加上当时优越的沉积环境和气候条件,东营组下段的烃源岩条件尤为优越。因此,东营组发育了渤海海域特有的、也是渤海海域盆地的另一套主力烃源岩。

3.2 沉积体系与储层特征

3.2.1 古近系层序特征与沉积体系

1) 古近系层序特征

受渤海海域盆地复杂的构造-古地貌格局影响,古近纪层序的发育与对应两幕裂陷作用的活动强弱有关,且不同层序在不同凹陷发育特征存在一定的横向差异性^[11]。

孔店组-沙四段超层序对应初始裂陷期,奠定了渤海湾盆地隆凹格局发育的雏形。该套地层在渤海海域盆地的边缘凹陷发育,边缘地带有多个裂陷中心、裂陷作用强,中央地带裂陷作用弱,形成的断陷小而散,地层厚度均在1 000 m以上。海域盆地南部的青东、莱州湾凹陷古近系下部的孔店组、沙四段层序较发育,埋藏较浅,岩性主要为紫红色泥岩、绿灰、褐灰、灰色泥岩,夹薄层灰白色粉细砂岩及灰质、白云质泥岩和白色石膏。而中、北部黄河口、渤中、辽东湾凹陷古近系下部的孔店组-沙四段层序厚度变化大,埋藏深。

沙三段超层序裂陷活动强度逐渐增强,奠定了渤海海域盆地隆凹相间的构造格局。岩性主要为泥岩、砂岩、含砾砂岩的不等厚互层。

沙一、二段层序发育时期,裂陷活动相对减弱,其隆凹格局逐渐模糊,水下隆起增多,地层发育亦趋于相对平缓,在渤海海域分布广泛,不同凹陷连片发育,地层厚度普遍较小,平均200 m左右。在渤海海域盆地南部的青东、莱州湾凹陷以砂岩-泥岩互层出现,层序顶部泥岩较发育;在盆地中部的渤中、渤东地区岩性较粗,以厚层砂岩夹泥岩为主,层序内部向上变细的正旋回发育;盆地北部的辽东湾地区岩性普遍变细,以大套泥岩夹中层砂岩为主。

东三段层序发育时期,渤海海域盆地的裂陷活动又加大,并在整体沉降的背景下,分别在渤中凹陷和辽中凹陷形成两个主要沉降中心。东三段层序地层厚度显著增大并在渤中凹陷形成整个渤海湾盆地的沉降中心。

渤海海域盆地东二段分布广泛,在渤中凹陷的地层厚度最大。

东一段层序发育时期,在差异构造抬升背景下,主

要沉降中心转移到渤中凹陷,地层分布范围显著缩小,渤海海域周边地区均缺失东一段,平均厚度在 200 m 左右;在南部青东、莱州湾等地区遭受剥蚀。

2) 古近系沉积体系

渤海海域盆地古近系发育的沉积体系包括扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲、湖泊、滩坝、湖相碳酸盐岩、湖底扇等^[12]。这些类型丰富、分布广泛、多时期分布的沉积体系存在,形成了一系列规模优质储层,为油气富集提供优越的存储空间。

扇三角洲沉积大多处于主生烃层系内部,烃源供应充足;储层垂向厚度大,物性好,储盖条件好。同时,由于扇三角洲储层横向变化快,有利于隐蔽油气藏的发育,也是渤海海域当前岩性地层油气藏勘探的重要领域。辫状河三角洲在渤海海域古近系分布面积广,其砂岩分选性和侧向连通性好,具有较好的油气储集性能。在渤海海域的勘探不乏作为构造油气藏、构造-岩性及岩性油气藏的实例^[12]。

3.2.2 新近系在渤海海域发育独特的浅水-极浅水三角洲沉积体系

新近纪渤海湾盆地具有构造相对稳定、沉降中心逐渐向海域渤中凹陷汇聚的特点。渤海海域盆地的沉积环境与周边陆区有显著差异,发育独特的浅水-极浅水三角洲沉积体系^[13]。

新近纪时期,馆陶组沉积时期渤海海域湖泊面积较小,仅在渤中地区和渤南地区发育极浅水湖泊和极浅水三角洲沉积。明化镇组沉积期,整个渤海海域已形成了统一的湖盆,沉积物主要源于周边陆区。由于湖盆浅、物源远,沉积物多是细粒沉积,发育了一套极浅水三角洲沉积体系。在明下段整个沉积期,湖盆经历了低水位、湖侵和高水位期,期间砂体发育也经历了由低水位期分流砂坝型为主到湖侵期的以分支河道型浅水三角洲为主的和后期高水位期两者共存的特征,砂体总体上在早期的低水期和晚期的高水位期相对较为连续^[13-15]。

总之,渤海海域新近系极浅水三角洲优越的成藏条件决定了其成为了海域新近系勘探的重要领域^[13,16]。

4 大中型油气田分布特征

4.1 优越的烃源条件奠定了渤海海域盆地丰富的油气资源潜力

中国海域盆地的油气分布极不均衡,勘探实践表

明 10% 的富烃凹陷集中了 90% 的油气储量。朱伟林^[17]应用海洋学、古生物学、沉积学、地球化学综合研究,从盆地发育源头——古湖泊环境入手,将烃源研究由传统固态沉积物向古湖泊环境拓展,提出古湖泊有机质生产力和水体底部贫氧环境是决定沉积物中有机质保存和转化的关键因素,总结了我国近海新生代盆地中富生烃凹陷的古湖泊学特征。

渤海海域盆地两期构造旋回相应发育了两期古湖泊,封闭性的咸水古湖泊不但数量多、分布广,而且有机质生产力高、盐度高,湖泊内易于形成温度和盐度湖水分层,有机质保存条件优越,造就了现今富生烃凹陷广布,具备形成一系列大中型油气田的丰厚烃源基础^[17]。

4.2 凸起区控制了渤海海域大中型稠油油田的分布

渤海海域的稠油油田主要围绕渤中地区的凸起区分布,层位集中在新近系的馆陶组和明下段。依据构造作用和圈闭成因可分为两种类型。

4.2.1 披覆背斜型稠油油藏

渤海海域的披覆背斜稠油油藏围绕渤中凹陷周边的凸起区分布,圈闭类型好,是油气长期运移的有利方向,储层主要为河流、三角洲、浅湖相沉积,储盖配置好。其油藏充满度高(为 70%~100%)含油面积大、一般为 30~70 km²,油层厚度为 25~150 m,油水关系较简单,储量规模大,亿吨级油田数量多。

典型的大中型油气田包括:①低幅度披覆背斜油藏,如秦皇岛 32-6 油田;②凸起倾没端的复合披覆背斜型油藏,如绥中 36-1 油田;③走滑压扭作用后期改造的披覆背斜型油藏,圈闭幅度高,油气运移与凸起或倾没端边缘主断裂活动密切相关,如蓬莱 19-3 油田。

4.2.2 断鼻型稠油油气藏

断鼻型圈闭是由地层沿断层发生翘倾运动形成的构造。这种断层既可以是继承性发育的大断层,也可以是短期活动的小断层。断鼻可能在断层上升盘,也可能在下降盘,圈闭面积一般为 5~20 km²,其上还可能被更小的断层分割。如石臼坨凸起上的南堡 35-2 油田。

4.3 极浅水三角洲控制渤海海域凹陷区新近系浅层优质油气田的分布

前文提及,20 世纪末至 21 世纪初渤海的新近系勘探领域集中在渤中拗陷的凸起区,且以构造圈闭为

主。渤海海域新近系特有的浅水-极浅水三角洲沉积体系的认识^[13], 不仅为渤海海域新近系勘探提供了新的思路, 至今还是新近系勘探的重要领域。

极浅水三角洲具有良好的储盖组合, 为近源、晚期、快速成藏模式下的油气大规模富集成藏提供了良好的保存条件, 且油气藏主要以轻-中质油为主, 测试产能较高, 单砂体储量规模大, 经济效益显著。

例如, 黄河口凹陷新近系明下段极浅水三角洲体系普遍发育、油气以近源垂向运移为主, 主要成藏时间为 5.1 Ma 以来, 具有近源晚期快速成藏的优势; 主力油层明显受层序控制, 油层主要分布于最大湖泛面以下。已经发现的油气藏具有中-浅埋深(1 200 ~ 1 800 m)、原油密度中等、产能高等特点, 如渤中 25-1、渤中 28-34、渤中 26-3 等大中型优质油气田。

4.4 郯庐断裂带是渤海海域盆地的油气富集带

渤海海域郯庐断裂带周边已探明的石油和天然气储量均超过渤海海域总量的 60%。郯庐断裂带新生代以来的活动对渤海海域新生代盆地的形成、演化与油气聚集起着重要的控制作用。

然而, 郯庐断裂带的长期活动对渤海海域油气聚集/逸散作用的认识一直存在较大争议。21 世纪初之前, 普遍认为渤海海域的晚期断裂强烈活动, 部分断裂直通海底, 对油气藏以破坏和逸散作用为主; 因此, 当时的油气勘探基本上是尽量避开郯庐断裂带, 将其视为找油的“禁区”。

通过近十多年以来应用渤海海域的三维联片地震资料对郯庐断裂带的整体解剖和全面重新认识, 充分认识了断裂带对油气的差异富集作用机理, 提出在郯庐断裂带具备大中型油气田发育的有利条件^[5-9]。

首先, 郯庐断裂带在古近纪以来的活动不仅控制了相邻凹陷的形成和演化, 相应发育了古近系的烃源层系。沿郯庐断裂发育一系列的富生烃凹陷, 如辽中凹陷、渤中凹陷、黄河口凹陷和莱州湾凹陷等; 另外, 由于断裂带的长期活动使得相邻凹陷的热流值偏高, 凹陷生烃门限得以降低, 使渤东及渤南的一些相对较浅凹陷也具有了生烃潜力。如莱州湾凹陷东北洼地温梯度达 45 °C/km, 生烃门限为 1 300 ~ 1 700 m, 远低于莱州湾凹陷中心的 2 600 m 生烃门限。

其次, 郯庐断裂带的长期持续活动在渤海海域形成了丰富多样的断层作用相关构造圈闭^[18]。

这些圈闭既包括与断裂早期伸展作用为主相关的滚动背斜、逆牵引构造, 也包括与伸展走滑作用相关的花状、负花状构造等。上述各类走滑相关构造圈闭最

终在新构造运动期间定型。

最后, 郯庐断裂带的长期持续活动决定了其周边成为了油气重要的富集区带。郯庐断裂带的多期次走滑作用派生的断裂体系成为油气从烃源灶向各类构造圈闭运移的高效输导体系。特别是中新世以来, 郯庐断裂带的晚期活动最终共同控制渤海海域郯庐断裂带周边油气的晚期成藏。

5 结语

回顾渤海海域盆地(渤海湾盆地海域部分)相关石油地质理论发展的历程, 不难发现, 不论是渤海海域盆地的成盆机制与新生代构造-沉积演化历程, 还是海域盆地的基本石油地质条件、油气的晚期成藏特征等, 均与相邻陆区盆地存在着显著差异。

首先, 渤海海域盆地发育两期断陷盆地的构造演化旋回, 相应发育了沙河街组和东营组两套优质烃源岩。其中东营组烃源岩为海域盆地所特有, 且独特的古湖泊环境有利于有机质的保存, 晚期快速沉降和断裂活动的热效应也有助于东营组烃源岩的成熟。因此, 渤海海域盆地具有得天独厚的古湖泊环境和烃源条件, 发育了众多富生烃凹陷, 具备了发育一系列大中型油气田的雄厚物质基础。

其次, 渤海海域盆地新近系广泛发育浅水-极浅水三角洲, 发育良好的区域性储盖组合, 为近源、晚期、快速成藏模式下的油气大规模富集提供了优越的成藏条件, 成为了海域特有的、也是凹陷区寻找大中型油田的重要勘探层系。

此外, 郯庐断裂带(海域部分)的长期持续活动不但有利于富生烃凹陷的发育, 形成了有效的输导体系, 控制了圈闭的形成和最终定型, 最终控制了渤海海域油气的富集和成藏, 成为当前渤海油气勘探的重要领域。

渤海海域油气勘探的实践表明, 勘探技术进步对油气勘探具有重要的推动作用, 但石油地质理论和认识的创新是勘探不断取得突破的重要保证。而充分认识到渤海海域盆地演化的特殊性、独特的石油地质条件和油气成藏特征, 对今后的渤海油气勘探及相关研究仍具有重要的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 朱伟林, 米立军, 龚再升, 等. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-7.
Zhu Weilin, Mi Lijun, Gong Zaisheng, et al. Petroleum exploration and Hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[M]. Beijing: Science

- Press, 2009: 1–7.
- [2] 朱伟林. 中国近海油气勘探的回顾和思考[J]. 中国工程科学, 2011, 13(5): 4–9.
- Zhu Weilin. China offshore oil and gas exploration: review and thinking[J]. Engineering Sciences, 2011, 13(5): 4–9.
- [3] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1–7.
- Gong Zaisheng, Wang Guochun. Petroleum exploration Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 1–7.
- [4] 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气, 2001, 15(1): 21–28.
- Mi Lijun. The Neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2001, 15(1): 21–28.
- [5] 夏庆龙, 徐长贵. 渤海海域复杂断裂带地质认识创新与油气重大发现[J]. 石油学报, 2016, 37(S1): 22–32.
- Xia Qinglong, Xu Changgui. New geological understandings and major hydrocarbon discoveries in the complex fault zone of Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(S1): 22–32.
- [6] 薛永安, 韦阿娟, 彭靖淞, 等. 渤海湾盆地渤海海域大中型油田成藏模式和规律[J]. 中国海上油气, 2016, 28(3): 10–19.
- Xue Yongan, Wei Ajuan, Peng Jingsong, et al. Accumulation models and regularities of large-middle scale oilfields in Bohai sea, Bohai Bay basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(3): 10–19.
- [7] 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.
- Xia Qinglong, Tian Lixin, Zhou Xinhui, et al. Tectonic evolution and deformation mechanisms of Bohai Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 58–63.
- [8] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1–10.
- Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1–10.
- [9] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1548–1550.
- Xu Changgui. Strike-Slip transfer zone and its control of formation of medium and large-sized oilfields in Bohai Sea Area [J]. Earth Science, 2016, 41(9): 1548–1550.
- [10] 庞雄奇, 郭永华, 姜福杰, 等. 渤海海域优质烃源岩及其分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 393–397.
- Pang Xiongqi, Guo Yonghua, Jiang Fujie, et al. High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469–475.
- [11] 徐长贵, 杜晓峰, 徐伟, 等. 沉积盆地“源–汇”系统研究新进展[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(1): 1–11.
- Xu Changgui, Du Xiaofeng, Xu Wei, et al. New advances of the “Source-to-Sink” system research in sedimentary basins[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(1): 1–11.
- [12] 李建平, 周心怀, 吕丁友. 渤海海域古近系三角洲沉积体系分布与演化规律[J]. 中国海上油气, 2011, 23(5): 293–298.
- Li Jianping, Zhou Xinhui, Lv Dingyou. Distribution and evolution of Paleogene delta systems in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(5): 293–298.
- [13] 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575–582.
- Zhu Weilin, Li Jianping, Zhou Xinhui, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 575–582.
- [14] 刘志亮, 沈芳, 朱筱敏, 等. 浅水三角洲研究进展与陆相湖盆实例分析[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 596–604.
- Liu Zhiliang, Shen Fang, Zhu Xiaomin, et al. Progress of shallow-water delta research and a case study of continental lake basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 596–604.
- [15] 张昌民, 尹太举, 朱永进, 等. 浅水三角洲沉积模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 933–944.
- Zhang Changming, Yi Taiju, Zhu Yongjin, et al. Shallow-water deltas and models[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 933–944.
- [16] 钟怡江, 陈洪德, 徐长贵, 等. 辽东湾拗陷新近系馆陶组浅水三角洲的发现及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(3): 499–507.
- Zhong Yijiang, Chen Hongde, Xu Changgui, et al. Discovery of shallow-water delta in the Neogene Guantao Formation in the Liaodong Bay Depression and its significance for oil and gas exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(3): 499–507.
- [17] 朱伟林. 中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源条件[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 73–89.
- Zhu Weilin. Paleolimnology and Source condition of Cenozoic petroliferous basins in China offshore [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 73–89.
- [18] 周心怀, 牛成民, 滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 469–475.
- Zhou Xinhui, Niu Chengmin, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469–475.

(编辑 张亚雄)