

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0575-08

# 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探

朱伟林<sup>1</sup> 李建平<sup>2</sup> 周心怀<sup>2</sup> 郭永华<sup>2</sup>

(1. 中国海洋石油总公司 北京 100010 2. 中国海洋石油有限公司天津分公司 天津 300452)

**摘要** 新近纪渤海具有构造稳定、沉降缓慢、湖泊水域范围大、内部无分割、地形平缓、坡度小等特点,广泛发育浅水三角洲,从而形成渤海海域新近系良好的储盖组合和优越的油气成藏条件。浅水三角洲砂岩储层由于受河流作用的控制,砂体具有明显的方向性,存在明显的分叉现象,与曲流河相比,砂体连通性较好,砂体等厚图呈典型的朵叶状。湖相厚层泥岩普遍发育,与浅水三角洲砂体组成多套垂向优质储盖组合。浅水三角洲发育于渤海新近纪至今处于生烃的峰期主力富烃凹陷的有利区带,新构造运动造成新近纪以来凹陷主力源岩生烃峰期与新构造运动的同步耦合,为渤海大型浅水三角洲成因的优质储层油气成藏创造了优越条件,可以形成大型油气田。因此,重视并充分挖掘渤海浅水三角洲储层类型油气藏的勘探潜力将是追求浅层优质油藏、进一步增储上产的方向所在。

**关键词** 浅水三角洲 席状化 晚期成藏 勘探潜力

**第一作者简介** 朱伟林 男 1956年出生 博士 教授级高级工程师 石油天然气勘探 E-mail zhuw@cnooc.com.cn

中图分类号 TE132.1 文献标识码 A

渤海海域在古近纪以来表现为断陷和拗陷叠置结构,其构造演化具有多幕裂隙、多旋回叠加、多成因机制复合的特征,经历了古近纪裂隙沉降阶段和新近纪—第四纪裂隙后热沉降阶段,基本完成了一个完整的裂隙作用旋回<sup>[1]</sup>。与华北含油气盆地陆区新近系相比,海域沉积有着明显的不同。陆区新近系紧邻沉积物源,以粗粒沉积为主,为冲积平原沉积。而渤海海域沉积中心远离物源区,在渤中凹陷—黄河口凹陷—沾化凹陷形成了统一沉降中心,拗陷沉降速度加快,可容纳空间增大,碎屑颗粒变细,含砂量减少,形成一套以棕红色、紫红色、灰绿色泥岩与浅灰色粉细砂—中粒砂岩的不等厚互层沉积,砂岩含量普遍小于40%,部分地区砂岩含量小于15%,表明其可能发育有湖相沉积,而进一步的研究表明,该区在浅湖背景下发育有浅水三角洲沉积,为形成大型油气田提供了有利的地质条件。

Fisk最早提出了浅水三角洲的概念,Donaldson等在研究石炭纪陆表海时发现水深是一个重要控制因素,并进一步总结了浅水三角洲的概念<sup>[2]</sup>。浅水三角洲沉积发育于较浅水湖泊中,沉积特征不同于一般三角洲,前人从不同角度对其进行了探讨,其中对于松辽盆地浅水三角洲的探讨尤为深入。赵翰卿将松辽盆地浅水三角洲沉积模式总结为叶状模式,认为三角洲单体厚度薄、分布广,具众多分支河道、广阔的联

合前缘席状砂和完善的相带分异,前缘平缓展布无明显斜坡,整体形如一片树叶细分出枝状、蛇状、枝—坨过渡状和席状四种三角洲沉积模式和八种亚模式<sup>[3]</sup>。梅志超认为其突出特征是以分流河道砂体为骨架,河口坝不发育,相组合以三角洲平原相占绝对优势,垂向相序往往不完整<sup>[4]</sup>。姚光庆等基于浅水三角洲主力砂体发育情况,讨论了其分流河道发育特征<sup>[5]</sup>。楼章华讨论了地形、气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用,认为浅水三角洲不存在Gilbert型三角洲模式的顶积层、前积层、底积层三褶结构<sup>[6,7]</sup>。吕晓光总结了浅水三角洲前缘沉积的5种储层结构模型及其剩余油分布特征<sup>[8]</sup>。也有研究将其归入末端扇沉积<sup>[9,10]</sup>。从目前发表的文献看,至少在松辽盆地、鄂尔多斯盆地<sup>[11]</sup>、吐哈盆地<sup>[12]</sup>、准噶尔盆地、渤海湾盆地都发现有浅水三角洲,研究工作集中于沉积、储层特征上,对其成藏特点还未见报导。

渤海海域新近纪水体远较松辽盆地、鄂尔多斯盆地浅水三角洲沉积水体浅,因而该区浅水三角洲沉积更具有代表性,通过该区的研究,更深入认识浅水三角洲沉积特征。同时随着对浅水沉积环境认识的深入,尤其是一系列大中型浅水三角洲油藏的发现,使我们确信浅水三角洲已成为发现大型油气藏的重要场所。在渤海海域勘探重点由深部转向浅部之后,正确认识浅水三角洲的沉积特征,弄清成藏条件,将会

为本区的勘探提供新的支撑。

## 1 渤海海域新近系古地理再认识

基于环渤海周缘陆上含油气区的沉积特征及渤海海域沉积物的特点,传统研究认为渤海海域以河流相沉积,局部发育有小规模、分隔的滨浅湖沉积<sup>[13]</sup>。陆上沉积总体以山麓洪积相、冲积平原—河流平原相粗碎屑岩为主。如辽河拗陷新近纪为河流冲积平原,以块状砂砾岩为主,仅在明化镇组早期发育砂泥岩交互沉积;而黄骅拗陷馆陶期发育冲积扇、网状河平原、曲流河平原沉积,明化镇期发育曲流平原沉积;在济阳拗陷,馆陶期发育山麓洪积相和扇前洪积平原相沉积,只在晚期发育河流冲积平原相沉积。渤海海域新近系馆陶组以灰白色厚层、块状砂砾岩夹棕红色泥岩,明化镇组下部以棕红色泥岩夹灰绿色、灰色砂岩沉积,上部为棕红色、灰绿色泥岩与砂岩互层,整体反映出氧化到半氧化、半还原沉积环境。据此认为渤海海域在新近纪以河流沉积为主依据是较充分的。

然而近年研究表明,该区存在湖泊发育的直接和间接证据,如丰富的淡水湖泊生物化石、低的砂岩含量等<sup>[13]</sup>,并以砂岩含量为依据对湖泊发育区进行了初步预测,表明湖泊面积较前人预测有所扩大。基于其不发育深色泥岩,泥岩为灰绿—棕红色、发育块状层理或波状层理的特点及生物化石组合主要为浅水系列等特征,确认其水体较浅,为浅水湖泊。而在对沉积层序分析后,更发现了三角洲沉积<sup>[14]</sup>。

在近年新积累地质资料深入分析基础上,尤其是对渤海海域沉积泥岩深入研究后发现,尽管该区大面积发育氧化环境产物,但许多层段呈氧化色的泥岩质地较纯,发育块状层理,极少有暴露标志,尤其是古土壤极少出现,显示出快速沉积后较少受到扰动的特点,说明其沉积时可能并不是一种纯粹的陆上暴露环境。这种广布的氧化色泥岩可能是一种浅水水下环境的产物,推测存在广泛分布的统一大型浅水湖泊,而不仅仅是几个孤立的小规模湖泊。这种广布的浅水湖泊为形成较大规模的浅水三角洲提供了空间和条件,有可能发育大型浅水三角洲。这一认识打破了以往以孤立浅水湖泊周缘三角洲为勘探目标的约束,拓展了三角洲沉积勘探的区域,取得了一系列突破性的勘探成果。

不同层段岩性分析表明,尽管馆陶组下部以砂砾岩沉积为主,但在馆陶组上段,却有大量的细粒沉积的发育,与砂岩的组合型式显示出较明显的进积层

序,这与三角洲的沉积序列具有较好相似性,而从对其平面的追踪表明沉积体显示出分枝状特点,是湖相三角洲沉积较典型特征,而电性特征的研究也表明,在该区存在着明显的进积沉积作用,因而浅水三角洲沉积序列确实存在。而在新近系明化镇组下段沉积时期,渤海海域地势平缓、宽广、坡度小,形成广阔的滨浅湖区,河流注入的地方形成了多个大型浅水湖泊三角洲沉积体系(图 1)。

大型浅水三角洲确认的重要意义在于其沉积特点既不同于河流相沉积,也不同于正常的三角洲,其独特的沉积控制因素和沉积特征,使其在成藏中具有独有的特点而为形成大型油气藏提供了条件。

## 2 浅水三角洲特征

浅水三角洲是由河流注入浅水卸载而成的沉积体。与正常三角洲一样,浅水三角洲也由水上平原、水下平原、前缘、前三角洲等四个亚相构成。浅水三角洲水上平原和水下平原亚相发育有分流河道、天然堤、决口扇和分流河道间洼地等微相,浅水三角洲前缘发育水下分流河道、河口坝、水下分流河道席状化形成的席状砂、水下分流河道间泥坪(河湾)等微相,前浅水三角洲主要为前三角洲泥岩(浅湖泥)(图 2)。

相对于正常三角洲浅水三角洲由于形成的水体很浅、水底地形平坦、地貌斜坡不明显,一般以河流的进积作用为主,湖水波浪改造能力很弱,因而显现出特有的沉积特征,具体表现为:

### 2.1 相对发育的水下分流河道砂岩

浅水三角洲由于其湖水较浅,一般以河流营力为主,湖水改造作用较弱,以河流砂体为主。对渤海海域各三角洲沉积研究表明,其储集砂体以河流相为主,其次为河流外缘的席状化沉积物,包括天然堤、决口扇、溢岸不连续砂等。河道砂体单砂层厚 2.5~16 m,一般小于 10 m,单个分流河道砂体宽度一般为 250~300 m,常显多期叠置特征。

水上平原亚相分流河道以中、细砂岩为主,分选好,磨圆为次棱—次圆。发育交错层理、平行层理等,底部常具冲刷面。电测曲线常呈圣诞树形或箱形及齿化钟形或齿化箱形。天然堤以细、粉砂岩为主,可见沙纹交错层理及爬升层理、变形层理等,泥岩颜色有紫红色、灰绿色,紫红杂灰绿色泥岩(花斑泥岩)常见。决口扇由细、粉砂岩组成,见中砂岩,正粒序,可见小型交错层理、砂纹层理及正递变层理,电测曲线为孤立尖峰状。

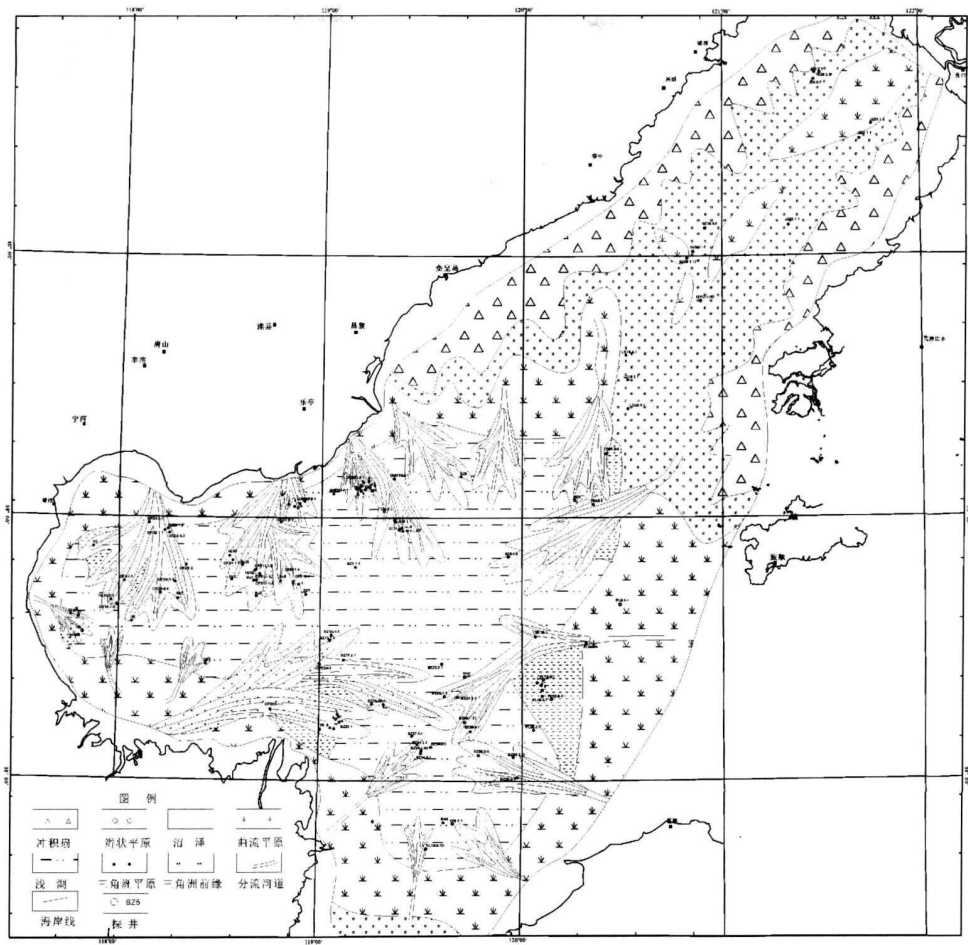


图 1 渤海湾海域明化镇组下段下部沉积相图

Fig 1 Sedimentary facies in lower part of Minghuazhen Formation in Bohai Bay

水下平原分流河道岩性较水上分流河道略细,在平面上呈带状,分叉明显,下切作用不明显。砂体之间关系复杂,席状化程度较高,侧向上呈“藕断丝连”排列,连通性较好,部分被粉砂质泥岩或泥岩相隔。河道间泥岩多为灰绿色、灰色,局部为鲜红色,在一些泥岩中可见典型的淡水动、植物化石。

### 2.2 不甚发育的河口坝沉积

河口坝一般呈现反粒序,是河流携带的碎屑在河口被湖浪再分配的产物。由于受湖浪簸扬作用影响,颗粒分选好,概率曲线总体出现双跳跃,反映双向水流的作用。渤海海域河口坝虽有发育,但发育较差,厚度较小,一般 10~30 m。多为粉砂岩到细砂岩,层理发育,中上部波状层理、小型砂纹层理,下部水平层理,与底部的湖泥呈渐变接触。

浅水三角洲河口坝不发育的原因有两个。一是河口坝发育需较强的湖水改造,而浅水湖泊水动力较弱,难于形成河口坝发育的水动力条件。二是浅水三

角洲建设性较强,使得河道进积速度快,在进积过程中对原河口沉积物具有较强的改造作用,使得发育的河口坝不能较好地保存,仅存河口坝的下部,从而使河口坝的规模和分布局限。

### 2.3 不连续的垂向沉积层序

与正常三角洲沉积不同,渤海海域浅水三角洲沉积呈现出明显的进积特点,三角洲的复合层序特征不明显,典型沉积序列为最底部为冲刷面,冲刷面之下是先期的河流沉积或滨浅湖沉积,冲刷面之上依次是水上平原亚相的水上河道、水上天然堤、水上决口扇及水上河道间,或为水下平原亚相的水下河道,水下天然堤、水下决口扇及水下河道间等微相以及浅水三角洲前缘、前浅水三角洲、湖泥等沉积组合。

形成这一层序特点的原因在于当时沉积时地势低平,湖面波动频繁,低水位期分流河道长距离向湖泊方向推进,高水位期则长距离后退,湖水间歇性淹没造成多次沉积间断,在垂向上形成不连续的沉积层

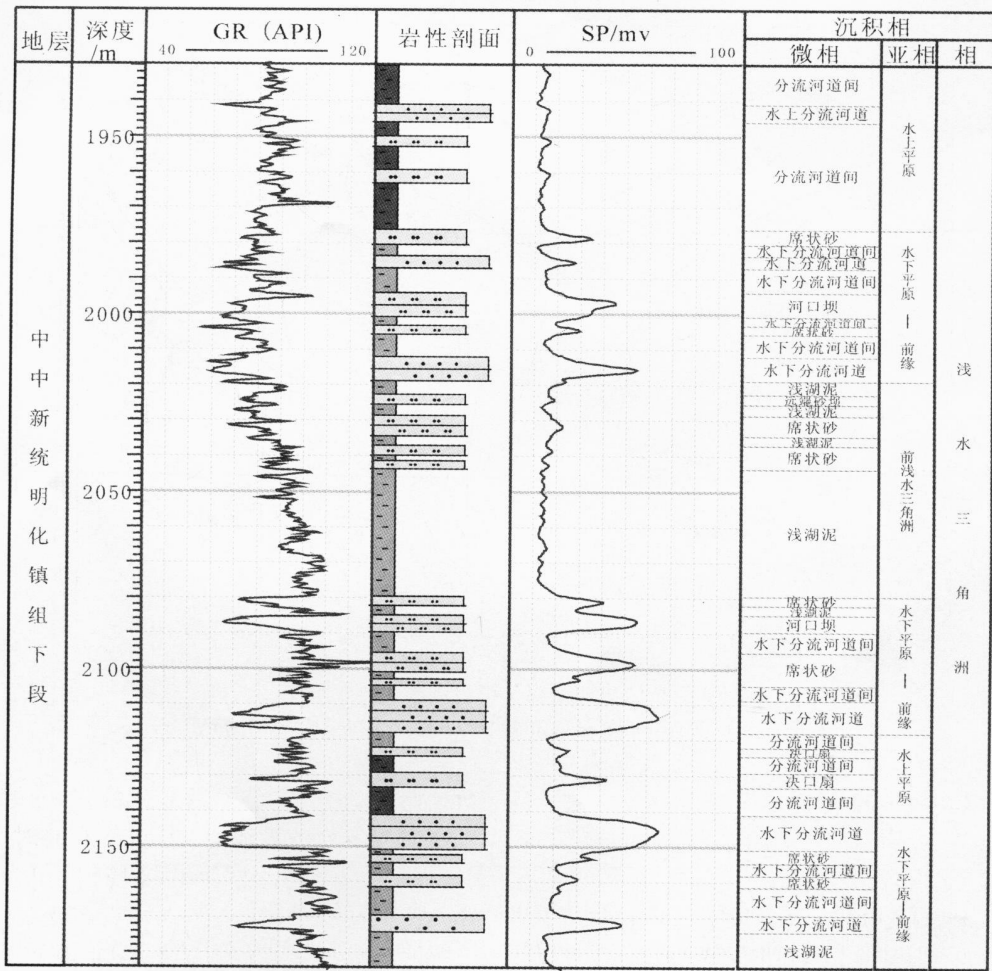


图 2 黄河口凹陷明化镇组下段浅水三角洲沉积层序图

Fig 2 Sedimentary sequence of shallow water delta in lower Minghuazhen Formation in Huanghekou Sag

序。在垂向层序上,水下河道砂体常发育于厚度小的河口砂坝或直接发育于浅水三角洲外前缘席状砂、前浅水三角洲泥坪之上。

2.4 广泛分布的席状砂

关于浅水三角洲席状砂的成因,有研究认为是由于湖面整体快速下降,伴随季节性、周期性湖面频繁波动过程中,进入三角洲前缘的河口砂坝和 underwater 河道被冲刷一回流和沿岸流强烈改造,在三角洲前缘平缓浅水区形成大面积分布的席状砂<sup>[7]</sup>。然而基于浅水三角洲湖泊水动力的特征,尤其是渤海海域极浅水的特征,湖泊水动力难于达到较好改造前期沉积物,形成连续分布席状砂的条件,更有可能是河道扩展化及水流分散后呈面状流的结果或是由于洪水期河道中粗粒沉积在河间直接沉积的结果。席状砂由粉细砂

岩组成,分选、磨圆均较好,单层厚 15~60 cm,正韵律和反韵律均有发育,内部沉积构造丰富,发育砂纹层理、透镜状层理、波状复合层理、脉状层理等。同生变形强烈,普遍发育泄水构造和塑性变形构造。生物扰动强烈,层内含有丰富的低角度斜交、平行层面的生物钻孔和生物遗迹。

2.5 类似于三角洲沉积的砂体形态等特征

渤海海域浅水三角洲砂体分布明显受控于分流河道的分流作用,显示出分流河道分叉后连片沉积的特点。如黄河口凹陷明下段浅水三角洲砂体平面分布形态上呈朵状或指状,垂直或斜交岸线分布。根据这些砂体的轮廓、范围与展布方向,可以看出其受河流控制,砂体具有明显的方向性,反映出三角洲沉积的形态特征(图 3)。

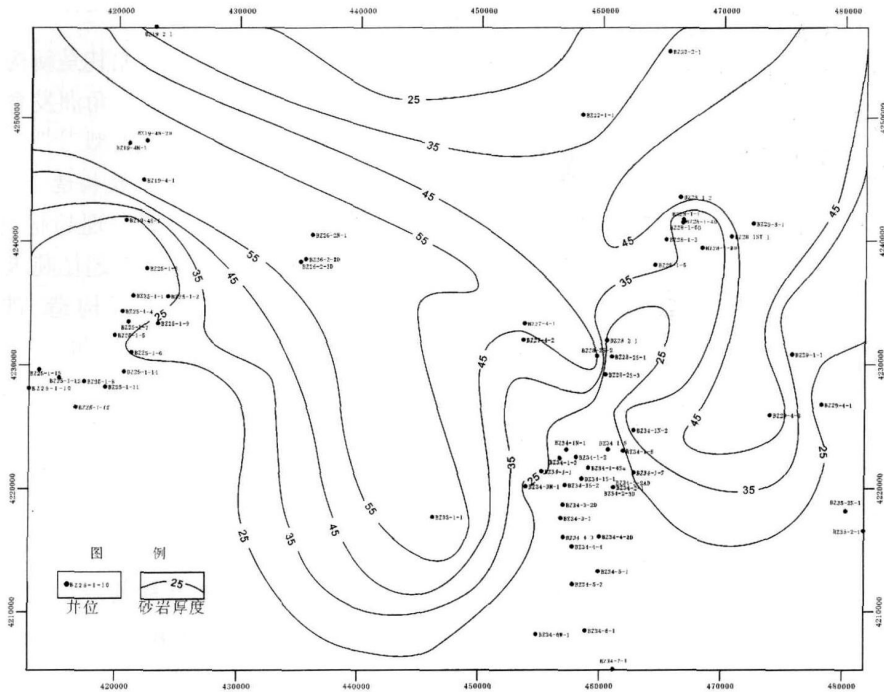


图 3 黄河口凹陷明化镇组某段砂体分布图

Fig 3 Sand distribution of shallow water delta in Huanghekou Depression

2 6 三层式沉积结构不明显

平面上浅水三角洲平原与宽展的三角洲前缘、前三角洲平缓相接,无明显的坡折,也就不存在传统的三角洲模式的顶积层、前积层和底积层,在地震剖面上基本找不到前积结构的直接证据。渤海海域浅水三角洲是在广阔的浅水湖盆中由一期期薄而广布的三角洲叶状体建设起来的,这种加积方式同伸入深水盆地具有陡倾斜前积层三角洲的“迭瓦状”加积方式截然不同,相比之下可称之为“迭叶状”加积方式,而称其三角洲为叶状复合三角洲。在复合三角洲剖面中,每期三角洲沉积都呈薄层状向湖盆中稳定伸展,使复合三角洲具有显著的层状特征。

在漫长的地质时期中,由于湖盆缓慢沉降和水域频繁的变化,三角洲叶体反复地变迁,形成分布广阔、累加厚度巨大和复杂的叶状复合体。受益地的沉积旋回所控制,在沉积过程中发育有水退层序、水进层序和水退—水进的复合层序。由于浅水湖盆波浪能量较弱,河流能量始终较强,三角洲几乎总是显示为河流建设性作用。

2 7 以浅湖相为主的前三角洲沉积

由于水体极浅,整个渤海海域新近纪基本不存在半深湖—深湖区域,在浅水三角洲的前缘之外,为滨浅湖的泥岩沉积。研究表明这类泥岩主要以棕色、灰

绿色的块状泥岩为主,夹部分棕红、灰绿色发育小型砂纹层理的粉砂质泥岩,表明其形成时水体较浅,处于半氧化—半还原的沉积环境,沉积为较快速的沉积,受后期的改造较小。这一点与松辽盆地、鄂尔多斯盆地等的浅水三角洲有所不同,在这些盆地中前三角洲形成于半深湖还原环境中。

2 8 前三角洲中极少发育重力流性质的砂体

由于湖底地形非常平缓,加之沉积水体极浅,基本上在 10 m 以内,使得在该区难于形成正常三角洲前缘较大斜坡的地形,沉积体前缘稳定,不易发生滑塌。即便发生滑塌作用,由于有限的高差和平缓的地形也不能进一步发展成具有一定规模的重力流,因而不能形成重力流沉积。对该区的研究表明,在三角洲前缘席状化砂体外的滨浅湖区,除了洪水期河流携带的少量粉细砂沉积外,基本上全部为细粒的灰绿色、棕红色泥岩和泥质粉砂砂岩沉积,不发育具有储集能力的砂体。

3 浅水三角洲形成大型油气藏的有利条件

3 1 优越的储盖组合

浅水三角洲勘探意义体现在其沉积特征与河流相具有的明显差异,造就了其优越的成藏条件。

辫状河沉积体系的特点为“一粗到顶”,沉积物主要为砂岩、砂砾岩,沉积厚度大、分布广、侧向和垂向连通性好,在储集方面具有优势。基于此勘探重点在于封盖层的确定及其封堵能力研究。相对于辫状河沉积体系,浅水三角洲尽管不发育高还原环境下的质纯半深湖—深湖相泥岩,但在该体系中的滨浅湖泥岩、前三角洲泥岩、河湾泥岩和三角洲平原的沼泽沉积,具有粒度细、分布广、厚度相对较大的特点,足可以成为封堵油气的优良盖层,为油气成藏提供了较好的封堵条件。

以往研究认为新近系馆陶组为辫状河沉积体系,缺乏稳定盖层,而没有给予足够的重视。近年研究表明在渤中地区和渤南地区,馆陶组存在浅水辫状河三角洲沉积,该沉积体系中湖泛期滨、浅湖泥岩分布广泛、厚度稳定,成为良好的封堵层,为圈闭提供了极好的封堵条件。本次研究表明馆下段的湖泊面积较小,三角洲沉积不太发育,但馆上段湖泊面积较大,不仅在渤中、渤南发育,一直延伸到青东、莱洲湾一带,在歧口凹陷也有发育,同时一大批的浅水辫状河三角洲沿湖发育,为勘探提供了大量的目标。而在辽东湾地区(JZ17-2-1井区),发育有沼泽相泥岩、砂泥岩,表明辽东湾馆上段中也有汇水中心。而这一汇水中心的大小及其发育情况,可能会影响到该区成藏条件,若汇水区具有足够的面积,将会发育浅水辫状河三角洲,在资料进一步积累、工作深入后有可能取得勘探突破。

曲流河沉积体系细粒段相对较为发育,形成明显的砂泥互层的地层充填特征。曲流河中的砂体会成为优质储层,而泛滥平原中的细粒沉积则可能会成为盖层,从而组成河流砂体—泛滥平原泥岩的储盖组合样式。然而由于砂体多为条带状展布,形成的砂体多不连续,目前基于储层沉积和储层反演技术的储层预测技术,对于河流相储层的预测不是很成熟,预测难度较大,风险较高。浅水三角洲分流河道砂体、河口坝砂体、席状砂体连续性和连通性远较曲流河沉积为好,砂体整体形态上呈现出明显的扇状—坨状,展布面积大、分布宽广而稳定,较易预测,勘探风险较低。而且前已述及,浅水三角洲沉积的盖层发育,储盖组合优越。

在渤中—渤南一带,新近系明下段上亚段和下亚段中都发育有大量的浅水三角洲,砂体显示出明显的扇形分布特点,而这些三角洲与滨浅湖相伴生,组成了良好的储盖匹配关系,显示了良好的勘探前景。

### 3.2 有利的圈闭条件

继承性的构造运动,尤其是新构造运动形成丰富的构造圈闭,使得在浅水三角洲发育处形成了一系列的有利圈闭,主要有 3 种类型<sup>[15 16]</sup>:

#### 3.2.1 凸起上的浅层披覆构造

如辽西低凸起上已发现超亿吨级的 SZ36-1 油田、石臼坨凸起上发现 2 个超亿吨级油气田 QHD32-6 和 NB35-2 及一批含油气构造、沙垒田凸起发现 CFD11-1 超亿吨级油田及一批大型的含油气构造和尚未钻探的圈闭、庙西凸起发现 PL9-1 大型含油气构造、渤南凸起发现 5 亿吨级 PL 19-3 油田及一批浅层构造、埕北低凸起上的埕岛超亿吨级油田和中部一批未钻探的圈闭、莱北低凸起、渤东凸起的 LD27-2、LD32-2 含油构造等。

#### 3.2.2 凹陷中的正反转构造

正的反转构造比较发育。该类构造沿郯庐断裂东支发育最多,如 KL11-2、KL17-1、PL25 构造群, PL19 构造群, PL 14-3、PL13 构造群, PL14 构造群, PL2 构造群, LD27 构造群, LD22-1 等构造。郯庐断裂中支有 BZ34 构造群, BZ28-1 花状构造, BZ22 构造群等浅层构造。

#### 3.2.3 大型铲形断裂产生的浅层背斜圈闭

如渤西区海 1 大断裂及海 4 大断裂形成的海 4 井(QK 17-3)、海 1 井(QK 17-2), QK18-7, QK 18-8, QK 11-1、CFD15-1 等构造,沙南断裂形成的 CFD16-1、CFD16-2 构造, BZ 13 构造群,石南断裂上的 BZ3 构造群, BZ34 构造群等。

海域浅层三种类型众多的圈闭只有凸起上的披覆构造形成较早,但主要也是晚第三纪定型的,而凹陷中的正反转构造及大断裂两侧的背斜、断背斜形成就更晚,它们的主定型期在上新世末。

### 3.3 充足的油气供给

渤海海域除有古近纪沙三段烃源岩外,比周围陆区古近系多一套东下段—沙一段烃源岩<sup>[17 18]</sup>。该套烃源岩具有以下特点:(1)有机质丰度高,生烃潜力大。庙西凹陷 PL14-3-1 井井深 2 700~3 700 m 发育东下段—沙一段暗色泥岩,其 TOC 为 2%~5%, HC 为 0.304 2%~0.600 9%, S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> 为 8~16 mg/g, H 为 300~500 mg/g, R<sub>o</sub> 为 0.5%~0.6%。(2)烃源岩规模大。海域东营组分布广,厚度大:渤中凹陷东营组分布面积 8 600 km<sup>2</sup>,最大厚度 4 000 m;辽中北洼东营组分布面积 2 000 km<sup>2</sup>,最大厚度 3 500 m;歧口凹陷东营组分布面积 4 100 km<sup>2</sup>,最大厚度 3 000 m。

(3) 烃源岩已进入成熟阶段。海域在新近纪和第四纪经历了较强的沉降作用, 沉积了一套巨厚的地层, 最大厚度约 4 000 m, 第四系—东营组最大厚度逾 8 000 m, 下伏的东下段—一沙一段烃源岩在明化镇组下段沉积后先后进入成熟期, 开始生成大量的油气, 而且目前还处于生油高峰期, 一直有大量的油气供给(图 4)。因而尽管本区构造形成较晚, 仍有充分的油源供给。同时新构造运动破坏了部分的古近系及中生界的油气藏, 油气藏内的油气随断层上移地过程中, 也有一部分进入新的圈闭而成藏。

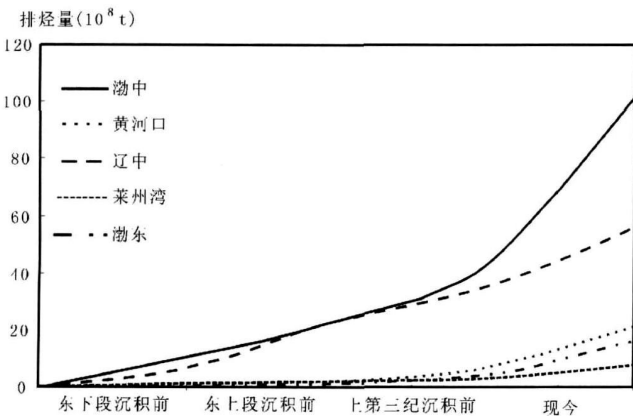


图 4 渤海海域主要凹陷沙河街组源岩各时期排烃图

Fig 4 Hydrocarbon Generation of Shahejie Formation in Bohai Bay

### 3.4 畅通的运移通道

新近系浅水三角洲储层具有畅通的油气运移通道。新构造所形成的大量的断层成为油气进入多数圈闭的主要通道。此时期的断裂活动极为活跃并表现出以下特征<sup>[15, 19]</sup>: ① 断开层位浅(个别断层断至海底); ④ 上部层位断层数量多, 下部层位断层数量少, 如明化镇组断层数量是馆陶组断层数量的两倍多; 断层组合呈“似花状”、“耙式”、“对偶状”等; ④ 越靠近郟庐断裂, 晚期断裂活动越活跃; ④ 晚期断层多呈近东西向展布于郟庐断裂两侧, 其断距一般为 20~30 m, 延伸长度 1~2 km, 断层最大密度为 1条/km<sup>2</sup>。晚期断层与长期活动的早期断层相接, 构成了油气向浅层运移的良好通道。另外不整合面和馆陶组的厚层砂砾岩储层也可作为油气运移的良好通道。

正是基于以上有利条件, 近年来不断有大型浅水三角洲油气藏的发现。仅在黄河口凹陷北缘和渤中凹陷南缘就发现了新近系浅水三角洲油藏 7 个, 如渤中 25-1 南、渤中 26-3 渤中 28-2 渤中 29-4 和渤中 34 等油气田, 获地质储量超过 10 亿 m<sup>3</sup>。而作为我国最大的海上油气田 PL19-3 也是发育于浅水辫状河三角

洲背景之上的一个实例。

## 4 结论

(1) 渤海新近系浅水三角洲砂岩储层由于受河流作用的控制, 砂体具有明显的方向性, 但下切作用不明显, 存在明显的分叉现象, 与曲流河相比, 砂体席状化程度高, 侧向上呈“藕断丝连”排列, 砂体连通性较好, 砂体等厚图呈典型的朵叶状。

(2) 浅水湖泊湖相厚层泥岩普遍发育, 泥岩单层厚度一般在 15~80 m, 与浅水三角洲砂体组成多套垂向优质储盖组合;

(3) 渤海海域浅水三角洲发育于渤海新近纪至今处于生烃的峰期主力富烃凹陷的有利区带, 受新构造作用影响, 具有优越的储盖组合、充分的油气供应和通畅的油气运移通道, 因而可形成大型油气田;

(4) 通过对发育于构造有利部位的浅水三角洲沉积的精细勘探, 有可能取得新的勘探突破。

## 参考文献 (References)

- 胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海盆地热历史及构造—热演化特征 [J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 748-755 [Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Luo Yuhui, et al. Thermal history and tectonic-thermal evolution of Bohai Basin, East China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1999, 42(6): 748-755]
- Donaldson A. C. Permian sedimentation of central Appalachian [J]. Special Paper of Geology Society of America No. 148, 1974, 47-78
- 赵翰卿. 松辽盆地大型叶状三角洲沉积模式 [J]. 大庆石油地质与开发, 1987, 6(4): 1-9 [Zhao Hanqing. Sedimentary model of large-scale leaf-shaped delta in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 1987, 6(4): 1-9]
- 梅志超, 林晋炎. 湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征 [J]. 沉积学报, 1991, 9(4): 1-11 [Mei Zhichao, Lin Jinyan. Stratigraphic pattern and character of skeletal sand bodies in lacustrine deltas [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 1-8].
- 姚光庆, 马正, 赵彦超, 等. 浅水三角洲分流河道砂体储层特征 [J]. 石油学报, 1995, 16(1): 24-31 [Yao Guangqing, Ma Zheng, Zhao Yanchao, et al. Reservoir characteristics of distributary channel sand bodies of shallow water delta [J]. Acta Petroleologica Sinica, 1995, 16(1): 24-31]
- 楼章华, 卢庆梅, 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响 [J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 27-31 [Lou Zhanghua, Lu Qingmei, Cai Xiyuan, et al. Influence of lake level fluctuation on sand-body shapes at shallow water delta front [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(4): 27-31]
- 楼章华, 兰翔, 卢庆梅, 等. 地形、气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用 [J]. 地质学报, 1999, 73(1): 83-92 [Lou Zhang-



- hua Lan Xiang Lu Qingwei *et al* Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow water delta [J]. *Acta Geologica Sinica* 1999, 73 (1): 83-92]
- 8 吕晓光, 李长山, 蔡希源, 等. 松辽大型浅水湖盆三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型 [J]. *沉积学报*, 1999, 17 (4): 572-577 [Lv Xiaoguang, Li Changshan, Cai Xiyuan *et al* Depositional characteristics and front facies reservoir framework model in SongLiao shallow lacustrine delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (4): 572-577]
  - 9 王生朗. 一种广盆式浅水湖泊沉积特点 [J]. *断块油气田*, 1998, 5 (1): 9-12 [Wang Shenglang Characteristics of a kind of broad basin shallow lacustrine deposit [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field* 1998, 5 (1): 9-12]
  - 10 张金亮, 愈惠隆. 我国东部几个含油气盆地浅水湖泊砂体成因的认识 [J]. *石油与天然气地质*, 1989, 10 (1): 40-44 [Zhang Jinliang Yu Hui long Understanding about origin of shallow lacustrine sandbody in some petroliferous basins in East China [J]. *Oil & Gas Geology*, 1989, 10 (1): 40-44]
  - 11 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化 [J]. *古地理学报*, 2004, 6 (3): 307-315 [Wu Fu Li Li Wenhou, Li Yuhong *et al*. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6 (3): 307-315]
  - 12 李文厚, 周立发, 赵文智, 等. 西北地区侏罗系的三角洲沉积 [J]. *地质论评*, 1998, 44 (1): 63-70 [Li Wenhou Zhou Lifa Zhao Wenzhi *et al* Deltaic sediments of the Jurassic in Northwest China [J]. *Geological Review*, 1998, 44 (1): 63-70]
  - 13 中国石油地质志编委会. 中国石油地质志第十六卷 (上册) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 67-74 [Editing Committee of Petroleum Geology of China *Petroleum Geology of China* (Vol 16) [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1990 67-74]
  - 14 徐长贵, 姜培海, 武法东, 等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义 [J]. *沉积学报*, 2002, 20 (4): 588-594 [Xu Changgui Jiang Peihai Wu Fadong *et al* Discovery and sedimentary characteristics of the Neogene Delta in Bozhong Depression and its significance for oil and gas exploration [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2002, 20 (4): 588-594]
  - 15 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系 [J]. *中国海上油气 (地质)*, 2001, 15 (1): 35-43 [Cai Dongsheng, Luo Yuhui Wu Wenlai *et al*. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong Depression and adjacent area, Bohai Bay Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15 (1): 35-43]
  - 16 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 Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea [J]. *Acta Petrologica Sinica* 2001, 22 (2): 1-7]
  - 17 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域 [J]. *中国海上油气 (地质)*, 2000, 14 (3): 145-156 [Gong Zaisheng Wang Guochun He Qing The Neogene A main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong Sag and its surrounding areas [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2000, 14 (3): 145-156]
  - 18 池英柳. 渤海新生代含油气系统基本特征与油气分布规律 [J]. *中国海上油气 (地质)*, 2001, 15 (1): 3-10 [Chi Yingliu Basic characteristics and hydrocarbon distribution in Cenozoic petroleum systems Bohai Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15 (1): 3-10]
  - 19 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 (地质)*, 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 (Geology)*, 2001, 15 (1): 21-28]

## Neogene Shallow Water Deltaic System and Large Hydrocarbon Accumulations in Bohai Bay, China

ZHU Wei-lin<sup>1</sup> LI Jian-ping<sup>2</sup> ZHOU Xin-hua<sup>1</sup> GUO Yong-hua<sup>2</sup>

(1. China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) Limited Beijing 100010

2. China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) China National Limited Tianjin 300452)

**Abstract** Bohai basin is characterized by tectonically-uniform block with steady and slow subsidence, which resulted in low-relief, low gradient and high-stand lake-level depositional settings during the Neogene. Excellent reservoir-seal combinations and superb conditions for the formation of hydrocarbon traps in the region. Cyclic depositions of shallow water deltaic system which were dominated by fluvial systems showed obvious lobe shape on contour maps and very good lateral connectivity between lobes. Broadly developed, vertically stacked cyclic thick shale layers resulted in multiple sets of reservoir-seal combinations. Shallow water deltaic facies are positioned near the prolific hydrocarbon-enriched depressions which have been in the peak hydrocarbon generation since Neogene. And the coincidence of neotectonism since Neogene and the peak hydrocarbon generations in the depression has created the excellent basis for the formation of medium-to-large scale fields in the high quality shallow-water deltaic facies offshore. Therefore, the shallow water deltaic reservoirs still should be the focus targets for exploration for adding new reserves and increasing productions in this region.

**Key words** shallow water deltaic facies, sheet sands, hydrocarbon accumulations, exploration potential