

文章编号:0253-9985(2010)02-0165-08

黄河口凹陷浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义

吴小红^{1,2},吕修祥^{1,2},周心怀³,张杰^{1,2},史翠娥^{1,2}

[1. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心,北京 102249; 2. 中国石油大学 石油与天然气成藏机理教育部重点实验室,北京 102249; 3. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司,天津 300452]

摘要:新近系浅水三角洲油气藏是渤海海域近年来最主要的油气发现类型之一。利用沉积相分析、粒度特征、古生物标志和古环境响应等资料,总结了渤海海域浅水三角洲的沉积特征和发育背景,明确了浅水三角洲的展布特征和控制因素,探讨了浅水三角洲有利的成藏条件。研究表明,浅水三角洲发育于浅的地形平缓的淡水湖泊,湖平面的周期性变化造成多期砂泥岩互层,水下分流河道是浅水三角洲主要的沉积类型,区域分布稳定。上述沉积特征决定了浅水三角洲储盖组合优良,同时晚期走滑伴生断层利于多种圈闭的发育,油源充足且运移通畅。浅水三角洲成藏条件良好,具有广阔的勘探前景。

关键词:水下分流河道;浅水三角洲;相分析;油气勘探意义;新近系;黄河口地区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Depositional characteristics and hydrocarbon exploration significance of shallow deltas in the Yellow River Mouth Sag

Wu Xiaohong^{1,2}, Lv Xiuxiang^{1,2}, Zhou Xinhui³, Zhang Jie^{1,2}, and Shi Cui'e^{1,2}

(1. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Key Laboratory of Petroleum Accumulation Patterns, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. CNOOC Tianjin Company, Tanggu, Tianjin 300452, China)

Abstract: The hydrocarbon reservoirs in the Neogene shallow deltas are the main type of recent discoveries in Bohai Sea. Using various data such as depositional facies analysis, grain size, paleontological marker and paleo-environment response, we have summarized the sedimentary characteristics and development settings of the shallow deltas, determined their distribution pattern and controls and discussed their favorable conditions of hydrocarbon accumulation. The study results show that: 1) these shallow deltas developed in shallow and gentle lakes; 2) multiple stages of sand-mud interbedding occurred due to the periodical changes of lake level; 3) as the main sedimentation type in these deltas, the sublacustrine distributary channels are stable in their regional distribution. These depositional characteristics may lead to good reservoir-seal combinations in the shallow deltas, and the associated later strike-slip faults are favorable to developing various traps, with sufficient oil sources and an unobstructed hydrocarbon migration. Therefore, these shallow deltas are good in hydrocarbon accumulation conditions and are great in exploration potential.

Key words: sublacustrine distributary channel, shallow delta, facies analysis, hydrocarbon exploration significance, Neogene, the Yellow River Mouth area

渤海海域油气勘探近年来在浅层新近系取得重大突破,以浅水三角洲为勘探对象先后发现大中型油气田十余个,新增油气地质储量超过 $8 \times$

10^8 m^3 ^[1]。这些发现表明,与渤海湾盆地陆区不同,渤海海域以明化镇组浅水三角洲为主要对象的构造-岩性油气藏,是裂谷盆地拗陷期油气勘探

收稿日期:2009-06-03。

第一作者简介:吴小红(1979—),女,博士研究生,石油地质。

基金项目:中海石油总公司重点科技攻关项目(SC06TJ-TQL-004)。

的一大亮点。然而在勘探早期,渤海海域主要借鉴陆区经验,认为新近系以山麓洪积相、冲积平原-河流相粗碎屑岩为主,不能形成良好的储盖组合,浅层系勘探迟迟未见突破。因此,细化基础研究和深化认识,总结浅水三角洲的沉积特征、展布规律和成藏条件,对推动该类油气藏的勘探深入和有效指导勘探进程,都具有重要的理论意义和实践价值。

1 区域地质概况

渤海湾盆地构造演化经历了古近纪断陷充填和新近纪拗陷充填两个阶段。与陆区不同,到新近纪,渤中凹陷东南部与黄河口凹陷逐步演变成华北盆地新近纪的沉积沉降中心^[2],是周缘陆区物源的汇水中心。区域地震资料显示,新近纪尤其是明化镇组沉积时期以来,渤中地区和黄河口地区斜坡带与洼陷中心并无明显的坡度转换,整体坡度均十分平缓。这种平缓的地形和汇水湖泊的背景十分有利于浅水三角洲的发育^[3]。

黄河口凹陷位于渤海海域的南部,北邻渤南凸起,南为莱北低凸起和垦东凸起,西接埕北低凸起,东临庙西凹陷(图 1),总面积约 3 300 km²,古

近系最厚达 3 500 m。黄河口凹陷古近纪构造面貌表现为西深东浅、北陡南缓和凹中反转的特征。新近纪新构造运动期以来,在近南北向拉张作用背景下,黄河口凹陷主要发育北北东向的主走滑断裂和近东西向的派生断裂两组断裂系统。其中北北东向断裂为营潍走滑断裂带在黄河口凹陷中部的延伸,它在深部表现为一条近于直立的主位移带,而在浅层由向上和向两侧发散的交织状分叉断层组成。两种性质的断裂相互交织,在浅层发育多种类型的圈闭。近年来,黄河口地区发现多个以浅水三角洲为储集体的构造-岩性油气藏,位于中央反转带的渤中 34 油田就是其中之一。

2 浅水三角洲沉积特征

2.1 岩性特征

通过分析黄河口地区 100 余口钻井,明化镇组下段浅水三角洲的岩性组合为:灰绿色、灰色、灰褐色或杂色泥岩与灰白色、灰褐色细砂岩、粉砂岩不等厚互层。经过统计,在不同地区,砂岩百分含量存在明显的差异,但总体比曲流河低很多,一般为 10%~25%,在有的井区甚至低于 10%。此

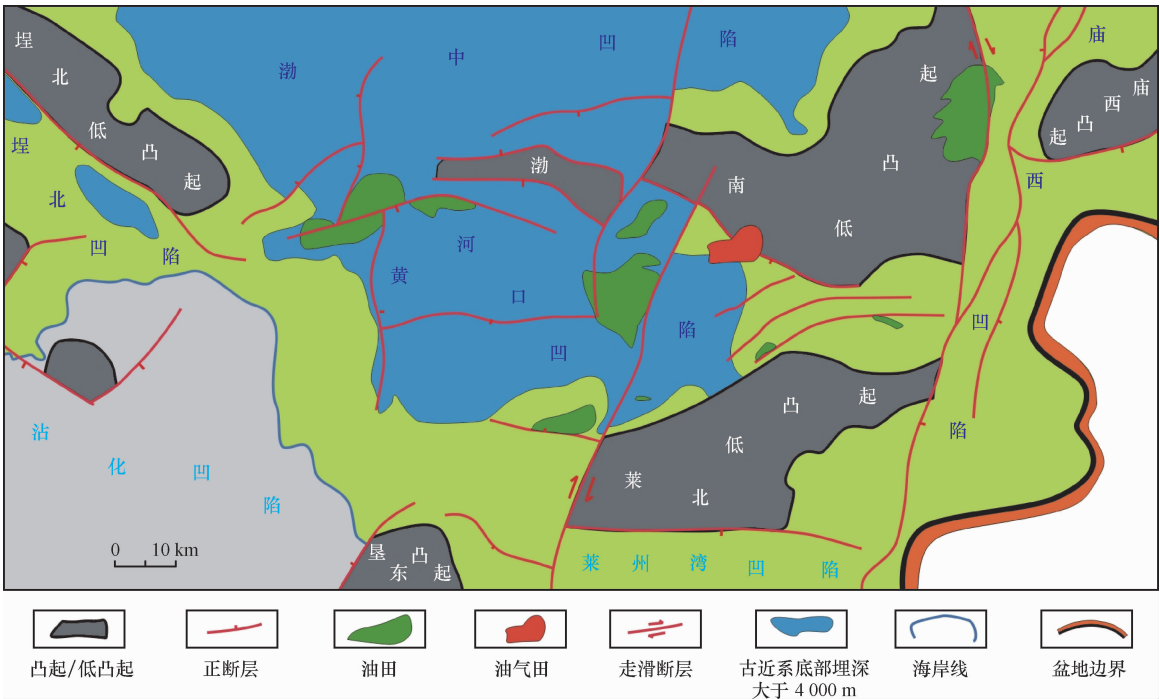


图 1 渤海南部构造单元划分

Fig. 1 Structural units in the south of the Bohai Sea

外,岩石类型比较简单,主要为细粒碎屑岩。其中,泥岩质地较纯,大部分呈块状结构,颜色在剖面上变化较快,为灰绿色、灰色等具还原环境的颜色与灰褐色和杂色等具弱氧化环境的颜色多期叠合;粉砂岩含泥质高,泥质胶结疏松,常夹泥质粉砂岩条带;细砂岩为细-极细粒,常因富含油呈灰褐色,成分以石英为主,次为长石及暗色矿物,分选较好,次棱角-次圆状,具有中-高的矿物成分成熟度和结构成熟度,为较长距离搬运的产物。

通过系统观察研究区 10 余口井岩心,认为浅水三角洲的岩相类型主要包括以下几种:夹褐灰色泥质粉砂岩条带的灰色具波状层理或爬升波痕层理的泥质粉砂岩相(图 2a);深灰色含腹足类化石的泥岩相(2b);灰色具较高角度斜层理的钙质细砂岩相(图 2c 上部);灰色夹褐灰色的粉细砂岩相(图 2c 下部);灰绿色块状泥岩相,土灰色具高角度斜层理、波状交错层理、平行层理的泥质粉砂岩和粉砂岩相(图 2d);浅灰色具水平层理的泥质粉砂岩相;灰褐色具小型槽状交错层理、透镜状层理的细砂岩相(图 2e);灰褐色具条带状层理和变形构造的泥质粉砂岩相(图 2f 上)、褐灰色具平行层理的细砂岩相(图 2f 下部)和杂色块状泥岩相。从相序上,以正粒序为主,底部为具小型交错层理、斜层理、波状交错层理、平行层理的细砂岩,中部为波状层理、爬升波痕层理的粉砂岩或泥质粉砂岩,顶部为灰绿色、灰色或灰褐色的泥岩。

2.2 粒度特征

与三角洲和河流相有所不同,浅水三角洲水

下分流河道的概率累积曲线一般为翘尾巴的三段式,即:跳跃组分和悬浮组分最为发育,滚动组分含量极低,在曲线上为微翘的尾巴(图 3)。其中,跳跃总体占 70%~80%,倾角为 60~70°;悬浮总体占 20%左右,倾角较小,为 30°~40°,滚动总体低于 0.5%。并且在跳跃段与悬浮段之间存在较宽的过渡带,说明混合度较大,分选较差。从粒度分布来看,跳跃总体始端点的 Φ 值一般大于 1(小于 0.5 mm),末端点为 4~6 之间(0.062 5~0.016 0 mm),表明沉积物较细,以细砂和粉砂岩为主。概率累积曲线的特征反映了研究区以牵引流为主,水动力较简单的特征。在粒度 C-M 图上,只发育 PQ 和 RS 段,OP 和 RQ 段不发育。PQ 段代表搬运方式以悬浮为主,少量滚动搬运;RS 段代表均匀悬浮^[4]。因此,含少量滚动组分的悬浮搬运是研究区主要的搬运方式。

2.3 古生物标志

明化镇组下段泥岩中见丰富的古生物化石,且各门类古生物的分异度和丰度都较高。通过对大量样品的微体古生物化石分析,明化镇组下段除发育传统地层中常见的标志生物外,还发育很多淡水湖泊中常见的生物,如孢粉见粗肋孢属、伏平孢属、枫香孢属等,藻类见锥藻属、光面球藻属、盘星藻属、粒面球藻属等。介形虫见纯净小玻璃介、苏式小玻璃介、近陡美星介、近球形玻璃介等。同时,在岩屑中也经常可以看见贝壳类、腹足类和鱼类等化石。这些特征都说明该时期研究区曾发育广阔的淡水湖泊环境。

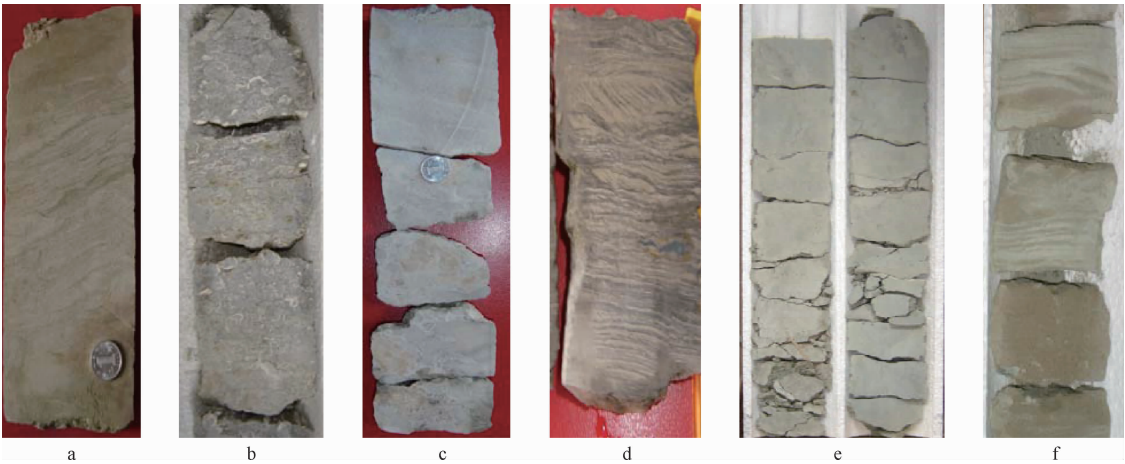


图2 黄河口地区岩心常见岩相类型

Fig. 2 Common lithofacies stypes of cores in the Yellow River estuary

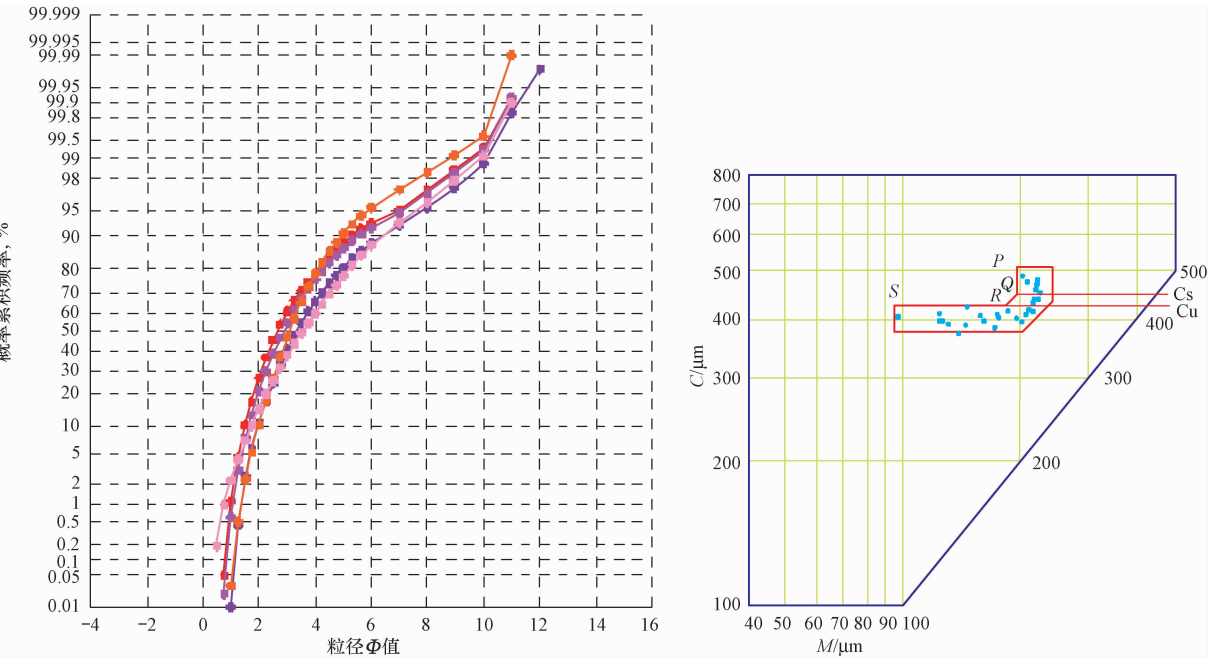


图 3 三段式概率累积曲线图和粒度 C - M 图

Fig. 3 The tri-segment probability curve and the C-M chart of granularity

在生物剖面上,选取松科类、平原沼泽类和湖泊藻类三类分子,其相对变化能够较好地反映环境的改变。其中,松科类代表了靠近山麓近源的沉积背景;平原沼泽类代表了冲积平原中下游靠近湖泊的沉积背景;湖泊藻类代表了浅水湖泊的沉积背景。通过分析,明化镇组下段地层的环境分子具有以下特征:早期平原沼泽类最发育,湖相藻类次之,松科相对较少;中期松科最多,平原沼泽和湖相藻类较少;晚期松科和平原沼泽最多,湖相藻类少。这表明明化镇组下段沉积环境主要经历了早期较宽阔的水体到晚期萎缩的全过程(图 4)。

2.4 古环境特征

利用元素地球化学特征推断古环境是最常用的,也是效果较为理想的一种方法。由于硼元素的含量能够较好地反映古盐度^[5],因此对黄河口地区明化镇组下段泥岩样品的硼元素含量进行了测定。结果表明,明化镇组下段沉积时古盐度最大为 8.37%,最小为 0,相当硼最大为 158.5×10^{-6} ,最小为 41×10^{-6} ,均低于淡水的上限(古盐度 12%,相当硼 200×10^{-6})。因此,黄河口地区明化镇组下段属于淡水沉积。在时间上,明化镇组下段中晚期水体盐度较早期略有升高,表明中晚期水体变浅、气候变干旱的特征。

利用 Sr/Ba 比值能较好区别较咸水相和淡水相,较咸水相的 Sr/Ba 比值大于 0.7^[6]。研究区明化镇组下段泥岩的 Sr/Ba 比值均小于 0.1,虽然由底部向上有增加的趋势,但仍远远小于 0.7,因此,也证明该时期属淡水沉积环境。

对研究区多口井的泥岩进行了系统的采样,通过录井泥岩颜色与定量测试的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 含量对比,利用铁元素含量测试确定地层沉积时期水介质的氧化还原性。测试结果表明:由明化镇组下段的底部向上 Fe^{2+} 的含量不断减少,且总体上含量也不高;同时, Fe^{3+} 的含量则不断上升, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 由下向上也不断增加,且总体上 Fe^{3+} 的含量为 Fe^{2+} 含量的数倍。这说明明化镇组下段整体上为弱氧化-氧化环境,并且氧化性由底部向上不断增强。此外,从泥岩颜色与 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 含量的对应关系看,灰褐色泥岩代表较强的氧化性,灰绿色泥岩代表较弱的氧化性。在岩性剖面上,明化镇组下段由下向上泥岩颜色表现为夹灰绿色、灰褐色间互-灰褐色-杂色,反映出水介质条件为较弱氧化性-较强氧化性的变化。Ce 元素含量在明化镇组下段表现为正异常,且从下向上含量不断增加,与上述特征也吻合。关于浅水三角洲与氧化环境的关系,可能与水体较浅,水中溶解的氧气能够影响到水底以及湖平面的周期性变化有关。此外,由于坡

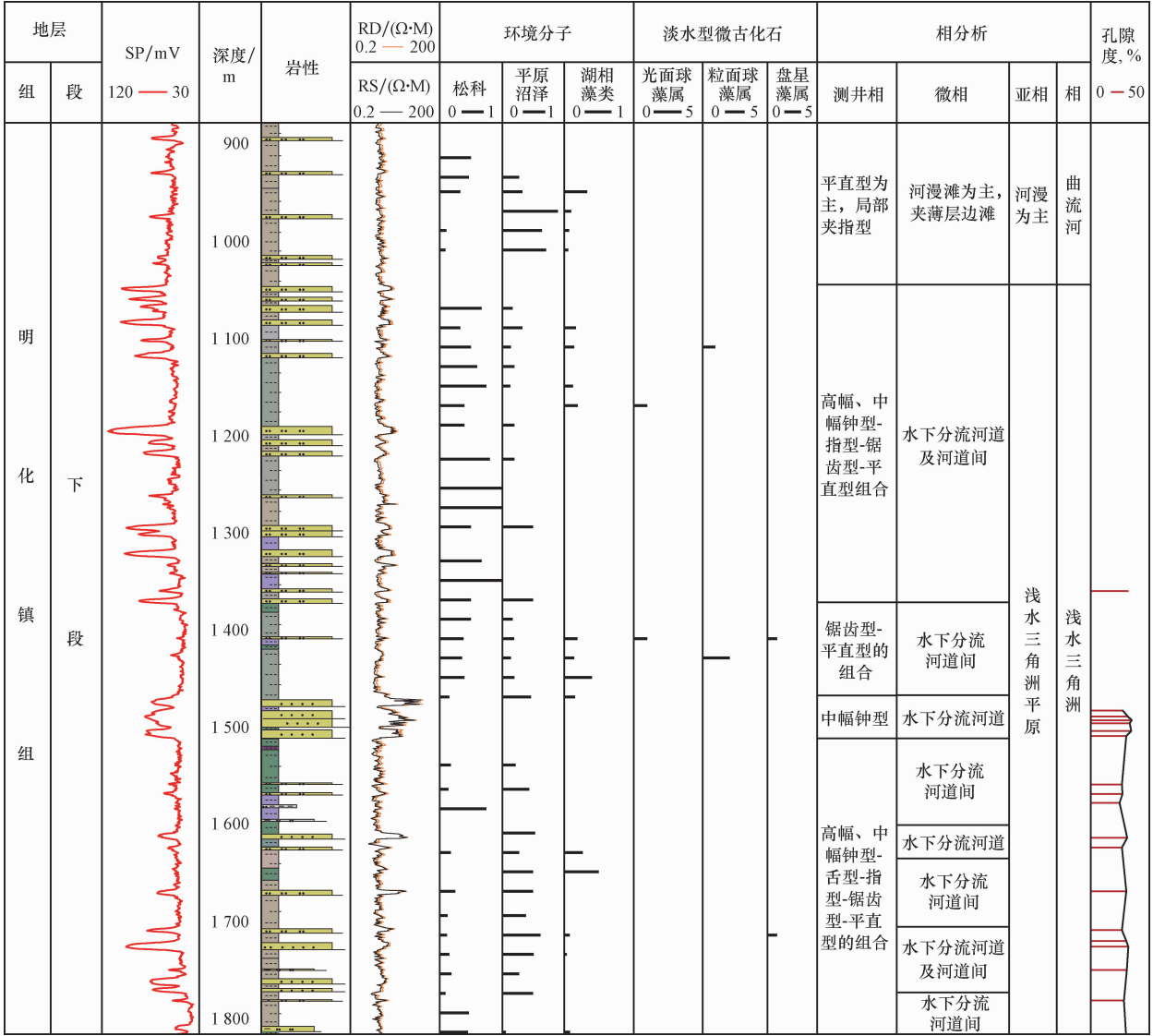


图4 黄河口地区某井沉积相分析综合柱状图

Fig. 4 Histogram showing the comprehensive analysis of sedimentary facies of a well in the Yellow River estuary

度平缓,在湖平面下降期,湖水的下降可能造成湖岸线后退较远,从而在灰绿色的泥岩中常夹杂灰褐色的泥岩。

2.5 钻测井响应特征

利用工区 100 余口丰富的钻井电测曲线,根据曲线形态和岩相的对应关系,浅水三角洲在测井相上可分为以下五类:①高幅和中幅的钟型,代表规模较大的建设期或较近源的水下分流河道;②舌型和指型,代表规模较小的衰亡期或远源的水下分流河道;③漏斗型,在全区少见,可能代表了低级别的构造运动造成局部地区坡度的增加,

从而形成小规模河口坝沉积;④锯齿型,代表了水下分流河道的溢岸沉积;⑤平直型,代表了水下分流河道间沉积。在测井剖面上,常见的测井相组合有:钟型-指型-锯齿型-平指型、舌型-锯齿型-平指型、指型-平指型和中型-锯齿型-平指型等(图4)。

2.6 地震反射特征

由于埋深较浅,研究区地震资料品质好,垂向分辨率较高。与典型的三角洲各类前积结构不同,浅水三角洲在地震层序上主要表现为强-弱振幅相间的较连续低频率反射(图5)。在平面上,

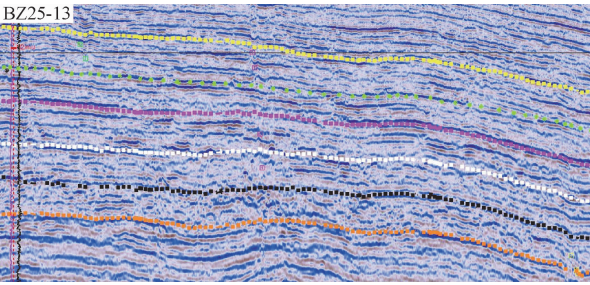


图 5 明下段浅水三角洲过任意线地震反射特征
Fig. 5 Seismic reflection of shallow water deltas
across any line in the lower part of the Paleocene
Minghuazhen Formation

相邻的两条同相轴基本保持平行,地层厚度相当,为典型的平行与亚平行反射结构。从反射特征看,强振幅反射轴在全区较为发育,在平面上的延伸长度大多在 600 m 以上。强振幅的出现,代表了界面上下反射系数较大,岩性在此可能存在明显的变化。根据钻探结果和 VSP 标定,强振幅反射轴一般储层较为发育,对应浅水三角洲水下分流河道沉积,而弱振幅以泥岩为主,对应水下分流河道间沉积。在纵向上,强振幅较连续低频反射与弱振幅较连续低频反射多期叠合,反映了浅水三角洲多期叠置,继承性发育的特点。

3 沉积体系展布特征

浅水三角洲是在水体较浅、构造稳定的台地和陆表海或地形平缓整体缓慢沉降的坳陷盆地条件下形成^[7]。新近纪处于湖盆萎缩期,构造活动较弱,湖盆面积大,湖水浅,地形平缓,湖平面整体上升与下降较缓慢。通过前面的粒度分析,研究区河流作用相对强,而浅水湖泊改造作用相对较弱,浅水三角洲的分流河道能够越过湖岸线,向湖心延伸较远,水下分流河道是浅水三角洲主要的沉积类型。依据沉积发育要素,物源条件、气候变化和湖平面升降是影响浅水三角洲展布的重要因素。除渤中凹陷外,黄河口凹陷是渤海湾盆地新近纪的又一沉积沉降中心,四周多支水系注入,为浅水三角洲的形成提供了良好的物质条件。通过比较,与水系配置良好的浅水三角洲不仅含砂率高,而且规模大、延伸远。气候的变化既影响湖盆水体的变化,也制约着物源区沉积物的搬运。明化镇组下段孢粉组合反映的气候变化旋回由下向上表现为较干燥温暖期-湿热期-干燥温凉期。

干燥温暖的环境有利于水体的蒸发,湖盆面积减小,造成浅水三角洲向湖盆中心推进;湿热的环境温度较高,物源区容易风化剥蚀,同时水系发育,有利于物源区的搬运。明化镇组下段中部的砂体相对最发育就证明了这一点。由于气候的季节性变化和基底沉降的周期性波动,湖平面存在周期性的变化,浅水三角洲的沉积过程也有着不同响应。在明化镇组下段底部低位域沉积时期,湖泊水体较浅,分流河道砂体较厚但分布比较局限;在中上部湖侵体系域及高位体系域沉积时期,湖面开阔且变化频繁,浅水三角洲由湖泊边缘向中心推进,分布宽广,浅水三角洲朵体被滨浅湖泥岩覆盖,多期次纵向叠置。

从钻井情况看,黄河口地区砂岩百分含量偏低,平均只有 19.1% 左右。在平面展布上,浅水三角洲在黄河口地区有环状分布的特征,即凹陷中心的含砂率最低,向四周明显增加。从砂岩百分含量变化看,由凹陷中心向东北方向、东部、东南方向含砂率都明显增加,表明东北方向、东部和东南部都有物源注入。其中,东北方向物源补给最强,对渤海南部地区影响最广(图 6)。随着已发现的多个浅水三角洲油气田投产,开发经验表明,浅水三角洲分流河道砂体在平面上有比较稳定的

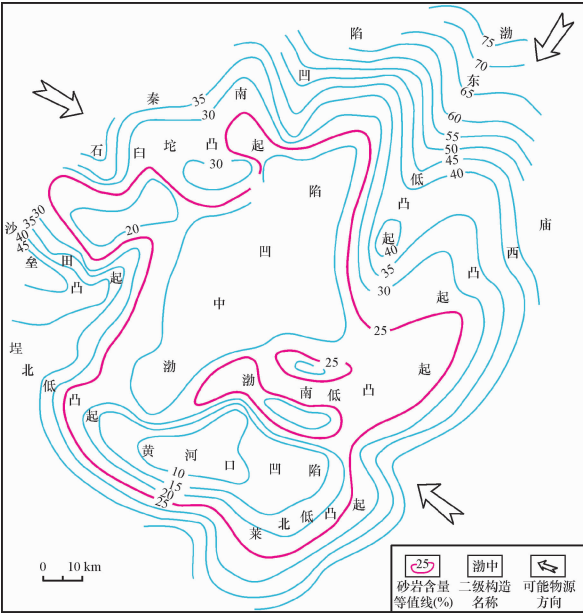


图 6 渤海南部明下段砂岩百分含量分布
Fig. 6 The distribution of sandstone-content (percentage)
of the lower part of the Paleocene Minghuazhen Formation
in the south of the Bohai Sea

分布,横向延伸远,存在明显的分支现象,但相互间有严重的非均质性,连通性不好,同时不同期次的分流河道存在明显的迁移和摆动,这与曲流河只有一支主河道存在明显的不同^[8,9]。

4 成藏条件分析

4.1 储盖组合优良

区域沉积相研究表明,黄河口凹陷及其周围广泛发育滨浅湖背景的浅水三角洲沉积,浅水三角洲的水下分流河道、天然堤和溢岸沉积都是良好的储集体。经过统计,浅水三角洲砂岩含量小于25%,单层厚度一般为3~7 m,最大单层厚度为15~20 m。储集物性很好,孔隙度平均为22%~38%,渗透率平均为 $43 \times 10^{-3} \sim 7\,490 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属高孔高渗储层。同时,浅水三角洲分流河道间和滨浅湖都发育稳定分布的厚层泥岩,浅水三角洲的泥岩百分含量在研究区较高。钻井结果表明,明化镇组下段泥岩单层厚度一般大于30 m,最厚达到80 m,并且质地较纯,可以形成良好的区域盖层。因此,浅水三角洲砂泥岩互层的特征使其具有良好的自储自盖的能力,而且水下分流河道砂体与滨浅湖或水下分流河道间泥岩的配置是最佳的储盖组合类型。明化镇组下段沉积时期经历了多期湖平面变化,浅水三角洲的多期叠置发育和横向迁移,在

全区广泛形成了多套有利的储盖组合。

4.2 晚期走滑伴生断层利于多类圈闭的发育

郯庐断裂的形成演化和晚期断裂带的活动直接影响浅层构造的形成以及油气的运移和聚集^[10,11]。郯庐断裂带的西支呈北东向穿过黄河口凹陷,断裂十分复杂。其中,新近系断层受走滑作用和构造反转等共同影响,走滑断层具右行力学特征,近东西向的断裂是其派生断层^[12]。派生断层以北掉居多,延伸距离长者十几公里,短者不足一公里^[12]。构造区整体趋势从北向南逐渐抬高,同时向构造脊东西两侧下倾。受东西向断层的切割作用,由北向南形成堑垒相间的构造格局(图7),因而形成渤中34-6西、渤中34-6、渤中29-5、渤中34-4、渤中34-2、渤中34-1、渤中35-2北、渤中28-2南等新近系断块、半背斜等类型的构造。郯庐断裂的活动及其晚期走滑伴生断层为油气聚集造就了更加有利的构造圈闭,同时也有利地促进了油气的运移和聚集成藏^[13]。

BZ34区的中新统圈闭的形成就是因为郯庐断裂的伸展和走滑活动作用形成。其主要是受新构造运动改造形成的圈闭。在中新世,郯庐断裂相对于古近纪活动强度变弱。但上新世以来,渤海新构造活动较强烈,在整个郯庐断裂带继承性的伸展活动中,形成许多羽状断裂,它们改造了前期圈闭,也形成了许多的正、负花状构造。黄河口

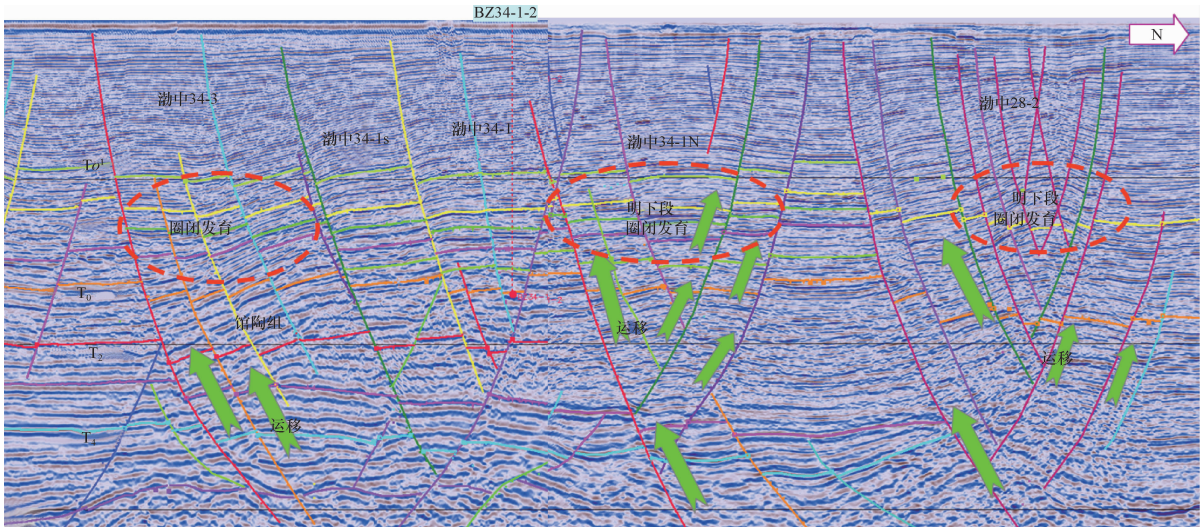


图7 渤中34油区构造南北向地震剖面

Fig.7 N-S seismic section of structures in the BZ34 oil producing zone
(T₀¹. 明化镇组下段顶界;T₀. 明化镇组下段底界;T₂. 馆陶组底界;T₄. 沙河街组一段底界。)

凹陷的渤中 28-34 构造带就是发育在中央构造带披覆背景上的、后被北北东向和近东西向晚期断裂切割形成的复杂断块。新构造运动的形成和改造以及晚期走滑伴生断层的共同作用决定了黄河口凹陷中央构造带现今的构造格局,这一期构造运动决定了圈闭的最终定型^[14]。

4.3 油源充足,具备良好的浅层运移通道

黄河口凹陷是一个以始新世沙河街组源岩(沙三段和沙一段)为主的富生烃凹陷^[15]。古近纪是该凹陷烃源岩的主要发育时期,但凹陷后期沉降幅度不大,新近纪沉积厚度普遍小于 3 000 m,属缓慢沉降型凹陷。因此,黄河口凹陷烃源岩生排烃演化相对滞后,生排烃峰期为新近纪中后期至今。始新统沙河街组湖相生烃层系厚度为 1 000~3 000 m,生烃丰度高,现正处于成熟-高成熟阶段,是该地区最主要的烃源岩;东营组下段湖相生烃层系厚 1 000~2 000 m,也具有中等以上的生烃丰度,但整体成熟度偏低,仅局部进入低熟-成熟阶段。黄河口凹陷主要油气来自于沙河街组烃源岩,该套烃源岩的主要生烃高峰在明化镇组上段约 5.1 Ma 以来,黄河口凹陷油气充注时间与烃源岩生油高峰基本上一致。

油气运移通道是由断裂、不整合面、砂体等因素共同组成的,其中断裂是该地区油气运聚的关键因素。郯庐断裂各期的活动对不同时期的油气成藏起着不同的作用。在古近纪,郯庐断裂的伸展、走滑不仅控制了凹陷和烃源岩的形成,而且沟通了烃源岩,是油气藏形成的主导性因素。中新世以来,继承性活动的郯庐断裂和新构造期的断裂构成了新近纪油气成藏的主输导系统,在渤海海域新构造运动控制了油气的晚期成藏,绝大多数油气储集在新近系馆陶组和明化镇组,古近系断裂的继承性活动及其与新近系断裂的沟通是新近系油气成藏的关键^[16]。黄河口凹陷中央构造带近东西向晚期走滑伴生断层是该区油气晚期成藏的主要断层,它形成并改造了大量的圈闭,沟通了烃源,形成了油气输导体系,促成了渤中 28-34 区油气的晚期成藏(图 6)。

5 结论

1) 浅水三角洲发育于浅的地形平缓的淡水

湖泊,湖平面周期性变化造成多期砂泥岩互层。浅水三角洲的微相类型主要有水下分流河道、天然堤、溢岸和分流河道间,河口坝和远砂坝少见。

2) 水下分流河道是浅水三角洲主要的沉积类型,区域分布稳定。物源条件、气候变化和湖平面升降变化是影响浅水三角洲展布的重要因素。

3) 浅水三角洲储盖组合优良,晚期走滑伴生断层利于多种圈闭的发育,油源充足且运移通畅,具有广阔的勘探前景。

参 考 文 献

- 1 代黎明,李建平,周心怀,等.渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析[J].岩性油气藏,2007,19(4):75~81
- 2 邱中建,龚再升.中国近海油气勘探(第四卷)近海油气区.北京:石油工业出版社,1999
- 3 樊德华.黄河三角洲入海口地区近地表地层特征与沉积模式[J].石油与天然气地质,2009,30(3):282~286
- 4 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1976
- 5 邵磊,刘志伟,朱伟林.陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用.地学前缘[J],2000,7(3):297~303
- 6 史忠生,陈开远,何胡军,等.锆同位素在沉积环境分析方面的应用[J].石油与天然气地质,2003,24(2):187~190
- 7 韩晓东,楼章华等.松辽盆地湖泊浅水三角洲沉积动力学研究[J].矿物学报,2000,20(3):305~413
- 8 崔永谦,秦凤启,卢永和,等.河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用[J].石油与天然气地质,2009,30(5):668~672
- 9 高志勇,韩国猛,张丽华.河流相沉积中的准层序——以四川中部须家河组为例[J].石油与天然气地质,2007,28(1):59~66
- 10 龚再升.中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏[J].中国石油勘探,2004,9(2):12~19
- 11 邓津辉,周心怀,魏刚,等.郯庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例[J].石油与天然气地质,2008,29(1):102~106
- 12 周士科,李炎,陈生泽,等.渤海湾盆地渤中 34 区走滑断裂特征[J].江汉石油学院学报,2004,26(3):5~8
- 13 万桂梅,周东红,汤良杰.渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的控制作用[J].石油与天然气地质,2009,30(4):450~454
- 14 邓运华.郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J].中国海上油气(地质),2001,15(5):301~305
- 15 张功成.渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J].中国海上油气(地质),2000,14(2):93~99
- 16 姜丽娜,邹华耀.郯庐断裂带渤中-渤南段新构造运动期断层活动与油气运聚[J].石油与天然气地质,2009,30(4):462~468,482

(编辑 张亚雄)