

文章编号: 0253-9985(2009)04-0510-9

渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式

彭文绪¹, 孙和风^{1,2}, 张如才¹, 余宏忠¹, 张新涛¹

[1 中海石油(中国)有限公司 渤海油田 勘探开发研究院, 天津 300452 2 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249]

摘要: 黄河口凹陷是渤海南部海域一个富生烃凹陷, 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(新近系最高 455.3 m³/d)等特点。油气成藏以近源垂向运移为主, 主要成藏时间为 5.1 Ma 以来, 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, 成藏模式可以归纳为“近源晚期优势”。5 年来(2004—2008 年), 该凹陷勘探地质成功率为 85%, 平均单井发现三级石油地质储量 713 × 10⁴ m³, 至 2008 年已经钻探近 100 口探井。在 20 世纪 80—90 年代初发现渤中 25-1/S 渤中 34-2/4 渤中 28-1 和渤中 26-2 等油田的基础上, 近几年相继发现了渤中 34-1、渤中 28-2S 渤中 29-4 渤中 26-3 等中-浅层中型油气田, 形成了渤海南部海域油气发现的新高潮。

关键词: 浅水三角洲; 油气; 晚期成藏; 黄河口凹陷; 渤海海域

中图分类号: TE122.3 文献标识码: A

Late-stage near-source preponderant hydrocarbon pooling pattern
in the Huanghekou Sag of the Bohai Sea watersPeng Wenxu¹, Sun Hefeng^{1,2}, Zhang Rucai¹, Yu Hongzhong¹, Zhang Xintao¹

(1 Exploration and Development Research Institute, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China;

2 Faculty of Natural Resource & Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract Being a hydrocarbon kitchen, the Huanghekou sag in the south of Bohai Sea waters had seen many oil and gas discoveries featuring in shallow to middle burial depth (1 200–1 800 m), moderate crude API, high productivity (as high as 455.3 m³/d of gas from the Neogene), etc. Most of its oil and gas reservoirs were formed through near-source vertical migration and the pooling process has started since 5.1 Ma. Its major reservoirs are apparently controlled by stratigraphic sequences and most of the reservoirs are located below the maximum flooding surface. The pooling pattern can be generalized into “near-source, late-stage, and preponderance”. During the period of 2004 to 2008, success rate of exploration in the sag was up to 85%, and 3P geological reserves of single exploratory well averaged at 7.13 MMCM. By the end of 2008, about 100 exploration wells had been drilled. In addition to the discoveries obtained during the 1980s to early 1990s, such as Bozhong 25-1/S, Bozhong 34-2/4, Bozhong 28-1 and Bozhong 26-2, several medium-sized discoveries including Bozhong 34-1, Bozhong 28-2S, Bozhong 29-4 and Bozhong 26-3 have been found in layers with shallow to middle burial depth, initiating a new surge of oil and gas discoveries in the south part of Bohai Sea waters.

Key words shallow delta; oil and gas; late-stage pooling; Huanghekou Sag; Bohai Sea waters

尽管喜马拉雅运动和新构造运动的起止时间和阶段划分目前还没有完全统一, 但晚期成藏在全国范围内越来越受到重视^[1~3]。对渤海湾盆地

晚期成藏有较多的研究^[4~7], 主要成果可归结为“新构造运动控制晚期成藏”。但影响晚期成藏的因素除了新构造运动外还有烃源、储盖组合、输导

收稿日期: 2009-06-18。

第一作者简介: 彭文绪(1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 石油勘探。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

体系以及走滑作用等多种因素,在不同的地区各种影响因素的作用大小也会有差异。近几年来,黄河口凹陷获得了很好的油气发现。本文试图结合黄河口凹陷近几年在新近系的一系列勘探新发现,系统总结黄河口凹陷近源晚期优势成藏规律,探讨断层活动规律、断层与砂体的匹配关系以及断裂对成藏的影响。

1 地质概况

黄河口凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷的东北部,北侧为渤南凸起,南侧为垦东-青坨子凸起和莱北低凸起,东侧为庙西凹陷,西邻沾化和埕北凹陷。凹陷总面积约 $3\,309\text{ km}^2$, 基底最大埋深约 $7\,000\text{ m}$, 其中古近系地层最大厚度约 $3\,500\text{ m}$ 。郯庐断层西支穿过凹陷中部, 古近纪至现今构造面貌总体表现为西深东浅、北陡南缓、凹中有隆, 总体上为北断南超的箕状凹陷。二级构造单元可划分为西北陡坡带、BZ25-1断隆带、西部断阶带、西北次洼、BZ33-1次断隆、西南次洼、西南缓坡带、中央隆起带(即 BZ34隆起带)、东北陡坡带、东部次洼、东南缓坡带和东部断阶带等(图 1)。中央隆起带将整个黄河口凹陷分为东部次凹和西部次凹, BZ33-1次断隆将西部次凹又分割成西北次洼和西南次洼。黄河口凹陷及围区凸起实

际钻井钻遇的地层十分丰富, 包括太古宇花岗岩, 古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩, 中生界火山岩, 古近系孔店组、沙河街组(E_s 包括一、二、三、四段)、东营组(E_d 包括一、二、三段), 新近系馆陶组(N_{1g})、明化镇组(N_{2m} , 包括上段和下段)以及第四系平原组(Q_p)。黄河口凹陷的油气勘探起步于 20 世纪 80 年代初, 多年的勘探证实了黄河口凹陷是一个富生烃凹陷。20 世纪 80 年代初在中日合作时期, 以古近系和潜山为主要勘探层系, 在黄河口凹陷中央构造带发现了渤中 34-2/4 和渤中 28-1 等中、深层油田。近几年来, 以新近系为主要勘探层系, 相继发现了渤中 34 油气田群及渤中 29-4、渤中 28-2S、渤中 26-3、垦利 3-2 等一系列大、中型油气田。截至到 2008 年底, 黄河口凹陷及其围区累计发现油气当量约 $6 \times 10^8\text{ m}^3$ 。油气在平面上主要分布在 BZ25-1 断隆带和中央构造带上, 其中西部次洼围区发现油气当量占整个储量的 38%、中央构造带占 37%, 油气藏类型以断块、断鼻或断背斜为主; 其余 25% 的储量依次分布在渤南低凸起、莱北低凸起、黄河口凹陷的东部次洼区以及南部缓坡带上, 油气藏类型以披覆背斜、半背斜、断块为主。油气主要分布在新近系明(化镇组)下段, 占整个储量的 60%; 古近系及潜山地层中分别为 35% 和 5%。

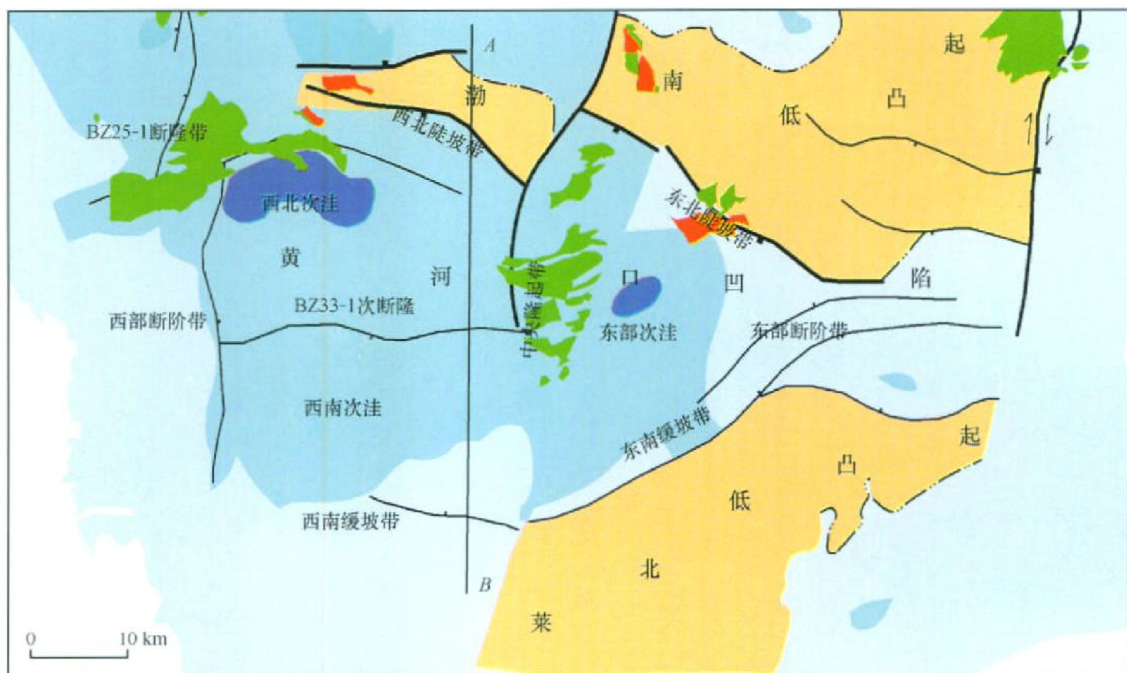


图 1 黄河口凹陷构造单元划分

Fig. 1 Structural units in the Huanghekou Sag

2 黄河口凹陷“近源晚期优势”成藏模式

2.1 近源成藏

黄河口凹陷现今发现的油气藏具有近源特征,主要体现在 3 个方面:生烃凹陷近,油气运移距离短;断层沟通浅层储层和烃源岩,垂向运移特征明显;烃源和深层储层交互,排烃效率高。

已发现的油气田或含油气构造均位于黄河口东、西两个次级生烃洼陷或其附近,油气分布受生烃凹陷控制。烃源断裂是该地区油气均富集的主要制约因素。油气运移距离都不大,水平运移距离一般小于 5 km,垂直运移距离小于 2 km。生标参数对比分析表明,原油与沙河街组生油岩的 4-甲基甾烷和伽马蜡烷含量在平面上有一致的变化。沙河街组烃源岩的 4-甲基甾烷含量(C_{30} 4-甲基甾烷/ C_{29} 甾烷)呈南低北高的趋势,烃源岩的伽马蜡烷相对含量(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)呈南高北低的趋势。原油的这两项生标参数总体上也具有

这种分布趋势,原油来源于邻近区域的生油层,黄河口凹陷原油是近源聚集(图 2)。

黄河口地区断层是油气运移的直接通道,包括烃类在内的流体被活动断裂抽吸到断裂带中,然后幕式地沿断层向上运移^[8,9]。大断层下降盘多发育厚层砂体,如 BZ25-1S 油田古近系沙(河街组)二段发育单层厚度达 40 m 的厚层扇三角洲砂体。砂体与断层交互可以形成砂、泥岩交互垂向排烃空间和侧向排烃空间,加上断层及微裂缝形成的排烃空间,构成油气运聚的“中转站”^[10],极大地提高了油气的输导效率。黄河口凹陷适中的埋深(主力油层段埋深小于 4 000 m),较高的砂、泥岩比例(BZ25-1 断隆带沙河街组砂、泥百分比可以达到 40%),大量的断裂及其晚期活动,使得该区基本处于正常地层压力状态。在东北陡坡带和 BZ25-1 断隆带,由于东营组和沙河街组上部大套泥岩的覆盖,局部出现超压,如 BZ25-1 油田 BZ25-1-5 井古近系沙河街组 3 660~3 690 m 深度段压力系数为 1.52。因此,在黄河口凹陷形成了砂体和微裂缝中转、断层“地震泵”效应以及超压幕式排烃等多种形式的深层油气运聚模式。主断裂由滑动破碎带、诱导裂缝

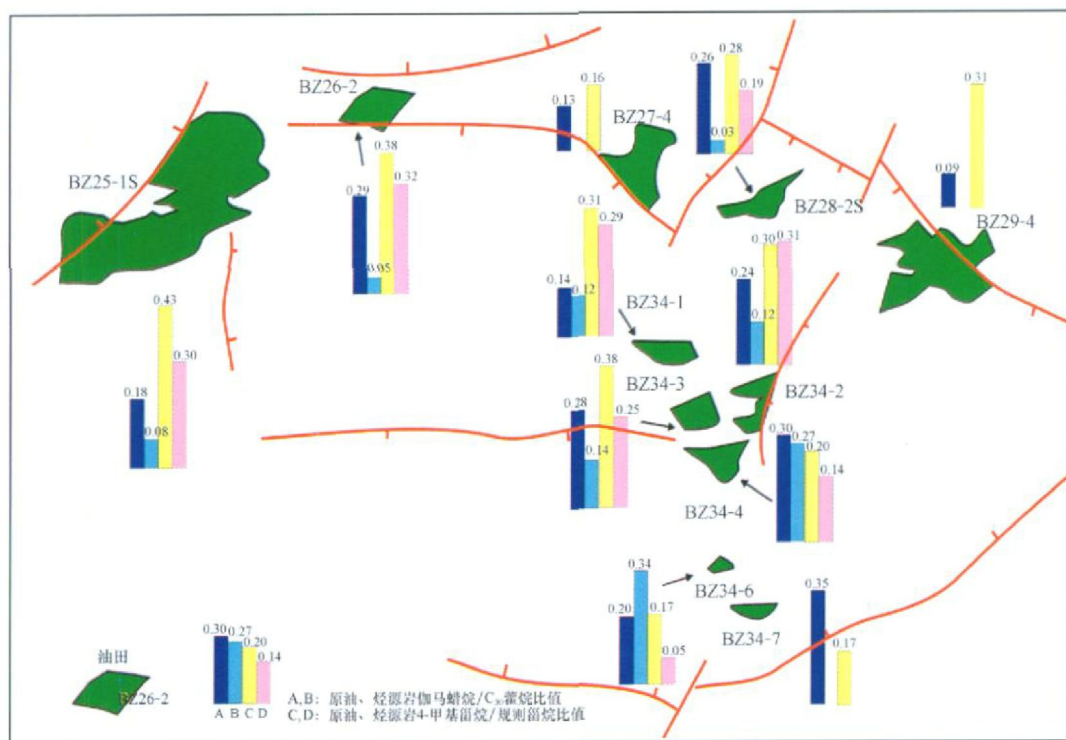


图 2 黄河口凹陷油源对比平面分布

Fig. 2 A real distribution of oil-source correlation in the Huanghekou Sag

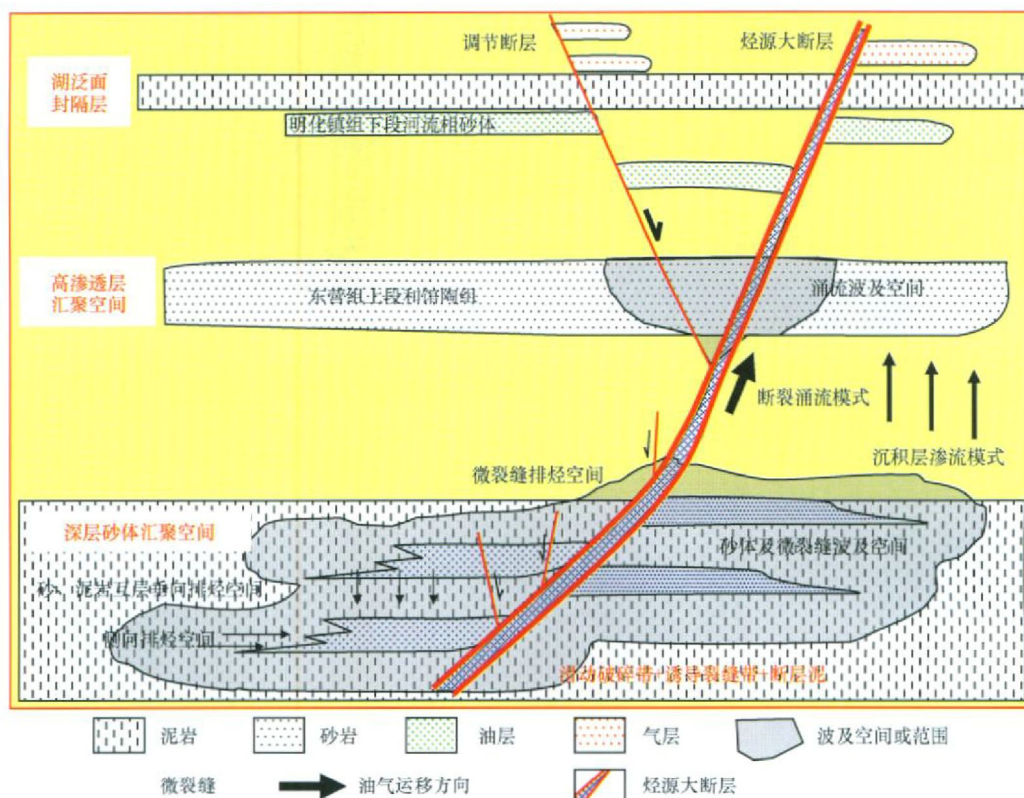


图 3 黄河口凹陷高效排烃模式

Fig. 3 High-efficiency hydrocarbon expulsion model in the Huanghekou Sag

带及断层泥组成, 通过断裂的幕式活动形成断裂涌流排烃模式; 同时, 沉积层也由于缓慢的渗漏产生微量的垂向渗流排烃。深层的油气顺着断层向上运移, 并在东营组上段和馆陶组大套高渗透含砾砂岩中短暂停留, 形成有限的涌流波及空间; 晚期断层活动又导致油气继续向浅层运移, 并分配到明下段河流相和浅水三角洲砂体中, 油气最终受湖泛面大套泥岩封隔层遮挡, 少数原油及天然气突破了湖泛面封隔层的遮挡, 向浅层运聚 (图 3)。

2.2 晚期成藏

2.2.1 晚期生、排烃

黄河口凹陷是渤海海域富生烃凹陷之一, 主要发育沙三段、沙一+沙二段和东 (营组) 下段 3 套烃源岩。沙三段和东下段烃源岩有机碳平均值分别达到 2.99% 和 2.00%, 为好级别的烃源岩; 沙一、二段烃源岩有机碳平均值为 0.88%, 为中-好级别的烃源岩。有机质类型均以 II_A - II_B 型为主。沙河街组湖相生烃层系厚度为 1 000 ~

3 000 m, 现今埋深都在生油门限 (2 650 m 左右) 之下, 大部分地区生油岩顶面埋深在 3 000 ~ 4 500 m, 已经进入成熟-高成熟生烃阶段。东营组烃源岩由于埋藏深度小, 成熟度较低, 在沉积中心区有小范围的成熟区。从图 2 可清楚看出, 该凹陷原油的伽马蜡烷 /C₃₀ 藿烷值和 C₃₀ 4-甲基甾烷 /C₂₉ 甾烷比值与沙三段生油岩有一致的分布范围, 表明两者具有明显的油源关系。部分沙一段样品的这两项参数值与原油相近, 说明其对原油油源也有一定的贡献。而东营组生油岩样品的这些生标参数与原油相差较大, 其供烃能力有限。黄河口凹陷构造沉积演化整体上与渤中坳陷同步, 新构造运动期快速沉积埋藏 (大于 200 m/Ma) 是该区以及整个渤中坳陷不同于渤海湾其他盆地的重要特征。应用 EasyR_o 模型模拟黄河口凹陷烃源岩生烃演化史, 结果表明黄河口凹陷 3 套烃源岩在馆陶组沉积末期 (12 Ma) 仅仅达到了低成熟度, 并未进入生油高峰期 (图 4); 进入明化镇组沉积期以来, 尤其是进入新构造运动以来, 明化镇组上段快速沉降和充填, 烃源岩快速埋藏, 沙三段和沙一、二

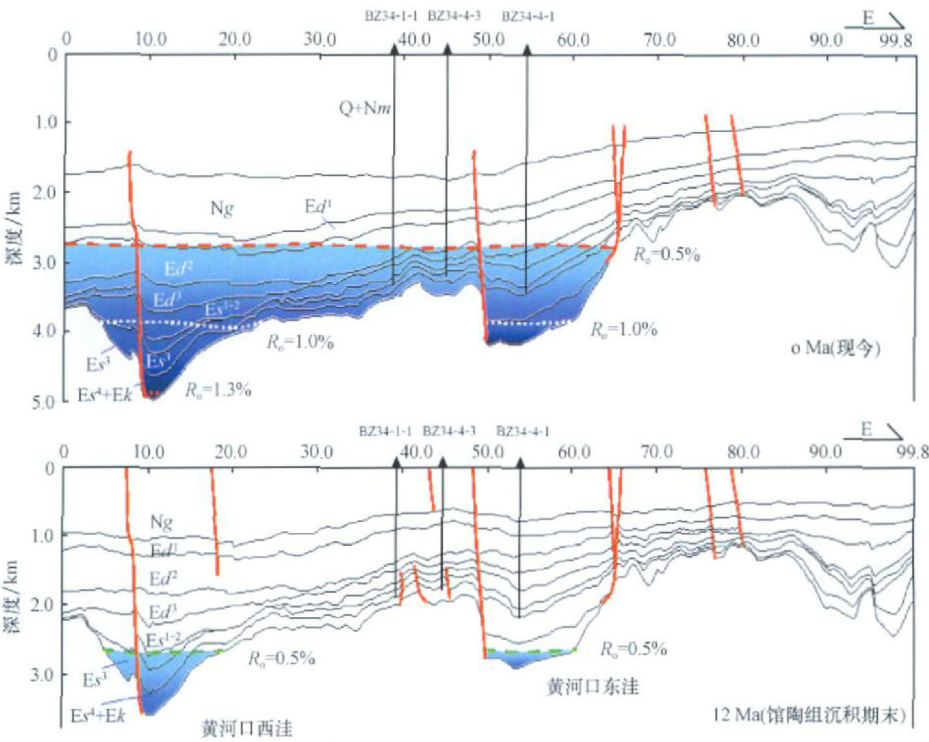


图 4 黄河口凹陷烃源岩埋藏史

Fig. 4 Burial history of source rocks in the Huanghekou Sag

段两套主力烃源岩才达到了生油高峰期。新构造运动期间 (5.1 Ma 至现今), 3 套烃源岩不仅都进入生油高峰期, 而且具有较快的熟化速率^[11]。尤其是沙三段和沙一、二段烃源岩, 以每百万年镜质体反射率的增加值计算, 其熟化速率 ($\Delta R_o / \text{Ma}$) 分别达到了 0.069 0% 和 0.082 7%; 东下段也达到 0.032 7%。3 套烃源岩在新构造运动期间镜质体反射率的净增值分别达到了 0.36%, 0.43% 和 0.17%。以上分析表明, 黄河口凹陷烃源岩主要生烃期是在 12 Ma 年以来, 尤其是在新构造运动期 (5.1 Ma 以来)。包裹体分析表明, 黄河口地区古近系和新近系油气藏充注时期主要发生在明下段沉积期以后。如 BZ34-1-1 井沙河街组储层油气充注时间为 7.5 Ma 至今, 主充注期为第四纪以来; BZ34-4-3 井沙河街组储层充注时间为 9.9 Ma 至今, 主充注期为 3.8 Ma 以来; BZ28-2S-3 井 1 218~1 380 m 浅层明下段油气充注发生在最近的 2 Ma 内。从冰融点温度图上可以看出样品点分为两组, 表明油气存在明显的运移分馏作用 (图 5), 说明 2 Ma 内油气依然存在多期充注事件。

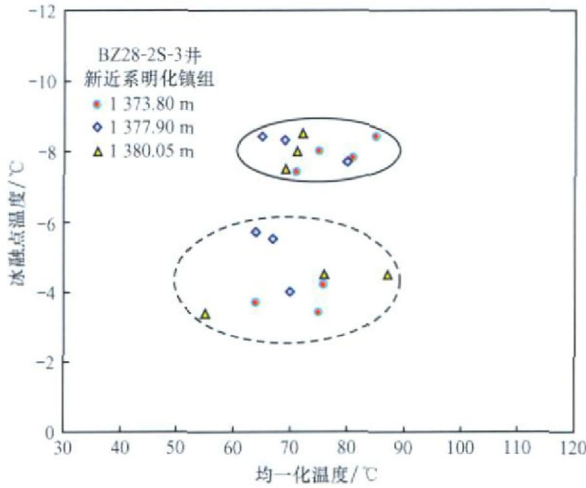


图 5 BZ28-2S-3 井样品均一化温度和冰融点温度分成两组

Fig. 5 Two groups of Th-Tm of samples from Well BZ28-2S-3

2.2.2 晚期断裂发育

黄河口凹陷中央构造带断裂非常发育, 中生代末的燕山运动和始新世—渐新世的喜马拉雅运动使区内北东—北东东向雁行式断裂与北东东—近东西向断裂发育, 构成“Z”字型网格状构造。新

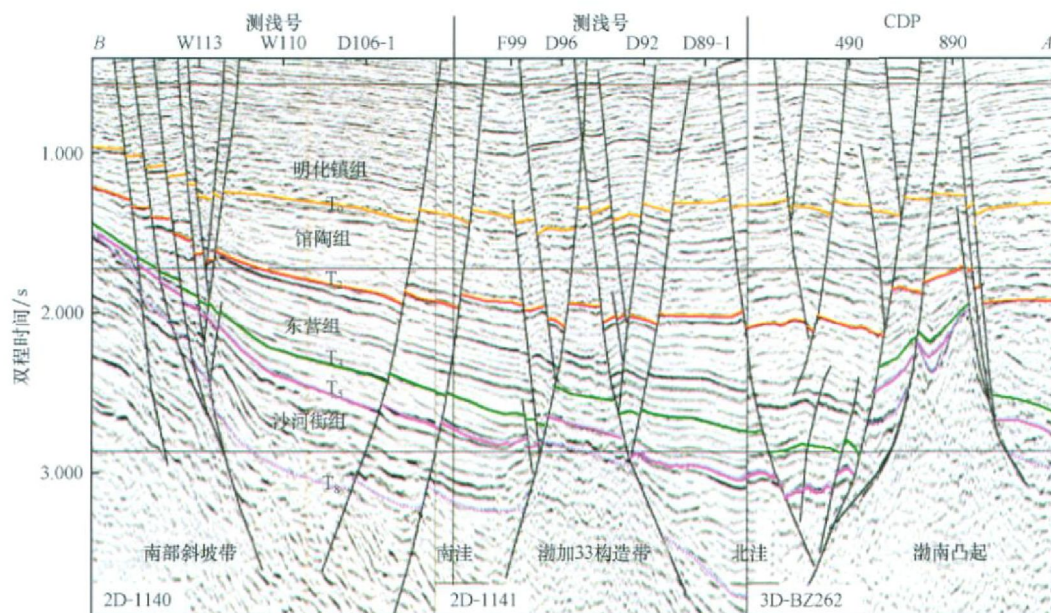


图 6 黄河口凹陷南北向地震剖面

Fig. 6 N-S seismic profile across the Huanghekou Sag

(剖面位置见图 1)

近纪在近南北向引张作用背景下, 部分先期断裂活化, 并产生了众多新的东西向断裂。在剖面上主干断层在深部是一条比较狭窄的近乎直立的主位移带, 浅部由向上和向两侧发散的交织状分叉断层组成, 表现为似花状构造 (图 6)。一方面, 众多的晚期活动断裂切入活跃烃源岩层系, 使烃源岩生成的油气在断裂带高效汇聚。有研究表明, 每米大断裂在 1 Ma 内输导的油气可以达到 $5 \times 10^7 \text{ t}^{[2]}$ 。多期构造运动产生大量的微裂缝, 裂缝加快了烃源岩的初次运移, 降低了排烃门限, 提高了排烃效率, 对于晚期快速充注成藏具有重要意义; 另一方面, 断裂垂向上贯穿多套储层, 形成了“源岩—圈闭”的直接运移路径, 由此导致的快速穿层运移对于油气晚期快速充注成藏具有十分重要的作用。郯庐断裂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, 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 and 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。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油气运移断层, 形成并改造了大量的圈闭, 促成了黄河口凹陷中央构造带 BZ28—BZ34 区油气的晚期成藏。

2.2.3 圈闭形成时间晚

郯庐断裂带的西支呈北东向穿过黄河口凹陷中央构造带, 受走滑作用、构造反转等影响, 使得该区构造复杂化。中央构造带的断裂可分为北东向、北东东向以及东西向 3 组, 其中北东向断裂为主干断裂, 控制深层构造形态和走向。中央构造带上圈闭长轴整体呈北东—南西向, 构造整体趋势是南高北低, 中间高、东西两侧低。受东西向断层的切割, 整体形成堑、垒相间的构造格局, 在中央构造带新近系地层中形成许多断块、半背斜。郯庐断裂的伸展和走滑活动形成了大量的圈闭, 主要有 3 种类型: 与伸展断裂活动有关的圈闭, 与伸展—走滑断裂叠合作用相关的圈闭, 及受新构造运动改造形成的圈闭。这些圈闭都是上新世以来形成的, 多数定性于第四纪。黄河口凹陷中央构造带具有继承性, 新近纪被北北东和近东西向断裂切割, 形成复杂断块。

2.3 优势成藏

油气优势成藏主要体现在以下两个方面: 一

是油气纵向上分布在一定的井段范围内,其他层段储盖组合条件也很好,但没有油气;二是油气充满度浅层低、深层高,与盖层有直接关系,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。

砂体类型、油源断层活动期次和强度及砂体配置关系影响了浅层砂体的油气充注。渤中 26-3 和渤中 29-5 油田主力油层为新近系明化镇组河道砂体,勘探证实砂体与油源断层的接触面积控制了浅层油气藏的充满程度。新近系河道砂体与油源断层在剖面上形成了 4 种断层-岩性组合样式(图 7),即正向正断层式、反向正断层式、反屋脊式和屋脊式。其中,反屋脊式对于浅层油气的聚集最为有利,屋脊式最差。平面上,河道砂体与断层形成垂直接触、斜交接触以及无接触;边滩砂体和断层形成双向面接触、双向点接触、单向面接触、单向点接触以及无接触。由于浅层砂体物性很好,孔隙度达 30%,因而和断层的接触面越大砂体充满油气的程度越高。黄河口凹陷在纵向上发育多套含油层系,东营组一段、三段及沙一段的泥岩集中段是古近系油藏的区域性盖层,东二段和沙三段河流三角洲相、扇三角洲相和浅湖相砂岩是分布广泛的储层,分别与其上覆优质盖层形成该地区良好的储盖组合。新近系明化镇组和馆陶组湖相泥岩的发育段则是新近系油藏的优质盖层,而明下段发育的浅水三角洲等砂岩储层与湖相优质泥岩形成该地区良好的储盖组合^[13-14]。盖

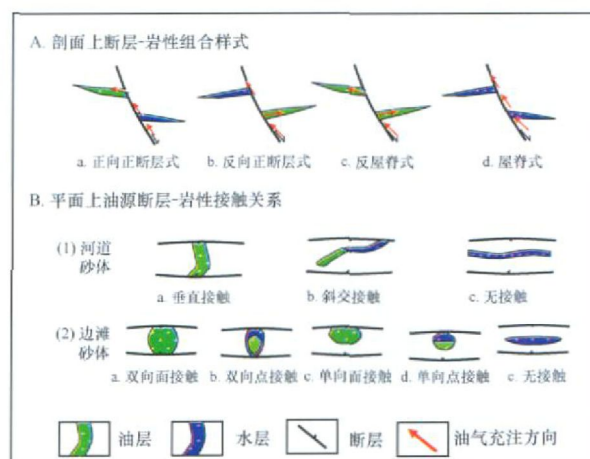


图 7 断层和砂体的耦合关系决定油气的充满程度

Fig. 7 Sketch map showing the coupling relationship of fault and sand determines the fullness of hydrocarbon charges

层条件对油气的富集起到了重要的作用。统计分析表明,明下段油藏油柱高度小于 80 m; 馆陶组更小(图 8)。深层东营组和沙河街组油柱高度显著增大,最大可以到 200 m 以上,与压实作用导致的盖层条件变好有直接的关系。根据毛管压力和浮力的关系可以求得油气柱的高度,但实际上油藏的盖层条件却要复杂得多,特别是经油气充注后盖层条件得到改善,形成了很好的“顶钙”,使得实际封堵油气的高度大大提高。实际钻井揭示,黄河口凹陷渤中 28-2S 油田的油气藏微观结构可以分为纯泥岩段、过渡段(顶钙段或烃类扩散段)、低阻段(差储层段或气顶段)、高阻好储层段(高饱和度油层段)、油水过渡段及底部泥岩段(图 9)。

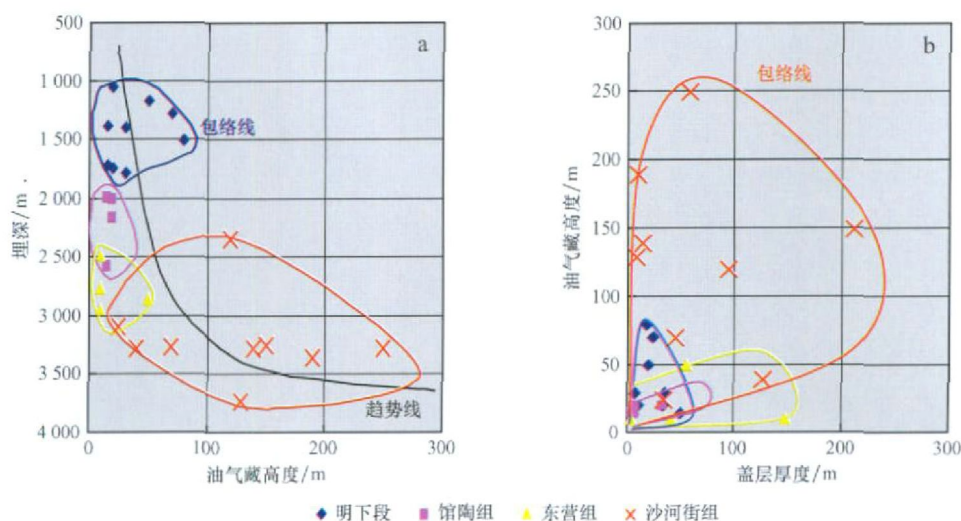


图 8 黄河口凹陷油藏埋深、直接盖层厚度和油气藏高度的关系

Fig. 8 Correlation of reservoir buried depth, direct seal thickness and oil/gas column height in the Huanghekou Sag

a. 油藏埋深-油藏高度关系; b. 盖层厚度-油藏高度关系

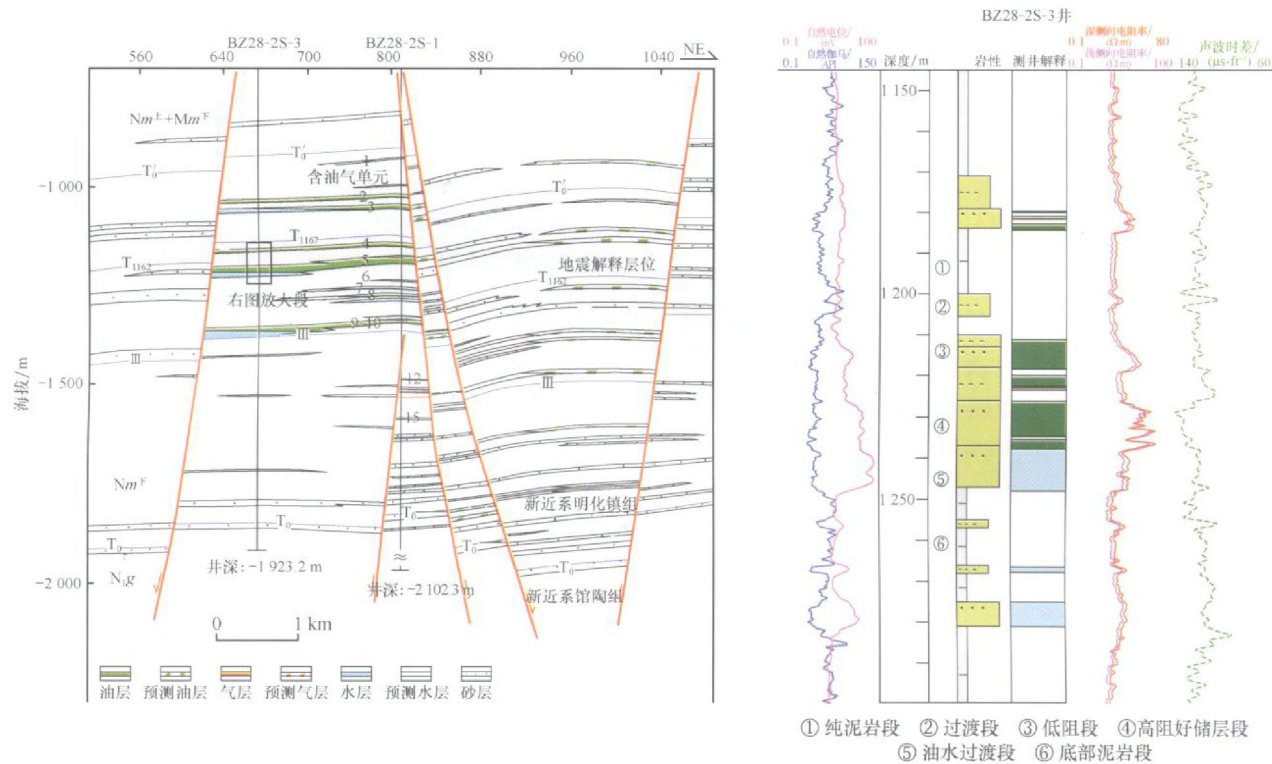


图 9 渤中 28-2S 油田连井油藏剖面(左)及新近系油层段微观结构(右)

Fig. 9 Well-tie profile (left) and microstructure of the Neogene reservoirs (right) in Bozhong BZ28-2S oilfield

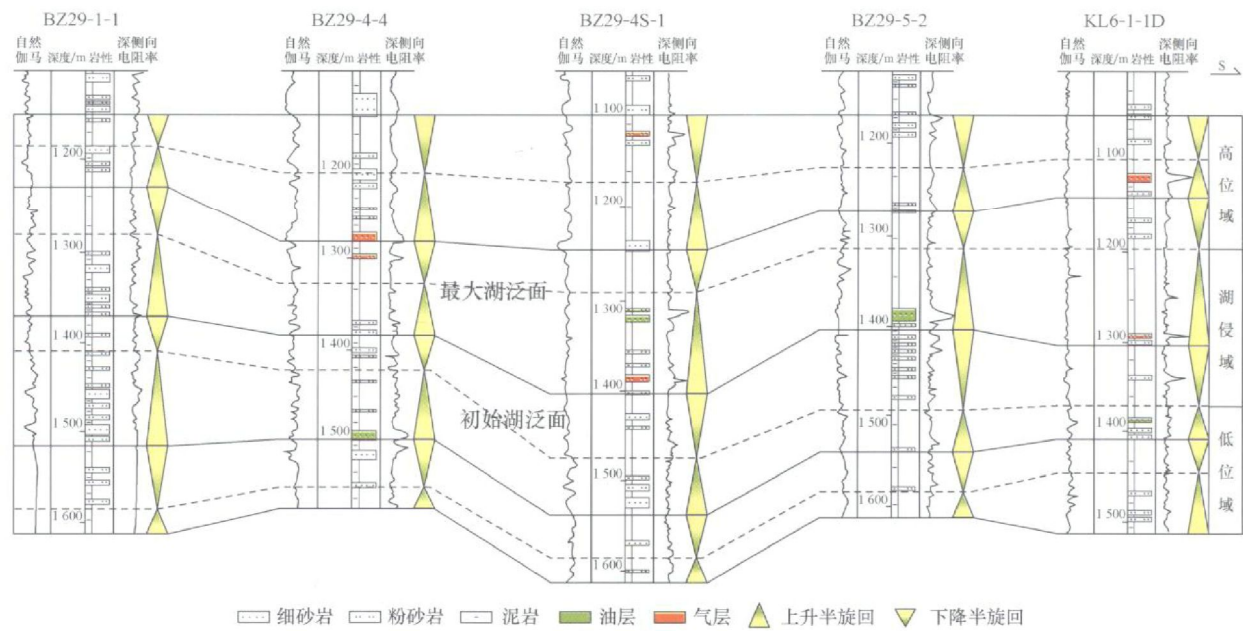


图 10 黄河口凹陷新近系层序地层划分及其与油气分布的关系

Fig. 10 Sequence stratigraphy-hydrocarbon distribution correlation of the Neogene in Huanghekou Sag

可以看出,封盖层是一个连续变化的界面,并不是砂、泥岩突变面;封盖层界面附近存在离子交换、天然气扩散等现象。

黄河口凹陷新近系储盖组合具有明显的特点。新近系处于湖盆拗陷期,构造活动相对稳定,盆地缓慢沉降,陆上和水下地形较为平缓、坡度小,气候和水体变化是影响层序发育和砂体类型的至关重要的因素。随着湖面的季节性、周期性波动升降,沉积体由湖泊边缘向湖泊中心方向充填推进。黄河口凹陷明下段孢粉组合反映的气候变化旋回特征由下向上表现为较干燥温暖期—湿热期—干燥温凉期。在明下段底部低位域沉积时期,由于湖泊水体较浅,砂体沉积主要受河流控制,以河控三角洲为主;明下段中、上部湖侵域及高位域沉积时期,由于水体相对较深,砂体沉积受湖泊及波浪作用改造,以浪控三角洲为主。浅水三角洲沉积体系,尤其是湖侵域泥岩分布广泛、厚度稳定,成为良好的封堵盖层。同时,浅水三角洲沉积体系具有分布较广的三角洲前缘席状砂、河口坝等砂体,且砂泥比配置合理,使其具备比河流相更为有利的储盖组合,具有更加优越的成藏条件。黄河口凹陷的钻井证实,新近系主力油层受湖泛面控制,主力油层分布在初始湖泛面附近,而天然气运移到了更浅的层位,最大湖泛面之上以气层为主(图10)。

3 结束语

1) 黄河口凹陷是一个富生烃凹陷,已发现油气田及含油气构造在平面上主要分布在凹陷北侧的渤南低凸起及陡坡带以及中央构造带,在纵向上具有多套含油层系,油气主要分布于新近系地层中。

2) 浅水三角洲沉积体系为黄河口凹陷新近系优质油气藏的形成提供了保障;晚期走滑伴生断层是黄河口凹陷中央构造带油气富集的关键因素。近源、晚期、优势成藏是黄河口凹陷新近系油

气藏成藏的主要特点。

3) 依然存在一些需要深入研究的微观领域,如优势成藏的微观机理及新构造运动在各历史时期控制晚期成藏的微观过程等。

参 考 文 献

- 1 龚再升,王国纯.渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J].学报,2001,22(2):1~7
- 2 马立桥,陈汉林,董庸,等.苏北—南黄海南部叠合盆地构造演化与海相油气勘探潜力[J].石油与天然气地质,2007,28(1):35~42
- 3 贾承造,何登发,石昕,等.中国油气晚期成藏特征[J].中国科学(D辑),2006,36(5):412~420
- 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
- 5 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[J].石油与天然气地质,2008,29(1):102~106
- 6 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J].石油与天然气地质,2004,25(2):133~138
- 7 蔡东升,罗毓晖,姚长华.渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J].石油学报,2001,22(2):19~25
- 8 邓运华.断裂—砂体形成油气运移的“中转站”模式[J].中国石油勘探,2005,10(6):14~17
- 9 郝芳.超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M].北京:科学出版社,2005
- 10 Brown L F, Fisher W L. Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: example from Brazilian rift and pull-apart application to hydrocarbon exploration [A]. AAPG Memoir 26, 1977. 213~248
- 11 陈斌,邓运华,郝芳,等.黄河口凹陷BZ34断裂带油气晚期快速成藏模式[J].石油学报,2006,27(1):37~41
- 12 柳广第,吴孔友,查明.断裂带作为油气散失通道的输导能力[J].中国石油大学学报(自然科学版),2002,26(1):16~22
- 13 徐长贵,姜培海,武法东,等.渤中凹陷上第三系三角洲的发现:沉积特征及油气勘探建议[J].沉积学报,2002,20(4):588~594
- 14 刘占红,李思田,辛仁臣,等.地层记录中的古气候信息及其与烃源岩发育的相关性——以渤海黄河口凹陷古近系为例[J].2007,26(7):830~840

(编辑 李 军)