

渤海中南部似花状构造油气运聚过程与 高丰度油气藏勘探

宿 雯 石文龙 刘恭利 白 冰 王傲林

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

摘 要: 似花状构造是渤海中南部新生代典型构造样式,对油气运聚具有明显的控制作用。基于渤海勘探实践,充分利用钻井、地震及分析化验资料,系统总结渤海中南部似花状构造带油气成藏特征,精细解析其控制油气运移的过程。研究认为,似花状构造形成的深层初始汇聚和浅层二次汇聚及其叠合关系控制油气差异富集。深层初始汇聚包括潜山风化壳和沙河街组扇体两种介质,风化壳面积以及扇体的面积和厚度是初始汇聚量的主控因素;浅层二次汇聚是指馆陶组构造圈闭对油气的汇聚作用,圈闭形态与盖层条件是二次汇聚量的主控因素。深浅层汇聚中心的叠合关系决定似花状构造油气富集部位:逃逸型模式下油气在其上倾方向高部位富集;贯通型模式下油气富集于主干断层附近;偏心型模式下油气富集于次级断层附近。在研究成果的指导下,成功发现了垦利 6-1 油田、垦利 3-2 油田等一系列规模性油气藏,也为其他源外层系油气勘探提供了良好借鉴。

关键词: 渤海中南部;新近系;初始汇聚;二次汇聚;高丰度油气藏

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2024.04.006

Study on hydrocarbon migration of flower-like structure and exploration of rich hydrocarbon reservoirs in central and southern Bohai Sea

SU Wen, SHI Wenlong, LIU Gongli, BAI Bing, WANG Aolin

CNOOC China Ltd., Tianjin Branch, Tianjin, 300459, China

Abstract: Flower-like structure is a typical Cenozoic structure in the central and southern Bohai Sea, exerting a significant control on hydrocarbon migration and accumulation. Based on the exploration practice in Bohai Sea, this study systematically summarizes the characteristics of oil and gas accumulation in the flower-like structural belt of the central and southern part of Bohai Sea by leveraging on drilling, seismic and analytical data. It also provides a detailed analysis of the controlling process of oil and gas migration. This study concludes that the differential enrichment of oil and gas in flower-like structures is controlled by the deep primary convergence and shallow secondary convergence as well as their superimposed relations. The deep primary convergence consists of two media: buried hill weathering crust and Shahejie Formation fan body. The area of weathering crust, fan body area and thickness are the main controlling factors of the initial convergence volume. The shallow secondary convergence refers to the accumulation of oil and gas in

收稿日期:2024-02-18

基金项目:中海石油(中国)有限公司“七年行动计划”重大科技专项课题“渤海油田上产 4 000 万吨新领域勘探关键技术”(CNOOC-KJ 135 ZDXM 36 TJ 08 TJ)

作者简介:宿 雯(1989-)女,山东潍坊人,工程师,硕士,主要从事渤海海域油气构造控藏研究与油气勘探工作。E-mail: suwen3@cnooc.com.cn

Guantao Formation structural traps, where the trap morphology and caprock conditions are the main factors affecting secondary convergence volume. The superposition relationship between deep and shallow convergence centers determines the oil-gas enrichment location within flower-like structure; in the escape model, oil and gas accumulate at the high updip positions; in the through model, oil and gas are enriched near the main faults; and in the eccentric model, oil and gas are concentrated near the secondary faults. Guided by the above research, successful discoveries have been made, including the Kenli 6-1 oilfield, Kenli 3-2 oilfield and large-scale oil and gas reservoirs, providing valuable insights for hydrocarbon exploration in other source-adjacent strata.

Keywords: Central and southern Bohai Sea; Neogene; Primary convergence; Secondary convergence; High abundance reservoir

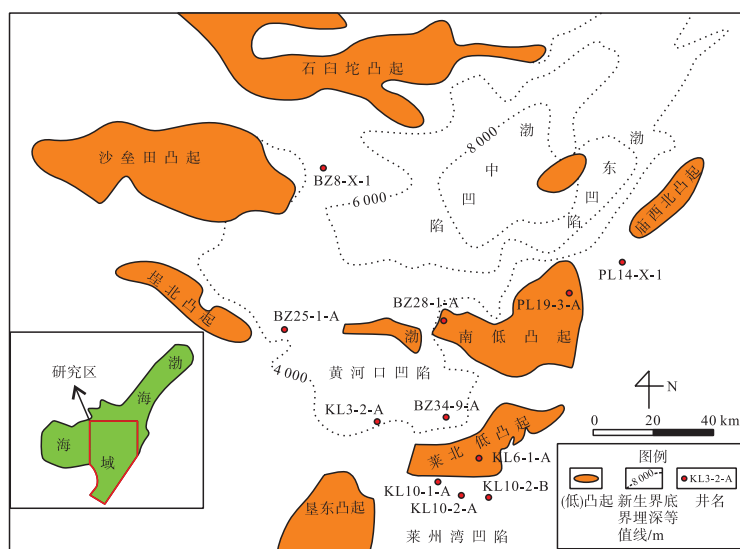
0 前言

花状构造由 Harding T P 于 1985 年提出,是指扭动断裂近直立插入基底(一般 $>70^\circ$),向上分支散开的断裂组合样式,为走滑活动的产物,分为负花状构造与正花状构造两类。似花状构造概念的提出相对较晚,相关学者^[1-2]定义为主要是指在剖面上地层呈现背形特征,主干断层与次级断层均为正断层的似花状断裂组合,兼具经典正花状构造与负花状构造的特点。似花状构造相对于经典花状构造而言,广泛分布于渤海中南部的走滑—拉张应力环境^[3],而典型花状构造常见于辽东湾地区强走滑应力环境^[4]。渤海海域新近系为主力含油层系,储盖组合普遍较好,因此油气运移条件研究对于似花状构造油气成藏至关重要。油气运移前期研究主要分为两种模式,一是“花心”油气富集模式^[5-6],研究认为“花心”部位断裂发育程度相对“花瓣”位置更高,构造位置更高,油气运移更为活跃;二是“花瓣”富集模式,研

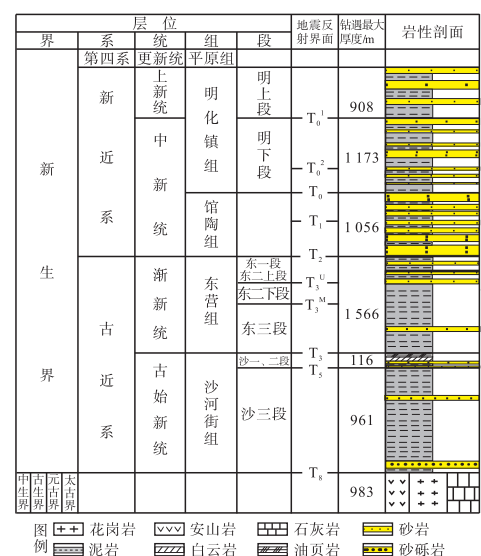
究认为该模式主干断裂为长期活动大断裂,为油气垂向运移的主通道,次级断层作为再分配通道垂向运移能力较差,因此靠近主干断裂的“花瓣”部位油气运移强度更大。上述油气运移研究集中于油气在花状构造本身,且聚焦于油气的浅层运移,缺乏“由源到藏”的宏观性、整体性分析,导致油气运移研究不能精细指导似花状构造勘探,特别是高丰度油气藏的勘探。模拟实验和勘探实践均证实^[7-8],相同条件下“脊—断”模式比“源—断”模式具有更充足的垂向运移量,更有利于形成高丰度油气藏。本研究以渤海中南部新近系为例,以“汇聚脊控制源外层系油气富集理论”为指导,分析似花状构造油气运移关键环节和模式,指导渤海中南部新近系大中型油气田的勘探与评价。

1 研究区地质概况

渤海中南部位于渤海湾盆地东南部,包括渤海海域中部和南部。研究区区域位置与地层综合柱状图见图 1。



a) 研究区区域位置
a) The study area location



b) 研究区地层综合柱状图

b) Stratigraphic composite column chart of the study area

图 1 研究区区域位置与地层综合柱状图

Fig. 1 Location and stratigraphic composite column chart of the study area

构造单元包括石臼坨凸起、沙垒田—渤南低凸起、埕北—莱北低凸起、垦东—潍北凸起、渤中凹陷、黄河口凹陷、莱州湾凹陷,整体呈现“四凸夹三凹”的构造格局。研究区发育近东西向的伸展断裂体系和近南北向的走滑断裂体系,主成藏期为 5.3 Ma 以来,整体处于走滑—拉张应力背景^[9]。油源对比证实渤海中南部发育沙河街组四段上亚段—沙河街组三段(以下简称沙四上段—沙三段)、沙河街组一段(以下简称沙一段)、东营组三段(以下简称东三段)三套烃源岩,其中沙四上段—沙三段、沙一段为主力烃源岩层系^[10],而东三段为次要生烃层系,尚未发现大规模油气聚集。

渤海中南部从深至浅发育潜山、沙河街组、东营组、馆陶组、明化镇组、平原组等地层,其中潜山多为中生界潜山,局部出露太古界、古生界、元古界潜山;沙河街组整体为富泥沉积,陡坡带发育近源扇体;沙二段为辫状河三角洲沉积;沙一段为复杂岩性段,包括白云岩、油页岩、石灰岩等;东三段与东营组二段下亚段(以下简称东二下亚段)整体为富泥沉积,局部发育近源扇体;东营组二段上亚段(以下简称东二上亚段)和东营组一段(以下简称东一段)发育辫状河三角洲;馆陶组为辫状河沉积;明化镇组为极浅水三角洲沉积。研究区潜山、古近系沙河街组和新近系为主力含油层系,先后发现了秦皇岛 31-32、渤中 19-25、渤中 28-34 等新近系亿吨油田群,垦利 10-1、渤中 34-9 等大中型古近系油田,以及渤中 19-6、渤中 13-2 等潜山亿吨油气田群,其中新近系储盖组合优良,受新构造运动影响,探明储量占比超过 70%,是渤海中南部最主要的勘探层系。

2 油气运移条件分析

新近系为典型的源外成藏层系,油气运移是成藏的关键^[11],特别是油气垂向运移量是高丰度油气藏形成的主要因素。从主力沙河街组烃源岩到新近系砂体圈闭,油气运移经历了垂向运移和侧向运移两大环节。其中侧向运移前人研究较多,受到砂体与断层配置、砂体物

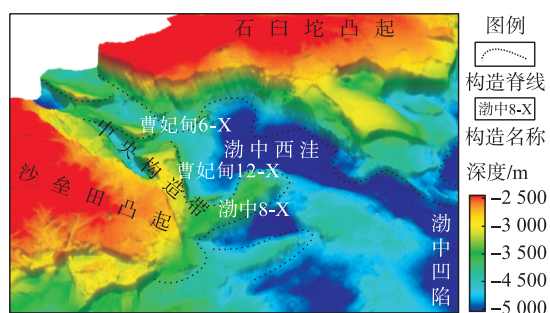
性、砂体与断层接触程度等多方面控制^[12-14];垂向运移前人研究集中于断层垂向疏导^[15-16],而基于断层活动性分析的垂向运移能力评价往往与勘探成效匹配较差。本次研究基于“汇聚脊控制源外层系油气富集理论”,本着“由源到藏”的全路径分析原则,将油气运移分为横向运聚和垂向输导。除断层本身外,将油气汇聚细分为靠近烃源岩层系的深层初始汇聚和靠近浅层砂体的浅层二次汇聚,其中初始汇聚决定油田规模,二次汇聚及断层共同控制油气差异富集。

2.1 初始汇聚分析

前期油气运移物理模拟实验表明,仅仅依靠断面附近的烃源岩“现生现排”无法实现油气规模性的垂向运移,而必须要有类似深层扇体的油气汇聚。因此,当断层与烃源岩之间的初始汇聚体与烃源岩接触程度较高时,先期汇聚大量油气,然后通过断层的幕式活动垂向运移,间接控制了油气垂向运移量^[17]。油气经初始运移后,初始汇聚体包括潜山风化壳圈闭、沙河街组扇体圈闭两种类型,上述两种初始汇聚体的横向汇聚是断层发生规模性垂向运移的基础,而仅靠切至烃源岩的断层垂向运移往往无法形成规模性油气聚集,油气勘探实践也证实了这个观点。

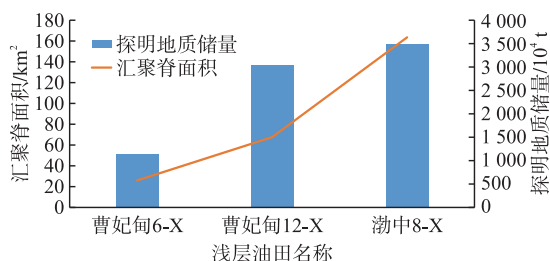
2.1.1 潜山风化壳初始汇聚能力分析

潜山风化壳紧邻沙河街组主力烃源岩,是油气初次运移后优势运移路径之一。深层潜山风化壳油气汇聚量直接决定浅层新近系油气的富集程度^[18]。通过统计二级构造单元(凸起区)的面积与新近系油气储量规模可知,凸起规模指示浅层油气富集程度差异,汇聚规模大,汇聚能力强,浅层地质储量规模大;对于三级构造单元(构造带)凹中隆型潜山风化壳汇聚脊而言,具有相似的统计规律,渤中凹陷—沙垒田凸起已发现油田统计表明凹中隆脊规模越大,对应浅层地质储量规模越大,曹妃甸 6—渤中 8 凹中隆汇聚脊面积与储量关系见图 2。凸起区潜山潜山风化壳、凹陷区古隆起潜山风化壳多为背斜、断背斜形态,因此汇聚面积是决定潜山风化壳汇聚能力的关键参数。



a) 研究区凹中隆平面分布

a) Concave ridge distribution



b) 凹中隆汇聚脊面积及其探明地质储量

b) Concave ridge area and discovered reserves

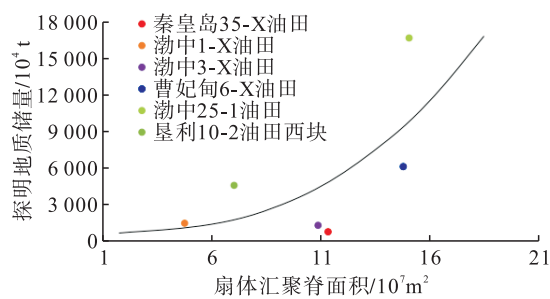
图2 曹妃甸6—渤中8凹中隆汇聚脊面积与储量关系图

Fig. 2 Relationship between convergent ridge area and reserves in Caofeidian 6-Bozhong 8

2.1.2 沙河街组扇体初始汇聚能力分析

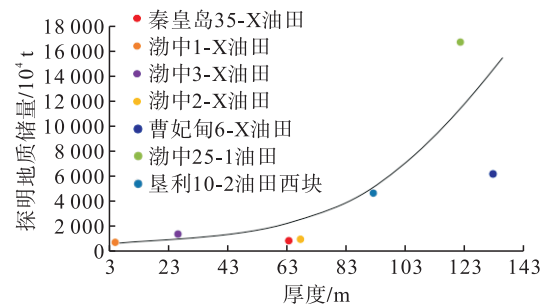
陡坡带沙河街组扇体往往与烃源岩呈指状接触关系,是油气二次运移路径的首选。研究表明陡坡带沙河街组砂体发育程度与浅层油气富集规模密切相关,发现富油凹陷陡坡带发育的深层砂体可以“中转”油气,提出油气“中转站”理论^[19-20],指导发现了渤中 25-1 南明下段油田、歧口 17-2 明下段油田等。近期在莱州湾凹陷发现的亿吨油田——垦利 10-2 油田,通过油源对比、构造

解析等认为其油气首先是在莱州湾凹陷北部陡坡带垦利 10-1 油田沙河街组扇体汇聚,通过断层垂向输导、浅层层距离油气运移,最终在莱州湾凹陷区发现了规模性浅层大型油田^[21]。石南陡坡带深层砂体面积、累积厚度与浅层探明地质储量关系见图 3。通过统计渤海南部凸起下降盘陡坡带沙河街组扇体规模与浅层油田储量关系可以发现,油气富集程度主要受控于中转站扇体的发育程度,与中转站扇体的面积和厚度具有较好的相关性。



a) 扇体汇聚脊面积与浅层探明地质储量

a) Fan convergent ridge area and shallow reserves



b) 扇体汇聚脊厚度与浅层探明地质储量

b) Fan convergent ridge thickness and shallow reserves

图 3 研究区陡坡带深层扇体汇聚脊面积、扇体汇聚脊厚度与浅层探明地质储量关系图

Fig. 3 The relationship between fan convergent ridge area, cumulative thickness and shallow reserves in the steep slope zone of the study area

2.2 二次运聚分析

油气经初始汇聚后,沿断层垂向运移,运至馆陶组辫状河—辫状河三角洲前缘厚层砂岩后,油气运移的优势方位发生变化,由沿断层的垂向运移转变为沿厚层砂岩的横向运移。渤海中南部馆陶组整体为辫状河沉积^[22],砂岩含量 50% ~ 80%,普遍发育厚层大套砂砾岩体,连通性良好,平均孔隙度 35%,平均渗透率 1 000 mD,成为油气二次横向优势运移路径。特别指出的是,研究区东部庙西地

区发育类似明化镇组下段的极浅水三角洲沉积,砂岩含量 10% ~ 30%,横向连通性较差^[23],不能作为横向运移通道。

通过分析渤海南部垦利 10-2 构造可知,馆陶组发育厚层大套含砾砂岩,砂岩之上为明化镇组稳定厚层泥岩,馆陶组油层及显示段均位于与明化镇组泥岩接触位置,见图 4。由图 4 表明自深部不整合或沙河街组扇体“中转站”向浅层垂向运移层位受稳定的泥岩盖层控制,因此,稳定的泥岩盖层是形成馆陶组大规模横向运移的必要条件。

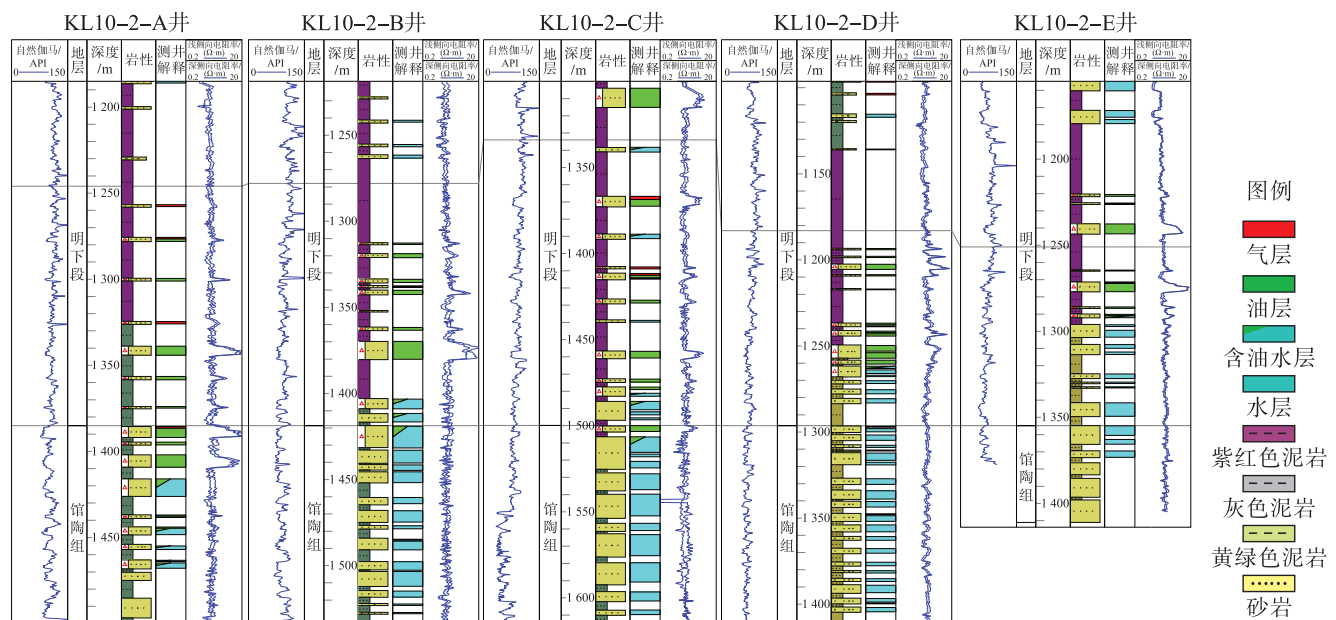


图 4 垦利 10-2 构造明化镇组—馆陶组岩性组合图

Fig. 4 Lithologic association map of Minghuazhen Formation and Guantao Formation in Kenli 10-2 structure

此外,钻探也证实,馆陶组的横向运移量主要受馆陶组构造圈闭的形态、面积控制,与砂砾岩体厚度相关性并不明显。在石臼坨凸起上,馆陶组输导脊呈近东西向展布,受构造转换带控制,分为东、中、西三部分,且均具有独立高点,且依次抬升,见图 5。构造脊西部构造位置最高,

圈闭面积最大,对应发现秦皇岛 32-6 油田等,探明储量约 1.95×10^8 t;中部构造位置较高,圈闭面积小于西部而大于东部,发现秦皇岛 31-1 南油田,探明储量约 0.54×10^8 t;东侧构造位置较低,圈闭面积最小,仅发现了秦皇岛 27-34 构造区 2 个含油构造,探明储量约 0.12×10^8 t。

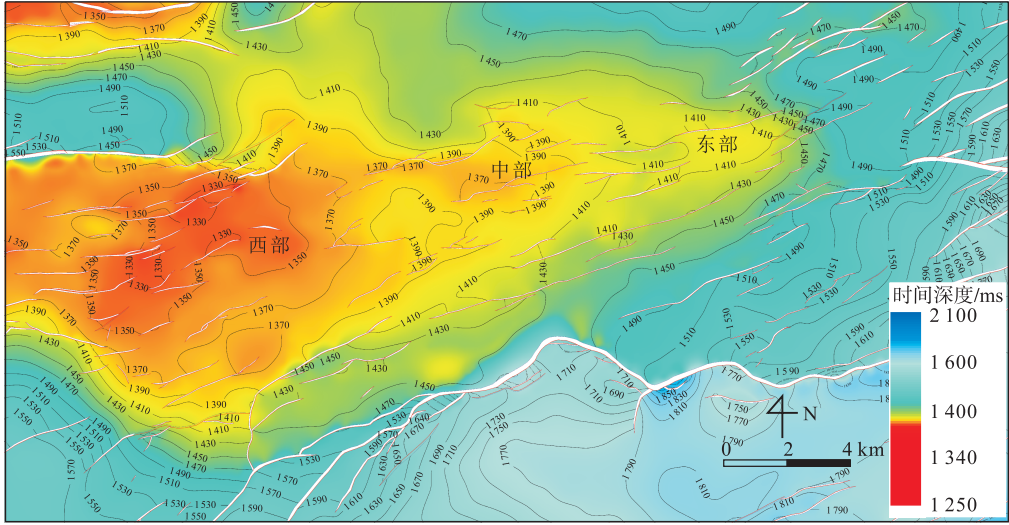


图 5 石臼坨凸起馆陶组砂体横向输导层构造形态图

Fig. 5 Structural morphology map of transverse transport layer of sand in Shijiutuo-Guantao Formation

3 油气运移模式

初始汇聚是断层规模性垂向运移量的基础,而二次汇聚是断层在垂向上、平面上再分配的关键。因此,初始汇

聚中心和二次汇聚中心的叠合程度将决定高丰度油气藏发育的有无和位置。油气运移模式具体分为逃逸型油气运移模式、贯通型油气运移模式、偏心型油气运移模式 3 种,深浅层汇聚中心配置差异与油气运移模式见图 6。

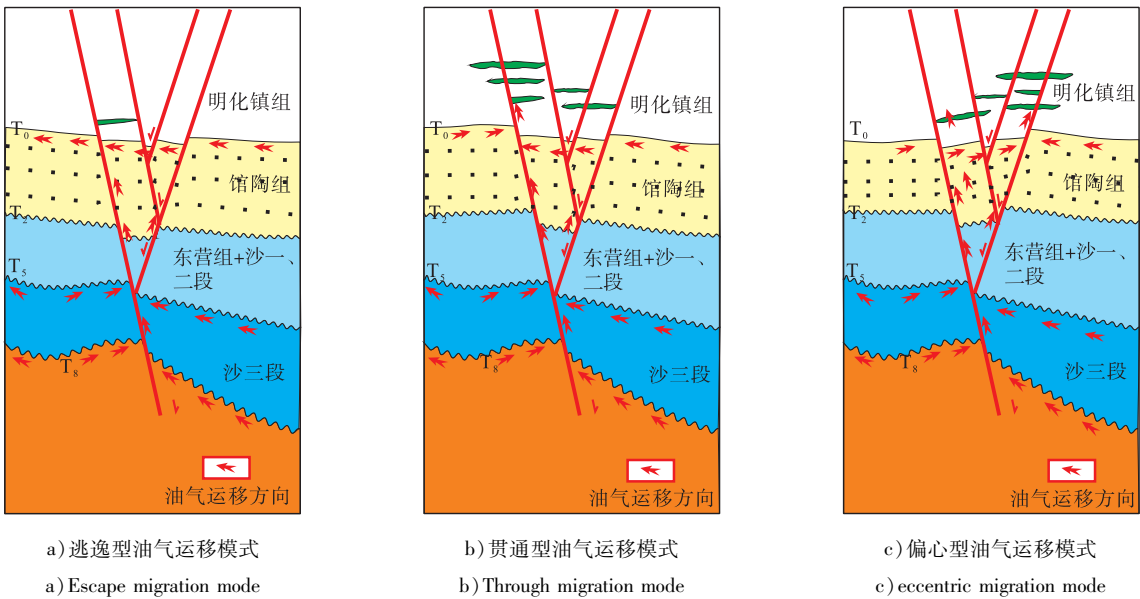


图 6 深浅层汇聚中心配置差异与油气运移模式图

Fig. 6 Distribution difference of deep and shallow convergence centers and hydrocarbon migration model diagram

3.1 逃逸型油气运移模式

该模式中初始汇聚中心存在,而浅层二次汇聚中心不存在。油气在深层初始汇聚后,沿断层垂向运移至馆

陶组厚层砂砾岩体发生二次汇聚,而二次汇聚的中心没有位于似花状构造内。因此经过深层初始汇聚后,油气沿断层运至馆陶组发生侧向逸散,似花状构造部位发育

高丰度油藏的可能性较小,油气往往沿着馆陶组横向输导层运移至高部位大型构造圈闭富集。

3.2 贯通型油气运移模式

该模式中初始汇聚与二次汇聚中心叠合程度高。通过通脊断裂的沟通,油气在深层初始汇聚后,沿断层垂向运移至馆陶组厚层砂砾岩体,发生二次汇聚,而二次汇聚的中心也位于主干通脊断裂附近,因此,经过初始汇聚和二次汇聚的叠加,垂向浅层运移量大大增加,有利于在通脊断层附近发育高丰度油气藏。

3.3 偏心型油气运移模式

该模式中初始汇聚与二次汇聚中心部不叠合。油气在深层初始汇聚后,沿断层垂向运移至馆陶组厚层砂砾岩体,发生二次汇聚,而二次汇聚的中心偏离主干断层,位于次级断裂附近,因此浅层油气在垂向上和平面上运移方向均发生了变化,次级通脊浅层垂向运移量大大增加,有利于在偏离主干断层的次级断层附近发育高丰度油气藏。

4 油气勘探应用

4.1 渤中 34-9 油田

近年来,渤海油田在黄河口凹陷中洼南斜坡至莱北低凸起先后发现了以古近系沙一、二段为主要目的层的

渤中 34-9 油田和以明化镇组为主要目的层的垦利 6-1 油田。渤中 34-9 构造位于黄河口凹陷南斜坡,为受区域伸展作用和火山岩底劈作用共同控制下的复杂似花状构造,油源为黄河口凹陷中洼沙三段、沙一段烃源岩,属于逃逸型油气运移模式。沙一、二段沉积期发育大面积辫状河三角洲砂体,厚度普遍在 200 m 左右,孔隙度约 20%,渗透率 300 ~ 600 mD,横向展布稳定且连通性较好,与烃源岩大面积接触,在火山岩岩墙的侧向遮挡之下,形成良好的深层初始汇聚条件。馆陶组沉积期为辫状河相,普遍发育大套厚层砂岩,砂岩含量普遍在 40% 以上,连通性较好。斜坡带整体呈南高北低的简单斜坡背景,仅在紧邻伸展大断层附近发育小型断块圈闭,二次汇聚条件较差。钻探结果表明,在良好深层初始汇聚条件下,沙二段、东三段是主力含油层系,储量规模达 $4\,000 \times 10^4$ t;但二次汇聚条件较差,馆陶组虽油气显示活跃,录井显示厚度 230 ~ 400 m,却仅在靠伸展大断裂附近发现少量的馆陶组、明下段油藏。此外,斜坡带渤中 34-9 构造高部位凸起区的垦利 6-1 构造,位于馆陶组二级汇聚的最终归宿,二级汇聚条件极佳,经钻探发现了垦利 6-1 明下段亿吨级油田,黄河口凹陷斜坡带至凸起区(渤中 34-9—垦利 6-1 油田)油藏模式见图 7。

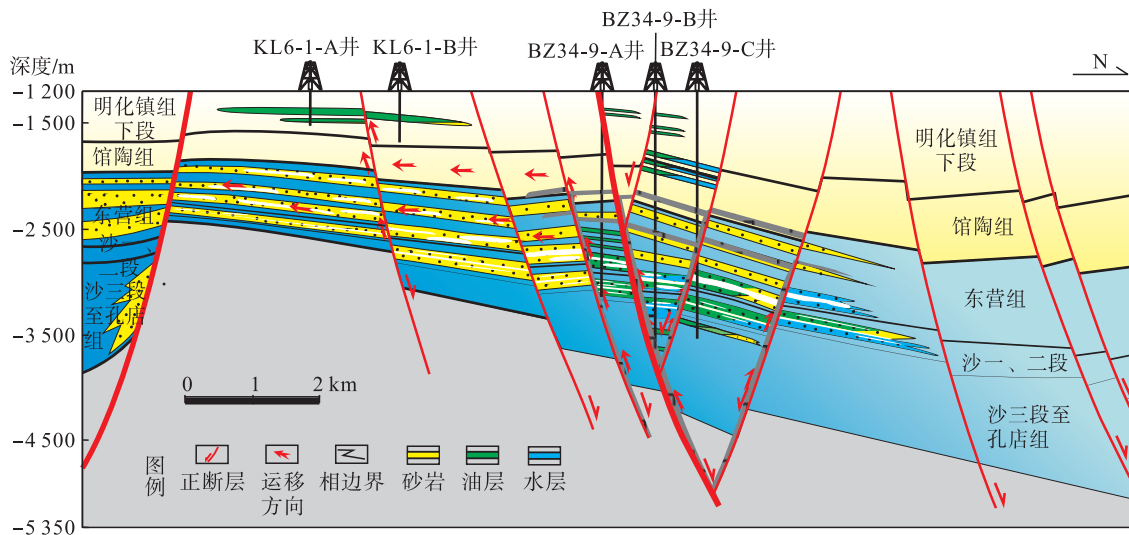


图 7 黄河口凹陷斜坡带至凸起区(渤中 34-9—垦利 6-1 油田)油藏模式图

Fig. 7 Reservoir model map of Huanghekou Sag slope zone to bulge area (Bozhong 34-9 - Kenli 6-1 oilfield)

4.2 垦利 3-2 油田

垦利 3-2 构造位于黄河口凹陷西洼南斜坡,受近东西向的伸展大断裂控制下的复杂似花状构造,油源为沙三段烃源岩,明下段属于贯通式油气运移模式。沙三段沉积期发育近源扇体,埋深 4 000 ~ 5 000 m,储层风险较大未钻探,属于自生自储型成藏模式,形成良好的深层汇聚条件。馆陶组沉积期为辫状河相,普遍发育大套厚层砂岩,砂岩含量普遍在 40% 以上,连通性较

好,受大断层生长控制形成了逆牵引构造,断背斜圈闭发育在主干断层最大断距位置,面积约 3.3 km^2 ,二次汇聚集集中于断背斜圈闭。油田总计钻探 6 口井,探明储量约 $1\,100 \times 10^4$ t,在二级汇聚条件配置较好的 B 井区,馆陶组、明下段油层厚度均最大,探明储量约 600×10^4 t,占整个油田探明总储量的 50% 以上,黄河口凹陷西南斜坡带(垦利 3-2 油田)油藏模式见图 8。

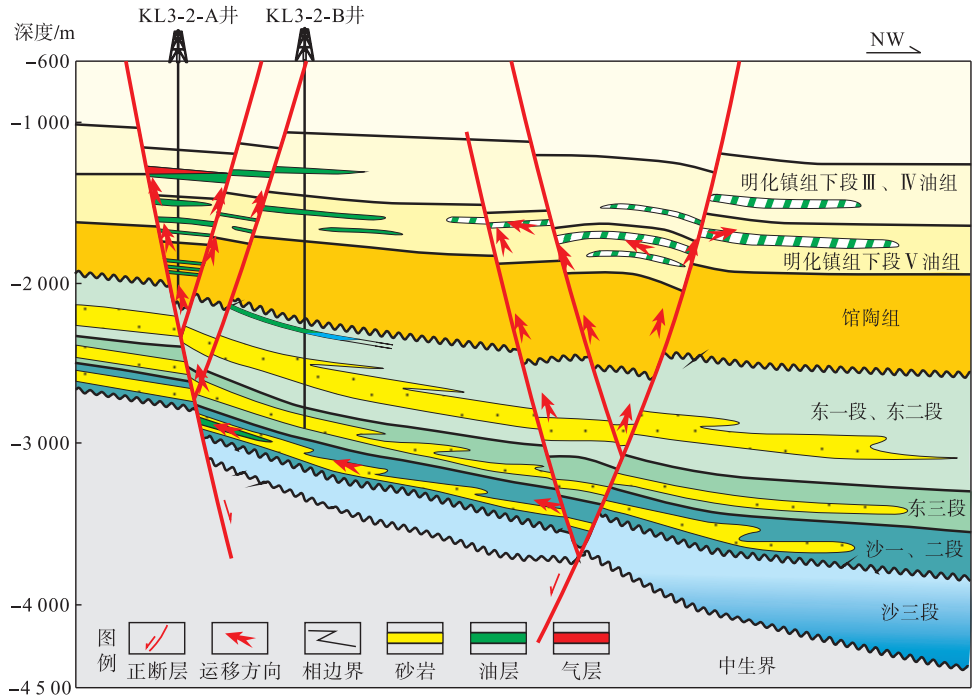


图 8 黄河口凹陷西南斜坡带(垦利 3-2 油田)油藏模式图

Fig. 8 Reservoir model map of the southwest slope zone of Huanghekou Sag (Kenli 3-2 oilfield)

4.3 垦利 10-1 油田

垦利 10-1 油田主要含油气层明化镇组位于莱北低凸起东段南部,紧邻莱州湾凹陷北部陡坡带,明下段探明地质储量约 $1\,200 \times 10^4$ t。整体表现为依附莱北低凸起南部边界断层控制的复杂似花状构造,油源为莱州湾凹陷沙三段、沙四段烃源岩,属于偏心型油气运移模式。沙三段沉积期发育近源扇体,厚度普遍在 50 m 以上,与沙三段烃源岩大面积接触形成良好的深层汇聚条件。馆陶组沉积期为辫状河相,普遍发育大套厚层砂岩,砂岩含量普遍在

40% 以上,连通性较好,从构造特征来看,构造区位于箕状断陷根部,但呈明显的负花状,发育一系列断块型构造,圈闭总面积达 20 km^2 ,二次汇聚条件较好。钻探结果表明,在良好深层初始汇聚条件下,沙三段扇体是主力含油层系之一,而二次汇聚条件较好,馆陶组虽油气显示活跃,录井显示厚度约 200 ~ 300 m,馆陶组、明下段油藏大部分位于二次汇聚部位,即偏离主干断层花心及外“花瓣”部位,“花心”储量占明下段全部储量的 80%,莱州湾北部陡坡带(垦利 10-1 油田)油藏模式见图 9。

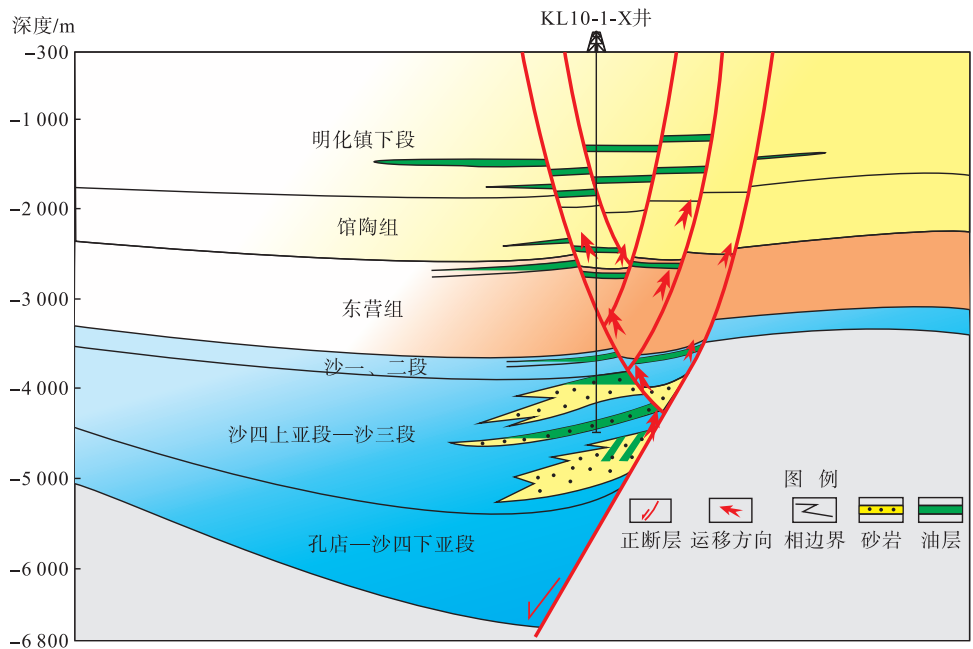


图 9 莱州湾北部陡坡带(垦利 10-1 油田)油藏模式图

Fig. 9 Reservoir model map of the northern steep slope zone of Laizhou Bay (Kenli 10-1 oilfield)

5 结论

1) 渤海中南部潜山风化壳和沙河街组扇体组成浅层油气的初始汇聚, 汇聚量间接控制了浅层油气富集规律, 主要受初始汇聚体面积和厚度的控制。

2) 馆陶组厚层砂岩与保存泥岩盖层组成浅层油气的二次汇聚, 与通脊断层结合共同控制油气在垂向、平面上的富集规律, 主要受控于馆陶组构造圈闭面积。

3) 受控于深层初始汇聚中心和浅层二次汇聚中心的发育条件和叠合状态, 浅层油气运移模式分为逃逸型油气运移模式、贯通型油气运移模式和偏心型油气运移模式3种, 其中逃逸型浅层不发育高丰度油气藏, 油气往往沿着横向输导层运移至高部位大型构造圈闭富集, 贯通型通脊主干断裂附近和偏心型次级断裂附近有可能发育高丰度油气藏。

参考文献:

- [1] 刘晓峰, 董月霞, 王 华. 渤海湾盆地南堡凹陷的背形负花状构造[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, 35(6): 1029-1034.
LIU Xiaofeng, DONG Yuexia, WANG Hua. Antiform negative flower structure in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2010, 35 (6): 1029-1034.
- [2] 詹 润, 杨贵丽, 张 盛, 等. 青东凹陷复合型花状构造成因分析[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 473-482.
ZHAN Run, YANG Guili, ZHANG Sheng, et al. Analysis on the origin of the composite flower structures in the Qingdong Sag [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36 (4): 473-482.
- [3] 张宏国, 官大勇, 宿 雯, 等. 复合型花状构造油气富集规律——以渤海海域蓬莱 C 构造为例[J]. 东北石油大学学报, 2015, 39(4): 38-44.
ZHANG Hongguo, GUAN Dayong, SU Wen, et al. Oil and gas enrichment characteristic of compound flower structure: Taking Penglai C structure of Bohai Sea for example [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2015, 39 (4): 38-44.
- [4] 吴智平, 张 婧, 任 健, 等. 辽东湾拗陷东部地区走滑双重构造的发育特征及其石油地质意义[J]. 地质学报, 2016, 90(5): 848-856.
WU Zhiping, ZHANG Jing, REN Jian, et al. Development characteristic of strike-slip duplex in the eastern part of Liaodong Bay depression and its petroleum geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90 (5): 848-856.
- [5] 王应斌, 黄 雷, 王 强, 等. 渤海浅层油气富集规律——以黄河口凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 637-641.
WANG Yingbin, HUANG Lei, WANG Qiang, et al. Hydrocarbon accumulation in the shallow reservoirs of the Bohai Bay Basin: A case study of the Huanghekou Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (5): 637-641.
- [6] 黄 雷, 刘池洋. 张扭断裂带内复合花状构造的成因与意义[J]. 石油学报, 2019, 40(12): 1460-1469.
HUANG Lei, LIU Chiyang. Genesis and significance of hybrid flower structure in a transtensional fault zone [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40 (12): 1460-1469.
- [7] 薛永安. 渤海海域油气运移“汇聚脊”模式及其对新近系油气成藏的控制[J]. 石油学报, 2018, 39(9): 963-970.
XUE Yong'an. The “catchment ridge” model of hydrocarbon migration in Bohai Sea and its control on Neogene hydrocarbon accumulation [J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39 (9): 963-970.
- [8] 宿 雯, 杨海风, 揣媛媛, 等. 渤海南部缓坡带新近系油气运移模式——以垦利 9 油田群为例[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(11): 69-76.
SU Wen, YANG Haifeng, CHUAI Yuanyuan, et al. Neogene hydrocarbon migration and inspiration in the gentle slope belt, southern Bohai Sea: A case from Kenli 9 oilfield group [J]. Marine Geology Frontiers, 2020, 36 (11): 69-76.
- [9] 龚再升. 中国近海新生代盆地至今仍然是油气成藏的活跃期[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 1-6.
GONG Zaisheng. Cenozoic China offshore basins keeping active hydrocarbon accumulation to present [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26 (6): 1-6.
- [10] 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 渤海海域沙三段烃源岩评价及排烃特征[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 906-912.
JIANG Fujie, PANG Xiongqi, JIANG Zhenxue, et al. The quality evaluation and hydrocarbon-expulsion characters of source rocks in the 3rd member of Shahejie Formation in the Bohai Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31 (6): 906-912.
- [11] 薛永安, 杨海风, 黄江波, 等. 渤海海域浅层油气运移成藏理论技术创新与勘探突破[J]. 中国海上油气, 2020, 32(2): 14-23.
XUE Yong'an, YANG Haifeng, HUANG Jiangbo, et al. Technological and theoretical innovations in the shallow hydrocarbon migration and accumulation of the Bohai Sea and the exploration breakthroughs [J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32 (2): 14-23.
- [12] 张新涛, 牛成民, 黄江波, 等. 黄河口凹陷渤中 34 区明化

- 镇组下段油气输导体系[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19 (5): 27-30.
- ZHANG Xintao, NIU Chengmin, HUANG Jiangbo, et al. Hydrocarbon migration of Bozhong 34 in lower Minghuazhen Formation, Huanghekou Sag, offshore Bohai Sea [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19 (5): 27-30.
- [13] 孙同文, 付广, 吕延防, 等. 断裂输导流体的机制及输导形式探讨[J]. 地质论评, 2012, 58(6): 1081-1090.
- SUN Tongwen, FU Guang, LYU Yanfang, et al. A discussion on fault conduit fluid mechanism and fault conduit form [J]. Geological Review, 2012, 58 (6): 1081-1090.
- [14] 张震, 张新涛, 徐春强, 等. 断—砂耦合接触分析在油气运移中的应用——以曹妃甸 A 油田明下段为例[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(7): 49-55.
- ZHANG Zhen, ZHANG Xintao, XU Chunqiang, et al. Fault-sand coupling and its application to hydrocarbon migration: A case from oilfield CFD A [J]. Marine Geology Frontiers, 2020, 36 (7): 49-55.
- [15] 滕长宇, 邹华耀, 郝芳. 渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (4): 579-590.
- TENG Changyu, ZOU Huayao, HAO Fang. Control of differential tectonic evolution on petroleum occurrence in Bohai Bay Basin [J]. Scientia Sinica (Terra), 2014, 44 (4): 579-590.
- [16] 付广, 王立志. 源断裂在断陷盆地油运聚成藏中的作用研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(6): 686-690.
- FU Guang, WANG Lizhi. Effect of source faults on oil migration and accumulation in fault basin [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18 (6): 686-690.
- [17] 孙永河, 付晓飞, 吕延防, 等. 地震泵抽吸作用与油气运聚成藏物理模拟[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37 (1): 98-104.
- SUN Yonghe, FU Xiaofei, LYU Yanfang, et al. Suction role of seismic pumping and physical simulation on hydrocarbon migration and accumulation [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37 (1): 98-104.
- [18] 张宏国, 徐长贵, 官大勇, 等. 输导脊中转能力定量表征及在渤海东部油气勘探中的应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2018, 42(3): 41-49.
- ZHANG Hongguo, XU Changgui, GUAN Dayong, et al. Quantitative description of transfer capability of transporting ridges and its implication in hydrocarbon exploration in eastern area of Bohai Sea [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2018, 42 (3): 41-49.
- [19] 邓运华. 试论汇油面积对油田规模的控制作用[J]. 中国海上油气, 2014, 26(6): 1-6.
- DENG Yunhua. A discussion on the controls of oil collecting area on oilfield size [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26 (6): 1-6.
- [20] 邓运华. 裂谷盆地油气运移“中转站”模式的实践效果——以渤海油田第三系为例[J]. 石油学报, 2012, 33 (1): 18-24.
- DENG Yunhua. Practical effect of the “transfer station” model for oil-gas migration in rift basin: A case study on the Tertiary in the Bohai oil province [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33 (1): 18-24.
- [21] 薛永安, 杨海风, 王航, 等. 渤海莱州湾凹陷深洼带垦利 10-2 新近系大型油田发现与意义[J]. 中国海上油气, 2022, 34(1): 17-26.
- XUE Yong'an, YANG Haifeng, WANG Hang, et al. Discovery and significance of KL 10-2 Neogene large oilfield in deep subsag zone of Laizhouwan Sag, Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2022, 34 (1): 17-26.
- [22] 肖瑛珺. 黄河口凹陷馆陶组层序地层划分及沉积相研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- XIAO Yingjun. The sequence stratigraphic division and sedimentary facies study of Guantao Formation in Huanghekou Sag [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- [23] 赵国祥, 官大勇, 刘朋波, 等. 庙西南凸起馆陶组浅水辫状河三角洲沉积特征及砂体演化[J]. 沉积学报, 2018, 36 (4): 807-817.
- ZHAO Guoxiang, GUAN Dayong, LIU Pengbo, et al. Sedimentary characteristics and sand body evolution of shallow braided river delta of Guantao Formation in Miaoxi'nian Uplift, Bohai Sea area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36 (4): 807-817.