

金宝强, 邓猛. 渤海 BZ 油田沙三段沉积演化特征及有利储层预测[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(4): 57-65.

JIN Baoqiang, DENG Meng. Sedimentary evolution and favorable reservoir prediction in the middle of the third member of Shahejie Formation in BZ Oilfield, Bohai Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(4): 57-65.

渤海 BZ 油田沙三段沉积演化特征及有利储层预测

金宝强, 邓猛

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要:渤海 BZ 油田沙三段为特低渗油藏, 发育扇三角洲沉积, 由于储层横向变化复杂及对“甜点层”认识不清, 制约了油田开发进程。本文重点研究沙三段沉积演化并对其有利储层进行预测, 以指导特低渗油藏的开发。综合区域沉积特征、钻井及地震资料, 利用残余厚度法和印模法相结合的方法进行古地貌研究的结果认为, 沙三段主要发育古洼陷、古斜坡、古沟谷和古凸起 4 种古地貌单元; 通过岩芯观察和测井相分析认为, 沙三段主要发育分流河道、河口坝、浊流、分流间湾和前扇三角洲泥沉积微相。综合研究认为, 小层沉积微相及厚度与古地貌形态具有较好的相关性。古洼陷储层主要发育分流河道及河口坝优质微相且沉积厚度最大, 古斜坡和古沟谷次之, 古凸起最差。综合古地貌、沉积微相及演化特征分析, 有利储层主要受控于古地貌及沉积微相。以储层厚度和物性综合确定出沙三段的“甜点”区分布, 为特低渗油藏不同井区采取不同的开发策略提供了地质依据。

关键词:BZ 油田; 特低渗; 古地貌; 沉积微相; 沉积演化; 甜点

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.026

0 引言

低渗油藏的高效开发对中国石油的战略作用日益凸显^[1-3]。BZ 油田是渤海海域最大的在生产低渗油田, 主要含油层位为沙河街组二段(下称沙二段)和沙河街组三段(下称沙三段)。沙二段为常规低渗油藏, 平均渗透率为 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 主要采用常规注水开发, 储量动用程度较高, 开发效果较好。沙三段以特低渗油藏为主, 平均渗透率为 $7.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 受埋藏深度大(埋深 3 300~3 900 m)、储层非均质性强(变异系数 > 0.6 , 突进系数 > 2.5 , 级差 > 10)、异常高压(压力系数 1.51~1.59)等因素影响, 注水效果差, 规模化经济有效开发难度大, 储量基本处于未动用状态。前人针对中深层低渗-特低渗储层特征做了大量研究工作, 在层序地层划分、沉积模

式建立、储层物性、成岩作用及其成岩演化等方面均取得了一定的认识^[4-9], 但其研究成果认识的尺度多集中于大段砂层组级别, 针对小层开展沉积微相及其演化特征的研究较少, 且少见较为量化的有利储层预测描述。为了加快沙三段特低渗油藏开发动用, 制定合理开发策略, 有必要对研究区的储层及沉积相特征开展更深入的研究, 从而为寻找有利“甜点”、实现油田高效调整挖潜奠定基础。

本次研究利用钻井、测井、地震及生产动态等资料, 以地震沉积学、储层地质学理论为指导, 结合古地貌恢复方法, 对研究区沙三段储层平面展布及纵向演化特征开展深入分析, 同时, 结合储层厚度、埋藏深度和储层物性等参数, 预测有利“甜点”, 并提出相应合理开发策略, 以期特低渗油藏开发试验及推广提供地质依据。

1 区域地质概况

BZ 油田位于渤海南部海域, 区域构造上处于渤南低凸起西端, 南北两侧分别为黄河口凹陷和渤中凹陷, 是渤海海域最有利的油气聚集区之一

收稿日期: 2022-01-24

资助项目: 国家科技重大专项(2011ZX05023-002); 中国海洋石油总公司科技攻关项目(CNOOC-KJ125ZDXM07LTDJT02)

作者简介: 金宝强(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油气田地质综合研究工作。E-mail: jinbq@cnooc.com.cn

(图1a)。钻井揭示自上而下发育第四系平原组、新近系明化镇组和馆陶组、古近系东营组和沙河街组。沙三段地层埋深为3300~3900 m, 储层以扇三角洲砂岩为主, 平均渗透率为 $7.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属特低渗透储层。始新统沉积时期, 受喜马拉雅Ⅱ幕构造运动影响, 沙三段整体处于湖盆断陷鼎盛期。沙三段沉积早期(沙三下段), 研究区主要发育大套灰色、灰黑色泥岩和灰色粉-细砂岩, 为湖底扇、半深湖-深湖沉积。该时期研究区沉积地层厚度大, 超过400 m, 油田范围钻穿该套地层的井位较少。沙三段沉积中期

(沙三中段), 研究区主要发育灰色泥岩和褐色富含油细砂岩, 纵向上砂泥岩互层, 为扇三角洲沉积。该时期研究区沉积地层厚度变化较大, 介于50~260 m, 为沙河街组主要含油层段, 也是本次研究的目标层位。沙三段沉积末期(沙三上段), 由于受喜马拉雅Ⅲ幕构造运动影响, 大部分地层遭受剥蚀, 使得沙三段与上覆沙二段地层呈角度不整合接触^[10-13]。该沉积时期研究区主要发育灰色和褐色泥岩, 为滨浅湖沉积, 其沉积地层厚度变化较大, 介于60~300 m(图1b)。

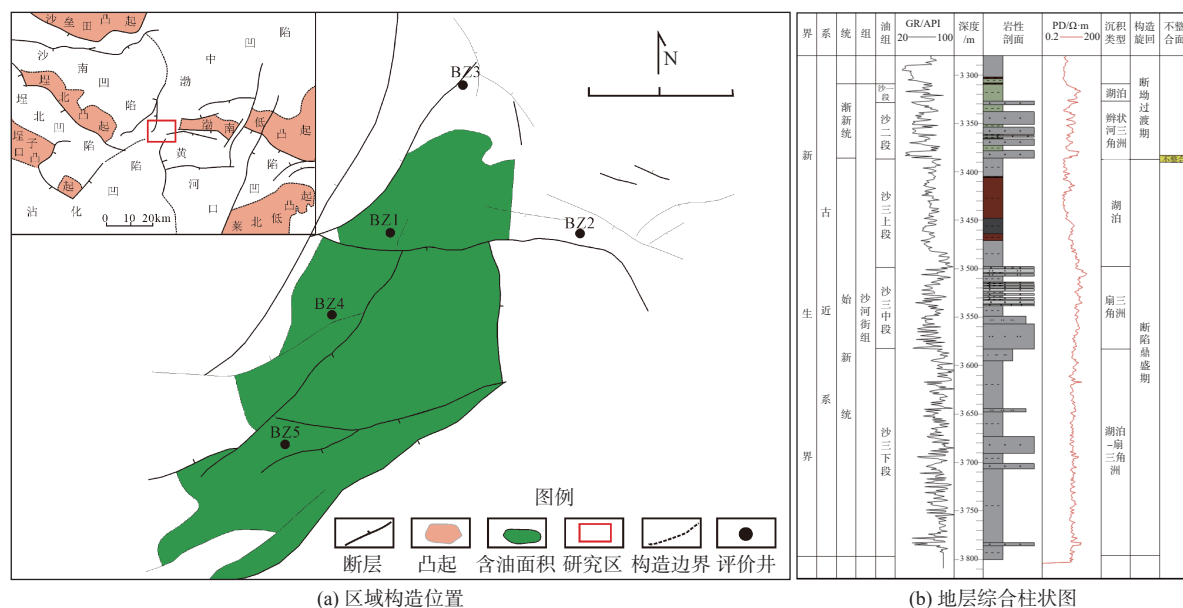


图1 渤海BZ油田区域构造位置及地层综合柱状图

Fig.1 Structural location and comprehensive stratigraphic histogram of BZ Oilfield in Bohai Sea

2 沉积相类型及特征

渤海BZ油田沙三段主要为扇三角洲相、湖底扇相、湖泊相^[14]。综合探井岩芯及开发井实钻资料分析, 沙三中段岩石类型主要为灰色砾岩、含砾砂岩、粗砂岩以及深灰色泥岩, 可见块状层理、交错层理、小型波状层理、变形层理及水平层理等沉积构造, 滑塌构造较发育。

根据岩芯观察及测井相分析, 油田范围内沙三中段主要发育水下分流河道、河口坝、浊流、分流间湾和前扇三角洲泥沉积。水下分流河道沉积测井曲线呈箱形、钟形和钟形-箱形组合特征, 沉积物以灰白色中粗砂岩和含砾不等粒砂岩为主, 底部常为含砾砂岩, 发育河道冲刷面, 少见交错层理, 单层砂岩厚度一般为5~10 m; 河口坝沉积测井曲线呈漏斗形或齿状漏斗形特征, 沉积物主要是灰白色中

细砂岩, 分选、磨圆均较好, 具有向上变粗的逆粒序, 具小型交错层理、波纹交错层理或变形层理, 单层砂岩厚度一般为3~5 m; 浊流沉积测井曲线呈中幅锯齿状, 由杂基支撑的砾岩和不等粒含砾砂岩组成, 发育变形构造, 顶底为渐变接触, 一般由多个单层厚度叠合而成, 单层厚度为1~3 m; 分流间湾沉积测井曲线表现为低幅平直或微齿化特征, 以泥岩、粉砂质泥岩沉积为主, 单层砂岩厚度通常<1 m; 前扇三角洲泥通常发育在扇体前端, 测井曲线表现为低幅平直特征(表1)。

3 沉积演化特征及有利储层预测

3.1 古地貌恢复及格局

古地貌恢复作为盆地分析、沉积体系研究及储

表 1 BZ 油田沙三段沉积微相划分及其特征

Table 1 Sedimentary microfacies division and characteristics of the third member of Shahejie Formation in BZ Oilfield

亚相	微相类型	测井曲线特征	韵律及测井相形态	岩芯特征(照片)	岩相特征描述	单层砂岩厚度/m
扇三角洲前缘	分流河道		韵律: 正韵律 曲线形态: 箱型或钟型		由含砾砂岩及中、粗粒砂岩组成。发育河道冲刷面, 5~15 少见交错层理	5~15
	河口坝		韵律: 反韵律、复合韵律 曲线形态: 漏斗型	无取芯样品	中细砂岩, 分选、磨圆均较好, 具小型交错层理、波纹交错层理或变形层理	3~5
	浊流		韵律: 复合韵律 曲线形态: 中幅锯齿型		由杂基支撑的砾岩和不等粒含砾砂岩组成, 发育变形构造, 顶底为渐变接触	1~3
	分流间湾		韵律: 不明显 曲线形态: 低幅锯齿型或平直型		以泥岩、粉砂质泥岩沉积为主, 偶见细粒砂岩	<1
	前扇三角洲泥		韵律: 不明显 曲线形态: 平直型		储层不发育, 沉积泥岩	0

层预测的重要手段,在油田勘探开发各阶段应用广泛,尤其是中深层储层预测和质量评价中应用效果显著^[15-20],目前常用的方法主要有残余厚度法、印模法、地球物理法、层序地层法、沉积学方法等。结合本区沉积特征、钻井及地震资料,优选残余厚度法与印模法相结合的方法进行沙三段古地貌恢复研究。根据对沙三段构造演化及地质特征分析,沙三上段厚泥岩段沉积是等时发生的,且大面积覆盖在沙三段之上,故选取沙三上段厚泥岩段底面(即沙三段砂岩顶面)作为等时界面。由于

大部分井未钻穿沙三段底面,且底界面埋深普遍在 3 500 m 以下,地震资料分辨率低,在地震剖面上主要表现为杂乱反射特征,区域上无法进行精细解释和追踪,因此,本次采用等时换算的方法计算沙三段底面,即为减小早期断层对沙三段残余地层厚度计算的影响,用基底层面与沙三段地层顶底面距离的比例关系,结合内部可追踪地震层位换算出沙三段底面位置,进行层面补全解释后减去沙三段顶面做为残余厚度(图 2)。沙三段底面以上沉积建立在早期地层顶部的侵蚀、风化地貌基础

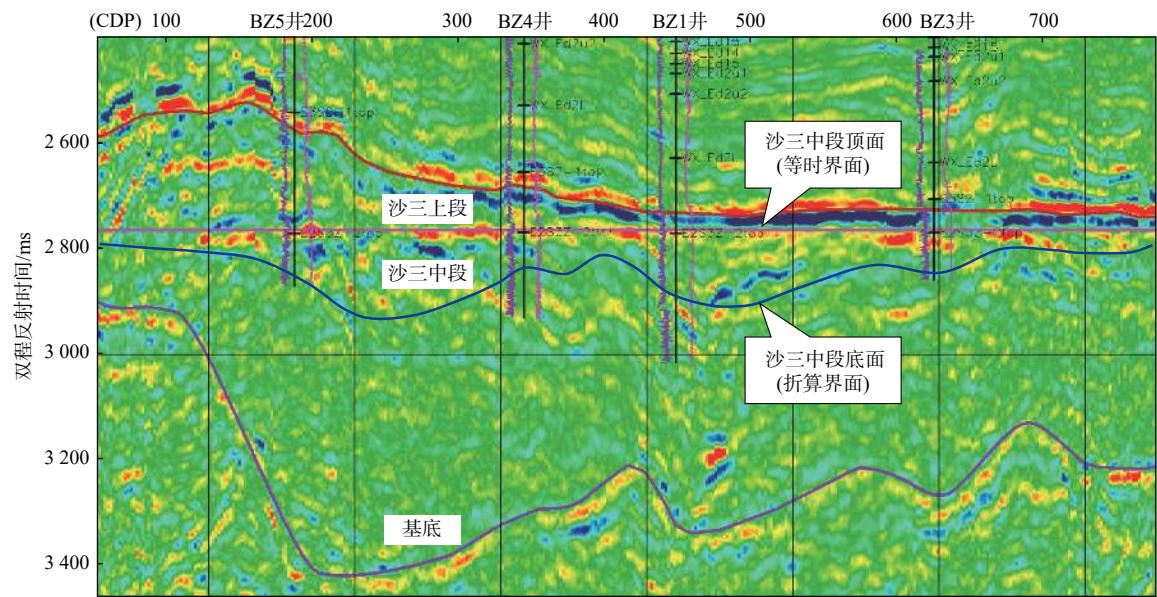


图 2 BZ 油田沙三段等时地层界面拉平及关键层面选取

Fig.2 Leveling of isochronous stratigraphic interface and selection of key layers in the third member of Shahejie Formation of BZ Oilfield

上,主要以充填物形式沉积在古地貌较低部位,具有“填平补齐”特点,低洼处沉积较厚,凸起处沉积较薄或缺失。

地层剥蚀程度与古地貌形态呈正相关,而古地貌的充填程度则与古地貌形态呈负相关。因此,利用等时界面与上、下标志层间的相对地层厚度对比,作为划分古地貌单元的重要依据,总结出4种判定关系:①下薄上薄,代表继承性隆起或高地,反映了古高地特征;②上厚下厚,代表继承性凹陷或洼地,反映了古盆地的特征;③下厚上薄,反映了局部地势相对较高的斜坡地貌特征;④下薄上厚,反映了局部下切侵蚀较明显的沟谷,或地势相对较低的阶坪或洼地。经分析,沙三中段地层发育古凸起、古斜坡、古沟谷和古洼陷4种古地貌单元,其中BZ5和BZ1井区为继承性古洼陷地貌单元,BZ3井区及其东侧为古沟谷地貌单元,BZ4井区及A9井区为古斜坡地貌单元,BZ2井区以及研究区北侧为继承性古凸起地貌单元(图3)。

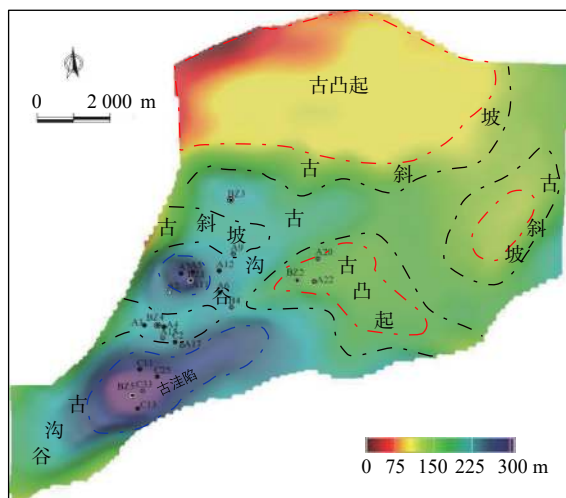


图3 BZ油田沙三中段古地貌分布

Fig.3 Distribution of palaeogeomorphology in the middle of the third member of Shahejie Formation of BZ Oilfield

3.2 储层沉积演化特征

依据钻井地层对比结果,沙三中段纵向上共划分为8个小层,各小层沉积厚度及沉积微相与古地貌形态具有较好的相关性。沙三中段沉积早期(6~8小层),湖平面处于高位,水体范围较大,研究区处于沉积远端,西侧局部物源向油田范围内供给碎屑物质,形成南北2个扇三角洲,南侧扇体以BZ5井区附近为主要沉积中心,向东延伸范围较小,从8小层到6小层沉积厚度和范围有所增加,但增加范围有限;BZ1和BZ3井区接受北侧规模较小分

支沉积,总体厚度较薄,范围较小,从8小层到6小层沉积范围有所扩大,2个扇体在油田范围内没有交汇。沙三中段沉积中期(3~5小层),湖平面持续下降,研究区内接受沉积范围逐渐扩大,南侧扇体相比早期沉积范围不断扩大,沉积中心仍然集中在BZ5井区附近,受古地貌影响,从5小层到3小层分流河道及坝体有逐渐向NE向延伸的趋势;北侧扇体在BZ1井区附近沉积厚度和范围不断加大,坝体向外延展至BZ3井区附近,该时期BZ5井区和BZ1井区附近沉积厚度基本相当,但北侧扇体沉积范围较南侧小很多,2个扇体在油田范围内仍没有交汇。沙三中段沉积晚期(1~2小层),沉积范围不断扩大,2小层沉积时期,湖平面基本达到最低值,沉积范围最大,南北2个扇体在油田范围内交汇,1小层沉积时期,湖平面快速加深,沉积范围及厚度减小,南北2个扇体逐渐分开,仅远端坝局部交汇(图4)。

3.3 有利储层分布预测

低渗储层有利区带通常被称为“甜点区”,一般指的是储层厚度大、物性好的区域,这些区域同时具备井控储量大、单井产能高和经济指标良好的特点。前人研究表明,研究区沙三段低渗储层主要受沉积条件(古地貌及微相类型)和埋藏深度(即成岩压实作用)的综合影响,其中沉积条件控制储层厚度与粒度,而埋藏深度控制储层成岩压实作用^[21-22]。

对油田内不同埋深、不同沉积微相类型储层的物性统计分析结果表明,相同埋深、不同微相类型储层物性差异较大,其中,水下分流河道和砂坝主体储层物性最好,渗透率为 $(10\sim 20)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;砂坝侧缘次之,渗透率为 $(5\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;远端砂坝物性较差,渗透率一般 $<5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (图5a)。对于相同微相类型,其储层物性随埋藏深度增加而逐渐变差(图5b)。

已钻井揭示,纵向上研究区沙三中段各小层储层物性差异明显。沙三中段沉积早期(6~8小层)砂体横向变化快、不连续,储层物性整体较差,除BZ1井区外,其余井区储层渗透率主要集中在 $5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 以下,以特低渗储层为主;沙三中段沉积中期(3~5小层)砂体连续性渐好,物性渐好,渗透率普遍为 $(5\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,且渗透率 $>10\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的“甜点层”逐渐增多。沙三中段沉积晚期(1~2小层)砂体稳定沉积,且连续性好,储层物性好,渗透率普遍 $>10\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,为区域发育“甜点层”(图6)。

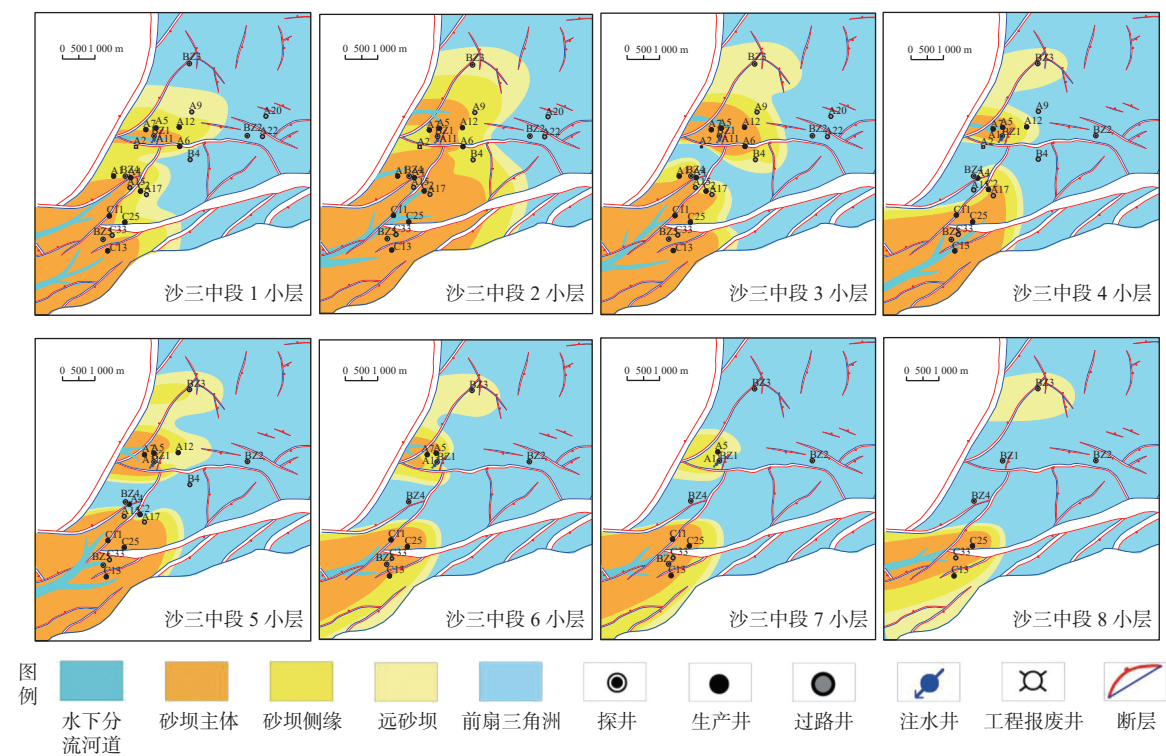


图 4 BZ 油田沙三中段 1~8 小层沉积微相

Fig.4 Sedimentary microfacies of small layers 1-8 in the middle of the third member of Shahejie Formation in BZ Oilfield

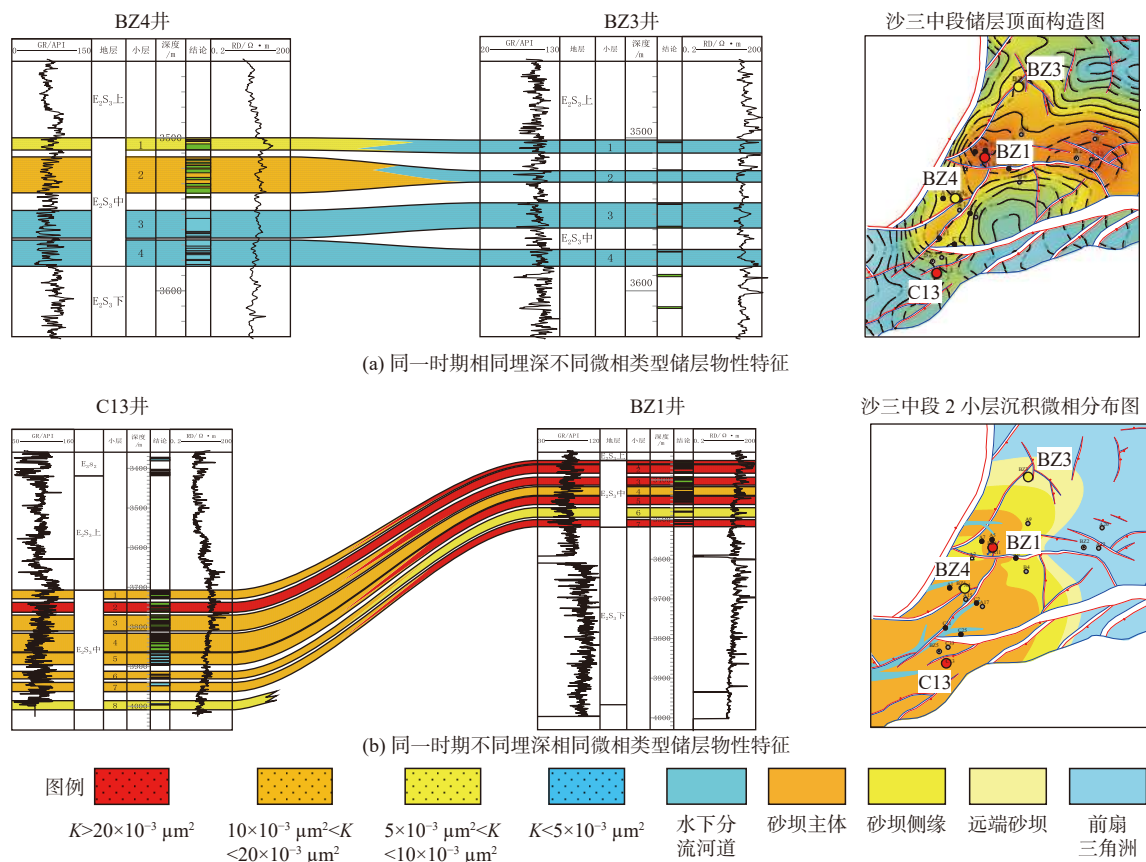


图 5 不同埋深、不同沉积微相类型储层物性特征

Fig.5 Physical characteristics of reservoirs in different burial depths and different sedimentary microfacies

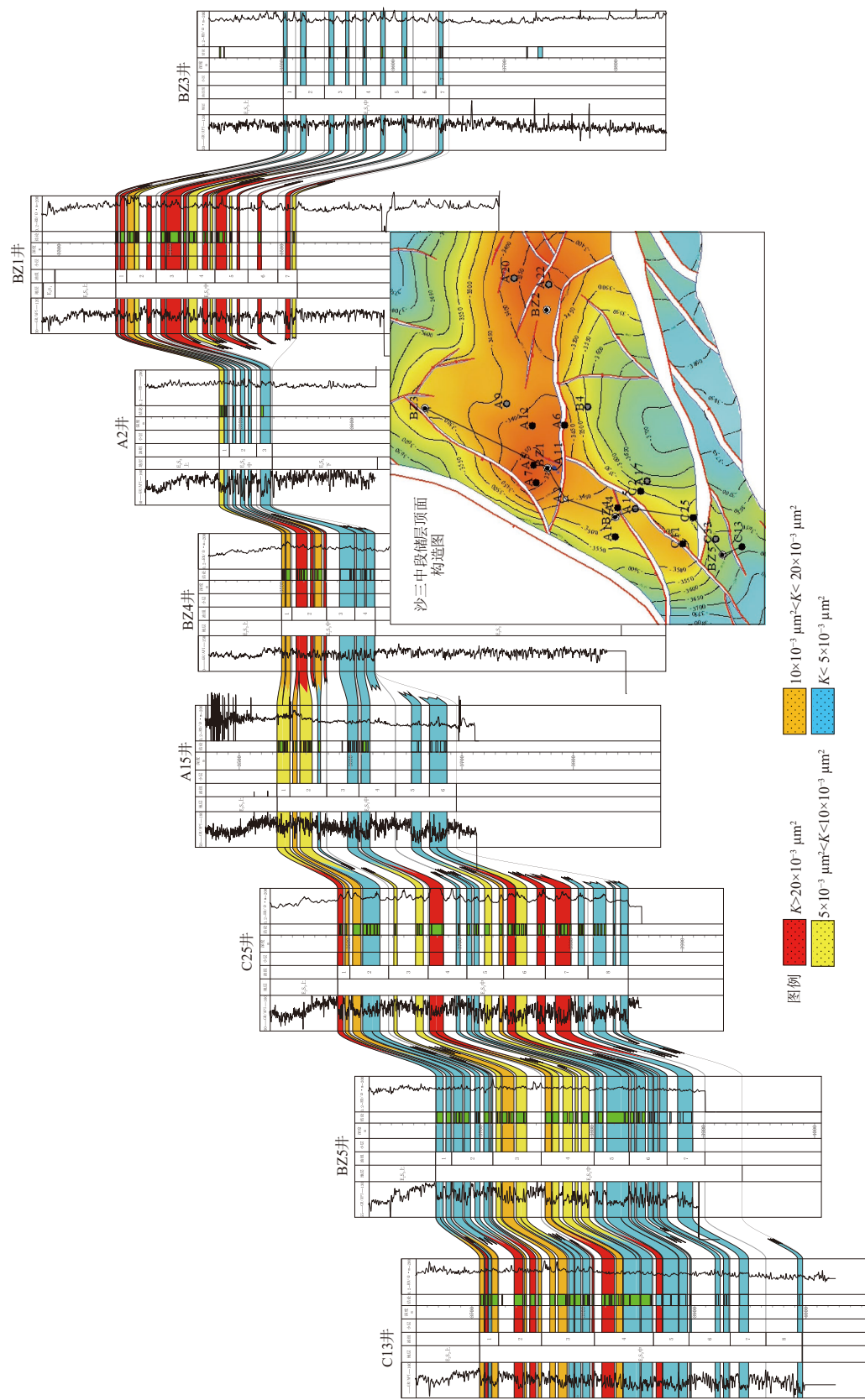


图 6 BZ 油田沙三中段有利储层纵向分布特征

Fig.6 Vertical distribution characteristics of favorable reservoirs in the middle of the third member of Shahejie Formation in BZ Oilfield

平面上,基于有限井点砂岩厚度数据,以古地貌展布特征为约束,地震属性为辅助,精细刻画了研究区主力含油气层段 1~5 小层砂岩厚度平面展布特征(图 7)。在此基础上,综合储层厚度、埋藏深

度和储层物性等参数,定量预测沙三中段低渗储层有利分布区域,并结合早期开发井生产实践制定相应的开发策略,有效指导了油田特低渗油藏的高效开发(图 8)。

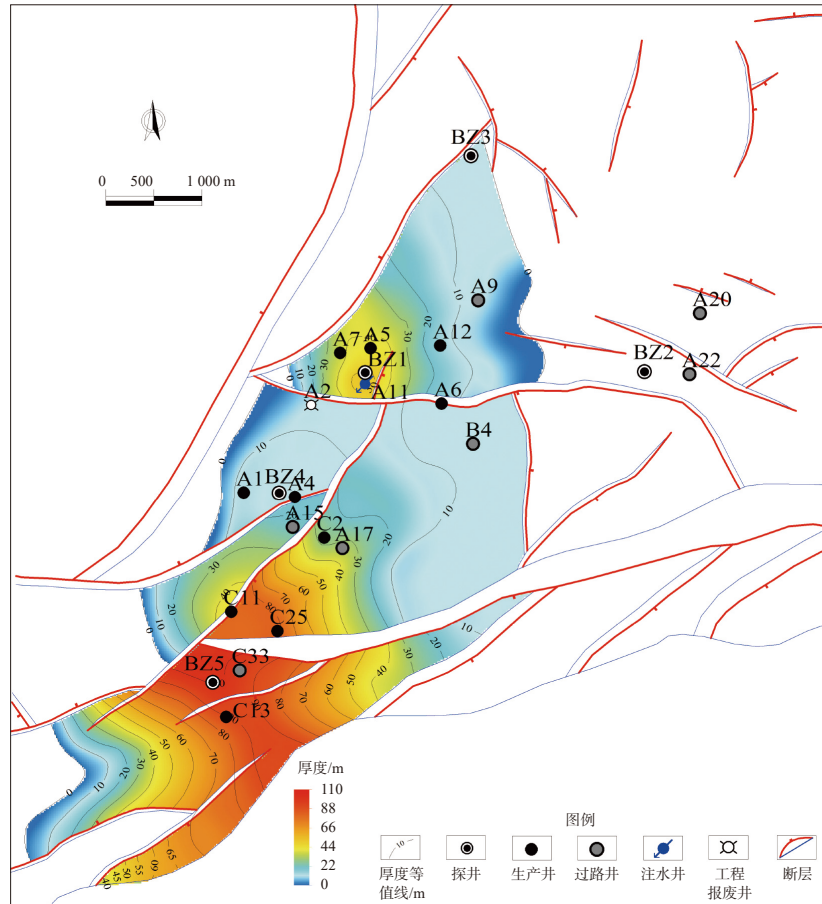


图 7 沙三中段 1~5 小层储层厚度平面展布

Fig.7 Plane distribution of reservoir thickness of small layers 1-5 in the middle of the third member of Shahejie Formation

BZ5 井区为研究区主沉积中心,沉积厚度大,已钻井揭示油层厚度为 80~110 m,且以水下分流河道和砂坝主体为主。由于该井区储层整体埋藏深,一般为 3 500~3 900 m,储层中深 3 700 m,储层渗透率整体较低,储层平均渗透率为 $7.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是沙三中段储层物性最差的井区。据该井区生产动态资料,综合选择砂岩厚度 50 m、埋深 3 700 m、渗透率 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 预测有利区域,该区域建议采用注气开发,油井进行中、大型压裂。

BZ1 井区为研究区次沉积中心,沉积厚度较大,已钻井揭示油层厚度为 30~40 m,且以水下分流河道和砂坝主体为主。由于该井区储层埋藏浅,一般为 3 300~3 500 m,储层中深 3 400 m,储层渗透率整体较大,普遍 $>20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是沙三中段储层物性最好的井区。根据该井区生产动态资料,综合选

择砂岩厚度 20 m、埋深 3 400 m、渗透率 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 预测有利区域,该区域建议采用常规注水开发。

C25 井区同样为研究区次沉积中心,沉积厚度大,已钻井揭示油层厚度为 30~80 m,以砂坝主体和砂坝侧缘沉积为主。由于该井区储层埋藏较浅,一般为 3 500~3 700 m,储层中深 3 600 m,储层物性较好,渗透率为 $(10 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据该井区生产动态资料,综合选择砂岩厚度 30 m、埋深 3 600 m、渗透率 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 预测有利区域,该区域建议采用常规注水开发,油井进行小型压裂。

BZ4 井区为研究区古斜坡地貌单元,沉积厚度较薄,已钻井揭示油层厚度为 10~30 m,以砂坝主体和砂坝侧缘沉积为主。由于该井区储层埋藏较浅,一般为 3 400~3 600 m,储层中深 3 500 m,储层物性较好,渗透率为 $(10 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据该井

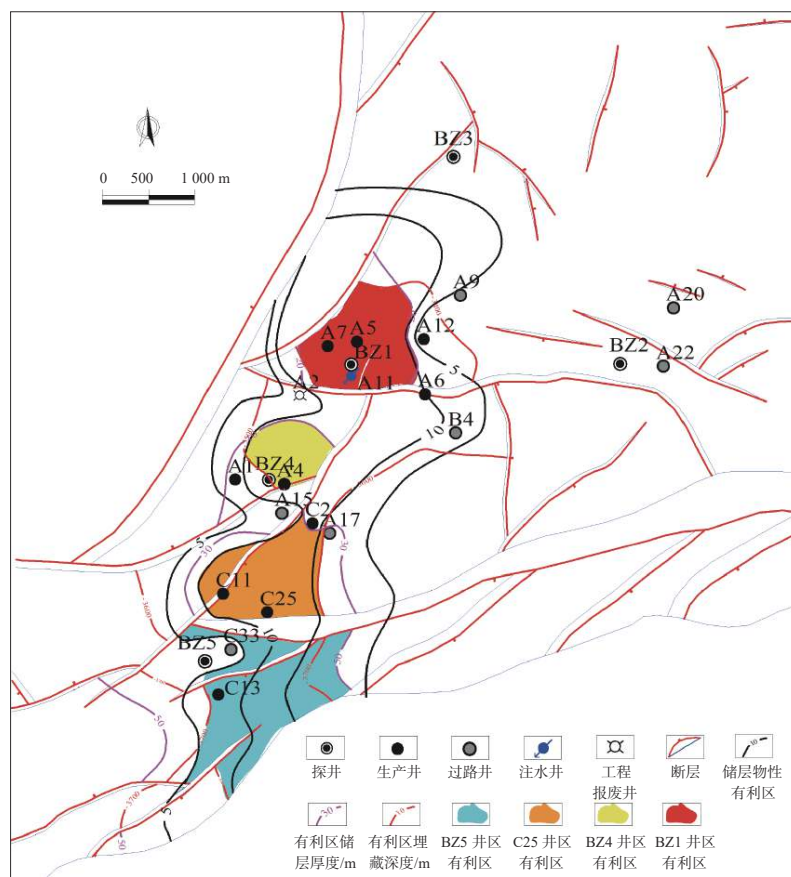


图8 沙三中段低渗储层有利区预测

Fig.8 Prediction of favorable areas of low permeability reservoir in the middle of the third member of Shahejie Formation

区生产动态资料,综合选择砂岩厚度 10 m、埋深 3 500 m、渗透率 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 预测有利区域,该区域建议采用常规注水开发,油井进行小型压裂。

同时,综合考虑沙三中段薄互层储层结构、单井产能和海上经济开发需求,建议采油井和注水(气)井井型全部采用定向井。

4 结论

(1)油田范围内发育水下分流河道、河口坝、浊流、分流间湾和前扇三角洲泥沉积,物源来自西侧,存在 BZ5 井区和 BZ1 井区 2 个沉积中心。

(2)沙三中段主要发育古洼陷、古斜坡、古沟谷和古凸起等地貌单元,沙三中段储层划分为 8 个小层,自沉积早期开始沉积范围及沉积厚度不断扩大,中、晚期(1~5 小层)油层发育集中,是沙三中段主要开发层段。

(3)沙三中段特低渗储层物性受埋藏深度和沉积微相的共同控制。相同埋深、不同微相类型储层物性差异较大,水下分流河道和砂坝主体储层物性最好,砂坝侧缘次之,远端砂坝物性较差。对于相

同微相类型,储层物性随埋藏深度变深而逐渐变差。

(4)沙三中段纵向各小层储层物性差异明显,沉积晚期 1~2 小层储层物性好、横向连续稳定分布;沉积中期 3~5 小层储层物性次之,横向连续性中等;沉积早期 6~8 小层储层物性差,横向变化快。

(5)综合储层厚度、埋藏深度和储层物性等参数,预测沙三中段低渗储层有利分布区域,并制定相应的开发策略。建议 BZ1 井区采用常规注水开发,BZ4 井区和 C25 井区油井采用小型压裂+注水开发,BZ5 井区油井采用中大型压裂加注气开发。

参考文献:

- [1] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3): 343-350.
- [2] 吴国干,方辉,韩征,等.“十二五”中国油气储量增长特点及“十三五”储量增长展望[J].石油学报,2016,37(9): 1145-1151.
- [3] 贾承造,庞雄奇.深层油气地质理论研究进展与主要发展方向[J].石油学报,2015,36(12): 1457-1469.
- [4] 廖兴松,付大其,孟立新,等.大港深层低渗油藏孔隙结构特征及动用潜力评价[J].中国科技论文,2021,66(5): 549-555.
- [5] 杨志成,朱志强,张文彪,等.基于wheeler域层序研究的中深层储层预测技术研究:以渤海Q油田东块沙河街为[J].新疆石油天然气,2018,14(1): 32-37.

- [6] 蒋有录,刘培,刘华,等.渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及其聚集模式[J].中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(1): 14-21.
- [7] 周军良,胡勇,李超,等.渤海典型低孔低渗油藏储层预测及效果:以渤海A油田沙河街组二段为例[J].海相油气地质, 2016, 21(4): 73-77.
- [8] 邓运华,李建平.渤中25-1油田勘探评价过程中地质认识的突破[J].石油勘探与开发, 2007, 34(6): 646-652.
- [9] 杨玉卿,潘福熙,田洪,等.渤中25-1油田沙河街组低孔低渗储层特征及分类评价[J].现代地质, 2010, 24(4): 685-693.
- [10] 吉双文.渤海湾盆地喜马拉雅运动幕次划分及演化特征[J].大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 38-42.
- [11] 项华,徐长贵.渤海海域古近系隐蔽油气藏层序地层学特征[J].石油学报, 2006, 27(2): 11-15.
- [12] 侯贵廷,钱祥麟,蔡东升.渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J].北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 845-851.
- [13] 郭涛,辛仁臣,刘豪,等.同沉积断裂构造对沉积相展布的控制[J].沉积与特提斯地质, 2008, 28(1): 15-19.
- [14] 李慧勇,辛仁臣,李强,等.黄河口凹陷A区古近系沙河街组三段沉积相[J].古地理学报, 2007, 9(1): 25-32.
- [15] 邓猛,赵军寿,金宝强,等.基于古地貌分析的中深层沉积储层质量评价[J].断块油气田, 2019, 26(2): 147-152.
- [16] 林畅松,夏庆龙,施和生,等.地貌演化、源汇过程与盆地分析[J].地学前缘, 2015, 22(1): 9-20.
- [17] 庞小军,王清斌,杜晓峰,等.渤中凹陷西北缘古近系物源演化及其对储层的影响[J].大庆石油地质与开发, 2016, 35(5): 34-41.
- [18] 陈延芳,杜晓峰,王清斌,等.渤海黄河口中洼古地貌对沉积相的控制作用[J].东北石油大学学报, 2018, 42(5): 35-43.
- [19] 崔龙涛,冯栋,秦雁群,等.鄂尔多斯盆地镇北地区延长组长7古地貌与砂体分布特征[J].岩性油气藏, 2013, 25(5): 65-69.
- [20] 于雷,王维斌,车飞,等.鄂尔多斯盆地吴旗油区下侏罗统古地貌特征与油气富集关系[J].断块油气田, 2014, 21(2): 147-151.
- [21] 耿红柳,胡勇,周军良,等.渤海古近系扇三角洲精细研究及有利储层预测[J].海洋地质前沿, 2019, 35(4): 39-47.
- [22] 胡勇,周军良,汪全林,等.渤海BZ油田低渗储层质量主控因素及开发实践[J].中国海上油气, 2019, 31(1): 103-112.

Sedimentary evolution and favorable reservoir prediction in the middle of the third member of Shahejie Formation in BZ Oilfield, Bohai Sea

JIN Baoqiang, DENG Meng

(Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC(China) Ltd., Tianjin 300459, China)

Abstract: The middle of the third member of Shahejie Formation of the Mid-Eocene (E_2S_3) in Bohai BZ Oilfield is an ultra-low permeability reservoir where fan delta deposits are developed. Due to the rapid lateral change of the reservoir and the unclear understanding of the "sweet spot" layer, the level of development of the oilfield is restricted. This paper focuses on the sedimentary evolution and favorable reservoir prediction of the middle of E_2S_3 to guide the development and adjustment of the ultra-low permeability reservoir. Combined with the regional sedimentary characteristics, drilling and seismic data, the residual thickness method and the impression method were used to reconstruct the palaeogeomorphology. Four types of palaeogeomorphic units are developed in the middle of E_2S_3 , including ancient depression, ancient slope, ancient valley, and ancient uplift. Through core observation and well logging facies analysis, we found that distributary channel, estuarine bar, turbidity current, interdistributary bay, and front fan delta mud sedimentary microfacies were developed in the middle of E_2S_3 . According to the research, the sedimentary microfacies and thickness of small layers show good correlation with the ancient geomorphic morphology. The reservoirs in the ancient depression developed mainly distributary channels and estuarine bars with high-quality microfacies and the largest sedimentary thickness, followed by the ancient slope and ancient valley, and the ancient uplift was the worst in this regard. Based on the analysis of palaeogeomorphology, sedimentary microfacies, and evolution characteristics, favorable reservoirs are mainly controlled by the palaeogeomorphology and sedimentary microfacies, and the distribution of "sweet spot" area in the middle of E_2S_3 was determined comprehensively based on reservoir thickness and physical properties. This study provided a geological basis for oil exploration in ultra-low permeability reservoirs in different development strategies and well areas.

Key words: BZ Oilfield; ultra-low permeability; paleogeomorphology; sedimentary microfacies; sedimentary evolution; sweet spot