

河流相储层研究方法对油田开发的影响 ——以渤海海域 BZ 油田储层 A 研究为例

吕 睿¹, 刘曾勤^{2*}

(1 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029; 2 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083)

摘 要:河道砂体是渤海湾海域主力储层类型, 储层分布和连通性的刻画对油藏管理和挖潜有重要的指导作用。从渤海 BZ 油田动态资料入手, 发现主力储层 A 的先前地质认识无法解释生产井的动态差异, 通过进一步开展精细等时地层对比, 识别出储层 A 发育三期叠置河道, 具有两套油水系统; 采用等时地层切片方法, 进一步证实储层 A 具有非均质性, 发育两种典型的河道砂体叠置关系:“孤立型”和“桥接型”。综合应用精细地层对比、地层切片技术和动态资料, 能够获取储层展布和连通性、油水分布规律的新认识, 为河流相储层开发提供可靠的地质依据, 有效地指导油藏生产和井网方案的调整。

关键词:河道砂体; 储层的分布和连通性; 等时地层对比; 地层切片; 渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.11007

河流相砂体是渤海湾盆地重要的油气储集层, 其探明地质储量占渤海海域总探明储量的 53%, 产量占渤海海域产量的 64%^[1,2]。因此, 河流相储层的精细研究对成功高效开发渤海海域油田至关重要。

河流相储层的平面和垂向非均质性是制约河道砂体高效开发的主要因素^[3,4]。随着开发的深入, 河流相储层分布和连通性认识的不足制约了油田后期开发, 极大地降低了采收率。因此, 准确把握河流储层的垂向叠置关系和平面分布, 合理预测剩余油的分布, 充分挖掘油层内部潜力, 减缓产量递减, 实现控水稳油, 是目前油田开发工作的

重中之重^[5-8]。本文利用 BZ 油田测井、地震和生产资料, 通过精细等时地层对比和地层切片手段, 探索河流储层的分布、沉积期次和连通性, 为剩余油的分析与挖潜提供可靠的地质依据。

1 研究背景

渤海湾盆地经历过断陷、断拗和拗陷 3 个演化阶段, 中新世开始渤海湾盆地进入裂后拗陷演化阶段, 在湖平面下降、上升交替的沉积背景下, 形成了馆陶组-明化镇组以河流—浅水三角洲为主的沉积组合^[9-11]。BZ 油田位于渤海湾浅水区(水深 20~35 m), 主力储层位于明花镇组上段, 属于河流—三角洲沉积相, 储层深度在 1 200~1 600 m 之间。明花镇组上段具有垂向上净毛比值高, 侧向上相变快的特征。储层 A 是典型的河道化沉积, 有 2 口生产井 A1 和 A2, 位于构造高部位, 海拔深度相近; 1 口注水井 B1 位于油水界面边缘(图 1)。两口油井的动态表现差异巨大: A1 井在投产 3 个月后底水突破, 生

收稿日期: 2018-04-20

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05033)

作者简介: 吕 睿(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事油气勘探开发、新项目评价等研究工作。E-mail: rlv_sipc@sinopec.com

* 通讯作者: 刘曾勤(1984—), 男, 在读博士, 主要从事层序地层、地震解释、地质建模、非常规资源评价等相关研究工作。E-mail: zengqin_alex_liu@163.com

产 2 年后,日产油 18 m^3 ,含水率高达 85%;A2 井在投产 1 年后底水突破,2 年后日产油 55 m^3 ,含水率 40%。油藏工程师在数值模拟过程中很

难历史拟合。针对以上问题,进一步开展精细的地层对比和地层切片研究工作,以期油田提供有效的开发方案。

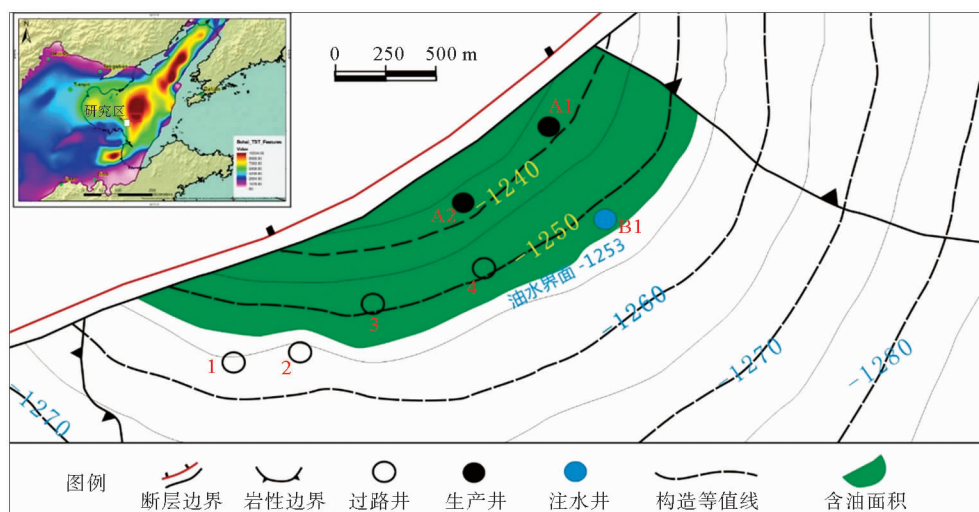


图 1 明花镇上段储层 A 顶部构造和井位图

Fig. 1 Structure and well location map of Reservoir A in Upper Minghuazhen Formation

2 地层对比

油气田开发勘探中,依据测井资料开展地层对比和地质分层是最重要的基础工作之一。20 世纪 60 年代,大庆石油地质工作者总结了“旋回对比、分级控制”地层对比方法^[12,13]。赵翰卿等^[12-14]总结了相控背景下的“旋回对比、分级控制”地层对比技术。邓宏文等^[15-19]总结和推广了 Cross 的高分辨层序地层学,掀起了非海相沉积地层精细等时对比的研究热潮。河流相沉积储层非均质性强、相变快、内部结构复杂,具有多期次沉积特点和复杂的切割关系,地层对比具有挑战性。因此,只有开展等时精细地层对比,准确刻画河道的沉积期次和分布,清楚掌握储层的连通性,才能有效指导油气田的开发^[20-22]。

早期的地层对比结果认为 A1、A2 和 B1 属于同一套砂体,连通性好,这样的储层认识无法解释 A1 和 A2 井的生产差异。后期利用过路井、生产井和注水井开展了精细的地层对比,首先根据测井解释结果,标记典型的砂岩段;然后根据伽马曲线的旋回特征,选取了广泛分布的厚层砂层(1 210~1 240 m 段)底部的高伽马泥岩作为等时

标志层 M1。拉平标志层 M1,观察标志层之下储层 A 河道的沉积期次(图 2)。储层 A 的顶部存在明显的差异,呈现出 3 个期次:A2 和 4 井属于早期的河道沉积(中部河道);1 井、2 井和 3 井属于中期的河道沉积(西部河道);A1 井和 B1 井属于晚期的河道沉积(东部河道)。

原先解释储层 A 油水界面是 -1 253 m(图 1),但 1、2、3、4 井在油水界面之下还存在油层。仔细分析过路井和生产井的测井曲线特征,东部河道的 B1 井在海拔 -1 253 m 伽马曲线呈现相对低值的砂体特征,电阻率曲线急剧下降,呈现典型的油水界面特征。而西部河道 1、2 和 3 井在海拔 -1 258 m 左右出现类似典型的油水界面特征。中部河道 4 井的油水界面也在 -1 258 m。西部河道和中部河道具有相同的油水界面,说明二者连通,垂向上相互叠置。东部河道和中部、西部河道油水界面的差异,反映东部河道的油水系统相对独立。

3 地层切片

振幅属性强弱是岩性、流体和孔隙度变化的综合反映,能够很好刻画河道砂体、三角洲砂体、

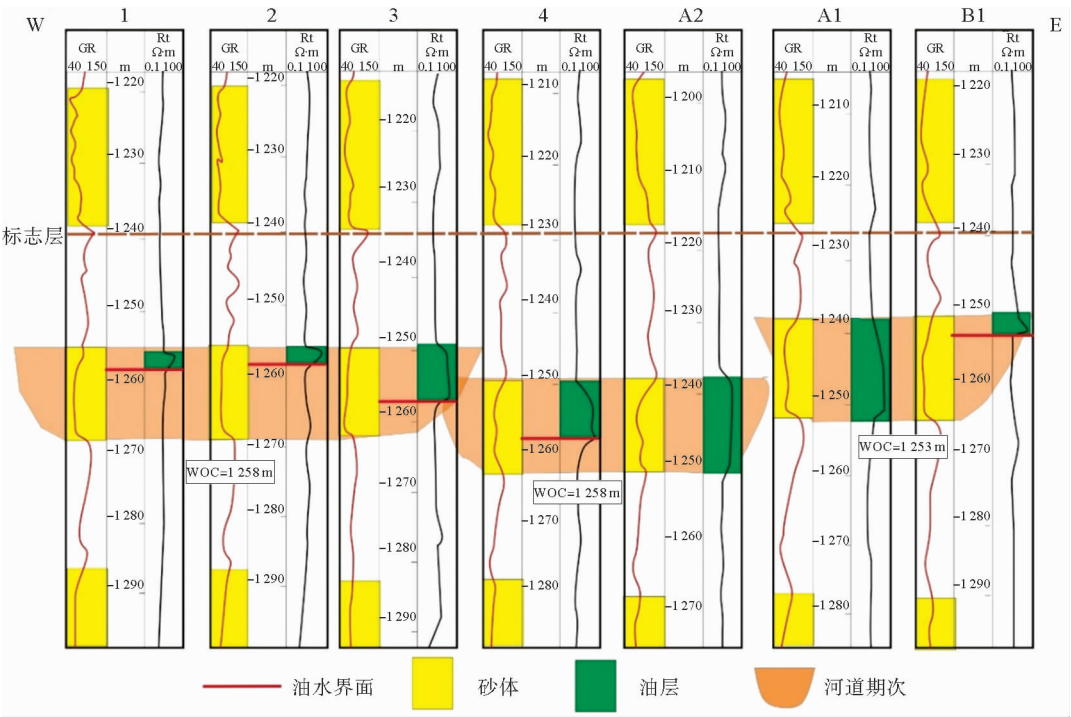


图 2 拉平的连井剖面
Fig. 2 Flattened well correlation

不整合面等特征明显的沉积体。Brown 等^[23]于 1981 年提出利用水平切片的振幅强弱进行沉积相解释,而后针对单砂体厚度小于地震分辨率(1/4 波长)的砂泥岩薄互层情况,曾洪流等^[24,25]于 1998 年提出地层切片技术。地层切片是以等时沉积界面为参考层,通过等比例内插出一系列的层位和振幅属性切片。近几年地层切片技术在国内油气勘探开发中进行了广泛的应用,尤其在曲流河道和浊流河道等典型地貌形态研究方面已经比较深入^[26],利用地层切片技术能有效地识别多条带状分布的河道或沿岸砂坝储集体。地层切片技术适用于小于地震分辨率的薄层储层,薄层的横向展布是很难直接通过地震解释得到,而且由于多个薄层的干扰,等时沉积界面与同相轴不一致,常规的沿层切片具有穿时性,利用等时标志层作为参考层得到的地层切片更具有等时性。储层 A 的河道砂体大约 12 m 左右,小于油田地震分辨率(~16 m),地层切片技术适用于储层 A 的沉积期次和展布规律研究。

在对 1、A2 和 B1 井进行地震合成记录制作与精细标定的基础上,对参考标志层 M1 和储层 A 进行精细解释,确定目的层段时窗,沿着标志层

向下按 2 ms 间隔进行地层切片。从距参考标志层 14 ms 的时间开始(图 3a),东部河道较清晰,西部河道隐约开始出现;同时随着时窗的逐步向下滑动,至 18 ms 切片中部河道出现,西部河道更加清晰,东部河道仍然存在(图 3b)。同时振幅的分布与已钻探井的砂岩吻合程度很好(图 3c)。

地层切片的结果显示 3 条河道:东部河道、西部河道和中部河道;东部河道的强振幅条带被 A1 和 B1 井钻遇;中部河道的强振幅条带被 A2 和 4 井钻遇;西部河道的强振幅带被 1、2 和 3 井钻遇。西部河道和中部河道形成时间较早;东部河道形成时间较晚。结合等时地层对比结果,中部河道形成时间稍早于西部河道,并且中部河道被西部河道下切,形成连片分布,地层切片难以分开二期河道。综上所述,储层 A 有三期河道砂体,西部河道和早期的中部河道连通的可能性较大;中部河道和晚期东部河道基本上不连通。

4 应用效果

综合等时连井对比和地层切片的新认识,按期次和相对位置,总结出油田河道砂体有 2 种类

型的叠置关系,分别为孤立型、桥接型(图 4)。孤立型的河道砂体,一般相互独立,连通性差。桥接

型砂体侧向连续性好,多期河道发育相互叠置,垂向弱连通,侧向连通性好。

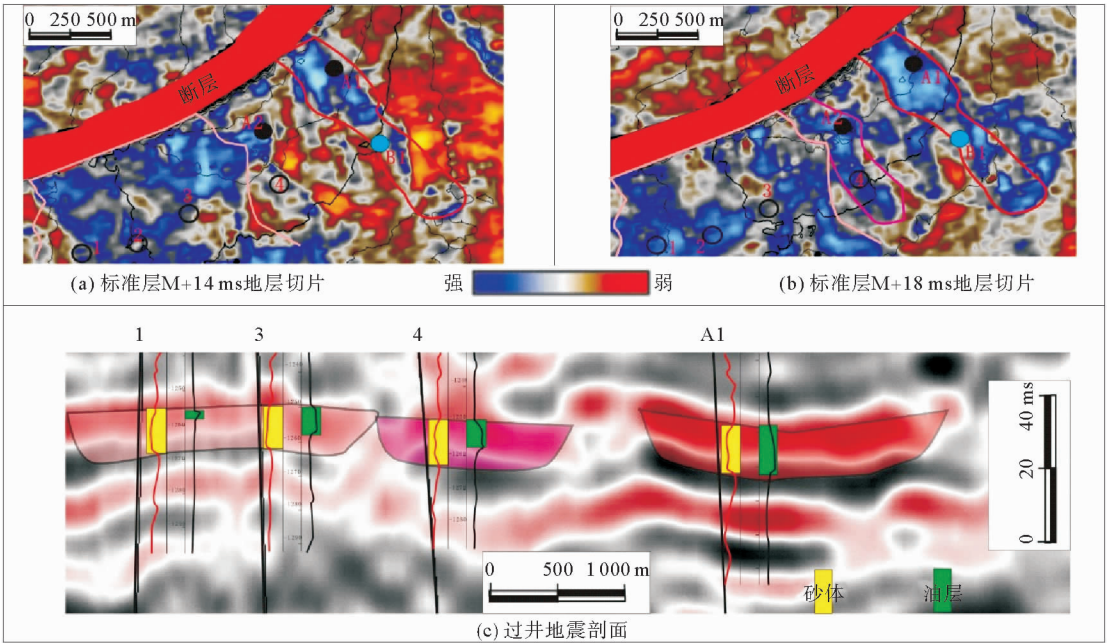


图 3 地层切片和过井地震剖面
Fig. 3 Stratigraphic slices and well-seismic sections

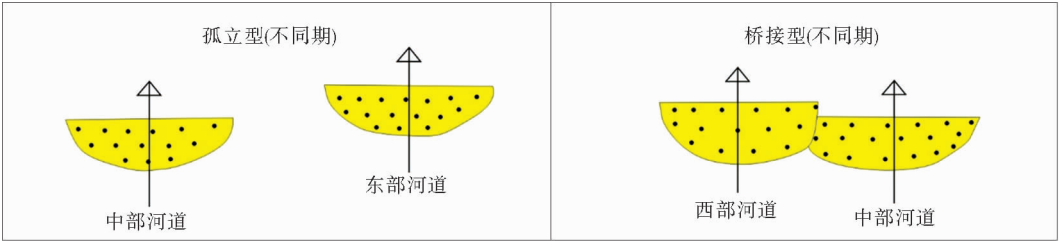


图 4 河道砂体叠置样式
Fig. 4 Stack pattern of channel sand

新的地质认识合理解释了 A1 和 A2 井的生产动态差异,对油藏的后期管理和挖潜有很大的指导作用。后期适当地控制 A1 井的产液量和 B1 井的注水量,A1 井的产量(日产油 22 m³,含水 76%)保持相对稳定,有效地开采东部河道的剩余油。西部河道未有生产井开采,将来可以布置一口加密生产井来开发西边的储量,同时增加两口注水井来保持 A2 井和加密井的压力(图 5)。

5 结论

由于河道砂体分布的复杂性,河流相储层的

精细描述一直是颇具挑战性的研究。油田开发后期对先前的解释结果提出了挑战,更提供了机遇。本文从动态差异入手,结合精细的等时地层对比和地层切片,在储层 A 中进一步精细描述河道的沉积期次和其连通状况。

- (1)储层 A 可以划分为 3 期河道:早期的中部河道、中期的西部河道和晚期的东部河道。
- (2)储层发育 2 种河道砂体叠置样式:孤立型和桥接型。孤立型的河道相互独立,连通性差;桥接型的河道相互叠置,垂向连通性弱,侧向连通性好。
- (3)精细等时对比和地层切片技术的综合应

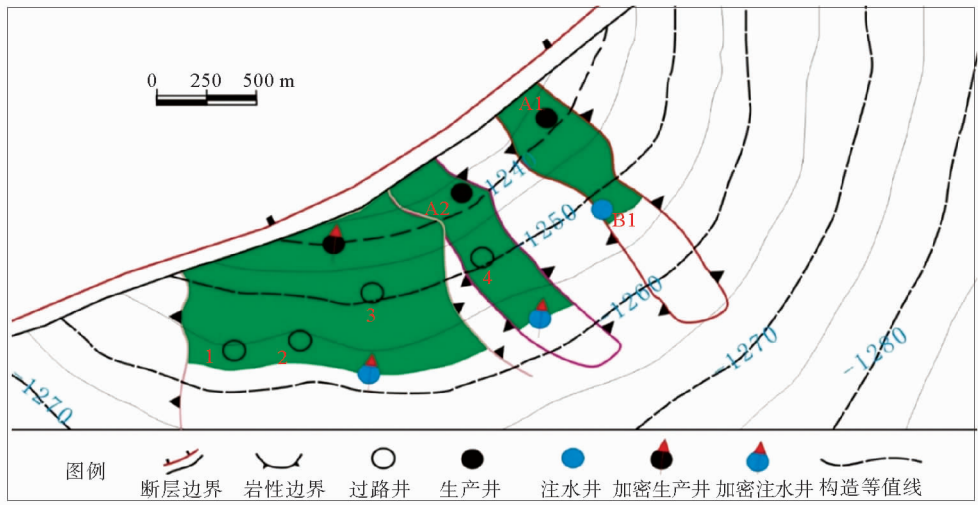


图 5 储层 A 新的开发方案图

Fig. 5 New development plan of reservoir A

用可以为河道型油藏开发提供地质参考,发现剩余油,实现控水稳油的目标。

参考文献:

[1] 胡光义, 陈 飞, 范廷恩, 等. 渤海海域 S 油田新近系明化镇组河流相复合砂体叠置样式分析[J]. 沉积学报, 2014, 32(3):586-592.

[2] 陈 飞, 胡光义, 范廷恩, 等. 渤海海域 W 油田新近系明化镇组河流相砂体结构特征[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 207-213.

[3] Douglas W J, Wayne A P. Hierarchical levels of heterogeneity in a Mississippi river meander belt and application to reservoir systems [J]. AAPG, 1992, 76 (10): 1601-1624.

[4] 郭长春, 李 阳. 河流相储层中夹层的发育规律及预测 [J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(4): 200-203.

[5] Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Review, 1985, 22(2): 261-308.

[6] 吕晓光, 赵翰卿, 付志国, 等. 河流相储层平面连续性精细描述[J]. 石油学报, 1997, 18(2):66-71.

[7] 李 椿, 于生云, 黄伏生, 等. 河流相储层建筑结构的解剖与应用[J]. 大庆石油学院学报, 2004, 28(2):92-94.

[8] 陈清华, 曾 明, 章凤奇, 等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11 (3):13-15.

[9] 朱伟林, 江文荣, 成鑫荣. 中国北部近海沉积盆地形成时期的古地形与盆地的含油性[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(1):9-14.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 赵翰卿. 大庆油田河流—三角洲沉积的油层对比方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 1988, 7(4): 25-31.

[13] 刘文岭, 王大星, 萧希航, 等. 复杂油藏井震联合等时地层对比技术与应用[J]. 石油物探, 2016, 55(4): 540-549.

[14] 王西文, 苏明军, 王大兴, 等. 相控一等时小层对比方法及应用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(6): 78-80.

[15] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派-高分辨率层序地层学[J]. 石油天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.

[16] 邓宏文, 王洪亮, 李熙哲. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184.

[17] 邓宏文, 王红亮, 宁 宁. 沉积物体积分配原理—高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305-313.

[18] 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241-244.

[19] 郑荣才, 柯光明, 文华国, 等. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用[J]. 成都理工学院学报: 自然科学版, 2004, 31(6): 641-647.

[20] 裘亦楠, 张志松, 唐美芳, 等. 河流砂体储层的小层对比问题[J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(2): 46-52.

[21] 渠 芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层细分对比方法探讨 [J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2008, 23(1): 17-21.

[22] 胡光明, 王 军, 纪友亮, 等. 河流相层序地层模式与地层等时对比[J]. 沉积学报, 2008, 28(4): 745-751.

[23] Brown A R, Dahm C G, Graebner R J. A stratigraphic

- case history using three dimensional seismic data in the gulf of Thailand [J]. Geophysical Prospecting, 1981, 29 (3): 327-349.
- [24] Zeng H, Backus M M, Barrow K T, et al. Stratal slicing, part I: Realistic 3-D seismic model [J]. Geophysics, 1998, 63(2): 502-513.
- [25] Zeng H, Henry S C, Riola J P. Stratal slicing, part II: Real 3-D seismic data [J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514-522.
- [26] Posamentier H W. Seismic geomorphology: Imaging elements of depositional systems from shelf to deep basin using 3D seismic data: Implications for exploration and development [J]. Geological Society London Memoirs, 2004, 29(1): 11-24.

RESERVOIR CHARACTERIZATION METHODS FOR FLUVIAL RESERVOIR AND THEIR IMPACT ON OIL FIELD DEVELOPMENT: A CASE FROM RESERVOIR A OF BZ OIL FIELD, BOHAI BAY BASIN

LV Rui¹, LIU Zengqin^{2*}

(1 Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 10029, China;

2 School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Channel sand is the key contributor to oil production in Bohai Bay Basin, and reasonable understanding of distribution and connectivity of the channel sand is crucial to reservoir management and potential tapping. This paper started with the difference of production performance in BZ oil field, and previous geological understanding of reservoir A could not account for its dynamic behaviors. Detailed isochronal well correlation was then conducted to identify vertical heterogeneity caused by three-stage channels and two oil-water systems. Stratal slices were incorporated to confirm plane heterogeneity and recognize two typical stack patterns of channel sand, i e. stand-alone and bridge-linked channels. Integration of detailed isochronal well correlation, stratal slice and production data can provide reliable information for geological understanding of fluvial-reservoir development. New understanding of reservoir connectivity, distribution and oil-water distribution is efficient to guide the adjustment of development plan and well pattern.

Key words: channel sand; reservoir distribution and connectivity; isochronal well correlation; stratal slice; Bohai Bay Basin