

文章编号: 1009-3850(2012)04-0023-06

板桥油田重力流水道沉积特征及其对开发效果的影响

高祥成¹, 宋 璠², 王俊友³, 苏妮娜², 侯加根⁴, 安振月⁵

(1. 胜利油田分公司西部新区研究中心, 山东 东营 257015; 2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 3. 塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000; 4. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 5. 天津大港油田第四采油厂, 天津 300280)

摘要: 板桥油田位于北大港潜山构造带东北倾没端, 该油田沙河街组一段属于典型的重力流水道沉积。在系统的岩心观察基础上, 结合400口井的测井曲线特征, 将该区重力流水道划分为主水道、分支水道、水道侧翼、水道漫溢以及湖相泥5种微相。总结了各类微相的展布特征。综合动、静态资料, 分析了沉积微相对储层物性的控制作用, 探讨了不同微相砂体的渗流特征及水驱控制程度。研究认为下一步潜力区应是重力流主水道、分支水道以及水道侧翼砂体分布区, 其中重点是重力流分支水道砂体分布区, 区内还存在着丰富的剩余油资源。

关键词: 板桥油田; 沉积微相; 重力流水道; 储层物性; 注水开发

中图分类号: P588.2

文献标识码: A

1 前言

板桥凹陷位于渤海湾盆地内黄骅拗陷中北部, 西以沧东断裂为界, 北以海河断裂与北塘凹陷相接, 东南以北大港断裂与歧口凹陷相邻, 西南止于沈青庄潜山构造带, 呈北北东向展布^[1-2]。板桥油田位于板桥断裂构造带的东北倾没端, 为一复式断块油气田(图1)。自1974年投入开发以来, 油田经历了初期开发、全面开发、开发调整以及精细开发四个阶段, 目前已经进入中-高含水阶段, 其中主力开发区块综合含水超过80%。

钻井揭示该区含油层段主要为古近系沙河街组、东营组以及新近系, 其中沙河街组一段属于典型的重力流水道沉积环境, 砂层厚度平均约400m。探明原油地质储量占总储量的50%以上, 是该油田的主力生产层段。部分学者对板桥地区重力流水道沉积相特征及分布控制因素进行过相关研究^[3-5], 但主要侧重于宏观沉积模式方面, 关于微相划分以及各微相对开发效果的影响研究程度尚浅。

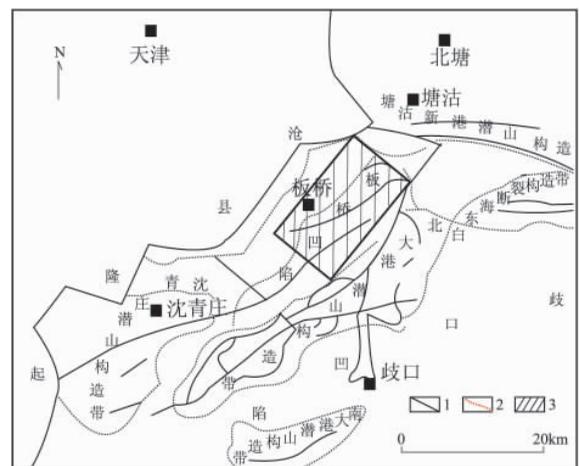


图1 板桥油田构造位置图

1. 断层; 2. 构造带; 3. 油气田范围

Fig. 1 Tectonic setting of the Banqiao Oil Field

1 = fault; 2 = structural zone; 3 = extent of the Banqiao Oil Field

本文在前人研究的基础上, 系统开展沉积微相划分及展布特征研究, 并与储量动用状况以及水淹特征

收稿日期: 2012-03-12; 改回日期: 2012-07-20

作者简介: 高祥成(1979-) 男, 硕士, 现在从事油气地质勘探综合研究工作

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(27R1201009A)、国家科技重大专项(2011ZX05009-002-303) 联合资助

相结合, 深入讨论不同微相对开发效果的影响, 为该油田下一步挖潜剩余油提供地质依据。

2 重力流水道沉积

板桥油田沙一段沉积时期, 受区内二级断层活动的影响, 湖盆深陷扩张。沉积物供给相对缺乏, 出现欠补偿沉积。强烈的拉张断陷使盆地可容空间大于沉积物补给, 所代表的优势沉积作用包括重力崩落、滑塌、水道搬运作用等, 在区内形成了典型的重力流水道沉积^[6]。该区沉积物源主要来自北东和北西两个方向, 其中北东物源主要为燕山水系所携带的碎屑物质未被北塘凹陷截留, 在油田之外的北东方向形成了扇三角洲沉积, 进而由于重力作用继续向前搬运输入板桥凹陷; 北西方向是以小站物源为代表的陆源碎屑源区, 注入点因盆地边缘古地形较陡, 离物源近, 洪水携带大量陆源碎屑直接入湖, 高密度洪水加上沿岸沉积物的滑塌作用在板桥凹陷之外的西北方向形成了近岸水下扇, 进而快速流动输入板桥凹陷形成了重力流水道沉积, 沉积过程中具有物源充足、堆积速度快、物源供给具有季节性或灾变性等特点(图2)。

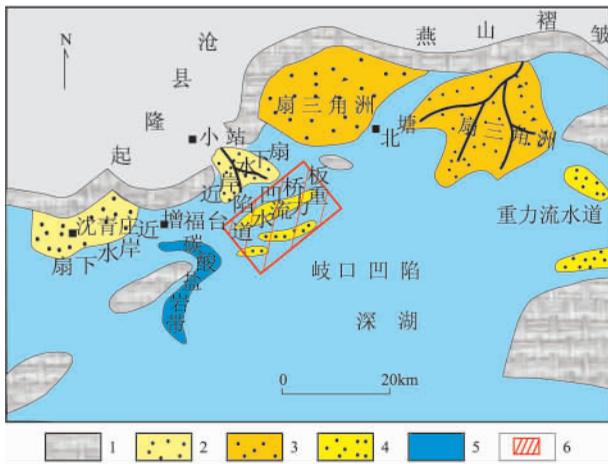


图2 黄骅拗陷北部沙河街组一段沉积环境图

1. 古陆; 2. 近岸水下扇; 3. 扇三角洲; 4. 重力流水道; 5. 碳酸盐岩带; 6. 油气田范围

Fig.2 Sedimentary environment of the first member of the Shahejie Formation in northern Huanghua depression

1 = old land; 2 = nearshore submarine fan; 3 = fan delta; 4 = gravity-flow channel; 5 = carbonate rock zone; 6 = extent of the Banqiao Oil Field

通过对 40 余口取心井进行岩心观察以及大量实验分析, 证明重力流水道沉积具有以下特征:

(1) 泥岩以深灰色为主, 分布稳定, 具有质纯、

有机质含量低等特点。常见大套泥岩中局部发育块状层理的砂岩(图3), 砂岩以细砂岩为主, 其次为粉砂岩。单个沉积单元以正粒序为主, 常见发育不完全的鲍马序列, 以 B、C、D 段居多(图4)。基本上不存在植物碎屑、生物化石等陆上标志。

(2) 沉积物粒度概率曲线具明显的两段式并出现过渡带, 以跳跃总体为主(图5), 类似于牵引流沉积特征, 但 C-M 图中呈平行于 C-M 基线分布的长条形(图6), 属递变悬浮, 表明该沉积既具保存了浊流沉积的特点, 同时又具有水流流动的特征。

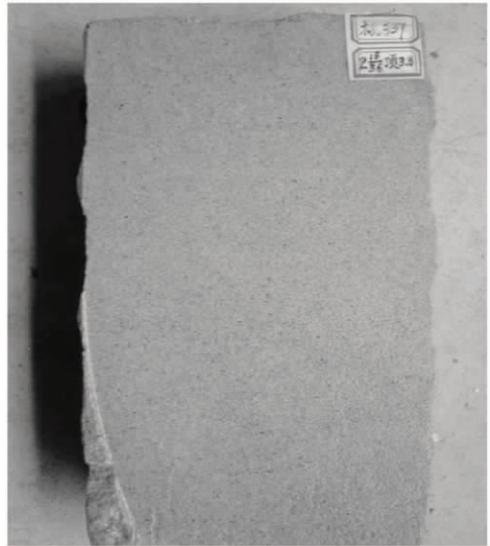


图3 块状层理砂岩(板 835 井 2702.4m)

Fig.3 Massive sandstones at the depth of 2702.4 m from the Ban-835 well

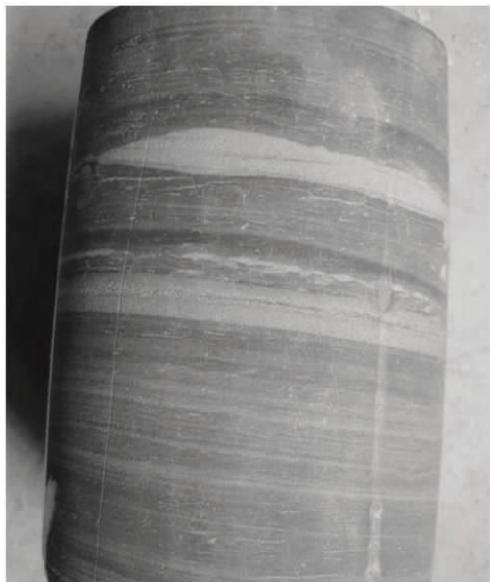


图4 鲍马序列 BCD 段(板 837 井 2713.8m)

Fig.4 BCD intervals of the Bouma sequences at the depth of 2713.8 m from the Ban-837 well

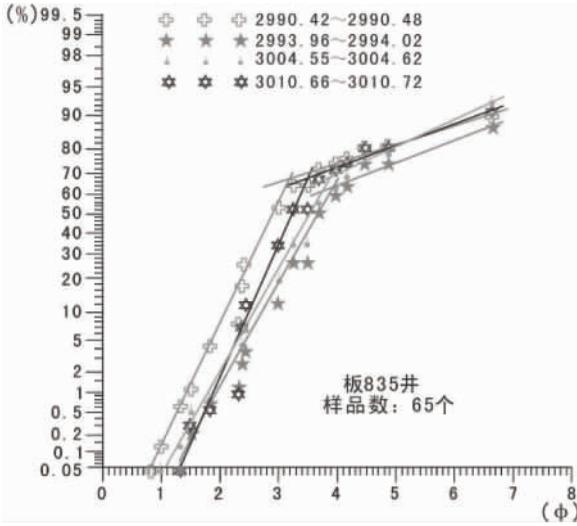


图5 板835井砂岩粒度概率曲线

Fig.5 Grain size probability accumulation curves for the sandstones from the Ban-835 well

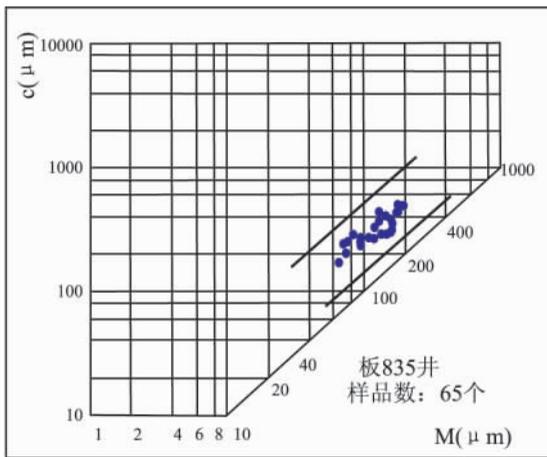


图6 板835井砂岩C-M图

Fig.6 C-M patterns for the sandstones from the Ban-835 well

3 沉积微相类型及展布

在系统的岩心观察基础上,结合400口井的测井曲线特征,将板桥油田重力流水道沉积划分为重力流主水道、分支水道、水道侧翼、水道漫溢以及湖相泥5种微相(图7)。其中,重力流主水道、分支水道砂体叠合连片,形成最重要的砂岩储集层(图8)。沿水道方向砂体延伸远,连通性好;垂直水道方向砂体延伸相对较短,连通性相对较差。各微相特征分述如下:

(1) 重力流主水道微相

重力流主水道是深水重力流水道的主体部分,平面上砂体总体呈带状定向分布,是板桥地区沙一段的主力储集层。主水道砂体一般为多期水道砂体叠加而成,主要为突变接触及夹层接触两种叠加

形式,一般经过2~3次叠加。因此砂层厚度变化较大,单砂层厚0.5~8m,主要为4~6m。砂层主要由块状中细砂岩、具递变层理或波状层理的粉细砂岩组成,属于鲍马序列中的B段。砂体常与下伏岩性呈侵蚀突变接触,电测曲线主要表现为箱形或钟形形态(图7a)。

(2) 重力流分支水道微相

重力流分支水道为主水道的分支,在研究区十分发育。与主水道相比砂层厚度较薄,单层厚度主要为2~3m,水道宽度较窄,弯曲度较大,分叉合并现象较常见。岩性与主水道基本一致,但粒度较细,主要由块状细砂岩、粉细砂岩组成。砂体常与下伏岩性呈侵蚀突变接触,电测曲线主要表现为低幅指形或齿形特征(图7b)。分支水道形成的储层连续性中等,平面上常呈短条带或土豆状分布。

(3) 重力流水道侧翼微相

重力流水道侧翼为主水道或分支水道两侧的天然堤坝,岩性以递变层理和波状层理细砂岩、粉细砂岩为主,属于鲍马序列中的B段和C段。电测曲线幅度相对主水道较小,常具有反旋回特征,齿化明显(图7c)。平面上呈条带状分布于水道两侧,一侧与水道微相砂体接触,一侧与水道漫溢沉积物相接触,岩性常由细砂、粉砂岩变为致密砂岩和泥岩。

(4) 重力流水道漫溢微相

重力流水道漫溢分布于水道侧翼的外缘,由水流溢出水道而形成,在板桥地区分布范围较小。其岩性主要为粉细砂岩、粉砂岩和泥岩的互层沉积,具水平层理、波状层理,属于鲍马序列的C段和D段,电测曲线上呈微幅齿形特征(图7d)。水道漫溢微相常形成致密砂岩,孔渗性差,无法成为有利储层,主要为致密层或干层。

(5) 半深湖泥

深水或半深水的泥岩,颜色较深,电测曲线平直(图7e)。

在以上5种微相中,最有利于储集层发育的微相是重力流主水道和分支水道,其次为重力流水道侧翼,水道漫溢微相由于岩性致密难以形成优质储层。

4 沉积微相与储层物性

板桥地区重力流水道沉积微相对储集层物性有明显的控制作用,不同沉积微相之间储层物性存在较大差异^[7-9]。而同一微相带内,除重力流分支水道内物性变化较大外,其它类型的微相内储集层物性变化均较小(表1)。

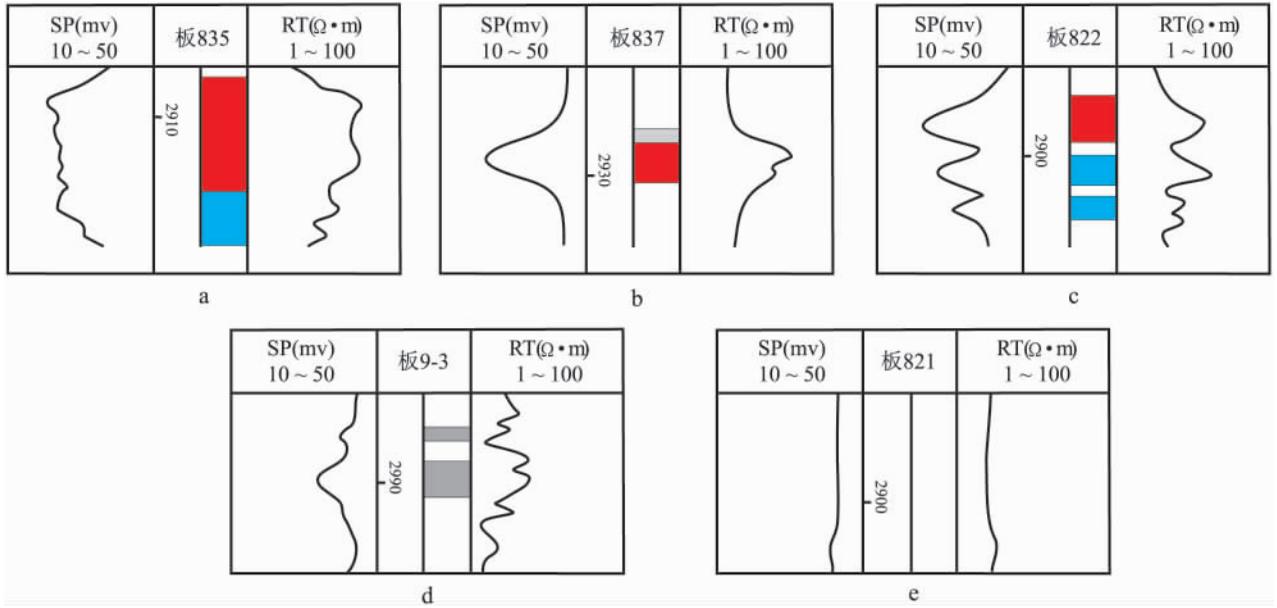


图7 板桥油田沙一段重力流水道测井相模式

a. 箱形; b. 低幅指形; c. 齿形; d. 微幅齿形; e. 平直段

Fig. 7 Well logs for the gravity flow channels in the first member of the Shahejie Formation in the Banqiao Oil Field

a. Box shape; b. Low-amplitude finger shape; c. Tooth shape; d. Low amplitude tooth shape; e. Straight shape

表1 不同沉积微相储层物性参数统计表

Table 1 Statistics of physical parameters in individual sedimentary microfacies

物性参数	重力流主水道	重力流分支水道	重力流水道侧翼	重力流水道漫溢
孔隙度(%)	22.1 ~ 30.8	9.5 ~ 27.4	16.8 ~ 22.5	6.3 ~ 14.4
渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	146.6 ~ 627.0	26.6 ~ 215.3	86.5 ~ 209.3	19.6 ~ 49.1
渗透率变异系数	0.42 ~ 0.63	0.71 ~ 1.48	0.58 ~ 0.86	0.62 ~ 0.79
单层层内突进系数	1.26 ~ 1.81	2.65 ~ 4.91	1.61 ~ 2.13	2.08 ~ 2.54

重力流主水道砂体一般为多期水道叠加形成的复合水道砂体,碎屑颗粒具有一定混杂,但总体以粗粒为主。该类砂岩储层物性好,孔隙度分布范围一般在 22.1% ~ 30.8% 之间,平均为 25.2%;渗透率分布范围一般在 $146.6 \times 10^{-3} \sim 627.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $305.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层整体连通性好,渗流能力较强,水驱油效率较高,是研究区最重要的储层类型。

重力流分支水道由于远离物源区,碎屑颗粒相对较细,泥质含量较高。该类砂岩储层平面非均质性强,同一微相内储层物性变化大,孔隙度分布范围一般在 9.5% ~ 27.4% 之间,平均为 17.8%;渗透率分布范围一般在 $26.6 \times 10^{-3} \sim 215.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $76.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层多呈短条带或土豆状,连通性差,渗流能力弱,水驱油效率低。

重力流水道侧翼分布于主水道两侧,碎屑颗粒较为细小,厚砂层内夹层较为发育。储层平面连通

性较好,孔隙度分布范围一般在 16.8% ~ 22.5% 之间,平均为 19.2%;渗透率分布范围一般在 $86.5 \times 10^{-3} \sim 209.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $135.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该类砂岩储层物性与主水道砂岩相比较差,但同一微相带内物性变化较小。

重力流水道漫溢在板桥油田北区分布范围较小,砂层薄、碎屑颗粒细小、泥质含量高,主要形成致密层和干层。该类砂岩储层物性差,孔隙度分布范围一般在 6.3% ~ 14.4% 之间,平均为 10.1%;渗透率分布范围一般在 $19.6 \times 10^{-3} \sim 49.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $31.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,不是重点储层类型。

5 沉积微相与水驱控制程度分析

生产动态表明,在注水开发的过程中,注入水往往优先沿高渗带方向驱油^[10-11]。因此沿重力流主水道方向注水容易驱替,对应的油井容易见效。由于受重力流水道平面非均质性的影响,各沉积时间

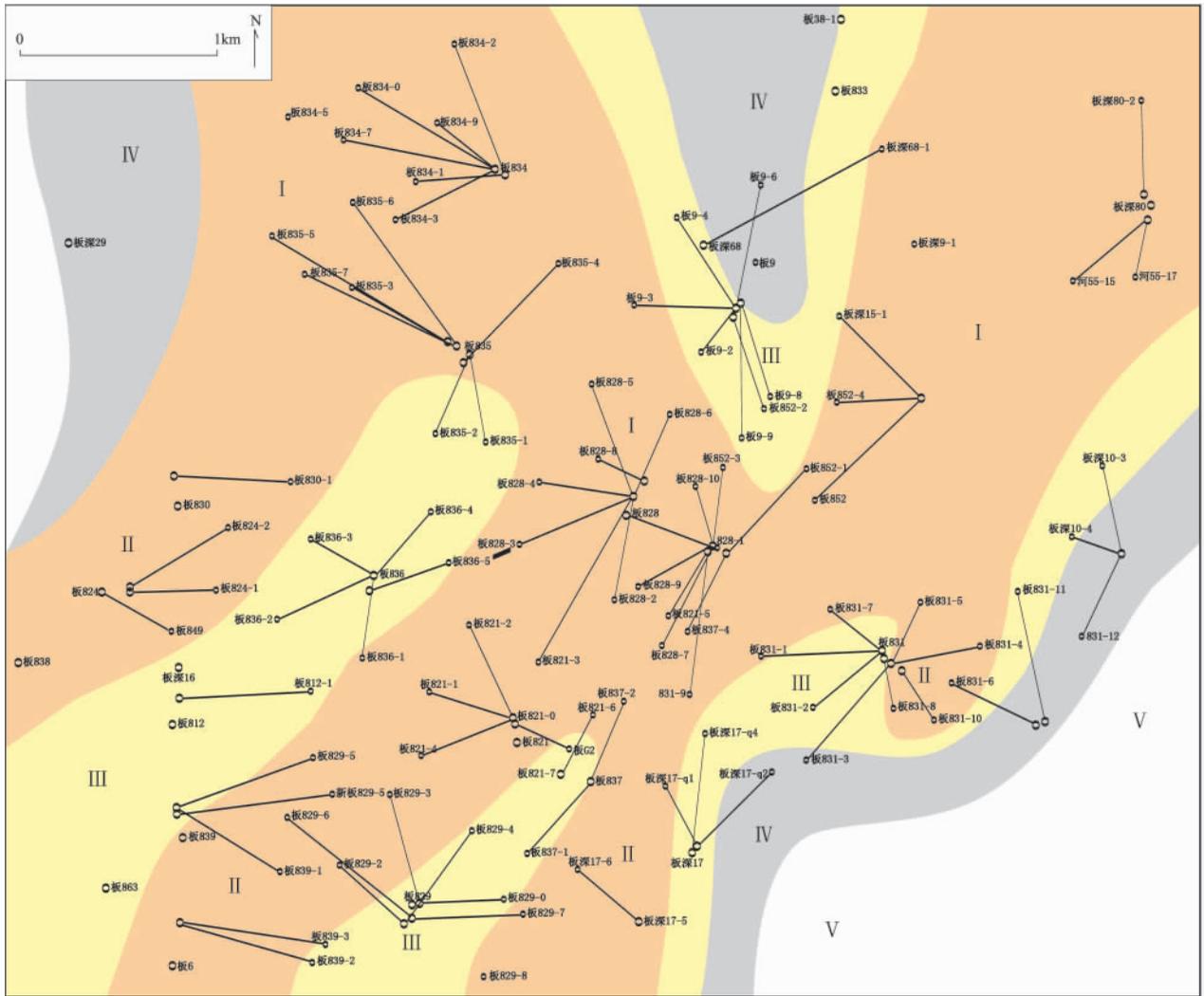


图8 板桥油田沙一段某时间单元沉积微相平面图

I. 主水道; II. 分支水道; III. 水道侧翼; IV. 水道漫溢; V. 湖相泥

Fig. 8 Plan of the sedimentary microfacies in the first member of the Shahejie Formation in the Banqiao Oil Field during one period

I = main channel; II = distributary channel; III = flank channel; IV = overbank; V = lacustrine mud

单元均存在一定量未被水驱波及的储量,特别是储层连通性差、非均质程度高的层内仍有较丰富的储量尚未动用。通过对重力水道各微相的地质储量进行统计,结合水驱控制和动用储量综合分析,认为:

(1) 重力流主水道砂体内储量较为集中(占该区地质储量的61.6%),储层物性好。水驱控制程度达到86.2%,水驱动用程度51.3%,水淹程度为48.8%。主水道砂体尽管水淹较为严重,但在注采井网不完善的地区、不规则大型砂体的边角地区、主砂体周围呈镶边形态存在的差储层、以及已水驱控制但未尚动用地区等,由于注入水波及程度低,储量动用不充分,仍存在一定量的剩余油。

(2) 重力流分支水道砂体分布区储量较为分散,主要是由于储层连通性差,多为孤立状分布。

因此水驱控制程度仅为26.4%,水驱动用程度17.8%,水淹程度为10.1%。该区分支水道砂体由于其宽度常小于常规井距,使得原本看似“完善”的井网变得“不完善”,难以控制住油砂体。这导致了原井网条件下尚无钻遇井,油层仍然保持着原始状态,为完整的未动用剩余油层,应采取钻新井或侧钻井采油改善注采关系。

(3) 重力流水道侧翼砂体内储量也较为集中,占该区地质储量的18.2%,但砂层较薄、夹层较多、物性较差,水驱控制程度仅达到38.6%,水驱动用程度31.4%,水淹程度为20.6%。水道侧翼砂体储量动用状况较差,应采取主水道注水、水道侧翼采油的方式来完善注采关系,提高水驱动用程度。

(4) 重力流水道漫溢砂体分布区储量基本上没有水驱动用,其原因是储集层质量太差,在目前采

油工艺条件下难以实现水驱动用。

根据以上分析,板桥油田下一步开发工作的潜力区是重力流主水道、分支水道以及水道侧翼砂体分布区,其中重点是重力流分支水道砂体分布区,区内还存在着丰富的未动用剩余油资源。

6 结论

板桥油田沙一段发育典型的水下重力流沉积,主要有来自北东和北西两个方向的水系,形成了叠加连片的重力流水道砂体,是该区最重要的储集层。重力流水道储层性质主要受沉积微相控制,不同微相砂体储量动用程度不均。其中主水道砂体储量水驱动用最好,水道侧翼微相砂体次之。重力流分支水道砂体虽有一定的储量,但由于现有井网与砂体分布特征不匹配,储量动用程度很低。该区下一步的潜力区主要是重力流分支水道微相带。

参考文献:

- [1] 大港石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷四) [M]. 北京:石油工业出版社,1991. 25-65.
- [2] 刘玉梅,邓泽进,孙广伯. 板桥断裂构造带油气成藏组合特征[J]. 天然气地球科学,2003,14(4):275-278.
- [3] 王春连,侯中健,刘丽红. 板桥—北大港地区沙三段重力流沉积特征研究[J]. 岩性油气藏,2009,21(3):45-49.
- [4] 黄传炎,王华,王家豪,等. 板桥凹陷断控重力流沉积特征及沉积模式[J]. 油气地质与采收率,2007,14(6):14-16.
- [5] 石世革,黄骅坳陷板桥凹陷古近系沙一段中部层序地层学研究及岩性油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):320-325.
- [6] 黄传炎,王华,肖敦清,等. 板桥凹陷断裂陡坡带沙一段层序样式和沉积体系特征及其成藏模式研究[J]. 沉积学报,2007,25(3):386-391.
- [7] 陈纯芳,赵澄林,李会军. 板桥和歧北凹陷沙河街组深层碎屑岩储层物性特征及其影响因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2002,26(1):4-7.
- [8] 邱隆伟,黄双泉. 民丰洼陷沙三段孔隙发育特征及储层物性主控因素[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(4):10-15.
- [9] KOLLA V. Deep-water and fluvial sinuous channels - Characteristics, similarities and dissimilarities and modes of formation[J]. Marine and Petroleum Geology, 2007, 24: 388-405.
- [10] 郭莉,王延斌,刘伟新. 大港油田注水开发过程中油藏参数变化规律分析[J]. 石油实验地质,2006,28(1):85-89.
- [11] 钟大康,朱筱敏,吴胜和. 注水开发油藏高含水期大孔隙发育特征及控制因素 - 以胡状集油田胡12断块油藏为例[J]. 石油勘探与开发,2007,34(2):207-211.

Characteristics and effects of the gravity flow channel deposits on the development of the Banqiao Oil Field

GAO Xiang-cheng¹, SONG Fan², WANG Jun-you³, SU Ni-na², HOU Jia-gen⁴, AN Zhen-yue⁵
 (1. Research Center of New District in Western China, Shengli Oil Field, SINOPEC, Dongying 257015, Shangdong, China; 2. College of Geosciences and Technology, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, Shangdong, China; 3. Tarim Oil Field Company, Korla 841000, Xinjiang, China; 4. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 5. No. 4 Oil Production Plant, Dagang Oil Field, Tianjin 300280, China)

Abstract: The Banqiao Oil Field lies at the pitching end in the northeastern part of the Beidagang buried hill structural zone. The first member of the Shahejie Formation in the oil field is built up of the typical gravity flow channel deposits. The gravity flow channels may be classified, on the basis of core examination and well logs for 400 wells, into five sedimentary microfacies, including main channel, distributary channel, flank channel, overbank and lacustrine mud microfacies. The emphasis of this paper is placed on the distribution of the above-mentioned microfacies and their controls on the physical properties of the reservoir sandstones and water drive controls in individual sedimentary microfacies. The potential areas should comprise the main channel, distributary channel and flank channel sandstones, especially the distributary channel sandstones where there occurs prolific residual oil.

Key words: Banqiao Oil Field; sedimentary microfacies; gravity flow channel; physical properties of the reservoirs; water-injection recovery