

板桥凹陷深层构造—地层特征研究及勘探潜力分析

马建英,刘 萍,陈双清,王昌丽,牟连刚,任仕超

(中国石油大港油田勘探开发研究院,天津 300280)

摘要:陆上老油田历经数十年的开发之后均面临资源接替紧张的局面,寻找新的储量增长点是实现可持续发展的关键。国内外勘探实践表明,在正向构造勘探程度很高的今天,负向构造即凹陷区将是今后石油勘探开发的重要场所。以板桥凹陷为例,在烃源岩评价和深层储集条件综合分析的基础上,通过开展层序格架控制下的构造—地层—砂体的特征研究,建立边界断层不同组合样式的控砂模式,开展岩性圈闭识别,认为板桥凹陷深层成藏条件有利,是寻找岩性油气藏的现实领域。

关键词:负向构造;成藏模式;勘探潜力

中图分类号:TE121

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2010)04-0601-05

0 引言

板桥凹陷位于黄骅坳陷中北部,西北与沧东断裂和沧县隆起相邻,东南以斜坡过渡到北大港潜山,具有西陡东缓、西断东抬的单断箕状凹陷结构特点,形成于裂陷兴盛—稳定发育期,是一紧邻沧县隆起的近源富气凹陷^[1]。

目前板桥凹陷所探明的油气储量主要集中于正向构造深度小于3 500 m的沙一段内,且探明程度很高;所探明深于3 500 m的储量仅占8.3%。就板桥凹陷油气资源现状来看,尚有 2×10^8 t石油当量的剩余资源量,特别是天然气的剩余资源还相当丰富,说明负向构造及其深层油气特别是天然气的勘探潜力更大。近期研究表明,来自沧县隆起的近源砂体直接发育于凹陷深湖区生油岩中,为岩性油气藏形成提供了有利条件。通过对构造、地层、砂体特征研究以及深层油气成藏条件、资源潜力的系统分析,在板桥凹陷深层发现了大型有利岩性圈闭,为下一步勘探方向的选择提供了新思路。

1 构造—地层—砂体特征研究

1.1 构造及演化特征

板桥凹陷主要发育沧东、海河、长芦、板桥、大张坨和刘岗庄6条深大断裂。夹持于沧东断裂和大张坨断层之间,呈长条状,轴向与沧东断裂平行,由东

到西发育3个次级凹陷。北侧陡坡发育小型断鼻构造群,南侧缓坡发育大型断鼻构造。凹陷内由东向西具有隆凹相间的结构特点,控制着地层和砂体沉积。沧东断裂的活动控制了第三系的构造演化。沙三段沉积早期断陷形成沿沧东断裂根部的断槽和向西南抬升的斜坡,此时大张坨断层尚未发育,砂体越过大张坨断层至板南沉积。沙三段沉积末期—沙二段沉积时期大张坨断层持续活动,板南地垒带形成,西部砂体主要在凹陷区沉积。沙一段—东营组沉积时期断陷活动强烈,断层活跃形成现今构造格局。

1.2 沧东断裂特征

沧东断裂作为边界断裂,其分段活动性已被勘探证实,各段的断层产状、走向、演化和石油地质特征都存在一定的差异^[2]。沧东断裂在板桥段具有转换断层性质,由南向北走向呈NNE-EW-NE展布,侧列相接。断层转换处,是断陷区砂体沉积的主要物源口,剖面具有南、北缓,中间陡的特点。不同段的断裂走向和组合样式均有所不同。由西向东分为沈青庄段、增福台段、小站段、长芦段,组合样式由单断铲状断裂、单断板状断裂发展为同向断阶型断裂(图1)。

(1)沧东断裂沈青庄段为单断铲状断裂。走向NNE向,断面呈上陡下缓的铲状,上部倾角为 41° ,下部倾角为 17° ,便于碎屑物长距离搬运形成规模较大的扇体。

(2) 沧东断裂增福台—小站段为单断板式断裂。走向北东，断面陡直，倾角为 53° ，凹陷沉降中心发育在沧东断裂根部，来自沧县隆起的物源近源沉积形成短轴扇体，因此单断板式断裂控制的扇体规模较小。

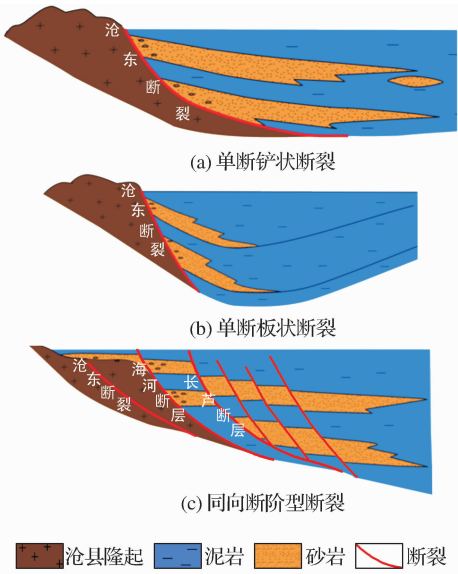


图 1 沧东断裂 3 种控砂模式

(3) 沧东断裂长芦段为同向断阶型断裂，沧东断裂断面呈铲式，倾角为 15° ，与二级断层及派生断层组成断阶式结构，节节下掉的断层便于碎屑物长距离搬运至沉积中心。该段发育大型的扇三角洲、深水浊积扇等长轴砂体，分布范围广。

1.3 古沉积背景

沧东断裂带在板桥段发育 4 大物源通道，隆起区的冲沟与第三系分布的次级凹陷对应，控制了沉积碎屑物的分布和规模，具有沟扇对应的特点。通过沉积古地貌的恢复发现板桥凹陷受沧东断裂和盆地内构造演化的影响，沉降中心具有由中心向两侧不断迁移的特点(图 2)。沙三段沉积早期存在东、西 2 个沉降中心，分别为西部的沈青庄、东部的板桥断鼻主体区。后期随着盆地进一步裂陷和盆内板南地垒的隆升，沉降中心分别向西、北、东 3 个方向迁移。期间在沙三段沉积末期—沙二段沉积初期随着西部沈青庄构造大幅度抬升，沉降中心仅分布在板桥断鼻主体的东翼。沉降中心的迁移控制了主物源区各沉积时期砂体的展布。以沙三段为例，早期发

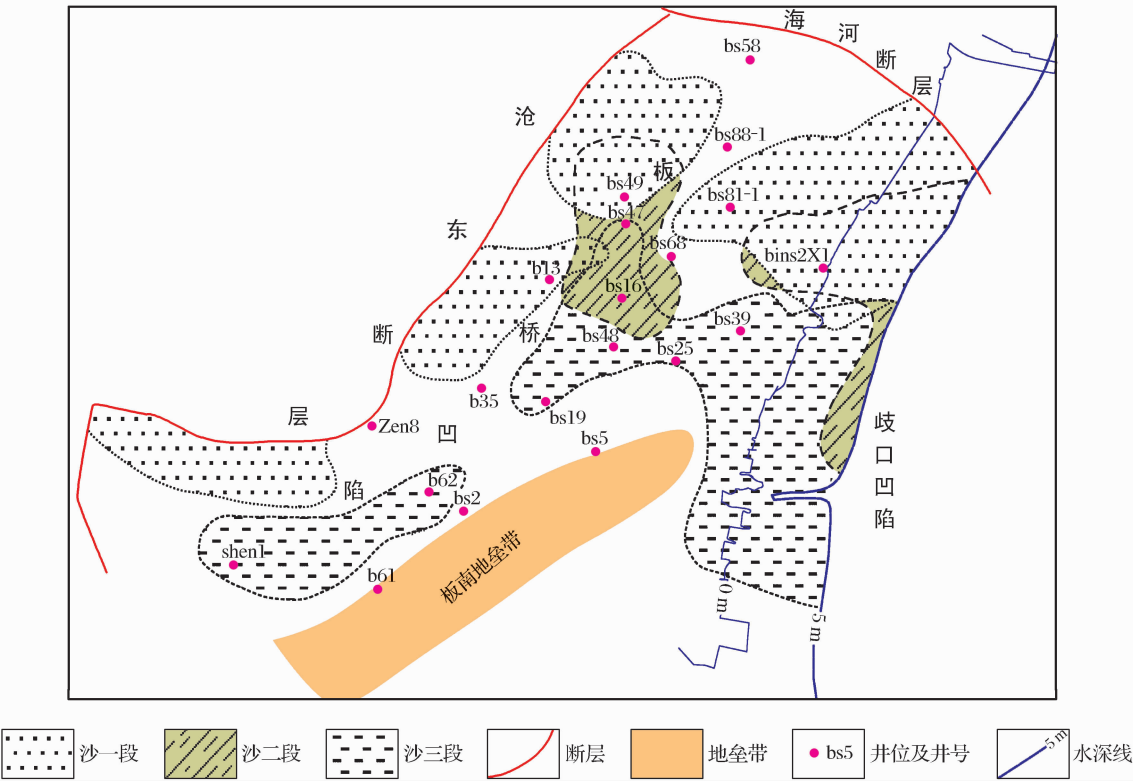


图 2 板桥凹陷不同时期沉降中心迁移特征

育的西侧沧县物源控制了沿凹陷区展布的短轴砂体和北侧物源控制的扇三角洲砂体，而沙三段沉积晚期仅发育北部物源控制的由 NE 向 SW 方向展布的扇三角洲砂体。

1.4 板桥凹陷沙三段沉积模式

综合沧东断裂组合样式、分段控砂作用和宏观沉积体系研究，建立了沧东断裂带北段沙三段沉积时期的沉积模式(图 3)。即沧东断裂中段小站及增

福台段板式断裂区,由于断面比较陡,碎屑物质沿着沧县隆起区的沟谷进入板桥凹陷,形成了发育于凹陷中心沿沧东断裂展布的一系列短轴近岸水下扇体,在凹陷斜坡带则形成了上倾尖灭的岩性圈闭。在沧东断裂南、北两侧的沈青庄铲式断裂及长芦同向断阶区物源长距离输送形成了规模较大的扇三角洲砂体,这些不同期次砂体在空间上相互叠置,形成了板桥凹陷深层埋藏于生油岩内的碎屑岩储集体。

1.5 有利砂体发育区

根据上述沉积模式,针对西侧短轴近源扇体,在

地震剖面上可识别出具有扇根沉积的短波状杂乱反射地震相和具有扇中沉积的中强振幅较连续的反射地震相,对这些近源扇体沿上、下包络面进行地震追踪,并提取多种属性进行分析,圈定了各期砂体展布范围。针对北部长轴扇体,由于其扇体规模大,在标准层的精细解释基础上,在标准层间内插作切片来圈定每个时期的扇体展布范围,并以储层反演资料相印证。预测出 $E_{s3}^{1上}$ 有利砂体面积为 59 km^2 , $E_{s3}^{1下}$ 有利砂体面积为 128 km^2 , E_{s3}^2 有利砂体面积为 76 km^2 , E_{s3}^3 有利砂体面积为 55 km^2 (图4)。

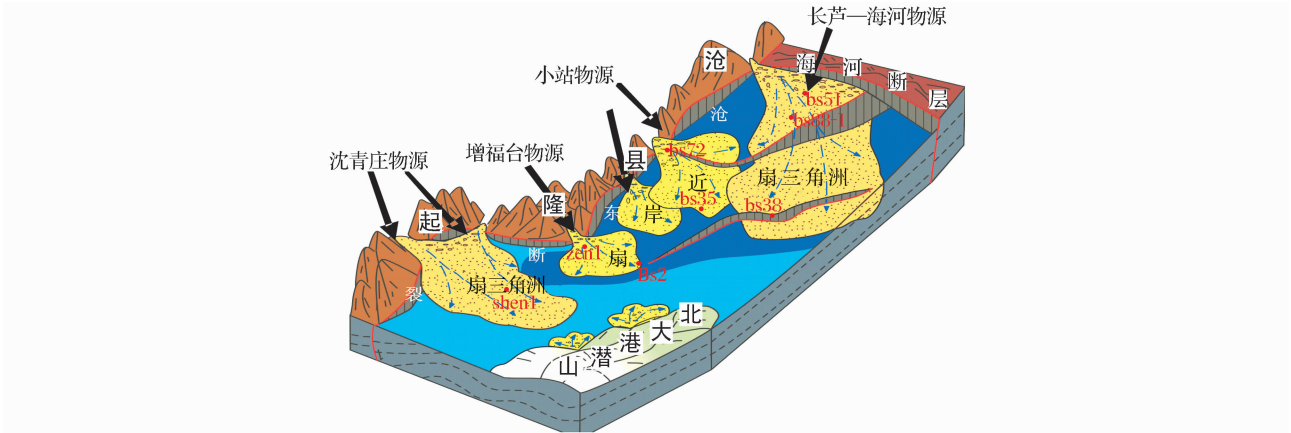


图3 板桥凹陷沙三段沉积模式

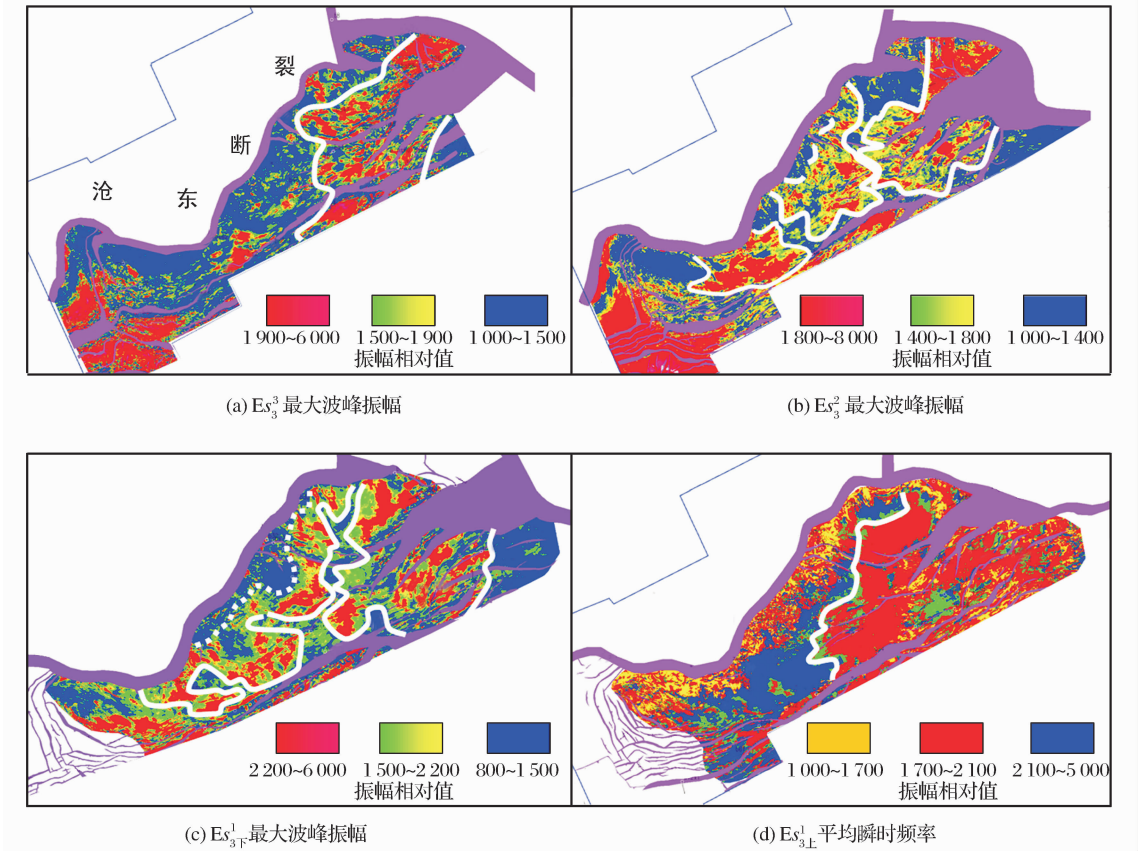


图4 板桥凹陷地震属性分析

不被继续压实而保存到较深层位;另一方面,高压有助于成岩演化过程中大量的有机酸随着烃类的生成而释放出来,加速溶解作用的进行,产生大量的次生孔隙。从而改善了深部储集空间。

钻探证实 BS35 井 5 075.3~5 078.8 m 层段钻井取心砂岩储层孔隙度平均为 7.5%,最大可达 10.6%。测井平均孔隙度在 13.4% 以上,相当于正常压实下 3 400 m 左右残留孔隙度。镜下可见以粒间孔、粒内孔、超大孔以及裂缝为主的双重孔隙介质(图 6)。

2.3 自生自储型岩性油气藏,成为深层勘探的现实目标

随着勘探技术的进步,相当数量的岩性油气藏产于生烃凹陷的低部位甚至是负向构造中心^[5],故凹陷内的岩性圈闭就成为油气勘探的重点。板桥凹陷多物源、多沉降中心、隆凹相间的特点,造就了多类型的沉积体系。板桥凹陷内的近岸水下扇、扇三角洲砂体自沉积以来就被泥岩在三维空间上分隔包围,构成了良好的生储盖组合。在其周围的烃源岩成熟后,油气可在毛细管力作用下由烃源岩层中直接运移至储集层中聚集,形成自生自储型油气藏,成为板桥凹陷深层较为现实的勘探领域。

3 结论

(1)板桥凹陷的边界断裂——沧东断裂具有分段活动、侧列相接的特点。3 种控凹断裂组合样式,控制了不同段砂体的发育类型和规模。

(2)板桥凹陷沉降中心的多期迁移控制了不同沉积时期砂体的空间位置、规模和形态。

(3)板桥凹陷深层广泛存在异常高压,较好地保

存了深部异常孔隙。深层存在双重孔隙介质,具有较好的储集条件。赋存于生油凹陷之中的各类扇体的成藏条件良好。

(4)板桥凹陷深层油气资源丰富,探明程度低,在目前勘探开发条件下,深层岩性油气藏的勘探是比较现实的勘探领域,但是深层勘探的高风险和复杂性又决定深层勘探充满了挑战。

参考文献:

- [1] Liu Yumei, Deng Zejin, Sun Guangbo, *et al.* Oil and gas play characteristic in Banqiao faulted structural belt[J]. *Natural Gas Geosciences*, 2003, 14(4): 275-278. [刘玉梅, 邓泽进, 孙广伯, 等. 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.]
- [2] Wu Tao, Li Zhiwen. An analysis of property of Cangdong fault [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1994, 15(3): 19-25. [吴涛, 李志文. 关于沧东断裂性质的分析[J]. *石油学报*, 1994, 15(3): 19-25.]
- [3] Li Jun, Li Fengxia, Zhou Liying, *et al.* The type of condensate gas reservoir with oil rim and its formation conditions in Banqiao sag [J]. *Natural Gas Geosciences*, 2003, 14(4): 271-274. [李军, 李凤霞, 周立英, 等. 板桥凹陷带油环凝析气藏类型和成藏条件分析[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(4): 271-274.]
- [4] Cui Yong, Zhao Chenglin. Porosity generation and the relationship associated with overpressure leakage[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Natural Science Edition*, 2002, 29(1): 49-52. [崔勇, 赵澄林. 深层砂岩次生孔隙的成因及其与异常超压泄漏的关系——以黄骅坳陷板桥凹陷板中地区滨 IV 油组为例[J]. *成都理工学院学报: 自然科学版*, 2002, 29(1): 49-52.]
- [5] Xin Guanglin, Zhang Rihua. Formation conditions and distribution pattern of oil and gas reservoir in negative structure, Jiyang depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(1): 8-13. [信广林, 张日华. 济阳坳陷负向构造油气藏形成条件和分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 1994, 21(1): 8-13.]

Deep Structural-Stratigraphical Feature and Exploration Potential in Banqiao Sag

MA Jian-ying, LIU Ping, CHEN Shuang-qing, WANG Chang-li, MU Lian-gang, REN Shi-chao

(Research Institute of Exploration and Development, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: After the decade production in the old onshore oil field, it is urgent to find the replace resources as the key to sustainable development. The home and abroad exploration practice has indicated that the negative tectonics (called as sag) would be a significant exploration area in the future while the exploration extent in positive tectonics is very high. In this paper, Banqiao sag as a case, we set up the sand controlled model for the border fault compose styles by means of comprehensive investigation of structure-stratigraphy-sand constrained by sequence framework, and then identify the lithologic trap. Based on source rock and deep reservoir condition, we consider that the deep petroleum accumulation conditions in the Banqiao sag would be beneficial to find the lithologic oil & gas reservoir.

Key words: Negative tectonics; Accumulation model; Exploration potential.