

文章编号: 1009-3850(2009) 01-0032-05

东营凹陷博兴油田沙四段滩坝砂岩储层特征研究

李 茹^{1,2}, 韦华彬²

(1. 中国石油大学 地球化学与岩石圈动力学开放实验室, 山东 东营 257061; 2 胜利油田 东胜精工石油开发集团股份有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 东营凹陷南斜坡发育滩坝、水下扇和重力流水道等多类型的储集体, 为一个多油层、多油气藏类型的复式油气聚集带。沙四段储集层为滨浅湖相滩坝砂体, 油藏类型以岩性和构造岩性油气藏为主。博兴油田沙四段滩坝砂岩储层以长石粗粉砂岩、岩屑粉砂岩为主, 砂体中发育有剩余粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔等储集空间类型, 孔隙结构以低渗小孔喉为主, 为中低孔隙度、低渗透率的储层。沉积微相和成岩作用是控制本区滩坝砂体储层物性的主要因素。

关 键 词: 东营凹陷; 博兴油田; 沙四段; 储层特征

中图分类号: TE122.2⁺2 文献标识码: A

1 研究区概况

博兴洼陷是东营凹陷南部的一个次级构造单元, 位于高青—平南断层以东, 石村断层以西, 北接东营中央隆起带, 南接鲁西隆起, 东西向呈地堑式, 南北呈箕状, 面积为 1320 km²^[1]。其形成主要受高青断裂和石村断裂控制, 四周分布有青城凸起、广饶凸起、鲁西隆起, 并经草桥—纯化潜山带和平方王潜山带与牛庄洼陷和利津洼陷相邻。洼陷内部及周围分布着大芦湖、正理庄、博兴等多个油气田(图 1)。本文主要讨论洼陷东部的博兴油田。

沙四段在博兴洼陷分为沙四段下亚段和上亚段, 下亚段与上亚段为不整合接触关系, 与上覆沙三下亚段呈整合接触。层序厚一般为 100~400 m。岩性主要为一套灰色、深灰色、灰褐色湖相泥岩夹碳酸盐岩、砂岩及油页岩。砂岩含量可达 30%~50%, 自下而上呈粗细的正旋回。层序由低水位体系域和湖侵体系域构成。沙四段上亚段又可分为纯下、纯上两个次亚段。纯下次亚段北厚南薄, 一般为

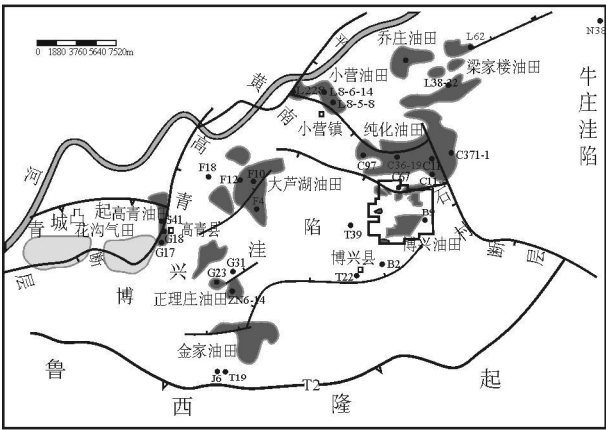


图 1 区域构造地理位置图
Fig. 1 Location of the Boxing Oil Field

80~250 m, 由三个砂层组组成。每个砂层组厚度为 40~60 m, 各砂层组的地层厚度中心具有继承性。纯上次亚段厚 80~250 m, 由四个砂层组构成^[2]。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

博兴油田沙四段滩坝砂岩储层岩性主要为长石粗粉砂岩(以灰质长石粗粉砂岩为主,其次为泥质长石粗粉砂岩和白云质长石粗粉砂岩),含少量岩屑粉砂岩^[3]。碎屑含量为75%~93%,填隙物含量为6%~22.25%,孔隙含量为1%~15%。砂岩粒级细且灰质胶结物含量高致使砂岩致密坚硬、物性变差,主力砂岩层和非主力层岩性上无明显差别。

砂岩碎屑物质主要为石英、长石和岩屑,其中石英约占碎屑的38%~43%,平均为41%;长石含量为31%~37%,平均为35%,常被溶蚀或者交代;岩屑含量为23%~27%,平均为24%。石英与长石+岩屑含量的比值为0.7。砂岩平均粒度中值为0.085 mm, C值为0.18 mm,泥质含量为8.96%,分选系数为1.56,分选性中等。磨圆度较低,为次棱状,属低中等结构成熟度砂岩^[4]。

填隙物包括杂基和胶结物。杂基主要是一些黏土矿物,含量为4%~6%,平均为5.1%。胶结物主要是碳酸盐岩矿物,以铁白云石为主,平均含量为13%。主要为孔隙胶结。

2.2 物性特征

研究区沙四段滩坝砂岩储层埋藏深度为2500~3000 m,埋藏深度较大,原生孔隙不发育。岩心样品分析发现,沙四上亚段孔隙度为13.7%~18.4%,平均为15.7%;渗透率为 $(1.1 \sim 17.9) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $9.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。碳酸盐岩含量为15%~18%,平均为16.52%。沙四上砂岩为中低孔隙度、低渗透率储层。

2.3 储集空间类型

博兴油田沙四段滩坝砂岩储集空间以孔隙为主,裂缝极少。研究表明,由于成岩作用复杂,各种原生孔隙趋于消失,但中期成岩作用阶段的溶蚀作用,形成了大量的溶蚀孔隙,使孔隙度有所恢复。主要的孔隙类型为粒间孔(或残余粒间孔)和溶蚀孔^[5]。

粒间孔是支撑颗粒间的孔隙,由石英、长石、岩屑颗粒支撑形成。由于博兴地区沙四上砂岩埋藏比较深,机械压实作用更强,加之粒级细,分选较差,结构成熟度较低,杂基含量较高,成岩后生作用较强及碳酸盐胶结物含量高等多种因素的影响,原生粒间孔隙减小甚至堵塞,降低了储层的孔隙度和渗透率。溶蚀孔有长石溶蚀孔、胶结物及填隙物溶蚀孔两种。沙四上砂岩主要为长石粗粉砂岩,长石平均含量高达35%。由薄片和电镜均可观察到长石颗粒的溶蚀

现象,以沿解理及晶格网格状溶蚀为主,也有部分蜂窝状或片状蚀解。几种溶蚀均保持了颗粒的原始状态。长石溶蚀可增加一定的孔隙度,是砂岩溶解孔隙中较主要的孔隙。胶结物及填隙物溶蚀孔为碳酸盐胶结物和粘土充填物在深层砂岩中由于酸性水溶液长期缓慢的作用而被溶蚀,多形成大量微孔隙,孔径一般小于 $5 \mu\text{m}$ 。这种孔隙由于喉道直径极小,渗流能力差,渗透率很低。

2.4 孔隙结构特征

孔隙结构参数反映出博兴油田沙四段储集层具有小孔喉、孔喉分布不均,分选较差,层内差异大的特点。孔喉半径平均值一般为0.142~0.4327 μm ,平均为0.269 μm ;孔喉半径中值(R_0)一般为0.0614~0.1684 μm ,平均为0.124 μm 。均质系数一般为0.2763~0.407,平均为0.3354;变异系数一般为0.7036~0.8804,平均为0.7655。压汞排驱压力0.0535 MPa,最大进汞饱和度为65.81%~74.06%,平均为69.9%。

2.5 电性和地震反射特征

砂体电性特征是砂体岩性、韵律性及含油性特征的宏观反映。不同的砂岩岩性组合,具有不同的电性特征。砂坝微相以厚层、相对均质的砂岩为特征,电性上表现为自然电位曲线呈箱状或者高宽幅指状,微电极曲线常呈两线分开的中幅齿化箱状为特征;而滩砂微相多为薄层的砂泥岩组合,反映在自然电位曲线上,为锯齿状或者窄的单指状,微电极曲线呈现高幅锯齿状;席状砂微相由于砂体岩性细,物性差,自然电位曲线多呈低隆或低幅锯齿状。

在地震反射剖面上,滩坝沉积响应以出现附波,底平顶凸或底凹上平的丘状反射为特征,其内部为具中等振幅、较好连续性的微波状起伏的亚平行结构(图2)。

3 储层分布的控制因素

3.1 沉积微相

博兴洼陷在沙四上亚段时期为滨湖、浅湖、半深湖泊沉积环境,可分为滩坝亚相、滨浅湖亚相和半深湖亚相。洼陷东部的小营、纯化地区当时为水下隆起带,滩坝砂岩非常发育;洼陷南斜坡的金家、正理庄地区为滨浅湖区,滩坝砂体也较发育,并夹杂有生物碎屑。总体而言,博兴洼陷滩坝砂体主要分布于湖盆边缘、湖中局部隆起的周围,呈环洼分布的特征。滩坝亚相又可细划分为滨岸滩砂、滩砂、砂坝、席状砂、碳酸盐滩坝和泥坪六个沉积微相(图3)^[6]。

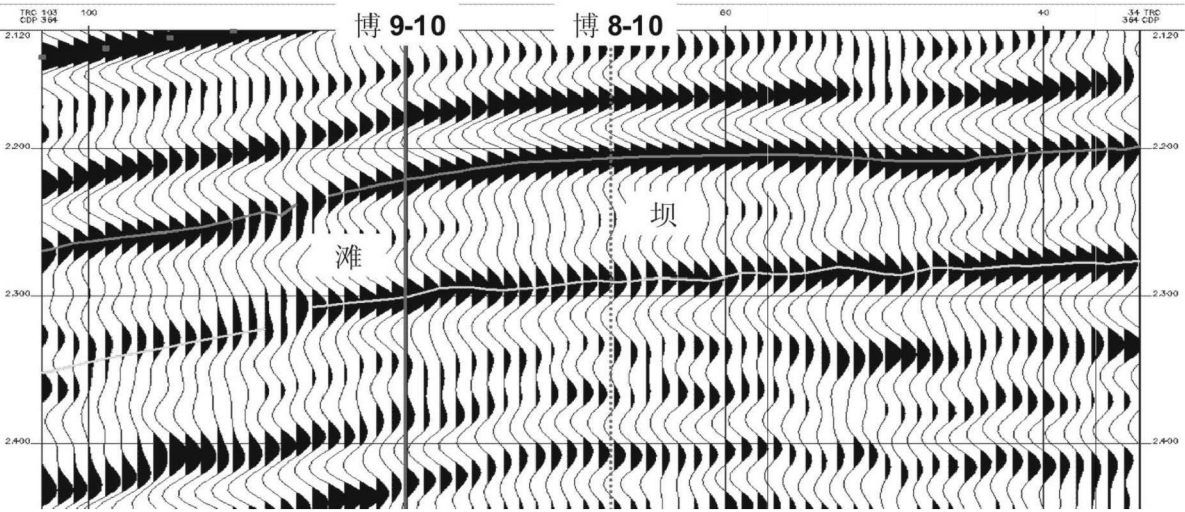


图 2 滩坝丘状反射(过博 9-10 博 8-10 测线)

Fig 2 Hummocky seismic reflection configuration of the beach-bar sandstone reservoirs through the traverses B9-10 and B8-10

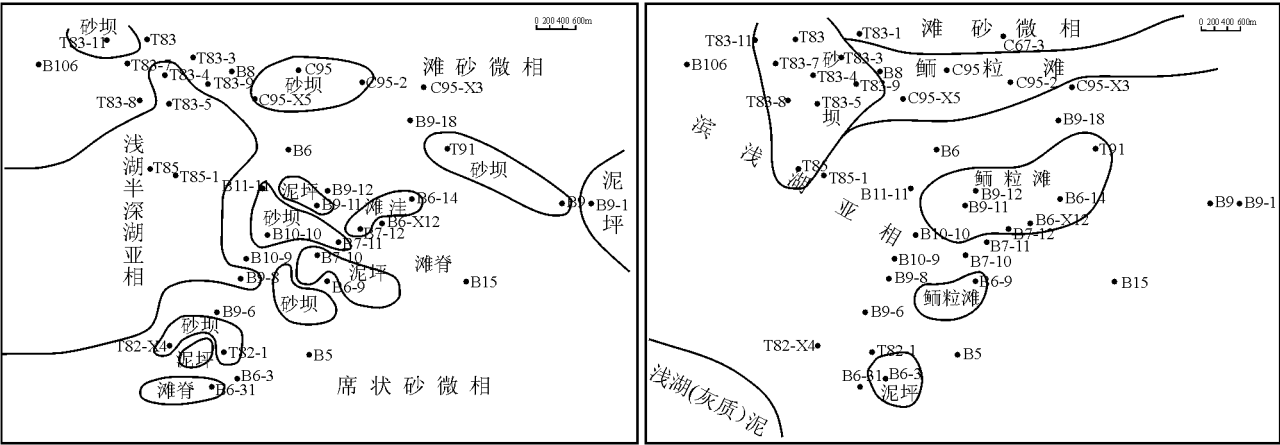


图 3 博兴油田沙四上亚段 1、2 砂组沉积微相图

Fig 3 Sedimentary microfacies in the first and second sand beds of the upper submember of the fourth member of the Shahejie Formation in the Boxing Oil Field

不同的沉积微相储层物性不同。

1. 砂坝微相

砂坝微相可划分为“砂坝”和“坝间”两种砂体类型。砂坝微相孔隙度分析一般平均为 17% 以上，渗透率分析一般大于 $18 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在该微相砂坝和坝间两种砂体类型中，以砂坝储层物性较好，是滨湖浅湖亚相最有利的储油相带之一。

2 滨岸滩砂微相

滨岸滩砂微相可进一步细分为“滩脊”和“脊侧”两种砂体类型。滩脊在垂向剖面上单层厚度较大，自然电位曲线呈较厚的指状或舌状。孔隙度较差。

3. 滩砂微相

滩砂微相细分为“滩脊”、“滩洼”和“脊侧”三种砂体类型。与砂坝微相储层物性相比，孔隙度稍低而渗透率略高。在该沉积微相的三种砂体类型中，滩脊、脊侧储层物性均较好，滩洼物性差。

4 席状砂微相

席状砂微相在储油条件方面比滩砂微相差一些。

5. 碳酸盐滩坝微相

碳酸盐滩坝微相与砂质滩、坝微相一样，也是较好的油气储集体。根据砂体所处位置、沉积作用和岩性组合特点等，将碳酸盐滩坝微相划分为鲕粒滩

和灰泥坪两种砂体类型。

6 泥坪微相

泥坪微相形成于滨湖 浅湖亚相带较平坦古地形的局部相对高地带。此相带一般不具备储油条件或是储油物性极差的相带。

3 2 成岩作用

博兴油田沙四段滩坝砂岩储集砂体的物性除了受沉积相带的控制外,对于同一相带的砂体,其物性还受成岩作用的影响。由砂岩铸体薄片、扫描电镜、X射线衍射、电子探针研究发现,该区砂岩主要经历了压实作用、胶结作用和溶蚀作用。砂岩中流体包裹体均一温度主体介于 90~120℃之间,结合岩石学特征,将滩坝砂岩储层的成岩阶段定为中成岩 A 期^[7]。

1. 压实、压溶作用

压实作用是导致储层砂体原生孔隙度丧失的主要因素,特别是在早期成岩阶段,它使孔隙度大幅度

减少。这种成岩相常形成于前缘砂坝,以及分流间湾和前缘席状砂的砂体中。该类砂体粘土杂基含量高,常达到 10%以上,砂岩颗粒比较细,分选好,机械压实作用强,使原生孔隙大大降低,面孔率仅在 3~5%之间。其孔隙度低,且多为微孔隙,喉道细,因此渗透率低,属于致密储层^[8]。

2 胶结作用

博兴油田胶结物主要为碳酸盐和硅质胶结。本区碳酸盐胶结物含量高,可达 15%以上,大多呈充填孔隙式胶结(图 4 a)。碳酸盐矿物的存在使得储层物性变差。该区碳酸盐胶结物主要为铁白云石,其次为铁方解石^[9]。一般碳酸盐胶结物的含量超过 10%时,储层物性明显变差。本区硅质胶结物常见石英次生加大现象(图 4 b),如通 83-9 井 2672.11m 可见明显的石英次生加大,加大边及胶结世代清晰可见。

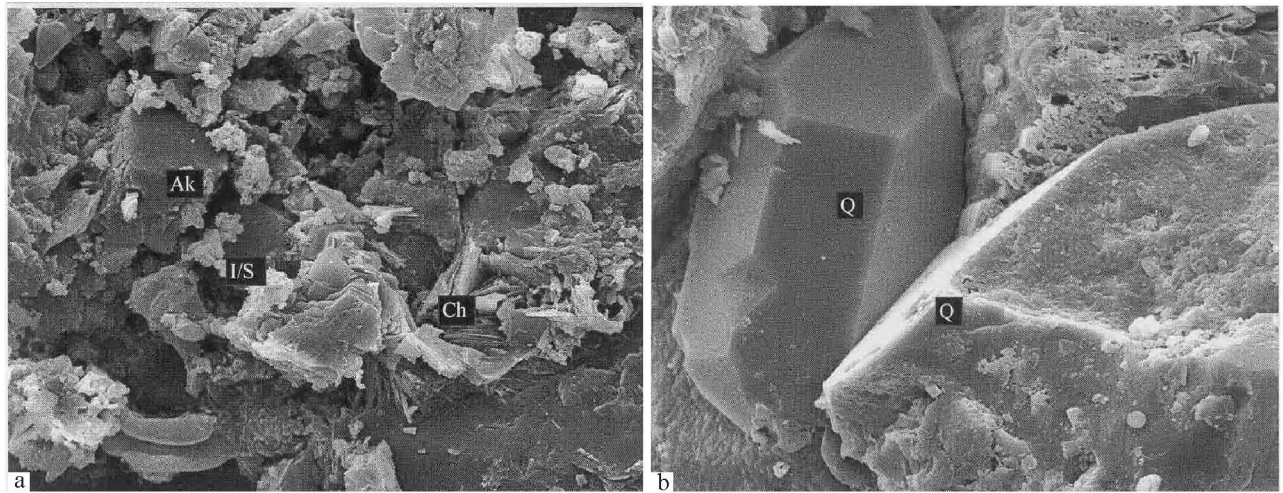


图 4 扫描电镜照片

a 铁白云石自形较差,主要充填于孔隙之中(通 83-11 井, 2868.87m); b 石英次生加大现象(通 83-9 井, 2672.11m)

Fig 4 Scanning electron photomicrographs of the carbonate cements in the Boxing Oil Field

a Poorly crystallized ankerite in the pore spaces, 2868.87 m in the T83-11 well b Secondary enlargement of quartz, 2672.11 m in the T83-9 well

3 溶蚀作用

成岩作用和孔隙演化研究表明,溶蚀作用是形成次生孔隙的主要成岩作用之一。研究区沙四段滩坝砂岩储层内最常见的溶蚀作用表现为碎屑颗粒(主要是长石)和胶结物(主要是方解石)的溶蚀,从取心井段岩石薄片的显微镜下可以看到溶蚀作用形成的不规则状及港湾状溶孔,偶见颗粒溶蚀强烈形成的铸模孔及胶结物溶蚀形成的粒间扩大孔、特大

孔和铸模孔。该类成岩作用形成的砂岩面孔率都比较大,大多在 18%~25%之间,并且具有良好的储集性能,是油气的主要储集场所^[10]。

4 结 论

(1)博兴油田沙四段滩坝相砂岩储层岩性主要为长石粗粉砂岩,以灰质长石粗粉砂岩为主。成岩矿物主要为石英、长石和岩屑,属低 中等结构成熟

度、中低等孔隙度和低等渗透率储层。

(2)沉积相带对储层物性起控制作用。砂坝储层物性较好,其次为滩砂、席状砂、滨岸滩砂和碳酸盐滩坝。

(3)成岩作用对储层物性也有一定的影响。沙四段滩坝砂岩储层的成岩作用有压实作用、胶结作用和溶蚀作用三种类型。溶蚀作用是产生次生孔隙的主要因素,是储层物性变好的主要原因。

参考文献:

[1] 王秉海,钱凯.胜利油区地质研究与勘探实践[M].东营:石油大学出版社,1992
[2] 孙海龙,王居峰,侯光凤.东营凹陷南斜坡沙四段高分辨率层序地层格架研究[J].特种油气藏,2004,11(4): 19—21

[3] 刘宝珺.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1980
[4] 吕正谋.山东东营凹陷下第三系砂岩次生孔隙研究[J].沉积学报,1985 3(2): 47—56
[5] 宋明水.东营凹陷南斜坡东部地区沙四段储层成岩作用研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(3): 239—245
[6] 张宇,唐东,周建国.东营凹陷缓坡带滩坝砂岩储层描述技术[J].油气地质采收率,2005 12(4): 15—16
[7] 钱崢,李淳,李跃,等.济阳坳陷深层砂岩储层成岩作用及其阶段划分[J].石油大学学报(自然科学版),1996,20(2): 6—11.
[8] 郑浚茂,庞明.碎屑储集岩的成岩作用研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1989,53—85
[9] 罗静兰,张晓莉.成岩作用对河流三角洲相砂岩储层物性演化的影响[J].沉积学报,2001 19(4): 541—547.
[10] 李晓清,郭勤涛,丘东洲.淮北油田储层的成岩作用及成岩相划分[J].沉积与特提斯地质,2001 21(4): 28—33

Beach-bar sandstone reservoirs from the fourth member of the Shahejie Formation in the Boxing Oil Field, Dongying depression, Shandong

LIRu^{1,2}, WEIHua¹

(1. Open Laboratory of Geochemistry & Lithosphere Dynamics, University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China; 2. Dongsheng Petroleum Exploration and DevelopmentCor., Ltd., Shengli Oil Field Company, Dongying 257000, Shandong, China)

Abstract: The beach-bar, submarine fan and gravity flow channel sandstone reservoirs are well displayed on the southern slope of the Dongying depression, Shandong, constituting a composite oil and gas accumulation zone with many types of oil reservoirs and oil and gas pools. The oil reservoirs in the fourth member of the Shahejie Formation consist of the littoral and shallow lacustrine beach-bar sandstone reservoirs including lithologic and structural lithologic oil and gas pools and thus are considered as the main exploration targets in the study area. These sandstone reservoirs are composed of feldspathic coarse siltstone and lithic siltstone with low to moderate textural maturity. The porosity types of the sandstone reservoirs significantly consist of residual intergranular pores, intergranular solution openings and intragranular solution openings. The pore structures are dominated by low permeability micropore throats, indicating the medium to low porosity and low permeability reservoirs. The sedimentary microfacies and diagenesis are considered as the main controlling factors of physical properties of the beach-bar sandstone reservoirs in the study area.

Key words: Dongying depression; Boxing Oil Field; fourth member of the Shahejie Formation; reservoir