

利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征 及控制因素分析

李国斌^{1,2} 姜在兴² 陈诗望²

冯 磊² 张善文³ 隋风贵⁴ 刘惠民⁴

(1.地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;2.中国地质大学能源学院,北京 100083;3.中国石化股份
胜利油田分公司,山东 东营 257001;4.中国石化股份胜利油田分公司地质科学研究院,山东 东营 257015)

摘要:通过岩心观察、测井和地震资料分析,运用沉积学、层序地层学理论,将利津洼陷沙四上亚段分为 1 个层序 3 个体系域(LST、TST、HST),并细分为 7 个准层序组。研究了滩坝砂岩的沉积特征和在准层序组内的平面展布,以准层序组 1、2 滨浅湖滩坝最发育,准层序组 3、4 风暴滩坝最发育,准层序组 6、7 砂质滩坝发育差但发育碳酸盐滩坝。对滩坝控制因素进行了探讨,首次提出了“气(气候)-源(物源)-盆(盆地)”系统控滩坝的分析思路,是对传统“源控论”的完善与补充,可更合理解释滩坝的成因和分布,增加预测性。

关键词:沙四上亚段;滩坝;沉积特征;平面展布;控制因素;系统论;利津洼陷

中图分类号:P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)05-0911-11

在成熟探区含油气盆地中,受主物源影响所形成的厚层砂体勘探程度高,勘探重点已转向离开主物源、受物源影响较弱的地区,在这些地区发育较多的薄互层滩坝砂体。如中国东部渤海湾盆地及松辽盆地中,都已发现了相当数量的含油气滩坝砂体^[1-3],并显示出良好的勘探前景。但是,由于这类砂岩单层厚度薄、横向变化大,隐蔽性强,控制因素不明确,识别和预测难度大^[4-7],制约着勘探的深入进行。笔者对利津洼陷滩坝进行分析解剖,以期了解这类砂体沉积特征,明确其控制因素,从而更好地指导勘探。

利津洼陷位于东营凹陷西段(图 1),属于东营凹陷的二级构造单元,勘探面积近 300 km²。其东南为中央断裂背斜带,西为平方王古潜山披覆构造带,西北为滨县凸起,北为陈家庄凸起,四周被凸起和断裂带所环绕。油层主要集中在沙二段、沙三下段—沙四段等层位。2006 年在梁 75、滨 436、滨 444 等井区沙四上段层位发现了滩坝砂岩油藏,仅梁 75 井预测储量达 3594 万 t,勘探潜力巨大。近年来,滩坝油藏成

为胜利油区增储上产的重要目标^[8]。

国内专家学者很早以前就对滩坝的分类、沉积特征及勘探方法等进行了研究。朱筱敏等^[9]、陈世悦等^[10]根据砂岩主要成分将滩坝分为砂质滩坝和生物碎屑滩坝^[9-10],郭金华等^[11]将滩坝分为陆源碎屑滩坝和碳酸盐滩坝。根据滩坝分布位置,朱筱敏等^[9]把陆相断陷湖盆中发育的滩坝划分成 4 种成因类型,即湖岸线拐弯处滩坝、水下古隆起滩坝、三角洲侧缘滩坝和开阔浅湖滩坝,并对其沉积特征进行了分析。李丕龙^[12]据滩坝的平面位置及距湖岸线的远近将滩坝分为沿岸滩坝、近岸滩坝和远岸滩坝。才巨宏^[13]对滩坝预测也提出了许多方法,如用波形分析及地震特征反演技术。李桂芬^[14]利用薄层属性分析技术等预测滩坝,有人利用砂岩厚度探讨滩坝分布^[15]。也有学者用层序地层学的观点,先进行层序划分,然后在层序格架内研究各种沉积体系^[16]及滩坝分布规律。戴朝强等^[17]用高分辨层序地层原理划分短期、中期和长期基准面旋回,在旋回内进行地层对比及划分,研

收稿日期:2008-03-07;改回日期:2008-07-02

基金项目:国家自然科学基金项目(40672078)资助。

作者简介:李国斌,男,1967 年生,高级工程师,博士生,主要从事层序地层及沉积学综合研究工作;E-mail:ligb615@163.com。

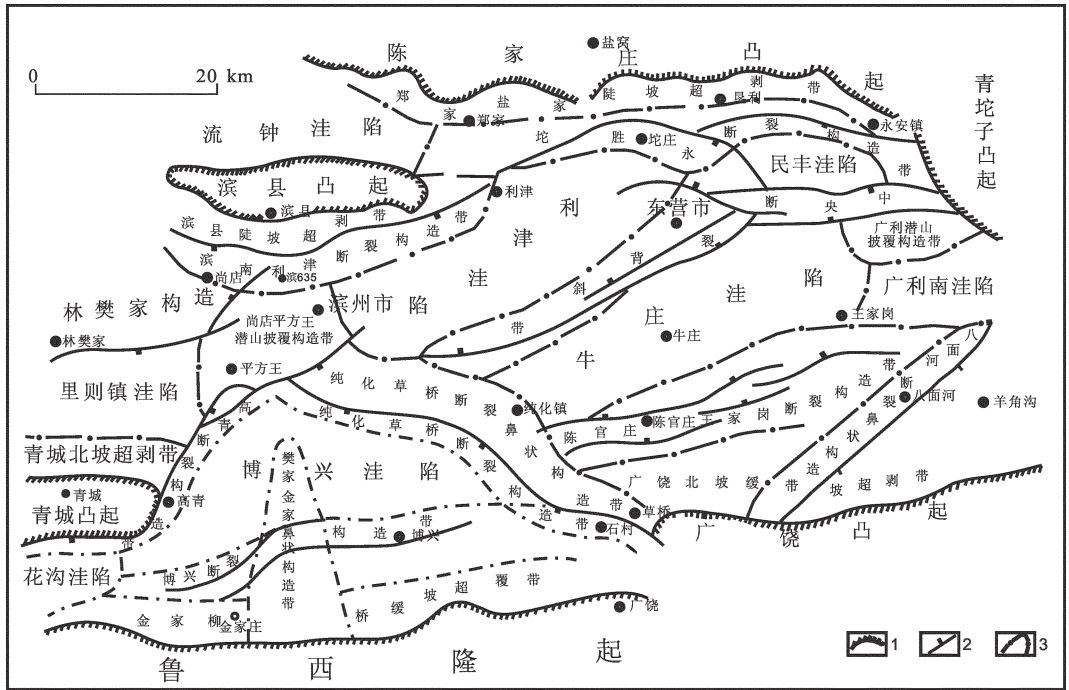


图1 东营凹陷构造区划图

1-古近系分布范围;2-主要断层;3-构造带界限

Fig.1 Structural units in the Dongying subbasin, Shandong

1-Paleogene distribution area;2-Main fault;3-Tectonic zone boundary

究滩坝的沉积特点。这些研究成果对滩坝勘探起到了较好的指导作用。

笔者以沉积学、层序地层学理论为基础,结合岩心观察、测井、录井等资料,将利津洼陷沙四上亚段进行了层序划分,在准层序组内研究了滩坝的沉积特征和平面展布,并对其控制因素进行了分析。

1 滩坝沉积特征

根据对24口取心井的岩心观察和测井相等资料分析,对滩坝砂岩沉积特征进行了研究。

滩坝砂岩形成于湖泊的滨浅湖环境,多分布在湖泊边缘、湖中局部隆起周围的缓坡一侧和湖岸线拐弯处^[8]。尤其在断陷湖盆微陷扩张期,湖盆面积大,滩坝砂体最为发育^[9]。

利津洼陷沙四上亚段时期处于湖盆断陷扩张期,湖大水浅,湖底平坦,最有利于滩坝的发育^[20],并且发育砂质滩坝和碳酸盐滩坝两种成分类型。

1.1 砂质滩坝

沙四上亚段时期,利津洼陷西部和西南部为广阔的滨浅湖环境,滨县凸起南发育扇三角洲砂体,这些砂体很容易被湖浪和沿岸流搬运改造,因此在注

陷西南部缓坡带分布有滩坝。根据产状和形态将滩坝分为滩砂和坝砂两种亚相,分别具有不同的沉积特征。

滩砂主要以灰色-灰绿色粉砂岩、粉细砂岩、细砂岩为主,少量泥质粉砂岩,常含泥砾。垂向上呈频繁的砂泥岩薄互层,砂层多但厚度薄,一般小于2m,粒序不明显或呈反韵律;平面上呈席状或较宽的带状,分布面积大。测井曲线呈较高幅度的指形密集组合、单砂层呈高-中幅较薄指形。粒度概率曲线由跳跃+悬浮两个次总体组成,其中跳跃总体常呈两段式,反映波浪冲刷回流的特点。沉积构造主要有波状-微波状层理、波状复合层理、低角度楔状层理、冲洗交错层理(图2-a)、压扁层理、透镜状层理(图2-b)和浪成沙纹层理(图2-c)等;主要层面构造有浪成波痕、干涉波痕、修饰波痕和微波痕(图2-d)。泥岩颜色为浅灰色-深灰色至杂色,颜色不均匀,其中常见立生植物根和泥裂,粉砂质泥岩和泥质粉砂岩中常见密集的细碎碳屑或碳屑层,并常见垂直、水平、倾斜生物潜穴。滩砂可进一步细分为滩脊和滩脊间两种微相^[12]。

坝砂分布在滩砂中,发育在浅湖地带,主要由灰色-灰绿色中-细砂岩、粉砂岩组成,少量含砾砂岩、

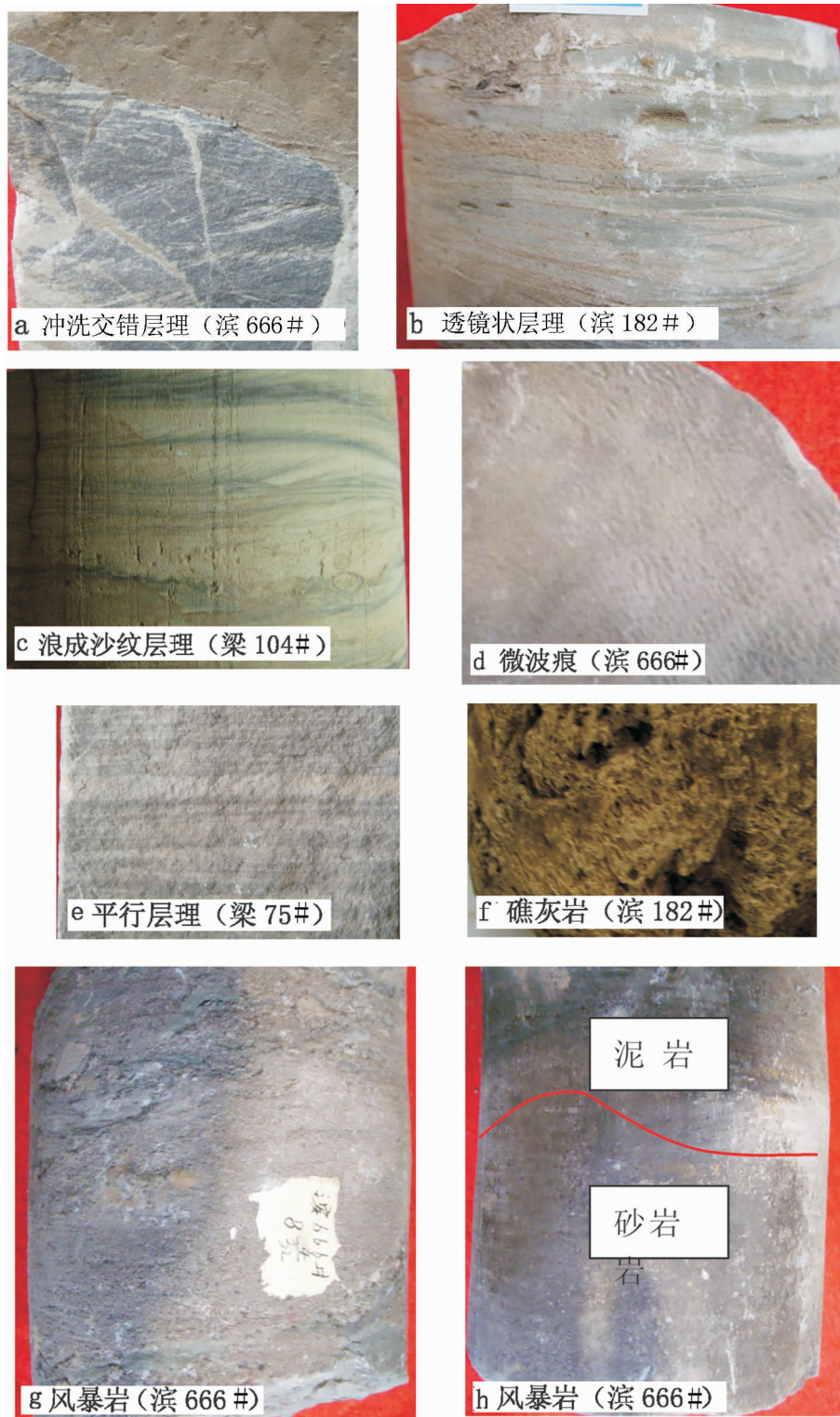


图 2 利津洼陷沙四上亚段岩心特征

Fig.2 Core characteristics of the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation

泥质粉砂岩。垂向上砂层层数少,但单砂层厚度较大,一般大于 2 m,粒序上既有正粒序又有反粒序;平面上呈细长带状或椭圆状。测井曲线呈齿化漏斗形、宽幅较厚指形或齿化箱形。粒度概率曲线由跳跃+悬浮两个次总体组成,其中跳跃总体常呈两段式,反映波浪来回冲刷的特点;也有呈滚动+跳跃+悬浮三段式的,但滚动组分含量少,一般 1%~5%。沉积构造主要有波状层理、楔状层理、块状层理和平行层理(图 2-e)等;主要层面构造有浪成波痕、剥离线理等。坝砂中泥岩颜色常呈灰色-深灰色,反映相对较深水环境。因离湖岸相对较远,砂岩中不含或含少量碳屑。坝砂可细分为坝主体和坝侧缘两种微相^[2]。

由于滩坝砂岩经受了波浪、湖流的反复冲刷和淘洗,分选好,少杂基,其孔渗性能往往较好,常成为很好的储集层,甚至是高产储层^[2]。但近岸滩坝和远岸滩坝因所处位置和经历成岩作用的不同其物性常常有差异。在本次研究中,远岸滩坝砂岩成分成熟度和结构成熟度均高于近岸滩坝砂岩,但原生孔隙度则近岸滩坝高于远岸滩坝。这是因为远岸滩坝砂岩往往经过较长距离的搬运筛选,又处于破浪带内,水体能量强,因此分选好磨圆度高,但由于靠近湖盆内部,水体古盐度高,碳酸盐胶结作用强,原生孔隙多数被充填,次生孔隙不发育。而近岸滩坝砂岩形成于碎浪带内,沉积时水体能量低于远岸滩坝,筛选程度低,所以分选和磨圆不及远岸滩坝,但由于靠近湖盆边缘,埋藏浅,压实作用相对弱;同时,水体被湖岸边缘补给水流稀释而盐度降低,不能形成大量的碳酸盐胶结物,从而保存了大量的原生孔隙。例如梁 109 井区属远岸滩坝砂岩,7 个样品石英含量 52%~55%,平均 53%;砂岩粒径 0.13~0.25mm;原生孔隙度 0.5%~3%,平均 1.3%,基本不发育次生孔隙,连通性较差。而滨 425 井区属近岸滩坝,34 个样品石英含量 40%~46%,平均 44%;砂岩粒径 0.06~0.13mm;原生孔隙度 0.5%~11%,平均 2.3%,次生孔隙平均 0.5%,连通性好。因此相比而言近岸滩坝物性优于远岸滩坝,是极好的储集体。

1.2 碳酸盐滩坝

碳酸盐滩坝多分布于临近物源区是碳酸盐岩、而附近无携带大量陆源碎屑砂泥的河流注入的较安静的湖湾地区。常由生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、内碎屑灰岩、藻丘(滩)灰岩或相当组分的白云岩构成,其沉积基底多数是潟湖泥,部分是砂质滩坝的坝基

或坝身^[1]。在岸边和水中隆起的高处往往发育鲕粒滩坝、生物贝壳滩坝,以迎风侧最为发育^[19]。

沙四上亚段时期,利津洼陷西部平方王地区为广阔的滨浅湖环境,缺少陆源碎屑,水体清澈,加之该地区为水下隆起区,因此沿隆起周围形成了碳酸盐滩坝沉积。主要岩性为礁灰岩(图 2-f)、生物灰岩、鲕状灰岩、石灰岩和白云质灰岩。石灰岩和白云质灰岩中常发育平行层理、微波状层理和块状层理;生物灰岩中主要生物化石为介形虫。

由于碳酸盐岩的不稳定性,其往往发生多种沉积后作用^[19],因而具有较高的孔隙度。如滨 182 井 1630~1692 m 井段 17 个样品薄片观察结果为,粒间孔 0.5%~25%、粒内溶孔 0.5%~5%,平均总面孔率为 7%,连通性好。因此碳酸盐滩坝也是良好的储集体。

1.3 风暴滩坝

利津洼陷沙四上亚段时期,除发育正常滨浅湖滩坝外,在滨 666、滨 420、梁 109、梁 103 等井区半深湖泥岩中还发育风暴滩坝,以前多数研究人员认为是浊积岩^[18]。本次通过岩心观察认为属典型的风暴滩坝,具有明显的风暴成因构造如洼状-丘状层理、泥岩撕裂屑(图 2-g)、截切构造(图 2-h)等。风暴岩主要由灰色粉砂岩、粉细砂岩和细砂岩组成,少量泥质粉砂岩,含泥砾(屑)。常呈下逆上正粒序,也有呈正粒序的,类似于鲍玛序列的粒序层段,常作为正常滩坝沉积基座,如梁 109 井 3317~3321m 就是一套风暴岩基座滩坝。风暴岩与正常滨浅湖滩坝的重要区别在于具有风暴成因构造,砂岩颜色为灰色,但互层泥岩呈均匀的深灰色,显示较深水环境。主要是由台风、冬季风暴、地震等作用引发的风暴回流搅动、搬运早期所形成的近岸浅水砂体或早期形成的滩坝在半深湖沉积而成。尤其当湖盆开阔、湖面宽、水体浅时,更易形成风暴岩。

2 滩坝平面展布

根据已有的研究成果,结合实际勘探需要,以层序内准层序组为基本单元开展了滩坝分布规律研究。按照层序地层学研究结果,将沙四上亚段划分为 1 个层序 3 个体系域(LST、TST、HST),根据地层组合及叠加样式进一步细分为 7 个准层序组(图 3~4),层序顶底界分别为 E_{S_3}/E_{S_4} 上分界(T_6^{\wedge})和 $E_{S_4}^{\pm}/E_{S_4}^{\downarrow}$ 分界(T_7^{\wedge})。在地震反射剖面上,层序底界面(T_7^{\wedge})表现为界面之下地震反射波的削蚀,层序顶界面(T_6^{\wedge})表

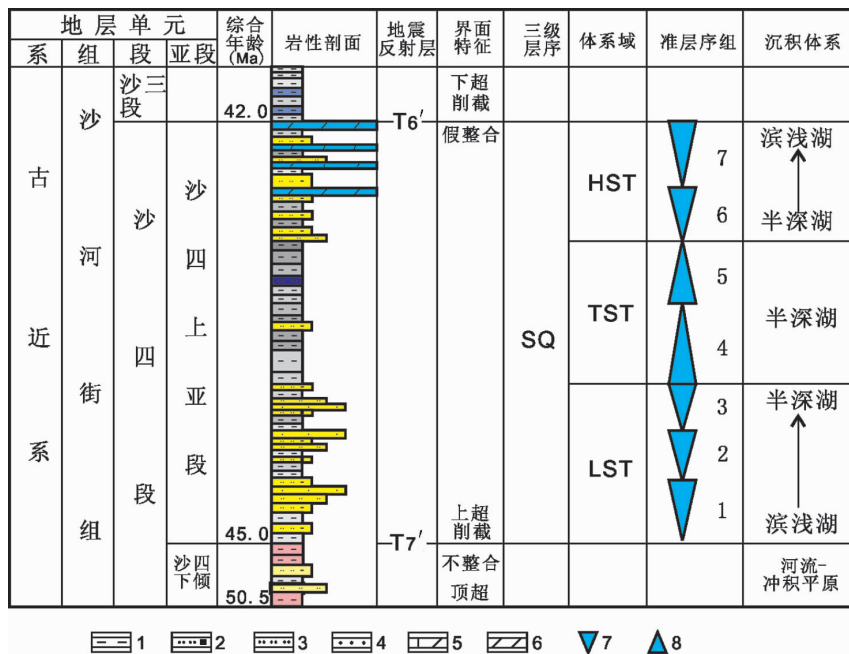


图 3 利津洼陷沙四上亚段层序地层划分

1—泥岩; 2—泥质粉砂岩; 3—粉砂岩; 4—细砂岩; 5—灰质云岩; 6—白云岩; 7—进积准层序组; 8—退积准层序组; HST—高位体系域; TST—湖侵体系域; LST—低位体系域

Fig. 3 Sequence stratigraphic classification in the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation

1—Mudstone; 2—Pelitic siltstone; 3—Siltstone; 4—Fine sandstone; 5—Calcareous dolostone; 6—Dolomite; 7—Progradation parasequence set; 8—Retrogradation parasequence set; HST—Highstand systems tract; TST—Transgressive systems tract; LST—Lowstand systems tract

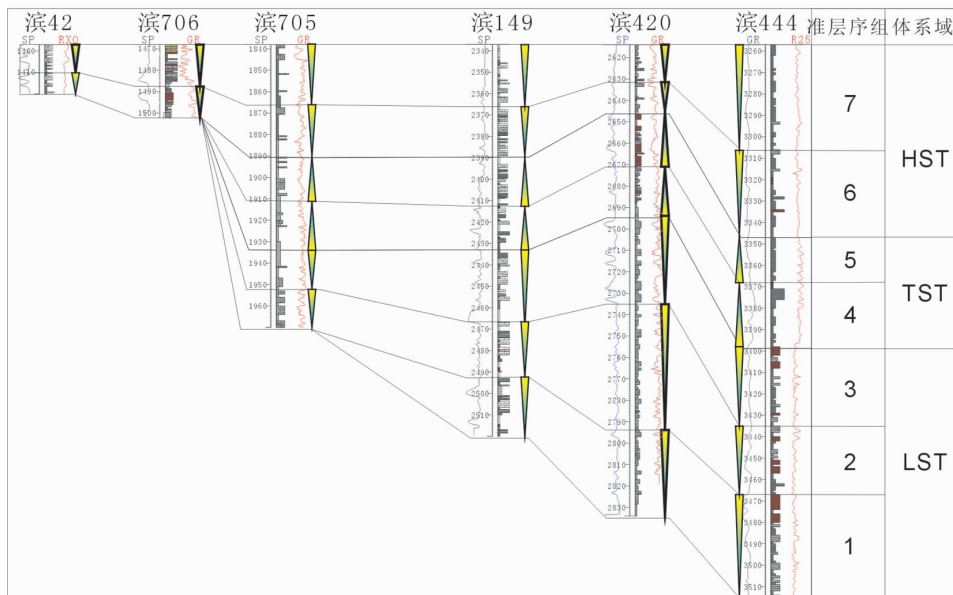


图 4 利津洼陷沙四上亚段滨 42—滨 444 井东西向层序对比剖面

HST—高位体系域; TST—湖侵体系域; LST—低位体系域

Fig.4 Columns of E-W-trending sequences in wells Bin42 to Bin444 of the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation

HST—Highstand systems tract; TST—Transgressive systems tract; LST—Lowstand systems tract

现为界面之上地震反射波的顶超。地震反射特征从洼陷中心向盆地边缘迅速上超。

2.1 低位域(LST)

低位域时期,湖盆面积小、水体浅,晚期湖水变深。

低位域划分为3个进积准层序组,其滩坝分布特征为(图5):①准层序组1时期,水位最低,滨县凸起南发育扇三角洲,扇三角洲砂体为滩坝的形成提供了物源,在其前缘滨420、滨437、利57等井区形成了一块独立的带状滩坝分布区;在平方王凸起周围梁90、梁225、梁223等井区及南部缓坡带梁220、梁110、梁109等井区发育两块大面积席状滩坝,另有部分井区发育孤立椭圆状滩坝。该时期以利57、梁90井滩坝砂岩厚度最大,为31.3 m和30 m。

②准层序组2时期,水深略有增加,扇三角洲前缘滩坝比准层序组1面积更广,形成两块较大面积的席状分布区,尤其在滨420、滨437、利57等井区发育较厚的坝砂体;在平方王凸起周围及南部缓坡带滩坝仍继承性发育,呈席状或带状分布,另有部分井区发育孤立椭圆状滩坝。该时期以滨437井砂岩厚度最大,为30.6 m。

③准层序组3时期,水深增加,半深湖范围明显扩大,在扇三角洲前缘半深湖区发育大面积风暴滩坝;平方王凸起南侧发育滨浅湖滩坝;南部缓坡带半深湖区发育风暴滩坝。以滨666、滨420、梁109等井区风暴滩坝最为发育。该时期以滨437井砂岩厚度最大,为33.6 m。

在整个低位域,湖平面呈“脉动式”上升即以湖进为主间歇性有湖退,但总体湖水逐渐变深,砂岩粒度变细,厚度变薄,砂岩百分比变小,滩坝在垂向上呈“多层楼”弱退积式叠加(图3),但在准层序组内

呈“多层楼”弱退积式叠加(图3),但在准层序组内

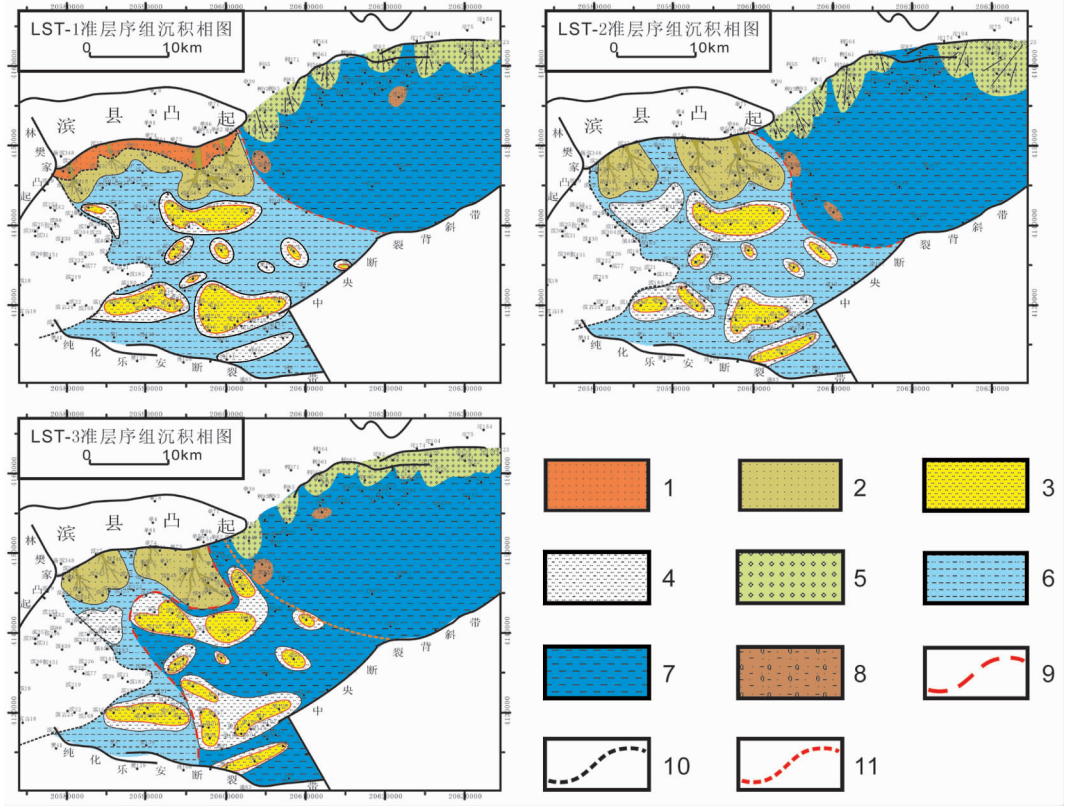


图5 低位域(LST)滩坝平面展布

- 1—扇三角洲平原;2—扇三角洲前缘;3—坝砂;4—滩砂;5—近岸水下扇;6—滨浅湖;7—半深湖—深湖;
- 8—浊积岩;9—浪基面;10—湖岸线;11—风暴浪基面

Fig.5 Beach-bar distribution map of LST

- 1—Fan delta plain;2—Fan delta front;3—Bar sand;4—Beach sand;5—Nearshore subaqueous fan;6—Shore lake and shallow lake;7—Semi-deep and deep lakes;8—Turbidite;9—Wave base;10—Lake strandline;11—Storm wave base

呈进积式叠加。

2.2 湖侵域(TST)

湖侵域时期,湖岸线向西延伸,湖盆水体面积增大,水深增加。

湖侵域划分为 2 个准层序组,其沉积相分布特征为(图 6):①准层序组 4 时期,扇三角洲前缘滨浅湖滩坝发育规模明显变差,仅为狭窄的条带状;半深湖风暴滩坝比较发育,呈席状或条带状分布;平方王凸起南侧滨浅湖滩坝仍继承性发育。该时期砂体厚度明显减薄,最大厚度为滨 670 井 19.2 m。②准层序组 5 时期,扇三角洲前缘滩坝和半深湖风暴滩坝较准层序组 4 变差,基本呈孤立的椭圆状,连通性差;平方王凸起侧滩坝比较发育。该时期砂体厚度较薄,最大厚度为梁 90 井 19.5 m。

整个湖侵域时期,滩坝发育程度较低位域明显变差,分布面积小,砂体厚度变薄,连通性变差,呈退积式叠加。

2.3 高位域(HST)

高位域时期,湖盆水体面积较湖侵域变化不大,但水深变浅,半深湖范围变小。

高位域划分为 2 个准层序组,其沉积相分布特征为(图 7):①准层序组 6 时期,滨浅湖滩坝呈孤立

的小椭圆状分布,连通性差,在滨 180、滨 184、滨 185 等井区发育碳酸盐滩坝。砂体厚度整体较薄,最大厚度为滨 404 井 23.2 m。②准层序组 7 时期,随半深湖范围变小滨浅湖滩坝规模进一步变小,仅呈孤立的零星小椭圆状,但碳酸盐滩坝比较发育,呈半环带状分布,如滨 182 井礁灰岩、灰岩厚 16 m,滨 184 井灰岩厚 28 m。

整个高位域时期,滩坝发育程度最差,分布面积小,连通性差,但该时期发育碳酸盐滩坝。

3 滩坝控制因素

通过对滩坝沉积特征及在准层序组内的展布变化,可以看出滩坝砂岩的形成和分布受多种因素所控制,归结起来主要有波浪、物源和盆地的构造特点及古地貌等因素,并且各因素并不是孤立的发挥作用,而波浪主要受古气候(主要是风)影响,因此可以概括为“气(气候)-源(物源)-盆(盆地)”系统控制滩坝。

在湖泊滨浅湖地区,波浪作用强烈,其反复作用导致沉积物二次分配,但波浪的产生又与湖盆的古气候即风有关。在广阔的湖盆环境中,风对湖水水面产生摩擦力引起湖水运动(即风生流)出现波浪。而

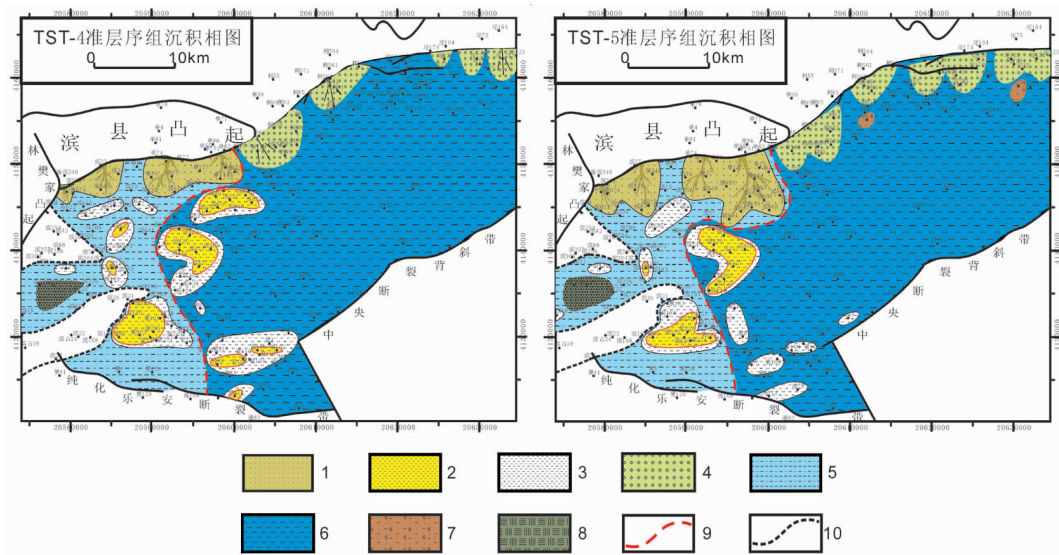


图 6 湖侵域(TST)沉积相平面展布

1—扇三角洲前缘;2—坝砂;3—滩砂;4—近岸水下扇;5—滨浅湖;
6—半深湖—深湖;7—浊积岩;8—局限湖;9—浪基面;10—湖岸线

Fig.6 Distribution of TST sedimentary facies.

1-Fan delta front;2-Bar sand;3-Beach sand;4-Nearshore subaqueous fan;5-Shore lake and shallow lake;6-Semi-deep and deep lakes;7-Turbidite;8-Restricted lake;9-Wave base;10-Lake strandline

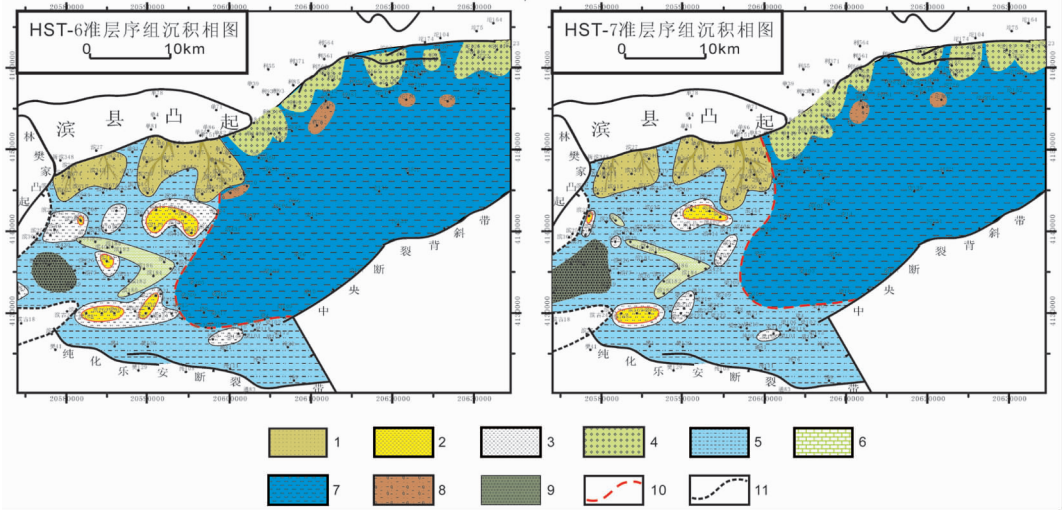


图7 高位域(HST)沉积相平面展布

1—扇三角洲前缘;2—坝砂;3—滩砂;4—近岸水下扇;5—滨浅湖;6—碳酸盐滩坝;
7—半深湖—深湖;8—浊积岩;9—局限湖;10—浪基面;11—湖岸线

Fig.7 Distribution of HST sedimentary facies

1-Fan delta front;2-Bar sand;3-Beach sand;4-Nearshore subaqueous fan;5-Shore lake and shallow lake;6-Carbonate beach bar;7-Semi-deep and deep lakes;8-Turbidite;9-Restricted lake;10-Wave base;11-Lake strandline

波浪作用最终取决于风力、风向以及风的持续时间。

利津洼陷滩坝砂体的形成正是“气(气候)-源(物源)-盆(盆地)”三要素所构成的系统产物。

3.1 气

主要指古气候,包括古风向、古风力等。

胜利油田通过研究滨浅湖滩坝砂岩层理方向,来判断古水流方向(表1)。高89-11位于利津南部博兴洼陷内斜坡,沙四段时期其古水流方向为东西向。在滨浅湖远岸环境中,古水流方向基本平行于古风向,结合准层序组7碳酸盐滩坝呈环带状分布、迎风面发育(图7)的特点,可以判断该时期东营凹陷主风向为东风。受东风影响,波浪向西传播,在滨县凸起和平方王凸起受阻(图8),形成向南的沿岸流和向洼陷内的冲刷回流,将北部滨县扇三角洲砂体进行二次分配,在扇三角洲前缘的前方或侧缘、南部缓坡带等滨浅湖区沉积形成大面积滩坝。

3.2 源

滩坝的形成其物源主要来自波浪对早期形成砂体的改造和二次分配,从“源控论”的观点物源对滩坝的影响相对较弱,但利津洼陷滩坝的形成其初始物源来自扇三角洲,正是由于扇三角洲提供了足够的物源,而这些砂体又被持续不断的波浪所搬运和

表1 高89-11井砂体古水流方向统计(据胜利油田资料)

Table 1 Statistics of paleocurrent directions of sandbodies in well Gao 89-11 (Data from the Shengli Oilfield)

层组	井段/m	厚度/m	微相类型	层理类型	砂岩层理方向	古水流方向	
沙四段	2971.0	2971.7	0.7	滩砂	斜层理	NEE	WE
	2972.5	2973.0	0.5	滩砂	斜层理	NEE	WE
	2973.5	2974.5	1.0	滩砂	斜层理	NEE	WE
	2976.3	2979.0	2.7	坝砂	斜层理	NEE	WE
	3003.0	3003.8	0.8	滩砂	斜层理	NEE	WE
	3017.5	3020.0	2.5	坝砂	斜层理	NEE	WE
	3088.0	3092.0	4.0	坝砂	斜层理	NEE	WE

再分配,从而在扇三角洲前缘及更远的地区形成大面积的滩坝分布,尤其在扇三角洲前面或其侧缘滩坝,厚度常较大。特别在层序格架内,在低位域低可容空间下^[22-23],物源供应充足,滩坝非常发育;在湖侵域和高位域,可容空间大物源供应相对不足^[22-23],滩坝发育变差,甚至在高位域出现了碳酸盐滩坝。

3.3 盆

盆即湖盆,包括湖盆的构造地理位置、古地貌及湖盆水体的波动变化。利津洼陷是一北东-南西向盆地(图1),北陡南缓,地势上北高南低,尤其洼陷西部为滨县凸起和平方王凸起,这种地理景观在波

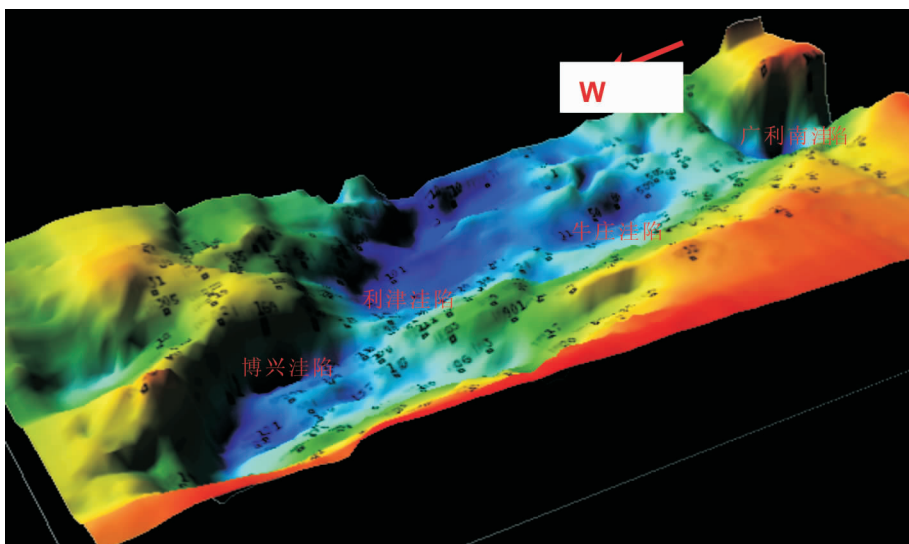


图 8 东营凹陷沙四上低位域时期顶部构造图

Fig.8 Top Structural map of the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation during LST in the Dongying subbasin

浪向西传播过程中,受滨县凸起和平方王凸起阻挡极易形成回流和向南的沿岸流,从而搬运沉积物向洼陷内和向南移动。南部缓坡带总体地形平缓,但在向南部博兴洼陷过度区有一条近东西向的低凸起带,这为滩坝的形成创造了极佳的地理条件,从而在南部形成了近东西向、较大规模的带状滩坝分布区(图 5)。同时由于湖平面的波动变化导致湖岸线的迁移,造成物源供应量的相对变化,在低位期物源供应较强,滩坝最发育。

从以上分析看出,滩坝的形成和分布是气-源-盆三要素共同作用的结果,三者相辅相成,互相作用,因此可以说是“气-源-盆”系统控制了滩坝的形成。

4 结论

运用沉积学、层序地层学理论,结合岩心、测井、录井和地震等资料分析,将沙四上亚段划分为 1 个三级层序 3 个体系域,细分为 7 个准层序组。准层序组 1、2 滨浅湖滩坝最为发育,6、7 发育最差;准层序组 3、4 风暴滩坝最为发育;准层序组 6、7 发育碳酸盐滩坝。对滩坝的控制因素进行了分析,认为利津洼陷滩坝受古气候、古物源和古湖盆等综合因素即“气(气候)-源(物源)-盆(盆地)”三者构成的系统所控制,提出了“气-源-盆”系统控滩坝的研究

新思路,有助于更全面研究滩坝的形成及分布规律,增加预测性。

参考文献(References):

- [1] 荣启宏,蒲玉国,李道轩,等.复杂断裂低渗透薄互层纯化油田开发模式[J].石油勘探与开发,2001,28(5):64-71.
Rong Qihong, Pu Yuguo, Li Daoxuan, et al. The development model of complex fault, low-permeability and thinly interbed reservoir in Chunhua Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(5):64-71(in Chinese with English abstract).
- [2] 薛维志,王永卓,王凤来.大庆低渗透薄互层油气藏勘探技术系列建立与发展[J].资源·产业,1999,(9):11-13.
Xue Weizhi, Wang Yongzhuo, Wang Fenglai. Establishment and development of thinly interbed hydrocarbon reservoirs exploration technology of the Daqing low permeable oilfield [J]. Resources & Industries, 1999, (9):11-13(in Chinese).
- [3] 赵庆辉.薄互层状普通稠油油藏注热水开发的可行性研究[J].中国海上油气,2005,17(4),251-255.
Zhao Qinghui. Feasibility study on hot water injection development of thinly interbedded layers, normal heavy oil reservoirs [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(4), 251-255(in Chinese).
- [4] 贾承造,赵文智,邹才能,等.岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[J].石油勘探与开发,2007,34(3):257-272.
Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Geological theory and exploration technology for lithostratigraphic hydrocarbon reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 257-272(in Chinese with English abstract).
- [5] 贾承造,赵文智,邹才能,等.岩性地层油气藏勘探研究的两项核

- 心技术[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3):3-9.
- Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Two key technologies about exploration of lithostratigraphic reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31 (3):3-9 (in Chinese with English abstract).
- [6] 郝芳, 邹华耀, 方勇. 隐蔽油气藏研究的难点和前沿[J]. 地学前缘, 2005, 12(4):481-488.
- Hao Fang, Zou Huayao, Fang Yong. The difficulties and frontiers of subtle hydrocarbon reservoir research [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4):481-488(in Chinese with English abstract).
- [7] 李丕龙, 庞雄奇, 张善文, 等. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳拗陷为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
- Li Pilong, Pang Xiongqi, Zhang Shanwen, et al. The formation of subtle hydrocarbon reservoir in terrigenous fault basin—a case of Jiyang Depression [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004(in Chinese).
- [8] 李丕龙, 金之钧, 张善文, 等. 济阳拗陷油气勘探现状及主要研究进展[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3):1-4.
- Li Pilong, Jin Zhijun, Zhang Shanwen, et al. The present research status and progress of petroleum exploration in the Jiyang Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (3):1-4(in Chinese with English abstract).
- [9] 朱筱敏, 信荃麟, 张晋仁, 等. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报, 1994, 12(2):20-27.
- Zhu Xiaomin, Xin Quanlin, Zhang Jinren, et al. Sedimentary characteristics and models of the beach-bar reservoirs in faulted down lacustrine basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(2): 20-27(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈世悦, 杨剑萍, 操应长, 等. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3):1-4.
- Chen Shiyue, Yang Jianping, Cao Yingchang, et al. Sedimentary characteristics of two kinds of beach-bar of Oligocene Shahejie Formation in western Huimin Depression, China[J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(3):1-4(in Chinese with English abstract).
- [11] 邹金华, 张哲, 王柏轩. 东营凹陷沙一段滩坝—泻湖沉积体系和层序发育的控制特点 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 23(1):21-25.
- Wu Jinhua, Zhang Zhe, Wang Baixuan. Barrier-lagoon sedimentary system and sequence development control of Shahejie Formation member 1 of Dongying Sag [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(1):21-25(in Chinese with English abstract).
- [12] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
- Li Pilong. The oil-pool geology and exploration of continental rifted basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003 (in Chinese with English abstract).
- [13] 才巨宏. 综合应用波形分析及地震特征反演技术预测滩坝砂岩——以博兴洼陷梁 108 地区为例 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3):42-44.
- Cai Juhong. Comprehensive application of technology with wave form analysis and seismic characteristic inversion to beach-bar sandstones prediction—taking the area of Liang 108 in Boxing Subsag as an example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(3):42-44(in Chinese with English abstract).
- [14] 李桂芬. 利用沉积厚度图探索沙四段滩坝砂体的分布规律[J]. 内蒙古石油化工, 2006, (4):125-126.
- Li Guifen. Distribution regularity of beach-bar sandstones of Shahejie Formation member 4 of Dongying Sag by depositional thickness map [J]. Inner Mongolian Petrochemical Industry, 2006, (4):125-126(in Chinese).
- [15] 刘书会. 薄层属性分析中存在的问题及解决方法——以东营凹陷梁 108 地区滩坝砂岩为例 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13 (2):56-58.
- Liu Shuhui. Problems in thin-layer attribute analysis and solved methods—a case study in beach bar sandstones in Liang108 area of Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006,13(2):56-58(in Chinese with English abstract).
- [16] 倪超, 纪友亮. 饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及沉积体系研究 [J]. 中国地质, 2006, 33(1):193-200.
- Ni Chao, Ji Youliang. Sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation in the Raoyang subbasin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):193-200(in Chinese with English abstract).
- [17] 戴朝强, 张金亮. 鲁北济阳拗陷东营凹陷南坡沙河街组第四段上亚段高分辨率层序地层格架 [J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1168-1174.
- Dai Zhaoqiang, Zhang Jinliang. High-resolution sequence stratigraphic framework of the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation on the southern slope of the Dongying subbasin, northern Shandong, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9/10):1168-1174(in Chinese with English abstract).
- [18] 赵澄林, 张善文, 袁静. 胜利油区沉积储层与油气 [M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
- Zhao Chenglin, Zhang Shanwen, Yuan Jing. Depositional Reservoir and Hydrocarbon of Shengli oil Region [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999(in Chinese).
- [19] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
- Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003(in Chinese).
- [20] 孙锡年, 刘渝, 满燕. 东营凹陷西部沙四段滩坝砂岩油气成藏条件[J]. 国外油田工程, 2003, 19(7):24-25.
- Sun Xinian, Liu Yu, Man Yan. The oil-pool forming condition of beach-bar sand of Sha-4 Member in western Dongying Sag [J]. External Oilfield Engineering, 2003,19(7):24-25(in Chinese with English abstract).
- [21] 袁选俊. 湖盆砂体类型及其沉积特征与含油性 [C]//胡文瑞, 等主编. 岩性层油气藏勘探理论与实践. 北京:石油工业出版社 2005:72-127.
- Yuan Xuanjun. The lake basin sand body type and its sedimentary

- characteristics and oil-bearing features[C]//Hu Wenrui, et al. The Exploration Theory and Practice of Lithostratigraphy Hydrocarbon Reservoir. Beijing:Petroleum Industry Press, 2005:72-127 (in Chinese).
- [22] 吴因业, 邹才能, 季汉成. 中国层序地层学导论[M]. 北京:石油工业出版社, 2005.
Wu Yinye, Zou Caineng, Ji Hancheng. China Sequence Stratigraphy Introduction [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2005(in Chinese).
- [23] 邓宏文, 王红亮, 祝永军. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社, 2002.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun. High-Resolution Sequence Stratigraphy—Principle and Application[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2002(in Chinese).

Sedimentary characteristics and controlling factors of beach bars in the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation in the Lijin subasin

LI Guo-bin^{1,2}, JIANG Zai-xing², CHEN Shi-wang²,
FENG Lei², ZHANG Shan-wen³, SUI Feng-gui⁴, LIU Hui-min⁴

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Beijing 100083, China; 2. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257001, Shandong, China; 4. Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: Based on an analysis of the core, well logs and seismic data and by using sedimentological and sequence stratigraphical theories, the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation in the Lijin subbasin is divided into one sequence and three systems tracts and subdivided into seven parasequence sets. The sedimentary characteristics of beach-bar sandstone and its distribution in the parasequence sets have been studied. The beach bars of lakeshores and shallow lakes in parasequence sets 1 and 2 are best developed and storm beach bars of parasequence sets 3 and 4 are also best developed. The sandy beach bars in parasequence sets 6 and 7 are poorly developed but carbonate beach bars are well developed. The controlling factors of beach bars are analyzed. The paper presents the concept of controls on beach bars by the system of "paleoclimate-provenance-basin". This concept is an improvement and supplement of the traditional "source-controlled theory" and may more rationally explain the origin and distribution of beach bars.

Key words: Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation; beach bar; sedimentary characteristics; areal distribution; controlling factor; systems theory; Lijin subbasin

About the first author: LI Guo-bin, male, born in 1967, senior engineer and Ph.D candidate, engages in the study of sequence stratigraphy and sedimentology; E-mail: ligb615@163.com.