

白音查干凹陷下白垩统腾格尔组砾质滩坝沉积特征

高红灿¹,肖斌²,郑荣才³,刘云²,谭先锋¹,尚雅珍⁴,张彬⁵

(1. 重庆科技学院 石油与天然气工程学院,重庆 410331; 2. 中国石化 中原油田分公司 物探研究院,河南 濮阳 457001;

3. 成都理工大学 油气藏地质与开发工程国家重点实验室,四川 成都 610059; 4. 中国石化 中原油田分公司

勘探开发科学研究院,河南 濮阳 457001; 5. 中国石化 中原石油工程有限公司 钻井二公司,河南 濮阳 457001)

摘要:为了阐明二连盆地白音查干凹陷南部缓坡带达尔其—锡林好来地区结合部的下白垩统腾格尔组底部砾质滩坝沉积特征,在区域地质背景分析基础上,应用岩心和测井等资料,通过砾质滩坝砾岩的空间发育、结构、沉积构造及垂向沉积序列等特征分析,指出砾质滩坝砾岩呈薄层夹于泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩沉积中;砾质滩坝砾岩中砾石磨圆较好但分选较差,杆状、扁平状砾石相对较多;砾石最大扁平面/长轴相对具一定的双向排列;砾质滩坝底部与泥石流沉积呈渐变接触并呈逆粒序,而顶部与浅湖泥或泥石流沉积多呈突变接触,整体上表现为逆—正粒序、正—逆粒序等的垂向交替变化。研究区砾质滩坝的沉积模式主要为滨浅湖波浪对早期泥石流沉积进行淘洗、簸选,其中易搬运的细粒碎屑被带入浅湖形成砂质滩坝,而难搬运的砾石则留在原地形成砾质滩坝,二者之间可能发育有沟槽。其形成条件主要有4个——较强的水动力、较平坦的地形、低位体系域发育期以及适量的物源。

关键词:砾质滩坝;腾格尔组;下白垩统;白音查干凹陷;二连盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics of gravelly beach-bar in the Lower Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan sag, Erlian Basin

Gao Hongcan¹, Xiao Bin², Zheng Rongcai³, Liu Yun², Tan Xianfeng¹, Shang Yazhen⁴, Zhang Bin⁵

(1. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 410331, China; 2. Geophysical Research Institute of Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China; 3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 4. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China; 5. No. 2 Drilling Company, Zhongyuan Petroleum Engineering Co. Ltd., SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China)

Abstract: In order to demonstrate the sedimentary characteristics of gravelly beach-bar in the Lower Cretaceous Tenggeer Formation in the joint area of the Xilinhaolai and Daerqi of the southern gentle slope of the Baiyinchagan sag, Erlian Basin, abundant cores and logging data were utilized to analyze the spatial distribution, texture, sedimentary structure and vertical sedimentary sequences in the context of regional geological setting. The beach-bar conglomerates occur in the debris flow conglomerates and pebble sandstone-mudstone as thin interbeds, featuring in fair roundness but worse sorting, relative abundance of pebbles with barred and flat shape, and Janus configuration of maximum flat plain/major axis. It is in gradational contact with the underlying debris-flow deposits featuring in reverse grading, while it is in abrupt contact with the overlying shallow lake mudstones or debris-flow deposits, featuring, as a whole, in vertical alternation of reverse and normal grading. The sedimentary model in the study area is dominated by elutriation and winnowing of the early debris-flow deposits by the waves in the waterfront and shallow lacustrine. The fine-grained clasts were transported to the shallow lake to form the sandy beach-bar, while the pebbles stayed to form gravelly beach-bar, with troughs possibly occurring between these two deposits system. They were formed under 4 main conditions, namely the powerful water strength, low relief landform, low system tract (LST) and suitable sedimentary sources.

Key words: gravelly beach-bar, Tenggeer Formation, Lower Cretaceous, Baiyinchagan sag, Erlian Basin

滩坝是一种发育在滨浅湖高能环境的薄互层沉积^[1-8],是浅湖中常见的沉积类型。由于滩坝厚

收稿日期:2014-08-26;修订日期:2015-05-20。

第一作者简介:高红灿(1969—),男,副教授,沉积学。E-mail:gaohongcan@126.com。

基金项目:重庆市科委前沿与应用基础研究(一般)项目(cstc2014jcyjA90022);国家自然科学基金项目(41202043)。

度薄、横向变化大,所以隐蔽性强、勘探难度大。随着油气勘探的不断深入,在目前由构造油气藏勘探转向岩性-地层油气藏勘探阶段,滩坝砂体形成的岩性圈闭已成为油气勘探的一个重要方向。近年来,我国渤海湾盆地和准噶尔盆地等的滩坝油气藏勘探已获突破,特别是渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组四段上亚段(简称沙四上亚段)的滩坝油气藏勘探有广阔的前景^[4,8],从而进一步推动了滩坝沉积特征的研究。

按组成物质成分, 滩坝可分为由陆源碎屑物质组成的砂质(包括砾)滩坝和由湖内生物、鲕粒、内碎屑等碳酸盐物质组成的滩坝^[9]。多数湖泊内的滩坝以陆源碎屑砂质滩坝为主, 砾质滩坝较为稀少。砾质滩坝一般发育在基岩海岸附近, 在基岩风化剥蚀基础上, 经波浪和沿岸流等对基岩持续冲刷改造而成, 是一种典型的波浪作用下形成的海岸地貌^[10-11]。浙江朱家尖岛现代砾石海滩^[11]和烟台芝罘岛北岸现代海湾砾滩^[12], 以及古近纪沙四上亚段沉积期在东营凹陷博兴洼陷南部湖岸形成的砾石滩坝^[13]等都是在基岩基础上形成的。

2012年,中原油田为探索白音查干凹陷南部缓坡带岩性-地层油气藏,在锡林好来与达尔其地区的结合部实施了锡40井和锡43井钻探,揭示了腾格尔组底部分别发育有29 m和3 m厚的砂砾岩及含砾砂泥岩夹较纯净的薄层砾岩。人们对其中较纯净的薄层砾岩沉积环境的认识存在较大分歧,主要为河流沉积与砾质滩坝沉积之争。笔者通过国内外相关文献的深入调研和实际资料的综合分析,认为砂砾岩及含砾砂泥岩为水下扇泥石流沉积,而较纯净的薄层砾岩为泥石流沉积经波浪作用改造而形成的砾质滩坝沉积。

1 地质背景

白音查干凹陷位于二连盆地西缘川井坳陷的西北部,是在海西褶皱基底上发育起来的一个以下白垩统沉积为主的中生代断陷盆地,呈 NE-SW 向展布的狭长梭形,长约 127 km,宽约 12~33 km,面积约 3 200 km²。白音查干凹陷具南北分带、东西分区的构造特征。以翁特-毛呼一带近南北向的毛呼低凸构造转换带分割为三部分——西部洼陷、毛呼低凸起和东部洼陷(图 1)。东部洼陷以双断断槽式结构为主,面积约为 740 km²,发育较晚,沉积厚度薄,其勘探程度也较低;西部洼陷整体呈北断南超的箕状结构,面积约为 2 200 km²,发育较早,沉积厚度大,是白音查干凹陷的主体,也是油气勘探的重点,目前已发现有桑合、达尔其、锡林好来等

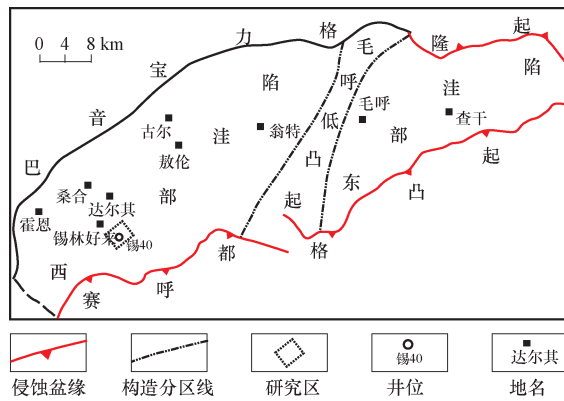


图1 白音查干凹陷早白垩世构造单元划分略图及研究区位置

Fig. 1 Structure units of the Early Cretaceous in Baiyinchagan sag and its geographical location

含油区块。研究区位于西部洼陷南部缓坡带的锡林好来地区与达尔其地区的结合部(图1)。

白音查干凹陷基底岩性为古生界变质岩和岩浆岩,沉积盖层为下白垩统巴彦花群(自下而上划分为阿尔善组、腾格尔组、都红木组和赛汉塔拉组)和厚度较小的上白垩统二连达布苏组,局部发育有新生界沉积。白垩系沉积厚度大于 5 000 m,其中,腾格尔组基本沉积特征为下粗上细,下灰上红,自下而上发育三个沉积单元:底部为灰-灰白色砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与灰色泥岩、粉砂质泥岩等呈互层;向上为暗色砂岩、含砾砂泥岩互层段,砂岩或泥岩中含有白云质;最上部为红色砂泥岩互层。整体上从凹陷西部向东部红层含量逐渐增多,从凹陷中央向边缘沉积物粒度逐渐变粗。本文研究的层位主要是腾格尔组底部灰色砂砾岩及含砾砂泥岩中所夹的较纯净薄层砾岩。

2 沉积特征

2.1 空间发育特征

横向上,一方面,白音查干凹陷南部缓坡带腾格尔组底部砂砾岩厚度等值线图及砂砾岩百分含量等值线图(图2)表明,研究区位于其西部的锡林好来三角洲和东部的达尔其三角洲之间,砂砾岩朵叶体不发育,其沉积背景以滨浅湖为主;另一方面,锡40井区发育的水下扇泥石流沉积规模较小,向前延伸不到锡8井,向后接近剥蚀区(图2,图3a),向东到锡43井泥石流沉积显著变薄,至达51井全部缺失,向西延伸不到锡1井(图2,图3b)。

纵向上,腾格尔组底部的锡 40 井第 1—2 次取心段岩心总长 17.17 m,其中泥石流沉积中所夹的较纯

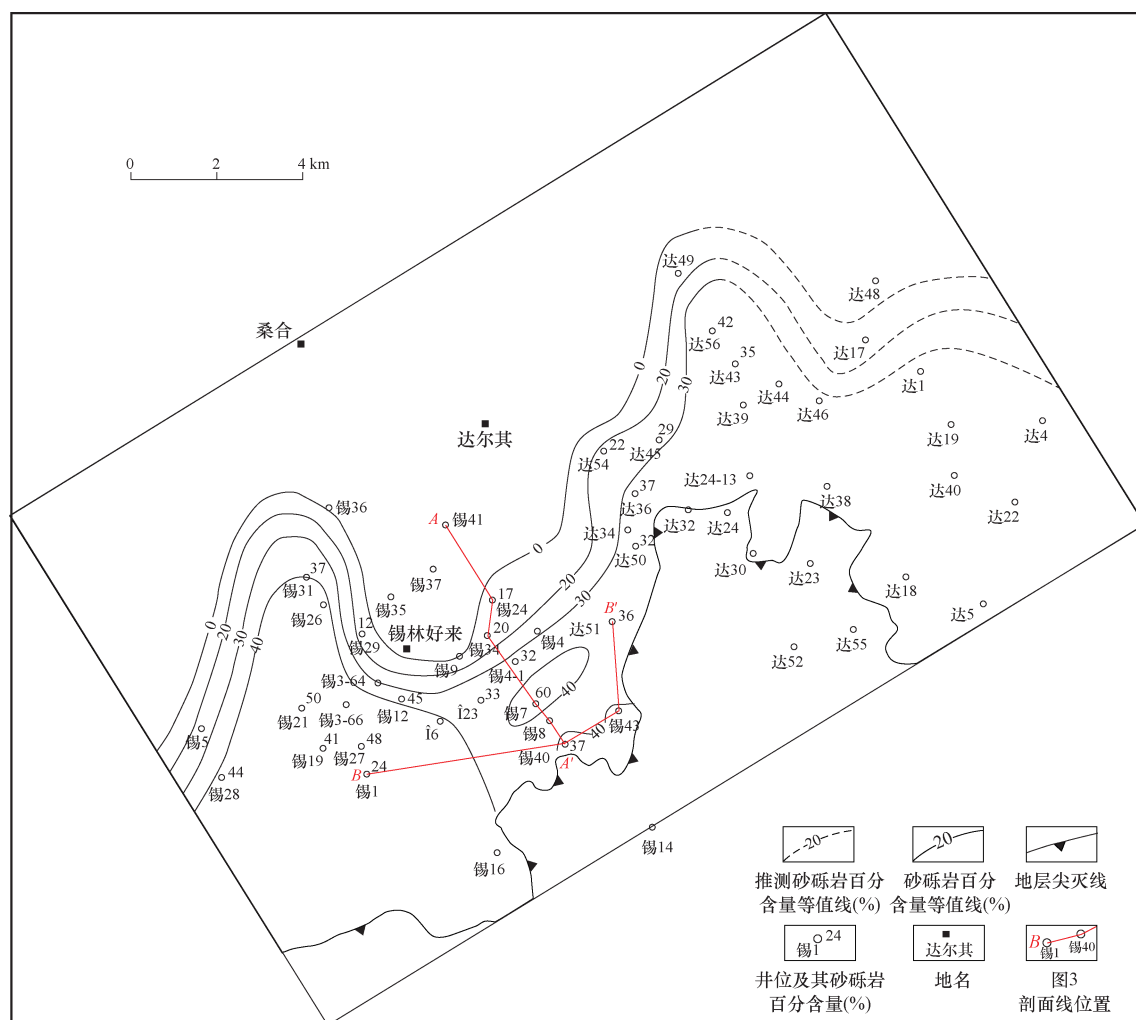


图2 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组底部砂砾岩百分含量等值线

Fig. 2 Conglomerate percentage content isoline map for the bottom of the Lower Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan sag

净砾岩层共11层,总厚度3.51 m,其中,单层砾岩厚度为0.2~0.6 m,平均0.32 m,仅占第1—2次岩心的20.4%(图4),其单层厚度为0.2~0.6 m,平均0.32 m,即较纯净的砾岩层呈薄层主要夹于泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩中。

从空间发育特征分析,在以砂砾岩及含砾砂泥岩快速堆积的泥石流沉积为主的区域背景下夹有较纯净的薄砾岩层,且发育在砂砾岩朵叶体不明显的滨浅湖地区,认为较纯净的薄砾岩层不应是具常年流水的河流所沉积的。因为一方面,研究区若发育有常年流水的河流,则应形成像其东、西两侧一样的三角洲朵叶体;另一方面,以泥石流沉积为主的区域背景一般不具备发育常年流水(即河流)的条件,只可能发育暂时性的季节流水,且其所搬运沉积的碎屑物质也不可能以砾石为主,即便是以砾石为主,其所形成的沉积层也不至于为平均厚度仅0.32 m的薄层。所以,研究区腾格尔组底部夹于泥石流沉积中的较纯净薄砾岩层不应是河流沉积,而应是早期沉积的泥石流经湖浪及沿岸流

进一步淘洗、簸选而成的砾质滩坝沉积,但与目前已知的砾质滩坝主要是在基岩风化剥蚀基础上经波浪改造而成的成因^[11-13]不同。

2.2 结构特征

砾石在波浪的往复推动和沿岸流的搬运作用下,砾石之间相互碰撞磨损,砾石的圆度由棱角状变为圆状^[14-15],但波浪作用对砾石的球度影响不大,基本保持了其原始的球度状态^[15],或因扁平状砾石的形状更易为波浪所作用,而球形砾石更易被搬运滑向更深水处,从而使得砾滩扁平状砾石富集^[14],因此,海滩砾石的最终形态为扁平状^[10]。

研究区锡40井腾格尔组底部的岩心中,较纯净薄层砾岩中砾石的磨圆较好,但分选较差,形状、大小不同的砾石堆积在一起,其中杆状、扁平状等呈一向或二向延伸的砾石相对较多(图5a,b,c)。分析其搬运过程不是以单向底负载滚动形式为主的长距离搬运(其以形成球状碎屑为主要特征),而是在较短距离内往复

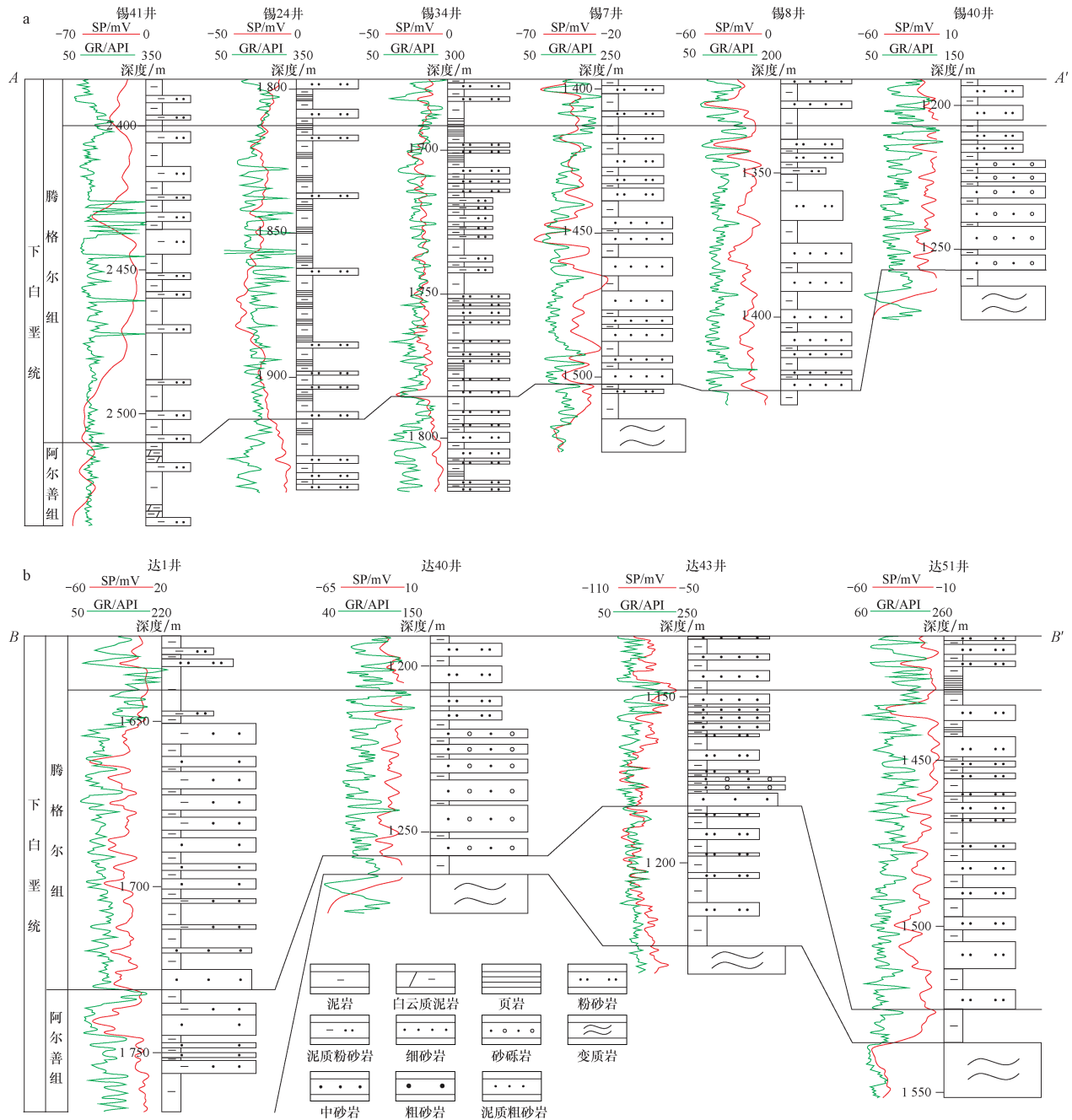


图3 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组底部地层对比(剖面位置见图2)

Fig. 3 Correlation map for the bottom of the Lower Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan sag (section location shown in Fig. 2)

搬运的磨蚀作用造成的,具滨岸波浪作用下砾石的结构特征,与上述所分析的研究区为滨浅湖沉积背景一致。

2.3 沉积构造及垂向沉积序列特征

通过对锡40井和锡43井腾格尔组底部泥石流沉积所夹的较纯净薄层砾岩岩心的详细观察。首先,其砾石最大扁平面/长轴相对具一定的双向排列(图5b),指示其受双向水流作用。其次,在较纯净砾岩的底部,砾岩与泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩之间呈渐变接触且呈逆粒序(图5)。指示较纯净砾岩层底部从渐

变接触处向上沉积水动力逐渐增大,分析砾岩的形成不是由单向牵引流通过底载荷方式(其以形成明显的冲刷面为特征)直接沉积于泥石流沉积之上,而是湖浪对前期形成的泥石流进行淘洗、簸选改造。在水—沉积物界面附近水动力最强,泥石流被淘洗得最彻底,细粒碎屑物质被波浪和离岸流带入浅湖,而粗粒的砾石因难以搬运而留在原地,从水—沉积物界面往下水动力逐渐减弱,被淘洗的越不彻底,细粒物质被带出的也越少,从而形成较纯净砾岩层底部的逆粒序沉积特征。最后,砾岩层的顶部与泥石流或浅湖泥多呈突变接触(图5)。其原因一方面主要是随着湖平面的上升,

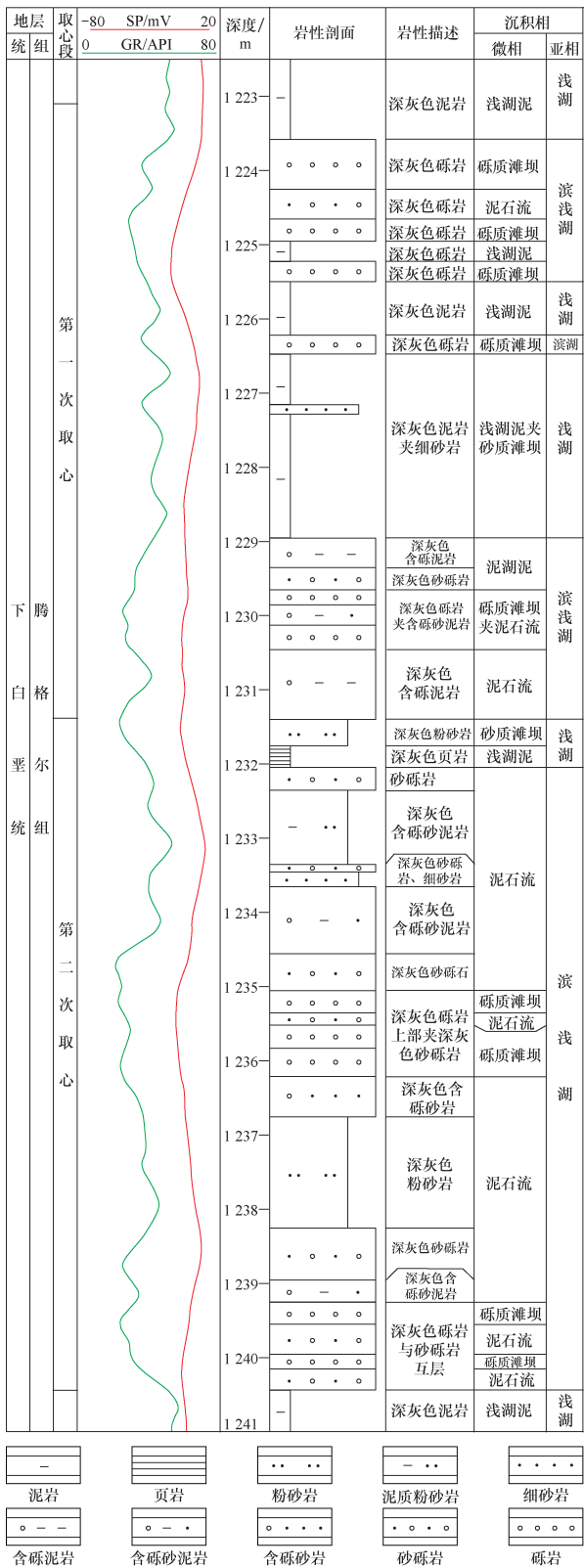


图 4 白音查干凹陷锡 40 井下白垩统
腾格尔组第一、二次取心柱状图

Fig. 4 Column of the first and second coring intervals of the Lower Cretaceous Tenggeer Formation in Well Xi40, Baiyinchagan sag
(取心深度校正为原深度减去 0.75 m)

水体变深,水—沉积物界面波浪作用力变弱,直至转变为浅湖泥沉积(图 5a,b);另一方面是由于下一次泥石流直接覆盖于砾岩层之上而使其顶面呈明显的突变接

触(图 5c)或近突变接触(图 5d)。此外,由湖平面升降变化引起的水—沉积物界面处水动力条件的变化、泥石流发育频率的高低与规模的大小,以及泥石流中碎屑颗粒大小的变化(与物源有关)等,可造成较纯净砾岩段中的逆—正粒序、正—逆粒序等的垂向交替变化(图 5),而不同于河流沉积典型的下粗上细的正韵律垂向结构特征。

3 讨论

3.1 滩坝的形成条件

1) 较强的水动力

滩坝的形成主要源于较强的水动力——波浪和沿岸流对前期沉积物的改造,较强的水动力是滩坝发育的必要条件。风成砂的古风向特征显示,华北地区晚侏罗世—早白垩世西北风盛行^[16]。白音查干凹陷早白垩世的西北风从其北部的陡坡带吹向南部的缓坡带,研究区正处于波浪终止和最终能量释放的南部缓坡迎风带,随着波浪向岸边传播而逐渐变形破碎,以至形成冲浪对湖岸进行冲刷,进而可对滨浅湖早期泥石流沉积物进行改造,形成滩坝沉积。

2) 较平坦的地形

在腾格尔组沉积前,位于南部缓坡带锡林好来地区与达尔其地区结合部的研究区一直为古隆起,经过阿尔善组沉积期的长期剥蚀夷平,变得较为平坦(图 6),有利于滩坝的形成。

3) 低位体系域沉积期

阿尔善组二段沉积期为白音查干凹陷构造演化的强裂陷期,沉积物以细粒的泥质为主,是白音查干凹陷的三套烃源岩之一。进入腾格尔组沉积期,白音查干凹陷的构造活动进一步加强,腾格尔组相对于阿尔善组二段粒度明显变粗,腾格尔组下段以砂砾岩、砂岩为主,特别是在北部陡坡带发育大量扇三角洲砂砾岩沉积,在南部缓坡带的研究区内,锡 40 井、锡 43 井区腾格尔组底部也发育有泥石流沉积,表明腾格尔组与阿尔善组之间发育有一层序界面,即腾格尔组底部为低位体系域沉积,水体相对较浅,为研究区滩坝形成创造了条件^[3-4]。与东营凹陷沙四上亚段滩坝主要发育在低位体系域内^[4]相一致。

4) 适量的物源

物源也是滩坝形成的一个重要条件。充足物源易于形成规模较大的(扇)三角洲,物源极度贫乏则无沉积,只有适量的物源才能为滩坝沉积创造条件。如在济阳拗陷古近系沙四上亚段沉积期,惠民凹陷西部物源供应很丰富,形成的三角洲规模较大,河流的冲刷作用强于波浪和湖流的作用而滩坝砂体不发育;但该区东营凹

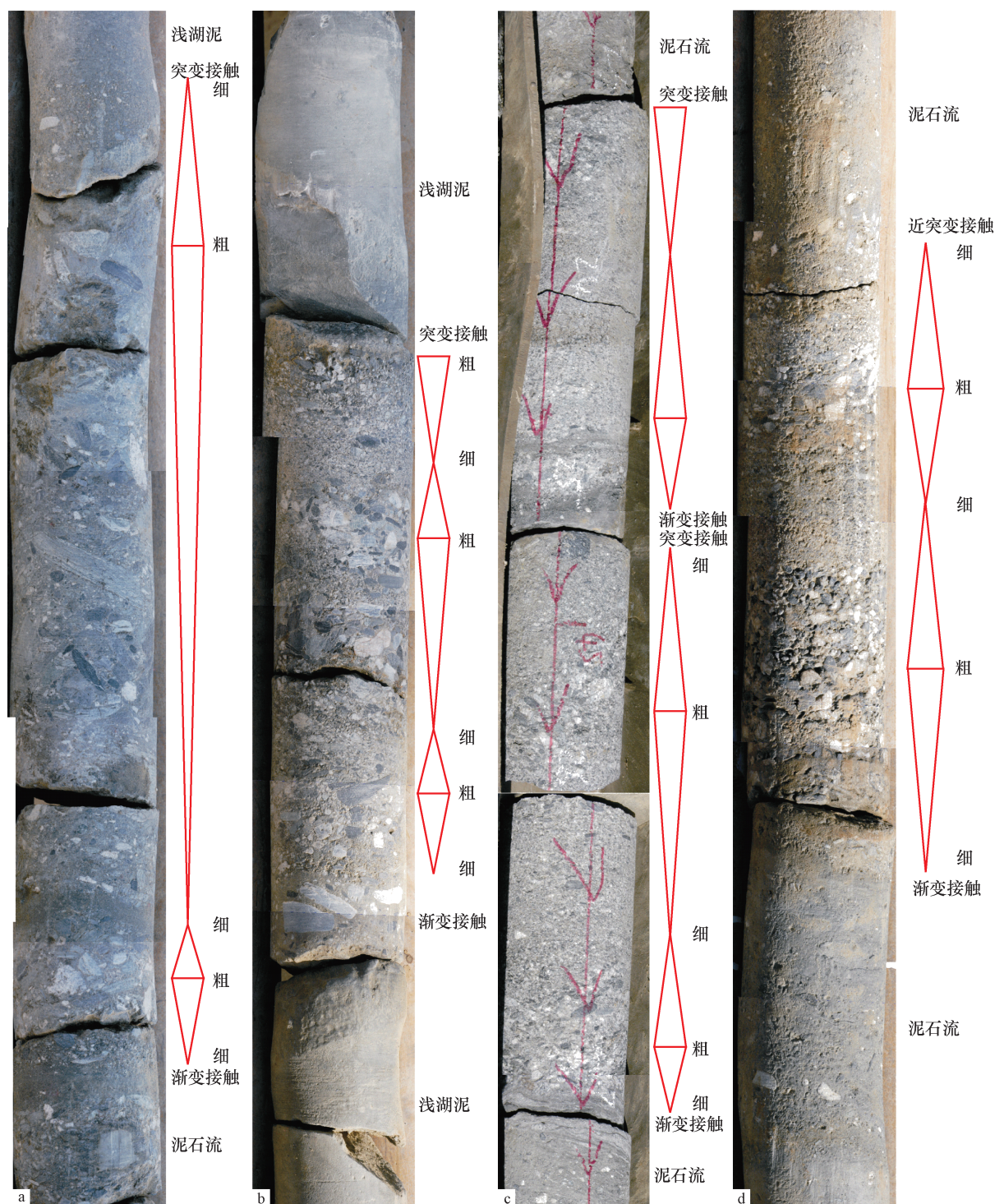


图5 白音查干凹陷锡40井下白垩统腾格尔组底部砾质滩坝岩心特征

Fig. 5 Core features of gravelly beach-bar in the bottom of the Lower Cretaceous Tenggeer Formation in Well Xi40, Baiyinchagan sag

a. 砾质滩坝砾岩段自底至顶呈逆—正—逆—正韵律变化,其底部与泥石流沉积呈渐变接触,顶部与泥石流沉积呈突变接触,砾岩中杆状、扁平状等砾石相对较多,1 223.54 ~ 1 224.33 m;b. 砾质滩坝砾岩段自底至顶呈逆—正—逆—正—逆韵律变化,其底部与泥石流/浅湖泥沉积呈渐变接触,顶部与浅湖泥沉积呈突变接触,砾质滩坝砾岩中杆状、扁平状等砾石相对较多,且砾石最大扁平面/长轴相对具一定的双向排列,1 225.04 ~ 1 225.68 m;c. 两个砾质滩坝的叠置,其砾岩段自底至顶分别呈逆—正—逆—正及逆—正—逆韵律变化,其底部与泥石流沉积呈渐变接触,顶部与泥石流沉积呈突变接触,砾岩中杆状、扁平状等砾石相对较多,1 235.46 ~ 1 236.27 m;d. 砾质滩坝砾岩段自底至顶呈逆—正—逆—正韵律变化,其底部与泥石流沉积呈渐变接触,顶部与泥石流沉积呈近突变接触,1 230.01 ~ 1 230.63 m

(取心深度为校正后的深度;岩心直径为10 cm。)

陷西缘的扇三角洲及南部鲁西隆起的物源供给量适中,从而在东营凹陷的博兴洼陷发育大面积的滩坝沉积^[17]。在下白垩统腾格尔组沉积早期,研究区东、

西两侧的锡林好来地区和达尔其地区由河流带入的碎屑物质丰富而形成大型三角洲,研究区虽然发育有水下扇泥石流快速堆积且期次较多,但其规模较小、厚

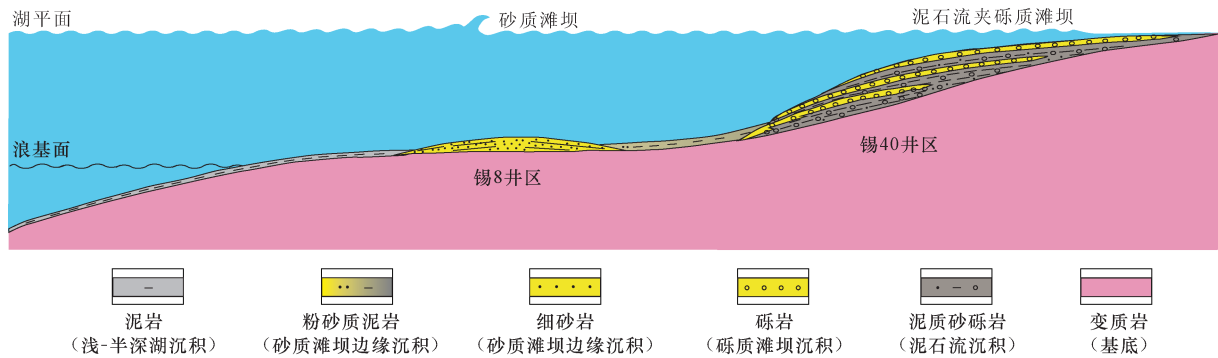


图7 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组砾质滩坝沉积模式

Fig. 7 Sedimentary pattern of gravelly beach-bar in the Lower Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan sag

锡43井区泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩被波浪和沿岸流淘洗、簸选出来的细粒碎屑物质。

3.3 沉积模式

对照海滩的6种形态^[18],即2个端元形态:地形非常平缓的消散型和地形陡峭的反射型,以及兼具两端元地形特征的4个中间形态:沿岸坝-槽型、韵律坝-滩型、横向坝-裂流型和沿岸坝-沟型或低潮阶地型。研究区一方面经过长期的剥蚀夷平而变得较为平坦(图6),另一方面锡40井、锡43井处所发育的泥石流快速堆积又使得研究区所处的湖盆边缘地区的地形相对较陡,即研究区所处的湖岸兼具上述海滩两个端元的地形特点。

波浪向湖岸传播,随着水深逐渐变浅而发生变形破碎,波浪破碎产生的卷跃浪水动力状态主要为涡流作用^[19],涡流首先刻蚀其下方滩面,并将裹挟的大量细粒物质以悬浮状态向浅湖搬运,粗粒物质选择滩面适宜部位(低压上升区)堆积下来,形成原始滩脊(坝)沟槽,同时沟槽中的沿岸流又对滩脊(坝)加以修饰改造,使它逐步从锥形增长、扩大,直至发育成一个完整的滩脊(坝)^[20]。由高陡的平直状或韵律状的坝、深的槽和相对较陡的陆上滩面构成的坝-槽体系(即海滩的两种中间状态:沿岸坝-槽型和韵律坝-滩型)在自然界非常普遍^[18,21-22]。此外,海滩中若潮差超过1.5 m则会抑制坝-槽体系的发育^[21],而陆相湖盆中的潮汐作用可忽略不计,更有利于坝-槽体系的形成。

生产上,锡7井、锡8井的主要目的层段为腾格尔组的中部,其底部基本没油气显示,而锡40井、锡43井的主要目的层段为腾格尔组的底部,油气显示较好(但经试油及压裂等均未见到工业油流,可能是油源不足而未形成油藏),推测可能是因锡7井、锡8井与锡40井、锡43井不属于同一油气系统而在油气显示上表现出来的差异。即锡7井、锡8井区的砂质滩坝与锡40井、锡43井区的砾质滩坝之间可能发育有沟槽,

因在沟槽处波浪衰减停止而主要表现为变形^[18,21],使沟槽处于低能带而充填细粒泥质沉积物,致使锡7井、锡8井与锡40井、锡43井各自形成相对独立的圈闭(图7)。不过,随着滩坝的迁移变化^[20,22-24],锡7井、锡8井区的砂质滩坝是否有条件使其最终能焊接到锡40井区砾质滩坝较纯净的砾岩层等尚需进一步的工作。

4 结论

1) 空间发育特征上,白音查干凹陷下白垩统腾格尔组底部砾质滩坝砾岩呈薄层(平均0.32 m)主要夹于泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩沉积中;结构特征上,砾质滩坝中砾石磨圆较好但分选较差,杆状、扁平状砾石相对较多;沉积构造及垂向沉积序列特征上,砾质滩坝中砾石最大扁平面/长轴相对具一定的双向排列,且其底部与泥石流沉积呈渐变接触并呈逆粒序,而顶部与浅湖泥或泥石流沉积多呈突变接触,垂向上整体呈逆-正粒序、正-逆粒序等的交替变化。

2) 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组砾质滩坝的形成主要有4个条件——较强的水动力、较平坦的地形、低位体系域发育期和适量的物源。

3) 白音查干凹陷下白垩统腾格尔组砾质滩坝的沉积模式主要为滨浅湖波浪对早期沉积的泥石流砂砾岩及含砾砂泥岩进行淘洗、簸选,其中易搬运的细粒碎屑被带入浅湖(锡7井、锡8井区等)形成砂质滩坝(主要发育于浅湖泥中);而难以搬运的砾石则留在原地(锡40井、锡43井区)形成砾质滩坝(主要发育于泥石流沉积的砂砾岩及含砾砂泥岩中),二者均具形成圈闭的良好条件。锡7井、锡8井区的砂质滩坝与锡40井、锡43井区的砾质滩坝之间可能发育有沟槽(被细粒泥质沉积物充填),致使二者形成各自相对独立的圈闭,只要油源充足,即可形成良好的岩性油气藏。

致谢 中国石化中原油田分公司物探研究院郑玲高级工程师参加了岩心观察,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 毛宁波,范哲清,李玉海,等. 歧南洼陷西斜坡滩坝砂隐蔽油气藏研究与评价[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 455-461.
Mao Ningbo, Fan Zheqing, Li Yuhai, et al. A study of beach and bar sands subtle reservoirs in western slope of Qinan sag[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 455-461.
- [2] 袁红军. 东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 497-503.
Yuan Hongjun. Prediction of beach bar sand reservoirs of shore-shallow lake facies in Boxing subsag of Dongying Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(4): 497-503.
- [3] 邓宏文,高晓鹏,赵宁,等. 济阳坳陷北部断陷湖盆陆源碎屑滩坝成因类型、分布规律与成藏特征[J]. 古地学报, 2010, 12(6): 737-747.
Deng Hongwen, Gao Xiaopeng, Zhao Ning, et al. Genetic types, distribution patterns and hydrocarbon accumulation in terrigenous beach and bar in northern faulted-lacustrine-basin of Jiyang Depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(6): 737-747.
- [4] Jiang Zaixing, Liu Hui, Zhang Shanwen, et al. Sedimentary characteristics of large-scale lacustrine beach-bars and their formation in the Eocene Boxing Sag of Bohai Bay Basin, East China[J]. Sedimentology, 2011, 58(5): 1087-1112.
- [5] 袁静,梁绘媛,谭明友,等. 惠民凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体沉积特征及形成条件[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 410-416.
Yuan Jing, Liang Huiyuan, Tan Mingyou, et al. Sedimentary characteristics and forming conditions of beach-bar sandbodies in the upper fourth member of the Shahejie Formation in the south slope of the Huimin Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 410-416.
- [6] 王建民. 鄂尔多斯盆地南部延7+8油层组滨浅湖滩坝体系沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 672-678.
Wang Jianmin. Sedimentary characteristics of the shore-shallow lacustrine beach bar system of Yan 7+8 oil reservoirs in southern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 672-678.
- [7] 孟卫工. 辽河盆地滩海地区东营组沉积特征与演化[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 567-575.
Meng Weigong. Sedimentary features and evolution of the Dongying Formation in the tidal area of the Liaohe Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 567-575.
- [8] 王永诗,刘惠民,高永进,等. 断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏:以东营凹陷沙四上亚段为例[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 100-107.
Wang Yongshi, Liu Huimin, Gao Yongjin, et al. Sandbody genesis and hydrocarbon accumulation mechanism of beach-bar reservoir in faulted-lacustrine-basins: A case study from the upper of the fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 100-107.
- [9] 姜在兴. 沉积学(第二版)[M]. 北京:石油工业出版社, 2010.
Jiang Zaixing. Sedimentology (Second Edition) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [10] 王爱军,高抒. 砾石海滩的沉积和形态动力特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 113-118.
Wang Aijun, Gao Shu. Sedimentodynamic and morphodynamic characteristics of gravel beaches[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(1): 113-118.
- [11] 王爱军,高抒,杨旸. 浙江朱家尖岛砾石海滩沉积物分布及形态特征[J]. 南京大学学报(自然科学), 2004, 40(6): 747-759.
Wang Aijun, Gao Shu, Yang Yang. Sediment distribution and shape characteristics of gravel beaches, Zhejiang Island, Zhejiang Province [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2004, 40(6): 747-759.
- [12] 邢秀臣,杜国云,魏新华,等. 芝罘岛北岸海湾砾滩侵蚀研究[J]. 海洋湖沼通报, 2009, (1): 73-78.
Xing Xiuchen, Du Guoyun, Wei Xinhua, et al. The erosion of gravel beaches in northern coast of Zhifu Island[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2009, (1): 73-78.
- [13] 杨勇强,邱隆伟,姜在兴,等. 东营凹陷沙四上亚段滩坝物源体系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 46-53.
Yang Yongqiang, Qiu Longwei, Jiang Zaixing, et al. Beach bar-provenance system on the Upper Part of Fourth Member of Shahejie Formation, in Dongying Sag[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(1): 46-53.
- [14] Landon R E. An analysis of beach pebble abrasion and transportation [J]. Journal of Geology, 1930, 38(5): 437-446.
- [15] Bartholoma A, Ibbeken H, Schleyer R. Modification of gravel during longshore transport (Bianco Beach, Calabria, Southern Italy) [J]. Journal of Sedimentary Research, 1998, 68(1): 138-147.
- [16] 许欢,柳永清,旷红伟,等. 华北晚侏罗世—早白垩世风成砂沉积及其古地理和古生态学意义[J]. 古地学报, 2013, 15(1): 11-30.
Xu Huan, Liu Yongqing, Kuang Hongwei, et al. Sedimentology, palaeogeography and palaeoecology of the Late Jurassic-Early Cretaceous eolian sands in North China[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15(1): 11-30.
- [17] 田继军,姜在兴. 惠民凹陷与东营凹陷沙四上亚段滩坝沉积特征对比与分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3): 612-623.
Tian Jijun, Jiang Zaixing. Comparison and analysis of beach bars sedimentary characteristics of Upper Es⁴ in Huimin and Dongying Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(3): 612-623.
- [18] Wright L D, Short A D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis [J]. Marine geology, 1984, 56(1): 93-118.
- [19] Miller R L. Role of vortices in surf zone prediction: Sedimentation and wave forces [C] // Davis R A, Ethington R L. Beach and nearshore sedimentation. SEPM, 1976, 24, 92-114.
- [20] 朱静昌,张国栋,王益友,等. 舟山现代滨岸滩脊(坝)沟槽体系迁移与沉积特征[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(1): 35-43.
Zhu Jingchang, Zhang Guodong, Wang Yiyu, et al. Migration of ridge (bar) runnel systems and the resultant sedimentary characteristics on modern coast, Zhoushan Archipelago [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1988, 19(1): 35-43.
- [21] Wright L D, Nielsen P, Shi N C, et al. Morphodynamics of a bar-trough surf zone [J]. Marine Geology, 1986, 70(3): 251-285.
- [22] Castelle B, Bonneton P, Dupuis H, et al. Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian Coast: a review [J]. Marine Geology, 2007, 245(1): 141-159.
- [23] Lippmann T C, Holman R A. The spatial and temporal variability of sand bar morphology [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95 (C7): 11575-11590.
- [24] Guillén J, Palanques A. Longshore bar and trough systems in a microtidal, storm-wave dominated coast: the Ebro Delta (Northwestern Mediterranean) [J]. Marine Geology, 1993, 115(3): 239-252.

(编辑 张亚雄)