

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0715-10

车镇凹陷大王北地区沙二段滩坝成因类型、 分布规律与控制因素研究

邓宏文¹ 马立祥¹ 姜正龙¹ 潘福友¹ 冯兴雷¹ 林会喜²

(1. 中国地质大学 北京 100083 2. 胜利油田地质科学研究所 山东东营 257015)

摘要 滩坝砂岩是我国陆相盆地重要储集类型之一, 由于其厚度较薄, 储层分布预测的难度较大。对车镇凹陷沙二段滩坝砂体进行了解剖性研究, 总结了“滩”和“坝”的识别标志, 指出二者在分布特征、沉积厚度、粒度与几何形态等方面均有明显差异。运用以基准面为参照面的高分辨率层序地层学方法划分了滩坝层系的等时地层单元, 分析了“滩”“坝”砂的分布规律。探讨了湖盆结构、古地貌、物源供给、水动力等条件对滩坝砂体形成与分布的控制作用。在此基础上, 建立了沙二段滩坝砂体成因模式, 为滩坝砂体储层油气勘探提供了地质依据。

关键词 滩坝砂体 高分辨率层序 时空分布 成因模式 控制因素

第一作者简介 邓宏文 女 1947 年出生 教授 博士生导师 油气地质、沉积学和层序地层学 E-mail: dlw@vip.sina.com

中图分类号 P512.2 TE122.2⁺21 文献标识码 A

滩坝砂体是我国陆相盆地重要储层类型之一, 与其他沉积体系相比, 滩坝体系研究的程度较浅。陆相盆地含滩坝层系成因类型较多, 但通常多以砂泥薄互层为特征, 单层厚度薄, 横向变化较大, 分布规律也较为复杂。由于储层厚度较薄, 储集砂体的地质识别与描述以及地球物理预测难度均较大, 由此造成滩坝砂体圈闭的隐蔽性较强, 油气勘探难度较大。

渤海湾盆地济阳拗陷东营凹陷南坡沙四段、沙一段, 车镇凹陷沙二段, 沾化凹陷沙一、二段和沙四段湖相滩坝砂体均十分发育。从近几年油气勘探与开发现状分析, 滩坝储层是目前胜利油田上产增储的重要领域之一。已发现的以滩坝为储层的油气藏类型主要为构造—岩性油气藏、岩性—地层油气藏, 地层超覆油藏, 储集砂体对油气聚集至关重要。本文以车镇凹陷沙二段为解剖对象, 以钻井、测井、岩芯、三维地震资料为基础, 总结了研究区主要储集体“滩”和“坝”的沉积特征。运用高分辨率层序地层分析方法建立了研究层段的时间地层格架, 以时间地层单位为作图单元, 分析了“滩”“坝”砂的时空演化特征, 搞清了滩坝砂体的成因类型, 沉积特征与分布规律, 为陆相盆地滩坝储层油气勘探提供了依据。

1 沉积背景

车镇凹陷位于济阳拗陷北部, 为内部被一系列

NE、NW 和近 EW 向断层复杂化的北断南超的古近纪箕状凹陷。研究区大王北洼陷位于车镇凹陷东北部, 南北分别为义和庄凸起和埕子口凸起, 南以大 1 断层为界, 北以埕南断层与为界, 西以车 3 鼻状构造为界, 东以大 90 断层与郭局子洼陷相隔, 面积约 240 km²。洼陷南部发现大王北油田, 以沙二段为主要勘探目的层系(图 1)。

古近系沙河街组四段和三段沉积时期, 车镇凹陷处于拉张断陷发展时期, 北陡南缓的断陷结构较为清晰。沙二段沉积时期边界断裂活动逐渐减弱, 早期断裂对沉积仍有一定控制作用, 晚期断裂活动基本停止。沙二段沉积时期的大王北洼陷早期具断拗转换结构, 晚期拗陷结构逐渐明显, 地层向周边凸起逐渐超复减薄。沙二段沉积之后基底抬升, 地层遭受不同程度剥蚀(图 2)。钻井揭示洼陷内残余地层厚度 20~460 m 不等。经沉积厚度和差异压实校正恢复后的古地貌显示洼陷形态整体似“碟状”, 仅南缘大 1 断层前缘地形梯度略大, 其余地区均以缓坡形式向边缘凸起过渡(图 3)。洼陷的几何形态和地貌特征控制了沙二段地层的充填样式、沉积体系成因类型和分布特征。沙一段到东营组沉积时期, 凹陷进入再拉张断陷期, 新近纪馆陶组和明化镇组时期转为拗陷发展时期。

传统地层划分将车镇凹陷沙二段分为上、下两

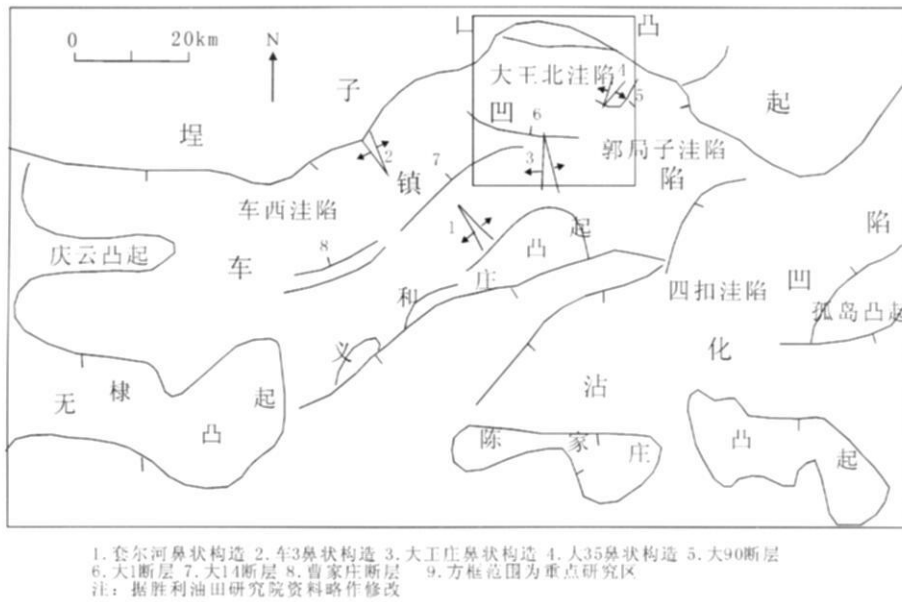


图1 大王北洼陷区域构造位置图

Fig. 1 Structural location of Dawangbei Depression

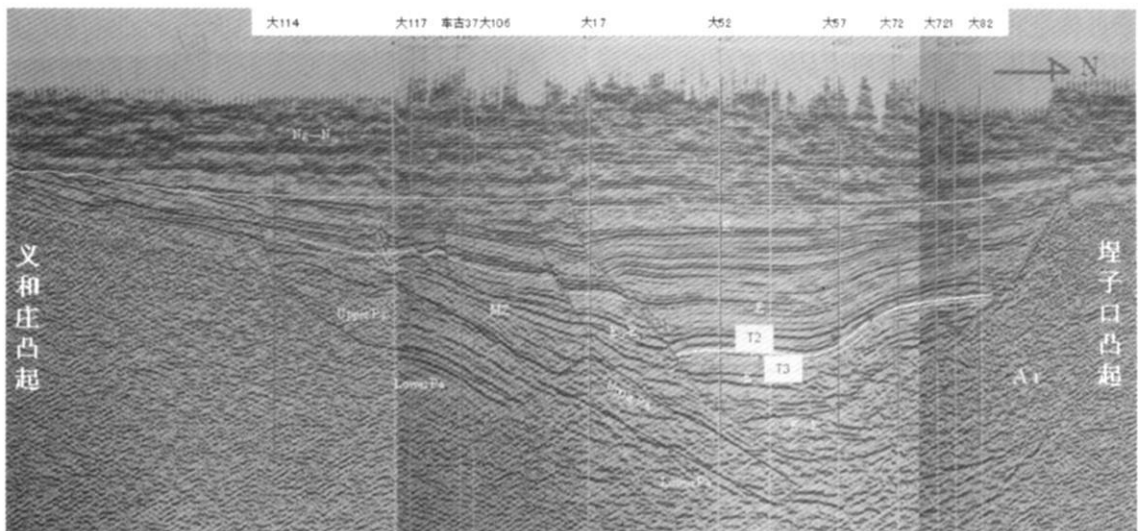


图2 大王北洼陷地震地质结构特征和层序解释(南北向)

Fig. 2 Seismogeologic architecture and sequence stratigraphic interpretation of Dawangbei Depression

段,沙二下岩性主要为粉、细砂岩及泥岩夹油页岩、泥晶白云岩以及少量生物碎屑灰岩。大王北地区缺少沙二下地层,沙二上总体为滨浅湖环境,以厚度不等的三角洲和滩坝成因的粉砂岩、粉细砂岩和浅灰色、灰绿色、紫色泥岩薄互层为特征,偶见碳酸盐岩,粗砂岩相对缺乏。

2 滩坝成因类型与沉积特征

“滩坝”这个术语实际上是滩砂与坝砂的总称,受

钻 测井和地震分辨率的限制,目前很难将断陷湖盆中分布广泛、厚度较薄的滩砂与分布狭窄、厚度相对较大的坝砂严格区分开来。因此习惯用“滩坝”这个综合术语来描述湖盆浅水区的滩和坝砂体。但实际上二者在成因、几何形态与分布规律上有明显的区别。

2.1 “坝”的沉积特征

“坝”发育在滨浅湖地带,形成于湖浪、湖流的筛选与风暴浪冲刷作用,水动力能量较强。坝平行或斜交岸线,并离岸分布,几何形态清楚。研究层段“坝”

以粉砂岩, 细砂岩为主, 厚度一般为 5~ 10 m 不等, 常由多个旋回叠置组成, 旋回之间为薄层坝间泥岩。单个坝体厚度 1~ 3 m 左右, 总体叠置可形成细—粗—

细的对称旋回或向上变粗的反旋回, 体现了一个坝体完整的发育过程, SP 或 GR 曲线呈“舌状”或反旋回“漏斗”形(图 4)。

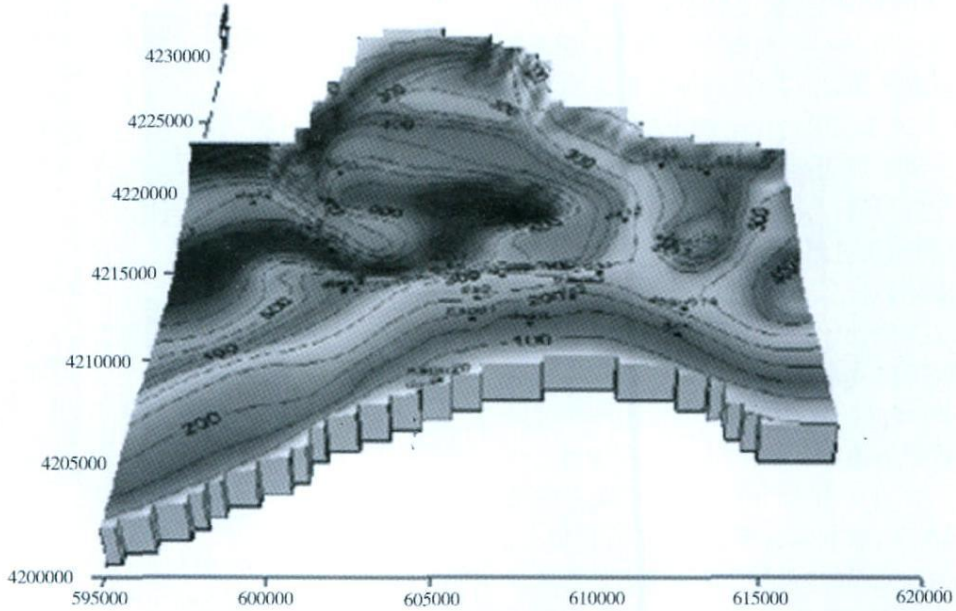


图 3 大王北洼陷沙二段沉积前古地貌恢复图

Fig. 3 Paleogeomorphic feature of the second member of Shanhejie Formation, Dawangbei Depression

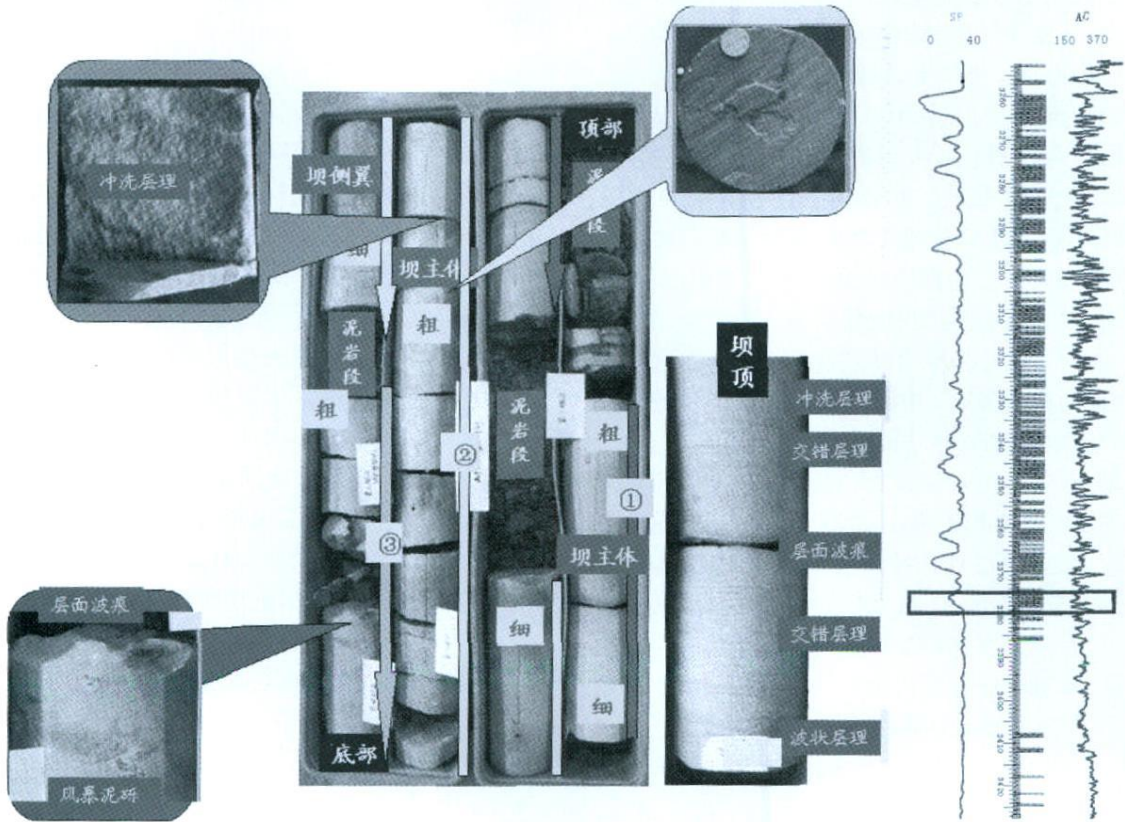


图 4 沙二段“坝”的叠加序列与沉积特征(3375 ~ 3380 m)

Fig. 4 Stacking pattern and depositional feature of barrier in the second member of Shahejie Formation

“坝”可以进一步划分为坝主体、坝侧翼和坝间三种微相类型。坝主体以粉砂岩、粉细砂岩为主,低角度交错层理、冲洗层理发育;坝侧翼粒度逐渐变细,以泥质粉砂岩为主,波状层理,复合层理与层面构造(波痕、浪成干涉波痕、冲洗“裂线理”)发育;坝间多为薄层灰色或灰绿色泥岩。“坝”的伴生相为滨浅湖相泥岩,尚可见到风暴成因的含泥砾砂岩和具滑塌变形构造的砂岩。风暴成因的泥砾沿层面或波痕面分布,磨圆较好,定向排列,与滑塌成因的浊积岩有明显区别,并与浅水湖相灰色泥岩伴生。

2.2 “滩”的沉积特征

“滩”砂是在较平坦地形上由湖浪、湖流作用形成的砂体,与坝相比,水动力能量要弱。滩沙的几何形态与“物源”和“地貌”有关。断陷盆地中滩沙可发育于湖岸附近较平坦地形、三角洲周缘地区或潜山凸起周缘。沿岸“滩”平行岸线分布,通常呈较宽的条带状或席状,厚度薄,席状特征明显,分布面积较大;发育在三角洲体系周缘的“滩”形成于波浪对三角洲前缘末端或侧翼沉积物的改造作用,厚度薄,相变明显,分布规律复杂;潜山凸起周缘的“滩”通常围绕潜山呈环形分布。大王北地区沙二段滩砂主要有两种成因类型:与滩坝伴生的沿岸滩沙和三角洲周缘波浪改造形成的滩沙。滩沙与滨浅湖相泥岩呈频繁互层,砂岩层数多但单层厚度薄,一般 1~2 m,多呈细一粗一细的对称韵律,泥岩和砂岩之间为渐变接触。SP和 GR 曲线呈“指状”或“锯齿”状(图 5)。

“滩”可进一步划分滩主体和滩间微相。滩主体粒度较坝沙细,主要为粉砂岩、泥质粉砂岩组成,偶见粉细砂岩,发育冲洗层理、波状层理,层面见浪成波痕。滩间微相由泥岩与粉砂质泥岩组成,泥岩中潜穴、生物扰动构造发育,并见炭屑。与滩伴生的滨浅湖相泥岩通常为紫灰色,灰绿色,反映水体较浅。

总结上述,可以看出,在研究区“坝”的沉积厚度较“滩”大,粒度略粗。纵向上多个坝叠置成向上变粗的反旋回,交错层理和冲洗层理发育。与其对照,“滩”的厚度薄,粒度细,波状层理更为发育,常呈对称旋回,而且多发育在厚层“坝”之间。此外,在时空分布特征、发育的层序地层位置及其与相邻沉积体系的关系等方面区别较沉积特征更为明显(详见第 4 节)。

3 滩坝层系高分辨率层序地层构成

沙二段形成于盆地发育的断拗转换期,为地震反

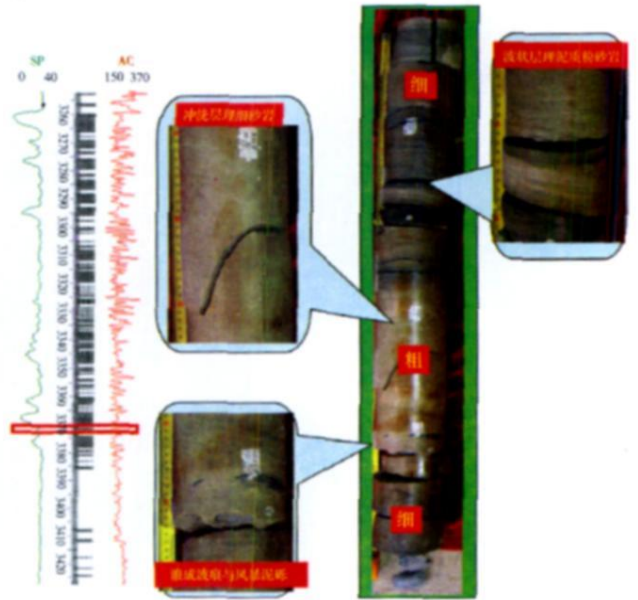


图 5 沙二段“滩”的沉积序列与沉积特征(3371~3372m)

Fig 5 Depositional succession of bank in the second member of Shahejie Formation

射标志层 T3和 T2之间的一套地层。沙二段与下覆沙三段呈低角度不整合接触,与上覆沙一段在洼陷部位呈整合接触关系,洼陷边缘呈下削上超特征,因而沙二段整体为一个三级层序(旋回)。在钻、测井剖面上,根据可容纳空间增大和减小的趋势分析可以将沙二段划分为两个四级旋回,其最大湖泛面分别对应沙二段内部的两个地震反射标志层 T2-2和 T2-1,可以在一定范围内追踪(见图 2)。下部四级旋回的最大湖泛面同时为沙二段三级旋回的最大湖泛面,为一套厚度较大,在全区分布较为稳定,并可在一定范围内追踪的以泥岩为主夹薄层粉砂岩发育段。在四级旋回内部根据滩坝砂体叠加样式反映的沉积作用转换面又可以进一步识别出 6 个五级旋回(C1-C6)(图 6)。除最上部的旋回不同程度遭受剥蚀保存不全外,其余旋回多可以识别出基准面上升与下降半旋回两个部分。呈退积叠加样式的滩坝反映基准面上升导致湖水的扩张,呈进积叠加样式的滩坝则是基准面下降坝体进积的结果^[1]。

陆相盆地中,构造运动和气候是控制基准面升降的两个重要因素,构造(断裂)活动导致基底的升降直接控制可容纳空间的变化,气候则通过降雨量影响湖平面的变化。分析沙二段层序地层构成可以看出,洼陷沉积早期(旋回 C6和 C5时期),由于边界断裂(如大 1 断层)仍有活动,湖盆分布范围受边界断层

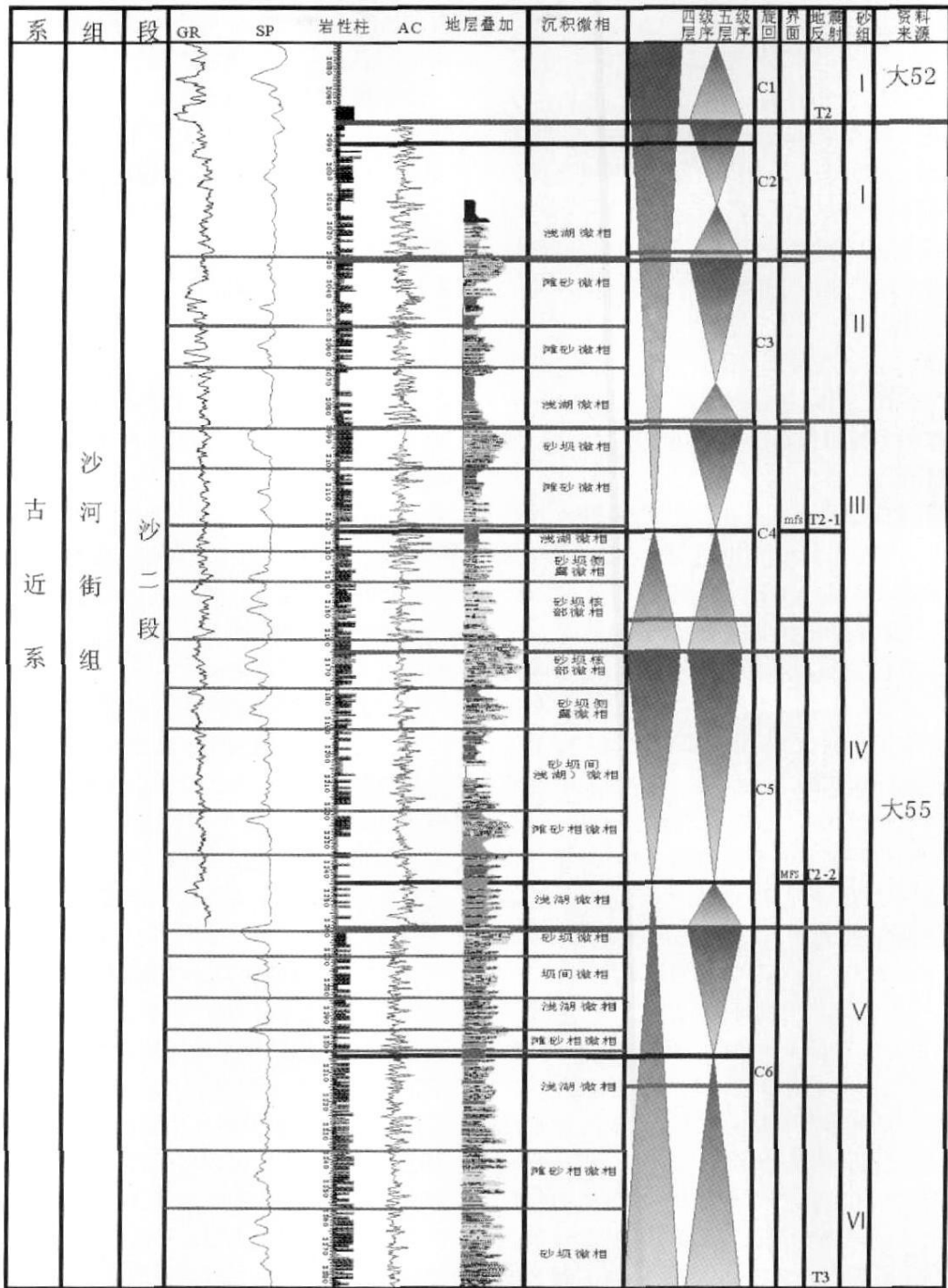


图 6 沙二段高分辨率层序地层划分

Fig 6 High-resolution sequence stratigraphic division of the second member of Shahejie Formation

控制。断裂活动导致基底沉降, 沉积基准面上升, 湖水水体相对较深, 但湖盆范围较小, 因而不同级次的基准面旋回均以基准面上升沉积作用为主。中晚期 (C5旋回之后), 断裂基本停止活动, 拗陷特征明显, 地层向周缘凸起上超覆。泥岩颜色自下而上由以灰

色为主, 逐渐变为以灰绿色和紫红色为主, 颜色变浅。滩坝砂体进积作用自下而上逐渐增强。上述特征表明, 沙二时期湖盆自旋回 C6 C5最大湖泛期后经历了湖平面扩张, 沉积范围逐渐扩大, 但湖水逐渐变浅的过程, 推断与气候潮湿、降雨量增大因素有关。

4 滩坝砂体分布规律

4.1 “滩”和“坝”分布特征

与滩相比,坝在纵向上分布规律具有一定规律性。一般来说,五级旋回基准面下降期,滩坝呈进积叠加样式,砂层厚度较大,“坝”砂比较发育;基准面上升期,滩坝呈退积叠加样式,层数多,但单层厚度较薄,滩砂较为发育。这种分布特征与东营凹陷沙四上滩坝具有相似性^[2]。

大王北沙二段沉积时期,具有“漫湖”特征,滩坝似乎“满盆”分布。但以高分辨率时间地层格架(五级旋回)为作图单元可以看出“滩”和“坝”的空间展布规律与演化特征。

大王庄洼陷西部“坝”比东部发育,南部比北部发育,南部以几何形态清晰的“坝”为主,北部发育三角洲体系,周缘以席状分布的大面积“滩沙”为特征。厚层“坝沙”主要发育在盆地西南部,特别是大17—大55—大37井区。沙二段沉积早期,洼陷略具南陡北缓特征,南部边界断裂大1断层对洼陷仍有控制作用,形成该时期湖盆的边界,水体相对较深。厚度较大的“坝”和坝间滩发育,旋回性比较清楚。中晚期湖盆变浅,但沉积范围扩大,地层逐渐向凸起超覆,“坝”的分布范围也逐渐扩大并向南迁移,南部义和庄凸起上也见厚层坝体发育。南北向剖面显示,洼陷南缘地层超覆特征更为明显,北缘三角洲发育地区地层具进积特征(图7A、B)。总体来看,南缘义和庄凸起缓坡带部位在各时期均发育“坝沙”,“坝”大致平行于凸起分布。沙二段下部旋回C6—C5沉积时期,义和庄凸起对大王北洼陷和郭局子洼陷有分割作用,“坝”发育在洼陷南缘大1断层北侧,北部发育来自埕子口凸起的三角洲体系,周缘见“滩沙”分布;中部旋回C4和C3沉积时期,由于湖盆扩张,地层向凸起上超覆,两个洼陷逐渐沟通。“坝沙”仍主要分布在南部,并向凸起上扩张,“滩沙”大面积分布在湖盆中部。上部旋回C2和C1沉积时期,滩坝沉积作用逐渐减弱,滨浅湖泥质沉积范围逐渐扩大。总体来看,自下而上“坝”的分布范围有逐渐扩大和“化整为零”的趋势。从五级旋回构成来看,基准面上升期“坝”发育,而且规模较大,表现在厚度和分布范围上,边缘三角洲体系向湖盆边缘退缩;基准面下降期水体较浅,“坝”规模变小,以大面积“滩”沙分布为特征,三角洲体系向洼陷中心方向进积(图8)。

大王北洼陷的油气勘探已证实,沙二段“坝”砂

为油气重要储集层,“坝”砂储集物性较“滩”砂好。南部储层最为发育、单层厚度大、连通性好,特别是沙二段下部旋回C6和C5富油区块多,但向东、向北储层相对少,含油性变差。C4—C1旋回沉积时,储层发育程度相对较差,单层厚度较薄,连通性也较差。油气分布的上述特征与沙二段“坝”与“滩”平面展布特征与纵向上演化规律相符合。

4.2 滩坝分布控制因素

对于海盆来说,砂补给充足,具有变化的海平面和强烈的潮流可以形成陆源碎屑海岸浅海“毯状砂”^[3]。大王北洼陷沙二段滩坝十分发育,几乎井井钻遇,具有“漫湖”沉积特征,其形成条件与浅海“毯状砂”有类似之处。

(1) 浅水湖盆的扩张与收缩作用

对于湖盆来说,将正常湖浪波基面以上至丰水期湖面之间的湖盆可以划归为滨浅湖环境,在正常浪基面至风暴浪基面之间为浅湖至深湖过渡环境,风暴浪基面以下为深湖环境。

根据残余厚度并考虑到砂泥差异压实作用恢复出沙二段沉积古地貌图,可以看出沙二段沉积时期洼陷具“碟状”结构,南北分别以缓坡向义和庄凸起和埕子口凸起过渡,地形梯度变化不大。地形高差小,浪基面和丰水期湖面之间距离大,为大面积滨浅湖环境的形成提供了基本的地形背景(图2B)。

沙二段沉积特征表明其整体形成于湖水逐渐扩张,湖盆范围不断变大,水体逐渐变浅的过程,但地层沉积的旋回性十分明显,表明在整体湖侵背景下湖水扩张与收缩交替、湖平面周期性升降。由于湖盆地形平缓,湖水进退交替时波及面积大、波浪和湖流影响范围广,砂质碎屑分流作用强,“坝”和“滩”大面积进退迁移。湖盆扩张水体略深时,风暴浪将滨浅湖泥和沿岸砂质沉积卷入湖盆内部,形成风暴浪冲刷成因的泥砾砂岩和滑塌变形层理砂岩。因此,在浅湖环境下的滩坝砂体常伴生风暴事件的特征沉积物。

(2) “滩”和“坝”古地貌特征

古地貌详细分析沙二段沉积时的古地貌特征,可以看出,洼陷东南部位义和庄凸起北坡地形梯度较大,洼陷北部和东部地区地形较为平缓。将古地貌图和沉积相分布图对照分析会发现地形梯度变化较明显的义和庄凸起前缘恰是洼陷内各时期规模较大的“坝”发育部位,而地形较平缓的东部和北部三角洲前缘地区则以大面积的“滩”发育为特征。由此可以作出如下推断:地形略陡、水体略深的凸起前缘有利

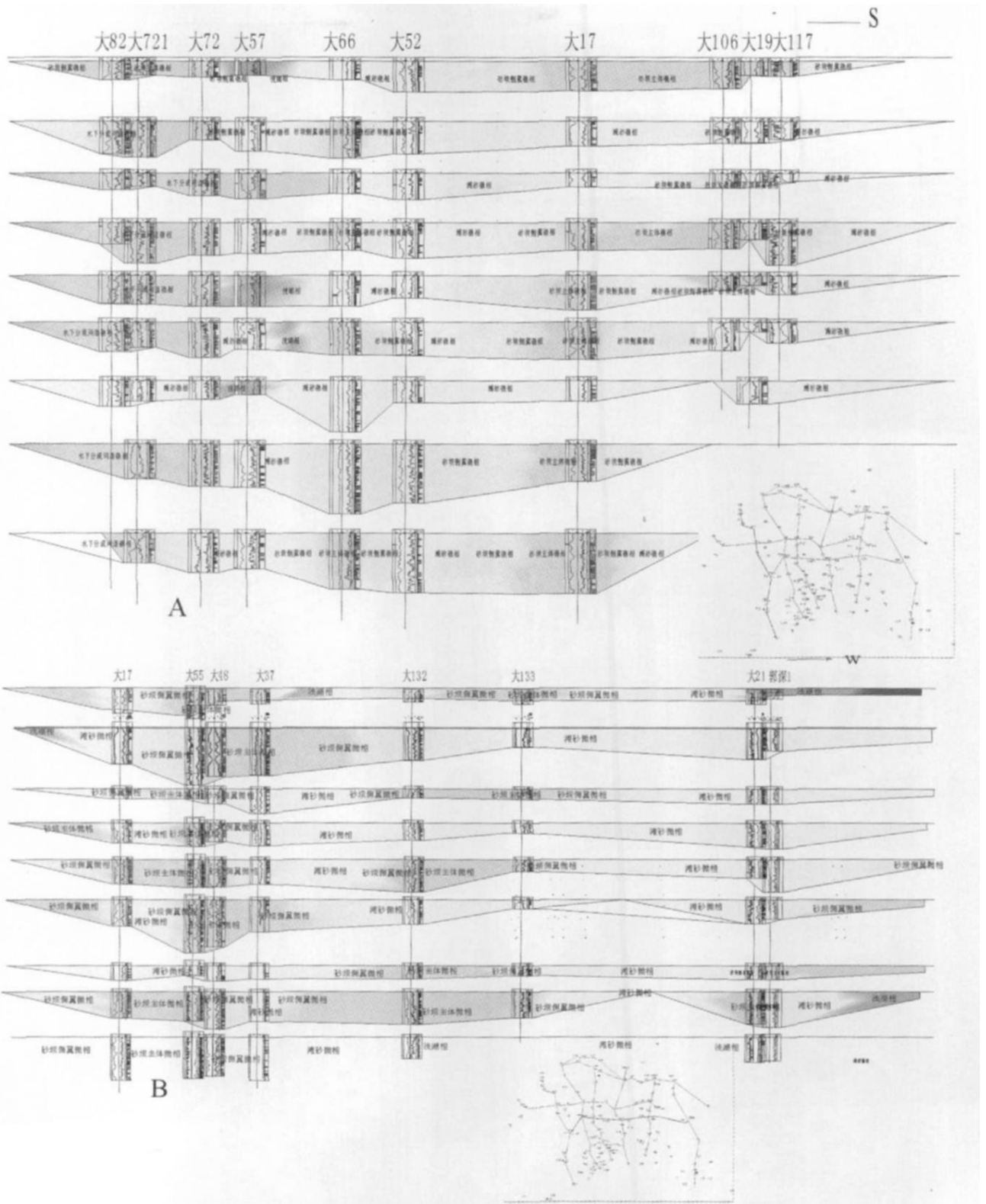


图 7 沙二段沉积微相演化剖面图 (A 南北向, B 东西向) (考虑到保密, 省略了井号)

Fig 7 Facies evolution of the second member of Shahejie Formation

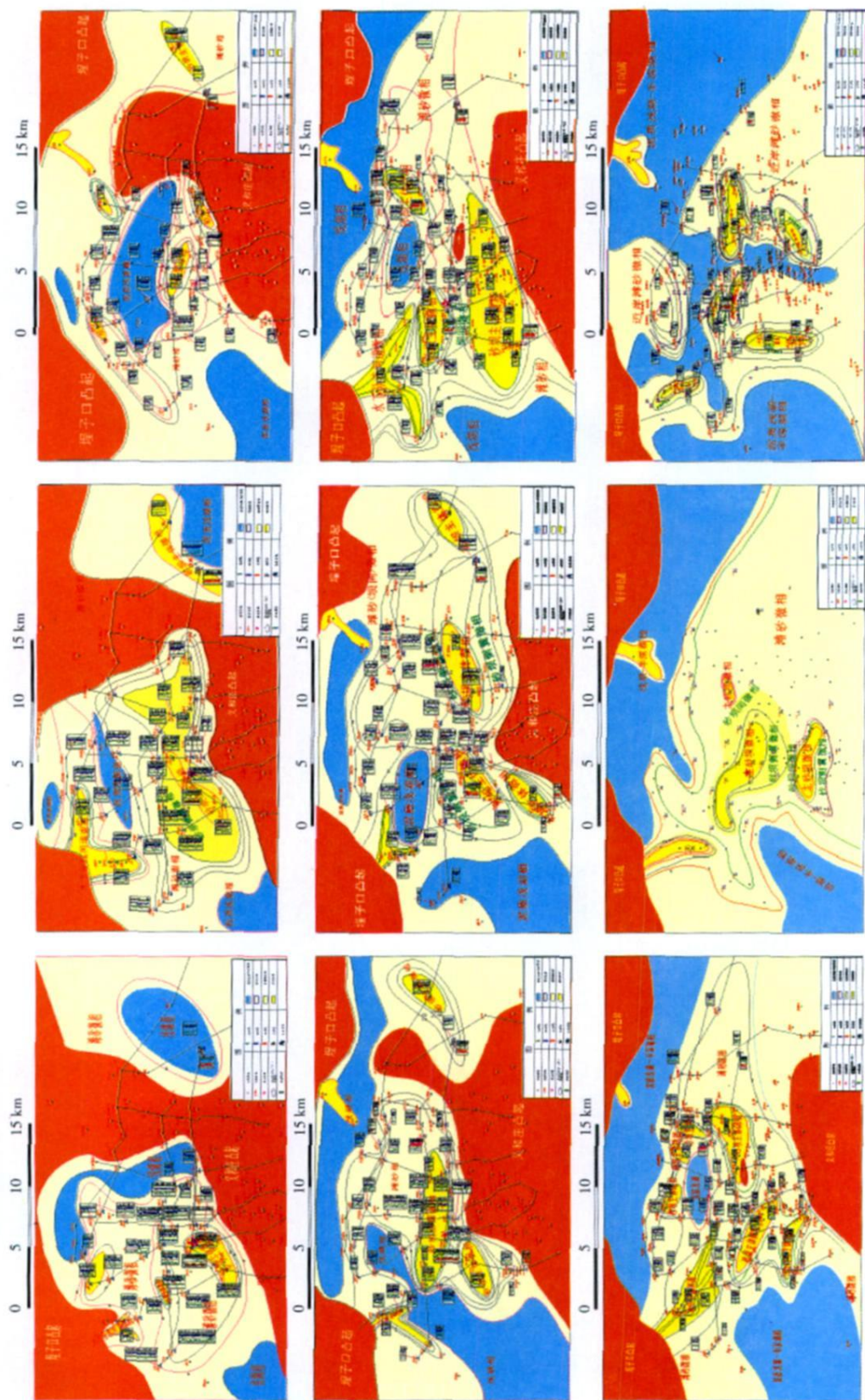


图 8 沙二段各五级旋回沉积微相分布图
 Fig. 8 Facies distribution in base-level cycles of the second member of Shahejie Formation

于大型沙坝的发育。

(3)丰富的物源供给

沙二段沉积时期,大王北洼陷北缘发育来自埧子口凸起的数个规模不等的(扇)三角洲体系。为洼陷北部滩坝形成提供了丰富的陆源碎屑。洼陷南缘的义和庄凸起处于古迎风面,湖浪与湖流作用较强,并伴有间歇性风暴事件,对来自凸起物源体系的改造作用为洼陷南缘规模较大、数量较多的砂坝的形成提供了物质基础。湖平面交替性进退伴随着广泛的湖岸侵蚀形成砂质碎屑的连续补给,是沙二段沉积时期“漫湖”特征的重要原因之一。

(4)水动力条件

“风”导致强的波浪作用是滩坝形成的重要动力学条件之一。大王庄洼陷南缘“坝沙”发育,大致平行岸线分布,规模较大。单个“坝”具有的典型砂坝沉积的反旋回特征,并在一定范围内可以对比。与“坝”伴生的与风暴事件有关的沉积构造也主要发育在这一带。由此可以推断,该时期洼陷南缘义和庄凸起前可能处于古风向的“迎风面”。

4.3 滩坝沉积模式

根据滩坝体系的演化和展布特征建立了大王北地区沙二段“滩”和“坝”的沉积模式(图 9)。湖盆南缘坡度略陡,湖水相对较深,同时处于古迎风面,水动力能量较强。湖浪与湖流对河流三角洲带入湖盆沉积物的反复簸洗、冲刷、再分配以及对义和庄凸起的冲蚀提供了大量的砂质碎屑物质,有利于规模较大的“坝”形成。湖盆收缩时,“坝”向洼陷中心迁移,呈进

积叠加样式;湖盆扩张时,“坝”向岸线方向迁移,呈退积叠加样式^[4]。湖盆北缘和东部地形较缓,来自埧子口凸起的河流—三角洲体系发育。湖平面下降时,三角洲向湖盆中心方向进积,水下分支河道和河口坝发育;湖平面上升时,三角洲沉积物被淹没并遭受波浪改造与分流,水动力条件相对较弱,形成大面积滩沙沉积。其成因模式与四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式相似^[5],只是厚度相对较薄。

车镇凹陷沙二段滩坝分布模式与尤英塔盆地古近系格林河组有类似之处。格林河组沉积时期盆地具有南缓北陡的不对称结构,南部缓坡带 Sunnyside 地区发育河流三角洲体系;盆地东北边缘较陡坡部位为古风向的迎风面,波浪作用强,在 Riven Ridge 露头区形成广泛分布的临滨陆源碎屑岩坝和碳酸盐坝^[6]。

5 结论

以岩心、测井和地震资料为基础,沉积学与高分辨率层序地层分析方法相结合,建立时间地层格架是识别“滩”和“坝”并对其分布进行预测的基础。车镇凹陷沙二段“坝”具有沿岸坝特征,沉积物来源于迎风面波浪和湖流对三角洲沉积物的改造作用和对凸起基岩的冲蚀作用;“滩”则形成于波浪对三角洲周缘的改造作用,水动力条件相对较弱。平缓的地形、充分的物源、变化的湖平面和较强的波浪作用是沙二段滩坝体系,特别是“坝”体形成的主要控制因素。

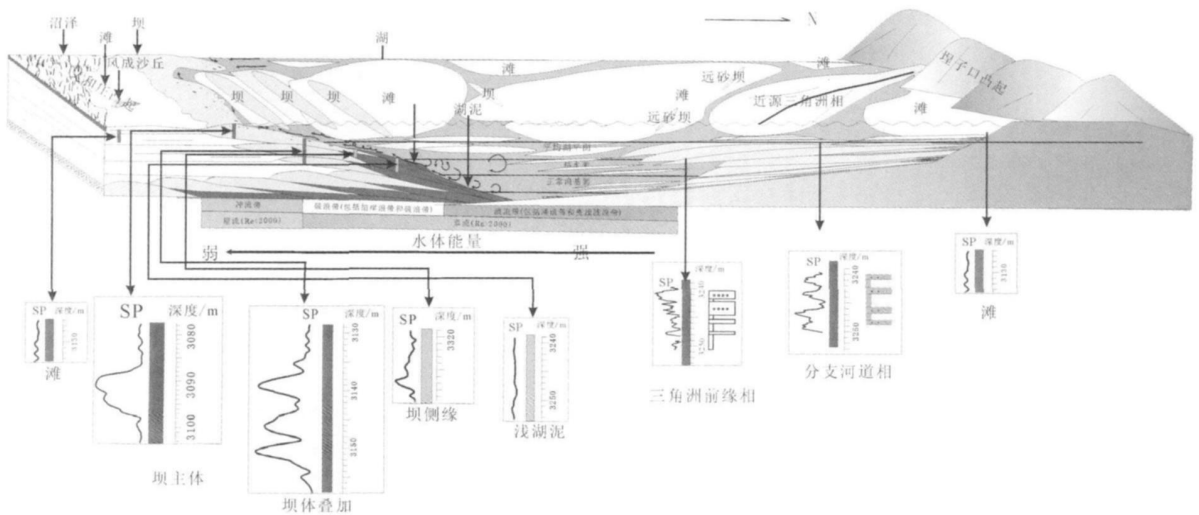


图 9 大王北洼陷沙二段浅水漫覆式滩坝相沉积模式

Fig 9 Depositional model of the Second Member Shaheje Formation, Dawangbei Depression

参考文献 (References)

- 1 邓宏文, 王红亮, 祝永军, Cross T A. 高分辨率层序地层学—原理及应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2003 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, Cross T A. Theory and Application of High Resolution Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003]
- 2 刘伟, 吕优良, 徐徽, 等. 东营凹陷南斜坡东段沙四上亚段沉积相与砂体展布研究 [J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(2): 23-26 [Liu Wei, Lv Youliang, Xu Hui, et al. Sedimentary microfacies and sandbody distribution in the upper members of Es₄ in the south slope of Dongpu Depression [J]. Journal of Jianhan Petroleum Institute, 2004, 26(2): 23-26].
- 3 Reading H G. 沉积环境和相 [M]. 周明鉴, 等译. 北京: 科学出版社, 1985 323 [Reading H G. Sedimentary Environments and Facies [M]. Translated by Zhou Mingjian et al. Beijing: Science Press, 1985 323]
- 4 Richard C Selky. Applied Sedimentology (Second Edition) Copyright [C]. Academic Press, 2000 234-237
- 5 侯方浩, 蒋裕强, 方少仙, 等. 四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式 [J]. 石油学报, 2005, 26(2): 30-37 [Hou Fanghao, Jiang Yuqiang, Fang Shaoxian, et al. Sedimentary model of sandstone in second and fourth members of Xiangxi Formation in the Upper Triassic of Siduan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(2): 30-37]
- 6 James M Borer. High-Resolution Stratigraphy of the Green River Formation at Raven Ridge and Red Wash Field, NE Uinta Basin: Facies and Stratigraphic Pattern in a High-Gradient High-Energy Lacustrine System. AAPG Annual Convention-Field Trip # 4, 2003

Sand Bank Generation Types and Its Controls on Their Distribution, the Second Member of Shahejie Formation, Lower Tertiary, Dawangbei, Chezhen Depression

DENG Hong-wen¹ MA Li-xiang¹ JIANG Zheng-long¹
PAN Fu-you¹ FENG Xing-le¹ LIN Hu-xi²

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083; 2 Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying Shandong 257015)

Abstract Sand bank sandstones are one of the important reservoirs in nonmarine basins of China. Bank genetic reservoir prediction is not easy due to its thin bed characters. This paper summarizes the identification marks of sand bank and barrier in lake. Isochronous stratigraphic units are divided based on high-resolution sequence stratigraphy principle; sand bank and barrier distribution and its controls are analyzed in time stratigraphic units, and also sedimentary models of bank and barrier are established. This study provides the geologic foundation for oil and gas exploration in sand bank reservoirs.

Key words bank and bar; high resolution sequence; time-space distribution; genetic model; control factors