

文章编号: 1000-0550(2013)01-0056-11

涠西南凹陷 A 井区古近系流沙港组一段砂体 沉积特征及分布规律^①

刘杰^{1,2} 操应长² 王健² 刘明全³

(1. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 2. 中国石油大学地球科学与技术学院 山东青岛 266580;
3. 中国海洋石油(中国)有限公司湛江分公司研究院 广东湛江 524057)

摘要 涠西南凹陷 A 井区古近系流沙港组一段下亚段发育了大规模的砂砾岩沉积。岩芯观察及分析化验资料表明砂砾岩沉积发育丰富的能够反映浊流沉积的鲍马序列、冲刷充填及变形构造等沉积构造并具有直线一段式和上拱一段式等粒度概率曲线类型。垂向以多个底部发育冲刷充填构造的正旋回叠加为特征,整体表现为正序。沉积特征表明砂砾岩为湖底扇沉积。综合利用地震反射特征及垂向地层叠加样式等方法,在流一段湖底扇内共识别出 3 个五级层序,将湖底扇沉积划分为 3 期。各旋回湖底扇砂体厚度与平均波峰振幅、能量半时及瞬时频率等地震属性有良好的相关关系。在高精度层序地层格架的约束下,结合钻井及录井资料分析与地震属性分析,对 3 期湖底扇砂体平面分布特征进行了研究,各期湖底扇具有左右迁移摆动、垂向叠置发育的特征。由于受到 3 号控盆断层和 0 号隐伏断层的影响,使得涠西南低突起北缘发育的 5 号断层幕式活动,导致研究区可容空间发生转换,构造运动控制的可容空间不均衡转换是控制流一段湖底扇砂体分布规律的主要因素。

关键词 涠西南凹陷 流一段 湖底扇 地震属性 分布规律

第一作者简介 刘杰 女 1987 年出生 博士研究生 沉积学和层序地层学 E-mail: liujie_cugb@yahoo.cn

中图分类号 P512.2 TE121.3 **文献标志码** A

0 引言

在断陷湖盆活动强烈期,受控盆断层活动强烈、构造坡折带发育明显及沉积物物源近等特征的控制,在断陷湖盆陡坡带或缓坡带的局部地区常发育规模较大、成因类型多样的砂砾岩扇体沉积^[1,2],受重力流作用的控制,这些砂砾岩扇体一般在半深湖—深湖沉积区成群发育,与深灰色、黑色泥岩、油页岩呈指状接触,具有良好的生储盖组合等特点,非常有利于油气藏的形成^[3]。研究表明,近年来国内发现的大型岩性油气藏主要蕴藏在近岸水下扇、湖底扇、滑塌浊积扇等深水重力流砂砾岩扇体中^[4],砂砾岩扇体油气藏已成为中国断陷盆地岩性油气藏勘探的重要领域^[4-6]。因此,研究砂砾岩体的成因类型及分布规律,对于认识其生储盖组合规律,指导岩性油气藏的勘探具有重要的意义。

涠西南凹陷位于南海北部边缘西区北部湾盆地的北部拗陷东北部,是北部湾盆地的一个三级构造单元,为典型的陆相断陷盆地,具有北断南超、北陡南缓

的基本构造格局(图 1)^[7,8]。涠西南凹陷古近系广泛发育长流组、流沙港组和涠洲组。流沙港组自上而下可进一步分为流一段、流二段和流三段^[9-12]。流二段沉积时期为涠西南凹陷强烈断陷期,控盆断层活动强烈,以半深湖—深湖沉积环境为主,发育了巨厚的半深湖—深湖相泥岩和油页岩,是涠西南凹陷的主力烃源岩层^[13]。5 号断层下盘 A 井区流一段下亚段发育了一套砂砾岩其与深灰色、黑色泥岩、页岩互层,流一段中亚段主要发育深灰色、黑色泥岩、页岩夹薄层砂岩,流一段上亚段早期主要发育深灰色、黑色泥岩、页岩夹薄层砂岩,晚期主要发育灰色泥岩与含砾砂岩、砂岩互层(图 1)。刘震等^[8]认为从流沙港组一段发育早期到晚期,在整个凹陷范围内以沉积一套泥岩为主夹薄层砂岩的滨浅湖相演化为广泛发育的冲积平原和自西向东的大型轴向三角洲等浅湖相沉积。董贵能等^[13]认为涠西南凹陷流沙港组一段自下而上,沉积环境由中深湖演变为滨浅湖背景,盆地边缘不同方向的(扇)三角洲继承性发育,并且规模逐渐变大。目前只有少数学者针对涠西南凹陷 A 井区流

^① 国家重大科技专项课题(2008ZX05023-02)资助
收稿日期: 2012-01-12; 收修改稿日期: 2012-04-11

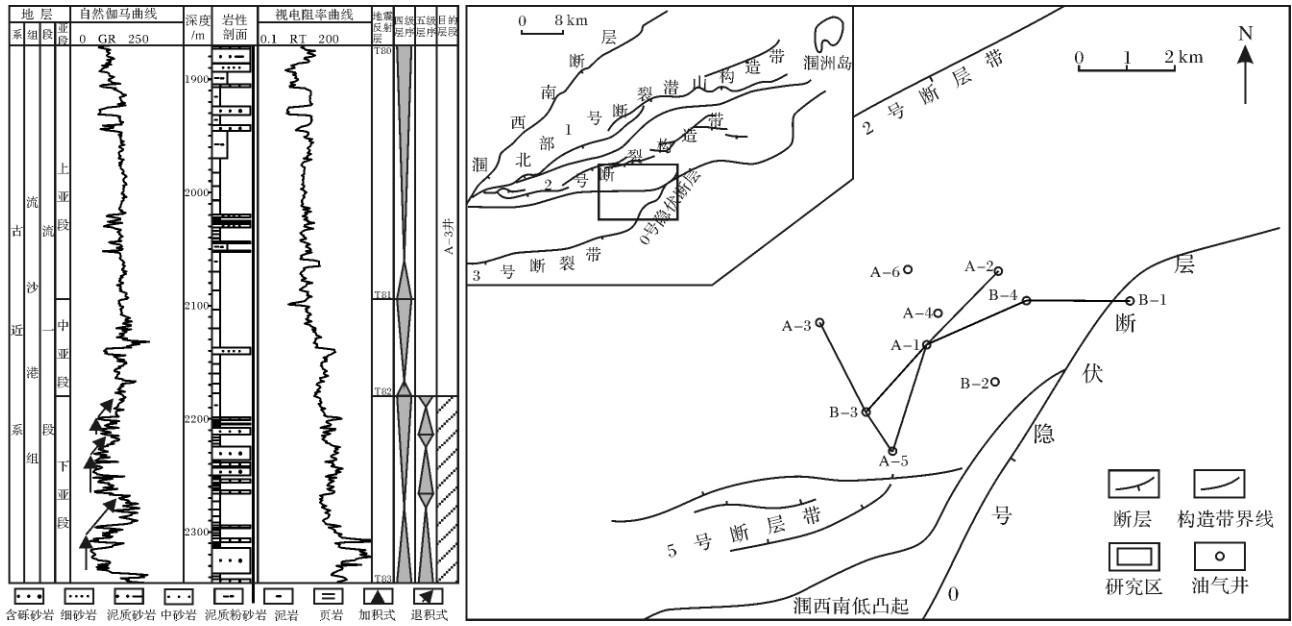


图 1 北部湾盆地涪西南凹陷构造特征、研究区位置及流一段综合柱状剖面

Fig.1 Tectonic characteristic of Weixinan Depression , position of the study area and integrative column of the first member of Liushagang Formation in BBW Basin

一段下亚段发育的沉积相及其沉积特征进行了研究,刘震等^[8]、李茂^[9]及江文荣^[12]等学者研究认为其发育为缓坡陡倾扇三角洲沉积,沉积特征具有反映近源、深水、沉积速率较快的重力流—牵引流过渡沉积的特征^[9]。董贵能等认为 A 井区在流一段下亚段沉积时期主要发育的是辫状河三角洲沉积^[7]。由此可见, A 井区流一段下亚段砂体成因类型尚存在争议。涪西南凹陷 A 井区流一段下亚段砂体紧临烃源岩发育,并且被流一段早期发育的半深湖泥岩包围,具有非常有利的油气成藏条件^[14,15],是岩性油气藏或构造—岩性油气藏的有利发育区。目前勘探成果表明, A 井区砂体中蕴含丰富的油气资源,已发现多个构造—岩性油气藏,但是由于钻井资料较少,砂体的成因类型及分布规律尚不明确。本文在砂体沉积特征分析的基础上,充分利用钻井、测井、录井及地震资料,探讨砂体的成因类型及分布规律。

1 砂体沉积特征

1.1 岩石学特征

钻井取芯及录井资料表明, A 井区流一段下亚段砂体粒度较粗,岩性主要为灰色、灰白色细砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、中粗砂岩等,砂体边缘等位置主要发育薄层灰色粉细砂岩和灰黑色泥岩互层。薄片资料分析表明,流一段下亚段砂体中石英和长石含量相对较

高,岩屑含量较少,砂岩类型主要为亚长石砂岩和岩屑质长石砂岩,另外发育少量的长石质岩屑砂岩、长石砂岩和亚岩屑砂岩等(图 2)。砂体中砾石分选和磨圆中等偏差,岩石成分成熟度和结构成熟度相对较低,成分成熟度一般为 0.2~2.3,平均值 0.93,表明砂体搬运距离较近,且沉积速率较快。

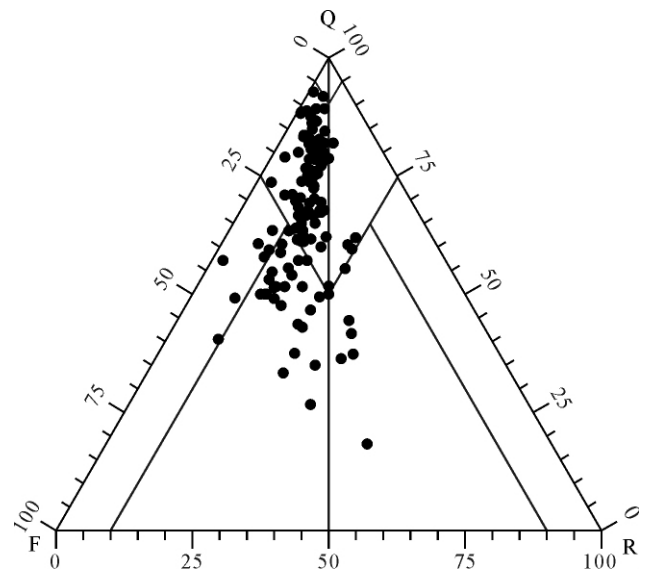


图 2 A 井区流一段下亚段砂体岩石类型

Fig.2 Sedimentary rock types of lower submember of the first Member of Liushagang Formation of A area

1.2 沉积构造特征

通过对 A 井区流一段下亚段钻井进行精细观察描述,发现表明研究区砂体沉积构造类型多样,以正序递变层理、叠覆递变层理及变形构造为主(图 3),另外可见到交错层理、平行层理及波状层理等。研究区沉积中反映浊流沉积的鲍马序列较发育,常见鲍马序列“ABC”序、“ABAB”序及“ABA”序(图 3-A、图 3-B 和图 3-G)。鲍马序列“ABC”序底部可见冲刷充填构造,由下部的块状递变砾岩或砂砾岩向上逐渐变为平行层理砂岩或含砾砂岩,顶部一般为变形构造发育

的粉砂岩、泥质粉砂岩等;鲍马序列“ABAB”序及鲍马序列“ABA”序由多个块状递变层理砾岩(砂砾岩)到平行层理砂岩(含砾砂岩)旋回垂向叠加而成。鲍马序列 A 段中常见砾石定向排列特征。局部地区含砾砂岩、砂岩沉积中常见泥砾、泥岩撕裂屑等,反映了强水动力作用特征。砂体中变形构造类型多样,常见砂球构造、重荷模及火焰构造、滑塌变形构造等,并且与之同时发育的为典型的半深湖—深湖相深灰色、黑色泥岩、页岩(图 3-D、E、H、I)。这些典型的沉积构造反映了流一段下亚段砂体具有明显的半深湖—深

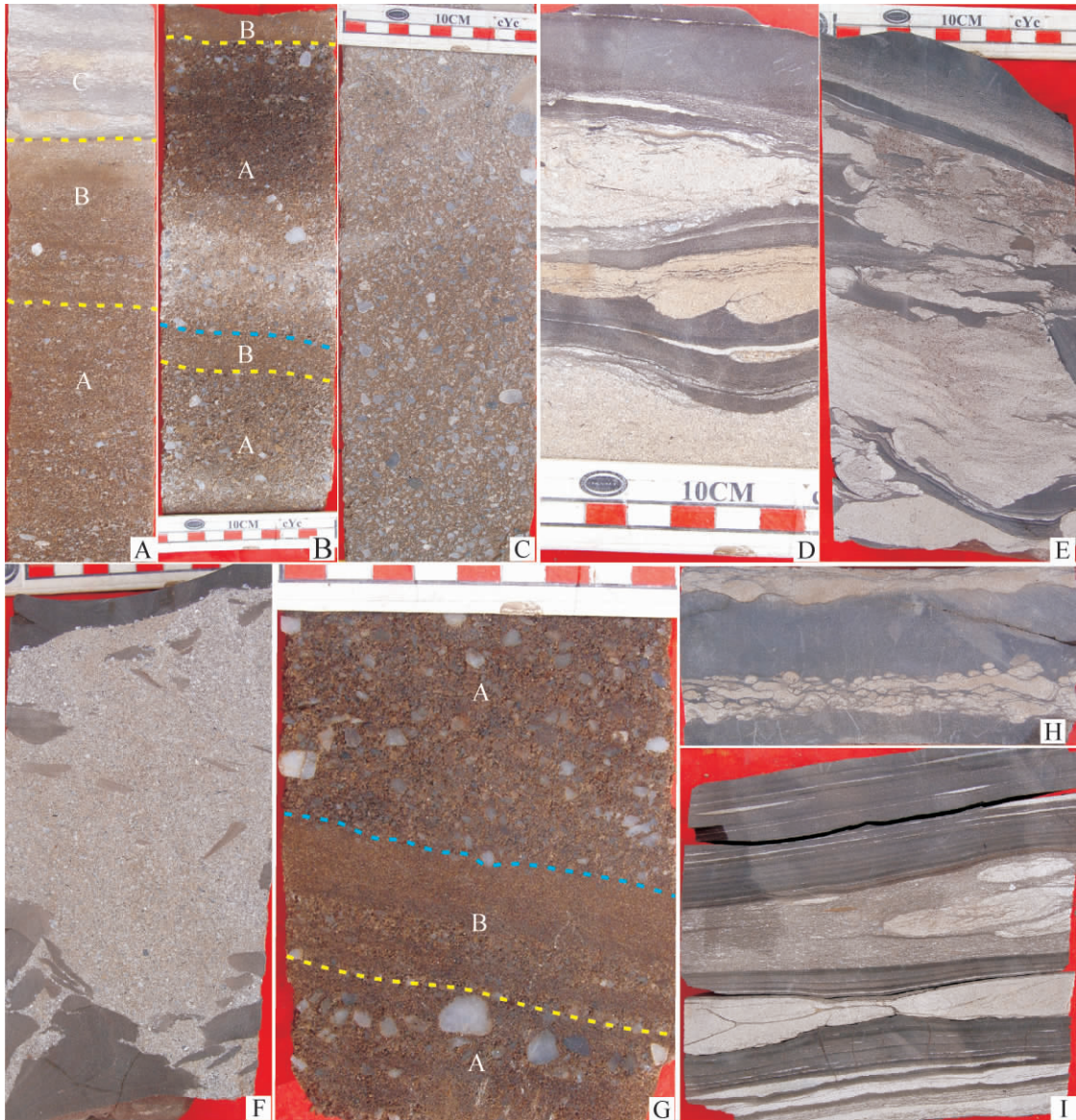


图 3 A 井区流一段下亚段砂体沉积构造特征

(A) 鲍马序列 ABC, A-6 井 2 231.8 m; (B) 鲍马序列 ABAB, A-6 井 2 224.1 m; (C) 正序递变层理, A-6 井 2 212.1 m; (D) 重荷模及火焰构造, B-4 井 2 172.1 m; (E) 滑塌变形构造, B-1 井 2 508.7 m; (F) 泥砾、泥岩撕裂屑, B-1 井 2 519.7 m; (G) 鲍马序列 ABA, A-6 井 2 224.4 m; (H) 砂球、重荷模, A-6 井 2 217.55 m; (I) 砂球、变形构造, A-6 井 2 175 m

Fig. 3 Characteristics of sedimentary structure of lower submember of the first Member of Liushagang Formation of A area

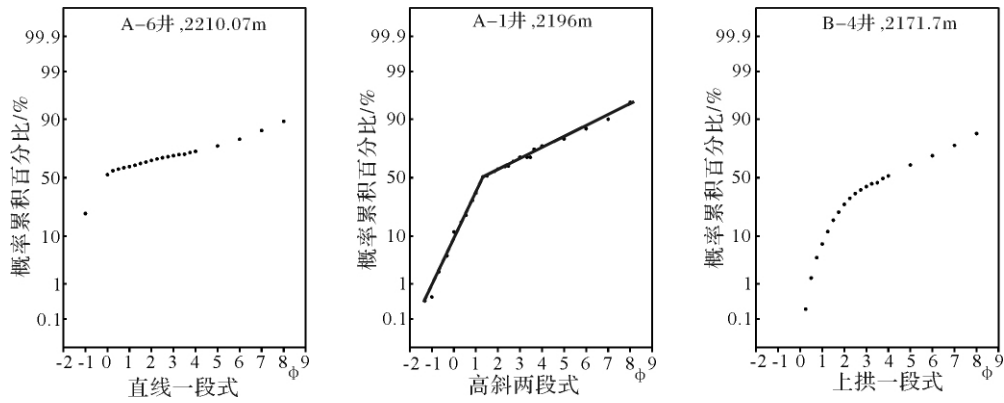


图 4 A 井区流一段下亚段砂体粒度概率曲线类型

Fig. 4 Types of grain size probability plot of lower submember of the first Member of Liushagang Formation of A area

湖区发育的浊流沉积特征。

1.3 沉积物粒度特征

涪西南凹陷 A 井区流一段下亚段砂体取芯样品激光粒度分析资料表明,砂体的粒度变化范围非常大,既发育细砾岩沉积又发育粉细砂岩沉积,砂岩粒度概率图类型多样,常见的粒度概率图主要有直线一段式、上拱一段式、高斜两段式三种类型(图 4) [16]。直线一段式粒度概率图和上拱一段式粒度概率图的粒度区间跨度一般较大,前者范围一般为 $-1 \sim 8\phi$,后者范围一般为 $0 \sim 8\phi$,两种粒度概率图均反映了沉积物整体以悬浮状态搬运,为典型的重力流(如泥石流和浊流)沉积特征,常对应鲍马序列的 A 段;高斜两段式粒度概率图粒度范围跨度同样较大,一般为 $-1 \sim 9\phi$,滚动次总体不发育,跳跃次总体与悬浮次总体的交切点粒度较粗,一般为 $1 \sim 1.5\phi$,跳跃次总体含量和悬浮次总体含量一般均为 50% 左右,但跳跃组分分选相对较好,悬浮组分分选较差,常对应鲍马序列的 B 段。由此表明,流一段下亚段砂体以重力流沉积为主,局部层段具有牵引流沉积特征。

1.4 沉积相序特征

研究区钻井取芯资料较少,A-6 井取芯井段沉积特征如图 5 所示,垂向上整体表现为正序特征,下部为厚度较大的含砾砂岩、砂岩沉积,上部发育厚度较薄的砂岩及深灰色、黑色泥岩互层沉积。下部厚度较大的含砾砂岩、砂岩沉积由多个底部发育冲刷充填构造的正旋回叠加而成,这些正旋回常为鲍马序列 AB 段或 AA 段,下部为块状递变砂砾岩,砾石层呈定向排列,砾石分选和磨圆中等偏差,上部为平行层理砂岩和含砾砂岩。因此,这些正旋回砂体为具有重力流性质且重力流向牵引流过渡的性质。图 5 上部为多

个呈微弱正粒序或粒序不明显的薄层砂岩、含砾砂岩与半深湖—深湖相泥岩互层沉积,薄层砂岩、含砾

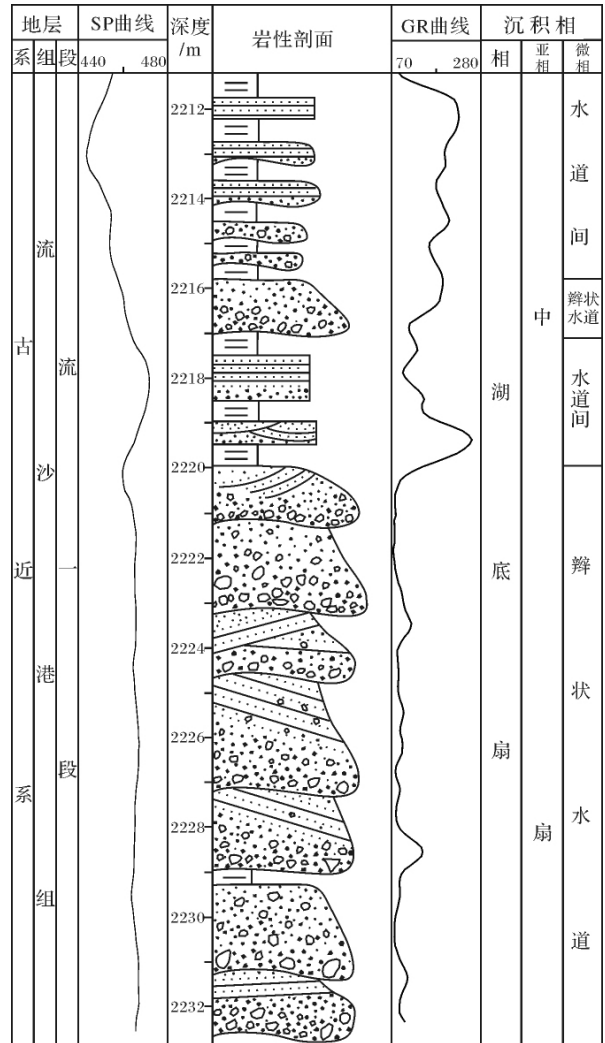


图 5 A-6 井取芯井段沉积相序特征

Fig. 5 Characteristics of sedimentary phase sequence of drilling core in Well A-6

砂岩中常可见到平行层理(图5)。

综上所述,涠西南凹陷A井区5号断层下降盘流一段下亚段砂体具有明显的浊流沉积特征,并且砂体与半深湖—深湖相深灰色、黑色泥岩互层沉积,因此,本文综合砂体沉积特征研究认为,流一段下亚段砂体为湖底扇沉积。图5A-6井取芯井段为湖底扇中扇沉积,主要发育辫状水道和水道间沉积。

2 湖底扇砂体分布规律

2.1 砂体沉积期次划分

涠西南凹陷古近系区域层序地层学研究表明,流一段为一个三级层序,其顶底界面分别为T80和T83地震反射层。流一段三级层序内部存在T82和T81两个地震反射层。根据地震反射特征、测井和录井资料以及不整合的空间和时间规模分析,认为T82和T81为两个四级层序界面,因此,流一段三级层序内部又可划

分出3个四级层序,分别对应于T83~T82、T82~T81和T81~T80^①。钻井资料表明,流一段湖底扇沉积主要发育在T83~T82四级层序内(图1)。由于湖底扇沉积为重力流沉积,沉积相序特征表明,垂向上砂体一般呈粒度向上逐渐变细、厚度逐渐变薄的正序特征。多期湖底扇砂体之间常发育一定厚度稳定分布(厚度10~65 m)的半深湖—深湖相泥岩沉积,这些泥质岩与下伏砂岩的声波速度差值一般较大,在三维地震上表现为1~2个连续性较好的强反射。横向上可以较好地标定和追踪。这种强反射具有划分湖底扇沉积等时地层单元的重要意义,可以作为湖底扇高精度层序地层单元的界面(图6)。测井及录井资料表明,每一期湖底扇沉积均呈加积式到退积式的垂向叠加样式(图1),因此,T83~T82四级层序内识别出了3个五级层序,自下而上分别为MC1、MC2和MC3旋回,分别对应三期湖底扇砂体沉积(图1和图6)。

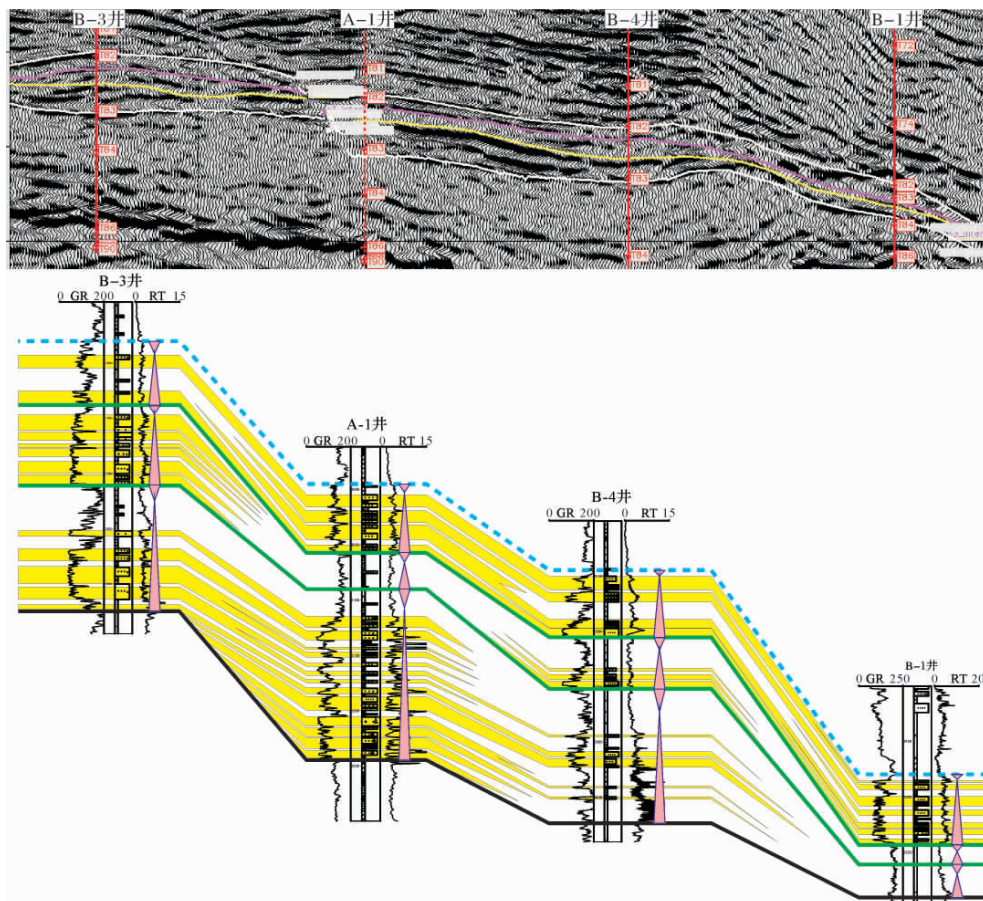


图6 A井区古近系流一段下亚段湖底扇东西向地震剖面及连井对比剖面

Fig. 6 Seismic and correlation well section from east to west of sublacustrine fan of the lower submember of the first Member of Liushagang Formation of Paleogene in A Well field

①操应长,乐友喜,王健,等. 涠西南凹陷古近系高精度层序地层解释、沉积相研究与储集砂体预测. 中国石油大学(华东) 2009

2.2 砂体平面展布特征

由于研究区钻井较少,且多靠近研究区南部,研究区北部尚无钻井控制,仅仅依靠钻井资料、测井资料和录井资料难以确定湖底扇砂体的展布规律。本次研究采用高精度层序地层格架约束下的钻井、录井等地质资料与地震属性、测井约束波阻抗反演资料等地震资料相结合的方法开展砂体的平面展布特征研究,由于地质与地震资料的互补性,可较为有效地解决工区内钻井数量少、地质数据覆盖范围有限的问题,又可降低地震属性的多解性^[17-19]。下面以 MC2 旋回为例进行说明。

在层序地层格架的约束下,对流一段湖底扇 MC2 旋回进行地震属性提取,获取了平均波峰振幅、能量半时及瞬时频率等地震属性(图 7A-C),另外在测井约束波阻抗反演数据体的基础上对平均波阻抗进行了计算(图 7D)。平均波峰振幅特征明显,高值区主要集中在 A 井区的北西方向,平面上呈扇形分布,在靠近 5 号断层带的部位,高值为狭长的条带状,北东方向发育孤立的团块状高值区,其余地区表现为相对低值;能量半时特征同样较为明显,其高值区分布特征与平均波峰振幅相似,同样呈扇形分布在 A 井区的北西方向和孤立状分布在北东方向;瞬时频率

的低值区的分布范围和分布特征与平均波峰振幅和能量半时特征相似,主要集中在研究区的北西方向,呈扇形分布;平均波阻抗的高值区分布特征与平均波峰振幅和能量半时特征基本一致,主要呈扇形集中分布在 A 井区的北西方向,分析表明,研究区东部狭长的高值条带为波阻抗反演过程中受断层影响而产生的异常值。由此表明,各种地震属性在反映砂体的分布规律上具有良好的 consistency,对沉积体展布、沉积相边界的刻画具有很好的作用。

统计研究区钻井钻遇的各旋回湖底扇砂体厚度与平均波峰振幅、能量半时及瞬时频率等地震属性关系表明,平均波峰振幅和能量半时大小与砂体厚度呈正相关关系,而瞬时频率大小与砂体厚度呈反相关关系(图 8)随着砂体厚度的增加,平均波峰振幅、能量半时及平均波阻抗值增大,瞬时频率值减小,据此可预测湖底扇砂体的分布,图 7 中平均波峰振幅、能量半时和平均波阻抗高值区及瞬时频率低值区反映了厚层砂砾岩沉积,而前三者的低值区和后者的高值区反映了薄层砂砾岩和泥岩沉积。因此,MC2 旋回湖底扇砂体分布特征如图 9B 所示,砂体主要呈扇形分布在研究区的北西方向,在北东方向发育规模较小的孤立团块状砂体。采用相同的分析方法,对 MC1 旋

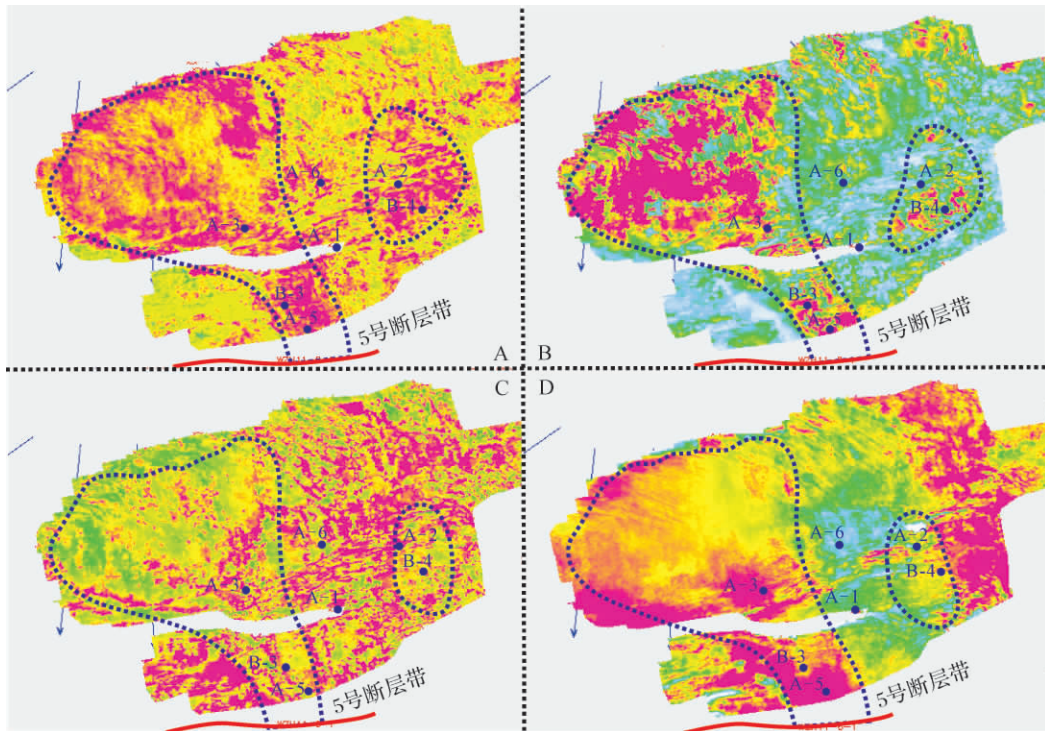


图 7 A 井区流一段湖底扇 MC2 旋回地震属性及平均波阻抗特征

Fig. 7 Characteristics of seismic attributions and average wave impedance in MC2 stage of sublacustrine fan of the first Member of Liushagang Formation of Paleogene in A Well field

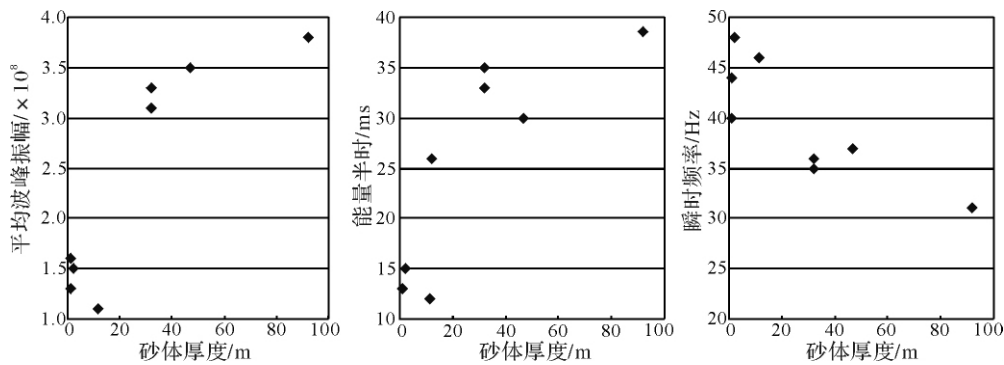


图8 研究区平均波峰振幅、能量半时、瞬时频率大小与砂体厚度关系

Fig. 8 Relationships between seismic attributions of average peak amplitude , energy half time , instantaneous frequency and thickness of sand body

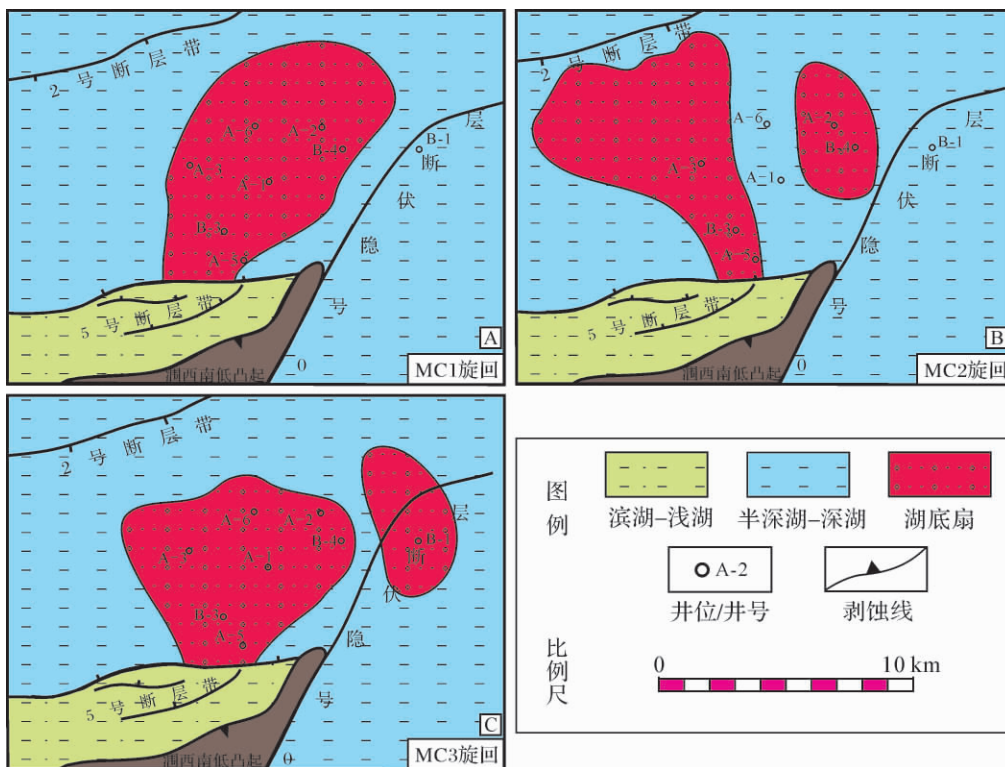


图9 A井区流一段湖底扇砂体平面展布特征

Fig. 9 Distribution characteristics in two dimensional system of sublacustrine fan of the first Member of Liushagang Formation in A Well field

回和 MC3 旋回湖底扇砂体平面分布特征进行了研究 (图9A和图9C)。

MC1 旋回时期,砂体主体自5号断层向北东向延伸。砂体展布面积达到 34.6 km^2 ,砂体厚度在 A-1 井附近达到最大为 80 m,最高砂砾岩百分含量为 40%,向盆地方向至 A-2 井附近,砂体厚度与砂砾岩百分含量均降低。MC2 旋回时期,砂体主体由 MC1 旋回时期的北东向,偏至北西向。砂体主体的展布面

积达 33.2 km^2 ,在 A-5 井附近砂体厚度达到最大为 90 m,最高的砂砾岩百分含量为 70%。同时在 B-4 井附近形成约 7 km^2 的长条形的孤立砂体,其砂体的最大厚度为 10 m,最高砂砾岩百分含量为 30%。MC3 旋回时期,砂体主体由北西向再次偏向北东向。砂体主体的展布面积达 28.4 km^2 ,在 A-1 井附近砂体厚度达到最大为 30 m,最高的砂砾岩百分含量为 40%。同时在 B-1 井附近形成约 8 km^2 的长条形的孤

立砂体,其砂体的最大厚度为 30 m,最高砂砾岩百分含量为 40%。因此,自 MC1 至 MC3 旋回,湖底扇各期砂体在平面上呈现左右迁移的特征。

2.3 纵向演化特征

上述湖底扇砂体平面展布特征表明,自 MC1 旋回至 MC3 旋回砂体呈现摆动迁移的特征。为了进一步研究流一段湖底扇砂体的垂向演化特征,本文采用贯穿该砂体的 3 条骨干剖面进行说明(图 6 和图 10)。

过 B-3 井—B-1 井剖面为近东西向横贯流一段

湖底扇砂体的连井对比剖面(图 6)。MC1 五级层序发育早期,砂体主要分布在 A-1 井和 B-4 井区,随着 MC1 旋回演化发育,湖底扇砂体呈现向西逐渐超覆迁移的特征,至 MC1 旋回发育晚期,砂体主要集中分布在 B-3 井和 A-1 井区;MC2 旋回砂体主要集中分布在 B-3 井区,B-4 井区发育厚度较小的孤立砂体,剖面中其余井均以发育半深湖相泥岩为特征,且地层厚度远小于 B-3 井地层厚度,MC2 旋回湖底扇砂体继承了 MC1 旋回砂体向西超覆迁移的特征,与 MC1 旋回相比,MC2 旋回砂体主体主要分布在研究区的北

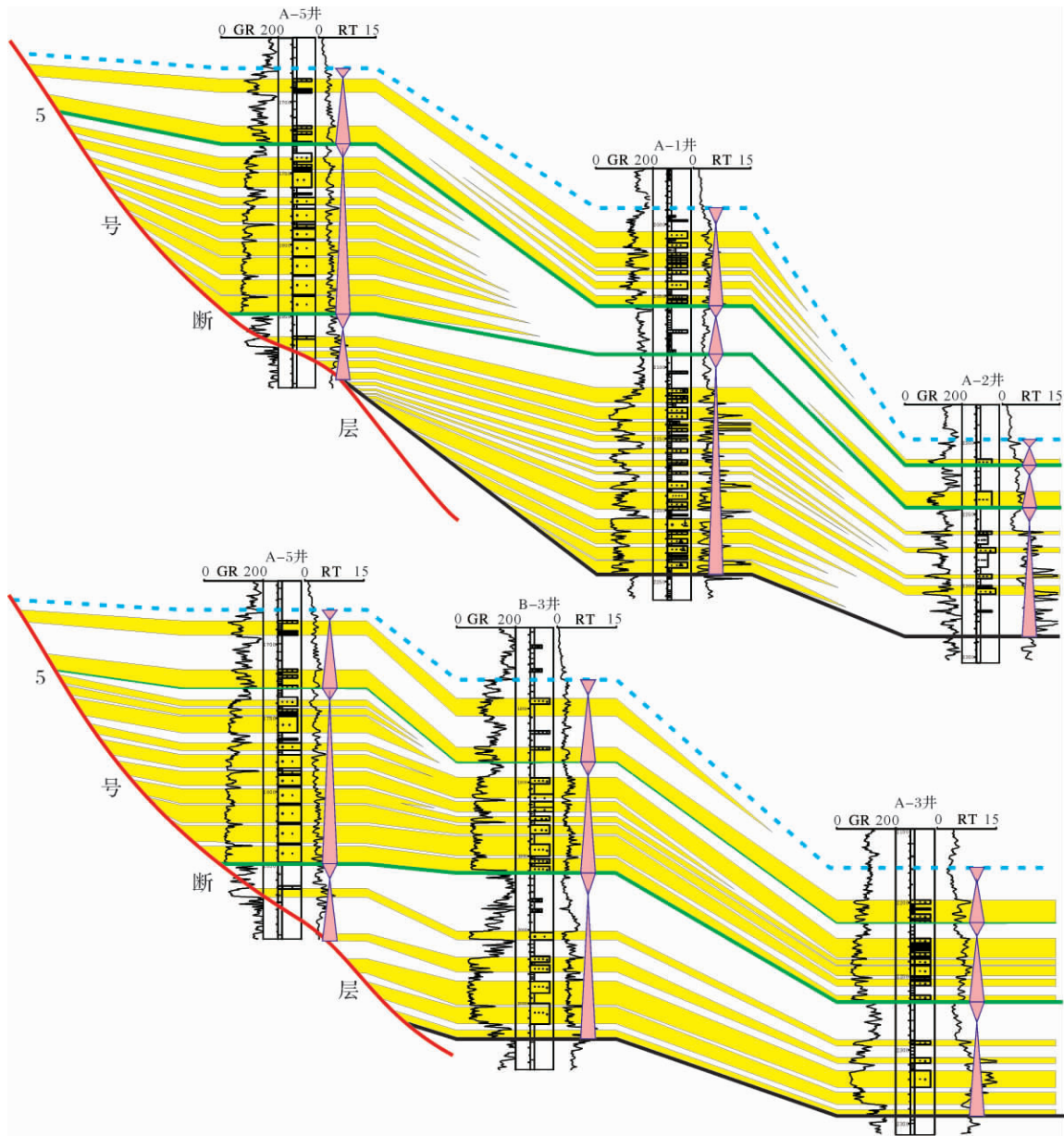


图 10 A 井区流一段湖底扇近南北向连井对比剖面

Fig. 10 Well correlation section nearly from south to north of sublacustrine fan of the first Member of Liushagang Formation in A Well field

西方向; MC3 旋回发育时期, 湖底扇砂体主要集中在 A-1 井、B-4 井和 B-1 井地区, B-3 井砂体厚度较薄, 与 MC2 旋回相比, MC3 旋回砂体明显向东迁移。

过 A-5 井—A-2 井剖面为北东向湖底扇砂体连井对比剖面, 过 A-5 井—A-3 井剖面为北西向湖底扇砂体连井对比剖面(图 10)。MC1 旋回发育时期, A-5 井—A-2 井剖面砂体厚度明显大于 A-5 井—A-3 井剖面砂体厚度, 对比 B-3 井—B-1 井剖面可以看出, MC1 旋回发育早期, 砂体主要发育在 A-5 井—A-2 井剖面, 到 MC1 旋回发育晚期, 砂体逐渐向西迁移, 在 A-5 井—A-3 井剖面上发育了厚度较大的湖底扇砂体; MC2 旋回发育时期, A-5 井—A-2 井剖面砂体主要集中在 A-5 区, 砂体向北东方向推进范围有限, A-1 井和 A-2 井以发育半深湖相泥岩为主, 地层厚度较薄, 而 A-5 井—A-3 井剖面上湖底扇砂体极为发育, 砂体厚度大, 并且呈现向 5 号断层逐渐超覆退积的特征, 由此表明 MC2 旋回发育时期湖底扇主体向北西方向迁移; MC3 旋回发育时期, A-5 井—A-2 井剖面砂体厚度明显大于 A-5 井—A-3 井剖面, 结合 B-3 井—B-1 井剖面砂体分布特征表明砂体主体在 MC3 旋回时期向北东方向迁移。

结合研究区流一段早期构造活动特征研究表明^[20]①, 3 号控盆断层及 0 号隐伏断层活动导致溷西南低突起北缘 5 号断层差异活动从而使 5 号断层下降盘可容空间发生转换, 其是控制流一段湖底扇砂体分布特征的主要因素。由上述 3 条骨干剖面砂体分布规律可以看出, 流一段湖底扇沉积过程中可容空间存在明显的不均衡变化特征, 即可容空间转换现象。可容空间的这种转换特征对湖盆内砂体的分布规律具有十分明显的控制作用^[21-24]。MC1 旋回沉积早期, 5 号断层东段断距大于西段断距, 研究区东部可容空间明显大于西部可容空间, 此时湖底扇砂体由 5 号断层向研究区北东方向推进; MC1 旋回沉积晚期, 由于 0 号隐伏断层南段的活动及 3 号控盆断层活动, 使得溷西南低突起基底产生南东方向抬升、北西方向下降的翘倾运动, 导致 5 号断层下降盘东段抬升而西段下降, 并且由于 MC1 旋回早期湖底扇砂体对研究区北东方向的可容空间的充填, 使得研究区北西方向可容空间逐渐增加而北东方向可容空间逐渐降低, 因此 MC1 旋回晚期砂体呈现逐渐向北西方向超覆迁移的特征; MC2 旋回发育时期, 由于 0 号隐伏断层南段

和 3 号控盆断层持续活动, 使得溷西南低突起基底持续发生南东方向抬升、北西方向下降的翘倾运动, 研究区北西方向可容空间持续增加, 北东方向可容空间持续降低, 使得 MC2 旋回时期湖底扇主体向北西方向推进; MC3 旋回发育时期, 0 号隐伏断层和 3 号控盆断层活动相对减弱, 并且 MC2 旋回沉积时期砂体大量充填北西方向的可容空间, 使得研究区东部和西部可容空间趋于平衡, 导致湖底扇砂体主体逐渐向研究区北东方向迁移。

3 结论

(1) A 井区流一段下亚段砂体发育了丰富的能够反映浊流沉积的鲍马序列、冲刷充填及变形构造等沉积构造并具有直线一段式、上拱一段式及高斜两段式等粒度概率曲线类型。垂向以多个底部发育冲刷充填构造的正旋回叠加为特征, 整体表现为正序。沉积物岩性较粗, 岩石成分成熟度和结构成熟度相对较低。研究区砂体为湖底扇沉积。

(2) 综合利用地震反射特征及垂向地层叠加样式等方法, 在流一段湖底扇共识别出 3 个五级层序, 将湖底扇沉积划分为 3 期。在高精度层序格架的约束下, 结合钻井及录井资料分析与地震属性分析, 对 3 期湖底扇砂体平面分布特征进行了研究, 各期湖底扇具有左右迁移摆动、垂向叠置发育的特征。

(3) 由于受到 3 号控盆断层和 0 号隐伏断层的影响, 使得溷西南低突起北缘发育的 5 号断层幕式活动, 导致研究区可容空间发生转换, 构造运动控制的可容空间不均衡转换是控制流一段湖底扇砂体分布规律的主要因素。

参考文献 (References)

- 1 Dasgupta P. Architecture and facies pattern of a sublacustrine fan, Jhar-ia Basin, India [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 148: 373-387
- 2 刘晖, 操应长, 袁静, 等. 胜坨地区沙四上亚段砂砾岩类型及储层特征 [J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2010, 32(5): 9-15 [Liu Hui, Cao Yingchang, Yuan Jing, et al. The types and reservoir characteristics of glutenite in the upper Es₄ member of Shengtuo area [J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2010, 32(5): 9-15]
- 3 谢风猛, 武法东, 陈建渝, 等. 渤海湾盆地滨南油田砂砾岩扇体空间展布与成藏规律 [J]. *石油实验地质*, 2002, 24(4): 334-338 [Xie Fengmeng, Wu Fadong, Chen Jianyu, et al. Spatial distribution and pool-forming rules of sandy-conglomeratic fans in Binnan Oilfield, the Bohaiwan Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2002, 24(4): 334-338]

①童亨茂, 刘震, 孟令箭, 等. 三围西南凹陷断层系统分析及其与油气成藏关系研究. 中国石油大学(北京) 2006

- 4 加东辉,周心怀,李建平,等. 辽中凹陷中北段重力流发育模式与控制因素[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2010,37(1):69-74 [Jia Donghui, Zhou Xinhui, Li Jianping, et al. Depositional model and controlling factors of sedimentary gravity flows in the central-northern Liaozhong sag, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2010, 37 (1): 69-74]
- 5 林松辉,王华,王兴谋,等. 断陷盆地陡坡带砂砾岩扇体地震反射特征——以东营凹陷为例[J]. 地质科技情报,2005,24(4):55-59 [Lin Songhui, Wang Hua, Wang Xingmou, et al. Seismic reflection feature of grainite fan in abrupt slope zone of rift-subsidence lake basin: a case in Dongying Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24 (4): 55-59]
- 6 姜在兴,王卫红,杨伟利. 21 世纪中国石油勘探战略展望[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(2):1-40 [Jiang Zaixing, Wang Weihong, Yang Weili. Petroleum exploration strategy of China in the twenty first century [J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2002, 26 (2): 1-40]
- 7 席敏红,余学兵,黄建军. 涠西南凹陷(西部)古近系层序地层及沉积特征研究[J]. 海洋石油,2009,27(3):1-42 [Xi Minhong, Yu Xuebing, Huang Jianjun. Paleogene stratigraphic sequence and sedimentary feature in the west of Weixinan Depression [J]. Offshore Oil, 2009, 27 (3): 1-42]
- 8 刘震,谭卓,蔡东升,等. 北部湾盆地涠西南凹陷流沙港组岩性圈闭形成条件[J]. 现代地质,2008,22(2):239-246 [Liu Zhen, Tan Zhuo, Cai Dongsheng, et al. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang Formation, Weixinan Depression of BBW Basin [J]. Geoscience, 2008, 22 (2): 239-246]
- 9 李茂. 涠洲 11-4N 油田流一段强非均质储层评价及开发策略[D]. 山东东营: 中国石油大学,2010 [Li Mao. Evaluation and Development Tactics of Strong Heterogeneity Reservoir in L₁ Segment of Weizhou 11-4N Oil Field [D]. Dongying Shandong: China University of Petroleum (East China), 2010]
- 10 郭飞飞,郭小文,孙建峰,等. 北部湾盆地涠西南凹陷 C 洼烃源岩热史及成熟史模拟[J]. 海洋地质与第四纪地质,2010,30(2):87-93 [Guo Feifei, Guo Xiaowen, Sun Jianfeng, et al. Source rock thermal and maturity history modeling in C sag of the Weixinan Depression, BBW Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30 (2): 87-93]
- 11 王健,操应长,刘明全,等. 涠西南凹陷西部古近系流一段三角洲前缘滑塌油积岩分布规律[J]. 石油地球物理勘探,2010,45(6):879-884 [Wang Jian, Cao Yingchang, Liu Mingquan, et al. Fluxoturbidite distribution for Paleogene Liu-1 Interval West delta front, Wei South-west Depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45 (6): 879-884]
- 12 江文荣. 涠洲 11-4N 油田始新统流沙港组一段油藏精细描述[D]. 成都: 西南石油大学,2008 [Jiang Wenrong. Fine Reservoir Description in L₁ Segment of Eocene in Weizhou 11-4N Oilfield [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2008]
- 13 董贵能,李俊良. 北部湾盆地涠西南凹陷流一段非构造油气藏[J]. 石油勘探与开发,2010,37(5):552-560 [Dong Guineng, Li Junliang. Subtle hydrocarbon reservoirs in Liu-1 Member of the Weixinan Sag, Beibuwan Basin, China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37 (5): 552-560]
- 14 孙文钊,王传雷,杨希滨. 北部湾盆地涠西南凹陷始新统隐蔽油气藏类型及勘探方向[J]. 天然气地球科学,2007,18(1):84-88 [Sun Wenzhao, Wang Chuanlei, Yang Xibin. Types and favorable exploration areas of Eocene subtle traps in Weixinan Sag, BBW Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18 (1): 84-88]
- 15 周廷全,鲜本忠,林会喜,等. 车镇凹陷陡坡带古近系湖底扇沉积规律及储层特征[J]. 油气地质与采收率,2007,14(2):23-27 [Zhou Tingquan, Xian Benzong, Lin Huixi, et al. Sedimentary rules and reservoir characteristics of sublacustrine fan in Paleogene in steep slope Chezhen Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14 (2): 23-27]
- 16 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社,2008 [Yu Xinghe. Sedimentology of Oil and Gas Reservoir in Clastic Rock Series [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008]
- 17 张军华,周振晓,谭明友,等. 地震切片解释中的几个理论问题[J]. 石油地球物理勘探,2007,42(3):348-352 [Zhang Junhua, Zhou Zhenxiao, Tan Mingyou, et al. Several theoretical issues about interpretation of seismic slices [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42 (3): 348-352]
- 18 朱筱敏,刘长利,张义娜,等. 地震沉积学在陆相湖盆三角洲砂体预测中的应用[J]. 沉积学报,2009,27(5):915-921 [Zhu Xiaomin, Liu Changli, Zhang Yina, et al. On seismic sedimentology of lacustrine deltaic depositional systems [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27 (5): 915-921]
- 19 林正良,王华,李红敬,等. 地震沉积学研究现状及进展综述[J]. 地质科技情报,2009,28(5):131-137 [Lin Zhengliang, Wang Hua, Li Hongjing, et al. Current status and progress of seismic sedimentology [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28 (5): 131-137]
- 20 孟令箭,童亨茂,蔡东升,等. 北部湾盆地涠西南凹陷断裂系统成因的砂箱实验研究及启示[J]. 高校地质学报,2009,15(2):246-255 [Meng Lingjian, Tong Hengmao, et al. Sandbox modelling on genetic mechanism of fault system in Weixinan Depression of the Beibu-gulf Basin and its inspiration [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15 (2): 246-255]
- 21 赵伟,邱隆伟,姜在兴,等. 济阳拗陷民丰洼陷古近系沙河街组三段中亚段沉积相展布与演化[J]. 沉积学报,2011,29(2):255-267 [Zhao Wei, Qiu Longwei, Jiang Zaixing, et al. Distribution and evolution of sedimentary facies of the Middle of the Third Member of Shahejie Formation, Paleogene system in Minfeng Sub-sag, Jiyang Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29 (2): 255-267]
- 22 刘震,曾宪斌,张万选. 构造掀斜对单断湖盆湖平面变化的影响[J]. 沉积学报,1997,15(4):64-67 [Liu Zhen, Zeng Xianbin, Zhang Wanxuan. Profile in sediments in estuaries and its application to sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15 (4): 64-67]
- 23 胡受权. 泌阳断陷陡坡带陆相层序发育的可容空间图解探讨[J]. 高校地质学报,1998,4(3):85-9423 [Hu Shouquan. On ac-

commodation diagram of developing mechanics of terrigenous sequence in the steep slope zone of Biyang fault-depression [J]. Geological Journal of China Universities, 1998, 4 (3): 85-94

24 杨伟利,姜在兴,操应长,等. 陆相断陷盆地可容空间转换特征

[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 299-305 [Yang Weili, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, et al. The accommodation transition in faulted lake basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(2): 299-305]

Sedimentary Characteristics and Distribution Law of Sandbodies of the First Member of Liushagang Formation of Paleogene of A Well Field in Weixinan Depression

LIU Jie^{1 2} CAO Ying-chang² WANG Jian² LIU Ming-quan³

(1. School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555;

3. Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057)

Abstract: Large scale glutenite was developed in the sedimentary period of the lower submember of first Member of Liushagang Formation of Paleogene in A well field of Weixinan Depression. Core and analysis and test data I suggest that the sandbody developed abundant sedimentary structure of Bouma cycle, erosion and loading, and the deformation structure and has the type of grain size accumulation curve of uphill arched "1 segment" pattern and line "1 segment" pattern. In vertical section, characterized by superposition of several positive cycles with the sedimentary structure of erosion and loading in the bottom, phase sequence displays the positive sequence as a whole. Sedimentary characteristics showed that the glutenite was sublacustrine fan. 3 stages of sublacustrine fan deposits have been recognized according to the seismic reflection characteristics and the patterns of superposition of vertical formation. In each stage the thickness of sand body of sublacustrine fan is well related to the seismic attribution of average peak amplitude, energy half time and instantaneous frequency. Under the constraint of high resolution sequence stratigraphic framework, combined with well drilling, logging and analysis of seismic attribution, each stage of sublacustrine fan is characterized by constant migration and wiggle in two-dimensional system, and superimposed development in the vertical evolution. The episodic activity of No. 5 fault as a result of the influence of No. 0 fault and No. 3 fault, led to the transformation of accommodation space. So, the unbalanced transformation of accommodation space constrained by structure activity is the main factor controlling the distribution of sand body of sublacustrine fan of the first Member of Liushagang Formation.

Key words: Weixinan Depression; the first Member of Liushagang Formation; sublacustrine fan; seismic attribution; distribution law