

# 准噶尔盆地西北缘八区克下组冲积扇 高分辨率层序地层学

李国永, 徐怀民, 路言秋, 王振林

(中国石油大学 资源与信息学院, 北京, 102249)

**摘要:**为认识剩余油分布规律,以冲积扇沉积模式及沉积特征为基础,应用高分辨率层序地层学方法,结合露头、岩芯及测井资料,研究八区克下组层序分布模式及砂砾岩体展布规律。研究表明:八区克下组冲积扇可识别出不整合面、洪泛面、冲刷面和岩性界面这4类层序界面;依据不同级次基准面升降运动所导致的地层过程旋回性和沉积学响应特征,将八区克下组可划分为3个中期旋回、10个短期旋回、15~16个超短期旋回;以冲积扇沉积体系超短期旋回、短期旋回和中期旋回的沉积序列、结构类型、叠加样式和分布模式为基础,以中期旋回层序为框架,可建立以短期和超短期旋回层序为等时地层对比单元的全区高分辨率层序地层格架;中期基准面旋回控制着砂砾岩体的分布模式,下部的中期旋回砂砾岩厚度大,是克下组主要的储集层。

**关键词:**冲积扇;高分辨率层序地层学;基准面旋回;层序界面;克下组

中图分类号:TE122.24

文献标志码:A

文章编号:1672-7207(2010)03-1124-08

## High-resolution sequence stratigraphy for alluvial fan on lower Karamay formation in 8th zone of northwestern Junggar Basin

LI Guo-yong, XU Huai-min, LU Yan-qiu, WANG Zhen-lin

(Faculty of Natural Resources and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In order to recognize the distribution of remaining oil in the late period of development, based on the alluvial fan sedimentary model and characteristics, using outcrop, core and well logs, high-resolution sequence stratigraphy method was employed to study the distribution of stratigraphic model and sandstone rock in lower Karamay formation in 8th zone. The results show that alluvial fan in lower Karamay formation in 8th zone can be identified as four types of sequence interface, i.e., unconformable surface, flooding surface, scour surface and lithologic transitional surface. Based on the strata cyclicity and sedimentology response caused by different grade base-level change, lower Karamay formation can be divided into three middle-term sequence cycles (MSC), ten short-term sequence cycles (SSC), 15–16 super-short-term sequence cycles (Sup-SSC). Based on sedimentary sequence of MSC, SSC and Sup-SSC, structure type, stacking pattern, distribution pattern, the high-resolution isochronous stratigraphic framework can be built using SSC and Sup-SSC as an isochronous stratigraphic correlation unit. Sandstone rock distribution is controlled by middle term cycle sequence; it is very developmental in lower middle term cycle, and is the main reservoir in the formation.

**Key words:** alluvial fan; high-resolution sequence stratigraphy; base-level cycles; sequence surface; lower Karamay formation

收稿日期:2009-05-10;修回日期:2009-07-25

基金项目:国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2007CB209503)

通信作者:李国永(1979-),男,河北灵寿人,博士,工程师,从事油气田地质学研究;电话:13731535939;E-mail:lgyairen@163.com

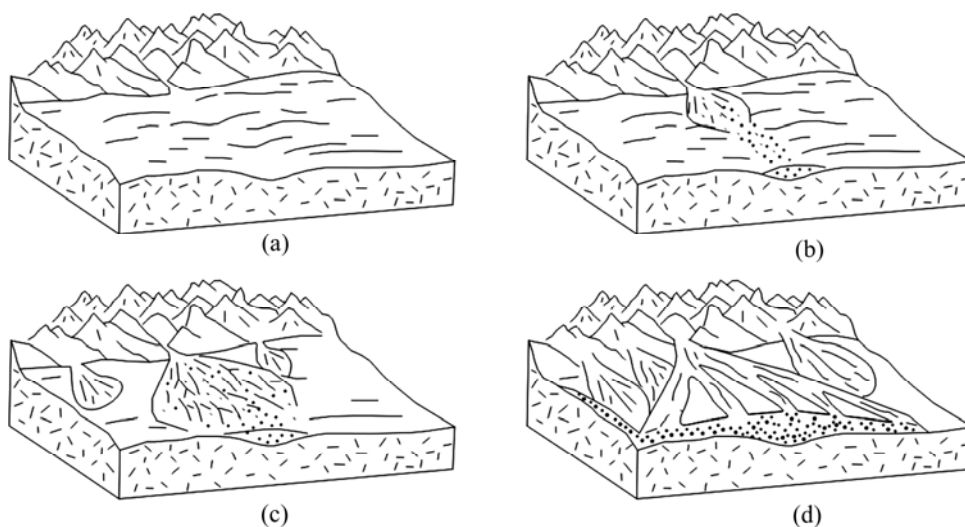
高分辨率层序地层学理论及其技术在我国陆相盆地隐蔽油气藏勘探、储层预测、储层非均质性描述和地层对比等领域得到了广泛应用<sup>[1-5]</sup>。特别是在地层精细对比方面,通过基于基准面旋回原理的层序划分和旋回等时对比法则,可以建立地层形成和演化的系统概念<sup>[6]</sup>,进行地层成因解释和地层的描述对比。对于开发中后期高含水油藏,在近井距(数十米至上百米)条件下,通过短期、超短期旋回的精细对比,建立能深刻表征储层非均质特征及构造复杂性的高精度预测模型,研究剩余油成因、受控因素及分布规律,进而进行综合挖潜是油田二次开发阶段的主要目的<sup>[7-8]</sup>。准噶尔盆地西北缘八区克下组油藏已开发 50 a,积累了丰富的动静态资料。本文作者以高分辨率层序地层学理论为指导,在分析八区克下组冲积扇沉积特征的基础上,通过研究超短期、短期和中期基准面旋回特征,建立克下组高分辨率层序地层格架,以便为下步研究剩余油分布规律奠定基础。

## 1 冲积扇沉积特征

八区克下组油藏位于准噶尔盆地西北缘克乌逆掩断裂带南白碱滩断裂下盘,属于一套山前陆相盆地边缘冲积扇沉积,在多物源、多水系和多变的古地理条件下,形成了多类型、窄相带的复杂碎屑岩体系,储层具有强烈的非均质性<sup>[9-10]</sup>。冲积扇的发育要依赖一

定的构造、地形和源区岩性条件,这些条件决定了冲积扇水流活动和沉积作用的特殊性。冲积扇的横剖面通常呈不规则的双凸形,扇体底部下凸部位是山坡上的冲沟或是山足后退时留下的山区河流遗迹,其上游端经山口与山区的沟壑或河流相接(图 1(a))。携带源区风化碎屑的水流在山口卸下其负载后继续流向盆地,就在山口逐渐形成冲积扇(图 1(b))。每期水流的流量不同,小水流对扇体无明显的冲刷侵蚀,沉积物直接覆盖在先前形成的扇体之上。大水流流出山口后仍有较高的动能,对已形成的小扇体冲刷侵蚀作用较严重,沉积作用只发生小扇体的下半部,使扇体规模逐渐变大而坡度越来越小(图 1(c))。当扇体增大到一定程度时,只有近山口处的扇体上方一部分在洪峰期仍可被漫流覆盖,向下坡方向漫流分散为许多细小密集的辫状水流,在又窄又浅的小沟中流动,并且不断地因小沟被充填而改道,最终在下游逐渐消失。扇体在扩展面积的同时也增大其厚度,并且由于山口处沉积速率最快导致扇体表面上凸(图 1(d))。由于冲积扇的扇面水流不断迁移,沉积物也就形成一个个透镜状的粗碎屑岩体,它们互相错叠,形成了冲积扇特有的复杂的内部构造。

因此,在 1 个粗碎屑冲积扇上,存在着垂向加积和侧向加积 2 种沉积方式。在近山口处的扇体上部(扇顶),无论是片状漫流还是槽洪,主要以垂向加积方式沉积其负载物;到扇体的中部(扇中),沟槽成狭窄的辫状分支,水流有一定的深度并能形成环流,在沟槽



(a) 冲积扇形成前的山麓斜坡地形; (b) 冲积扇发育初期的形态及水流特征; (c) 冲积扇生长期的形态及水流特征; (d) 完整冲积扇的扇体剖面形态及水流特征

图 1 冲积扇发育模式示意图(据文献[10], 修改)

Fig.1 Schematic diagram of alluvial fan development model (According to Ref.[10], modified)

内以侧向加积的粗碎屑为主,沟槽之间的高地上则沉积了垂向加积的细粒物质;在扇体的下部或边缘(扇缘),水流已转入地表径流,悬浮负载仍以垂向加积的方式沉积下来。扇顶、扇中、扇缘是冲积扇沉积体系中具有不同特征的亚相带,扇顶亚相进一步划分为主槽、槽滩、漫洪带 3 种微相,扇中亚相进一步划分为辫流线、辫流砂岛、漫流带 3 种微相,扇缘亚相进一步划分为扇缘河道、泛滥平原 2 种微相,不同微相沉积特征的差异,导致储集层物性和流体运动特征发生变化。

## 2 层序界面识别及高分辨率层序地层划分

### 2.1 层序界面识别及特征

层序包括界面和实体 2 个部分,界面类型、级别及展布决定了层序的性质。确定不同级次层序界面的识别标志和成因类型是进行层序地层划分的关键。克下组冲积扇沉积地层厚度较小,规模不大,横向上相变快,纵向上多期扇体叠置,发育厚层的砂砾岩体,成层性差,因此,确定层序地层样式的关键是准确地将相互嵌套的不同级次层序界面识别出来。根据露头、地震、岩芯及测井资料的综合分析,识别出 4 类层序界面:不整合面、洪泛面、冲刷面和岩性界面。

克下组顶底界与上下地层均呈不整合接触。底界与下伏二叠系地层(局部为石炭系)呈角度不整合接触,并且克下组砾岩与下伏石炭系火山岩、花岗岩之间有风化壳(图 2)。顶界与克上组之间为一平行不整合面,界面之上为灰褐色小砾岩,界面之下为灰色泥岩,可见明显冲刷特征(图 3)。洪泛面是指伴随基准面上升湖水水位上涨达高点位置时发育的沉积界面,剖面上表现为退积式沉积组合折向加积和进积式组合的转换面<sup>[11]</sup>,克下组洪泛面之下地层以灰色、灰黑色泥岩、泥质粉砂岩沉积为主,夹砂岩透镜体,对应的电性特征为高伽马、低电位、低电阻等特点(图 4)。冲刷面是冲积扇在发育过程中,扇顶主槽、扇中辫流线内发育的底冲刷界面,反映上一期冲积扇沉积作用的结束、下一期冲积扇发育的开始,按发育规模,可分为大型冲刷面和小型冲刷面。冲刷面上部为砂砾岩沉积,砾石颗粒粒径不一、分选差,自然电位、自然伽马曲线可呈钟形、箱型,界面下部岩石粒径较小,冲刷界面不规则,界面处曲线形态发生突变。岩性界面<sup>[12]</sup>多是

由于扇体水流能量频繁变化,粗粒沉积物和细粒沉积物交互沉积而成,其特征表现为界面上下岩性、颜色、粒度等特征发生突变,此类界面型式在各井中常见。

### 2.2 高分辨率层序地层划分

根据各级次层序界面的层序地层学意义以及不同级次基准面升降运动所导致的地层过程旋回性和沉积学响应特征,结合钻井岩芯观察描述和测井曲线特征,将八区克下组划分为 3 个中期旋回、10 个短期旋回、15~16 个超短期旋回(图 4)。克下组中下部 S<sub>7</sub> 砂层组内的 2 个中期上升半旋回是研究区主要储集层,发育了从扇顶到扇中再到扇缘的退积式沉积组合,包括短期和超短期旋回在内的层序界面的等时可对比性较好,为划分 S<sub>7</sub> 砂层组层序、建立高分辨率层序地层格架以及在地层格架中划分砂层组、小层和单砂层提供重要依据。上部 R<sub>6</sub>, S<sub>6</sub> 和 R<sub>5</sub> 砂层组内的中期上升半旋回以发育扇缘沉积为主,层序界面识别标志不明显,其等时可对比性较差。

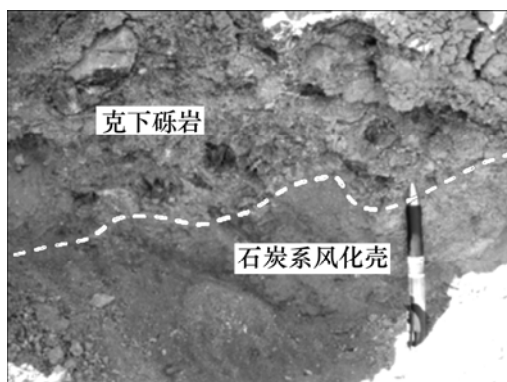


图 2 克下组底界面野外露头特征(深底沟剖面)

Fig.2 Outcrop characteristics of lower Karamay formation bottom boundary (Shendigou Section)



图 3 克下组顶界面野外露头特征(深底沟剖面)

Fig.3 Outcrop characteristics of lower Karamay formation top boundary (Shendigou Section)

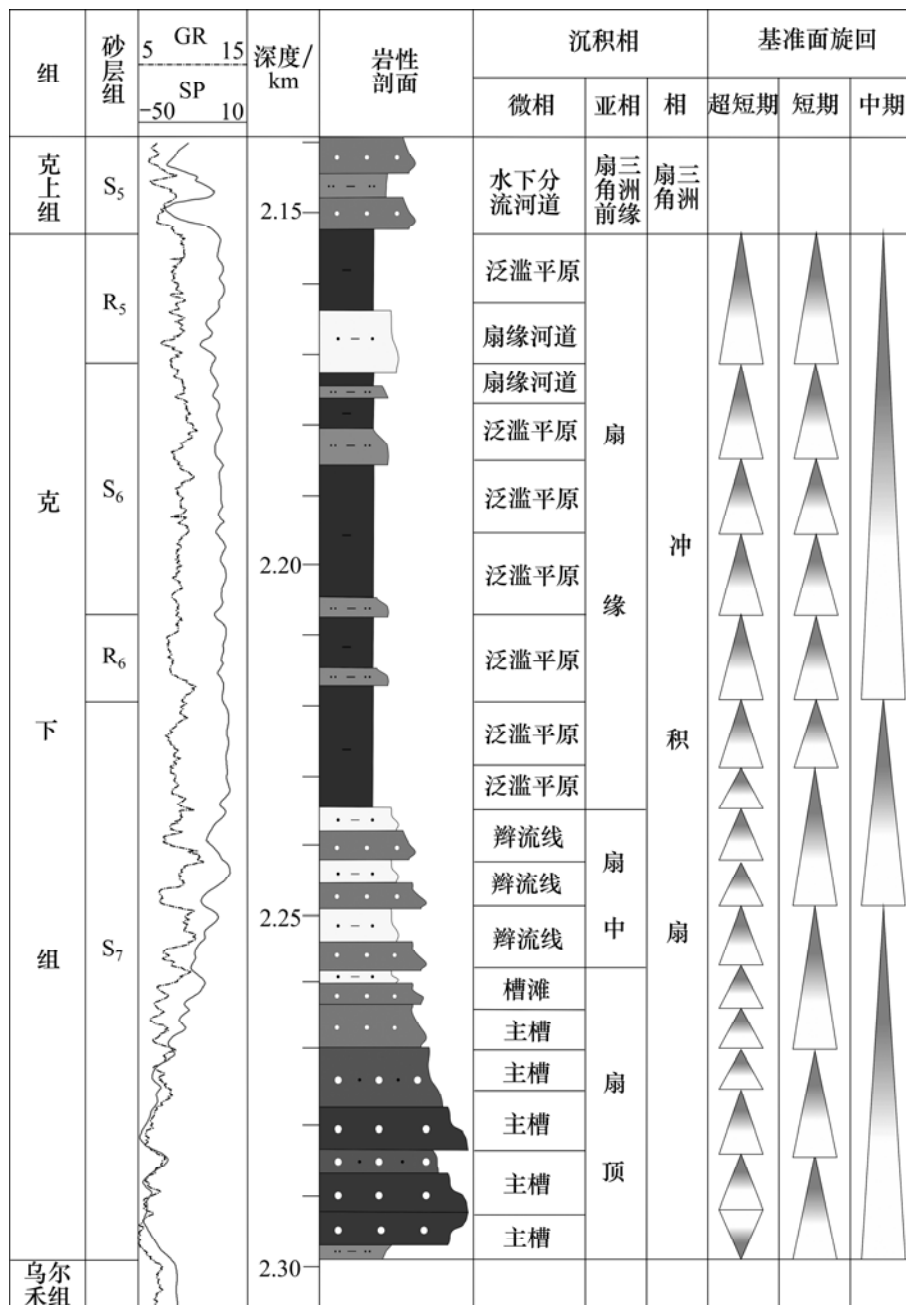


图 4 八区克下组油藏 8047A 井沉积相及高分辨率层序地层

Fig.4 Sedimentary facies and high-resolution sequence of lower Karamay formation in 8th district (8047A)

### 3 层序的旋回性特征

基准面旋回是有级次性的, 郑荣才等<sup>[13]</sup>依据勘探、开发阶段层序分析对象和要求不同, 在原来基准面旋回级次三分的基础上, 提出将陆相盆地基准面旋回分为巨旋回、超长期、长期、中期、短期和超短期 6 级。根据这一分级方案, 将八区克下组基准面旋回

划分为中期、短期和超短期 3 个级别, 不仅能满足油藏开发阶段层序划分要求, 更能在统一划分标准的基础上, 降低各级次旋回划分的随意性, 增强实际应用的可操作性。

#### 3.1 超短期旋回层序特征

超短期旋回是根据钻井岩芯和测井资料所能识别的最小成因地层单元, 属于受可容纳空间供给量  $A$  与沉积物供给量  $S$  之比( $A/S$ )和地层自旋回过程双重因素控制的韵律性沉积产物, 厚度为数米至十余米。在盆

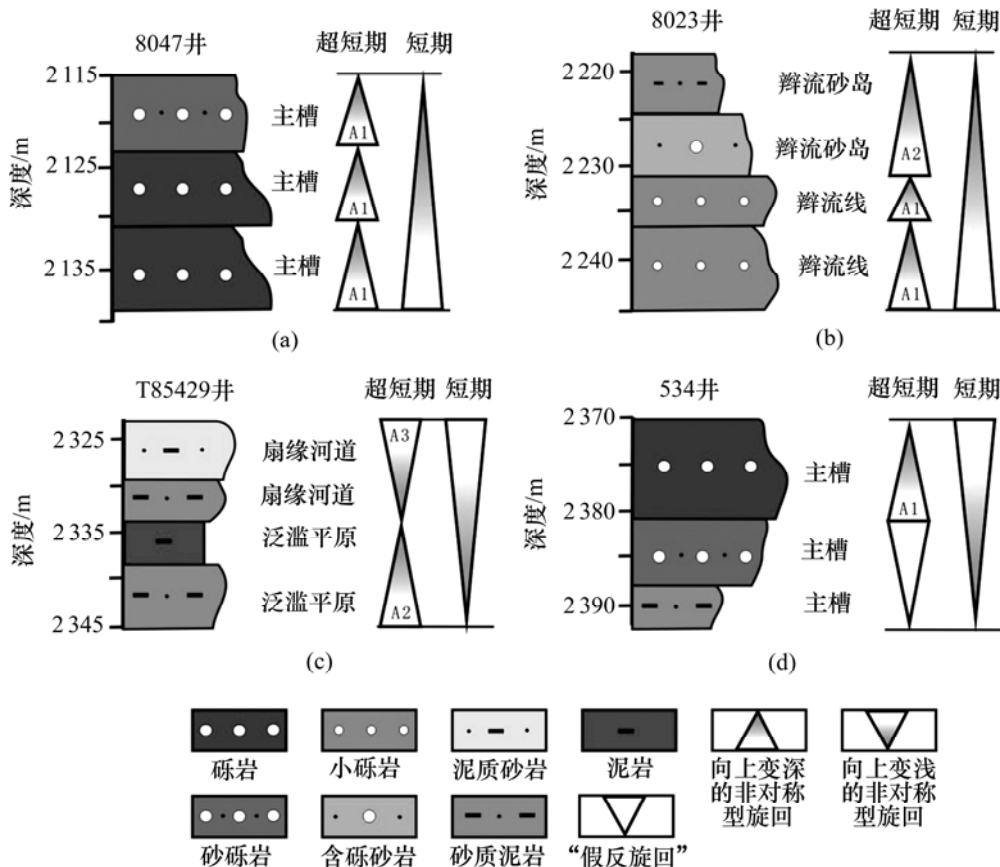
地边缘扇顶、扇中部位,界面主要表现为小型冲刷面或间歇暴露形成的岩性转换面,具有较好的可对比性,在延伸到盆地方向的扇缘部位,界面则为非沉积作用间断面或整合面。在地层记录中,识别此类旋回的工作也主要限于砂砾岩体最发育的扇顶、扇中沉积区,而在泥质沉积为主的扇缘部位则难以识别,且识别此类旋回无实际意义。按研究区岩性和岩相组合特征及沉积演化序列,超短期基准面旋回可划分为 3 种基本结构类型:低可容纳空间向上“变深”的非对称型(A1 型)、高可容纳空间向上“变深”的非对称型(A2 型)和向上“变浅”的非对称型(A3 型)。

A1 型和 A2 型形成于沉积物供给量(S)远大于以及大于可容纳空间增长量(A)的超补偿(A/S << 1)和过补偿(A/S < 1)沉积条件下,代表基准面缓慢上升和快速下降的强烈非均衡韵律性地层自旋回过程。A1 型基准面旋回上升时期沉积的细粒物质会被冲刷侵蚀而难以保存下来,层序主要由基准面上升半旋回早、中期沉积

的单个或多个呈相互切割叠置的砂砾岩体(如主槽、辫流线沉积)组成(图 5(a)),与上覆层序呈现岩性相似、但被底冲刷面分隔的接触关系。A1 型在研究区较常见。

与 A1 型相比,A2 型上升半旋回的沉积物在基准面下降期遭受的下切侵蚀作用较弱,基准面上升期发育的细粒沉积有不同程度的保存,使基准面上升期发育的向上“变深”半旋回沉积记录保存较完整。层序主要由 3 类沉积序列组成,分别是槽滩含砾砂岩—泥质砂岩—泥质细砂岩、辫流砂岛含砾砂岩—砂质泥岩、粉砂岩(图 5(b))及扇缘河道泥质砂岩—泥岩。A2 型与上覆层序呈岩性突变的底冲刷接触关系。

A3 型为反旋回非对称型,缺少上升半旋回。基准面上升期伴随可容纳空间的递增和沉积物供给量的减少,会出现欠补偿或无沉积现象,下降期伴随可容纳空间的递减和沉积物补给量的增加,粗粒沉积物会漫出主槽、辫流线和扇缘河道,叠加到周围的细粒沉积上,形成向上变粗的反旋回特征(图 5(c))。该类型的沉



(a) A1 型超短期旋回及由其构成的短期旋回的结构特征; (b) A2 型超短期旋回及由 A1 和 A2 型超短期旋回构成的短期旋回的结构特征; (c) A3 型超短期旋回及由 A2 和 A3 型超短期旋回构成的短期旋回的结构特征; (d) “假反旋回”及由“假反旋回”、A1 型超短期旋回构成的短期旋回的结构特征

图 5 八区克下组非对称型超短期、短期旋回层序结构特征

Fig.5 Sequence structures of unsymmetric super-short-term and short-term cycle sequence in lower Karamay formation in 8th district

积结构较少,偶见于辫流砂岛和泛滥平原。

此外,在冲积扇的扇顶主槽部位广泛发育一种类似于A3型的“假反旋回”,这种反旋回不是由于基准面升降产生的可容纳空间变化及沉积物供给量的增减而形成,而是由于在早期的干旱条件下,冲积扇扇顶部位的沉积方式以泥石流沉积为主,当泥石流的流速减缓时,不同大小的沉积物便迅速地同时堆积。不同粒径的颗粒混杂,粒度相差悬殊,往往形成向上变粗的逆粒序(图5(d))。“假反旋回”沉积厚度不大,只在克下组底界附近常见,可作为主槽微相的识别标志。

### 3.2 短期旋回层序特征

短期旋回层序由旋回结构、砂体发育特征和时空展布规律相同的超短期旋回层序叠加组成<sup>[7]</sup>,厚度一般为近十米或十几米。此类旋回在次级盆地之间难以对比,在同一次级盆地中的2个相邻沉积体系之间对比难度亦较大,而在同一沉积体系或油气藏范围内大多数具有较好的可对比性和等时性。在开发阶段,由于层序分析一般限于某个区块的沉积体系或油气藏,以含油气层段为层序分析对象,不仅其范围小和可对比性较好,而且旋回的结构类型和叠加样式的变化,可直接显示有利储集相带的展布规律,因而有着广阔的应用前景<sup>[13]</sup>。

研究区发育的短期基准面旋回可分为向上“变深”的非对称型和向上“变浅”的非对称型2种类型,以向上“变深”的非对称型旋回为主。在垂向剖面上,向上“变深”非对称型大多由2~3个A1型向A2型递变的超短期旋回层序叠加组成,具有复合正韵律旋回结构特征。这一结构特征是沉积物供给率由处于持续过补偿的低可容纳空间条件向补偿的高可容纳空间条件转化过程中的产物。

在短期基准面上升时期, $A/S \ll 1$ 向 $A/S < 1$ 递增过程中,有效可容纳空间向物源方向增加,在靠近物源的扇顶部位,主槽内堆积进积作用最为强烈,主槽微相非常发育,依次向盆地方向延伸的扇中、扇缘部位沉积物颗粒粒径逐渐变小,沉积速率明显减弱。在基准面下降时期, $A/S > 1$ 向 $A/S \ll 1$ 递减,有效可容纳空间向盆地方向迁移,扇顶主槽内发生大规模的冲刷下切作用,早期上升半旋回沉积的较细沉积物被冲刷带走。扇中辫流区内同样发生冲刷下切,但规模和强度较主槽稍弱。扇缘亚相有效可容纳空间减小的规模远小于扇顶、扇中亚相的有效可容纳空间减小规律,冲刷作用最弱,甚至局部可以接受从扇顶、扇中搬运来的细粒物质。因此,在完整的短期基准面旋回的上升、下降过程中,扇顶的主槽沉积区、扇中的辫流沉积区和扇缘的部分河道沉积区发育向上“变深”的

非对称型旋回(图5)。在槽滩、辫流砂岛、泛滥平原局部会出现由于粗粒沉积而形成向上“变浅”的非对称型旋回特征。

### 3.3 中期旋回层序特征

1个完整的中期旋回代表了1次基准面升降过程<sup>[14]</sup>,也就是冲积扇由加积、退积到进积的生长全过程。克下组发育的3个中期基准面旋回叠加样式都为向上“变深”的非对称型,其中:下部中期旋回主要由A1型超短期旋回和“假反旋回”组成的短期旋回叠加而成,岩性较粗,为一套砾岩、砂砾岩夹泥质粉砂岩的扇顶、扇中沉积,等时可对比性较强;中部中期旋回主要由A1型和A2型超短期旋回组成的短期旋回叠加而成,旋回下部为扇中沉积,岩性为不等粒小砾岩、砂砾岩,向上过渡为扇缘沉积,泥质含量增多,顶部 $S_7^1$ 小层发育一套广泛分布的泥岩;上部中期旋回主要由A2型超短期旋回组成,偶尔可见A3型反旋回,该旋回主要以泥岩、泥质粉砂岩夹薄层砂(砾)岩为主,全部为扇缘沉积,等时可对比性较差。在3个中期旋回内部,岩石粒径都具有向上逐渐变小的特征,旋回间具有较稳定分布的泥岩—泥质粉砂岩。

## 4 高分辨率地层格架建立及砂体展布

高分辨率层序地层学的地层对比是同时代地层与地层或地层与界面的对比,而非岩性地层对比<sup>[1]</sup>。在成因层序的对比中,基准面旋回的转换点即基准面由下降到上升或由上升到下降的转换位置,可作为时间地层对比的优选位置<sup>[15]</sup>。根据高分辨率层序地层学的成因地层对比法则,以单井剖面的各级次基准面旋回划分为基础,以基准面由上升转为下降的转化面为优选等时地层对比位置并作为对比初始面,以中期基准面旋回底界面为终止面<sup>[16-17]</sup>。在单井超短期、短期基准面旋回识别划分的基础上,进行了密井网的连井剖面对比,建立了高分辨率等时地层对比格架(图6)。

研究区在层序横向对比过程中出现以下2种情况:(1)各剖面超短期旋回层序同时到达中期旋回层序底界面,说明作为中期旋回层序界面发育要素的侵蚀冲刷作用较弱,地层格架中的超短期层序是基本等时和同步均衡发育的;(2)对发育于中期旋回上升期的超短期层序进行自上而下的逐层对比时,按顺序不能同时到达中期旋回层序底界面,有的井剖面多出1个或数个超短期层序,这些多出的层序属于层序界面上相对低洼部位的优先充填物,在主槽、辫流微相中,通常由优先充填下切河道的砂砾岩体组成,砂砾

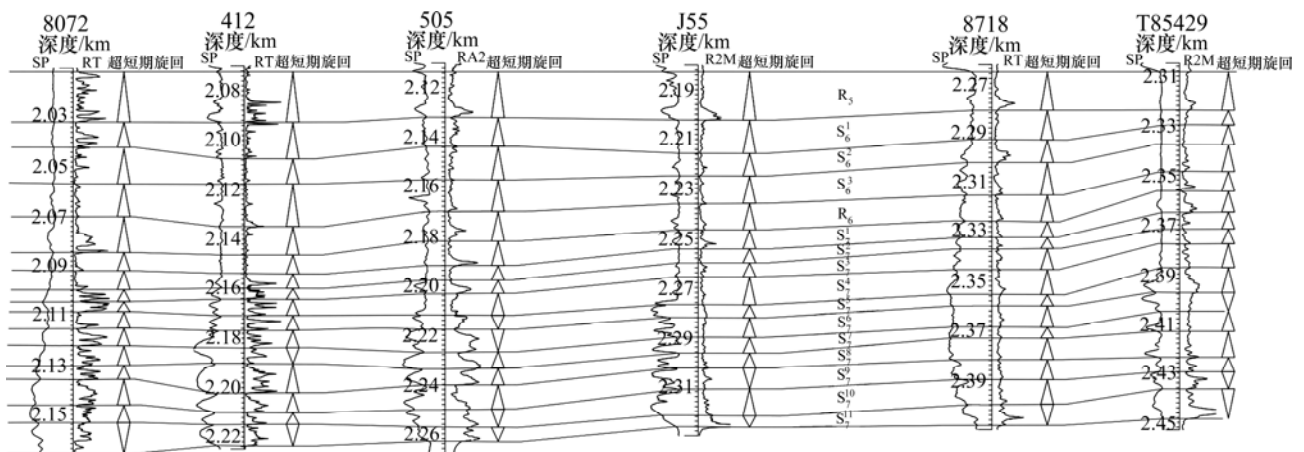


图 6 克下组高分辨率层序地层格架(顺物源方向)

Fig.6 High-resolution sequence stratigraphic framework of lower Karamay formation (along source direction)

岩体厚度越大、多出的超短期层序数量越多,说明中期旋回层序界面对下伏地层的下切侵蚀幅度越大,延时越长。

在对克下组高分辨率层序地层划分的基础上,对基准面变化过程中层序格架内的砂砾岩体分布进行分析可知:砂砾岩体的发育与基准面变化密切相关,中期基准面旋回控制着砂砾岩体的分布模式。下部中期旋回中的  $S_7^{11}$  小层到  $S_7^5$  小层砂,砾岩厚度大,砾岩含量占绝大部分,成层性好,横向连续,延伸范围广,泥质隔夹层厚度小,很多部位砂砾岩体垂向叠置,是克下组主要的储集层;中部中期旋回中的  $S_7^5$  小层到  $S_7^1$  小层砾岩含量减少,砂岩含量增多,砂、砾岩体厚度变小,横向连续性较下部小层变差,隔夹层比较发育,是克下组较差的储集层;上部中期旋回  $R_6$ ,  $S_6$  和  $R_5$  砂层组内沉积物粒径较小,发育厚层泥岩夹少量粉砂岩,砂体呈透镜状发育,泥质含量多,为非储集层。

## 5 结论

(1) 八区三叠系克下组冲积扇沉积体系存在垂向加积和侧向加积 2 种沉积方式。扇顶部位水流方式为片状漫流和槽洪,以垂向加积沉积负载物;扇中沟槽内水流方式为环流,以侧向加积沉积粗碎屑,沟槽之间以垂向加积沉积细粒物质;扇缘水流为地表径流,悬浮负载仍为垂向加积方式沉积。

(2) 根据露头、岩芯及测井资料的综合分析,在克下组识别出不整合面、洪泛面、冲刷面和岩性界面

这 4 类层序界面,依据各级次层序界面的层序地层学意义以及不同级次基准面升降运动所导致的地层过程旋回性和沉积学响应特征,将八区克下组划分为 3 个中期旋回、10 个短期旋回、15~16 个超短期旋回。只在超短期基准面旋回中发育少量向上“变浅”的非对称型,其他超短期、短期和中期旋回叠加样式都为向上“变深”的非对称型。

(3) 通过全区密井网连井剖面的对比,建立了高分辨率层序地层格架。砂砾岩体的发育与基准面变化密切相关,中期基准面旋回控制着砂砾岩体的分布模式。下部中期旋回砂、砾岩厚度大,是克下组主要的储集层;中部中期旋回砾岩含量减少,是较差的储集层;上部中期旋回发育厚层泥岩夹少量细砂岩,为非储层。

## 参考文献:

- [1] 淡卫东, 张昌民, 尹太举, 等. 川西白马庙气田上侏罗统蓬莱镇组高分辨率层序地层对比[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 708-714.  
DAN Wei-dong, ZHANG Chang-min, YIN Tai-ju, et al. High resolution sequence stratigraphic correlation of Penglaizhen formation upper Jurassic of Baimamiao gas field, Western Sichuan[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 708-714.
- [2] 王居峰. 东营三角洲-浊积扇高频层序叠加样式与岩性圈闭[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 303-309.  
WANG Ju-feng. High frequency sequence stacking mode of Dongying delta-turbidite fans and lithological trap[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 303-309.
- [3] 袁新涛, 沈平平. 高分辨率层序框架内小层综合对比方法[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 87-91.

- YUAN Xin-tao, SHEN Ping-ping. Continental strata correlation of high-resolution sequence in reservoir development phase[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(6): 87-91.
- [4] 辛艳朋, 牟中海, 郭维华, 等. 退积型扇三角洲高分辨率层序地层研究[J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 9(2): 68-71.
- XIN Yan-peng, MOU Zhong-hai, GUO Wei-hua. High-resolution sequence stratigraphy for retrogradational fan deltas[J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology*, 2007, 9(2): 68-71.
- [5] 赵翰卿. 高分辨率层序地层对比与我国的小层对比[J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(1): 5-12.
- ZHAO Han-qing. High-resolution sequential stratigraphy correlation and Chinese subzone correlation[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(1): 5-12.
- [6] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 322-350.
- [7] 孙致学, 凌庆珍, 邓虎成, 等. 高分辨率层序地层学在油田深度开发中的应用[J]. *石油学报*, 2008, 29(2): 239-245.
- SUN Zhi-xue, LING Qing-zhen, DENG Hu-cheng, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy in deep development of oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2): 239-245.
- [8] 吴胜和, 马晓芬, 王仲林. 温米油田开发阶段高分辨率层序地层学研究[J]. *石油学报*, 1999, 20(5): 33-38.
- WU Sheng-he, MA Xiao-fen, WANG Zhong-lin. High resolution sequence stratigraphical research in reservoir development stage of Wenmi Oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(5): 33-38.
- [9] 吴胜和, 伊振林, 许长福, 等. 新疆克拉玛依油田六中区三叠系克下组冲积扇高频基准面旋回与砂体分布型式研究[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(2): 157-163.
- WU Sheng-he, YI Zhen-lin, XU Chang-fu, et al. High frequency base-level cycles of alluvial fan and distribution patterns of sandbodies of lower Karamay formation (Triassic) in middle 6th district of Karamay oilfield, Xinjiang[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(2): 157-163.
- [10] 李庆昌, 吴虻, 赵立春, 等. 砾岩油田开发[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 23-28.
- LI Qing-chang, WU Mang, ZHAO Li-chun, et al. Conglomerate oilfield development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 23-28.
- [11] 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用—以百色盆地仑35块那二段油藏为例[J]. *沉积学报*, 2003, 21(4): 654-662.
- ZHENG Rong-cai, PENG Jun, PENG Guang-ming, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the second member of Nadu formation in Lun-35 block of baise basin and its application in development of oil reservoir[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(4): 654-662.
- [12] 毛治国, 樊太亮, 刘亚明, 等. 南苏门答腊盆地北部新生代层序底层格架及有利储层预测[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2007, 38(6): 1225-1231.
- MAO Zhi-guo, FAN Tai-liang, LIU Ya-ming, et al. Phanerozoic sequence stratigraphic framework and reservoir distribution in the north of South Sumantra Basin[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2007, 38(6): 1225-1231.
- [13] 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 249-255.
- ZHENG Rong-cai, PENG Jun, WU Chao-rong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 249-255.
- [14] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. *中国地质*, 2006, 23(1): 212-220.
- JIN Song, ZHU Xiao-min, ZHONG Da-kang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies[J]. *Geology in China*, 2006, 23(1): 212-220.
- [15] 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(3): 177-184.
- DENG Hong-wen, WANG Hong-liang, LI Xi-zhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(3): 177-184.
- [16] 郑荣才, 柯光明, 文华国, 等. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2004, 31(6): 641-647.
- ZHENG Rong-cai, KE Guang-ming, WEN Hua-guo, et al. Isochronic correlation of fluvial sandbodies by high-resolution sequence technique[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology*, 2004, 31(6): 641-647.
- [17] 陈景山, 彭军, 周彦, 等. 基准面旋回层序与油层单元划分关系[J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(2): 162-165.
- CHEN Jing-shan, PENG Jun, ZHOU Yan, et al. The relation of base-level cycle sequence to reservoir division[J]. *Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology*, 2007, 29(2): 162-165.

(编辑 赵俊)