

doi:10.3799/dqkx.2012.083

准西车排子地区中新生界层序格架及砂体预测模式

杨永利¹, 陆永潮², 李祥权^{2,3}, 王西杰², 陈平²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室, 山东青岛 266071

摘要: 前陆盆地由于其独特的构造和沉积背景形成不同的层序地层格架样式。以准噶尔盆地车排子地区为例, 详细分析了造山带前缘隆起斜坡带层序样式。在准西车排子地区中新生界主要目的层段(下白垩统吐鲁番群、古近系安集海河组、新近系沙湾组和塔西河组)充填沉积中识别出5条主要等时界面, 据界面的性质和级别划分出一级层序2个, 二级层序组3个, 三级层序4个。受前陆盆地造山带前缘隆起斜坡带独特的沉积背景及多幕逆冲构造活动作用过程的控制, 准西车排子地区中新界各三级层序具有二元沉积结构特征, 仅发育低位和湖扩体系域。逆冲挤压期发育低位粗碎屑沉积, 应力松弛期发育湖扩细碎屑沉积。低位下切谷、大型扇三角洲和湖扩滩坝砂是准西车排子地区的有利储集砂体及勘探目标。

关键词: 前陆盆地; 体系域; 车排子地区; 层序地层; 构造; 沉积学; 油气。

中图分类号: TE122

文章编号: 1000-2383(2012)04-0743-08

收稿日期: 2011-12-13

Mesozoic-Cenozoic Sequence Framework and Sandstone Predication Model in Chepaizi Area, Western Junggar Basin

YANG Yong-li¹, LU Yong-chao², LI Xiang-quan^{2,3}, WANG Xi-jie², CHEN Ping²

1. College of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: Special sequence stratigraphic framework formed in the foreland basin due to its unique tectonic and sedimentary background. In this paper, the sequence patterns in orogenic front uplift belt are discussed taking an example of the Chepaizi area, western Junggar basin. Five key chronohorizons are identified in Mesozoic-Cenozoic sedimentary intervals (Tugulu Group of Lower Crataceous, Anjihaihe Group of Paleogene, Shawan Group and Taxihe Group of Neogene) in the study area. According to the features and orders of the sequence boundaries, two first-order sequences, three second-order sequences and four third-order sequences are divided. Controlled by the special orogenic front uplift slope depositional setting in foreland basin and multiple episodic thrusting processes, the Mesozoic-Cenozoic sequences show two contrasting segments of sequence architecture with only lowstand system tract and transgressive system tract in the Chepaizi area. Coarser grain deposits developed in lowstand system tract during thrusting period, and finer grain deposits developed in transgressive system tract during tectonic relaxing period. The lowstand incised valleys, large scale fan deltas and transgressive beach sandbars are the mainly favorable reservoir rocks and exploration targets.

Key words: foreland basin; system tract; Chepaizi area; sequence stratigraphy; tectonics; sedimentology; petroleum.

以Vail和Van Wagoner为代表的层序地层学理论的精髓是建立了一个受控于海平面变化、构造运动、沉积物供给及气候等综合因素, 并具有强大预

测功能的地层叠置格架模式(Vail *et al.*, 1977; Vail, 1987; Van Wagoner *et al.*, 1990)。近二十多年来, 层序地层学的理论和方法在我国陆相盆地油

气勘探实践中发挥了巨大的作用,尤其是对非常规隐蔽岩性油气藏的勘探(吴因业,1997;李思田等,2002;顾家裕和张兴阳,2004;鹿洪友等,2004),地质学家们不断地研究并建立不同沉积背景下的层序发育样式,使层序地层学理论得以不断丰富和发展(Posamentier and Allen,1993;解习农等,1996;吴和源,2011;姜在兴,2012)。准西车排子地区位于前陆盆地的造山带前缘隆起斜坡带上,为典型的岩性油气藏发育区,盆地中新生界沉积经历了多幕逆冲挤压构造作用,导致层序地层样式的特殊性。如何准确建立多幕挤压背景条件下层序地层格架和沉积充填样式是该区隐蔽油气藏勘探的关键。本文通过对准西车排子地区系统的层序地层学研究,揭示了该区前陆盆地的前缘隆起斜坡带及多幕逆冲挤压构造背景下的层序地层发育特征,从而建立车排子地区中新生界地层有利储集砂体的发育模式。研究成果对与准西车排子地区具有相似沉积背景的层序地层学研究及其油气勘探具有重要的理论和实践意义。

1 地质概况

车排子地区位于准噶尔盆地西北缘,区域构造

上位于准噶尔盆地西部隆起区车排子凸起东部。车排子凸起构造区划上归属准噶尔类前陆盆地的造山带前缘隆起斜坡带,是准噶尔盆地西部隆起区次一级构造单元。从整体上看,车排子凸起为北西走向且向东南倾伏的三角形凸起,是准噶尔盆地西部隆起的主体,地层以上超形式为主,隆起面积大且具有长期继承性。系统的沉积和古构造分析表明,准西车排子地区中新生界经历了两期大的幕式逆冲挤压演化和沉积充填过程,即中生界复合前陆盆地充填演化阶段和新生界前陆盆地多幕充填演化阶段(金鑫等,2007)。在西缘的车排子地区,由于其处于特定的前陆盆地造山带前缘隆起斜坡带部位,沉积地层均具有从西南侧的四棵树凹陷和东侧的昌吉凹陷向东南倾伏的车排子隆起梁超覆的特点,自下而上沉积了白垩系吐谷鲁群、古近系安集海河组和新近系沙湾组、塔西河组和独山子组等地层(图 1)。

2 层序单元划分及充填特征

根据岩相、测井相、地震剖面、古生物组合和地球化学特征等所反映的地层不整合面及与之对应界面的级别及特征,在准西车排子中新生界主要目的层段(下白垩统吐谷鲁群、古近系安集海河组、新

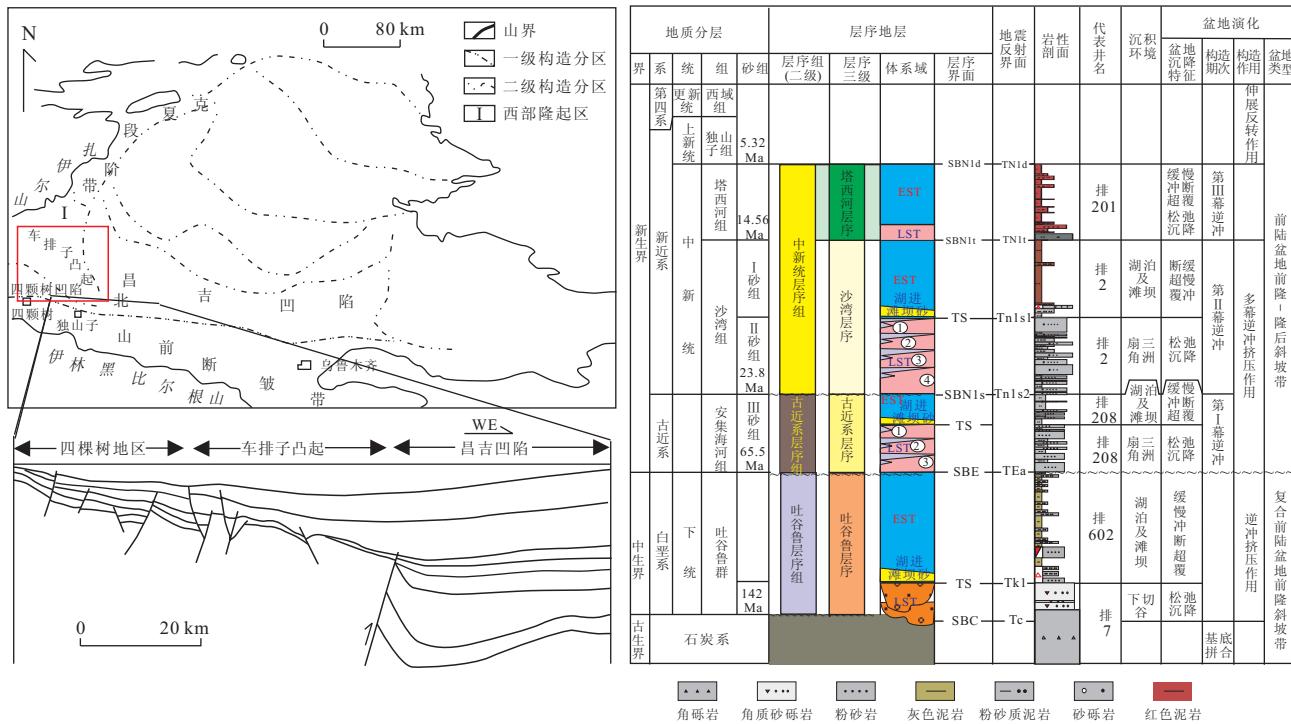


图 1 区域地质背景
Fig. 1 Regional geological setting

近系沙湾组)中可识别出5条主要的等时层序界面:(1)下白垩统吐谷鲁群底一级层序界面SBC;(2)古近系安集海河组底一级层序界面SBE;(3)新近系沙湾组底二级层序界面SBN1s;(4)新近系塔西河组顶二级层序界面SBN1d;(5)新近系塔西河组底三级层序界面SBN1t。相应地在中新生界充填沉积中划分出一级层序2个,即中生界一级层序和新生界一级层序;二级层序3个,中生界层序中包含1个二级层序一下白垩统层序组,新生界层序中包括2个二级层序,即古近系层序组和新近系中新统层序组;三级层序(或层序)4个,即下白垩统吐谷鲁层序、古近系安集海河层序、新近系沙湾层序和塔西河层序。

2.1 层序界面发育特征

一级层序界面SBC界面—吐谷鲁群的底界面(142 Ma),在准噶尔盆地中是由区域性逆冲挤压—快速松弛事件所产生不整合面或假整合面,受南缘主逆冲作用,西北缘相应地被动产生的一级不整合面,在车排子地区为向车排子隆起脊和西北斜坡超覆的区域性超覆不整合界面,与下伏古生界石炭系地层呈区域性角度不整合。地震剖面上界面的上超

和对下伏层的削蚀、削截形成沟谷现象明显。地震波振幅强、连续,常呈强单轨或双轨出现,测井曲线具突变特征,与下伏石炭系地层有明显差异(图2)。

一级层序界面SBE—古近系安集海河组底界面(65.5 Ma),在准噶尔盆地中为由区域性逆冲挤压—快速松弛事件所产生不整合面或假整合面,受南缘逆冲作用而产生的一级超覆不整合面,在车排子地区向车排子隆起脊隐伏并逐渐消失,形成东南倾的宽缓斜坡,界面下伏地层被明显的削截,呈区域性角度不整合,上覆古近系地层明显向西北(滨岸)超覆。该界面为中新生代地层的分界面,地震剖面界面之上的地层上超和对下伏地层的削蚀、削截现象明显。地震波为较连续、较强振幅,常呈单轨,局部出现双轨或多轨。测井曲线具突变,与下伏下白垩统和石炭系地层有明显差异(图2)。

二级层序界面SBN1d—新生界上新统独山子组底界面(5.32 Ma),为幕式逆冲挤压期充填沉积的顶界面,属中新生界古新统逆冲挤压盆地向上新统断陷盆地转化的区域性破裂不整合面。其成因与新近系沙湾组SBN1s一致,即印度板块对欧亚板块的强烈碰撞挤压及中亚统一板块西南缘地块群的俯

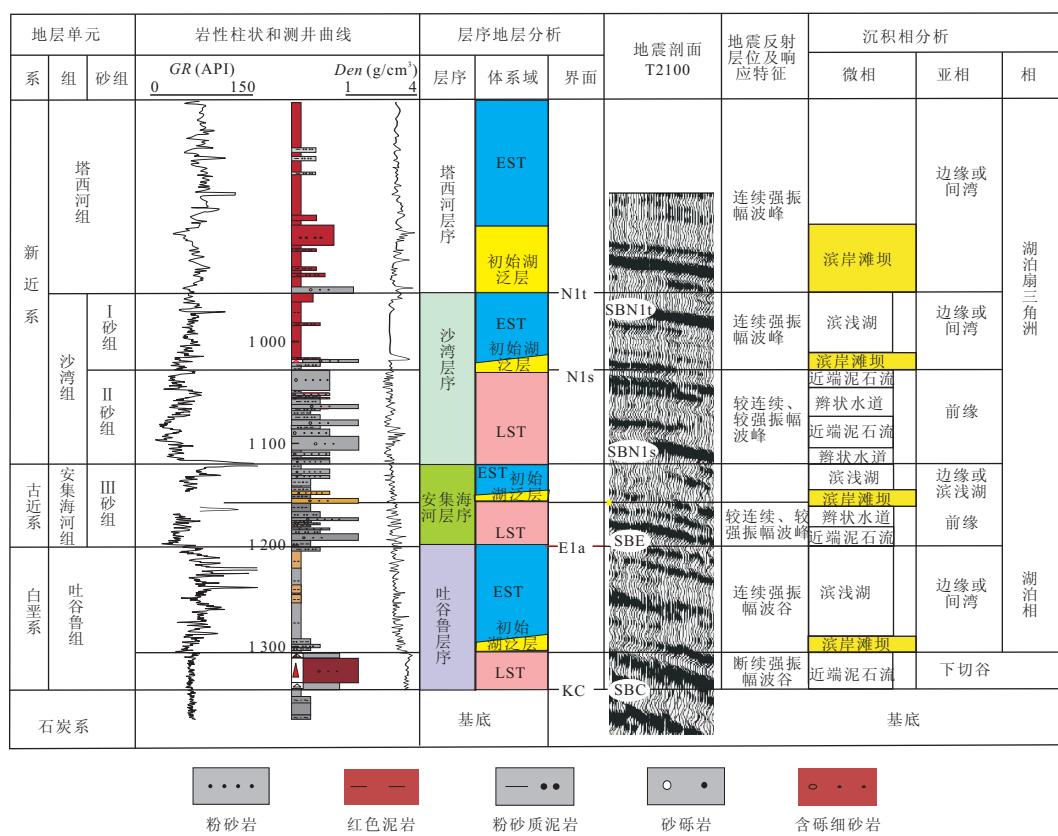


图2 层序界面钻井岩相、测井曲线和地震识别标志

Fig. 2 The recognition characteristics of seismic profiles, logging curves and core lithofacies along sequence interfaces

冲与碰撞导致准噶尔盆地急速向南收缩反转有关, 地震剖面上的下削上超现象明显, 测井曲线具突变特征(图 2)。

二级层序界面 SBN1s(23.8 Ma)—新近系沙湾组底界面, 为古近系和新近系沉积充填的分界面, 该界面在车排子地区表现为明显的角度不整合, 大套地层被剥蚀, 局部发育下切谷, 其对应的是喜山运动强逆冲后的快速松弛事件, 导致研究区基准面(或湖平面)急剧下降出现侵蚀而形成的不整合面。其动力学机制与古近纪末印度板块对欧亚板块的强烈碰撞挤压及中亚统一板块西南缘地块群的俯冲与碰撞作用有关。该界面在地震剖面上为单相位或双相位, 较连续、较强振幅, 界面上、下反射波低角度上超和下削现象明显。钻井揭示界面上、下岩性和岩相、沉积相、准层序叠置和测井曲线均显示为突变(图 2)。

三级层序界面 SBN1t—新近系塔西河组底界面(14.56 Ma), 该界面在车排子地区表现为明显的向

西北超覆角度不整合, 下伏地层局部被剥蚀, 其成因与新近系沙湾组底界面 SBN1s 一致, 即与印度板块对欧亚板块的强烈碰撞挤压及中亚统一板块西南缘地块群的俯冲与碰撞作用有关。该界面在地震剖面上一般为双相位, 连续、强振幅, 界面上、下反射波低角度上超和下削现象明显, 测井曲线具突变特征(图 2)。

2.2 层序单元充填特征

2.2.1 中生界层序组 钻井资料揭示, 车排子地区中生界吐鲁层序沉积在垂向上具明显的下粗上细的“低位+湖扩”二元体系域结构特征。如图 3 所示的连井对比剖面, 中生界吐鲁层序下部发育粗粒的低位下切谷体系, 主要沉积大套灰色、灰绿色砂砾岩、砾岩, 间夹灰黄色细砂岩、中砂岩, 为冲洪积和泥石流间夹片流和漫流沉积, 准层序的叠置方式为加积式或进积式; 上部主要发育湖扩体系域的细碎屑滨岸平原—滨岸滩坝—滨浅湖沉积, 为棕褐色泥岩、

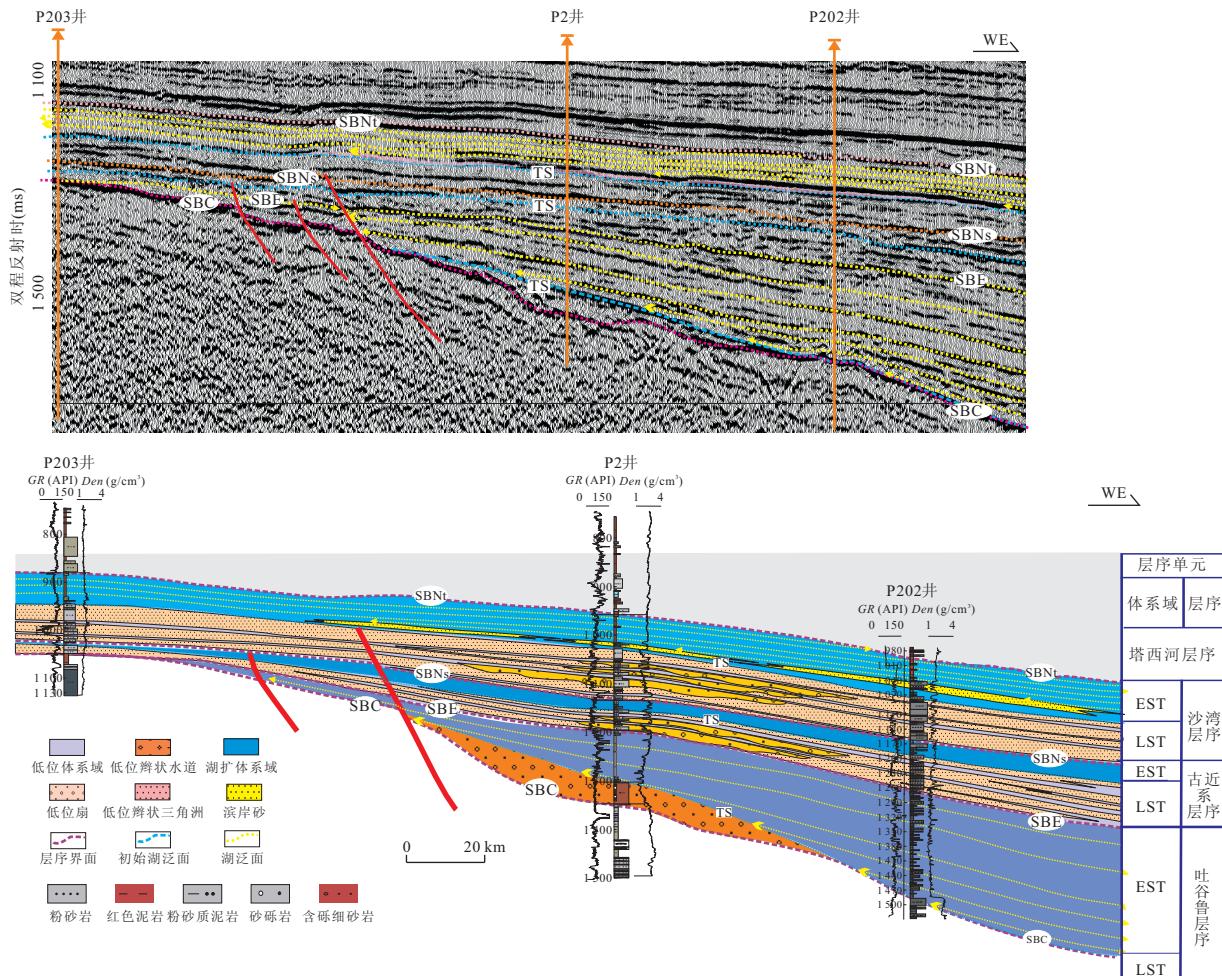


图 3 车排子地区过排 203—排 2—排 202 井地震剖面及连井沉积断面

Fig. 3 The interpretation of seismic and depositional profiles of P203-P2-P202 wells

粉砂质泥岩夹棕灰色含砾砂岩,中间夹有灰绿色泥岩、黄灰色粉砂岩互层沉积。在自然电位、自然伽马和视电阻率等测井曲线上,其曲线的幅值变化可明显地划分出低位和湖扩高低幅值二段。

2.2.2 新生界层序组 新生界层序组主要包括古近系安集海河组、新近系中新统沙湾组和塔西河组3个三级层序。安集海河层序可以完整地划分出下部低位粗碎屑体系、上部湖扩细碎屑体系域二元结构。低位体系域主要发育一套近源的扇三角洲沉积体系,岩性为浅灰色或棕灰色砂砾岩、含砾砂岩夹薄层砂质泥岩、泥岩和粉砂岩,垂向上表现为加积和弱进积的特征。湖扩体系域主要发育滨岸平原、滩坝和滨浅湖沉积,岩性以滨浅湖相的暗紫、棕色、灰色泥岩为主,夹浅灰、灰白色粉砂岩或粉砂质泥岩薄层,间夹分选较好的具波纹交错层理的中细粒席状滨岸滩坝砂,分布范围较广,垂向上表现为退积式的叠置特征(图3)。

沙湾组是油气勘探中最主要的目的层段,其沉积时期昌吉和四棵树凹陷联合成统一的南部凹陷,车排子地区成单一向东南倾的隆起缓斜坡区,从而形成东南厚、西北薄的地层分布特征。据车排子地区的钻孔岩心揭露,该层序亦显示下部低位粗碎屑沉积和上部湖扩细碎屑沉积的二元结构。下部低位粗碎屑沉积为山前近源扇三角洲体系沉积,以扇三角洲平原的辫状河道和泥石流、扇三角洲前缘的近端和远端坝沉积为主,其岩性为大套呈层板状的灰色砾岩、含砾中粗砂岩、中细粒砂岩,间夹绿灰色粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩,其中砂砾岩泥石流沉积中砾石大小混杂,分选中等,磨圆中等到好,内外源砾石都有,砾石粒径一般3~8 mm,最大有95 mm。辫状水道和近端坝沉积的含砾砂岩中所含砾石粒径一般5~10 mm,次棱到次圆状,呈扁平状顺层排列,具大型交错层理。垂向上该低位粗碎屑沉积通常由4个准层序组成一个加积式或进积式的准层序组,代表了扇三角洲体系的4期进积或加积;上部的湖扩细碎屑沉积主要由滨岸平原—滨岸滩坝—滨浅湖沉积的沉积旋回组成,其岩性为灰绿色含细砾泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩,棕红色泥岩、灰黄色泥质粉砂岩、油浸细砂岩。在垂向上表现为湖进退积式的叠置特征。在自然电位、自然伽马和视电阻率等测井曲线上,其曲线的幅值变化可明显地划分出低位和湖扩高低幅值二段,代表下部低位粗碎屑沉积和上部湖扩细碎屑沉积二元结构(图3)。

塔西河层序岩性为浅黄色、灰绿色泥岩、粉砂质

泥岩和灰色、灰绿色砂岩、细砾岩、泥砾岩互层。与沙湾组层序的内部体系域构成特征相同,即具有下部低位的粗碎屑沉积(扇三角洲体系的平原、前缘和前三角洲亚相,重力流沉积发育)和上部湖扩细碎屑沉积(滨岸平原泥岩、滨岸滩坝砂和滨浅湖泥岩和粉细砂岩互层沉积)的二元结构(图3)。

3 层序充填特征成因机制探讨

准西车排子地区中新生界各三级地层层序具有明显的二元结构特征,主要发育粗碎屑沉积的低位体系域和细碎屑沉积的湖扩体系域,高位体系域不发育。低位体系域主要发育下切谷、近源扇三角洲沉积体系及辫状河道沉积体系,发育大套的板状砾岩、含砾砂岩及砂岩层。湖扩体系域主要发育细碎屑滨岸平原、滨岸滩坝及滨浅湖沉积,岩性主要为滨浅湖泥岩和粉细砂岩。在传统的经典层序地层学模式中,三级层序由低位体系域、海侵体系域和高位体系域构成,其中低位体系域和高位体系域是富砂的粗碎屑沉积层,海侵体系域则主要以细粒沉积物为主。那么如何解释准西车排子地区中新生界沉积层序的二元结构特征呢?本文研究认为这是由于该区独特的构造和沉积背景所决定的。

准西车排子地区处于前陆盆地的造山带前缘隆起斜坡带构造部位,中新生界地层沉积时期盆地经历了多幕源于准噶尔盆地南缘向西和向北的幕式逆冲—松弛作用过程,幕式逆冲挤压—松弛构造活动成为控制该区沉积层序结构的主要因素。在逆冲挤压期山前冲断带强烈活动,应力迅速集中,冲断带负载增加,盆地基底挠曲沉降加剧,导致可容纳空间发育在横向不协调(王家豪等,2005)。此时盆地变窄变深,湖域面积变小,相对于冲断带和前隆带而言,盆地则发生强制性湖退,湖平面或基准面快速下降,冲断带和前隆带均提供较多的物源,低位粗碎屑沉积如下切谷和扇三角洲体系发育。当盆地的挤压应力积累到一定程度,应力得以释放,盆地进入松弛期,冲断带构造活动进入相对平静阶段,盆地基底岩石圈发生弹性回返,基底挠曲程度降低,湖水变浅,湖面加宽,相对于冲断带和前隆带而言,湖平面或基准面则被动上升,物源供给能力大大减弱,主要发育湖扩体系域的细碎屑滨岸平原、滨岸滩坝及滨浅湖沉积(图4)。

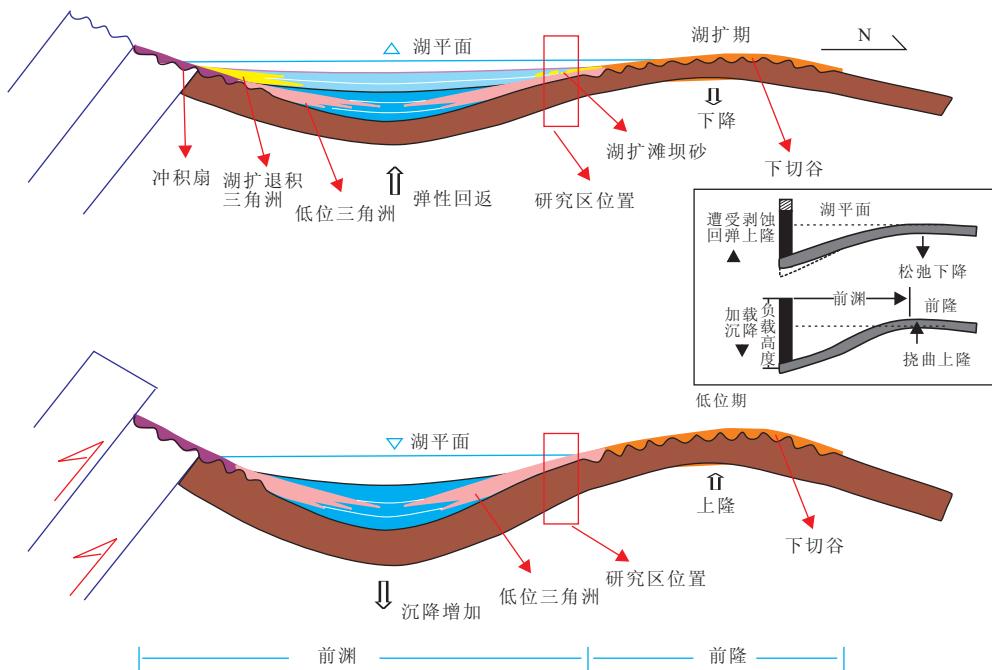


图 4 淮西车排子地区二元层序结构发育模式

Fig. 4 Two contrasting segment model of sequence architectures in Chepaizi area, western Junggar basin

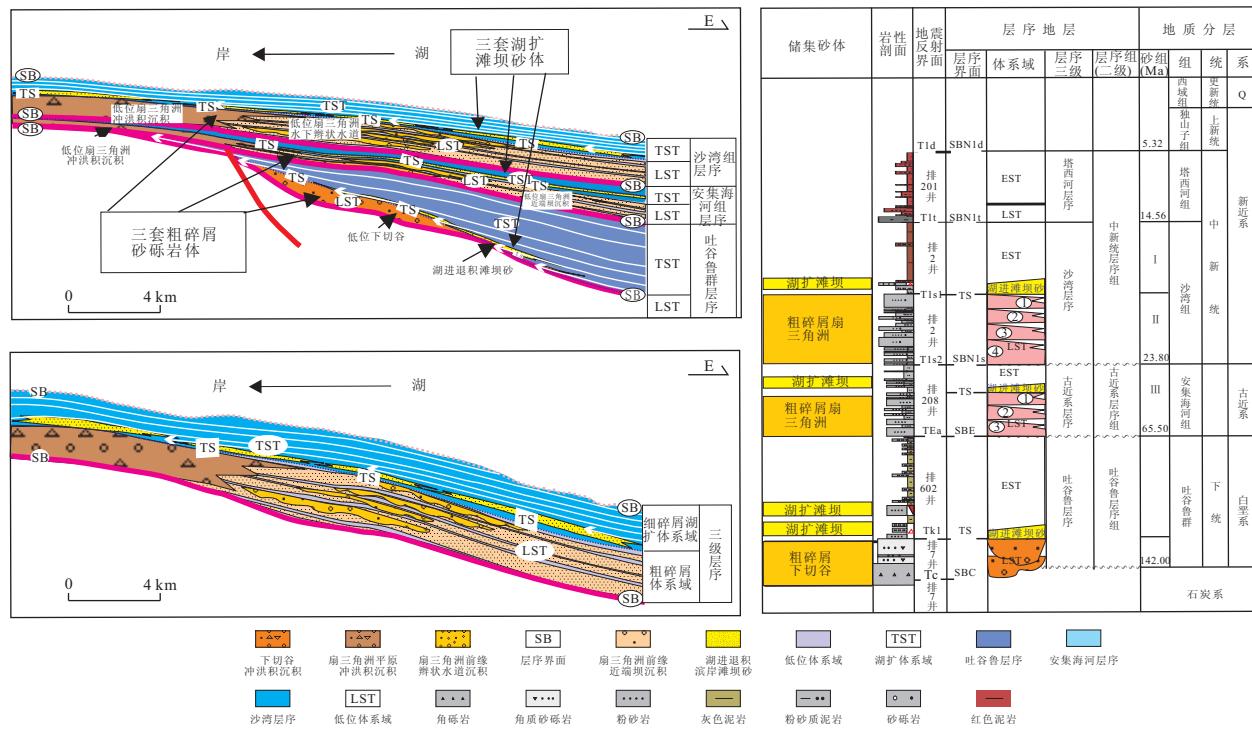


图 5 准噶尔盆地车排子地区中新生界层序地层格架及砂体预测模式

Fig. 5 The Mesozoic-Cenozoic sequence framework and sandstone prediction models in Chepaizi area, western Junggar basin

4 砂体预测模式

基于前面的研究,笔者建立了准噶尔盆地车排子地区中新生界层序地层格架及砂体预测模式图,

层序的低位粗碎屑沉积和湖扩细碎屑沉积构成的二元体系域结构是该区的主要层序构成样式(图 5)。低位期沿层序底界面上均发育有大型的低位粗碎屑沉积,包括下切谷体系、低位扇三角洲体系或低位斜

坡扇体系,并具有明显的扇三角洲平原、前缘、前三角洲和湖泊相的相带分异。湖扩期湖平面上升沿初始湖泛面可划分出滨岸平原亚相、滨岸滩坝亚相、滨浅湖亚相等细碎屑沉积充填。其中,滨岸滩坝砂为湖浪和滨岸流再改造下部的粗碎屑后再沉积,具横向(沿岸线)分布稳定,纵向(垂直岸线)分布有限特征,因此其形成和分布与下部粗碎屑沉积有密切的关系。

车排子地区中新生界主要发育3套低位粗碎屑沉积:下白垩统吐谷鲁层序下切谷体系、古近系安集海河层序低位扇三角洲体系、新近系沙湾层序低位扇三角洲体系;3套湖进滩坝砂:吐谷鲁层序湖进滩坝砂、古近系安集海河层序湖进滩坝砂、新近系沙湾层序湖进滩坝砂,其中吐谷鲁群低位下切谷—扇三角洲体系和沙湾层序的滩坝砂为区内最有利储集体和勘探目的层系。

5 结论

(1)准西车排子地区中新生界充填沉积中划分出2个一级层序,即中生界一级层序和新生界一级层序;3个二级层序,即下白垩统层序组、古近系层序组和新近系中新统层序组;4个三级层序,即下白垩统吐谷鲁层序、古近系安集海河层序、新近系沙湾层序和塔西河层序。

(2)准西车排子地区中新生界各三级层序具有明显的下粗上细的二元结构沉积充填特征,每个三级层序仅可划分出低位、湖扩2个体系域,高位体系域不发育,低位体系域以下切谷及扇三角洲粗碎屑沉积为主,湖扩体系域以滨岸平原、滨岸滩坝、滨浅湖等细碎屑沉积为主。

(3)准西车排子地区独特的前陆盆地造山带前缘隆起斜坡带沉积背景,加之盆地中新生代以来多幕逆冲—松弛的构造活动作用过程是该区各三级层序二元沉积结构的主要控制因素。逆冲挤压期盆地可容纳空间在横向不协调发育,基底挠曲沉降加剧,前隆带隆升,物源供给强,发育低位粗碎屑沉积体系。应力松弛期,盆地基底岩石圈发生弹性回返,盆地基底挠曲程度降低,湖水变浅,湖面加宽,相对于前隆带而言湖平面或基准面则被动上升,前隆带提供物源的能力大大减弱,湖扩细碎屑体系发育。

(4)准西车排子地区中新生界各三级层序有利储集砂体发育部位是低位下切谷、扇三角洲沉积体系及湖扩滩坝砂沉积体系。

References

- Gu, J. Y., Zhang, X. Y., 2004. Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development. *Oil & Gas Geology*, 25(5): 484—490 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Z. X., 2012. A summary from international workshop on sequence stratigraphy. *Earth Science Frontiers*, 19(1): 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Jin, X., Lu, Y. C., Lu, L., 2007. Analysis of the Mesozoic-Cenozoic subsidence history in Chepaizi area, Junggar basin. *Offshore Oil*, 27(3): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. T., Pan, Y. L., Lu, Y. C., et al., 2002. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins: sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 592—598 (in Chinese with English abstract).
- Lu, H. Y., Cao, Y. C., Wu, M. R., et al., 2004. A discussion on the genetic interpretation and classification of subtle trap reservoir by using sequence stratigraphic method. *Geotectonica et Metallogenesis*, 28(2): 209—213 (in Chinese with English abstract).
- Posamentier, H. W., Allen, G. P., 1993. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins. *Geology*, 21(5): 455—458. doi: 10.1130/0091-7613(1993)021<0455:SSSP1F>2.3.CO;2
- Vail, P. R., Mitchum, R. M., Thompson, S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: Payton, C. W., ed., *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAPG Memoir, (26): 63—81.
- Vail, P. R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: part 1, seismic stratigraphy interpretation procedure. In: Bally, A. W., ed., *Atlas of seismic stratigraphy*. AAPG Studies in Geology, 27(1): 1—10.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., et al., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *AAPG Methods in Exploration Series*, 7: 55.
- Wang, J. H., Chen, H. H., Wang, H., et al., 2005. Accommodation space evolution and third-order sequence correlation in the second-order sequence of a Foreland basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(2): 140—146 (in Chinese with English abstract).

- Wu, H. Y., 2011. Review of sequence stratigraphy: diversification of models. *Geological Science and Technology Information*, 30(6): 60—65 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. Y., 1997. The method and practice of sequence stratigraphic analysis in the nonmarine basins. *Petroleum Exploration and Development*, 24(5): 7—10 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. N., Cheng, S. T., Lu, Y. C., 1996. Epsodic tectonic cycles and internal architectures of sequence in continental basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(1): 27—33 (in Chinese with English abstract).
- 金鑫,陆永潮,卢林,2007.准噶尔盆地车排子地区中、新生界沉降史分析.海洋石油,27(3):51—56.
- 李思田,潘元林,陆永潮,等,2002.断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序地层学研究.地球科学——中国地质大学学报,27(5): 592—598.
- 鹿洪友,操应长,吴明荣,等,2004.层序地层学应用于陆相湖盆中隐蔽油气藏的成因解释.大地构造与成矿学,28(2):209—213.
- 王家豪,陈红汉,王华,等,2005.前陆盆地二级层序内可容纳空间发育演化及三级层序对比.地球科学——中国地质大学学报,30(2):140—146.
- 吴和源,2011.层序地层学研究现状及进展:模式多样化.地质科技情报,30(6):60—65.
- 吴因业,1997.陆相盆地层序地层学分析的方法与实践.石油勘探与开发,24(5):7—10.
- 解习农,程守田,陆永潮,1996.陆相盆地幕式构造旋回与层序构成.地球科学——中国地质大学学报,21(1): 27—33.

附中文参考文献

- 顾家裕,张兴阳,2004.陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用.石油与天然气地质,25(5):484—490.
- 姜在兴,2012.层序地层学研究进展:国际层序地层学研讨会综述.地学前缘,19(1):1—9.