

文章编号: 1000-0550(2014)02-0325-09

塔里木盆地北部三叠系“二元”层序结构特征及演化模式^①

吴嘉鹏^{1,2} 陆金波³ 王英民^{1,2} 万丽芬⁴ 周兴海⁴ 夏广胜⁵

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249;
3. 恒泰艾普石油天然气技术服务股份有限公司 北京 100084; 4. 中国石油化工股份有限公司上海海洋油气分公司研究院 上海 200120;
5. 中国石油化工集团国际石油勘探开发有限公司 北京 100083)

摘要 综合运用露头、测井、岩芯等资料,对塔里木盆地北部库车坳陷库车河野外露头及塔北隆起区三叠系层序结构特征进行了分析。各层序低位体系域,主要是冲积扇、辫状河、辫状河三角洲等粗粒沉积体,层序上部多为湖相泥岩,统称为湖侵—高位体系域,单个层序均具有“下粗上细”的“二元”结构特征。塔北三叠系特殊的层序结构,主要是与三叠纪塔里木盆地的幕式挤压活动有关。挤压初期,物源近且供给充分,可容空间增加缓慢,主要为低位体系域的粗碎屑沉积;随着挤压作用持续增强,湖盆逐渐加深,细粒沉积物为主体的湖侵体系域沉积;最终盆地基底破裂时,湖平面快速下降,高位体系域不甚发育,多为湖相细粒沉积物。据此提出塔北三叠系层序发育模式,认为在构造挤压期,沉积扇三角洲、辫状河三角洲等粗粒低位域沉积;而在构造持续期和卸载期,层序上部发育细粒深湖—半深湖湖侵—高位体系域沉积。由于层序特殊的“二元结构”特征,纵向上构成了较好的生储盖组合。因此,除了构造油气藏外,塔北地区各层序低位体系域的岩性油气藏及岩性—构造油气藏是重要的勘探目标。

关键词 塔里木盆地 库车坳陷 塔北隆起 三叠系 “二元结构”

第一作者简介 吴嘉鹏 男 1987年出生 博士研究生 沉积学及油气勘探 E-mail: wjp_better@sina.com

中图分类号 P534.51 文献标识码 A

前陆盆地由于蕴含着丰富的油气资源,其沉积充填、构造演化等是地质学研究的热点,近年来国内先后在库车、塔西南、准噶尔南缘、川西等前陆盆地油气勘探已获得突破或重要进展^[1],层序地层学理论在前陆盆地油气勘探过程中发挥着重要的作用。随着油气勘探的逐步进行,前陆盆地层序地层方面的研究也取得了很大的进展,但是,研究还处于起步阶段^[2]。由于前陆盆地的挤压应力背景,其沉积充填、层序叠置样式等与典型被动大陆边缘盆地有差异^[2],也与规模小、物源近、相带窄、内部构造分异大的陆相断陷沉积盆地不同^[3,4]。因此对前陆盆地地层层序结构、主控因素等的研究,可以揭示前陆盆地的沉积、构造演化规律,为油气资源勘探提供理论依据。

本文综合利用露头、岩芯及测井等资料,通过库车坳陷与塔北隆起区的地层对比,建立了塔里木盆地北部层序地层格架,并对塔里木北部库车坳陷及塔北隆起地区层序结构进行分析,探讨其特殊的“上粗下细”的“二元”层序结构特征及其主控因素,并在此基础上建立了塔北三叠系的层序发育模式。

1 区域地质特征

塔里木盆地受北部天山、南部昆仑山的影响,是一个多旋回叠合复合型盆地^[5-8]。古生代末期塔里木板块成为欧亚大陆板块的南边缘,南部为古特提斯洋和羌塘地块。塔里木南缘特提斯洋在三叠纪向北强烈俯冲,三叠纪末羌塘地块与塔里木板块发生碰撞。整个三叠纪,塔里木板块受南缘板块活动而处于挤压状态,在这样的构造背景下,塔里木盆地进入前陆盆地演化阶段^[5]。本次研究区主要是盆地北缘前陆构造特征明显的库车坳陷及其南侧的台盆区。

由于不同地区所受构造应力不尽相同,因此造成库车坳陷、塔北隆起等地区的沉积充填特征有一定区别。李维峰等^[9]早在1995年研究发现,塔里木盆地库车坳陷三叠系发育辫状河三角洲沉积;并通过进一步研究,发现该层系还发育有冲积扇、扇三角洲、湖泊等沉积^[10];纪云龙等^[11]通过研究发现,库车坳陷三叠系靠近北部山前发育大套冲积扇、扇三角洲和辫状河三角洲沉积,向坳陷中心有辫状河三角洲及湖泊沉积;根据野外露头、钻井等资料,贾进华和薛良清^[12]

^①国家自然科学基金项目(批准号:40972077)与国家基础研究发展规划项目(编号:2009CB219407)联合资助
收稿日期:2013-03-18;收修稿日期:2013-06-03

认为库车坳陷三叠系为冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲及湖泊相沉积。

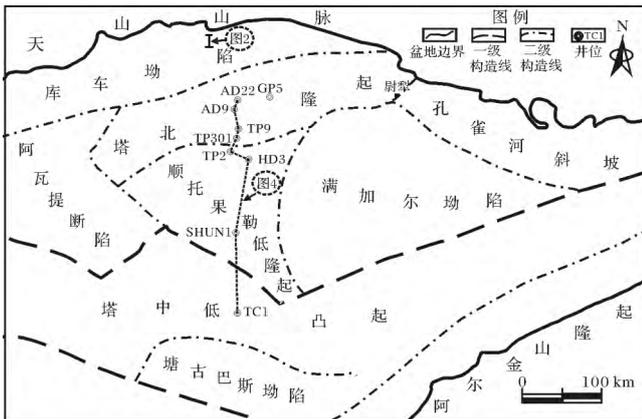


图 1 塔里木盆地北部构造单元分布图

Fig.1 Tectonic elements distribution of northern Tarim Basin

前人对位于塔北隆起上的阿克库勒凸起三叠系沉积研究较多,通过综合利用地震、钻测井、岩芯等资料,结合镜下观察、粒度分析等手段,研究发现该地区主要发育辫状河相^[13,14]、辫状河三角洲相^[13~17]、滨浅湖^[13~16]、深湖—半深湖相^[13~16],也有湖底扇沉积发育^[13,15,16,18,19],但规模不大,分布范围较为局限。前人经研究发现塔北—塔中地区的主要沉积相类型包括:辫状河三角洲相^[20~23]、湖泊相(包括滨浅湖及深湖—半深湖相)^[20,22~24]及扇三角洲相^[20~22,24],偶见湖底扇^[21]发育。

由上述可知,库车坳陷三叠系主要发育冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲及湖泊沉积组合,靠近天山山前主要是发育冲积扇等近物源的扇体沉积,近坳陷中心主要是辫状河三角洲及湖泊沉积;塔北隆起区主要为辫状河、辫状河三角洲及湖泊沉积,深湖沉积中偶见湖底扇。

2 塔里木盆地北部三叠系层序分析

通过对库车坳陷和台盆区的地层对比,发现库车坳陷的库车河露头下三叠统俄霍布拉克组与台盆区柯吐尔组相当,均发现有 *Limatulasporites-Huabeisporites-Taeni-aesporites-Lundbladispota* 化石组合^[25]。库车河剖面中三叠统克拉玛依群与台盆区阿克库勒组相对应,分别发现了中三叠世植物化石组合 *Ter-siellaradozenko-Aipteridium kuqaense*^[26] 和孢粉化石 *Asserospota-Punctatisporites*。库车坳陷黄山街组孢粉化石组合 *Aratrisporites-Chordasporites-Cyclogranis-*

porites-Alisporites 与台盆区哈拉哈塘组孢粉化石组合 *Alisporites-Cyc-logranisporites-Dictyophyllidites* 有很好的对比性。台盆区上三叠统沉积的孢粉化石中,未发现与塔里奇克组相对应的孢粉及化石组合 *Minutosac-cus-Quadra-eculina-Osmundacidites-Piceapollenites*,这说明台盆区可能缺失该时期的沉积。

本文将分别利用位于库车坳陷北部的库车河三叠系露头及塔北隆起区典型井的岩性、测井等方面的资料,建立层序地层格架,分析三叠系不同层序岩性组合及沉积相等方面的变化特征,剖析塔北地区三叠系的层序结构特征及成因。

2.1 库车河三叠系剖面层序分析

库车河三叠系剖面位于库车坳陷北部的单斜地带(图 1),该剖面地层出露良好,界面清楚,化石丰富,是一套陆相碎屑岩沉积,总厚度约 1 900 m。利用露头上的岩性组合、沉积构造等,研究库车坳陷沉积环境、地层界面的不整合特征,进而进行层序的划分及特征的分析。

同一盆地不同构造演化阶段发育的沉积地层,代表了特定应力场下的盆地充填,将其称之为层序组,其相当于二级层序。通过对剖面特征的分析,在库车坳陷三叠系内识别出了共 4 个层序组(TSQS),并细分为 10 个三级层序(TSQ1~TSQ10)(图 2)。由于长时间的暴露、风化侵蚀及冲刷等作用,陆相地层的层序界面在露头上多表现为沉积相的转换面、古土壤层、底砾层或者冲刷面等。库车河露头观察表明,仅 TSQ3、TSQ6 和 TSQ9 与下伏层序之间发育明显的削截面(图 3),而其他层序之间的接触关系,更多表现为粗粒碎屑岩对下伏细粒碎屑岩的冲蚀面,这意味着仅界面 SB3(图 3a)、SB6(图 3b)和 SB9 与大规模的构造运动相关,认为其为各个层序组的界面(图 2.3)。

TSQ1 和 TSQ2 层序底部发育大套砾岩沉积,沉积物粒度粗、成分杂、分选差,主要为泥石流沉积;向上砾石含量降低,顶部发育杂色、红褐色泥岩,反映环境能量降低(图 2)。综合判断其沉积属冲积扇环境,由下而上,由扇根向扇中过渡。与之相比,TSQ3 和 TSQ4 以扇三角洲、辫状河的大套砂砾岩和湖泊环境下的暗色泥岩为特征。层序下部发育河道充填沉积,岩性主要为灰色、灰白色含砾粗砂岩、中砂岩;层序上部则主要发育大套的泥岩沉积,顶部受后期层序截削,侵蚀接触关系明显(图 2)。层序构成具有“下粗上细”的构型特征。TSQ5~TSQ8 下部为灰白色砂砾

岩,上部为暗色泥岩(图 2)。相对早期层序,该阶段沉积层序内部泥岩段厚度增加,泥岩的颜色也更深,反映了湖泊环境水体较早期有所增加。TSQ9~

TSQ10 内部,泥岩厚度减小,局部出现煤层(图 2)。

对库车河三叠系剖面分析表明,每一个三级层序岩性上均具有“下粗上细”的“二元”结构特征。其

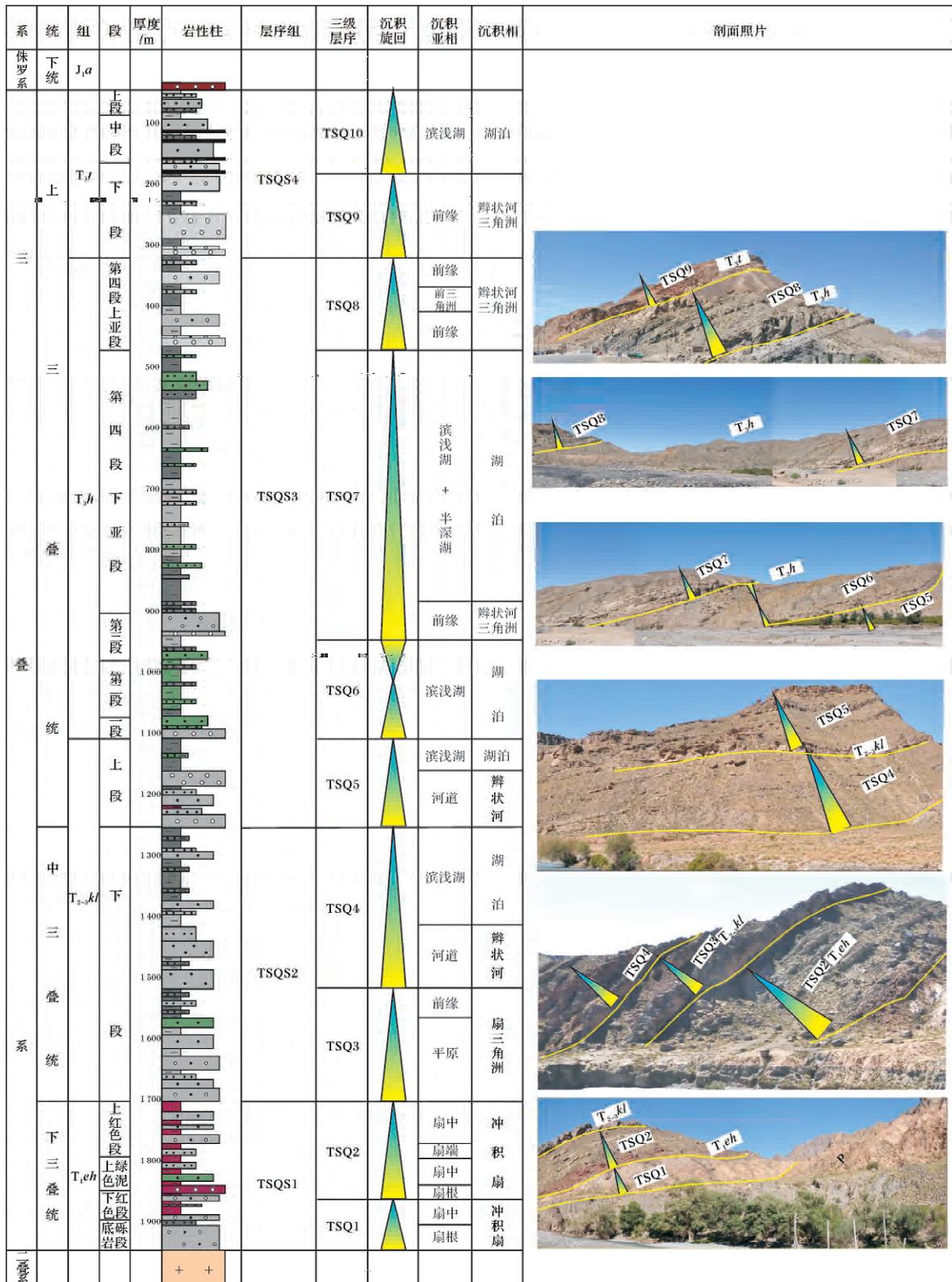


图 2 塔里木盆地库车河三叠系剖面层序综合柱状图(露头位置见图 1)

Fig.2 Composite stratigraphic column of Triassic in Kuqa River of Tarim Basin (outcrop location in Fig.1)

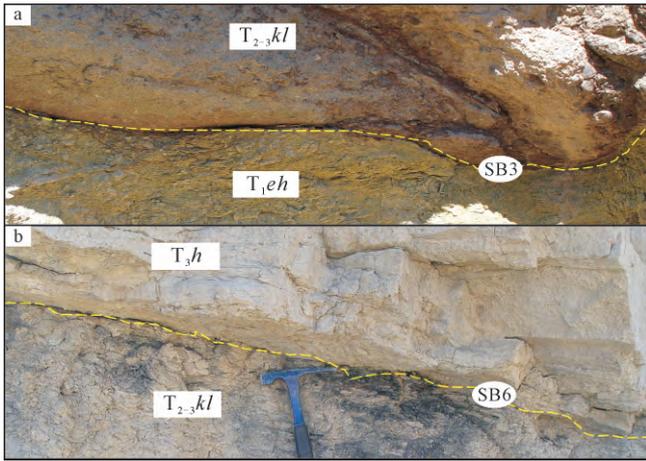


图 3 库车河三叠系剖面层序组界面特征

Fig.3 Triassic sequence set boundary characteristics of Kuqa River

中 将层序下部的粗粒沉积划分为低位体系域 ,而上部细粒沉积统称为湖侵—高位体系域。

2.2 塔北隆起区三叠系层序分析

GP5 井位于顺托果勒低隆起与库车坳陷区之间的东西向基底隆起即塔北隆起上(图 1) 结合测井以及岩性等资料,在该井三叠系内共识别出了 TSQ1~TSQ5 共 5 个三级层序。其中 TSQ1~TSQ2 对应下三叠统柯吐尔组 (T_{1k}) ,TSQ3~TSQ4 对应中三叠统阿克库勒组 (T_{2a}) ,TSQ5 对应上三叠统哈拉哈塘组 (T_{3h}) (图 4)。通过台盆区与库车坳陷地层对比分析可知,塔北地区三叠系 TSQ1~TSQ5 与库车坳陷 TSQ1~TSQ5 对应,塔北地区缺失与库车坳陷 TSQ6~TSQ10 可对比的地层。纵观 GP5 井层序结构特征,发现其与库车坳陷层序结构特征类似,岩性上也具有“下粗上细”的二分特征(图 4)。

GP5 井的 TSQ1、TSQ2 主要以滨浅湖—半深湖的沉积环境为主。低位体系域发育滨浅湖砂坝沉积,TSQ1 的湖侵—高位体系域以半深湖泥岩沉积为主,TSQ2 的湖侵—高位体系域以滨浅湖泥岩沉积为主(图 4)。受物源供给的影响,TSQ3~TSQ4 的低位域的粗粒碎屑岩厚度较小,为辫状河三角洲和半深湖—深湖沉积(图 4)。与前面两个层序相比,TSQ3 和 TSQ4 低位体系域粗粒碎屑岩厚度增加。这说明由 TSQ1 到 TSQ2 时期,GP5 井区物源更加充足。TSQ5 时期,沉积环境为辫状河三角洲和半深湖—深湖环境,但其厚度比早期三级层序大,湖侵体系域和高位体系域的区分也不明显(图 4)。

通过对库车河剖面和塔北隆起区 GP5 井层序结构的分析,表明在挤压作用明显的塔里木盆地北部地

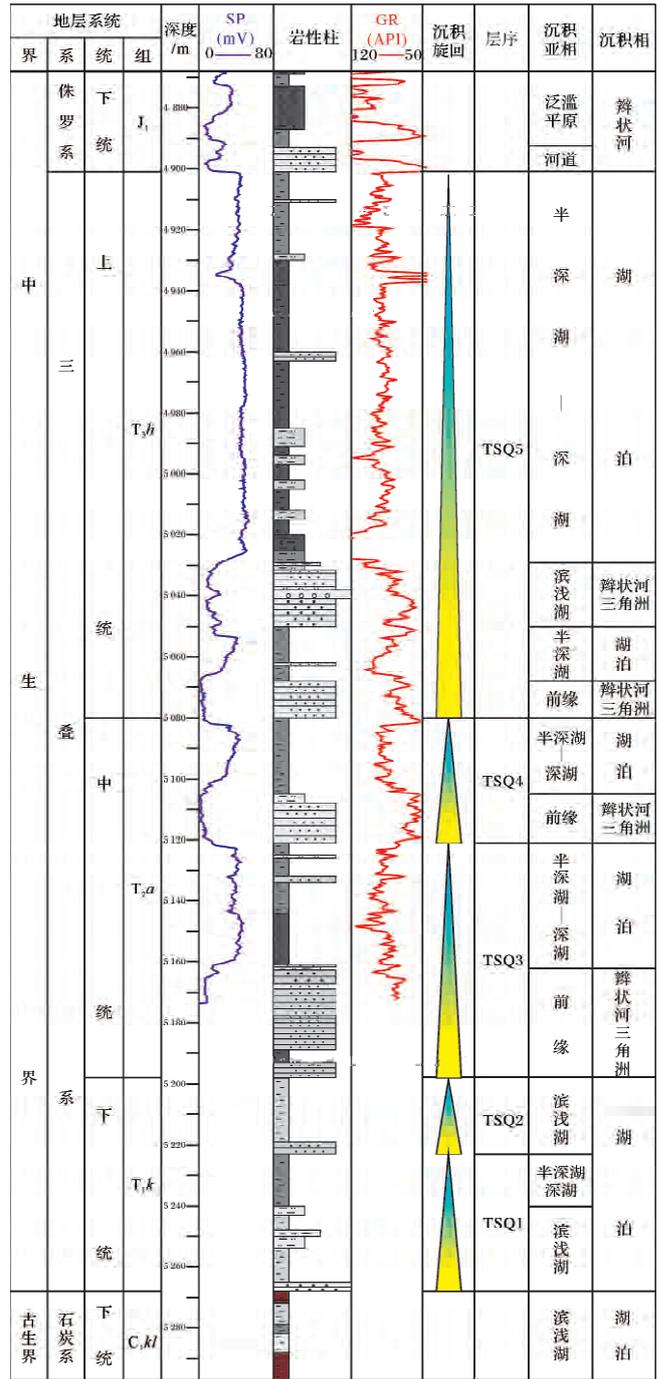


图 4 GP5 井三叠系层序地层柱状图(井位位置见图 1)

Fig.4 Stratigraphic column of Triassic in Well GP5 (well location in Fig.1)

区即库车前陆坳陷及塔北隆起区,三叠系层序结构具有明显的“下粗上细”的“二元”结构特征。每个层序分为低位体系域与湖侵—高位体系域,其中低位体系域发育辫状河河道或辫状河三角洲粗粒碎屑岩沉积,而湖侵和高位体系域沉积特征相似,主要发育湖相细碎屑沉积,以泥质为主。前人对台盆区三叠系层序进

行研究,也发现了类似规律,三叠系的每个层序低位域沉积了辫状河三角洲、扇三角洲等粗粒沉积,湖侵—高位体系域多为半深湖—深湖等较细粒沉积物^[22]。

塔里木盆地三叠系南北向地层对比所显示出的“下粗上细”层序结构,主要分布在库车坳陷和靠近塔北隆起的地区;而远离塔北隆起地区则表现为正常的三分层序特征(图 5),例如在远离塔北隆起区的顺托果勒低隆起上 SHUN1 井(图 5)的层序结构,与库车坳陷及塔北隆起区的 GP5 井具有较大的差异,其层序结构表现为正常的“粗—细—粗”的特征。在沉积物构成上,库车坳陷扇体发育明显;塔北地区则以辫状河河道充填及辫状河三角洲沉积为主(图 5)。这种不同地区层序结构及沉积相类型的差异,与三叠纪塔里木盆地的幕式挤压活动密切相关。

3 塔北三叠系层序结构成因分析

我国西部的焉耆、准噶尔等多个压性盆地中,均发育有典型的“二元”层序结构^[27-28],其形成是与西部压性盆地独特的幕式性构造活动密切相关的^[27]。

沉积作用与大地构造背景关系密切,盆地充填是对构造作用的直接响应,它不仅控制着沉积物的沉积体系类型和内部沉积构成,还控制着地层的旋回性^[29]。

幕式挤压活动具有“长期积蓄,短期释放”的特征。盆地基底在挤压作用下发生黏弹性变化,既可以发生一定程度的塑性及弹性形变,也可以当应力超过挠曲极限时发生破裂。因此,当应力在基底弹性变形允许的范围内时,挤压应力使其挠曲变形强度不断增加,该过程是一个缓慢的应力积蓄过程,经历的地质时期较长。当应力强度突然超出基底弹性变化范围时发生破裂,应力突然释放,早期长期遭受挤压而发生挠曲变形的基底在较短地质时期内迅速反弹。盆地基底应力积累与释放的过程,恰似现今地震活动,长时间的应力积蓄在短时间的地震事件中瞬间释放。

在幕式挤压活动下盆地可容空间的变化规律,与典型的海相盆地层序的海平面控制机制有很大不同。因为海平面变化控制的可容空间大小随着海平面的波动而逐渐的增加或减小,具有“正弦式”的曲线变化特征(图 6a);而在幕式挤压作用的控制下,陆相沉积盆地其可容空间的变化则具有“脉冲式”的变化特

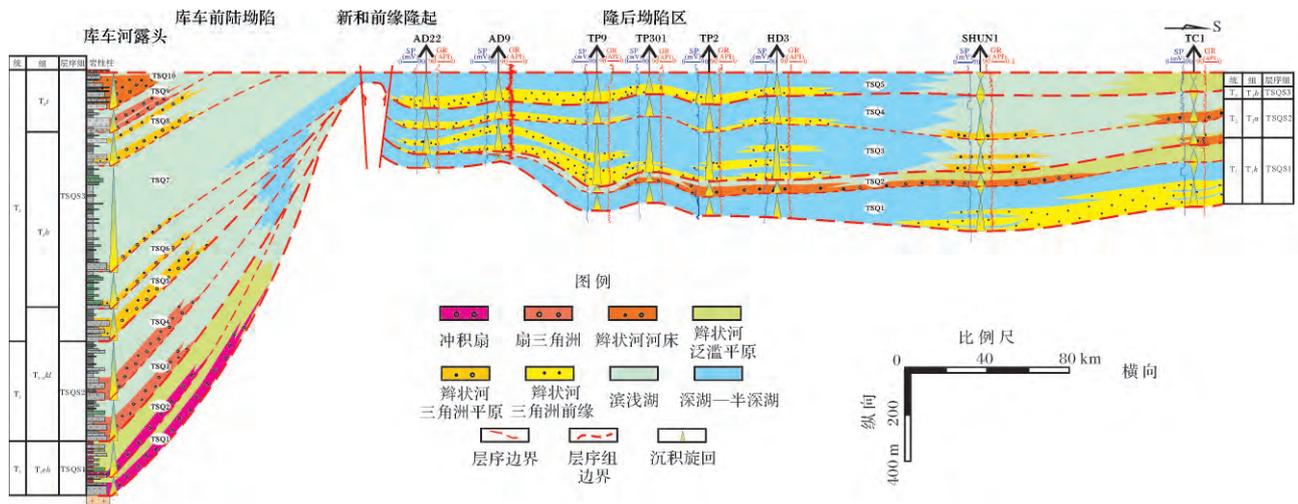


图 5 库车河剖面三叠系和台盆区连井沉积剖面图(剖面位置见图 1)

Fig.5 Well log cross section showing the sedimentary facies in outcrops of Triassic in Kuqa River and platform-basin region (cross section location in Fig.1)

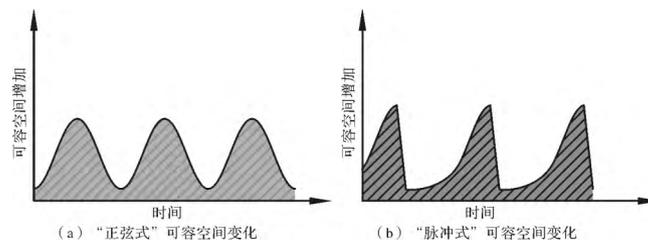


图 6 可容空间的两种变化模式

Fig.6 Two changing mechanisms of the accommodation

征(图6b)。前期盆地遭受缓慢挤压,盆地的可容空间在较长的地质时期内逐渐增加;当挤压应力积累到一定程度时,盆地基底破裂后迅速回弹,盆地可容空间也在短时间内迅速减小,从而形成了“脉冲式”的可容空间变化特征。

全球构造运动往往是幕式或间歇式的,板内陆相盆地的形成和演化直接受控于幕式构造运动,这种构造运动在造山带通过相应的构造形迹显示,而在沉积盆地是通过沉积充填显示,即形成幕式层序地层^[29,30]。多幕逆冲挤压和松弛后稳定沉降成耦合的作用过程是构成体系域“二元”结构的主要机制,这一幕式过程导致其湖平面变化不具备周期渐变旋回,使层序构成出现“二元”的突变特征^[28]。在地质历史时期,正是幕式构造旋回控制幕式层序地层^[29]。图7示意了幕式构造运动下层序的发育过程。在前一幕构造运动的宁静期,湖盆水体较浅,部分地区遭受侵蚀作用,形成层序界面,发育低位域粗碎屑岩沉积(图7a);挤压初期,物源供给增加,可容空间的增加速率缓慢,因此继续发育低位体系域的粗碎屑岩沉积(图7b);随着挤压作用的持续增加,湖盆水体逐渐加深,进入湖侵体系域发育阶段,可容空间的增加量超过沉积物补给量,滨岸退积上超,粗粒碎屑岩沉积主要发育在湖盆边缘,而盆地主体则以半深湖—深湖的细粒碎屑岩沉积为主(图7c);当应力强度超过基底岩石挠曲形变上限后发生破裂,应力突然释放,湖平面快速下降,可容空间由“脉冲”尖端的极大值快速减小(图6b),即由高位体系域向低位体系域过渡的时期相对短暂,以至在高位体系域时期内尚未形成相应规模的粗碎屑岩沉积,湖平面便迅速降低,进入了下一期层序低位体系域演化阶段(图7d)。

4 塔北三叠系层序发育模式

一级构造运动起因于板块相互作用或软流圈的热动力作用,它制约着沉积盆地的形成、演化和消亡,它们在地层中的沉积响应是构造层序;而二级构造运动以沉积盆地演变过程中的沉降速率变化为特征,而板块间脉动式俯冲或碰撞,相应地导致板内盆地间歇式沉降,即为沉降速率幕式变化的成因之一^[29]。

库车前陆拗陷北邻天山造山带,受天山冲断作用影响,发育挠曲沉降(图1),挤压挠曲作用在空间上影响范围可能超过塔北隆起并影响到隆后拗陷区域。何登发等^[7]认为隆后拗陷沉降受两种作用控制:一是前缘隆起的冲断作用的影响;二是热冷却均衡调整

作用。在远离前缘隆起的盆地腹部,受周缘造山带逆冲挤压作用的影响很小,因此其沉降主要受热冷却均衡调整作用的控制。并且,在前陆盆地层序发育过程中,一次挤压构造事件末期的回弹隆升和下一期逆冲挤压引起的构造变形控制了层序界面的形成^[31](图7a)。

一期挤压作用结束之后,前陆拗陷、前缘隆起进入迅速回弹演化阶段。临近造山带及前缘隆起区回弹明显,早期层序暴露于水面之上,发生侵蚀作用,从而形成层序界面(图7a),低位体系域开始发育。挤压初期,应力缓慢集中,前陆拗陷及隆后拗陷开始发生挠曲沉降。由于挤压初期,挠曲沉降作用形成的可容空间较小,而物源供给相对充足,物源供给速率与可容空间增量比值较高,延续强烈回弹期低位体系域沉积特征,发育进积型的冲积扇、扇三角洲和辫状河三角洲为主的沉积组合(图7b),这与库车拗陷下白垩统卡普沙良群底部的砾质粗碎屑沉积体成因一致^[32]。随着挤压作用的持续,湖盆水体上升,可容空间增加,库车前陆拗陷和隆后拗陷出现半深湖—深湖沉积(图7c)。挤压活动高峰期之后,应力迅速释放,进入了构造平静期,湖平面迅速降低,高位体系域发育的时间较短,因此,前陆拗陷和隆后拗陷的高位体系域沉积环境仍以半深湖—深湖为主,其沉积特征与湖侵体系域相似,发育半深湖—深湖暗色泥岩沉积(图7d)。

远离前缘隆起的盆地腹部地区,受均衡沉降机制的控制,其湖平面的变化接近“正弦式”变化特征(图6a),因此,高位体系域湖平面下降时期,会沉积粗粒沉积物,在其层序结构上表现出“粗—细—粗”的变化特征。

5 “二元”层序结构的油气意义

受前陆盆地脉冲式挤压作用的控制影响作用,塔北三叠系发育了特色的“下粗上细”的“二元”层序结构,层序的低位体系域主要为扇三角洲、辫状河、辫状河三角洲等粗粒沉积体,而层序上部的湖侵—高位体系域则主要为深湖—半深湖的细粒沉积体,在垂向上构成了极好的生储盖组合。层序顶部的细粒沉积物既可以作为良好的盖层,也可以为烃源岩;层序底部的粗粒沉积物则为良好的储层^[13,17,20]。因此,在塔北地区除了构造油气藏外,每个层序底部可能发育的岩性油气藏^[20]及构造—岩性油气藏也是重要的油气藏类型。

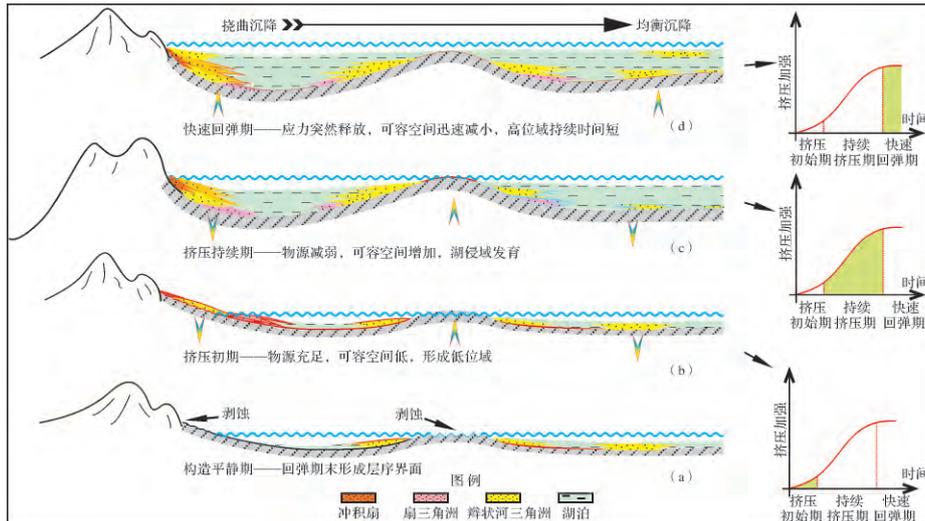


图 7 塔里木盆地三叠纪层序“二元”结构成因机制及层序发育模式图

Fig.7 Formation mechanism of “Dual feature” sequence architecture and sequence evolution model of Triassic in Tarim Basin

6 结论

陆相沉积盆地层序地层发育控制因素复杂,其中构造作用对盆地的沉积充填具有主导性的控制作用。塔里木盆地三叠纪时期受周缘挤压环境的影响,进入前陆盆地演化阶段,盆地北缘发育冲积扇、辫状河、辫状河三角及湖泊沉积组合,其层序结构为“下粗上细”的“二元”结构特征。层序发育受幕式挤压作用控制。在挤压型盆地发育过程中,应力积蓄是一个漫长的地质过程,而应力释放则是相对短暂的地质过程。在构造平静期及挤压初期形成层序界面和低位体系域,应力积蓄期发育湖侵体系域,应力释放期发育高位体系域。由于高位体系域发育的持续时间短暂,难以形成有效地质记录,从而形成低位域以粗粒沉积为主,湖侵—高位域以细粒沉积为主的“二元”层序结构。特殊的层序结构在纵向上形成了较好的生储盖组合,塔北地区岩性油气藏及构造—岩性油气藏是重要的油气藏类型。

参考文献 (References)

- 1 张光亚, 薛良清. 中国中西部前陆盆地油气分布与勘探方向 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 1-5 [Zhang Guangya, Xue Liangqing. Hydrocarbon occurrences and exploration suggestions in the foreland basins of central western China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 1-5]
- 2 纪友亮, 安爱琴, 朱如凯. 陆相前陆盆地层序结构特征研究——以准噶尔南缘晚期前陆盆地为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 237-243, 251 [Ji Youliang, An Aiqin, Zhu Rukai. Research on

sequence architectures of continental foreland basins: A case study of the late stage of the southern Junggar foreland basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 237-243, 251]

- 3 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型 [J]. 地球科学, 2004, 29(5): 583-588 [Lin Changsong, Zhang Yanmei, Li Sitian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China [J]. Earth Science, 2004, 29(5): 583-588]
- 4 冯有良, 周海民, 李思田, 等. 陆相断陷盆地层序类型与构造特征 [J]. 地质论评, 2004, 50(1): 43-49 [Feng Youliang, Zhou Haimin, Li Sitian, et al. Sequence types and structural characteristics in continental rift-subsidence basins [J]. Geological Review, 2004, 50(1): 43-49]
- 5 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 348-365 [Jia Chengzao. Tectonic Characteristic and Petroleum, Tarim Basin, China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 348-365]
- 6 何登发, 白武明, 孟庆任. 塔里木盆地地球动力学演化与含油气系统旋回 [J]. 地球物理学报, 1998, 41(增刊 1): 77-87 [He Dengfa, Bai Wuming, Meng Qingren. Geodynamic evolution and petroleum system cycle of Tarim Basin [J]. Acta Geophysica Sinica, 1998, 41(Suppl.1): 77-87]
- 7 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64-77 [He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77]
- 8 贾承造, 孙龙德, 周新源, 等. 塔里木盆地中生代构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 1-10 [Jia Chengzao, Sun Longde, Zhou Xinyuan, et al. Tectonic Characteristic and Petroleum of Cenozoic-Mesozoic in Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 1-10]

- 9 李维峰, 彭德堂, 高振中, 等. 塔里木盆地库车坳陷三叠系辫状河三角洲沉积[J]. 江汉石油学院学报, 1995, 17(1): 25-29 [Li Weifeng, Peng Detang, Gao Zhenzhong, *et al.* Braided-river deltas of Triassic System in Kuche depression [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1995, 17(1): 25-29]
- 10 李维峰, 王成善, 高振中, 等. 塔里木盆地库车坳陷中生代沉积演化[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 534-538 [Li Weifeng, Wang Chengshan, Gao Zhenzhong, *et al.* Sedimentary evolution of Mesozoic era in Kuche depression, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 534-538]
- 11 纪云龙, 丁孝忠, 李喜臣, 等. 塔里木盆地库车坳陷三叠纪沉积相与古地理研究[J]. 地质力学学报, 2003, 9(3): 268-274 [Ji Yunlong, Ding Xiaozhong, Li Xichen, *et al.* Triassic paleogeography and sedimentary facies of the Kuqa depression, Tarim Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9(3): 268-274]
- 12 贾进华, 薛良清. 库车坳陷中生界陆相层序地层格架与盆地演化[J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 121-128 [Jia Jinhua, Xue Liangqing. Pattern and evolution of Mesozoic continental sequences stratigraphy in the Kuqa depression [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(Suppl.): 121-128]
- 13 刘辰生, 郭建华, 朱锐, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区三叠系中油组沉积相研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(6): 36-39 [Liu Chensheng, Guo Jianhua, Zhu Rui, *et al.* Study on sedimentary facies of the middle oil group of the Triassic in Akekule area of Tarim Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22(6): 36-39]
- 14 李强. 塔里木盆地于奇—草湖地区三叠系沉积相与地震储层预测[D]. 西安: 西北大学, 2010 [Li Qiang. Study on Triassic sedimentary facies and seismic reservoir prediction in Yuqi-Caohu area of Tarim Basin [D]. Xi'an: Northwest University, 2010]
- 15 陆金波, 王英民, 吴嘉鹏. 阿克库勒地区三叠系砂体类型及分布模式[J]. 科技导报, 2011, 29(15): 39-45 [Lu Jinbo, Wang Yingmin, Wu Jiapeng. Sandbody types and distribution characteristics of Triassic system in Akekule area [J]. Science & Technology Review, 2011, 29(15): 39-45]
- 16 刘辰生. 塔里木盆地阿克库勒地区三叠系层序地层学与沉积相研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006 [Liu Chensheng. Study of sequence stratigraphy and sedimentary facies of Triassic System of Akekule area in Tarim Basin [D]. Changsha: Central South University, 2006]
- 17 陆金波, 王英民, 张雷, 等. 塔河九连片地区三叠系下油组砂体分布及有利区预测[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(1): 53-58 [Lu Jinbo, Wang Yingmin, Zhang Lei, *et al.* Sandstone distribution and prediction of the favorable zones in the Triassic lower zones in the Triassic lower oil measures in the Jiulianpian region along the Tarim River, Xinjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2011, 31(1): 53-58]
- 18 陆金波, 王英民, 张雷, 等. 阿克库勒地区三叠系湖底扇沉积及其主控因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 12-19 [Lu Jinbo, Wang Yingmin, Zhang Lei, *et al.* Sedimentary characteristics and main controlling factors of sublacustrine fans of Triassic in Akekule area [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2011, 35(2): 12-19]
- 19 刘辰生, 郭建华, 朱锐. 塔里木盆地阿克库勒地区三叠系湖底扇初探[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(3): 17-19 [Liu Chensheng, Guo Jianhua, Zhu Rui. Probe into sublacustrine fan of Triassic in Akekule area, Tarim Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(3): 17-19]
- 20 祝贺, 刘家铎, 田景春, 等. 塔北—塔中地区三叠系层序地层及岩性油气藏特征[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(3): 162-166 [Zhu He, Liu Jiaduo, Tian Jingchun, *et al.* Characteristics of stratigraphic sequences and lithologic reservoirs of Triassic in Tabei-Tazhong area, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(3): 162-166]
- 21 祝贺. 塔里木盆地塔北—塔中地区三叠系沉积层序地层特征及生储盖组合研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011 [Zhu He. The study on the sedimentary and sequence stratigraphy characteristics and source-reservoir-caprock assemblages of the Triassic at the Tabei-Tazhong area, Tarim Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011]
- 22 吕雪雁, 朱筱敏, 申银民, 等. 塔里木盆地台盆区三叠系层序地层研究和有利勘探区预测[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 32-35 [Lü Xueyan, Zhu Xiaomin, Shen Yinmin, *et al.* The Triassic sequence stratigraphy and the prediction of the favourable exploration targets in Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 32-35]
- 23 陈旭, 董玉文, 陈红汉, 等. 塔里木盆地台盆区三叠系三级层序界面和体系域界面的识别与应用[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 917-925 [Chen Xu, Dong Yuwen, Chen Honghan, *et al.* Identification and application of sequence boundaries and system tract boundaries for the Triassic of Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 917-925]
- 24 赵恩宏. 英买力地区三叠系沉积特征与沉积相分布研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2006 [Zhao Enhong. Study on depositional characteristics and sedimentary facies distribution of Triassic in Yingmaili area [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006]
- 25 王招明, 钟瑞, 赵培荣, 等. 库车前陆盆地露头区油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 1-47 [Wang Zhaoming, Zhong Rui, Zhao Peirong, *et al.* Petroleum Geology of Outcrops Areas in Kuche Foreland Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 1-47]
- 26 张希明, 王恕一. 塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储层非均质性研究——以阿克库勒—达里亚地区为例[J]. 石油实验地质, 1997, 9(3): 201-208 [Zhang Ximing, Wang Shuyi. A study on the heterogeneity of sand body reservoirs in Triassic braided delta, northern Tarim Basin: exemplified by Akekule-Deliya region [J]. Experimental Petroleum Geology, 1997, 9(3): 201-208]
- 27 姜华, 王华, 陆永潮, 等. 压性盆地层序结构的二元性特征研究——以焉耆盆地博湖坳陷侏罗系为例[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 847-854 [Jiang Hua, Wang Hua, Lu Yongchao, *et al.* Dual features of sequence structures in compressional basin: An example from Jurassic Bohu depression of Yanqi Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 847-854]
- 28 李丕龙, 冯建辉, 陆永潮, 等. 准噶尔盆地构造沉积与成藏[M]. 北

- 京:地质出版社,2010:74-89 [Li Pilong, Feng Jianhui, Lu Yongchao, *et al.* Tectonic Evolution, Sedimentation and Pool-forming Mechanism in Junggar Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 74-89]
- 29 解习农 程守田 陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成 [J]. 地球科学, 1996, 21(1): 27-33 [Xie Xinong, Cheng Shoutian, Lu Yongchao. Episodic tectonic cycles and internal architectures of sequences in continental Basin [J]. Earth Science, 1996, 21(1): 27-33]
- 30 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(2): 125-142
- 31 周新源. 前陆盆地油气分布规律 [M]. 北京:石油工业出版社, 2002: 48-55 [Zhou Xinyuan. The Distribution Rules of Oil and Gas in the Foreland Basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 48-55]
- 32 王家豪 王华 陈红汉 等. 一幕完整的前陆盆地构造演化的地层记录: 库车坳陷下白垩统 [J]. 地质科技情报, 2006, 25(6): 31-36 [Wang Jiahao, Wang Hua, Chen Honghan, *et al.* Stratigraphic record in a whole episode of foreland basin tectonic evolution: the lower Cretaceous in Kuqa depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(6): 31-36]

“Dual feature” of Sequence Architecture and Sequence Evolution Model of Triassic Northern Tarim Basin

WU Jia-peng^{1 2} LU Jin-bo³ WANG Ying-min^{1 2} WAN Li-fen⁴
ZHOU Xing-hai⁴ XIA Guang-sheng⁵

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, Beijing 102249;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249;

3. Land Ocean Energy Services Co., LTD, Beijing 100084;

4. Institute of Shanghai Offshore Oil & Gas Company, SINOPEC, Shanghai 200120;

5. International Petroleum Exploration & Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083)

Abstract: Based on integrated investigation of outcrops, well logs and cores, the sequence stratigraphy framework of northern Tarim Basin was set up, and the sequence architecture of Triassic in outcrop of Kuche depression and Northern Uplift of Tarim Basin was studied. In each sequence, coarse grained lithosomic bodies such as alluvial fan, braided river and braided river delta are dominant in the lowstand systems tracts (LST), and the upper parts of the sequences are composed of fine grained lacustrine mudstone which are called lacustrine transgressive-highstand systems tracts (T-HST). Every single sequence is coarse in lower part and fine in the upper part. The special sequence architecture is mainly associated to episodic compressive movement of Tarim Basin in Triassic. At the beginning of the compression, the accommodation increases slowly, for the short distance from provenance to basin and sufficient sediment supply, the LSTs are mainly coarse sediments. The water became deeper with the intensified compressive force, then the fine-grained transgressive systems tracts (TST) are deposited. When the basin base was broken, lake water dropped down quickly, with little mudstone deposited as highstand systems tracts (HST). Finally, a sequence evolution model of Triassic in the northern Tarim Basin was proposed. In tectonic compression period, some coarse-grained lithosomic bodies such as fan delta, braided river delta were deposited; when the compressive force persisted and discharged in a short time, fine-grained lacustrine sediments deposited which were defined as T-HST as the upper parts of sequences. For the special dual feature of the sequences, the coarse-grained lower LSTs are suitable for reservoir, and the upper fine-grained T-HSTs could be the source or seal of the reservoir, so it is indicated that, besides the tectonic reservoir, the lithologic reservoir and lithologic-tectonic reservoir in the LSTs of each sequence are major exploration targets of Triassic in northern Tarim Basin.

Key words: Tarim Basin; Kuche depression; Northern Uplift of Tarim Basin; Triassic; Dual feature