

doi:10.3799/dqkx.2012.082

塔里木盆地台盆区三叠纪大型挤压拗陷 湖盆层序地层及构造响应

王家豪^{1,2}, 陈红汉¹, 云露³, 蒋华山³, 蔡希饶³, 徐东浩¹

1. 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

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. 中石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011

摘要: 三叠纪是塔里木盆地区域应力场由伸展至挤压的重大转折期, 台盆区发育大型挤压拗陷盆地。经过地震层序解释, 将台盆区三叠系划分为4个三级层序, 其顶、底界面均为区域性削截不整合面; 内部除了少量削截、上超和下切谷之外, 顶超是最为普遍的层序界面标志。进一步的钻井层序对比表明, 层序内幕沉积演化独特, 湖扩体系域普遍发育大型辫状河三角洲, 其沉积物粒度粗, 砂体厚; 相反, 高位体系域三角洲规模小, 沉积物粒度细。结合区域构造背景分析认为, 挤压拗陷盆地的层序发育受控于逐渐增强—减弱的幕式挤压作用, 湖扩体系域对应于挤压增强时期: 一方面, 基底挠曲沉降加剧, 湖盆范围迅速扩张; 另一方面, 前隆和周围山系快速隆升, 沉积物供给大大增加, 甚至超过了可容纳空间的增加速率, 导致大型辫状河三角洲的广泛发育。

关键词: 塔里木盆地; 三叠系; 挤压拗陷盆地; 沉积学; 地层。

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2012)04-0735-08

收稿日期: 2012-02-17

Tectonic Responses of Triassic Sequence Stratigraphy in the Large-Scale Compressional Down-Warped Lacustrine Basin of Inner Tarim Basin

WANG Jia-hao^{1,2}, CHEN Hong-han¹, YUN Lu³, JIANG Hua-shan³, CAI Xi-rao³, XU Dong-hao¹

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

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Research Institute of Exploration and Development, Northwest Branch of SINOPEC, Urumqi 830011, China

Abstract: As the regional stress field transferred from extension to compression in the Triassic, a large-scale down-warped lacustrine basin developed in the interior Tarim basin. According to seismic sequence interpretation, four third-order sequences were identified in the Triassic. Both top and bottom surfaces of the Triassic were regional truncation unconformities. Besides a few terminal types of truncate, up-lap and incised valley, top-lap was the widespread mark of sequence boundary. Furthermore, sequences correlations among wells reveals that sequences were very special in depositional evolutions as follows: in their lake-expanding systems tracts, large-scale braided river deltas had usually developed with coarse sediment and thick sandbodies; contrarily, in their high-stand systems tracts, the deltas were small with much finer sediments. Presumably, stratigraphic sequences were dominated by episodic compressive tectonism, which gradually intensified and then weakened. Responding to violently compressive action in lake-expanding systems tracts, the lithosphere had flexed and as a result the basin rapidly expanded; on the other hand, the surrounding forebulges and orogenic belts had intensely uplifted, and the sediment supplies had been largely accelerated so that it exceeded the accommodation increment which caused that the braided river deltas had extensively developed.

Key words: Tarim basin; Triassic; compressional down-warped basin; sedimentology; stratigraphy.

基金项目: “973”课题资助(No. 2012CB214804)。

作者简介: 王家豪(1968—), 男, 副教授, 博士, 主要从事沉积学、层序地层学、油气储层方面的教学和研究工作。E-mail: cugwangjiahao@163.com

层序地层学理论已在我国陆相断陷盆地、前陆盆地、挤压拗陷盆地中得到广泛应用,并在断陷湖盆中提炼出了挠曲坡折带、断坡带等层序结构模式,成功地指导了地层—岩性油气藏的勘探(贾承造等,2004b;任建业等,2004). 基于这些盆地构造活动活跃,基底沉降不同于被动大陆边缘相对稳定的热沉降特点,也缺乏冰川消融导致的湖平面变化机制,一些学者强调了构造活动对层序的主控作用(池英柳等,1996;解习农等,1996;冯有良等,2000;胡受权等,2001;吕雪雁等,2002;操应长和姜在兴,2004). 对于挤压拗陷盆地类型,姜华等(2009)及李丕龙等(2010)通过对焉耆盆地和准噶尔盆地侏罗系的地震、钻井层序研究,尤其是详实直观的露头层序分析表明,层序由粗粒沉积为主的低位体系域和细粒沉积为主的湖扩—高位体系域组成,由此归结为“二元结构”模式,并指出其主控机制在于幕式逆冲挤压—松弛的构造作用过程. 塔里木盆地三叠纪是区域应力场由伸展至挤压、沉积环境由海相到陆相的重大转折时期,台盆区发育大型挤压拗陷盆地(贾承造等,2004a;郭建华等,2007),这为本文研究提供了有利场所.

1 地质背景

塔里木盆地形成于塔里木板块之上,四周被天山山脉、昆仑山脉和阿尔金山山脉环绕,面积达

表 1 塔里木盆地台盆区三叠系层序地层划分

Table 1 Division of Triassic stratigraphic sequence in interior Tarim basin

系	统	组	三级层序	地震反射底界面	构造运动
侏罗系				T46	印支运动
三叠系	上统	哈拉哈塘组	SQ4	T46h	
	中统	阿克库勒组	SQ3	T46a1	
			SQ2	T46a2	
	下统	柯吐尔组	SQ1	T48	海西末期运动
二叠系	上统	沙井子组			海西晚期运动

56×10⁴ km²,是一个大型的多旋回叠合盆地. 受后期抬升剥蚀影响,塔里木盆地台盆区三叠系厚400~1 000 m,残留面积近 20×10⁴ km²,主要分布于阿瓦提和满加尔拗陷(图 1),自下而上由柯吐尔组、阿克库勒组和哈拉哈塘组组成,为一套滨浅湖—半深湖背景下的辫状河三角洲沉积. 因资料条件、研究范围和采用的层序地层学理论不同,不同学者对台盆区三叠系层序划分的数量不等、级别不一(吕雪雁等,2002;高岩等,2003;郭建华等,2007). 本文以经典层序地层学理论为指导,采取局部与区域地震层序、宏观地震层序与精细钻井层序紧密结合的方法,充分厘定层序界面标志,建立了台盆区三叠系层序地层格架,自下而上识别出 T48、T46a2、T46a1、T46h、T46(或 T40、T30)共 5 个层序界面,划分出 SQ1–SQ4 共 4 个三级层序(表 1),并在此基础上探讨了挤压拗陷盆地的层序发育机制.

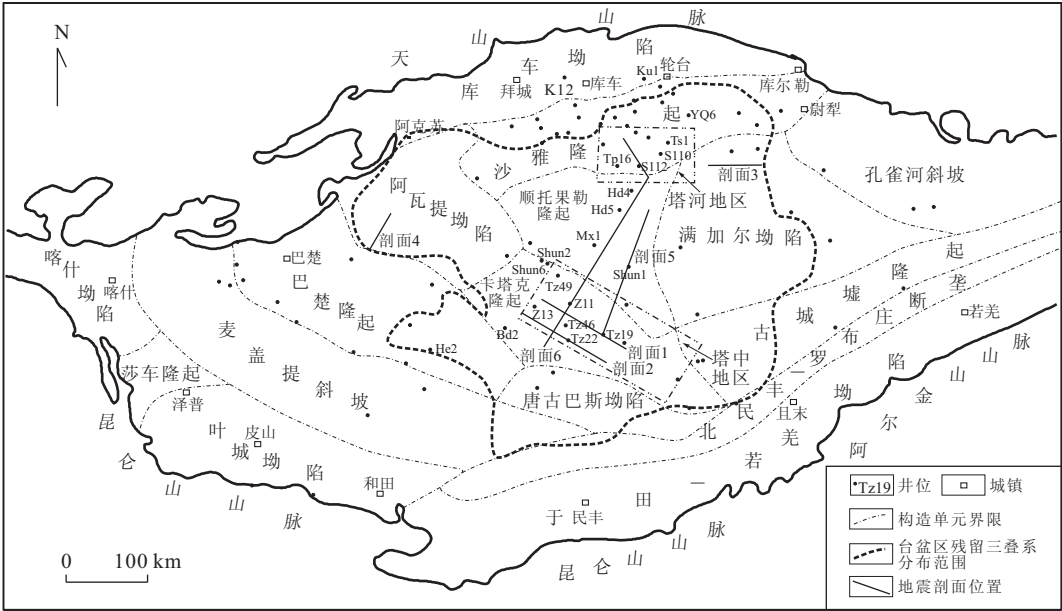


图 1 塔里木盆地构造单元区划
Fig. 1 Tectonic units divisions of the Tarim basin

2 地震层序分析

地震层序分析充分应用了地震反射同相轴的等时性意义以及反射终止、反射结构所包含的地层内部不协调性和沉积充填演化信息,在宏观地层格架构建中有着露头、钻井不可替代的作用,是层序划分的关键.

2.1 地震层序界面标志

地震层序界面以削截、顶超、下超、上超等反射终止类型以及下切谷等为标志, 尽管研究区多为二维地震测线, 但不同构造单元界面标志较为清晰。

(1) 削截: 是层序界面识别最直接可靠的标志, 代表了地层沉积之后曾经暴露剥蚀的历史。研究区三叠系底(T48)、顶界面均为区域性不整合面(T46, 为侏罗系/三叠系界面。由于侏罗系广泛缺失, 常见三叠系与白垩系或古近系接触——T40、T30), 界面之下削截现象广泛可见。此外, 三叠系内部层序界面之下也见少量削截反射终止(图2)。

(2) 顶超:代表了无沉积的过路作用. 研究区塔中地区、阿瓦提坳陷的南部、沙雅隆起的南坡以及塔东地区均发育低角度前积反射,其顶面即为顶超反射终止,是研究区三叠系内部层序界面识别和高位体系域划分的主要标志(图 2). 尤其以塔中地区各

个层序高位体系域均发育不同规模的前积反射和顶超标志现象最为突出(图 2 剖面 1、2),

(3) 上超、下超:发育于层序界面之上,分别代表了湖盆范围扩张和沉积体向坳陷中心推进前积。由于后期构造变形的影响,研究区常造成“下超”转变为“上超”、“上超”转变为“下超”的假象,在实际工作中可在层拉平加以矫正的基础上进行分析。

(4)下切谷:是层序低位体系域的组成单元之一,由湖平面快速下降导致河流回春作用所致,对物源供给和层序界面有着指示作用.塔中地区 SQ3、SQ4 层序发育大型下切谷,在地震剖面上呈下凹形态,下伏地层遭削截,之上具双超充填反射(图 2 剖面 1).

2.2 南北向地震层序格架特征

剖面 6 过 Z11-Mx1-Tp16 井,大致呈 NNE 向,几乎纵贯整个台盆区,并穿越了塔河和塔中 2 个勘探程度较高的地区(图 3).

层序界面方面,三叠系底界 T48 之下,削截反射终止遍及剖面北部,下伏二叠系向北遭受剥蚀量增加;南部相对整齐,地层保存相对完整.三叠系顶面与不同时代地层接触,在北部 S112-Tp16 井区与侏罗系接触(T46);在 S112-Z11 井区与白垩系接触(T40);在 Z11 井以南与古近系接触(T30),反映南部遭受抬升剥蚀量大.在三叠系内部,最显著的界面

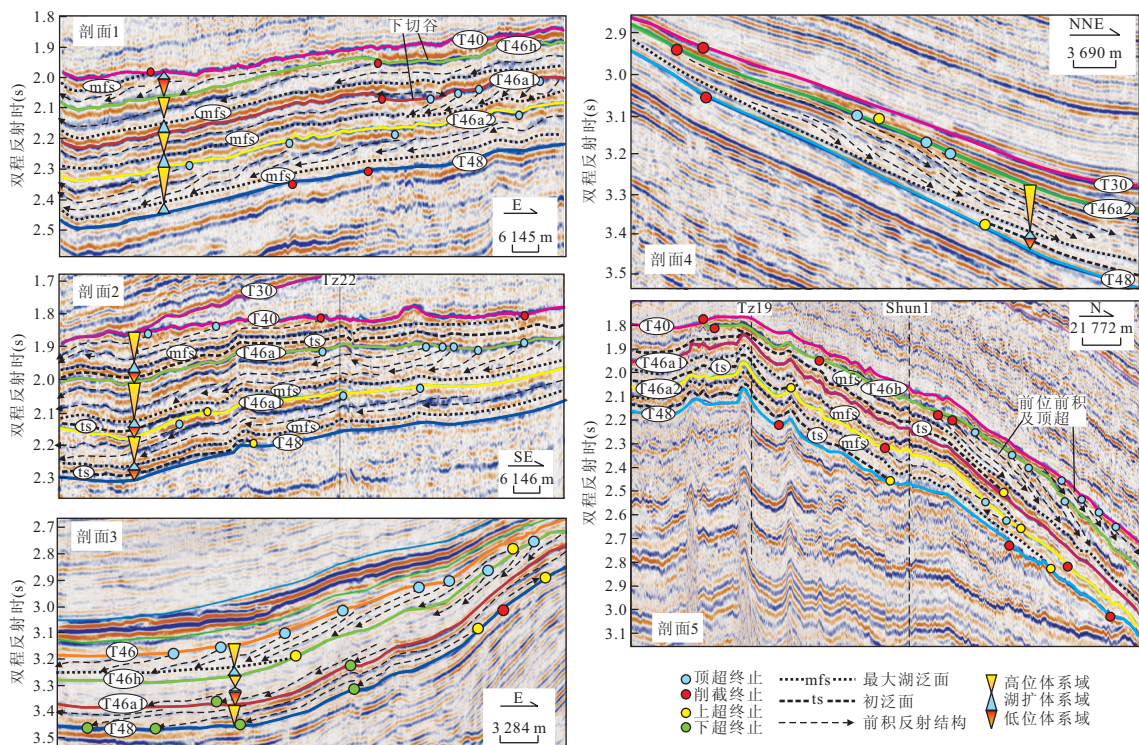


图 2 不同地区典型地震层序结构解释

Fig. 2 Triassic sequence interpretations on seismic profile in different areas

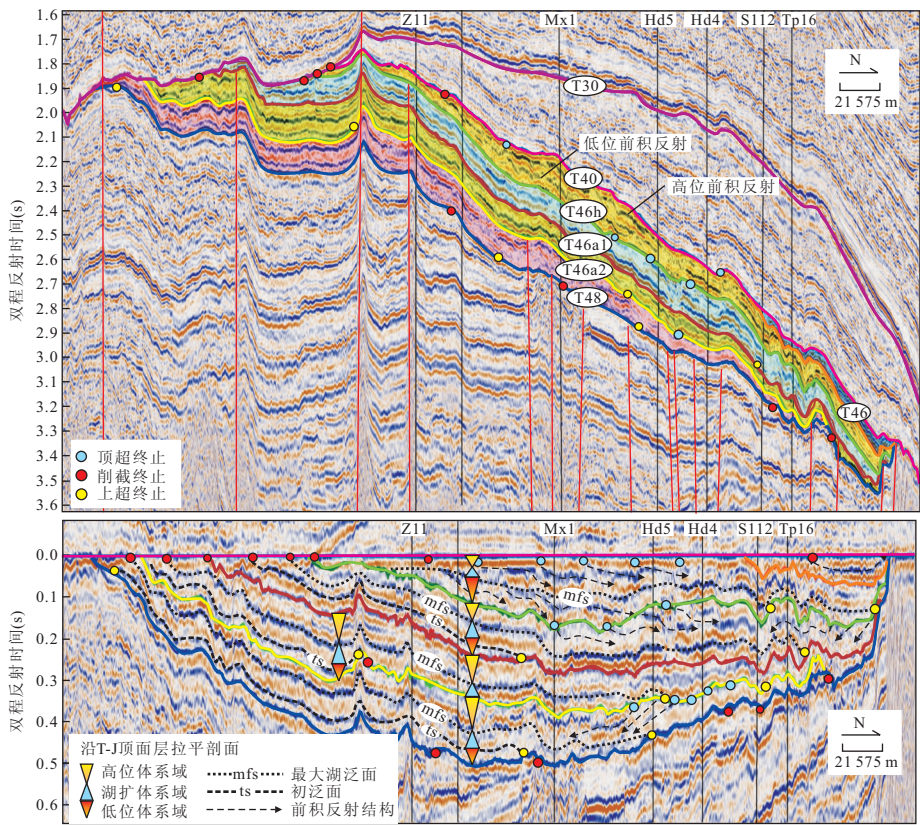


图 3 剖面 6 三叠系地震层序解释(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Triassic stratigraphic sequence frameworks on seismic profile 6

特征是,T48、T46a2、T46a1 之上见两条连续的同相轴向北上超终止,反映湖盆逐渐扩张,分别对应于层序的初泛面(ts)和最大湖泛面(mfs);界面之下还见少量的削截和顶超反射终止类型(图 2 剖面 5)。其中,Hd5 井附近 T46a2 界面之下见向南的前积反射和顶超,对应于层序的高位体系域;Mx1 井以北 T46h 界面之下见向北和向南的前积及顶超。

层序结构方面,SQ1-SQ3 层序低位体系域主要分布在剖面 6 的南部,而 Mx1 井以北至塔河地区低位体系域普遍缺失,反映该时期 Mx1 井至沙雅隆起为一个十分宽缓的古地貌斜坡。SQ4 层序发育向北的低位、高位前积反射,盆地沉降中心迁移至 Mx1 井部位。

地层分布上,SQ1-SQ2 总体呈现南厚北薄的楔形,SQ1 层序在北缘超覆尖灭。塔中及以南地区,SQ4 层序遭受同沉积及后期抬升剥蚀,大量减薄以致全部缺失。

3 层序内幕沉积演化分析

以地震层序格架为指导,开展钻井层序对比分

析,是揭示层序内幕沉积演化过程的有效手段。

3.1 钻井层序界面标定

经过合成记录的井—震标定,钻井层序界面表现为几种类型:(1)厚层砂岩的底面。在研究区最为普遍,界面之下为厚层泥岩夹薄砂岩,测井曲线低幅平直夹指型、漏斗型;界面之上为厚层砂岩,测井曲线呈高幅箱型,属(水下)分流河道沉积,与下伏地层之间岩性、电性跳变显著,层序界面即为(水下)分流河道底部的突变冲刷面。(2)两套前积反射之间的结构界面。界面上、下均为三角洲前缘河口坝—水下分流河道的前积序列,分别对应于上覆层序的低位体系域和下伏层序高位体系域,其中上覆层序的低位体系域砂岩厚度大、岩性粗,反映湖平面下降导致物源供给增强。(3)泥岩颜色突变面。界面上、下均为较厚层泥岩,以泥岩颜色由灰色至灰绿色、棕褐色等颜色变化指示沉积环境的跳变。普遍地,初泛面和最大湖泛面附近发育较为稳定的厚层泥岩段。

3.2 Shun2 至 Tz19 井层序对比

该剖面揭示了从卡塔克隆起至阿瓦提凹陷的缓坡背景下的层序结构,也是辫状河三角洲持续发育的部位。从 Shun2 向 Tz19 井,各个层序厚度略有减

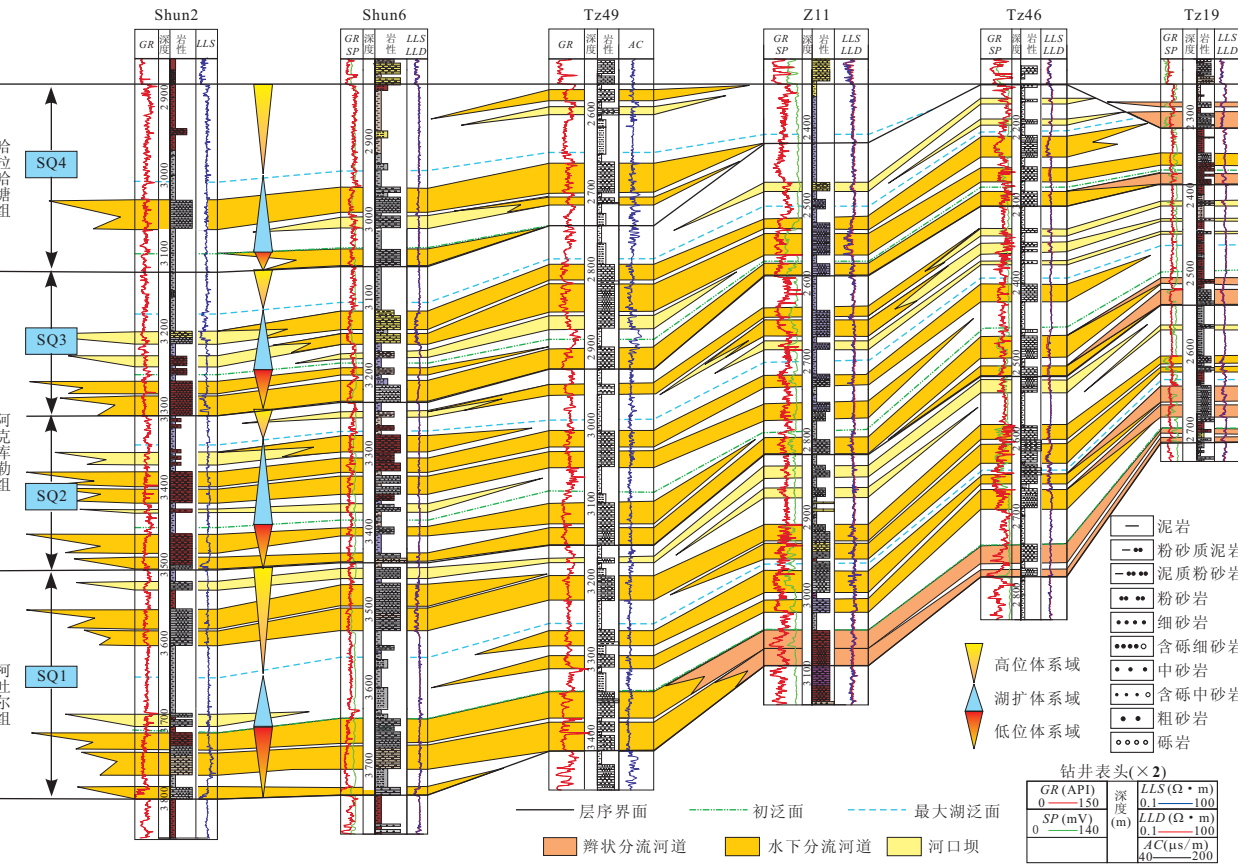


图 4 Shun2-Shun6-Tz49-Z11-Tz46-Tz19 井 SQ1 层序对比剖面

Fig. 4 Correlation profile of sequence SQ1 among well Shun2, Shun6, Tz49, Z11, Tz46 and Tz19

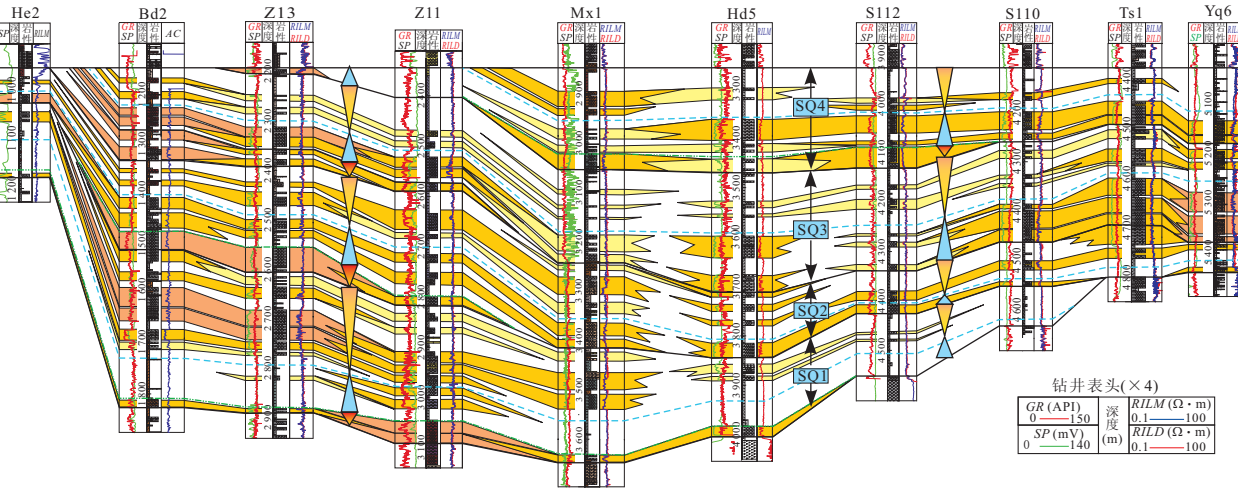


图 5 He2-Bd2-Z13-Z11-Mx1-Hd5-S112-S110-TS1-Yq6 井三叠系层序对比剖面(图例同图 4)

Fig. 5 Correlation profile of Triassic sequences among well He2, Bd2, Z13, Z11, Mx1, Hd5, S112, S110, TS1 and Yq6

薄,Shun2-Shun6 井浅一半深湖亚相厚层泥岩发育, Z11、Tz46 至 Tz19 井常见地层超覆尖灭或剥蚀缺失。向 Shun2 井方向,砂体呈现斜列式结构,沉积相由水下分流河道向河口坝演化,体现了三角洲向北西方向推进,与塔中地区常见向西的大型前积反射

地震相对应(图 2 剖面 1、2)。

层序结构上,在单个层序的低位、湖扩、高位体系域,对应发育 3 套辫状河三角洲砂体。其中,SQ1 层序表现为辫状河三角洲前积—退积—前积的演化序列,湖扩体系域三角洲规模较小。与 SQ1 层序不

同, SQ2-SQ3 层序的低位、湖扩体系域 2 套辫状河三角洲砂体的规模大; 而高位体系域三角洲的规模小、砂层薄、粒度细, 以河口坝沉积为主。SQ4 层序含砂率总体较低, 三角洲主要发育在湖扩体系域, 低位和高位体系域三角洲规模均较小, Tz19 井为下切谷充填沉积。总体上, 从 SQ1 至 SQ4 层序, 湖扩体系域三角洲砂体在各个层序体系域中所占比例呈增加的趋势, 而高位体系域三角洲砂体规模呈逐渐减小的趋势。

3.3 He2 至 YQ6 井层序对比

图 5 钻井对比剖面与图 3 地震测线位置基本对应, 大体呈北东向, 体现了盆地横向层序地层格架及内幕沉积演化特点。其中, He2-Bd2-Z13-Z11-Mx1 井受南部物源供给; Hd5 井区受东部物源供给; S112-S110-Ts1-Yq6 井受北部沙雅隆起物源供给。

以图 3 所示地震层序为指导, He2 位于该时期前隆带上, 层序及体系域缺失严重; Bd2-Z13-Z11-Mx1 井 SQ1-SQ3 层序的 3 个体系域发育较齐全, 其中 Mx1 井 SQ2、SQ3 层序缺失低位体系域; Hd5-S112-S110-Ts1-Yq6 井 SQ1-SQ3 层序仅发育湖扩一高位体系域, 低位体系域全部缺失。SQ4 层序, Z13 发育下切谷充填沉积; Z11 主要由湖扩体系域组成; Hd5-S112 井体系域发育齐全; S110-Ts1-Yq6 井仅发育湖扩一高位体系域。

如剖面 5 所示, Bd2-Z13-Z11-Mx1 井区 SQ1-SQ3 层序的低位、湖扩、高位体系域普遍对应于 3 套辫状河三角洲砂体。其中, 低位三角洲砂层厚、粒度粗, 但分布范围较小; 湖扩体系域三角洲砂体分布范围更加广阔; 高位体系域三角洲砂体呈现萎缩的趋势, 与图 4 剖面反映的特征类似。特别地, 塔河地区 S110-Ts1-Yq6 井 SQ3-SQ4 层序低位体系域缺失, 湖扩体系域三角洲砂体十分丰富, 局部厚达 60 m 以上; 而高位体系域仅发育薄层三角洲砂体。

综合上述两条钻井剖面不难发现, 研究区湖扩体系域普遍发育大型辫状河三角洲, 且主要发育(水下)分流河道微相, 形成的砂体厚度大、粒度粗、分布范围广, 甚至超过了低位体系域; 高位体系域是层序内部三角洲欠发育的层位, 具反旋回河口坝微相多见, 形成的砂体规模普遍小、砂层薄、粒度细, 尤其是高位晚期多为大套滨浅湖细粒沉积, 三角洲砂体数量少或缺乏。这种特点与经典层序地层理论相矛盾。在经典层序地层模式中, 低位和高位体系域是层序内部的 2 个富砂层位, 而海侵体系域由于海平面快速上升、海岸线后退、沉积物供给受抑制, 以细粒沉

积物为主。这种差别体现了挤压拗陷湖盆层序地层的独特性。

4 层序的成因机制

晚二叠世至三叠纪是古特提斯洋消亡的重要阶段, 也是塔里木盆地构造演化的转折时期。在塔西南地区, 古特提斯板块向塔里木板块俯冲达到高潮, 最终导致甜水海地体(或羌塘板块)在三叠纪末与塔里木板块发生碰撞(印支运动), 形成康西瓦—玛沁缝合带和龙木措—玉树缝合带(王毅, 1999; 王毅等, 1999)。塔西南地区上二叠统杜瓦组上千米厚的陆相磨拉石建造, 标志着中二叠世弧后伸展盆地演化阶段的结束(王毅, 1999)。在塔里木盆地北缘, 南天山洋在早二叠世末关闭, 哈萨克斯坦板块与塔里木板块拼合, 古天山造山带急剧隆升, 并向盆地内冲断(贾承造等, 2004a; 何登发等, 2005)。总体上, 从晚二叠世(海西晚期)开始, 塔里木盆地区域应力场由伸展转变为挤压, 沉积环境由海相转变为陆相, 周围山系迅速隆升, 盆缘区发育塔西南前陆盆地和库车前陆盆地, 在台盆区则发育大型挤压拗陷盆地。

台盆区挤压拗陷盆地的发育表现为台盆区南部遭受挤压隆升幅度大和盆地沉降中心逐渐向北迁移的过程。SQ3-SQ4 层序发育时期, 塔中地区发育大型下切谷(图 2 剖面 1), 高位前积反射越过 Shun1 井, 到达 Mx1-Hd5 井区(图 2 剖面 5、图 3), 反映了南部同沉积隆升性质。由于区域挤压作用南强北弱, 自下而上 4 个层序发育时期盆地沉降中心逐渐向北迁移, 南部辫状河三角洲的规模也明显大于北部。

台盆区三叠系层序结构的独特性在于: 湖扩体系域发育大型三角洲, 砂体丰富; 相反, 高位体系域三角洲规模小, 沉积物粒度细。特别地, 湖扩体系域时期, 湖盆扩张, 湖岸线后退, 可容纳空间迅速增加, 在这种背景下, 大型三角洲的发育必然是挤压作用导致物源区迅速隆升、沉积物供给大幅度增加的结果。相反, 高位体系域以细粒沉积为主, 反映挤压作用减弱、沉积物供给匮乏。受库车前陆盆地的阻隔, 塔河地区不受天山物源供给的影响, 该区辫状河三角洲的发育与前隆带沙雅隆起的隆升紧密相关, 湖扩体系域大型辫状河三角洲的发育必然伴随着沙雅隆起的快速隆升; 而高位体系域晚期, 由于湖平面上升导致沙雅隆起逐渐被浸没, 最终成为水下隆起, 失去物源供给作用。

因此, 挤压拗陷盆地的层序发育受控于挤压作用

- zoic tectonic characteristics and petroleum in Tarim basin, Petroleum Industry Press, Beijing, 46—59 (in Chinese).
- Jia, C. Z., Zhao, W. Z., Zou, C. N., et al., 2004b. Two key technologies about exploration of stratigraphic / lithological reservoirs, *Petroleum Exploration and Development*, 31(3): 3—9 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, H., Wang, H., Lu, Y. C., et al., 2009. Dual features of sequence structures in compressional basin: an example from Jurassic Bohu depression of Yanqi basin, *Acta Geologica Sinica*, 83(6): 847—854 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Feng, J. H., Lu, Y. C., et al., 2010. Tectonic, sedimentary and reservoir in Jungger basin, Geological Press, Beijing, 74—89 (in Chinese).
- Lü, X. Y., Zhu, X. M., Shen, Y. M., et al., 2002. The Triassic sequence stratigraphy and the prediction of the favourable exploration targets in Tarim basin, *Petroleum Exploration and Development*, 29(1): 32—35 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., 1999. Analysis on the Upper Devonian-Triassic sequence stratigraphy in the Tarim basin and its controlling factors, *Experimental Petroleum Geology*, 21(3): 225—231 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Zhang, Y. W., Jin, Z. J., et al., 1999. Analysis on the tectonic-stratigraphic equences in the Tarim basin, *Geological Review*, 45(5): 504—513 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. N., Cheng, S. T., Lu, Y. C., 1996. Episodic tectonic cycles and internal architectures of sequences in continental basin, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2(1): 27—33 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Lu, Y. C., Zhang, Q. L., 2004. Forming mechanism of structural slope-break and its control on sequence style in faulted basin, *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 596—602 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 操应长, 姜在兴, 2004. 断陷湖盆层序界面的成因类型及其与油气藏的关系. 石油大学学报(自然科学版), 28(4): 1—6.
- 池英柳, 张万选, 张厚福, 等, 1996. 陆相断陷盆地层序成因初探. 石油学报, 17(3): 19—26.
- 冯有良, 李思田, 解习农, 2000. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式. 地质学前沿, 7(3): 119—132.
- 高岩, 赵秀岐, 张玮, 等, 2003. 塔里木盆地层序地层特征与非构造圈闭勘探. 北京: 石油工业出版社, 46—50.
- 郭建华, 刘辰生, 朱锐, 2007. 阿克库勒地区三叠系层序地层学及储集砂体成因类型. 沉积学报, 25(2): 169—176.
- 何登发, 贾承造, 李德生, 等, 2005. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化. 石油与天然气地质, 26(1): 64—77.
- 胡受权, 郭文平, 杨凤根, 等, 2001. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素. 沉积学报, 19(2): 256—262.
- 贾承造, 孙龙德, 周新源, 等, 2004a. 塔里木盆地中新生代构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 46—59.
- 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等, 2004b. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术. 石油勘探与开发, 31(3): 3—9.
- 姜华, 王华, 陆永潮, 等, 2009. 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. 地质学报, 83(6): 847—854.
- 李丕龙, 冯建辉, 陆永潮, 等, 2010. 准噶尔盆地构造沉积与成藏. 北京: 地质出版社, 74—89.
- 吕雪雁, 朱筱敏, 申银民, 等, 2002. 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. 石油勘探与开发, 29(1): 32—35.
- 王毅, 1999. 塔里木盆地上泥盆统一三叠系层序地层及控制因素分析. 石油实验地质, 21(3): 225—231.
- 王毅, 张一伟, 金之钧, 等, 1999. 塔里木盆地构造—层序分析. 地质论评, 45(5): 504—513.
- 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, 2(1): 27—33.
- 任建业, 陆永潮, 张青林, 2004. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制. 地球科学——中国地质大学学报, 29(5): 596—602.