文章编号: 1009-3850(2011)04-0001-10

塔河油田石炭系卡拉沙依组层序地层及沉积相研究

徐 微[1]，王 明[2]，田 鹏[3]，苏 娟[3]，康仁东[3]

(1. 中海油研究总院，北京 100027; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院，北京 100083; 3. 中国石油化工股份公司西北分公司勘探开发研究院，乌鲁木齐 830011)

摘要: 石炭系卡拉沙依组作为塔河油田碎屑岩领域主要产层之一，其沉积相类型及分布一直存在争议。本文通过井震结合，建立了该区的高精度层序地层格架。通过岩心观察，利用地震、测井、分析化验等资料，确定了沉积体系的类型，并开展了沉积相类型和展布的研究。研究表明，卡拉沙依组可划分为两个三级层序，其中层序 CKLSQ1 可划分为 3 个体系域，分别为低位体系域、海侵体系域和高位体系域; 层序 CKLSQ2 可划分为两个体系域，分别为海侵体系域和高位体系域。沉积相为三角洲和潮坪相交互沉积，其中北部以三角洲相为主，南部盐上区以潮坪相为主，中部的盐边区为两者的过渡带。该认识为目的层段窄薄砂体的预测和精确刻画提供了地质依据。

关 键 词: 塔河油田; 石炭系; 薄砂体; 层序地层; 沉积相

中图分类号: G512.2 **文献标识码:** A

塔河油田位于塔里木盆地沙雅隆起中段阿克库勒凸起西南斜坡(图 1)。区内石炭系是在海西早期古风化剥蚀地貌基础上形成的海陆交互相地层[1]。其中卡拉沙依组是塔河地区石炭系的主要含油气层段，该组由不等厚互层状的砂岩、泥岩组成。近些年，随着立体勘探的实施，石炭系卡拉沙依组实现了由主体区向盐上区的拓展，成为塔河油田新的增储领域。

随着塔河油田石炭系卡拉沙依组勘探的深入，一些认识上的瓶颈制约着该层系下步的油气勘探和井位部署: ①卡拉沙依组纵向上砂组的划分缺乏依据和可操作性。目前把石炭系卡拉沙依组细分为四个砂层组，自上而下依次为 I-II-III-IV 砂组，由于卡拉沙依组的砂泥岩段内部可供划分对比标准层不明显，使得砂体的细分受人为因素影响大，主观性强。另外，井震分层存在差异，细分的砂层组并不等时，所以以砂组为单元进行的沉积相平面研究值得商榷; ②卡拉沙依组沉积相类型存在争议[1-4]，砂体成因认识不清。由于该层段碎屑岩储层具有砂体薄、横向展布变化快、非均质性强的特点，加上沉积相标志不典型，对其沉积相类型和平面展布的认识一直就存在几种不同的意见，而且分歧较大。

图 1 塔北构造单元划分

1. 盆山边界; 2. 构造单元边界; 3. 次级构造单元边界

Fig. 1 Tectonic division in northern Tarim Basin

1 = basin boundary; 2 = tectonic boundary; 3 = secondary tectonic boundary

收稿日期: 2011-08-09; **改回日期:** 2011-09-27

作者简介: 徐微(1981-)，女，工程师，硕士，石油地质学专业，主要从事层序、沉积、储层方面的研究工作。E-mail: baiyunbing1124@163.com

归纳起来大致有以下几种观点: 一种意见认为是潮坪沉积[2,3]; 一种意见则认为是河流相或陆相(杨国栋等,1990; 罗孝质,1996; 王少立等,2001); 另一种观点认为是潮坪-辫状河三角洲沉积[1,3,5]; 另外,还有人认为是受潮汐影响的扇三角洲-河流相沉积[4]。并且前期由于塔河盐上地区取心井较少,沉积相的研究主要集中在北部的盐边区域,缺乏对塔河油田全区系统的沉积相研究。

本文通过井震结合,建立了卡拉沙依组的高精度层序地层格架,并通过岩心观察,结合地震、测井、分析化验等资料,开展沉积相类型和展布的研究,明确卡拉沙依组砂体的成因及时空展布规律。通过对卡拉沙依组层序格架的建立和沉积相时空展布的分析,为目的层段窄薄砂体的的预测和精确刻画提供了地质模型的支撑,并为下一步的油气勘探和井位部署提供了依据。

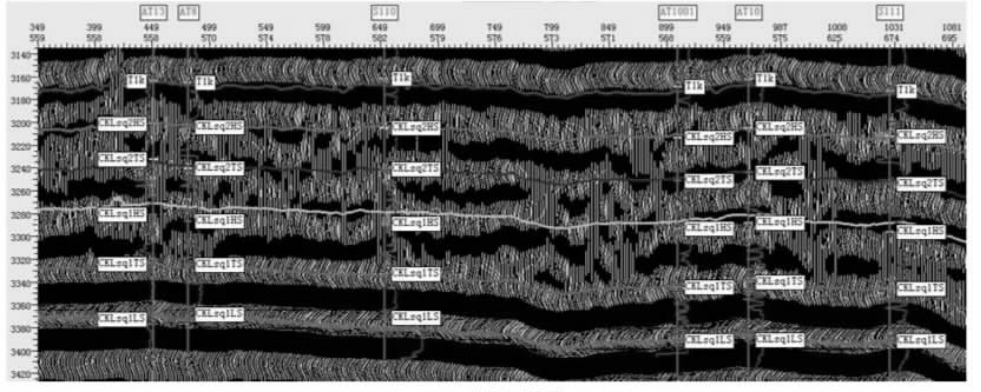
1 层序地层格架的建立

本次以 P. R. Vail 等为代表的经典层序地层学原理与方法[6-9] 为指导,综合利用地质和地球物理资料,对石炭系卡拉沙依组进行层序的划分和高精度层序格架的建立。

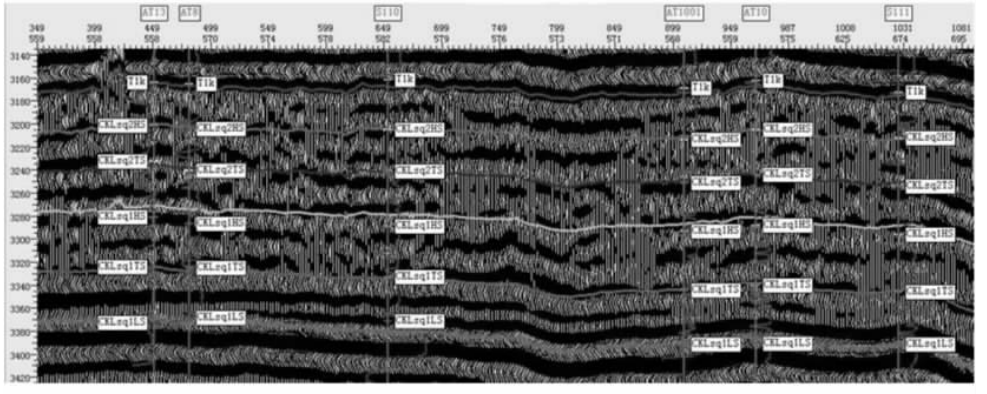
1.1 层序划分的思路和方法

塔河油田石炭系卡拉沙依组顶底界线比较清楚,因此用测井曲线识别的卡拉沙依顶底和地震能识别的 T50、T56 标准层将卡拉沙依地层限定,然后再在内部根据测井曲线和地层的岩性及电性变化特点,结合地震反射特征对其进行细分。

首先,选取地层发育齐全、取心段较多的关键井做标准井,进行层序的划分,然后向四周扩展,控制整个平面的分布。其次,由于地震反射相位连续性差,振幅变化大等因素造成了人工合成记录与地震的匹配性不佳,在进行单井合成记录标定时,采用了分频标定的方法[10],该方法是一种先粗后细的标定原则,较厚的地层在低频剖面上反应清晰,而一些薄的砂层在高频剖面上可以反映出来。本次将地震剖面分成低高两个频带(如图 2 所示),低频剖面表示基本的地层格局,高频剖面表示地层中的一些细节,这样做标定可以落实逐级控制的原则,提高了标定的准确性。



a: 30赫兹剖面



b: 60赫兹剖面

图 2 不同频带合成记录的标定

Fig. 2 Demarcation of synthetic seismograms of varying frequency

a. 30-Hz section; b. 60-Hz section

1.2　层序划分方案及测井响应特征

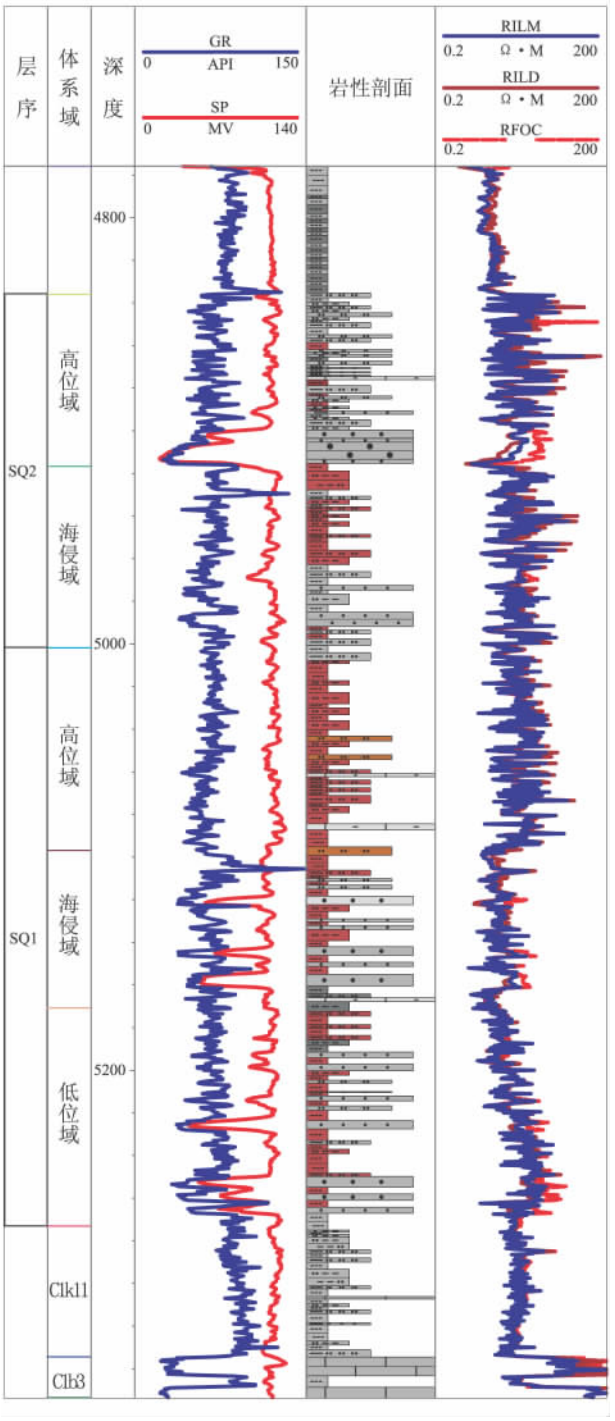


图 3　单井层序测井响应特征

Fig. 3　Well logs for a single well sequences

在上述层序划分思路和方法的指导下，采用点-线-面的方法进行，通过对 60 多口井的井震结合，建立了塔河油田卡拉沙依组的层序地层格架。研究表明，卡拉沙依组砂泥岩段可细分为两个三级层序(图 3)。其中下部的层序 CKLSQ1 可划分为三个体系域，分别为低位体系域(CKLSQ1LST)、海侵体系域(CKLSQ1TST)和高位体系域(CKLSQ1HST)；上部层序 CKLSQ2 可划分为两个体系域，分别为海侵体系域(CKLSQ2TST)和高位体系域(CKLSQ2HST)。

从地震剖面上看，该层段存在 3 个相对较强的反射轴(图 4)，其中红色虚线是上下两个层序的分界面，该反射轴在地震剖面上为强反射，连续性也相对较好，尤其是在南北方向上。该强反射轴可以把卡拉沙依组细分为两个三级层序，其中下部层序划分为 3 个体系域，分别为低位、海侵和高位；上部层序划分为两个体系域，分别为海侵和高位域；其中下部层序的低位域与海侵域之间在地震剖面上特征不明显，但在从测井曲线响应特征上看，对应于两个电阻率基值从大到小的旋回。并对各层序和体系的测井响应特征进行了总结(图 3)。

2　沉积体系的确定

本次通过对塔河石炭系卡拉沙依组泥岩的微量元素、地层厚度、粒度分析、沉积构造、地震反射特征进行了研究和分析，综合研究认为，塔河油田石炭系卡拉沙依组为三角洲与潮坪相交互沉积的沉积体系。

(1) 微量元素反映该区沉积时为有淡水注入的海陆过渡相沉积环境

用地球化学的方法推断古盐度是最常用的，也是效果较为理想的一种方法[11-12]，而元素比值法又是其中一种重要方法。

钟大康[6]利用微量元素的分析表明石炭系卡拉沙依组砂泥岩段沉积时水体盐度低，属于淡水-微咸水，表明有淡水注入，水体深度小；古气候属于干燥-半干燥。

(2) 从地层厚度展布上看，东北方向为水体注入方向

按照潮坪相正常的沉积模式，从陆至海方向，地层沉积厚度应逐渐加厚。而从前面的卡拉沙依组地层展布特征可知，该区虽然总体是北西薄南东厚的特征，但在盐体边界的东北方向，地层有明显的加厚现象，且东北方向的边界处的地层相对较薄的部位。从地震剖面上可以看出，是由于后期的削蚀作用造成的，表明沉积时，淡水水体是从东北方向携带载荷在该地区进行卸载并沉积下来。

(3) 根据岩石学特征、粒度分析、沉积构造及地震反射特征综合分析认为，北部主要为三角洲沉积，南部为潮坪相沉积，而中部为两者的过渡带。

从岩心看，岩石的粒度存在差异，即北部粒度粗，

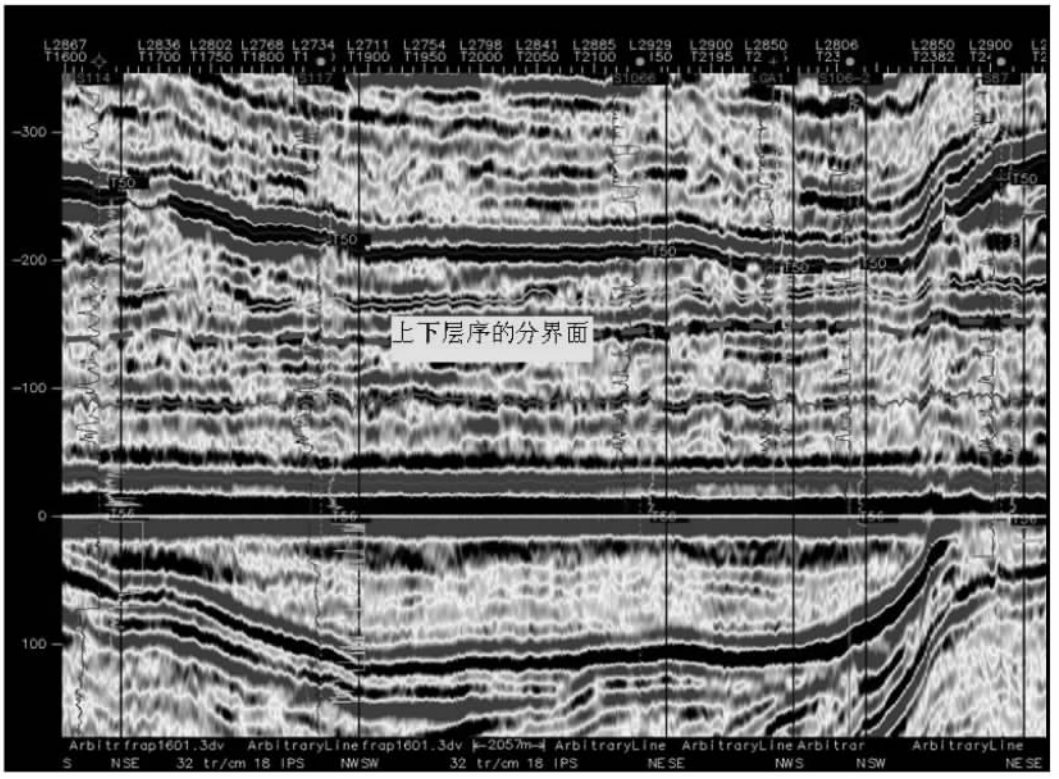


图4 卡拉沙依组地震反射特征

Fig. 4 Seismic reflection profile in the Kalashayi Formation

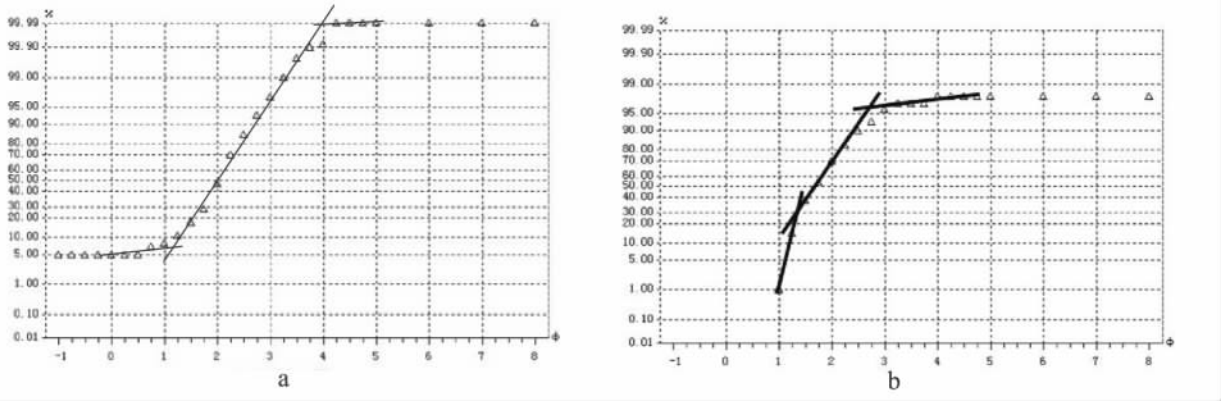


图5 塔河地区粒度概率曲线图

a. S66 **井粒度概率曲线**(5333.13m);b. LGA1 **井粒度概率曲线**(5048.12m)

Fig. 5 Grain size probability accumulation curves for the Tahe area

a. S66 well (depth: 5333.13 m); b. LGA1 well (depth: 5048.12 m)

分选差、而南部粒度相对较细,分选较好。且越靠近北东方向上,岩石成分成熟度越低,岩屑含量越高,通常为长石岩屑砂岩,且分选差,磨圆次棱角状。

而从粒度概率曲线上看(图5),北部通常为三段式,存在滚动、跳跃和悬浮组分,且悬浮组分含量较少反映水动力条件较强,而南部的概率曲线中,通常只包含跳跃与悬浮组分,且跳跃组分通常为两段式,斜率较大,反映了双向水流的特点。

从沉积构造上看,北部主要发育分选较差的块状层理,而南部通常发育双向层理、波状层理及脉状层理等,而泥岩中的生物扰动也主要发育在盐体边界附近及以南地区。另外,从地震反射特征上看,在北部有缓缓地前积特征。

通过上述几个方面的研究和分析认为,塔河石炭系卡拉沙依组为三角洲与潮坪交互沉积的沉积体系。其中北部主要发育三角洲相,而潮坪相主要分布在南部。

3　沉积微相类型及分布

3.1　沉积相类型及特征

1. 三角洲相

①分流河道

分流河道通常砂砾混杂，分选差，磨圆中等。层理以块状层理和板状交错层理为主(图6)。电性曲线上，以钟型和箱型为主。从粒度分析上看，主要是三段式，包含悬浮组分含量相对较少，反映了较强的水动力条件(图7)。

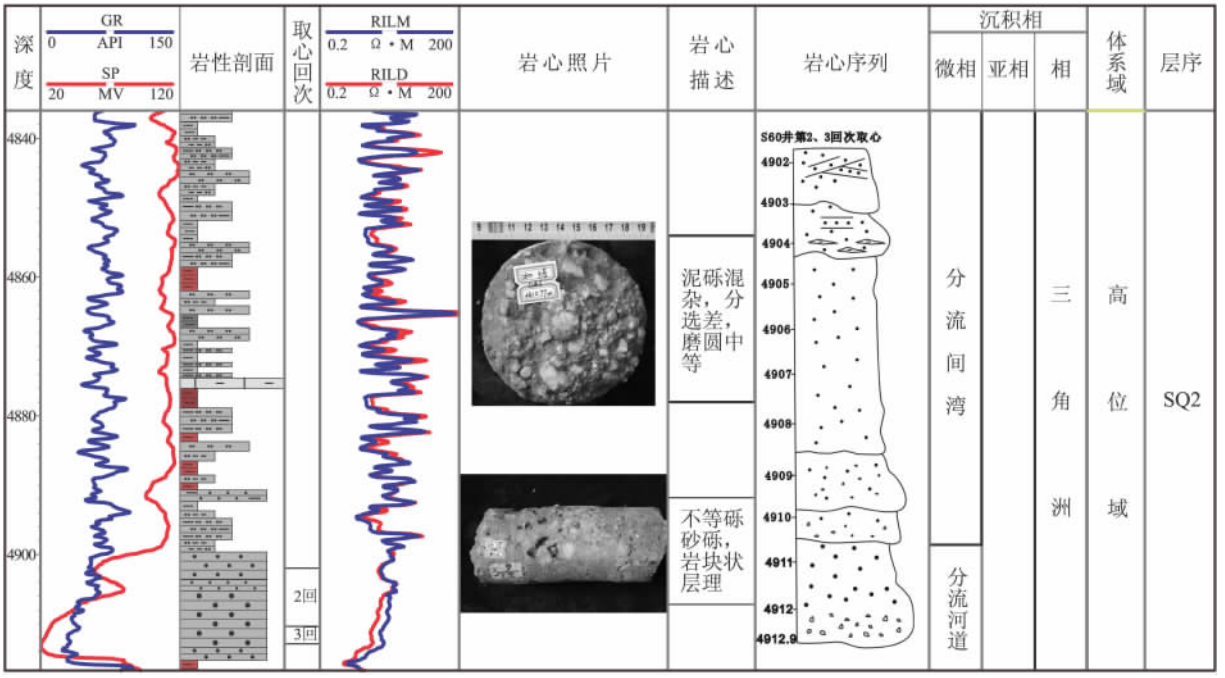


图6　分流河道典型特征图

Fig. 6　Typical characteristics of the distributary channel deposits

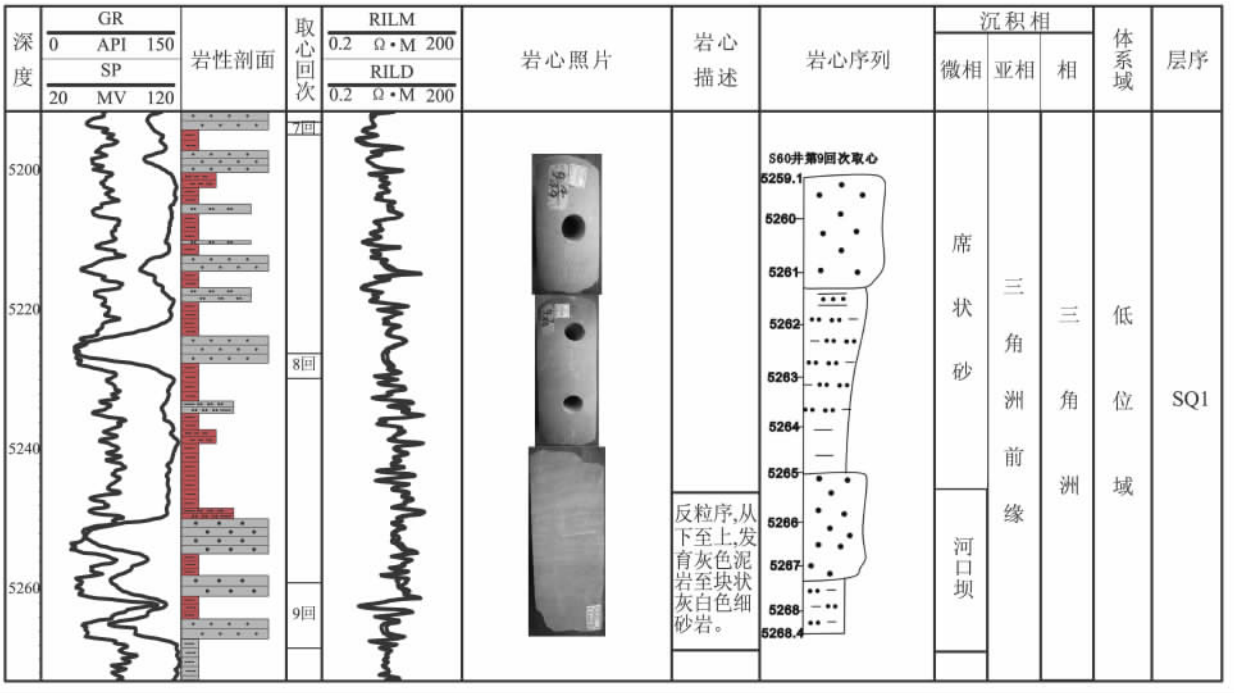


图8　河口坝典型特征图

Fig. 8　Typical characteristics of the channel mouth bar deposits

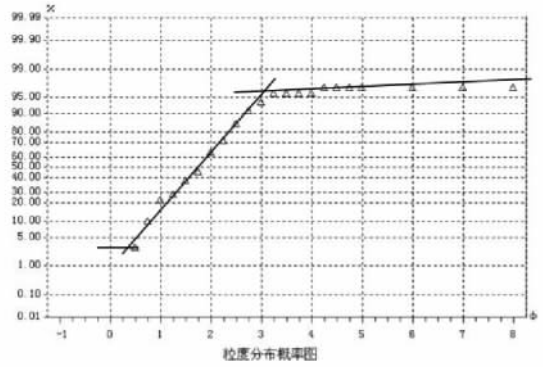


图7 分流河道粒度概率曲线(S60,4908.35m)

Fig. 7 Grain size probability accumulation curves for the distributary channel deposits (S60 well, depth: 4908.35 m)

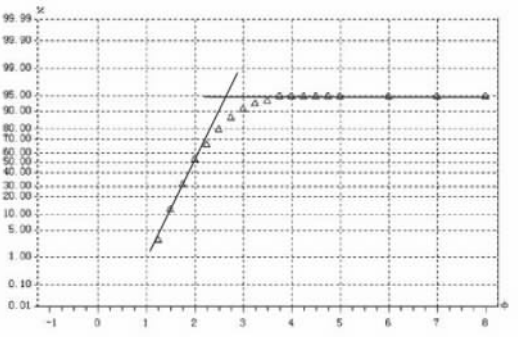


图9 河口坝粒度概率曲线(S60,5260.07m)

Fig. 9 Grain size probability accumulatin curves for the channel mouth bar deposits (S60 well, depth: 5260.07 m)

②河口坝

以细砂岩为主,分选磨圆好,发育平行和交错层理(图8)。垂向上,发育典型的反粒序。电性曲线上为漏斗型。从粒度分析上看,主要是两段式,且跳跃组分与悬浮组为典型的过渡形态(图9)。

2. 潮坪相

①潮道

潮道以含砾砂岩和中粗砂岩为主,分选磨圆好,以块状和双向层理为主,通常见冲刷面(图10)。电性曲线上为钟型或箱形。从粒度分析上看,主要

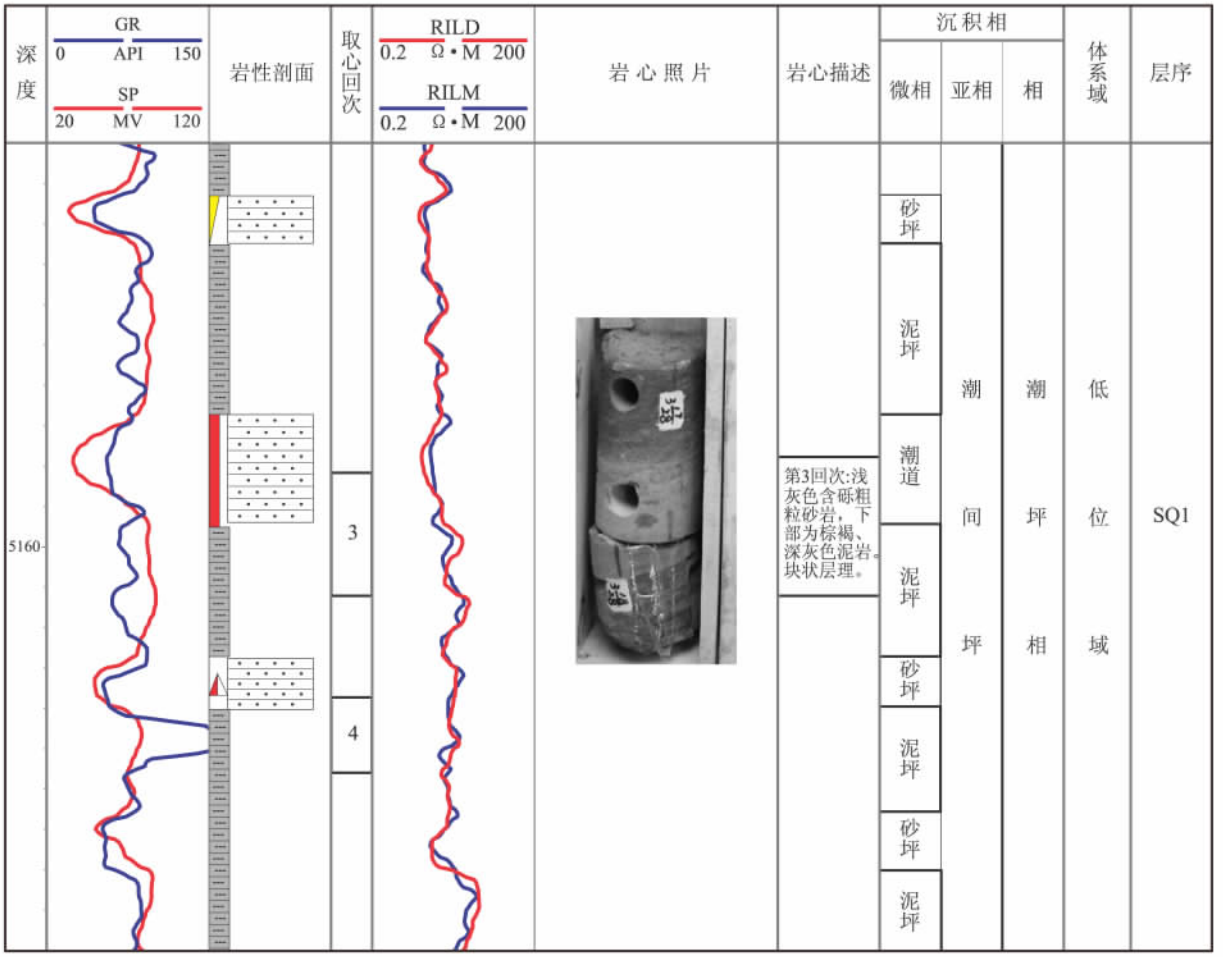


图10 潮道典型特征图

Fig. 10 Typical characteristics of the tidal channel deposits

是三段式，其中跳跃组分通常为两段式，表明潮汐作用为主体(图 11)。

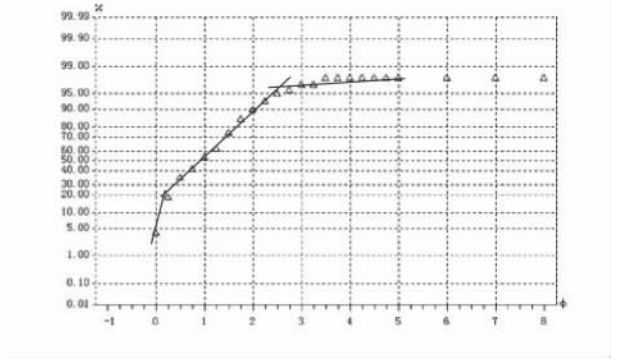


图 11　潮道粒度概率曲线(S1072，5158.6m)

Fig. 11　Grain size probability accumulatin curves for the tidal channel deposits (S1072 well, depth: 5158.6 m)

②砂坪

以细砂岩为主，分选磨圆好，发育平行层理、脉状层理、波状层理等。电性曲线上为指状(图 12)。从粒度分析上看，主要是三段式，其中跳跃组分通常为两段式，反映双向水流的特征，且斜率较大，反映分选较好。另外悬浮组分相对含量较高，反映水动力条件相对较弱(图 13)。

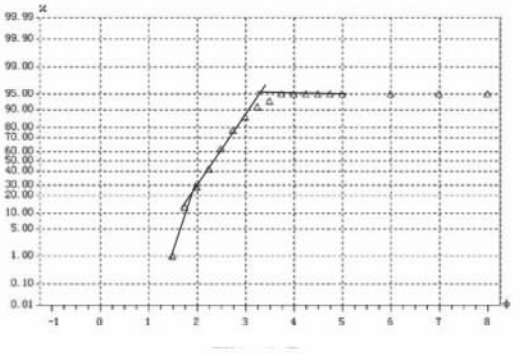


图 13　砂坪粒度概率曲线(LGA1，5025.43m)

Fig. 13　Grain size probability accumulatin curves for the sand flat deposits(LGA1 well, depth: 5025.43 m)

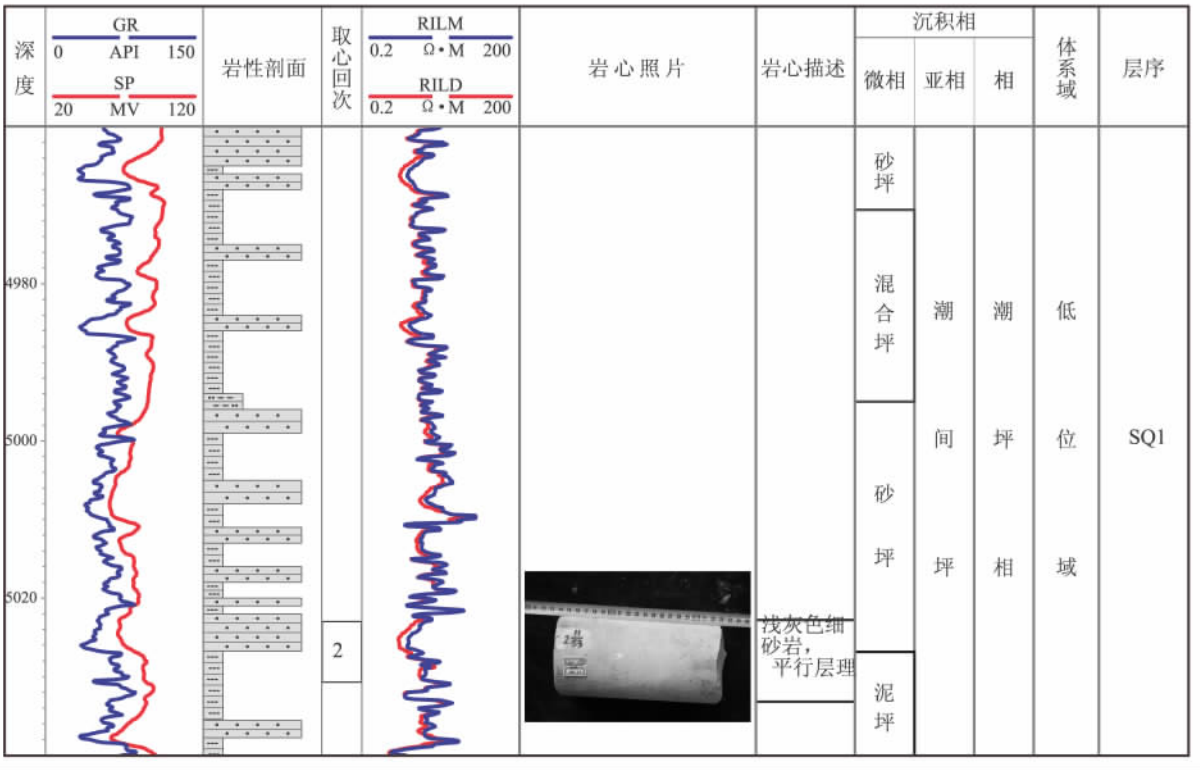


图 12　砂坪典型特征图

Fig. 12　Typical characteristics of the sand flat deposicts

3.2　沉积相的时空展布

1. 剖面特征及演化

塔河油田石炭系卡拉沙依组砂泥岩段的两个三级层序各体系域的沉积都为三角洲与潮坪相交互沉积模式。其中北部(主要为北东向)以三角洲相为主，主要发育三角洲前缘亚相的分流河道、河口坝、远砂坝砂体及席状砂，只有上部层序的高位域发育三角洲平原亚相的分流河道砂体(图 14)。

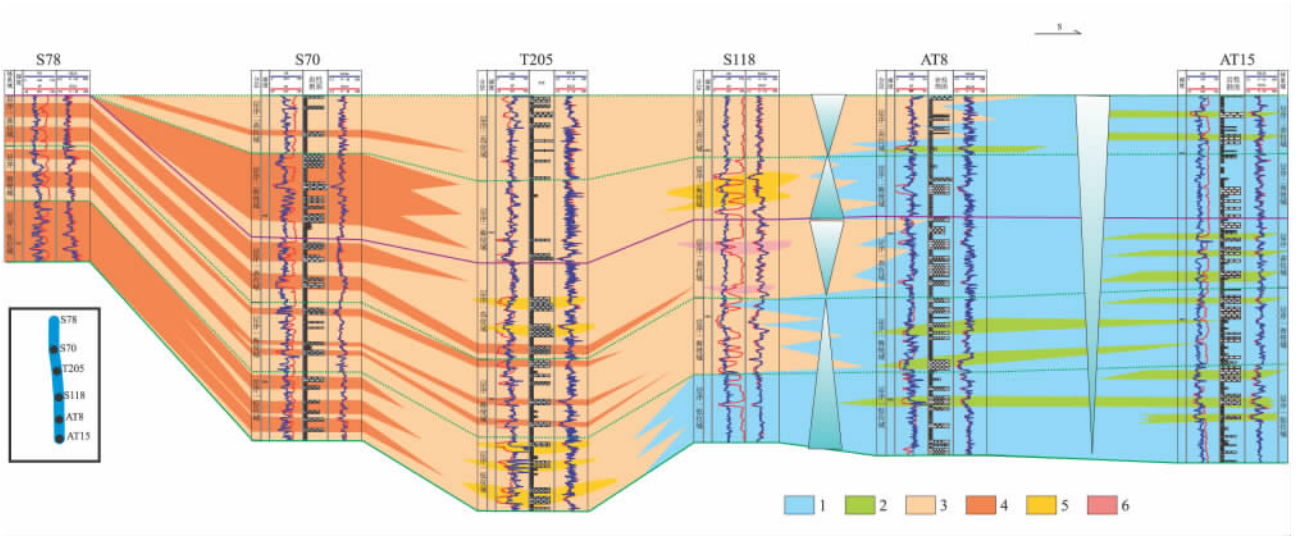


图 14 塔河地区石炭系卡拉沙依组南北向沉积相剖面图

1. **潮坪相**; 2. **砂坪**; 3. **三角洲前缘**; 4. **水下分流河道**; 5. **河口坝**; 6. **远砂坝**

Fig. 14 NS-trending sedimentary facies section across the Carboniferous Kalashayi Formatiom in the Tahe area

1 = tidal flat; 2 = sand flat; 3 = delta front; 4 = subaqueous distributary channel; 5 = channel mouth bar; 6 = distal bar

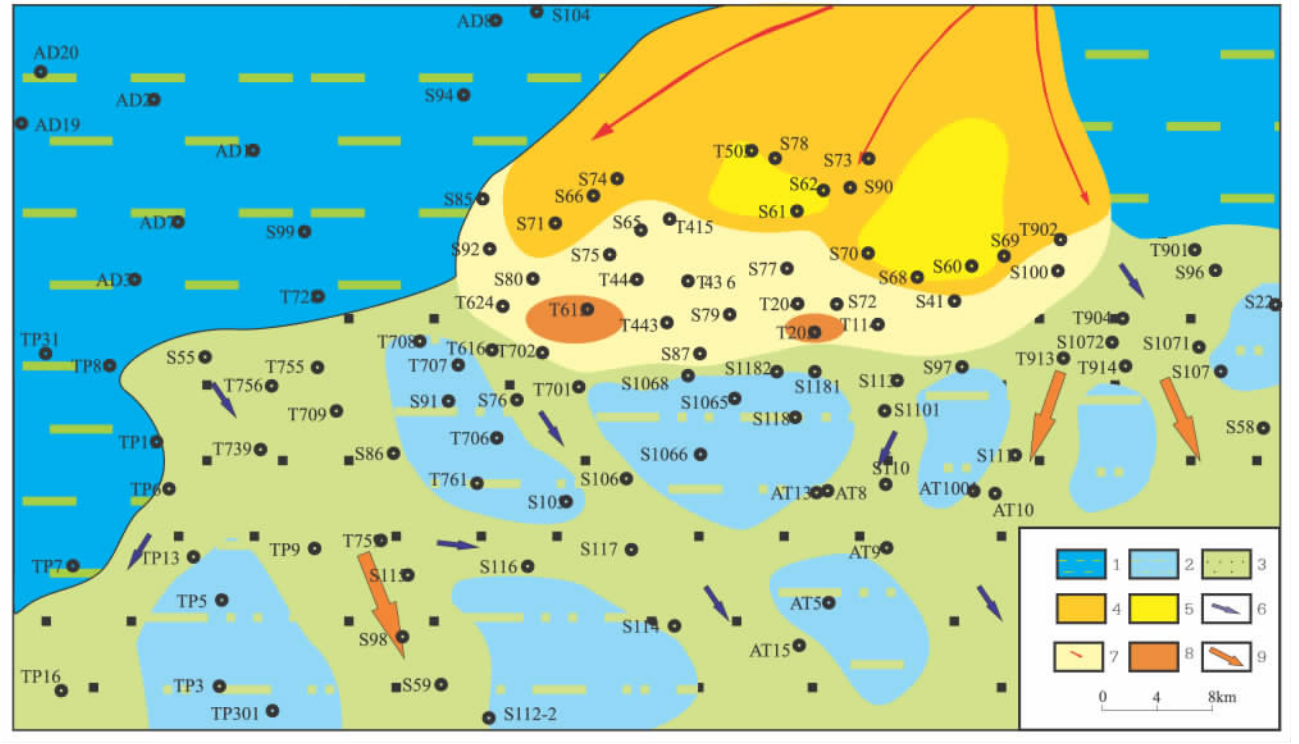


图 15 塔河地区石炭系卡拉沙依组层序 SQ1 低位域沉积相平面分布图

1. **泥坪**; 2. **砂泥混合坪**; 3. **潮道湖沟**; 4. **三角洲前缘**; 5. **河口坝**; 6. **落潮水道**; 7. **落潮水流方向**; 8. **三角洲前缘分流河道间**; 9. **主流线**

Fig. 15 Planar distribution of the sedimentary facies in the lowstand systems tract of the sequence SQ1 in the Carboniferous Kalashayi Formatiom in the Tahe area

1 = mud flat; 2 = mixed sand-mud flat; 3 = tidal channel/tidal creek; 4 = delta front; 5 = channel mouth bar; 6 = ebb channel; 7 = ebb current direction; 8 = delta front interdistributary channel; 9 = main current direction

南部以潮坪相成因的砂体为主,主要发育潮道和砂坪成因的砂体。从垂向演化上看,从下部层序 SQ1 的低位域至上部层序 SQ2 的高位域,相对海平面总体为一个水退的过程,三角洲不断往南推进,而潮坪相沉积范围不断缩小,只有在两个层序的海侵体系域沉积时期,相对海平面有短暂的水进过程。所以,根据该区沉积时的相对海平面的变化特征,单井垂向上的演化表现为:在南部,潮坪相由潮道、砂坪微相向砂泥混合坪、泥坪过渡,而北部由三角洲前缘逐步过渡为三角洲平原相,由于分选磨圆比较差,成分成熟度低,平原相储层发育较差。

(2)平面展布特征

利用岩心、测井等资料,结合地震反射特征及属性[13-14],以体系域为单元,对石炭系卡拉沙依组两个三级层序的沉积相平面分布及演化进行了研究,明确了沉积体系中各种类型沉积相的边界和空间分布。其中南部主要发育潮坪相沉积,而北部以三角洲相为主(图 15)。南部砂体以潮坪相的砂坪和潮道为主。北部砂体以三角洲相为主。而盐边区域为两者的过渡相。

4　结论

(1)综合岩心、测井、地震资料,利用分频标定的技术方法对卡拉沙依组进行了层序格架的建立。卡拉沙依组可划分为两个三级层序,其中层序 CKLSQ1 可划分为三个体系域,分别为低位体系域、海侵体系域和高位体系域;层序 CKLSQ2 可划分为两个体系域,分别为海侵体系域和高位体系域。

(2)通过对塔河石炭系卡拉沙依组泥岩的微量元素、地层厚度、粒度分析、沉积构造、地震反射特征综合研究认为,塔河油田石炭系卡拉沙依组为三角洲与潮坪相交互沉积的沉积体系。

(3)结合岩心、测井等资料,以体系域为单元,对卡拉沙依组砂泥岩段沉积相的时空展布进行了精细刻画。其中南部主要发育潮坪相沉积,北部以三角洲相为主,而盐边区域为两者的过渡相。从下部层序 SQ1 的低位域至上部层序 SQ2 的高位域,总体为一个水退的过程,即为三角洲不断往南推进,而潮坪相沉积范围不断缩小的过程。

参考文献:

[1] 李永宏. 塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及其控制因素[J]. 石油实验地质,2004,26(1):17-22.

[2] 顾家裕. 沉积相与油气[A]. 塔里木盆地油气勘探丛书[C]. 北京:石油工业出版社,1994. 116-130.

[3] 郭齐军,赵省民. 塔河地区石炭系沉积特征[J]. 石油与天然气地质,2002,23(1):99-102.

[4] 何发岐. 塔河油田石炭系卡拉沙依组沉积与成因分析[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):258-262.

[5] 金意志,蒋进勇. 塔河油田石炭系开发评价研究[R]. 中石化西北分公司内部资料,新疆乌鲁木齐,2006. 30-32.

[6] 钟大康,漆立新,刘康宁,等. 塔河油田南部石炭系卡拉沙依组沉积相研究[J]. 沉积学报,2009,27(4):614-620.

[7] 董春梅,张宪国,林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术[J]. 沉积学报,2006,24(5):699-704.

[8] VAIL P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure [A]. A W Bally. Atlas of Seismic Stratigrpahy [C]. Tulsa: AAPG Publishing Bureau, 1987. 27: 1-10.

[9] 纪友亮,张世奇. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京:地质出版社,1998. 117-195.

[10] 杜斌山,贺振华,曹正林,等. 地震地质多信息融合的井震标定方法研究[J]. 天然气地球科学,2009,20(2):254-257.

[11] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 453-453.

[12] 里丁. 沉积环境和相[M]. 北京:科学出版社,1985. 150-158.

[13] 凌云研究组. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探,2003,38(6):642-653.

[14] ZENG H L, HENTZ T F. High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology: Applied to Miocene, Vermilion Block 50, Tiger Shoal area, Offshore Louisina [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(2): 153-174.

Sequence stratigraphy and sedimentary facies in the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe Oil Field, Tarim Basin, Xinjiang

XU Wei[1], WANG Ming[2], TIAN Peng[3], SU Juan[3], KANG Ren-dong[3]

(1. *Research Institute, CNOOC, Beijing* 100027, *China*; 2. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing* 100083, *China*; 3. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Northwestern Branch, SINOPEC, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*)

Abstract: The present paper deals, in the light of core examination, seismic data and well logs, with the types and distribution of the sedimentary facies in the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe Oil Field, Tarim Basin, Xinjiang. The Kalashayi Formation may be divided into two third-order sequences. The sequence CKLSQ1 consist of three systems tracts: lowstand, transgressive and highstand systems tracts. The sequence CKLSQ2 consist of two systems tracts: transgressive and highstand systems tracts. The sedimentary facies are composed of the alternating terrigenous delta and tidal flat facies, and display the follwing arrangement: the delta facies in the northern part, the tidal flat facies in the southern part, and the transitional facies in the central part. The framework of sedimentary facies may provide geological evidences for further reservoir prediction and delineation in the study area.

Key words: Tahe Oil Field; Carboniferous; thin sandstone body; sequence stratigraphy; sedimentary facies