

# 满加尔凹陷南缘志留系柯坪塔格组上段不同体系域内辫状三角洲砂体与储集性研究

高志勇 郭宏莉 张水昌 朱如凯

(中国石油勘探开发研究院实验研究中心, 北京 100083)

**摘要:**通过详细的岩心描述、测井相研究与近 3000 km 地震剖面的精细解释,认为满加尔凹陷南缘在志留纪早期为缓坡大陆边缘,在满参 2 井与塔中 32 井、满南 1 井间的志留系柯坪塔格组上段底部识别出几近与志留系尖灭线平行的地层超覆线,此地层超覆线认为是满南地区志留系柯坪塔格组上段层序 1 中的初次海侵时期的海岸线。在此认识的基础上,结合钻井层序界面的有效识别,将塔中 32 井、塔中 34 井、满参 2 井与满南 1 井区志留系柯坪塔格组上段划分为 2 个三级层序,此 2 个层序中均有辫状三角洲砂体沉积,但“不同体系域同相砂体”的储集性具有不同特征,其主要影响因素是碎屑颗粒的粒径与分选、胶结物类型与含量、储集体经历不同的埋藏特征。位于斜坡低部位的满参 2 井区在层序 1 低位域内发育早期辫状三角洲前缘砂体沉积,主要储集砂体为前缘水下分流河道砂体,颗粒较细且成分成熟度较低。由于储集体埋深达 5000 m 左右,且方解石胶结物含量高,致使储集性相对较差。而位于隆起区的塔中 32 井与 34 井区的主要储集体为层序 1 中海侵体系域内退积型辫状三角洲前缘水下分流河道砂体,颗粒相对较粗,成分成熟度较高,且埋深相对较浅,胶结物含量较低,其孔渗特征明显好于低位域早期辫状三角洲前缘砂体。

**关键词:**满加尔凹陷;柯坪塔格组上段;辫状三角洲;层序;地层超覆;砂体;储集性

**中图分类号:**P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)05-0951-12

## 1 概述

塔里木盆地满加尔凹陷南缘东西长约 250 km,南北宽约 90 km,面积 22500 km<sup>2</sup>,西北起满参 1 井,东北至满东 1 井西部,南至塔中 32 井—且北 1 井一线(图 1)。该地区志留纪在奥陶纪平缓古地貌上沉积了一套海相砂泥岩地层。目前共有 4 口井钻揭志留系,分别是满参 2 井、满南 1 井、塔中 32 井与塔中 34 井,但只有塔中 32 井在志留系柯坪塔格组上段 3791.71~3792.81 m 见 0.77 m 油气显示,其他 3 口井均未见油气显示。虽然塔里木盆地志留系研究已开展了多年,并已取得了相当丰富的研究成果<sup>[1-7]</sup>,但前人的研究主要集中在塔中地区,或者针对塔里木盆地全区取得了一定的认识,而涉及到满加尔凹陷南缘的研究成果则较少<sup>[18-20]</sup>。因此,笔者以满南志留

系柯坪塔格组上段为研究对象,进行了精细的沉积微相与砂体展布及储集性研究,并取得了重要的成果与认识,由此,以期能够为该地区在油气勘探方面取得突破,提供重要的基础地质认识与参考价值。

## 2 满南柯坪塔格组上段发育辫状三角洲沉积砂体

### 2.1 塔中 32 井含油气砂体为辫状三角洲前缘水下分流河道砂体

前已述及,塔中 32 井在柯坪塔格组上段 3791.71~3792.81 m 井段见油迹,针对该储集体,笔者通过精细的岩心观察、描述与测井相分析,认为具油气显示段为辫状三角洲前缘水下分流河道砂体,其依据如下:河道砂体显正韵律特征,下部见砂砾岩互层,砾岩为小砾岩,砾石成分为岩屑、石英砾等,具

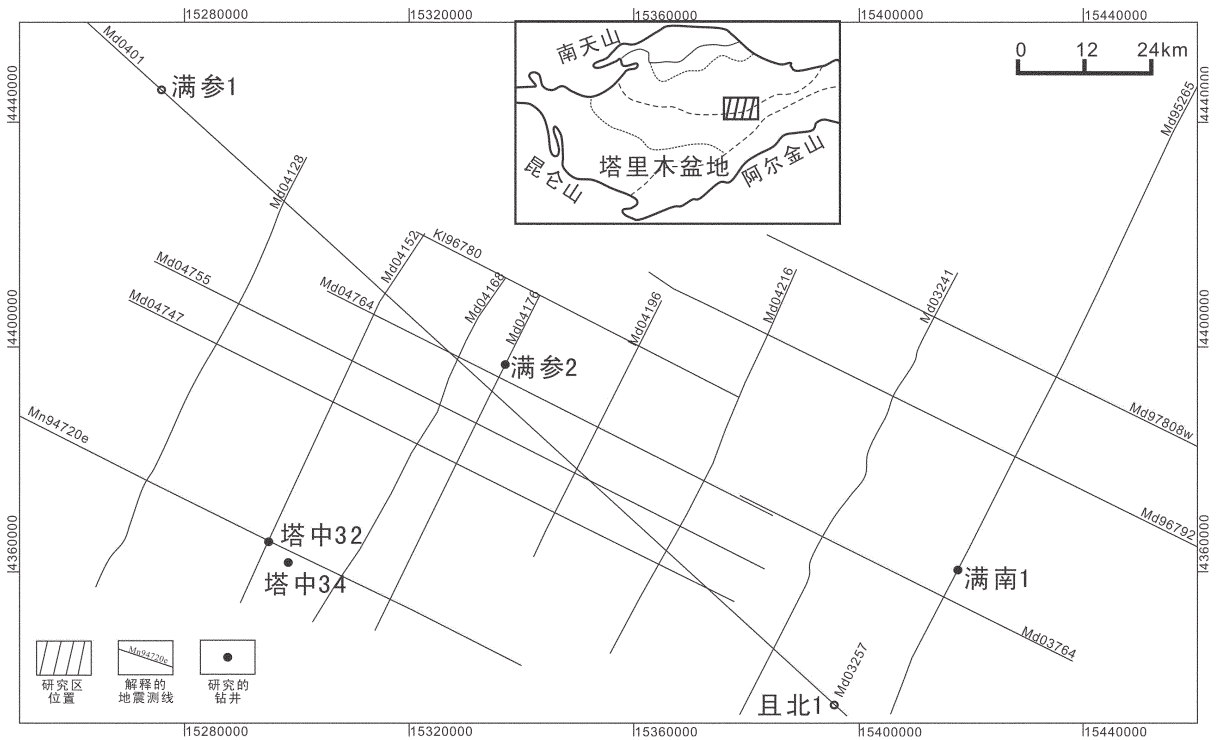


图1 满加尔凹陷南缘研究区位置图

Fig.1 Location map of the study areas on the southern margin of the Manjia'er subbasin of the Tarim basin, showing wells and seismic profiles

一定磨圆度,砂体底部具冲刷面。河道砂体中上部以砂岩为主,呈灰色,表明为水下沉积环境。河道砂体岩性主要为中细粒岩屑砂岩,层理不明显或具波状层理。河道单砂体平均厚1.1 m左右,分流河道间发育分流间湾的暗色泥岩沉积,整体上呈多期河道叠置与间湾互层特点(图2)。河道砂岩中岩石矿物成分石英含量为56.6%,长石2.6%,岩屑含量为40.8%,填隙物中泥质4.4%,方解石含量为5.5%。颗粒间孔隙以原生孔为主,面孔率约4.91%,次为粒间溶孔与微孔隙等,面孔率3.2%,岩心实测孔隙度为8%~16%。

## 2.2 塔中34井柯坪塔格组上段主要表现为辫状三角洲前缘砂体沉积

通过对塔中34井3650~3750 m井段详细的岩心描述与测井相研究,认为该段同样为辫状三角洲前缘沉积(图3~4),在图3塔中34井第3次取心的3739 m为志留系与奥陶系间不整合发育处,不整合面之上辫状三角洲前缘水下分流河道底部滞留泥砾定向排列,河道砂体以灰色中砂岩为主,正韵律,不整合面风化壳处发育20 cm厚钙结层。塔中34井的3692~3712 m井段与塔中32井的3785~3797 m

井段为等时沉积砂体,均为辫状三角洲前缘水下分流河道砂体,其成因为由于水下分流河道的侧向摆动,造成2井区河道砂体薄厚有所差别。水下分流河道砂体的主要岩石类型为中细粒岩屑砂岩、砂砾岩,分选中-差,颗粒磨圆度次棱-次圆状,颗粒间点、线接触,粒间孔隙式胶结为主,部分为薄膜-孔隙式胶结。碎屑中石英含量平均46.0%,长石平均含量3.2%,岩屑平均含量50.8%,平均泥质含量3.75%,胶结物含量14.3%。主要胶结物为方解石,局部有硬石膏呈残余状分布。塔中34井平均孔隙度为15.02%,平均渗透率 $414.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均最大孔径0.11 mm,主要孔隙类型组合为粒间孔-粒间溶孔(图4)-裂缝。

## 2.3 满参2井柯坪塔格组上段底部为辫状三角洲前缘砂体

通过对满参2井4979~4986 m井段的岩心分析,该段砂体显正韵律特点,呈灰色,砂体中见交错层理,平行层理,岩石颗粒支撑,杂基含量少,成分成熟度相对较低。砂体底部滞留泥砾具一定磨圆与定向排列,底部见冲刷面。分流间湾泥岩呈灰色、绿灰

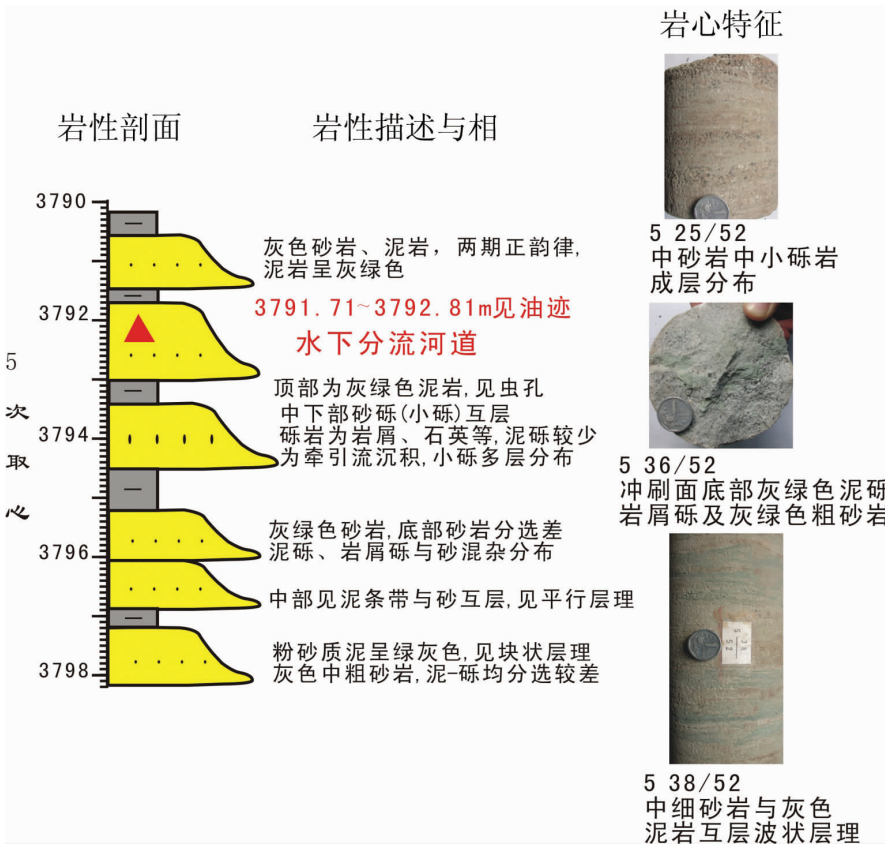


图 2 塔中 32 井见油气显示层段沉积微相与岩心描述特征 (多期分流河道砂体叠置与分流间泥岩互层)  
 Fig.2 Descriptive characteristics of the core and sedimentary microfacies in the interval with oil/gas showings in well Tazhong 32 (overlapping of multi-stage distributary channel sandstones and interdistributary mudstone)

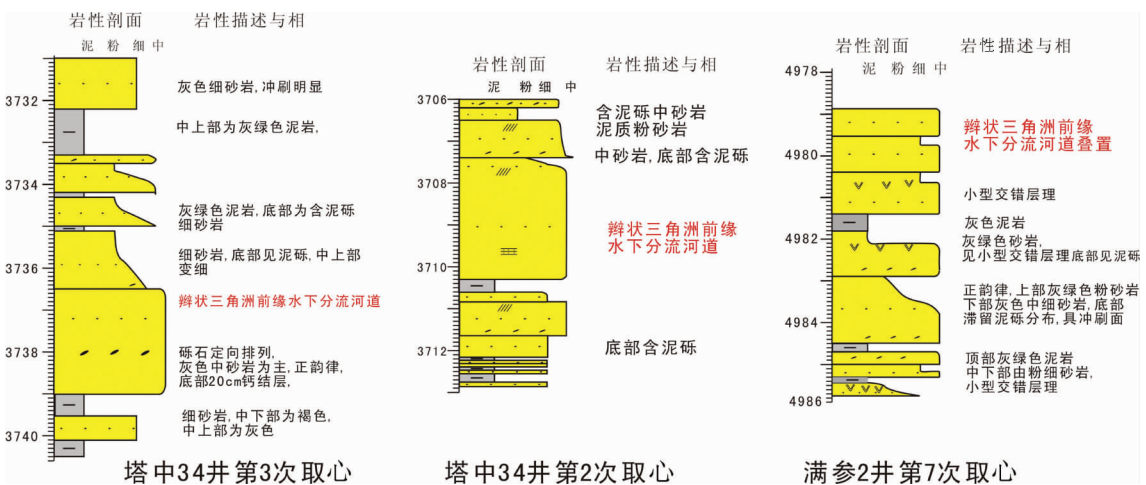


图 3 塔中 34 井与满参 2 井柯坪塔格组上段辫状三角洲前缘砂体岩心特征图  
 (多期分流河道砂体叠置与分流间泥岩互层)  
 Fig.3 Characteristics of the core from sandstone of the braided-delta front in the Upper Member of the Kalpintag Formation in wells Tazhong 34 and Manca 2

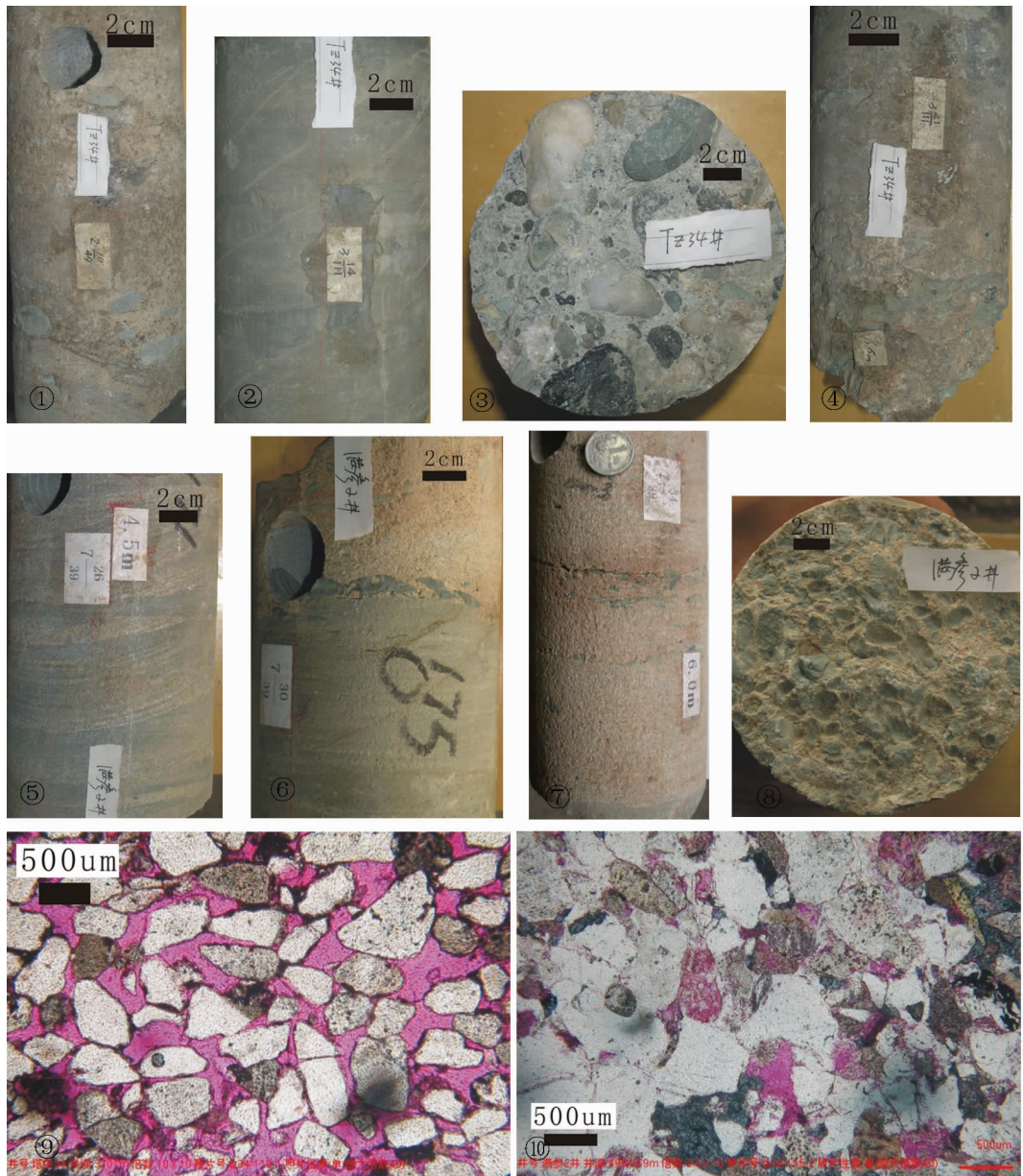


图4 满加尔凹陷南缘柯坪塔格组上段各井辫状三角洲前缘特征岩心与储集性相片  
塔中34井:①岩心2 10/49 分流河道下部泥砾沉积;②岩心3 14/111 分流河道上部绿灰色粉砂岩;③岩心3 30/111 分流河道底部砾岩;④岩心3 41/111 志留系与奥陶系界面风化壳,钙质结核明显;满参2井:⑤岩心7 26/39 分流河道小型交错层理;⑥岩心7 30/39 分流河道底部冲刷面;⑦岩心7 34/39 河道滞留泥砾与冲刷面;⑧岩心7 34/39 滞留泥砾呈灰色;⑨塔中34井 3707 m 辫状三角洲前缘,粒间孔发育,孔隙连通性好,磨圆度分选性较好;  
⑩满参2井 4984.69 m 辫状三角洲前缘 局部见溶孔,但连通性差,孔隙度:3.70%,  
渗透率: $0.074 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔径: $<0.01 \sim 0.12 \text{ mm}$ ,磨圆度与分选性较差

Fig.4 Core photographs and microfabrics of the braided-delta front in the Upper Member of the Kalpintag

Formation on the southern margin of the Manjia'er subbasin, shown by various wells  
Well TZ34:① Core No. 2 10/49, muddy gravel at the bottom of the distributary channel;② Core No. 2 14/111, green-gray siltstone of the distributary channel; ③ Core No. 3 30/111, basal conglomerate of the distributary channel; ④ Core No. 3 41/111, weathering crust at the Silurian and Ordovician boundary, with calcareous concretions; Well Mancan 2:⑤ Core No. 7 26/39, small-scale cross-bedding; ⑥ Core No. 7 30/39, scouring surface at the bottom of the distributary channel; ⑦ Core No. 7 34/39, lag muddy gravel and scouring surface at the bottom of the distributary channel; ⑧ Core No. 7 34/39, gray lag muddy gravel; ⑨ Well TZ34: 3037 m, braided delta front, intergranular pores well-developed, better pore connection, well rounded and sorted; ⑩ Well Mancan 2: 4984.69 m, braided delta front, solution openings seen locally, porosity 3.7%, permeability  $0.074 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , pore diameter  $<0.01 \sim 0.12 \text{ mm}$ , poorly rounded and sorted

色,具明显还原环境特征,与砂岩呈明显冲刷关系(图 3~4)。因此,认为其还是辫状三角洲前缘水下分流河道沉积,并发育在较深部位。满参 2 井 4979.22~4985.71 m 井段岩性为细粒岩屑砂岩,岩石矿物成分中石英含量为 39.8%,长石 5.7%,岩屑 54.4%,填隙物中泥质含量 2.8%,方解石 15.6%。岩石孔隙中原生孔占 0.1%,粒间溶孔 0.2%(图 4),粒内溶孔 0.375%,微孔隙 0.6%,晶间孔 0.13%,平均面孔率 1.3%。

在上述分析的基础上,虽说在此三井区内均表现为辫状三角洲前缘沉积,但在砂体矿物组分含量方面,塔中 32 井、塔中 34 井较为相近,石英含量在 50%左右,岩屑含量为 45%左右,但满参 2 井辫状三角洲前缘砂体中石英含量较低,(<40%),岩屑含量高达 55%左右,可见砂体类型相同但储集层特点还不尽相同。

### 3 满南不同体系域内辫状三角洲砂体空间展布

#### 3.1 柯坪塔格组上段等时地层格架的建立

笔者在岩心描述、单井沉积微相、测井相、地震特征分析的基础上,并结合前人研究成果<sup>[1-11]</sup>,在满南志留系柯坪塔格组上段地层中识别出 3 个层序界面,其中,层序界面 SB1 为志留系底界面,地震剖面上表现为志留系与下伏奥陶系之间清晰的角度不整合,在塔中 32 井中及塔中 34 井的 3837 m 岩心处见明显的风化壳特征,地震反射为 Tg5,此界面为 I 型层序界面;层序界面 SB2 为柯坪塔格组上段内幕中亚段(灰泥岩段)顶部界面,地震剖面上为 Tg4",该地震反射同相轴为连续强反射。该界面也是沉积相转换面,其下为具有反韵律特点的辫状三角洲前缘的河口坝、分流间湾砂泥岩互层沉积,界面之上则为具有正韵律特征的辫状三角洲前缘的水下分流河道沉积,自然伽马曲线具有明显的由进积式转化为退积式变化特征,其为 II 型层序界面;层序界面 SB3 为塔塔埃尔塔格组红色泥岩段顶部界面,地震剖面上对应 Tg4',在满参 2 井中,界面之下岩性为潮间、潮上带的褐色砂泥岩沉积体,界面之上则为潮下带暗色陆棚泥岩沉积。自然伽马曲线具有明显的由进积式转化为退积式变化特征,其仍为 II 型层序界面。

由此,在层序界面识别的基础上,建立了塔中 34 井—塔中 32 井—满参 2 井的钻井等时地层格架

(图 5),将志留系柯坪塔格组上段划分为 2 个三级层序,层序 1 为地震反射界面的 Tg5-Tg4",对应于志留系底面—柯坪塔格组上段的中亚段(灰泥岩段)顶部;层序 2 为地震反射界面的 Tg4"-Tg4",对应于柯坪塔格组上段的上亚段(上沥青砂岩段)—塔塔埃尔塔格组红色泥岩段顶部<sup>[7,8,11]</sup>。同时,笔者在对满加尔凹陷南缘近 3000 km 地震剖面观察解释的基础上,并结合前人的认识<sup>[1,10,11,19]</sup>,认为塔里木盆地满加尔凹陷南缘在志留纪早期为缓坡大陆边缘,由塔中 32 井区—满参 2 井区陆坡倾斜角度较小,古地形海拔相差数百米,且在满参 2 井与塔中 32 井、满南 1 井间的志留系底部(Tg5)界面之上可识别出多个地层超覆点,即柯坪塔格组上段底部的超覆点(图 6),将多个超覆点连接成一条近东西向延伸、几近与志留系尖灭线平行的超覆线。此地层超覆线认为是满南地区志留系柯坪塔格组上段层序 1 中的初次海侵时期的海岸线(沉积滨线),超覆线下部砂体为低位体系域沉积体。层序 1 中的最大海侵面则位于中亚段(灰泥岩段)底部,层序 2 中最大海侵面位于柯坪塔格组上亚段中部的高伽马值泥岩部位。因此,认为在层序 1 内发育低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)与高位体系域(HST),而在层序 2 内仅发育最大海泛面,即只发育海侵体系域(TST)与高位体系域(HST)。

#### 3.2 不同体系域内辫状三角洲砂体空间展布

通过上述分析,并结合满南志留系层序地层格架特征,认为层序 1 内在满参 2 井区存在低位体系域,在低位体系域内发育早期辫状三角洲前缘沉积,在地震剖面中显示此沉积体明显的超覆在柯坪塔格组上段的下伏地层之上。其主要储集砂体为前缘水下分流河道砂体,颗粒较细且成分成熟度较低。此时期,满参 2 井南部及塔中 32 井与 34 井区位于古隆起高部位,均未接受沉积,表现为滨海平原环境特征。随着海平面的不断上升,辫状三角洲沉积体向陆后退至塔中 32 井与塔中 34 井附近,即层序 1 海侵体系域内发育晚期沉积的、退积型辫状三角洲前缘沉积体,储集体主要为水下分流河道砂体,砂体侧向摆动迁移频繁<sup>[21]</sup>,在塔中 32 井与塔中 34 井中均有分布,砂体颗粒相对较粗,成分成熟度较高。层序 1 高位体系域(中亚段)沉积时期,由于海平面的缓慢下降,在塔中 32 井与塔中 34 井地区主要表现为进积型辫状三角洲前缘的具反韵律特征的席状砂—远

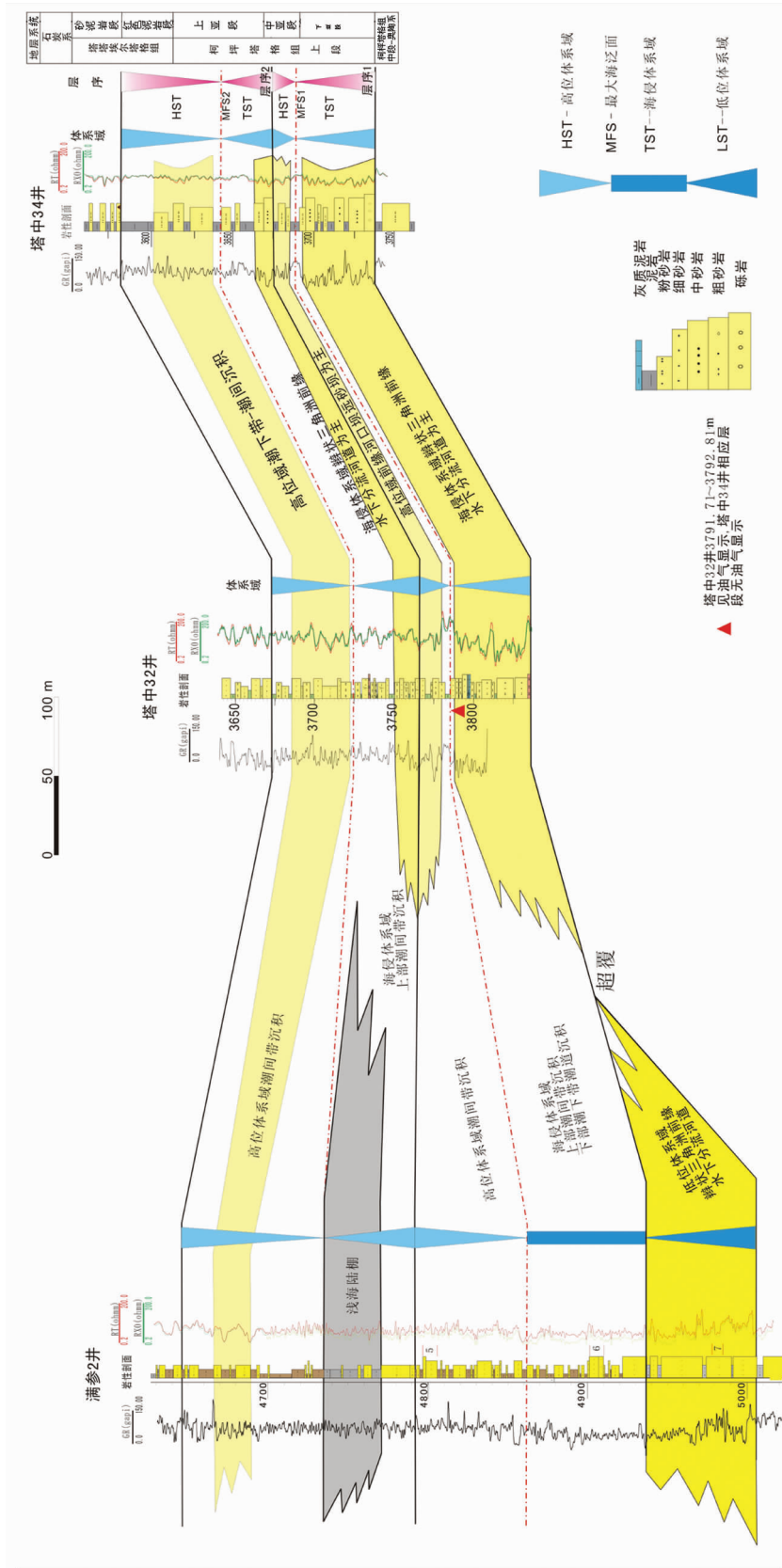


图5 满南柯坪塔格组上段塔中34井-塔中32井-满参2井的等时地层格架图  
 Fig.5 Isochronous stratigraphic framework in wells Tazhong 34, Tazhong 32 and Manca 2 of the Upper Member of the Kalpintag Formation in the southern Manjia'er subbasin

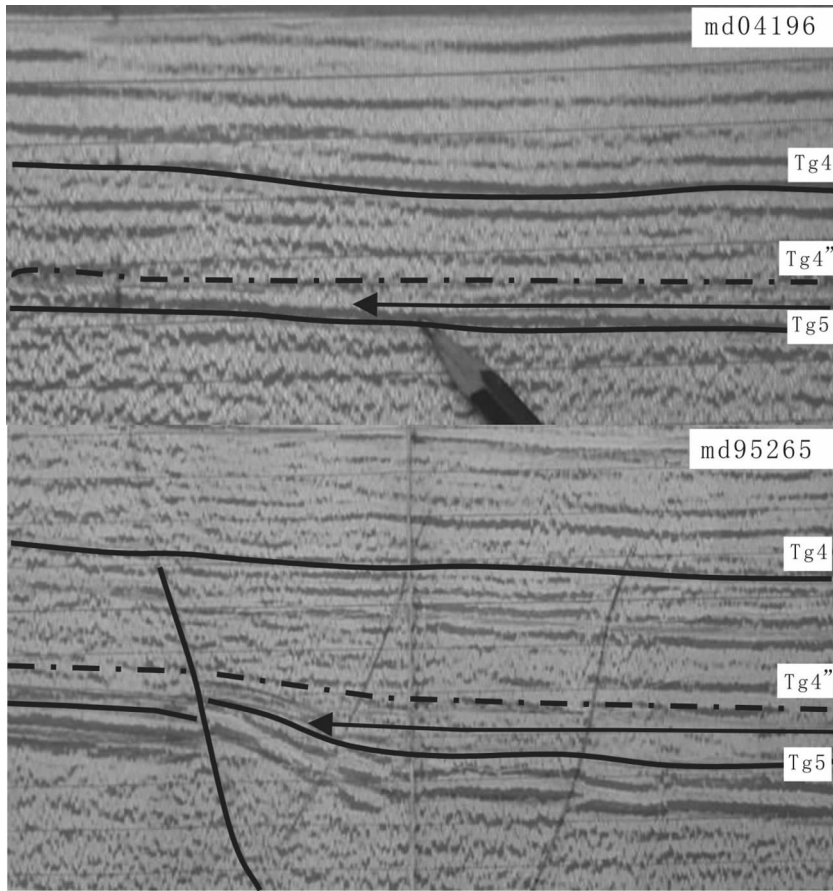


图 6 满南地区志留系柯坪塔格组上段地震剖面中识别出的地层超覆点  
Fig.6 Onlap sites recognized in the seismic profile of the Upper Member of the Kalpintag Formation in the southern Manjia'er subbasin

砂坝—河口坝沉积体。由于海平面下降时间较短,之后迅速出现了大规模、快速的海平面上升,因而,在层序 2 海侵体系域内,表现为退积式的具有正韵律特征的辫状三角洲前缘的水下分流河道沉积,自然伽马曲线具有明显的由进积式转化为退积式变化特征。

平面上,满南地区志留系柯坪塔格组上段层序 1 沉积时期,由于古地形为缓坡大陆边缘,沉积滨线为地层超覆线,低位域内在满南 1 井以南与满参 2 井区发育 2 个辫状三角洲前缘沉积体(图 7),且物源均来自研究区南部的塔东隆起,2 个三角洲沉积体相距上百千米,出露海面的隆起区则主要为滨海平原环境。随着海平面不断上升,海侵体系域内辫状三角洲前缘已分别后退至现今志留系尖灭线处,塔中 32 井、塔中 34 井区与满南 1 井区均发育辫状三角洲沉积,此时的满参 2 井区发育浅海陆棚—潮

坪沉积。层序 2 沉积时期,由于大规模的持续的海平面上升,辫状三角洲沉积体只发育在塔中 32 井、34 井的海侵体系域内,仍表现为整体粒度向上变细的退积型沉积体,同时,满参 2 井区则表现为暗色泥岩较发育的陆棚相沉积。海泛达到最大时期后,伴随着海平面不断下降,该区域内表现为巨厚的潮下带—潮间带沉积,以潮道砂体与陆棚泥、潮间砂泥坪加积互层沉积为其主要特征。

### 3.3 柯坪塔格组上段出现辫状三角洲沉积的原因探讨

满加尔凹陷南缘志留系柯坪塔格组上段层序 1 的底界面为 I 型层序界面,层序 1 下部发育低位体系域,依据经典层序地层学理论,低位域内沉积体应为下切河道、海底扇等沉积,但由于通过大量的地震剖面解释,该区域古地形较为平缓,一直为缓坡大陆边缘,大陆坡折带不明显,因而下切河流与

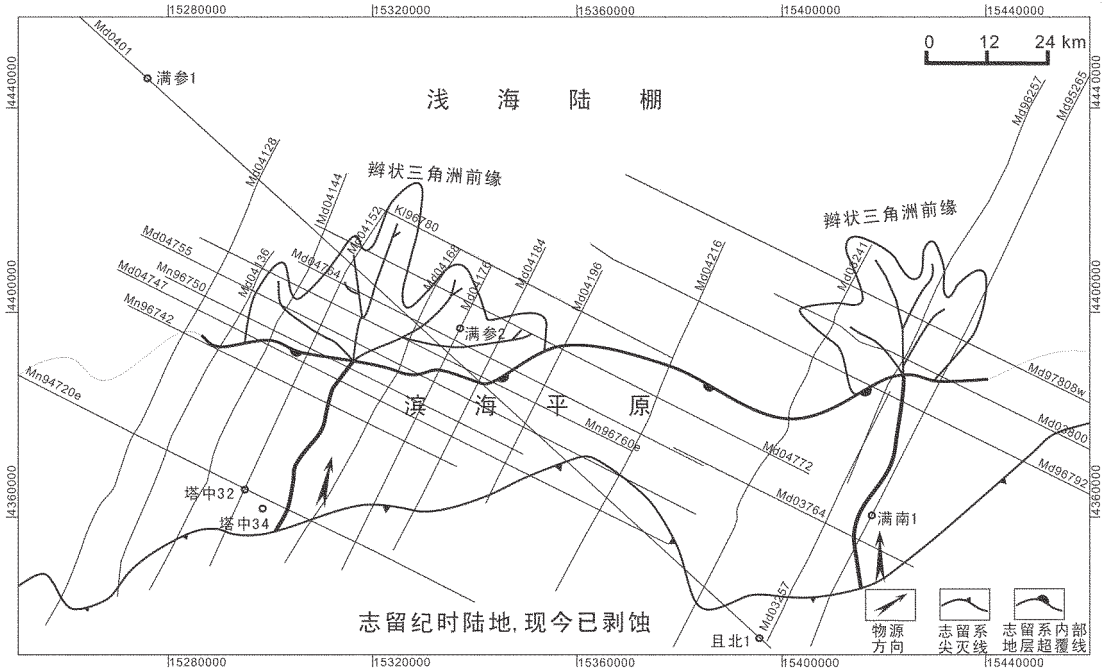


图7 满南地区志留系柯坪塔格组上段层序1低位域辫状三角洲前缘分布图  
 Fig.7 Distribution of braided-delta fronts in LST of sequence 1 in the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation in the southern Manjia'er subbasin

海底扇等沉积并不发育,因此,结合不同井的岩心观察与描述,认为该研究区内在沉积滨线处发育辫状三角洲沉积,沉积滨线至向陆一侧则表现为广泛的滨海平原环境。此分析前人也有相同认识, Van Wagoner 等认为“缓坡边缘以相对较浅的水体深度为特征,沉积坡度通常小于 1°,地震斜积层(如果能够被分辨出来)呈约 0.5°下倾的叠瓦状。缓坡边缘的退覆坡折大体位于滨线附近,在该处河流坡度剖面变成稍微陡些的陆棚或三角洲前缘坡度剖面。因此,缓坡上的沉积体系对相对海平面变化的响应不同于陆棚坡折边缘。特别是,低位体系域中的深水浊流沉积可能缺失,或只有微小的地层意义,在缓坡上发现的任何浊流沉积可能都是三角洲前缘浊积体,而不是外来的海底扇”<sup>[22,23]</sup>。

#### 4 低位体系域与海侵体系域内辫状三角洲储集性比较与成因分析

通过数十个塔中 34 井海侵域内岩石样品与满参 2 井低位域内岩石样品的薄片鉴定与分析,认为二者储集性有明显的不同。由表 1 统计的发育在塔中 34 井区层序 1 海侵体系域辫状三角洲前缘砂体

与满参 2 井区低位域辫状三角洲前缘砂体储集性特征可知,此两口井物性相差甚远,其中塔中 34 井孔隙类型以粒间孔-粒间溶孔-裂缝为主,最大孔径虽为 0.2 mm,但孔隙间连通性非常好。孔隙度范围 3.81%~28.63%,平均 15.02%,渗透率范围  $0.1 \times 10^{-3} \sim 4632 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均  $414.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;如塔中 34 井 3707 m 井段的样品,岩石类型为中-细粒岩屑砂岩,胶结物含量 6%,可见少量的方解石和硬石膏,孔隙类型以粒间孔为主,孔径一般为 0.02~0.2 mm,并且连通性非常好,实测孔隙度高达 24.9%,渗透率可达  $2340 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。满参 2 井孔隙类型组合为粒间溶孔-粒内溶孔-微孔隙为主,最大孔径为 0.15 mm,平均孔径仅 0.09 mm,孔隙间连通性比较差,平均孔隙度 5.16%(1.81%~9.31%),平均渗透率  $0.26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  ( $0.009 \times 10^{-3} \sim 12.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )。

针对此“不同体系域内同相砂体”的储集性差异,笔者认为在碎屑颗粒的粒径与分选、胶结物类型与含量、储集体经历埋藏特征等三方面原因造成如上所述不同体系域内储集性的差异: ① 粒径与成分、结构成熟度影响储集体物性,虽然塔中 34 井与满参 2 井均主要发育辫状三角洲水下分流河道砂



表 1 满南地区塔中 34 井与满参 2 井辫状三角洲沉积储层岩石学对比  
 Table 1 Petrological comparison of braided-delta reservoir sandstones in LST and TST of wells Tazhong 34 and Mancan 2 in the southern Manjia'er subbasin

井号	井段/m	沉积相	主要岩石类型	碎屑组分含量/%			填隙物			孔隙特征		
				石英	长石	岩屑	泥质含量/%	自生矿物	总含量/%	孔隙类型	孔隙度/%	渗透率 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
塔中 34	3707~3749.2	辫状三角洲	中细粒岩屑砂岩	46 23~63	3.2 2~12	50.8 35~75	3.75 <1~8	方解石硬石膏	14.3 6~15	粒间孔隙 粒内溶孔 溶孔裂隙	15.02 3.81~28.63	414.05 0.1~4632
满参 2	4427.9~5089.5	辫状三角洲	细粒岩屑砂岩	39.8 21~74	5.7 2~21	54.4 19~75	2.8 1~12	方解石 铁白云石 石英加大等	15.6 7~28	粒间溶孔 粒内溶孔 微孔隙	5.36 0.85~9.9	0.26 0.02~12.2

体,但满参 2 井为早期低位域沉积砂体,颗粒较细,磨圆度较差,颗粒主要呈次棱状,成分与结构成熟度均较低。如 4979.22~4985.71 m 井段岩性为粉细粒岩屑砂岩,岩石矿物成分中石英仅占 39.8%,长石 5.7%,岩屑 54.4%。塔中 34 井为晚期海侵体系域内沉积砂体,颗粒磨圆较好,以细中粒岩屑砂岩为主,碎屑中石英含量平均 46.0%,长石平均含量 3.2%,岩屑平均含量 50.8%,且分选性较好,其成分成熟度相对较高;② 低位域砂体中胶结物含量高致使储集性变差,通过数十个岩石样品的显微镜下岩心薄片观察,发现满参 2 井水下分流河道砂体中砂岩石英加大明显,颗粒凹凸接触,颗粒间并有大量的碳酸盐岩胶结,堵塞了粒间孔隙,满参 2 井碳酸盐含量最高可达 28%,填隙物平均含量 15.6%。堵塞原生孔隙的主要胶结物是同生期的泥晶碳酸盐和成岩早期的方解石,晚期方解石形成于中成岩 B 期,中成岩 B 期从成岩演化程度主要处于强胶结作用带,大量与有机质有关的碳酸盐矿物沉淀,往往堵塞的是在中成岩 A1 和 A2 次生孔隙发育带形成的溶孔;③ 埋藏史对储层储集性的影响,地层的埋藏史对储层储集性的影响同样是很重要的一个因素,尤其对原生孔隙的保存以及表生的淡水淋滤作用对储层的改善,在满南地区有明显的效果。塔中 34 井从成岩演化特征表明自志留系沉积后地层未经过深埋,直至现今都埋深比较浅,并保留了较多的原生孔隙并且自志留系沉积后地层又抬升导致缺失泥盆系地层,在石炭纪、二叠纪沉积后地层又一次抬升,导致上

二叠统、三叠系、下侏罗系、古近系均缺失,因而塔中 34 井物性好。满参 2 井志留纪沉积后连续沉积,在泥盆纪及以后,地层连续沉降,几乎再没有抬升和暴露地表,地层没有经过表生淋滤作用,直至侏罗纪时才抬升,缺失侏罗纪地层(图 8)。因此其连续埋藏时间长,也是储层差的主要原因。再者,由于满参 2 井一直处于斜坡的低部位,其志留系埋深较塔中 34 井深 800~1500 m,而塔中 34 井区则长期处于较高隆起区,成岩流体沿渗流层向低处迁移并沉淀,形成了大量成岩期的各类自生矿物堵塞了孔隙,造成大量碳酸盐和硅质胶结物的存在,直接堵塞孔隙,致使满参 2 井区储层物性相对较差。

综上所述,造成层序 1 内低位域与海侵体系域内砂体物性差异的主要影响因素是粒径与成分结构成熟度、胶结物含量及埋藏史。但是,由于海侵形成的地层超覆线位于满参 2 井与塔中 34 井之间,地形也较满参 2 井高百余米(图 7),推测沿超覆线分布的辫状三角洲前缘砂体储层物性会优于满参 2 井,因此认为沿超覆线可能分布着较有利的勘探区域,但仍存在一定风险。

## 5 低位体系域与海侵体系域内辫状三角洲储集体成岩演化特征

### 5.1 低位域满参 2 井内辫状三角洲砂体成岩演化特征

通过对满参 2 井第 7 筒取心 4979~4985 m 井段水下分流河道砂岩中方解石胶结物中的包裹体测温

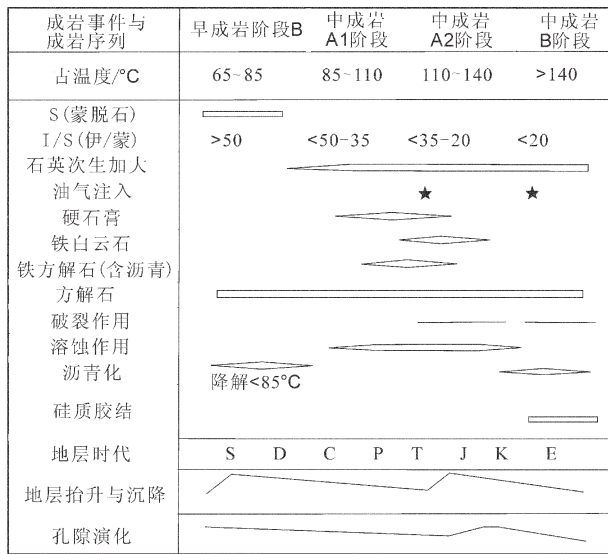


图8 满参2井层序1低位域内辫状三角洲前缘砂体成岩演化简图

Fig.8 Diagenetic evolution of braided-delta front sandstones in LST of sequence 1 in well Manca 2

分析,认为目前在砂岩储层中保留的方解石显示出4个不同时间阶段形成的产物,有早成岩B、中成岩A1、中成岩A2和中成岩B4个成岩演化阶段。其中方解石最大温度已经达到153°C,粘土矿物中的I/S(伊利石/蒙脱石)混层中的S(蒙脱石)层<20%,表明满参2井低位域沉积体目前已进入到中成岩B阶段期。满参2井与沥青伴生的盐水溶液包裹体均一化温度<85°C,在早成岩B阶段末期有第一次油气进入,但降解形成了早期沥青质;同时在满参2井低位域还可测到与有机包裹体伴生的水溶液包裹体,其温度在110~125°C,表明第二次油气在中成岩A1期进入储层(图8)。根据满参2井的古地温梯度为3.1°C/100m,推测当时储层埋深2700m左右,含有“沥青C”的铁方解石的存在,证明了油气的进入早于铁方解石的形成,孔隙内现存的残留沥青质为晚期热裂解沥青。两期沥青的存在证实满参2井志留系至少有两次油气进入,但由于满参2井储层过于致密,使得满参2井并没有形成油气藏。

## 5.2 海侵体系域塔中34井辫状三角洲砂体成岩演化特征

针对塔中34井海侵体系域3707~3749.2m井段辫状三角洲前缘砂体,从方解石内包裹体温度来看塔中34井方解石只有3期演化,所测到的最低温

度78°C为早成岩B期产物,所测到的最大温度122.5°C,形成于中成岩A2亚期。在方解石中未见温度>140°C的中成岩B期包裹体,成岩演化程度比满参2井低,满参2井方解石最高温度可达153.5°C。塔中34井粘土矿物I/S(伊利石/蒙脱石)混层中S(蒙脱石)层占30%~25%,而满参2井泥岩的I/S混层中S层占20%。塔中34井自生矿物种类也相对简单,主要胶结物为方解石,少量的硬石膏、重晶石和含铁方解石,未见铁白云石,石英加大边也比较窄。海侵体系域辫状三角洲前缘砂体内在中成岩A1期有少量的油气进入,与烃包裹体伴生的盐水溶液包裹体温度81.6~112.1°C。由于上覆地层封存条件差,从而未形成油气藏,砂岩中可以看到很少量的残留沥青质。

## 6 结论

在满加尔凹陷南缘的塔中32井、塔中34井、满参2井与满南1井的柯坪塔格组上段中识别出辫状三角洲前缘沉积体,特别是塔中32井含油气砂体为辫状三角洲前缘水下分流河道砂体。层序1低位体系域内沉积的早期辫状三角洲前缘水下分流河道砂体,颗粒较细且成分成熟度较低。由于该储集体埋藏深达5000m左右,方解石胶结物含量高,且连续埋藏时间长,致使储集性相对较差。而位于隆起区的层序1海侵体系域内塔中32井与34井区的主要储集体为退积型辫状三角洲前缘水下分流河道砂体,颗粒相对较粗,成分成熟度较高,且埋深相对较浅,胶结物含量较低,其孔渗特征明显好于低位域早期辫状三角洲前缘砂体。不同体系域内砂体物性差异的主要影响因素是碎屑颗粒的粒径与分选、胶结物类型与含量、储集体经历的埋藏特征。

## 参考文献(References):

- [1] 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M]. 北京:石油工业出版社, 1996.  
Gu Jiayu. sedimentary Sequence and Evolution in Tarim Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1996(in Chinese).
- [2] 朱筱敏. 塔里木盆地志留系与泥盆系碎屑潮坪沉积 [C]//王英华等编. 沉积学及岩相古地理新进展. 北京:石油工业出版社, 1995:166-169.  
Zhu Xiaomin. The clastic tidal flat deposition of Silurian and Devonian in Tarim basin[C]//Wang yinhua et al (eds). Advances in Sedimentology and Lithofacies Paleogeography.Beijing:Petroleum Industry Press, 1995:166-169(in Chinese with English abstract).

- [3] 齐永安. 遗迹化石与潮控滨浅海泛面的识别与准层序相组合—以塔里木盆地志留统塔塔埃塔格组为例 [J]. 矿物岩石, 1998, 18(4):12-16.  
Qi Yongan. Trace fossils and recognition of flooding surface and facies association of parasequences in tide-controlled shorelines [J]. Journal of Mineral Petrology, 1998, 18 (4):12-16 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈方鸿, 王贵文. 塔里木盆地塔中地区志留系测井层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 1999, 17(1):58-62.  
Chen Fanghong, Wang Guiwen. On logging-sequence stratigraphy of Silurian in Tazhong area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1):58-62(in Chinese with English abstract).
- [5] 朱筱敏, 王贵文, 谢庆宾. 塔里木盆地志留系沉积体系及分布特征 [J]. 石油大学学报, 2002, 26(3):5-12.  
Zhu Xiaomin, Wang Guiwen, Xie Qingbin. Characteristics and distribution of depositional systems of Silurian in Tarim Basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 26(3):5-12(in Chinese with English abstract).
- [6] 李向东, 李强. 塔里木及邻区晚古生代早期古气候与构造 [J]. 新疆地质, 1996, 14(4):306-315.  
Li Xiangdong, Li Qiang. Paleoclimate and tectonics of Tarim and neighboring area of early late Paleozoic [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(4):306-315(in Chinese with English abstract).
- [7] 高志勇, 朱如凯, 郭宏莉, 等. 塔中志留系下沥青砂岩段砂体成因分析 [J]. 古地理学报, 2006, 8(4):477-485.  
Gao Zhiyong, Zhu Rukai, Guo Hongli, et al. Origin analysis of sandbodies of the lower bitumen-bearing sandstone member of Silurian in Tazhong area [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4):477-485(in Chinese with English abstract).
- [8] 高志勇, 朱如凯, 郭宏莉, 等. 海侵背景下风暴控制的滨岸—陆棚砂体研究——以塔中志留系下沥青砂岩段为例 [J]. 沉积学报, 2006, 24(4):468-475.  
Gao Zhiyong, Zhu Rukai, Guo Hongli, et al. Study on transgressive storm-dominated shoreline-neritic shelf sandbody: a case of the lower bitumen-bearing sandstone member of Silurian in Tazhong area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (4):468-475 (in Chinese with English abstract).
- [9] 施振生, 杨威, 郭长敏, 等. 塔里木盆地志留纪沉积层序构成及充填响应特征 [J]. 沉积学报, 2007, 25(3):401-408.  
Shi Zhensheng, Yangwei, Guo Changmin, et al. Depositional sequence and filling response characteristics of Silurian in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (3):401-408(in Chinese with English abstract).
- [10] 王成林, 张惠良, 李玉文, 等. 塔里木盆地志留系划分、对比及其地质意义 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2):185-188.  
Wang Chenglin, Zhang Huiliang, Li Yuwen, et al. Stratigraphic division, correlation and geologic significance of Silurian in Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28 (2):185-188(in Chinese with English abstract).
- [11] 贾进华, 张宝民, 朱世海, 等. 塔里木盆地志留纪地层、沉积特征与岩相古地理 [J]. 古地理学报, 2006, 8(3):339-352.  
Jia Jinhua, Zhang Baomin, Zhu Shihai. Stratigraphy, sedimentary characteristics and lithofacies palaeogeography of the Silurian in Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3):339-352 (in Chinese with English abstract).
- [12] 郭少斌, 洪克岩. 塔里木盆地志留系—泥盆系层序地层及有利储层分布 [J]. 石油学报, 2007, 28(3):44-50.  
Guo Shaobin, Hong Keyan. Silurian-Devonian sequence stratigraphy and favorable reservoir distribution in Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 28(3):44-50(in Chinese with English abstract).
- [13] 何文渊, 李江海, 钱祥麟, 等. 塔里木盆地柯坪断隆断裂构造分析 [J]. 中国地质, 2002, 29(1):37-43.  
He Wenyuan, Li Jianghai, Qian Xianglin, et al. Analysis of fault structures in the Kalpin fault uplift, Tarim basin [J]. Geology in China, 2002, 29(1):37-43(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱筱敏, 张强, 吕雪雁, 等. 塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段沉积特征对比 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4):648-654.  
Zhu Xiaomin, Zhang Qiang, Lv Xueyan, et al. Comparison of the sedimentary characteristics of the Donghe sandstone between the Tabei and Tazhong areas, Tarim basin [J]. Geology in China, 2005, 32(4):648-654(in Chinese with English abstract).
- [15] 罗金海, 车自成, 周新源, 等. 塔里木盆地西部中生代早期伸展作用的辉绿岩证据 [J]. 中国地质, 2006, 33(3):566-571.  
Luo Jinhai, Che Zicheng, Zhou Xinyuan, et al. Diabase evidence for the early Mesozoic extension in the western Tarim basin, NW China [J]. Geology in China, 2006, 33(3):566-571(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘静江, 刘池洋, 孙洪海. 塔里木盆地轮南地区奥陶系沉积储层研究新进展 [J]. 中国地质, 2007, 34(3):515-521.  
Liu Jingjiang, Liu Chiyang, Sun Honghai. New advances in the study of Ordovician sedimentary reservoirs in Lunnan, Tarim basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (3):515-521 (in Chinese with English abstract).
- [17] 朱如凯, 郭宏莉, 高志勇, 等. 塔里木盆地北部地区白垩系—古近系储集性与储层评价 [J]. 中国地质, 2007, 34(5):837-842.  
Zhu Rukai, Guo Hongli, Gao Zhiyong, et al. Characteristics and evaluation of Cretaceous-Paleogene reservoirs in the northern Tarim basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (5):837-842 (in Chinese with English abstract).
- [18] 谢晓安, 王仁德, 李光文, 等. 塔里木盆地满加尔南切割谷的成因探讨与石油地质意义浅析 [J]. 沉积学报, 1996, 14(2):41-46.  
Xie Xiaohan, Wang Rende, Li Guangwen, et al. The origin of erosional valley of Southen Manjiaer sag in Tarim basin and analysis about its petroleum geology significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(2):41-46(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘豪, 王英民. 塔里木盆地早古生代古地貌——坡折带特征及对地层岩性圈闭的控制 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3):297-304.  
Liu Hao, Wang Yingmin. Early Paleozoic palaeogeomorphology-characteristics of slope break zones and their control on stratigraphic-lithologic traps in Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology

- 2005, 26(3):297-304(in Chinese with English abstract).
- [20] 张鑫, 张金亮, 覃利娟. 塔里木盆地志留系柯坪塔格组砂岩岩石学特征与物源分析[J]. 矿物岩石, 2007, 27(3):106-115.
- Zhang Xin, Zhang Jinliang, Tan Lijuan. Petrological characteristics and province analysis of sandstones in the Kepingtage Formation of Silurian in the Tarim Basin[J]. J Mineral Petrol, 2007, 27(3):106-115 (in Chinese with English abstract).
- [21] [英]H.G.里丁 主编. 沉积环境和相[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- Reading H G. Sedimentary Environments and Facies [M]. Beijing: Science Press, 1986(in Chinese).
- [22] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies, AAPG, Methods in Exploration Series, 1990, 7:1-152.
- [23] D Emery, K J Myers. Sequence stratigraphy[M]. Oxford:Blackwell Science, 1996:1-213.

## Braided-delta sandstone and its petroleum storage capacities in different systems tracts in the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation on the southern margin of the Manjia'er subbasin

GAO Zhi-yong, GUO Hong-li, ZHANG Shui-chang, ZHU Ru-kai

(Center of Experimental Research, PetroChina Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Detailed core description, log study and intensive interpretation of nearly 3,000 km long seismic profiles show that the southern margin of the Manjia'er subbasin was a gentle slope continental margin in the Early Silurian. An onlap line that is nearly parallel to the pinching-out line of the Silurian is recognized at the bottom of the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation between well Mancan 2 and Tazhong 32. The onlap line is considered the coastline of the initial transgression in sequence 1 in the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation in the Mannan area. Based on the aforesaid understanding, combined with the effective recognition of the sequence boundary of wells, the Upper Member of the Silurian Kalpintag Formation in the Tazhong 32, Tazhong 34, Mancan 2 and Mancan 1 well areas is divided into two third-order sequences. Braided-delta deposits occur in both sequences but the oil storage capacities of "the sandstones of the same facies in different systems tracts" have different features. The main influence factors are the grain size and sorting of detrital grains, types and contents of cements and different burial characters of the reservoirs. The early-stage braided-delta front deposits are developed in the lowstand systems tract (LST) of sequence 1 in the Mancan 2 well area in the lower part of the slope. The main reservoir sandstone is subaqueous distributary channel sandstone of the braided-delta front, where the grains are relatively fine and the compositional maturity is relatively low. As the reservoir is buried at ~5,000 m depth and the calcite cement content is high, the storage capacity is relatively poor. By contrast, the main reservoir in the Tazhong 32 and 34 wells area in the uplift is subaqueous distributary channel sandstone of the regressive braided-delta front in the transgressive systems tract of sequence 1. As such sandstone is characterized by relatively coarse grains, relatively high compositional maturity, relatively shallow burial depth and relatively low cement contents, its porosity and permeability are notably better than those of the early-stage subaqueous distributary channel sandstone of the braided-delta front in LST.

**Key words:** Manjia'er subbasin; Upper Member of the Kalpintag Formation; braided delta; sequence; onlap; reservoir

**About the first author:** GAO Zhi-yong, male, born in 1974, mainly engages in the study of sequence stratigraphy and sedimentology; E-mail: gzybox@163.com.