

# 川西坳陷新场气田上三叠统须家河组 须四上段沉积微相研究

雍云乔<sup>1</sup>, 侯明才<sup>1,2</sup>, 王文楷<sup>1</sup>, 王 俊<sup>1,2</sup>, 李秀华<sup>1,2</sup>

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘 要:**综合新场地区 33 口钻井须四上亚段的 73 个岩心标本及 221 块岩石薄片等资料,运用沉积学和层序地层学理论方法,从岩石特征、沉积构造、测井相及地震相等方面详细分析了川西坳陷新场气田须家河四段上亚段  $X_4^4$ ,  $X_4^3$ ,  $X_4^2$  三个砂层组的沉积微相展布及特征。结果表明,研究区须四上亚段为三角洲沉积三角洲前缘亚相,包括水下分流河道、分流间湾、天然堤、河口坝四种沉积微相,  $X_4^4$ ,  $X_4^3$ ,  $X_4^2$  各小层的沉积微相展布显示出退积—进积的沉积过程,储集性砂体主要分布于水下分流河道微相中。

**关键词:**新场地区;须四上亚段;沉积微相;水下分流河道;分流间湾

中图分类号:P531

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)02-0025-09

## Sedimentary Microfacies of Upper Xu 4 Submember of Upper Triassic in the Xinchang Gas Field of West Sichuan Depression

Yong Yunqiao<sup>1</sup>, Hou Mingcai<sup>1,2</sup>, Wang Wenkai<sup>1</sup>, Wang Jun<sup>1,2</sup>, Li Xiuhua<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and

Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

**Abstract:** This paper integrated 73 core specimens, 221 petrographic thin sections and other information of upper sub-member of Xu 4 of 33 well drillings in Xinchang area, and by utilizing the sedimentology and sequence stratigraphy theory methods, analyzed the sedimentary microfacies and features of  $X_4^4$ ,  $X_4^3$ ,  $X_4^2$  from rock characteristics, sedimentary structures, electrofacies, earthquakes and other aspects in detail of three sand groups in upper submember of Xu 4, Xinchang gas field. Results show that, the of Xu 4 is delta front, including underwater distributary river channels, interdistributary bay, nature levee and mouth bar. With the sedimentary microfacies of every small stratum in upper submember of Xu 4 ultimately determined, each sedimentary microfacies of small stratum in  $X_4^4$ ,  $X_4^3$ ,  $X_4^2$  shows a retrograding - prograding sequence of the deposition process, and reservoir sand body is mainly distributed in the microfacies of underwater distributary river channels.

**Key words:** Xinchang area; the upper submember of Xu 4; sedimentary microfacies; underwater distributary river channels; interdistributary bay

新场气田位于川西坳陷中段的大型隆起带上,处于彭州—德阳向斜和梓潼向斜之间<sup>[1-2]</sup>(图 1)。针对新场地区须家河四段,前人早在 20 世纪 90 年代就做了一系列地震勘探和地质钻探工作,在地层划分、小层砂体对比、储层砂体展布、沉积相等方面取得了丰硕成果,认为新场地区须四段分可为上、中、下三个亚段<sup>[3]</sup>,发

收稿日期:2012-11-24

基金项目:四川省重点学科“构造地质学”建设基金项目(SZD0408)

作者简介:雍云乔(1988—),女,四川南充人,硕士研究生,主要从事沉积地质学方面的研究. E-mail: ljhyq@yahoo. cn

育湖泊、辫状河三角洲、扇三角洲及三角洲沉积<sup>[3-6]</sup>。郑荣才等<sup>[3-8]</sup>认为三角洲前缘亚相砂体是利储层发育区,对须四气藏勘探和开发评价起到了重要的指导作用。但受三维地震资料和钻测井资料等限制,导致早期研究对于沉积微相的刻画和砂体展布的描述比较粗放。

从区域上看,须四上亚段自下而上又可细分为 4 个砂层组,即  $X_4^4, X_4^3, X_4^2, X_4^1$ , 而新场地区缺失  $X_4^1$ 。因此,本文对须四上亚段  $X_4^4, X_4^3, X_4^2$  的 33 口钻井进行,通过岩心、岩石薄片所揭示的岩石学、沉积构造、测井标志,结合岩相-测井相-地震相充分,深入探讨各层段的沉积微相类型及特征,详细刻画各层段砂体的展布规律,为储层砂体预测和天然气开发方案的制定提供依据。

## 1 沉积微相识别标志

### 1.1 岩性标志

#### 1.1.1 岩性特征

根据岩心观察及薄片鉴定

(图 2),新场地区须四上亚段  $X_4^4, X_4^3, X_4^2$  三个砂层组均以“下砂上泥”为主要特征,岩性为大套灰白、灰色粗粒岩屑石英砂岩、中粒岩屑砂岩、中粒岩屑石英砂岩、含钙(铁白云质)中粒钙屑砂岩、中粒富岩屑砂岩及细粒岩屑砂岩、含泥富岩屑砂岩与黑色页岩呈不等厚互层,夹薄煤层(线),偶见棕色含有机质、含粉砂泥岩团块。

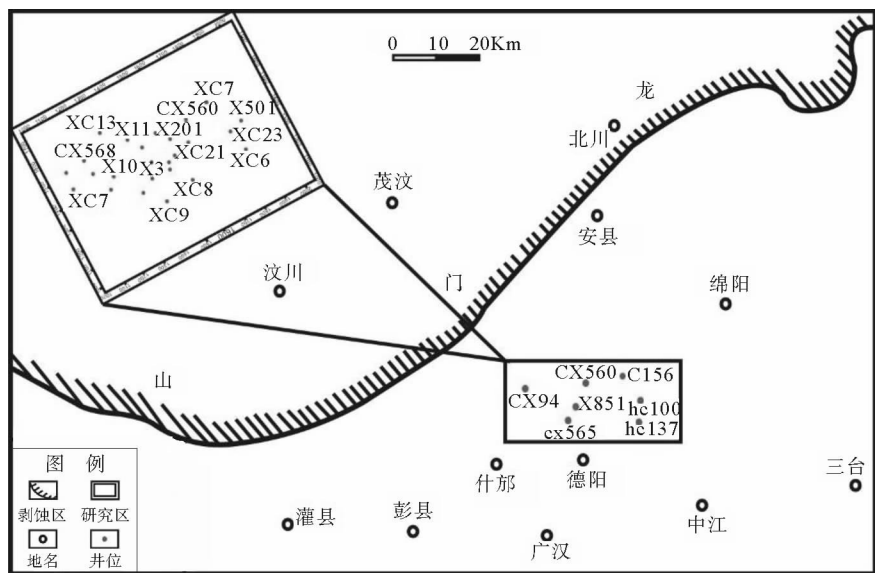
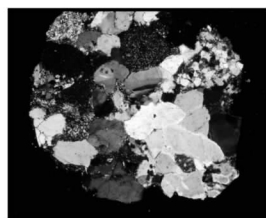
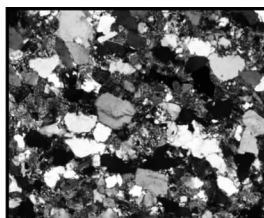


图 1 研究区地理位置图

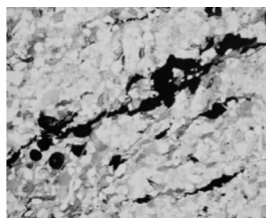
Fig. 1 Location of the study area



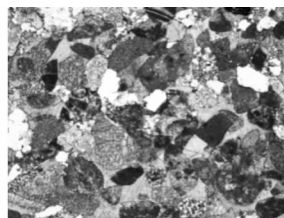
(a) 中粒岩屑石英砂岩  
10×4(+),  $X_4^2$



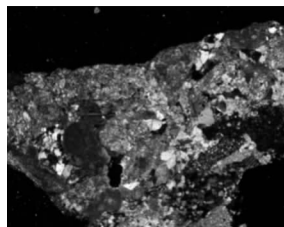
(b) 中-细粒岩屑砂岩  
10×4(+),  $X_4^3$



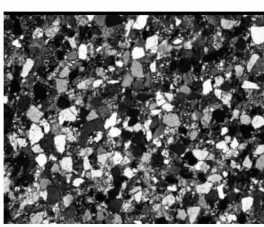
(c) 煤线  
10×2(+),  $X_4^3$



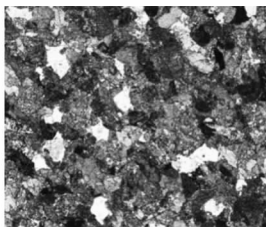
(d) 粗粒钙岩屑砂岩  
10×4(+),  $X_4^4$



(e) 粗粒岩屑砂岩  
10×4(+),  $X_4^4$



(f) 细粒含钙岩屑砂岩  
10×4(+),  $X_4^4$



(g) 铁白云质中粒钙屑砂岩  
10×4(+),  $X_4^4$



(h) 黑色泥岩  $X_4^3$

图 2 新场地区须四上亚段岩石类型图

Fig. 2 The rock type characteristics of upper submember of Xu 4 in Xinchang area

#### 1.1.2 岩石结构特征

岩石的结构包括碎屑、填隙物和孔隙三部分。碎屑主要成分为石英、长石、岩屑等,通过薄片鉴定和统

计,发现研究区须家河组四上亚段砂岩发育粒间充填剩余孔、粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔和粘土矿物晶间孔等储集空间类型。表 1 为新场地区须家河组四段上亚段岩石结构特征表。

表 1 新场地区须家河组四段上亚段岩石结构特征表

Tab. 1 The rock structure of upper submember of Xu 4 in Xinchang area

层位	Q	F	R	Q/(F+R)	F/R	杂基含量/%	磨圆度
X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	65.22	1.53	33.21	2.57	0.07	3.83	次圆状
X <sub>4</sub> <sup>3</sup>	69.36	1.21	29.44	2.93	0.09	3.91	次圆状
X <sub>4</sub> <sup>4</sup>	61.44	0.68	38.14	2.51	0.04	3.29	次圆状

如表 1 所示,Q,F,R 分别代表岩石的石英、长石、岩屑含量,可知新场地区须家河组四段上亚段储层砂岩富岩屑贫长石。且反映砂岩成分成熟度的 Q/(F+R)指数在该层段也比较低,说明成分成熟度并没有因为长石含量的缺乏而呈高值。砂岩骨架颗粒的构成方式说明:①位于龙门山前缘的新场地区相对近物源,因而具有较高的岩屑含量;②新场地区须家河组四段提供碎屑物质的古陆是贫长石区,缺乏花岗岩或花岗片麻岩等岩石类型。另外,低杂基含量以及碎屑颗粒的磨圆度呈次圆状,说明新场地区须家河组四上亚段储层砂岩经过了较长距离的搬运。

1.1.3 粒度分布特征

沉积物的粒度分布主要受沉积时的水动力条件影响,反映了沉积物被搬运的方式。通过对新场气田须四上亚段沉积物粒度进行统计,绘制出粒度分布参数统计图(图 3),分析研究区砂岩主要粒度概率累积曲线类型及每种粒度概率累积曲线的特征。

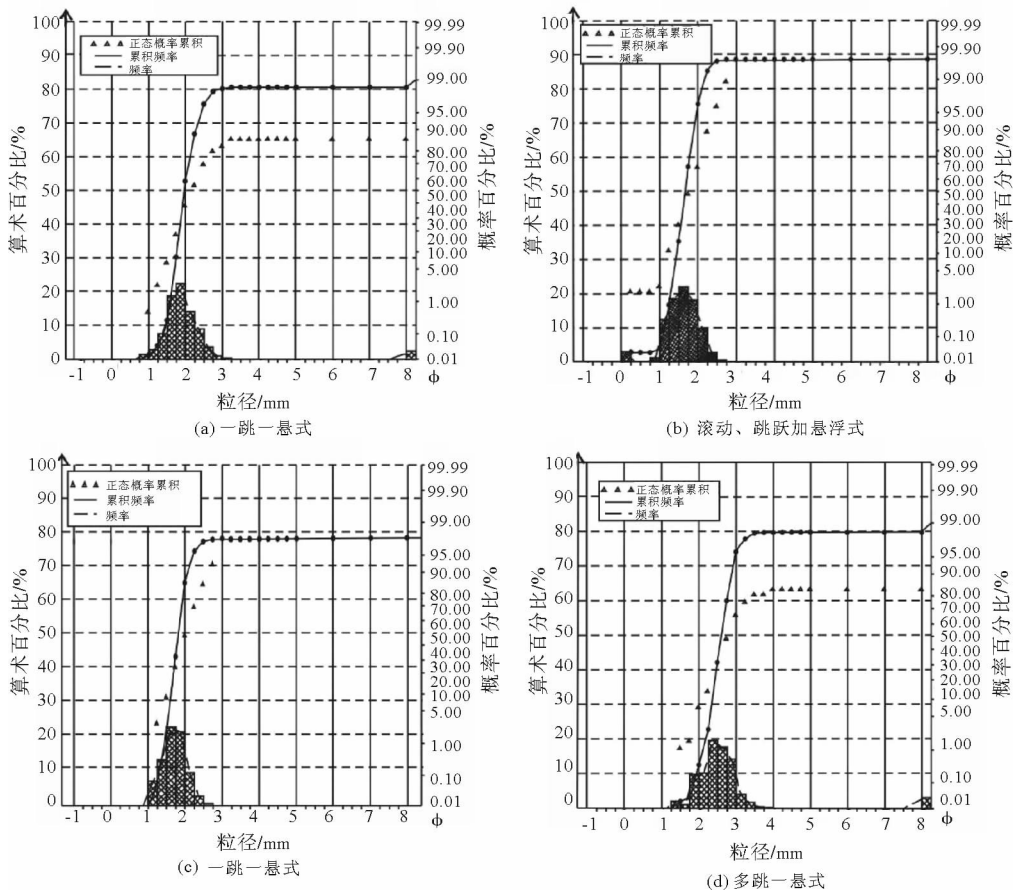


图 3 粒度分布参数统计图

Fig. 3 The cumulative grain-size distribution curve of the sandstone

概率累积曲线可以较好地地区分砂体性质和水流强弱<sup>[9]</sup>。粒度概率曲线以两段式或三段式为主,如一跳一悬式(图 3(a),(c)),由跳跃次总体和悬浮次总体组成,以跳跃总体为主,反映分选较好的特征,悬浮次总体含量低,反映分选较差的特征。滚动、跳跃加悬浮式(图 3(b)),由少量滚动次总体、跳跃次总体和悬浮次总体组成,滚动总体的含量低,跳跃总体的含量高,分选性较好;悬浮组分的含量少,分选较差,反映中等一较强的水动力特征。多段式,如多跳一悬式(图 3(d)),由多段跳跃总体与一段悬浮总体组成,跳跃总体含量高,分选较好,悬浮总体含量低,分选差,反映了多组水流影响较强和分选较好的特征。

### 1.2 沉积构造标志

对新场地区各井须四上亚段岩心中各种沉积构造的详细观察可以发现,研究区主要发育平行层理、沙纹层理、水平层理、交错层理及冲刷面等原生沉积构造,局部见同生变形构造(图 4)。平行层理及交错层理形成于水浅流急的水动力条件下,常见于水动力较强的水下分流河道等高能的沉积环境中。沙纹层理及水平层理主要形成于水动力条件较弱的环境,常见于分流间湾、水下天然堤、河口坝等沉积环境中。冲刷面是高流态下产生的一种层面构造,常见于水下分流河道等相对高能的沉积环境中。滑塌构造是识别水下斜滑坡的良好标志,一般伴随着快速的沉积而产生,多半出现在浊流沉积和三角洲前缘沉积环境中。

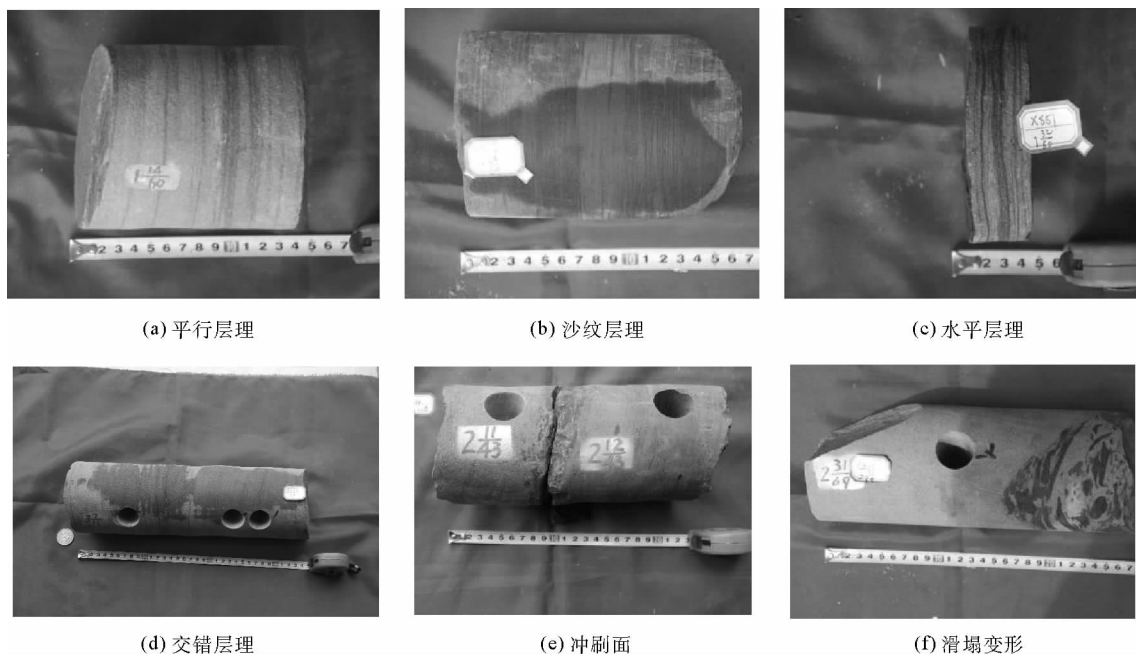


图 4 新场地区各井须四上亚段主要沉积构造类型图

Fig. 4 The type of the sedimentary structure of upper submember of X<sub>4</sub><sup>1</sup> in Xinchang area

### 1.3 测井相标志

不同沉积微相的测井响应具明显的差异性,通过对沉积微相测井响应特征分析,利用自然伽马曲线的变化划分沉积微相(图 5)。

水下分流河道砂体测井曲线为钟形或近箱形,或箱形+钟形的曲线组合,顶底面突变接触或呈底部突变接触,顶部渐变接触(图 5)。分流间湾泥岩表现为低平直曲线,曲线呈微齿化、齿化或光滑直线或指形,曲线异常幅度较低,顶底一般呈渐变接触。河口砂坝测井曲线呈低-中幅漏斗状或齿化漏斗状,是分流河道末端的砂体不断前积或顺流加积的产物;水下天然堤微相的自然伽马曲线表现为水下分流河道上部连续变细的低-中幅钟形曲线细尾部分,较少单独出现,曲线幅度较低,顶底呈渐变接触。

### 1.4 地震相标志

通过对研究区钻井的层位标定,利用井震剖面,对比追踪须四上亚段顶底反射层(图 6)。如图 6 所示,

须四上亚段顶界为正相位下超面,东部连续性不佳;底界为连续性较好的正相位,上亚段整体表现为西厚东薄的特征。

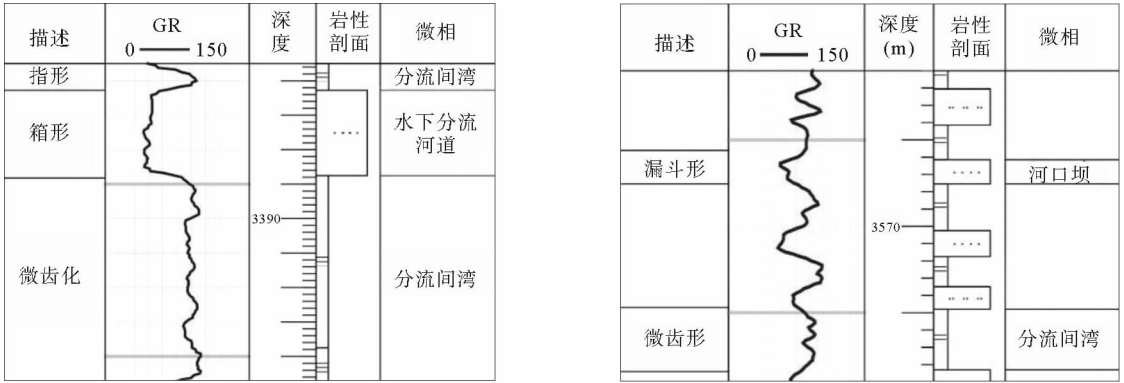


图 5 新场气田须四上亚段测井曲线特征图

Fig. 5 Well logs of the sedimentary microfacies of upper submember of  $X_4^4$  in Xinchang area

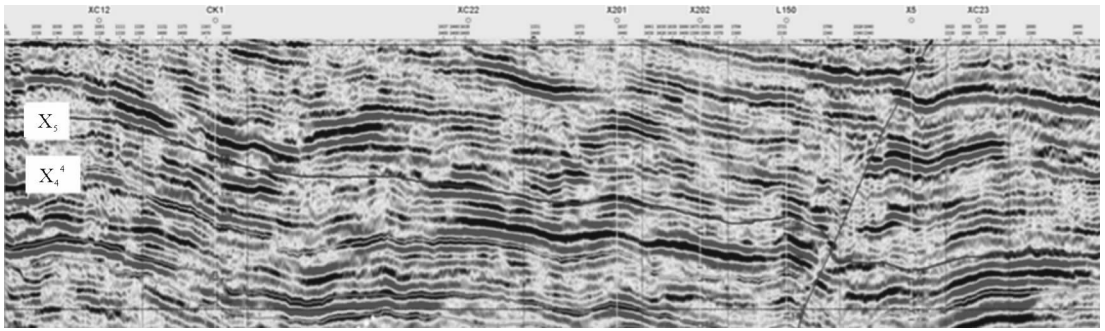


图 6 须四上亚段地震反射图

Fig. 6 The seismic reflection of the Upper Submember of Xu 4

根据钻测井资料以及地震反射特征可以看出,新场地区须四上亚段段沉积时期,主要发育前积反射结构(图 7)、强振幅高连续平行反射结构(图 8)等地震相。大型前积结构通常与三角洲伴生,指示主要物源和水流方向,反映三角洲前缘亚相。平行亚平行高连续反射,即地震反射同相轴呈平行及亚平行关系,振幅强,反射同相轴连续性好,反映沉积环境稳定,预测为三角洲前缘分流间湾和水下分流河道沉积。

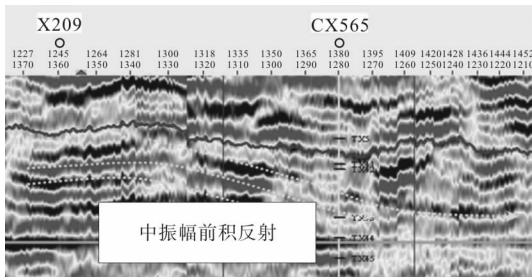


图 7 前积反射图

Fig. 7 The progradational reflections

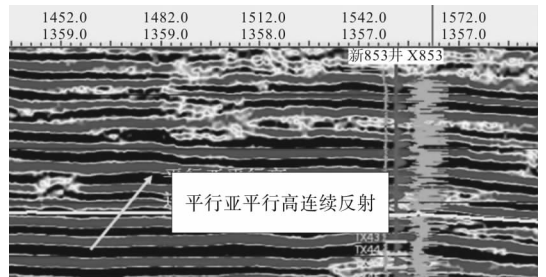


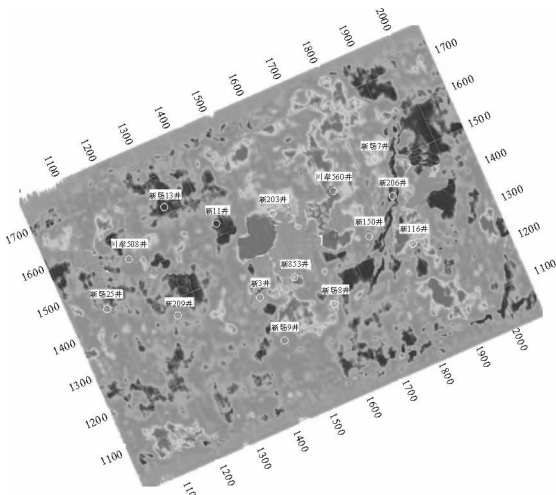
图 8 强振幅高连续平行反射图

Fig. 8 The high continuous parallel reflections with high amplitude

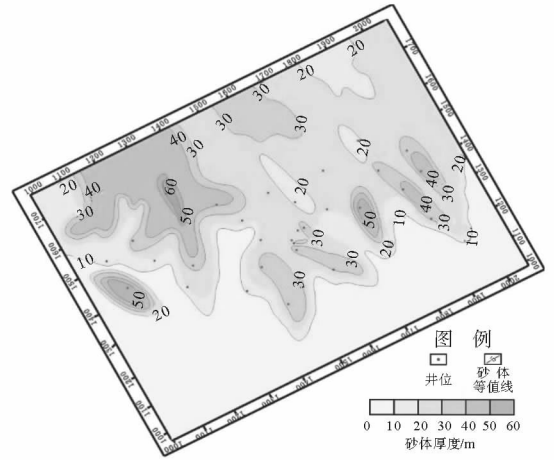
目前,新场气田钻井相对比较,资料齐全,可建立与实际地质情况符合程度较高的地震反演模型,故可利用基于模型的波阻抗地震反演技术将地震与测井相结合,反推地层岩性资料,估算砂泥岩参数,绘制出研



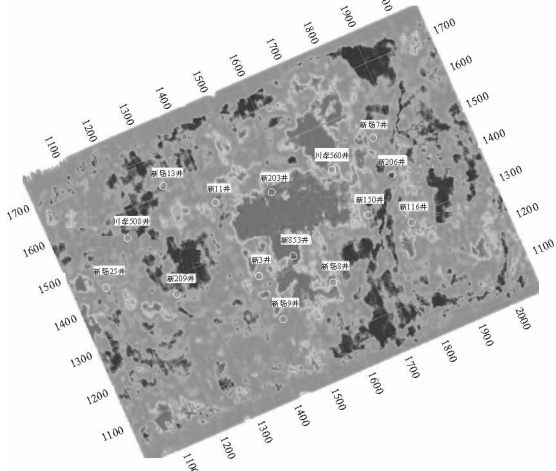
究区须四上亚段各小层的波阻抗反演平面图(图 9(a),(c),(e)),为预测砂体展布(图 9(b),(d),(f))提供了可靠的基础资料。



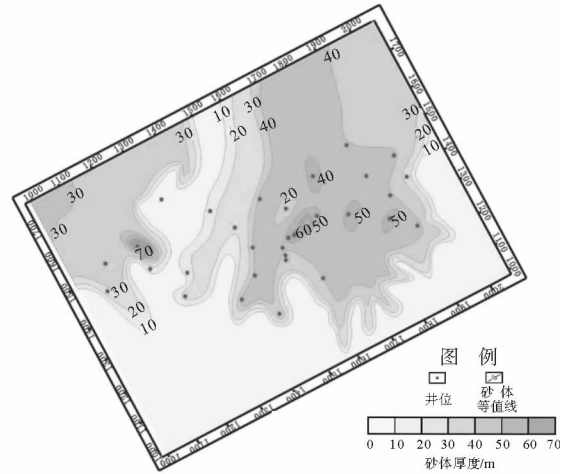
(a) 新场气田须家河组X<sub>4</sub>期波阻抗反演平面图



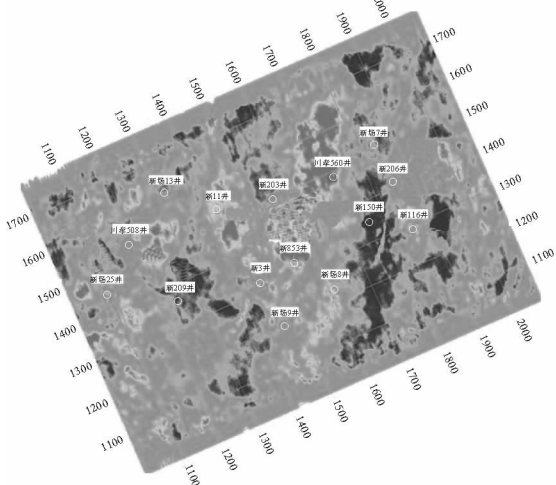
(b) 新场气田须家河组X<sub>4</sub>期砂体厚度展布图



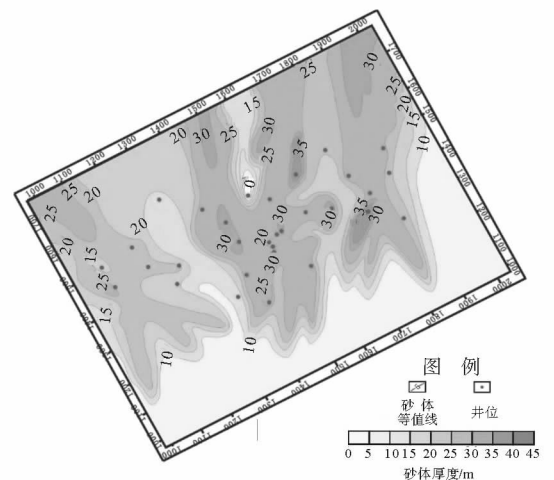
(c) 新场气田须家河组X<sub>3</sub>期波阻抗反演平面图



(d) 新场气田须家河组X<sub>3</sub>期砂体厚度展布图



(e) 新场气田须家河组X<sub>2</sub>期波阻抗反演平面图



(f) 新场气田须家河组X<sub>2</sub>期砂体厚度展布图

图 9 新场气田须四上亚段波阻抗反演平面图和砂体厚度展布图

Fig. 9 The map of the wave impedance inversion and the isoline of sandbody thickness

如新场气田须家河组须四上亚段各时期的波阻抗反演平面图(图 9(a),(c),(e))所示,浅色高能区域代表含储集性砂体较多的地层区域,深色低能区域代表含泥岩较多的地层区域,其他区域为砂泥岩地层的渐变过渡带。由此可推理出高波阻抗的储集性砂体和低波阻抗的含泥岩地层的分布区域,为预测砂体厚度的展布提供了依据。因此,结合新场气田钻测井及地震资料,可绘制出研究区须四上亚段各时期的砂体厚度展布图(图 9(b),(d),(f)),为沉积微相展布图的绘制以及有利储层的预测提供依据。

## 2 沉积微相特征

根据新场地区须四上亚段的钻井岩芯、岩屑薄片、测井及地震等资料的综合分析,认为研究区须四上亚段沉积相类型为三角洲,三角洲前缘亚相发育,发育水下分流河道、分流间湾、河口坝、水下天然堤等沉积微相(图 10)。

三角洲前缘亚相是三角洲平原分流河道进入湖盆内的水下沉积区,研究区须四上亚段每个砂层组基本上由下部的分流河道砂体和上部的分流间湾或湖相泥岩、粉砂岩构成(图 10),是三角洲沉积体系中砂质沉积物集中地区,含砂量很高,为油气富集的主要相带。

## 3 沉积微相展布及演化

通过对新场气田须四上亚段岩心、沉积构造及测井等资料,辅以研究区须四上亚段的砂体厚度展布图(图 9(d),(e),(f)),通过各井地层的砂体厚度及砂地比,可推测沉积微相的分布,绘制新场气田须四上亚段各砂层组的沉积微相平面展布图(图 11(a),(b),(c)),分析沉积微相的平面展布规律及特征。

结合新场气田须家河组  $X_4^4$ ,  $X_4^3$ ,  $X_4^2$  期的砂体厚度展布图和沉积微相平面展布图可以发现:

1)研究区须家河组  $X_4^4$  期砂体呈北—南方向展布,东南部水道不发育;  
 $X_4^3$  期砂体展布呈东北—西南方向展布,西北方向的砂体不发育,砂体主要分布在东北部;  
 $X_4^2$  期砂体展布呈北—南方向展布,砂体主要分布在东北区域,随着时间的演变,由须四上亚段地层的砂地比分布,可以判断研究区沉积砂体主要来源于北部,来自西部的物源逐渐减少。

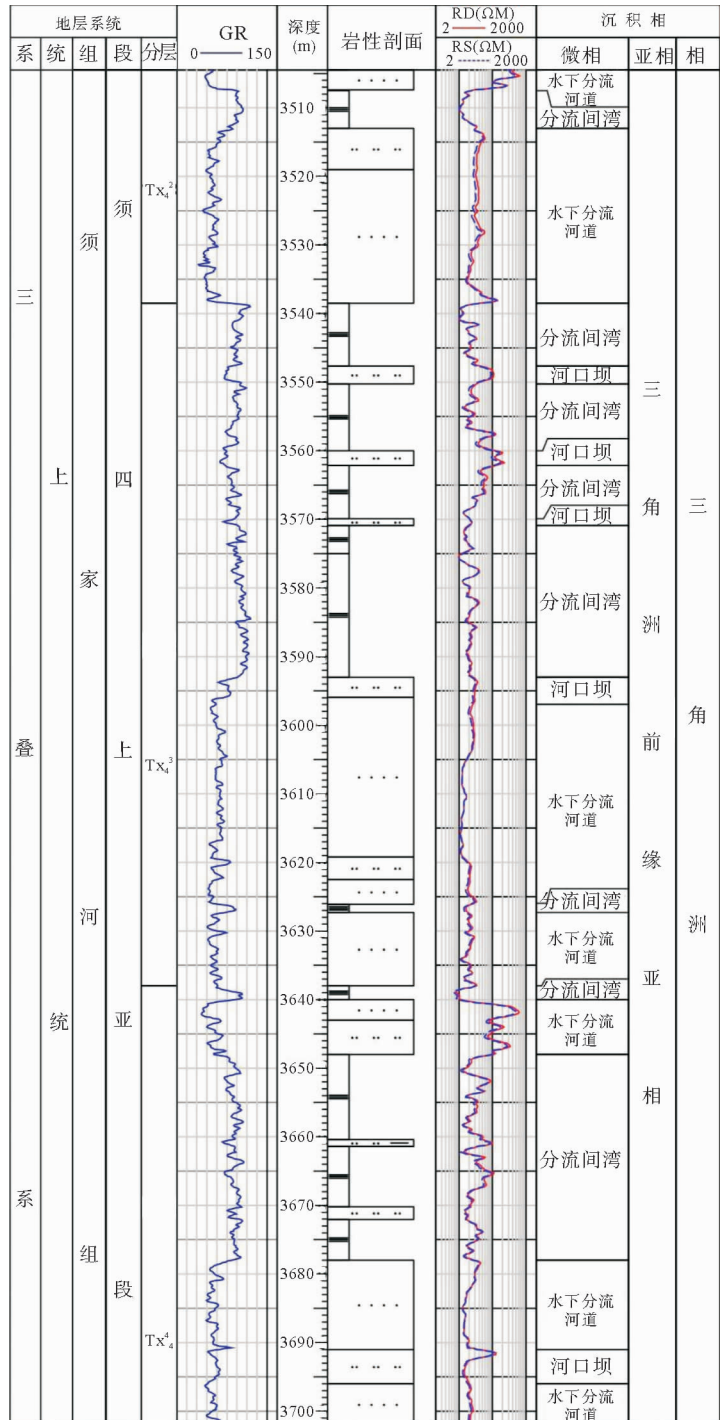
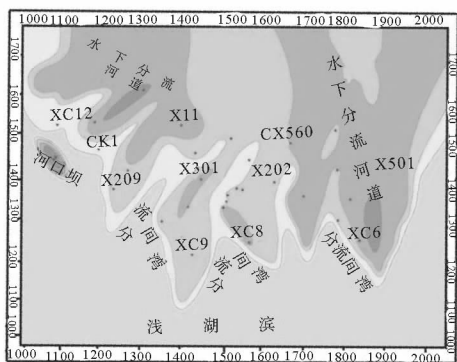
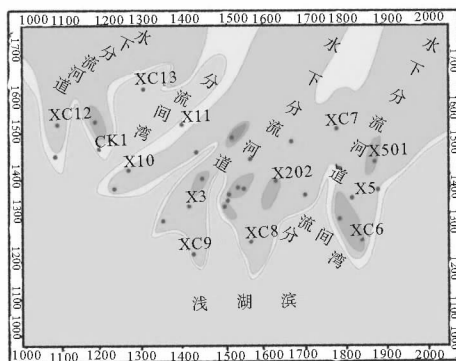


图 10 X8 井须四上亚段沉积微相综合柱状图

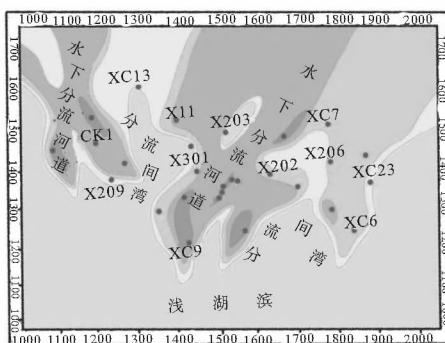
Fig. 10 The integrated column of Upper Xu 4 Submember with sedimentary microfacies in X8



(a) 新场气田须家河组X<sub>4</sub><sup>4</sup>期沉积微相展布图



(b) 新场气田须家河组X<sub>4</sub><sup>2</sup>期沉积微相展布图



(c) 新场气田须家河组X<sub>4</sub><sup>3</sup>期沉积微相展布图

图 11 新场地区须四上亚段沉积微相展布图

Fig. 11 The microfacies map of upper submember of X<sub>4</sub><sup>4</sup> in Xinchang area

2) 与 X<sub>4</sub><sup>4</sup> 期和 X<sub>4</sub><sup>2</sup> 期相比, X<sub>4</sub><sup>3</sup> 期湖泊面积最大, 湖平面为最高值, 所以须四上亚段为一个退积-进积的沉积过程。

3) 须四上亚段地层中的水下分流河道微相分布相对稳定, 砂体储层主要分布在水下分流河道微相。根据水下分流河道微相的平面展布, 可以推断须四上亚段三角洲前缘砂体基本上呈北-南方向展布。

通过对沉积微相平面展布图分析, 可发现沉积微相对储集砂体的分布具有一定的控制作用。研究区须四上亚段有利储层主要分布于东北部的地下分流河道微相中。

## 4 结论

通过对川西坳陷新场气田须四上亚段大量岩心及岩屑薄片观察, 结合录井、测井及地震反射等资料的分析, 结论如下:

1) 研究区须四上亚段可细分为为 X<sub>4</sub><sup>4</sup>, X<sub>4</sub><sup>3</sup>, X<sub>4</sub><sup>2</sup> 三个砂层组, 均有下砂上泥的特征, 岩性为中粗粒岩屑砂岩、石英砂岩, 呈砂、泥岩不等厚互层。发育平行层理、沙纹层理、水平层理、交错层理及冲刷面等原生沉积构造, 局部见同生变形构造。

2) 从地震剖面上来看, 研究区须四上亚段整体表现为西厚东薄的特征, 发育前积反射结构、强振幅高连续平行反射结构等地震相。

3) 研究区须四上亚段为三角洲沉积体系, 三角洲前缘亚相发育, 主要沉积微相为水下分流河道和分流间湾。X<sub>4</sub><sup>4</sup>, X<sub>4</sub><sup>3</sup>, X<sub>4</sub><sup>2</sup> 各小层的沉积相展布显示出退积-进积的沉积过程。三角洲前缘砂体主要来源于北部, 西部物源逐渐减少, 砂体基本上呈北-南方向展布, 沉积微相对于储集性砂体的分布具有一定控制作用, 储集性砂体主要分布在研究于东北部的地下分流河道微相中, 对研究区进一步天然气勘探开发具有一定参考价值。



## 参考文献:

- [1]郭正吾,邓康龄,韩永辉.四川盆地形成与演化[M].北京:地质出版社,1996:33-36.
- [2]刘树根,童崇光,罗志立,等.川西晚三叠世前陆盆地的形成与演化[J].天然气工业,1995,15(2):11-15.  
Liu Shugen, Tong Chongguang, Luo Zhili, et al. The formation and evolution of late Triassic Foreland Basin in West Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1995, 15(2): 11-15.
- [3]高红灿,郑荣才,叶泰然,等.德阳须家河组四段沉积相特征和砂体分布规律[J].沉积与特提斯地质,2007,27(2):66-73.  
Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Ye Tairan, et al. Sedimentary facies and sandstone distribution in the 4th member of the Upper Triassic Xujiahe Formation, Deyang, Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(2): 66-73.
- [4]李熙喆,张满郎,谢武仁,等.川西南地区上三叠统须家河组沉积相特征[J].天然气工业,2008,28(2):54-57.  
Li Xizhe, Zhang Manlang, Xie Wuren, et al. Sedimentary facies of upper Triassic Xujiahe Formation in southwest Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2): 54-57.
- [5]林良彪,陈洪德,姜平,等.川西前陆盆地须家河组沉积相及岩相古地理演化[J].成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(4):376-383.  
Lin Liangbiao, Chen Hongde, Jiang Ping, et al. Sedimentary facies and litho-paleogeographic evolution of the upper Triassic Xujiahe Formation in west Sichuan foreland basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006, 33(4): 376-383.
- [6]库丽曼,刘树根,张长俊,等.川中地区上三叠统须家河组二段和四段沉积相[J].油气地质与采收率,2007,14(2):35-37.  
Ku Liman, Liu Shugen, Zhang Changjun, et al. Study on sedimentary facies in second and fourth members of Xujiahe Formation of upper Triassic in Central Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(2): 35-37.
- [7]李华启.四川盆地西部上三叠统须家河组层序地层学及沉积体系研究[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2003:8-13.
- [8]谢武仁,李熙喆,杨威,等.川中地区上三叠统须四段砂体成因组合及对油气富集的影响[J].沉积学报,2009,27(6):1084-1091.  
Xie Wuren, Li Jiezhe, Yang Wei, et al. Genetic combination of the sandbody in the fourth members of Xujiahe Formation (upper Triassic) and its influence on oil and gas reservoirs [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1084-1091.
- [9]曾允孚,夏文杰.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1986:15-19.
- [10]王利功,毕建军,王振辉,等.地震平面沉积相解释方法研究及应用[J].岩性油气藏,2011,23(6):84-88.  
Wang Ligong, Bi Jianjun, Wang Zhenhui, et al. Seismic plane sedimentary facies interpretation method and its application [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(6): 84-88.

(责任编辑:高丽华)