

# 兴马地区沙三段地震相和沉积相分析

赵海涛<sup>1,2</sup>, 刘艳<sup>1,2</sup>, 许士朝<sup>3</sup>, 孙赞东<sup>2</sup>, 刘立峰<sup>2</sup>

1. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000
2. 中国石油大学(北京)地质地球物理综合研究中心, 北京 102249
3. 中国石油东方地球物理公司, 河北涿州 072751

**摘要** 针对兴马地区沙三段重力沉积砂体非均质性强、横向变化快、储层预测难度大的问题, 运用层序地层分析和波形分类技术, 在层序格架内基于储层沉积特征和地震反射特征, 建立储层特征与地震波形的对应关系, 较好地预测了重力沉积砂体的空间展布。结果表明, 研究区沙三段可分为 3 个层序, 构成 3 个“下粗上细”的沉积旋回; 在各旋回中, 重力沉积砂体均表现为强振幅、中低频、中好连续反射, 平面上可构成 10 类地震相和 3 个地震相区, 分别对应中扇辫状沟道微相、中扇前缘微相和外扇浊积岩-湖泊相; 对比各层序, 层序 SQ3 和层序 SQ2 的南部地区重力沉积砂体最为发育, 为最有利的勘探目标区。

**关键词** 储层预测; 波形分类; 陆相深水重力沉积; 辽河西部凹陷

**中图分类号** P539.2

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)19-0026-04

## Research on Seismic and Sedimentary Facies in the Sha-3 Member of the Xingma Area

ZHAO Haitao<sup>1,2</sup>, LIU Yan<sup>1,2</sup>, XU Shichao<sup>3</sup>, SUN Zandong<sup>2</sup>, LIU Lifeng<sup>2</sup>

1. Institute of Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China
2. Laboratory for Integration of Geology and Geophysics, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. BGP Inc., China National Petroleum Corporation, Zhuozhou 072751, Hebei Province, China

**Abstract** Gravity flow deposits of the Sha-3 Member in the Xingma area are characterized by strong heterogeneity and rapid lateral facies changes. As a result, it is very difficult to undertake reservoir prediction. In order to solve these problems, sequence stratigraphic analysis and seismic waveform classification techniques for seismic facies are employed in this study. Based on characteristics of sedimentary and seismic reflection, the relationship between reservoir characteristics and seismic waveforms is studied and a reasonable spatial distribution of multiple stages of reservoir sandstones is well predicted. These results show that the entire Sha-3 Member in the study area can be divided into three sequences, and each sequence constitutes one fining-upward sedimentary cycle. The gravity flow deposits show characteristics of quasi-continuous reflection, moderate amplitude and mid-low frequency in seismic sections. In plan view, results can be divided into 10 seismic facies and three seismic facies domains that correspond to middle fan braided channel facies, middle fan-front facies and outer fan-lacustrine facies. By comparison, sequence SQ3 and the southern part of sequence SQ2 are evaluated as the most favorable exploration targets.

**Keywords** seismic waveform classification technique; reservoirs prediction; terrestrial facies deep water gravity deposits; western sag of Liaohe Depression

### 0 引言

目前储层预测的常用方法是地震属性和地震反演, 前者

通过对地震道计算、提取相关属性, 钻井标定并依据解释经验预测储层<sup>[1-2]</sup>, 后者通过测井约束将地震剖面转化为岩性剖

收稿日期: 2010-01-25; 修回日期: 2010-09-10

作者简介: 赵海涛, 博士, 研究方向为油气成藏与分布规律, 电子信箱: geoscientist@qq.com; 孙赞东(通信作者), 教授, 研究方向为开发地震、储层预测、油气藏勘探, 电子信箱: zszd@cup.edu.cn

面预测储层<sup>[3]</sup>。但是以上方法均忽略了地震资料的另一基本信息:地震信号的总体变化及这种变化的分布规律<sup>[4-5]</sup>。在进行储层预测时,地震属性仅反映地震信号的某种特性,单一属性无法描述地震信号的整体特征,而地震反演假定选用并能够代表所有地质信息的差别,未考虑地质相的复杂变化。若缺乏对地震信号总体变化规律的认识,就无法评估井位置地震信号的变化,无法实现信息的可靠外推。地震相是地震层序中具有相似反射特征的地震单元,是沉积相及储层分布的地震响应,通过地震相分析建立储层特征与地震信号总体变化规律的对应关系,可以弥补以上方法不足,加深储层空间展布的认识,有利于储层预测和油藏描述。

兴马地区位于辽河西部凹陷的中东部,构造格局为“1 潜山 3 注 1 陡坡”,即研究区中部发育兴隆台古近系潜山,在潜山的北部、西部和东南部分别发育陈家洼陷、盘山洼陷和清水洼陷,在研究区东侧以冷家逆断层为界与陡坡带、中央凸起等物源区相隔。经过多年勘探,研究区已发现太古宇、中生界和新生界沙三段、沙二段、沙一段、东营组共 6 套含油层系,其中沙二段以上的浅层已基本探明并投入生产,随着勘探深入,沙三段成为勘探重点<sup>[6]</sup>。沙三段沉积时期为西部凹陷

的深陷期,由于研究区距物源较近,伴随地貌高差的显著增大,中央凸起的粗碎屑物质向台安-大洼断层的下降盘快速倾泻,形成多物源、多期次的重力沉积砂体<sup>[7]</sup>。受古地貌环境控制,重力沉积砂体非均质性较强,多套砂体在垂向和平面上均不连续性分布,储层预测难度大。本文在研究区储层沉积特征研究的基础上,通过地震反射特征和地震相分析,建立储层特征与地震波形的对应关系,较好地预测了各期重力沉积砂体空间展布,其结果对该区深层岩性油藏的勘探具有一定的指导意义。

### 1 层序和沉积特征

研究区地质条件复杂,重力沉积砂体具有多期次、多物源的特点,以 400km<sup>2</sup> 三维地震资料、66 口井的测井和岩屑资料和 16 口井 168.64m 岩心资料为基础,建立了储层级别的高精度层序地层格架(图 1)。结果表明,沙三段可分为 3 个层序(自下而上依次标记为 SQ1、SQ2、SQ3,层序界面依次为 SB1、SB2、SB3、SB4),每个层序又分为湖侵和高位两个体系域,重力沉积砂体主要分布在各层序湖侵体系域的下部,构成 3 个“下粗上细”的沉积旋回(图 1(a))。

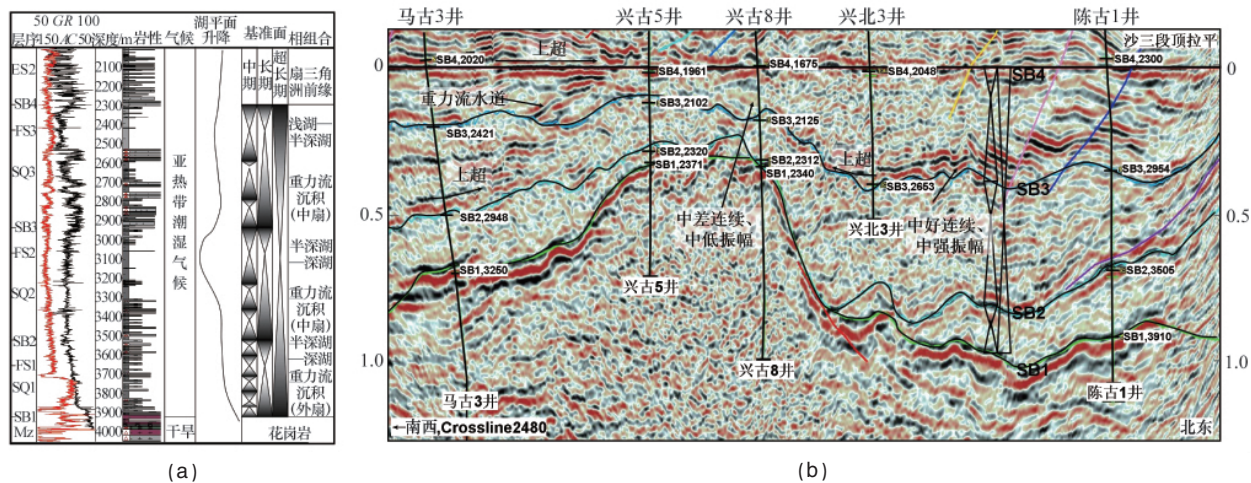


图 1 研究区陈古 1 井沙三段测井层序划分(a)和井震标定层序地层格架(b)

Fig. 1 Well logging sequence stratigraphic division by Chg1 (a) and well calibrated seismic stratigraphic framework (b)

整体而言,重力沉积砂体的岩石类型多为砂砾岩和含砾砂岩,岩石分选较差,粒度概率曲线斜率较低,粒度分布宽, $\Phi$ 值( $\Phi = -1b/d, d$ 为颗粒直径,mm)分布在 1~6.5 之间, $C-M$  点群( $C$ 为累积曲线上 1%处对应的粒径, $M$ 为累积曲线上 50%处对应的粒径)呈明显的平行于  $C=M$  线分布,反映沉积物密度大,下滑速度快,整体悬浮搬运的特点。砂砾岩中常见泥砾和呈撕裂状的泥质条带,颗粒支撑结构的砾岩较少,多发育在重力沉积底部的冲刷面上。连续沉积的砂砾岩体单层厚度一般为几米,间歇期多发育薄的泥岩夹层,受后期重力沉积冲刷和叠置的影响,垂向上多形成大套厚层砂砾岩体。测井相多为中-高幅齿化的钟形、箱形组合,底部多突变接触或呈加速渐变特征,电阻率曲线一般呈锯齿状的中高值特征。物性资料表

明,重力沉积砂体的岩石孔隙度一般为 3%~25%,平均为 16%,渗透率一般为  $(1\sim385)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为  $6.3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,是沉积部位、砂岩层厚、粒度、分选好坏及杂基含量等综合作用的结果。在近源部位,砂体单层厚度一般大于 20m,多颗粒支撑,粒度粗且泥质含量较低,储层物性相对较好,而在远源物源部位,砂体厚度一般小于 5m,粒度较细,储层物性一般。

### 2 沙三段地震相分析

#### 2.1 地震反射特征

在地震时间剖面上,研究区沙三段主要表现出两种地震反射特征:一是强振幅、中低频、中好连续反射,二是弱振幅、中高频、差连续反射(图 1(b))。通过地震剖面、沿层振幅切片

和地震属性分析(图1,图2),强振幅反射以层序SQ3分布范围最大,主要分布在兴隆台潜山南北两侧的洼陷内,而潜山顶部多为弱振幅反射;层序SQ2强振幅反射多发育在潜山南部地区,在潜山北部多为弱振幅反射;层序SQ1整体为弱振幅反射。根据钻井及地震资料分析,强振幅反射是重力沉积砂体的地震反射特征,而弱振幅反射为大套湖相泥岩的地震反射特征,这是因为重力沉积砂体的密度(2.38~2.47g/cm<sup>3</sup>)和速度(3544~4118m/s)均较泥岩高,空间上夹于大套泥岩中,波阻抗界面明显,表现为较强振幅反射,而大套泥岩中缺乏明显的波阻抗界面,多表现为弱振幅反射。

地震切片的振幅属性是地下岩性、流体变化的直接响应,通过连续分析一系列振幅切片可大致确定地下异常体的纵、横向分布范围。在层序地层分析的基础上,沿层序界面SB3向上4ms间隔切取若干振幅切片,结果表明强振幅区(黑色区域)在沿SB3提取的振幅切片上分布范围最大,特征最明显(图2(a)),基本反映了该层序重力沉积砂体的分布,但振幅切片对沉积体的外形特征反映较为模糊,无法刻画重力沉积的形态特征。同时,纵向上,重力沉积砂体主要分布在SB3向上100ms范围内。对该时窗提取地震均方根属性(图2(b))并对比钻井资料表明,中高值区(绿色、黄色)为重力沉积砂体分布区,低值区(蓝色)为深湖-半深湖相泥岩分布区,研究区东部由南往北共发育4支辫状沟道,平面上砂体彼此叠置,连片分布,另外研究区西部也有中高值区分布,表明该时期还发育西部物源。

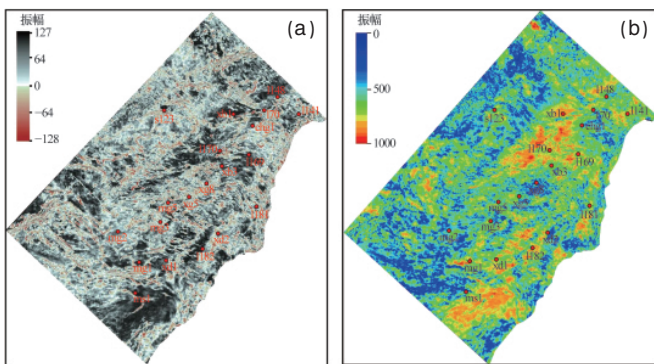


图2 沙三段地层地震振幅切片(沿层位SB3)(a)和地震均方根属性(层位SB3向上100ms)(b)

Fig. 2 Seismic amplitude slice (along the horizon SB3) (a) and seismic RMS attribute (100ms time window above the horizon SB3) (b) in Sha-3 Member in study area

## 2.2 地震相平面展布

为了进一步刻画重力沉积砂体的空间展布,针对地震反射的具体特征,利用神经网络算法对地震道波形进行分类,细致地刻画地震信号的横向变化<sup>[8]</sup>。以层序SQ3为例,选用层序界面SB3向上100ms的等厚时窗,以每4道抽1道的间隔建立网络培训数据,经反复实验,划分为10种地震相,构成3个不同的地震相展布区域(图3),其中1、2、3类地震相对应

红色区域;4、5、6、7类地震相对应绿色、黄色区域;8、9、10类地震相对应蓝色、紫色区域。

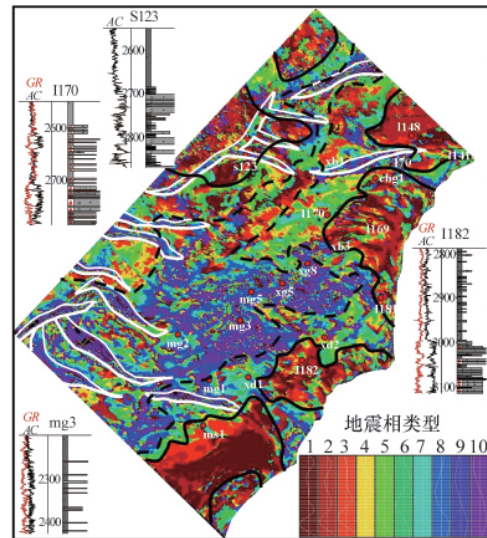


图3 研究区沙三段层序SQ3的地震相平面展布  
Fig. 3 Plane distribution of seismic facies for sequence SQ3 in Sha-3 Member in the study area

结合钻井标定,地震相划分结果除在局部地区(马古2井)受断层影响较大、地质意义不明确外,其余地区均较好地反映了重力沉积砂体的变化特征。红色区域呈扇状分布,在研究区东侧由南向北共发育4个分支,在研究区西侧由南向北发育2个分支,钻井显示以大套高密度浊流和碎屑流砂体为主,岩性为灰白色砂砾岩、含砾砂岩(1182井、S123井),单层厚10~20m,多期叠置厚度达100m以上。绿色、黄色区域包围在红色区域的外侧分布,在研究区东西两侧均呈连片状分布,钻井显示以大套高密度浊流砂体为主,岩性主要为薄层灰色细砂岩、含砾砂岩(1170井),泥岩夹层相对增多,单层砂体厚度一般2~4m。蓝色、紫色区域主要分布在研究区中部,可见绿色、黄色区域零散分布其中,钻井显示以大套灰色、深灰色泥岩、油页岩夹薄层低密度浊流砂体为主,岩性主要为粉砂岩和泥质粉砂岩(mg3井),单层厚度一般1~2m,岩心多见水平层理和波状层理。

## 3 重力沉积砂体的时空展布

依据地震相平面展布图,结合钻井、测井资料,绘制了各层序沉积微相平面分布图(图4)。中扇辫状沟道微相主要对应地震相平面图中的红色区域,中扇前缘微相主要对应地震相平面图中的绿色、黄色区域,外扇浊积岩和湖相泥岩主要对应成片的蓝色、紫色区域。经钻井和生产资料证实,地震相平面展布图得出的井点沉积微相与岩心相、测井相有较好的一致性。

对比各层序沉积微相平面分布,研究区各时期的重力沉积砂体的时空展布具有差异性。层序SQ1形成于沙三段深裂

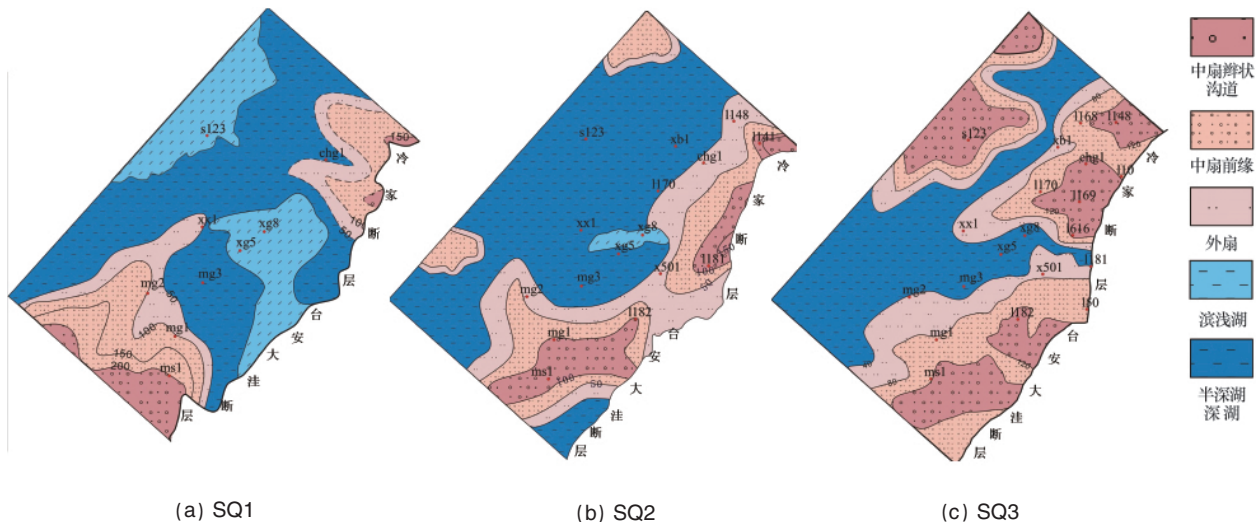


图 4 研究区沙三段沉积微相平面分布

Fig. 4 Plane distribution of sedimentary facies for Sha-3 Member in the study area

陷的初期(图 4(a)),此时水体相对局限,重力沉积砂体主要分布在研究区的南部,另外在盘山洼陷也有分布,微相类型以中扇前缘微相和外扇浊积岩微相为主,砂体厚度较薄,物性较差。层序 SQ2 时期为沙三段最强裂陷期(图 4(b)),此时湖泊水体急剧加深,扇体向岸迁移明显,研究区北部重力沉积砂体主要分布在冷 181 井—冷 141 井附近,南部重力沉积砂体主要分布在马深 1 井—马古 1 井和冷 182 井附近,砂体厚度一般 50~100m。另外,研究区西部还发育远岸水下扇体,但砂体发育规模相对较小。层序 SQ3 形成于沙三段裂陷的晚期(图 4(c)),东西两侧扇体均较发育,表明湖盆供屑能力的增强,重力沉积砂体分布范围迅速扩大,研究区东侧和西侧分别发育了 4 支和 2 支辫状沟道,砂体厚度一般 40~120m。根据以上结果综合分析,层序 SQ2 的南部地区和层序 SQ3 是最有利的勘探目标区。

#### 4 结论

兴马地区沙三段可分为 3 个层序,重力沉积砂体集中发育在各层序的下部,构成 3 个“下粗上细”的沉积旋回。地震剖面上,重力沉积砂体表现为中强振幅、中低频、中好连续反射,以层序 SQ3 分布范围最大。结合沿层切片和地震均方根属性分析,平面上,层序 SQ3 重力沉积砂体主要分布在潜山南北两侧的洼陷内,由南往北具 4 个分支,砂体彼此叠置,连片分布,垂向上,重力沉积砂体主要分布在层序 SB3 向上 100ms 范围内。依据地震道波形特征可将该时窗划分为 10 种地震相,构成 3 个地震相区,分别对应中扇辫状沟道微相、中扇前缘微相和外扇浊积岩-湖泊相。据此方法对沙三段各层序重力沉积砂体的空间展布进行预测,层序 SQ2 的南部地区和层序 SQ3 是最有利的勘探目标区。

#### 参考文献 (References)

- [1] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏勘探研究的两项核心技术[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 3-9.  
Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(3): 3-9.
- [2] 武丽, 于文芹, 杨立强, 等. 地震属性分析技术在波斯湾盆地中部 S 区块储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 557-561.  
Wu Li, Yu Wenqin, Yang Liqiang, et al. *Oil Geophysical Prospecting*, 2008, 43(5): 557-561.
- [3] 刘书会, 张繁昌, 印兴耀, 等. 砂砾岩储集层的地震反演方法 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 142-143.  
Liu Shuhui, Zhang Fanchang, Yin Xingyao, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 142-143.
- [4] 潘少伟, 杨少春, 陈旋, 等. 吐哈盆地红台地区中侏罗统地震相分析[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(4): 425-429.  
Pan Shaowei, Yang Shaochun, Chen Xun, et al. *Oil Geophysical Prospecting*, 2008, 43(4): 425-429.
- [5] 唐华凤, 王璞珺, 姜传金, 等. 波形分类方法在松辽盆地火山岩相识别中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 440-444.  
Tang Huaifeng, Wang Pujun, Jiang Chuanjin, et al. *Oil Geophysical Prospecting*, 2007, 42(4): 440-444.
- [6] 高先志, 李晓光, 李敬生, 等. 兴隆台地区沙三段砂体发育模式与岩性油气藏勘探[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 187-189.  
Gao Xianzhi, Li Xiaoguang, Li Jingsheng, et al. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(2): 187-189.
- [7] 单俊峰, 陈振岩, 回雪峰. 辽河坳陷西部凹陷坡洼过渡带岩性油气藏形成条件[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 42-45.  
Shan Junfeng, Chen Zhenyan, Hui Xuefeng. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(6): 42-45.
- [8] 邓传伟. 利用波形建立地震相 [J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 539-542.  
Deng Chuanwei. *Oil Geophysical Prospecting*, 2004, 39(5): 539-542.

(责任编辑 吴晓丽)