

# 分频 RGB 融合技术在精细刻画沉积微相中的应用

马佳国,王建立,周 卿,李文滨,李福强

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

**摘要:**复杂河流相沉积砂体的沉积微相往往存在多解性,对开发中后期调整井的部署极为不利。针对这一问题,以渤海 C 油田 B 砂体为靶区,利用分频 RGB 融合技术,以地层切片方式,将砂体的沉积形态在平面上直观展示,结合取心资料和油藏动态资料,重新认识了砂体的沉积微相,认为该砂体属于水退进积型湖泊相极浅水三角洲沉积微相,为后续调整井部署奠定了基础。该方法直观有效,为类似砂体的沉积微相研究提供了可借鉴的方法。

**关键词:**RGB 融合 分频技术 沉积微相 砂体刻画

**中图分类号:**TE122 **文献标志码:**A

## Frequency division RGB fusion technique for fine description of sedimentary microfacies

MA Jiaguo, WANG Jianli, ZHOU Qing, LI Wenbin, LI Fuqiang

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** For sedimentary sandbodies of complex fluvial facies, the sedimentary microfacies often have multiple solutions, which is very unfavorable to the deployment of adjustment wells in the middle and late stages of development. In order to solve this problem, taking the sand body in Bohai C Oilfield as the target area, we used the spectrum decomposition RGB fusion technique to visually display the shape of sandbodies. Combined with coring data and reservoir performance data, it was re-recognized the sedimentary microfacies of the sand body. It is considered that the sand body belongs to the extreme shallow-water delta sedimentary microfacies of lacustrine facies with water retrograded and progradation, which lays a foundation for adjustment well deployment. The method is visual and effective, and provides a reference for the study of sedimentary microfacies similar to the sand bodies.

**Key words:** RGB fusion; spectrum decomposition; sedimentary microfacies; sand body depiction

研究区位于渤海西部海域沙垒田凸起东段,相继发现大中型油气田 5 个,储层集中在明化镇组,主要油藏类型为构造-岩性油气藏。渤海海域近十年来的油气勘探,发现新近系明化镇组油气储量巨大,需要对明化镇组深入研究以支持勘探开发<sup>[1-2]</sup>。钻井证实渤海海域明化镇组上段主要发育辫状河沉积、高弯度复合曲流河叠切沉积、极浅水三角洲沉积;明化镇组下段主要发育低弯度单曲流河沉积。明化镇组沉积有较明显的两极分化,即低弯度单曲流河沉积(表现为“泥包砂”特点:砂岩百分含量 10%~20%,砂岩厚度 3~10 m,地震剖面特征清晰,地震属性容易刻画储层的展布)、高弯度多曲流河叠切片状砂沉积(表现为“砂包泥”特点:砂岩百分含量 35%~60%,砂岩厚度 15~40 m,“富砂型”

地层地震反射弱,常用的 90 度相移技术、储层反演技术较难刻画储层内部结构)。

前人的研究对“泥包砂”储层总结了成熟的研究方法<sup>[3]</sup>。本文针对“富砂型”储层的砂体精细刻画问题,以渤海地区 C 油田明上段 B 砂体为靶区进行了深入研究。该砂体有 1 口探井、10 口过路评价井,钻井揭示砂体构造幅度较低,约 50 m。过路井钻遇砂体厚度在 10~35 m,属于“富砂型”储层。评价过程中,对沉积微相认识存在分歧,并且多口评价

收稿日期:2019-05-14;改回日期:2019-06-11。

第一作者简介:马佳国(1985—),硕士,工程师,主要从事油田开发地震研究工作。E-mail:majg2@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05058)。

井间距不远,油水界面差别较大,两个问题制约下一步的评价。精细研究沉积微相过程中,通过各种属性切片,能够直观将目标砂体的空间几何形态及微观特征展示出来。但对厚砂体或楔状沉积砂体,简单的属性切片并不能很好地将砂体形态直观展示,也不能降低沉积微相的多解性。而分频体中的各个离散单频体对特定厚度的砂体有较好的响应效果,因此对厚度变化较大的砂体可以采用分频体融合的方式进行研究,分频 RGB 融合技术可用于精细刻画砂体边界及内部关系<sup>[4-5]</sup>。B 砂体曾经解释为曲流河叠切形成的片状砂沉积,与钻后地质分析有矛盾,制约了目前调整井的部署。而利用分频 RGB 融合技术,平面上直观展示了砂体的沉积期次,结合剖面特征及岩心资料,认为该砂体可能为进积型浅水三角洲沉积,该观点能合理解释地质上的矛盾。

## 1 地震资料

### 1.1 资料采集与处理

该区地震资料使用了高分辨率采集和处理技术方法,采用双源六缆采集方式,三维面元密度为  $18.75\text{ m} \times 12.5\text{ m}$ ,有效频带宽为  $5 \sim 110\text{ Hz}$ 、主频约  $55\text{ Hz}$ 。在处理方面尽可能减少噪声参加叠加,以精确的叠加速度达到同相叠加,提高信噪比和保持分辨率<sup>[6]</sup>。偏移前后三次应用了反 Q 滤波,补偿随深度增加而衰减的高频成份,尽可能在有效频率范围内,争取最大频宽,成果数据体有效频宽为  $8 \sim 100\text{ Hz}$ 。经过偏移速度场建立、平滑和钻井速度标定获得较高精度偏移速度后,应用 phase - shift 三维偏移,获得了理想的归位效果。通过高分辨率的数据采集和处理过程中重要环节严格把控,获得高密度宽频带的地震数据体,为精细刻画岩性边界提供有力资料基础。

### 1.2 倾角导向滤波

海上地震资料随机噪声的存在对小尺度断层、岩性边界的刻画非常不利,因此在刻画小尺度河道之前,对地震资料进行滤波降噪非常必要。传统的中值滤波是在水平方向上求取相邻道集振幅的相关性,是典型的网格导向滤波方法。该方法能分离出随机噪声,但对有构造变化的微小断层及岩性边界的刻画极为不利<sup>[7]</sup>。本次采用 OpendTect 软件的倾角导向滤波方法提高信噪比,增强断层岩性边界。该方法是通过 3D 傅里叶变换技术计算每个采样点在三维空间中的倾角和方位角获得倾角体,并在倾角体的约束下对地震数据进行滤波,能将有效信号

和随机噪声进行区分,进而改善同相轴的横向连续性,增强断层或岩性边界信息<sup>[8-9]</sup>(见图 1)。从图中可以看到地震轴横向连续性有了明显改善,断层两侧非常干脆,利用这套资料为后续分频 RGB 融合提供资料基础。

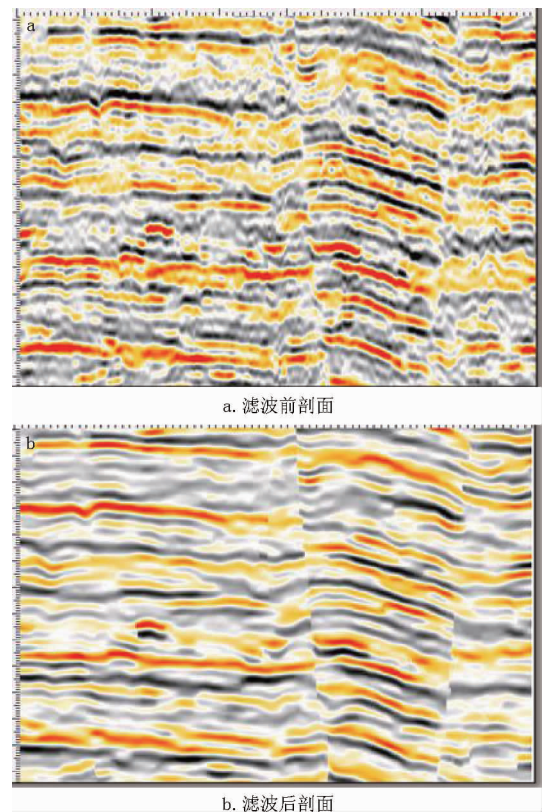


图 1 倾角滤波前后剖面对比

## 2 分频及 RGB 融合过程及效果

### 2.1 分频融合原理

#### 2.1.1 分频技术

频谱分解技术是利用数学变换将地震信号从时间域转换到频率域,在频率域内对储层进行刻画避免了时间域内不同频率的相互干扰,对厚层砂岩及薄储层都有很好的识别能力。频谱分解方法经历短时傅里叶变换(STFT)、连续小波变换(CWT)和广义 S 变换(ST)三个阶段。短时傅里叶变换公式中的时窗函数是固定的,不会因信号频率的变化而改变,因此只适合分析分段平稳信号或者近似平稳信号,转换得到的单频体往往不能反应真实的信号。连续小波变换在 STFT 的基础上引进了小波基函数,利用时窗的伸缩和平移对信号的频率进行分析,因此连续小波变化具有多分辨率的特点。广义 S 变换以时间和频率为变量,建立一个联合函数来描述信号,更好地实现时频局部化分析,能同时提高时间

分辨率和频率分辨率,表达式为:

$$S(\tau,f)=\int_{-\infty}^{\infty}h(t)$$
$$\left\{\frac{|f|}{2\pi}\exp\left[-\frac{f^2(\tau,t)^2}{2}\right]\exp(-2\pi ift)\right\}dt\quad(1)$$

式中: $h(t)$ 为地震信号; $f$ 为频率,Hz; $\tau$ 为时窗函数的中心点。

分频解释技术主要利用谱分解得到的两种类型的数据体:调谐体和离散频率能量体。离散频率体与常规数据体在垂向上均为时间,但离散频率体只包含单一的频率成分,可以通过不同频率能量的变化来研究储层的垂向分布。调谐数据体是沿层或对两层之间进行短时窗离散傅氏变换,生成在垂向上频率连续变化的振幅数据体。平面上研究储层在调谐体上不同频率上的响应,可以发现很多常规数据体下地震属性无法获得的信息。

2.1.2 RGB 融合技术

RGB 分频混色技术是指首先对地震数据提取不同频率的属性体,然后将其中 3 个属性体生成切片进行 RGB 混色显示。三维地震数据体通过分频变成四维数据体,又通过融合显示重新变回三维数据体,却突出显示了不同岩性之间的边界,并由颜色区分出了各个岩性组合地质体的形态,这是目前时频分析的最佳成像方式。其具体实现过程是以三基色(红、绿、蓝)原理为基础,每种基色对应 0~255 个等级,任何一种颜色都可以通过基色调融合生成,融合算法的数学模型为  $\{(R,G,B)|0\leq R\leq 255,0\leq G\leq 255,0\leq B\leq 255\}$  共能定义出  $256\times 256\times 256=16\,777\,216$  种颜色。通过融合切片上色标亮度反映岩性变化,色度反映厚度及期次变化。因此,RGB 融合技术非常有利于研究储层边界及河道交切关系。

2.2 单频体优选

离散单频体即调谐频率体。研究表明,不同厚度砂体具有不同的调谐频率,即特定厚度的砂体具有特定的响应频率,在该频率体上提取属性,能更清楚的刻画砂体的边界及内部结构。本文研究靶区砂体的厚度分布在 7~30 m(表 1),结合工区地震资料有效频宽及地震速度选取 20 Hz、40 Hz、70 Hz 三个频率体,对应的调谐厚度能实现目标砂体厚度包络的刻画,分别赋予 R、G、B 三原色。地震属性种类繁多,其中振幅类属性对储层的刻画是最有效的属性之一,因此通过对研究区目的层属性敏感性分析,选取瞬时振幅属性来精细刻画砂体形态。

表 1 地震频率对应调谐厚度表

频率/Hz	地震速度/(m·s <sup>-1</sup> )	调谐厚度/m
20	2 100	26.25
30	2 100	17.50
40	2 100	13.13
50	2 100	10.50
60	2 100	8.75
70	2 100	7.50
80	2 100	6.56

2.3 分频融合效果

从融合切片上,根据颜色的不同,及颜色饱和度的不同,能直接识别出不同沉积期次朵体的边界。图中南部 g、f 朵体为最晚期沉积体,其垂向上厚度最大,单频体上以低频能量为主,融合切片上以红色基调为主;中间蓝色、玫红色为主的朵体为中期沉积体,砂体厚度适中,各频段能量比较均衡;西北角砂体为早期朵体沉积,砂体厚度偏薄,融合切片上以黄白色为主。砂体的融合切片上的形态,符合三角洲沉积砂体发育的平面形态,三角洲根部的曲流河形态清楚,三角洲朵体发育范围、边界及朵体期次易于判别(图 2)。

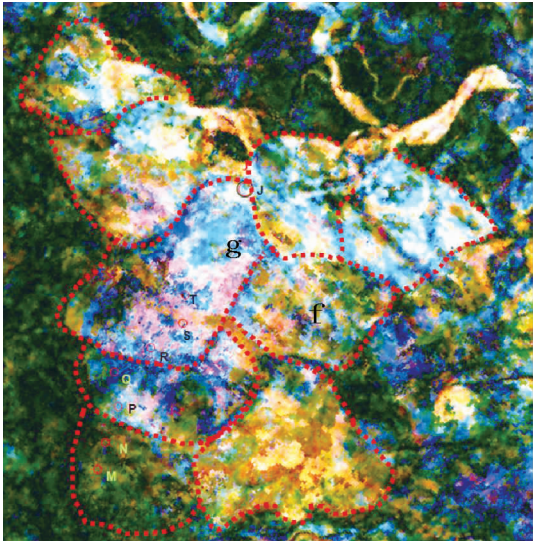


图 2 RGB 融合属性效果

3 沉积微相研究

3.1 早期认识

渤海西部海域明化镇组砂岩沉积厚度从 10~60 m 不等,主要沉积类型有辫状河沉积、曲流河沉积和极浅水三角洲沉积。垂向上看,明下段主要发育单曲流河,少量发育复合曲流河沉积相。明上段主要发育复合曲流河、辫状河沉积相。研究区目标



砂体位于明下段晚期,处于砂体沉积的水动力由弱到强过渡时期,因此沉积微相存在多解性。早期钻遇该砂体的评价井少,但油水界面均不统一,且常规地震属性图无明显形态指示,认为该砂体是高弯度曲流河点坝砂体连片叠切沉积,以孤立点坝砂体模式指导联井对比。随着评价井的增多,这种沉积模式暴露出不少矛盾。在本次研究中,通过高精度河砂融合属性,对沉积微相提出新的认识。

### 3.2 后期认识

砂体精细描述应该认清砂体边界、重建砂体的沉积过程、剖析储层构型、片状砂背景下的河道发育过程及砂体连通性。显然常规的地震属性已经无法满足如此精细刻画的要求。通过多属性融合,以地层切片的方式动态研究砂体发育全过程,才能真正解剖砂体,有利于滚动勘探评价。

探井J井在该层段有取心,岩心以灰绿色粉砂质泥岩、棕褐色层状粉砂岩、细砂岩为主,斜交纹理发育(如图3),初步认为符合三角洲沉积特点<sup>[10]</sup>。从河砂融合切片上能清楚看到砂体形态(图2),主河道与各朵体均清晰可见,朵体沉积间湾刻画清晰。以地层切片方式研究该砂体从早期到晚期的演化过程,可以清楚看到各时期的三角洲朵体叠置过程。从90度相移剖面上也能看到多期砂体叠置的证据

(图4),剖面上能清楚看到早、中、晚期砂体叠置的沉积过程,结合岩心、融合切片及地震剖面,认为该砂体为三角洲沉积<sup>[11]</sup>。结合图2及图5,M井、N井位于三角洲最前端,其砂体沉积顶界面最高,油水界面为-874 m,属于晚期朵体沉积;P井、Q井位于三角洲中前端,其砂体顶界面略低,油水界面为-890 m;R井、S井、T井和J井钻遇三角洲沉积主体,其砂体顶界面最低,油水界面为-900 m。据此分析得出该砂体为水退进积型湖泊相极浅水三角洲沉积。

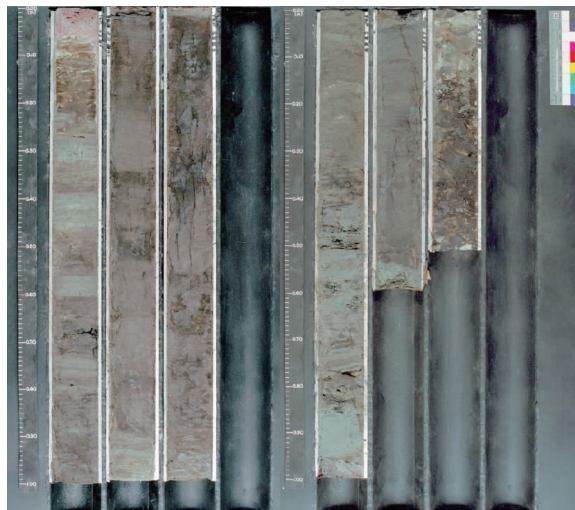


图3 岩芯照片

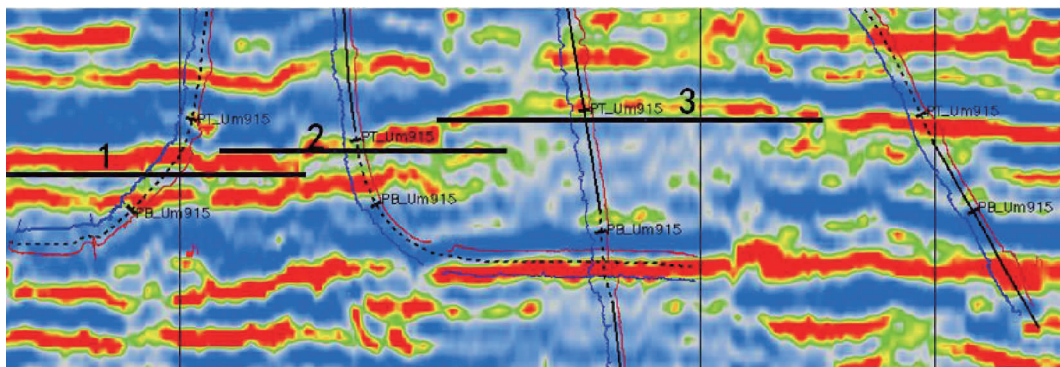


图4 90度相移剖面

## 4 应用效果

### 4.1 小层对比

确定砂体为水退进积型湖泊相极浅水三角洲沉积,砂体的精细小层对比不再以等时沉积原理为标准。早期认为该砂体是高弯度曲流河点坝叠置沉积,砂体小层对比时,将油水界面不统一的井划分为不同的孤立点坝砂体(如图5a)。本次研究后,将砂体小层对比方法以三角洲进积叠置原理对比(如图5b)。依据井上显示砂体顶面高度,及在平面切片

的位置关系,将整个砂体分成三期朵体沉积砂,理清砂体的叠置关系,统一了砂体油水界面,为后期部署调整井提供可靠依据。

### 4.2 砂体精细刻画

砂体早期过路井不多,认为砂体沉积微相是高弯度曲流河点坝砂体连片叠切沉积,砂体追踪过程中,以砂体顶底包络面方式追踪,这种方式以计算线的方式掩盖油水界面不统一的问题,在计算储量过程中产生较大误差,同时给井位部署带来困难。通过本次研究,用新的沉积模式有效指导砂体精细刻

画,将砂体拆分成早、中、晚三期朵体沉积,为精细储

量复算及后期调整井部署提供可靠依据。

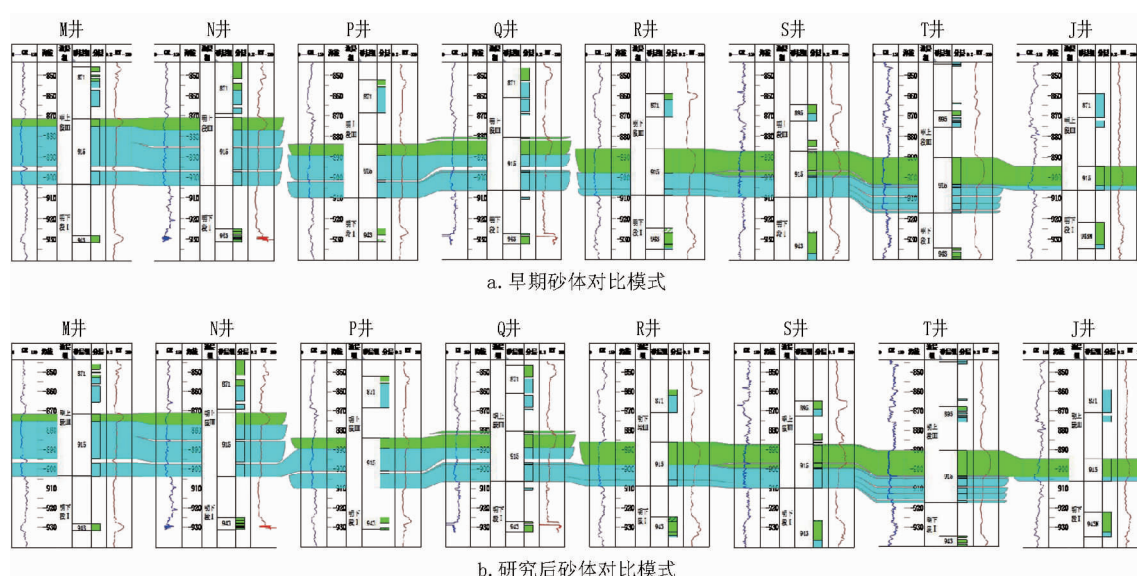


图5 砂体对比模式变化

## 5 结论

(1) 高分辨率、宽频带地震资料及高保幅性处理是实现小尺度河道研究的资料前提,采用倾角导向滤波技术,能有效降噪,突出变化点信息,为后续精细刻画岩性变化带提供资料基础;采用90度相移技术,在此基础上精细追踪砂体,为做等时地层切片提供有力保证。

(2) 分频 RGB 融合切片将砂体内部岩性变化带刻画清楚,有利于直观研究砂体沉积过程和沉积微相,对精细研究砂体有着非常重要的作用。结合取心资料及油藏资料,重新认识砂体的沉积微相,认为该砂体属于水退进积型湖泊相极浅水三角洲沉积微相。

(3) 结合融合属性及取心资料,对砂体的沉积模式有新的认识,认为该砂体属于水退进积型湖泊相极浅水三角洲沉积微相。并用该观点成功解释多套油水界面问题,依据油水界面,将该复合砂体精细拆分成早、中、晚三期朵体沉积,为后期部署评价井提供有力依据。

### 参考文献:

[1] 石文龙,张志强,彭文绪,等. 渤海西部沙垒田凸起东段构造演化特征与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2013,34(2): 242-247.

[2] 彭文绪,张如才,樊建华,等. 渤海海域西部凸起大型雁列

断层特征[J]. 石油地球物理,2011,46(5):795-801.

- [3] 高磊,江涛,王明春,等. “富砂型”浅水三角洲储层预测及其油气成藏模式分析—以渤海西部沙垒田凸起明下段为例[J]. 物探计算技术,2018,40(1):27-35.
- [4] 刘静静,刘震,刘宇,等. 地震分频处理技术预测深水储集体[J]. 石油学报,2016,37(1):80-87.
- [5] 丁继才,姜秀娣,翁斌,等. 基于物理小波时频分析及 RGB 分频混色的高精度频谱成像技术优势分析及应用[J]. 中国海上油气,2015,27(5):27-30.
- [6] 马佳国,侯东梅,王建立,等. 高精度河砂同期展示的关键技术与应用效果[J]. 断块油气田,2017,24(5):623-627.
- [7] 徐德奎,王玉英. 基于倾角导向的中值滤波技术在随机噪声衰减中的应用[C]//中国石油学会2015年物探技术研讨会论文集. 宜昌:中国石油学会石油物探专业委员会,2018:713-716.
- [8] 何瑶瑶,韩兵,张磊. 复杂构造带断层精细描述技术[C]//中国石油学会2015年物探技术研讨会论文集,宜昌:中国石油学会石油物探专业委员会,2018:208-211.
- [9] 陈可洋,吴沛熹,杨微. 扩散滤波方法在地震资料处理中的应用研究[J]. 岩性油气藏,2014,26(1):117-122.
- [10] 朱茂,朱筱敏,曾洪流,等. 冀中坳陷饶阳凹陷浅水曲流河三角洲沉积体系—以赵皇庄—肃宁地区沙一段为例[J]. 岩性油气藏,2017,29(2):59-67.
- [11] 徐中波,康凯,申春生,等. 渤海海域 L 油田新近系明化镇组下段与馆陶组储层沉积微相研究[J]. 岩性油气藏,2015,27(5):161-166.

(编辑 杨芝文)