

# 川南 A 地区复杂叠置型河道地震识别技术及应用

梁国伟, 雷 扬, 吴闻静, 陈明春

(中石化石油工程地球物理有限公司南方分公司, 成都 610041)

**摘要:** 川南 A 地区沙溪庙组河道砂岩沉积特征为三角洲平原—前缘分流相, 河道发育具有典型的纵向多期次、横向叠置复杂、部分砂体厚度薄、物性变化大的特征。前期基于振幅、相干等常规、单一属性识别河道结果与钻井吻合度较低, 严重影响了研究区的开发建产。为了提高河道砂岩钻井符合率, 首先需要解决河道识别精度低的问题。本轮从原始数据品质入手, 开展了像素去噪、谐波拓频等解释性处理技术研究及应用, 提高了资料的信噪比和分辨率, 更加有利于河道砂岩精细识别。同时通过开展基于三色混相的多属性融合分析、时频域频变能量融合分析等关键技术的研究与应用, 对本区复杂河道进行精细识别, 识别结果与前期钻井情况完全吻合, 并指导了后续钻井的部署和突破, 为本区开发建产工作进一步指明方向。

**关键词:** 叠置型河道; 像素去噪; 谐波拓频; 三色混相; 频变能量融合

**中图分类号:** P631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2025.01.03

## 0 引言

我国中西部盆地中生界地层中, 大量发育三角洲沉积体系复杂分流河道, 且河道致密砂岩储层发育、孔隙度较高、含气性较好<sup>[1-3]</sup>, 说明在这类有利储层中含有丰富的油气资源。前人重点针对四川盆地复杂河道识别开展过常规地震属性分析、地震沉积学分析、波形聚类分析、相邻地震能量分析、地震分频解释等多类型方法研究<sup>[4-9]</sup>, 陈恭洋等<sup>[10]</sup>利用“波峰、波谷强振幅反射”等常规属性对渤海湾盆地冀中凹陷沙二段到东营组曲流河道进行了有效识别; 冯斌等<sup>[11]</sup>利用傅里叶变换后的振幅谱和相位谱对胜利油田老 168 井区馆陶组河道砂体进行了准确预测; 张涛等<sup>[12]</sup>开展过曲流河储层内部结构地震沉积学解释方法研究及应用, 利用基于探地雷达的露头探测、点坝复合体三维正演模拟和实际地震资料

相结合的方法对曲流河及内部不同厚度砂体进行了有效识别; 伊振林等<sup>[13]</sup>结合波形聚类、相干体、振幅、频率等常规属性对大庆油田窄小河道进行了识别, 解决岩性勘探需求不高情况下的部分河道识别问题, 以上诸多方法解决岩性勘探需求不高情况下的部分河道识别问题, 但是随着勘探开发程度逐渐加深, 河道复杂度及识别难度也逐渐增大<sup>[14-16]</sup>, 复杂叠置性河道致密砂岩油气勘探的技术需求也是更加迫切<sup>[17-20]</sup>。川南 A 地区叠置型河道就是典型的复杂河道模式, 笔者本轮通过开展像素去噪、谐波拓频等解释性处理技术研究及组合应用, 提高了原始数据的信噪比、分辨率, 更加有利于河道精细识别; 通过开展基于三色混相的多属性融合分析、时频域频变能量融合分析等关键技术的研究与组合应用, 对研究区复杂河道进行精细识别, 弥补了前人的原始地震数据识别河道、常规地震属性识别河道、单一属性识别河道等方法的不足, 最终识别结果经过钻

收稿日期: 2023-09-28

基金项目: 中石化西南油气分公司勘探支撑项目(KT-22-48)

第一作者: 梁国伟(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事四川盆地地震勘探采集—处理—解释一体化综合研究工作, E-mail: hd-lianggw.osgc@sinopec.com。

井验证,河道预测结果可靠性高、识别精度满足勘探开发要求,为后续勘探工作指明了方向。

## 1 研究区概况

川南地区中侏罗统分为上沙溪庙组、下沙溪庙组和凉高山组,上沙溪庙组和下沙溪庙组间是区域性标志层叶肢介页岩,下沙溪庙组与下伏地层凉高山组的湖相泥页岩为整合接触,形成波阻抗差异较大的强反射界面。下沙溪庙组地层主要以砂、泥互层为主,纵向上,从上至下分布三套厚度较大的砂体,砂岩主要以石英砂岩为主,粒度以细粒为主,少量中粗粒。依据钻井岩性、电性及地震属性特征,结合区域地质分析,下沙溪庙组可分为3种沉积亚相,即三角洲平原亚相、三角洲前缘亚相、滨湖亚相;包

含8种沉积微相,即(三角洲平原)分流河道、河口坝、洪泛平原、决口扇、天然堤微相和(三角洲前缘)水下分流河道、分流间湾、河口坝微相、(滨湖)粉砂质泥坪微相沉积。其中以研究区二砂组、三砂组河道砂岩最为典型,总体表现为砂体厚度大、孔隙度相对较高、储层孔隙度平均为3.67%,渗透率平均为0.06 mD,孔渗相关性较好,为研究区有利勘探目标。

川南A地区侏罗系沙溪庙组河道砂岩主要为三角洲平原—前缘分流相,河道发育具有典型的纵向多期次、横向叠置复杂、部分砂体厚度较薄、物性变化大的特征,所以导致地震响应特征多样(图1),常规的地震属性类识别技术无法清晰、有效识别河道边界,更加无法刻画河道内幕的细节信息,导致河道目标的勘探受到严重影响。

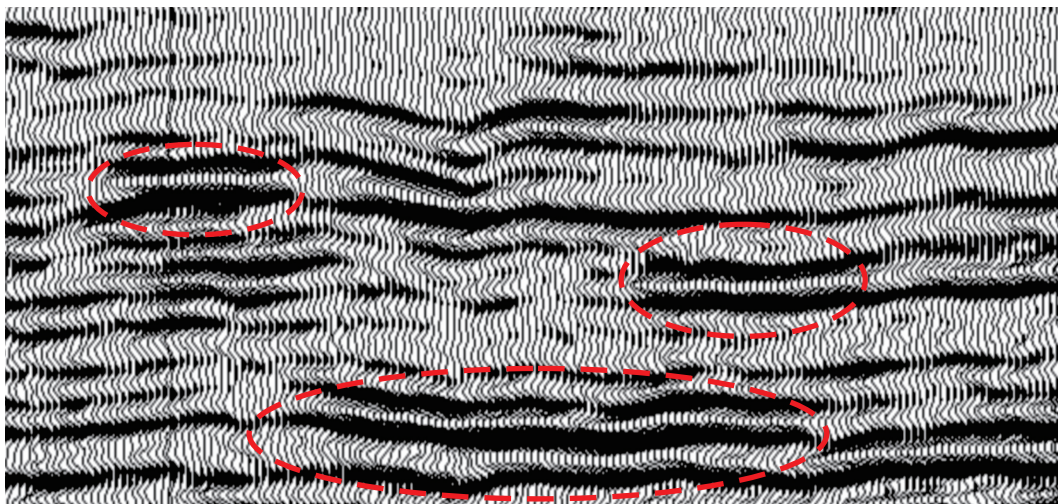


图1 复杂叠置型河道地震响应特征

Fig. 1 Seismic response characteristics of complex stacked river channels

## 2 解释性处理技术

### 2.1 像素去噪处理技术

像素去噪即是典型的单点降噪方法,利用周缘邻区多点信息开展资料信噪比评价和分析,达到自适应降噪的效果,该处理方法是结合了三维像素处理的功能<sup>[21]</sup>,利用各向异性扩散滤波原理及相关技术,针对地震数据体,进行多次循环迭代,逐步接近最终结果的方法,对原始数据体内的随机、系统两类噪音进行压制和衰减,来提高原始地震数据的信噪比,使得地震反射有效波更加明显,一般经过像素去噪处理后,地震数据在识别地震异常响应特征及特

殊地质体方面更加有利。

其基本处理原理如下:

设原始地震数据图像I,噪声图像为J,当前像素点P,坐标为 $(i, j)$ ,为当前像素点P的像素值,与像素点P坐标距离为 $ld$ 的可用信息的方窗。

$$W(p) = \{xi - s, j - t \mid -ld \leq s \leq ld, -ld \leq t \leq ld\} \quad (1)$$

通过公式计算可以获得两个关键参数值 $xi - s, j - t$ ,然后利用两个关键参数就能求出方窗 $Wij(p)$ 与像素点P的近似平均值,最后再通过使用判别函数求取像素点的噪声程度值,达到利用像素识别噪音的目的,对地震数据中的随机噪音和系

统噪声进行检测并通过分布降噪的方法,衰减噪音,提高地震数据的信噪比。

## 2.2 谐波拓频处理技术

谐波拓频是通过采用连续小波变换(CWT)分析原始地震数据,结合连续小波域的多分辨率特点,在原始数据的频谱中优选基准频率,以基准频率为基础,计算需要扩展的频率范围,即子波的谐波信息<sup>[22]</sup>(基波频率的整数倍)。最后将谐波或者次谐波信息添加到原始数据中,对原始地震资料的有效频宽进行拓展,同时保证了资料的信噪比。此类方法对于规模相对较小的特殊地质体如叠置型、窄小河道的识别更加有利。

首先,谐波拓频处理需要对原始地震数据进行连续小波变化处理,对地震数据开展时间序列分析——使得地震道振幅成分能够分解到频率域、相位成分能够分解到时间域。

$$W(\tau, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (2)$$

式中: \* 表示共轭。

其次,通过分析计算出来的子波信息得到谐波信息,并将谐波信息与地震道进行褶积来拓展高频成分相关信息。然后重建从时间域的 CWT 到纯时间函数修正时间序列,保证新生成地震数据有效频宽得到拓展。

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{s}} W(\tau, s) \psi \left( \frac{t-\tau}{s} \right) \frac{ds d\tau}{s^2} \quad (3)$$

添加了谐波信息或者次谐波信息的地震数据经过变换后,重新构成有效频带更宽的拓展后的新数据体。

## 3 复杂河道精细识别技术

### 3.1 基于三色混相的多属性融合技术

基于三色混相的多属性融合技术<sup>[23]</sup>就是首先对地震数据开展多种属性的数学计算,在此基础上,同时考虑各种属性对储层识别的敏感度,结合这些因素进行融合处理分析,得出更加有利于储层识别的优化结果。这些属性数据可以是时域数据、频域数据或同时包含有时频域信息的混合特征数据、衍生属性等。

该技术基于三色融合原理,为青色、洋红色、黄色分别分配 0~255 的强度值,并按不同比例融合,这样则会生成 24 位(256×256×256)色的图像。定义一映射函数 S, S 可对输入的青、洋红、黄三色进

行不同比例匹配,最终形成的融合图中每个点对应某一颜色值,即:

$$ICMY = S(IC, IM, IY) \quad (4)$$

式(4)中:C、M、Y 分别代表青、洋红、黄三基色;ICMY 为不同 IC、IM、IY 组合的输出值;IC、IM、IY 为在以 C、M、Y 为坐标轴的三维空间中红绿蓝三色的密度,根据不同颜色对于河道成像特征反映的程度来开展融合比例的调整,以河道成像效果作为最终评价目标来确定最终不同颜色的融合比例。

三色混相融合技术的优点是能够较好利用地震反射反映地下构造和储层岩性的这种综合响应特征,避免了常规单属性和单色彩无法识别地质异常的问题,进一步增强了地质体多属性综合识别能力,使地下地质体成像更加清晰,具有异常特征突出、地质体细节信息丰富和多属性联合识别的特点。对于复杂、叠置型河道边界及内幕刻画更加有利。

### 3.2 基于小波变换的时频域频变能量融合识别技术

基于小波变换的时频域频变能量融合识别技术<sup>[24]</sup>是频变能量融合处理与体分频处理两项技术的联合运用,既利用频变能量融合处理的强去噪功能,又充分发挥频变能量融合技术的极小时窗性和对地质异常体边界超敏感性,实现相带的清晰成像。通过该方法可观察到同一地质体不同厚度区以及复杂叠置地质体的具体范围,实现特殊地质体整体边界的精细刻画,对相带边界的识别能力明显提高,并可以开展叠置型河道砂体的边界、期次特征、叠置特征的精细识别<sup>[25-26]</sup>。

时频域频变能量融合技术主要流程包括三步:首先对地震数据体开展小波变换,将地震反射成分中的各频率对应的调谐能量有效识别出来,形成对应频率的能量体;其次针对目标地质层系开展频谱分析及不同频带能量聚合度分析;最后利用不同单品分量识别不同级别河道的能力,对需要进行融合的信息进行优选,同时将不同优势频带或敏感单频能量体以落实不同尺度的河道为目的开展融合比例分析,通过分析不同融合比例对于不同规模河道成像精度的要求来确定适宜的融合比例,最终将优势单频体及优选比例开展最终的数据融合分析,进行地质异常体的精细识别(图 2)。

## 4 应用实例

### 4.1 解释性处理技术应用效果

通过开展像素去噪处理的参数对比试验和多次

迭代处理,对原始地震数据体随机噪音、相干噪音压制取得了较好的效果,相对于常规降噪手段而言,像素去噪处理后的地震数据信噪比得到了较大幅度提高,而且对有效波未造成明显损伤(图 3);基于降噪后数据开展谐波拓频处理,处理后数据的频谱表明:低频端、高频端均得到一定程度拓宽,数据体的有效频带宽度由拓频前的 10 Hz~40 Hz 增加到拓频后的 10 Hz~70 Hz,地震数据反映窄小河道的内幕反射信息更加丰富,更加有利于复杂河道的识别。通过井震标定结果可见:经过解释性处理后地震数据井震标定吻合度更高、相关性更强,相关系数由前期

平均 0.67 提高到 0.89,说明拓频处理方法效果较好,更加有利于河道边界、河道内幕刻画和识别(图 4、图 5)。

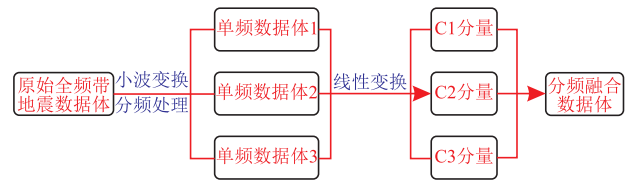


图 2 基于小波变换的时频域频变能量融合技术流程  
Fig. 2 Process of time-frequency domain frequency variable energy fusion technology based on wavelet transform

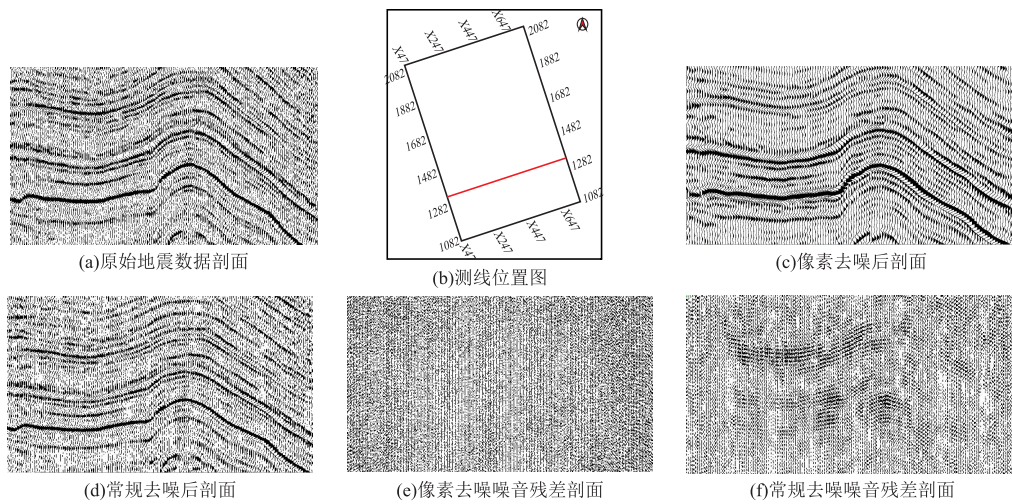


图 3 像素去噪与常规去噪处理效果分析  
Fig. 3 Analysis of pixel denoising and conventional denoising processing effects

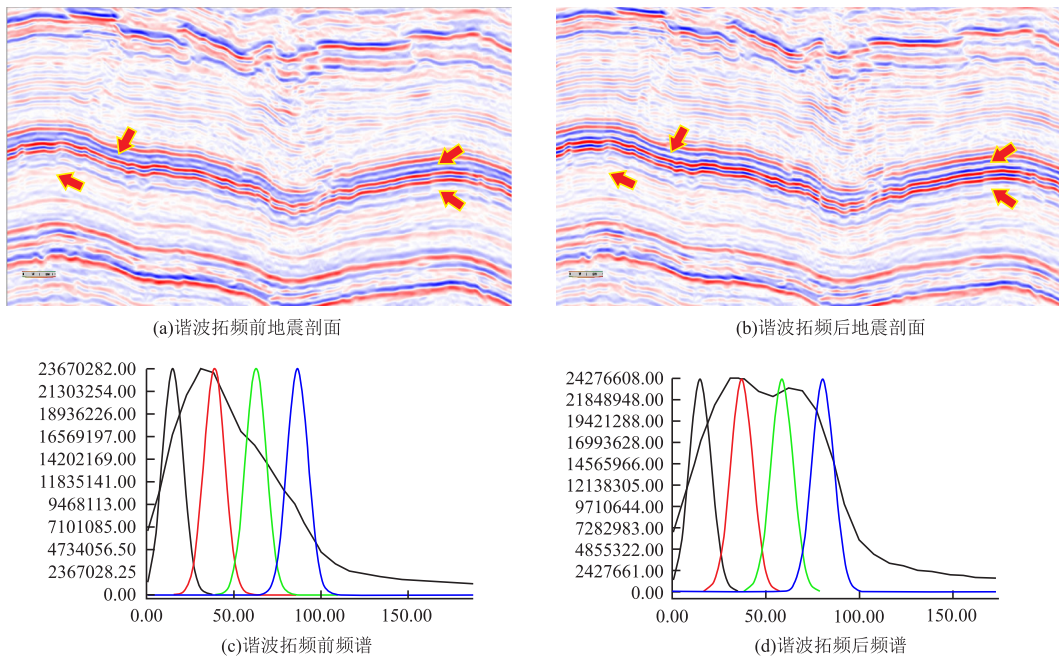


图 4 谐波拓频处理效果分析  
Fig. 4 Analysis of the effect of harmonic extension frequency processing

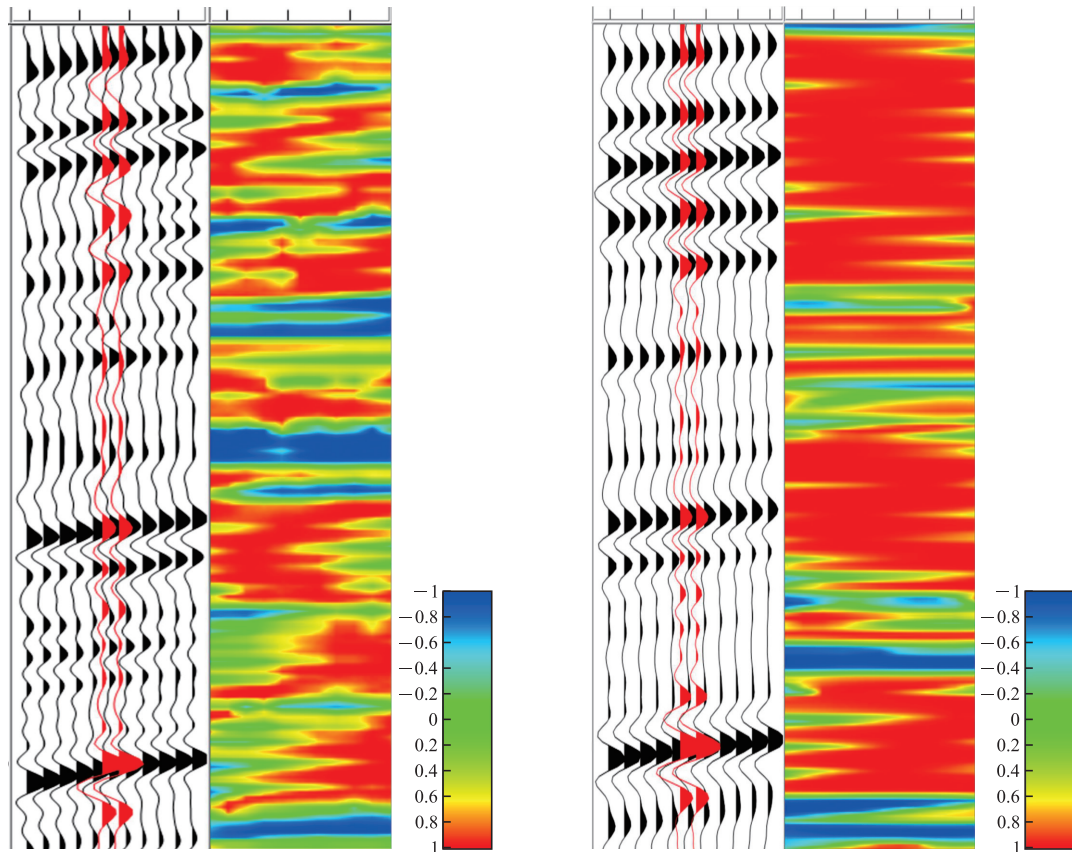


图 5 解释性处理前后井震标定效果分析

Fig. 5 Analysis of well seismic calibration effect before and after interpretive special processing

#### 4.2 基于三色混相的多属性融合技术应用效果

在针对 GD 地区二砂组河道精细识别技术研究中,首先针对处理后数据体进行了振幅体、积分能谱体、相干体 3 类数据体提取,然后进行三色混相多属性融合分析,与常规最大波峰振幅属性对比分析,认为:基于三色混相的多属性融合技术在主河道连续性识别、河道边界刻画、窄小支流河道刻画方面均优于常规振幅属性。

主河道识别方面:常规最大波峰振幅属性对北部主河道可在一定程度上识别,但是到研究区中部,河道走向变得模糊,识别困难,无法判别主河道走向,而南部主河道宽度变窄部位出现了断续特征,仅隐约可见河道走向,对本区研究容易造成误解;而三色混相多属性融合分析结果对于北部、中部、南部主河道、河口坝的发育特征均可较好识别,北部河道在研究区中部出现了河道回流特征,也可以发现二砂组时期,南部、北部主河道发源于不同方向,北部及中部河道发源于北部,河道走向为南北向转东西向,南部河道发源于东部,为东西向转东南向变化,2 条河道识别效果明显、特征清晰(图 6)。

窄小支流河道识别方面:常规振幅属性中,北部多条分支河道振幅特征不清晰,基本无法落实支流河道发育特征;而三色混相多属性融合成像效果中,无论是东西向还是南北向的支流河道边界均清晰可见,同时对于强振幅河道内部振幅减弱导致河道不连续的局部区域,三色混相属性融合方法识别河道变化特征更好,成像效果更佳(图 6)。

#### 4.3 时频域频变能量融合技术应用效果

在川南 A 地区三砂组河道识别方面,时频域频变能量融合技术对多期次河道边界及走向等特征识别较常规单一振幅属性识别结果更加明显。

川南 A 地区目标层埋深 1 800 m~2 400 m,砂体厚度 15 m~35 m,通过对地震数据进行 0 Hz~100 Hz 段的倍频扫描,确定了地震数据优势频带范围主要位于 15 Hz~60 Hz 之间,通过原始数据时频分析,发现:反映沙溪庙组河道地震响应特征的优势频带能量团主要集中在 20 Hz~60 Hz 左右,同时 25 Hz、40 Hz、55 Hz 单频数据相对于全频带原始数据更能有效反映河道对应的“亮点”反射特征,所以选用 25 Hz、40 Hz、55 Hz 对应的单频能量体,分别用红、绿、蓝三色表征不

同单频的数据体,不同单频数据体对应的色彩饱和度及亮度表征了振幅能量的高低(图7)。

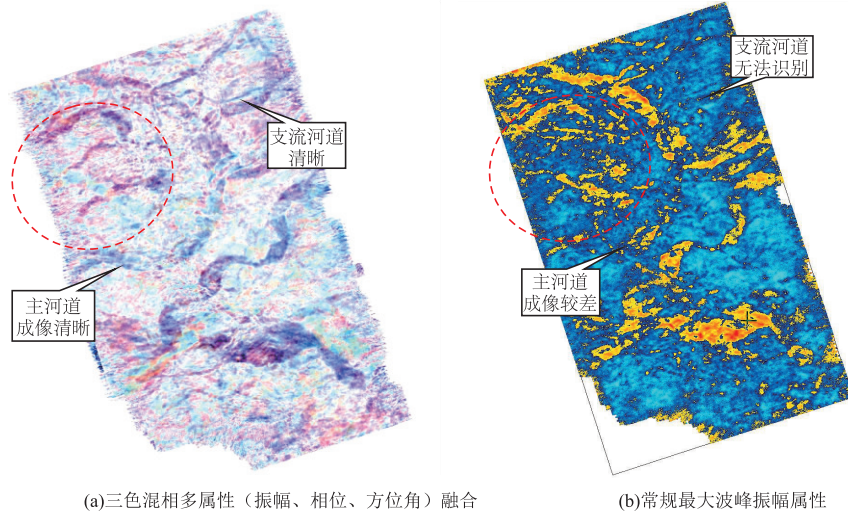


图6 川南A地区二砂组河道识别效果对比分析

Fig. 6 Comparative analysis of the identification effect of the Ersha formation river channel in the GD area of south Sichuan

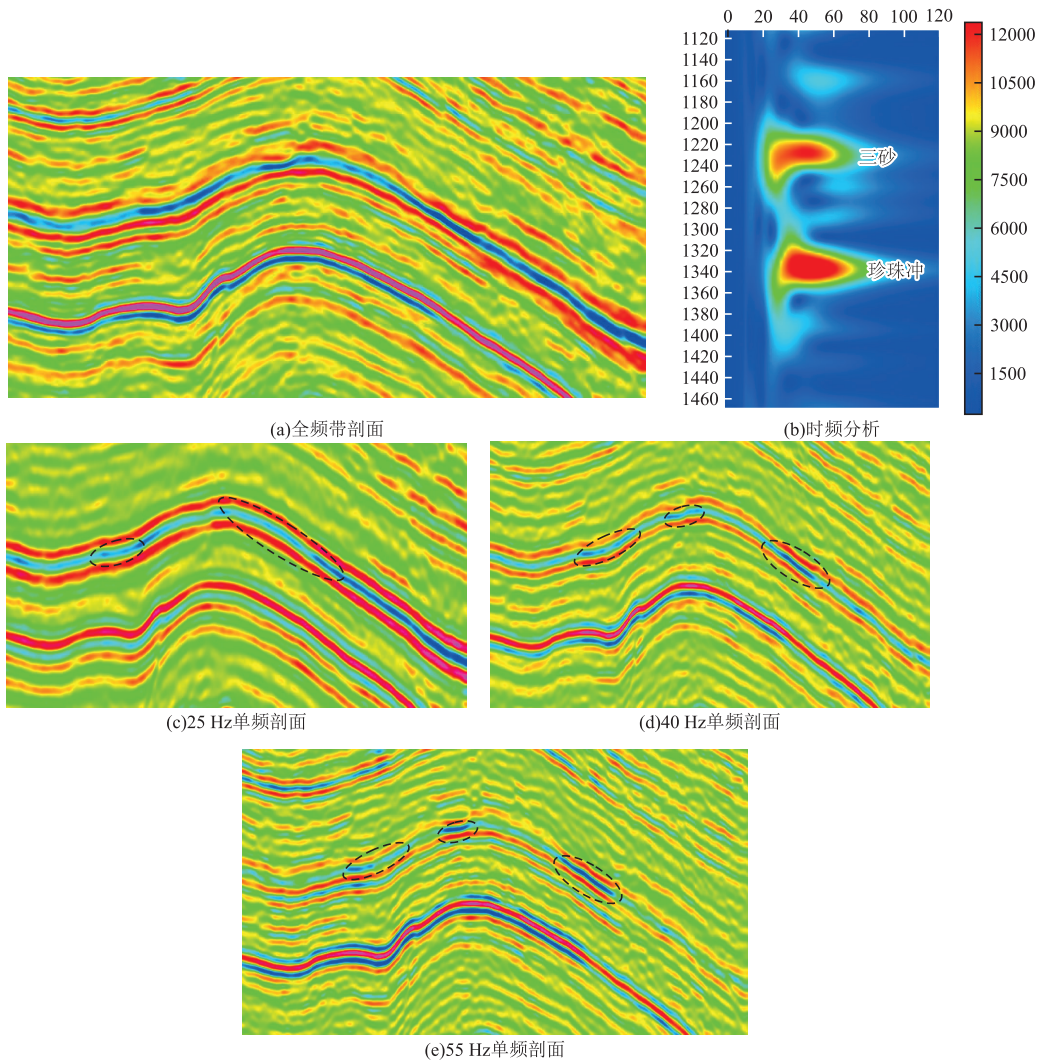


图7 河道响应优势频带时频分析

Fig. 7 Time frequency analysis of dominant frequency bands in river channel response

从融合数据识别河道砂体结果可见:川南 A 地区三砂组发育的河道走向、宽度及内幕变化特征清晰。三砂组河道主要发育在研究区的东部位置,整体呈南北向分布特征,河道宽度呈南大北小的情况,说明了该时期河道发源地在研究区北部,同时主河道整体走向、分支河道发育的位置及走向均清晰可见。与常规最大波峰振幅单一属性识别结果对比,可见:时频域频变能量融合技术识别河道边界、主次

河道接触关系、窄小支流河道发育情况等更加清晰,同时在河道宽度较大、河口坝沉积部位,地质体边界成像得到明显提高。同时,由于时频域频变能量融合分析引入了频率概念,所以河道内部物性、厚度差异也能较好体现,平面上成像亮点区也就是地震数据中的强振幅区域,预示着此类地区的河道砂体厚度较大、物性较好,为后续钻井部署提供了参考(图 8)。

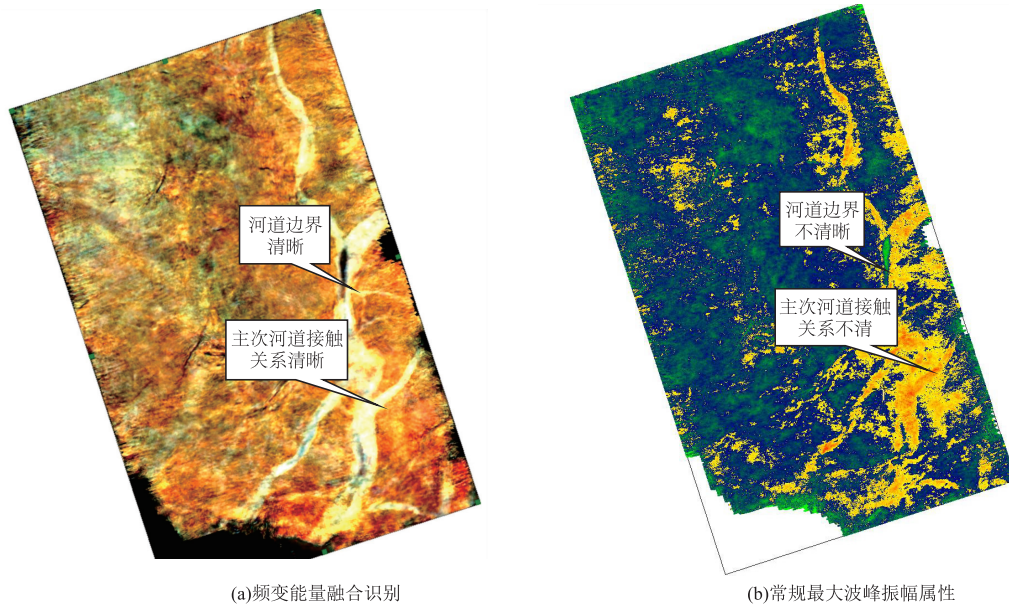


图 8 川南 A 地区三砂组河道识别效果对比分析

Fig. 8 Comparative analysis of the identification effect of the Sansha formation river channel in the GD area of south Sichuan

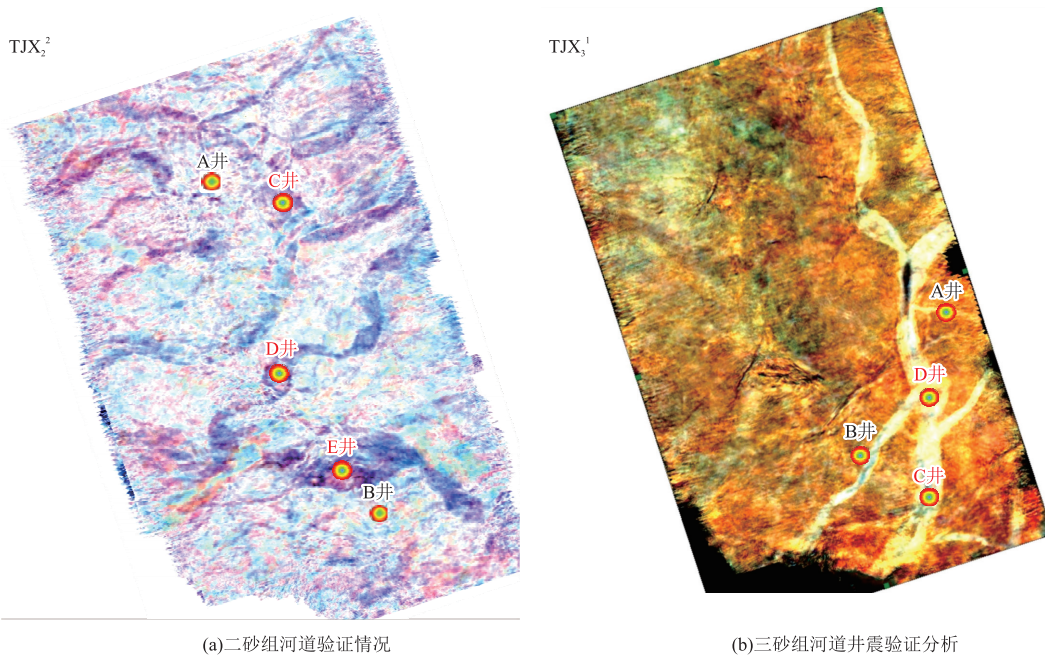


图 9 川南 A 地区钻井验证沙溪庙河道识别精度

Fig. 9 Drilling verification of Shaximiao river channel identification accuracy in the GD area of south Sichuan

#### 4.4 河道识别结果钻井验证分析

结合前期钻井实钻情况可见,新识别河道情况与钻井吻合度相对较高,主要表现为:二砂组目的层前期实施钻井4口,其中A井钻遇规模细小的河道支流位置、B井未钻遇河道,钻井情况为干层及未钻遇目标层,C井、D井钻遇宽度相对较大、砂体发育的主河道位置,均为气井;三砂组目的层前期实施钻井3口,其中A井钻遇细小河道支流位置、B井钻遇支流河道边部位置,均为干井,C井钻遇南部宽大主河道核部,为气井。同时结合新识别河道情况,针对二砂层、三砂层分别部署钻井1口,均钻遇主河道核心位置,并分别获得2.3万方/日、5.8万方/日的工业气流,进一步验证了河道识别结果的可靠性,最终落实了川南A地区纵向7套河道分布情况,预测有利区、较有利区面积530 km<sup>2</sup>,储量合计640亿方,为下一步井位部署和勘探指明了方向(图9)。

## 5 结语

笔者以围绕着川南A地区沙溪庙组河道识别存在问题,通过开展解释性处理及针对性河道识别技术研究及应用,提高了河道识别精度,与钻井实钻情况吻合度较高,为本区下一步勘探开发指明方向。

1)通过开展像素去噪、谐波拓频等解释性处理技术可以提高原始地震资料的信噪比及分辨率,为复杂河道精细识别工作奠定了基础。

2)通过开展基于三色混相的多属性融合分析、时频域频变能量融合分析等关键技术的研究与应用,对研究区复杂河道精细识别起到了关键作用,精确落实了河道的展布情况,并通过实钻分析,确定了河道识别结果的可靠性。

3)落实了川南A地区沙溪庙组多套河道砂组展布情况,预测有利区、较有利区530 km<sup>2</sup>,储层合计640亿方,对研究区油气增储上产提供了支撑,为后续勘探工作进一步指明方向。

#### 参考文献:

[1] 曾洪流,朱筱敏,朱如凯,等.陆相坳陷型盆地地震沉积学研究规范[J].石油勘探与开发,2012,39(3):275-284.  
ZENG H L, ZHU X M, ZHU R K, et al. Guidelines for seismic sedimentologic study in non-marine postrift basins[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 275-284. (In Chinese)

[2] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等.精细层序地层格架与地震沉积学研究:以泌阳凹陷核桃园组为例[J].石油与天然气地质,2011,32(4):615-624.  
ZHU X M, DONG Y L, HU T H, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: A case study of the hetaoyuan formation in the Biyang Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 615-624. (In Chinese)

[3] 董春梅,张宪国,林承焰.有关地震沉积学若干问题的探讨[J].石油地球物理勘探,2006,41(4):405-409.  
DONG C M, ZHANG X G, LIN C Y. Discussion on several issues about seismic sedimentology[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(4): 405-409. (In Chinese)

[4] 武恒志,叶泰然,赵迪,等.川西坳陷陆相致密气藏河道砂岩储层精细刻画技术及其应用[J].石油与天然气地质,2015,36(2):230-239.  
WU H Z, YE T R, ZHAO D, et al. Fine characterization technique and its application to channel sandstone in continental tight gas reservoirs of western Sichuan Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 230-239. (In Chinese)

[5] 姚忠瑞,乔玉雷,毕俊凤.谱分解技术及其在井间储层解释中的应用[J].油气地球物理,2005,3(1):32-35.  
YAO Z R, QIAO Y L, BI J F. The technique of spectral decomposition and its application in cross-well reservoir interpretation[J]. Petroleum Geophysics, 2005, 3(1): 32-35. (In Chinese)

[6] 蔡瑞.谱分解技术在储层预测中的应用[J].CT理论与应用研究,2003,12(2):22-25.  
CAI R. Applications of spectral decomposition technique to reservoir prediction[J]. Computerized Tomography Theory and Applications, 2003, 12(2): 22-25. (In Chinese)

[7] 云美厚,丁伟,王新红.地震水平分辨率研究与应用[J].勘探地球物理进展,2005(2):102-107.  
YUN M H, DING W, WANG X H. Study and application of seismic horizontal resolution[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2005(2): 102-107. (In Chinese)

[8] 薛大力,徐鸣洁,龚姚进,等.地震分频解释技术在沈143井区储层预测中的应用[J].大庆石油地质与开发,2007,26(3):128-131.  
XUE D L, XU M J, GONG Y J, et al. Application of frequency-shared interpretation technique in reservoir prediction of Shen 143 well area[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(3):

- 128—131. (In Chinese)
- [9] 朱庆荣,张越迁,于兴河,等. 分频解释技术在表征储层中的运用[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 104—108. ZHU Q R, ZHANG Y Q, YU X H, et al. Application of spectra decomposition to reservoir characterization[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(3): 104—108. (In Chinese)
- [10] 陈恭洋,陈玲,朱洁琼,等. 地震属性分析在河流相储层预测中的应用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(3): 1—8. CHEN G Y, CHEN L, ZHU J Q, et al. Application of seismic attributes analysis fluvial reservoir to prediction[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2012, 34(3): 1—8. (In Chinese)
- [11] 冯斌,赵峰华,王淑华. 地震分频解释技术在河道砂预测中的应用[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 510—514. FENG B, ZHAO F H, WANG S H. Application of spectral decomposition technique in fluvial sand body prediction[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 510—514. (In Chinese)
- [12] 张涛,林承焰,张宪国,等. 开发尺度的曲流河储层内部结构地震沉积学解释方法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 74—80. ZHANG T, LIN C Y, ZHANG X G, et al. Method for seismic sedimentology interpretation of reservoir architectures on development scale in meandering river [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 74—80. (In Chinese)
- [13] 伊振林. 井震联合窄小河道砂体预测方法研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(1): 19—24. YI Z L. Prediction method of narrow channel sand body in well-to-seismic integration [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2012, 34(1): 19—24. (In Chinese)
- [14] 于正军,董冬冬,宋维琪,等. 相带控制下协克里金方法孔隙度预测[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1581—1587. YU Z J, DONG D D, SONG W Q, et al. Porosity prediction with co-Kriging method controlled by sedimentary facies[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(4): 1581—1587. (In Chinese)
- [15] 曹卿荣,李珮,仝敏波,等. 基于地震正演和属性分析技术预测河道砂体[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2013, 35(4): 69—74. CAO Q R, LI P, TONG M B, et al. Channel sand distribution prediction based on seismic forward modeling and attribute analysis technology[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35(4): 69—74. (In Chinese)
- [16] 蔡希源. 成熟探区油气精细勘探理论与实践[M]. 北京:地质出版社, 2014. CAI X Y. Theory and practice of fine oil and gas exploration in mature exploration areas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014. (In Chinese)
- [17] 赵爽,高倩. 利用相邻地震反射能量组合特征排除“亮点”陷阱:以川西坳陷德阳向斜为例[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1253—1259. ZHAO S, GAO Q. Using adjacent seismic reflection characteristics of the energy mix to exclude “bright spot” Trap: Taking Deyang syncline in western Sichuan depression as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1253—1259. (In Chinese)
- [18] 余振,王彦春,何静,等. 基于叠前 AVA 同步反演和地质统计学反演的高分辨率流体预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(3): 551—560. YU Z, WANG Y C, HE J, et al. A high resolution approach for fluid prediction based on prestack AVA simultaneous inversion and geostatistical inversion[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(3): 551—560. (In Chinese)
- [19] 陈颖频,彭真明,李美惠,等. 基于交叠组稀疏广义全变分的地震信号随机噪声衰减[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(1): 24—35. CHEN Y P, PENG Z M, LI M H, et al. Random noise suppression based on the improved total generalized variation with overlapping group sparsity[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2019, 54(1): 24—35. (In Chinese)
- [20] 杨克明,唐建明,甘其刚,等. 川西致密砂岩气藏预测技术[M]. 北京:科学出版社, 2012. YANG K M, TANG J M, GAN Q G, et al. Prediction techniques of tight sandstone gas reservoirs in west Sichuan basin[M]. Beijing: Science Press, 2012. (In Chinese)
- [21] 邹才能,张颖. 油气勘探开发实用地震新技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2002. ZOU C N, ZHANG Y. New practical seismic technology for oil and gas exploration and development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. (In Chinese)
- [22] 刘立彬,周小平,魏庆,等. 面向小尺度地质目标体的地震信号谐波预测拓频技术及应用[J]. 物探化探计算技术, 2020, 42(4): 460—467.

- LIU L B, ZHOU X P, WEI Q, et al. Technology and application of seismic signal harmonic prediction extension processing for small scale geological target body [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2020, 42(4): 460—467. (In Chinese)
- [23] 陈国飞, 吕双兵. RGB 分频技术在断块油藏断层识别中的应用[J]. *复杂油气藏*, 2015, 8(2): 29—32.
- CHEN G F, LV S B. Application of RGB frequency division technology in the fault identification of fault-block reservoir[J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2015, 8(2): 29—32. (In Chinese)
- [24] 邓伟飞, 赵爽, 赵迪, 等. 四川盆地西部地区窄河道砂岩精细刻画关键技术[J]. *天然气工业*, 2019, 39(1): 96—101.
- DENG W F, ZHAO S, ZHAO D, et al. Key techniques for fine characterization of narrow channel sandstone in western Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(1): 96—101. (In Chinese)
- [25] 王雷, 袁立川, 孟庆岩, 等. 地震波形分类技术在大情字井地区薄砂体预测中的应用[J]. *物探化探计算技术*, 2023, 45(4): 428—434.
- WANG L, YUAN L C, MENG Q Y, et al. Application of neural seismic waveform classification technology in thin Sand Body prediction[J]. *Computing techniques for geophysical and geochemical exploration*, 2023, 45(4): 428—434. (In Chinese)
- [26] 陈思远, 丁蔚楠, 曹俊兴, 等. 中江气田沙溪庙组“暗点”型薄砂岩储层隐蔽机理分析及识别对策[J]. *物探化探计算技术*, 2023, 45(3): 281—288.
- CHEN S Y, DING W N, CAO J X et al. Concealed Mechanism analysis and identification countermeasures of dim-spot thin sandstone reservoir in Shaximiao formation of Zhongjiang gas field[J]. *Computing techniques for geophysical and geochemical exploration*, 2023, 45(3): 281—288. (In Chinese).

### Seismic identification technology and application of complex stacked river channels in the A region of southern Sichuan

LIANG Guowei, LEI Yang, WU Wenjing, CHEN Mingchun

(Sinopec Geophysical Corporation South Branch, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The sedimentary characteristics of the sandstone in the Shaximiao Formation channel in the A area of southern Sichuan are delta plain front distributary facies. The development of river channels has typical characteristics of multiple vertical stages, complex horizontal stacking, thin thickness of some sand bodies, and significant changes in physical properties. In the early stage, the results of identifying river channels based on conventional and single technical attributes such as amplitude and coherence were inconsistent with drilling, seriously affecting the research area's development and production. In order to improve the compliance rate of sandstone drilling in river channels, it is first necessary to solve the problem of low accuracy in river channel identification. Starting from the quality of raw data, this round has conducted research and application on interpretive processing technologies such as Pixel denoising processing and harmonic extension frequency, which has improved the signal-to-noise ratio and resolution of the data and is more conducive to fine identification of river sandstone. At the same time, the complex river channels in this area were finely identified through the research and application of key technologies such as multi-attribute fusion analysis based on three-color mixing and time-frequency domain frequency variation energy fusion analysis. The recognition results were entirely consistent with the previous drilling situation and guided the deployment and breakthrough of subsequent drilling, further pointing out the direction for the development and construction work in this area.

**Keywords:** stacked channel; pixel denoising; harmonic extension frequency; tricolor mixing; frequency dependent energy fusion