

文章编号:0253-9985(2013)01-0095-07

四川盆地西部新场地区须家河组四段 9砂组地震沉积学

张玺华^{1,2}, 陈洪德^{1,2}, 侯明才^{1,2}, 杨经栋³, 林良彪^{1,2}, 陈安清¹, 钱利军¹

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059;
3. 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

摘要:90°相位转换及地层切片技术是地震沉积学的重要研究手段。但实际研究中,小级别地震等时界面难以对比,简单地进行90°相位转换,不能正确反映岩性和地震反射的关系。文中通过分频解释技术对比追踪小级别地震等时界面,在保证合理信噪比的前提下,利用钻井控制的混合相位子波反褶积技术有效地提高了地震分辨率;同时使地震剖面零相位化,明确了地震反射的地质信息。依据该方法对四川盆地西部新场地区须家河组四段9砂组($T_3x^{4(9)}$)展开地震沉积学研究,认为 $T_3x^{4(9)}$ 砂组内砂体普遍发育,水下分流河道不断地迁移改道,致使砂体互相叠置;根据砂体的延展方向,判断物源主要为北部龙门山岛链,其中由于多期水下分流河道叠置,新场地区中部砂体厚度最大。由于砾岩抗压实性能够对砂体的孔隙起到保护作用,新场地区中部水下分流河道叠置区的砂体物性较好,为勘探有利区。

关键词:90°相位转换;地层切片技术;分频解释;地震等时界面;地震沉积学;须家河组;新场地区;四川盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Seismic sedimentology of the 9th sand group in the 4th member of the Triassic Xujiahe Formation in Xinchang area of the western Sichuan Basin

Zhang Xihua^{1,2}, Chen Hongde^{1,2}, Hou Mingcai^{1,2}, Yang Jingdong³, Lin Liangbiao^{1,2}, Chen Anqing¹ and Qian Lijun¹

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Development Engineering, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Research Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Huabei Oil Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: The 90° phase conversion and slicing techniques are two important seismic sedimentology research approaches. However, tracing and correlation of small-scale isochronal seismic interfaces are challenging in reality, as the 90° phase conversion technique could not correctly reflect the relationship between lithology and seismic responses. The solution to the problem is to use SpecDecomp technology to trace the small-scale isochronal seismic interfaces and then improve seismic resolution with drilling-constrained mix-phase wavelet deconvolution technology while ensuring a rational signal-to-noise ratio. During the process, the seismic section is dephased and geological information is extracted from seismic responses. The new approach had been applied to the study of the 9th sand group of the fourth member of the Xujiahe Formation($T_3x^{4(9)}$) in Xinchang area of western Sichuan Basin. The result shows that sandbodies are well developed inside the group and are superimposed with one another as the underwater distributary channels moved and shifted frequently. According to the extension direction of the sandbodies, the authors judge that the Longmengshang island group in the north is the provenance. The central Xinchang area contains the thickest sandbody of all as a result of the superimposition of multiple

收稿日期:2012-08-20;修订日期:2012-12-31。

第一作者简介:张玺华(1982—),男,博士研究生,沉积学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40739901);国家科技重大专项(2011ZX05002-004);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20115122110002)。

phases of underwater distributary channels. As the compaction resistance of conglomerate can protect the pores of sandstone, the sandbodies in areas with superimposed underwater distributary channels have favorable physical properties, therefore are considered potential exploration targets.

Key words: 90° phase conversion, slicing, SpecDecomp, isochronal seismic interface, seismic sedimentology, Xujiahe Formation, Xinchang area, Sichuan Basin

随着隐蔽油气藏勘探开发的不断深入,地震地质综合解释分析技术已经广泛应用到小尺度的油气藏勘探中,从而产生了地震沉积学^[1-5]。曾洪流、Henry 和 Riola 等人指出地震沉积学是在沉积规律的指导下,运用 90° 度相位旋转、时频分析技术及等时切片技术来进行沉积学研究的一门学科^[1-8]。地震沉积学相对于地震地层学来说是运用高分辨率地震资料进行高频层序(准层序),大致相当于砂层组级别地层单元的沉积现象分析。

在复杂地质条件下(地表地震采集条件及复杂下地质构造),地震沉积学目前存在几个值得深入关注的问题:①在小尺度地层单元内,由于地震分辨率的原因,确定对比追踪等时沉积地震反射层是非常困难;②地震沉积学解释的一个重要前提是地层切片分析必须位于一个沉积等时段

里。所谓沉积等时面是指在一个相对稳定的相同地质时期里沉积的地层面。而在复杂地质条件下,用于解释的地震数据通常是非零相位的,这就造成地震反射同相轴的地质意义不清晰,不利于地质—地震的精细标定^[7-11]。本文以川西新场地区 $T_3x^{4(9)}$ 砂组为例,针对上述问题提出了一整套解决方案。

1 地质概况

上三叠统须家河组是四川盆地天然气主要勘探层系之一,其中多口钻井在新场地区须四段钻遇工业气流,表明该地区须四段有较大勘探前景。新场地区须家河组四段分为上、中、下 3 个亚段,其中上亚段主要由三套砂岩夹泥页岩组成,中亚段以泥页岩为主,夹薄层碳酸盐岩岩屑砂岩,下亚

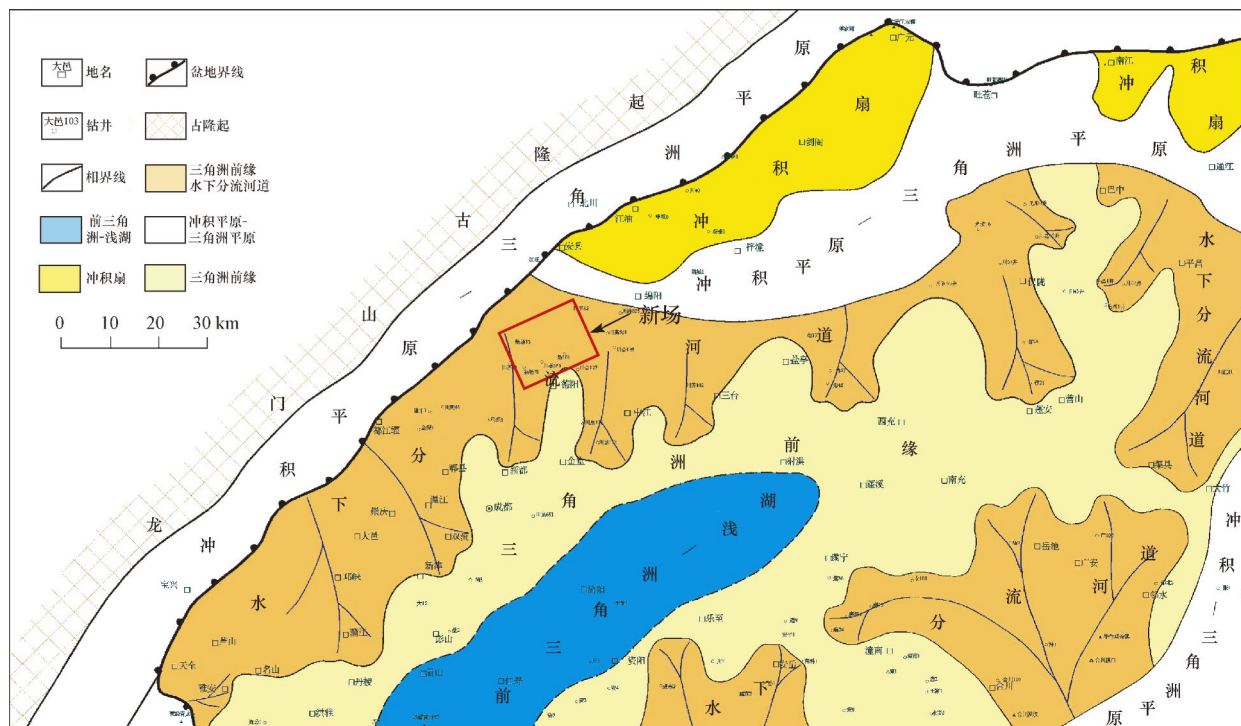


图1 研究区位置及区域岩相古地理

Fig. 1 Location and regional lithofacies paleogeographic map of the study area

段主要由砾岩、砂岩组成,夹少量的页岩和泥岩。经钻井实践证明,须四上亚段砂岩储层主要产水,须四下亚段砂岩为本区主要含气天然气勘探目的层。

通过地质、钻井资料分析,新场地区须四下亚段整体属于三角洲前缘沉积,沉积微相类型为水下分流河道、分流间湾、及河口坝等。其中水下分流河道砂体为最好的储集体。研究区物源主要由古龙门山系提供,物源供给方向为工区东北部及西北部。新场须四下亚段包括 $T_3x^{4(8)}$, $T_3x^{4(9)}$ 和 $T_3x^{4(10)}$ 3 个砂层组。其中 $T_3x^{4(8)}$ 厚度为 5~10 m,地震反射特征不明显,不易对比追踪; $T_3x^{4(9)}$ 砂组岩性以砂砾岩为主,中间夹泥岩,是该地区最重要的含气砂组; $T_3x^{4(10)}$ 砂组砂、砾岩最不育。

2 基于地震分频技术的层位对比

在一个相对稳定的沉积背景下,相同地质时期内沉积地层的地震反射才能用于制作地层切

片。地震层位的不同解释方案对地震属性切片的影响很大,因而要求地震反射层的解释必须具有较高的准确性。地震沉积学中利用分频技术确定沉积等时面^[5-14],其目的是在利用合成记录进行层位标定的基础上,对比追踪等时地震参考同相轴。分频地震解释的一个原则是,当高频、低频剖面上出现了反射位置相同、产状一致的同相轴,并且要符合研究区地质规律的解方案,那么认定它是一个平行于沉积等时面的等时参考同相轴^[14-17]。

本文采用的分频技术是将一个地震剖面,分解成不同主频的子波剖面(图2)。处理前的地震剖面(图2a),左下角原解释方案为上覆地层上超,同时在剖面中部解释为须四下亚段的水下分流河道。但地震剖面经过分频处理后,须四段底界面的连续性增强,原解释方案调整为须四段底界被须三段地层的削截,这种削截的地震反射特征恰好对应须三段与须四段时期的安县运动造成的构造不整合面,可见分频技术处理后的方案更符合地质规律,更具合理性。

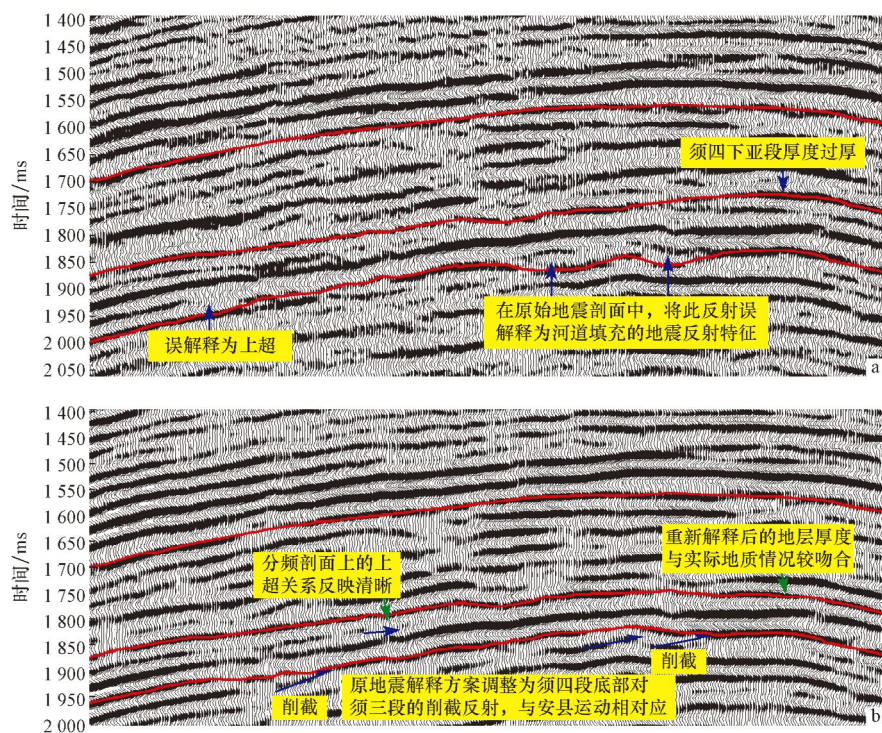


图2 分频处理前、后的地震剖面对比

Fig. 2 Comparison of seismic sections before and after the SpecDecomp

a. 分频处理前地震剖面;b. 分频处理后地震剖面

3 井控提高地震资料分辨率处理技术

地震沉积学中,应用 90° 相位转换技术识别岩性,但是在复杂地质条件下,地震资料往往不是零相位的。本次采用井控提高分辨率方法来解决这一问题。该手段采用混合相位子波反褶积技术,将频谱拓宽的同时,也可以使地震剖面近零相位化。该技术具有的优势包括^[7,12]:①用信噪比做参考,定义希望输出,合理挖掘高频潜力;②用井曲线作监控,使提高分辨率更具合理性;③用提高分辨率后的频谱做质量监控;④输入子波相位特征的合理性,由反褶积后零相位化的最小熵准则和井曲线监控。

图3为井控提高分辨率的处理过程,其中提取子波和希望输出子波振幅谱的定义是关键。使用复赛谱技术交互完成子波提取,它能够保证提取的子波振幅谱准确客观。子波相位谱由振幅谱计算与相位特征交互完成,并用最小熵准则衡量零相位化的程度,对相位选择的合理性进行监控。

希望输出形态采用谱模拟的思想,人工定义,确保合理的信噪比水平(图3a)。从图3可以看出,原始地震子波为非零相位子波(图3b蓝色子波),而通过井控提高分辨率技术处理后的子波(右侧红色子波)为零相位子波。与左下侧原始地震剖面相比,右下侧地震剖面的地质信息更丰富(图3c)。同时,该技术利用测井曲线作监控,防止地震假信息的产生,多出的地震同相轴,最大限度的反映出地下地质现象。与原地震剖面相比,井控提高分辨率处理后的资料,同相轴的分叉、断开及交汇更为清晰,说明不但地震资料的纵向分辨率得以提高,横向分辨率也得以扩展。

图4a为提高分辨率前的地震剖面,黄框之内地震反射表现为砂泥岩薄互层产生复合波反射;但在井控提高分辨率处理之后(图4b),地震剖面上基本反射波形保持原来特征,而薄层反射的复合波被分开,同相轴的合并和分叉点更为明显。对于地震沉积学及地震储层预测来讲,井控分辨率技术将更为有利于解释人员进行沉积相分析,地震属性分析及储层反演等。

根据沉积学原理,每一期河道的下部往往是

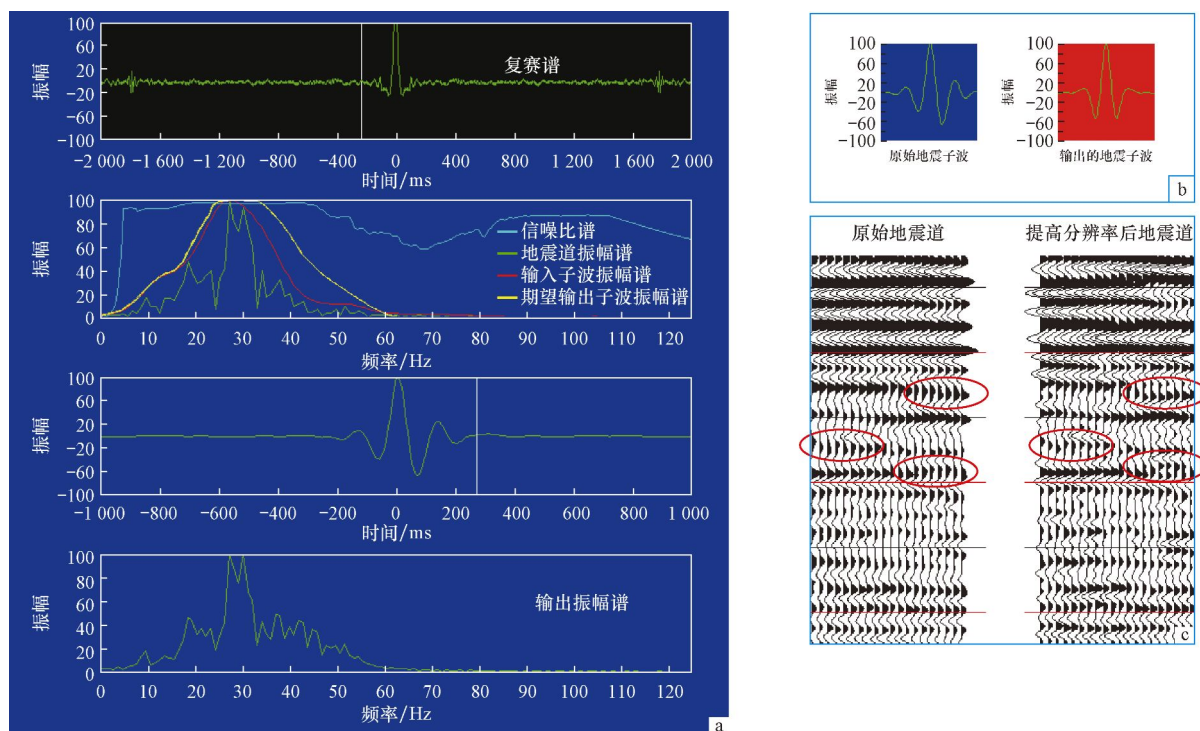


图3 利用XC22井进行井控提高地震分辨率处理及效果对比

Fig. 3 Procedure and result comparison of well-constrained improvement of seismic resolution in Well XC22

a. 利用XC22井提高分辨率处理; b. 原始子波与提高分辨率后子波对比; c. 原始地震道与提高分辨率后地震道对比

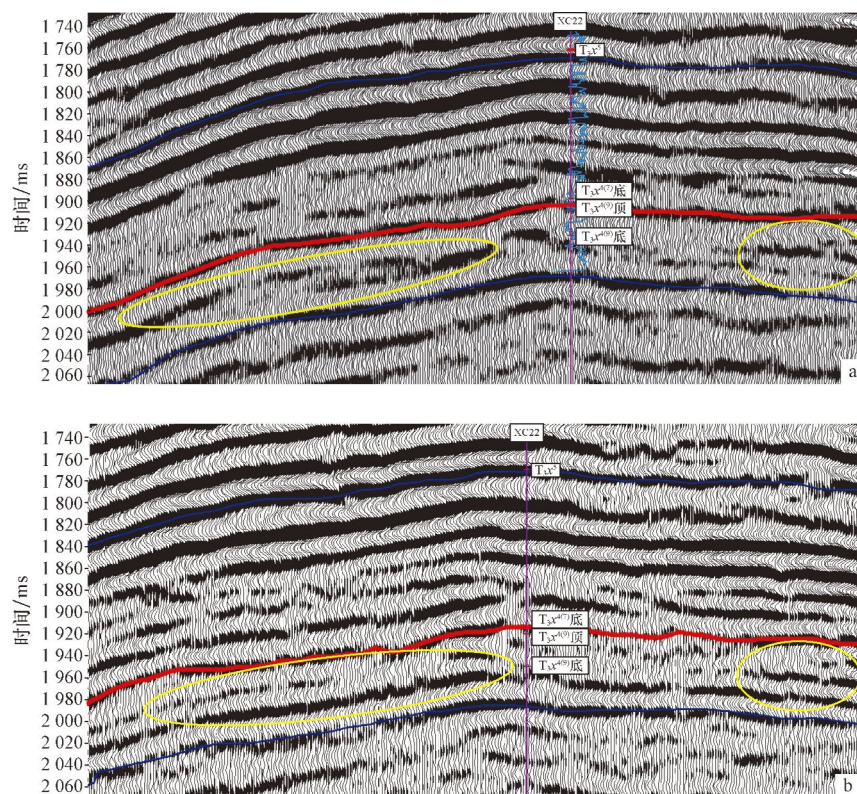


图4 提高分辨率处理前、后的地震剖面对比

Fig. 4 Comparison of seismic sections before and after resolution-improving processing

a. 提高分辨率前的地震剖面; b. 提高分辨率后的地震剖面

砾岩及中粗砂岩的沉积,而河道的顶部沉积则为细粉砂岩-泥岩。对于多期叠置河道而言,由于后期河道对前期河道的冲刷,致使前期河道顶部的泥岩被侵蚀,河道仅能保留下部的砾岩、中粗砂岩及顶部薄层的细砂岩,而最终能够形成储层的

则为河道下部的中粗砂岩。鉴于井控提高分辨率处理技术具有使子波零相位化的特点,对过 XC22 井提高分辨率后的地震剖面进行 90° 相位转换 (图 5)。转换后的地震剖面波谷对应极低的自然 GR 值,指示粗砂岩及砾岩;波峰对应高自然 GR

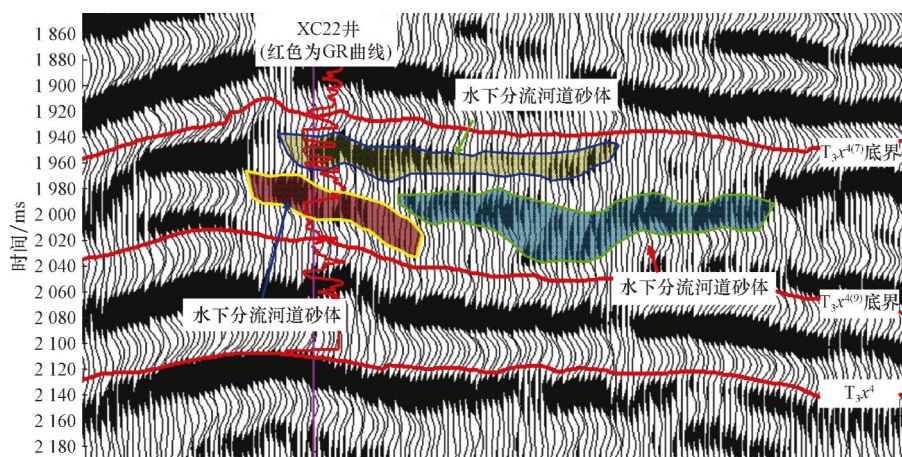
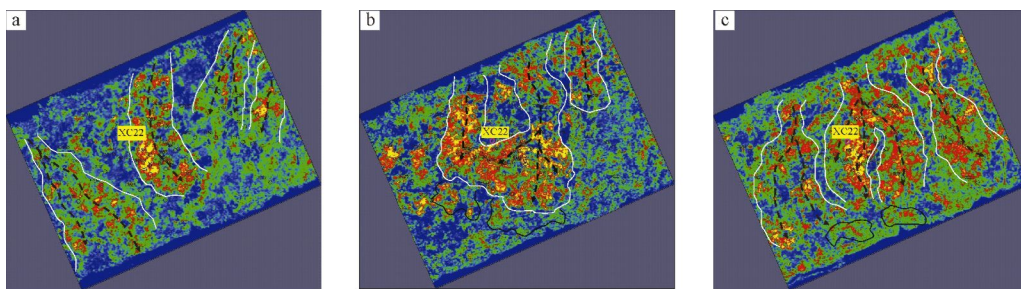


图5 XC22 井地震-地质层位标定

Fig. 5 Seismic-geological horizon calibration in Well XC22

图6 新场地区 $T_3x^{4(9)}$ 砂组典型地层切片Fig. 6 Typical slice of $T_3x^{4(9)}$ sand pay in Xinchang area

a. 水下分流河道; b. 河口坝、水下分流河道; c. 河口坝、水下分流河道

值,指示细粉砂岩及泥岩。90°相位转换虽然不能提高地震分辨率,但是它可以搭建地震反射和岩性较好的对应关系。通过转换相位的地震剖面解释,对叠置河道的形态及沉积微相的边界有了更好的识别。

4 地震沉积学解释

应用地层切片技术进行沉积学方面研究的原理及理论已经被广泛应用,在此不再累述。在钻井的控制下,基于井控提高分辨率的90°相位旋转地震数据体,从 $T_3x^{4(9)}$ 砂组的多张地层切片中自下而上选取了3张典型地层切片,进行沉积相的解释(图6)。其中红色-黄色代表负的强振幅,指示砂砾岩,蓝色代表正振幅,指示泥岩。

根据强负反射指示,研究区此时水下分流河道砂体呈条带状分布(图6a)。河道由北西至南东及北东至南西向延伸,根据砂体的延伸方向判断,物源主要来自研究区北部的龙门山岛链,其中研究区西北部主要为正振幅反射,预测西北部为分流间湾泥岩沉积。从该地层切片上分析,XC22井属于水下分流河道沉积,与钻井情况较吻合。

蓝色的正反射区域扩大,表明此时发生水侵。水下分流河道砂体较前期发生退却。工区内北东—南西向水下分流河道在中部交汇,砂体发育,XC22井属于分流间湾沉积微相(图6b)。

水下分流河道普遍发育,致使工区内砂体普遍发育,且河道较前期出现明显的迁移改道。工区南部局部发育河口坝沉积。从该地层切片上分析,XC22井属于水下分流河道沉积,与钻井情况吻合(图6c)。

通过地层切片分析,新场地区 $T_3x^{4(9)}$ 砂组水下河道沉积微相较发育,水下分流河道不断地迁移改道,致使该区 $T_3x^{4(9)}$ 砂组砂体普遍发育。3张地层切片均反映砂体的延伸方向整体为由北至南,这种规律与须三段期末至须四期研究区以北的龙门山强烈隆升(安县运动)为川西地区提供大量粗颗粒碎屑物质有关。其中研究区中部由于受到不同期次的水下分流河道沉积影响,砂体累计厚度最厚,且砂砾岩叠置,由于砾岩的抗压实性较强,有益于保存砾岩中所夹砂岩的孔隙,研究区中部形成相对较好的储层。

5 结论

1) 等时地震反射界面的对比是地震解释的基础。当构造复杂且沉积相变化较快时,例如河道的改道,冲侵,导致层位难以对比追踪,基于分频方法的层位解释技术能较好的排除假象,达到等时地震反射界面的精确解释的效果。

2) 由于地震采集处理的复杂性,用于解释的地震资料的子波往往是非零相位的。导致地震反射的地质意义不明确。井控提高分辨率可以较好的解决地震沉积学的适用性问题。该技术在扩宽频谱的同时,使地震剖面近零相位化。在此基础上进行相位旋转,可以确定地震发射的地质意义。

3) 在分频层位解释及井控提高分辨率的基础上,利用地层切片进行沉积学解释能解决较小区域地层单元内的地震沉积学适用性问题,具有较好的应用前景。四川盆地西部新场地区 $T_3x^{4(9)}$ 砂组内砂体广泛发育,根据砂体的延展方向,预测物源为安县运动中处于强烈隆升状态的龙门山岛

链。新场地区中部由于多期水下分流河道叠置,砂体厚度最大,且由于砾岩抗压实性能够对砂体的孔隙起到保护作用,为相对优质储层的发育区域。

参 考 文 献

- [1] Zeng Hongliu, Charles Kerans. Seismic frequency control on carbonate seismic stratigraphy: A case study of the Kingdom Abo sequence, west Texas[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(2): 273-293.
- [2] Zeng Hongliu, John A, Katherine. Geomorphology-based automated seismic facies analysis[J]. SEG, 2002, 1-4.
- [3] Zeng Hongliu, Stephen C Henry, John P Riola. Stratal slicing, part II: Real 3-D seismic data[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514-522.
- [4] Zeng Hongliu, William A, Ambrose. Seismic sedimentology and regional depositional systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela[J]. The Leading Edge, 2001, 11(2): 92-108.
- [5] 张义娜, 朱筱敏, 刘长利. 地震沉积学及其在中亚南部地区的应用[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 74-79.
Zhang Yi'na, Zhu Xiaomin, Liu Changli. Seismic sedimentology and its application in south area of central Asia[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 74-79.
- [6] 陈海清, 范金源. 地震资料解释新技术在柴达木岩性勘探中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(1): 78-84.
Chen Haiqing, Fan Jinyuan. Application of new techniques of seismic data interpretation to lithologic exploration in Qaidam basin. [J]. ogp, 2008, 43(Supplement 1): 78-84.
- [7] 应明雄. 地震沉积学在塔巴庙 D 气田的应用研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
Ying Mingxiong. The application and study of seismic sedimentology in gas fields Tabamiao D[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology 2009.
- [8] 刘喜武, 宁俊瑞, 刘培体, 等. 地震时频分析与分频解释及频谱分解技术在地震沉积学与储层成像中的应用[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(5): 1679-1688.
Liu Xiwu, Ning Junrui, Liu Peiti, et al. Application of time-frequency analysis, frequency-dependent interpretation, and spectral decomposition in seismic sedimentology and reservoir imaging[J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(5): 1679-1688.
- [9] 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 Chunmei, Zhang Xianguo, Lin Chengyan. Discussion on several issues about seismic sedimentology[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(4): 405-409.
- [10] 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 69-71.
Lin Chengyan, Zhang Xianguo, Dong Chunmei. Concept of seismic sedimentology and its preliminary application[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 69-71.
- [11] 李庆忠, 张进. 岩性油气田勘探——河道砂储集层的研究方法[M]. 山东青岛: 海洋大学出版社, 2006: 130.
Li Qingzhong, Zhang Jin. Exploration method of lithological oil and gas field: knowledge of continental river channel system reservoir[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2006: 130.
- [12] 韩喜, 高兴友, 车廷信, 等. 利用地震属性沿层分析方法研究河流相沉积环境[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 120-124.
Han Xi, Gao Xingyou, Che Tingxin, et al. Using horizon attributes to study fluvial depositional environment[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(1): 120-124.
- [13] 张军华, 周振晓, 谭明友, 等. 地震切片解释中的几个理论问题[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(3): 348-352, 361.
Zhang Junhua, Zhou Zhenxiao, Tan Mingyou. Discussions on several issues in seismic slice interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(3): 348-352, 361.
- [14] 钱荣钧. 对地震切片解释中一些问题的分析[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 482-487.
Qian Rongjun. Analysis on some problems in stratal slice interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(4): 482-487.
- [15] 陈汉军, 叶泰然, 郭伟, 等. 云南曲靖盆地浅层气藏地震储层预测及勘探前景分析[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 207-213.
Chen Hanjun, Ye Tairan, Guo Wei, et al. Seismic reservoir prediction and exploration prospect analysis of shallow gas reservoirs in the Qujing Basin, Yunnan province[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 207-213.
- [16] 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 Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, 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.
- [17] 徐强, 王英民, 吕明, 等. 陆架边缘三角洲在层序地层格架中的识别及其意义——以南海白云凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 733-742.
Xu Qiang, Wang Yingmin, Lv Ming, et al. Identification and significance of shelf margin delta in sequence stratigraphic framework: a case study of Baiyun Sag, South China Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 733-742.

(编辑 董立)