

文章编号: 1001-1749(2023)06-0747-10

叠前地震保真高分辨率处理技术在西南某地页岩气微幅裂缝中的应用实践

徐明华, 付建元, 何良盛

(中国石油 川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院, 成都 610056)

摘要: 研究区页岩气地质条件复杂, 具有非均质性很强, 储层薄且横向分布不稳定等特征。常规地震处理方法得到的结果分辨率低, 无法识别薄层、地层尖灭点、微幅裂缝。为了解决这些问题, 这里利用保真高分辨率地震处理技术对研究区页岩气的地震资料进行处理, 该技术将叠前谱蓝化校正、AVA 振幅校准、道集剩余噪音衰减、剩余时差校正、叠前剩余多次波压制和高精度井震标定定量质控等方法有序结合, 能够有效提高复杂地震资料的分辨率、信噪比和保真度。处理结果证明, 该方法能够提高该地区地震资料的分辨率、井震相关系数。同时, 增强了薄层的可解释性、同相轴的连续性、尖灭点的准确性、断层检测的可靠性。

关键词: 页岩气; 薄储层; 高分辨率; 高保真度; 谱蓝化校正; 振幅校准; 定量质控

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.06.07

0 引言

研究区页岩气区块位于川西南古中斜坡低陡褶皱带, 西北高东南低, 属深水陆棚相沉积。区块内龙马溪组页岩储层分布稳定、厚度大, 页岩储层品质优、参数好, 保存条件较好; 目标层龙一 11 小层的层理极其发育且厚度薄, 导致优质储层钻遇率偏低; 水平井的靶窗小(3 m~8 m)且横向变化大, 井眼轨迹控制难度大; 龙马溪组地层虽然无大型断层, 但存在地层上倾、小断层等异常地质构造, 地质导向钻井随钻测井解释结果与前期地震资料存在差异, 造成井眼轨迹频繁调整, 易造成脱靶, 且还存在套变等异常工程问题。因此, 迫切需要保真高分辨率地震数据进行薄层精细解释、储层精细描述、天然裂缝预测等, 为水平井轨迹设计、钻井地质导向等工程服务^[1-5]。目前针对页岩气地震资料处理没有特殊的手段和流

程, 更强调是 OVT 域偏移, 更多注重构造恢复及裂缝响应, 本次研究注重于在常规处理基础上保真保幅提高地震资料分辨率。

1 原地震数据存在的主要问题

研究区岩气区块目前的地震数据主频低、带宽窄(目的层主频 25 Hz), 地震分辨率难以满足薄层精细解释、裂缝识别和储层甜点预测的要求; 同时 CRP 道集数据还存在着振幅异常、剩余时差、剩余多次波等问题^[6-9]。

1.1 原偏移地震数据分辨率较低

总体来看, 原偏移地震数据品质较好, 频率信息丰富, 有效高频达到 80 Hz 以上。由于地层吸收作用, 地震子波在传播过程中高频衰减较大, 根据褶积模型原理, 地震信号是反射系数频谱同子波频谱的乘积, 导致地震信号高频成分被压制, 但目的层分辨

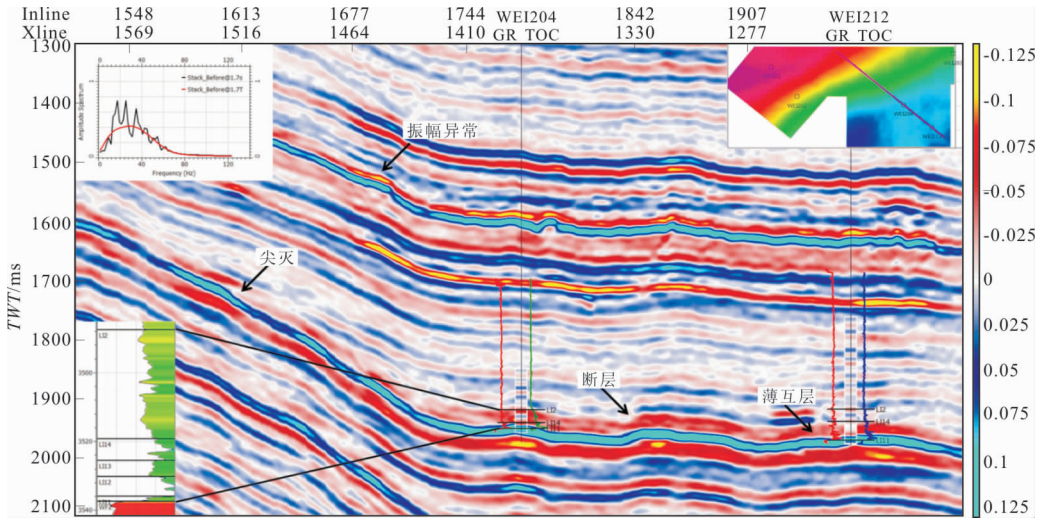


图 1 原处理的偏移地震剖面

Fig. 1 Original processed migrated seismic section

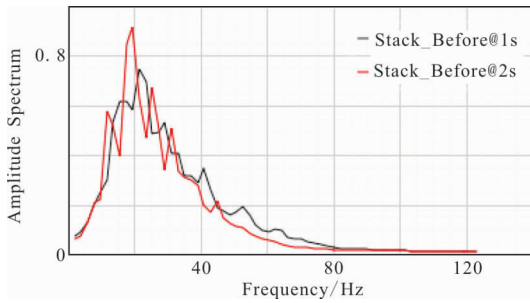


图 2 原偏移道集叠加目的层频谱

Fig. 2 Amplitude spectra of the original seismic data

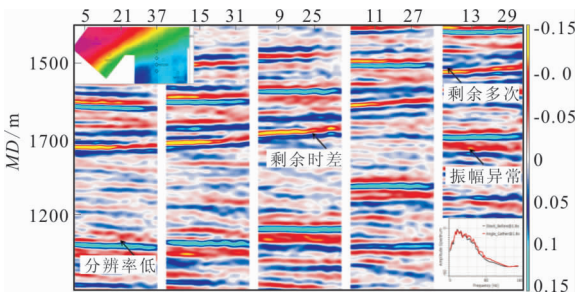


图 3 原处理的偏移道集

Fig. 3 Raw processed offset gathers

率较低,目的层基本上包含在一个同相轴内,不能区分页岩气小层,难以满足小层解释和精细储层描述的要求(图1)。亟需在保真相对保幅的前提下提升地震子波高频成分,提高地震数据的分辨率。

从频谱特征上看(图2),原偏移道集叠加,主频20 Hz~25 Hz左右,有效地震频带较宽,但受数据中包含的地震子波影响,高频振幅能量较弱,影响了

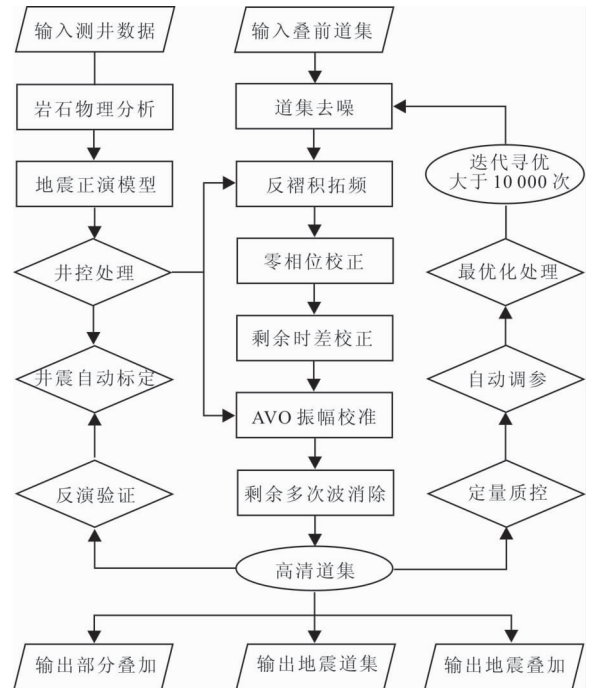


图 4 叠前保真高分辨率处理技术流程

Fig. 4 Pre-stack HD processing technology process

地震资料的分辨率,这也为高分辨率处理提供了很大的潜力。

1.2 道集存在较大剩余时差及振幅异常

原偏移叠前道集受偏移速度精度和地层各向异性影响普遍存在15 ms剩余动校正时差(图3),导致同相轴非同相叠加,破坏了地震资料的叠加关系(如波峰同波谷叠加),影响着地震资料的叠加效果。同时原偏移叠前道集受采集覆盖次数不均匀影响,存在AVA振幅异常,图3中箭头指示位置,AVA

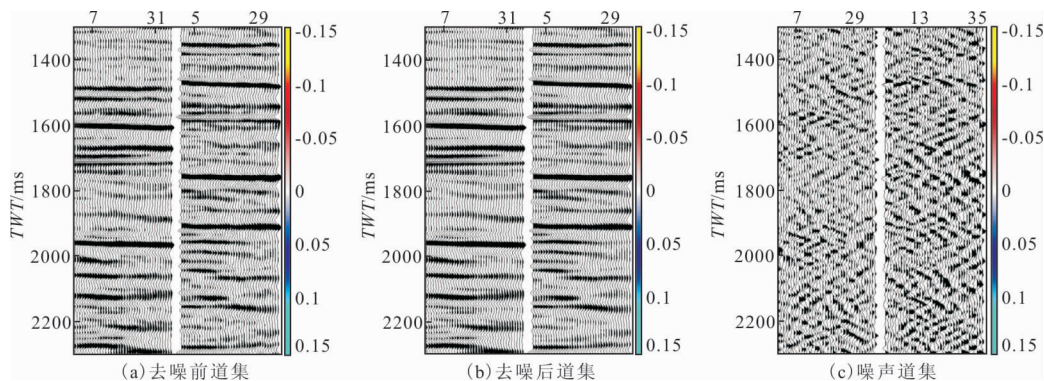


图5 道集去噪前后及噪音剖面对比

Fig. 5 Comparison of gathers before and after denoising and noise profile

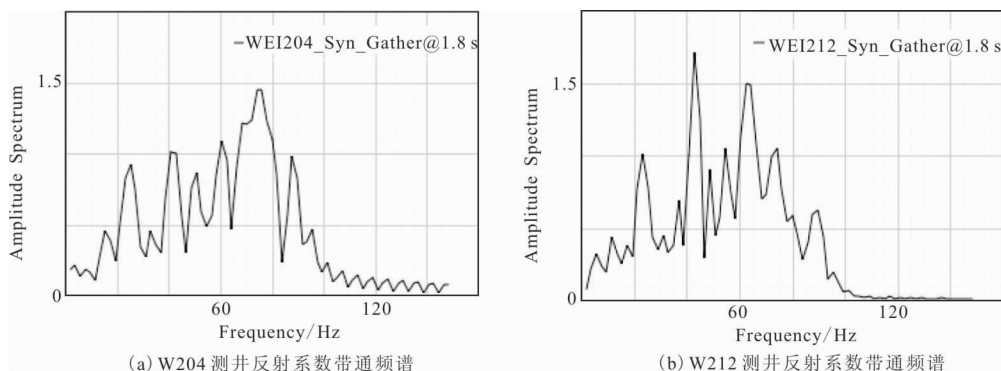


图6 测井反射系数带通频谱

Fig. 6 Well logging reflection coefficient bandpass spectrum

振幅呈现“纺锤状”异常。另外,原偏移叠前道集在处理中使用拉东变换压制多次波,对近道小倾角多次波效果不理想,导致还存在剩余多次波。

2 叠前保真高分辨率地震处理关键技术

针对研究区页岩气目的层储层薄、响应特征不清的难题,利用保真高分辨率地震处理技术,提高叠前地震道集的分辨率、信噪比、保真度和储层预测的精度及可靠性^[10-14]。保真高分辨率地震处理技术核心技术包括叠前谱蓝化频谱校准技术(提高叠前地震道集分辨率)、AVA(Amplitude Variation with Incident Angle)振幅校准技术(提高道集的保真度)、道集剩余噪音衰减技术(提高道集信噪比)、剩余时差校正技术(提高道集的保真度)、叠前剩余多次波压制技术(提高道集的保真度)和井震对比、定量质控技术(提高道集的可靠性)等。该套技术(图4)能够系统地解决研究区页岩气储层预测中存在的一系列地震问题,提高叠前地震道集的分辨率、信噪比、保真度和储层预测的精度及可靠性。与常规处

理相比,重点在于频谱、振幅校准技术,与井资料对比质控。

2.1 道集保频噪音压制技术

从褶积模型 $s(t) = r(t) * w(t) + n(t)$ 公式可以看出,道集中存在噪声时,会影响道集提频处理效果,需要进行叠前道集去噪处理。笔者采用道集内相干方法进行去噪,不降低横向分辨率,去噪的同时注重保护高频信息。同道间去噪如超道集去噪等方法不同,道内去噪不降低横向分辨率;如果道集没有对齐,道内去噪也损害高频信息,在去噪前拉平道集,并采用分频去噪方法保护高频。从图5可知,去除的噪声主要是随机噪音,去噪后道集信噪比明显高于输入道集。

2.2 谱蓝化频谱校准处理技术

Walden等^[15]认为反射系数序列频谱的整体趋势应该是偏蓝的,即频率越高,振幅越强,具有该特征的频谱称为“蓝谱”。Blache—Fraser和Barnse等^[16-17]提出谱蓝化技术可以提高叠后地震资料的分辨率,这一方法被称为“叠后谱蓝化”提频技术。受“叠后谱蓝化”提频技术的启发,笔者开发了“叠前

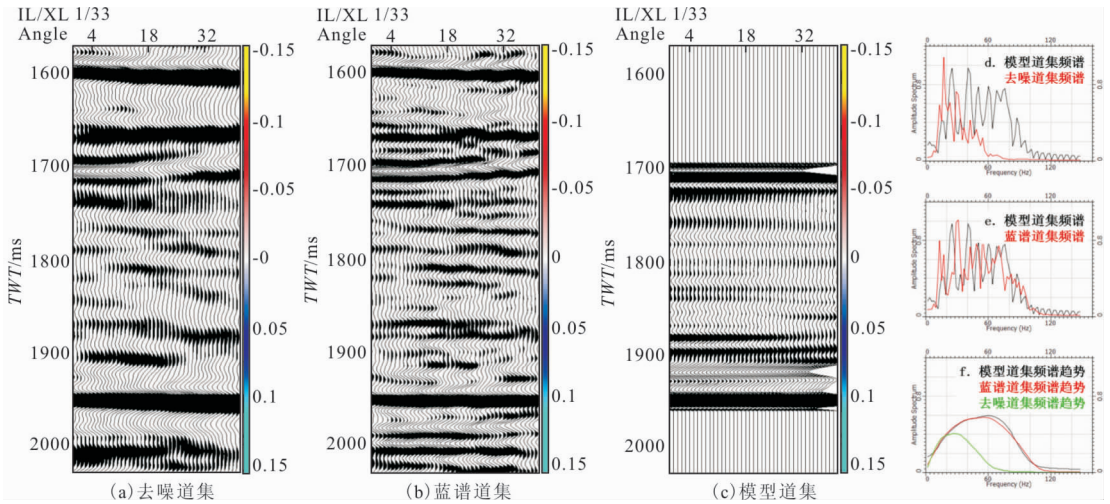


图 7 谱蓝化校准分辨率提高情况

Fig. 7 Improvement of spectral blueization calibration resolution

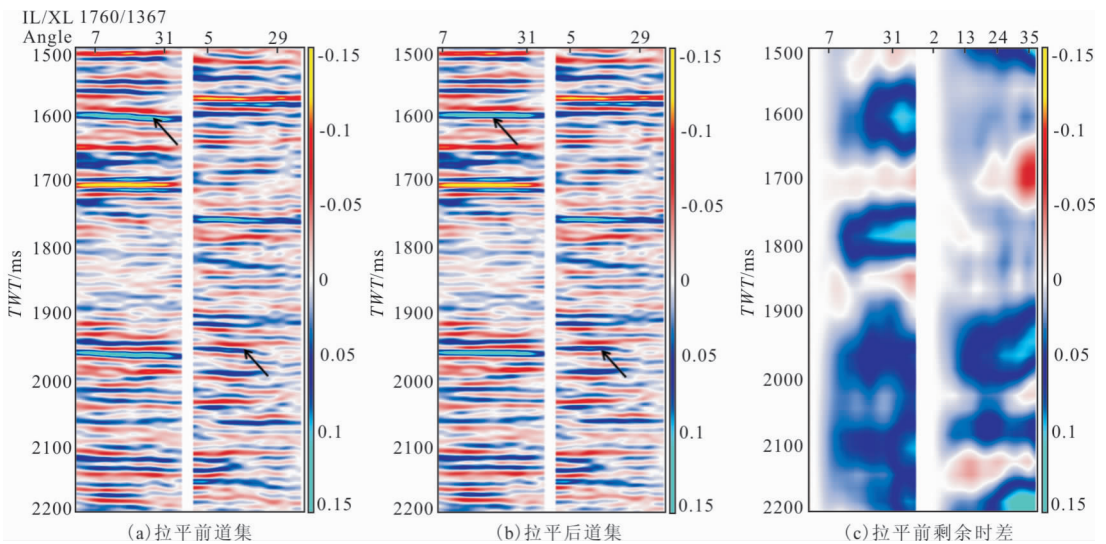


图 8 剩余动校正处理效果

Fig. 8 Residual motion correction processing effect

谱蓝化频谱校准技术”。叠前谱蓝化频谱校正技术的基本思路为:测井曲线计算的反射系数频谱特征表明频率与振幅为正相关(图 6),表现出的是“蓝谱”特征,即更高的频率对应更高的能量。叠前谱蓝化频谱校正技术正是以测井频谱趋势为基础,恢复地震数据中严重衰减的高频部分,利用处理后地震数据与测井数据中的反射系数相匹配,从而提高原始地震的分辨率及与井之间的相关性,为叠前弹性参数反演提供高分辨率、高信噪比、高保真度的叠前道集。

谱蓝化频谱校准采用叠前自适应子波反褶积,在地震有效频带范围内优化地震频谱,避免产生假频,提高分辨率,同时保护低频信息,提高地震垂向

分辨率及井震对比相关系数。

谱蓝化频谱校准参数较多,包括目标频带范围、反褶积因子长度、有效频带门槛、低频保护频带、频率随时间变化 Q 等,手工调参很难确定参数。采用超参数自动优化方法,如图 11 所示,以高分辨率井震对比相关系数为目标,通过万次自动调参,得到优化后的处理参数组合。

从图 7 可知,输入道集频谱(红色)与正演模型频谱(黑色)不一致,高频部分有待改善;从图 7(e)可知,谱蓝化校准后频谱(红色)与正演模型频谱(黑色)及趋势基本一致;从图 7(f)可知,高频部分得到提高,与正演模型频谱趋势吻合。谱蓝化校准提高了地震分辨率,主频由 22 Hz 提高到 60 Hz,同时,

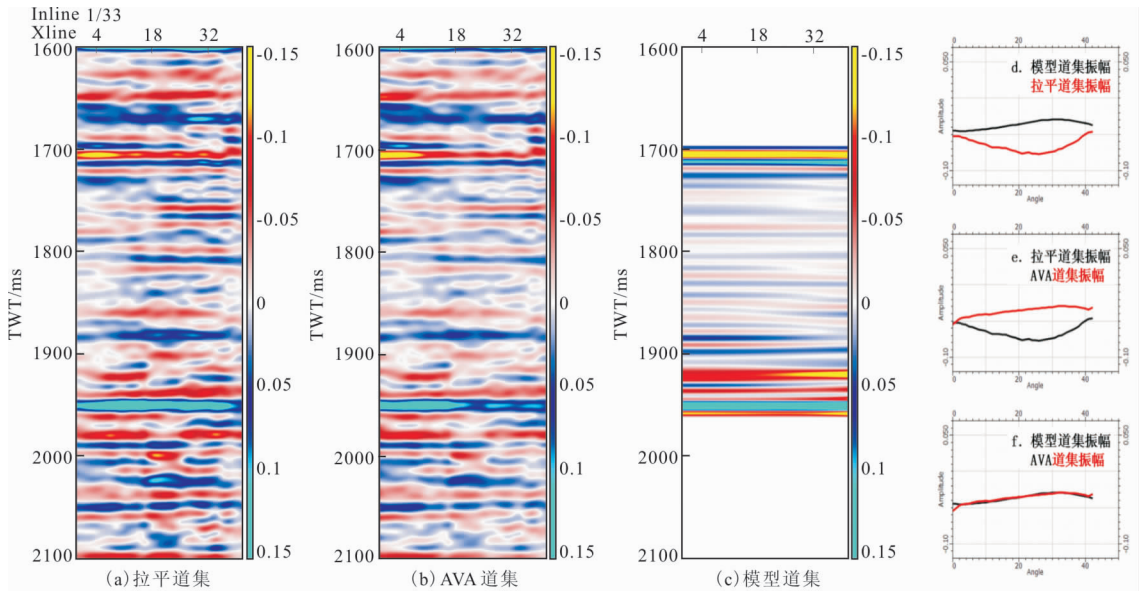


图 9 AVA 叠前振幅校正技术

Fig. 9 AVA prestack amplitude correction technology

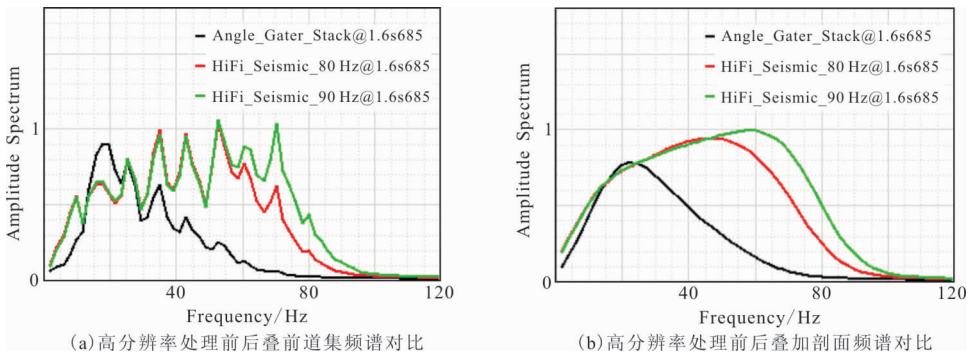


图 10 保真高分辨率处理前后地震频谱比较

Fig. 10 Comparison of seismic spectrum before and after HD processing

井震关系更加吻合,全井段井震相关系数从 0.70 提高到 0.86,说明本文方法是可靠的。

2.3 道集剩余时差校正

在地震数据处理中,叠加处理是一种有效的去噪方法。但在实际地震数据处理中,由于动校正速度是基于平层假设的 NMO 算法,而且是离散点的插值速度,难以精确计算。此外,当地震射线路径中存在非均匀体时,甚至叠前时间偏移算法都不能获得拉平的道集。因此在动校正后的资料上都会存在一定的剩余动校正量,在做同相叠加时会降低叠加剖面的分辨率。将道集中各道同近道进行相关计算剩余时差计算,相关窗口等处理参数采用超参数自动优化方法确定(图 11),并用计算的剩余时差对道集数据进行拉平校正处理,同相轴拉平的同时,确保没有拉伸畸变。由图 8 可见,拉平后道集能量聚焦,

校正量合理无畸变。

2.4 AVA 振幅背景校准

在常规处理流程的基础上,结合测井岩石物理分析结果,利用正演模型振幅背景趋势进行振幅校准。即首先进行道集正演模型制作,并计算振幅背景曲线;再计算各道集的振幅背景曲线,并同模型振幅背景曲线进行比较,求取校正系数,进行 AVA 振幅校正。AVA 振幅校正解决断层阴影、浅层异常等引起的振幅问题。校准后的数据振幅背景趋势与正演模型一致,突出岩性流体异常的反射特征,满足叠前反演需求。

本工区目前没有横波测井数据,6 口关键井采样岩石物理模型估算横波,进行正演道集,振幅背景趋势基本相同,这同工区范围内的目的层的地质背景是一致的。估算横波具有一定的不确定性,建议

表 1 处理过程井震相关系数定量质控表

Tab. 1 Quantitative quality control table for well seismic correlation coefficient during processing

井震相关系数	角道集	去噪道集	蓝谱道集	零相位道集	拉平道集	AVA 道集	去多次波道集	高清道集
WEI202	0.850	0.850	0.913	0.913	0.906	0.906	0.903	0.900
WEI204	0.737	0.737	0.879	0.881	0.904	0.912	0.909	0.913
WEI212	0.685	0.685	0.811	0.809	0.834	0.834	0.836	0.838
平均	0.757	0.757	0.868	0.868	0.881	0.884	0.883	0.884

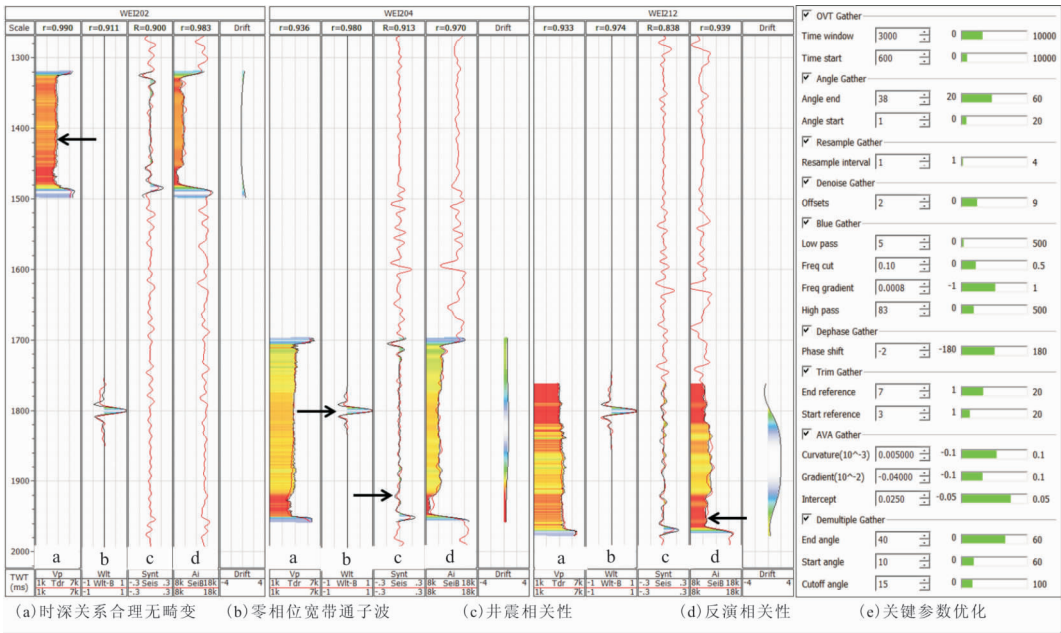


图 11 保真高分辨率地震处理流程优化和处理参数优选

Fig. 11 High-resolution seismic processing process optimization and processing parameter optimization

采集横波测井数据进行振幅校正。

图 9 为道集 AVA 振幅背景校准过程,从图 9(d)可知,输入道集振幅趋势(红色)与正演模型振幅趋势(黑色)不一致;由图 9(f)可知,叠前振幅校正后振幅趋势(红色)与正演模型振幅趋势(黑色)一致。

3 应用效果分析

3.1 频谱特征分析

对目的层段资料进行频谱分析,检查振幅谱的频宽和低频保护结果,同时注意频谱的合理性。图 10 是新、老地震目的层段的频谱对比。从最终成果的目的层段的频谱对比可以看出:新资料低频保护较好,主频提高,有效频带得到了很大的拓宽,而且处理后的频谱趋势同测井反射系数频谱一致呈蓝谱趋势,说明地震子波相当于零相位带通子波,处理后

的地震剖面更接近地层反射系数剖面。

通过分析,保真高分辨率处理的地震资料实现了频谱在空间上一致性,同时更接近于实测的钻井资料。频谱分析表明保真高分辨率地震优势频带为 5 Hz ~ 85 Hz,主频为 55 Hz 左右。

3.2 井震对比相关系数分析

在处理过程中每个环节都采用与井对比定量质控的方法开展分析,图 11 是保真高分辨率处理过程中参数自动调优与定量质控界面,可以实现相关系数最优。

表 1 为对比质控表,在每个步骤,相关系数得到逐步提高,从原资料的 0.757 提高到 0.884,提高了 16.8%。

3.3 频谱扫描分析

对目的层段保真高分辨率地震资料进行频谱扫描(图 12),频带范围依次为 0 Hz ~ 200 Hz(全频

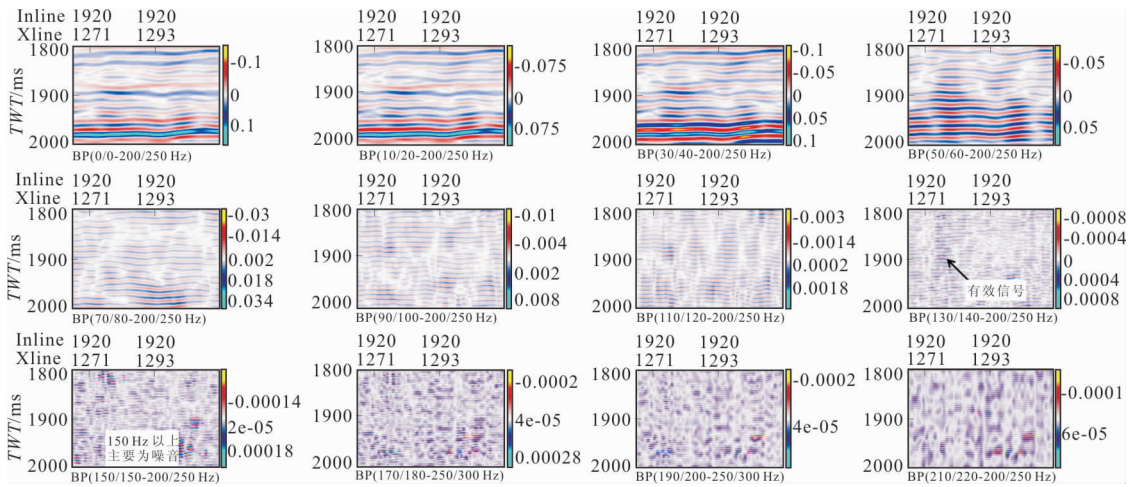


图 12 保真高分辨率地震叠加频率扫描质控

Fig. 12 High-definition seismic overlay frequency scanning quality control

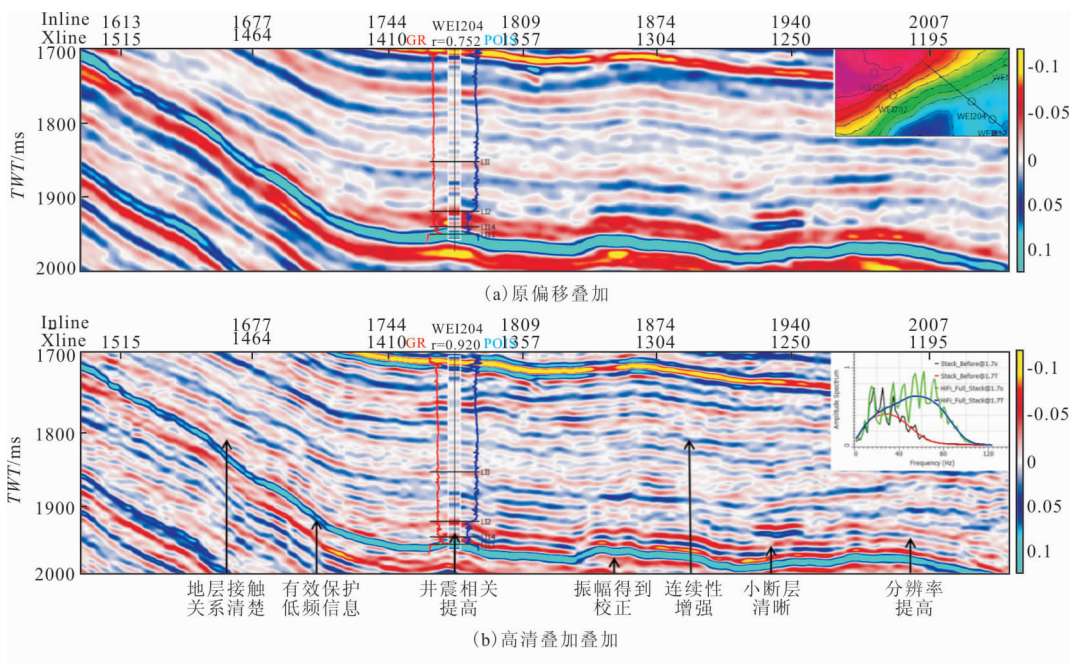


图 13 过 W204 井剖面保真高分辨率处理前后比较

Fig. 13 Comparison before and after high-definition processing of the profile through well W204

带)、15 Hz ~ 200 Hz、35 Hz ~ 200 Hz、55 Hz ~ 200 Hz、75 Hz ~ 200 Hz、95 Hz ~ 200 Hz、115 Hz ~ 200 Hz、135 Hz ~ 200 Hz、155 Hz ~ 200 Hz、175 Hz ~ 250 Hz、195 Hz ~ 250 Hz 和 215 Hz ~ 250 Hz。从图 12 中可以看出, 135 Hz 以上仍然有有效地震信号, 150 Hz 以上基本为噪音, 表明研究区保真高分辨率地震有效频率高达 140 Hz 左右, 这在国内外实际地震数据中是十分罕见的, 说明研究区三维地震无论在采集、偏移处理、还是保真高分辨率处理, 都做到了非常精细。

3.4 叠加剖面评价

图 13 是过 W204 井剖面保真高分辨率处理前后比较, 表明保真高分辨率处理后不仅分辨率得到很大提高, 主频由 25 Hz 提高到 55 Hz, 提高了 1.2 倍, 而且保真度也有较大提升, 井震相关系数由原来的 0.752 提高到 0.920, 提高了 22% 左右。保真高分辨率处理的资料纵向薄互层刻画更精细、分辨能力更强; 横向上低频得到保护, 小微断层、尖灭点更加清晰, 地质信息更加丰富。

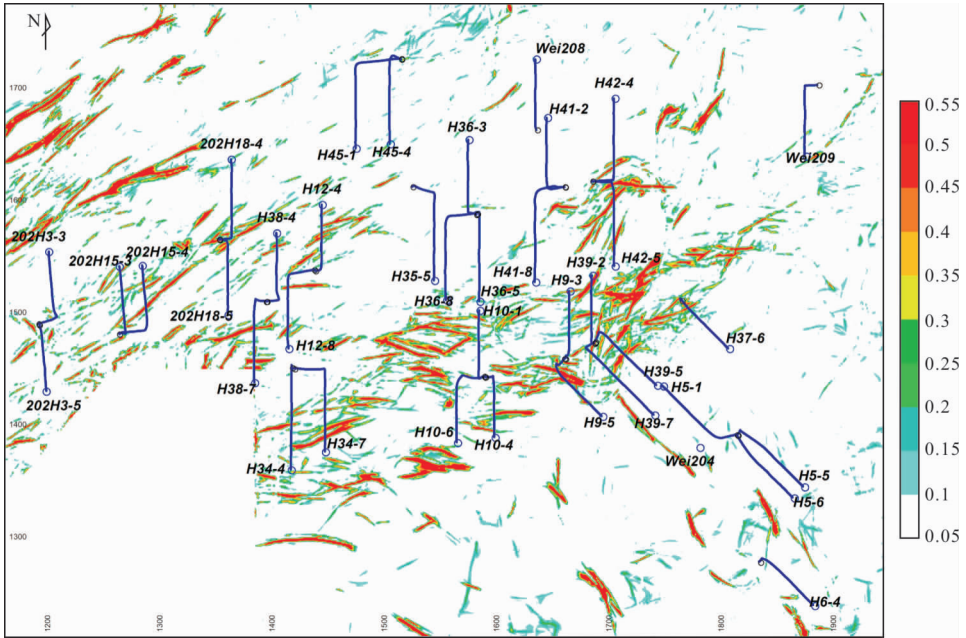


图 14 原偏移地震 L₁₁ 层段微幅裂缝检测平面图

Fig. 14 Detection plan of microcrack in L₁₁ segment of original migration earthquake

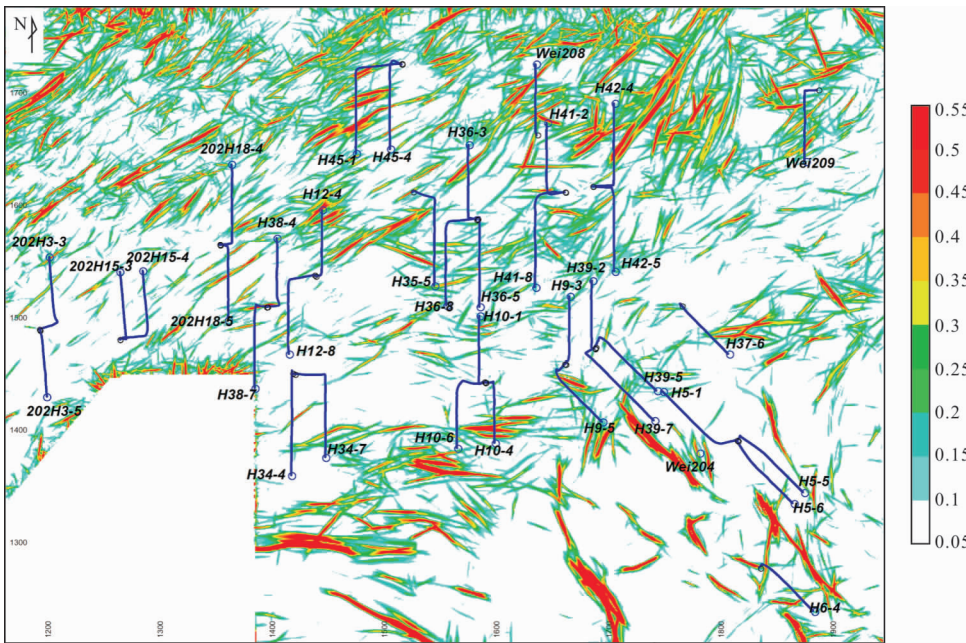


图 15 保真高分辨率地震 L₁₁ 层段微幅裂缝检测平面图

Fig. 15 High-resolution seismic L₁₁ segment micro-crack detection plan

3.5 龙马溪组微幅断裂检测效果

通过对原始偏移数据和保真高分辨率处理数据进行参数一致的微幅裂缝检测,提取龙 11 层段的平均属性值得到两种数据的平面分布图(图 14 和图 15),新资料裂缝明显较老资料多,图 15 中 38 口水平井均是测试产量大于 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工程和地质分析表明水平井高产主要与裂缝发育强度密切相

关,钻井和压裂证实这些井裂缝发育,从裂缝预测成果分析老资料吻合率只有 73%,新资料吻合率达到 95%,说明新处理的高分辨率数据裂缝异常探测效果优于原始资料,老资料对裂缝异常大于 0.4 以上反映明显,而新资料不但对 0.4 以上得裂缝异常反映明显,并对次一级的裂缝异常 0.2~0.3 的反映也明显。2021 年通过新资料在北部部署的 42 平台、

45平台等平台,经钻井证实为高产带,打开了北部开发的空 间,为研究区页岩气持续高效开发提供可靠的资料。

4 结论与认识

1)笔者展开保真高分辨率地震处理技术研究,有效地提高了工区地震资料的分辨率,解决了薄层识别不清,地层尖灭点位置不清晰等问题。进一步,通过总结提炼,形成了一套研究区页岩气高分辨率高保真度的地震处理技术体系,为其高效开发提供了更加优质的地震数据基础。

2)针对研究区页岩气储层特点和开发需求,优化设计了保真高分辨率处理关键技术流程。包括:道集正演模型;井震对比、定量质控;射线角道集转换;道集剩余噪音压制;道集相位校准;谱蓝化校正提频;剩时差校正;剩余多次波压制;AVA 振幅背景校准;处理参数优化。形成了针对其储层的高分辨率、高保真度地震处理技术体系。有效提高了地震分辨率、井震相关关系、资料信噪比,提升了地震数据可靠性和可信度,改善了成像质量、AVA 处理结果。满足叠前反演和甜点预测的要求,有助于预测页岩气藏的空间分布,进而提高页岩气藏评价精度。

3)当前常规处理普遍存在类似的地震问题,通过高精度高分辨率处理,地震数据大有潜力可挖,这也是随着地质勘探要求的提高,地震勘探处理技术手段也必须创新完善,既节省投资,又提高勘探开发的效率,是值得推广的一项地震处理技术。

参考文献:

- [1] 李贤兵,赵俊杰,晋剑利,等. 叠前谱蓝化提频技术在乍得 Baob 油田储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2020,55(6):1343-1348.
LI X B, ZHAO J J, JIN J L, et al. Application of pre-stack spectrum blueing and frequency upscaling technology in reservoir prediction of Baob oilfield in Chad[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2020, 55(6): 1343-1348. (In Chinese)
- [2] 马新华,李熙喆,梁峰,等. 威远页岩气田单井产能主控因素与开发优化技术对策[J]. 石油勘探与开发,2020,47(3):555-563.
MA X H, LI X Z, LIANG F, et al. Main controlling factors of single well productivity and development optimization technical countermeasures in Weiyuan shale gas field[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(3): 555-563. (In Chinese)
- [3] 欧阳明华,史建南,胡天文,等. 四川盆地威远地区页岩气储层多尺度裂缝预测[J]. 成都理工大学学报,2020,47(1):75-84.
OUYANG M H, SHI J N, HU T W, et al. Multi-scale fracture prediction of shale gas reservoirs in Weiyuan area, Sichuan basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2020, 47(1): 75-84. (In Chinese)
- [4] 伍贤柱. 四川盆地威远页岩气藏高效开发关键技术[J]. 石油钻探技术,2019,47(4):1-9.
WU X Z. Key technologies for efficient development of shale gas reservoirs in Weiyuan, Sichuan basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(4): 1-9. (In Chinese)
- [5] 武恒志,熊亮,葛忠伟,等. 四川盆地威远地区页岩气优质储层精细刻画与靶窗优选[J]. 天然气工业,2019,39(3):11-20.
WU H Z, XIONG L, GE Z W, et al. Fine characterization and target window selection of high-quality shale gas reservoirs in Weiyuan area, Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(3): 11-20. (In Chinese)
- [6] 马新华,谢军. 川南地区页岩气勘探开发进展及发展前景[J]. 石油勘探与开发,2018,45(1):161-169.
MA X H, XIE J. Progress and development prospects of shale gas exploration and development in southern Sichuan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(1): 161-169. (In Chinese)
- [7] 谢军. 长宁-威远国家级页岩气示范区建设实践与成效[J]. 天然气工业,2018,38(2):1-7.
XIE J. Construction practice and effect of Changning-Weiyuan national shale gas demonstration zone [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(2): 1-7. (In Chinese)
- [8] 曾庆才,陈胜,贺佩,等. 四川盆地威远龙马溪组页岩气甜点区地震定量预测 [J]. 天然气工业,2018,45(3):406-414.
ZENG Q C, CHEN S, HE P, et al. Seismic quantitative prediction of shale gas sweet spots in Weiyuan Longmaxi formation, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2018, 45(3): 406-414. (In Chinese)
- [9] 谢军. 关键技术进步促进页岩气产业快速发展:以长宁-威远国家级页岩气示范区为例[J]. 天然气工业,2017,37(12):1-10.
XIE J. Advances in key technologies promote rapid development of shale gas industry: a case study of Changning-Weiyuan national shale gas demonstration

- zone [J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37(12): 1—10. (In Chinese)
- [10] 王玉满,王宏坤,张晨晨,等. 四川盆地南部深层五峰组—龙马溪组裂缝孔隙评价[J]. *天然气工业*, 2017, 44(4): 531—539.
WANG Y M, WANG H K, ZHANG C C, et al. Evaluation of fractures and pores in the deep Wufeng formation—Longmaxi formation in the southern Sichuan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 44(4): 531—539. (In Chinese)
- [11] 贾成业,贾爱林,何东博,等. 页岩气水平井产量影响因素分析[J]. *天然气工业*, 2017, 37(4): 80—88.
JIA C Y, JIA A L, HE D B, et al. Analysis of factors affecting shale gas horizontal well production [J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37(4): 80—88. (In Chinese)
- [12] 刘乃震,王国勇. 四川盆地威远区块页岩气甜点厘定与精准导向钻井[J]. *石油勘探与开发*, 2016, 43(6): 978—985.
LIU N Z, WANG G Y. Determination of shale gas sweet spot and precision steerable drilling in Weiyuan block, Sichuan basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(6): 978—985. (In Chinese)
- [13] NIANFU CHENG, QING WANG. Residual multiple attenuation based on adaptive amplitude fitting and signal matching [C]. *SEG Conference*, 2023: 4572—4576.
- [14] 邹才能,董大忠,王玉满,等. 中国页岩气特征、挑战及前景(一)[J]. *石油勘探与开发*, 2015, 42(6): 689—701.
ZOU C N, DONG D Z, WANG Y M, et al. Characteristics, challenges and prospects of shale gas in China (1) [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(6): 689—701. (In Chinese)
- [15] WALDEN A T, HOSKEN J W J. An investigation of the spectral properties of primary reflection coefficients [J]. *Geophysical Prospecting*, 1985, 33(3): 400—435.
- [16] BLACHE—FRASER G, NEEP J. Increasing seismic resolution using spectral blueing and colored inversion: Cannonball field, Trinidad [C]. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2004(23): 1794—1797.
- [17] BARNES A E, RAHIM M F A. Workflows to improve the resolution of post—stack seismic data and attributes from the Malay basin [J]. *Petroleum Geoscience Conference & Exhibition*, 2012, 38(2): 221—221.
- [18] 王万里,李国发,桂金咏. 混合相位子波有色反褶积 [J]. *岩性油气藏*, 2013, 25(3): 82—86.
WANG W L, LI G F, GUI J Y. Colored deconvolution of mixed—phase wavelets [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2013, 25(3): 82—86. (In Chinese)
- [19] CHENG N F, WANG Q. Residual multiple attenuation based on adaptive amplitude fitting and signal matching [J]. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2016(23): 4572—4576.

Application of prestack seismic fidelity and high—resolution processing technology in micro—fractures of shale gas in southwest China

XU Minghua, FU Jianyuan, HE Liangsheng

(PetroChina Chuanqing Drilling Engineering Company Geological Exploration and Development Research Institute, Chengdu 610056, China)

Abstract: Weiyuan shale gas has complex geological conditions, strong heterogeneity, thin reservoirs, and unstable lateral distribution. The results obtained by conventional seismic processing methods have low resolution and cannot identify thin layers, formation pinch—out points, and micro—fractures. In order to solve these problems, this paper uses high—fidelity, high—resolution seismic processing technology to process the seismic data of Weiyuan shale gas. The orderly combination of methods such as correction, pre—stack residual multiple suppression, and high—precision well seismic calibration quantitative quality control can effectively improve the resolution, signal—to—noise ratio, and fidelity of complex seismic data. The processing results prove that this method can improve seismic data's resolution and well—seismic correlation coefficient in this area. At the same time, the interpretability of thin layers, the continuity of events, the accuracy of pinch—out points, and the reliability of fault detection are enhanced.

Keywords: shale gas; thin reservoir; high resolution; high fidelity; spectral blue correction; amplitude calibration; quantitative quality control