

地震资料的高保真融合处理技术在冀东油田南堡地区的应用

石文武¹, 黄荣善², 王冬娜¹, 张志让²

(1 中国石油冀东油田勘探开发研究院; 2 恒泰艾普石油天然气技术服务股份有限公司)

摘要 三维地震资料的高保真融合处理,可使资料的信噪比得到提高,方位角信息得到增加,构造成像更加清晰准确,从而提高潜山构造碳酸盐岩缝洞体识别精度。对冀东油田南堡3号潜山构造先后两次采集的三维地震资料进行了高保真融合处理。结果表明,在三维融合资料预测得到的裂缝发育相对密度平面上,反映出的裂缝分布规律明显,裂缝方向预测精确,且与测井资料吻合较好。这一方法特别适合叠前方位各向异性的碳酸盐岩裂缝检测。

关键词 三维地震资料; 高保真融合处理技术; 碳酸盐岩裂缝; 裂缝预测; 潜山构造

中图分类号: P631.4⁺4

文献标识码: A

1 引言

经钻井证实,冀东油田南堡地区古生界碳酸盐岩古潜山油藏为孔隙-裂缝型双重介质油藏^[1-2]。为了提高潜山油气藏的勘探效果,需要利用宽方位信息的叠前地震资料来预测裂缝及其分布规律;另一方面,随着油田勘探程度的不断提高,地震资料重新采集的要求越来越高,难度也随之增大,同时又要降低勘探成本,这些都迫切需要利用新老地震资料以最大限度地挖掘资料信息,而地震资料的高保真融合处理技术可以满足这一需求^[3]。

地震资料的融合处理是对同一探区不同时间、不同方位角、多次采集的地震数据进行特殊处理的技术,也是连片拼接处理的延伸和发展^[4]。对不同时期的资料,需要在保持原有资料的频率特征以及方位角信息的基础之上,统一各块资料的能量、相位特征,消除不同地震数据之间的非地质因素引起的差异,统一资料的处理网格,以保证地震数据的运动学特征和动力学特征一致^[5]。通过融合处理的信息互补,可以极大地丰富地震资料的方

位角信息,使得地震数据成为名副其实的宽方位角资料。由于有了来自各个方位的地震反射信息,就能使得构造成像更加清晰、特征更加准确,因而这一方法特别适合叠前方位各向异性的裂缝检测,以用于提高油气预测的精度。

南堡潜山构造带位于海陆过渡带,西北部为陆地,海岸线沿西南—东北方向穿越工区,海岸线的东南方向依次为滩涂、过渡带和浅海。南堡3号潜山构造位于南堡潜山构造带的东部,该区域于2001年和2004年分别采集过一次三维地震资料,即2001年老堡南工区的OBC(Ocean Bottom Cable,海底电缆)资料和2004年老堡工区滩涂资料。南堡3号潜山构造在2011年钻探的W2井获得了成功。为了进一步搞清该区的勘探潜力,2012年针对深层潜山目标又进行了一次三维地震资料采集,即南堡3工区滩涂资料。为了充分利用地震资料信息,更好地开展潜山构造综合研究,本次研究首先对老堡工区和老堡南工区的地震资料进行连片处理,再采用融合处理技术对该连片结果与新采集的南堡3工区地震资料进行融合处理,三块资料区的相对位置如图1所示。

收稿日期: 2014-05-20; 改回日期: 2014-07-30

本文受国家科技重大专项“南堡凹陷油气富集规律与增储领域”(编号:2011ZX05006)资助

石文武: 1981年生,工程师。2008年在大庆石油学院获硕士学位。现从事地震资料处理解释综合研究。通讯地址: 063004 河北省唐山市路北区光明西里51号甲区; E-mail: shiwenwu2008@petrochina.com.cn

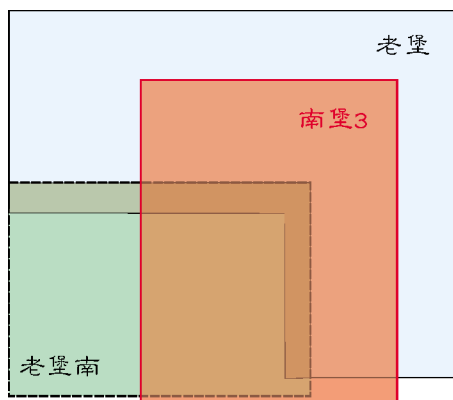


图1 南堡地区融合处理的地震工区相对位置示意图

2 融合处理

本次融合处理首先对先期采集的老堡工区滩涂资料和老堡南工区OBC资料进行保持原有频率和方位角的拼接。因为老堡南工区为OBC资料,而老堡工区滩涂资料存在水陆检波器差异和不同激发震源的差异,在拼接之前需要分别对各块资料内部的差异进行一致性处理(如相位、振幅和时差等),然后再对两块资料进行一致性处理;接着,用同样的方法对南堡3工区资料进行处理,并将处理结果与另两个工区的资料统一进行统计,来求取地表一致性反褶积算子,以便应用于全部资料。

2.1 融合处理关键技术

融合处理是在对同一工区不同时期采集的资料进行连片处理的基础上,再进行数据属性的存同求异化处理。由于两次采集所针对的地质勘探目标不同,所以两批资料的相位、振幅、频率和方位角等存在很大的差异。以往的连片处理技术是把多块分别采集的三维数据整合到同一观测系统内,再合并成新的统一的宏数据体^[6],这样,取多块资料的“交集”统一处理,必将会损失某些区块的方位角、频率和振幅等信息,使得“1+1<2”,而且,连片处理的主要目标本来是为了解决多块三维资料处理的一致性问题,因此,用大连片处理的地震资料很难解决南堡潜山的碳酸盐岩储层预测所面临的问题^[7]。由于本次研究所涉及工区资料的噪音类型基本为常规噪音,并且工区之间不存在明显的时差,因此融合处理的关键技术是一致性处理,

包括振幅一致性、相位一致性和波组一致性的调整,以使得频率和方位角信息相互补充,增加数据的信息量,起到“1+1>2”的作用。在对资料进行相位、振幅一致性处理后,再进行振幅补偿和反褶积,并以测井资料为标准进行约束。数据融合之后,即可开展整体处理,如速度分析、动校正、剩余静校正、叠前偏移、叠加以及裂缝预测等。

2.1.1 振幅一致性处理

振幅相对关系不仅可以反映地层的岩性变化,而且还可以反映岩层中流体的性质,因此,在地震资料处理中应保持振幅相对关系的真实性。由于多次采集的参数不同,可能造成能量有明显差异,因此,首先需调整各区块内资料的能量,然后再调整区块之间的能量差异,而且为了以后的保幅处理以及油气预测,还需要进行全区地表一致性振幅调整。

对于区块内或区块间的能量差异,在处理中采用了以下方法对能量进行调整。

振幅能量级别归一化 对工区内资料的不同激发因素、不同接收因素进行分类,先调整同一炮集内不同接收因素引起的能量差异(例如水检、陆检之间的能量差异)。假设a因素的能量为 A_a ,b因素的能量为 A_b ,期望的能级为 A_m ,则能分别求出比例因子 Q_a 和 Q_b ,即

$$A_a \cdot Q_a = A_b \cdot Q_b = A_m \quad (1)$$

通过上述处理,使得不同接收方式的能量达到一致。同理,对不同震源的能量也进行类似的处理,以使得不同激发方式的能量达到一致。区块之间也进行同样的处理。经过上述的处理之后,使得全区资料的能量调整到同一个能量级别。

球面扩散补偿 全区的能量调整完成后,再补偿由于地震波传播过程中大地对能量的吸收和衰减。三维融合处理应参考测井速度,并选取合理的统一的区域速度做球面扩散补偿。

地表一致性振幅补偿 由于地表地质条件和地下地质条件的复杂性,球面扩散补偿不能完全解决能量补偿问题,因此需要进行地表一致性振幅补偿来进一步改善全区资料的能量一致性。在融合资料的过程中必须进行全区能量的统计、分解和补偿,这样才能既消除由于不同观测系统所造成的能量差异,又解决面元分布不均而产生的

能量差异。

2.1.2 相位一致性处理

相位处理既能改善全区资料波组特征的一致性,又能提高信噪比。相位一致性处理步骤如下:(1)对不同接收参数的数据进行分类标示,对不同接收方式的重合道进行互相关(选择信噪比相对较高的数据),求出水检和陆检相位差,水检资料以陆检资料为目标进行相位旋转;(2)对不同激发参数的数据进行分类标示,对不同激发方式的重合道进行互相关(选择信噪比相对较高的数据),求出炸药震源和气枪震源的相位差,气枪震源资料以炸药震源资料为目标进行相位旋转;(3)对不同年度采集的资料进行相位校正,然后再进行时差校正。经过上述由小到大的相位时差校正,可以使整体资料的相位达到基本一致。

2.1.3 波形一致性处理

由于地震资料的采集受地表、地下多种因素的影响,如地面障碍物、地面干扰源、地表风化层、低降速带、地表地形、潜水面等,故在对资料进行动校正后,还会存在剩余时差和波形畸变。因此,在全区波形一致性处理之前,需要进行全区剩余静校正处理,以消除剩余时差,提高子波统计的精度。采用井约束地表一致性反褶积处理技术进行波形一致性处理后,可以改善资料品质,包括:(1)压缩波形特征,提高分辨率;(2)统一波组特征,提高资料信噪比,真实地反映地下地质属性,有利于储层预测和流体检测;(3)提高地震波组与地质层位的吻合度。

3 融合处理技术的应用与效果

3.1 资料融合处理流程

南堡3号潜山构造区先后针对不同的地质目的进行了两次采集,野外采集参数和资料品质差异较大。从观测系统上看,老堡工区是陆上观测系统,方位角较窄;老堡南工区是OBC资料,方位角较宽;南堡3工区是新采集资料,方位角较宽,覆盖次数也较高。

根据地质任务以及工区内测线试验处理的情况,结合对原始单炮的品质分析,制定了本次融合处理流程,如图2所示。

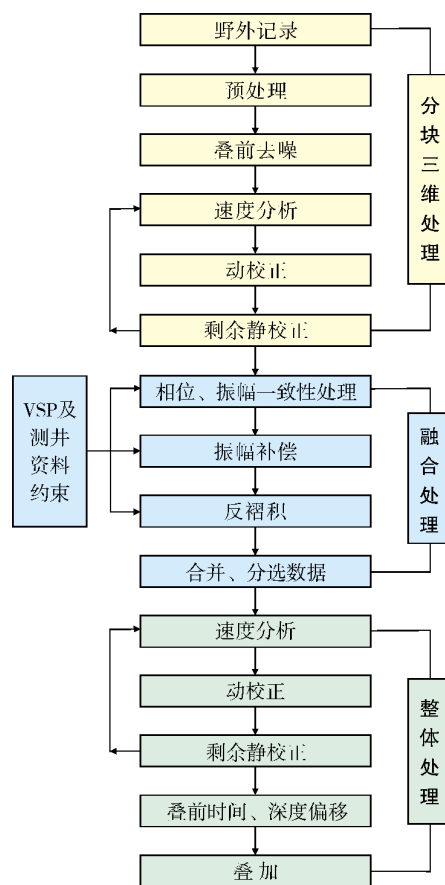


图2 南堡地区三维地震资料融合处理流程图

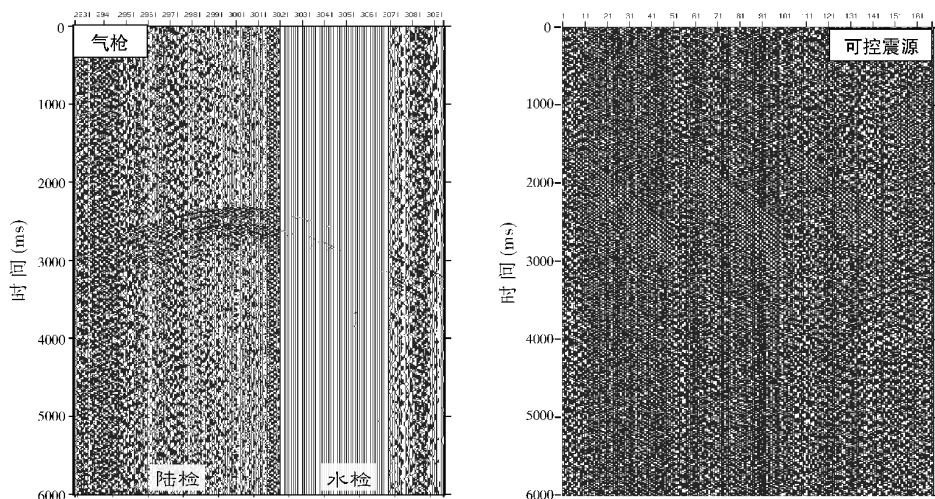
上图流程展示了融合处理的基本思路是“整体把握,分阶段处理,重点融合”。主要处理步骤为:(1)针对不同地震资料的特点,进行数据调查、数据净化处理,调整资料的信噪比;(2)解决各块资料内部及工区之间相位、振幅、频率和方位角等差异,进行一致性处理;(3)消除资料的时差,进行速度和剩余静校正一体化处理;(4)通过井约束地表一致性反褶积对整个工区的地震数据进行波形一致性处理,从而保证地震数据的运动学特征和动力学特征一致,最终实现叠前数据的融合。

3.2 振幅一致性调整

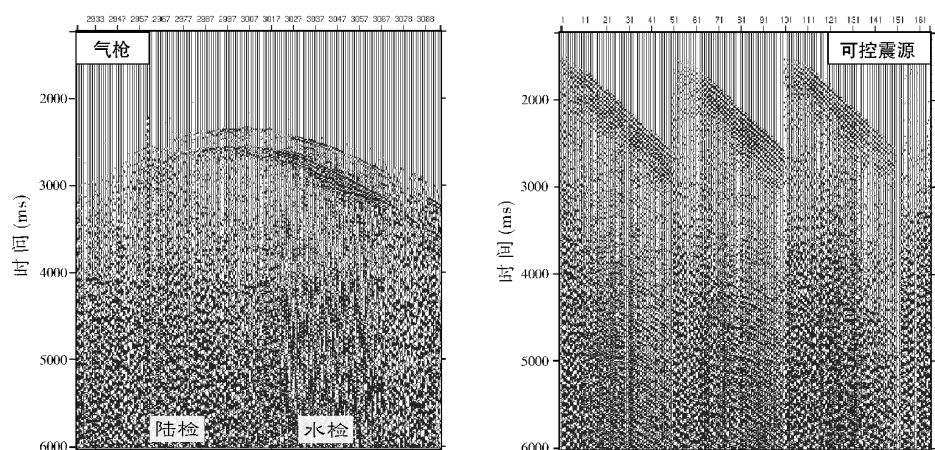
从能量上看,先期采集包含老堡工区和老堡南工区,接收检波器有陆检和水检,这两种检波器的能量相差10倍,震源有气枪和炸药震源,这两种震源能量级别相差10~100倍;后期采集的南堡3工区检波点的水检和陆检能量相差10倍,震源分别有炸药、气枪和可控震源,炸药震源和气枪能量级基本

一致,而与可控震源能量相比,差异极大。通过调整区块内以及炮间、道间能量的差异,并进行球面衰减

补偿与地表一致性振幅补偿处理,使数据体能量达到一致(图 3),以此奠定保幅保真处理的基础。



(a) 不同震源(气枪、可控震源)和不同接收因素(陆检、水检)的能量差异



(b) 不同震源(气枪、可控震源)和不同接收因素(陆检、水检)振幅调整后的效果

图 3 振幅一致性调整前后单炮对比

3.3 相位一致性调整

由于激发和接收方式的不同,原始资料的极性有明显的差异。其中,陆检为负极性起跳,水检与陆检相差 90° 相位(图 4)。南堡 3 工区既存在水检和陆检的极性差异,也有炸药、气枪和可控震源等不同的激发方式,其中可控震源为正极性,而炸药震源为负极性。

为了保持多块资料各属性的一致性和保真度,以提高对裂缝储层预测和流体检测的精度,本次研究针对工区原始资料的复杂性,进行多块资料统一

处理,并以老堡工区为基准,水检向陆检靠。图 5 为相位一致性调整前后叠加剖面的对比。

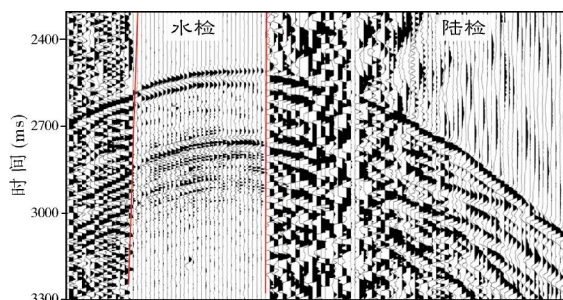


图 4 水检、陆检极性

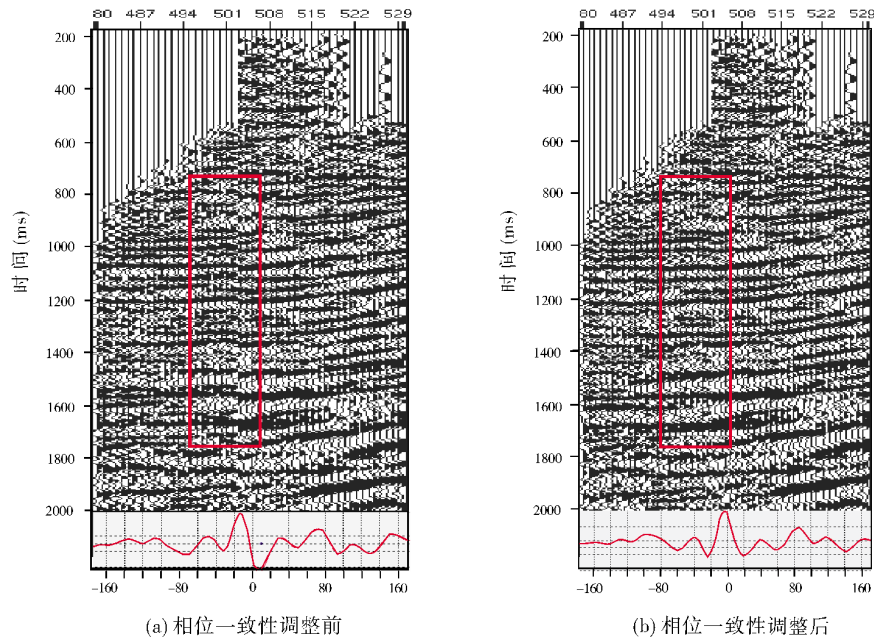


图 5 相位一致性调整前后叠加剖面对比

3.4 波组一致性调整

从资料的频率特征来看,先期采集数据的浅层频带较宽,为 6~65 Hz,深层频带较窄,为 6~35 Hz;后期采集数据的信噪比相对较低,浅层频带为 6~60 Hz,深层频带基本在 6~30 Hz 之间。

不同采集参数获得的资料,虽然经过相位校正

后消除了相位的差异,但波组特征还存在差异,这时采用地表一致性反褶积能够调整波组特征,改善波形差异。测井合成记录是判别波组特征是否跟地下地质层位一致的标准。

通过测井合成记录与反褶积试验结果对比(图6),同时结合剖面、频谱、自相关函数,可综合考虑来确定反褶积参数。

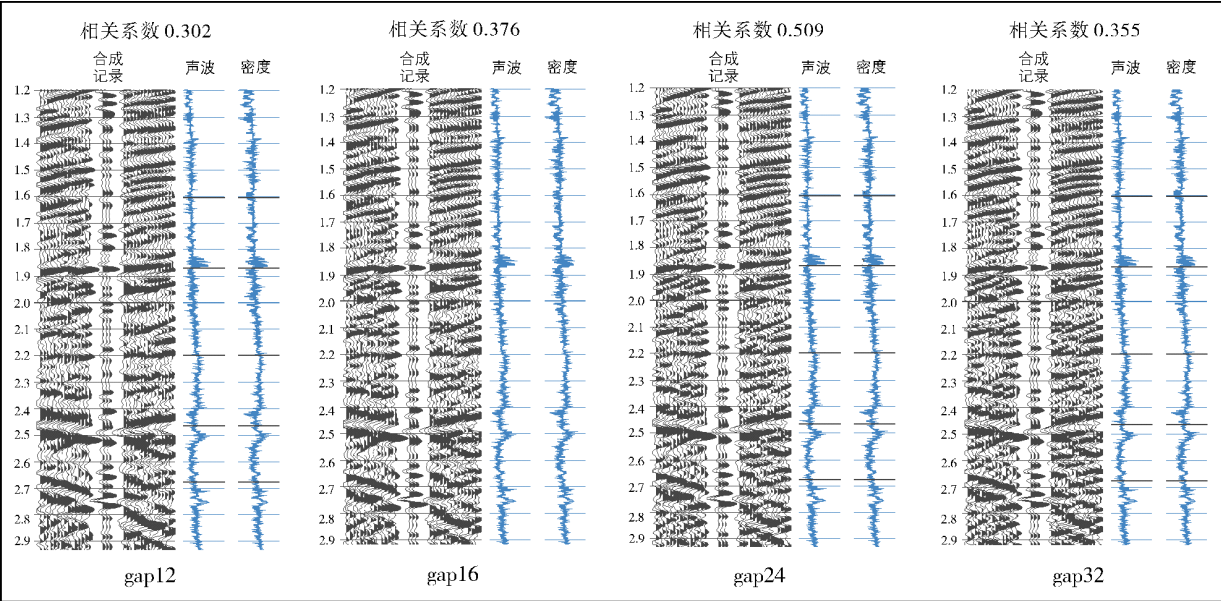


图 6 不同参数反褶积结果及合成记录对比

3.5 叠前成像分析

通过融合处理,提高了信噪比,地质成像有了明显改善(图7~图10)。图7为融合前后叠加剖面的对比,融合后资料信噪比明显提高,潜山内幕清晰。图8为融合前后的叠前时间偏移剖面对比,融合后潜山内幕及潜

山底界成像清晰,利于潜山构造及内幕研究。图9a展示了融合前后剖面的构造特征,融合后构造内幕分辨率提高,构造细节清晰,断裂特征明显。从频谱上看(图9b),融合后频带变宽,有利于岩性研究。图10是融合前后相干切片对比,融合后断裂系统的分辨率提高,构造清晰度有较大幅度的改善,降低了断层组合的多解性。

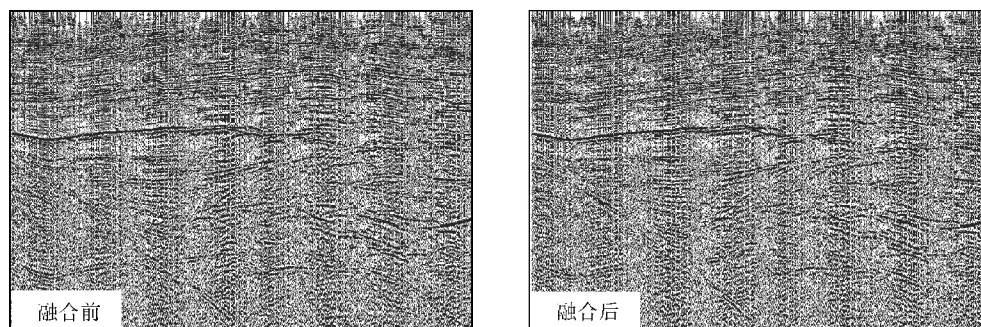


图7 常规连片处理与融合处理剖面对比

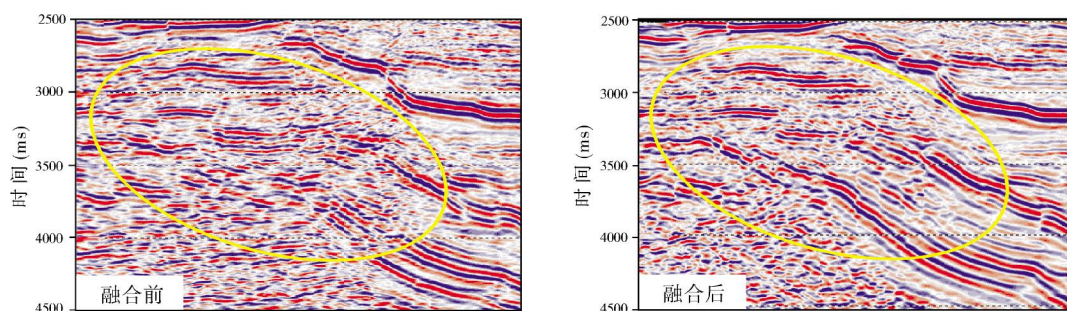
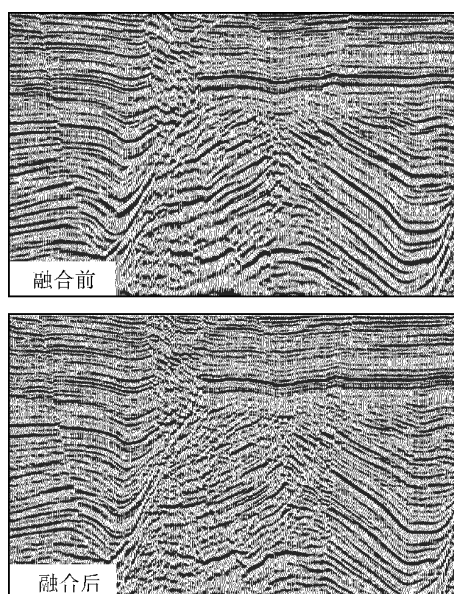
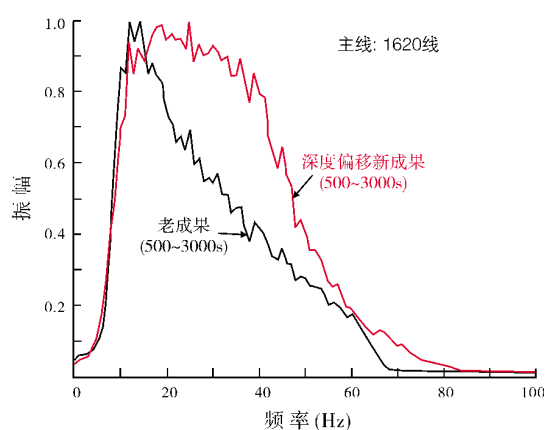


图8 融合前后的叠前时间偏移剖面对比



(a) 融合前后叠前偏移剖面对比



(b) 融合前后频谱对比

图9 融合前后的叠前时间偏移及频谱对比

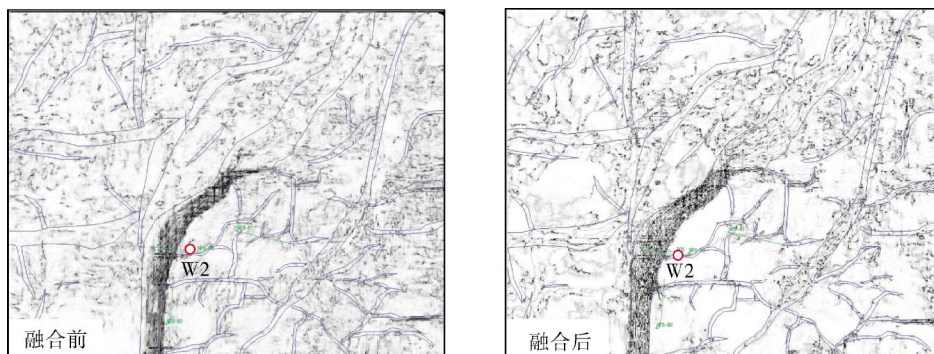


图10 融合前后叠前时间偏移相干切片对比

总而言之, 经过以上高保真融合处理后的资料有以下几方面特点:

(1) 融合后频率信息互补, 丰富了资料的频率信息量。经过相位一致性处理后, 并约束地表一致性反褶积对融合数据体进行全区整形, 提高了分辨率, 改善了资料品质。图11为融合前后频率特征。

(2) 通过融合处理, 资料信噪比提高, 有效改善了资料的成像质量。融合后的地震剖面比老剖面成像精度要高, 地质特征明显清楚和易识别。图12b中可以清晰看到潜山顶面之上的超覆特征和潜山顶面之下的剥蚀现象。成像精度的提高对潜山构造顶面及底界的认识更加准确, 从而提高了潜山构造形态的落实程度。

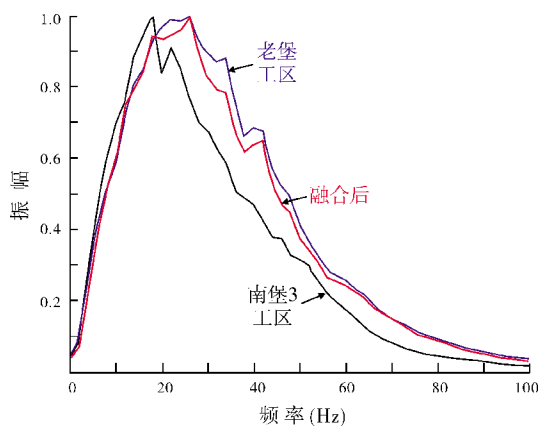


图11 融合前后频率特征

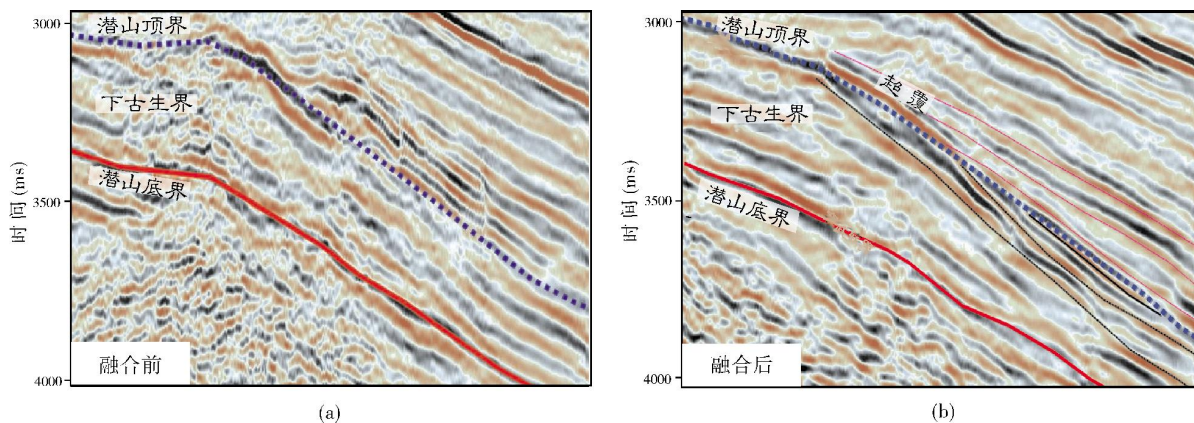


图12 融合前后深度偏移时间剖面对比

(3) 地震数据融合后, 方位角信息增加, 具有宽方位角特征, 有效提高了裂缝预测精度。图13为融合前、后方位角属性图, 方位角变宽。由于方位角信息的增加, 有利于裂缝预测精度的提高, 预测成果更符合客观规律。从利用融合后资料预测的南堡3号潜山裂缝发育强度图看(图14), 在主体区发

育了一组近NE走向的裂缝带, 该组裂缝发育带与本区主断裂走向基本一致, 表明裂缝发育与断裂发育展布密切相关。由于裂缝发育强度决定着碳酸盐岩的储集能力, 因此, 精确地预测裂缝发育特征, 对指导南堡潜山的勘探部署和提高钻探成功率有着十分重要的意义。

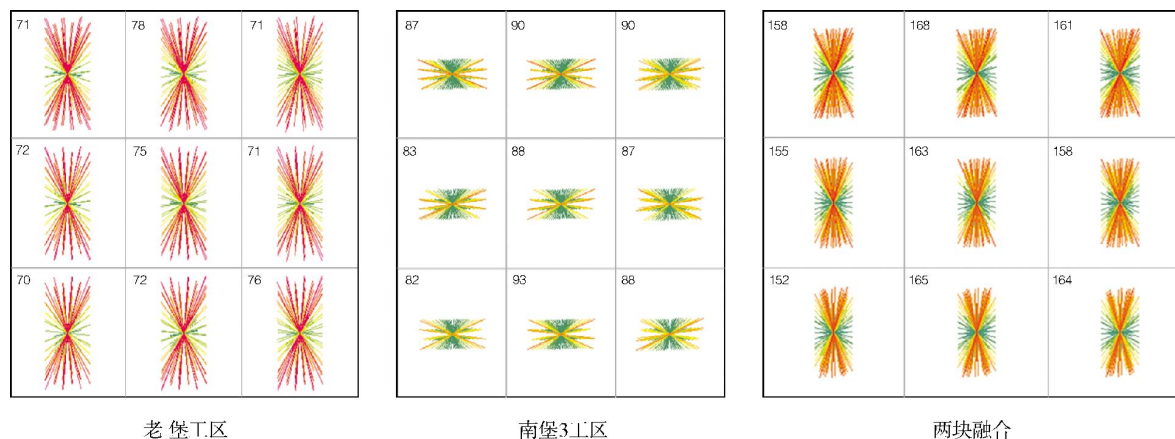


图13 融合前后方位角属性图

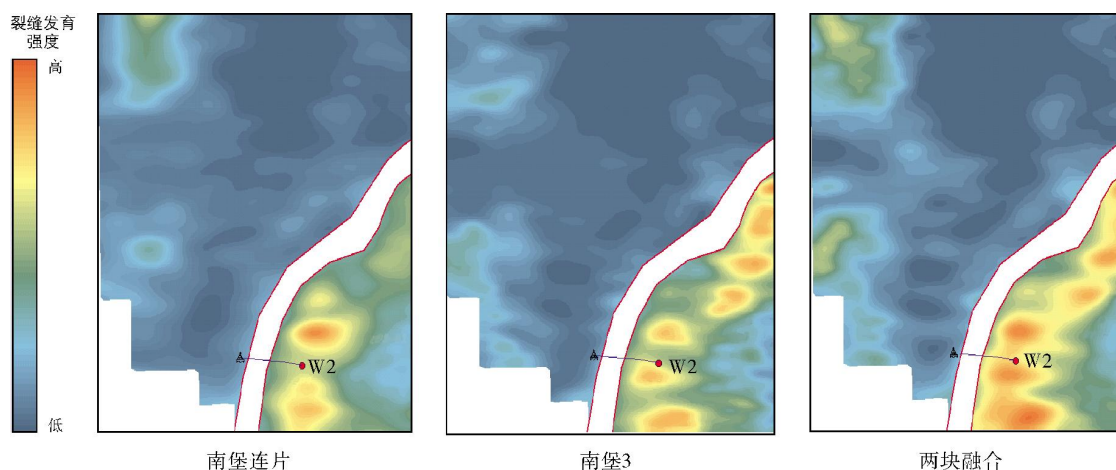


图14 融合处理后碳酸盐岩裂缝预测图

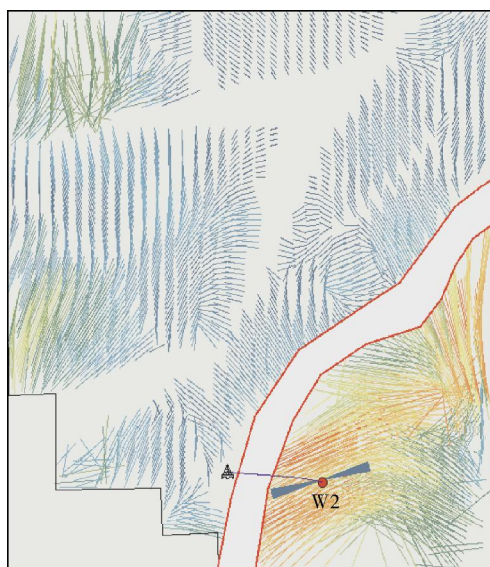


图15 南堡3号潜山构造裂缝发育方向图

根据南堡3号潜山构造叠前各向异性裂缝预测属性中提取的裂缝发育方向之平面展布特征看(图15),W2井区的裂缝展布方向为北东向,向东北部变为北西向。从W2井的FMI测井资料(图16)看,高导裂缝是主要裂缝类型,裂缝倾向为北北西向,走向为北东东向。地震预测结果与井上FMI反映的裂缝发育方向吻合度较好,且与南堡3号潜山发育的一组裂缝带走向也非常一致,这进一步证实了融合处理后地震资料的有效性。

4 结 论

融合技术是近期发展起来的处理及综合研究的一体化技术,它充分利用了现有的分多次采集的资料,通过提取更多属性信息,使资料在时间、空间和属性上相互补充,最大限度地提高了资料处理成果的质量,为综合研究提供了更加丰富和精确的信息。

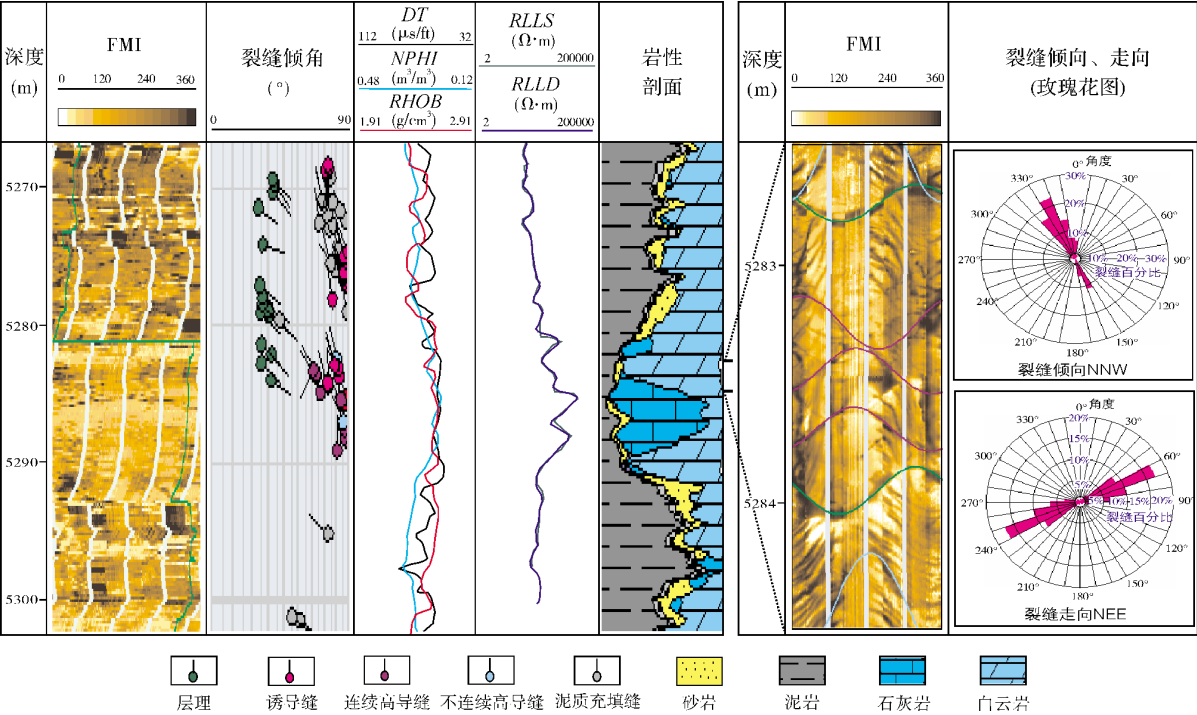


图16 南堡3号潜山构造W2井FMI测井解释成果图

对南堡3号潜山构造区多次采集的地震资料融合处理后,信噪比明显提高,有效改善了成像质量,丰富了方位角信息,使之具有宽方位特征,提高了构造落实程度和裂缝储层预测的精度,为勘探部署提供了地质依据。

参考文献

[1] 刘淑华,薛云松,赵宝银,等. 南堡油田古生界古潜山油藏裂缝描述预测及勘探[J]. 特种油气藏,2007,14(1):41-44,48.
[2] 马光华,张红臣,时阳,等. 南堡凹陷3号潜山成藏特征探讨[J]. 地质找矿论丛,2014, 29(1):91-95.

[3] 柳世光,季占真,郭平,等. 多次采集地震资料融合处理技术[J]. 化工管理,2014, (11):99,101.
[4] 王喜双,曾忠,易维启,等. 中国石油集团地球物理技术的应用现状及前景 [J]. 石油地球物理勘探,2010,45(5): 768-777.
[5] 袁胜辉,唐传章,葛黛薇,等. 冀中坳陷深潜山及其内幕地震勘探技术研究[J]. 勘探技术,2013,1(6):39-43.
[6] 张颖,乐金,闫世信,等. 三维地震资料连片处理技术及应用效果[J]. 石油勘探与开发,2002,29(6):58-60.
[7] 王童奎,翟瑞国,赵宝银,等. 南堡凹陷潜山精细成像目标攻关处理研究[J]. 地球物理学进展,2010,25(3):857-865.

编辑:黄革萍

Application of High-fidelity Merging Processing of Seismic Data at Nanpu Area in Jidong Oilfield

Shi Wenwu, Huang Rongshan, Wang Dongna, Zhang Zhirang

Abstract: The high-fidelity merging processing is an efficient method suitable for detecting fractures in carbonate rock with the pre-stack azimuth anisotropy. It is successfully used to process the 3-D seismic data from Nanpu-3 buried-hill area in Jidong Field. The result shows that in plane maps of fracture density predicted from the multi-collecting 3-D seismic data through merging processing, the predicting fractures in carbonate rock are well regular in distribution and quite accurate in direction, which is also highly consistent with the logging data.

Key words: 3-D seismic data; High-fidelity merging processing; Buried hill; Carbonate rock; Fracture prediction

Shi Wenwu; MSc., Geophysical Engineer. Add: Exploration and Development Research Institute of PetroChina Jidong Oilfield Co., Jia-51 Guangming Xi Li, Tangshan, 063004, China