

·勘探技术·

# 叠前地震反演技术的应用条件及难点分析

苗永康

(中国石化胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022)

**摘要:**叠前地震反演技术可以通过数学运算,从未叠加的叠前地震资料中获得速度、密度和泊松比等弹性参数。通过弹性参数可识别出油气勘探开发过程中所关注介质的岩性、物性及流体等特征,能够大幅度提高储层描述精度,减少多解性;但叠前地震反演技术具有一定的应用条件,对地质、地震和测井资料有适应性的要求,其反演结果的应用效果受多方面因素影响。为此,在分析叠前地震反演技术优势的基础上,应用模型数据和实际地震、测井资料,确定该技术的应用条件,并分析应用过程中存在的难点问题;结果表明,叠前地震反演具有资料多样性和技术本身的优势,且可获得丰富的反演成果数据;但应用该技术时,须采用高品质的地震资料,进行岩石物理可行性分析以及合理的叠前地震反演过程控制和成果应用。目前叠前地震反演技术存在的难点有反演结果存在多解性、须解决多种资料的匹配以及反演结果的纵、横向分辨能力与勘探开发需求的一致性。

**关键词:**叠前地震反演技术 地震资料品质 有效频带宽度 岩石物理可行性分析 反演过程控制

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)06-0061-04

叠前地震反演是近年来应用较广泛的物探技术,其通过叠前偏移归位的共成像点道集,计算得到反映地下地质体特征的速度、密度和泊松比等弹性参数,在油田勘探开发过程中取得了良好的效果。但在应用过程中,对于叠前地震反演技术的优势、应用条件,以及如何提高叠前地震反演结果的应用效果等方面均缺乏系统地分析和总结。为此,根据理论地质模型正演模拟得到的地震资料 and 实际地震、测井资料,分析叠前地震反演技术的优势、应用条件及应用过程中存在的难点,以期为该技术更好地应用于油气的勘探开发提供指导。

## 1 叠前地震反演技术的优势

叠前地震反演技术是相对于应用叠加资料的叠后地震反演技术而言的,其所用地震资料为经过偏移归位的共成像点道集。叠前地震反演技术的优势主要表现在3个方面:①具有资料多样性的优势。其应用的地震资料为共成像点偏移道集,保留了反射振幅随偏移距(入射角)的变化,具有更丰富的地震资料信息;测井资料包括纵、横波速度及密度,具有丰富的测井信息。②反演技术本身的优

势。反演技术是将原来在反射界面上产生的地震信号转换为具有明确地质意义的地层信息,可以为研究人员提供更直接的地质解释数据体。叠前地震反演过程中通过地震地质标定、构造地质模型和测井信息约束模型等关键技术,综合叠前地震资料、测井资料和构造、地质认识等,计算得到弹性参数数据体,可提升对有利目标的识别精度。③丰富的反演成果数据。与叠后地震反演技术获得的波阻抗不同,叠前地震反演技术尤其是叠前三参数地震反演技术,可获得纵、横波速度及密度共3组数据体;进而可根据弹性波反射理论,得到需要的弹性参数,如杨氏模量、剪切模量、泊松比、拉梅系数、流体因子等均与纵、横波速度和密度成函数关系,为储层的岩性、物性及流体描述提供了更多的敏感参数,进而提高对储层描述的精度<sup>[1-3]</sup>。

## 2 叠前地震反演技术的应用条件

### 2.1 高品质的地震资料

#### 2.1.1 观测系统

规则的观测系统、小网格以及高覆盖次数等均会提升叠前地震道集的质量。当观测系统不够均

收稿日期:2014-09-01。

作者简介:苗永康,男,高级工程师,博士,从事地球物理技术的研究与应用。联系电话:(0546)8552973, E-mail:miaoyongkang.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家“863”项目“油藏地球物理特色技术模块研制与软件系统集成”(2011AA060302),中国石化科技攻关项目“叠前波形反演方法及应用研究”(P12038)。

匀充分时,将会影响偏移成像的质量,共成像点道集是叠前地震反演技术的基础资料,因此也会影响叠前地震反演结果的可靠性。叠前偏移成像技术对均匀连续的空间采样有很高的要求,炮密度和道密度都会影响地震资料偏移成像的效果。当道密度或者炮密度较小时,会出现空间假频,对假频信号的偏移不能正确归位,进而产生偏移噪声。随着道间距的增大,致使偏移噪声逐渐增强,且难以提供可以真实反应地质体尤其是小型地质体的地层信息。通过分析不同道间距地震正演模拟资料的偏移效果(图1)可见,道间距较小的地震资料偏移叠加后的成像效果明显好于道间距较大的地震资料。叠前地震反演技术采用的是未经过叠加的叠前地震道集,不均匀充分的观测系统对其反演效果的影响更加严重<sup>[4-5]</sup>;因此须采集均匀充分的地震资料,且面元大小应满足对地质体分辨能力的需求。

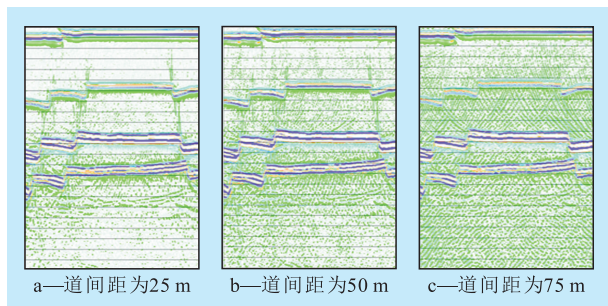


图1 不同道间距地震正演模拟资料的偏移效果

### 2.1.2 叠前地震道集

叠前地震反演技术的核心算法是通过反射系数与偏移距(入射角)、地下介质的速度和密度的函数关系来进行计算。远偏移距的地震资料包含更多的横波速度和密度信息,远偏移距(大入射角)地震资料保留的越多,叠前地震道集的质量越好(同

相轴平直,振幅关系保真度高),叠前地震反演得到的参数成果就越可靠。不同入射角度范围的叠前密度反演结果(图2)表明,随着入射角度的拓宽,叠前密度反演结果的纵向分辨能力以及与测井曲线的吻合程度均得到了提高。对于叠前地震反演技术,叠前地震道集的入射角度应不低于30°,须经过叠前偏移归位处理,角度道集的转换综合考虑层速度和地层倾角,且角度道集的同相轴平直,反射振幅随偏移距的变化特征符合岩石物理分析结果。

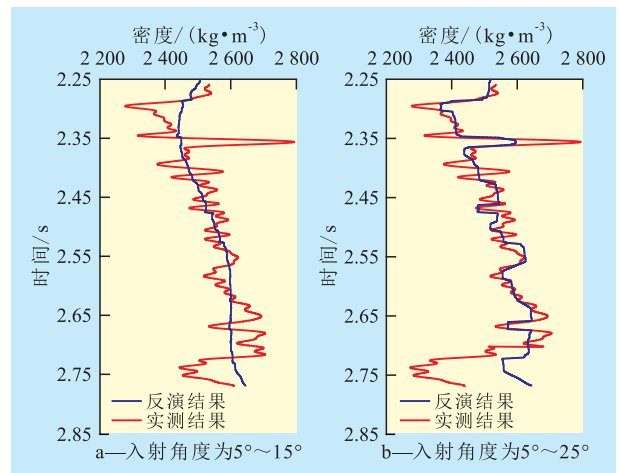


图2 不同入射角度范围的叠前密度反演结果

### 2.1.3 有效频带宽度

对于叠前地震反演技术,其反演结果对储层的分辨能力不仅与采用地震资料的主频有关,更与其有效频带宽度密切相关。一般来说,地震资料的主频越高,叠前地震反演结果的分辨率越高,但地震资料中的低频信息对反演结果所反映的地质信息同样重要。不同有效频带宽度地震资料的叠前地震反演结果(图3)显示,在相同的反演参数条件下,当低频信息丰富时,叠前地震反演结果的精度较

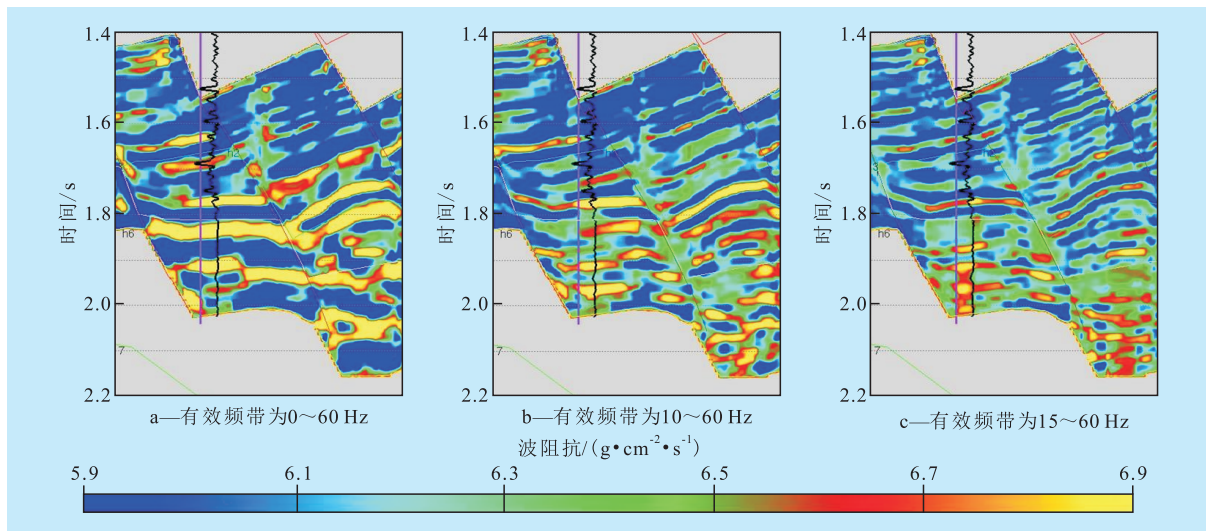


图3 不同有效频带宽度地震资料的叠前地震反演结果

高,对储层的表征更加清楚,尤其是横向分辨能力要高于仅提高高频信息的叠前地震反演结果;因此,叠前地震反演技术要求所采用的地震资料尤其是叠前地震道集的有效频带宽度越宽(包括低频和低频信息),反演的效果越好。此外,由于叠前地震反演技术利用的是地震资料中振幅与偏移距的关系,对储层的分辨能力受地震资料分辨能力的限制;因此,应用叠前地震反演技术时,不能脱离地震资料的有效频带宽度而盲目追求储层纵向分辨能力的提高。

## 2.2 岩石物理可行性分析

储层的岩性、物性及含流体性质与弹性参数的关系和敏感程度是应用叠前地震反演技术解决地质问题的基础。因此,应用叠前地震反演技术的前提条件是必须首先对研究区进行岩石物理可行性分析,包括理论分析和实际资料统计分析。其中,理论分析就是通过理论模型计算分析应用叠前地震反演技术解决地质问题的可行性,即明确地质目

标的弹性参数特征,并在此基础上对实际的测井资料进行岩石物理分析。主要包括:①测井资料齐全,具有足够的横波速度和密度资料;②测井资料品质评价及单参数分析;③储层与非储层的弹性参数特征研究;④不同流体对应的弹性参数特征分析;⑤储层物性特征及与弹性参数关系研究等。根据岩石物理分析结果,确定研究区应用叠前地震反演技术的可行性、敏感参数及识别方法。如对某研究区进行岩石物理可行性分析,其弹性参数与储层岩性、含油气性关系的分析结果(图4)表明:利用叠前地震反演技术,可提高对研究区储层的识别能力;但仅根据纵波速度不能区分储层,由于储层具有相对较低的纵横波速度比和高纵波速度的特征,因此综合应用这2种参数可以提高对储层的识别能力。由于研究区的沉积条件复杂,油气成藏控制因素较多,虽然含油气后的储层纵横波速度比较低,但不是纵横波速度比低的地层均为油层,因此仅根据弹性参数识别流体的多解性较大<sup>[6-8]</sup>。

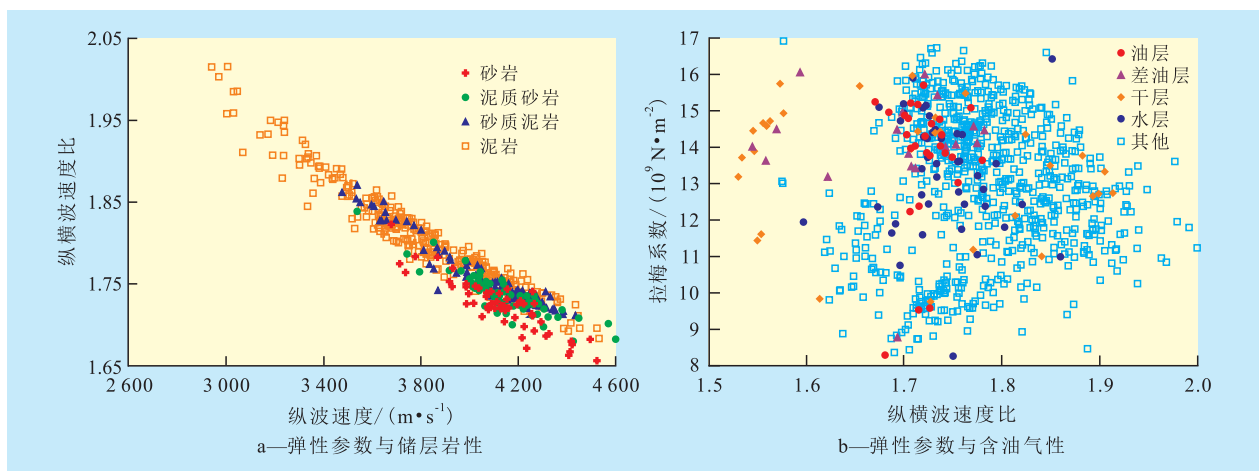


图4 某研究区弹性参数与储层岩性、含油气性关系

## 2.3 合理的叠前地震反演过程控制及成果应用

叠前地震反演技术的计算过程复杂,得到的反演结果较多;准确的地质及成藏规律研究,是成功应用叠前地震反演技术解决地质问题的关键。对于具有不同构造和沉积条件的研究区,应用叠前地震反演技术解决地质问题的关键技术亦不同。须充分利用已钻井资料及测井解释成果,在对构造、沉积及油气成藏规律充分研究的基础上,对叠前地震反演过程进行合理的控制,并重点做好叠前地震道集标定与子波提取、多信息约束模型建立以及叠前地震反演多参数解释等关键技术的质量控制。例如必须在测井资料和叠后地震资料准确标定的基础上,对叠前地震道集进行准确标定,以保证测井曲线的速度界面与地震资料的统一;在多信息约

束模型建立过程中,只有在明确研究区构造特征的基础上,才能建立合理的多信息约束模型,进而提高叠前地震反演结果的精度。如果应用叠前地震反演技术得到的流体分布结果与研究区油气成藏规律不吻合,则须对叠前地震反演技术的流程、参数选择及基础资料等进行重新论证。只有综合地震相、沉积相、地震属性、构造沉积演化及油气成藏规律分析,并充分利用地震、地质、测井资料和叠前地震反演成果,才能对研究区储层进行准确、精细地描述<sup>[9-11]</sup>。

## 3 叠前地震反演技术的应用难点

在勘探开发实践过程中,应用叠前地震反演技

术解决了许多地质难题,如对济阳坳陷沙三段浊积砂岩的储层描述及浅层流体识别等,但仍然存在一些亟需解决的难点问题。主要有3个方面的应用难点:①叠前地震反演结果存在多解性。所有地震反演技术的算法均存在非惟一性问题,地震反演结果的精度取决于地震、测井以及地质资料等一系列的综合信息,应正确认识一种地震反射特征可能对应多种地质模型特征;因此,须综合应用多种信息,选择正确的地质模型,进而减少叠前地震反演结果的多解性。②须解决多种资料匹配的难题。地震、测井及录井资料在时间、平面分布以及纵向分辨能力等方面均存在不一致性,因此,在叠前地震反演过程中必须根据实际资料的匹配情况做好关键技术的研究与应用,例如地震资料采集时间与测井资料测试时间的匹配、叠前地震反演结果与开发动态的匹配分析、测井资料与地震资料分辨能力的匹配应用等。③叠前地震反演结果的纵、横向分辨能力与勘探开发需求的一致性。目前叠前地震反演结果的分辨能力可达到对砂组的识别、描述,但尚不能对薄互层储层进行纵、横向的准确识别,较高的勘探开发需求对地球物理技术提出了更高的要求;因此,须不断发展新的技术,进一步提高叠前地震反演结果的精度,以满足油气勘探开发过程中的实际需求。

## 4 结束语

叠前地震反演是一项综合的储层描述技术,其合理应用需要一定的地震、地质条件。虽然叠前地震反演技术具有资料多样性和技术本身的优势,且可以获得丰富的反演成果数据;但在应用过程时,须采用高品质的地震资料,进行岩石物理可行性分析以及合理的叠前地震反演过程控制和成果应用。针对目前叠前地震反演技术存在的反演结果的多解性、须解决多种资料的匹配以及反演结果的纵、横向分辨能力与勘探开发需求一致性等难点问

题,应根据储层描述的研究目标,从观测系统设计开始,开展相应的地震资料采集、处理以及综合地质、测井资料进行反演,在构造、沉积及油气成藏规律研究的基础上,进行储层的精细描述。只有从地震资料、叠前地震反演处理及反演成果应用等多方面综合考虑,才能提高叠前地震反演技术的应用效果。

**致谢:**在论文撰写和修改过程中,胜利油田分公司物探研究院的王玉梅、刘立彬、慎国强、钮学民等专家和学者提供了技术支持和帮助,特此感谢!

### 参考文献:

- [1] 王玉梅.叠前地震反演精度影响因素[J].油气地质与采收率, 2013,20(1):55-58.
- [2] 孟宪军,姜秀娣,黄捍东,等.叠前AVA广义非线性纵、横波速度反演[J].石油地球物理勘探,2004,39(6):645-650.
- [3] 刘福平,孟宪军.反演纵横波速度的Jacobian矩阵及精确计算方法[J].中国科学:D辑 地球科学,2010,40(11):1 608-1 616.
- [4] 王延光.胜利油区时移地震技术应用研究与实践[J].油气地质与采收率,2012,19(1):50-54.
- [5] 慎国强,王玉梅.基于时频分析的地震道集校平技术应用[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(1):34-36.
- [6] 孟宪军,金翔龙,钮学民,等.地震反演中的三维复杂约束模型[J].石油大学学报:自然科学版,2004,28(6):21-26.
- [7] 高树新,任怀强,杨少春.渤海湾盆地济阳坳陷陈家庄凸起东段北斜坡油源特征及成藏分析[J].石油实验地质,2007,29(1):69-73.
- [8] 罗霞,刘华,王玉林,等.渤海湾盆地济阳坳陷气源岩和原油生物模拟实验研究[J].石油实验地质,2007,29(4):426-431.
- [9] 王鸣川,朱维耀,董卫宏,等.曲流河点坝型厚油层内部构型及其对剩余油分布的影响[J].油气地质与采收率,2013,20(3):14-17.
- [10] 张本华.曲流河储层构型中废弃河道的识别及其分布模式——以孤岛油田馆上段为例[J].油气地质与采收率,2013,20(3):18-21,25.
- [11] 慎国强,汤婕,王玉梅,等.叠前叠后联合反演技术在油气藏精细描述中的应用——以东营凹陷永安镇油田永3井区为例[J].油气地质与采收率,2014,21(2):87-90.

编辑 邹澍滢

欢迎广大科技人员踊跃投稿