

多分量地震勘探技术新进展及关键问题探讨

赵波^① 王赞*^② 芦俊^③

(^①中国石油东方地球物理公司物探技术研究中心,河北涿州 072750; ^②中国科学院地球化学研究所,贵州贵阳 550002; ^③中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083)

赵波,王赞,芦俊. 多分量地震勘探技术新进展及关键问题探讨. 石油地球物理勘探, 2012, 47(3): 506~516

摘要 自20世纪90年代中、后期以来,基于地震各向异性理论的多分量地震技术在实用化方面取得了长足进展。多分量地震技术在解决复杂岩性、裂缝油气藏或者煤系地层的储层预测、裂缝检测、流体识别等方面表现出良好的应用效果与发展前景。本文从多分量地震数据的采集、处理与解释反演的角度,总结了近几年来国内多分量地震技术的新进展,并结合实例展示了一些新的处理、解释技术的效果,剖析了各个环节存在的难点以及存在的问题,并对发展方向做出预测。

关键词 多分量 采集 处理 解释 反演

中图分类号:P631 文献标识码:A

1 引言

长期以来,传统地震勘探只利用了纵波信息,以解决构造问题为主要目标。但随着油气、煤炭、煤层气勘探、开发程度的不断提高,面临的问题也更加复杂。未发现的大型构造油气藏已越来越少,很多老油田已相继进入开发中后期;岩性油藏、火成岩油藏、碳酸盐岩缝洞型隐蔽、非均质性油气藏成为新的勘探目标,单一的纵波勘探已不能满足现今勘探的需求。对于煤层气储层来说,问题更为复杂,煤层具有厚度薄、波阻抗低、次生节理与裂隙发育、各向异性程度较强等特点;而对于缝洞型油气藏主要表现为强非均质性和各向异性。至于煤层气的开采要求查明3m以下的小断层、确定煤层及其顶、底板的机械强度、预测瓦斯富集带与地下水的发育位置,这些都对地震勘探提出了更高的要求与期望^[1,2]。

多分量地震勘探能够同时获得纵波与转换横波资料,既包含了地下的构造信息,又能反映裂缝等各向异性信息以及流体特性,因而有利于隐蔽油气藏与煤层气勘探精度的提高^[3]。20世纪90年代中后期,海上转换波地震技术使多分量地震勘探进入了

发展高潮,并从方法研究阶段开始转入工业化试验、应用阶段^[4]。国外一些科研机构,如英国地质调查局、加拿大的Calgary大学与美国Colorado矿院在多分量地震技术的理论研究、实际应用方面积累了一些成果与成功的经验,大大推动了多分量地震技术的工业化进程^[5~8]。在中国,多分量地震技术也在迅速发展之中,从20世纪80年代到本世纪的前十年,多分量地震技术一直倍受关注。我国许多学术研究机构开展了基础理论研究,胜利、大庆、开滦、淮南、新疆、四川、长庆等油田与煤矿企业相继开展了多分量地震试验与生产,有很多成功的例子,在多分量地震数据采集、处理、解释反演等一些关键技术有所突破,但也遇到了一些难题。本文将从采集、处理、解释三个方面对多分量地震关键技术目前所取得的进展以及存在的问题和攻关方向进行总结与论述,以促进多分量地震技术进一步发展。

2 多分量地震采集

2.1 数字三分量检波器的研制

地震数据采集仪器的进步是近几年多分量地震技术向前发展的根本原因之一,尤其是近十年来,

*贵州省贵阳市中国科学院地球化学研究所,550002。Email:yunwang@mail.iggcas.ac.cn。

本文于2011年6月9日收到,最终修改稿于2012年3月16日收到。

本文研究由中国石油科技创新基金项目(2011D-5006-0303)、国家自然科学基金项目(41104084)、国家科技重大专项“大型油气田与煤层气开发”(2011ZX05035-001-006HZ,2011ZX05035-002-003HZ,2011ZX05008-006-022,2011ZX05049-001-002,2011ZX05019-003)联合资助。

I/O和 CGG 等地球物理服务公司研发出微电子机械系统数字检波器,代替了传统的模拟检波器,提高了陆上多分量地震资料的分辨率与信噪比,也极大地提高了多分量地震采集的效率。中国的石油公司和地球物理服务公司大量进口了数字三分量检波器,进行了多分量地震勘探试验与生产。2003 年中国石油东方地球物理公司在长庆苏里格气田的三维三分量采集以及 2004 年中石化分别在胜利和四川的三维三分量采集都采用了先进的数字三分量采集系统^[9]。2006 年,淮南矿业集团在顾桥矿区进行了数字三分量煤田地震勘探。这些试验与生产项目的实施为三维三分量转换波资料处理和解释研究及推动三分量地震技术进步打下了良好的基础。

鉴于数字三分量检波器的优点^[10-12],中国的一些研究机构和厂家也开展了数字三分量检波器的研制和探索,如中国矿业大学(北京)研发的三分量地震检波器,实现了数字化、智能化,并在多波工程勘察、煤田地震勘探、矿井超前探测等领域进行了初步应用^[13]。中国石化南京石油物探研究所^[14]与吉林大学、东方地球物理公司、中国科学院地质与地球物理研究所开展了三分量地震勘探检波器的研制。总体来说,中国的数字三分量检波器仍处在野外试验中。

2.2 多分量观测系统设计

多分量地震采集的目标波场是各向异性的矢量波场,其观测系统的设计也必须考虑地层各向异性,采用点源激发、单点接收,以尽可能高保真记录各向异性的地震波场,避免组合对各向异性的压制;同时兼顾方位角以及纵波、转换波的最佳接收窗口。目前,一些专业软件已能够实现多分量野外观测系统的设计,并与 SEG 标准接轨,且广泛应用于生产实践^[15]。但是这些软件的设计基本是基于各向同性的射线理论,没有真正实现基于各向异性的观测系统设计,而各向异性的存在会导致采集参数发生很大的偏差。表 1 列出了两层 VTI 介质模型的地层参数。通过射线追踪,可得到 PP 波、PSV 波的临界角炮检距分别为 5800m,4000m。以 ϵ 值(水平方向与垂直方向的纵波速度差与垂直方向纵波速度的比值)来表述地层的各向异性程度,图 1 显示了各向异性程度对临界角炮检距的影响。当第二层介质 ϵ 值不变时,随着第一层介质各向异性程度的增强,PP 波和 PSV 波的临界角炮检距递增较快;但是,当第

一层介质 ϵ 值不变时,随着第二层各向异性程度的增强,PP 波和 PSV 波的临界角炮检距递减较快。可见较小的各向异性程度的改变就会引起临界角炮检距的较大变化^[16]。而在多分量地震数据采集中,超过临界角的数据的采集将会给后续的处理带来很大的麻烦。

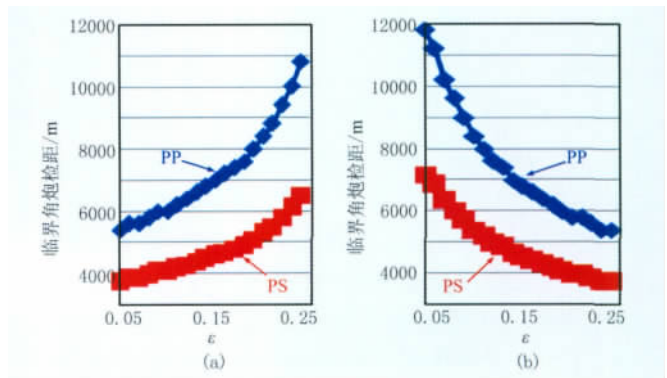


图 1 各向异性程度对临界角炮检距的影响

(a) 第一层; (b) 第二层

表 1 模型的地层参数

层号	底界面深度 m	垂直纵波速度 m/s	垂直横波速度 m/s	密度 g/cm ³	各向异性参数 ϵ	各向异性参数 δ
1	2000	3240	1897	2.4	0.056	-0.003
2	4000	3400	2067	2.5	0.225	0.1

多分量观测系统设计还有很大的发展空间,有很多问题值得地震勘探研究人员进行深入的思考。大规模的全方位角、长排列和小道距的三维多分量地震采集的花费是巨大的,如何设计一条二维的,或者交叉型多分量测线,对地下的各向异性进行初步探查,显得更加重要。另外,由于地下介质存在黏弹性,如陆上地震勘探中面对巨厚第四系覆盖层,煤系地层、油气储集层等目的层的反射波(尤其是转换波)在到达地表时表现为较低的频率,往往难以为后续的解释、反演提供可靠的数据来源。所以多分量的观测系统设计更应充分考虑频率的衰减问题,以便于确定最佳的采集参数。

2.3 多分量低速带调查

纵波的低、降速带调查方法已相对成熟,常采用微测井与小折射法。但为多分量地震勘探服务的低、降速带调查还是个新的课题,目前尚没有成熟的方法可以借鉴。如今常用的多分量低速带调查方法有横波微测井^[17]、VSP 三分量微测井^[18]以及三分量小折射^[19]等。应用较多的是横波微测井,其数据

采集需要用到井下三分量检波器与横波震源,可以套用纵波微测井方法进行横波微测井数据的解释,能够提供较为精确的浅层横波速度结构。三分量小折射是利用纵、横波初至反演近地表的纵、横波速度结构。纵波的初至到达时最早,能量强,相对容易识别;但是当浅层分层较多时,横波的初至往往淹没在复杂的纵波广角反射内,难以拾取。因此三分量小折射技术的突破取决于波场分离算法,目前仍处于研究阶段。

很多情况下,利用微测井和小折射方法进行多分量地震低、降速带调查不能满足勘探的需求。一些地区,如淮南矿区、华北平原、中国西部的沙漠地区,第四系松散覆盖层较厚,横向速度变化大,利用微测井和小折射方法不能完全确定低、降速带的变化,且高密度的微测井和小折射调查也大大增加了勘探的成本,因此人们不得不探索其他可能的低速带调查方法^[20]。近几年,炮集记录中瑞雷波信息的提取和利用在多分量转换波的研究中倍受关注,且有一些成功的实例^[21~23]。图2为在淮南顾桥矿区利用三维三分量炮集记录提取瑞雷面波经过层析成像反演得到的近地表横波速度结构。反演的横波速度结构与已知钻孔和巷道采煤所揭示的地质信息复合^[24],显示了较高的精度,可满足煤田精细构造勘探转换波静校正的需要。但此方法也只能应用在面波发育的地区且道间距要足够小^[25,26],道间距过大会产生假频。例如,在苏里格气田,由于面波不发

育,就难以应用这种方法。

2.4 存在问题

三分量检波器与采集技术的提高固然在一定程度上促进了多分量地震技术的发展,但是多分量地震的目的是精细的构造与物性探查和流体识别,因此精度要求比常规纵波勘探更高,对采集的数据质量要求更高。纵观现今中国的多分量地震的应用效果,发现地震采集中依然存在一些较为严重的问题:①采集质量监控系统不完善(检波器的埋置、激发药量、井深等的人为因素影响较大,没有一个量化的标准),也就是说目前尚没有一套用于转换波的现场处理、分析与监控软件;②同一研究区很少同步采集三分量VSP资料 and 全波列声波测井资料,导致后续的处理、解释过程中波场标定难以进行;③低速带调查精度、密度低,难以为后续的转换波静校正提供精确的纵、横波表层速度结构,尤其对于国内大多数陆上地震勘探,数据的采集难度更大。

3 多分量地震数据的处理

多分量地震数据的处理是多分量地震勘探的关键,其目标就是获得高精度的多波成像。近几年,国内、外学者在这方面的研究成果较多,推出的处理模块基本达到实际应用的水准。转换波的处理是多分量地震数据处理的核心,其主要难点有:转换波静校正、共转换点抽道集、速度分析和动校正的联动、叠前偏移等。

3.1 转换波静校正

由于地表与浅层横波速度未知,检波点的横波长波长静校正就成为转换波静校正的难点。目前一般采用统计的方法,即利用短波长静校正量的互相关算法来近似替代^[27,28]。当地下构造平缓时,共接收点叠加道集相干算法是一种常用的方法,但是当近地表结构较为复杂时,该方法效果欠佳^[29]。马昭军等^[30]提出一种切实可行的转换波静校正方法,即根据多分量微测井资料求取低速层纵、横波平均速度比,再利用纵波检波点静校正量和该速度比来求取转换波长波长静校正量,获得较好的效果。近几年利用瑞雷面波反演进行转换波静校正的研究较多,其思路与马昭军提出的方法类似,不同之处在于该方法利用炮集记录的瑞雷面波反演获得近地表的横波速度结构,不需要增加野外工作量^[21]。图3为

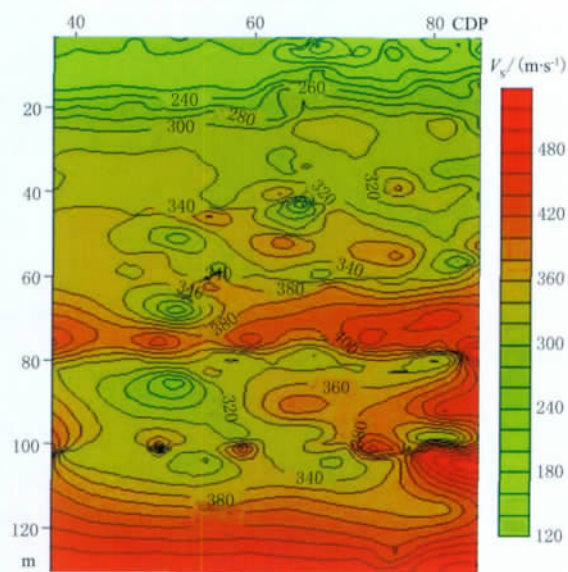


图2 淮南顾桥矿区 Inline113线瑞雷面波反演的近地表横波速度结构

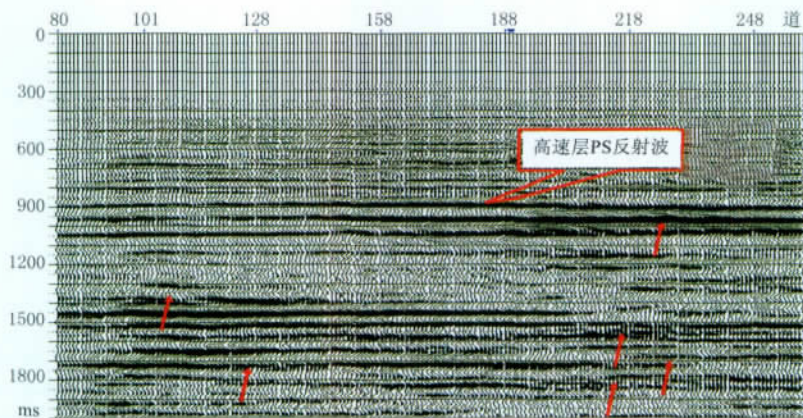


图 3 淮南顾桥煤矿 Ineline113 线转换波初叠剖面

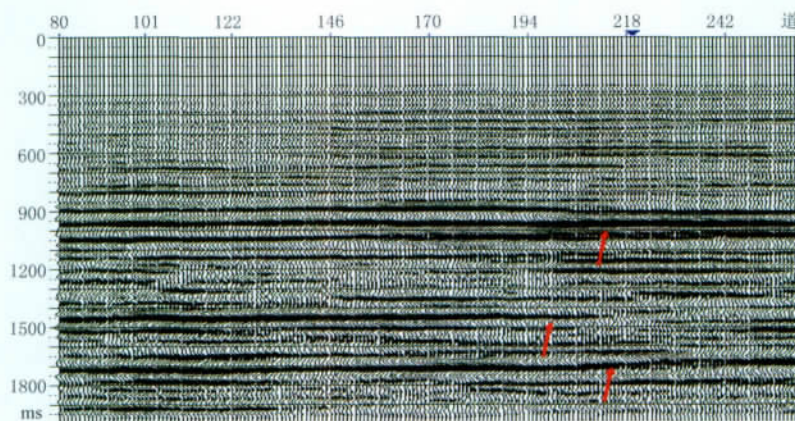


图 4 淮南顾桥煤矿 Ineline113 线经转换波长波长静校正后的叠加剖面

淮南顾桥煤矿 Ineline113 线的转换波初叠剖面,图 4 为应用瑞雷面波反演获得的浅层横波速度进行静校正后的叠加剖面,可见转换波剖面得到明显的改善(箭头所示)。

3.2 共转换点叠加成像

转换波的上、下行波的不对称性,使得常规的基于共中心点(CMP)道集的速度分析、动校正和水平叠加技术不能适用于转换波资料处理。转换波成像必须依赖于转换波共转换点(CCP)道集成像,主要包括:共转换点抽道集、非双曲速度分析、动校正与叠后偏移,其中共转换点抽道集与速度分析和动校正的联动是核心技术。共转换点抽道集技术,总体上可分为两条思路:①在水平层状假设下,对单一均匀水平层状模型导出的一元四次方程进行求解,获得精确的(或近似的)转换点的坐标。比较有代表性的成果有 Tessmer 等^[31]的精确解析解,李录明等^[32]的分层 CCL(Common Converted Line)迭代法求解,Thomsen^[33]的各向异性近似解,许士勇等^[34]

的二阶近似解等;②在倾斜地层假设下,对三维倾角转换波共转换点坐标进行求解,抽取倾角 CCP 道集,并同步实现转换波 DMO(Dip Move Out)。姚陈等^[35]给出了三维倾角转换波共转换点的解析表达式,使得抽取共转换点道集的精度提高了一个台阶;于光明等^[36]将该方法应用于实际数据,获得较好的效果。图 5a 和图 5b 分别是水平层状与倾斜假设两种情况下抽取共转换点道集的初叠剖面。由图可以明显看出:对于倾斜的煤层,基于水平层状假设的 CCP 道集转换波初叠效果不如倾斜层状假设的 CCP 道集转换波初叠效果,如图中箭头所示的倾斜层成像效果明显提高。

3.3 叠前偏移成像

转换波叠前偏移包括时间偏移与深度偏移。转换波叠前时间偏移可以替代 CCP 抽道集、DMO、叠后时间偏移等时间域处理流程,可使成像效果明显提高。转换波叠前时间偏移技术的发展历程不长,但是现在已发展到各向同性和各向异性两种偏移方

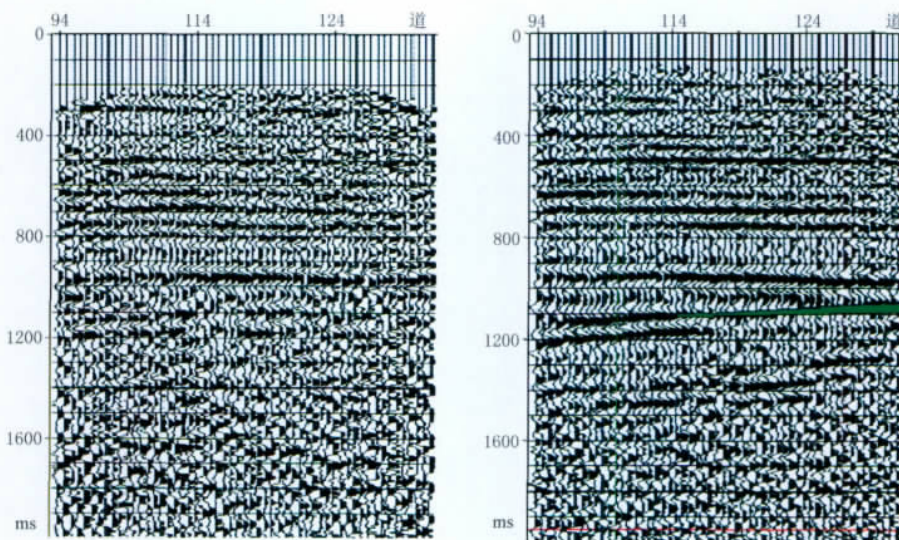


图5 水平层状假设 CCP 道集叠加剖面(左)与倾角 CCP 道集叠加剖面(右)的对比

法。转换波各向同性偏移方法主要有:等效炮检距法^[37]、虚拟炮检距法^[38]、共炮点记录叠前相移偏移^[39]等方法。等效炮检距(Equivalent offset migration, EOM)叠前时间偏移方法是建立在 Kirchhoff 叠前时间偏移基础上,其主要特点是抽取共等效炮检距散射线道集;虚拟炮检距法是在 EOM 方法的基础上引入虚拟炮检距(Pseudo-offset migration, POM),实现过程与 EOM 方法类似,但是该方法对速度的依赖性更小。转换波共炮点记录叠前相移法偏移是以相移法为基础,主要求出相移时间,针对 PSV 波射线路径的非对称性,在波场延拓时,用纵波速度进行正向延拓,反向延拓时用横波速度,每外推一个延拓步长时,用互相关成像法。转换波各向异性叠前时间偏移主要有:精确旅行时各向异性叠前时间偏移、各向异性双平方根方程叠前时间偏移、改进型双平方根方程叠前时间偏移^[40]。其实现过程一般分为两步:第一步,在 ACP(Asymptotic converted point)道集上通过四参数速度分析获得速度与等效各向异性参数模型;第二步,完成叠前各向异性 Kirchhoff 时间偏移^[41]。

转换波叠前深度偏移能够适应更为复杂的地质情况,利用地层深度的唯一性特点对转换波在深度域进行成像,有利于提高成像的精度,也有利于后续的多分量对比解释。秦福浩等^[42]在 20 世纪 80 年代后期开展了弹性波 Kirchhoff 叠前深度偏移技术研究,能够实现 Z-X-Y 三分量数据的同时偏移,且这项技术在胜利油田、塔里木轮南、大庆汪家屯地区

的多分量转换波地震勘探中得到试验应用。图 6 为利用该方法处理大庆汪家屯一条二维三分量地震数据获得的转换横波与纵波深度剖面对比(未经过其它修饰性处理)。从图中箭头指示的目标层位看,纵波与转换横波虽然在时间域走时不同,但在深度域可方便地对比,且有较好的层位与构造对应。李录明等^[43]发展了傅里叶有限差分转换波叠前深度偏移技术,获得了较好的应用效果。人们对转换波叠前深度偏移的期望值是很高的,但是很少能从文献上看到较好的转换波叠前深度偏移剖面,其原因是转换波叠前深度偏移的效果很大程度上取决于纵、横波速度模型的精度,而高精度横波速度深度域建模技术难以突破一直都是制约转换波叠前深度偏移技术向前发展的瓶颈;而且转换波叠前深度偏移技术的处理周期长、费用高,目前在勘探中应用程度不高。但随着转换波叠前时间偏移技术的发展及生产应用^[44~46],叠前深度偏移也将逐渐成熟。

3.4 其他成像方法

为了解决转换波传播路径的不对称,目前国外有一些学者提出将转换波剖面进行一些转换,用传播路径对称的等效波场来代替。Grechka 等^[47]提出用纵波与转换波计算横波的旅行时,从不同道集的转换波与纵波的旅行时中提取等效的横波旅行时,从而构建横波记录,再用处理纵波的方法处理横波。这种方法无需速度信息与各向异性参数即可获得横波的传播时间,解决了转换波传播路径的不对称导致成像的困难,容易直接获得横波信息。其缺

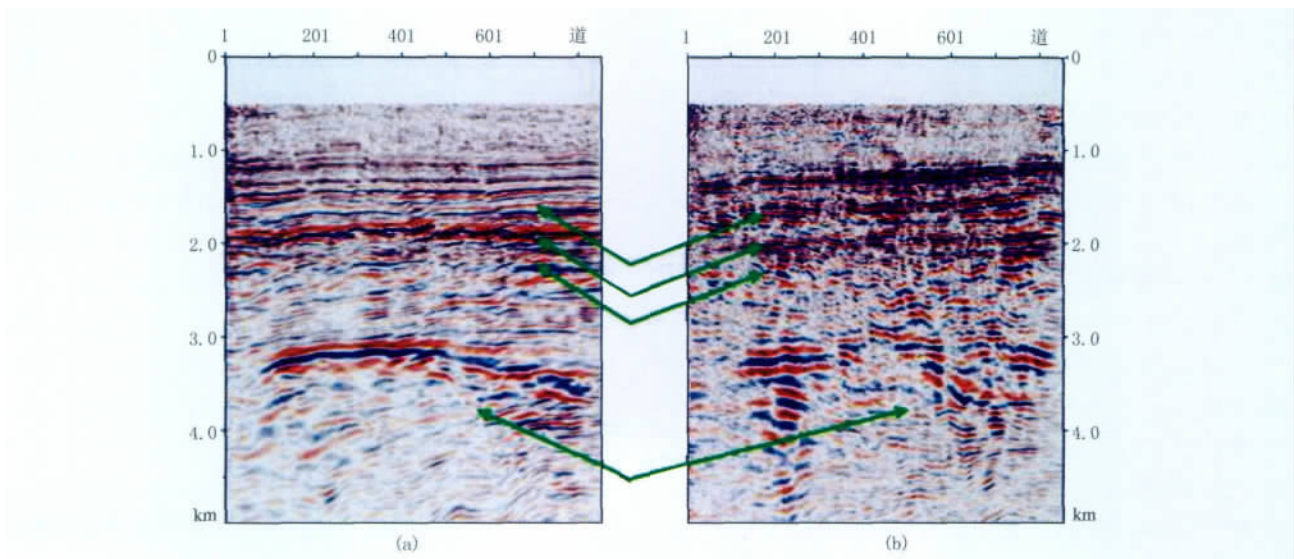


图 6 汪家屯气田三分量 Kirchhoff 叠前深度偏移剖面

(a)PP 波; (b)PS 波

点是要求地震记录有足够的时间长度,由于转换波反射系数与横波反射系数存在差异,所以最终得到的横波振幅是不精确的。Miao 等^[48]提出了一种无需依赖纵波的转换波叠前时间偏移技术,充分考虑了地层的等效各向异性参数,在多分量地震勘探中获得较好的应用效果。

3.5 存在问题

总体看来,国外对转换波成像的研究的出发点是如何解决转换波射线路径的不对称问题,中国在转换波成像上并不落后于国际,在有些算法的研究上甚至是超前的。但每种方法都有其优缺点,目前这些成像算法的商业化程度都还不高,需要进一步的完善。此外,目前的多分量地震数据处理方法大多尚未考虑地层的各向异性,因而导致很多各向异性信息在处理环节就丢失了,从而造成裂缝探测的不确定性。再有现今转换波的处理环节还有很多难点需要去攻克,如多分量的叠前去噪^[49]、基于各向异性的波场分离、静校正、各向异性反 Q 滤波^[50]等。

4 多分量地震数据的解释

在多分量地震数据采集和处理技术日趋成熟的今天,对多分量地震数据的解释不仅仅只追求构造的精细描述。在多波反演技术的辅助下,已逐步向岩性反演、流体描述和缝洞描述以及地下介质各向

异性解释等方面迈进了一大步。但是,相对多分量地震数据的采集、处理技术而言,多分量地震数据的解释是落后的,致使产业界难以看到这一技术的优越性。产生这一状况的主要原因是:多分量转换波的解释技术尚不完善;多分量地震信号中蕴藏的丰富信息没有得到充分利用;没有提供地下地质模型准确、精细、实用的信息;缺少地球物理论、参数分析与地质模型间有效连接桥梁;尤其,在多分量地震数据与测井数据联合反演和 AVO(A) 研究等方面还有很多问题值得在理论、方法上进行深入探讨。

4.1 多波层位标定

PP 波与 PS 波层位对比是多波解释的基础,也是难点所在。全波列测井合成记录层位标定法与三分量 VSP 层位标定法是国际上普遍采用的多波层位对比方法。在缺少井数据时,层位对比的难度较大,同一地层的 PP 与 PS 反射波同相轴往往存在较大的差异,两种波极性正、负的对应也没有统一标准,所以直接进行层位对比存在困难。Lawton 等^[51]提出在没有全波列测井和三分量 VSP 数据时,利用纵波测井资料与用户输入的纵横波速度比,模拟一定炮检距的 PP 与 PS 波合成记录,进行层位对比。当没有纵波测井数据或层位反射波离井较远时,Gaiser^[52]提出用叠后局部标定的方法解决多波反射层位的匹配问题。贺振华等^[53]较系统地总结了多波层位识别的主要原则和方法,提出了多波层位对比五大原则。然而,无井标定的结果始终是缺

乏可靠性的。如图7所示,在淮南顾桥矿区三维三分量地震勘探中,利用同一工区的三分量VSP资料对地面采集的PSV波进行了精确的标定,保证了解释的顺利、可靠进行。所以在本文的2.4节中也特别提到,多分量采集时应同步采集一定数量的VSP数据。

4.2 多分量构造解释

在油气田多分量地震勘探中,转换波常用来对气云带或P波弱阻抗差界面成像。但是由于转换横波的主频较低,因此利用转换波识别小断层的能力常受到人们的质疑。在构造解释上,PP波解释思路照搬到PS波上不再适用,用PS波解释小构造必须基于地震各向异性理论^[54]。P波与S波都属于应力波,P波传播与偏振主要受到地层的垂直压应力(重力)影响较大;S波传播与偏振主要受到地层

的水平构造应力影响较大,并在应力的非连续面产生横波分裂现象。小断层是区域构造应力存在的表现,断层附近是应力集中的区域,S波偏振出现异常,表现在S波相位的异常,如相位反转或同相轴的不连续等,利用此现象可以综合判识小断层。因此,多分量地震数据的解释必须以PP波解释为主,再用PS波补充解释PP波上表现不明显的构造。石瑛^[55]利用转换波数据解释出1.8m的小断层。如图8中,淮南顾桥煤矿F87断层在PP波与PS波剖面上都有很好的表现,但F31断层在PP波剖面识别不出,而在PS波剖面上11-2煤层在断点附近发生明显的极性反转。这是因为横波对岩石受到构造应力破坏所产生的骨架弹性间断反映更敏感,具有高于纵波的横向分辨率。该断层已在后续的巷道开挖中得到验证。

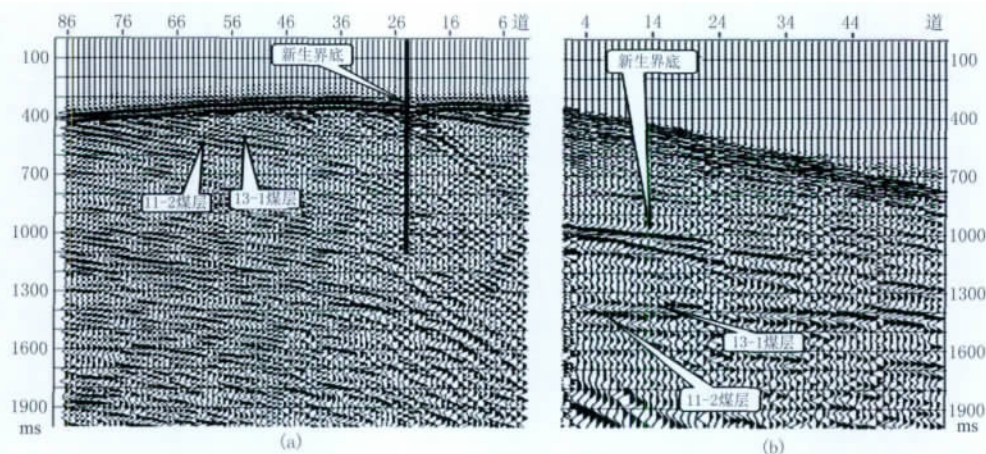


图7 VSP与地面地震的PSV波层位标定

(a)VSP剖面X分量;(b)地面地震X分量

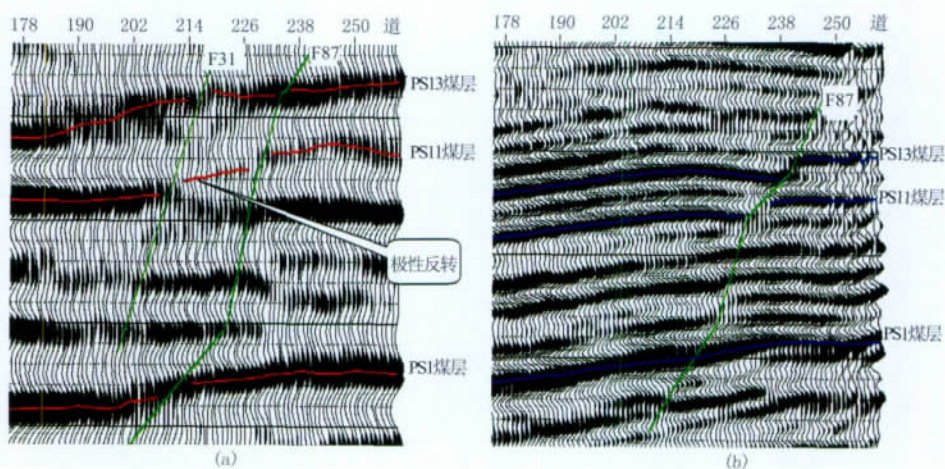


图8 利用PS波的极性反转解释小断层

(a)PS波剖面;(b)PP波剖面

4.3 PP 波与 PS 波联合反演

PP 波与 PS 波联合反演主要包括两种方法:叠前 AVO 反演与叠后反演。Stewart^[56] 首先提出 PP 波与 PS 波联合 AVO 反演的方法,即假设介质的密度与纵波速度之间关系满足 Gardner 公式,并对 Zoeppritz 方程的 Aki-Richard 近似式进行修改,得到纵、横波速度与反射系数之间的关系,并将其应用于 AVO 反演,实际数据应用结果表明该方法具有较好的稳定性。此后 Stewart^[57] 又提出了从 Aki-Richard 近似公式中提取弹性模量参数,用于研究岩石物理特性。中国在 PP 波与 PS 波联合反演方面的研究主要在应用方面:中石化在新场气田通过 PP 波与 PS 波联合叠前 AVO 技术对储层参数进行反演,获得较好效果^[58];魏修成等^[59] 提出在已知纵波层速度的情况下,用速度扫描法求取 Zoeppritz 方程组的数值解来反演横波层速度,这种方法是一种比较精确的横波层速度反演方法,从方程的选择上避免了由于近似方程与精确解的误差造成反演结果的偏差。

通过多波联合反演可以直接得到纵、横波阻抗与密度参数,其组合可以派生出更多的反映岩性与含流体性的属性参数,例如速度比、泊松比等弹性参数和各向异性参数;通过提取主要目的层的沿层切片,可以对储层的岩性、含流体性进行定量描述。另外孔隙度、渗透率、含水饱和度等储层参数也可以通过多波的井、震联合反演获得。通过岩电参数实验与岩心测试,可以建立多波属性与储层物性之间的联系,进一步获得储层的物性参数。国内在这方面试验研究工作并不多,但在淮南顾桥煤矿利用多分量地震数据解释储层的物性参数可以认为是较为成功的一例^[60,61],通过在淮南地区两口井的取心与工作面煤样的实验室测量,得出煤系地层孔隙度 φ 与 P、S 波速度的关系如图 9 所示,通过二元回归分析得到回归关系为: $\varphi = 146 - 18.6651\lg(v_p) - 21.711\lg(v_s)$ 。用该回归关系对岩样的孔隙度进行计算并与实测结果进行比较,如图 10 所示,估算值与实测值之间吻合程度较高。

4.4 裂缝检测

自 20 世纪 80 年代 Crampin 等^[62] 提出并证实了裂隙诱导各向异性和横波分裂的存在并提出了 EDA(Extensive Dilatancy Anisotropic, 扩容性各向异性)介质模型以来,国内外学者就裂隙介质的多波

多分量地震响应开展了大量研究。Alford^[63] 提出用坐标旋转分析方法从地面多分量与 VSP 数据中提取裂缝信息,该方法也是目前从多分量地震资料中解释地层各向异性信息用得最多的方法。Winterstein 等^[64] 提出在地层存在不同深度的多套裂隙系统时,用剥层法进行横波分裂分析。但是剥层法的应用常常受到储层条件的限制,如当目的层为薄层时,顶底界面的快慢波时差往往难以提取;另外静校正的误差可导致假的时移,使得目的层的各向异性信息难以准确提取;其中以发育裂缝的薄层的各向异性信息检测最为困难。大量的含裂缝薄层波场的理论数值模拟^[65] 证明,薄层的快慢波差异很少表现为时差的明显变化,主要反映在振幅与频率特征上;而各向同性薄层的反射系数同时受薄层厚度、入射角与频率的影响,累加各向异性裂缝信息后波场更为复杂。通常反演的参数增加,必然导致反演结果的不确定性增高。

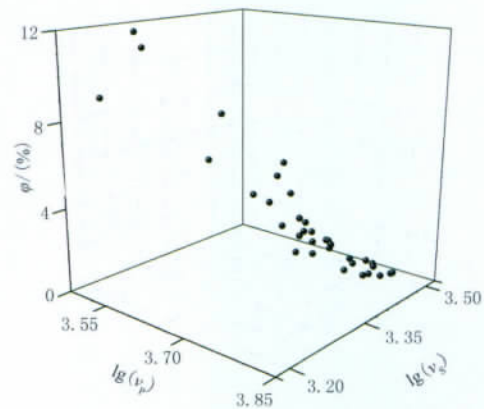


图 9 孔隙度 φ (%)与纵横波速度 v_p 、 v_s (单位:m/s)的关系

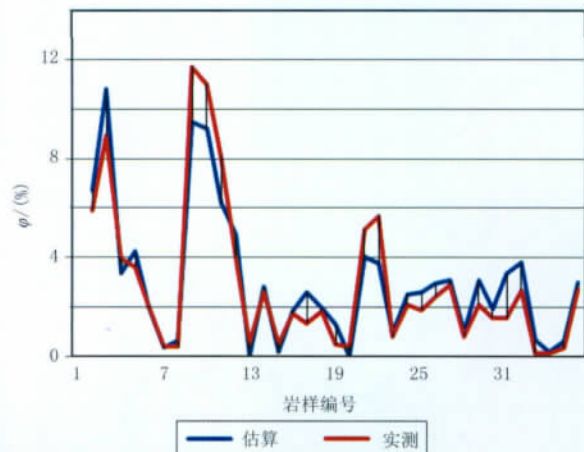


图 10 应用纵、横波速度估算的孔隙度与实测孔隙度对比

5 结束语

多分量地震勘探技术是地震勘探学界近十年来最为重要的研究成果,也是地震勘探技术的发展方向。它为油气层、煤层和煤层气储层的精细探测带来的积极影响是显著的。纵观近十年来的研究成果,很多算法在实际生产中得到了应用,也能出现成效;但是很多问题还亟待解决,其中最重要的是应该首先建立多分量地震采集设计、监控、处理、解释反演一体化模式和软件系统,并逐步向各向异性假设逼近。虽然目前在采集、处理、解释反演等方面还有很多不足,但是我们相信,只要业界和学术界继续紧密合作,多分量地震技术的工业化应用不会久远。

参考文献

- [1] 石瑛,王赞,芦俊. 煤田地震多属性分析技术的应用. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1397~1402
Shi Ying, Wang Yun, Lu Jun. Application of seismic multi-attribute analysis technique in coal field. *Journal of China Coal Society*, 2008, 33(12): 1397~1402.
- [2] 石瑛,王赞,芦俊. 用3C VSP资料分析含煤地层的方位各向异性. 煤炭学报, 2007, 32(8): 813~817
Shi Ying, Wang Yun, Lu Jun. Analysis of azimuthal anisotropy in coal measures by 3C VSP data. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(8): 813~817
- [3] 张永刚,王赞,王妙月. 目前多分量地震勘探中的几个关键问题. 地球物理学报, 2004, 47(1): 151~155
Zhang Yonggang, Wang Yun, Wang Miaoyue. Some key problems in the multi-component seismic exploration. *Chinese J Geophys*, 2004, 47(1): 151~155
- [4] 张树林,李绪宣,姜立红. 海上多波多分量地震技术新进展与发展方向. 物探化探计算技术, 2000, 22(2): 97~107
Zhang Shulin, Li Xuxuan, Jiang Lihong. Improvement and development of China offshore multiwave and multicomponent seismic technique. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2000, 22(2): 97~107
- [5] 黄中玉. 多分量地震勘探的机遇和挑战. 石油物探, 2001, 40(2): 131~137
Huang Zhongyu. The opportunity and challenge for the multi-component seismic survey. *GPP*, 2001, 40(2): 131~137
- [6] Stewart R R, Gaiser J E, Brown R J et al. Converted-wave seismic exploration: Methods. *Geophysics*, 2002, 67(5): 1348~1363
- [7] Lu Jun, Wang Yun and Yao Chen. Separating P- and S-waves in an affine coordinate system. *J Geophys Eng*, 2012, 9(1): 12~18
- [8] 徐丽萍,杨勤勇. 多波多分量地震技术发展展望. 勘探地球物理进展, 2002, 25(3): 47~52
Xu Liping, Yang Qinyong. On the development and prospect of multiwave and multicomponent seismology. *Progress in Exploration Geophysics*, 2002, 25(3): 47~52
- [9] 程冰洁,唐建明,徐天吉. 转换波三维三分量地震勘探技术的研究现状及发展趋势. 石油天然气学报, 2008, 30(2): 235~238
Cheng Bingjie, Tang Jianming, Xu Tianji. Status and development of converted wave 3D 3C seismic technologies. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(2): 235~238
- [10] 黄中玉,谈大龙,徐亦鸣,王于静. 多分量地震数据矢量保真度分析. 石油物探, 2005, 44(3): 206~209
Huang Zhongyu, Tan Dalong, Xu Yiming, Wang Yujing. Vector-fidelity analysis of multi-components data. *GPP*, 2005, 44(3): 206~209
- [11] 靳春光. 数字三分量检波器在油藏精细勘探中的应用. 物探装备, 2009, 19(增刊): 32~37
Jin Chunguang. Application of digital three-component geophone in precise prospecting. *Equipment for Geophysical Prospecting*, 2009, 19(Sup): 32~37
- [12] 张丙和,崔樵,裴云广. 新型三分量数字检波器 DSU3. 石油仪器, 2005, 19(4): 39~42
Zhang Binghe, Cui Qiao and Pei Yunguang. New three-component geophone-DSU3. *Petroleum Instruments*, 2005, 19(4): 39~42
- [13] 王怀秀,彭苏萍,朱国维. 微型检波一体化三分量地震仪及其应用. 煤田地质与勘探, 2003, 31(3): 45~48
Wang Huaixiu, Peng Suping, Zhu Guowei. A miniature integrated sampling 3-componented seismograph and its application. *Coal Geology and Exploration*, 2003, 31(3): 45~48
- [14] 郭建,马国庆,宗遐龄等. 基于微机电系统的数字检波器及其应用. 石油物探, 2005, 44(4): 348~352
Guo Jian, Ma Guoqing, Zong Xialing et al. Performance and application of digital geophone based on MEMS. *GPP*, 2005, 44(4): 348~352
- [15] 唐建明,马昭军. 宽方位三维三分量地震资料采集观测系统设计——以新场气田三维三分量勘探为例. 石油物探, 2007, 46(3): 210~318
Tang Jianming, Ma Zhaojun. Design of wide-azimuth 3D 3C seismic data acquisition geometry—case study of 3D 3C exploration in Xinchang gas field. *GPP*, 2007, 46(3): 310~318
- [16] 芦俊,王赞,石瑛. 关于VTI介质中多分量转换波地震数据采集的最佳接收时窗. 地球物理学报, 2006, 49(1): 234~24
Lu Jun, Wang Yun, Shi Ying. The best receiving window for acquisition of multi-component converted seismic data in VTI media. *Chinese J Geophys*, 2006, 49(1): 234~243
- [17] 曹务祥,李海翔. 横波微测井转换波静校正方法. 勘探地球物理进展, 2006, 29(5): 353~356
Cao Wuxiang, Li Haixiang. Static correction of con-

- verted waves via shear wave uphole shoot. *Progress in Exploration Geophysics*, 2006, 29(5): 353~356
- [18] 李桂花,朱光明. 利用三分量微测井技术调查表层纵、横波速度. *石油地球物理勘探*, 2006, 41(2): 160~165
Li Guihua, Zhu Guangming. Using 3-C uphole survey technique to survey P-wave and S-wave velocity on surface. *OGP*, 2006, 41(2): 160~165
- [19] 段云卿,皮金云,刘兵等. 三分量小折射表层调查研究. *石油地球物理勘探*, 2008, 43(6): 652~655
Duan Yunqing, Pi Jinyun, Liu Bing et al. Study on near-surface survey by 3-component (3-C) shallow refraction. *OGP*, 2008, 43(6): 652~655
- [20] 周熙襄,王振国. 利用瑞利面波调查表层结构的可行性探讨. *石油地球物理勘探*, 2004, 29(2): 181~186
Zhou Xixiang, Wang Zhenguo. Discussion on feasibility of using Rayleigh wave to investigate near-surface structure. *OGP*, 2004, 39(2): 181~186
- [21] 王赞. 多分量转换波地震勘探中的面波法静校正研究[国家自然科学基金项目结题报告]. 贵州贵阳:中国科学院地球化学研究所, 2009
- [22] 芦俊. KEL-TI介质的地震波场响应与成像方法研究[博士学位论文]. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所, 2008
- [23] 黄绪德. 由面波求表层横波速度. *勘探地球物理进展*, 2004, 27(1): 9~15
Huang Xude. Calculation of near surface shear velocity from surface waves. *Progress in Exploration Geophysics*, 2004, 27(1): 9~15
- [24] 王赞. 淮南矿业集团顾桥煤矿首采区北部区块三维三分量地震勘探应用研究——三分量综合研究成果报告. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所, 2009
- [25] Lu Jun, Wang Yun. Seismic wave propagation in Kelvin Visco-elastic VTI media. *Applied Geophysics*, 2010, 17(4): 368~375
- [26] Khaled Al Dulaijan, Robert R Stewart. Using surface-wave methods for static corrections: a near-surface study at Spring Coulee, Alberta. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2010, 29: 1897~1901
- [27] 王建民,刘学伟,王桂水等. 转换波组合静校正技术在大庆地区的应用研究. *石油物探*, 2008, 47(3): 290~293
Wang Jianmin, Liu Xuwei, Wang Guishui et al. Application study of combined static technology for P-SV wave in Daqing area. *GPP*, 2008, 47(3): 290~293
- [28] 郭桂红,王德利,何樵登等. 转换波的静校正. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2003, 33(4): 542~544
Guo Guihong, Wang Deli, He Qiaodeng et al. Statics of Converted wave. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2003, 33(4): 542~544
- [29] 潘树林,高磊,周熙襄等. 一种改进的 P-SV 转换波静校正方法. *石油物探*, 2007, 46(2): 143~146
Pan Shulin, Gao Lei, Zhou Xixiang et al. An improved static correction method of converted P-SV wave. *GPP*, 2007, 46(2): 143~146
- [30] 马昭军,唐建明,刘连升. 一种切实可行的转换波静校正方法. *新疆石油地质*, 2007, 28(5): 644~646
Ma Zhaojun, Tang Jianming, Liu Liansheng. A feasible method for converted wave static correction. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(5): 644~646
- [31] Tessmer G, Behle A. Common reflection point data-stacking technique for converted wave. *Geophysical Prospecting*, 1988, 36(7): 671~688
- [32] 李录明,罗省贤. 多波多分量地震勘探原理. 四川成都:成都科技大学出版社, 1997
- [33] Thomsen L. Converted wave reflection seismology over inhomogeneous, anisotropic media. *Geophysics*, 1999, 64(3): 678~690
- [34] 许士勇,马在田. 快速有效的转换波共转换点叠加技术. *地球物理学报*, 2002, 45(4): 557~568
Xu Shiyong, Ma Zaitian. A fast and efficient common conversion point stacking technique for converted waves. *Chinese J Geophys*, 2002, 45(4): 557~568
- [35] 姚陈,于光明,蔡明刚. 倾角 CDP 和倾角 CCP 叠加. 第 21 届中国地球物理年会文集, 2005
- [36] 于光明,姚陈. 倾斜 CCP 道集抽取方法及影响因素分析. *煤田地质与勘探*, 2007, 35(4): 65~69
Yu Guangming, Yao Chen. The sorting method of CCP gathers and influencing factors in slanting interface. *Coal Geology and Exploration*, 2007, 35(4): 65~69
- [37] Bancroft J C, Wang S. Converted-wave prestack migration and velocity analysis by equivalent offsets and CCSP gathers. *CREWES Project Research Report*, 1994
- [38] Wang W Z, Pham L D. Converted-wave prestack imaging and velocity analysis by pseudo-offset migrations. 63rd EAGE Conference Expanded Abstracts, 2001: L12
- [39] Rosales D, Biondi B, Sava P. Stolt prestack residual migration for converted waves. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2002, 21: 986~989
- [40] Li X Y, Dai H, and Mancini F. Converted-wave imaging in anisotropic media: Theory and case studies. *Geophysical Prospecting*, 2007, 55(3): 345~363
- [41] Kristiansen P. Anisotropic Kirchhoff prestack time migration and velocity model building in multicomponent processing. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2004, 23: 877~880
- [42] 秦福浩,郭亚曦,王妙月. 弹性波克希霍夫积分偏移法. *地球物理学报*, 1988, 31(9): 577~578
Qin Fuhao, Guo Yaxi, Wang Miaoyue. The Kirchhoff elastic wave migration method. *Chinese J Geophys*, 1988, 31(9): 577~578
- [43] 李录明,罗省贤. P-P 波及 P-SV 波叠前深度偏移速度模型建立方法. *地球物理学报*, 1998, 41(6): 305~318
Li Luming, Luo Shengxian. A method of creating P-P and P-SV wave prestack depth migration velocity.

- Chinese J Geophys*, 1998, 41(6): 305~318
- [44] James Gaiser and Tony Probert. Significant developments in multi-component seismic exploration in the last five years and future directions; Recent developments in converted PS-wave analysis processing of shear S-wave splitting and prestack migration. *CSEG Recorder Special Edition*, 2006: 60~64
- [45] Isabelle Lecomte. Illumination, resolution, and incidence-angle in PSDM: a tutorial. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2006, 25: 2544~2548
- [46] Dai H and Li X Y. Velocity model updating in prestack Kirchhoff time migration for PS converted waves: Part I - Theory. *Geophysical Prospecting*, 2007, 55(4): 525~547
- [47] Grechka V, Tsvankin L. PP + PS = SS. *Geophysics*, 2002, 67(6): 1961~1971
- [48] Xiaogui Miao, Torre Zuk. Anisotropic velocity updating for converted-wave prestack time migration. *Geophysics*, 2007, 72(2): D29~D32
- [49] Lu Jun, Wang Yun, Yang Chunying. Instantaneous polarization filtering focused on suppression surface waves. *Applied Geophysics*, 2010, 7(1): 88~97
- [50] Wang Y, Lu J, Shi Y et al. PS-wave Q estimation based on the P-wave Q values. *J Geophys Eng*, 2009, 6(4): 386~389
- [51] Lawton D C, Howell T C. P-P and P-SV synthetic stacks. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1992, 10: 1344~1347
- [52] Gaiser J E. Multicomponent Vp/Vs correlation analysis. *Geophysics*, 1996, 61(4): 1137~1149
- [53] 贺振华, 何樵登, 黄德济等. 多波资料综合解释方法研究的若干进展. *矿物岩石*, 1997, 17(4): 76~93
He Zhenghua, He Qiaodeng, Huang Deji. Recent advances in integrative interpretation using seismic multi-wave data. *J Mineral Petrol*, 1997, 17(4): 76~93
- [54] 王贇, 芦俊, 石瑛. 我们能识别煤层中垂直落差小于3米的断层吗? *煤炭学报*, 2010, 35(4): 629~634
Wang Yun, Lu Jun, and Shi Ying. A normal fault in coal seams with drop height less than 3 meters can be identified in seismic exploration? *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(4): 629~634
- [55] 石瑛. 煤系地层三维三分量地震数据解释方法研究 [博士学位论文]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2008
- [56] Stewart R R. Joint P and P-SV inversion. *CREWES Research Report*, 1990
- [57] Stewart R R, Zhang Q, Guthoff F. Relationships among elastic-wave values RPP, RPS, RSS, V_p , V_s , K , σ and ρ . *CREWES Research Report*, 1995
- [58] 徐天吉, 程冰洁, 唐建明等. PP波与P-SV波叠前联合反演研究与应用. *勘探地球物理进展*, 2008, 31(5): 368~372
Xu Tianji, Cheng Binjie, Tang Jianming et al. Prestack PP and PSV wave joint inversion and its application. *Progress in Exploration Geophysics*, 2008, 31(5): 368~372
- [59] 魏修成, 王建民, 陈天胜. 转换波叠前横波速度反演. *地震学报*, 2007, 29(2): 173~180
Wei Xiucheng, Wang Jianming, Chen Tiansheng. Inversion of shear wave interval velocity on prestack converted wave data. *Acta Seismological Sinica*, 2007, 29(2): 173~180
- [60] 芦俊, 王贇, 赵伟. 应用三分量地震数据计算孔隙含水量. *地球物理学报*, 2010, 53(7): 1734~1740
Lu Jun, Wang Yun, Zhao Wei. Quantitative prediction of water content in porosity using 3D 3C seismic data. *Chinese J Geophys*, 2010, 53(7): 1734~1740
- [61] 芦俊, 王贇, 石瑛. 利用多波地震与测井数据联合反演预测煤岩的坚固性. *地球物理学报*, 2011, 54(11): 2967~2972
Lu Jun, Wang Yun, Shi Ying. Coal hardness prediction using joint inversion of multi-wave seismic data and logging. *Chines J Geophys*, 2011, 54(11): 2967~2972
- [62] Crampin S. A review of wave motion in anisotropic and cracked media. *Wave Motion*, 1981, 3(4): 343~391
- [63] Alford R M. Shear data in the presence of azimuthal anisotropy. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1986, 5: 476~479
- [64] Winterstein D F and Meadows M A. Shear-wave polarizations and subsurface stress directions at Lost Hills field. *Geophysics*, 1991, 56(9): 1331~1348
- [65] 姚陈, 蔡明刚, 王贇. 各向同性薄层反射理论地震图. *地球物理学报*, 2010, 53(1): 164~170
Yao Chen, Cai Minggang, Wang Yun. Synthetic seismograms of reflection from isotropic thin layer. *Chinese J Geophys*, 2010, 53(1): 164~170

(本文编辑: 宜明理)

log based recognition method, tuffaceous, photoelectric absorption cross-section index, volume model

1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266555, China

2. Exploration and Development Research Institute, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China

3. Institute of Geoscience, Jiangsu Oilfield Branch Co., Sinopec, Yangzhou, Jiangsu 225012, China

4. Dongxin Oil Production Plant, Shengli Oilfield Branch Co., Sinopec, Dongying, Shandong 257000, China

Discussion of wavenumber domain RTP methods at low latitudes. Cai Yupu¹. *OGP*, 2012, 47(3): 496~505

Using RTP A-E equation as theoretical tool, we discuss in this paper the respective error laws of the three kinds of wavenumber domain RTP methods of magnetic anomaly at low latitudes. Thereafter, we give our effect evaluation, function position and definition of application condition for these RTP methods. The suppression RTP methods can only be applied to qualitative interpretation of magnetic anomaly at low latitudes. The inversion RTP method may be applied to quantitative interpretation of magnetic anomaly at low latitudes if data completely cover anomalies and the edge data condition is simple. The shift sampling methods may also be applied to quantitative interpretation of magnetic anomaly at low latitudes if data completely cover anomalies, the high precision of the edge data is more 0.2%, and the defined data size in declination is less than 64. The revelation of error law of the inversion RTP method by RTP A-E equation is an important theoretical complement

which makes the inversion RTP method more rigorous and perfective. The v -axis separation method derived in this paper can be considered as an improvement of the shift sampling RTP methods.

Key words: RTP A-E equation, wavenumber domain, suppression RTP methods, inversion RTP method, shift sampling RTP method

1. BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei 072751, China

Recent advances of multi-component seismic and some of its key issues. Zhao Bo¹, Wang Yun² and Lu Jun³. *OGP*, 2012, 47(3): 506~516

Since the middle and late of 1990s, the multi-component seismic based on the theories of seismic anisotropy has achieved lots of progress. The multi-component seismic has shown good application result and favorable development foreground in solving problems such as fracture detection, fluid identification and reservoir prediction in complex lithological reservoirs, fractured reservoirs or coal seams strata. In this paper, some advances in multi-component seismic are summarized in terms of multi-component acquisition, processing, interpretation and inversion. With cases studies to illuminate the effects of these new processing and interpretation approaches, some issues in the multi-component seismic are also discussed respectively. At last, the developing direction of multi-component seismic technique is predicted.

Key words: multi-component, acquisition, processing, interpretation, inversion

1. Research & Development Center, BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei 072750, China

2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang, Guizhou 550002, China

3. School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

作者介绍

吴永国 工程师,1980年生;2004年本科毕业于成都理工大学勘查技术与工程专业,2007年获成都理工大学地球探测与信息技术专业硕士学位。现在东方地球物理公司青海物探处从事地震资料采集及其方法研究工作,兴趣领域为地震采集观测系统设计和数值模拟。

肖永新 工程师,1977年生;2001年本科毕业于石油大学(华东)应用地球物理专业。现在东方地球物理公司物探技术研究中心从事静校正方法及地震采集技术研究。

赵崇进 博士研究生,1987年生;2010年本科毕业于同济大学地球物理学专业。现在同济大学海洋与地球科学学院攻读博士学位。

杨 恺 博士研究生,1982年生;2004年毕业于中国石油大学(华东)机械设计制造及其自动化专业,获工学学士学位。现在中国石油大学(华东)攻读博士学位,研究方向为油气藏形成机理以及地震资料处理与解释。

李凡异 博士研究生,1984年生;2007年毕业于中国石油大学(北京)信息与计算科学专业,获理学学士学位;现在中国石油大学(北京)攻读博士学位,研究领域为地震震演模拟以及地球物理信息处理和解释。

秦 宁 1985年生;2008年毕业于中国石油大学(华东)勘查技术与工程专业,获得学士学位;2008年保送中国石油大学(华东)地球探测与信息技术专业硕士研究生;2010年进入该校攻读地质资源与地质工程专业博士学位,研究方向为偏移速度分析、层析反演和波形反演。

罗仁泽 教授,博士生导师;分别于1992年和2002年获西南石油大学石油地质专业工学学士、硕士学位,2005年获电子科技大学信号与信息处理专业工学博士学位。现为西南石油大学—美国德州仪器数字信号处理方案实验室和西南石油大学—美国德州仪器MSP430联合实验室负责人。近五年作为第一作者发表文章50篇,其中25篇为SCI、EI、ISTP检索;作为第一发明人获国家发明专利7项;独立出版学术专著1部;主持了国家自然科学基金、国家油气重大专项等省(部)级以及横向项目40项。现在西南石油大学从事地震信号采集、处理、解释技术及随钻信号采集传输与处理技术研究。

王华忠 教授,博士生导师,1964年生;1991年毕业于同济大学应用地球物理专业,获硕士学位,1991~1994年就职于物探局研究院方法技术研究所,1997年毕业于同济大学应用地球物理专业,获理学博士学位并留校任教。现在同济大学海洋与地球科学学院从事教学与科研工作,研究方向为地震波传播理论与反演成像、现代信号分析及地震信息学、储层地球物理学。

丁 亮 硕士,1985年生;2007年本科毕业于长江大学勘查技术与工程专业,获学士学位,2010年毕业于中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业,获硕士学位。现就职于中海油研究总院勘探研究院,主要从事波动方程正演与逆时偏移成像等方面的研究。

刘玉金 博士研究生,1986年生;2008年本科毕业于中国石油大学(华东)地球物理学专业,同年保送为该校固体地球物理学专业硕士研究生,2010年获得直攻该校地质资源与地质工程专业博士学位资格;主要研究领域为地震数据规则化、偏移成像和速度反演等。

刘占族 高级工程师,1966年生;1989年本科毕业于中国石油大学(华东)勘查地球物理专业,2006年获中国地质大学(北京)地球探测与信息技术专业硕士学位。一直在东方地球物理公司研究院资料处理中心从事非常规油气资源勘探技术与海上多分量技术研究工作。

谢玉洪 教授级高级工程师,1961年生;1982年本科毕业于河北地质学院地球物理勘探专业,2005年获中国地质大学(武汉)矿物学、

岩石学、矿床学博士学位。现在中海石油(中国)有限公司湛江分公司从事石油天然气勘探开发研究和管理工作。

赵万金 工程师,1980年生;2003年本科毕业于石油大学(华东)物探专业,2006年获中国石油大学(华东)地球探测与信息技术专业硕士学位。现在中国石油勘探开发研究院西北分院地球物理研究所从事地震储层预测方法研究与应用工作。

李景叶 副教授,1978年生;2001年本科毕业于石油大学(北京)地质工程专业,2005年获中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业博士学位。现在中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院从事开发地震及地球物理综合研究方面的教学与科研工作。

陈学华 博士,副教授,1976年生;2002年毕业于华中科技大学计算机及应用专业,获工学学士学位,2006年和2009年毕业于成都理工大学地球探测与信息技术专业,分别获工学硕士和博士学位。现在成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室从事地震信号处理新方法方面的教学与科研工作。

付勋勋 博士研究生,1983年生;2006年本科毕业于西南石油大学勘查技术与工程专业,2009年获该校地球探测与信息技术专业硕士学位。现在西南石油大学矿产普查与勘探专业攻读博士学位,研究领域为油储地球物理、储层预测等。

张 昕 高级工程师,1971年生;1993年本科毕业于石油大学(华东)勘查地球物理专业,1996年获石油大学(华东)应用地球物理专业硕士学位,2006年获中国石油勘探开发研究院矿产普查与勘探专业博士学位。现在中国石油勘探开发研究院从事储层地震描述与油藏地球物理领域的生产和科研工作。

方 兴 硕士研究生,1987年生;2009年本科毕业于中国矿业大学(北京)地测学院地质系,获理学学士学位。现为中国矿业大学(北京)地测学院地质系矿产普查与勘探专业硕士研究生,研究方向为薄互层叠前储层预测技术。

徐立恒 工程师,1980年生;2009年获中国石油大学(北京)地质资源与地质工程专业博士学位。现在大庆油田有限责任公司勘探开发研究院从事油气地质与地球物理综合研究工作。

姚 军 工程师,1983年生;2005年本科毕业于吉林大学地球探测与信息技术专业,获工学学士学位,2008年毕业于吉林大学地球探测与信息技术专业,获工学硕士学位。一直在中国石油勘探开发研究院西北分院从事测井解释及储层预测方法研究工作。

孙宝佃 教授级高级工程师,中国石油集团公司高级专家,1961年生;1982年本科毕业于华东石油学院测井专业,2003年获长江大学地球探测与信息技术专业硕士学位。长期从事石油测井解释方法与油气评价研究,现任中国石油集团测井公司油气评价中心主任。

张 涛 博士研究生,1982年生;2005年本科毕业于中国石油大学(华东)计算机科学与技术学院,2009年获中国石油大学(华东)矿产普查与勘探专业硕士学位。现为该校地质资源与地质工程专业博士研究生,主要从事储层测井评价研究工作。

柴玉璞 教授级高级工程师,1942年生;1967年毕业于北京地质学院地球物理勘探系。长期从事重磁勘探方法研究。在位场波数域技术领域发展了傅里叶变换数值计算理论,并以专著《偏移抽样理论及其应用》和数篇论文系统论述了傅里叶变换数值计算的偏移抽样理论及其在重磁勘探中的应用。退休后被东方地球物理公司聘为高级技术顾问。

赵 波 教授级高级工程师,1958年生;1982年本科毕业于吉林大学物理系,1999年获成都理工大学物探专业博士学位。长期从事地震数据处理方法研究、软件开发工作。现任东方地球物理公司物探技术研究中心主任,负责地球物理油气勘探软件的研发工作。