

· 综述 ·

我国物探技术的进步及展望

熊 翥*

(《石油地球物理勘探》编辑部)

摘 要

熊翥. 我国物探技术的进步及展望. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 701~706

本文从油气勘探对物探技术的需求出发, 力图在总结当前我国物探技术(主要是地震勘探技术)的进步与发展的基础之上, 找出存在的问题, 指明今后的研究方向, 建议落实某些研究课题并组织技术攻关, 争取在较短的时间内取得突破, 以满足石油工业发展的需求。

文章对数据采集、处理、解释和偏移、波阻抗反演、AVO分析、地震属性分析等技术展开了讨论; 并对提高地震勘探分辨率、改善深层数据品质、地震各向异性处理、复杂断块油藏描述以及隐蔽油气藏勘探等大家十分关注的若干热门问题和专题, 进行了有益的分析, 阐述了笔者在实际工作中所得到的某些粗浅认识; 最后围绕地球物理勘探技术向油气田开发服务领域延伸, 对紧密相关的多波多分量地震勘探、井下与井间地震、时移地震技术进行了简单探讨, 并对今后的发展提出了初步的建议。

本文将分期连续刊登论述, 请读者留意。

关键词 地震勘探 数据采集 数据处理 数据解释 提高分辨率 深层勘探 油藏描述 各向异性
多波多分量 时移地震

(上接 2003 年第 5 期)

地震数据采集、处理、解释一体化

在勘探市场活动中, 经常能听到“采集、处理、解释一体化”这个术语。其实在地震勘探方法应用初期(20世纪70年代以前), 就是按照这种方式组织生产的。后来由于数字地震仪和计算机技术的发展, 地震勘探的能力和效率得到大幅度地提高, 逐步演变成地震数据采集、处理、解释三个环节分割式管理模式。这种模式的运作, 既适应了当时地震勘探技术发展的需求和油气勘探形式的需要, 又大大促进了地震勘探数据采集、处理、解释技术自身的高速和深入发展, 起到了非常积极的作用。

随着勘探目标越来越复杂以及向油气滚动勘探开发领域的延伸, 在科学技术高速发展的大环境下, 当前又必需把数据采集、处理、解释三个环节当作一个项目来进行运作, 实现采集、处理、解释一体化的思路, 适应技术发展的潮流, 达到降低勘探作业成本, 缩短项目运作周期、提高勘探开发效益的目的。

问题的提出

采集、处理、解释一体化是地震勘探技术适应油气勘探开发形势的需要, 也是地震勘探技术发展的必然趋势, 其原因有以下几个方面。

(1) 在勘探阶段, 主要任务是发现油气和确定目标; 在滚动勘探开发阶段, 主要任务将改变为发现油气和增储上产。这一任务的转移, 需要地震勘探技术采用采集、处理、解释一体化的工作模式, 特别是处理、解释一体化的模式就更成为当务之急。我们不仅要完成构造解释、岩性解释, 而且还要对储层进行描述和建立油藏模型。在做这些工作时, 是无法把处理和解释工作分开的。也只有进入了这一阶段, 才基本具备了一体化的条件。

(2) 在滚动勘探开发阶段, 隐蔽油气藏成为主要研究目标。对于隐蔽油气藏勘探, 必须采用处理、解释一体化的工作模式。只有通过这种工作模式, 再结合计算机技术, 才能提高隐蔽油气藏勘探的成功率。

(3) 降低勘探成本、缩短生产周期、提高勘探开发效益, 是地震勘探技术发展的主要目的。只有通过采集、处理、解释一体化的工作模式, 才能较好地实

* 本文于 2003 年 4 月 28 日收到。

现这一目的。

当前,在 seismic 勘探技术领域内,一体化的思路有下列三种主要模式:①采集、处理、解释一体化方案;②处理、解释一体化方案;③处理、解释、油藏描述一体化方案。

从当前技术发展状况分析,处理、解释一体化方案是最迫切的,这里我们将对它进行较详细的讨论,对于其他两个方案仅作简单介绍。

采集、处理、解释一体化

真正实现采集、处理、解释一体化的运作,当前仍有难度,有些方法没有完全过关,软件产品高新技术含量低,还不能适应一体化的要求。例如:①基于地下三维模型的采集方法与观测系统设计目前基本上无法实现,二维模型设计也仅限于一、二个目的层的考虑,而且对上覆地层的组合需要进行较大幅度的简化;②基于二维模型设计大多是采用射线理论,仅用走时一个参数,还没有见到基于波动理论的包括动力学信息设计的软件。③缺乏能够在现场对采集质量进行实时定量评估的分析软件,一体化的思路很难体现,在采集质量的监控上,很难进行具体的实时操作;④数据采集质量的好坏以及是否能满足地质任务的要求,受多种因素的影响,与一体化有着紧密的联系,但不是唯一的判断条件,因此科学的可操作的一体化思路目前仍不十分明确。

根据当前的技术水平和条件,一体化思路在采集环节上的具体体现是:①根据地质任务的要求,设计有针对性的采集方法;②根据地表和地下模型设计合理的观测系统;③基于表层结构模型的静校正方法;④在确定采集方法和采集参数时,考虑处理、解释对采集的需求;⑤采集技术支持是设计和质量监控的结合,在围绕采集方法设计、论证、执行、修改的全过程中,应充分体现一体化的思想,最后落实在数据采集的质量监控和质量评估上。

处理、解释一体化的含义

地震勘探的理论基础是波动理论,是观察波传播到各种地质界面上所产生变化的主要手段。我们首先要使这种变化现象能成像,即对资料进行处理;其次要对该变化现象赋予地质含义,即对资料进行解释。因此,处理与解释描述的是同一目标的两个方面,是无法把它们彻底分开的。

地层是一种长期沉积作用的结果,因此是连续的,这与处理中强调连续性和相似性是相应的;若出

现突变点,则为断层和剥蚀尖灭等地质现象,是解释中十分关注的目标,因此解释往往对连续相似的另一面即异常感兴趣,异常也反映在地层埋深的高低和地层内部的不均匀性上。因此,如何把二者统一起来,就需要应用处理解释一体化的手段。例如,通过相干性处理去除其连续性和相似性,显示其异常,来解释断层、剥蚀尖灭线、碳酸盐岩非均质缝洞、河道砂、三角洲及沉积相分界线等地质现象,就是相干数据体解释技术。这种内在的联系必然形成发展处理、解释一体化的主要因素。

众所周知,平时我们十分强调的地质、地震、重磁电方法的三结合,主要用于油气勘探开发的前期,目标是区域地质、盆地结构、基底及盆山关系等;地质、地震、测井的三结合,主要用于发展储层特性预测技术及储层解释技术;而地震资料采集、处理、解释一体化主要是为了落实圈闭,缩短勘探周期。这三个“三结合”,技术上的核心问题是实现资料处理、解释一体化。

要真正实现处理、解释一体化并非易事,必须具备三个基本条件:①要有先进软、硬件设备做保障;②拥有高素质的知识复合型人才;③有一套科学的、可操作的一体化实现思路。这三者缺一不可。对于地震数据处理和解释而言,一体化的运作应体现在共享地质模型、工作空间和工作流程的一体化方面。如果换成计算机软件语言,那就是数据共享、事件共享和对象共享,或者说是静态集成、动态集成和工作流程集成。

实践表明,处理、解释一体化有利于地质、地震、测井和计算机技术的融合;有利于充分利用好数据中包含的所有信息;有利于提高成果的分辨率、准确度和精度;是实现三维解释的最佳工作模式;并能促进处理和解释技术自身的高速发展,进一步提高地震勘探的能力。因此,处理、解释一体化是高科技高度融合的体现。

实现处理、解释一体化的基本思路和主要技术

实现处理、解释一体化的基本思路是:在三维数据高分辨率、高信噪比、高保真度的精细处理和精细构造解释的基础上,应用零(波阻抗)和非零(AVO)炮检距反演和谐分解薄层厚度调谐处理解释技术、以及它们的联合反演、联合处理解释技术和高分辨率层序地层学解释方法与技术,通过处理、解释一体化工作模式,实现地质、地震、测井数据的有机结合,

完成储层描述与评价,提出油气有利圈闭和井位部署的建议。

为了确保上述思路的贯彻与执行,一般应有以下措施和技术做保障:

(1)工作流程的一体化 把处理和解释安排在一个流程中,使处理工作一开始就有一个初始地质模型作指导,而这个模型来自对以往的信息调查与分析,也就是说此模型必须是在区域地质知识指导下通过解释建立的。后面的步骤应当是处理和解释交替进行,每前进一步,处理和解释均深入一步,地质模型便完善一步,数据又“净化”一步。该流程实际上是把处理、解释一体化的思路变成可操作的工作步骤,展示出一体化工作的全过程。

(2)模型共享 在数据处理与解释的过程中,除了最初有一个初始地质模型外,还常涉及到4个主要的模型,即反射时间模型、层速度模型、反射深度模型和地质模型。前3个实际上是工作过程模型,因此处理和解释首先是共建、然后是共享,通过共建和共享,把处理和解释逐步引向深入,最后得到最终地质模型。从初始地质模型到最终地质模型建立,才算完成了处理和解释的一个循环。在许多情况下,需要对这个循环进行迭代,才能体现处理、解释一体化的思路。

(3)数据共享 在处理解释过程中,数据共享比较集中地反映在CMP道集数据、速度数据和层位数据的处理与解释上。以往解释是在叠加以后的数据上进行的,一体化要求解释从叠前道集开始。下面列举的5个步骤,体现了数据共享、模型共享和工作流程一体化的基本思路:①DMO道集—DMO速度场—DMO叠加—叠后时间偏移数据;②均方根速度场—叠前时间偏移—叠前时间偏移道集—叠前时间偏移数据;③波阻抗属性—AVO属性—层速度模型—叠后深度偏移数据;④层速度模型—层速度模型修改—层速度模型确定—叠前深度偏移数据;⑤构造解释—井标定与储层解释—圈闭综合评价—油藏地质模型。

从中可以看出,不同阶段数据模型对应不同的速度分布函数和道集,而处理和解释总是实时地围绕速度、道集、数据模型进行运作。

(4)方法选择与组合 在没有应用一体化思路时,处理和解释的信息缺乏沟通,容易形成有什么方法就用什么方法的习惯,对方法的选择没有针对性,

使处理和解释的作用都受到了制约。执行一体化思路后,信息及时反馈,可以实时地根据工作过程模型选择合适的处理和解释方法。例如:①当速度纵、横向变化不大时,可选用DMO叠加和叠后时间偏移流程;②当速度纵向变化强度中等、横向变化较小时,一般可采用方位动校正和叠后时间偏移流程;③当速度纵、横向变化均具有中等强度时,可采用直射线克希霍夫叠前时间偏移流程;④当速度纵向变化强烈、横向变化中等时,可选用射线追踪(折线)叠前时间偏移流程;⑤当速度纵、横向变化均强烈时,一般选用各向同性叠前深度偏移流程;⑥当速度纵、横向变化均强烈且随波传播方向变化而变化时,应选用各向异性叠前深度偏移流程。

以上例子是围绕速度参数出发的,要做到这一点,只有应用一体化思路及时得到速度信息才能实现。叠前深度偏移技术是实现处理、解释一体化最典型的实例,当前这项技术推广应用障碍不是缺少方法和软件,而是缺少处理和解释经验,特别是缺少能应用好这项技术的高素质人才。

(5)构造解释一体化模式 传统构造解释一般在叠后数据上进行,有时为了确定断裂系统,增加了对叠后相干数据体的解释。执行一体化思路后,在构造解释的过程中可能实时地提出各种各样的问题,需要通过进一步处理来进行考核和验证,同时被解释的数据类型也会增多,这无疑会大幅度地提高构造解释的精度。

(6)储层描述一体化模式 地震储层描述十分强调地震数据与地质、测井、工程数据的结合,处理、解释一体化是实现结合的最好模式。这些信息在量纲、尺度、维数以及时空分布关系方面差异都很大,要做到结合首先必须进行处理,并且是一边进行地震、地质解释,一边进行处理。采用一体化的模式十分有利于AVO和波阻抗的联合反演,以及AVO与谱分解技术的联合处理与解释,而这些技术已经成为储层描述的常规技术。

(7)圈闭评价一体化模式 圈闭评价处理解释一体化模式主要体现在以下几个方面:①多信息的综合分析和利用;②评价过程中的信息反馈;③评价方法和技术中数据处理与解释不可分割性;④模拟技术的应用。

(8)软、硬件环境 要实现处理、解释一体化,必须有良好的软、硬件环境做保障。一般是有一个集处

理和解释基本功能的应用软件系统和几个具有专门功能的标准软件包,它们有共同的应用平台和界面。具备与上述软件相应的硬件环境和相应的技术人员也是不可缺少的条件。科学的项目管理方式和项目合同甲、乙双方的默契配合以及质量控制和监督系统,也是不可缺少的软环境。当前,在某些方面条件比较薄弱,但我们必须努力创造条件来适应这一技术发展的需求,促进技术的高速发展。

处理、解释一体化也是处理和解释技术各自自身发展的需求。无论是处理还是解释,要使技术持续发展至今,就必须坚持处理与解释相结合,也就是平常说的解释性处理方法。例如波阻抗反演处理和AVO分析处理,它既不是单纯的处理,也不是单纯的解释,而是二者有机的结合,是处理与解释技术再继续向前深入发展的必然趋势。

处理、解释、油藏描述一体化方案

油藏描述是地震勘探技术最终要达到的主要目的,常称为地震油藏描述。整个过程充分展示出一体化的概念,是由采集、处理、解释、建模、模拟和描述这六个大环节组成的,我们这里所述的处理、解释、油藏描述一体化方案,是指后面的五个环节。

油藏描述仅用地震数据无法进行,它必须依托于地质、测井、油藏工程等方面的信息,把地震参数转换成油藏参数,实现油藏描述。因此它是一个多学科信息综合分析解释的过程,必须采用一体化的思路来实现。由于数据量大,数据类型复杂,需要有良好的数据管理程序;油藏是三维空间体,需要有三维建模程序;各种图像的模拟,需要有三维可视化的功能。由此可见,处理、解释、油藏描述一体化方案,不仅仅是地震与地质、测井、油藏工程等学科的综合,而且还必须有当今计算机高新技术作保障,是一体化思路的高层境界。

CMP 叠加和偏移叠加成像技术的发展历程及发展前景

多次覆盖技术给地震勘探技术带来了革命性的转变,其优势就是在室内进行叠加处理,压制噪声、加强信号,从而大幅度地提高记录的信噪比。信噪比提高的幅度与覆盖次数 N 有关。当道与道之间的噪声互不相关时,叠加后信噪比提高的最理想值为 \sqrt{N} 倍。因此,要充分发挥这一优势:一是增加覆盖

次数(但增加是有限度的);二是覆盖次数增加到一定数值时,如何改善叠加成像效果,也就是覆盖次数一定时,如何得到最佳的叠加响应值。

自多次覆盖技术出现以后,为了改善叠加效果,人们自始至终不屈不挠地围绕着以下两个方面开展了研究工作:①共中心点的道叠加,野外多次覆盖是按地面共中心点设计的,不管地下是否来自同一位置,室内按水平层状均匀介质模型假设把它叠加成一道,因此技术发展目标就是如何将这些道实现同相叠加,具体要求是时间对齐、波形一致;②共反射点叠加,即叠加的各道应来自于地下同一个反射点,要把多次覆盖资料经处理后按共反射点组成道集,实现共反射点叠加,具体叠加时,也同样要求同相叠加,显然,它要求先按一定的模型假设进行偏移归位,然后按反射点位置把它叠加起来,这就是偏移叠加的概念,实际上也就是叠前偏移技术。事实上,任何一项叠前偏移技术,最后都是要叠加的,而且叠加次数远远大于原始数据的覆盖次数。

CMP 叠加成像

常规 CMP 叠加,一般都要经过道编辑、切除、静校正、振幅补偿、压噪、反褶积、速度分析与动校正等步骤,所有这些都是为了在叠加时使有效信号时间对齐、波形一致,实现同相叠加。为此,静校正、压噪和信号的振幅、频率、相位补偿技术就成为改善常规 CMP 叠加效果的重要研究课题。

常规 CMP 叠加是等权叠加,叠加振幅是各道振幅的平均值。一种改进的方式是实现不同权系数的叠加,叠加振幅值不再是参与叠加各道的振幅平均值。不管权系数来自于何种模型,如多项式拟合、中值滤波等,最终的实现方式都是加权叠加。由于权系数来自于不同模型的计算,因此叠加效果的改进均具有较强的针对性,我们只能根据资料的具体情况有选择地应用这项技术,而没有普遍的应用意义。

DMO 叠加又称倾角校正叠加。对于一个叠前道的反射信息,其反射点轨迹是一个椭圆,NMO 校正后,圆心仍在中点上,如果反射界面有倾角,无论选用多长的半径,都不能做到圆与椭圆相切,也就是说叠后偏移都不能偏到准确的位置上。DMO 处理把 CMP 道集改造成 DMO 道集,生成零炮检距道,从而能够改善叠后偏移效果。因此它具有普遍的应用意义,特别是在倾角较大时,其效果更加明显。DMO 道集是应用部分偏移方法得到的,其实现方

法很多,但一般都在 NMO 的基础上进行,得到的是一个叠加剖面,只是与常规 CMP 叠加剖面相比,更接近于零炮检距剖面。

从 AVO 分析可以得到一个 P 波属性剖面,它是从托布里兹方程近似解,通过拟合所得到的一个相当于垂直入射、反射的反射系数剖面,基于水平层状均匀介质模型。由于 AVO 分析是在 CMP 道集上进行的,但叠加道的振幅更接近于零炮检距道的振幅,有利于波阻抗反演等后续处理。AVO 分析对叠前处理要求十分严格,AVO 拟合仅对信号拟合,因此,AVO 叠加剖面的分辨率和信噪比要高于常规的 CMP 叠加剖面。

还有一种基于模型正演生成叠加道的方法,在给定模型基础上,利用射线理论走时与观测时的相干性,修改模型参量,直到二者达到最佳吻合为止。因为观测时间为 CMP 道集,所以最后也生成 CMP 道集。若要生成 CRP 道集,问题就相当复杂了。

尽管我们研究了不少方法来改善 CMP 叠加质量,但当地下模型比较复杂时,CMP 叠加成像仍受到较大的影响,即使地下模型相对简单,对后续处理也存在着固有的缺陷:

(1)CMP 叠加道不是真正的零炮检距道,这对叠后时间偏移和深度偏移来说,无论采用什么样的方法和模型都是不利的;

(2)CMP 叠加道振幅是各炮检距道振幅的平均值,这对基于零炮检距道振幅信息进行的处理和解释方法将会引入较大误差,例如波阻抗反演等;

(3)与 CMP 叠加相对应的是 NMO 前后的道集和叠加速度,由于射线轨迹和旅行时的畸变,使叠加速度与层速度之间的简单转换变得无效,在速度横向变化强烈时,从叠加速度中得不到准确的层速度值,从而导致叠前信息失真、叠后信息丢失;

(4)叠加速度沿测线方向在炮检距可比拟的长度范围内会发生较大的变化,NMO 校正模型不能适应这一情况,同时当炮检距较大时,还会产生动校拉伸畸变现象;

(5)由于反射点分散,不能实现同相叠加,造成叠加后高频成分损失。

尽管 CMP 叠加有这样或那样的问题,但当前仍是与多次覆盖技术相应的最重要的处理手段,CMP 叠加和叠后时间偏移仍是当前处理的基本流程,也是应用效果最稳定的一个流程。我们之所以摆

出这些问题,是想从中找到今后发展的方向,加快技术发展的速度。

叠加成像技术的发展

自野外观测多次覆盖技术问世以来,室内处理叠加就成为不可缺少的处理手段。回顾技术发展历程,我们可以看到经历了两个阶段:首先是按地面共中心点位置为基础的 CMP 道集的叠加;然后是从地下是否是同一反射位置出发来实现各道的叠加。方法从简单到复杂,从地面共中心点到地下共反射点。与技术发展一般规律不同的是,任何一项新的叠加方法与技术的出现,都无法取代最早的最简单的 CMP 叠加方法,至少目前是这样。这一情况很值得我们反思。分析其原因,首先是新方法针对性很强,对数据的要求比较苛刻,应用效果不稳定;其次是计算效率和计算成本问题。计算量大,用机时间长,一旦效果不理想,无论从时间周期和成本上用户都无法承受。因此,方法应用效果的稳定性和提高计算效率是今后技术发展必须注意的两个问题。

叠加技术发展经历了以下步骤:

(1)NMO-CMP 叠加 是最简单、效果最稳定的方式,对应 CMP 道集和叠加速度;

(2)NMO-DMO 叠加 实现方法很多,可生成 DMO 道集和 DMO 叠加速度;

(3)拟合加权叠加 有不同的拟合方法,最后参与叠加的各道有不同的权系数;

(4)AVO 属性分析叠加 在 CMP 道集上进行处理与分析,信噪比、分辨率和保真度高于常规 CMP 叠加;

(5)MZO 是从偏移到零炮检距道叠加,从二维 DMO 扩展到三维 MZO 空间,计算量巨大,速度变化相当困难,当前推广应用有难度;

(6)PRESDM 基于克希霍夫叠前深度偏移方法实现共深度点零炮检距叠加,计算量大,但对深度域处理而言,其不足之处是没有一次偏移到位;

(7)CRE 共反射元叠加,此法为基于确定零炮检距射线地面出射角和法向入射点波前曲率半径双参数的叠加方法,计算量大,当前还没有得到应用;

(8)CRS 共反射面叠加,此法为在 CRE 基础上增加零炮检距、射线、波前曲率半径等三参数的叠加方法,计算量大,当前还没有得到应用。

以上我们列举了 8 种叠加方法,一种比一种复杂,理论上也是一种比一种似乎更加完善。但由于各

种因素的限定,目前得到广泛应用的仍然只有 CMP 叠加、DMO 叠加和 AVO 属性分析叠加三种方式。CMP 叠加是最基本的叠加方式,任何一个作业项目都必须进行;DMO 叠加在地层倾角较大时,可改善叠加效果;AVO 属性分析叠加有利于改善后续的一些解释性处理的效果。当前,它们仍然不能相互取代,但随着勘探目标的转移和地质任务的变化,AVO 属性叠加技术的应用发展前景越来越受到人们的重视,是近期叠加技术发展的重要走向。

叠加技术发展相对较长远的目标是:共深度点和共反射点的同相叠加。其关键是如何形成共深度点和共反射点道集及相应的速度模型。以上讨论的方法均基于几何射线理论,更进一步的发展是实现波动理论的叠加,更好地保留动力学信息。

偏移成像技术的发展

偏移技术的发展过程是从二维到三维、从叠后到叠前、从时间域到深度域、从几何射线理论到波动理论,逐步向深度和广度发展。也就是说,从二维叠后绕射扫描时间偏移到三维叠前波动方程深度偏移,中间走过了很长一段路。

除了上述四个领域外,偏移还可以在不同的数据域内进行,例如时—空域、频率—波数域、 τ - p 域及其他各种双域等;还有各种不同的数值计算方法、有限元法等;还可以利用不同角度的方程,如 15° 方程、 45° 方程、 60° 方程等。采用不同参数的组合,就可以形成各种各样的偏移方法。因此,如果单纯从偏移算法研究入手,一方面将永无止境,同时方法的适应性、效果的稳定性总是难以解决,也就很难有一个完美的结果。

首先,偏移技术的发展总是围绕使用一个什么样的速度模型进行。一方面是每一种偏移方法都有它相适应的速度模型和速度分析方法;另一方面是速度误差的影响远远大于算法精度所产生的影响。叠前深度偏移技术当前之所以还不能普遍推广应用,其原因不是偏移算法问题,也不是计算机能力问题,而是如何建立高精度速度模型。因此偏移技术的发展,首先应该是在偏移速度分析和偏移速度模型的建立上有较大的突破。

其次,数据体的偏移效果与许多因素有关,因此偏移方法应用技术的研究意义重大。例如,根据数据

特征和已知的速度分布特征,应当选用什么样的偏移算法最适宜,是有一定难度的。由于偏移计算量很大,不能对所有方法进行扫描,而需要事先做出准确判断;又例如各种偏移参数的确定,甚至包括偏移成果的评价以及偏移过程中出现的各种现象的分析,都与偏移效果有着紧密的联系。如何将应用成熟的二维方法推广到三维,采用一步法还是两步法甚至 2.5 步法,以及边界处理等,都与最终偏移效果有关。因此偏移方法的应用技术是一个十分重要的研究课题。

从应用的角度上看,叠后深度偏移可以较准确地提供深度域层位信息,它优于各种时—深转换方式,应纳入三维叠前深度偏移处理流程的范畴;叠前时间偏移对复杂构造也可以成像,只是成像位置有偏差,因此可以先做三维叠前时间偏移,然后做叠后深度成像,不仅是计算效率上的优势,而且在成像效果上也有一定的优势。有人在某海域用 10 块三维数据做上述运算,并与克希霍夫叠前深度偏移效果进行比较,结果 70% 混合算法的效果较好;三维叠前深度偏移处理从应用角度上看也是一种解释性的处理技术,所以要要用处理、解释一体化的思路进行运作,并要有长时期应用的打算。墨西哥湾从 20 世纪 70 年代开始勘探,用了 20 多年的时间,才找到丰富油藏。我国许多新区条件比墨西哥湾复杂得多,要获得突破,恐怕仍要有一段时期。

今后,偏移技术方法研究有可能集中在偏移算子的优化、偏移振幅处理、偏移孔径确定以及速度各向异性介质偏移等四个方面,主要体现在适应性和计算效率上。在克希霍夫积分法、有限差分法、 F - K 域相移法三个基本算法类型的基础上,当前出现的混合域广义屏传播算子、混合域有限差分传播算子以及合成炮域 PSDM、角度域 PSDM 等方法很值得关注。另外,将小波变换应用于偏移中的射线束 (beamlet) 偏移,展示了较好的应用潜力。

回顾偏移技术发展,从 20 世纪 70 年代至今,已出现了两次发展高潮和两次平缓发展时期。当前,偏移领域中的各种高新技术组合式的创新,似乎成了偏移技术发展的主流,预示着一个新的高潮很快又要到来。

(本文编辑:任敦占)