

地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术

熊 翥*

(中国石油东方地球物理公司,河北涿州 072751)

熊翥. 地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术. 石油地球物理勘探, 2012, 47(1): 1~18

摘要 针对地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术这一论题, 本文从几个特定角度展开了简要的讨论。首先给出了应用地震勘探技术进行地层、岩性油气藏勘探的基本思路; 然后围绕怎样得好一个三维数据体, 研讨了应引起高度关注的八个在地震数据采集时及十个在地震数据处理中的问题; 第三是论述了地层、岩性油气藏勘探地震数据处理与解释的技术系列, 包括地震数据反演技术、属性分析、岩石物理分析、地质建模和地震正演模拟技术; 最后讨论了地震数据的综合地质解释。文章并没有对地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术进行全面和系统的介绍, 而是针对上述四个方面阐述了作者对相关方法与技术的认识和体会。作者认为所述问题对应用地震方法勘查地层、岩性油气藏有实际意义。

关键词 地层、岩性油气藏 地震勘探技术 三维数据体 地震数据处理技术 地震数据的地质综合解释 储层特性预测与表征

中图分类号: P631 文献标识码: A

1 引言

2007 年 5 月 14 日的《中国石油报》在头版头条位置发表了题为“理论突破、领域转型、技术升级, 我国陆上油气勘探进入岩性地层新阶段”的文章。该文指出: 从剩余资源潜力分析, 岩性地层油气藏将是我国陆上最现实、最重要的油气勘探领域。在本世纪初我国已系统建立了“四类盆地、三种储集体”的岩性地层油气藏区带、圈闭与成藏的地质理论; 近几年, 在中国石油探明储量中, 岩性地层油气藏已占 60% 以上。如今, 有关地层、岩性油气藏勘探的文章和著作纷来沓至, 但多数是论述地层、岩性油气藏勘探的重要性以及所取得的勘探成果, 且深入探讨有关勘探技术特别是基础技术的文章为数不多, 而这在地层、岩性油气藏勘探中显得十分重要。

2 地层、岩性油气藏勘探技术基本思路

在对盆地地质、地层、沉积、圈闭及其成藏

条件分析的基础上, 确定有利的地层、岩性油气藏勘探区带和重要的勘探目标以后, 如何有效地实施工程技术, 充分挖掘勘探技术的潜力, 是提高地层、岩性油气藏勘探成功率的基本保证, 也是决定勘探成败的关键因素。

地层、岩性油气藏勘探工程技术, 包括地震勘探、钻井、测井、测试以及岩石物理分析和地质分析等, 其中每一项都是十分重要的。本文主要讨论地震勘探方法、技术及与其密切相关的问题。

地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术的基本思路是: 首先是得到一个好的三维数据体, 这是一切研究工作的基础; 其次是要针对这个数据体的特征, 制定出一个正确的处理、解释工作流程; 第三是要有一套针对性的专有配套技术系列, 包括方法模型和计算机软件; 第四是要拥有能综合应用现代信号分析技术成果的综合地质解释技术, 以及针对具体的地质目标特征的地质解释工作流程(如河道砂体、碳酸盐岩以及火山岩储层等)。

从构造勘探阶段, 进入地层、岩性油气藏勘探阶段, 地震勘探方法与技术面临着多方位(包括技术、装备、知识和理念)的更新和转变。只有这样, 我们

* 河北省涿州市 11 信箱石油物探学会, 072751。Email: xiongzhu@cnpc.com.cn
本文于 2011 年 8 月 18 日收到, 最终修改稿于同年 12 月 28 日收到。

才能适应油气勘探形势发展的需求。在具体实施勘探项目的过程中,我们要转变找油思路、研究内容、研究方法、研究组织形式(单一研究小组转向多学科的研究团队)、研究手段以及管理方式,来保证项目取得圆满成功。完成由以往的勘探、开发彼此独立的工作方式向油气勘探和油气开发一体化的油藏精细表征与评价方式的转变。

我们强调研究思路的正确,其实质就是强调执行过程中的策略或者说是战略。战略决定成败,只有战略正确,细节才有意义,执行才有价值。只有思路正确,我们的技术才能应用到位并发挥其巨大的作用,取得良好的勘探效益。

3 怎样得到一个好的三维数据体?

地层、岩性油气藏相对于构造油气藏而言,无论是几何形态还是内部结构,都要复杂得多。为了实现三维空间的高精度成像,一般需要一个三维数据体;二维地震难以实现复杂三维地质体的准确成像和内部结构的精细刻画与描述。要想得到一个好的三维数据体用于地质解释,完全取决于地震数据采集和地震数据处理技术的理念、思路、方法模型和技术应用是否到位。采集是基础,处理是关键,充分体现现在得到一个好的三维数据体全过程中的每一个环节上。根据地质解释的需求,把数据采集和处理的知识与技术融合于一体,进行统一的技术设计和实施,是获得一个好的三维数据体的基本保证。

3.1 地震数据采集技术要适应地层、岩性油气藏目标勘查的需求

为了适应地层、岩性油气勘探的需求,我们必须对在构造勘探中形成的一整套十分有效的数据采集技术进行全面的总结与分析。地层、岩性油气藏勘探对数据采集技术的需求,在许多方面与构造油气勘探的要求是完全相同的,例如激发技术(激发点位置、井深、药量等)、接收技术(检波器埋置等)、仪器因素调制与测试、高精度测量、质量监控等。因此,我们的策略是:在全面提升现有技术的基础上,针对地层、岩性油气藏的固有特征对数据采集技术的需求,对某些技术要素及其相关理念进行适当的调整和修正,为获得一个好的三维数据奠定坚实的基础。

3.1.1 覆盖次数并非越高越好

建立在多次覆盖共中心点(CMP)叠加获得一

个高信噪比的叠加剖面形成的覆盖次数越高越好的理念,当前受到不同程度的质疑。通过提高覆盖次数,增强有效信号,压制随机噪声,提高数据的信噪比,与构造勘探中追求目的层反射同相轴连续、光滑和高信噪比,便于波组对比和追踪是完全相适应的。但这套技术的实施,会造成信号特征的失真,这在地层、岩性油气藏勘探中是不希望发生的。权衡利弊,我们不得不摒弃覆盖次数越高越好的理念。在地层、岩性油气藏勘探中,我们同样追求高信噪比,但其含义是不同的,因此实现高信噪比的方法和手段也应是不同的。我们需要在高信噪比和有效信号特征保持之间实现科学的平衡。

3.1.2 均匀、对称、波场连续无假频采样是数据采集技术范畴内十分理想的境界

在地层、岩性油气藏勘探中,我们十分注重高精度的叠前偏移成像,叠前数据解释的作用和地位将会越来越高。因此,通过数据采集如何实现高精度的偏移成像是摆在当前的首要任务。影响叠前偏移成像质量的因素很多,例如偏移速度场、数据信噪比、数据规则化、偏移基准面、偏移算法及其参数等。考虑和分析这些因素,不难得出:均匀、对称、波场连续无假频采样是最理想的境界,也是实现逼近充分采样的最佳途径。采样均匀,是保障叠前偏移高精度成像的重要因素;波场连续无假频采样,是保障叠前偏移成像数据具有高信噪比的有效措施。我们知道,数据假频、成像空间假频和算子假频都会严重影响成像数据的信噪比,为了避免假频噪声,需要应用反假频滤波器。但是如果在偏移过程中,对输入数据、成像空间和偏移算子使用去假频滤波,必将损失成像的分辨率。为此,我们只能在成像数据信噪比(偏移画弧)和成像分辨率之间寻找一个科学的平衡。均匀、对称、波场连续无假频采样,既能保证较高的信噪比,又不致影响成像数据的分辨率,这是人们完全可以接受的,也是地震采集技术范围内最理想的境界。

3.1.3 观测系统的优劣不再应用“三参数”作为唯一的评价标准

以往我们评价观测系统的好坏,一般以“三参数”作为唯一的评价标准,即覆盖次数高且分布均匀、炮检距和方位角分布均匀。这个标准没有错但不全面,因此不能作为唯一的评价标准。我们提倡基于叠前偏移成像的观测系统设计思路^[1],其要点

是从基于叠加成像和叠后处理,转移到叠前高精度偏移成像上来。首先是去数据假频,有效信号不能产生假频,低速干扰也不能产生假频,数据采集应有效地压制低速干扰,当前采用小面积检波器组合来压制低速干扰,似乎比提高空间采样率更经济、有效;其次是去偏移假频,即在偏移过程中不会出现假频,包括偏移空间假频和偏移算子假频。为此,我们应按照去数据假频、去偏移空间假频和去偏移算子假频的三个约束条件^[2]来设计观测系统;第三,是要提高偏移波场的均匀性,偏移波场的均匀性,首先取决于输入数据的均匀性,在 Kirchhoff 积分法偏移中,即共炮检距剖面上道的均匀性,调整接收线距、炮线距以及与道距和炮点距之间的配置关系,可以使均匀性得到改善;第四,有利于噪声的压制,可根据干扰波动校正以后的剩余时差、叠加特性曲线和分频平均振幅特性曲线,来确定有利于压制噪声的观测系统参数;第五,有利于成像信号的保真。所有这些,都是我们在设计观测系统时需要考虑的,单纯地考虑“三参数”的均匀性是不充分的,仅仅是一个基本的要求,而基于叠前偏移成像观测系统设计思路,考虑到上述五个方面的因素,比“三参数”更加充分和准确。

3.1.4 高密度空间采样和宽方位接收技术

在地层、岩性油气藏勘探阶段,高密度空间采样和三维宽方位接收技术,是实现充分采样和均匀、对称、波场连续无假频采样的两项重要技术。由于这两项技术,相对于常规采集技术而言,均需要较多的经济投入,同时对装备有较高的要求,因此需要在勘探效益和经济投入上进行权衡;同时还要研究推广应用时各方面的条件是否具备。

空间采样密度与成像精度、成像数据分辨率、成像数据信噪比和成像信号的特征保持有着紧密的关系。不言而喻,空间采样密度越高,上述各个方面的效果就会越好。密度通常是以每平方千米的道数来计算。Norm 等^[3]通过理论研究和统计分析,给出以下应用参考标准:

(1) <6000 道/ km^2 ,一般不能采用;

(2) $6000 \sim 18000$ 道/ km^2 ,构造相对简单,且信噪比较高时采用;

(3) $18000 \sim 25000$ 道/ km^2 ,地层、岩性解释,信噪比较高时采用;

(4) $25000 \sim 100000$ 道/ km^2 ,适用于低信噪比数

据并随信噪比降低而增加;

(5) $25000 \sim 100000$ 道/ km^2 ,适用于构造复杂区,并随构造复杂程度增加而增加。

一般说来,对于复杂地区要取得较好的效果至少在 20 万道/ km^2 以上。若用于油田开发,提高采收率,确定剩余油分布,至少应在现有的基础上提高 4 倍,即 40 万道/ km^2 以上。

理论研究和实践表明应用角道集偏移成像有利于各种属性分析和叠前反演处理,是当前偏移技术和叠前数据处理与解释技术发展的方向。但是角道集的偏移成像和叠前处理解释,必须保证在每个方位角范围内均有一定的覆盖次数,要做到这一点,必须采用宽方位接收。

3.1.5 推广应用面元细分技术、组合井拆分技术和可控震源震次拆分技术

从提高空间采样密度的角度出发,面元细分、组合井拆分以及可控震源震次拆分技术,都具有获得较好采集数据的潜力。面元细分,覆盖次数降低,炮道工作量不变,但却得到下列好处:①存在提高横向分辨率的潜力;②为室内处理通过组合压噪创造了有利条件;③可实现更细的方位角采样,便于角道集处理与解释;④可灵活地进行面元叠加,从而增加覆盖次数;⑤偏移孔径内道数增多、道距减小,空间假频得到抑制,适应偏移倾角范围增大,改善偏移成像效果。

为了能进行面元细分,对观测系统设计有一些特殊的要求。浅井组合激发,采集成本会急剧增加,同时由于组合基距过大,在取得压噪效果的同时,也会损害有效信号;如果将大组合激发井分成几组,例如分为两组,即变成两个激发点,激发点密度将增加一倍,组合基距变小,有利于保护有效信号,但有可能会影响高频段的信噪比(井数减少,组合基距变小)。拆分后,可在原地激发两次,然后进行垂直叠加,这时要注意由于垂直叠加所带来的问题。使用可控震源,有利于增加激发点密度和增加覆盖次数。震源台数与组合井的井数讨论基本相同:减少震次,在同样工作量的情况下,可增加激发点数。如果改为单震次,就可以避免由于垂直叠加所带来的一些问题,且可以放弃多次震动有效信号完全一致的假设,这个假设在大多数情况下是不能满足的。如果震源台数不变,也就不会影响对环境干扰的压制效果。

3.1.6 正演模拟软件应建立在波动理论基础

当前,为了检验采集方法设计的正确性,一般都要设计一个模型,正演几张炮记录并对记录进行分析,大多数都采用射线追踪方法。早期的图件,还附上射线轨迹,如果有两个以上的目的层,射线就会发生重叠,影响视觉分辨;如今的图件,仅显示几个同相轴,虽然清晰,但说明的问题极其有限。射线理论模拟,实际是对方程做了某些近似,仅适应简单的地质模型。既然地下模型简单,我们的观测系统设计也将比较简单,就用不着采用正演模拟炮记录,来检验观测系统设计是否合适。只有在地下模型比较复杂时,人们才需要通过正演模拟分析,来检验观测系统设计是否合适。模拟算法应基于波动理论,采用波场外推,还要考虑是否需要附上某种能量水平的随机噪声。只有这样,才能实现应用正演模拟方法检验观测系统适用性的目的。

3.1.7 继续加强近地表模型的调查与建模

近地表模型调查通常是与地震数据采集同时进行的。在地表条件十分复杂的地区,这项工作难度很大,已经受到人们的高度重视。调查时要充分利用遥感卫片数据,方法仍以小折射和微测井为主,但要关注小折射方法的应用条件,否则会产生错误的解释结果。层析反演近地表模型是一种有效的方法,应用时要注意输入数据与层析反演方法的要求是否匹配,同时还应注意层析反演方法的有效性。

联合应用初至和浅层反射的一维可形变层析方法^[4],有其新意,并可在实际应用中加以完善。通过艰辛工作建立起来的近地表模型,不应仅限于用来求静校正量,还可应用于处理与解释。数据采集人员应协助数据处理与解释人员,将该模型应用好,消除表层模型对成像和解释成果的不良影响。

3.1.8 做好数据采集方法设计

数据采集方法设计不能简单地看成数据采集的施工图设计,必须基于地质任务,考虑解释和处理的需求,完成数据采集方法的设计。一个不了解或者说不懂得处理和解释的人员,是不能做好数据采集方法设计的,当然一个不了解野外施工方法的人做出来的方法设计,也可能是没用的,或者是无法实施的。我们强调数据采集、处理、解释一体化,就需要从数据采集方法设计做起。从某种意义上说,地震数据采集方法设计,就是地震勘探方法设计,其质量优劣直接影响实施高精度三维地震的勘探效果。

3.2 高精度地震数据处理技术的作用越来越大

为了得到一个高精度的三维数据体,随着处理技术的进步与发展,地震数据处理的作用将会越来越大,其主要表现为:三维数据体的地震解释功能和作用将会得到扩充;解释性处理技术的应用效果将会越来越明显;识别和表征复杂地质现象的分辨力得到明显提高;频率域解释的潜力将会得到开发;油气信息检测技术将会逐渐进入实用阶段。就地震数据处理技术自身而言,其重心从叠后转移到叠前,在原有的目标处理思路的基础上,突出了叠前数据规则化处理技术、井数据驱动的地震数据处理技术和叠前高精度偏移成像技术。总的特点是:常规处理技术流程中的各项技术应用越来越精细,围绕着高信噪比、高分辨率和高保真的处理技术开发效果越来越明显。

3.2.1 地震数据处理的重心从叠后转移到叠前

在构造勘探阶段,以往的解释工作大多在叠后数据上完成,因此数据处理技术主要针对叠加剖面 and 叠后偏移剖面的质量来展开。处理方法的模型相对简单(炮检距等于零),容易取得较好的视觉效果。叠加剖面信噪比相对较高,满足许多模型对数据要求的前提条件,从而应用效果明显。处理重心转到叠前以后,方法模型变得复杂,输入数据信噪比低,因此处理方法的应用难度加大,同时叠前处理工作量也大幅度地增加。但是叠前数据信号特征保持较好,同时可以组成多种道集形式,因此可以利用这些优势,做好叠前处理的各项工作。

3.2.2 常规处理技术流程更加精细

在地震数据处理中,任何一项有针对性的特殊处理技术的应用,都是以常规处理技术流程为基础。实施常规处理技术流程精细主要体现在两个方面:一是常规处理技术流程中各项技术应用恰当,包括数据编辑(不正常道处理和各种道集的构成)、静校正、噪声压制、反褶积、速度分析和叠前偏移等;二是对各个处理步骤的质量监控手段应用是否完全到位。每一项技术都有常规方法和特殊方法之分,所谓常规是指一直沿用至今且效果十分稳定的方法与技术,例如野外采集人员提供的静校正量和一般的剩余静校正方法、频率滤波和视速度滤波、最小平方反褶积、Kirchhoff 积分法偏移等。所谓特殊方法是指针对特定的情况要达到特殊的处理效果的方法与技术,在后面我们将陆续提到这些方法的应用。

3.2.3 强化数据规则化处理技术的推广与完善

由于多种因素,进入处理和解释的数据属性往往是不规则的,这无疑对信号的成像与解释带来严重的影响。地震数据属性包括面元几何属性和数据的处理属性,前者一般指覆盖次数、炮检距分布和方位角分布,后者主要指信号的振幅、频率和相位特征。在构造勘探中,我们追求好的叠加效果,一般只注重前者,通过高的覆盖次数,获得高信噪比和强能量反射同相轴的连续性;在地层、岩性油气藏勘探阶段,我们追求高精度的叠前偏移成像,注重采样的均匀、对称和波场连续无假频采样,除几何属性外,同时要求物理属性分布也是规则的。数据规则化处理的内容繁多,主要包括:

- (1)不正常的坏道、坏炮的处理;
- (2)低速带和不规则观测面所产生的影响的消除或部分消除;
- (3)观测方位、炮检距分布、面元大小不均匀所产生影响的处理;
- (4)震源、检波器、仪器类型和接收因素等不同所产生影响的消除;
- (5)空间采样密度和覆盖次数(纵、横测线方向)不均匀的影响;
- (6)排列片滚动方式所产生的特殊噪声(采集脚印)的消除;
- (7)不同年度、不同技术条件观测所产生的数据属性差异等。

当前采用的数据规则化技术主要有:

- (1)基于 DMO 处理技术的数据规则化处理技术;
- (2)非规则地震道的插值,消除道集数据残缺现象(插值方法有基于多项式拟合的道插值,基于傅里叶分析的道插值,基于 DMO 处理思路的道插值,基于预测滤波思路的道插值,基于 Radon 变换的道插值等);
- (3)基于偏移/反偏移的地震数据映射方法等。

在当前三维连片处理技术流程中,经常采用面元均化处理技术,这在一定程度上消除了数据不规则的现象,但这种方法是基于水平层状模型,当地层倾斜时,共面元道集各道不再满足抛物线型时距关系,必将影响后续处理。面元均化是针对地面而言的,它不能满足不同偏移方法对观测系统的不同要求。例如:空间域傅氏变换的方法要求在规则网格

上采集;共中心点—炮检距域的方法希望数据来自真正的共中心点;共方位角偏移方法要求具有相同方位角的数据。可见面元均化处理技术满足不了上述要求,必然影响波动方程偏移效果。

3.2.4 借助井中信息提高数据精细处理水平和处理成果的质量

自 Western Geco 等公司于 2002 年提出井驱动地震数据处理技术思路以来,经过近 10 年的完善与发展,目前已初步形成处理流程。其基本思路是:充分利用井中数据的多种信息,对地面地震数据进行单向驱动和双向匹配处理,从而提高地面地震数据处理剖面的信噪比、分辨率和保真度,重点是信号相位特性的处理与保持。目前应用的方法主要有:

- (1)利用井中信息,求取地面地震数据处理的振幅球面扩散补偿因子;
- (2)利用井中信息(提取子波),进行井信息(反射系数)约束反褶积处理;
- (3)通过不同深度数据的振幅谱和谱比曲线,求取时空变因子 Q ,并进行校正;
- (4)通过对 Walkaway VSP 时差和极化角综合分析,求取各向异性参数。

从以上几项技术的应用可以看出,井驱动地震数据处理技术主要是提高数据处理的精度,在信号保真上有较大的潜力,同时为地面地震信息与井中信息的融合和综合应用创造了条件。

3.2.5 因地制宜选用静校正技术

静校正技术的原意是要消除近地表条件变化对反射波旅行时的影响,确保多次覆盖数据能实现共中心点道集(CMP)的同相叠加(仅考虑了时间对齐,没有考虑波形一致)。这在地表条件相对简单地区是可行的。所谓简单地区,是指基本满足地表一致性原则的五个条件(低速带不太厚、地形起伏和高速顶界面起伏不太大、低速与高速反差较大、低速带以及高速层顶的速度横向变化不太剧烈)的地区,同时炮检距不太大。但在地表条件十分复杂的地区,常规静校正技术受到较大的冲击,许多问题需要重新认真地考虑:

- (1)有关浮动基准面、中间参考面的选择与确定,既要分析其应用条件,又要分析其可能产生的负面影响;
- (2)科学组合应用表层模型静校正、初至波静校正、反射波静校正等技术,实现分步静校正的处理

思路;

(3)联合应用表层调查、层析反演与波场延拓的基准面校正,是当前解决复杂地表地区数据静校正处理的重要思路;

(4)表层结构模型可采用等效模型的处理思路;

(5)当静校正量过大时,会造成波场传播特征的失真,最好的方法是:把表层速度模型与地下速度模型结合起来,实现从起伏地表的叠前偏移。从实际地表开始偏移,当地形起伏剧烈,例如悬崖峭壁时地形线突变点太多,这对偏移不利,因此应用一个圆滑的、十分接近地形的面是叠前偏移选择基准面的有效方法。在具有大静校正量的情况下,把静校正处理与叠前偏移波场外推结合起来,是消除近地表条件影响的有效途径。

3.2.6 兼顾叠前数据噪声压制和信号特征保持

压制噪声和增强有效信号,是提高信噪比的两个方面。现有提高信噪比的方法有的侧重于噪声压制,有的侧重于有效信号的增强,也有一些方法是二者兼顾的,具体应用时要根据数据的具体特征选择适用的方法。从构造勘探向地层、岩性油气藏勘探阶段转变,叠前偏移成像和叠前信息解释将逐渐替代叠加和叠后处理,提高信噪比的重点也应从叠后转向叠前阶段,同时要兼顾叠前数据噪声压制和叠前有效信号特征保持。

根据当前的实际情况,结合地层、岩性油气藏勘探对数据处理和解释技术的需求,以下问题需倍加关注。

(1)有些处理过程,如 DMO 和各种偏移处理,其间可以生成各种道集,在这个道集上进行以压噪为中心的各种处理,既能改善成像效果(提高信噪比),又能较好地保持信号特征,成为当前研究的热点课题。有些迹象表明,把压制噪声纳入波场外推(深度域滤波)和波动方程偏移(差分算法等)流程之中,可取得明显提高信噪比的效果。

(2)针对起伏剧烈地表复杂构造成像,以非均质介质散射和逆散射理论为基础,开展散射波场模拟技术、近地表信噪分离技术、散射波场速度分析、逆散射成像技术的研究,具有重要意义。在我国西部探区,许多记录上出现的所谓线性干扰,大多数都是地表散射干扰(包括源致干扰和次生干扰),若用诸如 $F-K$ 滤波方法,可在一定程度上将其压制,但同时会在剖面上产生如“炕席”现象的负面影响。研究

基于散射波场理论的压制干扰方法,是当前一项重要的任务。

(3)多次波的识别与压制在地层、岩性油气藏数据处理与解释中占有十分重要的位置。多次波可分为自由界面多次波和层间多次波两大类,因此压制的方法通常也可分为两大类:一是基于滤波原理以褶积模型为基础的方法,如 CMP 叠加、 $F-K$ 滤波、 $\tau-p$ 变换、Radon 变换等;另一类是基于地震波场的模拟与反演,以波动方程理论为基础展开,如波场减去法、表层多次波衰减法、模型拟合法等。当前应注重基于散射成像的多次波衰减技术和 SRME 技术的开发,在波场延拓过程中压制多次波。

(4)要重视开发基于小波变换、广义 S 变换等分频压噪的方法。小波变换把记录分解成不同尺度的频带记录,在分频记录上可通过希尔伯特变换计算包络,利用包络对记录进行加权中值滤波,然后进行小波反变换和信号重构,可大幅度提高数据的信噪比,又不至于使信号特征发生强烈的畸变。此法已在数据处理中得到广泛的应用。在当前应用中需要注意的问题是,各种变换对输入数据的要求是否得到较好的满足。

(5)在数据分析、信号处理及统计学等学科中,遇到的一个基本问题是多元变量数据的科学表示方法。目前常用的是取原始数据的线性变换,如主分量分析(Principal Component Analysis,简称为 PCA)、因子分析(Factor Analysis)和投影追踪(Projection Pursuit)等。从本质上讲,主分量分析和奇异值分解(SVD)都是基于信号二阶统计特征的方法,对输入数据按能量大小进行分解,它仅能分离不相关的信号源。起源于盲源分离或盲源信号分离的独立成份分析方法(ICA),是基于信号源高阶统计特性的分析方法,分解出的信号之间是相互独立的。地震信号和随机噪声通常具有非高斯分布的特点,从模型上讲,ICA 更有利于地震数据的信噪分离和信号特征提取,更加适应地层、岩性油气藏勘探对数据处理技术的需求。

3.2.7 信号振幅特征保持的处理精度

我们期望的相对振幅关系,是指反射界面上各点脉冲响应幅度的相对变化,这与接收到的信号振幅相对关系差别很大。因此,相对振幅保持处理应该包括:

(1)消除震源激发、地下传播、地面接收系统对

振幅相对关系的影响;

(2)处理流程中各个环节不会造成振幅相对关系的失真。

这两个方面都是同等重要的,实施起来难度较大。当前实际生产中,对前者一般包括球面发散补偿、界面透射损失补偿、大地滤波补偿和地表一致性振幅补偿等,更精细的处理方法还有 Q 补偿(反 Q 滤波)、时频域的振幅分析及其补偿以及相位校正处理等。这些方法的实施,都要求原始数据有一定的信噪比,因此提高信噪比与振幅相对关系保持是密切相关的。

当前,时频域的振幅分析及补偿,已涉及到球面发散及大地滤波吸收等方面,是一种比较有效和实用的方法。由于提取实际子波相当困难,目前相位校正方法应用较少。反 Q 滤波是逐点时变的,对原始数据信噪比有较高的要求(希尔伯特变换要求),目前也应用较少。常规的吸收衰减一般是针对自激自收模型,实际情况应沿波的传播路径发生,补偿应该与叠前深度成像一样,在波传播过程中的反向进行,因此沿射线路径的波动方程延拓吸收与衰减的补偿方法,受到了人们的关注。在局部水平层状介质假设条件下,用非递归波场延拓代替递归波场延拓,用等效 Q 值代替分层 Q 值,用平面波传播思想实现对叠前数据沿波传播路径的吸收与衰减(Q 值)补偿方法,已开始得到应用。通常情况下补偿后的子波波形一致性应得到改善,振幅衰减得到恢复,是一种有应用前景的方法。

3.2.8 充分发挥反褶积的作用

反褶积的实质是一种滤波,与传统滤波的区别在于改变子波的特性,而不是消除噪声。在地层、岩性油气藏勘探地震数据处理与解释中,反褶积是提高分辨率的核心技术。许多地质现象,只有通过反褶积处理后才能得到合理解释。但要做好反褶积,是一件很不容易的事,其原因在于:

(1)常规反褶积的应用得益于三点假设(子波时不变、反射系数序列是一个白噪序列、子波是最小相位的),实际情况与此有较大的差距,即使作出很大努力也只是力求有较好的近似;

(2)褶积模型中的地震子波是大地滤波的脉冲响应,大地滤波是十分复杂的,模型的适应性受到很大的冲击;

(3)子波是非最小相位的,且是时变的,即使在

反褶积之前进行最小相位转换处理,也只能是一种近似的转换;

(4)多数反褶积方法认为子波是已知的,实际情况地震子波是很难准确求取的;

(5)反射系数序列白噪假设难以满足,反褶积处理企图使反射系数序列趋于白化(宽频带输出);

(6)记录中有噪声,反褶积因子的估算,受噪声强度影响,通常是在反褶积处理以后往往使信噪比有所降低;

(7)反褶积算子只能适应某一时刻的子波,很难适应整道。

以上因素,使常规反褶积方法的应用受到限制,但同时也可以从这些分析中找到改善反褶积处理效果的方向和途径。从当前技术发展趋势分析,以下所列各项反褶积技术,应引起我们的高度重视。

(1)基于谱模拟技术的混合相位反褶积技术,其技术流程已趋于成熟。从现有成果分析,求取地震子波的方法要优于其他各种方法^[5],基于混合相位动态子波估计方法有望达到时变反褶积的目的^[6];基于因式分解的串联非最小相位子波反褶积方法同样可以实现混合相位反褶积^[7]。通过混合相位反褶积处理,其子波可以更加接近于零相位,有利于反演等多种后续处理。

(2)基于小波变换的多尺度(多分辨率)反褶积方法^[8],与层序地层学解释中层序地层级别划分和层序地层格架建立是相呼应的,同时也是实现时频分析的有效方法。非平稳信号的小波变换的系数,在某一尺度下是准平稳的,因为在某一尺度上频率是窄频的,某一尺度上小波变换的系数,只能反映信号在某一频率下的信息,这是一个十分重要的特性,是我们分频处理与解释的理论基础。

(3)子波和反射系数的求取过程属于盲道识别范畴。通过构造不同的目标函数,来拟合反射系数序列的概率分布;基于贝叶斯稀疏反演原理和基于柯西稀疏准则建立反射系数约束项,以求解地震子波和反射系数;基于独立分量分析褶积混合模型盲反褶积思路等,都已取得成功的实例。地震盲反褶积的构思及其数学框架,是一种十分有意义的作法。理论上,只要反射系数序列分布是非高斯的,我们就有机会估计任意相位的子波,既能确定子波的振幅谱,也能确定子波的相位谱。

(4)基于随机介质模型的拓频方法由以下三步

组成:首先是确定随机介质模型;然后是求取随机介质模型的统计参数;最后是根据模型的功率谱拓宽信号的有效频带^[9]。这种方法,回避了反射系数序列是白噪型的随机序列的假设,有利于更加接近地下实际介质的反射系数模型。此法比传统的拓频方法和谱白化处理技术更具优势。

3.2.9 努力实现高精度的叠前偏移成像

通过近几年的努力,叠前时间偏移技术的应用逐渐趋于成熟和完善。目前主要的问题是在复杂地区如何有效地推广应用叠前深度偏移技术。众所周知,要做好叠前深度偏移,事先获得一个准确的速度模型十分关键。实际情况是:目标越复杂,就越需要应用叠前深度偏移技术,然而其速度模型也就越难准确建立。因此,建立适应算法需求的速度场模型,仍是当前叠前深度偏移技术开发的主攻方向。

当前叠前深度偏移算法有:Kirchhoff 积分法、波动方程叠前深度偏移、共聚焦 CFP 叠前深度偏移和逆时叠前深度偏移等四大类。它们各有各的优势和缺陷,很难互相取代。应该根据目标和数据的具体情况,权衡其优势和缺陷所产生的影响,来选择适用方法。一般规律是,方法越精确,对速度模型的依赖性就越强,对输入数据的品质要求就越高,对偏移基准面的要求更加苛刻。除了计算机资源因素之外,这就是当前普遍应用 Kirchhoff 积分法的内在原因。

当前主要通过叠前深度偏移自身的迭代处理建立与修改叠前深度偏移速度模型,因此工作量巨大,制约了技术的应用。共聚焦 CFP 叠前深度偏移中的速度分析与速度更新,是通过聚集算子的更新,实现最终速度模型的更新。若初始模型不适宜,逆时聚焦算子和聚焦点响应将不满足等时原理,则两者相关得到差异时移量板(DTS 量板),在这个面板上同相轴未拉平,且不位于零线。经分析可知,正确聚焦算子位于错误聚焦算子和错误的响应之间,在 τ - p 域它刚好介于两者的中间,这就是误差对称原理。基于上述速度分析的基本原理,可以运用各种不同的方法与策略求解速度模型,例如速度和算子的同步反演或异步反演等。从速度模型的建立与速度更新这一点上分析,CFP 叠前深度偏移有其新意,应受到我们的关注,何况在基准面延拓以及地表特征的重构、消除全程或层间多次波方面,均有一定的优势。

3.2.10 确保解释性处理技术的有效应用

近几年,地震数据解释技术发展很快,其中一个

重要的标志是,各种各样的解释性处理技术得到了广泛应用,且应用效果良好。为了更好地保证这些技术稳健而快速的发展,当前要注意的问题是,为这些解释性处理技术提供一个满足方法所需求的数据体。因为每一种解释性处理技术都有其应用前提,对输入数据有一定的要求,例如应用最多的波阻抗反演,它是一种振幅反演,因此要求输入数据每个采样点的振幅与反射系数有关,也就是说振幅关系要相对保持,另外要求子波具有零相位特性。如果这些条件得不到满足,就必然会影响到波阻抗反演的效果。那么,这个数据体由谁来提供呢?从当前的体制来看,是由处理中心的处理人员来提供。因此处理中心应高度重视解释性处理技术的发展。

以上我们从十个方面讨论了当前地震数据处理中的一些问题,它一方面代表了处理技术自身发展的走向,同时也是为了适应地层、岩性油气藏勘探对地震数据处理与解释技术的需求。如果加上前面对地震数据采集技术的八点建议和讨论,若能如愿实施,相信对如何获得一个好的三维数据体有实际意义,同时也为后续处理与解释取得满意效果创造了好的条件。数据采集是基础,数据处理是关键,这是确定无疑的。我们必须扎扎实实地做好这两个方面的工作,为地层、岩性油气藏勘探地震方法与技术的应用打下坚实的基础。

4 地层、岩性油气藏勘探地震数据处理解释技术系列

应用地震勘探技术进行地层、岩性油气藏勘探,地震数据处理解释技术的有效应用是十分关键的。当前实际应用的方法和技术大致可归纳为三类:一是地震数据反演;二是地震数据属性分析;三是地震正演模拟技术。但总的技术应用趋势是:针对目标的具体情况和所拥有的数据体的特征,把三类方法结合在一起,进行综合分析,形成针对目标的处理解释技术流程或技术系列。下面将要讨论的是应用中需要注意的一些问题,而不是对各种方法进行全面介绍。

4.1 地震反演是地震数据处理与解释中的核心技术

地震反演可解释为:利用地震数据,以已知井的信息为约束,对地下岩层空间结构和物理性质进行

成像(求解)的过程。由此可见,广义的地震反演包含了地震数据处理与解释的全过程以及全部的内容。零炮检距(叠后)数据反演、AVO分析、非零炮检距(叠前)数据反演是当前地震反演的三大组成部分。为了排除多解性,反演前的数据处理要用地质信息、测井信息、先验知识对反演过程进行约束,这是减少多解性的有效途径和比较实用的方法。从当前技术发展总的趋势来看,叠前数据(包括多波多分量数据)直接反演储层参数、波动方程全波形反演、井中资料与地震数据联合反演,是反演技术应用的主要发展方向。有关应用地震反演需要注意的问题有以下几个方面。

(1)认识反演理论的主要目的是提供有关模型中(模型已经确定)的未知参数的信息,而不是提供模型本身,这对我们分析反演成果的应用效果十分重要。尽管如此,反演理论及其成果又经常能提供评价给定模型正确与否的信息;或者在几个可能的模型中辨别正确的重要信息。这就告诉我们如何充分利用反演成果来进行解释。

(2)反演这一术语是相对于正演而言的,或者说它们是相互对应的;在多数情况下,正、反演的原理与模型是相同的。因此人们经常利用反演的结果,填充到模型中,然后进行正演,来验证和评价反演结果的正确性。由于原理、模型是相同的,那么两者若有差别只能是算法上的差别。因此这种检验和评价的方法是有其局限性的,或者说不全面的,使用时我们应当注意到这一点。有的反演方法本身就是通过正演来实现的,也是基于正、反演原理和模型是相同的这一基本假设,这时我们不得不考虑在给定模型的情况下,这种方法能真正惟一确定某一组模型参数吗?

(3)当寻求模型参数数目少于现场观测数据数目,这种反问题是超定的,对于超定问题一般可用基于对数据的拟合求解;反之,寻求模型参数的数目多于现场观测数目时,反问题是欠定的,这时无数个模型可以满足这种稀少的数据,关键是如何挑选出一个特定的模型,求解需要多种已知信息和先验知识进行约束。地球物理问题几乎都是不适定的,多解是普遍性问题。因此反问题的核心工作是要使解趋于稳定。

(4)地震数据反演是一件十分复杂的工程,那么反演前应做些什么呢?首先是反演基本知识的准

备;其次是初步确定反演的基本策略,并准备在反演过程中进行适时修改;第三是反演前的数据准备,几乎所有的方法对输入数据具有相同的要求,那就是高信噪比、高分辨率和高保真度。这项工作是大量的,难度也是最大的。在叠前数据上应以压制噪声为主,谨慎使用加强信号的方法;分辨率高低,应与是否增加了可解释的地质信息紧密相关,以可识别的层序级别作为重要的衡量标准之一,不能以频带多宽、主频多高作为惟一的标准;保真难度更大,适应20世纪70~80年代出现的亮点、碳氢检测(HCI)技术的相对振幅保持处理流程,给人留下的印象是很难如愿实现。这个流程是否适应频率特性和相位特性的保持,有许多问题需要仔细研究和认真对待。第四,对反射信号的极性进行检查和确定,振幅反演一定要求正极性。总之,反演前的准备工作是多方面的,除了上述四个方面外,数据的构造解释与构造确定、属性分析与提取等都与反演紧密相关。

4.2 地震属性提取、分析与解释技术应用前景广阔

地震数据属性分析,是三维地质解释的基础技术之一。其工作流程一般包括提取、检验、分析、评估、优选和确认等六大步骤。岩石物理分析和地震数据特征分析,是地震属性分析之前不可缺少的两项基础工作。地震属性种类繁多,从走时(速度)、振幅、频率、相位、声阻抗和吸收衰减等基本属性数起,到三瞬、相干、曲率和子体属性等,可列出上百种,但具体应用时,只是从中挑选几种进行分析与解释。

地震属性分析方法可归纳为三种类型。

(1)估算地震数据的谱,然后对谱进行分解,得到不同频率的振幅谱和相位谱切片,在切片上进行各种地质现象的解释。

(2)利用各种时频分析方法进行时频分析,根据时频分析成果,进行分频处理与解释。

(3)从地震数据中直接提取子波,然后对子波属性进行分析,从而完成各种地质现象的解释。

在属性分析与解释的过程中,通过图像处理、模式识别、神经网络等技术手段,把属性解释引入更深的层次。准确建立地震属性与储层参数之间的关系和多属性综合分析与解释方案,是属性解释取得成功的关键。当前,地震属性定量分析技术的发展正在加快,可视化程度不断提高,从而使各种属性的地质意义更加明确,解释的置信度得到提高,应用领域

从储层特性预测到油藏特征描述,逐渐向开发领域延伸。在属性应用中有以下问题值得注意。

(1)在不引入其他信息的情况下,通过各种运算直接从地震信号中提取的各种参数,包括几何学、运动学、动力学及统计特征的特殊量值等,均可称为地震属性。为此有的属性是基于整个剖面的,对应地下一个剖面模型;有的属性是基于一个同相轴的,仅与地下一个界面有关;有的属性是基于一个三维地震数据体,与地下一个三维空间模型相连接。在进行属性分析与解释时,这些对应关系是必须明确的。属性分析的目的在于综合多种地震属性,通过与测井和岩石物理信息的结合,转换成岩石和流体特性数据体,用于储层或油藏特征描述。

(2)在属性分析与解释时,追求属性利用的个数不是重点,关键是如何应用。首先,基本属性在应用排序中应处于领先地位;其次多种属性的综合分析与应用,应注意综合的方式,是并行还是串行,有些属性是只能并行应用的,不能串行,而有的属性串起来应用效果会更好;第三,许多属性是相关的,真正独立的为数不多。各属性之间有着非常复杂的关系,如互补、线性相关等,有时它们之间会产生各种矛盾,但多属性综合应用是趋势;第四,有的属性与目的层无关,物理意义与地质含义挂不上钩,强行应用只能起干扰的作用。

(3)当前,除了相干体属性、曲率属性应用较普遍外,地震波场属性、基于谱分解的属性、AVO分析属性以及各种叠前属性逐渐被人们重视起来。正演模拟和岩石物理分析,以及井地联合属性分析等,已逐渐纳入常规分析手段。提取敏感属性参数和多属性优化组合,是实际生产流程中两大部分。利用地震属性直接进行油气检测,如低频伴影等,当前仍处于试验阶段,还需在生产实践中进行完善。

(4)地震属性分析常规的工作流程是:资料评估、层位标定、层位追踪闭合、提取多种属性、敏感性分析、属性优化(确定用于分析的属性组合)、属性标定(通过井建立属性与油藏特性之间的关系)和对井间油藏特性进行预测等八个步骤。在执行每个步骤时,必须与构造解释、岩性解释知识融合在一起;同时提取、优化、预测三者是相互关联的。在具体操作时,首先要分析数据是否满足算法需求,二是算法是否合理,三是结论是否惟一确定,四是整个分析过程中从物理、数学到地质模型是否都成立。

(5)地震属性在储层预测和含油气检测方面的应用,更多的是沿层进行空间分析,因此沿层地震属性数据空间滤波去噪是十分重要的。当前应用最多的是克里金因子方法,它通常应用多个理论(试验)模型去拟合实际数据变差函数,从而更精确地逼近空间结构。除此以外,还有基于主成分分析(PCA)、独立成分分析(ICA)的线性和非线性压噪、应用高斯混合模型(GMM)和贝叶斯阴阳(BYY)和谐系统为主的无监督自适应统计方法、基于径向基函数(RBF)神经网络方法、基于图像处理、语音识别、指纹鉴定的处理方法等。我们需要从众多的方法中,选取适用于具体目标和数据特征的方法。

(6)利用地震属性预测储层物性,始终存在着潜在风险。实际工作中,我们可以根据地震属性和储层物性之间的相关度,来选择和优化将要被选用的属性,但是相关度的估算往往只能是选用极少的几口井的数据来进行,样品越少,误差就越大,反之,生成的属性数量越多,观测到的伪相关的概率就越大。虽然当前我们有估算相关绝对值的概率和估算伪相关的概率的一些计算公式,但由于影响估算精度的因素很多,制约了实际的有效应用。因此对潜在风险强度的估算是十分困难的,而潜在风险总是存在的,我们的目标将是把风险降到最小程度,而不可能消除风险。

4.3 岩石物理分析、地质建模、地震模拟等至关重要

由构造勘探走向地层、岩性油气藏勘探,岩石物理、地质建模、地震模拟的地位和作用都有大幅度的提升。如今它已成为地震反演和地震数据属性分析的理论基础和成果评估的依据。

岩石物理分析、地质建模、地震模拟从应用角度上分析是纵向联系十分紧密的技术系列。通过岩石物理分析可以获得各种各样的参数值,直接用于建模,有了模型就可进行地震模拟。岩石物理分析参数的准确程度,直接影响建模的有效性,同时也决定了地震模拟的可信度。横向上,这三者与地震数据反演和地震数据属性分析紧密相连,因此技术开发需要按照这种思路去执行,应用层面也必须按照这种思路去实施。

(1)用地震方法研究储层岩性、孔渗饱等物性参数和孔隙内流体特性等问题,是勘探工作者一直追求的目标。从岩心出发,通过超声波实验测试技术,

认识和研究各种物理场的特征和规律,提出模型和理论,进行正演模拟,是实现上述目标的有效途径。岩石物理研究的主要目标是:了解岩性、孔隙度、围压和孔压、孔隙流体类型和饱和度、各向异性和裂缝、温度、频率等因素,如何影响地震波在地层中传播的速度和衰减以及地震响应特征等。了解和掌握了这些因果关系,就可以通过速度、衰减以及地震响应特征(振幅、频率、相位)等属性,实现研究储层的目的。

(2)从地球物理地震数据解释的角度考虑,岩石物理研究工作主要包括两个方面:一是岩石物理建模,通过建模,模拟各种岩石弹性参数和储集层参数之间的关系,为模拟提供模型,这是岩石物理研究的基础问题;二是岩石物理分析,同样通过建立储集层模型,研究孔隙、流体等储集层特征参数,与速度、衰减、频散等地震属性之间的关系,将地震参数与储集层参数联系起来。反射波衰减和频散决定了地震数据的频谱特征,因此通过谱分解技术可以提供饱和流体的信息,这是在谱分解数据应用于岩性常规解释的基础上,更加深入一步的解释。

(3)地震模拟有物理模拟和数值模拟两大类。物理模拟的特点是:结果真实性不受计算方法和假设条件的限制,特别是在三维复杂介质地震模拟中,它比数值模拟具有快速和经济的特点。物理模拟一方面用于指导勘探和开发的方法理论研究,同时也用于指导实际的生产过程。当前,许多国家和地区的石油公司和大学,都纷纷建立了自己的物理模型实验室,这是一个十分重要的技术发展动向。

当前地震数值模拟技术有射线追踪法、积分方程法和地震波方程数值解法(直接法)。建立在以射线理论为基础的波动方程高频近似的射线追踪法,其主要的数学表达式为程函方程和传输方程,没有考虑波场全部特征,仅把波场视为同相轴、旅行时和振幅等参数所构成的一个整体,目前应用较多的求解法主要有波前结构法和有限差分法。计算效率高,但精度相对较低,主要应用于模拟、旅行时层析成像反演及偏移等领域。建立在波动方程积分解表达式基础之上的积分法,认为波场可表示成一系列点震源分别激发所形成的波场的叠加,也可表示仅由边界点源分别激发所形成的波场的叠加,分别对应于体积分和边界积分方程(面积分),理论基础是惠更斯原理。对于特殊几何形态的地质体,如均匀

介质中包含产生绕射和散射的地方(裂隙和溶洞等)积分法效率和精度都相对较高。直接法可给出全波场记录,因此有全波方程法之称。其算法有:有限差分法(FD)、虚谱法(PS)、有限元法(FE)等。当精度要求一般时,FD法的实现最简单有效,其中时间2阶、空间4阶为很好的选择;虚谱法耗费机时,采用交叉网络算子时精度高、噪声背景低,适用于泊松比变化大的模型;有限元法适应于起伏地表和弯曲界面,随着谱插值技术的应用,精度和稳定性不低于FD和PS法,但当泊松比变化大时,稳定性会降低。

(4)岩石物理信息来自于地质、地面露头、钻井岩心、录井、实验室和测井信息等。当前,地震岩石物理信息主要来自于测井。传统的岩石物理学大多在孔隙尺度上分析岩石的矿物成分、岩石基质和流体成分、温度和压力的变化对岩石物理特征的影响。地震岩石物理学,首先要把研究尺度延伸到油田特征尺度上,建立不同尺度的岩石物理分析模型。最终利用岩石物理模型(或经验公式),通过流体替换和叠前弹性参数反演,对油气进行多学科的综合研究,全面表征油气藏的储集性能。因此地震岩石物理研究的关键,是不同尺度的多学科的数据的融合。

(5)模型的应用遵守三条原则:模型不仅用来说明已知现象,而且要用来说明新的现象;模拟与观测的结果为一对动态的对偶物,且彼此互馈;当模型不能再预测所观测到的现象时,就应该修改或重建模型。在地震数据解释应用中,涉及地震地层学和油气圈闭形成的地质过程的模型,为动态模型,但由于应用时边界条件、初始条件不能确切给定,其过程是浑沌的。依赖地质作用、沉积作用以及海平面振荡和区域沉降所造成的地层沉积及构造的几何形态,可称为静态模型,但由于观测数据的不完全,由观测数据反演模型总是多解的。因此在应用过程中,我们必须牢记“浑沌的动态、多解的静态”这一特征,以便使处理和解释中的解趋于稳定。

(6)模型是人们根据科学观测结果,对真实世界的一种假定或近似。通过不断改进观测手段和模型的表现方式,可以不断缩小实际情况与模型之间的误差,这就是建模过程。建模不仅适用于开发,也适用于勘探,和地层、岩性油气藏的解释。油气藏的地质建模主要包括油气藏构造建模和属性建模两大部分,因此主要的工作步骤是:①建立地层框架模型;

②建立地层实体模型;③建立地质约束条件;④属性数据的变异函数分析;⑤岩石物理属性建模等。建模不是目的,是提高地质认识的技术手段,需要接受实际生产过程结果的验证,并不断进行修改,从而不断逼近真实。因此,油藏地质建模过程,是一个不断完善的迭代过程。

(7)当前数值模拟技术发展很快,已成为勘探地球物理学的一个重要领域,已有一套完整的理论和一系列的方法与技术,其主要特点是:模拟方法多样化、模拟维数由二维向三维发展、模拟介质由简单变得更加复杂、模拟波场更加复杂以及出现了一些标准的数值模型,并且应用领域将越来越宽广。

以上我们从七个方面简单地讨论了在“岩石物理、地质建模和地震模拟”议题有关的一些问题,重点是放在应用的角度上。当前技术发展总的趋势是:模型由三维各向同性介质向三维各向异性介质方向发展;方程由单一的声波方程向全波方程、黏弹方程和弹性波方程综合应用方向发展;解决问题的能力越来越强大,应用领域越来越宽广。

5 地震数据的地质综合解释

地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术的应用效果,最终是要通过地震数据地质综合解释的成果来展现。可见在地震数据采集、处理、解释三个环节之中,地质综合解释具有特殊的作用和地位。解释技术既可以带动采集和处理技术的发展,同时又可以加快采集、处理和解释一体化的进程,从一个勘探项目的技术设计开始,到最终提供勘探成果,解释工作一直承担起指挥者的作用。由于观测数据的不完全,边界条件和初始条件的不确定性,从观测数据中求得地下模型的参数解,总是存在多解性,综合解释可减少多解性,使解一步一步地逐渐趋于稳定。

正确的解释思路,实用的有效技术流程,高质量的数据体,丰富的实践经验和睿智的解决方案,是解释取得成功的主要因素。对于一个地区和某一个油田来说,解释有其明显的继承性。当我们强调技术创新时,我们不能违背已形成的客观规律;同时还要注意信息的占有量和信息的覆盖面。解释不仅是一项技术,也是一门精湛的艺术。

5.1 什么是地震数据解释

什么是地震数据解释,简单地说是把地震信息

翻译成地质信息。为此,它必然是以数据和理论为基础,利用先进的工具和精湛的技巧,对有限的不完全的信息作出正确的解释。从地震数据信息利用量和相应的解释模型,当前地震数据解释的实际运作和应用,可归纳为四个解释流程。每个流程都有其自身的鲜明特点,同时对数据采集、处理技术有不同的需求,对数据也有不同的需求。

5.1.1 常规(传统或构造)解释技术流程

常规解释工作流程,通常是指构造解释。解释流程由层位识别、波组对比追踪、构制 T_0 图和构造图、确定圈闭和优选井位等步骤组成。追求同相轴的光滑连续,剖面数据的高信噪比和高分辨率,追求好的叠加数据。传统解释技术的主要特点是:

(1)处理与解释基本上是分开进行的,二者之间的联系不十分紧密;

(2)解释介质是剖面 and 切片,而不是数据和数据体;

(3)解释基本上是在时间域进行,深度域(构造图)解释工作量不大;

(4)仅用了走时(速度)这单一的属性信息,波组对比时参照了波形和振幅,但仅是作为一种辅助的标识。

常规解释技术的核心问题是建立地下构造模型,因此时深转换和地面地震资料与井资料的连接,是两项十分重要的技术。常规传统解释的潜力来自于工作细致、扎实,但这种潜力是有限的;重大的突破主要来自于地震数据成像的改善;高水平的解释依赖于解释性处理技术和成果的应用;来自于对偏移过程中的中间成果和最终成果的解释和应用;来自于地质、测井、地震和重磁电等数据的综合解释和应用。

5.1.2 岩性解释技术流程

利用地震数据进行岩性解释的思路或者说技术流程^[10]大致可归纳为三类:

(1)从地震相解释出发,进行沉积相、岩相解释,最后落实到各种岩性体圈闭的解释;

(2)从层序地层格架建立出发,通过充填各种地震属性,从而建立初始地质模型,通过正演模拟和迭代反演,完成各种岩性体模型的解释;

(3)在三维精细构造解释的基础上,建立构造框架模型,充填各种地震属性,建立地震属性与岩性参数之间的关系,从而实现岩性解释。

从上述三个流程来看,解释介质除了剖面数据以外,更多的是在切片上完成各种解释。切片类型很多,解释前须了解切片信息的物理含义,它能完成何种解释;其次是如何提高切片信息的质量,有时对切片信息进行适当的处理,可以大大提高切片的可解释性。当前切片可视化显示、切片浏览动画展示潜力还很大,要加强这一方面的软件产品开发。

5.1.3 针对各种特殊地质体形成的各种专用的解释流程

各种特殊地质体,主要指各种类型的砂体、碳酸盐岩、火山岩和生物礁等。进入地层、岩性油气藏勘探阶段以后,这些地质体已成为油气勘探的主要目标。形成各种专用的解释技术流程,是当前油气勘探急迫的任务。目前各种有针对性的技术流程正在逐步形成,但还不成熟和完善。从技术应用上分析,可归纳为两类:

(1)在叠后数据精细解释的基础上,逐渐引入和扩大叠前数据信息解释的比例,多属性和综合解释仍是主要的解释手段;

(2)应用速度各向异性模型和边缘检测处理解释技术(裂缝储层)等一系列的先进处理解释技术,根据地质体的特征选择有针对性的技术,组成处理解释技术流程。

5.1.4 储层特性预测及地震油藏初步描述解释技术流程

基本思路是:在精细构造解释和岩性解释的基础上,从提取地震参数到岩性参数再到储层参数;引入测井、地质等先验信息,进行标定和约束;引入各种预测理论和算法,依据地震信息特征在井间进行内插和外推,实现储层特性预测和地震油藏的初步描述。

5.2 地震数据解释技术的发展趋势

Vail 等^[11]提出了解释工作的 7 个步骤,不仅集中反映了当前解释技术的进展,而且还概括了岩性解释的工作思路和方法。这七个大步骤是:①地震层序分析;②测井层序分析;③用合成记录连接井与地震信息,并与生物地层学结合;④地震相分析;⑤岩相与沉积环境解释;⑥地震模型正演与反演;⑦最终解释与工业制图。

从这七个步骤中可以看出,通过反射层面特征的分析与研究,地震相的分析与研究,直接进入岩性解释和储层解释阶段,实现地震数据的地质综合解

释。著名地质家 Frodeman^[12]将地质学定义为是一门以解释为基础的科学,一方面说明了地震数据解释的重要性,同时也说明了地震数据解释的目的即是进行地质解释。

根据油气勘探形势发展的需求,复杂地区精细构造解释技术和地层、岩性油气藏的地震数据处理与解释技术,是今后处理解释技术发展的两大主流。围绕着这两大主流,以下所列技术将成为处理解释技术发展的热点问题,也是技术发展的基本走势。

(1)复杂地区精细构造解释技术

我国西部山前冲断带已成为油气勘探的重要战场,但对逆掩断裂下部构造的准确解释,目前还存在较大的难度。今后一方面要重视改善成像的效果;另一方面要加强地质理论的研究。因为用于解释的地质构造模式,一方面直接指导构造解释,同时还要指导深度偏移中的速度建模,决定叠前深度偏移效果。

(2)频率域解释技术

频率域解释相对于时间域解释而言,存在着分辨率高等多个方面的优势,然而以往的解释大多在时空域进行。因此今后要不断探索频率波数域解释,并在实践中不断完善。第一步是在频率空间域完成谱分解、频谱的一阶导数等;第二步是在频率波数域解释目前只是一种思路,还未见到有效的应用。预计当前技术发展走向仍以频率空间域解释技术为主。

(3)数据体的不连续性和不均质性的解释技术

相干数据体反映的是数据之间的不连续性,目前已得到广泛的应用。相干算法已经出现第二代、第三代和第四代,与其他属性的联合应用,效果将更好。数据体的不均质性,是从另一个角度上研究反射界面的特征及其介质的不均质性,目标是研究储层特性的不均匀性。

(4)多属性综合解释技术

地震属性是多种多样的,当人们分析属性与地质介质参数之间的联系时,就会发现它们之间并不存在一一对应的关系;另外许多属性是相关的,而不是独立的。因此有必要进行属性优化处理和敏感性分析。多属性综合解释是减少多解性和使解趋于稳定的一条重要途径。多参数数据融合技术和计算机可视化技术,可配合属性优化和敏感性分析共同实现多属性的综合解释。

(5)地震子波分解与重构技术

当前地震子波分解与重构(分频处理与解释),应用相当广泛。大量的实践证明,这一技术需从理论到应用做进一步完善。首先,我们的分频是对地震数据而言的,而不是地震子波。地震数据的谱能量分解到某一个频率上,其物理含义是什么,如何解释,仍有一些问题需要研究。我们知道,从地震数据中提取子波难度是很大的,假若子波已提取出来,如何分解以及重构的依据和判断的准则,都需去认真研究。但当前这项技术的应用效果是好的,因此必须努力去完善,确保技术能稳健地发展。

(6)叠前数据反演技术

叠前数据反演已得到人们的高度关注,如角道集处理、AVO 分析、弹性阻抗反演、叠前多参数反演到多种参数的交会分析,近几年都有不同程度的发展,同时也发现还存在许多问题,包括基础理论到算法和应用层面。因此今后的任务是在应用中逐渐去完善,从而达到预期的效果。

(7)碳酸盐岩裂缝储层预测技术

我国碳酸盐岩分布面积广阔,已成为油气勘探的重要目标。但碳酸盐岩储层预测技术,从方法模型到具体技术的应用,仍存在许多问题有待解决。当裂缝定向排列时,将会产生各向异性,基于此可以初步确定裂缝的发育方向和裂缝的密度;对于缝洞型储层,我们只能据随机分布模型做研究。无论是各向异性模型,还是随机分布模型,均有诸多问题需做进一步研究。当前人们十分重视这项技术的开发,已成为研究热点,并取得了许多有价值成果。

(8)油藏地质建模和油藏数值模拟技术

地球物理技术发展方向:一是复杂地区的油气勘探技术;二是向油气开发领域延伸。依据地震数据,结合其他有效信息,进行油藏地质建模和油藏数值模拟,是物探技术向开发领域延伸的重要内容,也是物探技术的发展趋势。

以上从八个方面简单地讨论了解释技术的发展趋势,当然还有许多技术也正处在快速发展之中,例如:岩性解释技术发展逐渐适应工作量增长的需求、切片解释技术正在深入发展与完善、三维数据体的三维解释正在加快实现的步伐、计算机技术的应用更加深入等。为了适应技术发展的需求,我们必须加强具有多学科知识的融合和综合型人才的技术素质的培养,必须走处理解释一体化的发展之路,促进

和保障解释技术的稳健发展。

5.3 应用地震地层学和层序地层学理念提高地震地质解释成效

层序地层学是根据露头信息、钻井信息、测井信息和地震数据,结合有关沉积环境和岩相古地理解释,对地层层序格架进行地质综合解释的地层学分支学科^[13]。地震地层学的核心是海平面升降旋回变化的周期性,基础是以不整合面为边界的沉积层序的识别。

当前,应用层序地层学理念来指导地震数据的地质综合解释,主要应用的知识仍属地震地层学范畴,只是它十分强调与露头、钻井、测井信息的结合。因此它就可以在油气藏范围内进行地质研究与解释,实现从地震相到沉积相,再到岩相以及岩性解释的技术流程。针对这一流程,目前已初步形成一整套的应用技术系列,并正在油气勘探和开发项目中发挥极其重要的作用。

5.3.1 地震层序

地震反射主要来自层面和不整合面,由于不整合面以及与之可对比的整合面,分隔了不同年代的地层单元,这就使得地震反射具有年代地层学意义。这是地震地层学研究地层的理论之一,也是应用层序地层学进行地震数据解释的基础。

目前,国际上的地层分类趋势是把地层分为三套不同性质的地层系统,即以岩性特征作为主要依据划分的岩石地层单位;以化石的一致性和特殊性而划分的生物地层单位;以地层形成年代作为依据而划分的年代(时间)地层单位。在进行地震地层解释时,为了划分层序以至于划相,我们必须了解地震反射界面究竟代表那种地层单位的界面。我们在反演和属性分析时,十分强调要研究的地震反射同相轴是否属于同一等时面,就是基于这一因素。

Vail 等^[11]首先提出地震层序的概念,其定义是:地震层序是沉积层序在地震剖面上的反映,它是由一套互相整合的、成因上有关联的地层所组成,这套地层的顶界和底界都是不整合面以及与之相连接的整合面。当地震层序剖面解释出来以后,如果知道各个地层的地质时代,就可以把它转为年代地层剖面,了解各地震层序的形成与消亡,以及它们的分布范围,进而可以应用于区域构造研究、区域地层对比的研究,以及区域岩相古地理和盆地属性的研究。需要注意的是,地震反射界面与地质界面不存

在一一对应的关系。

5.3.2 地震数据的层序地层学分析及其应用

地震数据的地层学和沉积相的研究,是地震地层学和层序地层学的重要内容。地震数据以覆盖面积大,能反映地层相互接触关系和沉积体的三维形态及其接触关系为其显著特征。地震剖面上有为数众多的前积斜层,揭示上超、下超、顶超等,反映在众多的平行层之间有斜列地层。这种现象在地面露头上也可以见到,在计算机上可以模拟。虽然地震数据的垂向分辨率不如露头、钻井和测井数据,但其连续的地震反射具有相对年代地层意义,这为我们建立盆地范围内的年代地层框架提供了良好的基础。

当前地震数据在层序地层学研究中的应用,主要围绕着弹性波动力学参数进行。其分析效果明显,常用的分析方法有以下几种。

(1) 薄层反射特征分析

薄层反射特征分析主要包括波形分析和时间—频谱分析(时频分析)。前者有薄层振幅调谐、波阻抗、反射系数、合成记录、波形聚类分析、可视化技术等;后者是要找出主频随时间变化的特征。由于沉积过程有着周期循环的特点,其岩性、粒度成分、层理厚度的变化亦具有方向性变化的特征。这种薄层结构特征变化的方向性,决定了地震响应中频率成分的不同,因此正旋回、反旋回、混合型旋回都有相应的时频分布模式。

(2) 地震数据岩性预测方法

由于沉积环境的不同,一个地震层序内的不同单元,会在岩性参量上表现出较大的差异,如岩石组分、岩层厚度、沉积物粒度、圆度、胶结程度、孔隙分布等。上述岩性变化会导致弹性模量、密度、速度、泊松比、吸收特性等弹性参数的变化,这将导致地震反射信号的振幅、频率、相位以及相干性等反射特征发生变化,从而使提取的这些信息分析岩性成为可能。目前常用的方法大致可归纳为:传统的地震地层学方法,根据反射结构识别地层沉积序列,对岩性进行推测;另外还有统计分析、模式识别等数学方法和层速度分析方法等。总的模式是:从地震相到沉积相,再到岩相,最后落实到岩性圈闭上。

(3) 孔隙度预测方法

用地震数据预测孔隙度,目前方法众多,常用的首先是维利时间平均方程法,实际情况往往与公式不严格符合,精度低;其次应是克里金法及其改进方

法,效果较好,它依赖于三维数据和测井数据的质量;第三是井约束反演或非井约束反演,关键是算法假设条件是否能得到满足;第四是 ANN 函数逼近法,它受井数据和孔隙度分布是否均匀的限制;第五是基于多相介质弹性理论的一些方法,这是目前的研究方向,还需在生产实践中进行各方面的考证。

(4) 地层压力预测

地层压力是地层能量的反映,是推动流体在地层中流动的动力。压力异常现象有时有可能指示油气的富集情况,应用地震数据解释地层压力主要应用速度参数和一些经验公式,多数的经验公式计算大多采用等效深度公式计算。

(5) 烃类指示物检测

沉积岩的速度和密度是由岩石骨架、孔隙度和孔隙充填流体性质所决定。当前两个因素一定时,流体的性质及其充填孔隙的程度,就会使岩石密度和速度发生变化,从而导致地震剖面上出现亮点、平点和暗点以及 AVO(AVA)效应,有效识别这些效应均对地震数据品质要求很高。

(6) 统计学方法和非线性算法的应用

对提取的各种参数,用概率统计方法进行优化解释,越来越受到人们的重视,其中综合参数法和判别分析法的思路应用较广。用地震数据反演来研究地下地质结构,是非线性问题,由于非线性建模十分困难,多采用逐次线性近似逼近方法实现。采取遍体搜索工作量太大无法计算,采用随机搜索的非线性算法往往受边界条件制约,因此非线性全局寻优算法受到重视,如模拟退火算法、遗传算法、人工神经网络、模式识别等。

5.3.3 地震层序内部结构的地震成像

地震层序内部结构的成像,首先是对数据分辨率有很高的要求,但是分辨率必须是建立在相应的信噪比和保真度的基础之上。它涉及到数据处理和解释的多个方面,从模型到算法均有许多问题需要认真地去考虑。

(1) 高精度三维数据的高信噪比、高分辨率、高保真处理技术;

(2) 高精度三维数据的叠前偏移成像;

(3) 波阻抗反演、AVO 分析、AVO 和波阻抗联合反演、谱分解技术、相干体技术;

(4) 地震属性复合分析技术;

(5) 层序地层界面的特征描述及地震识别技术;

(6)多尺度目标地震分析技术;与多尺度(多分辨率)反褶积紧密相关;

(7)薄层地震响应的波动方程描述;

(8)地震图像处理技术;

(9)地震层序模型。

总之,我们不能把地震层序内部结构的地震成像简单地视为一个地震数据处理问题,而是需要处理和解释共同来完成,且一般要进行多次迭代处理。盲反褶积处理框架和多尺度反褶积是适应多级层序识别的有效方法,而混合相位反褶积和相位校正处理技术,将在信号保真成像中产生积极作用。

5.3.4 地层、岩性油气藏勘探与层序地层学方法紧密相关

国内外许多实例表明,层序地层学是寻找地层、岩性油气藏的最有效方法。据统计:世界上 86% 的油气藏与低水位体系域有关;12% 与水进体系域有关;只有 2% 的油气藏与高水位体系域有关。

与低水位体系域有关的油气藏,多数是非构造油气藏,其中包括盆底扇、水下扇形成的所谓“低幅度构造”油气藏;前积楔附近可形成与三角洲或者河口湾有关的地层尖灭油气藏;以及与逆着海口或者湖口向上追溯的古河道有关的油气藏等。实践表明,所有这些认识对应用地震数据进行地层、岩性油气藏解释,具有十分重要的指导意义。许多实例验证,油气流来自某一个层序下部的低水位体系域,而该层序往往跨越了传统的分层界面。这一认识对我们在地震数据剖面上见到的某些现象,有了一个较合理的解释。

根据大量的实际资料以及在计算机上层序组合模拟结果表明^[14]:只有当几个层序的密集段在三维空间中横向拼合、纵向叠置、彼此紧邻的情况下,才有条件形成大油气田。这些大油气田的形成过程中,生油岩、储集岩、盖层之间的三维组合关系,它们与层序形成初期因侵蚀而形成的不整合面,以及在最大水位之后形成的沉积间断面,存在十分密切的关系。实践表明,这两个面在地震记录剖面上,表现为一个连续的强反射同相轴,根据数据处理的状况可以表现成一个相位、两个相位甚至三个相位。跨越这个面的上下有时会生成一段特殊的岩性段。这一认识,使我们对在地震剖面上见到的一些现象可给出很好的解释。

5.4 储层特性预测与表征

油气勘探提供的主要成果:一是圈闭;二是储层。对于储层所做的工作,我们统称为储层特性预测与表征,强调的是储层特性。井间的储层特性是要根据井点上的储层特征,借助地震信息,通过各种处理手段预测出来的,所以我们称其为储层特性预测。对预测出来的特性进行描述,我们称其为表征。表征的手段很多,曲线、表格、图形和计算机可视化技术等。地震储层预测不是单一技术,而是处理与解释技术的优化组合。组合方式随条件不同而变,没有一个统一的模式。

储层研究的内容可归纳为^[15]:

(1)确定储集层(组)详细的构造形态,包括断层位置和断块形态;

(2)确定储集层(组)厚度的横向变化;

(3)确定储集层(组)岩性的横向分布;

(4)判断储集层(组)油、气、水的分布;

(5)估算储集层(组)孔隙度的横向变化;

(6)估算储量的大小,为油气藏评价、制定早期开发方案服务;

(7)追踪、核查井与井间的油气层的变化;检查被遗漏的油气层,为调整生产井和注水井提供依据(开发阶段);

(8)提供油田开采中的动态资料,如油、气、水推进情况、压裂效果分析等(开发阶段)。

常规储层特性预测与解释的工作步骤和流程是:

(1)数据的分析与管理;

(2)建立地质框架模型;

(3)子波确定及合成记录制作;

(4)分频处理与解释和地震数据属性分析与解释;

(5)零炮检距数据反演,包括稀疏脉冲反演、多道确定性反演、神经网络反演、随机反演等;

(6)叠前数据反演,包括常规道集数据和角道集、成像道集数据等;

(7)时深转换;

(8)地质建模与随机模拟;

(9)储层特性预测与表征。

以上是一个基本的流程,针对具体的地质目标可能要删去或增加一些内容,但总的框架是大同小异的。每一步骤的内容很多,因此整体是一个十分

庞大的工程,但无论系统如何复杂,基础理论和基础工作是十分重要的。

自然界和社会领域存在许多不确定现象,这种不确定性主要表现为:一是随机性,事物因果关系不确定,用概率统计方法进行研究;二是模糊性,边界不清楚,即在质上没有确切的含义,在量上没有明确的界限,只能用模糊机理方法(模糊数学)研究。孔子有云:凡事预则立,不预则废,说的是“预测”和“预案”的重要性。预测可分为:以统计学为基础、统计量为对象的统计预测;以信息学为基础、信号为对象的信息预测。预测中常用的模式识别是科学加艺术,不存在惟一的方法,所以预测是带有主观性的,包括储层特性预测在内。预测模型可以区分为确定模型和随机模型,而预测体系是多种多样的,如平稳的和不平稳的;线性的和非线性的;均匀的和非均匀的;趋向的、周期的、交变性的;多重性的、突变的、模糊的等等。规律是对有关体系进行预测的基础;回归是拟合模型中重要的特例,回归分析可以研究多体系的相关,所以可用于所谓“因果预测”,在技术上线性回归就是线性方程的最小二乘法拟合。了解和掌握这些基本知识,对做好储层特性预测并对预测成果进行分析,具有重要意义。

在储层特性预测中,模糊数学应用广泛,如模糊模式识别、模糊聚类分析、模糊信息检索、模糊相似选择、模糊综合评判、模糊线性规划、模糊推理、模糊决策、模糊概率、模糊优化等等,其实这些方法在实际工作中已得到应用,只是我们对它还没有充分地认识而已。

当前在地震储层特性预测时,我们要注意的问题有:

- (1)要高度重视地震数据的前期处理工作;
- (2)要与地质、测井、测试等信息紧密结合;
- (3)要发展多信息源、多域、多种道集的储层预测方案;
- (4)要运用多种数学、软件工具,优化预测方法;
- (5)要加强模型正演和岩石物性的测井分析和实验室测定工作。

5.5 地震数据的综合解释

在地层、岩性油气藏勘探中,地震数据的综合解释的作用,相对于构造油气藏勘探而言,显得更加重要。以地震数据为主体的综合解释方法,最主要的目的是排除多解性,使解趋于稳定;其次有利于充分

发掘地震数据中有意义信息,进行地质解释。对于二维地震数据的综合解释,主要用于区域研究,寻找和落实下一步的勘探目标;对于三维地震数据综合解释,更多的是应用于储层研究,确定和刻画油气藏特征。由此可见,地层、岩性油气藏勘探应当应用三维数据体。

地震数据综合解释整体构思,可分两个层次进行:一是围绕地震数据多属性分析的综合分析解释方法,也有人称其为地震数据现代解释方法,或者三维数据三维解释方法,这是当前综合解释的主流,也是当前解释技术发展的主要趋势;二是地震、重磁电、测井、地质以及油藏工程信息的综合解释,通常所说的综合解释主要也是针对这一点。具体实现时,有显式、隐式多种方式:所谓显式,侧重于成果的综合,即各自独立解释,最后将成果综合在一起,再进行一轮解释;所谓隐式,即在各自解释时就相互利用信息,建立在一个统一的模型下的解释,直接得到综合解释成果,最明显的例子就是地震数据反演往往要应用测井信息进行标定和约束。

综合解释的必要性,首先是地震数据解释存在多解性,最根本的因素是地震数据采样不充分,不能实现完全采样,造成多个反射系数序列可以构成同一个地震道,或同一个波组特征,因此声阻抗就不能很好地区分地层岩性;其次是地震波形成机理也会产生解的不确定性的结论,例如连续砂体分布可以形成的地震响应不连续,不连续的砂岩有时地震响应是连续的;第三是不同的采集方式、不同的处理流程、不同的反演方法、不同的解释思路等都会产生不同的结果;第四是地下目标的复杂性;第五是由于地震信号分辨率不够所引发或者是派生出的一些问题。由此可见,单一的解释方法不可避免会导致片面性、危险性甚至步入陷阱,我们必须走综合解释的道路。

当前地震数据综合解释技术正在快速地向发展,已经形成许多有效的解释技术流程,其效果十分显著。例如:

- (1)地震数据多属性综合分析解释方法,已经初步形成配套的技术系列;
- (2)地震、非地震、地质信息综合解释,用于理顺地质结构,合理划分区带;
- (3)地震、钻井、露头信息综合建模,应用于确定构造变形特征;

(4) 利用构造综合分析技术, 指出有利勘探目标;

(5) 地震采集、处理、解释的综合分析, 有利于进一步落实、评价有利的构造;

(6) 速度分析、速度建模和空校技术的综合分析, 可进一步落实圈闭要素;

(7) 地震、测井、计算机技术的综合应用, 实现三维数据的三维解释, 进行储层和油藏的初步描述;

(8) 钻井、测井、岩心、油藏工程、三维地震信息的综合分析与解释, 进行油气信息直接检测等。

6 结束语

以上笔者分四个部分简单地讨论了与“地层、岩性油气藏地震勘探方法与技术”密切相关的一些问题, 由于篇幅的限定, 无法对所有问题进行较详细的介绍, 但笔者认为, 文中所提到的这些问题都是十分重要的, 也是笔者对这一议题中某些技术的认识与体会。笔者所述问题的大多数均属于基础理论和基础技术的范围。

文章的第一部分给出了一个基本的思路, 其本质就是执行项目时将采用的战略与战术。战略决定成败, 只有战略正确, 细节才有意义, 执行才有价值。第二部分是强调要得到好的三维数据体, 这是基础, 数据体的好坏, 直接影响技术应用的效果。第三部分是针对性的专有技术, 是去执行任务时所使用的工具, 其优劣直接决定任务是否能完成, 以及完成的质量。第四部分是综合解释, 是最终出成果的环节。因此每一部分都是十分重要的, 我们不能偏重哪一部分, 而忽略其余部分。我们必须努力地去把每一部分工作做好, 做到完美无缺。即使每一部分均达到了 90% 的满意度, 那么按照概率统计最终的效果是: $90\% \times 90\% \times 90\% \times 90\% = 65.6\%$, 是一个刚刚及格的数, 这是我们不希望看到的结果。

我们知道, 技术发展是永不停滞的, 每时每刻都会有新的方法、思路、技术出现。因此必须在传统方法与技术扎实应用的基础上, 努力去接受新鲜的事物, 充实和提高自己的技术水平, 接受地层、岩性油气藏勘探难度大的挑战, 提高应用地震勘探技术进行地层、岩性油气藏勘查的能力。

参考文献

- [1] 夏建军等. 基于叠前的高密度三维观测系统设计. 东方地球物理公司 2007 年度地震采集技术交流会论文集, 河北涿州, 5~10
- [2] L Biondi 著, 曹孟起等译. 成像与假频. 物探科技通报, 2011, 2: 1~23
- [3] Norm Cooper et al. A world of reality-designing land 3D programs for signal noise and prestack migration, *The Leading Edge*, 2004, 23: 1007~1014
- [4] 李培明等. 联合应用初至和浅层反射的一维可形变层析静校正. 石油地球物理勘探, 2010, 45(5): 647~654
Li Pei-ming et al. 2D deformable-layer tomostatics with the joint use of first breaks and shallow reflections. *OGP*, 2010, 45(5): 647~654
- [5] 李鲲鹏等. 基于谱模拟技术的混合相位地震子波估计方法. 石油物探, 2001, 40(2): 21~28
Li Kunpeng et al. The mixed-phase wavelet estimate method based on spectral modeling. *GPP*, 2001, 40(2): 21~28
- [6] 彭才等. 混合相位动态子波估计. 石油物探, 2007, 46(4): 324~328
Peng Cai et al. Dynamic wavelet estimation based on the dynamic convolution model. *GPP*, 2007, 46(4): 324~328
- [7] 熊定钰等. 因式分解串联反褶积. 石油地球物理勘探, 2004, 39(2): 139~143
Xiong Ding-yu et al. Series deconvolution by resolution into factors. *OGP*, 2004, 39(2): 139~143, 157
- [8] 章河等. 多分辨率地震信号反褶积. 地球物理学报, 1999, 42(4): 529~535
Zhang He et al. Multiresolution seismic signal deconvolution. *Chinese J Geophys*, 1999, 42(4): 529~535
- [9] 姚姚等. 基于随机介质模型的拓频方法. 石油物探, 2009, 48(3): 213~220
Yao Yao et al. Spread spectrum method for improving seismic record resolution based on random medium. *GPP*, 2009, 48(3): 213~220
- [10] 熊翥著. 地震数据处理方法系统思维. 北京: 石油工业出版社, 1995
- [11] Vail P R. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. // *Sea Level Changes: An Integrated Approach*. SEPM Special Publication 42: 39~45
- [12] Frodeman R. Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GAS Bulletin*, 107(8): 960~968
- [13] 朱筱敏编著. 层序地层学. 山东东营: 石油大学出版社, 2003
- [14] 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路. 勘探家, 1996, 1(1): 43~47
- [15] 熊翥著. 21 世纪初中期油气地球物理技术展望. 北京: 石油工业出版社, 2006

(本文编辑: 朱汉东)