四维地震技术与油藏强化开采

严 建 文

（中国新星石油公司石油物探研究所）

摘 要

严建文. 四维地震技术与油藏强化开采. 石油地球物理勘探,1998,33(增刊1):112～121

四维地震技术是近年来发展起来的用于油藏强化开采(EOR)的一项技术,它通过求取不同时间三维地震测量之间的差异来对油田的采油过程进行监测,划分油田的死油区,指导加密钻井。本文根据国内外有关资料综述了四维地震的技术水平、开展四维地震的条件、四维地震资料分析及实际试验研究成果等,并提出了关于四维地震用于EOR的几点认识。

主题词 四维地震 油藏强化开采(EOR) 四维资料分析

四维地震技术的作用及发展水平

四维地震亦称时间延迟三维地震,它是将某一油田早期进行的三维地震测量与后来开展的相似测量进行细致对比研究,找出两次测量中地震响应的差别,从而了解地下储层中流体流动状况以及流体成分的变化情况。两次测量中所应用的数据采集方法和数据处理参数越相似,对比研究就越容易。因此,该技术主要应用于油藏开采以及强化开采过程的监测。理论上,四维地震工作应从油藏原封未动的情况下就开始初始基准测量,这样,油田开发后重复采集的地震资料中任何地震响应差异都可归因于采油过程中储层内流体的运移和流体成分的变化。

应用四维地震技术监测某油藏的生产历史,不仅可以确定油藏流体的现今位置和相对变化,而且还可以比较准确地预测未来流体的运动规律。对于即将投入开发的油田,先进行基础测量,可为后来进行再测量、优化油藏管理提供可能;对于成熟开发油田,四维地震可以帮助识别残余油和水动力阻挡,确定剩余油分布,尽量延迟油井见水时间及含水率的上升,从而有效地改进油田作业,指导加密井布置,充分提高油藏生产率和采收率。因此,该技术成为现代油藏管理中一项十分重要而有价值的工具。

目前世界上许多油公司都加大了对该技术的投入,取得了大量的试验和应用成果。

Pullin 等(1987)在加拿大 Athabace 砂质焦油油藏位置上采集了两次(注汽前后)三维地震数据。通过对比两次叠加测量数据之间的延时和振幅衰减图,定性地绘制出注汽带与未注汽带的范围,其观测结果与先前根据地震资料预测热效应的岩石物理实验室研究结果有很好的可比性。

Greaves 和 Fulp(1987)设计和分析了地下燃烧(火驱油层)EOR 过程的三维地震监控试验。他们采集了三次三维地震数据体:一次是燃烧前的数据体,另两次为燃烧期间的数据体。用

本文于1997年9月8日收到。

每次测量的数据体制作叠加剖面，绘制出旅行时和振幅差异图，并将火驱油层的数据体与火驱前基础测量结果作对比，精确地检测了燃烧带的体积以及波及效率，所得结果也由井下测量作了验证。

Grabens(1993)介绍了在挪威近海 Oseberg 油田所作的海上三维地震监控测量结果。该次测量的目的在于监控整个采油期间气顶的移动情况。他们将油气接触面的油藏流体流量模拟的预测结果与实际地震观测结果作了对比，在差异剖面上发现了一个弱地震振幅异常，该异常与流量模拟所预测的变化带有关系，并认为：最终地震差异剖面中存在的严重噪声导致观测结果不能令人信服，所以应重视由上一次测量至下一次测量时可能出现的相对和绝对位置测量误差。

Lumley 等(1994)在北海一水平井中对某储层进行溶解汽驱测试。他们分别于采油前(基础测量)、采油 56 天之后及采油 113 天之后采集了三次地震数据，对油气采收进行监控分析。研究内容包括：①综合了 Norsk Hydro 提出的油藏流量模拟结果(孔隙压力、温度和油、气及水的饱和度)；②综合应用了由岩心资料测得的有关岩石物性方面的油藏地质信息(孔隙率、干弹性常数和密度)；③利用 Gassmann 公式计算油藏中纵波和横波波速的空间分布，以及采油的流量模拟结果；④利用克希霍夫弹性模拟算法在采油期间模拟多炮检距地面地震监控测量结果；⑤利用叠前地震成像绘出作为油藏产油时间函数的地震响应差异图。他们在利用实际海洋地震测量记录几何参数以及噪声的基础上，成功地根据采油流量模拟期间的地震监控数据，检测和监控了油藏中动态汽推进和膨胀情况。

Anderson 等(1995)撰文公布了应用四维地震监测已部分枯竭的 Eugene Island Block 330/338 油田中流体及地层压力变化的研究结果。

由纽约哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观测所设计，并联合七家公司组成的财团共同开发了四维地震软件。该软件可帮助确定未打开油气藏的位置，并通过分析时移地震资料来监测储层中的流体状况：流体如何流动、在何处流动或被阻塞等，以此部署钻探，尽量采出通常遗留在地下的油气，提高单井产量。目前该软件已在北海和墨西哥湾的 15 个油田试用，并被用于全球近一半的实际四维勘探项目中，西方地球物理公司拥有该软件全球独立销售许可证。

开展四维地震的条件

理想的四维地震勘探要求后期三维地震测量与基础测量的条件应完全相同，尤其是检波器的响应特性、震源激发的地震波形等。

四维地震数据处理也强调每次的参数和流程完全相同，并用相同的真实振幅和宽频带处理技术，还必须注意要尽可能地减小油藏以外区域所出现的差异，然后再应用差异分析技术来评价、研究油藏本身发生的变化。

然而，在监测 EOR 过程中，由于有些油藏早已投入开发，在开发前没有进行三维基础测量，因此，要想快速采集和处理三维数据，就要充分利用“小”三维地震的特点，即小面积、小道距、小炸药量、小采样率。

为了分辨出地震属性的细微变化，解释人员应该充分利用先进的地学工作站、完善的地质统计学软件和三维可视化工具，还应将地震资料与其它油藏地质资料综合起来，以帮助由地球

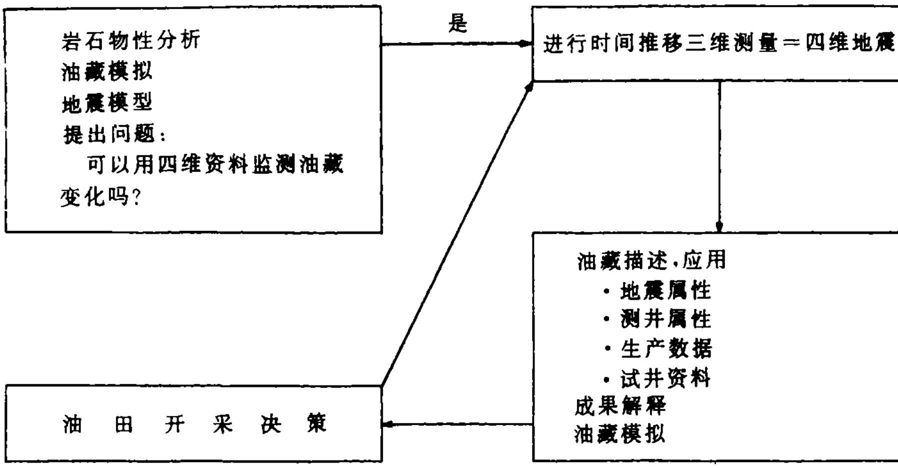


图1 多学科工作组应用四维地震资料监测油藏动态

物理学家、地质学家、岩石物理学家和油藏工程师组成的多学科工作组准确地建立并维护动态的油藏模型(见图1)。

四维工程的成功实现依赖于多种技术和机构的综合一体化。储层中流体状态(饱和度、压力、温度)的变化将改变储层的地震响应。由于这些引起地震响应变化的因素与其它因素相比时可能作用比较小，因此，高质量的数据采集和处理是非常必要的，而且采集参数和处理参数要慎重选择，才能提高对流体状态的指示作用。

如果采取单一措施，那么流体状态变化的地震响应会很含糊，在许多情况下，只要原始油藏描述已经完成，并且油藏模拟是可行的，那么这些流体的影响就可以分辨。因此，原始模拟模型是必要的，第二次及随后的地震资料可以根据流体的变化进行解释，整个过程可以作为一个连续的反馈循环进行(见图2)。

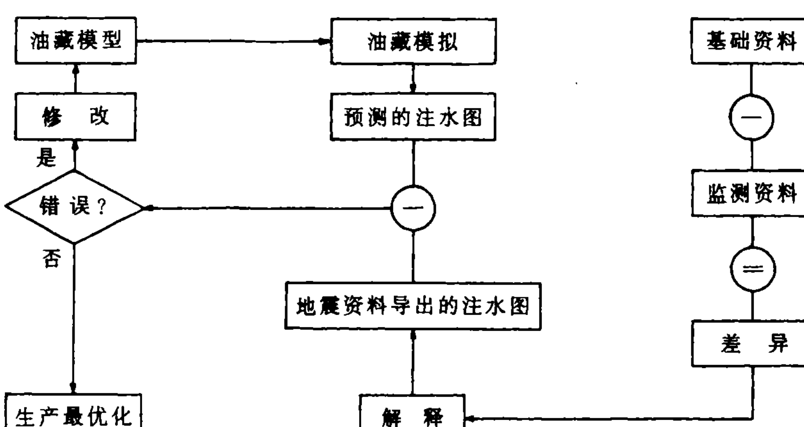


图2 具有反馈循环和综合一体化特征的四维油藏监测过程

四维技术是一种地震求差技术，对油藏监测作用的大小由其分辨率和信噪比决定，因此，资料的分辨率和检测极限是决定四维勘探成功与否的最重要的因素之一。为了探测出储层条件的变化，地震响应上相应变化必须大于资料的噪声水平。同样，为分辨储层条件的变化，储层

发生的相应变化必须超过资料分辨率的极限。

四维勘探的运作大致可分为三个阶段:可行性研究、前期研究和油田范围全面应用。

可行性研究

这是一种评价当前和将来资料的最佳方式。通过分析可得到有关生产过程中储层条件和储层特性的期望变化的信息。对这些由储层变化引起的地震响应变化进行估计,并与研究区当前可得到资料的噪声水平进行对比。对采集、处理和综合分析的设计和部署要和最初经济利益分析同时进行,并要收集大量相关资料以进一步论证所作的施工参数设计的可靠性。

可行性研究的设想内容有两个方面:①期望的储层条件,如驱替前缘的形状和进程、储集层分层、流体类型、开采机理、流体流动屏障——封闭断层和致密孔隙率、局部问题等;②模型和数据检查,如模拟期望的流体/压力/温度变化、计算期望的地震变化、检查要求的和得到的垂直分辨率与水平分辨率、估计观察到的噪声——随机噪声和系统噪声、估计地震资料的可重复性、检查特殊事项、估计经济利益、建议活动的有效参数和过程等。

前期研究

在油田中对具备良好潜力的局部地区,应用可行性研究过程中选定的方法,兼顾经济效益,可更好地调整工程变量。

油田范围全面应用

把在前期研究中采用的方法应用于从技术和经济两个角度考虑都极具成功前景的整个油田,并开展室内实验及油田现场试验,弄清热采等强化采油过程对油气层的影响及对地震波速度、振幅等参数的影响,从而建立起两者之间的对应关系,这也是用四维地震进行 EOR 的物理基础。

许多研究人员作了大量实验室研究,对储层受热后的波速、吸收特性等进行了分析,得到一些重要结论:

(1)完全重油饱和未固结砂岩对温度变化非常敏感,它比对压力变化要敏感得多。含重油未固结砂岩纵波速度随温度升高而降低的幅度与含油饱和度有关。含油饱和度越高,降低幅度越大。

(2)含沥青未固结砂岩中纵波速度随温度而变化的情况与含重油未固结砂岩类似。有关文献资料表明,含沥青比含重油砂岩纵波速度降低的幅度更大。

(3)含重油或含沥青的固结良好砂岩中,纵波速度也随温度升高而降低,这与未固结砂岩类似,但速度降低幅度较小,当温度在 20～120℃之间变化时,纵波速度降低约 10%～15%。

(4)地震波通过孔隙介质时能量的衰减与孔隙介质的性质及温度有关。当温度升高时,孔隙中含重油比含盐水时能量衰减要大得多。

总之,进行热驱采油时,因储层温度迅速提高,导致纵波速度急剧降低。此外,储层温度的升高又使储层中原油发生热解并产生气,使储层含气饱和度提高,从而引起孔隙压力升高;有时还会产生热裂隙等。这些都会使纵波速度进一步降低,且吸收作用明显增强。

受热储层速度明显降低,一方面使通过受热区地震波旅行时增加,另一方面使储层界面上波的反射系数和透射系数明显变化,从而引起反射波和透射波振幅的变化。特别是火驱情况下,高温不仅使孔隙流体性质发生变化,还使岩石骨架结构损坏。这些变化都被火烧后的地层取心资料所证实。所以地震波经过这部分地层时,其能量衰减无疑将进一步加大。

四维资料分析

由于四维勘探是一种地震求差技术，因此要确保地震资料满足以下几个标准，即随机噪声的期望水平、信号的可重复性、导航（定位）和测量精度以及分辨率和检测极限等。

用于储层监测的地震资料的质量取决于其分辨率和信噪比，而分辨率和信噪比又取决于资料采集和处理参数的选择，以及特定地质环境下的特定储层条件，其中，主要的影响因素包括储层深度、储层、上覆构造及地表的特性与复杂性。

地震重复性

在期望条件不变的情况下，对地震数据重复性进行控制试验的结果表明，最终处理的连续测量之间的地震振幅的相对均方根差异不超过5%，即相当于信号与非重复噪声之比(SNRNR)大于20。

按这种说法，信号就是地震数据中的重复成分，它可以包括一些系统成分在内，如多次反射波，从常规储层描述来看，它被看作是噪声。由于四维地震是求取连续测量之间信号的差值，因而解决可重复的噪声分量不成问题。所以，地震资料用于储层监测要比油藏描述更合适些。

流体成分变化检测

地震监测技术可适用于许多储层，但对任何特定的储层要进行岩石物理分析。图3和图4给出了水驱或汽驱采油时不同孔隙率砂岩和碳酸盐岩储层的声阻抗（体积密度和声波速度乘积）的百分比变化。图中比较了浅层(600m)和深层(3000m)储层的声阻抗变化。轻质油与具有高溶解汽/油比的重质油具有相似的声阻抗特性。Gassmann 方程可用来计算声阻抗。

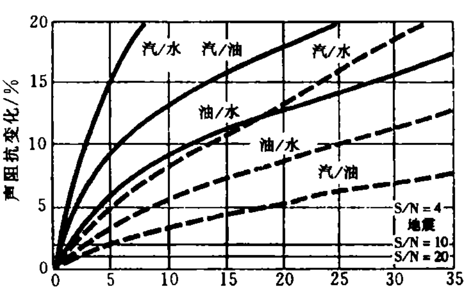


图3 浅层(600m，实线)和深层(3000m，虚线)砂岩储层的地震监测潜力

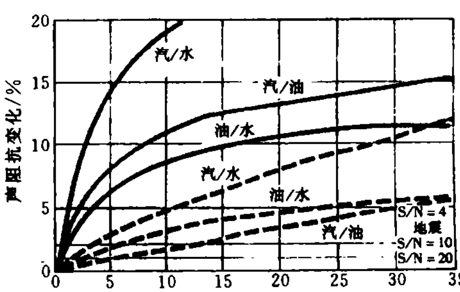


图4 浅层(600m，实线)和深层(3000m，虚线)碳酸盐岩储层的地震监测潜力

图3和图4还显示了具有不同信号/非重复噪声比数据的地震检测极限。这些检测极限显示为水平直线，它们是在储层区域假设0.1均方根反射系数的情况下得到的。浅层储层中流体变化导致的声阻抗变化大于地震检测极限，因此，浅层储层更适合于开展地震监测，而且浅层地震数据可望有较高的信噪比和分辨率。

许多情况下，对深部储层进行监测也是可能的。如SNRNR为10的地震数据，明显可用于孔隙率大于7%的砂岩储层的流体前缘监测。对于碳酸盐岩储层来说，汽/水和油/水前缘监测则要求孔隙率大于5%，而汽/油前缘监测则要求孔隙率大于12%。对重质油，该数值还要再大

些,若重质油具有大的溶解汽/油比,则可小些。

采油过程中所期望的变化仍然相当复杂。随着储层的开发,孔隙流体的压力、温度和成分都发生变化。每一种变化都会导致地震响应的改变。如某一界面上下地层的纵波速度、横波速度、密度、地震吸收等参数中的一个或几个发生变化时,均能形成该界面处的反射系数;而上述参数的变化可能是由于界面上下的岩石类型和(或)成分、孔隙率和(或)裂隙、流体类型和成分(Sw,GOR 等)、压力和(或)应力状态、温度等因素的变化而导致的;反射系数的变化则通常是由流体类型和成分(Sw,GOR 等)、压力和(或)应力状态、温度等的变化所造成的。因此,在分析地震资料时,如果不综合考虑所有的影响因素则会导致灾难性的后果。例如不考虑压力变化而认为整个异常是由于流体成分的变化引起的,就会导致不正确的饱和度估算结果。

目前,模拟模型包括了整个油田的压力和温度状态的估算。这些估算结果可被用来模拟它们对地震响应的影响并且有助于分离组成成分。对期望的储层限制条件不了解而去指导分析,就会影响四维地震勘探效果,因此,许多情况下,地震资料必须能灵敏地跟踪储层内的流体运移。

地震分辨率和检测性

决定四维地震勘探成功与否的最重要因素就是数据的分辨率和检测极限。分辨极限是指能明显区分两个细节的最小范围;检测极限是指产生可测量到的响应的特征或特性差异的最小尺度。

砂岩储层具有较低的速度,因此所显示的分辨率要比指示的更高。地震分辨率也取决于地震资料的信噪比。随着信噪比的提高,分辨率有所提高,但它最终会受到地震数据的最大频率的限制。

四维地震的目的通常不是去试图求出储层地层,而是检测储层地层内的差异。尽管不能单独地求得薄地层的顶和底,但可以检测出该薄地层的变化。而且这些变化可以归因于储层内含油气部分的变化。

这种解释可以依据对储层模型的了解来完成,通过联合应用由测井得到的详细数据和(或)现时的由地震资料建立起的模拟模型来达到解释目的。综合这些信息源,并且把地震差异数据空间信息与由测井和模拟模型所得到的垂向详细信息结合起来分析,便可以显著地提高分辨率。

四维地震技术的实际试验研究成果

监测汽驱

1985 年 4 月到 1987 年 11 月,加拿大 Amoco 公司及其合作者在加拿大的 Gregoire 湖蒸汽驱试验现场(简称 GLISP)进行了高分辨率三维地震测量,目的是试验用三维地震监视热驱过程。在进行热驱前的 1985 年 4 月,在整个 GLISP 地区进行了一次高分辨率三维地震基础测量;在 1987 年 1 月、4 月、11 月即注人蒸汽期间又进行了三次三维地震监视测量。

高分辨率小三维地震测量的面积为 169m×228m,观测面元为 4m×4m,炸药量 18g,井深 13m。检波器埋人地面以下 13m,用水泥固结,采样率 1ms。

GLISP 地区地层中有一层厚约 50m 的沥青砂岩,深约 235m,覆盖在泥盆系石灰岩上。试

验区的第一口井钻遇了一个含水砂层，厚约4m，位于不整合面之上，其地质剖面如图5所示。因此，初期的热蒸汽注入计划是根据含水砂层分布于整个试验区的假设制定的。1985年4月，三维地震的基础数据揭示出该含水砂层并非覆盖在整个试验区的不整合面上，而仅仅分布在穿过试验区的一条古河道上（图6）。根据这一发现，对蒸汽驱采油计划作了重大修改，从而避免了EOR可能的失败。

对蒸汽注入期间的三次地震测量，每次都作了细致处理，包括Q补偿、地表一致性反褶

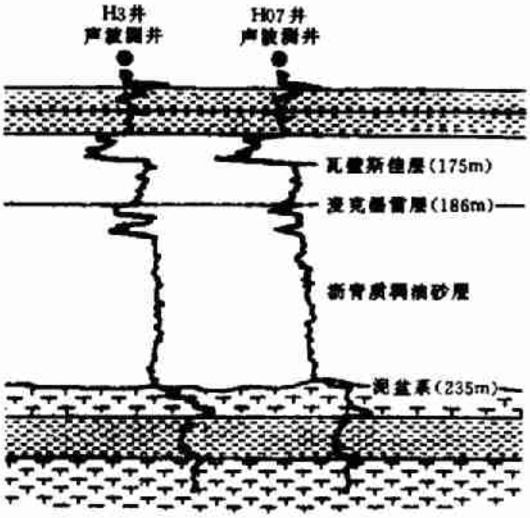


图5 稠油热采试验区地质剖面

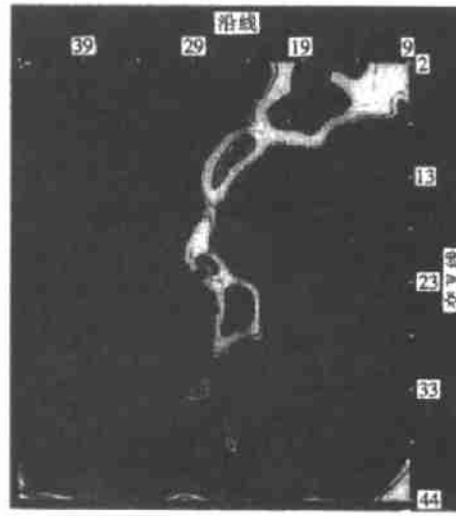


图6 加拿大Alberta省Gregoire湖现场蒸汽试验区基础三维地震测量的偏移时间切片(224ms)(表明一条河道切过该区底部储层)

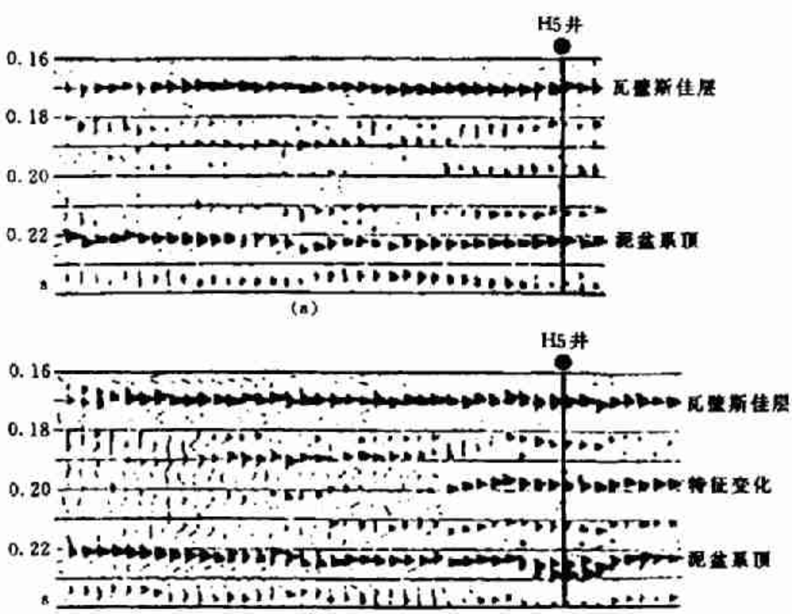


图7 注热蒸汽前(上)后(下)地震剖面的特征变化

积、宽带频率滤波、二步法叠后三维偏移等,分别获得了各次测量的三维速度数据体。

图 7 是监测前后地震剖面的对比。正如预测的那样,受热后反射振幅明显增强,泥盆系顶面反射出现“时间下拉”现象。

图 8 分别是第一次和第二次监测的合成声波测井与注汽前的合成声波测井的速度差剖面。差值越大,颜色越深,表明温度越高。第一次监测剖面表明,紧靠泥盆系顶面之上的部位注入的蒸汽已开始向上传递,局部已开始受热。在深度 200m 和 215m 两处显示出有两个渗透性好的层位。第二次监测表明,受热效果十分明显,热作用仍集中在上述两个主要产层,其横向连通性良好。两层之间相互连通现象表明,可能存在渗透性良好的垂直通道。

图 9 是第一次和第二次监测在深度 200m 处的速度差水平切片,反映了受热面积在逐步扩大。

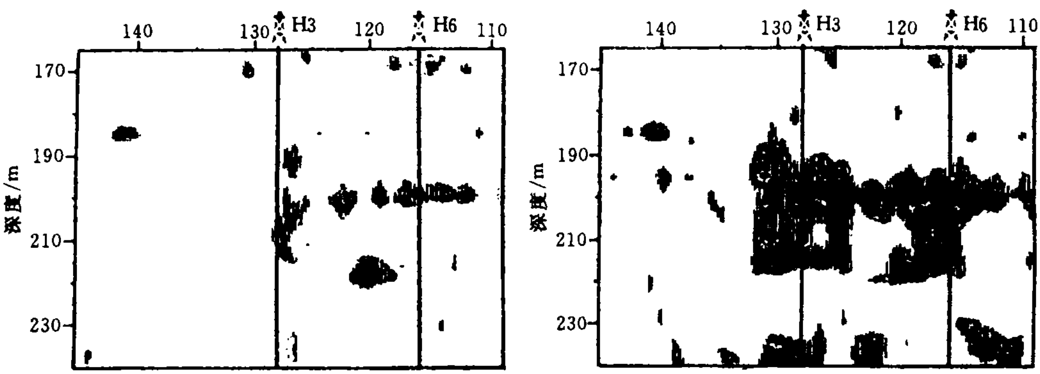


图 8　注热蒸汽前后合成声波测井速度差值剖面
(左)第一次监测;(右)第二次监测

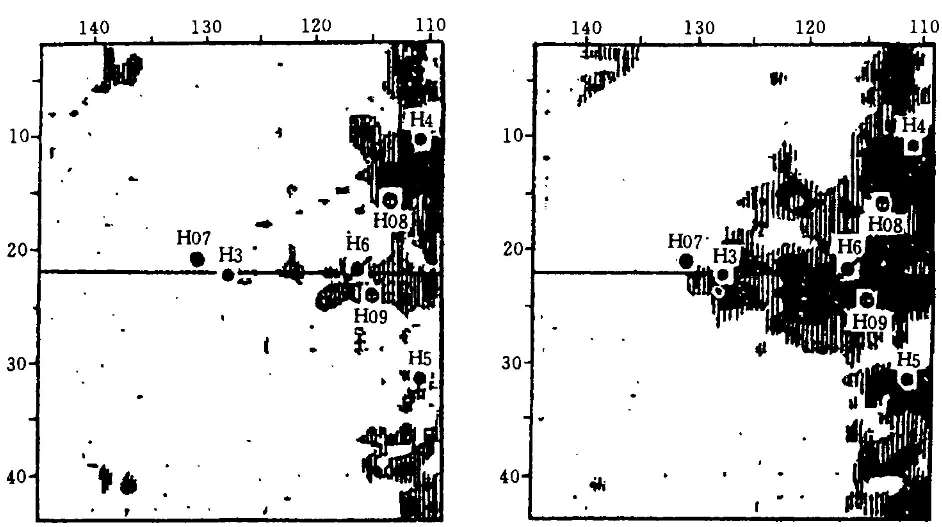
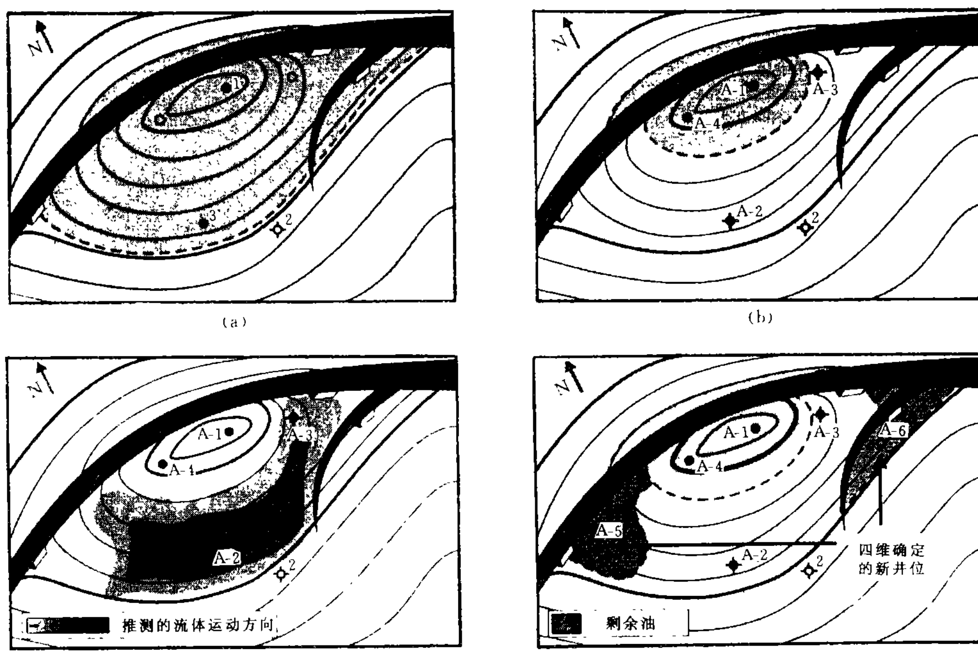


图 9　注热蒸汽前后合成声波测井速度差值水平切片(200m)
(左)第一次监测;(右)第二次监测

确定剩余油,指导加密钻井

图 10 说明了四维地震确定剩余油分布的作用。图中详细说明了利用四维地震来确定某一

油藏开采后的死油区位置，从而指导加密钻井，提高油藏的采收率。图10a为1994年的初始储量估算；图10b为经两年开采后于1996年的现储量估算，储层上已钻了A-1、A-2、A-3、A-4共4口井。图10c为1994年和1996年两次测量之间的地震振幅差异图，图中阴影由浅变深指示了推断的流体运移方向，图的左下角和右上角两块振幅无变化的区域为死油区。图10d中显示了根据四维地震资料确定的两口加密井A-5和A-6的位置。



(a) (b) (c) (d)

图10 四维地震用来确定加密井井位

四维地震应用于EOR的认识

EOR过程中储层物性会发生一系列变化，这些变化又引起地震响应的变化。有些变化很明显，足以用现代地震测量方法探测到，大量的室内实验研究和野外试验成果都证明了这一点，这也是四维地震用于EOR的理论和实践基础。

虽然如此，实验室的研究还不够深入。如所研究的高温不超过200℃，这远远低于火驱时地层所能达到的温度。在高达400℃以上高温下，岩石骨架、孔隙流体、孔隙压力会发生怎样的变化，如何相互影响，它们引起的地震响应如何变化，这些问题都有待研究。

EOR方法有许多，包括蒸汽驱和火驱、混相溶剂驱油、CO_2注入、常规注水、汽注入和汽储备等。就目前公开报道的资料看，效果比较明显的主要还是热驱，并主要用于含重油砂层、含沥青砂层，其适用性是否仅限于此尚需进一步探索。

由于测量仅仅利用了纵波，因此多解性不可避免，应广泛地使用三分量记录设备获取横波信息，提高成功率。

资料解释方法有待改进，例如热驱前缘如何确定，实际上并没有真正解决；烟道气和注入

汽体的扩散常常在火烧前缘前面,它们引起的地震响应异常与火烧区或热蒸汽到达区的地震响应几乎难以区别,类似问题都需要解释方法的改进和规范化。

地面监测,探测到的是 EOR 过程的平面变化,并可研究任意大面积,但分辨率低,对储层剖面上的情况无法作出详细描述;井间地震的分辨率则高得多,可以对储层剖面上的细节作出描述,但受井限制,难以对储层平面上的变化进行全面监测,因此,四维地震信息应结合井控资料反演并解释出精确的油气空间位置,得到流动体系、油源及运移的图像,识别出泄油模式和死油区位置。

展望四维地震技术的发展,需要深入研究如何根据以前取得的三维资料,有效地将其进行四维对比,甚至将来还可能将不同方式下获取的三维地震资料进行对比,但这需要做大量的工作以保证这种尝试的可靠性。将先前的三维地震资料作为油田今后对比研究的基础资料,可大大降低四维地震的成本。

专家们还在继续讨论三维测量的可重复性和面向目标技术问题,是尽可能努力保证每次测量的可重复性,还是每次测量尽可能针对具体目标得到高分辨率的、反映油藏变化的资料?如果与原有三维测量保持一致性的技术取得突破,则可望大幅度降低成本。

与井间地震相比,四维地震花费较低。要开展井间地震势必要影响油田生产,而且即使利用已报废或即将报废的井,单洗井一项费用就得几十万元。而四维地震则相对成本较低。我国早期发现、现已进入生产中后期的油田,一方面在周边地区开展勘探以提高储量,另一方面开展四维地震不失为一种提高采收率,保证稳产的方法,而且过去许多地区未进行三维地震,如今开展四维地震可进一步弄清精细构造,既达到三维勘探的效果,又可为油田强化开采提供依据。

随着三维地震勘探成本的不断降低(英国石油公司称 1992 年海上三维花费为 21000 美元每平方公里,而 1994 年降至 3500 美元),加上正在进行的四维项目表明,四维地震技术完全可以降低油田开发成本。因此,根据四维地震的应用情况和其将带来的效益来看,其发展前景十分广阔。

参 考 文 献

1 刘雯林. 油气田开发地震技术,石油工业出版社,1996

2 King G. 4-D seismic improves reservoir management decisions, Part 1. *World Oil*,1996,(3)

3 King G. 4-D seismic improves reservoir management decisions, Part 2. *World Oil*,1996,(4)

4 PGS 公司 . With TL3D you can see how your reservoir is changing. *The Leading Edge*,1996,15(10):1091

5 Greaves R J et al. Three-dimensional seismic monitoring of an enhanced oil recovery process. *Geophysics*, 1987, 52(9)

6 Johnston D H. Recent advance in exploration geophysics. *The Leading Edge*,1989,(9)

7 朱广生编译. 地震方法在监测增产措施中的应用综述. 国外油气勘探,1991,3(2):26~39

地质研究院从事解释系统的应用工作。

严建文 工程师,1966年生,1989年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理专业。曾发表过多篇译文。现在中国新星石油公司物探研究所工作。

李国发 工程师,1966年生,1987年毕业于长春地质学院应用地球物理系。曾从事提高地震资料信噪比与分辨率的研究。现在大港油田集团物探公司计算中心从事地震资料处理新技术开发与研究工作。

陆文凯 讲师,1969年生,1991年毕业于清华大学自动化系,1996年毕业于石油大学(北京)应用地球物理专业,获博士学位。现在清华大学自动化系从事人工智能、神经网络、图像处理在地震资料和测井资料处理中的应用研究工作。

徐常练 高级工程师,1956年生,1984年获石油大学(北京)应用地球物理硕士学位。一直在石油地球物理勘探局研究院从事智能化速度谱、三维多参量速度谱的研制及中值处理方法的推广工作。现在中国地质大学(北京)攻读博士学位。

杨建礼 工程师,1965年生,1988年毕业于江汉石油学院物探专业。曾获局科技进步一等奖,发表过多篇论文。现在中原石油勘探局研究院从事油藏描述、储层预测研究工作。

孔　炜 工程师,1968年生,1989年毕业于青岛海洋大学物探专业,1997年获西南石油学院物探专业硕士学位。现在吉林石油集团公司勘探开发研究院从事地震资料处理与解释工作。

安四喜 高级工程师,1960年生,1982年毕业于河北地质学院物探专业。曾从事大地电磁测深资料的采集、处理工作。现在石油地球物理勘探局第五地质调查处从事电法生产技术的管理工作。

徐维秀 工程师,1966年生,1989年毕业于重庆大学应用数学专业。一直从事物探方法研究及应用软件的开发。现在胜利石油管理局物探公司从事国家863项目“油气勘探开发综合分析评估系统”的研制工作。

李红桃 工程师,1962年生,1986年毕业于长春地质学院物探专业。现在地质矿产部第四物探大队综合研究院从事SUN工作站系统的维护及地震资料人机联作解释工作。

岳永霞 工程师,1962年生,1981年毕业于石油物探学校计算机专业。曾获部级优秀成果三等奖。现在石油地球物理勘探局勘探处从事石油地震勘探数据库管理工作。