

文章编号: 1671-8585(2006)05-0341-05

井间地震资料解释技术应用

唐金良, 曹 辉, 王立华, 吴永栓

(中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院南京石油物探研究所, 江苏南京 210014)

摘要:与常规地震方法相比,井间地震提高了地震资料的垂直与水平分辨率。根据井间地震的特点总结了井间地震资料解释的方法特点,介绍了井间地震资料解释在油气田勘探开发中的应用和发展。实际资料解释表明,利用井间地震资料发现了常规地震所不能发现和确定的小构造,精确描述了常规地震无法分辨的储层及其横向变化特点,并且描述了单砂体的空间分布。结果表明,井间地震资料实现了对地层、构造及储层等地质目标的精细描述。

关键词:井间地震;地震解释;微构造;沉积微相

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

与用常规的物探技术手段解释油气勘探开发中存在的问题相比,井间地震技术有很多优点。地面地震方法仅能记录到地震波场中的上行波部分,而且 2 次通过地震低速带,高频成分被严重吸收,不能满足油藏开发中精细构造解释、储层描述及动态追踪的需求;VSP 技术接收到的记录虽然只穿过低速层一次,分辨率比地面地震方法有所提高,但其记录的高频成分依然有较大程度的衰减;测井资料或其他井中资料(如岩心等)有着很高的分辨率,并能精细地划分地层,但仅限于井筒及其附近范围,空间广度太小。相对而言,井间地震技术具有能量传播距离短、接近探测目标、避开低速带、数据频率高、信噪比高、分辨率高和保真度高的优势,更利于实现透射、反射成像,因此,井间地震测量能够取得近 10 倍于地面地震分辨率的资料,且在空间范围有一定的广度,可以获得高度可靠的储层分布和构造形态,能进行精细储层/油藏的构造与沉积特征描述,研究储层/油藏的横向变化及连通性,寻找漏失油层等等。这是常规地面地震甚至 VSP 都很难实现的。应用实例表明,井间地震技术已经将接近测井记录分辨率的地震图像拓展到了井间^[1,2]。

1 井间地震解释技术应用的发展

高分辨率井间地震解释方法,大都是针对油田开发阶段中遇到的一些难点问题而开展的。借助于井间地震资料及其相关成果,对原来利用钻井资料建立的 2 井间地质模式进行深入认识。在此基础上利用井-地联合反演技术,建立更加精细的三维非均质地质模型,指导油田后续滚动勘探开发和

剩余油挖潜;同时也可求证开发中引起注采井组对应层位采收率变化的原因,究竟是由于井间存在小断层、薄储层尖灭以及储层非均质强引起的,还是层系划分不细、井网不完善等其他原因造成的^[3]。

1972 年,Bois 等发表了有关井间地震技术在油田中的第一次试验报道^[4]。20 世纪 80 年代初美国石油界率先将层析成像技术移植到油气勘探开发方面,并提出了“井间地震”的基本原理和方法。Greve^[5]曾预言:井间地震的应用将呈现爆炸式增长,它将成为油藏特征研究中的常规技术。

1987 年,加拿大 Norcen 公司的油藏工程师们为了搞清楚 2 口相距仅 51 m 的井中火烧前沿明显受阻现象,进行了井间地震观测。通过研究发现,2 井之间存在明显的横向速度变化,在其中一口井附近井段处存在一个高速异常体,推断解释为透渗性差的胶结砂岩,就是它阻止了井中火烧前沿继续向另一口井的移动。1992 年,Amoco, Conoco, Schlumberger 等公司与斯坦福大学联合开展研究 CO₂ 气驱后北 Cowden 油田 Grayburg 区块油藏特性的变化,他们综合应用了井间地震的层析成像、反射成像、槽波等资料,并结合井中应力分析、横波分裂、地面三维和测井资料,成功地描述了该区储层的非均匀性及流体流动的各向异性特征^[6]。1993 年,UNOCAL/JNOC 在得克萨斯州西南部的 Andrews 油田进行了大井间距的井间地震试验,对目的层段进行了观测,研究井间储层的连通性,

收稿日期:2006-05-10。

第一作者简介:唐金良(1973—),男,硕士,1998 年毕业于中国地质大学(武汉)油藏工程专业,现主要从事地震资料解释及方法技术研究工作。

基金项目:中国石化股份有限公司重大科研项目(P02046)资助。

并判断井间存在适合射孔的高孔隙层段位置。1995年,斯坦福大学的 Harris 等人通过对西得克萨斯州 McElroy 油田一对井间地震资料的一系列处理,最终获得的反射图像分辨率接近于测井曲线的分辨率,并在 1 000 m 以下发现了一个地面地震、VSP 与测井均未检测到的平均厚度仅 3 m 左右的岩性尖灭,充分显示了井间地震技术在储层精细描述方面的独特作用^[7]。

井间地震技术在国内起步较晚,直到 21 世纪初,胜利油田、江汉油田等单位才与国外公司合作采集了井间地震资料,主要进行构造解释及岩性解释工作,取得了一定的效果。

到目前为止,井间地震技术已经成功地应用于油气开发与生产的各个方面:①利用高精度的井间地震成像资料更加精细地描述了储层/油藏构造与沉积特征、储层/油藏的横向变化及连通性;②进行油气检测与裂缝检测;③高精度监测驱油后的油气分布、寻找漏失油层,指导油气开发动态管理,提高采收率等等。井间地震成像资料的应用优势为地震资料解决油藏工程问题提供了有力的手段。

2 井间地震资料解释方法

井间地震分辨率高,可描述的地质体细节更多,可识别的地质体尺度更小。同时,井间地震成

果资料丰富,可利用的信息也很多,解释的精度及可靠性更高。要利用这些丰富的波场信息对油藏特征进行细致描述,应充分利用井间地震的特点,并通过不同井间地震成像结果所能反映地质现象的侧重点对地质目标体进行综合解释。

2.1 地震波组特征对比

井间地震、地面地震以及 VSP 资料均为地下介质的波场信息响应载体,反映的是地下介质的地质特点,因而,地面地震及 VSP 成像资料解释的方法技术在井间地震中依然适用。井间地震反射成像剖面相当于地面地震的偏移叠加剖面,其成像同相轴是地下波阻抗界面的反映,通过地震波组的反射强弱、连续性以及形态变化特征对比的方法可以进行构造及地层解释等。因井间地震是高频信号,分辨率较高,同时又是深度域资料,其在构造及地层的解释方面更加精细准确,可达到微构造及单砂体层位级别。

根据以往开采成果来看,由于相邻井点间的微构造不是十分清楚,造成大量剩余油无法开采或影响到多次开采中驱油方案的实施。如 SL 油田 KX 地区 K71-n20 井与 K71-J41 井之间,2 口井的测井资料具有很好的对应关系,但在井间地震成像剖面中,1 300 m 以下发现一高度约 8 m 左右的微幅背斜构造(图 1),而该微幅背斜在地面地震中不可能被发现,其形成原因可能为沉积过程中的差异压

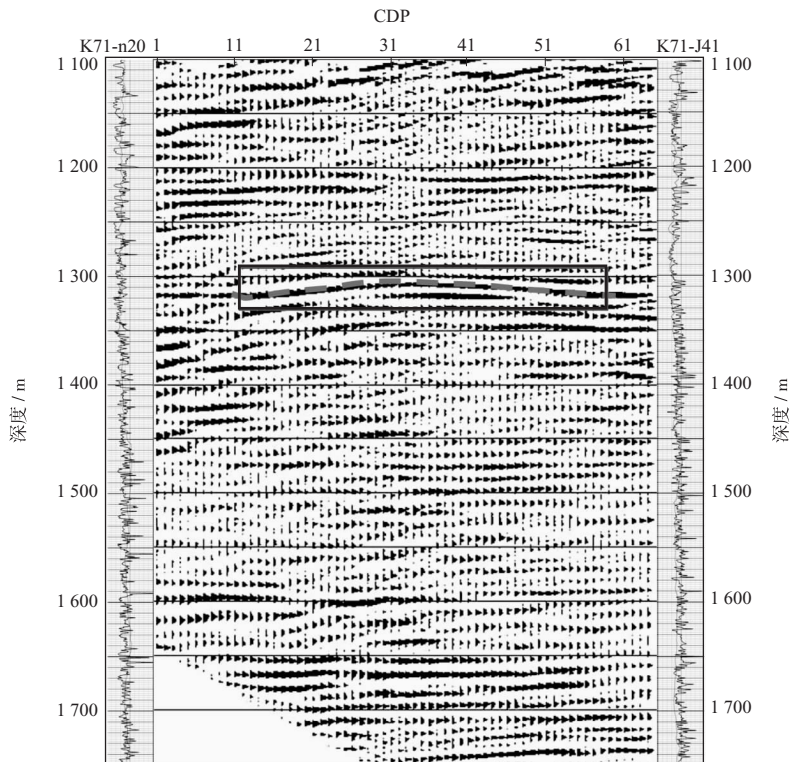


图 1 K71-n20 井至 K71-J41 井反射成像所展现的微幅构造(方框范围内)

实所致。无论其成因如何,这正是油田开发阶段所努力要寻找的微构造,它的存在可能造成了剩余油在该部位的富集。

精细油藏描述在尺度上要求达到单砂体的识别,这样可以解决开发中的诸多问题,如储层的连通性、射孔部位的选择等等。SL油田KX断块在注水开发阶段存在的主要问题在于纵向上小的油砂体很多,非均质性严重,砂体描述不够清楚,因而控制含水的难度很大。由K71-108井和K71-

J41井测井曲线的可对比性来看,在相距仅193m的井间砂体变化不大。利用井间反射及层析成像结果,通过反射特征对比法建立起井间单砂体分布剖面(图2),在河流相及三角洲相的沉积环境下,砂泥岩呈薄互层沉积且变化快,单砂体厚度大多在7~8m以下,井段内部分砂体连通性较好,大多数砂体在垂向上呈多期的叠置沉积,单砂体的描述解决了砂体连通性的问题,并有利于开发中的注水控制实施。

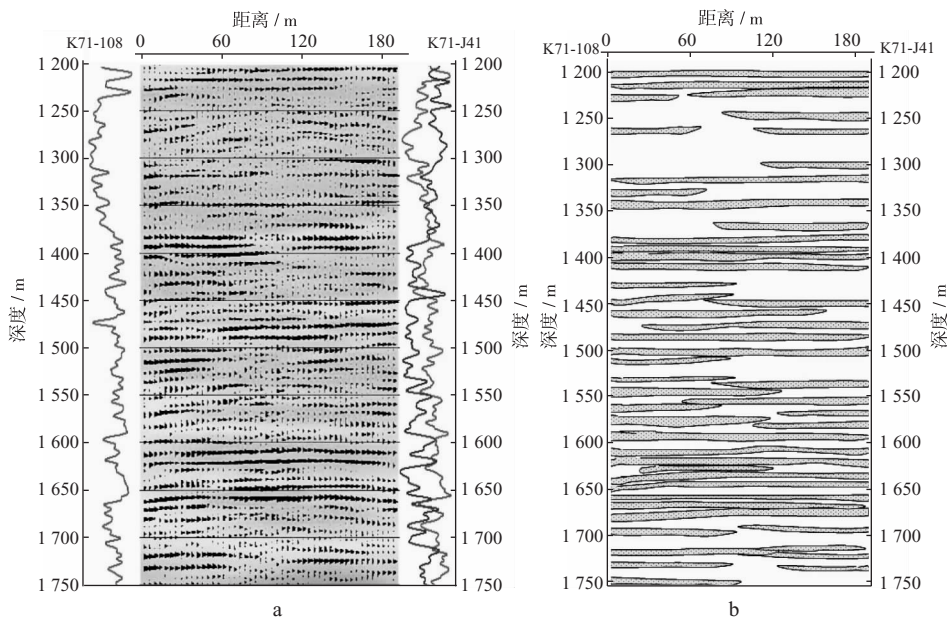


图2 K71-108井至K71-J41井反射及层析成像结果(a)及小砂体沉积剖面(b)

2.2 多尺度多资料综合解释

相对于地面地震及VSP资料来说,高分辨率井间地震成像结果接近于测井资料的分辨率。井间地震解释过程更便于结合测井资料对岩性、沉积、流体等储层解释结果进行约束,更便于结合测井资料的地质解释方法进行井间地质的解释工作,从而更易于把关于测井资料精确解释的结果从单井拓展到井间,实现高分辨率地震资料解释点到面的突破;井间地震资料的高分辨率更有利于地面地震资料的标定及半定量/定量解释,进一步实现高分辨率地震资料解释面到体的突破。

利用测井资料、层析成像及反射成像等多种结果的可对比性,综合不同尺度分辨率资料的解释结果能更准确、更精细地刻划储层特征。其中井间全波层析成像是通过原始地震波场特征来重建地下介质的速度或品质因子等参数,得到的是高分辨率的地下介质速度场,高分辨率层析速度很好地诠释了岩性的变化特点。可以用其来确定井间地质异常体及岩性的分布情况、局部地层的不均匀性等,

并用来指导反射成像的地质解释。LJ地区151区块L151-1井与L151-11井井间地层,如果单纯根据测井对比结果,认为在2770m附近的砂体为同一套沉积地层,但由全波层析成像速度分布特点可以看出,2组砂体在横向上并不连通(图3),不属于同一套沉积层序,其具体细节的变化可由测井及井间地震反射成像来描述。

由于测井资料具有高分辨率的特点,在沉积方面的研究能达到微相级别,同时井间地震剖面上同相轴的单个相位也可反映沉积微相。根据测井资料与井间反射成像剖面的可对比性^[8],比较测井资料与井间地震反射成像资料发现,测井相与地震波反射特征有一定的相关性,如河口坝沉积的底弱顶强反射、前缘席状砂沉积的对称指状反射特征等(图4a)。由于分辨率的大幅度提高,使得原先由地面地震面对的薄互层问题转化为厚层问题,据此可以把测井微相拓展到地震微相上。结合走时层析成像岩性分布的解释结果,L151-11井2750m~2880m处,测井相分析属于2个多期的

扇端河口坝微相沉积序列,与井间地震下弱上强的反射同相轴特点相对应,并且有地层上超现象,向 L151-1 井方向尖灭,过渡为扇端前缘砂沉积(图 4b)。与三维地面地震剖面对比,很显然井间地震

资料分辨率高,对精细地质体反映更加可靠,更加清晰。从井间反射剖面上可以清楚地描绘出 2 期河口坝砂体前积现象,这在常规的地面三维地震剖面上是无法做到的。

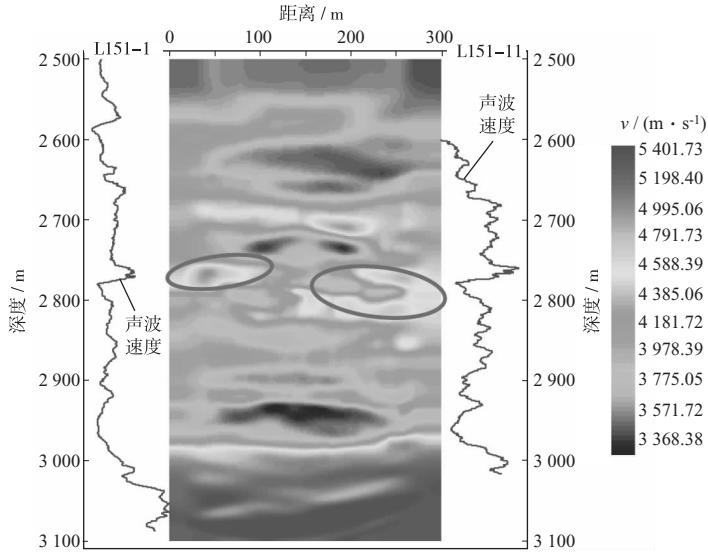


图 3 L151-1~L151-11 全波层析反演描述储层横向连通性

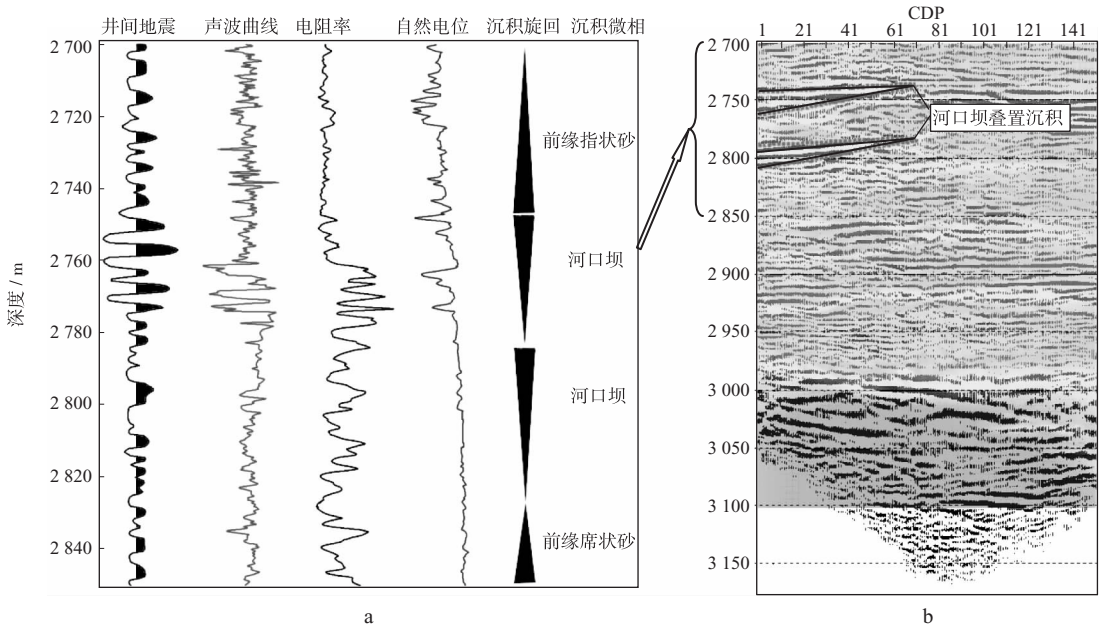


图 4 利用测井资料与井间地震道可对比性(a)对反射成像和走时层析成像剖面进行沉积微相特征识别(b)

2.3 井间地震属性分析

对于深度域表示的井间地震资料,在考虑井间地震资料特殊性的基础上,地面地震的属性处理方法也可以应用在井间地震之中。按照邢正岩等^[8]的研究,可以在深度域直接进行地震三瞬属性(瞬时振幅、瞬时频率、瞬时相位)计算。实际资料应用表明,由于井间地震具有精度较高的层析速度成像结果,通过深-时和时-深转换得到的属性数据与直

接在深度域计算结果相差不大,且免去了计算过程中的近似假设,还可以仿照地面地震得到更多的地震属性数据,因此可以通过深-时和时-深互相转换实现井间地震的多属性计算。

通过 2 次时深转换过程计算 SL 油田 LJ 地区 L151-1 至 L151-11 井间地震属性剖面,得到的瞬时相位(图 5a)、波阻抗(图 5b)属性在砂泥岩沉积段具有明显的分层现象,与测井资料的对应性很

好,而且比地震剖面(图 4b)反映得更加清晰。底部(2 900 m 附近以下)瞬时相位连续性较好,与泥岩沉积相对应,在 2 900 m 下的高波阻抗值是致密油页岩的沉积特征;顶部瞬时相位连续性较差,属

典型的三角洲前缘河流砂体沉积,波阻抗剖面上也清楚地刻划了单个砂体的沉积状况,证明井间地震属性计算的正确性及其在井间地震资料解释中的重要作用。

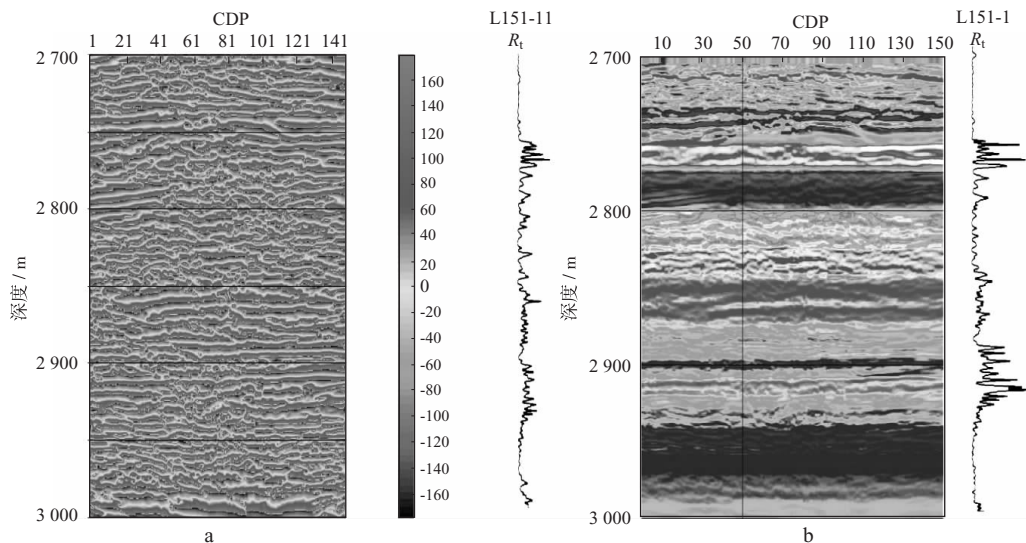


图 5 L151-1 至 L151-11 井间瞬时相位(a)及波阻抗反演结果(b)

3 结论

作为地震技术的一项主要内容,井间地震资料解释与地面地震、VSP 资料解释具有较大的相似性,即从构造到储层乃至到含油气性预测等。但井间地震提高了地震方法的垂直与水平分辨率,因而井间地震解释又有地面地震、VSP 资料解释所无法比拟的优点,井间地震便于利用测井资料的地质解释方法进行井间地质解释工作,从而更易于实现地震资料的高分辨率解释。

虽然目前井间地震资料还没有一套较全面的解释系统,基本仍处于模仿常规地面地震解释阶段,但根据井间地震资料的特点所建立的井间地震解释方法如波组特征对比法、多尺度多资料综合解释及地震属性分析等,很好地解决了地层、构造、储层等地质目标体的精细描述,有力地指导了油气田开发方案措施的实施。

感谢郭全仕高级工程师、陈国金高级工程师提供最终成果!

参 考 文 献

- 曹辉. 井间地震技术发展现状[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(6): 6~10
- 曹辉. 井中地球物理技术综述[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(4): 235~240
- 刘磊. 井间地震技术在胜利油田开发阶段中的应用[J]. 石油物探, 2005, 44(6): 601~604
- Bois P, La Porte M, Lavergne M, et al. Well-To-Well seismic measurements[J]. Geophysics, 1972, 37(3): 471~480
- Greve G M. Geoscience in reservoir development-a sleeping giant[J]. The Leading Edge, 1992, 11(6): 34~36
- 刘合编. 国外井间地震技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 101
- Harris J M, Nolen-Hoeksema R C, Langan R T, et al. High-resolution crosswell imaging of a west Texas carbonate reservoir: Part 1 - Project summary and interpretation[J]. Geophysics, 1995, 60(3): 667~681
- 陈世军, 周建宇, 王延光等. 井间地震技术在樊 124 井区的应用[J]. 石油物探, 2003, 42(3): 369~373
- 邢正岩, 刘磊, 王永刚等. 井间地震资料属性分析与储层参数转换[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(2): 127~132