

文章编号:1671-8585(2006)04-0258-06

地震与地质相结合确定断层断距的方法

许胜利^{1,3},黄德志²,费永涛³,林正良³,丁诚开³,李淑敏³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 河南石油勘探局地质调查处, 河南南阳 473132; 3. 中国石油化工股份有限公司河南油田分公司石油勘探开发研究院, 河南南阳 473132)

摘要:在油田开发中钻遇断层时,地质上存在将测井分层对比中缺失地层厚度与铅直地层断距混淆的现象。从断层断距的国内流行定义入手,根据油田开发实际,指出了该定义应用于生产中存在的不足。从油田开发中地震和地质获得断层断距的方法入手,指出了测井分层对比确定断层断距时存在人为因素的影响。提出了以断层总滑距的 X,Y,Z 分量来刻画断距的思路。针对走滑量可忽略的断层,指出了利用品质好的深度域三维地震数据体来获得断层倾角和铅直断距,应用地震和地质相结合的方法消除测井地质分层对比中人为因素造成的断层假象,解决制作精细的连井剖面等方面存在的问题,在生产中验证了该方法的可行性和可靠性。

关键词: 断层;断距;地质分层对比;地震;地质

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

断层在油田开发中起着重要作用,确定断层产状是油田开发工作中一项重要内容。长期以来,依据钻井地层对比来确定断层断距(铅直地层断距)的方法一直为人们所沿用,但该方法的不足之处一直被人们所忽视。

1 应用中“断距”的国内流行定义

1.1 断距定义

断距是指被错断岩层在两盘上的对应层之间的距离。断距分为:①地层断距,是断层两盘上对应层之间的垂直距离;②铅直地层断距,是断层两盘上对应层之间的距离;③水平地层断距,是断层两盘上对应层之间的水平距离(图 1a)^[1,2]。

谈论断距就不能不提到滑距,滑距是指断层两盘实际的位移距离,是错动前的一点,经错动后分成两个对应点之间的实际距离。两个对应点之间的真正距离称为总滑距^[1,2]。

1.2 水平地层断距定义存在的不足

从图 1b 中可以看出,当断层两盘地层产状近于水平时,虽然断层垂直断距很小,但水平地层断距近于无穷大,这对刻画断层毫无意义。因此,水平地层断距较准确的定义是总滑距在垂直于断层面的平面上的水平分量。

1.3 铅直地层断距定义存在的不足

从图 2b 中可以看出,当断层两盘的地层面倾角不一致时,应用铅直地层断距,则不同的参照点得出的铅直地层断距不同,且铅直地层断距可从 0 开始,显然常用的铅直地层断距在此不适合用于刻

画断层的滑移量。

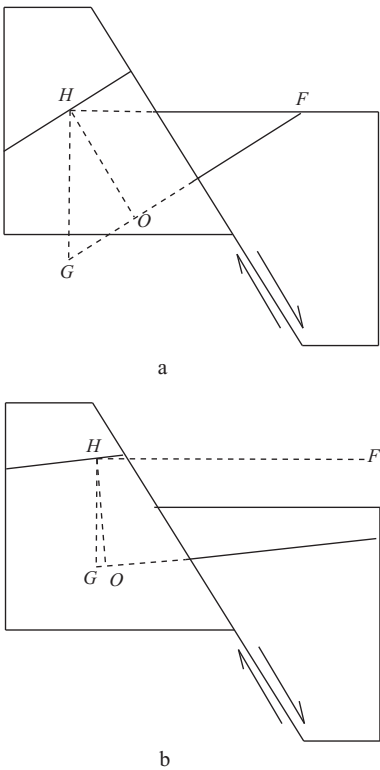


图 1 国内断层断距的流行定义
a 中铅直地层断距为 HG, 水平地层断距为 HF, 地层断距为 HO; b 中当断层总滑距相同时, 近于水平地层的水平地层断距近于无穷大

收稿日期:2005-11-20;改回日期:2006-06-25。
第一作者简介:许胜利(1972—),男,1995年毕业于石油大学综合勘探专业,现中国地质大学(北京)硕士在读,主要从事地质和油藏开发工作。

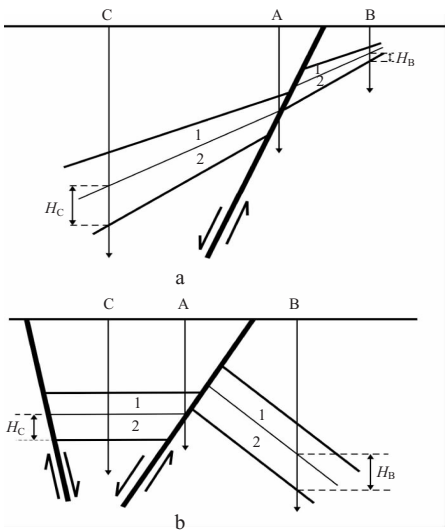


图 2 不同位置的对比井得到不同的断距

2 油田开发中断距解释存在的问题

2.1 地质上确定断层断距易出现的失误

在油田开发中,地质上应用邻井测井曲线相似法进行分层对比。当钻遇断层时,一般用没有钻遇断层或没有钻遇此断层的具有地层连续的邻近井,来确定断层的断失层位及断失地层厚度。一般情况下,地质人员把断失的地层厚度(相对参照井)叫做断层的断距(铅直地层断距,以后不特别指出,所说的断距均指铅直地层断距)。将缺失的地层厚度作为断距,只有当断层两盘地层产状相同且厚度在横向上无变化时,才成立(所谓的地层断距应该在同一点上不以参照井分布位置的不同而发生变化)。因此,上述方法随参照对比井位分布的不同,得出的断层的断距也不同(同一观测点和同一方向剖面中,断层的断距只能是唯一的),造成不同人对对比解释的断层断距各不相同,这就是根据沿断层走向钻井确定断层断距时,断距大小出现无规律变化的原因之一(图 2)。特别是,当地层向一个方向快速减薄时(图 2a),在断层两侧分别取参照井得出的断层断距会有较大的差别。其中,图 2a 易出现在箕状断陷盆地内,盆地一侧发育大型正断层,向上倾方向沉积厚度变薄、层位减少;图 2b 易发生在断层发育的地区,特点是受多条断层影响,断层两侧的断层产状发生较大变化时。

因此,当断层两盘地层产状相同、地层横向上厚度无变化的条件不能满足时,则不能用对比地层缺失的厚度来刻画断层的断距,也不能用垂直地层断距来刻画断层的规模。

对于图 2a 中的情况,如果楔型地层缺失时,仍

用地层断距刻画断层,则要对地层缺失厚度进行校正。地层断距的近似求取方法(以增厚方向 A 井作参照井为例):令 A 井钻遇 1 号层的厚度为 H_0 ,无断层情况下 B 井钻遇 1 号层的厚度为 H_1 ,1 号层底面的地层倾角为 θ ,垂直地层走向 A,B 井间的距离为 L ,1 号层顶在 A,B 井的高差为 ΔH ,则

$$H_1 = \Delta H + H_0 - L \tan \theta$$

即为校正后的铅直地层断距。同理,以减薄方向上 C 井为参照井时

$$H_1 = H_0 + L \tan \theta - \Delta H$$

2.2 断层断距解释和应用上的不统一

从 2.1 节的论述可知,在油田开发中,地质上断层断距是以对比井为参照来确定所缺失的地层厚度的,在应用(常用的是制作连井剖面 and 地质构造图)此断层“断距”(相对于某一井缺失的地层厚度)时,把它当作层断点间滑距的垂直分量。如图 3a 中,把 DE 用作滑距 MG 的铅直分量 FG ,人为地加大了断层的滑移量 MG ;同理,若用 C 井作参照井,则人为的减小了断层的滑移量 MG 。其结果是人为地使断层两侧地层的相对深度位置、倾角等发生了变化,有时变化非常剧烈,甚至会出现错误的地质认识(如图 3a 中以 DE 作断距,就会使 C 井区的地层倾向发生反向)。

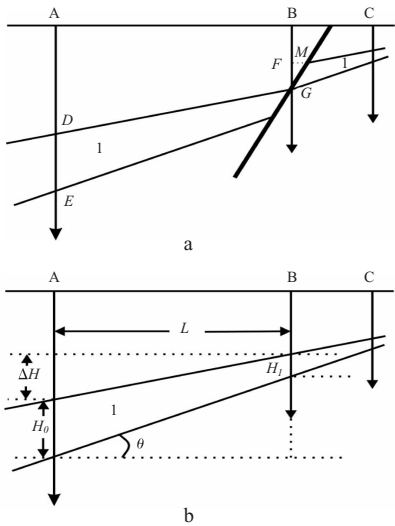


图 3 楔型地层断距的求取

2.3 测井地质层位对比时人为造成断层的假象

当地层或砂层沿一个方向发生尖灭时,在尖灭区内外的井(如图 4a 左半部中的 A 井和 B 井)进行测井分层对比时,就会有层位缺失的情况出现,如果对此砂层在该区的空间展布形态不了解,就会认为这是由于 B 井钻遇断层造成的(图 4a 右半部)。这就是有时测井地质分层对比时认为有断层,而在地震剖面上没有断层显示的一个原因。

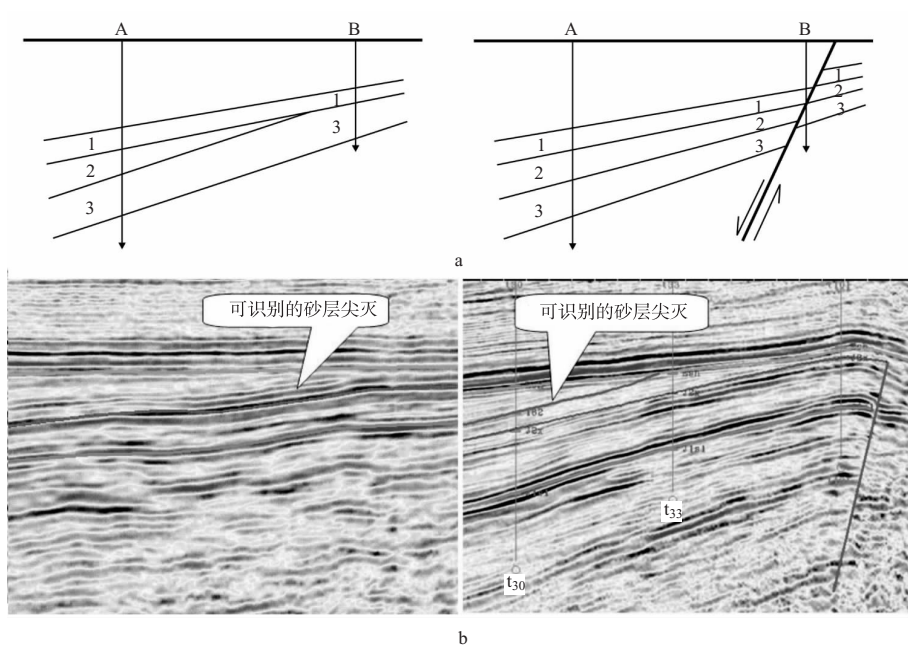


图 4 测井地质分层对比时断层的假象(a)和对应的地震识别(b)

此现象易发生在地层尖灭区钻井较少的情
况下,虽然有时有多个井位于地层的尖灭区
内,但也可能把几个钻井点连接起来作为断
层的走向。较为典型的是在河南油田的双
河油区,开发早期根据测井地质分层对比,
确定了较多的断层,但随着开发的深入和钻
井资料的增多,断层数目逐渐减少,究其原
因是因为多个砂体尖灭被误划为断层的结果
。近年来,随着地震资料分辨率的提高和

储层反演^[3,4]及地震反演在储层预测^[4,5]中
运用的迅猛发展,对一些砂体、层位的尖灭
能够做到钻前预测,较多地避免了人为因
素造成断层假象的发生(图 4)。

2.4 张性区域地震和地质上逆断层的假象

河南油田泌阳凹陷为拉张型盆地,盆地内
广泛发育正断层,形成众多的断块区。在
地震剖面上经常会遇到众多正断层间夹所
谓逆断层的现象(图 5),

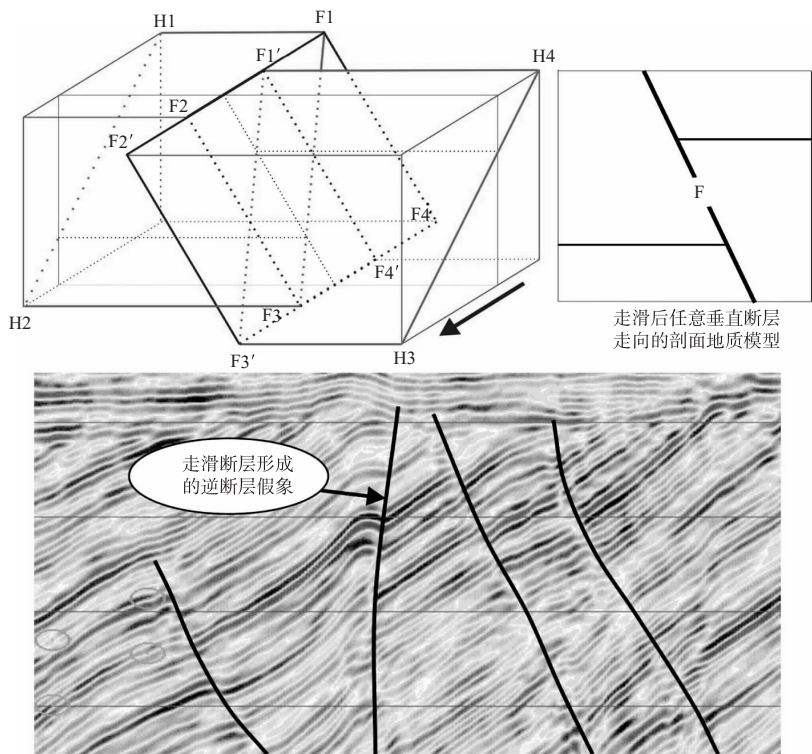


图 5 走滑断层形成逆断层的假象

分析认为,是由于断层两侧的倾斜地层相对走滑造成的。在地震剖面上对比的点其实不是错动前的点,钻井地质上发现的地层重复与常规断层上盘上升造成的地层重复有着本质的区别。经过 XQ28 井实钻取心,发现了岩层水平位移的痕迹(近于水平的擦痕),证实了以上认识的正确性。

2.5 地震资料确定断层存在的问题

2.5.1 二维和三维地震资料

由于观测剖面与断层走向的夹角不同,剖面上断层的视倾角也不同。因此,二维地震剖面在确定断层真倾角方面显得先天不足,加上二维地震资料难以对地下反射位置进行准确归位,因此,单纯应用二维资料,即使应用地质与地震相结合来描述断层,确定断层产状要素(包括断距),也不易准确地实现。三维地震资料基本上克服了二维地震资料这些方面的不足。

2.5.2 地震偏移

当地下地层倾斜时,在地震资料的处理过程中要进行偏移处理^[6],偏移不当会造成地层或断层向上倾方向发生漂移的现象。在实际工作中,经常遇到沿井轨迹断层断点与地震断点不重合的情况,根据多年的处理经验和理论推导可知其成因:①时深转换速度的误差(一般一个断块区只测 1 到 2 口井的 VSP),在时间剖面上表现为断点和井分层整体发生纵向上的移动,可通过曲线的时移来正确归位,做起来相对简单;②由于偏移不合理造成断层与实际位置相比向上漂移。令断点的实际深度(实钻获得)为 H ,断点下移深度为 ΔH ,断层的真倾角为 θ ,垂直断层地震剖面上的断层倾角为 β ,则断层的真倾角为

$$\theta = \arctan [H \tan \beta / (H - \Delta H)]$$

断点处的铅直地层断距不变(两侧地层产状近似时),定性上讲的层断点间的滑距减小,具体还与视断层两侧地层产状有关,计算相对复杂。

一般在高陡构造发育区,地层和断层在三维地震剖面上难以准确归位。如在焉耆本东区块的本布图大断层,经实钻与三维地震资料相比,平面上漂移近 250 m,倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$,断层附近地层倾角 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$,比三维地震资料解释的地层倾角要陡许多。

2.5.3 地震资料品质和优选

地震资料本身涉及采集、处理和解释等多个环节,地下地质情况的复杂程度对地震资料的品质和精度有很大的影响。地震资料品质不好时,特别是浅层勘探时(如河南油田泌阳北部斜坡带),剖面上

的地震同相轴连续性差,同相轴数目和视频率横向变化大,断层不易确定,此时要应用钻井和测井资料确定断层及断距,再应用合成记录等地震资料来追踪层位,检验断距的合理性。

在实际地震资料处理中,由于地震波绕射现象的存在,在资料处理和多道叠加时,很难完全消除断点绕射,地层虽断但在地震剖面上却表现为同相轴不断。对于深层大断距的断层,由于地震同相轴相对较少,错动后地震同相轴呈 S 形,断层和断距容易识别;但当断层断距较小时,错动同相轴间只是以一段与地层同相轴产状不一致的同相轴相连,或者只是同相轴的错动,并不出现连接的同相轴段;当地层埋藏较浅时,由于地震同相轴密集,错动后的地震同相轴与其他层位的地震同相轴相连接,产生了掩盖断层存在的表面现象(图 6),此时可通过追踪断层两盘同相轴的方法确定断层^[6],断点以两同相轴连接段的拐点处为准。

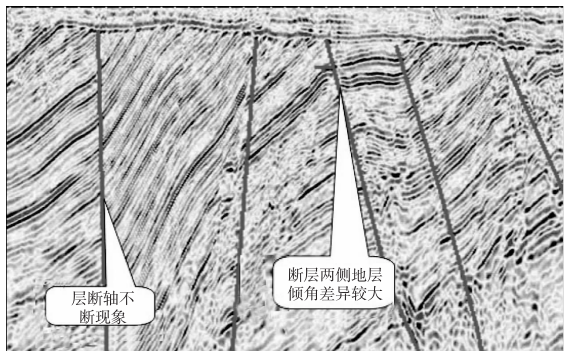


图 6 断层在地震剖面上的表现

2.6 地震地质相结合时的误区

一般情况下,开发过程中钻遇某一条断层的只是个别的几口井,有时甚至只是一口井,地质上确定的断层断距具有很大的不确定性。当地震地质结合时,常出现:地震断层与地质测井断距不同或有较大的出入;测井地质对比时人为因素造成的断层假象,造成在测井地质断点深度上的地震剖面没有断层显示。原因是,地震用的是地层滑距(垂直断层走向的地震剖面中地层对应断开点)的铅直分量来刻画断层,这是人为因素造成地震和地质断层断距存在出入的一个方面^[7]。

3 油田开发中断层断距的刻画

3.1 手段

利用总滑距在 X, Y, Z 三个方向上的分量来刻画断层。当断层只进行垂向滑移时,或 Y 方向

的走滑量可以忽略时,可以用滑距的铅直分量 Z (即铅直断距,与铅直地层断距有别)和 X 方向的分量或用铅直分量和断层倾角来刻画断距。

长期以来,断层走滑距离的确定是一个难题,它需要地震和地质钻井等资料的综合判定。只应用地震数据体水平等时切片,虽根据波形相似性来判定断层大走滑距也有过成功的例子,但毕竟是少数,不能作为一种有效的手段。对于其铅直断距和断层倾角,可应用 3.2 节中的方法加以求取。

结合油田开发实际,除去大规模走滑断层外,断层影响油气水分布的主要因素为铅直断距,当走滑距较小时可以忽略不计。因此在油田开发中,除了要研究构造发育史和沉积相的变迁外,还可以把断层归结到二维空间来考虑,即只考虑断层的纵向滑移而不考虑走滑。

3.2 只发生垂向和水平滑移的断层

应用深度域三维地震数据体,在垂直于断层走向的地震剖面上,读取断层两盘同一地层与断层交点的深度差即断层的垂直分量(铅直断距);在断层上任取 2 点,读取这 2 点的水平距离和垂向距离,应用反正切或余切变换得到断层倾角;再综合地质和测井资料对断距进行合理的校正。

3.3 倾角纵向上变化的断层

对于倾角在纵向上变化的断层(铲式断层)或断距在纵向上发生变化的断层(如生长性同生断层),断层各段断距和倾角在地震剖面上更能直观地反映出来,利用深度域地震资料可以很方便地读取各段的断层铅直断距和倾角,在作构造图时,可依据不同的层面标注不同的断层倾角和断距。

4 应用

4.1 准确刻画断层

首先利用高精度深度域三维地震剖面,与地质和测井紧密结合,应用多参数三维资料确定断层的倾角和铅直断距,进行断层预测或确定斜交方向上断层视倾角和视断距;再利用实钻的断点深度校验地震断点深度的准确性,必要时对断层进行调整;最后利用断层面对断层的断距和倾角进行准确的描述。特别是,当钻遇断层的井有地层倾角测井资料时,对准确确定钻遇断层在该段的倾角特别有用;三维地震资料在确定断层的走向和倾向方面有着不可替代的作用。

4.2 断层要素的空间显示和描述

断层的四大要素是:断层面、断层线、断层盘和

断距,应用三维可视化可更直观地显示和描述。要对断层精细描述,对断层面和断距作校正处理,地震和地质综合对深度域断层进行空间调整时:①将断层转化为层位(定义断层面的深度范围和网格密度,以层位解释网格密度为准),应用常规地质分层对层位校正的方法,用井断点对断层面进行空间校正(局部或全局的断层倾角和埋深),使断层归位;②将断层面转化为断层棒,加入到三维地震数据体中,在剖面中精细调整断层的纵向分布,对断层附近层位进行调整(层位的部分删除和加入地质认识的局部延伸);③应用三维可视化软件同时显示层位和断层(还可外加三维地震数据体),在三维空间里使断层的产状要素(走向、倾向、倾角和断距)得以直观和快捷显示。

4.3 消除测井对比中人为造成的断层假象

对于 2.2 节中所述的测井地质分层对比中的假象,解决的方法是:

1) 收集应用较为全面的第一手资料,进行分析和取舍,如钻井时的泥浆漏失和钻时减少等,一般为断层存在的标志;对储层空间展布形态和沉积相的分布分析,可以预测储层的尖灭区;连井剖面上缺失层位下方相邻层顶、底面高度一致(人为因素造成断层两侧)是无断层存在的标志。

2) 用地质上解释的断点深度在地震剖面上的相应位置(最好垂直于断层走向,此时断点最清晰)进行对比,如果在地震剖面上无断层显示,就要横向上追踪地层是否发生了尖灭,避免地震剖面上小断距层断轴不断假象的干扰。

在实际的连井剖面上(图 4),虽然与 t_{30} 井相比, t_{33} 井没有钻遇侏罗系上部的地层,但由于有地震资料的紧密结合和地层尖灭的超前预测,避免了断层假象的发生。

4.4 制作准确的连井地质剖面

观测剖面与断层夹角的不同^[1],所得到的剖面上断层的断距倾角就不同。由于真倾角大于视倾角,因此一般的连井剖面上的断层倾角都小于断层真倾角。虽然任意斜交剖面中断层的断距和倾角可以通过它与断层的真断距和真倾角的关系求出^[8,9],但其复杂的运算及不同公式的应用条件都难以做到合理的套用。适用、准确和快速的方法是在做与断层斜交的连井地质剖面以前,先做连井深度域地震剖面(图 7)以确定断层的断距和倾角,再以地震剖面为骨架把地质信息加入到连井地质剖面中去,最后完成精确连井剖面的制作(图 8)。

例如在河南油田泌阳盆地内的某断块开发区

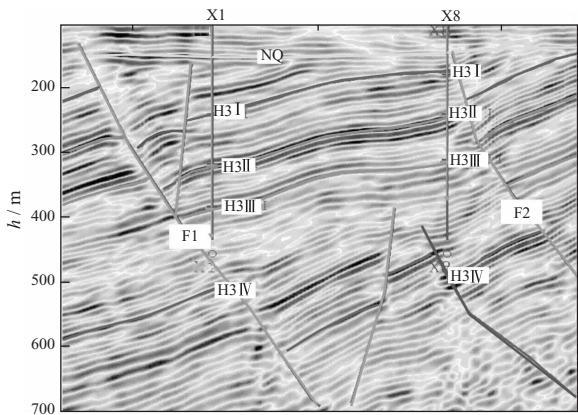


图 7 连井深度域地震剖面

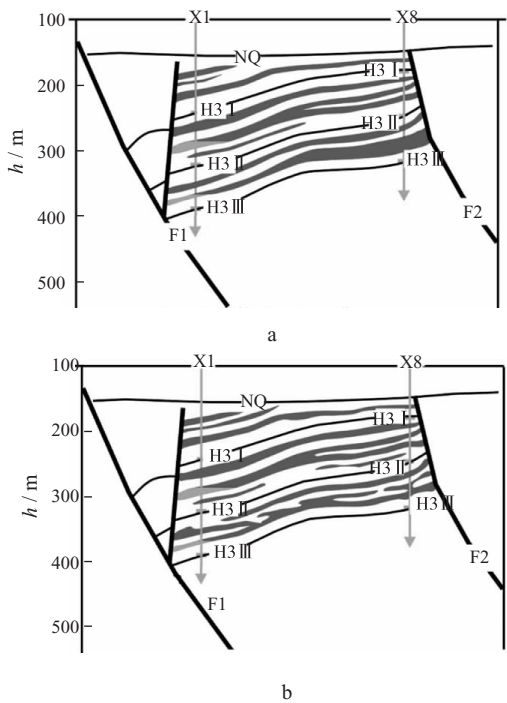


图 8 地震信息在制作联井地质剖面应用前(a)和后(b)的效果对比

a 依据地质构造图和测井成果得到的地质剖面; b 依据地质构造图、测井成果、地震及反演成果得到的地质剖面

制作连井剖面,就应用了地震、地质结合的方法。从图 7 可以清楚地看出,F1 为铲式正断层,具上陡下缓的特点,断层 F1 和 F2 为生长性断层,断距上小下大,在 H3 I , H3 II 和 H3 III (均为地层的底层)中都有明显的地层尖灭现象。如果不用地震资料作为参照,就会把断层当作一直平面断层,会改变断层的空间位置;如果纵向上以一个恒定的断距为标准,就会造成断层另一盘的地层埋深纵向上发生移动和地层产状发生改变等。从图8的效果对比

可以看出,H3II 地层中原认为由 X1 井向上尖灭的一个砂体(图 8a),变成了横向上不连续且在 X8 井处尖灭的 2 个砂体(图 8b); H3 III 地层中原认为上、下 2 个横向上连通、纵向上独立的砂体(图 8a)发生了变化,上部砂体在 X1 和 X8 井横向上不相连,X1 井的 H3 III 的上、下 2 套砂体纵向上发生了连通,还可看出 H3 III 地层下部的砂体为多期次的沉积、改造和叠加的结果(图 8b)。经过后来开发加密井的陆续实施,证实了地震和地质相结合制作联井剖面的可靠性。

5 结论

在油田开发中,利用测井曲线邻井对比法确定断层的断距有人为因素的局限性,铅直地层断距有时不利于断层的准确刻画,应该用断层总滑距沿断层面的倾斜分量和断层倾角刻画断层。对于只发生垂向滑移或走滑量很小的断层,可用总滑距沿断层面的倾斜分量的铅直分量(即铅直断距)和断层倾角来刻画。在油田开发中,强调经精细速度场转换得到的深度域三维地震数据体与地质、测井资料相结合,通过资料的优选和应用多参数三维资料来更准确刻画断层。

参 考 文 献

- 1 朱志澄. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2004. 144~145
- 2 朱志澄,宋鸿林. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1990. 158~159
- 3 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京:地质出版社,1997. 239~255
- 4 孙建国. 勘探地球物理技术最新进展——2002 年 SEG 年会综述 II :解释与压力预测[J]. 勘探地球物理进展, 2003,26(2):148~159
- 5 刘雯林. 油气田开发地震技术[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 4~36
- 6 陆基孟. 地震勘探原理(下册)[M]. 北京:石油大学出版社,1996. 1~122
- 7 Tearpock D J. 以断距垂直分量替代垂直断距作图——地下地质作图的一个严重错误概念[J]. 穆祥金译. 渤海石油地质情报, 1990(4):12~22
- 8 高志强. 用算法求断层断距[J]. 煤炭技术, 2001, 20(7):29~30
- 9 黄桂芝. 断层两盘矿层产状变化条件下真伪地层断距间关系式的探讨[J]. 矿业安全与环保, 2001, 28(6): 35~36