

高邮凹陷隐蔽性断层圈闭样式与识别技术

李亚辉

(中国石化江苏油田分公司勘探处, 江苏扬州 225009)

摘要:通过构造单元解剖与物理模拟,对苏北盆地高邮凹陷隐蔽性断层的成因及圈闭样式进行分析。结果表明:NNE向基底断层在古近纪复活时与区域拉伸方向呈小角度相交,存在基底断层连续断开型、雁列状正断层型、连接断层型和断续分布斜拉断层型等4种复活方式,进而在北斜坡、吴堡断裂带和真武断裂带形成具有不同展布特点的隐蔽性断层与断控圈闭样式;针对隐蔽性断层的特点,通过采用加入地层倾角、方向调节和滤波分析的相干体技术,可以有效识别隐蔽性断层的存在,并利用随机测线扫描落实断层的产状;应用该套技术可以有效地识别高邮凹陷的隐蔽性断层,发现大量的隐蔽断块油藏,取得了良好的勘探效果。

关键词:隐蔽性断层; 圈闭样式; 相干体; 高邮凹陷

中图分类号:TE 121.3 **文献标志码:**A

引用格式:李亚辉. 高邮凹陷隐蔽性断层圈闭样式与识别技术[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(4):26-33.

LI Yahui. Trap styles and identification technology of concealed faults in Gaoyou sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014,38(4):26-33.

Trap styles and identification technology of concealed faults in Gaoyou sag

LI Yahui

(Department of Petroleum Exploration, Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The formation mechanism and structural styles of concealed faults in Gaoyou sag of Subei Basin were discussed by using construction unit anatomy and physical simulations. The results show that there was a small angle between the NEE-trending basement faults and the regional stretching direction in the Paleogene period when the basement faults resurrected, of which there were four resurrection types, such as basement faults continuous disconnect type, en echelon normal fault type, connection fault type and discontinuous distribution stayed faulting type. The faults further evolved to concealed faults with different distribution characteristics and trap styles in the northern slope zone, Wubao fault zone and Zhenwu fault zone of Gaoyou sag. Focusing on the characteristics of the concealed faults, the coherence technique which combines dip angle controlling, direction adjustment and filter method can effectively identify these concealed faults. The random survey line scanning technique is then used to implement fault occurrences. The application has been proven efficient in identifying many concealed fault block reservoir in Gaoyou sag.

Key words: concealed faults; trap styles; seismic coherence; Gaoyou sag

隐蔽性断层是指那些通过常规手段难以被发现的断层,这类断层多在断陷盆地中发育,主要表现为级别较低、断距较小或因地震资料品质较差而难以发现的断层,其在地震响应上没有表现出经典的直线或三角形轮廓,多为连续相位或弱扭动反射特征,

难以被识别^[1-4]。这类断层常形成一些隐蔽的断块圈闭,并控制一定油柱高度的中小型油藏,因此随着油田勘探的不断深入,隐蔽性断层成为了重点勘探目标之一。高邮凹陷的断层在规模、性质及活动期等方面均表现出较强的差异性^[5-6],前人将这些断层

收稿日期:2013-12-11

基金项目:中石化科技攻关项目(P09017,P13113)

作者简介:李亚辉(1970-),男,教授级高级工程师,博士,从事油气地质学、构造地质学等方面的研究。E-mail: liyh. jsyt@ sinopec. com。

分为 5 级,规模较大的 3 级以上断层均系长期活动性断层,4 级及其以下断层多具短期活动性,并具有延伸短和断距小的特点。这类隐蔽性断层在常规地震勘探中难以发现,在高邮凹陷十分发育。这类隐蔽性断层所控制的油藏含油气带较窄,加上广泛分布的火山岩屏蔽、畸变、多次波干扰以及村镇水网密布等地表条件限制,导致二维、三维地震资料信噪比低,勘探目的层反射不明显、不连续,断面波不清晰,断点模糊,不同人解释方案常不相同,导致构造落实难度大,勘探目标易失利。笔者通过对这类隐蔽性断层的成因、控圈样式进行探讨,并结合近期发展的识别技术来解决这一困扰油田勘探的难题。

1 高邮凹陷隐蔽性断层的成因

高邮凹陷所在的苏北盆地北邻苏鲁造山带,西接郯庐断裂带,这两大构造带的强烈变形波及到盆地所在区域,基底断层十分发育。晚侏罗世,由于 NNE 向的郯庐左行平移断裂及其旁侧一系列同方位、同性质的较小规模断层影响,高邮凹陷内发育这一方位的基底断层,如凹陷东南边界上吴堡断裂带与西边界上的柳菱断层,就是凹陷内 NNE 向基底断裂的典型代表^[5-9]。由于基底断层是地壳内的薄弱带,在伸展活动中易于复活。古近纪伸展期间,高邮凹陷内存在着两组基底断层的复活,一组为 NEE 向基底断层的复活,另一组为 NNE 向基底断层的复活。前者起源于印支期的前陆逆冲断层,而后者是起源于晚侏罗世的郯庐左行平移断裂。这两者复活

后的产物存在差别,盆地内 NEE 向断层规模较大,大量出现在真武断裂以北。由于它们更近于垂直古近纪的南北向拉伸方向,处于有利的复活方位,因此会形成较大型断层,并大量出现,一般不会成为隐蔽性断层。NNE 向断层走向与区域拉伸方向呈小角度相交,由于处于斜向拉张状态,在同等断层规模条件下,其伸展活动较弱,断层落差低于 EW 向断层与 NEE 向断层,多是断续地被限制在 EW 向或 NEE 向断层之间,其连续性差、断距较小,地震上响应特征不明显,常为隐蔽性断层。

高邮凹陷 NNE 向基底断层在南北向拉张下复活方式可以是多样的,根据物理与数值模拟^[10]分析认为存在 4 种复活方式,并形成相应的隐蔽性断层(图 1):

(1)基底断层连续断开型。断层直接活动,成为一条继承发育的完整的较大型断层,并在其边部伴生一些隐蔽性断层。这种情况一般出现在较大型基底断裂上,其强度低,断层带规模大,虽是斜向拉伸也可以完整地复活。NE-NNE 向的吴堡断裂带就属于这种类型。

(2)雁列状正断层型。原本为一条的基底断层,通过这种方式复活后就形成了多条小断层,其雁列方式与斜向拉张中的平移方式相关,具有右行平移分量时就形成左阶(列)状。这种基底断层复活方式所形成的断层延伸短、落差小,常为隐蔽性断层。真武断裂的构造转换带上常发育这类隐蔽性断层,这些雁列式断层沿着基底断层的走向成带出现。

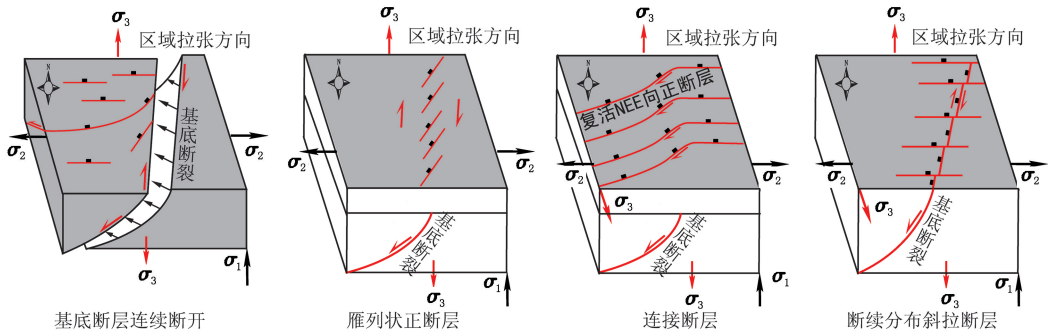


图 1 高邮凹陷 NNE 向基底断层复活方式

Fig. 1 Resurrection types of NEE-trending basement faults in Gaoyou sag

(3)连接断层型。这些连接断层可以是某一断层延伸段,也可以是两条断层之间的连接断层。高邮凹陷北斜坡东部 EW 向的断层与北斜坡中部 NEE 向断层之间所形成的弧形断层可能是这种连接状态。当基底断层以连接断层方式复活时,所发育的断层规模较大,多数地震反射特征明显,仅有少

量可成为隐蔽性断层。

(4)断续分布斜拉断层型。南北向拉张中 NNE 向基底断层处于不利的拉伸方位,更易形成 EW 向新生断层或 NEE 向复活的断层,从而限制了 NNE 向基底断层的发展与相互连接,这类断层常被限制在 EW 向或 NEE 向断层之间。高邮凹陷北斜坡大

部分地区所发现的隐蔽性断层多属于这一类复活的基底断层。如果是小型基底 NNE 向断层的复活,只形成被限制在 EW 向或 NEE 向断层之间的单一断层。若是较大型 NNE 向断层带的复活,这些断续出现的 NE-NNE 向断层可以成带出现。

根据对高邮凹陷内 NE-NNE 向隐蔽性断层的成因分析,凹陷内隐蔽性断层较为发育的地带应是盆地基底内较为大型的早期左行平移断层带。研究认

为高邮凹陷有 6 条隐蔽性断层集中发育带,分别是吴堡断裂带、花瓦构造带、三垛-联盟庄带、五里坝-码头庄带、柳菱断裂带及真武断裂带(图 2)。这 6 个带是较大型 NE-NNE 向基底断裂所在的部位,在古近纪斜向拉伸下会形成带状出现的 NE-NNE 向断层集中区,并且一部分断层呈隐蔽性存在。带内由于存在较多的 NE-NNE 向隐蔽性断层,从而也是隐蔽性断块圈闭有利的发育区。

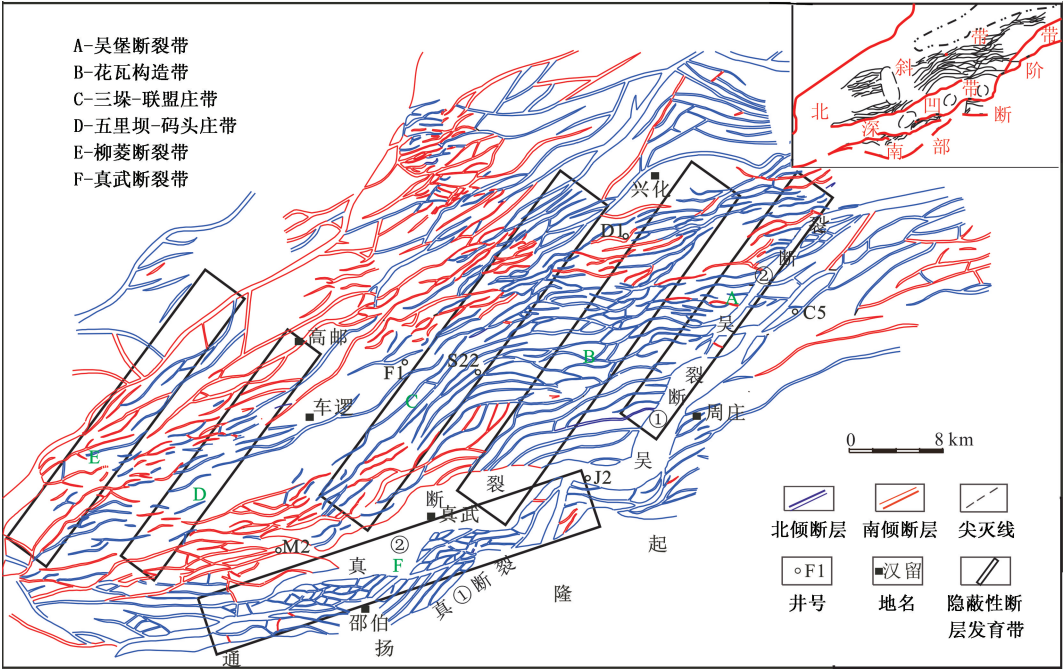


图 2 高邮凹陷隐蔽性断层分布

Fig. 2 Concealed faults distribution in Gaoyou sag

2 隐蔽性断层圈闭样式

由隐蔽性断层构成的断块圈闭称为隐蔽性断块圈闭,对于高邮凹陷来说,北斜坡、吴堡断裂带和真武断裂带上的隐蔽性断层与断控圈闭的样式均有差异。

2.1 北斜坡地区隐蔽性断层与圈闭样式

由于高邮凹陷北斜坡 NE-NNE 向隐蔽性断层延伸短、断距小,自身难以形成具一定规模的断块圈闭、断鼻圈闭或断层-岩性圈闭。这些隐蔽性断层需要与其他方位较大规模断层组合在一起形成断块圈闭。对于高邮凹陷,NE-NNE 向隐蔽性断层与较大规模的 EW 向或 NEE 向断层组合在一起构成隐蔽性断块圈闭。这一类的断块圈闭一侧边界上为隐蔽性断层,无此类隐蔽性断层则相应的断块圈闭未被发现。

通过系统分析北斜坡地区 NE-NNE 向断层的活动与连接方式,发现其与其他方位断层之间的连接

与组合方式多样,这主要是由于高邮凹陷内还存在着 NEE 向基底断层的复活,同时又新生了大量的 EW 向正断层,使这些 NNE 向断层的活动方式及与 NEE 或 EW 向断层的连接方式呈现为多样化,其连接与组合方式有:①尾端扩展或连接 EW 向正断层;②旁侧伴生 EW 向正断层;③旁侧派生北东向正断层;④旁侧伴生 NEE 向正断层(复活的基底断层);⑤被限制在新生 EW 向正断层之间;⑥被限制在 NEE 向断层(复活的基底断层)之间;⑦尾端与 NEE 向正断层(复活的基底断层)相接;⑧南、北端分别为上述不同的扩展或连接方式。

北斜坡地区的这类 NNE 向隐蔽性断层出现在 EW 向或 NEE 向较大规模正断层之间,其间的断层走向差异决定了平面上这些断层主要呈现为斜交式组合样式。这些隐蔽性断层与相邻 EW 向或 NEE 向正断层所夹的断块由于有断层活动时发生过一定程度的旋转或掀斜,在有利的情况下就会形成隐蔽

性断块圈闭。根据北斜坡地区已发现的与 NNE 向断层有关的圈闭类型,可以归纳为 3 类(图 3):一类是 NNE 向断层被限制在 EW 向断层之间,形成限制型隐蔽性断块圈闭,例如在外坡带的沙 18 块区域(图 3(c));第二类是 NNE 向断层与 EW 向断层相连接而形成弧形断层,形成连续型隐蔽性断块圈闭,

此类圈闭多发育在花庄地区(图 3(h));第三类是限制型与连接型断层相互组合而形成复合型隐蔽性断块圈闭,主要发育在受边界断裂影响较大的内坡带(图 3(j+m))。这三类基本圈闭类型的每一类,由于构成了具体不同的断层组合方式,会形成形式多样的圈闭子类型。

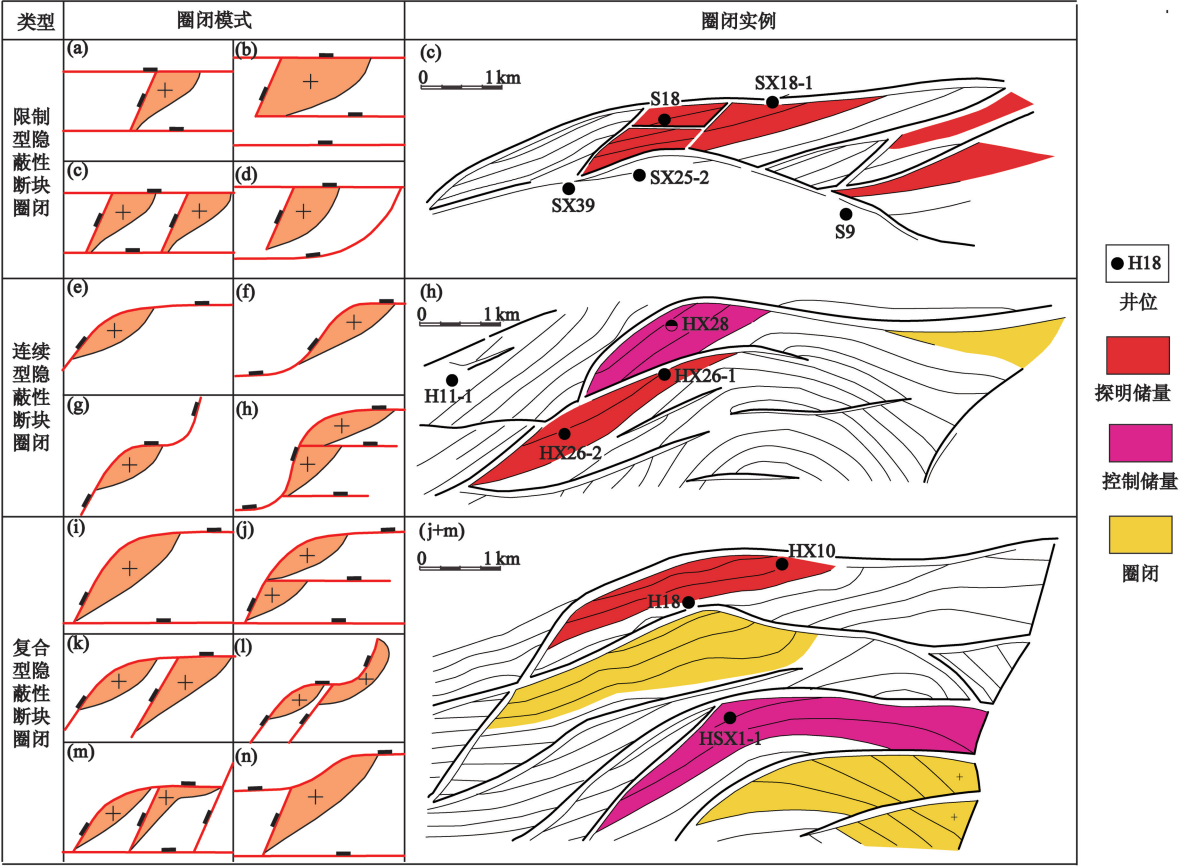


图 3 高邮凹陷北斜坡地区隐蔽性断层控圈模式

Fig. 3 Trap styles of concealed faults in northern slope zone of Gaoyou sag

2.2 吴堡断裂带上隐蔽性断层与圈闭样式

NE 向展布的吴堡断裂属于基底断层复活型的变换断层带,具有右行走滑分量。在区域伸展的背景下,变换断层通常表现为平移断层或斜向拉伸下的正平移断层,与主伸展断层近于垂直或高角度斜交,以具有显著的走滑分量为特征^[11-12]。变换断层带可以形成两类隐蔽性断层,一类为大型变换断层旁侧派生的小型正断层,另一类为小型的变换断层本身。

对于吴堡断裂带来说,作为发育伸展背景下大型的变换断层其两侧通常会发育两类断层:一类为垂直于区域拉张方向的伴生正断层,若规模不大会成为隐蔽性断层;另一类为断层平移中所派生的斜向正断层,其走向与主断层之间一般为 30° 交角,这种派生的斜向正断层只出现在主断层旁,规模较小,易成为隐蔽性断层。这些派生的隐蔽性断层与主断

层(变换断层带)之间的三角形地块也会成为隐蔽性断块圈闭(图 4),在吴②断层下降盘发育有多个这种类型的圈闭。

2.3 真武断裂带上的隐蔽性断层与圈闭样式

NEE 向的真武断裂带主要发育两条大型断裂,其中真②断裂为其北界,主要活动于戴南—三垛沉积期,与汉留断裂一起控制了深凹带的形成。真②断裂是由 3 条左阶雁列式断层组成,自东向西分别为真②-1、真②-2 与真②-3 断层。真②-1 与真②-2 及真②-2 与真②-3 断层之间的叠置区为两个较大型构造转换带,以断坡形式出现^[11-13],在其中发育有多种雁列状隐蔽性断层(图 5)。

构造转换带内第一类常见的断层是同向平行断层,即与边界正断层走向与倾向一致的小型正断层,会成组出现(图 5(a))。第二类断层是在区域拉张

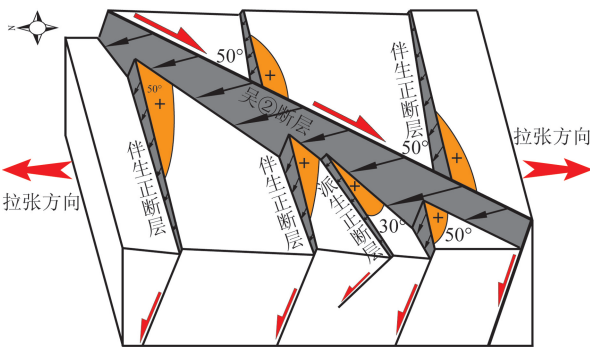


图 4 吴堡断裂带隐蔽性断层及断块圈闭模式
Fig. 4 Combination types of concealed faults and traps in Wubao fault zone

方向不垂直于边界断层情况下形成的区域斜向正断层,所形成的正断层垂直于区域拉张方向,但斜交于真②边界断层(图 5(b))。第三类断层为两边界断层在逐渐扩展而叠置过程中发育的连接-扩展断层,

可以是斜向连接-扩展断层,也可以是横向连接-扩展断层(图 5(c)、(d))。以上 3 类断层组合在真②-1 与真②-2 之间的许庄构造转换带十分常见,并形成了大量的隐蔽性断块圈闭油藏。第四类断层为断坡因弯曲而产生的内部拉张(相当于一个背斜转折端形成正断层的机制)断层,分别有斜向断坡拉张断层与横向断坡拉张断层,决定于断坡的倾斜方向(图 5(e)、(f))。这种情况下形成的断层一般规模较小,其存在与否主要是取决于断坡的弯曲程度或内部变形强度。第五类为当构造转换带边界断层具有走滑分量时,会派生斜列的小型羽状正断层(图 5(g)),而断坡带内一系列不同方位、不同成因断层交织在一起时,还会形成极为复杂的网状断层组合(图 5(h))。这两大类断层组合多在真②-2 与真②-3 断层之间的黄珏-方巷构造转换带中出现,并形成一系列隐蔽性断块圈闭。

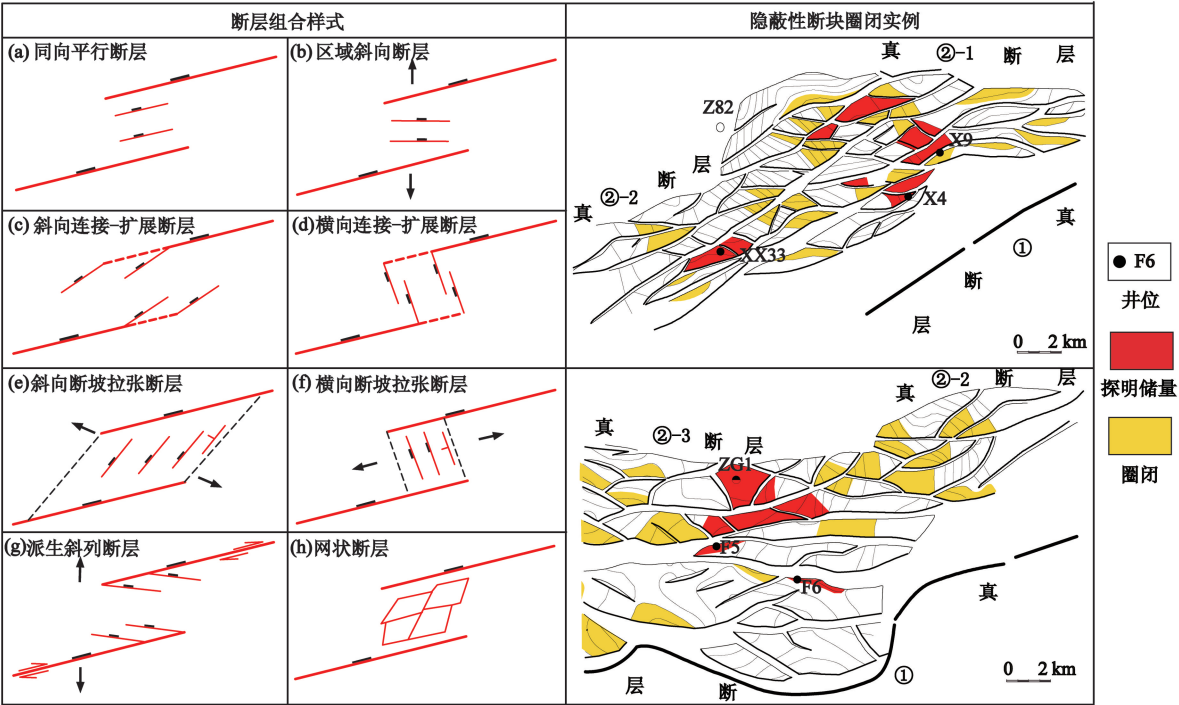


图 5 真武断裂带隐蔽性断层断层组合样式与断块圈闭
Fig. 5 Combination types of concealed faults and traps in Zhenwu fault zone

3 隐蔽性断层精细识别技术

由于隐蔽性断层往往具有规模小、丛式发育和地震识别困难等特点,严重影响了对其进行解释的精确性,前人多采用补充重磁资料的构造模式、断层组合、构造应力场和地球物理模拟等方法来进行分析^[14,13-14],随着高精度三维地震和井间地震的普及,相干体、地震属性和时间切片等分析技术开始被应用到隐蔽性断层的识别上来^[15-18]。由于高邮凹陷地震

资料品质整体不佳,严重影响了构造细节的解释和隐蔽性断块圈闭的发现,在针对这一问题的研究中,从常规参数相干数据体出发,对比调节相干计算方向及考虑地层倾角计算方法,并使用滤波技术加强资料信噪比,达到在三级断裂系统内部突出 NE 向隐蔽性断层的识别效果。在识别出断层位置后,再通过随机测线扫描分析断面变化落实断层的产状。

3.1 相干体技术

对于三维地震数据体来说,由于被断层切割的部

分与相邻部分具有不同的地震特征,在局部的各道之间会产生不相干带,在对地震数据体进行相干处理后,沿断层就会产生低相干性带^[19],因此可以利用相干体技术对隐蔽性断层进行识别。但是,在进行相干处理时,要针对地层倾角、相关时窗、相关类型、相关道数及方向开展相干效果分析,例如针对高邮凹陷的地震地质特征,选取地震剖面上 T_3^3 波组特征好和断点清晰的地区进行试验对比研究,发现进行相干处理时使用地层倾角比不使用地层倾角的相关效果好,而有目的地采取垂直断层走向作为道相关方向比任意其他方向的相关效果好。这两个参数的调整使得切片上的断层平面走向更清晰。同时在计算地震相干性时要根据研究目的选择相干数据的相关时窗。相关时窗的选择一般由地震剖面上反射波视周期 t 决定。当反映断层时,其计算时窗通常取 $1/2 t \sim 3/2 t$ 。如果计算时窗小于 $1/2 t$ 时,相干值受噪声的影响比

受断层的影响大,而不是反映断层存在的位置;当计算时窗大于 $3/2 t$ 时,多个地震反射同相轴参加运算,相干值反映的是地层的不连续。

另外,地震资料的品质还决定了属性值的选取。对于地震资料品质较高的地区,检测断层选择最小属性;对于地震资料品质较差的地区,则选择中值属性,或者在相干处理前,对地震数据体进行滤波或影像加强处理后,再选择最小属性。以高邮凹陷北斜坡 T_3^3 波组为例(图 6),其资料品质相对较好,可选择最小属性,在其他参数不变的情况下,笔者针对性进行了优化参数和滤波处理,从效果看优化参数仅对 EW 向延伸较长的、具有一定规模的断层有较好的视觉加强(图 6(b)),但对 NE 方向的次级断层识别效果较差。进行带通滤波后由于突出主频范围内信息,一定程度上提高了信噪比,相干效果较好,尤其是 NE 方向的小断层识别得到加强(图 6(c))。

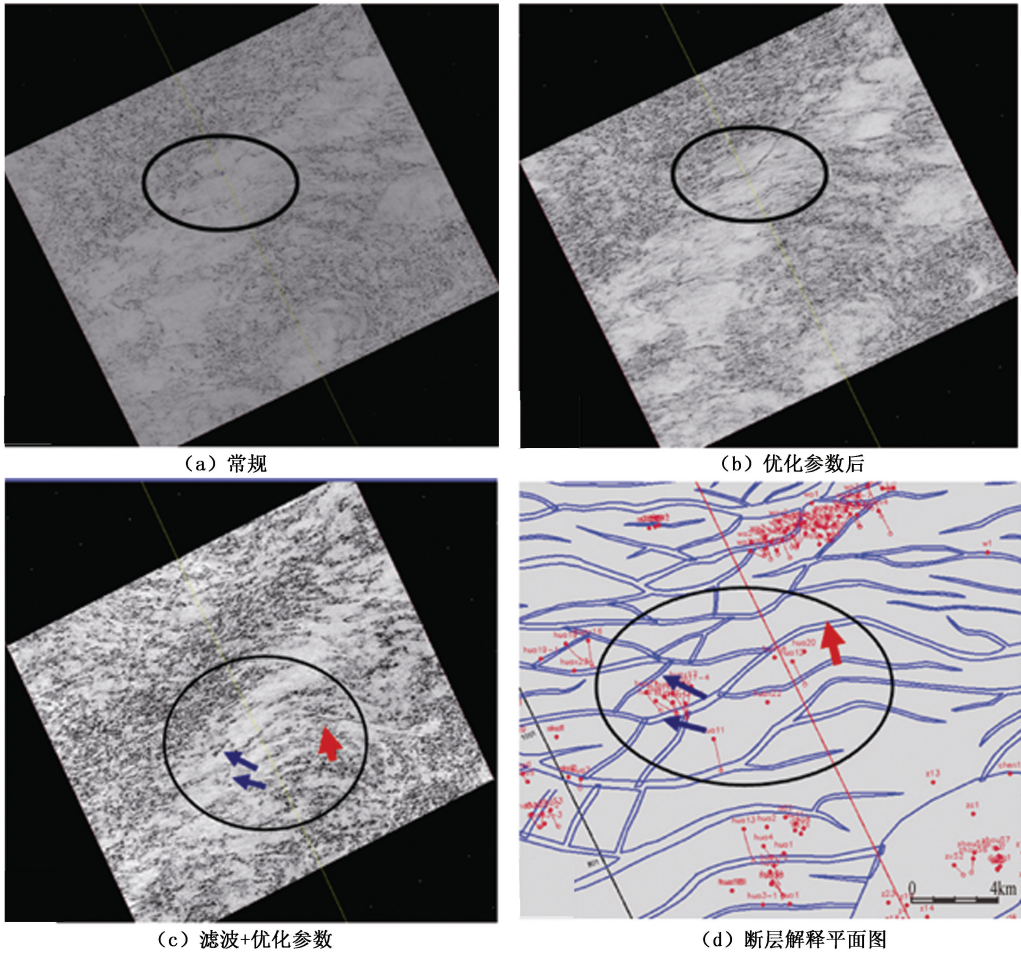


图 6 相干体技术应用效果对比

Fig. 6 Comparison of application effects for coherence technique

3.2 随机测线扫描

识别出隐蔽性断层后,利用三维随机测线在方向和长度上的任意性可以了解其产状细节。随机测

线扫描的关键是切取能最佳反映与隐蔽性断层走向垂直的合适方向。

由于高邮凹陷北斜坡地区阜三段(E_1f_3)地震资

料信噪比低、断层密集,如果断块过于狭窄,在主测线或联络测线上控制断块的地震道少,就难以确定该块内地层反射的产状,从而也识别不出与相邻断块的产状差别;对于某些隐蔽性断层来说,主测线和联络测线的方向都不是其断面或断点的最佳成像方向。通过对不同走向的随机线的观察,可以落实这些隐蔽性断层的产状。首先,分析测线走向变化,可以显示断块内更多的地震道便于确定反射产状,进而识别产状突变的可疑断点;其次,在可疑断点处进行不同方位角的随机线扫描,可以看到更明显和更突出的断层现象,比如在剖面上表现为一条相位中断、产状突变和振幅频率突变的斜线或有断面反射的出现(图7),最终落实隐蔽性断层的整体产状。

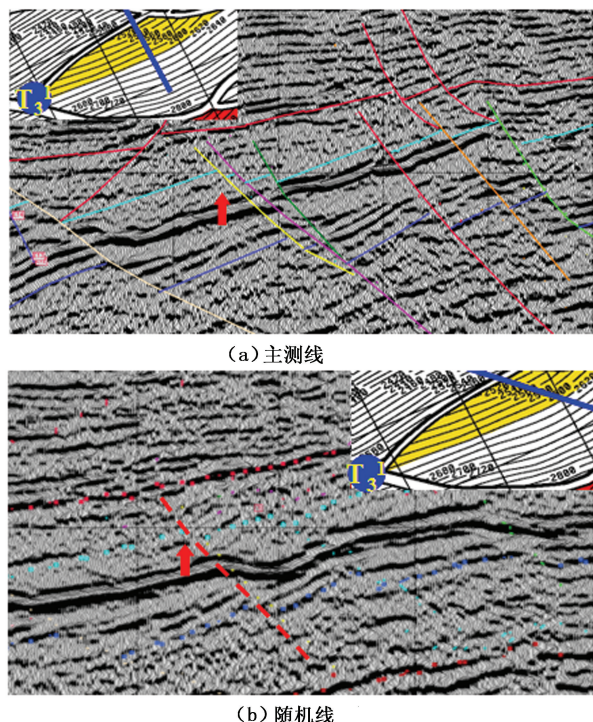


图7 花庄地区主测线与随机线地震剖面

Fig.7 Seismic profiles of main line and random line in Huazhuang region

在北斜坡的花庄、沙埝、刘五舍等地区 and 真武断裂带,通过采用优化相干体加地震随机线扫描技术开展隐蔽性断层识别,落实了众多 NE-NNE 向隐蔽性断层,发现了大量的隐蔽断块,成功钻探了 W18、W19、H24、H26、SH59、SH64、X35 等井,取得了良好的勘探效果。

4 结 论

(1)高邮凹陷内古近纪隐蔽性断层具有如下特征:属于斜向拉张下 NNE 走向基底断层再活动的产物;处于不利的拉张方位,一般垂直落差不大(与

EW 向同等规模断层比较);具有右行走滑分量,多为正-右行平移断层;常呈断续出现,被限制于 EW 向或 NEE 向正断层之间,也会以多种方式与相它方位断层连接;主要在早阶段吴堡期活动,晚阶段一般不活动,活动时间短。

(2)高邮凹陷 NNE 向基底断层复活时与区域拉伸方向呈小角度相交,存在基底断层连续断开型、雁列状正断层型、连接断层型和断续分布斜拉断层型等 4 种复活方式,进而在不同地区形成具有不同展布特点的隐蔽性断层。

(3)斜坡带、变换断层带和构造转换带的隐蔽性断层形成及排列方式不同,进而形成了不同的断控圈闭样式:斜坡带主要发育限制型、连续型和复合型隐蔽性断块圈闭,变换断层带主要发育派生的隐蔽性断层与主断层之间的三角地块型隐蔽性断块圈闭,构造转换带主要发育同向平移型、区域斜向正断层型、连接-扩展型、内部拉张型、派生斜列型和网状型隐蔽性断块圈闭。

(4)通过采用加入地层倾角、方向调节和滤波分析的相干体技术,可以识别隐蔽性断层的存在,并利用随机测线扫描落实断层的产状。应用该套方法有效地识别了高邮凹陷的隐蔽性断层,发现了大量的隐蔽断块油藏,取得了良好的勘探效果。

参考文献:

- [1] VALENTINO David W, CHIARENZELLI Jeffrey R, HEWITT Elise M, et al. Applications of water-based magnetic gradiometry to assess the geometry and displacement for concealed faults in the southern Adirondack Mountains, New York, U. S. A [J]. Journal of Applied Geophysics, 2012, 76: 109-126.
- [2] CATHERINE B, CARTWRIGHT Joe A. 3D seismic characterisation of an array of blind normal faults in the Levant Basin, Eastern Mediterranean [J]. Journal of Structural Geology, 2008, 30(6): 746-760.
- [3] LIBERTY Lee M, HEMPHILL Mark A, MADIN Ian P. The Portland Hills Fault: uncovering a hidden fault in Portland, Oregon using high-resolution geophysical methods [J]. Tectonophysics, 2003, 368(1/4): 89-103.
- [4] BENSON Alvin, HASH Stephan T. Integrated three-dimensional interpretation of major concealed faults beneath Mapleton, Utah County, Utah using gravity data, supported with magnetic data [J]. Engineering Geology, 1998, 51(2): 109-130.
- [5] 朱平,毛凤鸣,李亚辉.复杂断块油藏形成机理和成藏模式[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [6] 刘岩,陈清华,马婷婷.吴堡断裂带低序级断层分级研

- 究[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2011, 41(2): 268-272.
- LIU Yan, CHEN Qinghua, MA Tingting. Classification and understanding of low grade faults in Wubao fault zone [J]. Journal of Northwest University (Edition of Natural Science), 2011, 41(2): 268-272.
- [7] 能源, 杨桥, 张克鑫, 等. 苏北盆地高邮凹陷晚白垩世—新生代构造沉降史分析与构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2009, 29(2): 25-32.
- NENG Yuan, YANG Qiao, ZHANG Kexin, et al. Tectonic subsidence and evolution of the Gaoyou depression in northern Jiangsu Basin during the Late Cretaceous to the Cenozoic [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2009, 29(2): 25-32.
- [8] 戴俊生, 王霞田, 季宗镇, 等. 高邮凹陷南断阶东部阜宁期构造应力场及其对断层的控制作用[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2011, 35(2): 1-5, 19.
- DAI Junsheng, WANG Xiatian, JI Zongzhen, et al. Structural stress field of Funing sedimentary period and its control on faults in the east of south fault terrace in Gaoyou sag [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(2): 1-5, 19.
- [9] 冯阵东, 戴俊生, 马晓鸣, 等. 沙埕地区阜宁期构造物理模拟实验[J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2010, 25(4): 14-18, 23.
- FENG Zhendong, DAI Junsheng, MA Xiaoming, et al. Physical simulation experiment of the structure in Shanian area in Funing stage [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2010, 25(4): 14-18, 23.
- [10] 李宝刚. 高邮凹陷断裂调节带发育特征及其石油地质意义[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2008, 32(1): 19-23, 32.
- LI Baogang. Development characteristics of fault accommodation zone and its significances of petroleum geology in Gaoyou depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(1): 19-23, 32.
- [11] 白鹏, 刘岩, 杨晓文, 等. 吴堡断裂带构造特征与成因[J]. 特种油气藏, 2012, 19(4): 14-17, 45.
- BAI Peng, LIU Yan, YANG Xiaowen, et al. Tectonic style and genesis of Wubao fault zone [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(4): 14-17, 45.
- [12] 李亚辉. 苏北盆地高邮凹陷构造转换带控油机制研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 109-112.
- LI Yahui. Study of control mechanism of oil and gas by the transfer zone in the Gaoyou Sag of the North Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(2): 109-112.
- [13] 戴俊生, 张继标, 冯建伟, 等. 高邮凹陷真武断裂带西部低级序断层发育规律预测[J]. 地质力学学报, 2012, 18(1): 11-20.
- DAI Junsheng, ZHANG Jibiao, FENG Jianwei, et al. Development law and prediction of the lower-order faults in the west of Zhenwu Fault Zone in Gaoyou Sag [J]. Journal of Geomechanics, 2012, 18(1): 11-20.
- [14] YAN Danping, ZHANG Bing, ZHOU Meifu, et al. Constraints on the depth, geometry and kinematics of blind detachment faults provided by fault-propagation folds: an example from the Mesozoic fold belt of South China [J]. Journal of Structural Geology, 2009, 31(2): 150-162.
- [15] 孙夕平, 杜世通. 相干体技术算法研究及其在地震资料解释中的应用[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2003, 27(2): 32-35.
- SUN Xiping, DU Shitong. Development and application of algorithm of coherency cube technique to seismic interpretation [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2003, 27(2): 32-35.
- [16] 边树涛, 董艳蕾, 苏晓军, 等. 地震相干体技术识别低序级断层方法研究[J]. 世界地质, 2007, 26(3): 368-374.
- BIAN Shutao, DONG Yanlei, SU Xiaojun, et al. Method study of seismic coherence cube technique to interpretation of low level faults [J]. Global Geology, 2007, 26(3): 368-374.
- [17] 李阳. 我国油藏开发地质研究进展[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 75-79.
- LI Yang. Progress of research on reservoir development geology in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 75-79.
- [18] 金强, 王端平, 何瑞武, 等. 小型断块油藏识别和描述[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 367-371.
- JIN Qiang, WANG Duanping, HE Ruiwu, et al. Identification and description of small faulted-block reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 367-371.
- [19] 牛拴文. 东辛油田营1断块多体联合精细构造解释方法研究[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(6): 209-213.
- NIU Shuanwen. Research of accurate structural interpretation in fault block Ying 1 of Dongxin Oilfield by synthesizing many technique [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(6): 209-213.

(编辑 徐会永)