

南堡凹陷断裂特征及对油气藏的控制作用

张军勇* 唐建超 马辉 陈程

(东方地球物理公司研究院地质研究中心,河北涿州 072751)

张军勇,唐建超,马辉,陈程. 南堡凹陷断裂特征及对油气藏的控制作用. 石油地球物理勘探, 2011, 46(增刊1): 134~138

摘要 南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,受多期构造运动影响,断裂发育,新近纪晚期在东西向弱挤压背景下构造发生正反转,形成特殊的“正向”负花状构造样式。本文在区域地质分析的基础上,应用时间和相干体切片、曲率体并结合钻井、测井及开发动态资料识别技术对南堡凹陷的断裂进行了识别,总结了断裂剖面组合样式及平面展布特征,同时明确了断裂活动特征及其对油源、储层、圈闭等的控制作用。

关键词 南堡凹陷 断裂体系 “负花状”构造 油气成藏

中图分类号:P631 文献标识码:A

1 引言

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,面积约为1900km²。受多期构造运动影响,凹陷内断裂发育,形成了不同类型的断块圈闭。勘探证实,南堡凹陷目前发现的油藏多为构造油气藏。随着勘探的不断深入,如何精细落实断块圈闭,特别是了解断层的展布规律显得至关重要。本文基于前人研究成果,以高分辨率三维地震资料为载体,有针对性地应用系列技术方法,了解了南堡凹陷的构造演化特征及其对油藏的控制作用。

2 断层识别与解释技术

2.1 断层的剖面识别技术

利用常规地震剖面识别断点的标志为:反射波错断、分叉、合并、扭曲等;反射同相轴数目突然增减或消失;波组间隔发生突变;反射同相轴产状突变或两侧反射结构不同。除了应用常规地震剖面,还可结合相位剖面、相干体剖面、反射强度剖面等辅助手段识别断层。正确识别断点是断层解释的基础,由于地震资料处理或非构造因素,往往形成一些断点假象(如容易将前积反射解释为小型阶梯状正断

层)。此外,由于断陷盆地岩性的复杂性,单凭某一特征标志还不能确定断点(如条带砂、透镜体、前积砂等易造成假断点),必须结合一些其他特征精确确定断点位置。

2.2 断层的平面识别技术

2.2.1 时间切片技术

水平时间切片是地下地质条件的真实反映,在水平切片上可以观察反射同相轴的平面变化规律,更好地分析层位与断裂的平面展布,从而指导垂直剖面的解释。时间切片所切同相轴的疏密与宽窄反映地层的产状,其延伸方向代表地层的走向,突变界线代表断层的位置。断层两旁的同相轴具有明显不同的特征,据此可识别出大断层及次一级断层。

2.2.2 相干体切片技术

相干体切片是断块发育区三维地震资料解释中不可或缺的关键技术。在一般情况下,断层、波形畸变、地层或岩性所引起的地震属性突变,会在相干体上产生一个窄条低值区,可对地震数据进行去同求异,从而突出某些不相干的数据。利用不相干地震数据的空间分布,可识别地层边界(断层、岩性尖灭)、岩性异常体和非均质体等。

2.2.3 “平剖结合”识别技术

若将断层当作一个反射层,其属性应在主测线、联络线相互闭合。因此可利用断层性质、产状等属

* 河北省涿州市东方地球物理公司研究院地质研究中心,072751。Email:zhaolan5167@126.com

本文于2011年8月15日收到,最终修改稿于同年10月18日收到。

性在平面、剖面的相互验证来识别断层。

2.3 井震结合识别技术

在断层解释过程中,由于受地震资料品质及纵向分辨率的影响,某些断层的断点位置不易识别,还要紧密结合钻井、测井资料,根据钻井地层对比结果验证或精细落实断点位置。如图 1 所示,NbA、NbB

两井相距较近(约 800m),其中 NbA 井未钻遇断层,两井岩性、测井曲线特征相似。NbB 井测井曲线在 Ng I 发生突变,说明该井在该层段钻遇断层。经综合分析可知,Ng I 断失约 150m,根据测井曲线突变点的深度即可在地震剖面上准确确定断点位置。

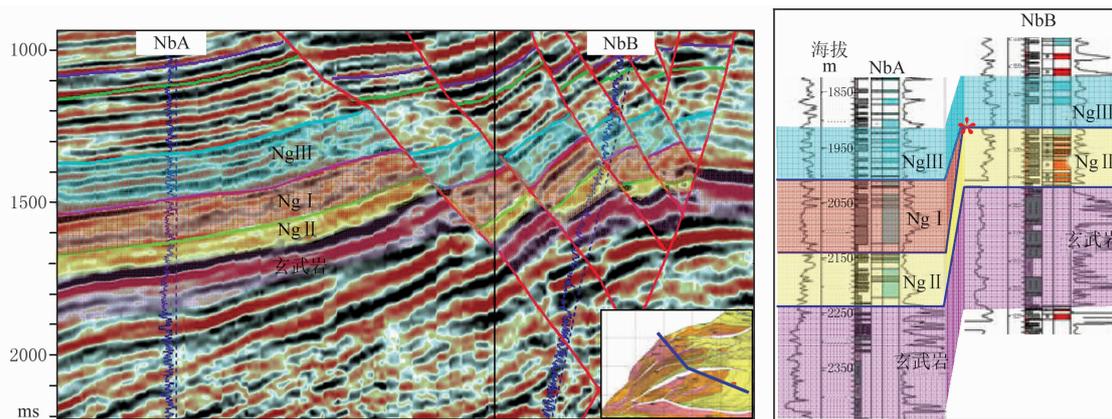


图 1 过 NbA、NbB 井地震剖面(左)与联井对比图(右)

2.4 开发动态资料识别技术

对于由地震反射特征识别出的小断层,可以利用实际生产动态资料验证断层解释的准确性。如图 2 所示,Ed₁ II¹ 油组为主要产油层系,产油层厚度为 10m,在 X3 井与 X584 井之间解释出一条断距约为 25m 的南倾小断层(蓝色断层),对油藏起到一定封挡作用。为保持油层压力,使油藏有较强的驱动力,以提高油藏采收率,利用 X3 井给目的层注水,X584 井产量稳定,说明注水见效,验证了井间目的层段是连通的。该断层实际位于两井东侧,且断距逐渐减小直至尖灭(红色断层)。

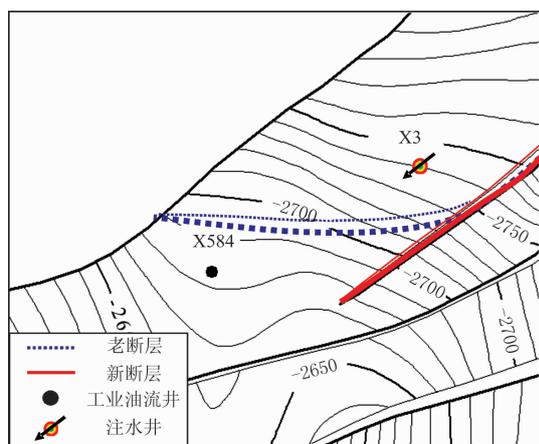


图 2 南堡油田某区块 Ed₁ II¹ 油组顶面构造图(单位:m)
X3 井为注水井,X584 井为采油井

2.5 曲率属性识别技术

曲率属性是通过计算层面上各点的曲率值变化达到预测的目的,它能反映精度高于常规地震分辨率的精细断层,有利于更精细地解释地下构造细节。如最正、最负曲率对小断层的识别效果最好。

3 断裂体系特征与样式分析

南堡凹陷的断裂发育具有复杂性、多样性及规律性。通过利用前述技术,在南堡凹陷已识别出切割 Ng 的断层约有 300 余条。这些断裂对凹陷的构造演化、沉积序列、局部构造及油气运聚、保存等方面有着不同程度的控制和影响^[2]。

3.1 断裂演化特征

构造演化表明:南堡凹陷古近系渐新统为断陷沉积,盆地边界断层及控制构造带的二级断层多为生长正断层,控制了沙河街组沉积,地层自北向南、自东向西逐渐减薄;渐新统上部为断拗沉积,盆地内的二级断层在伸展构造背景上叠加了剪切应力背景,整体走向由早期的北东向转为北东东向^[3];新近系为拗陷沉积,伸展活动强度减弱,走滑作用明显加强,形成了多个扭动构造带^[4]。

3.2 断裂发育特征

南堡油田断裂发育的总体特点是:基底断裂发

育最少,Es次之,Ed发育程度较高,新近系发育程度最高,浅层断裂是深层断裂的继承和发展。

古近系底部的断裂主要为北东向和北西向,将古近系分割成为多个断块潜山。在断陷和后裂陷热沉降过程中,基底断裂进一步活动,断裂不断增加。从断裂的条数统计看,同一地区新近系底的断裂数量大约是古近系底断裂数量的2~3倍。南堡油田古近纪—新近纪断裂活动按照活动性质可分为三期:Es沉积时期,以伸展正断为主;Ed沉积末,以张扭为主;Nm沉积末期,以走滑为主。

3.3 断裂展布特征

南堡油田的断层剖面组合样式多样,主要表现为以下几种:负花状构造组合、复“Y”字型组合、阶梯状组合、“X”型共轭组合、帚状组合等(图3)。新近纪晚期在东西向弱挤压背景下发生构造正反转,形成特殊的“正向”负花状构造样式,这是南堡油田特有的一种组合样式。南堡油田断裂“负花状”组合样式主要形成于Nm沉积末期,受区域扭动应力场的影响,中浅层断层相向倾斜,向下与深层近似直立的主干断层相交。

| 序号 | 断层组合样式 | 平面展布特征 | 描述 | 实例 | 序号 | 断层组合样式 | 平面展布特征 | 描述 | 实例 |
|--------|--------|--------|--|------------------|---------|--------|--------|-------------------------------------|-----------|
| 复Y字型组合 | | | 早期拉张或张扭产生边界断层,晚期扭动产生反向调节断层,由挤压应力发生构造正反转 | 柏各庄断裂带南段 | 阶梯状组合 | | | 晚期拉张及重力作用下产生多米诺骨牌式组合 | 南堡2-1区 |
| | | | 早期拉张或张扭产生边界断层,晚期拉张地层节节下掉,远端发育反向调节断层 | 柏各庄断裂带北段 | | | | 拉张或张扭产生的正断层,形成堑垒构造组合,后期发生构造反转 | 南堡5号构造 |
| | | | 早期拉张产生正断层,晚期拉张或张扭,断层对倾成V字型组合,形成地堑 | 南堡4号构造上升盘 | 负花状构造组合 | | | 晚期张扭的负花状构造,深层地层向两翼倾斜,浅层向花芯倾斜,形成两种结构 | 南堡3、4号构造 |
| | | | 拉张或张扭产生的正断层,远端多为与主控断层呈对倾的调节断层 | 南堡1~3区 | | | | 晚期张扭的负花状构造 | 南堡1号构造西南端 |
| 共轭组合 | | | 单剪应力作用下产生的共轭断层组合,形成上下两套断裂体系,上部为堑式背斜,下部为断垒 | 南堡2号东部 南堡1~5区 | | | | 晚期张扭的负花状构造 | 南堡4号构造上升盘 |
| 帚状组合 | | | 早期拉张产生正断层,晚期形成张扭阶梯状组合,远端断层产状近于直立,并向下交于边界断层 | 南堡3号构造东段 | | | | 晚期张扭的负花状构造 | 南堡4号构造上升盘 |

图3 南堡油田断裂组合样式展示

4 断裂对油气成藏的控制作用

南堡凹陷断裂极为发育,是控制地层展布、构造发育、沉积演化的重要因素,对油气的生成、运移、聚集和保存起着重要作用。

4.1 断裂对油源条件的控制作用

南堡凹陷发育林雀、曹妃甸两个生油次凹,以Es₃、Es₁为主要烃源岩层系,生油岩厚度大,埋藏深,热演化程度高,已进入成熟—过成熟演化阶段^[5]。实际资料证实,南堡油田中浅层油藏主要富集在油源断层两侧的可利圈闭中。

南堡凹陷油源断层主要在 Es₁ 沉积末期形成, 经历多期活动, 特别是在排烃期再次活化的断层较多, 一般在平面上呈北东向展布。目前发现的油气藏多位于油源断层附近。南堡 5 号构造和柏各庄断鼻构造带浅层尽管圈闭发育, 但由于缺少沟通油源的深大断裂, 油源条件较差, 因此目前尚未发现油气藏。南堡油田中浅层构造样式多样, 不同的构造部位具有不同的断层组合样式, 进而形成不同的油气运移模式, 其共同特点是油气沿着主干断层向次级断层控制的断块运移, 即向地上上倾部位运移(图 4)。

4.2 断裂对储集条件的控制

断裂对裂缝储层发育具有一定的影响。利用高斯分解等技术手段发现, 在距主控断层较近的位置裂缝较发育, 而较远位置裂缝不发育。高角度构造裂缝的形成往往与断裂系统相伴生, 并且裂缝的方位往往与主控断裂的走向具有很好的一致性^[6], 同时断裂对砂体也有一定的控制作用。研究发现, 在

南堡油田边界主控断层附近发育了一些水下扇体。

4.3 断层对圈闭条件的控制

从目前的勘探效果来看, 油气多集中在断裂构造带内, 圈闭类型优越性依次为断背斜、断鼻、单一断层控制的断鼻及两条或多条断层控制的断块或断鼻(图 5)。断层的侧向封堵性在一定程度上决定了

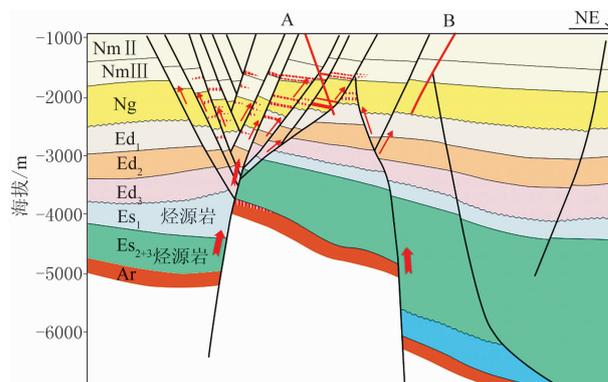


图 4 “负花状”构造油气成藏模式
图中 A、B 为南堡 4 号断裂带的两口探井

| 圈闭类型 | 平面特征 | 剖面特征 | 描述 | 实例 | 圈闭类型 | 平面特征 | 剖面特征 | 描述 | 实例 |
|--------------|------|------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 披覆背斜 | | | 穹火山底辟形成低幅度披覆背斜 | 南堡 4-2 井 Ng III 背斜 | 三条断层控制的断块 | | | 多条北东向断层相交成多字型, 各断层面上升盘形成断鼻 | 南堡 2-29 西断鼻 |
| 单条断层控制的断鼻 | | | 地层正断、掀斜形成反向断鼻, 多成组出现 | 南堡 3-1 断鼻等 | | | | 由三条不同走向的断层相交形成断块, 高点位于断层交会处 | 老堡南 1 断鼻 |
| | | | 正断层下降盘由于正牵引形成顺向断鼻 | 南堡 4-8 南断鼻等 | | | | 由三条不同走向断层近于垂直相交, 形成断块 | 南堡 3-2 北断鼻等 |
| | | | 正断层下降盘逆牵引形成断鼻或断背斜 | 南堡 3-2 断鼻、南堡 1-24 断鼻 | | | 主控断层下降盘形成逆牵引背斜, 被后期断层复杂化 | 南堡 2-23 断背斜 | |
| 两条断层控制的断鼻或断块 | | | 两条相同倾向正断层锐角相交形成“墙角式”断块, 高点位于断层交会处 | 南堡 1-3 区系列断块、断鼻、南堡 4 号构造下降盘 | 多条断层复杂化的断鼻或断背斜 | | | 由共轭断裂系统控制的断背斜或断鼻 | 南堡 2-10 断鼻等 |
| | | | 两条对倾正断层锐角相交形成犁式断块 | 南堡 2-8 北断块 | | | | 东西向主控断层控制的断背斜, 为后期北东向断层复杂化 | 南堡 2-3 区 |
| | | | 两条对倾正断层封闭相交形成断块 | 南堡 2-30 断块 | | | | 由不同走向的四条断层形成的网格状断块 | 南堡 2-1 区南堡 1-2 断块 |
| | | | 两条不同走向正断层近垂直相交, 形成垒块 | 南堡 4-8 断鼻、南堡 2-52 断鼻 | | | | 北西向主控断层与东西向分支断层相交, 将断鼻复杂化 | 柏各庄断裂带 |

图 5 南堡油田圈闭类型及发育特征

圈闭的有效性,即在其他条件相似的情况下,断层侧向封堵性与断层上、下盘岩性对接关系有关。南堡油田中浅层的圈闭类型以断鼻、断块为主,断层两盘岩性对接关系在一定程度上影响了断层的封闭性,进而影响圈闭的有效性^[7]。若由断层所错动的地层中泥岩层所占比值相当低,砂层含量相对很高,则砂层与泥层对接的可能性一定很小,断层的侧向封堵能力必然较低。

5 结论

(1)南堡凹陷分为断陷期、断拗期、拗陷期三个演化阶段,不同时期的断裂控烃作用也有所不同,其中断陷期控制烃源岩的分布,拗陷期控制圈闭的形成。

(2)本文应用时间和相干体切片技术、井震结合识别技术、开发动态资料识别技术及体曲率识别技术等多种方法,较大程度地提高了断层解释精度,准确确定了断点位置,对寻找优势目标区域、降低钻探风险起到积极作用。

参考文献

- [1] 李建林,于志龙,吴清龙,于广瀛.地震资料精细解释技术在南堡凹陷的应用.石油地球物理勘探,2006,41(增刊):29~32
Li Jian-lin, Yu Zhi-long, Wu Qing-long and Yu Guang-ying. Application of fine seismic data interpretation technique in Nanpu sag. *OGP*, 2006, 41(Sup): 29~32
- [2] 罗群,白心华.断裂控烃理论与实践——断裂活动与油气聚集研究.湖北武汉:中国地质大学出版社,1998
- [3] 宋景明,何毅,陈笑青.对渤海湾盆地断裂体系的认识.石油地球物理勘探,2009,44(增刊1):154~157
Song Jing-ming, He Yi and Chen Xiao-qing. Recognition of fault systems in Bohai Bay Basin in China. *OGP*, 2009, 44(Sup 1): 154~157
- [4] 马乾,张军勇,李建林等.南堡凹陷扭动构造特征及其对油气成藏的控制作用.大地构造与成矿学,2011,35(2):183~189
MA Qian, Zhang Jun-yong, Li Jian-lin et al. Characteristics of the shear structures in Nanpu sag and their controls on hydrocarbon accumulation. *Geotectonica et Metallogenia*, 2011, 35(2): 183~189
- [5] 陆先亮.渤海湾盆地新生代断裂活动及其对含油气系统和油气分布的影响.油气地质与采收率,2005,12(3):31~35
Lu Xian-liang. Cenozoic faulting and its influence on the hydrocarbon-bearing systems and hydrocarbon distribution in the Bohai Bay Basin. *PGRE*, 2005, 12(3): 31~35
- [6] 付晓飞,苏玉平,吕延防,张云峰,付广.断裂和裂缝的分形特征.地球科学(中国地质大学学报),2007,32(2):227~234
Fu Xiao-fei, Su Yu-ping, Lu Yan-fang, Zhang Yun-feng, Fu Guang. Fractal characteristic and geological meaning of fault and fracture. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2007, 32(2): 227~234
- [7] 赵密福,李阳,张煜,王瑞平.断层两盘岩性配置关系及断层的封闭性.中国石油大学学报,2006,30(1):7~11
Zhao Mi-fu, Li Yang, Zhang Yu, Wang Rui-ping. Relation of cross-fault lithology juxtaposition and fault sealing. *Journal of China University of Petroleum (Natural Science)*, 2006, 30(1): 7~11

(本文编辑:刘勇)