

歧口凹陷隐性断裂带特征及其对油气聚集的控制作用

周维维¹, 王伟锋², 单晨晨²

(1. 中国科学院南海海洋研究所中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东广州 510301;

2. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580)

摘要:隐性断裂带(断裂趋势带)是指盆地沉积盖层内发育的弱变形(隐蔽性较强)构造带,属于断裂带形成演化早、中期阶段的产物,由于缺乏明显的断裂面(带)和显著的位移而难以识别。在对苏北盆地、渤海湾盆地隐性断裂带研究基础上,于歧口凹陷识别出基底断裂走滑型隐性断裂带,并分析其特征、形成机制、控藏作用等。该断裂趋势带其自南向北可以分3个区段:南段基底断裂与盖层断裂体系直接连接构成花状构造;中段古近系的花状构造终止于沙二段,新近系仅发生挠曲变形,成为东西侧不同构造单元、南北部不同构造特征的平衡点;北段新近系发育的花状构造深部收敛于古近系的重力滑脱断层,基底断裂通过影响滑脱断层控制盖层断裂体系。研究表明,古近系基底断裂扭动作用主要以直接传递、调节传递、间接传递等3种方式控制影响盖层中隐性断裂带的形成。深部隐伏断裂切入基底,有利于热作用传递而促进烃源岩成熟;盖层中的隐性断裂带控制了沉积体系和隐蔽性圈闭的形成和分布;隐性断裂带的观点丰富了构造地质学理论,为油气勘探提供了新认识。

关键词:隐性断裂带;基底断裂活动;花状构造;调节构造;滑脱构造;油气成藏

中图分类号:TE 121.2 **文献标志码:**A

引用格式:周维维,王伟锋,单晨晨. 歧口凹陷隐性断裂带特征及其对油气聚集的控制作用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(4):29-36.

ZHOU Weiwei, WANG Weifeng, SHAN Chenchen. Characteristic of concealed fault zone and its significance in hydrocarbon accumulation in Qikou Sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016,40(4):29-36.

Characteristics of concealed fault zone and its significance in hydrocarbon accumulation in Qikou Sag

ZHOU Weiwei¹, WANG Weifeng², SHAN Chenchen²

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: Concealed fault zones or fault trend zones formed in the cap rocks of sedimentary basin, which is influenced by the regional or local stress field, and activities in the basement rift system. A concealed fault zone is characterized by strong concealment and is associated with dominant fault zone. Based on the previous research of Subei and Bohai bay basins, using basement structure, structural framework, small dominant structure, seismic section features and coherent slices of Huanghua Sag, we recognized a NNE concealed fault zone and analyzed its characteristics, formation mechanism, and hydrocarbon accumulation potentials. The results show that the newly found concealed fault can be divided into three different tectonic deformation sections, the flower structure linked by the basement rift and the cap rock rift system in the south part; the Paleogene flower structure ended in the second member of Shahejie Formation in the middle part where bending deformations only occurred in the Neogene stratum and became the balance point of different structural units; and the flower structure developed in the Neogene stratum of north part deeply converged to gravitational detachment fault of Paleogene, where basement rift con-

收稿日期:2015-12-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41340008);中央高校基本科研业务费专项(14CX06069)

作者简介:周维维(1986-),男,助理研究员,博士,研究方向为含油气盆地地质构造。E-mail:weiwei29100591@163.com。

trolled the cap rock rift system by affecting gravitational detachment fault balance point. Studies show that former Paleogene basement rift twist controlled and affected the formation of concealed fault zone in the cap rock in three forms: direct transmission, regulatory transmission and indirect transmission. Deep buried faults cut into the basement, facilitating heat transfer to accelerate the maturity of source rock. Concealed fault zones in the cap rock controlled the formation and the distribution of the sedimentary system and disguised traps. The viewpoint of concealed fault zone enriches structural geology theory and provides a new understanding for oil and gas exploration.

Keywords: concealed fault zone; basement fault activity; flower structure; accommodation structure; decollement structure; hydrocarbon accumulation

盆地基底先存断裂走滑活动引起沉积盖层断裂的产生过程是:早期发育弱雁列式裂缝,裂缝密度和规模扩大;中期主断裂面(P断裂)断续出现,主断裂面贯通;后期主断裂面错动。盆地盖层断裂的形成是裂缝稀疏、裂缝密集、裂缝扩大、裂缝贯通的过程^[1-3],也是断裂带变形由弱到强,主断面从无到有,由隐性到显性的过程。现在能够识别的断层绝大多数属于显性断层,即具有显著的位移和明显的断裂面(带)。断裂发育早、中期的隐性断裂带(断裂趋势带)应该是沉积盆地客观存在的构造现象^[4-5]。从成因上分析,隐性断裂带是区域或局部构造应力场、基底断裂走滑、基底差异升降、地块(潜山)旋扭等因素影响下在沉积盆地盖层中产生的弱变形断裂趋势带。隐性断裂带是沉积盆地盖层中普遍存在的一种断裂构造,属于断裂形成演化初期或中期阶段的产物,一般没有明显的断裂面,有断裂面时往往呈线状断续分布,时隐时现,断裂带与周围未变形的正常地层呈渐变过渡关系,一般通过线状分布的次级构造等特征进行识别。笔者在前期对苏北盆地^[6]和渤海湾盆地隐性断裂带^[7-8]研究基础上,在歧口凹陷识别出基底断裂走滑型隐性断裂带,并对其特征、形成机制、控藏作用等问题进行探讨。

1 地质概况

歧口凹陷位于黄骅拗陷中区,面积约 5 280 km²。该凹陷被长约 250 km 的渤西海岸线分成西侧的陆上地区和东侧的海域地区。凹陷受北北东、北东和东西向断裂的控制,具有伸展断陷特征。近南北向发育的兰聊走滑断裂从凹陷基底穿过,使得凹陷区内的走滑活动十分活跃^[9]。歧口凹陷构造单元包括歧口主凹、板桥次凹、歧北次凹、歧南次凹 4 个负向构造单元,北大港潜山、南大港潜山、滨海一号断裂构造带、埕北断阶带 4 个正向构造单元,呈现东西分带,南北分块的构造格局。沉积盖层历经了古近纪裂陷期和新近纪拗陷期两个演化阶段,地震、钻井资料显示,歧口凹陷地层由前古近纪基底和

新生代盖层构成,新生代盖层包括古近系沙河街组和东营组、新近系馆陶组和明化镇组。

2 歧口凹陷隐性断裂带的存在依据

2.1 隐性断裂带形成的力学机制

Moley 等^[10]应用三轴应力莫尔圆阐述了先存断裂(上覆盖层)和先存薄弱带活动形成显性断裂带需要满足的力学条件^[5],该准则适用于判断非均匀变形域中的任何先存构造的活动性。基底隐伏断裂重新活动的条件是沿断层的剪应力 τ_n 超过 C (抗剪强度),因此在应力场作用下隐性断裂带的形成演化本质上是一个力学问题。应力摩尔圆代表一点的应力状态,岩石破裂的应力莫尔圆为临界摩尔圆,其共切包络线为破裂包络线。图 1 中, a 代表具有统一破裂面的断裂,属于显性期; c 为基底隐伏断层起始活动线,上覆盖层开始发生破裂,形成裂隙,盖层中的断裂带属于隐性期; ac 之间的矩形区域代表基底断裂活动强度渐增形成的薄弱带; b 代表薄弱带破裂线,该时期以后断裂带内部的裂隙和小断层开始扩展,连接形成较大规模的断裂,趋向于显性(图 1)^[10]。

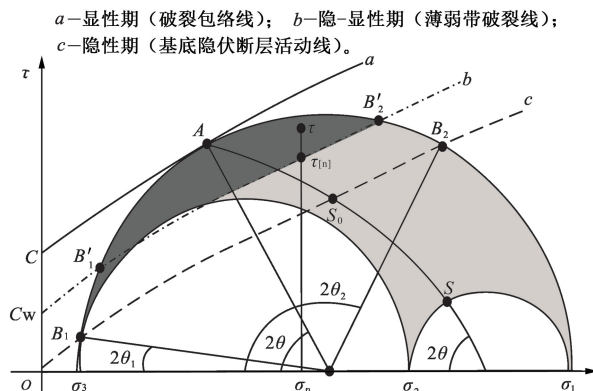


图 1 隐性断裂带形成演化的三轴应力莫尔圆图解

Fig. 1 Three-axis stress Moore diagram of non-coordination criteria

2.2 歧口凹陷基底结构与构造格局

歧口凹陷隐性断裂带两侧显示出完全不同的航磁异常特征:左侧的鲁西基底表现为变化复杂的高

值异常区,总体表现为 NE 走向的地质块体;右侧太行山基底以 NNE 向和 NE 向的开阔正负交替的低值区为特征(图 2(a))。在歧口凹陷之下是鲁西、太行山、燕山三大结晶基底的“三联点”部位,这种特殊的构造位置正如 Morley^[10]所述的薄弱带,在区域应力场作用下易发生扭动,长期弱活动或者

局部岩性不均匀可以形成隐性断裂带。隐性断裂带两侧的潜山、凹陷呈雁列式错位分布于隐性断裂带两侧(图 2(b)),西部表现为板桥次凹—北大港潜山—岐北次凹—南大港潜山—岐南次凹构成的隆—凹相间格局,东侧的歧口凹陷表现为地堑式的结构。

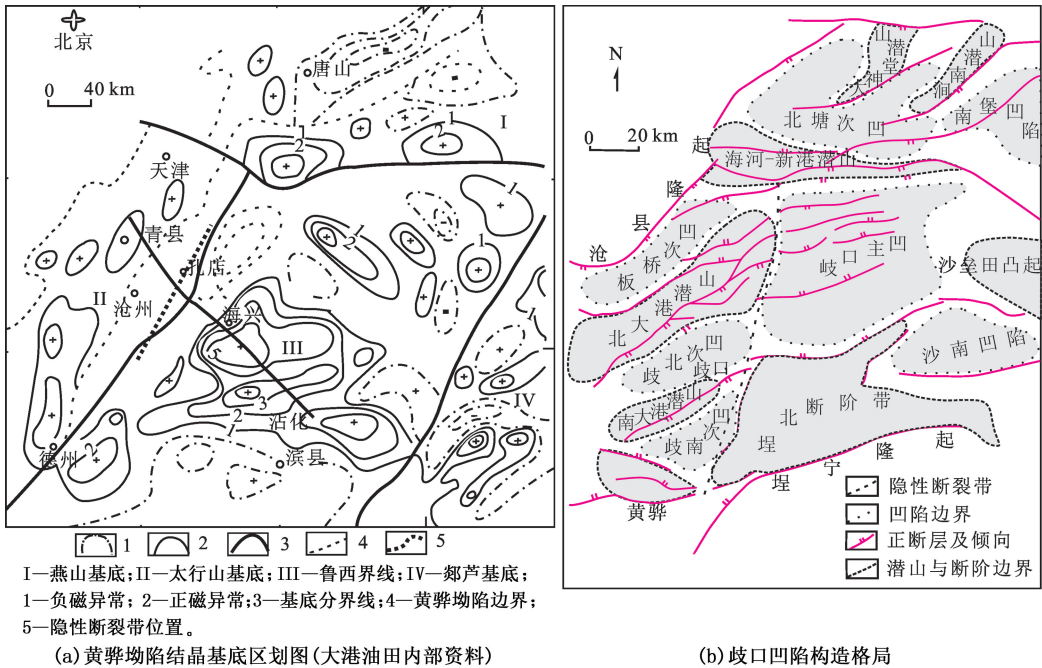


Fig. 2 Basement structure and tectonic framework in Qikou Sag

2.3 切片资料反映的线状带

歧口凹陷相干体切片显示深部存在一条呈北北东向展布的“S”形走滑断层(图 3(a)),表现为相关

系数很低的暗色条带,浅部相干体切片反映暗色条带呈线状断断续续分布(图 3(b)),依稀可以识别。

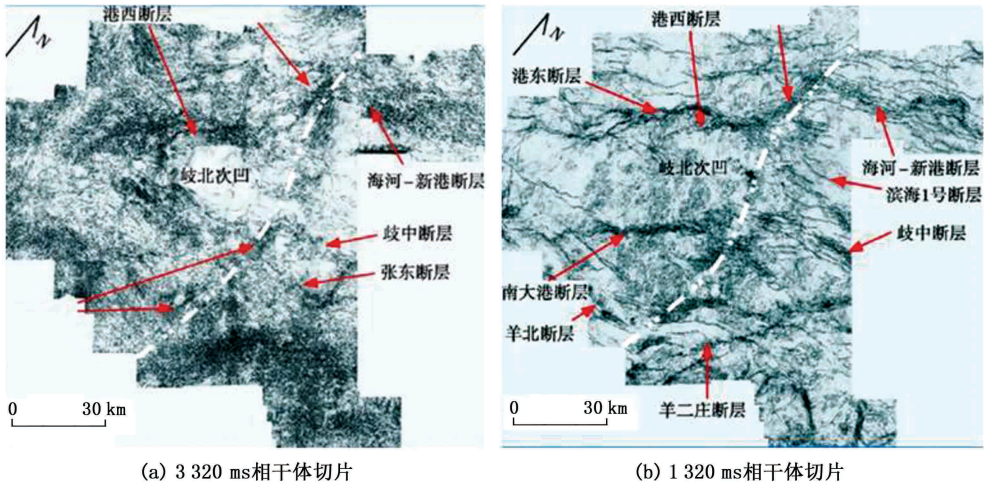


图 3 切片资料反映的隐性断裂带

Fig. 3 Coherent slice of subtle fault zones

2.4 小型显性构造分布揭示的隐性断裂带

歧口凹陷隐性断裂带两侧的次级构造具有以下特点:断层倾向相反,走向突变(西侧北北东,东侧

近东西向)(图 4,据文献[11]略改);两侧断层叠覆量较小,沿着隐性断裂带走向发育一系列的中低幅度凸起(4~8 km)呈雁列式展布。

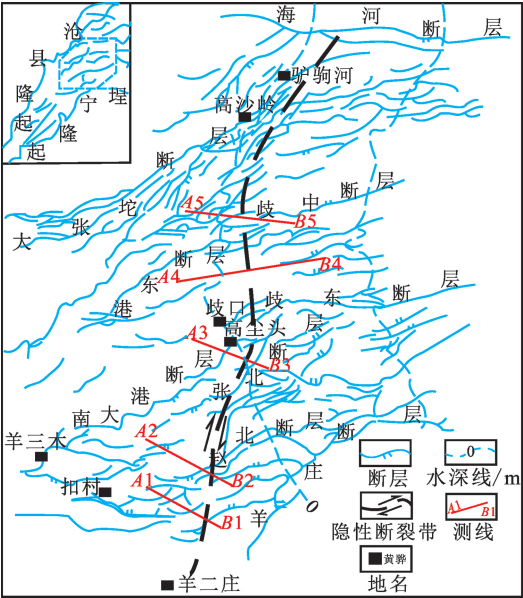


图4 歧口凹陷断裂分布与构造位置

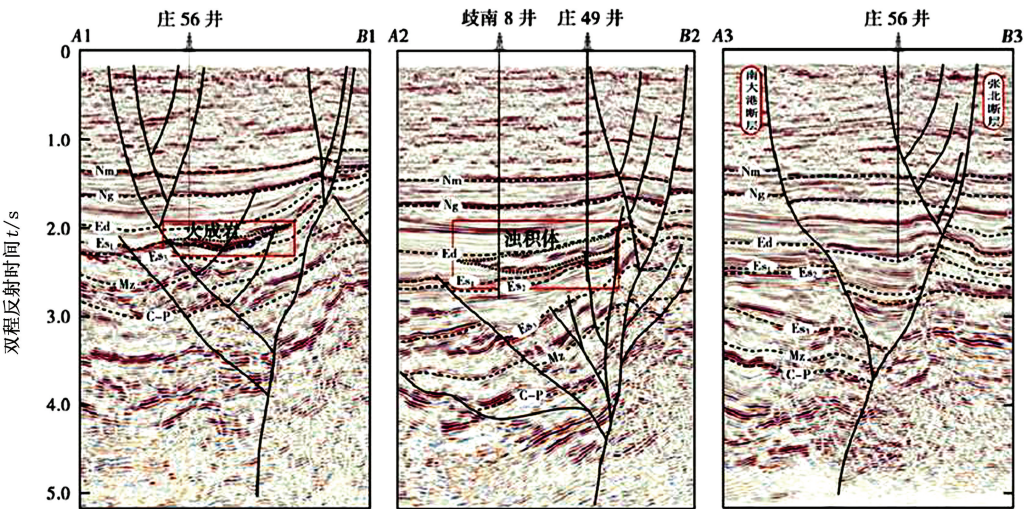
Fig.4 Fault distribution and tectonic location in Qikou Sag

3 隐性断裂带特征

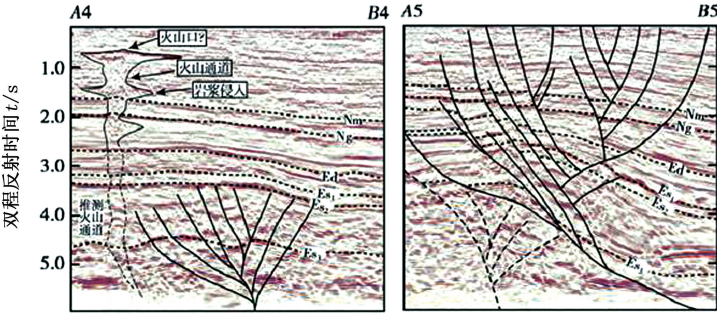
根据基底断裂与盖层断裂体系的断裂发育特征可以将歧口凹陷隐性断裂带分为南、中、北3段,南段为基底与盖层垂向连接的直接传递带,中段为盖层发生挠曲变形的调节传递带,北段则为基底断裂通过触发滑脱断层,控制盖层构造变形形成的间接传递带。

3.1 南段直接传递带

位于羊二庄断层与南大港断层之间的段落,基底抬升较大,基底走滑断层埋深浅,对盖层变形影响显著。隐性断裂带两侧的显性断裂走向变化不显著,断层倾向截然相反。古近系基底中发育典型的负花状构造,并在深部逐渐收敛为一条陡直向下延伸的断层(图5(a)左图);古近纪主干断层活动性较强,上部盖层沉积物较松散,新近系花状构造主断层内侧发育一系列“Y”字型或反“Y”字型构造样式,



(a) 隐性断裂带南段剖面特征



(b) 隐性断裂带中段剖面特征

(c) 隐性断裂带北段剖面特征

图5 隐性断裂带剖面特征

Fig.5 Profile feature of concealed fault zones

并在每个“Y”字型构造中形成小背斜(图5(a)中图),平面上呈雁列式展布,同时伴有岩浆活动和滑塌浊积体发育。张北断层与南大港断层夹持的古近系与新近系呈镜像关系(图5(a)右图),褶皱轴向的倾斜反映了基底扭动作用向盖层的直接传递作用(图6(a))。

3.2 中段调节传递带

中段为歧东与港东断层之间的菱形区域,隐性断裂带两侧断层走向变化显著,西侧断层为NE走向S倾向,东侧断层为近东西走向N倾向。深部主干走滑断层根部插入基底、断面陡直、局部断面弯曲不规则,总体向上撒开呈“花状”、上正下逆等特点(图5(b))。隐性断裂带形成于古近系,古近系表现为较为宽缓的花状构造,变形带从深部的断端开始变形,向上传递逐渐变宽。沙二段时期活动强度开始减弱,新近系则表现为大型斜向挠曲变形带。从其对不同构造单元的伸展量、沉降量、两侧断层的

产状、走向、倾向以及地层厚度的影响看,中带是具有调节性质的隐性断裂带(图6(b))。

3.3 北段间接传递带

主要指港东断层以北的区域。隐性断裂带两侧形成港西断裂、港东断裂、唐家河断裂、白水头断裂、长芦断裂等显性断裂。剖面上发育密集的南东倾向断层,收敛于主断层,并在新生代底界面上发生滑脱;滑脱断裂系表现为上陡下缓的铲式几何形态,向深部有会聚的趋势。密集断裂带顺层进入滑脱带,由此导致断裂上部位移被调节消失而形成隐性断裂带。古近纪的变形基本都限定在区域性底滑脱界面上(图5(c)),在主滑脱带的上盘出现褶皱变形,而其下保持中生代末期的构造面貌,基本没有变形。滑脱面之上的褶皱被密集的重力滑脱断层破坏,古近纪以来的伸展作用使早期的逆断层改造成为正断层,导致本区浅部断层多为正断层,深部为逆断层,浅部断层断距具有较强的隐蔽性(图6(c))。

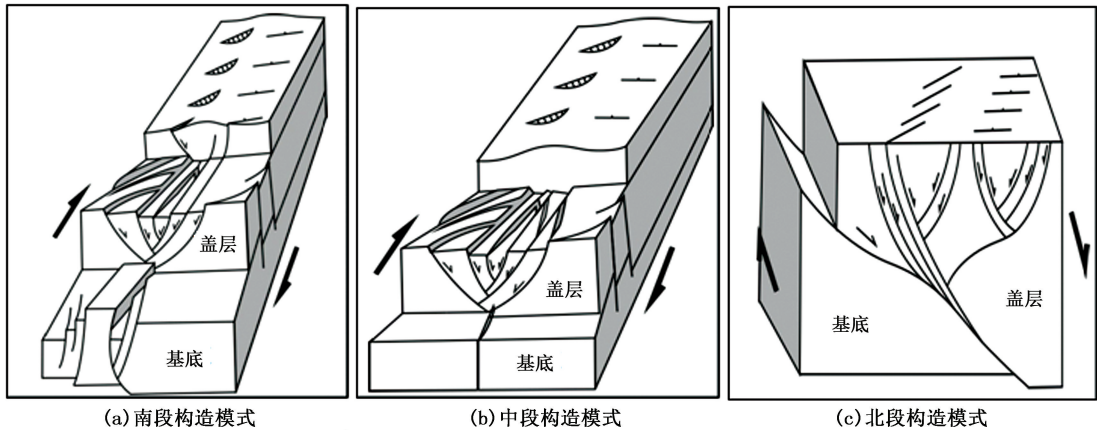


图6 歧口断裂趋势带的3种构造模式

Fig. 6 Three structure models of concealed fault zones in Qikou Sag

4 隐性断裂带的形成机制及演化特点

新生代太平洋板块由NW向俯冲转为近EW向俯冲,使中国大陆东部处于右旋张扭的应力场之下^[11],总体上隐性断裂带的构造组合特征受到深部向北隐没的基底右旋走滑断裂活动的控制。隐性断裂带由南向北不同的构造变形特征反映了基底断裂活动性的不同传递方式,在统一的张扭应力场作用下,影响了盆地演化过程中伸展位移的分配方式,从而形成隐性断裂带。

一般来说,隐性断裂带形成演化可以划分为不同的阶段,并且具有多种特点。有些隐性断裂带虽然经历了长期发育,但始终处于早期阶段,如鄂尔多斯盆地的隐性断裂带^[5],尽管基底断裂长期升降活动,隐性断裂带规模巨大,但活动量小,构造变形微

弱,一直处于早期演化阶段;还有一些规模较小但演化程度较高的隐性断裂带,如东营凹陷南斜坡八面河构造带,油气分布呈串状,说明P断面已连接贯通,演化程度已接近显性^[12]。歧口凹陷隐性断裂带具有演化程度不均匀的特点,垂向上深部呈显性而浅部表现为隐性特征,走向上“隐”“显”交替分段发育或“时显时隐”,如南段的张北断层为显性发育段(图4),中、北段则呈“隐性”。上述的成因机制及演化特点揭示了基底断裂活动性对盖层变形的控制作用,这与前人提出的“基底—应力—应变”^[13]、“先存构造活动性”^[10]等认识是一致的。

5 对油气聚集的控制作用

基底断裂控制了烃源岩形成和分布,盖层中的隐性断裂带控制了沉积体系和隐蔽性圈闭的形成与

分布。油气在歧口凹陷沿岸带聚集的构造本质是基底断裂与盖层隐性断裂带的耦合控藏效应。

5.1 对沉积储层的控制作用

隐性断裂带控制了大量的雁列式、断续状小断层带的形成和分布,二者形成切割、连接等组合关系,剖面上表现为断阶、地堑等小构造形成断裂破碎带,河道极易取其走向冲刷下切,沿着隐性断裂带走向形成沉积物卸载区。

歧口凹陷隐性断裂带控相作用明显,其中南段基底断裂活动较强,盖层中形成了张北显性断层,隐性断裂带向北以左阶雁列式展布,最北端可以延伸至大神堂断层转折端。沙三段扇三角洲伸展进入湖盆^[7],物源水系携带大量的砂体沿着雁列状展布的隐性断裂带沉积下来。

5.2 对隐蔽圈闭的控制作用

隐性断裂带上主要形成了4种类型的隐蔽性圈闭。一类是基底断裂活动在盖层中形成的断续分布的NNE向小断层,它们被限制在近NE向显性断层之间组合构成的交叉型隐性断块圈闭。如歧55、85断块。第二类是NE向与NNE向隐性断层联合形成弧型隐性断块圈闭,如歧南9X1断块。需要指出的是,尽管上述两种圈闭具有隐性断裂带控制的构造背景,但圈闭成因应该受岩性和构造双重控制。例如歧南9X1井钻探揭示该井沙三段油藏高度达120 m,其上倾方向的断层断距仅为30~40 m,很难封堵如此高的油气藏,故推测还受岩性的控制。第三类是砂岩差异压实或者构造活动强度较低的情况

下形成的微构造圈闭,该类圈闭幅度低,含油高度一般较小,如隐性断裂带上的港深33断块。第四类两种走向的断层都不发育,仅形成一些低幅度坡折带控制的岩性上倾尖灭圈闭,如北大港南翼联盟地区的沙一下板2+3油组,这是隐性断裂带对古地貌改造而形成的一类隐蔽性圈闭。

5.3 隐性断裂带控藏模式

基底断裂活动强度和方式控制着烃源岩热演化和分布、储集层物性、圈闭发育程度以及输导条件,进而影响了油气聚集分布规律。根据渤海湾盆地歧口隐性断裂带南、中、北段基底断裂的活动强度及活动方式建立了3类油气垂向分布模式:①三层聚集式。基底断裂走滑并伴有垂直升降运动,花状构造的根部及分支都可以作为油源断裂,具备较好的圈闭、输导及动力条件。深部层系可以形成基岩潜山油气藏、裂缝油气藏和不整合油气藏,古近系形成大量的断鼻、断块、断背斜油气藏,新近系断鼻、断块油气藏呈雁列状含油断块圈闭聚集模式或者带状含油断块圈闭聚集模式,垂向上形成复式油气聚集带(图7(a)),也可称为三明治式垂向分布模式。②夹层聚集式。基底断裂弱走滑活动,沟通新近系的油源断层不发育(图7(b)),新近系具有较好的封盖条件,油气具有向古近系富集的规律,也可称为馅饼式垂向分布模式。③盖层聚集式。基底断裂斜向滑动,具有较好的烃源岩条件和储集层条件(图7(c)),且垂向上具有较好的输导性,油气主要向新近系富集,也可称为披萨式垂向分布模式。

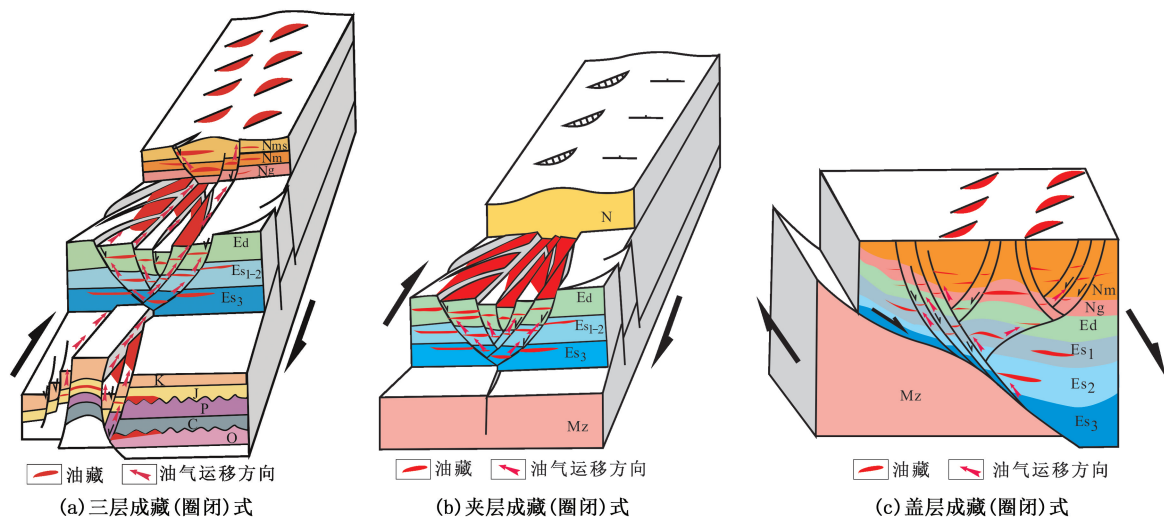


图7 隐性断裂带控藏模式

Fig. 7 Hydrocarbon accumulation model of concealed fault zone

盆地沉积盖层隐性断裂带的观点解决了弱变形断裂带存在与否、如何识别、形成演化、结构与分布等构造地质学难题。目前,渤海湾盆地已经识别出

的显性断裂应属于断裂趋势带进一步演化阶段的产物。提出了断裂构造新类型——隐性断裂带(断裂趋势带),是断裂形成演化早期变形较弱阶段的构

造现象。它没有统一的断裂面,平面上的主要特征是雁列状断层密集带或断续分布的次级断层,剖面上自上而下次级断层变形增强,规模增大,连续性增加。这一认识对未来成熟探区、陆上新盆地、近海海域及非常规等油气勘探领域具有重要指导意义。

6 结 论

(1)隐性断裂带(断裂趋势带)是指盆地沉积盖层内发育的弱变形(隐蔽性较强)构造带,属于断裂带形成演化早、中期阶段的产物,具有重要的控藏作用。

(2)多种证据揭示了隐性断裂带的存在依据,按照基底断裂与盖层断裂的构造特征可以将隐性断裂带分为南段直接传递带、中段的调节传递带和北段的间接传递带。

(3)南段直接传递带的隐蔽性机制为强烈扭动形成的断裂破碎带;中段主要为调节作用和反转作用;北段主要为滑脱的深部收敛作用以及反转作用。

(4)基底断裂分段活动控制了歧口凹陷 NNE 向盖层隐性断裂带的形成以及油气的富集和分布,沉积盆地中的这些隐性断裂带应该是未来油气勘探值得重视的领域。

参考文献:

- [1] ATMAOUI N, KUKOWSKI N, STOCKHERT B, et al. Initiation and development of pull-apart basins with riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments [J]. International Journal of Earth Sciences, 2006, 95 (2): 225-238.
- [2] BELLAHSEN N, DANIEL. Fault reactivation control on normal fault growth: an experimental study [J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27: 769-780.
- [3] DOOLEY T P, SCHREURS G. Analogue modelling of intraplate strikeslip tectonics: a review and new experimental results [J]. Tectonophysics, 2012, 574: 1-71.
- [4] 胡素云,蔚远江,董大忠. 准噶尔盆地腹部断裂活动对油气聚集的控制作用 [J]. 石油学报, 2006, 27 (1): 1-7.
HU Suyun, WEI Yuanjiang, DONG Dazhong. Control of fault activity on hydrocarbon accumulation in central Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27 (1): 1-7.
- [5] 汪泽成,赵文智,门相勇,等. 基底断裂“隐性活动”对鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏的作用 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32 (1): 9-13.
WANG Zecheng, ZHAO Wenzhi, MEN Xiangyong, et

al. Control of basement faule minor-activity on gas pool formation of upper paleozoic, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32 (1): 9-13.

- [6] 王伟锋,周维维,李亚辉. 金湖凹陷隐性断裂带形成机制及分布 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44 (5): 1395-1405.
WANG Weifeng, ZHOU Weiwei, LI Yahui. Formation mechanism and distribution of buried fault zones in the Jinhu sag [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44 (5): 1395-1405.
- [7] 周维维,王伟锋,安邦,等. 渤海湾盆地隐性断裂带识别及其地质意义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2014, 42 (11): 1527-1538.
ZHOU Weiwei, WANG Weifeng, AN Bang, et al. Identification of covert fault zones and its geological significance in Bohai bay Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2014, 42 (11): 1527-1538.
- [8] 周维维,王伟锋,安邦,等. 渤海湾盆地隐性断裂带成因类型特征及其对油气聚集的控制作用 [J]. 天然气地球科学, 2014, 25 (11): 1727-1733.
ZHOU Weiwei, WANG Weifeng, AN Bang, et al. Genetic types of covert fault zone and its significance on hydrocarbon accumulation [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25 (11): 1727-1733.
- [9] 卢刚臣,吴振东,李玉海,等. 渤海湾盆地歧口凹陷扭动构造及其油气地质意义 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2012, 37 (4): 825-832.
LU Gangchen, WU Zhendong, LI Yuhai, et al. Characterization and petroleum geological significance of the wrench structure in the transtensional region: a case from Qikou sag [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2012, 37 (4): 825-832.
- [10] MORLEY C K, HARANYA C, PHOOSONGSEE W, et al. Activation of rift oblique and rift parallel pre-existing fabrics during extension and their effect on deformation style: examples from the rifts of Thailand [J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26: 1803-1829.
- [11] 祁鹏,任建业,史双双,等. 歧口凹陷沿岸带新生代构造特征及其形成机制 [J]. 石油学报, 2010, 31 (6): 900-904.
QI Peng, REN Jianye, SHI Shuangshuang, et al. Features of the cenozoic structure of the coastal zone in Qikou sag and its formation mechanism [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31 (6): 900-904.
- [12] 吴孔友,瞿建华,王鹤华. 准噶尔盆地大侏罗沟断层走滑特征、形成机制及控藏作用 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38 (5): 41-47.

- WU Kongyou, QU Jianhua, WANG Hehua. Strike-slip characteristics, forming mechanisms and controlling reservoirs of Dazhuluogou fault in Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2014, 38(5):41-47
- [13] LI Sanzhong, ZHAO Guochun, DAI Liming, et al. Cenozoic faulting of the Bohai bay basin and its bearing on the destruction of the eastern north China Craton[J]. Journal of Asian Earth Science, 2012, 47:80-93
- [14] 蒋有录,刘培,刘华,等. 渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及其聚集模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(1):14-21.
- JIANG Youlu, LIU Pei, LIU Hua, et al. Difference of reservoir forming conditions of different depressions and accumulation models of neogene hydrocarbon in Bohai bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(1):14-21.
- [15] 罗霞,朱筱敏,方旭庆,等. 济阳坳陷地震泵作用与新近系大油田高效形成[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(2):32-37.
- LUO Xia, ZHU Xiaomin, FANG Xuqing, et al. Relationship between seismic pumping and big oilfield formation of neogene in Jiyang Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(2):32-37.

(编辑 修荣荣)