

东营凹陷新生代扭张构造样式及控藏规律

张伟忠^{1,2}, 查明¹, 张云银², 陈程³, 曲志鹏², 张林², 高平²

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司物探研究院, 山东 东营 257022; 3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100071]

摘要:在精细构造解释的基础上,采用地层切片、地震相干等技术手段,系统解剖扭张构造基本特征,明确扭张构造样式及其分布规律,并建立了扭张构造的控藏模式。研究表明,东营凹陷新生代共发育王家岗、八面河、高青、青西以及郝现等11个扭张构造带。依据断层平面、剖面组合特征及地层变形特征,对这11个扭张构造进行了分类研究,该地区主要发育帚状-半花状、雁列-树形花状及侧接-卷心式花状3种类型的复合构造样式。帚状-半花状扭张构造分布于盆地的陡坡带,雁列-树形花状扭张构造分布于斜坡带,侧接-卷心式花状扭张构造分布于凹陷的中央隆起带。这3种扭张构造样式控制了不同的圈闭类型,并形成了帚状两段式、雁列分割式以及侧接弧形式的成藏模式。

关键词:扭张构造;构造样式;成藏模式;新生代;东营凹陷

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Cenozoic transtensional structural styles and their controls over hydrocarbon accumulation in Dongying Depression

Zhang Weizhong^{1,2}, Zha Ming¹, Zhang Yunyin¹, Chen Cheng³, Qu Zhipeng², Zhang Lin², Gao Ping²

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China;

2. Geophysical Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257022, China;

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100071, China]

Abstract: Various methods including stratigraphic slicing and seismic coherence are adopted based on fine interpretation of seismic data to analyze the styles and distribution patterns of transtensional structures and their controls over hydrocarbon accumulation in Dongying Depression. The results show that there are at least 11 transtensional structural belts, including Wang Jiagang, Ba Mianhe, Gaoqing, Qingxi, Haoxian and etc. They can be categorized into three types of compound structures according to the features of fault complexes on map and section and the characteristics of formation deformation there; the broom-half-flower transtensional structure, the en echelon-tree-shaped flower transtensional structure and the juxtaposed-curved flower transtensional structure. The first style is mostly found in the steep slope of the basin, the second one is mainly observed in the slope of the basin and the last style is distributed in the central uplift belt of the depression. The three styles controlled the trap types, and formed their own individual types of oil and gas accumulation.

Key words: transtensional structure, structural style, accumulation pattern, Cenozoic, Dongying Depression

扭张构造是指以伸展作用为主,叠加走滑作用的构造形式。20世纪70年代Freud提出了扭张(transtension或divergent strike-slip)的概念,并且将走滑扭动作用引入来解释油气的圈闭、盆地及造山带的演化,之后众多国外学者开始对扭张构造开展研究^[1-5]。国内学者在20世纪90年代将“扭动构造”引入到地质构造研究中,

逐步形成了“东张、西压兼有扭性”的认识^[6]。近年来随着各种地质资料的不断丰富以及对郯庐断裂与动力学机制研究的深入,研究人员逐渐认识到郯庐断裂对渤海湾盆地及其中各个次级凹陷构造形成演化具有重要的影响^[7-9]。目前在渤海湾盆地的渤海海域、临清凹陷、东营凹陷和惠民凹陷等证实发育有张扭构造。

收稿日期:2016-02-22;修订日期:2017-10-20。

第一作者简介:张伟忠(1985—),男,博士研究生、工程师,地质资源与地质工程。E-mail: zhangwzh258_slyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化重点科技攻关项目(P15084);中国石化胜利油田分公司科研项目(YKK1512)。

东营凹陷内的张扭构造研究仅集中在局部地区^[10-17],尚未系统性地从整个凹陷角度开展扭张构造的静态特征及控藏规律研究。在已发现的扭张构造带中,均具有多层系含油特点,因此明确扭张构造带基本特征,解剖控藏规律具有重要的实际勘探意义^[18-20]。

1 地质概况

东营凹陷位于渤海湾盆地的东南部,是济阳拗陷内的一个次级构造单元。北部以断陷方式接触滨县凸起和陈家庄凸起,南部以超覆方式接触鲁西隆起和广饶凸起,东部靠近郯庐断裂带,向西为青城凸起(图1)。

中生代早期,在燕山运动作用下,东营凹陷内形成了北西向的构造格局,发育了滋镇,石村小营-阳信,罗西-陈南等几条大的北西向断裂^[21]。到中生代晚期,西太平洋板块由斜向俯冲转为正向俯冲,使中国东部大陆下出现了软流圈上涌、岩石圈拆沉,产生大量区域性北东向的大断层,从而造成了大规模的断陷,郯庐断裂带也由左旋变为右旋。经多期构造运动的叠加,以早期中生代北西向构造格局为基础,形成了八面河、王家岗、高青等11个具有扭张构造特征的构造带。

2 扭张构造样式特征

2.1 断层组合样式

通过对大量地震剖面的解释和对比,解剖相干体

及其他属性体的水平切片及地层切片,将东营凹陷扭张构造平面组合样式划分为雁列式、帚状和侧接式等3种类型,剖面组合样式划分为半花状、树形花状及卷心式花状3种类型(图2)。

2.1.1 断层平面组合样式

雁列式扭张构造样式发育于东营凹陷缓坡带金家、柳桥、石村、王家岗以及八面河等地区。由规模相同、性质相同、走向大体一致的断层组合而成,平面上呈雁列式展布。依据构造带旋向和力学性质,雁列式扭张构造有左旋和右旋两种类型。右旋扭张构造以王家岗和八面河构造带最为典型,左旋扭张构造以王66和石村小营构造带为代表。

帚状式扭张构造主要发育于东营凹陷陡坡带高青、青西和利津地区。平面上,由若干条弧形弯曲的次级断层与同向弯曲的高级别主干断层相交组合而成。从构造带旋向和力学性质上也可以分为北东向右旋和北西向左旋两种类型,其中高青地区扭张构造带是典型的北东走向右旋构造带,青西地区扭张构造则是北西走向左旋构造带的代表。

侧接式扭张构造发育于凹陷带内郝现地区,介于雁列式与帚状式之间,与帚状构造不同的是主干断裂不发育,雁列式展布的同级别次级断层呈弧形弯曲,同一侧互相搭接形成“主断层”,构成似帚状构造。剖面上形成典型的负花状构造。侧接式组合易与帚状组合混淆,主要的判断依据是是否发育主控断层。

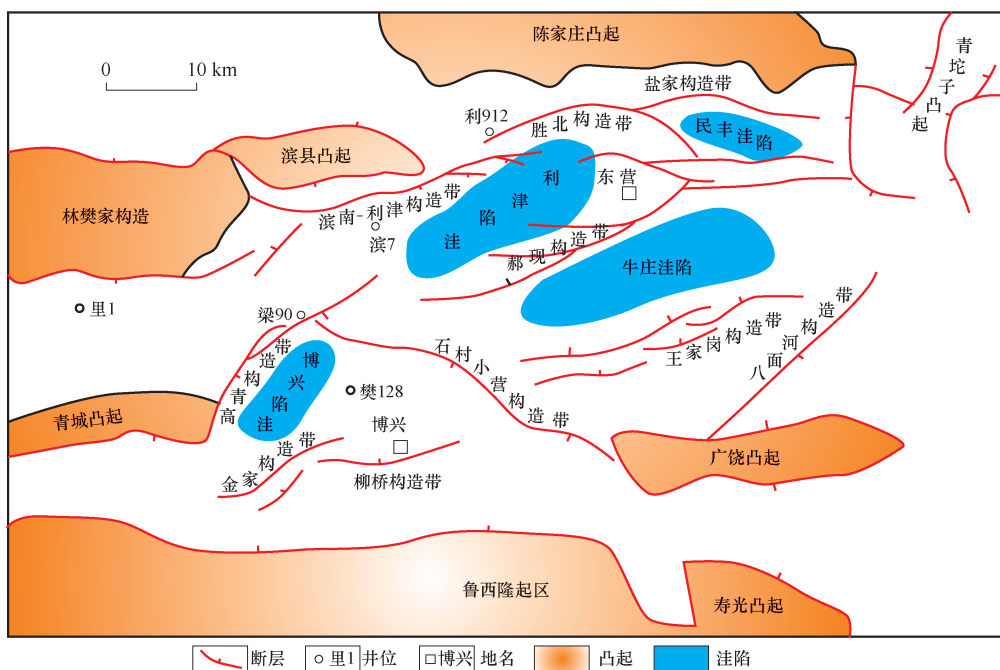


图1 东营凹陷主要构造带平面分布特征

Fig. 1 Distribution of the major structural belts in Dongying Depression

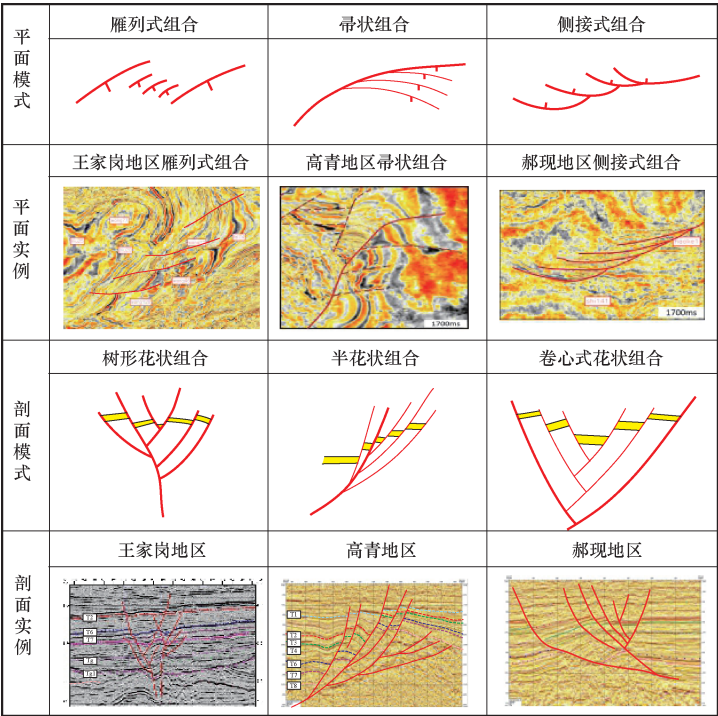


图 2 东营凹陷扭张构造断层组合样式
Fig. 2 Fault complexes of transtensional structures in Dongying Depression

2. 1. 2 断层剖面组合样式

半花状扭张构造发育在盆地陡坡带扭动特征较强的区域,发育 1~2 条先存断裂,先存断裂一侧次级断裂较为发育,且次级断裂与先存断裂依次相交,组成花状构造的一半,称为半花状构造。高青地区断裂带是典型的半花状构造,主动盘一侧为新生代地层,塑性强,次级断裂发育少。被动盘一侧是中生代和古生代地层,脆性强,次级断裂发育多,在扭动和拉张叠加应力场的作用下,先存断裂持续活动,最终形成了半花状构造。

树形花状构造发育在盆地的斜坡带,发育 1~2 条主断层,且主断层倾角大,近乎直立。次级断层在主断层顶部依次相交,形成树形花状构造。王家岗和八面河断裂带在剖面上就是典型的树形花状构造,构造带两侧地层均有一定的运动距离,且强度基本一致,地层厚度也基本相同。树形花状构造样式反映了扭动强度大,拉张强度弱的应力场特征。

卷心式花状构造发育在盆地的洼陷带,以郝现构造最为典型。一般发育在上构造层,无主控断层,两组级别相近,倾向相反的低级别断层依次交切,形成类似于卷心菜式的花状构造,反映了盆地晚期强走滑弱拉张的应力场特征。

2. 2 地层变形样式

扭张构造除了在垂向上的变形构造,也包含了水

平方向上一系列区别于拉张构造的变形特征^[22-23]。通过多个构造带的细致解剖,将东营凹陷扭张构造的地层变形特征分为了拖曳变形、错断变形及伴生断层等 3 种类型(图 3)。

拖曳变形样式又可以分为主动盘拖曳变形和两盘拖曳变形两种形式。拖曳变形样式常见于雁列及侧接扭张构造样式中。主动盘拖曳变形样式是扭张构造主动盘沿水平方向运动的塑性变形结果,沿主动盘的运动反方向具有拖曳的特征。这种变形样式是由于两盘的主次运动及塑性强度的差异造成的,一般发育在断距较大的次生断层下降盘。两盘变形样式是指沿断面两侧具有较窄的地层塑性变形带,两盘地层均有一定的变形特征,地层的变形方向与本盘的运动方向相反。这种变形特征反映了构造带两侧具有相同程度的动力学特征,应力场特征也基本一致。

错断变形是指受两盘水平运动的影响发生脆性错断的一种变形样式。这种变形样式并未发生拖曳变形,反映了断层的晚期活动特征,常见于雁列式扭张构造样式中。错断变形样式可以分为地层错断变形和断层错断变形。地层水平错断是扭张构造典型的变形特征,也是较难识别的一种变形样式,这主要是由于相当层难以识别。在柳桥地区通过井震结合的方法明确了相当层的位置,识别出了地层错断变形样式,也进一步证明了柳桥构造带的扭张特征。断层错断变形相对较易识别,早期发育的断层受到晚期断层的切割作用,发

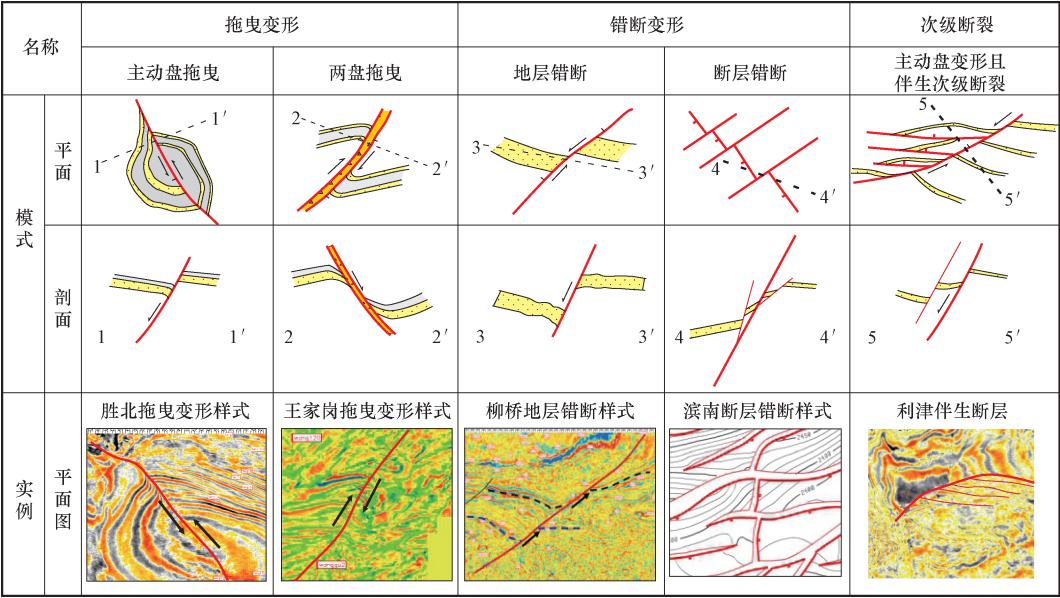


图 3 东营凹陷扭张构造地层变形特征

Fig. 3 Formation deformation characteristics of the transtensional structures in Dongying Depression

生水平错断,反映了多期断裂的叠合发育特征。

伴生断层样式是指在主动盘一侧受到地层加厚及拉张应力的作用形成了多条与主断裂相交的次级断层,同时也一般会伴生拖曳变形构造。常见于帚状及侧接式扭张构造样式中。次级断裂变形是较易识别的变形样式,主动盘一侧往往对应深洼区,在重力及拉张应力的叠加作用下,形成多条近平行的次级断裂。

2.3 扭张构造带复合样式及分布规律

通过分析高青、金家、王家岗-八面河、柳桥、青西与利津等 11 个扭张构造的走向、旋向及构造样式的组合关系,结合区域构造应力场特征,总结出了帚状-半花状(右旋、左旋)、雁列-树型花状(右旋、左旋)及侧接卷心式花状(右旋)等 3 种主要类型的扭张构造复合样式(表 1)。

不同复合样式的扭张构造在盆地内部具有明显的分布规律,这主要是由于先存构造对区域应力场的调整,不同地区走滑强度和走滑-伸展作用配比关系差异性造成的(图 4)。北部陡坡带受到凸起基岩的限制及先存断裂走向的影响,主要发育北东向右旋帚状-半花构造样式,如高青帚状构造带与滨南利津的塑性拱津构造带。北西向左旋帚状-半花胜构造样式,如胜北构造带与青西构造带。中部凹陷带受到盐膏张及扭-张应力场的叠加作用,发育了右旋侧接-卷心式花状构造样式,如郝现构造带。南部缓坡带地层变薄,走滑强度变大,发育了北西向左旋雁列-树形花状构造样式,如石村小营构造带、王 66 扭张构造带;北东向的右旋雁列-树形花状样式,如柳桥扭张构造带、王家岗扭张构造带与八面河扭张构造带。

3 扭张构造样式控藏规律

3.1 控制圈闭类型

东营凹陷内扭张构造的复合样式控制了多样的圈

表 1 东营凹陷扭张构造带复合样式特征

Table 1 Characteristics of fault complexes of transtensional structural belts in Dongying Depression

构造名称	走向	旋向	平面样式	剖面样式	复合样式
高青	NE	右旋	帚状	半花状	右旋帚状-半花
金家	NE	右旋	雁列式	树形花状	右旋雁列-树形
柳桥	NE	右旋	雁列式	树形花状	右旋雁列-树形
石村	NW	左旋	雁列式	树形花状	左旋雁列-树形
王 66	NW	左旋	雁列式	树形花状	左旋雁列-树形
王家岗	NE	右旋	雁列式	树形花状	右旋雁列-树形
八面河	NE	右旋	雁列式	树形花状	右旋雁列-树形
利津	NE	右旋	帚状	半花状	右旋帚状-半花
郝现	NE	右旋	侧接式	卷心式花状	右旋侧接-卷心
胜北	NE	右旋	帚状	半花状	右旋帚状-半花
青西	NW	左旋	帚状	半花状	左旋帚状-半花

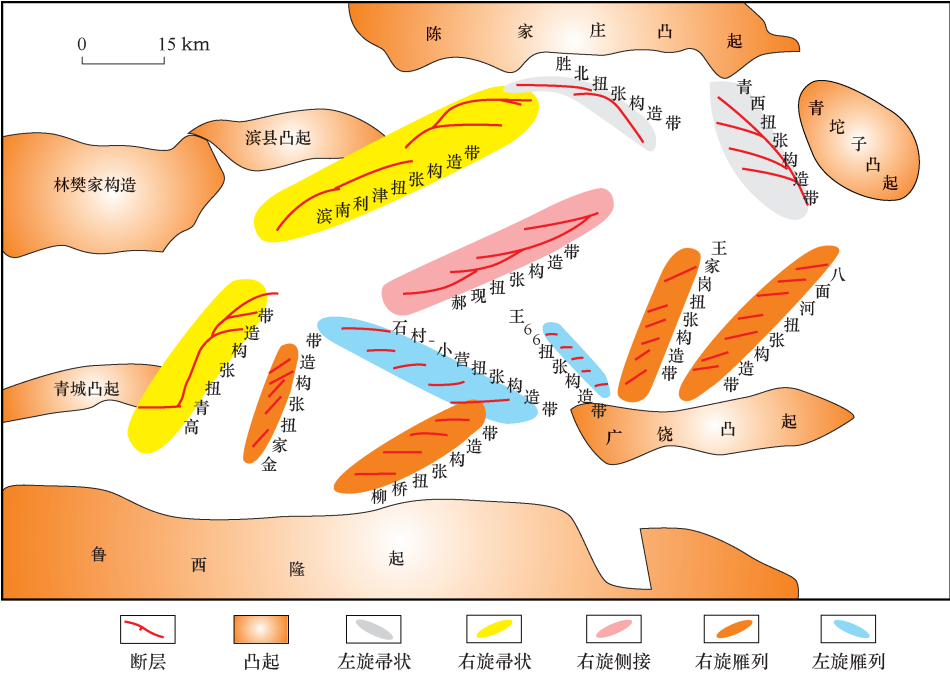


图 4 东营凹陷扭张构造带分布

Fig. 4 Distribution of the transtensional structural belts in Dongying Depression

闭类型(图 5)。帚状-半花状扭张构造样式收敛端与发散端控制的圈闭类型有差异,以高青为例,发散端各次级断层与主断层顺向依次发育,形成顺向断块圈闭,收敛端单条主断裂持续发育,下降盘发育水下扇为主的近岸沉积体系,形成构造-岩性圈闭。

以王家岗和八面河为代表的雁列-树形花状扭张构造中一般多发育断块型构造圈闭,常见堑垒断块及切割断块两种类型。堑垒断块由同向的雁列断层系与反向的次级断层组合而成,切割断块由两组雁列断层系相互切割形成,一组雁列断层由主扭应力场形成,断距大,另外一组雁列断层由次扭应力场形成,断距小,断层终止于主雁列断层系。

侧接扭张构造样式由早期发育的雁列式断层后期同侧逐渐搭接而形成,早期断层平面上表现为弧形特

征,在断距最大处发育有浊积砂、三角洲前缘砂等储层类型,与断层匹配形成构造-岩性复合型圈闭。

3.2 控制油气成藏模式

3 种扭张构造样式控制了不同类型的沉积相带及圈闭样式,而扭张构造的演化特征也控制了两段式、分割式及弧形等 3 种不同类型的成藏模式(图 6)。

3.2.1 帚状两段式成藏模式

帚状构造样式在发散端与收敛端具有不同的成藏模式,发散端一般为较缓的斜坡带,发育有扇三角洲,小型水下扇等沉积类型,储层发育。次级断层垂向连通性好,与砂体配置形成有效的油气运移通道,若上倾方向断层形成侧向封堵,则会形成多个断块油气聚集

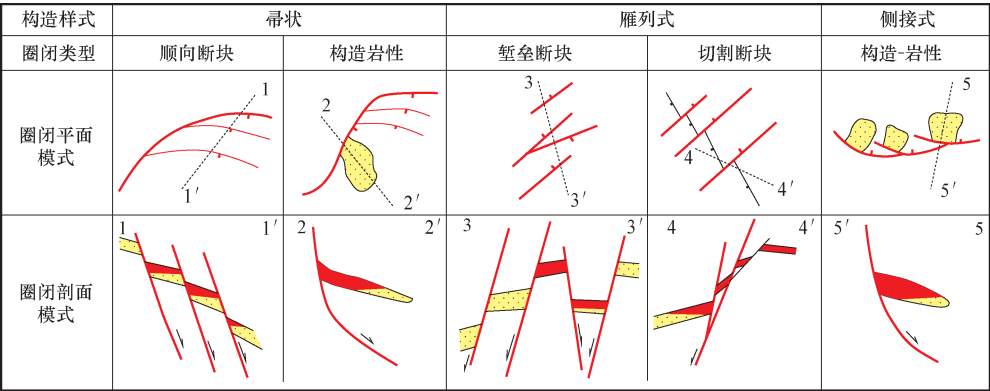


图 5 东营凹陷与扭张构造样式有关的圈闭类型

Fig. 5 Trap types associated with transtensional structural types in Dongying Depression

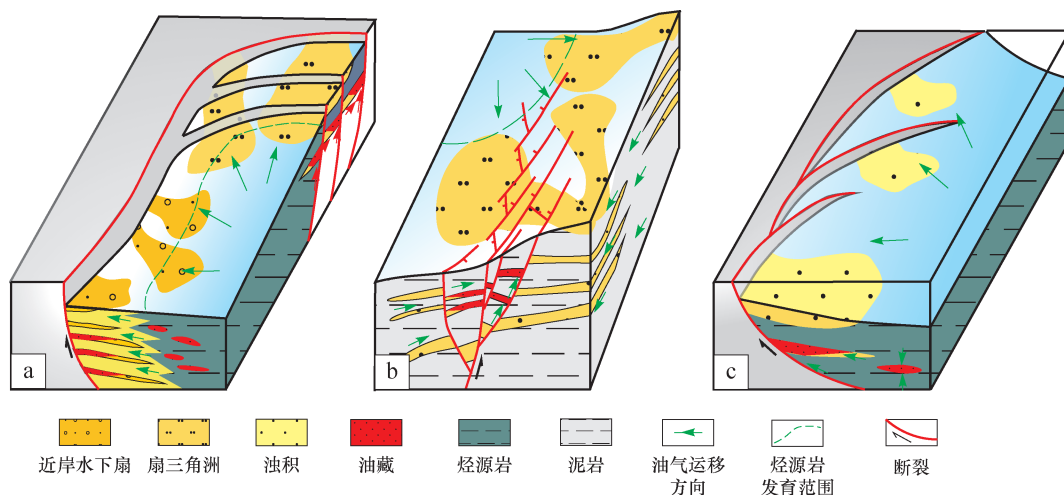


图6 扭张构造控藏模式

Fig. 6 Oil and gas accumulation patterns controlled by transtensional structures in Dongying Depression

a. 帚状两段式控藏模式;b. 雁列分割式控藏模式;c. 侧接弧形控藏模式

带。收敛端部位应力场特征以扭动为主,断面紧闭易形成断层侧向封堵,下倾方向往往紧邻生油凹陷,有利于来源于下倾方向的油气聚集。总之,帚状发散端以输导为主,油气侧向运移距离远;收敛端以封闭为主,油气近源聚集(图6a)。

3.2.2 雁列分割型成藏模式

雁列式扭张构造分布于东营凹陷的斜坡带,原地不具备生油条件,油气来源于北部的洼陷带。雁列式扭张构造一侧形成扭张凸起,一侧形成扭张沟谷,沟谷一侧控制了储层的发育。同时多期断裂相互切割,形成了堑垒、切割型断块圈闭群。本区骨架砂体是油气侧向运移的主要通道,断层侧向封堵是主要的控藏因素。扭张沟谷分割储层,骨架砂体侧向运移,断层侧向封堵油气,形成雁列分割型成藏模式(图6b)。

3.2.3 侧接式弧形断层成藏模式

郝现侧接式扭张构造发育在东营凹陷的中央隆起带,位于烃源岩的发育范围内,成藏主控因素是储层的发育。侧接式扭张构造带主要的沉积类型是三角洲前缘的浊积砂体,预测其发育的位置一度成为制约本区勘探的问题之一,结合前人的研究及勘探实践表明,早期发育的弧形分支断层控制了下降盘浊积砂的发育,形成了构造-岩性及岩性圈闭群。本区的油气运移距离较近,以自生自储为主(图6c)。

4 结论

1) 东营凹陷内扭张构造的典型特征表现为地层的变形特征及断层的组合方式。地层变形样式有拖曳、错

断和伴生断层3种类型,拖曳构造常见于帚状构造样式中,反映了较大强度的水平运动,错断变形常见于雁列式扭张构造中,可以分为地层错断和断层错断。伴生断层样式是指在主动盘一侧次级断层发育的特征,同时也一般会伴生拖曳变形构造,常见于雁列及侧接扭张构造中。断层平面组合有帚状、雁列及侧接三种类型,剖面组合有半花状、树形花状及卷心式花状3种。

2) 扭张构造断层平面与剖面组合具有一一对应的关系,形成了帚状-半花状、雁列-树型花状、侧接卷心式花状等3种复合构造样式。其中帚状-半花状复合样式分布于东营凹陷的陡坡带、雁列-树型花状复合样式分布于凹陷的斜坡带,侧接卷心式花状复合样式分布于洼陷带。

3) 扭张构造的成藏模式有差异:帚状分散端易于输导,侧向运移距离远,形成构造、构造-岩性油气聚集带;收敛端易于封闭,形成构造-岩性、岩性油气聚集带。侧接扭张构造中的弧形断层是控制储层发育的主要因素;雁列扭张构造分割作用强烈,扭张沟谷控制储层发育,断层侧向封堵油气,形成分割型成藏模式。

参 考 文 献

- [1] Harding T P, Lowell J D. Structural styles, their plate tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces[J]. AAPG, 1979, 63:1016-1058.
- [2] Harding T P. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion[J]. AAPG, 1985, 69:582-600.
- [3] Harding T P. Comment on "state of stress near the San Andreas fault-implications for wrench tectonics" [J]. Geology, 1988, 16(12): 1151-1152.
- [4] Harding T P. Identification of wrench fault using subsurface structural

- data, criteria and pitfalls[J]. AAPG, 1990, 74(10): 1090–1609.
- [5] Larsen P H, Relay. Structures in a Lower Permian basement-involved tension system East Greenland[J]. Journal Structure Geology, 1988, 10(1): 3–8.
- [6] 严俊君, 王燮培. 关于扭动构造的鉴别问题[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 9–14.
- Yan Junjun, Wang Xiepei. On identification of wrench structure[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(1): 9–14.
- [7] 戴俊生, 陆克政, 漆家福, 等. 渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化[J]. 石油学报, 1998, 19(4): 16–20.
- Dai Junsheng, Lu Kezheng, Qi Jiafu, et al. The evolution of the paleogene tectonic style in Bohai bay basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(4): 16–20.
- [8] 杨明慧. 渤海湾盆地变换构造特征及其成藏意义[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 816–823.
- Yang Minghui. Transfer structure and its relation to hydrocarbon exploration in Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 816–823.
- [9] 于俊峰, 夏斌, 许静. 对渤海湾盆地张扭、压扭性构造的一点认识[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 473–476.
- Yu Junfeng, Xia Bin, Xu Jing. An understanding of tense-shearing and compressive-shearing structures in Bohai Bay basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 473–476.
- [10] 陈海云, 于建国, 舒良树, 等. 济阳坳陷构造样式及其与油气关系[J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 622–632.
- Chen Haiyun, Yu Jianguo, Shu Liangshu, et al. The structural styles and their relation with petroleum-gas resources of the Jiyang depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(4): 622–632.
- [11] 魏洪涛, 李伟, 杨智峰, 等. 青东凹陷新生代构造应力场特征及其与油气运聚的关系[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(3): 273–277.
- Wei Hongtao, Li Wei, Yang Zhifeng, et al. the Cenozoic Tectonic stress field characteristics and relationship of hydrocarbon migration/accumulation in Qingdong Sag in southeastern Bohai Bay basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(3): 273–277.
- [12] 王光付, 王端平, 单家增. 东营凹陷辛镇构造复杂低级序断裂体系形成的构造物理模拟实验[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 18–20.
- Wang Guangfu, Wang Duanping, Shan Jiazeng. Structural modeling experiments of complex low grade fracture system in the Xinzhen structure, Dongying Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 18–20.
- [13] 李雪, 吕宝凤, 夏斌. 八面河地区新生代构造变形与孔店组油气成藏[J]. 天然气工业, 2005, 26(2): 29–31.
- Li Xue, Lv Baofeng, Xia Bin. Cenozoic tectonization and hydrocarbon reservoiring of kongdian formation in Bamianhe region[J]. Natural Gas Industry, 2005, 26(2): 29–31.
- [14] 李红南, 刘伟, 蔡传强, 等. 豫冀鲁不同级序旋扭构造体系和油气富集规律[J]. 地质力学学报, 2009, 15(4): 386–392.
- Li Hongnan, Liu Wei, Cai Chuanqiang, et al. Rotational shear tectonic systems in different levels and their relation to hydrocarbon enrichment rules[J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15(4): 386–392.
- [15] 许淑梅, 马云, 王金铎, 等. 东营凹陷中央隆起带西段“帚状生长断层系”发育特征及成因机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(6): 75–81.
- Xu Shumei, Ma Yu, Wang Jinduo, et al. Characteristics and genetic mechanism of “Broom-like syn-depositional faults” in west segment of central uplift belt in Dongying depression[J]. Marine geology and Quaternary Geology, 2011, 31(6): 75–81.
- [16] 任建业, 张青林. 东营凹陷中央背斜隆起带形成机制分析[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 254–262.
- Ren Jianye, Zhang Qinglin. Analysis of development mechanism for center anticline high in Dongying depression[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 254–262.
- [17] 宋国奇, 李继岩, 贾光华, 等. 东营凹陷王家岗构造带孔店组构造特征及其控藏作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 207–214.
- Song Guoqi, Li Jiyan, Jia Guanghua, et al. Structural characteristics and its control on hydrocarbon accumulation of the Kongdian Formation in the Wangjiagang structural zone, Dongying Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 207–214.
- [18] 魏国齐, 贾承造, 施央申, 等. 塔北隆起北部中生界张扭性断裂系统特征[J]. 石油学报, 2001, 22(1): 19–24.
- Wei Guoqi, Jia Chengzao, Shi Yangshen, et al. Tectonic characteristic and petroleum accumulation in extensional-shear fault system in Mesozoic-cenozoic formations in the northern area of Tabei uplift, Tarim[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 19–24.
- [19] 邓运华. 张一扭断裂与油气运移分析——以渤海油区为例[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(2): 33–37.
- Deng Yunhua. Tensional-Shear faults and analysis of oil and gas migration—Taking Bohai oil province for example[J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(2): 33–37.
- [20] 胡明, 姜宏军, 付广, 等. 似花状断裂密集带富油差异性——以渤海湾盆地南堡凹陷中浅层为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(4): 530–536.
- Hu Ming, Jiang Hongjun, Fu Guang, et al. Characterization of petroleum pooling patterns in dense flower-like fault belts: Taking the middle and shallow layers in Nanpu Sag of Bohai Bay Basin as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(4): 530–536.
- [21] 赵利, 李理, 张航. 东营凹陷新生代早期断裂系统的运动学特征及动力学机制[J]. 中国石油大学学报自然科学版, 2014, 38(3): 20–24.
- Zhao Li, Li Li, Zhang Hang. Fault systems kinematic characteristics and dynamic mechanism during early Cenozoic in Dongying sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(3): 20–24.
- [22] 于福生, 董月霞, 童亨茂, 等. 渤海湾盆地辽河西部凹陷古近纪变形特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 52–60.
- Yu Fusheng, Dong Yuexia, Tong Hengmao, et al. Characteristics and origins of structural deformation in the Paleogene in the Western Sag of Liaohe Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 52–60.
- [23] 余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 渤海辽东湾坳陷走滑断裂差异变形特征[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 633–637.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Xu Changgui, et al. Differential deformation of strike slip faults in the Liaodongwan Depression, offshore Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 633–637.