

沾化凹陷断层活动性及其对层序发育的控制作用*

张凡芹, 王伟锋, 戴俊生

(石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061)

摘要: 济阳坳陷早第三纪属于裂陷盆地, 发育了众多的断层, 绝大多数断层属于生长断层。这些断层具有幕式活动的特点, 即在沙河街三段(E_{s3})早期构造活动强烈, 沙河街三段中期、沙河街三段晚期—沙河街二段早期构造活动变弱, 至沙河街二段晚期—沙河街一段早期构造活动又变强, 东营早期和晚期又变弱。主要断层活动控制着层序地层的发育, 具体表现在: (1) 对二级层序发育的控制, 断层的总落差在二级层序开始时最大, 以后逐渐减缓; (2) 对准层序叠加样式的控制, 即在构造拉张期, 以发育退积式准层序为主, 在构造挤压期, 以发育进积式准层序组为主。同时, 断层的活动也控制了三级层序(层序 I, II, III, IV, V 和 VI)的厚度和展布形态, 使沉降中心以五号桩长堤断裂带附近为起点发生顺时针迁移。

关键词: 生长断层; 断层落差; 层序; 准层序; 沾化凹陷

第一作者简介: 张凡芹, 男, 27岁, 硕士研究生, 构造地质学

中图分类号: P546, P539.2

文献标识码: A

1 地质概况

沾化凹陷位于济阳坳陷东北部, 平面上呈西南端收敛、北东撒开的喇叭状, 南端以陈家庄凸起为界, 东端以垦东断层与垦东凸起为界, 北西分别以埕东断层、埕南断层和义东断层与埕子口凸起和义和庄凸起为界。

沾化凹陷总体上是一复式半地堑断陷^[1]。凹

陷的发育受到 NE、NEE 向的张性、张扭性大断裂的控制, 形成由“北断南超”的、总体呈 NE、NEE 向展布的多个半地堑和低凸起组成的洼凸相间的构造格局, 具有复式半地堑的构造格架特点; 在南北向上形成缓坡、洼陷、陡坡的构造样式; 在东西向上, 由一系列 NW 向或近 NS 向的断裂复杂化, 形成多个次级洼陷和洼间低凸起。缓坡带的鼻状低凸起近 NS 向伸入盆地内, 使近 EW 向半地堑凹陷带分割成串珠状或斜列的次级洼陷(图 1)。

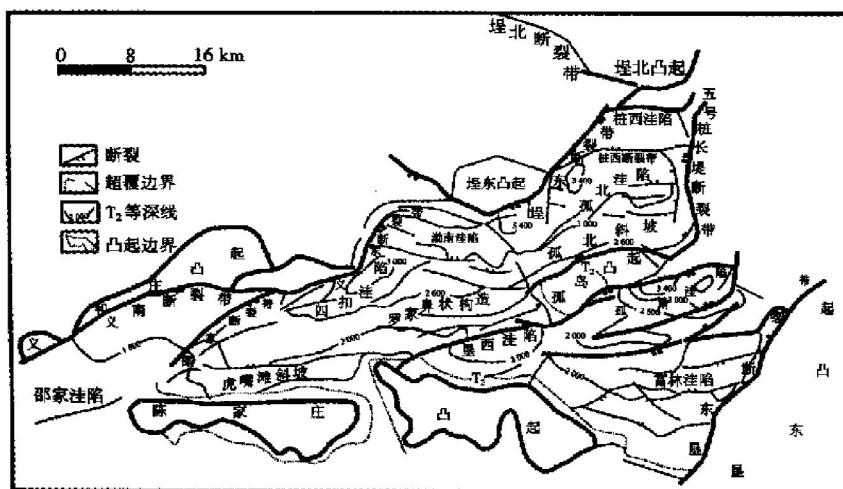


图 1 沾化凹陷次级构造单元分布图

Fig. 1 Distribution of tectonic subunits in Zhanhua sag

* 国家“十五”科技攻关项目“济阳坳陷下第三系沉积体系与油气运聚机理研究”(项目编号: 2001BA605A09)

收稿日期: 2003-08-01

NE、NEE 向展布的一、二级断裂是主控断层, 平面上由多段弧形或帚状的断裂组成; 三、四级断裂为伴生构造或反向调整构造。此外, 盆地基底岩系中还发育有近 NS 向、NWW–NW 向多组横向或斜向断裂, 并不同程度地影响了裂陷期沉积。

沾化凹陷新生界在垂向上由两个构造层组成^[2](图 2)。下第三系孔店组、沙河街组和东营组组成盆地下部构造层序; 上第三系和第四系组成

盆地上部构造层序。下第三系为裂陷期充填岩相, 厚度变化大, 充填于半地堑中, 受到断裂构造的明显控制; 上第三系呈层状披覆于整个盆地。

综上所述, 在垂向上沾化凹陷由下部同裂陷期构造层序和上部的拗陷构造层序所组成; 平面上表现为近 NE 向的复式“半地堑”构造带(下部构造层序)与近 NS 向低幅度基底凸起的叠加, 形成南北分带和东西分块的构造格局。

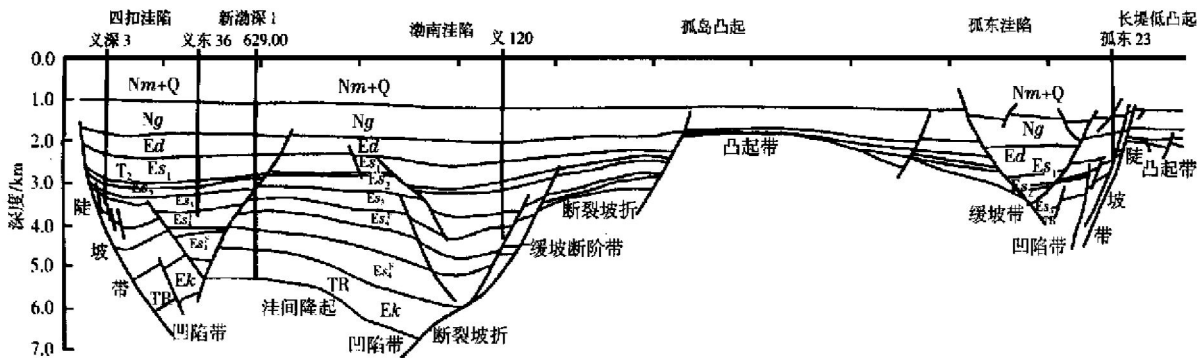


图 2 157.2 测线构造剖面图

Fig. 2 Structural section along No. 157.2 seismic line

2 主要断层活动性分析

根据各油区的实用划分方案, 一般将断层划分为 4 级。

一级断层: 指控制第三系分布的边界断层, 或称分割凸起与凹陷的边界断层。具断距大、切穿地层多、发育早、结束晚的特点。

二级断层: 是控制二级构造带和相邻凹陷形成发育的主干断层, 既可以是基岩断裂, 也可以是仅发育在第三系内部的盖层断裂, 但都对下第三系沉积厚度、相带分布及局部构造形成有重要的控制作用。

三级断层: 常为一、二级断层的派生断层, 以盖层断裂为主, 对第三系沉积厚度有控制作用, 是划分断块区的边界断层, 包括各类平面和纵向上的调节断层。

四级断层: 为更次一级的断层, 是划分断块的依据。

据研究, 沾化凹陷共有断层 297 条, 其中一级断层有 4 条, 二级断层有 5 条, 三级断层有 23 条, 四级断层有 265 条。

沾化凹陷的义南断层、埕南断层、埕东断层、

垦东断层属于一级断层。沾化凹陷的义东断层、孤南断层、孤北断层、孤东断层、桩西断层属于二级断层。

前人多用断层生长指数来表示断层活动强度。在沾化凹陷, 由于许多边界大断层缺失下盘, 因此我们用断层落差来表示断层活动强度。断层落差是指断层两盘相当点的高度差, 相当点系指某一时刻位于断层面上的一点在断层活动后出现在两盘上的两个点。断层落差是两盘的相对升降幅度, 通常以米为单位, 定量地表示了断层的垂向活动强度。断层落差越大表明断层活动越强烈。

在沾化凹陷, 沙河街组三段沉积早期, 主要有 15 条断层活动较为强烈, 其中断层落差最大的是孤北断层, 最大落差 348 m; 沙河街组三段沉积中期, 主要有 12 条断层活动较为强烈, 落差最大的是埕东断层, 最大落差 296 m; 沙河街组三段沉积晚期至沙河街组二段沉积早期, 主要有 14 条断层活动较为强烈, 落差最大的是孤北断层, 最大落差 349 m; 沙河街组二段晚期至沙河街组一段沉积期, 主要有 18 条断层活动较为强烈, 落差最大的是义东断层, 最大落差 655 m; 东营早期, 主要有 14

条断层活动较为强烈, 落差最大的是埕东断层, 最大落差368 m; 东营晚期, 主要有10条断层活动较为强烈, 落差最大的是孤北断层, 最大落差348 m。

各断层在不同的区段、不同的时期活动强度是不相同的。在这里用每一时期的断层总落差之和来表示该时期的断层的总活动强度。从沙河街组三段沉积早期至东营晚期断层总落差统计图(图3)可以看出, 在沙河街组二段上亚段—沙河街组一段沉积时期, 断层活动最为强烈, 断层总落差竟达3 656 m; 其次是沙河街组三段沉积早期, 断层活动也很强烈, 断层总落差为3 205 m; 沙河街组三

段沉积中期、沙河街组三段上亚段—沙河街组二段下亚段沉积时期和东营早期, 断层活动强度差不多, 都不是很强烈, 断层总落差分别为2 269 m, 2 266 m和2 147 m; 断层活动强度最弱的是东营晚期, 断层总落差仅为1 845 m。从沾化凹陷断层总落差图上还可以看出, 构造活动呈幕式性, 即在沙河街组三段沉积早期构造活动强, 沙河街组三段中亚段、沙河街组三段上亚段—沙河街组二段下亚段时期构造活动变弱, 至沙河街组二段上亚段—沙河街组一段沉积时期构造活动又变强, 东营早期和东营晚期又变弱。

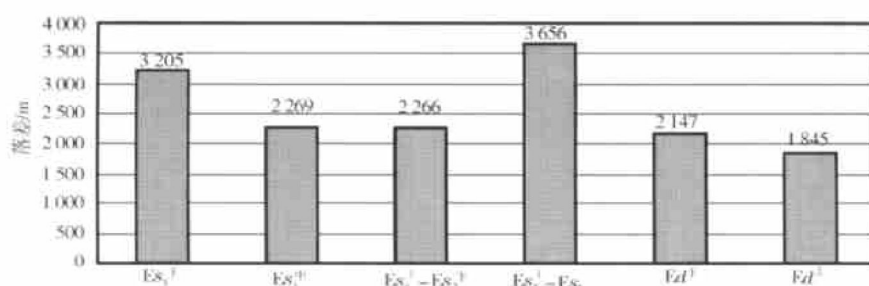


图3 沾化凹陷断层总落差图

Fig. 3 Total fall of faults in Zhanhua sag

3 主要断层活动对层序的控制

在综合分析地震、测井、岩芯、录井、古生物等资料的基础上, 结合该地区的油气勘探要求, 将沾化凹陷下第三系沙河街组三段—东营组沉积共划分为两个二级层序, 即沙河街组三段—沙河街组二段下亚段为第一个二级层序; 沙河街组二段上亚段—东营组为第二个二级层序; 6个三级层序, 即沙河街组三段下亚段为层序I, 沙河街组三段中亚段为层序II, 沙河街组三段上亚段—沙河街组二段下亚段为层序III, 沙河街组二段上亚段—沙河街组一段为层序IV, 东营组三段为层序V, 东营组二段、一段为层序VI。

3.1 对二级层序的控制

上面已经提及, 用每一层序活动时期断层的总落差来表示在这一层序发育时期总的断层活动强度(图3)。由图3可见, 断层总落差最大处与二级层序开始的时期相对应, 即断层总落差在每一个二级层序开始时最大, 以后逐渐减缓, 这充分说明了断裂对二级层序发育的控制作用。

3.2 对准层序叠加方式的控制

根据沉积速率与新增可容空间的关系, 可将准层序组中的准层序叠加模式分为进积式、退积式和加积式。当新增可容空间速率大于沉积速率时, 发育退积式准层序组, 在这种准层序组中, 以后退的方式向着陆地方向沉积一系列连续的新的准层序; 当新增可容空间速率小于沉积速率时, 发育进积式准层序组(或称为前积式准层序组), 在这种准层序组中, 向着盆地方向较远的地方沉积一系列连续的新的准层序; 当新增可容空间速率大约等于沉积速率时, 发育加积式准层序组, 在这种准层序组中, 一系列新的准层序一个个叠加, 而没有明显的横向移动^[3]。

在陆相断陷湖盆中, 构造拉张一般伴随着盆地基底的下陷, 引起湖平面的相对上升, 导致了可容空间的增大, 使得新增可容空间速率大于沉积速率, 进而发育退积式准层序组; 构造挤压一般伴随着盆地基底的上隆, 引起湖平面的相对下降, 导致可容空间的减小, 使得新增可容空间速率小于沉积速率, 进而发育进积式准层序组; 当构造活动

很弱或不活动时, 新增可容空间速率大约等于沉积速率, 也就发育了加积式准层序组。

据戴俊生* 研究, 在济阳坳陷, 从沙河街组三段至东营组, 有 6 个三级构造旋回。在每个三级构造旋回早期强烈拉张, 中晚期拉张变弱, 末期挤压, 它们分别是沙三早期三级构造旋回、沙三中期三级构造旋回、沙三晚期—沙二早期三级构造旋

回、沙二晚期—沙一期三级构造旋回、东营早期三级构造旋回和东营晚期三级构造旋回, 它们的活动时期分别对应于沾化凹陷沙三段—东营组的 6 个层序的发育时期。

下面就以富 111 井(图 4)为例, 来说明构造活动对准层序叠加方式的控制。

从图4可以明显地看出, 在每个三级构造旋

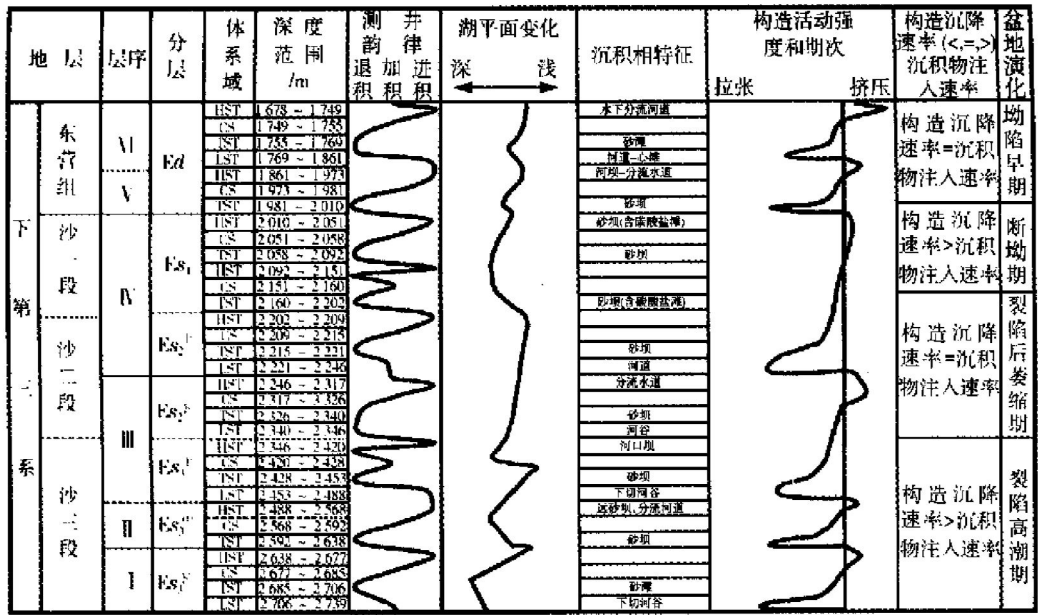


图 4 构造活动对富 111 井准层序叠加方式的控制图

Fig. 4 Control of tectonic movement on overlapping mode of parasequences in Fur111 well

回的初期, 表现为强烈拉张, 这在准层序的叠加模式上有着非常好的对应关系, 即发育了退积式准层序组; 在每个三级构造旋回的末期, 表现为强烈挤压, 这在准层序的叠加模式上也有非常好的对应关系, 即发育了进积式准层序组。

另外, 我们还对其他 8 口井的准层序叠加方式作了一下统计(表 1)。从表 1 可以看出, 构造活动很好地控制了准层序叠加样式, 即: 在构造拉张期, 以发育退积式准层序组为主; 构造挤压期, 以发育进积式准层序组为主。

表 1 准层序叠加模式统计表

Table 1 Statistics of overlapping mode of parasequences

叠加样式	构造活动性质	叠加样式所占的比例/ %								
		渤深 3 井	富 111 井	富 8 井	孤南 30 井	义 115 井	义 120 井	义深 2 井	桩 31 井	桩深 1 井
退积	构造拉张期	46.2	45.7	40.9	37.0	40.0	44.3	34.8	35.5	46.0
	构造挤压期	28.0	12.5	12.5	25.0	16.7	21.4	13.6	30.0	6.3
进积	构造拉张期	23.1	15.2	27.3	18.5	24.3	20.5	31.4	23.7	18.0
	构造挤压期	50.0	62.5	62.5	55.0	43.3	57.2	68.2	33.3	81.2
加积	构造拉张期	30.7	39.1	31.8	44.5	35.7	35.2	34.8	40.8	36.0
	构造挤压期	22.0	25.0	25.0	20.0	40.0	21.4	18.2	36.7	12.5

* 戴俊生, 王伟峰, 肖尚斌. 济阳坳陷下第三系构造对层序和沉积的控制作用. 2002

3.3 对三级层序厚度的控制

上面已经提及, 可将沾化凹陷下第三系沙河街组三段- 东营组沉积划分为 6 个三级层序。

层序 I 大致相当于沙河街组三段下亚段的位置(图 5)。层序 I 发育时期, 上述一、二级断裂带活动比较强烈, 断层落差也比较大, 其中断层落差最大处是孤北断层中段, 为 348 m, 受孤北断层、埕

南断层和五号桩长堤断裂带断层活动所产生的可容空间的综合影响, 在五号桩洼陷内形成了两个沉降中心, 在靠近埕东断裂带一侧, 层序 I 的厚度为 300 多米, 在靠近五号桩长堤断裂带一侧, 层序 I 的厚度达 450 多米, 该处是层序 I 发育时期的主沉降中心。

层序 II 与层序 I 同处于一个二级构造层序

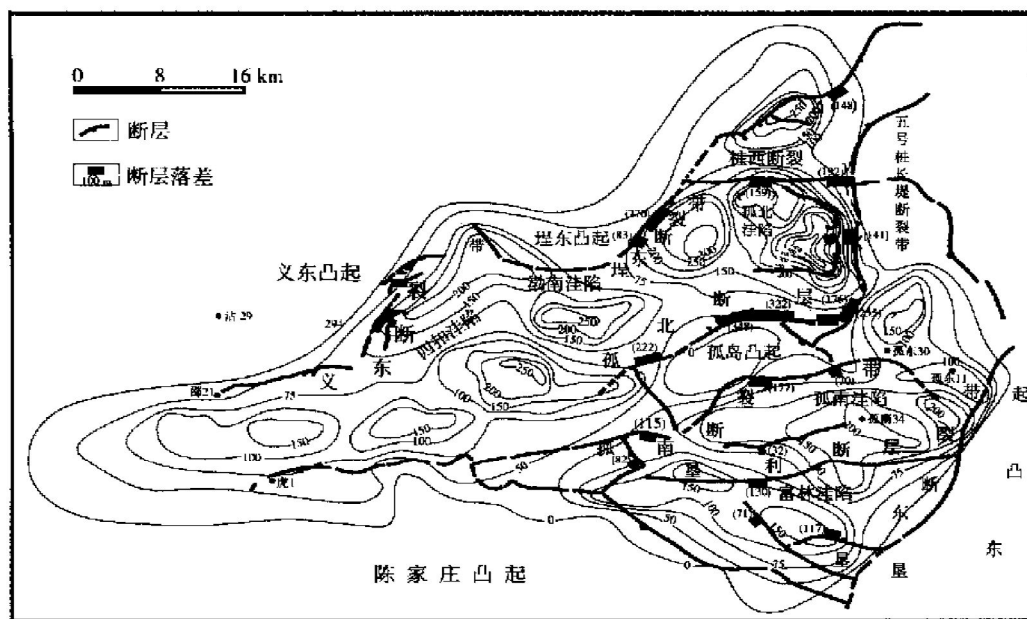


图 5 沾化凹陷主要断层对层序 I 厚度的控制

Fig. 5 Tectonic control of major faults on the thickness of sequence I in Zhanhua sag

中。在层序 II 发育时期, 义东断裂带、埕东断裂带、桩南断裂带、五号桩长堤断裂带、孤北断层、孤南断裂带活动比较强烈, 断层落差也比较大, 其中断层落差最大处是埕东断裂带, 为 296 m, 孤北断层西段的断层落差也很大, 为 232 m, 再加上埕东凸起和孤岛凸起的丰富物源供应, 在渤南洼陷南侧和孤北断层东部发育有两个沉降中心, 层序厚度均达 250 多米。显然, 这里是层序 II 发育时期的主沉降中心。

层序 III 位于第一构造层序的晚期。层序 III 发育时期, 二级断层如义东断层、桩西洼陷北部的断层、孤北断层、孤南断裂带等活动比较剧烈, 断层落差也比较大, 其中断层落差最大处是孤北断层西段, 为 345 m, 又由于孤岛凸起的丰富物源供应, 因此在孤北断层西段北侧, 层序 III 的厚度为 250 多米, 为层序 III 发育时期的沉降中心。

层序 IV 发育时期对应于沙河街组二段晚期和

沙河街组一段沉积时期, 相当于第二个构造层序的湖侵早期。在层序 IV 发育时期, 义东断裂带、埕东断裂带、五号桩长堤断裂带、孤北断层、孤南断层、垦利断层西段活动比较强烈, 断层落差也比较大, 其中, 断层落差最大处是义东断裂带中段, 为 655 m, 又由于义东凸起和埕东凸起的丰富物源供应, 在渤南洼陷南部形成了两个沉降中心, 层序 IV 在这两处厚度均超过 400 m, 为该时期的主沉降中心。

层序 V 发育时期对应于东营组沉积早期。层序 V 发育时期, 义东断裂带、埕南断裂带、桩西洼陷南北两条边界断层、五号桩长堤断裂带、孤北断层、孤南断裂带活动比较强烈, 断层落差也比较大, 其中埕东断裂带断层落差最大, 为 368 m, 层序 V 在埕东断裂带发育的厚度为 250 多米, 为该时期的主沉降中心, 且分布形态呈条带状。

层序 VI 发育时期对应于东营组沉积晚期。在层序 VI 发育时期, 义东断裂带、埕南断层、埕南断

裂带、五号桩长堤断裂带、孤北断层、孤南断裂带和垦利断层活动都比较强烈,断层落差也比较大,其中埕东断裂带断层落差最大,为465 m,受埕东断裂带巨大断层落差的影响,在五号桩洼陷西部层序 VI 的厚度超过了550 m,是层序 VI 发育时期的主沉降中心。

4 几点认识

(1) 前人多用断层生长指数来表示断层活动强度,但是在沾化凹陷,由于许多边界大断层缺失下盘,因此用断层落差来表示断层活动强度。断层落差是断层上、下盘的相对升降幅度,可以定量表示断层的垂向活动强度,断层落差越大表明断层活动越强烈。

(2) 根据沾化凹陷断层总落差图,认为在沾化凹陷,沙河街组二段上亚段—沙河街组一段沉积时期构造活动最为强烈,其次是沙河街组三段沉积早期,第三是沙河街组三段中亚段沉积时期、沙河街组三段上亚段—沙河街组二段下亚段沉积时期和东营早期,在东营晚期构造活动最弱。另外,构造活动呈明显的幕式性,即在沙河街组三段早期构造活动强,沙河街组三段中亚段、沙河街组三

段上亚段—沙河街组二段下亚段沉积时期构造活动变弱,至沙河街组二段上亚段—沙河街组一段时期构造活动又变强,东营早期和东营晚期又变弱。

(3) 在构造拉张期,以发育退积式准层序组为主;构造挤压期,以发育进积式准层序组为主。

(4) 断层的活动控制了层序发育的厚度和展布形态,同时也控制了沉降中心的迁移:层序 I 发育时期为靠近五号桩长堤断裂带一侧;层序 II 发育时期为渤南洼陷南侧和孤北断层东部;层序 III 发育时期为孤北断层西段北侧;层序 IV 发育时期为渤南洼陷南部;层序 V 发育时期为埕东断裂带附近;层序 VI 发育时期为五号桩洼陷西部。不难看出,沉降中心的迁移规律是以五号桩长堤断裂带附近为起点作顺时针运动。

参 考 文 献

- 1 宗国洪. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 275~ 282
- 2 陆克政. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 27~ 33
- 3 纪友亮, 张世奇, 张宏, 等. 层序地层学原理及层序成因机制模式[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 31~ 40

FAULT ACTIVITIES AND THEIR CONTROLS ON THE DEVELOPMENT OF LITHOLOGIC SEQUENCES IN ZHANHUA SAG

Zhang Fanqin Wang Weifeng Dai Junsheng

(College of Earth's Resources and Information, University of Petroleum (East China), Dongying, Shandong)

Abstract: Zhanhua sag is located in northeastern Jiyang depression. The development of Zhanhua sag was controlled by the NE and NEE extensional and tensor-shear faults, which constituted tectonic framework characterized by alternation of sag and arch. Complex half graben is the characteristics of Zhanhua sag was controlled mainly by the first- and second-order faults with the strike of NE and NEE. The third- and the fourth-order faults are associated faults or antithetic adjustment faults. In Zhanhua sag, many boundary faults lack of footwalls, so, falls of the faults have been used to indicate the intensity of fault activities. Fall of fault refers to the amplitude of relatively fluctuation of the two walls. The larger the fall is, the more intensive the fault activity would be. In the early E_{s3} period, Gubei fault had the largest fall; in the middle E_{s3} period, Chengdong fault had the largest fall; during the late E_{s3} to the early E_{s2} period, Gubei fault had the largest fall; during the late E_{s2} to E_{s1} period, Yidong fault had the largest fall; in the early E_d period, Chengdong fault had the largest fall; and in the late E_d period, Gubei fault had the largest fall. In Zhanhua sag, the most tectonic intensive activity occurred during the deposition of upper E_{s2} to E_{s1} ; the next is that developed during the deposition of upper E_{s3} , and then are those developed during the middle E_{s3} , late E_{s3} to early E_{s2} and early E_d periods; and the weakest tectonic activities were in late E_d . Obviously, the tectonic activities were

characterized by episodes, i. e. tectonic activity was intensive in early E_{s3} period, became weak in middle E_{s3} , late E_{s3} to early E_{s2} ; in late E_{s2} to E_{s1} period, tectonic activities became intensive again, and weak again in early and late E_d period. In Zhanhua sag, the Paleogene E_{s3} to E_d sediments can be divided into two second-order sequences and six third-order sequences. Total fall of faults is used to indicate the intensity of fault activity here. The largest fall amplitude of fault corresponds to the beginning of the second-order sequence, i. e. the total fall of faults had been the largest at the beginning of each second-order sequence, and then gradually became smaller, which indicates that faults have controlled the development of second-order sequences. In Jiyang depression, there are six third-order tectonic cycles from E_{s3} to E_d . They are characterized by strong extensional movement in the early period of each cycle, extensional movement in the middle and late periods of each cycle, and compressional movements in the final period of each cycle. Their activity periods correspond to the development periods of the six third-order sequences in Zhanhua sag. The responses of high-resolution sequence stratigraphy logging rhythms of Fur 111 and other eight wells to tectonic activities show that tectonic activities have controlled the overlapping mode of parasequences, i. e. they are characterized by intensive extension and retrograding parasequence set in the early period of each third-order cycle, and by intensive compression and progradational parasequence set in the final period of each cycle. Fault activities controlled the thicknesses and distributions of third-order sequences, as well as the migration of depocenter. As a starting point, the depocenter had been in the area near to Wuhaozhuang-Changdi fault zone during the development period of sequence I, and then migrated successively in clockwise direction to the southern part of Bonan sub-sag and the eastern side of Gubei fault during the development period of sequence II, to the northern side of the western sector of Gubei fault during the development period of sequence III, to the southern part of Bonan sub-sag during the development period of sequence IV, to the area near the Chengdong fault during the development period of sequence V, and to the western part of Wuhaozhuang sub-sag during the development period of sequence VI.

Key words: growth fault; fall of fault; sequence; parasequence; Zhanhua sag

(Continued from Page 218)

ANALYSIS OF PETROLEUM ACCUMULATION PHASE IN DONGYING SAG

Jiang Youlu¹ Liu Hua¹ Zhang Yue¹ Tan Lijuan¹ Wang Ning²

(1. Resources and Information College, University of Petroleum, Beijing;

2. Research Institute of Geosciences, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Based on composite data of trap formation and evolution, hydrocarbon-generated and hydrocarbon-expulsed process, reservoir saturated pressure and fluid inclusion of diagenetic minerals, the accumulation phase of oil and gas reservoirs in Dongying sag have been divided into two phases, i. e. the late Oligocene phase and the late Miocene to Pliocene phase. Large oil and gas pools were accumulated in late Miocene to Pliocene, especially in the middle-late period deposited in Pliocene Minghuazhen Fm. The main petroleum accumulation phases varies in the oil and gas reservoirs in different stratigraphic horizons and different structural units. In general, it is relatively early in the lithologic pool enclosed in source rocks. There is a tendency for the main accumulation phase of oil and gas reservoirs to become late ordered stratigraphically from the bottom to the top and from the center area to the margin of Dongying sag.

Key words: accumulation phase of oil and gas reservoirs; oil and gas charge; fluid inclusion; Dongying sag