

断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义*

王英民^{1,2}, 金武弟², 刘书会³, 邱桂强³, 李群², 刘豪², 辛仁臣², 杨飞²

(1. 石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 中国石化胜利油田股份公司地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 对东营凹陷下第三系的研究表明, 在箕状断陷湖盆中发育有多级坡折带, 其成因类型有断裂坡折带、挠曲坡折带、沉积坡折带和侵蚀坡折带。作为凸起、斜坡(断阶)和洼陷等次级构造单元之间分界线的大型同沉积断裂往往形成断裂坡折带, 从而从陡坡带到缓坡带依次发育有凸起-陡坡边缘、陡坡-洼陷边缘、凸起-缓坡边缘、缓坡-洼陷边缘等断裂坡折带。在这些坡折带附近的较小的同沉积调整断层可以形成更次级的断裂坡折, 并形成各种复杂的坡折平面组合样式。在凸起边缘断裂坡折带的上下有时会形成侵蚀坡折带。挠曲坡折带主要与同沉积背斜、同沉积鼻状构造相伴生, 其中在中央背斜带两翼、陡坡带的滚动背斜带和缓坡带的鼻状构造的两翼最为发育。沉积坡折带发育在大型三角洲前缘, 以沿长轴发育的东营三角洲前缘最为典型。断裂坡折带控制了低位扇体以及岩性-构造复合圈闭的发育, 沉积坡折带控制了低位扇、高位滑塌浊积扇以及岩性圈闭的展布, 而挠曲坡折带和侵蚀坡折带除了对砂体有控制作用外, 更突出地表现为对地层超覆、削蚀尖灭线以及对地层圈闭发育的控制。坡折带附近是非构造油气藏发育的有利场所, 进一步勘探的潜力巨大。

关键词: 坡折带; 隐蔽圈闭; 低位域; 断陷盆地; 东营凹陷; 第三系

第一作者简介: 王英民, 男, 49岁, 教授(博士), 层序地层学与石油地质学

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

坡折带(slope break)是个地貌学概念, 指地形坡度发生突变的地带, 不论在沉积盆地中还是在剥蚀区都可能发育。坡折带对层序和沉积的发育有重要控制意义。对海相盆地的层序地层学模式研究表明^[1], 同为I型层序, 如果是在具陆架坡折边缘或具生长断层边缘(断裂坡折)的盆地中, 则在低水位期坡折带以上可形成不整合面和深切谷; 坡折带以下则可能形成盆底扇、斜坡扇等陆坡体系和低水位楔形体。这一系列沉积体系构成了典型的低位域沉积。而在不具坡折的缓坡边缘则一般只发育低水位楔形体, 深切谷通常不发育。

对断陷湖盆构造坡折带的研究近几年来日益引起人们的高度重视。林畅松等^[1]通过对沾化凹陷较系统的研究提出“构造坡折带”的概念, 指出构造坡折带是由同沉积构造长期活动引起的沉积斜坡明显突变的地带, 对盆地充填的可容纳空间和沉积作用可产生重要的影响, 制约着盆地沉积相域的空间分布。并提出凸起-缓坡边缘、缓坡-

洼陷边缘、凸起-陡坡边缘、陡坡-洼陷边缘等断裂坡折带类型。还指出湖盆低水位体系域可发育下切谷、低水位河流-三角洲体系及湖底扇等, 形成盆地深部重要的潜在储层; 其展布受到盆地洼陷边缘的构造坡折带的明显控制等。姜秀芳等^[2]对东营凹陷的陡坡断裂坡折带和缓坡断裂坡折带的特征及其对低位扇发育的控制和成藏特征进行了总结。目前胜利油田公司按构造(断裂)坡折带模式指导勘探已发现了数千万吨储量, 实践证明断裂坡折带及受其控制的低位域中的岩性圈闭是隐蔽油气藏勘探前景十分广阔的重要领域。

目前在断陷盆地中开展坡折带研究中存在的问题是: (1) 人们主要集中于对断裂坡折带的研究, 而对除此之外的其他的坡折带类型研究不够; (2) 人们特别强调了坡折带对岩性圈闭的控制作用的研究, 而对各种坡折带对地层圈闭的研究不够; (3) 人们主要开展了单一坡折带的控相控藏规律的研究, 而对多级坡折带的控相控藏规律的研究不够。

王英民等^[3,4]在对准噶尔侏罗纪大型坳陷湖盆研究中发现, 在坳陷盆地中除断裂坡折外, 还存

* 国家科技攻关项目(2001BA605A09)、国家自然科学基金项目(40272057)、国家“973”项目(G1999043305)资助

收稿日期: 2003-05-26

在挠曲坡折、沉积坡折和侵蚀坡折等不同成因类型,它们表现为多级坡折带的特点,在平面上和剖面上有复杂的组合模式。它们对层序、沉积和非构造圈闭的发育具有不同的控制作用。济阳坳陷虽然是断裂活动特别发育的断陷盆地,但也同样存在着古潜山、底辟构造、构造挠曲和同期深部断裂等构造背景,可能导致挠曲坡折带产生。同时由于在断陷期具有“千岛湖”式的沉积特点,剥蚀区与沉积区犬牙交错,在频繁的湖平面升降下,侵蚀坡折带可能比较发育。此外济阳坳陷在沙河街组三段沉积时期湖水很深,具有大型的三角洲沉积,从而其沉积坡折带可能比较发育。因此在对东营凹陷的研究中,试图借鉴坳陷湖盆研究中所获得的认识,从一个新的角度来重新认识断陷盆地中的坡折带的发育特征及其对层序、沉积和非构造圈闭的控制规律。

1 成因类型

通过对东营凹陷连片三维地震资料的分析,证实除断裂坡折带外,其他各种成因的坡折带也都很发育。初步识别出 4 种典型的坡折带类型,即断裂坡折带、挠曲坡折带、沉积坡折带和侵蚀坡折带。

1.1 断裂坡折带(fracture slope-break)

断裂坡折带是同沉积断裂活动产生明显差异升降和沉积地貌突变的古构造枢纽带,构成盆内古构造单元和沉积区域的边界。这些断裂一旦形成,在整个裂陷期由于应力易于集中而长期活动。识别古断裂坡折带的主要标志是断裂带两盘地层厚度有明显变化,其生长系数一般在 1.4~2.0 左右^[1]。在箕状断陷的陡坡带和缓坡带,作为凸起、斜坡(断阶)和洼陷等次级构造单元之间分界线的大型同沉积断裂往往形成断裂坡折带,从而从陡坡带到缓坡带依次发育有凸起-陡坡边缘、陡坡-洼陷边缘、凸起-缓坡边缘、缓坡-洼陷边缘等断裂坡折带,在这些坡折带附近的较小的同沉积调整断层可以形成更次级的断裂坡折,并形成各种复杂的坡折平面组合样式(图 1)。

1.2 挠曲坡折带(bending slope-break)

挠曲坡折带是由于同期深部断裂活动使浅部地层发生挠曲变形而产生的,或是由于同沉积褶皱活动形成的背斜或鼻状构造的两翼挠曲而产生,或是在古梁、古断凸、古潜山之上由于披覆作

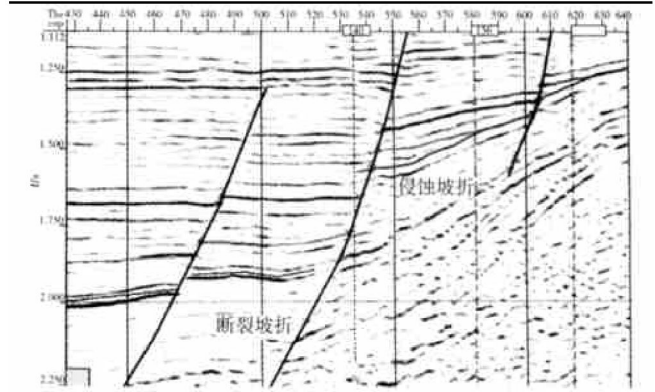


图 1 陈家庄凸起南翼陡坡带的断裂坡折和侵蚀坡折
Fig. 1 Faulted and erosional slope breaks in the steep slope on southern limb of Chenjiazhuang salient

用而产生的。其主要标志是坡度突变,在坡折带下部有明显的上超和地层增厚现象,在坡折带上部可见地层削蚀。

发育在中央隆起带北翼的挠曲坡折带是一个典型实例。该坡折带主要发育在沙河街组四段上部,其基本特征是在沙河街组四段总体上向南减薄的背景上,在挠曲部位发生急剧减薄,并出现超覆和削截(图 2)。

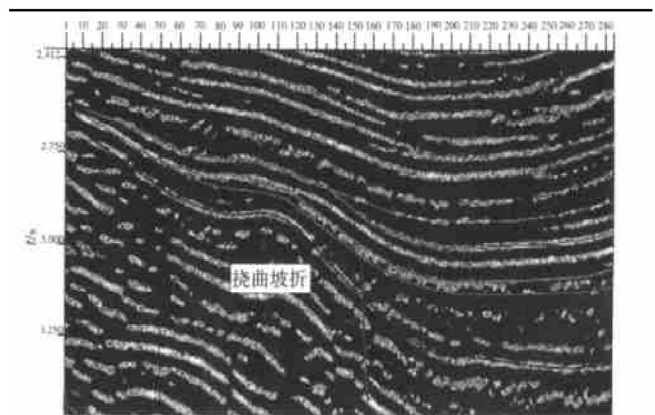


图 2 中央隆起带北翼挠曲坡折带
Fig. 2 Flexural slope-break on northern limb of central uplift belt

坡折带的形成主要受中央隆起带底辟构造发育的影响,从图 2 可以看出,沙河街组四段上部的坡折带发育在底辟构造之上,这表明中央隆起带的雏形在沙河街组四段沉积晚期就开始形成。此外陈家庄边界大断裂在沙河街组四段沉积期强烈活动,地层向南翘倾挠曲也对坡折带的形成有一定影响。

1.3 沉积坡折带(depositional slope break)

沉积坡折带是由于不同地区沉积速率差异而造成地形坡度突变而形成的。在三角洲平原与三角洲前缘的结合部一般形成沉积坡折带,在地震剖面上一般与前积反射的顶部相对应。此外在碳酸岩台地或生物礁体的边缘也容易形成沉积坡折带。一般说来,在构造活动较强烈的盆地中构造坡折带往往控制了沉积坡折带的发育,使二者重合,只有在构造坡折带不发育的情况下沉积坡折带才会显著地表现出来。

东营三角洲沉积坡折带是一个典型实例。该坡折带主要发育在沙河街组三段中亚段,是由大型的东营三角洲体向前推进所形成的沉积坡折。其特征是具有明显的S型前积结构,并于坡折带底部发育有低位域沉积,超覆在层序界面之上(图3)。坡折带大体上近南北向分布。在工区范围内解释出4个四级层序,各层序的坡折带位置由东向西推进。

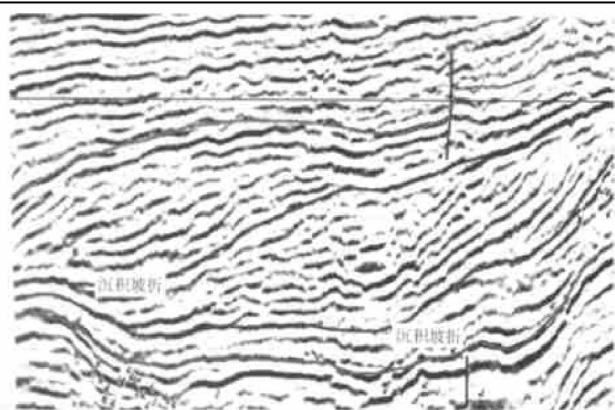


图3 东营三角洲沉积坡折带

Fig.3 Depositional slope break of Dongying delta

1.4 侵蚀坡折带(erodent slope break)

侵蚀坡折带是由于风化侵蚀等外动力地质作用造成地形坡度突变而形成的。在较长期发育但还没有达到准平原化的不整合面处有可能发育侵蚀坡折带。其主要特征是不整合面上所表现出的地形突变,以及界面下方的削蚀和界面之上的超覆等现象(图1)。

陈家庄凸起南翼侵蚀坡折带是一个典型实例。该坡折带主要发育在沙河街组二段。其基本特征是在沙河街组二段受陈家庄南同生断裂控制总体上向北减薄的背景上,在挠曲部位发生急剧

减薄,并出现超覆和削截(图1)。该坡折带发育在断裂坡折带之间。

坡折带的形成主要受陈家庄凸起上风化剥蚀的影响,从图1可以看出,在陈家庄主断裂的下盘,沙河街组二段底界不整合面是一个经受了长期风化剥蚀的不整合面,其地貌形态凹凸不平,具有坡折的特点,而超覆线主要发育在侵蚀坡折带的下部。

1.5 比较分析

断裂坡折带、挠曲坡折带和沉积坡折带都是同沉积期发育的,而侵蚀坡折带则在沉积之前形成,因此对沉积的控制不同。对于同沉积期的坡折带,其成因类型反映了构造作用的强弱,随着构造活动强度的增加,表现为从沉积坡折到挠曲坡折再到断裂坡折的系列变化。

侵蚀作用、构造作用和沉积作用构成了控制坡折带形成的3种地质营力端元组分。从理论上讲,每一种端元组分都可相应形成一种特殊的坡折带类型。但实际上在自然界中发育的坡折带往往先后程度不等地受到不同营力的作用,因此其类型应是位于这三端元之间的过渡类型。

2 平面展布

在准噶尔大型坳陷湖盆中,坡折带的平面分布相当复杂,表现出多级坡折带的特点^[4]。利用连片三维地震资料对东营凹陷下第三系沙河街组各层序的坡折带的分布特征进行了研究,结果表明,在断陷湖盆同样具有多级坡折带的特点,其平面分布很有规律,主要受构造背景的控制。各层序的构造背景不同,从而坡折带的分布特征也不一样。其中沙河街组三段中层序是断陷湖盆鼎盛期的产物,其坡折带的分布最有代表性,在此仅以其为例进行分析。

图4是东营凹陷沙河街组三段中时期坡折带成因类型和分布平面图。由图4可以看出,断裂坡折带的分布最为广泛。作为凸起、斜坡(断阶)和洼陷等次级构造单元之间分界线的大型同沉积断裂往往形成断裂坡折带,从而从陡坡带到缓坡带依次发育有凸起-陡坡边缘、陡坡-洼陷边缘、凸起-缓坡边缘、缓坡-洼陷边缘等断裂坡折带。在这些坡折带附近的较小的同沉积调整断层可以形成更次级的断裂坡折,并形成各种复杂的坡折平面组合样式。

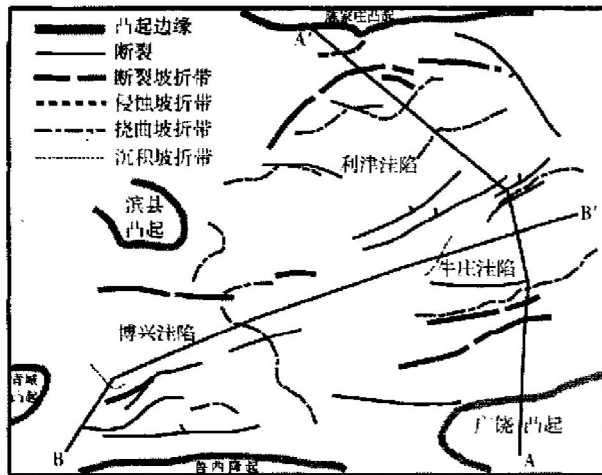


图4 东营凹陷沙三中时期坡折带成因类型和分布平面图

Fig.4 Plan view showing distribution and genetic types of slope-breaks in middle Es₃ in Dongying sag

挠曲坡折带主要与同沉积背斜、同沉积鼻状构造相伴生,在中央隆起带的两翼,北部陡坡带的滚动背斜带的南翼以及南部缓坡带中系列分布的鼻状构造的两翼最为发育。

沉积坡折带发育在大型三角洲前缘,以沿长轴发育的东营三角洲前缘最为典型。

侵蚀坡折带比较少,在北部陡坡带的凸起边缘断裂坡折带上下局部发育了侵蚀坡折带。

在从陈家庄凸起到广饶凸起的横切东营凹陷的剖面上(图5)可以清楚地看出从陡坡带到缓坡带,各种坡折带的分布特点。

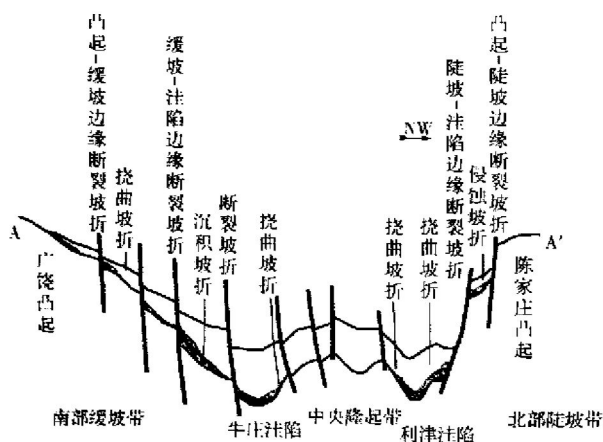


图5 东营凹陷沙三中时期多级坡折带成因类型和分布横剖面图(剖面位置见图4)

Fig.5 Cross section (S-N) showing genetic types and distribution of multistage slope-breaks in middle Es₃ in Dongying sag

3 勘探意义

3.1 断裂坡折带^[2]

断裂坡折带为同沉积构造长期活动引起的沉积斜坡明显突变的地带,其低位扇主要包括水下冲积扇、大型浊积扇、小型低位三角洲和低位扇三角洲。陡坡带低位浊积扇及扇三角洲远端部分分布于低台阶,扇三角洲主体、下切谷充填分布在高台阶,更高处为三角洲近端部分及冲积扇。缓坡带在沉积基准面快速下降时,其上产生陆上下切水道,其下形成水下冲积扇砂体;当基准面缓慢上升时,在断裂坡折带之上形成下切水道充填,之下发育水下冲积扇砂体和远岸浊积扇砂体。断裂坡折带低位扇易形成原生隐蔽岩性油气藏,此类油气藏具有离源岩近、次生裂隙发育和疏导条件优越的特征。

须指出的是,断裂坡折带控制的砂体规模较大,除前缘的滑塌浊积扇外,侧向上往往需要与断层配合或者与滚动背斜配合才能形成圈闭,因此以各种复合圈闭为主。

3.2 挠曲坡折带

其与断裂坡折带的最大区别是在坡折带下部有明显的地层上超尖灭现象,在坡折带上部有时可见地层削蚀尖灭(图2)。因此挠曲坡折带附近是地层圈闭发育的最有利地区。

挠曲坡折带对岩性的控制比较复杂。一般而言,坡折带控制了低位域的分布,但在存在多级坡折带的情况下,究竟那个坡折带控制了低位域的发育则还要取决于岸线的位置、湖平面变化的幅度及沉积物供给的情况。那些控制了低位域发育的挠曲坡折是形成地层圈闭的最有利部位。东营凹陷南部缓坡带靠近洼陷的挠曲坡折带值得注意。

位于低位域尖灭线之上的挠曲坡折,如果能与阶跃式水进有机配合,使水进砂体尖灭于坡折带之下,其上则被水进泥岩所覆盖,也有利于形成地层圈闭。东营凹陷南部缓坡带靠近凸起部位的挠曲坡折带值得注意。目前已在东营凹陷南部缓坡的樊家-樊东三维区沙河街组三段上亚段中发现了樊东地层超覆圈闭。该圈闭就属此类。

位于控低位域坡折之下的挠曲坡折,有利于形成深水重力流砂体和透镜体岩性圈闭。如北部滚动背斜侧翼挠曲坡折之下应当是滑塌浊积扇岩

性圈闭发育的有利地区。在南部缓坡带坡折之下的梁家楼地区的岩性油气藏, 主要是由水下冲积扇及远岸浊积扇等低位域沉积形成的岩性圈闭或岩性-构造复合圈闭。

位于湖盆中央的隆起带两翼挠曲坡折如果与大的砂分散体系相配合, 则可以形成砂体上翘尖灭圈闭。在中央隆起带东部地区值得注意。

3.3 沉积坡折带

东营凹陷的东部在早第三纪时期的沉积也受到北部胜北、陈南断裂的影响。沙三早期, 胜北地区深陷, 相对使东部地区沉积的扇体规模较小。沙三中、晚期, 凹陷内水体由东向西变深, 中央注陷带受轴向水流控制, 构造活动稳定, 使东营三角洲长期继承性发育, 由东向西发生了三次较大规模的推进, 并在三角洲的前缘形成了典型的沉积坡折带。沉积坡折带如果与重大的湖平面下降相配合, 则可以控制低位域的发育, 形成低位扇和岩性圈闭。而在某些时期, 沉积物供给特别充分, 使沉积坡折的斜坡角度迅速增大, 则形成三角洲前

缘滑塌浊积砂体和透镜状岩性圈闭, 牛庄地区是最典型的实例。

3.4 侵蚀坡折带

侵蚀坡折带分布比较局限, 目前主要在陈家庄凸起南缘有发现(图3)。其对沉积和圈闭的控制, 大体上与位于低位域尖灭线之上的挠曲坡折相似, 目前已在该坡折带附近发现了一个地层圈闭。

参 考 文 献

- 1 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260~266
- 2 姜秀芳, 宗国洪, 郭玉新, 等. 断裂坡折带低位扇成因及成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 143~155
- 3 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型坳陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 683~688
- 4 王英民, 刘豪, 王媛, 等. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 44~47

GENETIC TYPES, DISTRIBUTION AND EXPLORATION SIGNIFICANCE OF MULTISTAGE SLOPE BREAKS IN RIFT LACUSTRINE BASIN

Wang Yingmin^{1,2} Jin Wudi² Liu Shuhui³ Qiu Guiqiang³

Li Qun² Liu Hao² Xin Renchen² Yang Fei²

(1. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing;

2. Research Center of Basin & Reservoir, University of Petroleum, Beijing;

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

Abstract: Slope break is a geomorphologic concept, which refers to a zone where there is an abrupt change in topographic slope. Slope break can develop not only in sedimentary basins, but also in denudation areas. It would be of stratigraphic sequences in marine sedimentary basins shows that the type I sequences in a basin with shelf slope break margin or growth fault (faulted slope break) margin, unconformity and incised valley can be formed above the slope break, while basin-floor fan, slope fan and other alluvial deposits, as well as lowstand wedges can be deposited below the slope break during the lowstand. This sedimentary system constitute a typical LST sediments. The concept of structural slope break has been advanced in recent years in the rift lacustrine basins. Structural slope break refers to the sedimentary slope break caused by the long activity of syndepositional structures. The structural slope break, on the one hand, has a strong impact on the accommodation and deposition in the basin, and on the other hand, controls the spatial distribution of the sedimentary facies. There are various kinds of faulted slope breaks, such as salient-gentle slope margin, gentle slope-subsag margin, salient-steep slope margin, steep slope-subsag margin, etc. And it has been further clarified that incised valleys, lowstand river-delta and lake-floor fans can be developed in the LST in the lake

(Please Turn to Page 214)

hydrocarbon accumulation, especially hydrocarbon charging and accumulating in deeper part of the basin. The modeling results include: (1) Oil can migrate under the action of temperature difference, and it migrates from the site with high temperature to the site with lower temperature, indicating that temperature can act as the dynamic force for fluid flow. Under the experimental condition, the temperature difference and time control, the migration velocity and distance. Given in the same time interval, the higher the temperature difference is, the higher velocity and larger distance the migration would be. However, the velocity of oil migration is much slower in water-saturated sands. (2) As to a certain temperature difference, the distance of oil migration is constant no matter how long the experiment would be continued, which indicates that the temperature difference is the most important force to oil migration under the experiment condition. (3) Since the pressure within the tube decreases when the confined glass tube is opened, the velocity and amount of oil migration in the open system would be larger than that in confined system, and they also depend on the temperature difference. (4) The migration distances of oil are almost the same in sands with different grain sizes. The result indicates that the poroperm characteristics of reservoir do not affect the migration distance, but the temperature difference does. (5) No matter how long the experiment would be continued under a certain temperature difference, more oil supply would not increase the distance of oil migration. This also shows that the migration distance has no relation to the amount of oil supply, it just depends on the temperature difference.

Key words: temperature difference; dynamic force of migration; simulating experiment

(Continued from Page 203)

basin, which would constitute the potential reservoirs in deeper part in the basin. The distribution of these sediments have clearly been controlled by the structural slope breaks in the basin margin. The study of the Paleogene in Dongying sag shows that there are multistage slope breaks, such as faulted, flexural, depositional and erosional slope breaks in the half graben-like rift lacustrine basin. The large syndepositional faults that act as the boundary of tectonic subunits, such as salient, slope (fault bench) and subsag, would often become faulted slope breaks. As a result, there will be various types of faulted slope breaks successively developed from the steep slope to gentle slope belts, including salient-steep slope, steep slope-subsag, salient-gentle slope, gentle slope-subsag margins. Nearby these slope breaks, some smaller syndepositional faults can become auxiliary faulted slope breaks and constitute various complex plane combination patterns. Above and below the faulted slope break on the edge of salient may develop erosional slope break. Flexural slope break are mainly associated with syndepositional anticline and nose, which are developed best on both limbs of central anticline-belt and on delta front. The most typical depositional slope break is that developed along the long-axis on Dongying delta front. Faulted slope break controls the development of lowstand fan and compound lithologic-structural traps, depositional slope break controls the distribution of lowland fan, highstand slumping turbidity fan and lithologic traps, while flexural and erosional slope breaks control not only the development of sandbody, but more apparently control the development of stratigraphic overlap, truncation wedge-out and stratigraphic traps. Finally, different kinds of slope breaks developed in the rift lake basin distribute extensively and appears multistage slope breaks. The slope break controls significantly the development of stratigraphic depositional and non-structural traps. Combination of oil and gas reservoirs usually occur near the slope break. A thorough study of the genetic type and distribution of slope breaks and their control on sedimentary facies and reservoirs in the maturely explored area as Dongying sag would certainly establish a vast domain in the study of rift basins in eastern China.

Key words: slope break; subtle trap; lowstand system tract; rift basin; Dongying sag; Tertiary