

黄骅拗陷涧南潜山构造演化对层序样式的控制

黄传炎^{1,2}, 王华¹, 周立宏³, 廖远涛¹, 任陪罡¹, 陈思¹

1. 中国地质大学(武汉) 构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉, 430074;
2. 中国地质大学(武汉) 资源学院, 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉, 430074;
3. 中石油大港油田分公司 勘探研究院, 天津, 300280)

摘要: 研究涧南潜山构造演化对层序样式的控制作用, 运用平衡剖面解剖涧南潜山演化过程。研究表明: 涧南潜山演化过程可划分为早期的抬升发展、中期发展定型和后期衰退 3 个演化阶段, 与黄骅拗陷的构造演化基本同步; 在黄骅拗陷的裂陷 幕, 涧南潜山西南缘主体发育断裂陡坡带层序样式, 断层附近主要沉积扇三角洲体系, 在裂陷后期演化为挠曲缓坡层序样式; 而在潜山东南缘, 在裂陷早期发育平缓坡折带层序样式, 在裂陷后期发育断阶坡折带层序样式。层序样式的发育特征表明潜山西南缘向湖一侧为沙三段有利勘探区带, 浅层发育的挠曲坡折带附近为浅层有利勘探区带, 而潜山东南缘为断层-岩性圈闭的有利勘探区带。

关键词: 层序样式; 构造演化; 圈闭; 古近系; 涧南潜山

中图分类号: P539.2; TE121

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2010)02-0692-08

Sequence pattern controlled by structural evolution of Jiannan buried-hill in Huanghua depression

HUANG Chuan-yan^{1,2}, WANG Hua¹, ZHOU Li-hong³, LIAO Yuan-tao¹, REN Pei-gang¹, CHEN Si¹

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
3. Research Institute Exploration and Development, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

Abstract: The sequence pattern controlled by the structure evolution of Jiannan buried hill was analyzed. The balanced cross section was used to analyze the structural evolution of Jiannan buried-hill. The results show that the evolution can be divided into three stages: early uplift stage, medium-term development and stereotypes, and the decline stage. The process is the basic synchronization with the structural evolution of Huanghua depression. In the rift I period of Huanghua depression, there is the fault abrupt slope belt sequence pattern in the southwest boundary of Jiannan buried-hill. Fan-delta is mainly deposited near border fault. The fault abrupt slope belt sequence pattern gradually evolves to the flexure slop-break sequence pattern in the late rifting evolution. There is the gentle slope sequence pattern in the early rifting in the southeastern boundary of Jiannan buried hill. During the late rifting period, the step-fault slope sequence pattern is developed. The characteristics of sequence patterns predict that the southwest boundary of buried hill to the lake should be the beneficial exploration zone for the third member of Shahejie Formation, and the flexure slop-break should be used as a favorable exploration area of shallow. The southeastern boundary of Jiannan buried hill should be used as the favorable exploration area of the fault-lithologic trap.

Key words: sequence pattern; structural evolution; trap; Paleogene; Jiannan buried-hill

收稿日期: 2009-04-30; 修回日期: 2009-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40872077); 中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室基金资助项目(GPMR200913); 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室基金资助项目(TPR-2009-19)

通信作者: 黄传炎(1976-), 男, 湖北松滋人, 博士, 从事层序地层学、构造沉积学研究; 电话: 18986126027; E-mail: cyhuang76@163.com

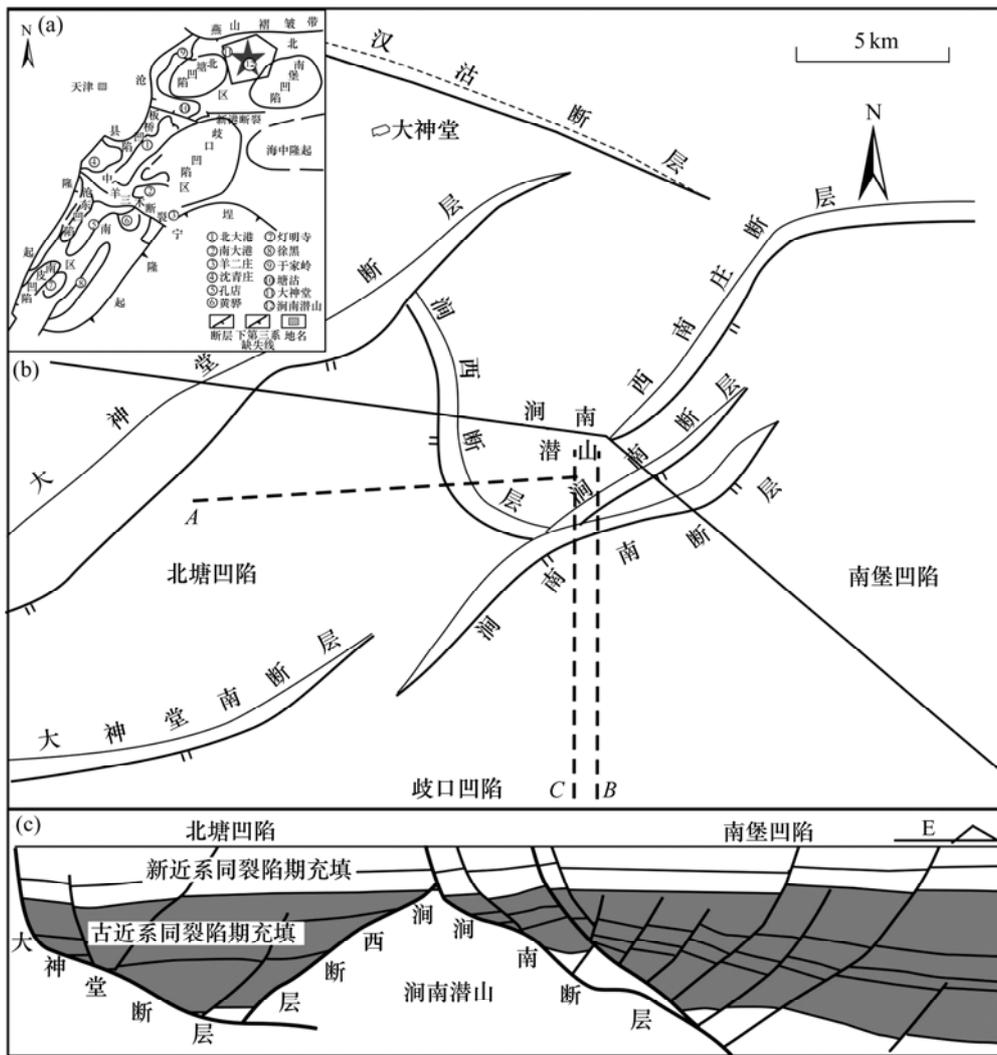
在沉积盆地特别是含油气断陷盆地分析中;“构造地层学”为近年来的又一个研究热点,它主要是把盆地的沉积充填过程与盆地的构造作用结合起来^[1-4]。众所周知,含油气盆地的地层充填样式和演化受控于盆地的构造演化、海(湖)平面的变化、古气候和物源体系的展布等因素^[4-7],而在陆相断陷盆地中,发育的同沉积构造由于长期的持续活动,对沉积相带和层序样式的发育起到重要影响,研究构造的演化特征,可以准确分析在不同构造背景下发育的层序样式,从而更加精确预测有利勘探区带和油气藏^[8-11]。

2007 年 5 月在南堡凹陷勘探到油储量达 10 亿 t。位于南堡凹陷北边缘的涧南潜山是黄骅拗陷内重要的含油气古隆起之一,也是大港油田少有的几块未开发的勘探区块之一,因此,对涧南潜山油气地质条件进行进一步研究具有重要的意义。近十几年来,前人对涧南潜山的形成演化、油气地质进行了大量工作,取

得了一些认识。为了进一步弄清古潜山的勘探潜力,本文作者根据构造地层学研究思路,对涧南潜山构造特征和形成演化进行分析,研究构造对沉积类型、层序样式以及垂向演化的控制作用,并据此探索古隆起外围的油气勘探方向。

1 地质背景

涧南构造带位于黄骅拗陷东北部,其北侧为燕山褶皱带前缘西河 - 老王庄潜山,南侧为塘沽 - 新港构造带,东西两侧分别被南堡和北塘两大凹陷所夹持,是 1 个发育在凹陷内部的低隆起型潜山构造带,有利勘探面积约 300 km²,涧南潜山区域地质图和构造格架图如图 1 所示。作为划分北塘和南堡两大生油凹陷的构造,它影响了两侧凹陷的形成与演化,控制了附



图中 A, B 和 C 线分别表示图 3, 图 5(a)和图 5(b)中地震剖面位置

图 1 涧南潜山区域地质图(a, b)和构造格架图(c)(据大港资料修改, 2004)

Fig.1 Regional geological map (a, b) and structure framework (c) of Jiannan buried-hill

近生、储、盖层的分布和油气的运聚,对该带进行深入研究对于油气勘探具有重要意义。

河南潜山呈北东走向,并被早期东西向构造体系中的北东、北西向的 2 组扭性断层切割,使其北东端向北东向倾伏,而西南端被北西向涧西断层所切断,南面受涧南断层所控制(图 1)。在潜山上沉积的古近系地层组成一短轴背斜,北东向的涧南断层和北西向的涧西断层在古近纪持续活动,控制了该构造带古近系地层的层序样式和沉积相类型。

2 涧南潜山构造演化及其沉积类型发育史

河南潜山所处的黄骅坳陷是在中国东部环太平洋构造域岩石圈拉伸变薄的背景下形成的第三纪沉积盆地,坳陷演化过程具有多幕性特征,可以分为裂陷期

(43.0~24.6 Ma)、裂后期(24.6~12.0 Ma)和裂后加速沉降期(< 12 Ma)^[3, 12]。

裂陷期可进一步细分为裂陷 I 幕, II 幕和 III 幕(图 2)。每裂陷幕对应一个二级层序。裂陷 I 幕是坳陷的初始裂陷期,构造沉降速率约为 240 m/Ma,主要沉积沙三段和沙二段。裂陷 II 幕是坳陷稳定发育期,主要沉积沙一段,构造沉降速率约为 35 m/Ma。裂陷 III 幕为断拗转换期,主要沉积东营组,构造沉降速率约为 40 m/Ma,总体为浅湖沉积环境。

裂后期(24.6~12.0 Ma)为盆地的坳陷期,主要沉积馆陶组,而裂后加速沉降期(< 12 Ma),主要沉积明化镇组和第四系(图 2)。

河南潜山与黄骅坳陷内众多潜山一样是在中生代白垩纪末开始发育,古近纪是潜山主要形成期,其演化过程与黄骅坳陷演化过程同步。潜山经历了早期的抬升发展、中期稳定发展定型和后期衰退 3 个阶段,同时该区沉积演化也经历了 3 个发展过程(图 3)。

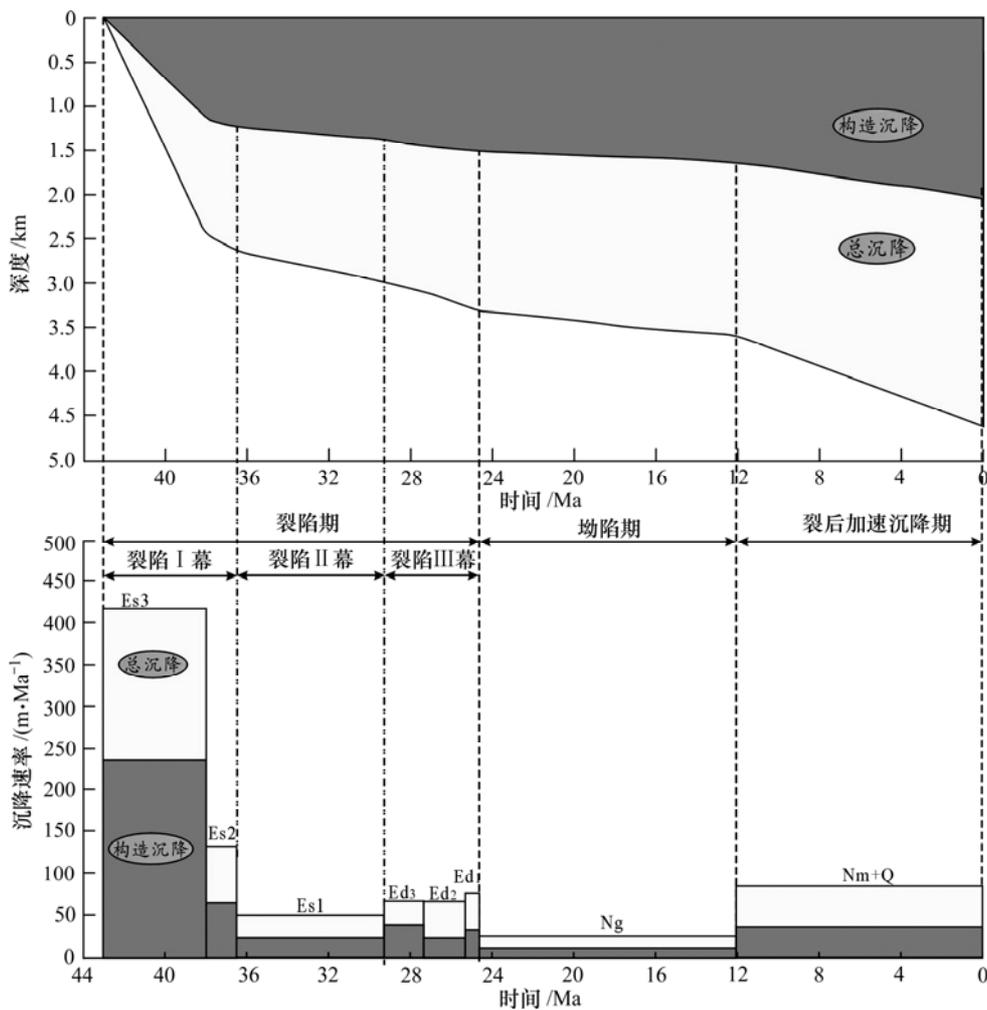


图 2 黄骅坳陷第三系沉降速率图

Fig.2 Evolution of sedimentation rate of tertiary in Huanghua depression

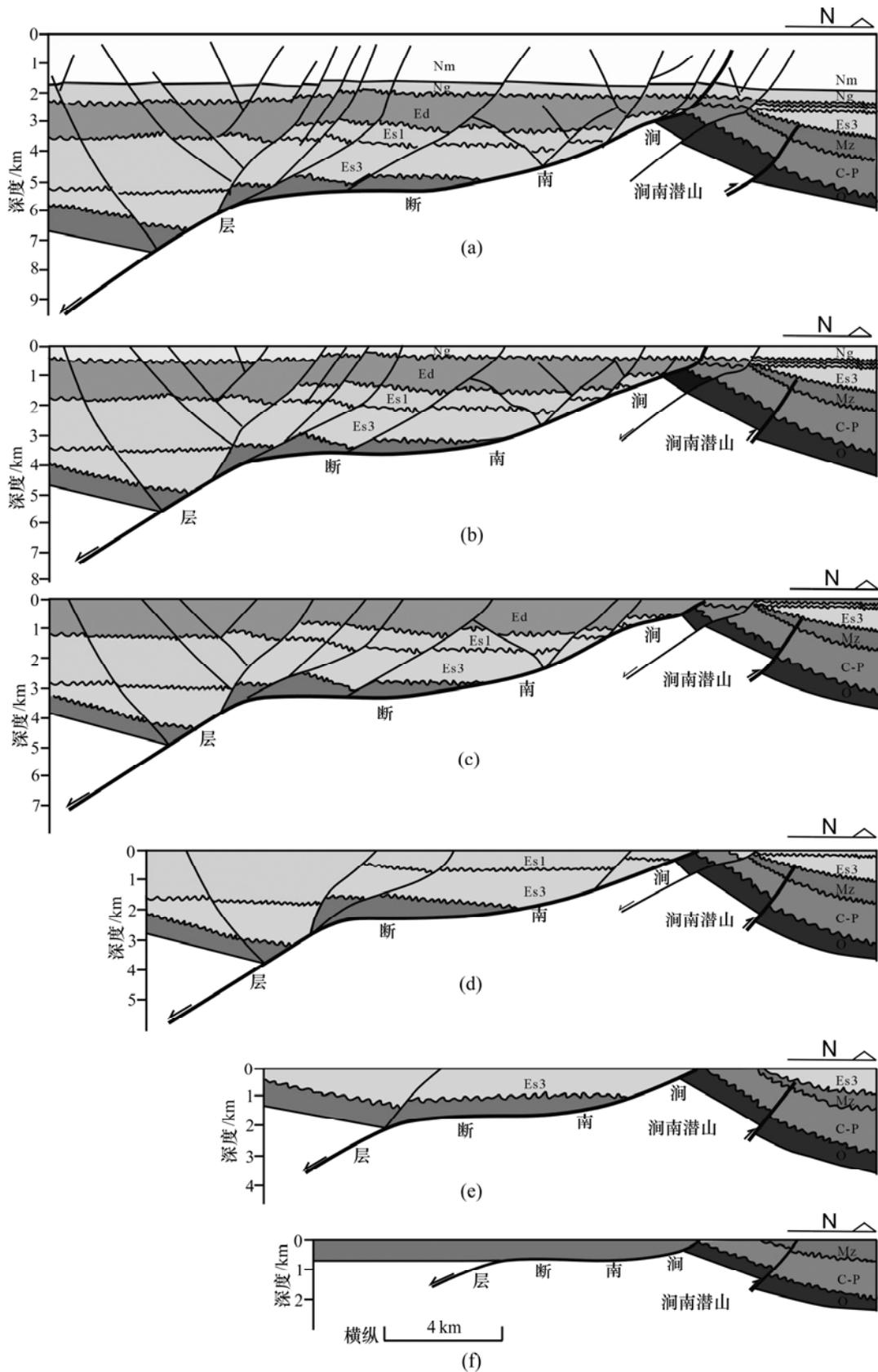


图 3 河南潜山南北向平衡剖面(据大港油田资料修改, 2004; 剖面位置见图 1 中 C 线)

Fig.3 North-south balanced cross section of Tertiary in Jiannan buried-hill

早期(中生代白垩纪末-早古近纪)是潜山主要的抬升发展期,受区域拉张力的控制,汉沽和润南断裂加速活动,断块大幅度翘倾,汉沽断裂和润南断裂下降盘沉降很深,相应的上升盘抬升很高,润南潜山形成,同时潜山顶部遭受强烈剥蚀,该期是潜山主要的发育形成期,也是潜山顶部的主要剥蚀期。由于该阶段构造活动强烈,断层活动性大,潜山边缘发育断裂陡坡带,沉积近岸水下扇,碎屑物经短距离的搬运后在陡坡带附近迅速卸载堆积,堆积大量厚层砂岩,向湖盆中心,砂岩含量减少,泥岩增厚,发育深水重力流,砂岩直接沉积在厚层泥岩之中。

中期(中、晚古近纪)是潜山稳定发展和定型期,翘倾活动已不明显,潜山呈继承性发育特点。此时,潜山围斜部位开始接受超覆沉积,潜山顶部仍遭受剥蚀,潜山附近沉积体系类型与早期具有继承性,主要发育近岸水下扇或是扇三角洲,至东营组沉积后期潜山整体沉入水下,潜山边缘发育缓坡带,地层超覆其上,至此,潜山发育结束。

晚期(新近纪)是潜山构造活动衰退期,断裂活动基本停止,新近系披覆其上,主要发育辫状河流沉积。

3 润南潜山边缘层序样式演化特征

在潜山演化过程中,边界断层在不同演化阶段,其构造活动性不同,即使在同一演化阶段,不同边界断层之间的活动性也不一样,因而在潜山两侧控制发育不同的坡折类型,如在构造活动早期,发育断裂陡坡带,而在构造活动晚期,主要发育缓坡带。在此,作者主要对润南断层控制的东南边缘和润西断层控制的西南边缘进行研究。

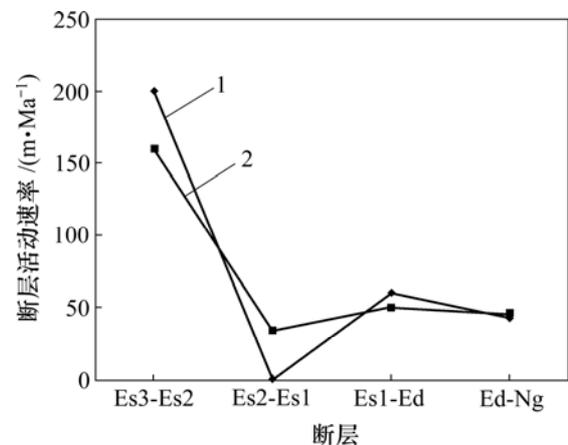
由于在潜山演化早期,顶部被剥蚀,没有沉积地层,因此,采用断层落差法对 2 条断层的活动性进行研究。润西断层与润南断层古近系古落差与断层活动速率如表 1 所示。

润西断层为平面式正断层,在沙三段沉积期,断层古落差约为 1 km,断层活动速率为 200 m/Ma,发育断裂陡坡带,潜山顶部被剥蚀,大量碎屑物直接堆积在断层下降盘,发育大型扇三角洲,地层厚度迅速加大,体现了在沉积过程中,断层控制了可容纳空间的变化;沙一段沉积期断层落差最大为 420 m,断层活动速率为 60 m/Ma,较沙三段沉积期有明显减弱,东营组沉积期断层活动性进一步减弱,活动速率仅为 42 m/Ma,边界断层控制发育挠曲坡折带,地层逐渐上超至潜山之上(图 4、图 5(a))。

表 1 润西断层与润南断层古近系古落差与断层活动速率

Table 1 Paleogene ancient fault gap and fault activity rate of Jianxi fault and Jiannan fault

时期	润西断层		润南断层	
	古落差/m	断层活动速率/(m·Ma ⁻¹)	古落差/m	断层活动速率/(m·Ma ⁻¹)
沙三段	1 000	200	800	160.00
沙二段	0	0	50	33.33
沙一段	420	60	350	50.00
东营组	210	42	220	44.00



1—润西断层; 2—润南断层

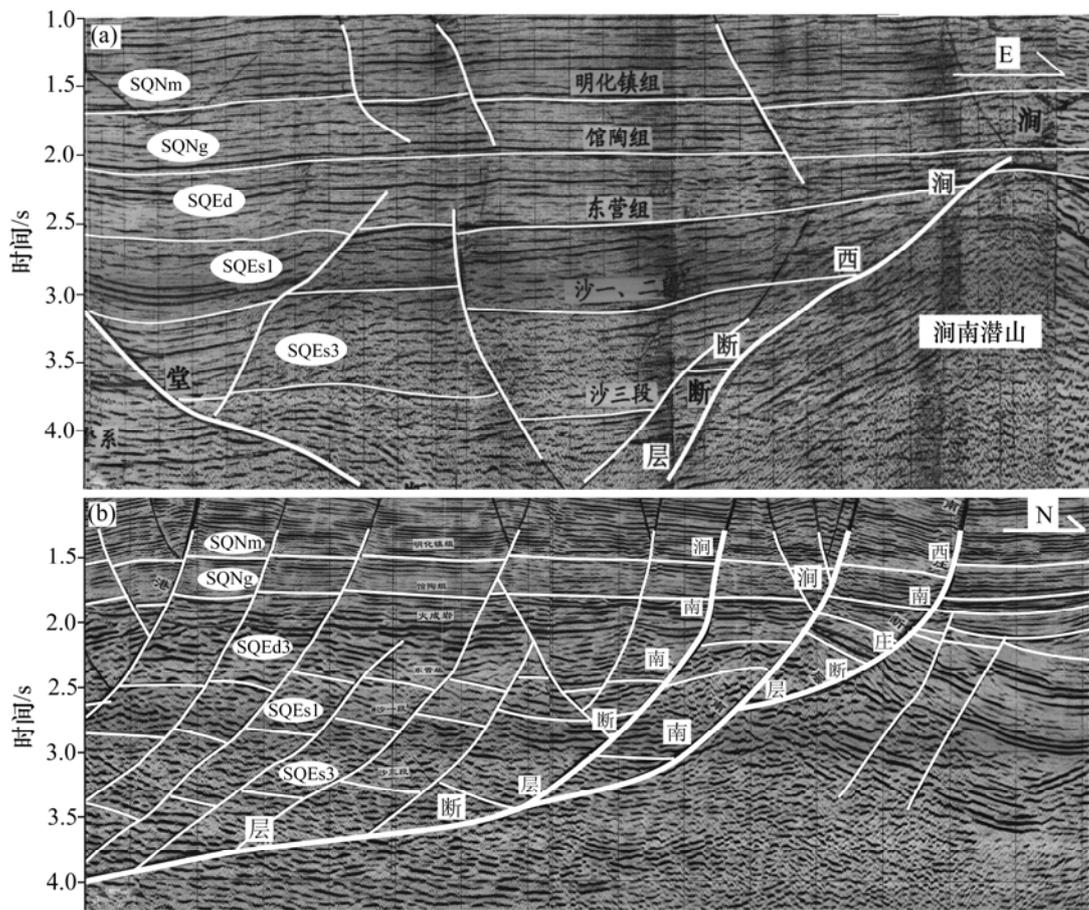
图 4 润西断层与润南断层不同时期断层活动速率

Fig.4 Fault activity rate of Jianxi fault and Jiannan fault during different periods

潜山东南翼的润南断层为坡坪式正断层,与润西断层相比,在同一时期其活动性较弱,下降盘形成宽阔的平坦区域。沙三段沉积期,断层最大落差约 800 m,断层活动速率为 160 m/Ma,断层附近主要发育扇三角洲;沙二段沉积期,仅断层下降盘沉积少量地层;沙一段、东营组沉积期,断层活动性逐渐减弱,沙一段沉积期,断层活动速率为 50 m/Ma,而东营组沉积期断层活动速率为 44 m/Ma,地层逐渐上超到潜山之上,润南断层与同向调节断层共同控制形成断阶,发育断阶坡折带(图 4、图 5(b))。

据以上分析可知:由于潜山两翼边界断层在不同时期,或是在同一时期其活动性和断层组合样式不一样,因此,潜山两翼的边界断层控制发育不同的层序样式,并且层序样式也随着构造的演化而演化。

在裂陷幕,潜山西南边缘为断裂陡坡带,控制发育陡坡带层序样式,以润西断层为界,分割为沉积区和剥蚀区;因此,不管是在低位域,还是在高位域,



(a) 横切涧西断层; (b) 横切涧南断层

图 5 横切河南潜山边缘的地震剖面(剖面位置见图 1(a) A 和 B 线)

Fig.5 Transverse seismic profiles of boundary of Jiannan buried-hill (profile location see Fig.1(a))

沉积物都是直接堆积在断层下降盘, 发育大型扇三角洲, 其远端发育浊流沉积, 砂体前端尖灭于泥岩之中, 形成盆底扇; 而在湖扩域, 湖体加深、物源减少, 沉积厚层泥岩, 直接沉积在低位域砂体之上。随着断层活动性逐渐减弱, 到了裂陷后期, 东营组上超到潜山之上, 断裂陡坡带演化为挠曲坡折带, 发育缓坡层序样式(图 6(a)), 低位域发育范围受坡折带的控制, 主要发育在坡折带以下, 随着湖平面上升, 湖扩域退积到坡折带以上, 在潜山顶部沉积薄层的湖扩域和高位域地层。

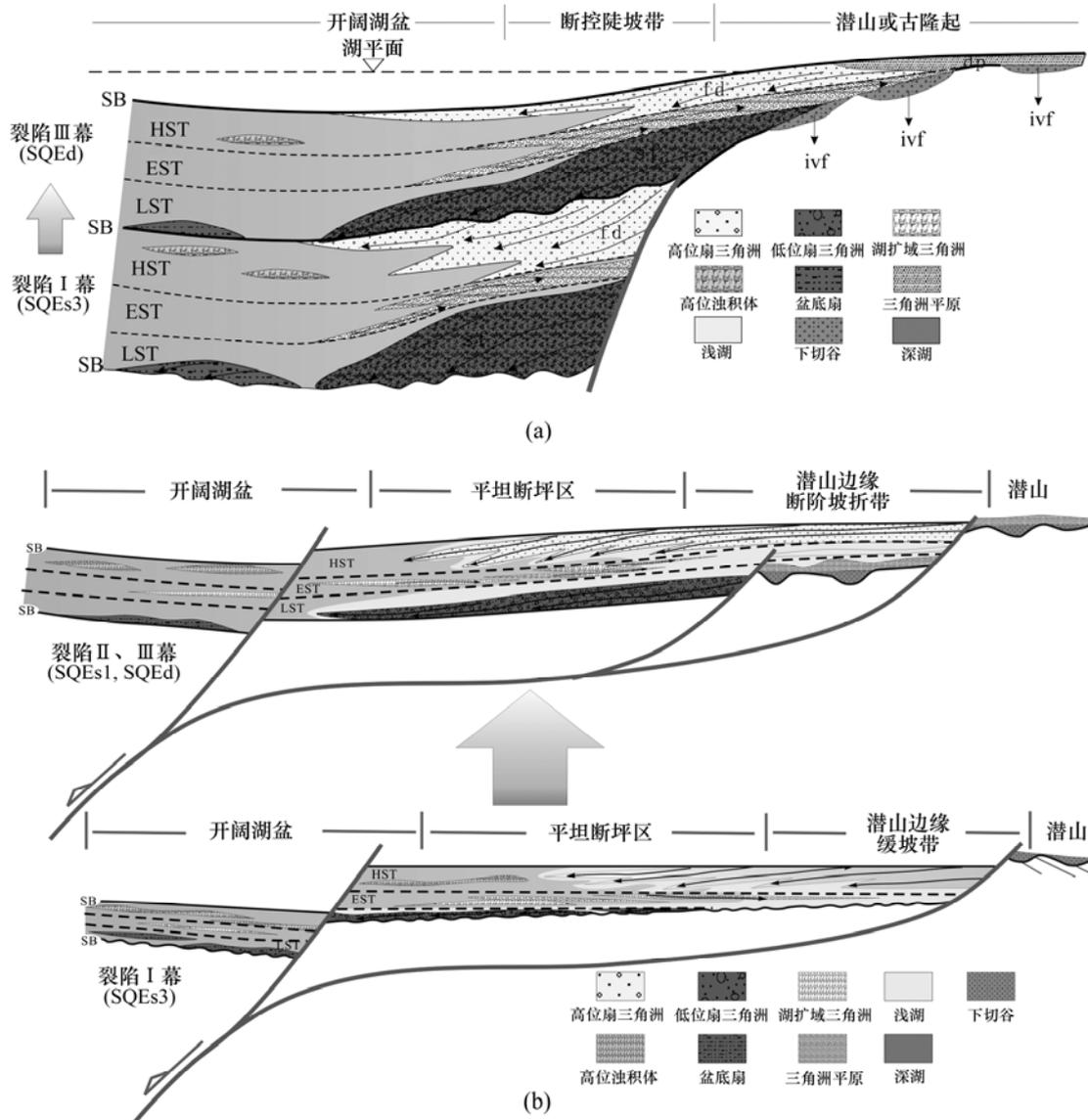
在潜山东南边缘, 坡坪式的涧南断层在裂陷 幕其下降盘形成宽阔的平坦区域, 地层坡度很缓, 湖岸线只是在断坪区域来回摆动, 发育平缓斜坡层序样式, 断坪区域主要沉积湖扩域和高位域碎屑物, 而只是在断坪远端沉积薄层低位体系域, 湖泊中心的远端坡折带控制发育深湖浊积沉积, 形成盆地扇。在裂陷后期, 由于上覆地层的重力作用, 地层沿断面发生滑脱, 发育同向调节断层, 与涧南断层共同控制发育断阶坡折带, 断阶坡折带不仅控制了低位域发育范围, 而且沉

积厚度发生突变的区域, 坡折带向湖一侧沉积旋回增多, 砂体层数和厚度明显加大, 断阶坡折带以上地层厚度明显减小, 主体发育薄层的湖扩体系域和高位体系域地层, 以及低位体系域的下切谷充填(图 6(b))。

4 讨论与圈闭预测

有研究表明: 在断陷盆地中, 长期活动的同沉积断裂或断裂坡折带是有利的油气聚集带, 控制着盆地中各种圈闭的发育^[10-11, 13-16]。

经过以上分析可知: 在裂陷 幕, 断裂陡坡带潜山边缘发育大型扇三角洲, 扇体中沉积的砂岩分布广泛, 侧向连通性强, 湖扩域发育的厚层泥岩直接堆积在低位域砂体之上, 可以作为良好的盖层, 而活动性强烈的边界断层侧向封堵效果好, 具备有利储集条件, 容易形成断层-岩性圈闭; 在凹陷中心, 浊流沉积中的砂体直接堆积在厚层泥岩之中, 容易形成岩性圈闭; 在裂陷中后期, 地层逐渐上超至潜山之上, 砂体在斜



(a) 润南潜山西南边缘层序样式及其垂向演化；(b) 润南潜山东南边缘层序样式及其演化

图 6 润南潜山边缘层序样式类型及垂向演化

Fig.6 Sequence patterns and vertical evolution of boundary in Jiannan buried-hill

坡上上倾尖灭，易形成上倾尖灭的岩性圈闭。在潜山东南边缘的裂隙早期，在宽阔的断坪区域里，发育大量的薄层低位域砂体和厚层的高位域砂体，砂体前缘下倾尖灭在泥岩之中，而向潜山一侧，低位域砂体上倾尖灭在断坪之上，易形成岩性圈闭，而高位域砂体根部受断层控制，砂体是侧向加积，上倾尖灭，易形成断层-岩性圈闭。在裂隙后期，调节断层的发育，容易形成断层-岩性圈闭，而润南断层的持续活动，能有效沟通湖盆中心的烃源岩，起油气运移通道的作用。因此，潜山东南边缘发育的各种圈闭都有可能形成有利储集带。可见：在润南潜山周缘，润西断层早期控制发育的断裂陡坡带向湖一侧，可以作为该区深层有利勘探区带，寻找断层-岩性圈闭，而后期

发育的挠曲坡折带可作为浅层有利勘探区带，主要寻找上倾尖灭岩性圈闭；在潜山的东南边缘，可以作为整个层序勘探区带，由于后期活动的断层对前期圈闭进行改造，因此，在深层和浅层以寻找断层-岩性圈闭为主。

5 结论

- (1) 润南潜山的演化过程可分为早期的抬升发展、中期稳定发展定型和后期衰退 3 个阶段，与整个黄骅坳陷的构造演化基本同步。
- (2) 在润南潜山西南边缘，在裂隙早期主要发育

断裂陡坡带层序样式;在裂陷后期,发育挠曲缓坡带层序样式,而潜山的东南边缘在裂陷早期发育平缓斜坡层序样式,在裂陷后期发育断阶坡折带层序样式。

(3) 润南潜山西南边缘向湖一侧可作为深层沙三段有利勘探区带,在此主要寻找断层-岩性圈闭;浅层的挠曲坡折带为浅层有利勘探区带,在此主要寻找上倾尖灭岩性圈闭;而在潜山东南边缘,为整个层序勘探区带,在此以寻找断层-岩性圈闭为主。

致谢:

本文在写作过程中,得到了中石油大港油田勘探研究院同仁的帮助,作者在此向他们表示感谢。

参考文献:

- [1] 林畅松. 沉积盆地的构造地层分析—以中国构造活动盆地研究为例[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 185-194.
LIN Chang-song. Tectonic-Stratigraphic analysis of sedimentary basins: A case study on the inland tectonically active basins in China[J]. Geoscience, 2006, 20(2): 185-194.
- [2] Hans E, Mandana H, Woligang S. Tectonic and climatic control of Paleogene sedimentation in Rhenodanubian Flysch basin(Eastern Alps, Austria)[J]. Basin Research, 2002, 14(7): 247-262.
- [3] 黄传炎, 王华, 高嘉瑞, 等. 北塘凹陷古近系构造演化及其对层序充填样式的控制[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 7-13.
HUANG Chuan-yan, WANG Hua, GAO Jia-rui, et al. Tectonic evolution and controlling on sequence filling pattern of Tertiary in Beitang Sag[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2008, 32(3): 7-13.
- [4] LIN Chang-song, ZHEN He-rong, REN Jan-ye, et al. The control of syndepositional faulting on the Eocene sedimentary basin fills of Dongying and Zhahua sags, Bohaiwan rift basin[J]. Sci China Ser D-Earth Sci, 2004, 47(9): 769-782.
- [5] Smith G J, Jacobi R D. Tectonic and eustatic signals in the sequence stratigraphy of the Upper Devonian Canadaway Group, New York State[J]. AAPG Bulletin, 2001, 86(4): 696-697.
- [6] Frimmel H E, Foilling P G, Eriksson P G. Neoproterozoic tectonic and climatic evolution recorded in the Cariep Belt. Namibia and South Africa[J]. Basin Research, 2002, 14(1): 55-67.
- [7] Vail P R, Bowan S A, Eisner P N, et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology: An overview[C]//Einsele. Cycles and Events in Stratigraphy. Berlin, Heidelberg: Springer-verlag, 1991: 617-659.
- [8] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油气藏预测及勘探的关键技术—高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学, 2002, 27(5): 593-598.
LI Si-tian, PAN Yuan-lin, LU Yong-chao, et al. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins: Sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey[J]. Earth Science, 2002, 27(5): 593-598.
- [9] 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国中、新生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型[J]. 地球科学, 2004, 29(5): 583-589.
LIN Chang-song, ZHANG Yan-mei, LI Si-tian, et al. Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China[J]. Earth Science, 2004, 29(5): 583-589.
- [10] 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, 2000, 25(3): 260-265.
LIN Chang-song, PAN Yuan-lin, XIAO Jian-xin, et al. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin[J]. Earth Science, 2000, 25(3): 260-265.
- [11] 李丕龙, 蔡进功, 王居峰, 等. 陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷二): 陆相断陷盆地沉积体系与油气分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
LI Pi-long, CAI Jing-gong, WANG Ju-feng, et al. Petroleum geology and exploration of continental fault basin(Volume): Sedimentary system and hydrocarbon distribution of continental fault basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [12] 大港油田石油地质志编委会. 中国石油地质志(卷四): 大港油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
Petroleum Geology Editorial Board of Dagang Oilfield. Petroleum Geology of China (Volume): Dagang oilfield[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.
- [13] WANG Ying-min, LIU Hao, XIN Ren-chen, et al. Lacustrine basin slope break - A new domain of strata and lithological trap exploration[J]. Petroleum Science, 2004, 1(2): 55-61.
- [14] 郭建华, 王明艳, 蒋小琼, 等. 塔里木盆地塔中和满西地区石炭系层序地层[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2004, 35(1): 122-128.
GUO Jian-hua, WANG Ming-yan, JIANG Xiao-qiong, et al. Sequence stratigraphy of the Carboniferous in Tazhong and Manxi areas of Tarim Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2004, 35(1): 122-128.
- [15] 任建业, 陆永潮, 张青林. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制[J]. 地球科学, 2004, 29(5): 596-602.
REN Jian-ye, LU Yong-chao, ZHANG Qing-lin. Forming mechanism of structural slope-break and its control on sequence style in faulted basin[J]. Earth Science, 2004, 29(5): 596-602.
- [16] 毛治国, 樊太亮, 刘亚明, 等. 南苏门答腊盆地北部新生代层序地层格架及有利储层分布[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2007, 38(6): 1225-1231.
MAO Zhi-guo, FAN Tai-liang, LIU Ya-ming, et al. Phanerozoic sequence stratigraphic framework and reservoir distribution in the north of South Sumatra Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2007, 38(6): 1225-1231.

(编辑 赵俊)