

冀中拗陷深县凹陷的生长断层特点 及其对沉积的控制作用

梁富康¹ 于兴河¹ 李先平² 邹 敏¹ 孙相灿³ 李 梅⁴

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100086; 2. 中石油华北油田分公司物探研究院, 河北 任丘 062552;
3. 北京恒泰艾普石油勘探开发技术有限公司, 北京 100084; 4. 山东胜利职业学院, 山东 东营 257097)

摘要:众所周知,构造控制沉积,沉积控制储层,但多数沉积相图的编制并没有系统考虑构造对沉积的控制作用,因而造成沉积相或古地理图与同生构造格局不匹配的严重缺陷。这里所指的构造主要是生长断层,而活动方式会对沉积地层有明显的控制作用。深县凹陷的生长断层可以划分为 4 种模式:晚期活动模式、持续活动模式、间歇活动模式及深部扩展模式。在此基础上,本文根据断层的活动变化特点并结合区域物源分析,系统地讨论了深县地区的生长断层对该区沉积格局的控制作用,在总体沉积格局表现为“南部水下扇、北部三角洲”的基础上,两大沉积体系前缘的同生断层分布控制砂体的进一步展布,呈现出平面顺断朵状分布、剖面垂向楔形叠加的沉积特点。

关键词:生长断层;活动模式;控砂机制;古近纪;深县凹陷

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)02-0263-08

冀中拗陷位于燕山褶皱带之南,西邻太行山隆起,东至沧县隆起,南接邢衡隆起,呈 NNE 向展布^[1]。冀中拗陷南部的深县凹陷是一个典型的不对称双断型新生代伸展盆地,其边界及内部发育多期叠加的复杂断裂体系。前人曾针对深县的构造特点开展过研究,制作过多套层位的地震反射构造图,并用发育剖面来说明该区的构造演化特点,但并没有从生长断层的角度对其开展专门的研究。深县凹陷历经古近纪沙一段、沙二段、沙三段和东营组等多套地层的沉积期,多期构造运动相互叠加,使在该区的断裂体系呈多期叠加相互交切的复杂格局。地质历史时期的生长断层不等同于现今的断裂体系,生长断层的活动有时会与经典的半地堑活动-充填模式存在明显的差异^[2]。生长断层的活动和展布直接控制着沉积地层的厚度和分布,生长断层之间发育传递斜坡(relay ramp),是裂谷肩部物源向盆地快速搬运、沉

积,并形成一系列砂砾岩体的有利场所^[3]。在油气勘探中,生长断层和油气的生成、运移、聚集有密切的成因联系^[4-8]。因此,在构造运动多期叠加的复杂地区,合理区分出各期形成的断层,识别出生长断层在地质历史时期的活动模式,并详细分析各期生长断层与构造发育及沉积演化的成因联系,是十分必要的。在传统的沉积研究手段上(即根据岩心、测井、地震等资料),专门针对与沉积体系发育最为密切的构造因素——生长断层展开研究,分析其在地质历史时期的构造演化特点,并探讨其对沉积体系发育的控制作用。

1 区域地质背景

深县凹陷位于冀中拗陷南部,北以旧城北断裂与深泽—刘村低凸起为界,东接饶阳凹陷,南以衡水断裂与新河凸起、束鹿凹陷为界,西界限定于宁晋凸起(图 1),面积 680 km²。凹陷受基底断裂系统的控

收稿日期:2010-07-07;改回日期:2010-10-24

基金项目:国家自然科学基金项目“陆相湖盆斜坡带顺坡流与沿坡流相互作用机理及沉积构型相应”(41072084)资助。

作者简介:梁富康,男,1982 年生,博士生,盆地构造与沉积学专业;E-mail:frank2008@163.com。

通讯作者:于兴河,男,1958 年生,教授,博士生导师,主要从事沉积学和油气地质学研究;E-mail:billyu@cugb.edu.cn。

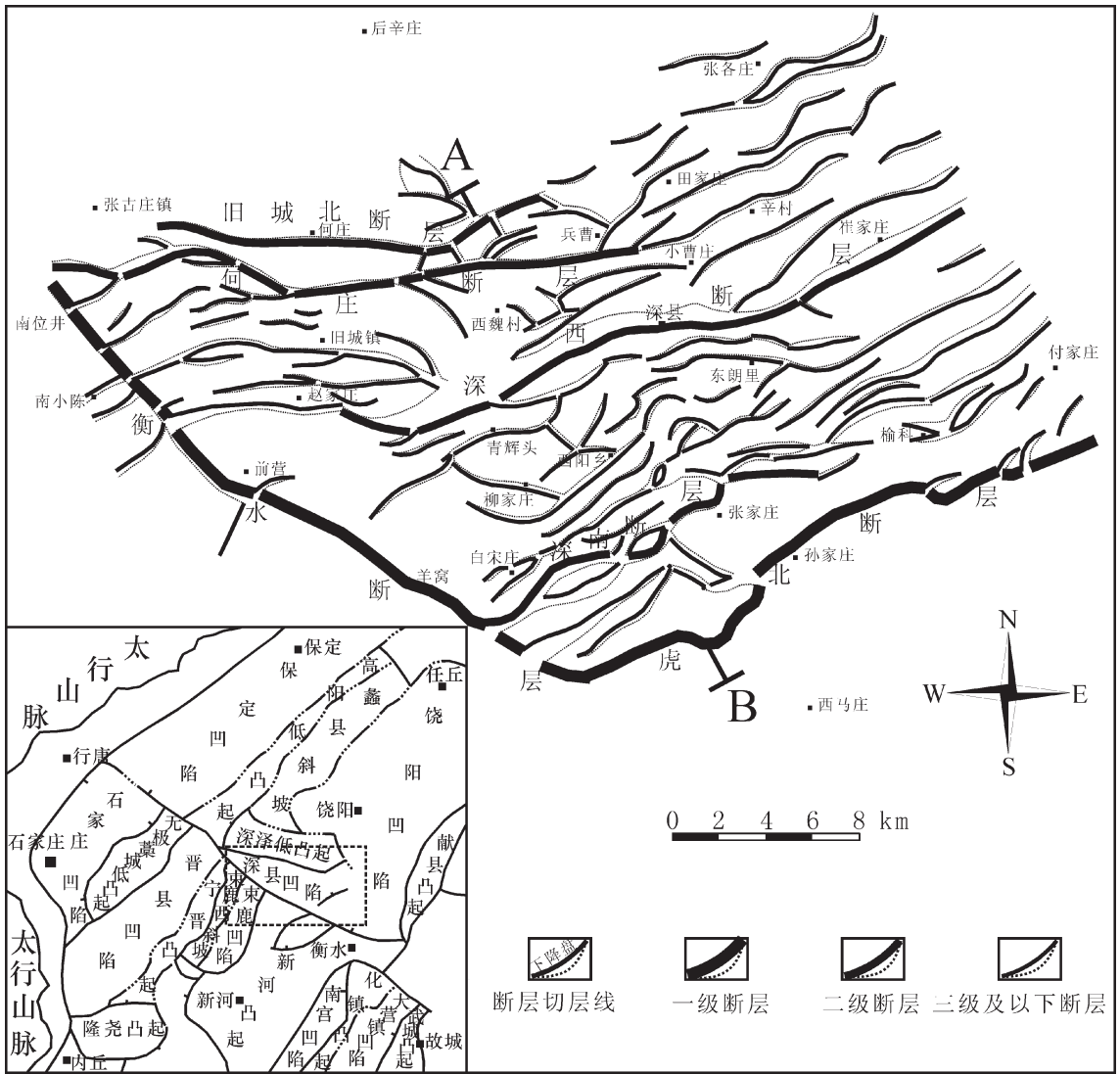


图1 深县凹陷的区域构造位置与断裂体系(据 T5 构造反射图编制)

Fig.1 Location of regional structure and fault systems in Shenxian depression (based on T5 structural reflection map)

制,即受衡水断层和旧城北断层夹持的双断型断槽结构所控制,古近纪发育的构造继承了这些结构特征。

深县凹陷的新生代盆地基底为古生界的寒武—奥陶系,局部低洼地势区为石炭—二叠系。新生界的总沉积厚度可达 4000 m, 自下而上可分为古近系、新近系和第四系。其中古近系发育孔店组(Ek)、沙河街组(Es)和东营组(Ed);新近系发育馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm),而第四系发育更新统平原组。

目前,已在深县地区发现了深南、榆科、深西、青辉头、何庄、何庄西、何庄东等多个油田。

2 盆地断裂系统

深县凹陷古近系发育的断层以北东东向的正断层为主。该区的断层可以根据其规模分为三级。一级断层有两条,分别为衡水断层和虎北断层。衡水断层为北西走向、北东倾向,垂直断距最大近 4500 m;虎北断层为北东东走向、北北西倾向,其规模相对较小,垂直断距最大为 2400 m。这两条断层是深县凹陷南侧的边界断层(图 1)。

二级断层共有 4 条,从北到南依次为旧城北断

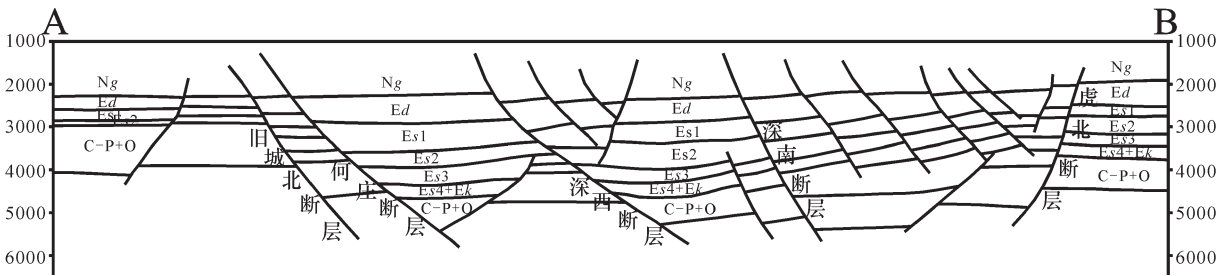


图 2 过深县凹陷主体的构造剖面(剖面位置见图 1)

Fig.2 Structural section across main part of Shenxian depression (see Fig.1 for location)

层、何庄断层、深西断层和深南断层(图 2)。旧城北断层总体为东西走向,倾向南方,最大垂直断距为 600 m,该断层是深县凹陷的北侧边界断层;何庄断层也为东西走向,向南倾斜,最大垂直断距为 250 m。深西断层为北东东走向、南南东倾向,最大垂直断距 1100 m。深南断层也是北东东走向,而其倾向为北北西,断层延伸较为波折,最大垂直断距 450 m。旧城北断层、何庄断层、深西断层和深南断层是深县凹陷内的主干断层,控制了凹陷内的沉积格局和之间的差异。

深县凹陷的三级及级别更小的断层广泛发育于研究区内,其分布与走向从属于凹陷内的 4 条主干断层。这些较小级别的断层对凹陷内的沉积格局起复杂化作用。

3 生长断层的活动模式

在地层沉积期间同期形成的断层称之为生长断层。在时间上,断层的活动与沉积地层的形成同期;在空间上,生长断层多见于盆地边缘地带,断层面的倾向多指向沉积中心。生长断层又分为生长正断层和生长逆断层两种,目前对生长断层的研究热点主要集中在前者。生长正断层在剖面上有上盘厚、下盘薄的特点,在平面上大多呈圆弧状,其凹面指向断层的下降盘^[4]。生长断层的发育往往是先形成小规模的分段断层,并最终连接成一条较大规模的断裂或断裂带^[9,10]。生长断层的观测通常采用野外露头观察^[5,10]和地震剖面解释^[11]。根据断层对地层厚度的控制特点,对生长断层的定量分析通常采用落差法^[12,13]、生长指数法^[14]、垂直断距法^[15]等手段。

生长断层的研究是对伸展盆地进行运动学分析的基础。只有识别出与沉积地层同期形成的生长断层,才能将构造活动对沉积事件的控制作用做出正

确的评价。在传统的石油构造地质研究中,通常以先进的工作站和相关的解释软件为手段,在三维地震数据上对盆地的地层和构造进行解释,最后得出各个反射层的构造图。然而,这些构造图仅代表现今构造在某一层位上的空间组合特点,它们的形成时代并不一定是同期的。

因此,为了研究断层对沉积的控制作用,必须在已有三维地震资料及相应的平衡剖面图件的基础上,对断层进行活动期次的划分。笔者根据断层活动与沉积事件的相互配置关系,总结出生长断层的 4 种活动模式:晚期活动模式、持续活动模式、间歇活动模式和深部扩展模式(图 3),并以不同的方式控制着不同年代的沉积地层厚度。

由于现今构造图反映的是断层多期叠加的构造格局,因此要恢复沉积时期的活动断层(即生长断层),首先必须对构造图上的断层进行运动学判定,其次按照地层沉积的期次来依次恢复该期的同沉积断层。根据剖面上的断层活动特点及其对沉积地层的控制,在辨别出 4 种断层活动模式的基础上(图 3),就可以确定出深县地区生长断层的活动模式及分布特点(图 4)。

4 生长断层对沉积格局的控制

如今,现代沉积学的研究已经进入了理论升华与学科渗透阶段,从多个角度、运用多种手段对沉积特征进行研究是未来的学科发展趋势^[16,17]。因此,沉积学研究中不能回避的一个问题,是需要首先开展构造的研究。生长断层作为沉积体系形成时期最为重要的构造运动表现,其活动造成的地貌起伏形成的古凸起和下切沟谷控制着沉积体系的发育类型^[18],而生长断层在地质历史时期的活动差异造成的盆地性质发生变化,则控制着沉积体系的盆地结构、充填特征

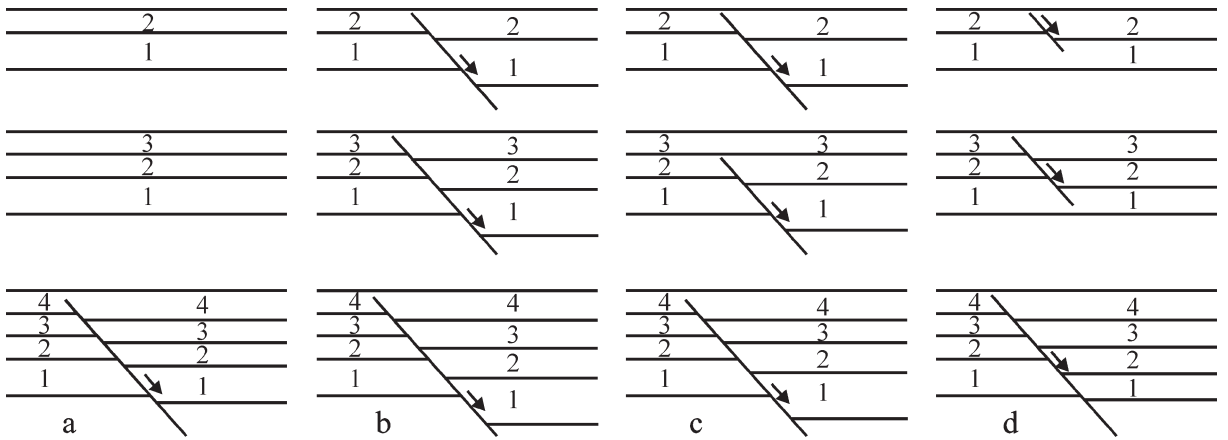


图3 冀中拗陷深县凹陷生长断层的4种活动模式
a—晚期活动;b—持续活动;c—间歇活动;d—深部扩展

Fig.3 Four activity models of growth faults

a—Late activity;b—Continuous activity;c—Periodic activity;d—Deep extension

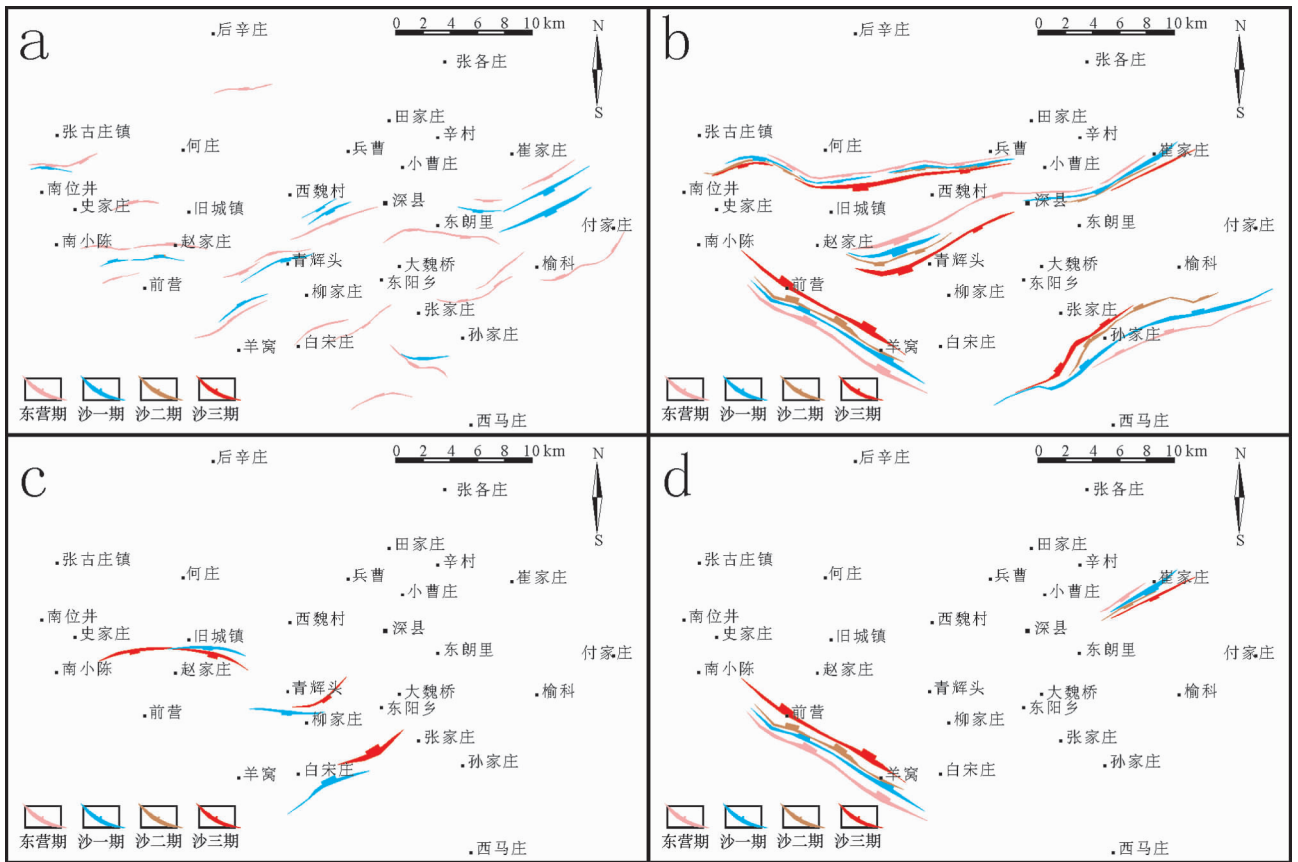


图4 深县凹陷古近系不同活动模式的生长断层分布图
a—晚期活动;b—持续活动;c—间歇活动;d—深部扩展

Fig.4 Map of growth faults with different activity models of Paleogene in Shenxian depression
a—Late activity;b—Continuous activity;c—Periodic activity;d—Deep extension

和环境变迁^[19,20]。

4.1 晚期活动模式

在该模式中,断层在先存地层的沉积期没有活动,在后期才活动,并切断先期形成的地层。如图 3-a 所示,地层 1—3 沉积时均无断层活动,到了地层 4 沉积期断层才形成,并切割 1—3 地层。各地层界面被断层切开的断距一致。由于断层的同期活动,地层 4 的上下盘的厚度不一致,下降盘的厚度要比上升盘大。

晚期活动的断层普遍见于深县凹陷全区。在沙一段—东营组沉积期,由于渤海湾盆地的构造运动总体上由断陷向拗陷转化,因此深县凹陷的伸展运动逐渐以面状伸展为特征。因此,盆地中的小规模断层广泛发育,并在东营组沉积末期逐渐停止活动。断裂对沉积的控制作用由于断层活动量的减小也逐渐变得不明显。

4.2 持续活动模式

断层在多个地层单元的沉积过程中持续活动。断层对其上下盘均有构造控制作用。如图 3-b 所示,地层 1—4 的下降盘厚度均比上升盘大。沿断面的地层被错开的断距,有从上到下逐渐增大的特点。

深县地区的持续活动断层主要是一级的大型断层,如衡水断层、虎北断层、何庄断层及深西断层(图 1)。由于该类型断层的活动期次持久,累积控制的沉积地层巨厚,因此深县凹陷的此类断层类型多为凹陷的边界断层(如衡水断层和虎北断层)和凹陷内的主干断层(如何庄断层和深西断层)。

4.3 间歇活动模式

间歇活动断层在地层的初始沉积期有构造活动,中间有某个不活动的“潜伏期”。到了晚期又重新活动,断层面重新向浅部延伸。这种活动—潜伏—活动的断层活动特点即为断层的间歇活动模式。如图 3-c,断层在 1、2 地层沉积期有活动,而在地层 3 沉积期潜伏下来不活动,到了地层 4 沉积期又重新活动。断层活动反映到对沉积厚度的控制上,表现为除地层 3 外,地层 1、2、4 均存在下降盘比上升盘厚的现象。

间歇活动的断层在深县凹陷内也有发育,它们是旧城镇断层、柳家庄断层和深南断层。此类断层的活动期次并不是持续的,中间有断层活动静止的间歇期(即沙二段沉积期)存在,断层在该时期形成的断距极不明显,断盘两侧的地层(沙二段)没有厚度

差异。

4.4 深部扩展模式

深部扩展模式可用来解释一种在地震剖面中所观察到的特殊现象,即断层深部的断距比浅部的断距小的现象。断层在地层沉积期有同生活动,并在压实作用下向深部扩展。该模式之所以特殊,是因为在时间上既有持续活动的特点,在空间上断层又朝地层深部对岩石产生破裂作用。如图 3-d,断层在地层 1—4 的沉积过程中均有活动,断层在向浅部扩展的同时也向深部扩展。在地层 4 沉积末期,断面向深部扩展并切穿地层 1 的底部界面。由于该界面是被后期向深部扩展的断层切穿的,所以其断距并不明显,错断量也不如浅部的地层界面。这种特殊模式的断层活动可能是地层的压实效应造成的。

深部扩展断层在深县地区的分布较为稀少,主要集中在大规模断层的断距相对较大处,及衡水断层中段和南段,以及深西断层的东段。该处的断层由于上下盘明显的沉积厚度差导致断层不仅向上扩展,同时也在下降盘巨厚沉积物的差异压实作用下,断层向地层深部扩展。值得一提的是,深部扩展断层往往也属于持续活动断层,因为要产生明显的差异压实作用往往需要巨厚的沉积物,而只有断层的持续活动才能产生足够大的沉积物可容纳空间。

通过判断断层的活动性质,对断层进行期次划分,并根据构造对水系的控制作用,就可以讨论同生断层对同时代沉积相带的控制作用(图 5)。

同构造期的活动断层对沉积格局有较好的控制作用。由于南部的衡水断层只在中段有较强烈的活动,而且其断面较陡,因此沿衡水断层发育两个面积较小的水下扇(图 5)。在衡水断层的较大断距处,上下盘的高差较大,由于断层的均衡作用,断层的上升盘有较为明显的均衡抬升,因此沉积物无法在此路径上通过并运移;反之,在断层的断距较小处,上下盘的高差较小,该处就成为沟通断层上下盘的沉积物运移通道,如前营东侧发育的水下扇(图 5)。

不仅同一断层上的断距变化对沉积物质的运移路径有控制作用,而且不同断层的组合也可以对物源的走向产生影响。不同断层之间的倾向关系(同向、对向或背向)及叠覆程度均会对沉积事件产生不同程度影响。同时,断层的活动也能有效地控制沉积朵状体的展布范围。如在研究区北部的何庄地区和深县地区,由于区域上的主物源来自北部,而且沉积

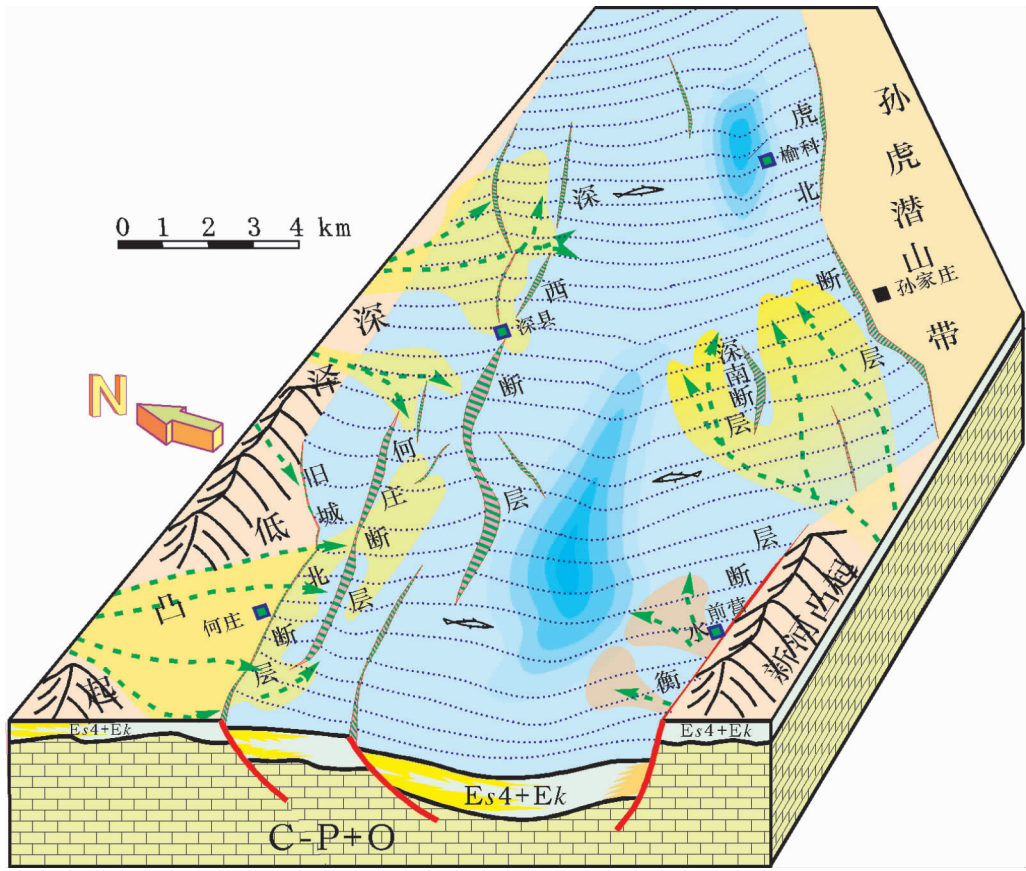


图 5 深县凹陷的古近系构造格局与沉积体系模式图
 Fig.5 Model of Paleogene structural configuration and depositional system in Shenxian depression

物源的走向明显地受到断层的平面组合样式的控制，因此该区辫状河三角洲前缘较为发育。在剖面上，三角洲前缘的地层叠加则表现为楔形体，并朝湖盆深部延伸(图 5)。

5 结论

根据断层对沉积地层的控制作用，深县凹陷的生长断层可以划分为 4 种模式：晚期活动模式、持续活动模式、间歇活动模式和深部扩展模式。不同的断层活动模式对沉积地层的控制作用各有特色，其中以持续活动的断层对沉积的控制最为明显。在实际的应用和鉴别中，关键是在剖面上对断层两侧的沉积地层厚度变化进行仔细观察，从厚度的变化规律中识别出断层的活动特点。

生长断层对同沉积期的沉积格局有明显的控制作用。断层的断距变化、断层间的倾向关系以及叠覆程度，都能有效地影响沉积物质的运移路径。在此基础上，结合物源分析，认为该区有“南部水下扇、北部

三角洲”的沉积体系发育特点。而两大沉积体系前缘的同生断层分布控制砂体的进一步展布，呈现出平面顺断朵状分布、剖面垂向楔形叠加的沉积特点。

参考文献 (References):

- [1] 张文朝, 崔周旗, 韩春元, 等. 冀中坳陷老第三纪湖盆演化与油气[J]. 古地理学报, 2001, 3(1):45-54.
 Zhang Wenchao, Cui Zhouqi, Han Chunyuan, et al. Evolution of Palaeogene lacustrine basins and oil and gas potentials in the central Hebei Depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(1):45-54 (in Chinese with English abstract).
- [2] Pivnik D A, Ramzy M, Steer B L, et al. Episodic growth of normal faults as recorded by syntectonic sediments, July oil field, Suez rift, Egypt[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(6):1015-1030.
- [3] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zones in the East African Rift System and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74:1234-1253.
- [4] 王燮培. 石油勘探构造分析 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990:21-78.
 Wang Zhipei. The Analyses of Structure in Oil Exploration [M].

- Wuhan: China University of Geoscience Press, 1990:21-78 (in Chinese).
- [5] Burhannudinnur M, Morley C K. Anatomy of growth fault zones in poorly lithified sandstones and shales: implications for reservoir studies and seismic interpretation: part 1, outcrop study [J]. *Petroleum Geoscience*, 1997, 3:211-224.
- [6] 刘东周, 李建英, 王津, 等. 同生断层分段生长特征与油气关系[J]. 小型油气藏, 2002, 7(3):10-14.
- Liu Dongzhou, Li Jianying, Wang Jin, et al. The segmented growth feature of syngenetic fault and its relationship to oil and gas[J]. *Small Hydrocarbon Reservoirs*, 2002, 7(3):10-14(in Chinese with English abstract).
- [7] 郑秀娟, 于兴河, 王彦卿. 断层封闭性研究的现状与问题[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(6):19-24.
- Zheng Xiujuan, Yu Xinhe, Wang Yanqin. Status quo of research on fault sealing capacity and existent problems [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(6):19-24(in Chinese with English abstract).
- [8] 窦立荣. 二连盆地边界断层的生长模型及其对含油气系统形成的控制[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(2):27-30.
- Dou Lirong. Boundary fault propagation pattern and its application to the formation of petroleum systems in the Erlian basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27 (2):27-30 (in Chinese with English abstract).
- [9] Morley C K. Evolution of large normal faults: Evidence from seismic reflection data[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86 (6), 961-978.
- [10] Noll C A, Hall M. Normal fault growth and its function on the control of sedimentation during basin formation: A case study from field exposures of the Upper Cambrian Owen Conglomerate, West Coast Range, western Tasmania, Australia [J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(10): 1609-1630.
- [11] 戴富贵, 刘宝睿, 杨克绳. 华北盆地地震剖面地质解释及其构造演化[J]. 中国地质, 2008, 35(5):820-840.
- Dai Fugui, Liu Baorui, Yang Kesheng. Geological interpretation of seismic sections and tectonic evolution of the North China basin[J]. *Geology in China*, 2008, 35(5):820-840(in Chinese with English abstract).
- [12] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2):15-17.
- Li Qinying, Luo Fengzhi, Miao Cuizhi, et al. Research on fault activity ratio and its application [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2000, 7(2):15-17(in Chinese with English abstract).
- [13] 赵勇, 戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3):13-15.
- Zhao Yong, Dai Junsheng. Identification of growth fault by fault fall analysis [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30 (3):13-15(in Chinese with English abstract).
- [14] 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3):20-23.
- Chen Gang, Dai Junsheng, Ye Xingshu, et al. A comparison of the fault growth index with fault throw [J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2007, 29(3):20-23(in Chinese with English abstract).
- [15] Pochat S, Castellort S, Driessche V D, et al. A simple method of determining sand/shale ratios from seismic analysis of growth faults: An example from upper Oligocene to lower Miocene Niger Delta deposits[J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88 (10):1357-1367.
- [16] 于兴河, 郑秀娟. 沉积学的发展历程与未来展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2):173-182.
- Yu Xinghe, Zheng Xiujuan. Review of the development and prospect of sedimentology [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19 (2):173-182 (in Chinese with English abstract).
- [17] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2008:14-33.
- Yu Xinghe. *Clastic Reservoir Sedimentary for Hydrocarbon Exploration* [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2008:14-33(in chinese).
- [18] 邹德江, 于兴河, 李胜利, 等. 古地貌对储层沉积体系控制作用分析——以冀中油田马西地区为例 [J]. 石油天然气学报, 2008, 30(2):175-177.
- Zou Dejiang, Yu Xinghe, Li Shengli. Analysis on control of paleogeomorphology to reservoir sedimentary system [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30 (2):175-177 (in Chinese with English abstract).
- [19] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素——以济阳拗陷东营凹陷为例 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1):39-45.
- Yu Xinghe, Jiang Hui, Li Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China——A case study of Dongying Sag of Jiyang Depression[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, (1):39-45(in Chinese with English abstract).
- [20] 于兴河, 郑俊茂, 宋立衡, 等. 构造、沉积与成岩综合一体化模式的建立——以松南梨树地区后五家户气田为例 [J]. 沉积学报, 1997, 15(3):8-12.
- Yu Xinghe, Zheng Junmao, Song Liheng, et al. The establishment of intrgrated model on structure, deposition and diagenesis [J]. *Acta Sedimentological Sinica*, 1997, 15 (3):8-12 (in Chinese with English abstract).

Growth faults in Shenxian depression and their control over the sedimentation

LIANG Fu-kang¹, YU Xing-he¹, LI Xian-ping², ZOU Min¹, SUN Xiang-can³, LI Mei⁴

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100086, China; 2. Institute of Geophysical Exploration, Huabei Oilfield Company of PetroChina, Renqiu 062552, Hebei, China; 3. LandOcean Energy Services Co., Ltd., Beijing 100084, China; 4. Shengli Vocational College of Shandong, Dongying 257097, Shandong, China)

Abstract: As we all know, structure controls sedimentation, while sedimentation controls the reservoir. Lots of sedimentary facies maps, however, were compiled without considering the control of structural factors over the depositional system, which has led to the severe defect that sedimentary facies or/and palaeogeographic maps do not match with contemporaneous structural configuration. Growth faults are the main structural factors, whose activity would control the forming process of sedimentary strata. There were four types of growth faults developed in Shenxian depression in Cenozoic, constituting models of late activity, continuous activity, periodic activity and deep extension. In addition, based on regional sediments provenance analysis, the authors probed into the control of growth faults over depositional systems, and found that subaqueous fans were developed in the south while deltas were developed in the north. The spread of the fronts of these two depositional systems were further controlled by growth faults, presenting characteristics that lobes spread along faults on the map while wedges overlap in the cross section.

Key words: growth fault; activity model; controls of sand body; Paleogene; Shenxian depression

About the first author: LIANG Fu-Kang, male, born in 1982, doctor candidate, majors in structural geology and sedimentary geology; E-mail: frank2008@163.com.

About the corresponding author: YU Xing-He, male, born in 1958, professor, mainly engages in the study of sedimentary geology and petroleum geology; E-mail: billyu@cugb.edu.cn.