

惠民凹陷新生代断裂活动特征研究

王书宝¹, 钟建华^{1,2}, 陈志鹏²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;

2. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 东营 257061)

摘要: 通过计算断层活动性参数(生长指数、断层落差和断层活动速率), 优选断层活动速率参数, 分析了凹陷内断裂活动的特征, 划分出四级控凹断层。结果表明, 凹陷内断裂活动具有长期性、差异性和幕式性的复杂特征, 低级次断裂活动具有短期性和不确定性的特点。四级控凹断层分别对凹陷的形成和凹陷内局部构造起着不同的作用。

关键词: 惠民凹陷; 生长指数; 断层落差; 断层活动速率

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A

1 区域地质概况

惠民凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷的西部, 是济阳拗陷内最大的一个次级构造单元。南、北分别以鲁西隆起和埕宁隆起为界, 东、西分别与东营凹陷和莘县凹陷相通。惠民凹陷呈北东走向, 东西长约 130 km, 南北宽约 35~70 km, 面积约为 7700 km² (图 1)。

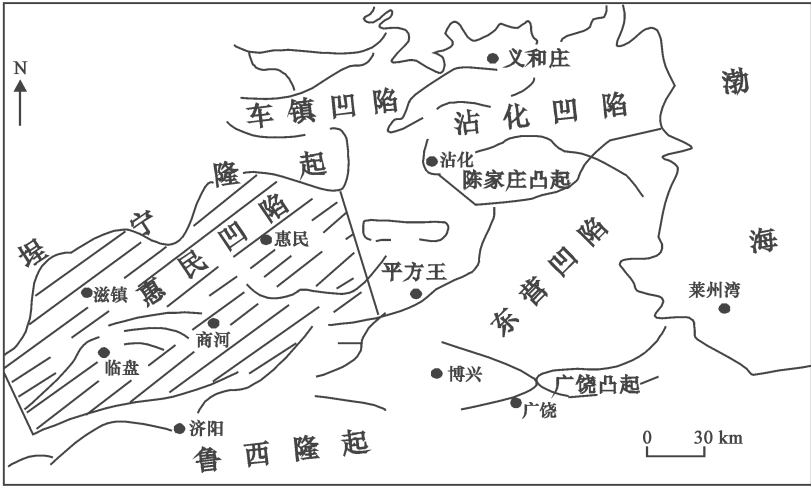


图 1 惠民凹陷构造位置图

Fig 1 Tectonic setting of the Huimin subbasin

收稿日期: 2007-01-30

作者简介: 王书宝 (1955-), 男, 中国科学院广州地球化学研究所读研究生。

按形成的地球动力学环境，惠民凹陷所属的渤海湾盆地为伸展盆地。盆地在太古界基底的基础上沉积了下古生界碳酸盐岩和上古生界碎屑岩，并经历了中生代的挤压、伸展作用和新生代的裂陷作用、裂陷后作用。在挤压、上升、下降、伸展的过程中产生了不同时代（主要为基岩潜山^[1]）的断陷。挤压作用首先发生在印支期，形成了近东西向的宽缓褶皱和北西向的逆断层，使得古生界隆起的高部位遭受强烈的剥蚀。

惠民凹陷是古近纪的伸展断陷（或裂谷），沉积了近万米的古近系。裂谷期前沉积有寒武纪—奥陶纪、石炭纪—二叠纪、早中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世地层；裂谷期后发育大陆内伸展拗陷型的新近纪和第四纪沉积^[2]。本区主要储集油层有孔店组（Ek）、沙河街组（Es）、东营组（Ed）、馆陶组（Ng）和明化镇组（Nm）。

惠民凹陷构造格局整体上表现为东西成区，南北成带，以郑店、商河、仁凤为界可分为东西两区^[3]。东部自北向南为：阳信洼陷、林樊家构造和里则镇洼陷，西部自北至南为：滋镇洼陷、中央隆起带、临南洼陷和临南斜坡带（图 2）。

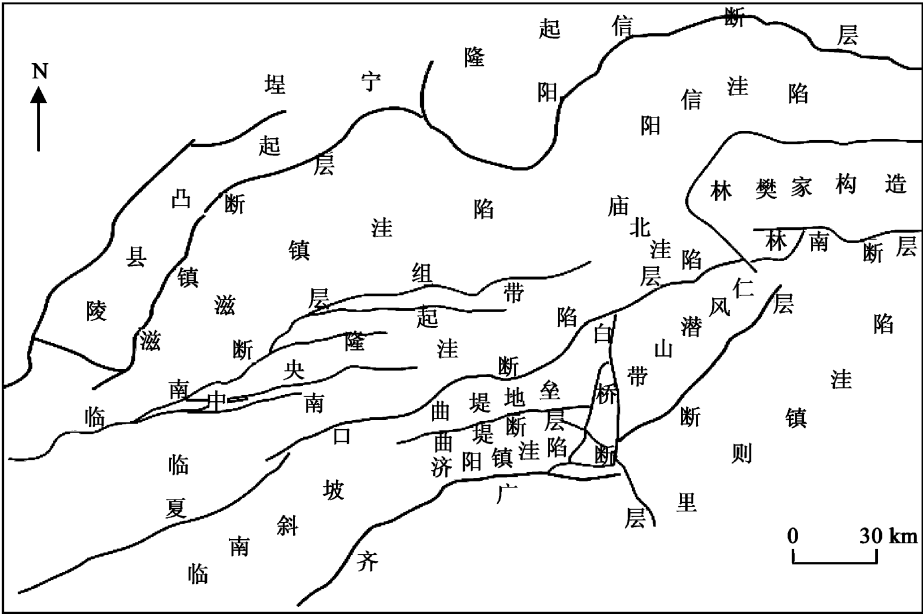


图 2 惠民凹陷构造纲要图

Fig 2 Geological sketch map of the Huimin subbasin

惠民凹陷古近系断裂活动强烈，它不仅控制了盆地的沉积和演化，而且控制了绝大多数圈闭的形成与发展。可见，断层在一定程度上对油气的运移、聚集和保存等有重要的影响，因此较准确地分析断层活动特性尤其是断层的活动的时间和强度对油气勘探有重要意义。

2 主要断层基本特征

惠民凹陷是一个多断裂少褶皱的含油气盆地，凹陷内断裂构造极其发育，主要为正断层，按其规模与控凹程度，可划分出四个等级。一级控凹断裂（盆地边界断层）主要有滋镇断层和阳信断层，其主要控制着凹陷的沉积和构造特征；二级控凹断裂（盆地内部断层）主要有临商断层、夏口断层、林南断层等，主要控制着凹陷内部构造带（半地垒）的形成；三

级及四级断层数目众多，与控凹断层的倾向相同或相反，其控制凹陷沉积的程度比一、二级断层弱得多，规模也比一、二级断层的小，由于这些断层的发育使凹陷形态复杂化，形成断阶、次一级地堑和地垒等构造，如曲堤断层等。根据凹陷内断裂的平面展布，可以将其分为北东向平行断层系、近东西向平行断层系、雁列断层系和羽列断层系四种组合形式。剖面上单个断裂表现出平面式、铲式和座椅式的几何形态，多个断裂组合表现出马尾状、阶梯状、花状、“Y”字形，“入”字形和复合形的几何形态（如图3）。

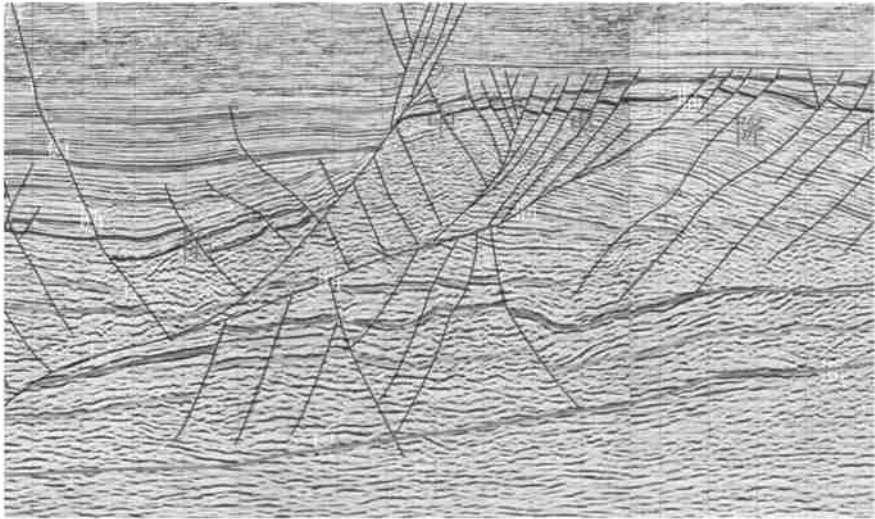


图3 惠民458.9测线复合形断层组合示意图

Fig 3 Composite fault assemblage of traverse 458.9 in the Huimin subbasin

2.1 一级边界断层

阳信断层：位于惠民凹陷的北部东段，断层平面形态呈向北突出的弧形，西段走向北东，东段走向北西西，断层延伸约80km，断层总体向南倾斜，倾角比较平缓（约20°），断层在剖面上的形态呈明显的铲式。在主断层的下降盘派生出一系列的次级断层，有些与主断层斜交，有些与主断层平行排列。东段派生断层多，西段派生断层少。断层落差即断层两盘之间的相对位移，沙三早期高达700米，之后逐渐减小，进入东营期基本停止活动（图4）。

滋镇断层：惠民凹陷西北部的边界断层，其延伸近70km，断层南倾呈弧形，西段走向北东，东段走向北西，断层面倾角平缓（约30°），剖面形态属平直式。下降盘的派生断层多与主断层相交。沙三早期断层落差高达800米，之后逐渐减小（图5）。

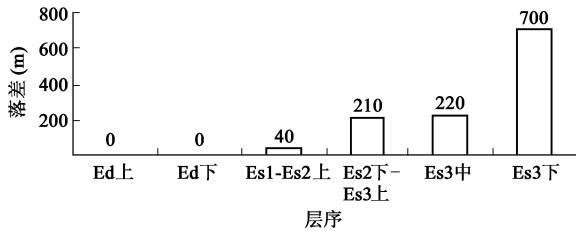


图4 阳信断裂断层落差柱状图

Fig 4 Histogram of fault throws of the Yangxin fault

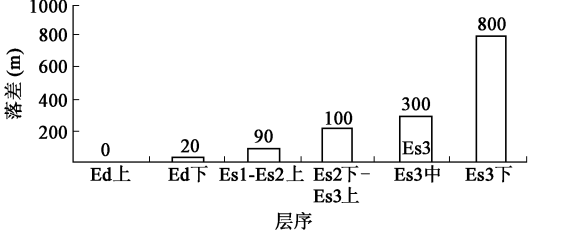


图5 滋镇断裂断层落差柱状图

Fig 5 Histogram of fault throws of the Zizhen fault

2.2 二级控注断层

临商断层：位于滋镇洼陷与临南洼陷之间，为临南洼陷和中央构造带的分割断层，平面上其延伸长度达 100km，西段走向北东、中段走向近东西、东段走向北东东，倾向南东，西段断距大，向东则逐渐变小，断距最大可达 2900m，多在 1500m 左右。剖面形态上西段呈座椅式，中段呈铲式，东段为平直式。该断层带宽度较大，断层众多，呈向东撒开、向西收敛的形态，雁列特征明显，为左列，反映出右旋走滑性质。从断层的生长指数（生长指数是指同一地层下降盘与上升盘的厚度比）来看，强烈活动时期为沙二晚期至沙一期（图 6）。

夏口断层：位于临南洼陷的东南侧，总体走向北东东，延伸长约 80km，倾向北北西，倾角约 60°，剖面形态以铲式或平面式为主。夏口断层为临南洼陷与曲堤地垒和临南斜坡的分界断层，并控制临南洼陷的形成演化。在其下降盘派生出一系列的走向近东西的次级断层，这些次级断层与主断层斜交，构成羽列断层系。依据断层落差沙三早期强烈活动，落差高达 400 米，之后明显减弱（图 7）。

林南断层：相当于夏口断层的东端，分布于里则镇洼陷的北界，是限制里则镇洼陷的主断层。近东西向延伸，断面南倾。派生断层与主断层斜交，数量较少。依据断层落差断层活动发生在沙三早期和中期（图 8）。

2.3 三、四级断层

曲堤断层：呈弧形位于惠民凹陷临南斜坡，北东东向延伸，长约 30km，倾向南南东，倾角约 55°。其西段与夏口断层平行，两者之间发育了曲堤地垒带，东段北西西向延伸，两盘派生断层较多。由于夏口断层与曲堤断层间地块的旋转，导致曲堤地垒南抬北降。沙三中期和东营晚期断层活动最强烈（图 9）。

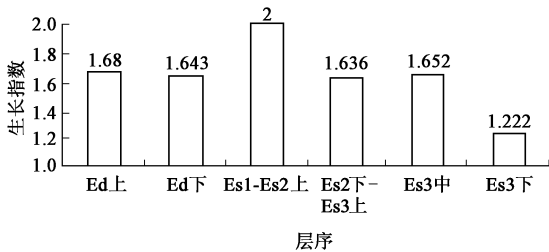


图 6 临商断裂断层生长指数图
Fig.6 Growth index of the Linshang fault

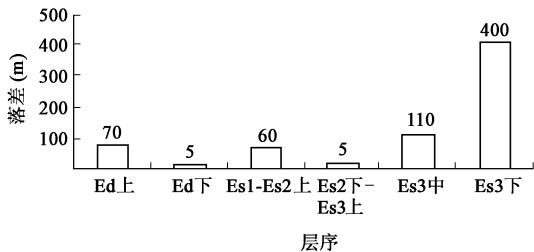


图 7 夏口断裂断层落差柱状图
Fig.7 Histogram of fault throws of the Xiaokou fault

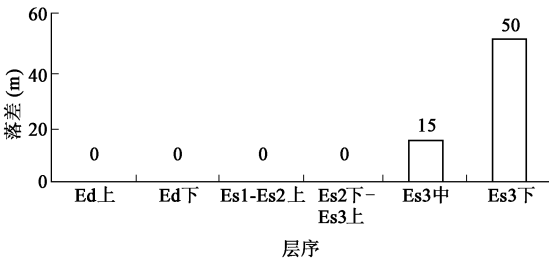


图 8 林南断裂断层落差柱状图
Fig.8 Histogram of fault throws of the Linnan fault

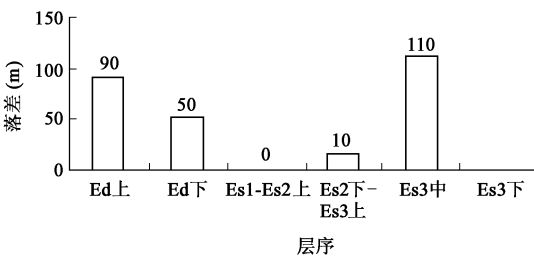


图 9 曲堤断裂断层落差柱状图
Fig.9 Histogram of fault throws of the Quti fault

3 断层活动及其强度

3.1 沙三早期 ($E_{s3}^{\text{下}}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 32 条，滋镇断层延伸较长，临商断层由主断层和与其斜交的派生断层组成，仁风断层和临商断层均为雁列式断层。落差最大的断层是滋镇断层的东段，达 800 米；其次是阳信断层，为 700 米（图 10）。这些断层对沉积都有明显的控制作用，在沙三早期的初期强烈活动，形成了许多断槽，使该时期惠民凹陷的基底起伏较大，为快速沉降的饥饿型深湖-半深湖环境的形成了创造了较大的沉积可容空间。

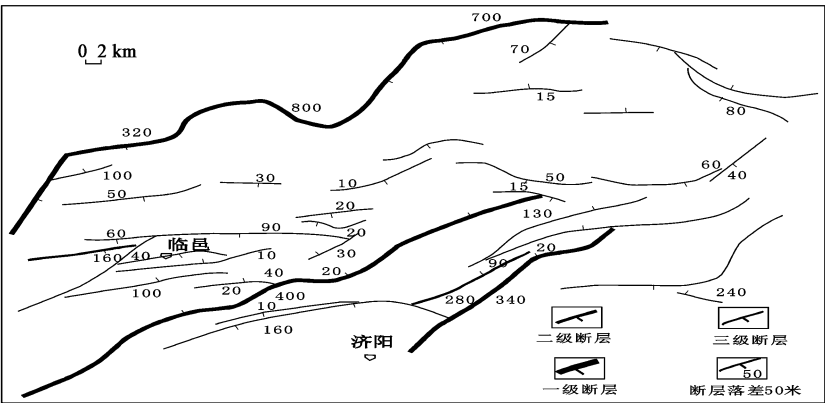


图 10 惠民凹陷 $E_{s3}^{\text{下}}$ 断层落差图

Fig. 10 Fault throw map of the lower part of the Third Member of the Shahejie Formation in the Huimin subbasin

3.2 沙三中期 ($E_{s3}^{\text{中}}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 33 条，与沙三早期的断裂系统基本一致，主要区别在于惠民凹陷断层的活动性有所减弱、累加断层落差减少。落差最大的断层是滋镇断层，落差达 400 米；其次是仁风断层的西段，为 360 米（图 11）。与沙三早期相似这些断层对沉积都有明显的控制作用，在沙三早期的强烈活动，形成的许多断槽，使该时期惠民凹陷的基底起伏较大，形成了较大的沉积可容空间，这些同时对沙三中期也产生一定的影响，因当时气候湿润供水充足，没有发育低水位体系域，在断层活动之后直接发育了水侵体系域和高水位体系域。

3.3 沙三晚期至沙二早期 ($E_{s3}^{\text{上}}-E_{s2}^{\text{下}}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 27 条，与沙三早中期的断裂系统基本一致。落差最大的断层还是滋镇断层，落差达 310 米；其次是阳信断层，为 210 米（图 12）。这些断层对沉积有明显的控制作用，在沙三晚期的早期强烈活动，形成了较大的沉积可容空间，发育低水位体系域，在断层活动之后由于水体的注入湖平面上升发育了水侵体系域，尔后湖盆面积缩小形成高水位体系域。

3.4 沙二晚期至沙一期 ($E_{s2}^{\text{上}}-E_{s1}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 18 条，从南往北曲堤断层、夏口断层、临商断层表现明显为雁列式断层，与沙三期至沙二早期的断裂系统的差异较大，断层条数减少，累加断

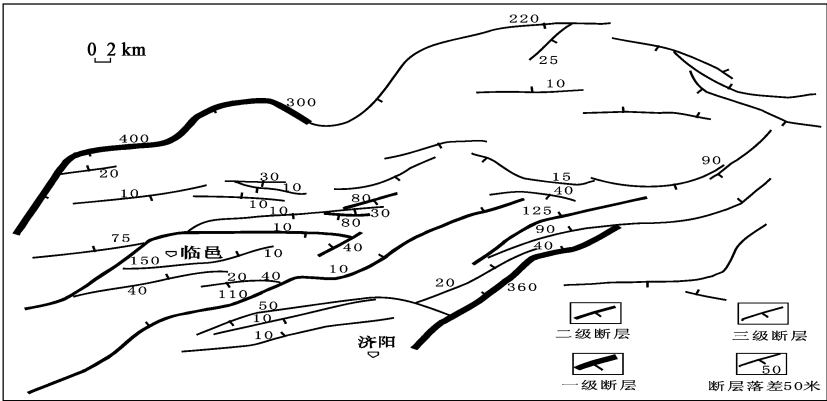


图 11 惠民凹陷 $E_{s3}^{\text{中}}$ 断层落差图

Fig 11 Fault throw map of the middle part of the Third Member of the Shahejie Formation in the Huimin subbasin

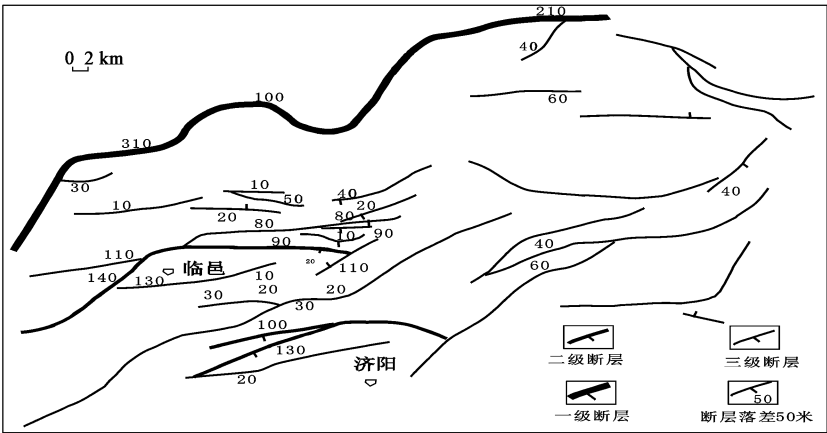


图 12 惠民凹陷 $E_{s3}^{\text{上}}-E_{s2}^{\text{下}}$ 断层落差图

Fig 12 Fault throw map of the upper part of the Third Member of the Shahejie Formation in the Huimin subbasin

层落差明显小于沙三晚期至沙二早期。落差最大的断层是临商断层，落差达 250 米；其次是曲堤断层，为 140 米（图 13）。这些断层对沉积有明显的控制作用，在沙二晚期的早期强烈活动，形成了较大的沉积可容空间，发育低水位体系域，在断层活动之后由于水体的注入湖平面上升发育了水侵体系域，尔后湖盆面积缩小形成高水位体系域。

3.5 东营早期 ($E_d^{\text{下}}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 18 条，断裂系统与沙二晚期至沙一期基本一致，累加断层落差明显小于沙二晚期至沙一期。曲堤断层落差最大达 140 米；其次是滋镇断层、临商断层、夏口断层等，为 90 米（图 14）。这些断层对沉积都有明显的控制作用，在惠民早期的初期强烈活动，形成了许多断槽，使该时期惠民凹陷的基底起伏较大，形成了较大的沉积可容空间，由于当时气候湿润供水充足，没有发育低水位体系域，在断层活动之后直接发育了水侵体系域和高水位体系域。

3.6 东营晚期 ($E_d^{\text{上}}$)

该时期惠民凹陷明显活动的断层有 15 条，断裂系统与东营早期基本一致。临商断层落

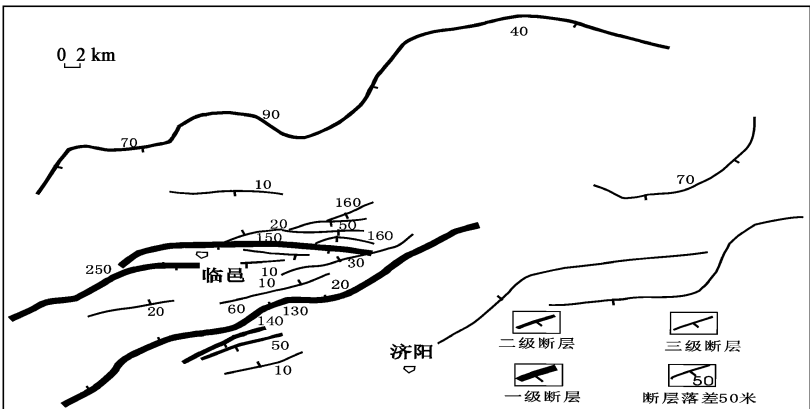


图 13 惠民凹陷 $Es_2^{+}-Es_1$ 断层落差图

Fig 13 Fault throw map of the upper part of the Second Member to the First Member of the Shahejie Formation in the Huimin subbasin

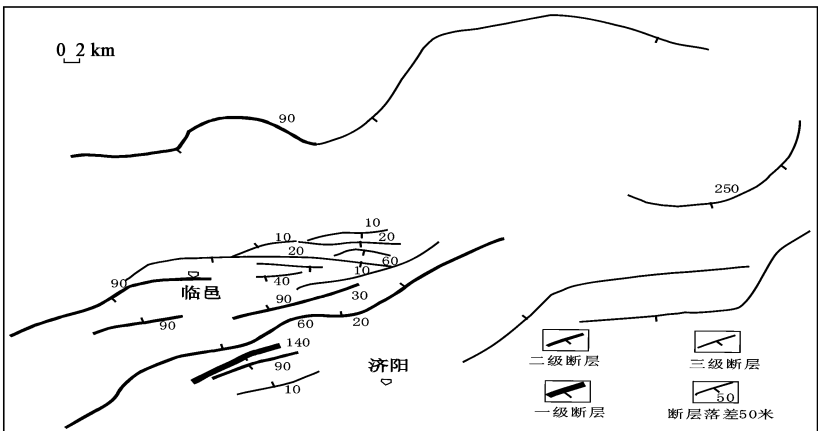


图 14 惠民凹陷 Ed^{+} 断层落差图

Fig 14 Fault throw map of the lower part of the Dongying Formation of the Huimin subbasin

差最大达 170 米，其次是夏口断层落差达 70 米（图 15）。这些断层对沉积有明显的控制作用，在东营晚期的初期强烈活动，形成了较大的沉积可容空间，发育低水位体系域，在断层活动之后由于水体的注入湖平面上升发育了水侵体系域，尔后湖盆面积缩小形成高水位体系域。

4 断层活动特征

断层活动速率即单位时间内断层的活动量，为了正确认识区内断层的活动规律，对不同级别断层的活动速率进行了统计，结果表明，断裂活动具有如下特征：

4.1 断层活动的长期性、差异性和复杂性

断裂带发育历史很长，几乎贯穿于全部含油岩系沉积和构造发育的始终。如阳信断层在下古生代已经开始活动了，断层落差高达 8000m，一直到馆陶期断层也还有微弱的断裂活

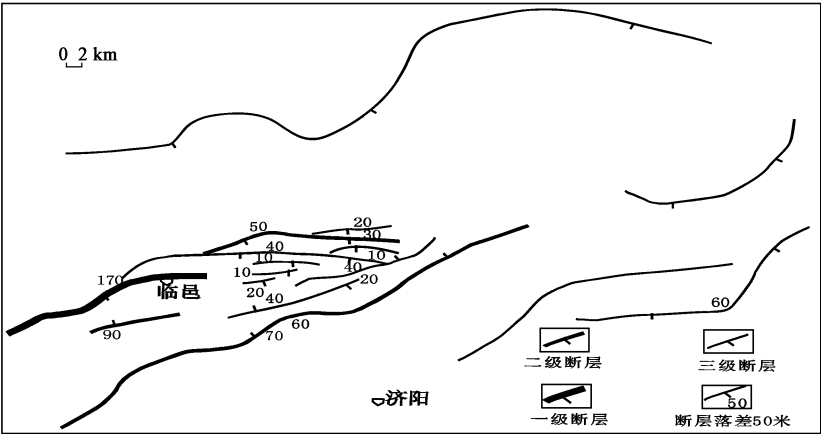


图 15 惠民凹陷 Ed¹ 断层落差图

Fig 15 Fault throw map of the upper Dongying Formation of the Huimin subbasin

动，临商、夏口断层在从下古生代开始活动，到馆陶期后逐渐平息（图 16、17、18）。由此可见凹陷内一二级断层有较长的发育史，但同一条断裂在不同时期、不同段位的发育特点也是各不相同的，表现为落差自下古代至今有不断减小的趋势，而且活动强度的变化过程也都各不相同（图 19、20）。由图可见断层的活动规律不是一些人所认为东强西弱，而应是西强东弱的。但在总的规律下，也有很大的差异性，如夏 224、夏 24 南断层，早期夏 24 南断层活动强烈，自沙二期以后，夏 224 南断层的活动强度相比更大，而在明化镇期-现今夏 24 南断层的活动强度要大；曲堤断层、曲堤 1 号、2 号断层在沙三期断裂活动较大，而在明化镇期以后活动强度小的多，在馆陶期，曲堤 2 号断层活动强度比其他二者要大的多，而在明化镇期至今，曲堤 1 号断层的活动强度是最大的，这进一步说明了断层活动的复杂性。总体来说，凹陷内断裂带活动是长期性的，强度有逐渐减弱的趋势，但不同级次的断层活动是差异的，复杂的。

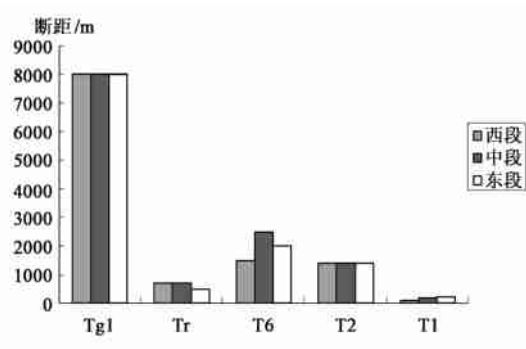


图 16 阳信断层 Tg1-T1 落差柱状图

Fig 16 Histogram showing the fault throw between Tg1 and T1 of the Yangxin fault

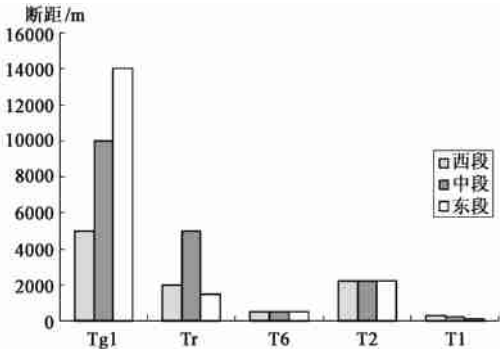


图 17 临商断层 Tg1-T1 落差柱状图

Fig 17 Histogram showing the fault throw between Tg1 and T1 of the Linshang fault

4.2 低级次断层活动的短期性及不确定性

研究区三、四级断层分布普遍，发育规律相比有很大的差异性，如夏 70 南断层，仅在沙三、沙二期有过短暂的活动，然后就逐渐平息（图 21），其它四级断层都表现为发育期

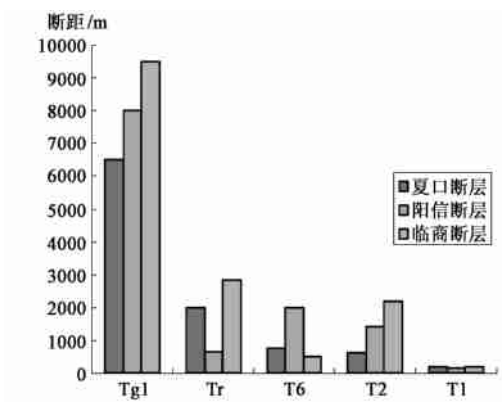


图 18 夏口、临商、阳信断层 Tg1-T1 落差柱状图

Fig 18 Histogram showing the fault throw between Tg1 and T1 of the Xiakou, Linshang, Xinyang faults

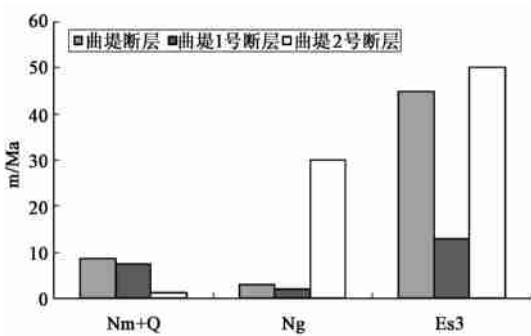


图 20 曲堤断层、曲堤 1 号、2 号断层活动速率柱状图

Fig 20 Histogram showing the activity rates in Quti, Quti1, Quti2 faults

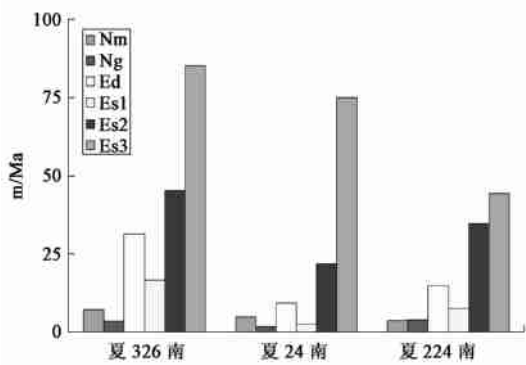


图 19 夏口断裂带断层活动速率柱状图

Fig. 19 Histogram showing the activity rates in the Xiakou fault zone

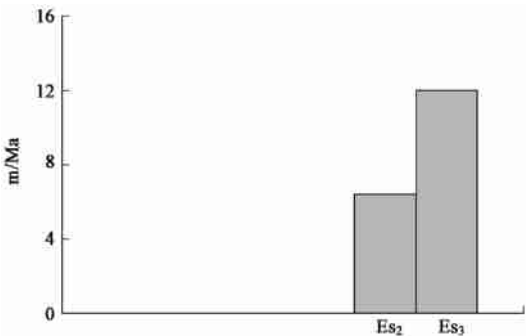


图 21 夏 70 南断层活动速率柱状图

Fig. 21 Histogram showing the activity rates in the south Xia70 fault

短、活动强度小的特点。这时因为凹陷内四级断层往往都发育在盆地的盖层内，作为高级次断裂的调节断层，很少能够断达基底，因而它们的活动表现出短期性。但是由于在主断层活动的过程中常常伴随着火山活动，强烈的火山活动在一定程度上波及盖层内发育的调节断层，使得一些低级次断层活动强度表现出逆反现象，如钱 6 南断层，曲堤 1 号断层自沙三期以来，一直处于活动状态，明化镇期（Nm）-现今（第四纪 Q）有活动强度变大的倾向，但强度并不大（图 20），这也表明凹陷内低级次断层的活动具有不稳定性。

4.3 断层活动的幕式性

断层发育的幕式性，即断层的发育期内具有几个断层活动的周期，本区的特征是在一条断层的发育期里，每次活动只局限于某一定范围内，而另一次活动又局限在另一个范围内，究其原因，主要是由于构造运动的阶段性和不均匀性造成的。经研究发现区内断层的活动具有幕式的特点，依据前人研究^[4,5]及对断层活动特征分析，将惠民凹陷断层活动分为 3 幕，第一幕沙三期，凹陷内一级控凹断层强烈活动期二级控洼断层萌动期，如滋镇和阳信断层，

沙三早期上盘地层沉积厚度达到 700 多米，自沙三下开始，断层活动强度有逐渐变弱的趋势；此外，凹陷内的二级控洼断层，如临商断层也开始有较强的活动。第二幕为东营期，是凹陷内控凹断层平静期，控洼断层强烈活动期，低级次断层苏醒期，如阳信，滋镇断层均停止了活动或仅有微弱的活动，而临商断层具有较强的活动性，断层生长指数为 1.6，夏口断层稍弱，其他低级次断层开始由微弱活动，少数也表现出强烈的活动性，这主要是对控洼断层的一种补充调节。第三幕明化镇期至今，整个渤海湾盆地进入拗陷发育阶段，断裂活动明显减弱，多数断裂消亡，惠民凹陷整体沉降，盖层低级次调节断层在重力作用下发育起来。

5 结论

(1) 在地层遭受剥蚀或沉积速率变化较大的情况下不能用生长指数对比断层活动的强弱；断层落差避开了断层生长指数的缺陷，但仅能反映某一地质时期的断层两盘升降的总体差异，不能很好地体现断层在时间轴上的强弱变化；断层活动速率既保留了断层落差的优点，又弥补了由于缺少时间概念所带来的不足，能够更好地反映断层的活动特点。

(2) 惠民凹陷内断裂构造极其发育，按其规模与控凹程度，可划分出四个等级。一级断层控制着凹陷的沉积和构造特征，二级断层控制着二级构造带的形成，三级及四级断层控制着局部构造的形成或对局部构造起复杂化作用。

(3) 惠民凹陷内断裂构造的活动具有长期性、差异性、复杂性和幕式性、低级次断裂具有不确定性和短期性的特点。

参 考 文 献

- [1] 首皓，黄石岩. 渤海湾盆地济阳拗陷潜山油藏分布规律及控制因素 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 32~36.
- [2] 王秉海，钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 东营：石油大学出版社，1992, 23~52.
- [3] 王纪祥，陈发景，李趁义. 山东惠民凹陷伸展构造及调节带特征 [J]. 现代地质, 2003, 17 (2): 203~209.
- [4] 宗国洪，肖焕钦，李常玉，等. 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.
- [5] 吴智平，李伟，等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨 [J]. 地质学报, 2003, 77 (2): 280~286.
- [6] 刘光勋，马廷著，黄佩玉，等. 中国东部活动断层的基本类型及近期活动 [C]. 中新代地质学术讨论文集，北京市地质学会主编，地质出版社，1987.

CHARACTERISTICS OF CENOZOIC FAULT ACTIVITIES IN THE HUIMIN SUBBASIN

WANG Shu-bao¹, ZHONG Jian-hua^{1,2}, CHEN Zhi-peng²

(1. Faculty of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, Guangdong)

Abstract: The parameters of Quaternary fault activities such as the growth index, fault throw and fault

activity rate are calculated to analyze the characteristics of fault activities in the Huimin subbasin and four orders of subbasin-controlling faults are distinguished. The analysis indicates the following: the fault activity rate is the most representative parameter; the fault activities in the Huimin subbasin have the long-continued, differential and episodic characteristics; and the activities of faults of lower orders have the short-term and uncertain characteristics. The subbasin-controlling faults of four orders played different roles in the formation of the subbasin and local structures within the subbasin.

Key words: Huimin subbasin; growth index; fault throw; fault activity rate

(上接第 77 页)

- [3] 邓宏文, 王洪亮. 层序地层地层基准的识别, 对比技术应用 [J]. 石油天然气地质, 1996, 17 (3): 177~184.
- [4] 刘建民, 李阳. 孤岛地区馆陶组河流沉积地层的高分辨率层序地层样式 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27 (6): 31~32.
- [5] 张凤奎. 马岭油田剩余油分布规律及综合挖潜. 石油勘探与开发, 1998, 25 (2): 62~64.
- [6] 郑荣才, 文华国. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析 [J]. 矿物岩石, 2002, 22 (4): 66~74.
- [7] 樊太亮, 郭齐军, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界层序地层特征与储层发育规律 [J]. 现代地质, 1999, 13 (1): 32~36.

ANALYSIS OF HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY AND STUDY OF DEPOSITIONAL SYSTEMS IN THE MALING OIL FIELD, ORDOS BASIN

WANG Chun-yu¹, ZHANG Zhi-guo², LI Zhao-ming²,
ZHANG Lin-yan¹, ZHANG Hong-bin³, YANG Zhi-guo³

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology, Second Oil Extraction Plant, Changqing Oil Field Branch Company, Qinyang 745100, China;*

3. *Xinglongtai Oil Extraction Plant, Liaohe Oil Field, Panjin 124010, Liaoning, China*)

Abstract: Based on the theory of base-level cycles, two long-term, six medium-term and twenty-seven short-term cyclic sequences can be distinguished in the Jurassic Yan'an Formation and Fuxian Formation in the Maling oil field, Ordos basin. This paper introduces in more detail the controls of the base level on sedimentary facies. The change in base level of the long-term cycles may affect and control the types, development scales and facies association patterns of streams, and the ascending half and descending half of the medium-term cycle may give rise to the same type of fluvial facies. On the basis of an analysis of cores, well records, well logs and single-well facies, three types of sediments, namely, the sediments of braided streams, meandering streams and anastomosed streams, are distinguished in this area.

Key words: Ordos basin; Maling oil field; high-resolution sequence stratigraphy; base-level cycle; sedimentary system; Yanan Formation; Fuxian Formation