

文章编号: 1006-6616 (2014) 01-0025-11

冀中坳陷廊固凹陷古近纪断层活动特征

张丹丹, 戴俊生, 邹娟, 王珂

(中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 采用断层落差法和生长指数法计算冀中坳陷廊固凹陷活动断层的古落差和生长指数, 绘制了凹陷各地质历史时期的古落差和生长指数平面分布图, 并详细分析了各时期断层活动特征。分析研究可知, 一级控凹断层大兴断层的活动存在分段性, 整体上表现为自南西到北东逐渐减弱; 孔店—沙四期, 三级活动性断层主要集中在凹陷的东南部, 但活动都比较弱; 沙三—沙二期, 活动性断层的分布整体向凹陷北东方向扩展, 三级以上断层活动比较强。研究结果表明, 古近纪廊固凹陷断层活动主要受控于构造演化背景, 大兴断层对次级断层活动具有重要的影响。

关键词: 廊固凹陷; 古近纪; 断层活动性; 断层落差; 生长指数; 成因分析

中图分类号: P542.3

文献标识码: A

1 研究区概况

廊固凹陷是渤海湾盆地冀中坳陷北部的一个次级构造单元, 西邻大兴凸起, 东南部以牛驼镇凸起与霸县凹陷相接, 东以河西务东主断层与武清凹陷相邻, 是一个古近纪箕状断陷湖盆^[1-2] (见图1)。鲜强等^[3]、曹敬华等^[4]结合层序地层学理论与油气成藏理论对廊固凹陷构造演化、油气藏成藏模式进行了研究; 宋荣彩等^[2]依据区域构造背景和盆地沉积演化的差异将廊固凹陷西部边界断层大兴断层划分为北段、中北段、中南段和南段等4段; 曾庆鲁^[5]研究认为凹陷东部边界断层河西务断层活动强度大, 持续时间长, 南部形成时间比北部早。边界大兴断层与河西务断层对于廊固凹陷的沉积和演化具有重要的控制作用, 前人对这两条边界断层的活动性研究较多, 而对于廊固凹陷内三级、四级断层的定量研究尚有欠缺。由于三级、四级断层也在一定程度上影响着油气的运移、聚集、保存等, 因此分析这些断层的活动性对油气勘探具有重要的指导意义。

本文利用断层落差法和生长指数法, 对廊固凹陷各级活动断层在古近纪的活动性进行了定量研究, 但其中一级河西务断层由于活动时期较晚, 后期地层遭受严重剥蚀, 无法求得断层落差和生长指数, 本文中不做详细研究。

收稿日期: 2013-08-07

基金项目: 中国石油华北油田分公司科技项目“冀中富油凹陷二次勘探潜力与方向研究”(HBYT-WTY-2011-JS-303)

作者简介: 张丹丹(1989-), 女, 山东临沂人, 中国石油大学(华东)地质学专业硕士研究生, 研究方向构造地质学。E-mail: dd1126.happy@163.com

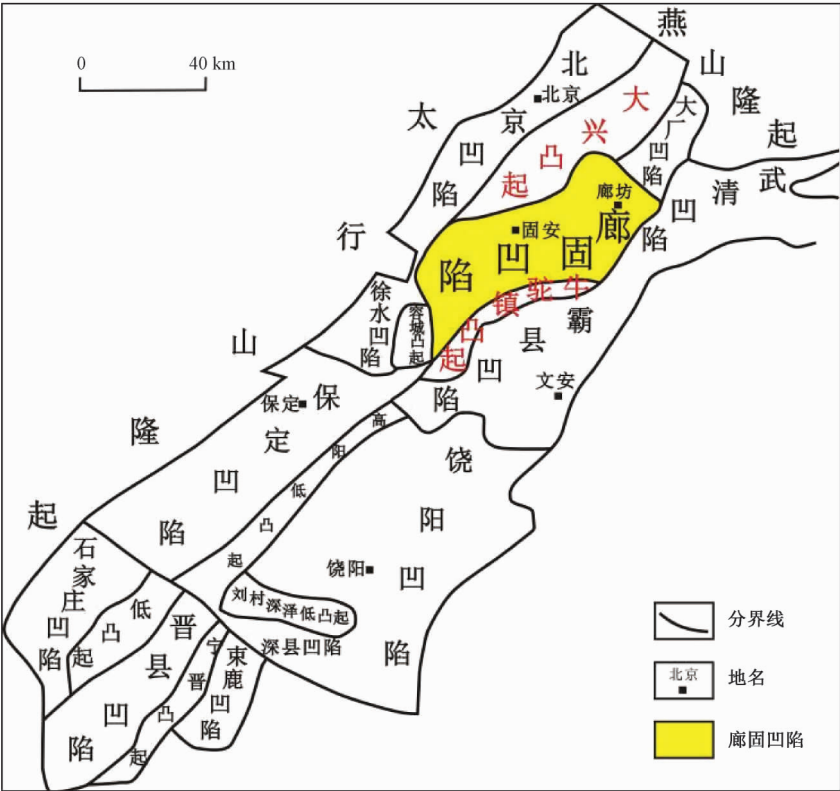


图 1 廊固凹陷构造位置图^[2]

Fig. 1 Structural location of Langgu Sag

2 断裂基本特征

廊固凹陷断裂系统复杂，断层数量多且活动性强，综合断层延伸距离、活动强度、活动时间等因素，可将凹陷中的活动性断层分为 4 个级别（见图 2，表 1）。一级断层包括大兴断层和河西务断层，走向均为北东方向，倾向南东；断层延伸距离长，活动强烈，其中大兴断层为该凹陷的控凹断层，持续活动时期长，而河西务断层活动时期较晚。二级断层包括桐柏镇断层、王居断层、杨税务断层和琥珀营断层，其中桐柏镇断层走向为北西西向，活动时期长，活动比较强烈；而其他 3 条断层的走向均为北东向，延伸距离较长，但活动时期较晚。三级断层共有 7 条（见图 2），走向均为北东向，其中刘其营断层、半截河断层与别古庄西断层仅在孔店—沙四期活动，中岔口断层和中岔口北断层仅在沙三期活动，安 29 断层（永清断层）与安 36 断层于沙四期开始活动，在沙三期停止活动。四级断层都是一些未命名的小断层，多为大断层派生出的次级断层，数量较多，但规模较小，仅在较短时期内活动，走向多为近北东方向。

从上述分析可知，廊固凹陷 13 条三级以上活动性断层中，除桐柏镇断层走向为北西西向外，其余断层走向均为北东向；断层倾向以南东和北西方向为主，早期开始活动的断层倾向以南东方向为主，如大兴断层、刘其营断层和半截河断层，而沙三时期开始活动的断层倾向多为北西方向。

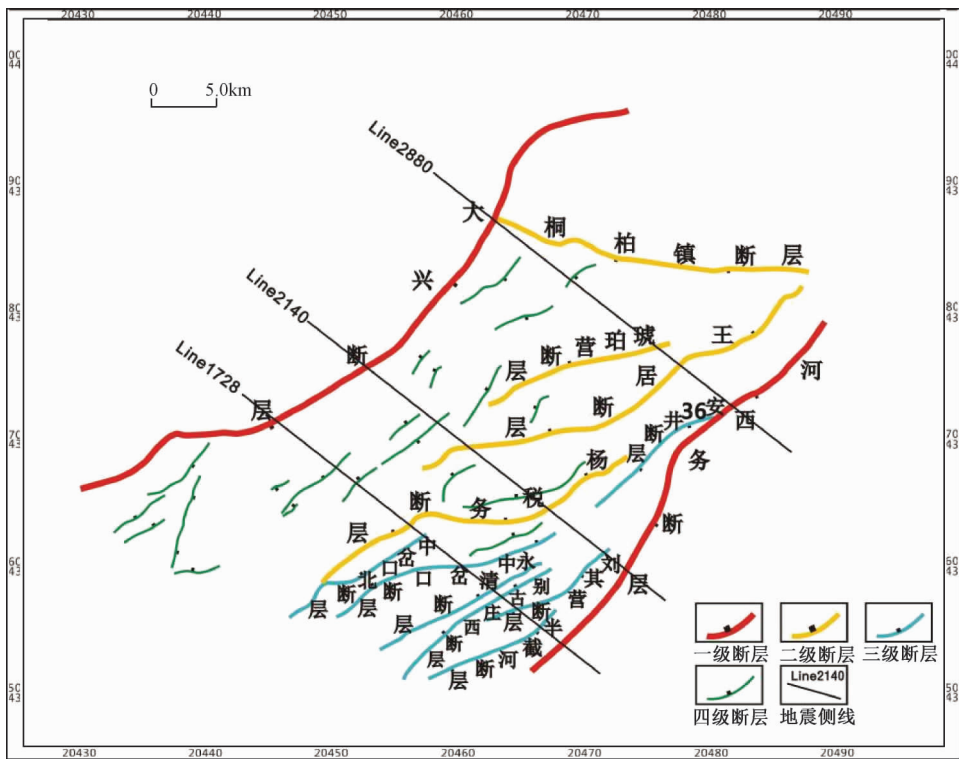


图 2 廊固凹陷各级断层平面分布图

Fig. 2 Planar distribution of the all levels of faults in Langgu Sag

表 1 廊固凹陷三级以上断层基本情况

Table 1 Basic information of the main faults in Langgu Sag

断层级别	断层名称	走向	倾向	活动时期
一级	大兴断层	NE	SE	Ek—Q
	河西务断层	NE	SE	Es ₃ ^晚 —Q
二级	桐柏镇断层	NWW	SSW	Ek—Q
	王居断层	NE	NW	Es ₃ ^中 —Q
	杨税务断层	NE	NW	Es ₃ ^早 —Q
	琥珀营断层	NE	NW	Es ₂ —Q
	刘其营断层	NE	SE	Ek—Es ₄ ^早
	半截河断层	NE	SE	Ek—Es ₄ ^晚
三级	别古庄西断层	NE	NW	Es ₄ ^早 —Es ₄ ^晚
	安 29 断层（永清断层）	NE	NW	Es ₄ ^中 —Es ₃ ^中
	安 36 井断层	NE	SE	Es ₄ ^晚 —Es ₃ ^早
	中岔口断层	NE	NW	Es ₃ ^中 —Es ₃ ^晚
	中岔口北断层	NE	NW	Es ₃ ^中

3 边界断层分段性研究——以大兴断层为例

主要采用断层落差法^[6-8]和生长指数法对廊固凹陷内断层活动性进行研究。生长指数是指断裂上盘某地层的厚度与其下盘同层位地层厚度的比值^[6]，生长断层的古落差可用同一

地质历史时期两盘沉积地层的厚度差表示^[7]。由于断层生长指数法存在一些缺陷^[9]，因此本文在分析断层活动性时以断层古落差为主，生长指数为辅。文中以下所提到的断层落差都是指断层古落差。

某一地质历史时期内，同一条断层在不同地震剖面上求取的落差和生长指数存在较大差异，说明在不同位置的活性存在差异^[10]，即断层存在分段性，边界大兴断层是这类断层最典型的代表。大兴断层是本区的控凹断层，它在平面上延伸距离远，活动时期长，沿着断层走向，断层活动具有分段性。图 3 为大兴断层在几个典型时期内的断层落差折线图，从地震剖面 Line1216 到 Line3264，剖面自南西到北东方向排列，地震剖面 Line1728、Line2140 及 Line2880 为大兴断层分段的分界线（见图 2），在不同的时期断层分段性存在一定的差异。

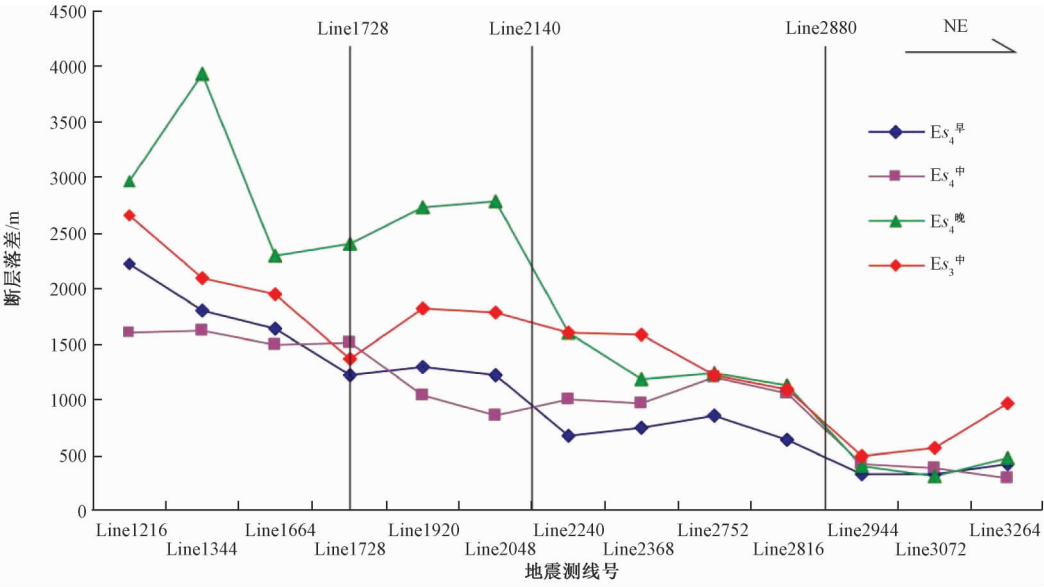


图 3 大兴断层古近纪断层落差折线图
Fig. 3 Broken line graph of Paleogene fault throw in Daxing Fault

沙四早期，以地震剖面 Line1728、Line2140、Line2880 为分界，大兴断层根据活动性差异可以分为 4 段，由南西到北东向，各段的断层落差平均值从 1889 m 下降到 350 m，表明断层活动逐渐减弱。沙四中期，以地震剖面 Line1728、Line2880 为界可将大兴断层分为 3 段，即南段、中段和北段，中段延伸距离最长；落差平均值分别为 1565 m、970 m、368 m，断层活动逐渐减弱。沙四晚期，以地震剖面 Line2140、Line2880 为界，大兴断层可分为 3 段，由南西方向到北东方向，断层平均落差分别为 2500 m、1200 m、370 m，断层活动逐渐减弱，但与沙四早、中期相比，该时期断层的南段、中段活动明显增强。沙三中期，大兴断层的分段与沙四中期一致，而且由南西到北东方向，断层落差减小，断层活动减弱。

4 不同时期断层活动性

廊固凹陷内存在多条活动断层，这些断层的活动时期和活动强度都存在明显差异。尤其从沙四期进入沙三期，一些断层（如半截河断层）停止活动而另一些断层（如中岔口断层）

开始活动。根据活动断层的落差和生长指数绘制了各地质时期内断层落差平面图和断层生长指数平面图，进而分析廊固凹陷各时期断层活动特征。由于廊固凹陷在沙一期和东营期地层抬升遭受剥蚀作用，缺失严重，无法求得落差与生长指数，因此本文对这 2 个时期的断层活动特征不作讨论。

4.1 孔店—沙四期

4.1.1 孔店期

孔店期廊固凹陷大兴断层落差值最大，活动最强烈；三级断层多集中在凹陷东南部，断层落差小于 100 m，断层活动弱；四级断层中邻近大兴断层的活动较强烈，远离大兴断层的活动较弱。整体上在孔店期凹陷西北部断层活动强，东南部断层活动比较弱（见图 4a，图 5a）。

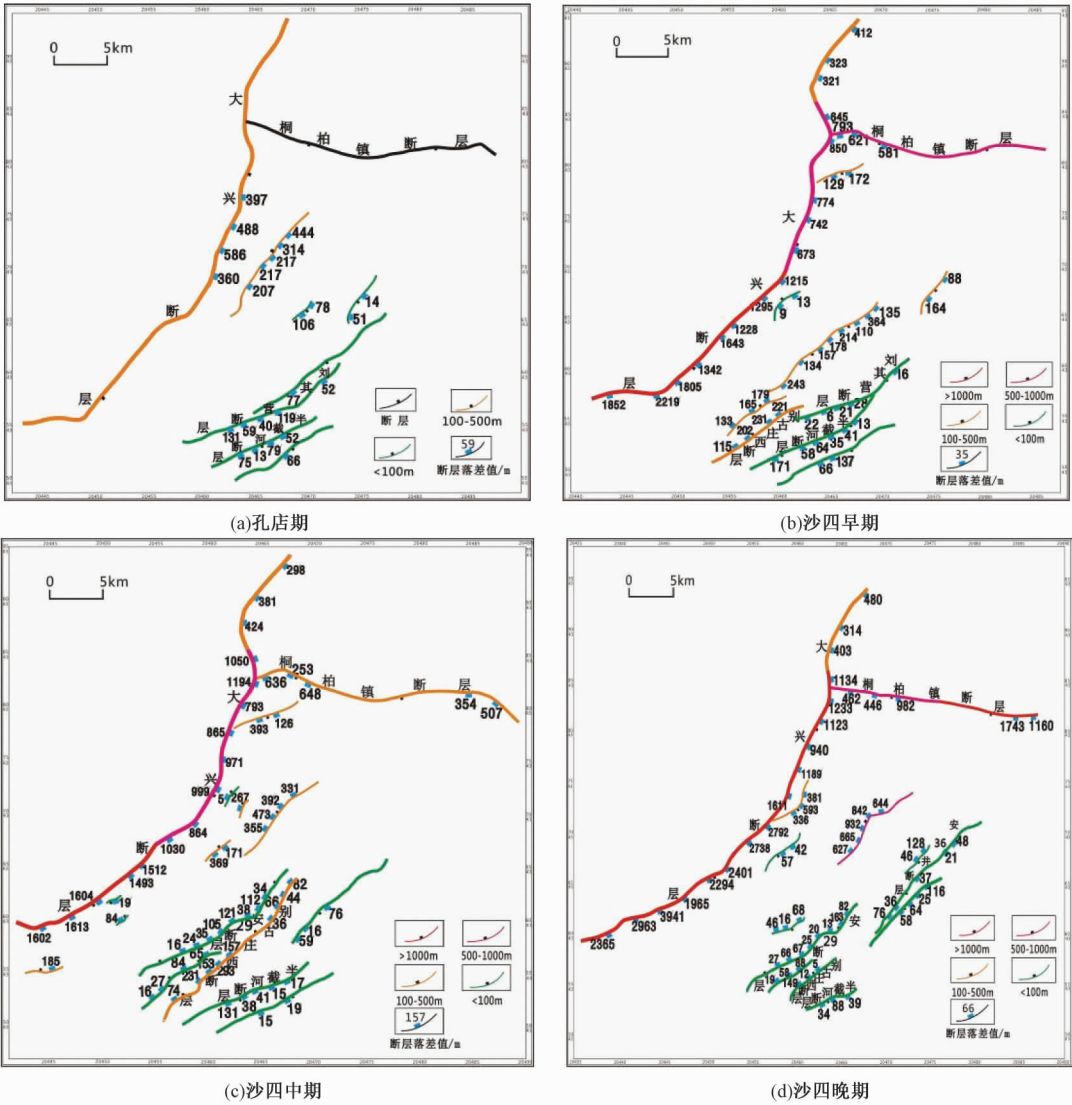
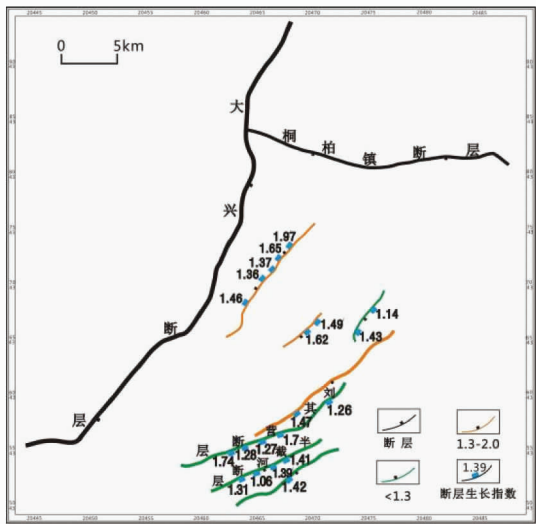
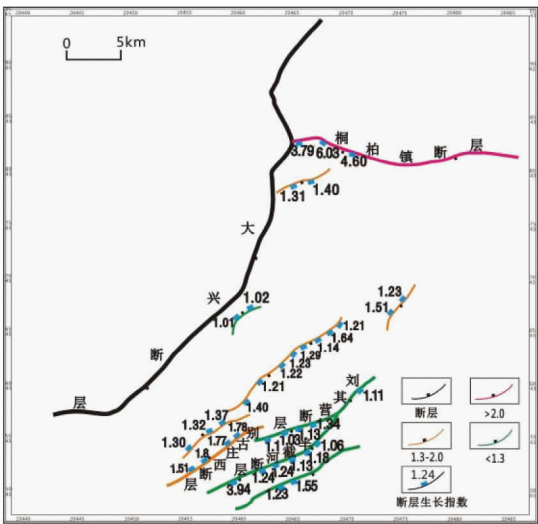


图 4 廊固凹陷孔店—沙四期断层落差图

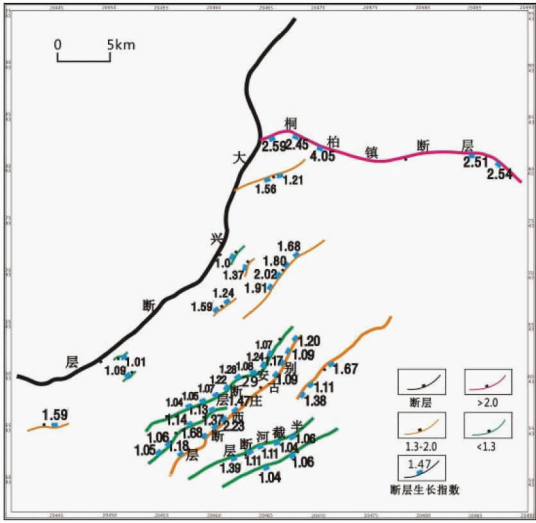
Fig. 4 Fault throw figures during the sedimentary period of Ek to Es₄ in Langgu Sag



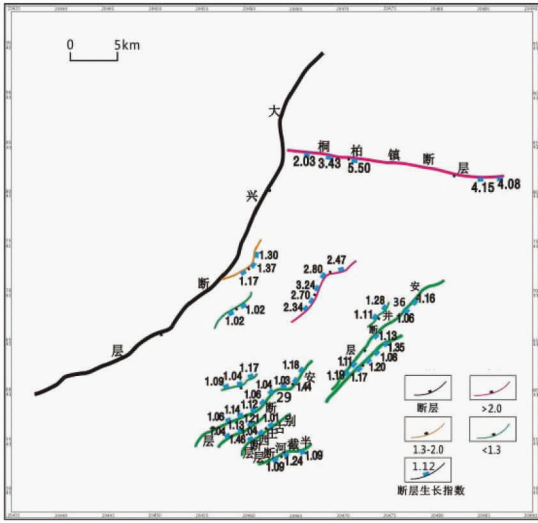
(a)孔店期



(b)沙四早期



(c)沙四中期



(d)沙四晚期

图5 廊固凹陷孔店—沙四期断层生长指数图

Fig. 5 Fault growth index figures during the sedimentary period of Ek to Es₄ in Langgu Sag

4.1.2 沙四早期

沙四早期大兴断层具有分段性，与孔店期相比，活动增强；凹陷东南部刘其营断层、半截河断层等落差仍小于100 m，活动依然较弱；而别古庄西断层及其西北部的几条断层落差多位于130~250 m之间，活动比较强烈（见图4b，图5b）。在整体上由凹陷的西北部到东南部，断层活动逐渐减弱。

4.1.3 沙四中期

沙四中期大兴断层自南西向北东活动逐渐减弱；二级桐柏镇断层落差在250~650 m之间，断层活动较强；凹陷东南部的几条三级断层，除别古庄西断层南段落差大于100 m，活动比较强烈外，其余几条三级断层落差多小于100 m，生长指数小于1.25，活动比较弱；靠近大兴断层的四级断层规模很小，但活动比多数三级断层稍强（见图4c，图5c）。

4.1.4 沙四晚期

沙四晚期，大兴断层中南部的活动明显增强；三级活动性断层仍然多集中在凹陷的东南部，但其分布范围向东北方向扩展，断层平均落差都小于 100 m，生长指数多小于 1.20，活动较弱，且别古庄西断层、半截河断层等的延伸长度变短（见图 4d，图 5d）。从整体看依然是凹陷西北部活动强，东南部活动弱。

孔店—沙四期，廊固凹陷活动性的三级断层多集中在凹陷的东南部，而四级小断层多集中在大兴断层附近，其活动主要受大兴断层控制。总体来说，凹陷东南部三级活动性断层数量较多，但落差值和生长指数较小，说明这些断层活动时期比较早，活动比较弱；大兴断层活动强烈且分段性明显，邻近四级小断层数量多，多数延伸距离短、活动时期短。

4.2 沙三—沙二期

4.2.1 沙三早期

沙三早期，廊固凹陷中三级以上活动性断层数量比较少，断层整体活动比较强。大兴断层活动最强烈，由南西到北东断层活动逐渐减弱；桐柏镇断层与凹陷东南部几条断层落差多在 400 ~ 600 m 之间，活动比较强烈；靠近大兴断层的四级小断层数量较多，但活动比较弱（见图 6a，图 7a）。

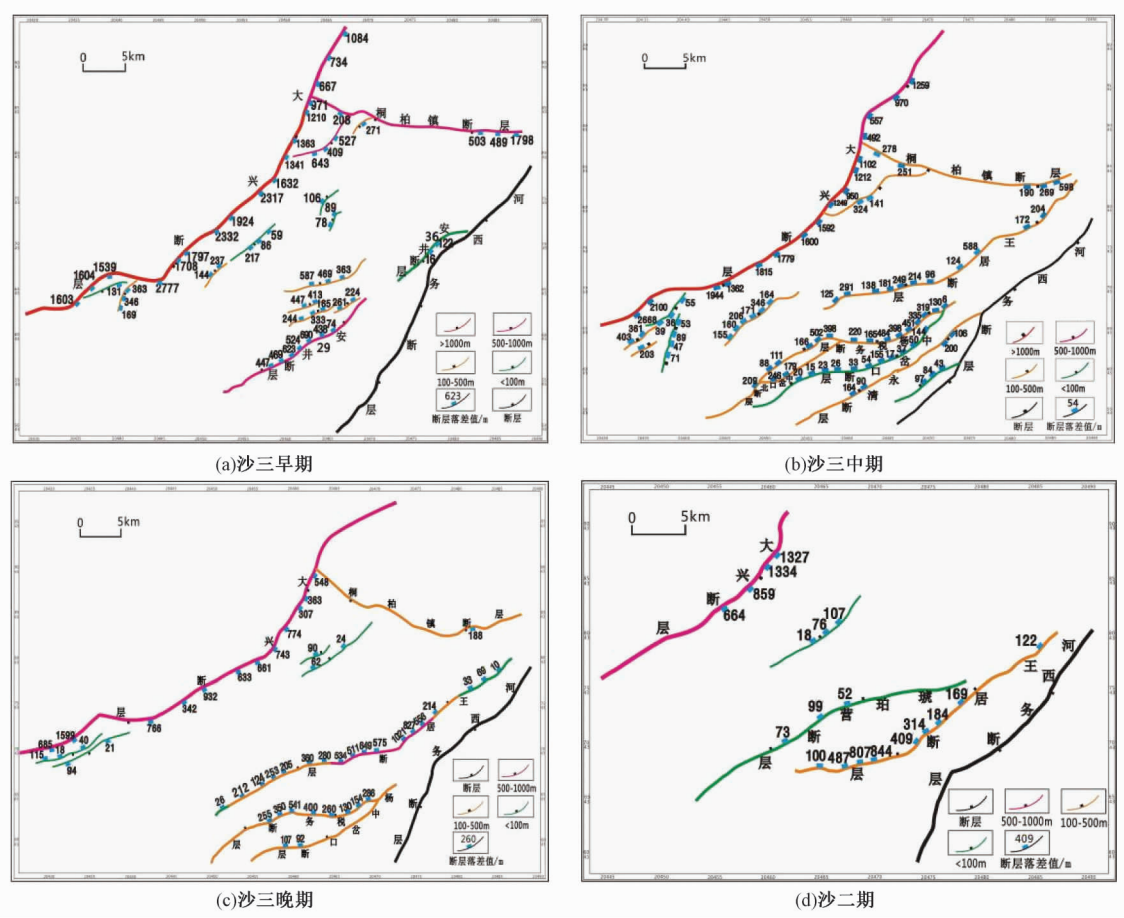


图 6 廊固凹陷沙三—沙二期断层落差图

Fig. 6 Fault throw figures during the sedimentary period of E_3 to E_2 in Langgu Sag

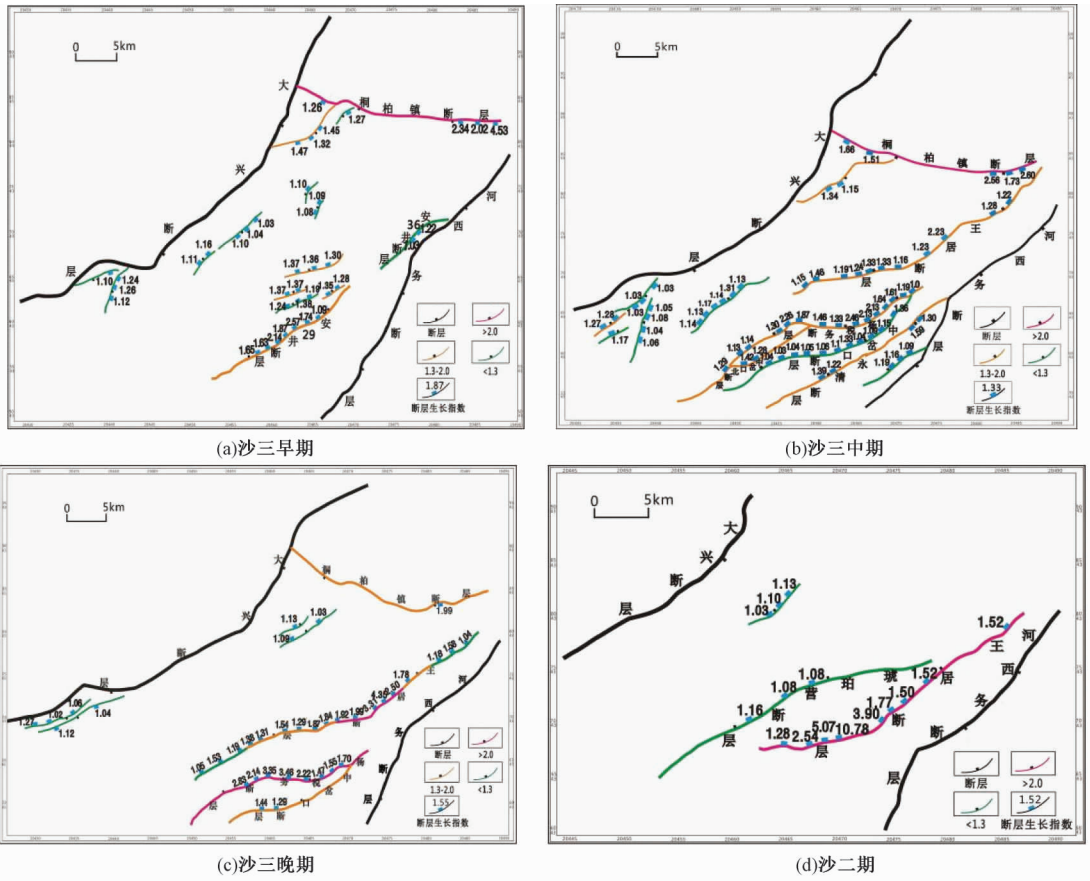


图 7 廊固凹陷沙三—沙二期断层生长指数图

Fig. 7 Fault growth index figures during the sedimentary period of E_{s3} to E_{s2} in Langgu Sag

4.2.2 沙三中期

沙三中期，廊固凹陷中三级以上活动性断层数量明显增多，其分布范围不仅局限于凹陷的东南部，开始向东北部方向扩展，断层倾向多为北西方向。大兴断层落差大，为该时期活动最强烈的断层；桐柏镇断层、王居断层、杨税务断层、中岔口北断层等落差在 100 ~ 500 m 之间，生长指数多在 1.30 左右，活动比较强；其他少数断层（如中岔口断层）落差值小，活动比较弱（见图 6b，图 7b）。

4.2.3 沙三晚期

沙三晚期，廊固凹陷活动性断层数量明显减少，断层倾向多为北西方向（见图 6c，图 7c）。大兴断层分段性不明显，落差多在 500 ~ 1000 m 之间，活动明显减弱，其附近的四级小断层活动也较弱；王居断层活动由中部向两侧逐渐减弱；杨税务断层和中岔口断层落差大于 100 m，生长指数大于 1.30，活动较强。

4.2.4 沙二期

沙二期，廊固凹陷中活动性断层数量较少，且集中在凹陷的北部（见图 6d，图 7d），大兴断层与王居断层活动较强。

沙三—沙二期，廊固凹陷内活动性断层分布范围向北东方向扩展，断层倾向以北西方向为主。整体上，凹陷内三级以上断层多分布在凹陷的东部，而四级小断层多分布在凹陷的西

部。大兴断层在各时期活动均比较强烈，但在后期断层分段性不明显，活动也明显减弱；凹陷内三级以上断层活动多数比较强烈，少数四级断层活动也较强。

5 断层活动性成因分析

断层活动既受控于构造演化背景，同时也反映不同时期构造演化特征，次级断层活动多与主断层密切相关^[5]。廊固凹陷古近纪经历了 3 个构造演化阶段，分别为断陷初始期（孔店期—沙四期）、强烈断陷期（沙三期）和断陷回返期（沙二期）^[3,11]。

孔店—沙四期为断陷初始期，在区域应力作用下，随大兴凸起（见图 1）的隆起，大兴断层开始发育^[5]，活动逐渐增强；大兴断层附近的四级断层活动则受控于大兴断层。凹陷东部的河西务构造带南部受牛驼镇凸起（见图 1）隆起影响^[5]，活动比较早，受此构造活动控制，在该时期凹陷内的活动性断层主要集中在凹陷的东南部。

沙三期为强烈断陷期，河西务构造带抬升，地层遭受剥蚀严重，尤其在南部缺失沙三上段到东营组，因此沙三晚期可进行定量研究的活动性断层数量明显减少，而且与沙三早、中期相比，活动性断层分布范围向北移动；大兴断层剧烈拉张，活动依然比较强烈^[3]。总的来说，从沙三早期到沙三晚期，活动的断层主要受河西务构造带抬升和大兴断层活动的控制作用，整体活动增强，分布范围向北部扩展。

沙二期为断陷回返上升期，该时期地层遭受剥蚀严重，仅在局部地区分布，导致可进行定量研究的活动性断层数量较少。

6 结论

廊固凹陷活动性断层较多，但活动时期和活动强度存在很大差别；其中大兴断层活动存在分段性，整体上由南西到北东方向断层活动逐渐减弱。

孔店—沙四期，凹陷东南部断层活动弱，西北部断层活动强；该时期的断层倾向开始多为南东方向，之后北西倾向断层数量逐渐增多；至沙三—沙二期，活动性断层分布范围向北东方向扩展，凹陷中三级以上断层活动比较强；而随着几条南东倾向的活动性断层停止活动，该时期的断层倾向以北西方向为主。

廊固凹陷古近纪断层活动主要受控于构造演化背景，断陷初始期，大兴断层受到大兴凸起隆起影响，凹陷东南部活动性断层则受控于牛驼镇凸起的构造活动；强烈断陷期，活动的断层主要受河西务构造带抬升和大兴断层活动的控制，整体活动增强，分布范围向北部扩展；断陷回返上升期，地层遭受剥蚀严重，可进行定量研究的活动性断层数量较少。

参 考 文 献

- [1] 刘振, 张万选, 张厚福. 廊固凹陷构造演化史及其构造形成机制分析 [J]. 石油学报, 1989, 10 (1): 12 ~ 19.
LIU Zhen, ZHENG Wan-xuan, ZHANG Hou-fu. Tectonic history and the mechanism of structure genesis in Langgu Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 1989, 10 (1): 12 ~ 19.
- [2] 宋荣彩, 张峭楠, 李戮. 廊固凹陷大兴断层对油气分布的控制研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26 (8): 30 ~ 33.
SONG Rong-cai, ZHANG Shao-nan, LI-Tao. Research on the hydrocarbon distribution controlled by Daxing fault in Langgu

Sag [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26 (8): 30 ~ 33.

[3] 鲜强, 李仲东, 傅恒, 等. 廊固凹陷下第三系层序地层及构造演化 [J]. 物探化探计算技术, 2007, 29 (3): 244 ~ 248.

XIAN Qiang, LI Zhong-dong, FU Heng, et al. Sequence stratigraphy and structural evolvement of Langgu Depression in the Lower Tertiary [J]. Geophysical and Geochemical Exploration Computing technology, 2007, 29 (3): 244 ~ 248.

[4] 曹敬华, 周文, 傅恒, 等. 廊固凹陷旧州一固安构造带沙三段层序地层特征与油气成藏关系 [J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26 (5): 29 ~ 32.

CAO Jing-hua, ZHOU Wen, FU Heng, et al. Relationship between formation characteristics of Sha 3 Member sequence in Jiuzhou-Gu' an structural belt of Langgu Depression and hydrocarbon accumulation [J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 2007, 26 (5): 29 ~ 32.

[5] 曾庆鲁. 廊固凹陷西务构造带断裂特征与油气成藏 [J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36 (17): 109 ~ 110.

ZENG Qing-lu. Faults feature and hydrocarbon accumulation in Hexiwu belt of Langgu Depression [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 36 (17): 109 ~ 110.

[6] 徐开礼, 朱志澄. 构造地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 125 ~ 126.

XUE Kai-li, ZHU Zhi-cheng. Structural geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 125 ~ 126.

[7] 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 Jun-sheng. Identification of growth fault by fault fall analysis [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (3): 13 ~ 15.

[8] Wernicke B, Burchfiel B C. Modes of extensional tectonics [J]. Journal of Structural Geology, 1982, 4 (2): 105 ~ 115.

[9] 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 Jun-sheng, YE Xing-shu, et al. A comparison of the fault growth index with fault throw [J]. Journal of Southeast Petroleum University, 2007, 29 (3): 20 ~ 23.

[10] 张宏国, 戴俊生, 王霞田, 等. 苏北盆地金湖凹陷西斜坡构造特征及构造演化 [J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33 (4): 349 ~ 353.

ZHANG Hong-guo, DAI Jun-sheng, WANG Xia-tian, et al. Structural feature and tectonic evolution of western slope in Jinhu Sag, Subei Basin [J]. Journal of Earth Science and Environment, 2011, 33 (4): 349 ~ 353.

[11] 宋荣彩, 张峭楠, 董树义, 等. 非补偿陆相断陷盆地层序地层学研究: 以廊固凹陷古近系为例 [J]. 地层学杂志, 2007, 31 (3): 255 ~ 260.

SONG Rong-cai, ZHANG Shao-nan, DONG Shu-yi, et al. Sequence stratigraphy of non-compensated, fault-controlled lake basins: A case study of the Paleogene system in the Langgu Depression [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31 (3): 255 ~ 260.

ACTIVITIES OF PALEOGENE FAULTS IN LANGGU SAG,
JIZHONG DEPRESSION

ZHANG Dan-dan, DAI Jun-sheng, ZOU Juan, WANG Ke

(School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: By calculating the fault throw index and growth index of the active faults in Langgu sag, Jizhong depression, the fault throw figures and fault growth index figures of this sag in each geological time were drawn out. Research showed that Daxing fault had different activities at different locations. The activity was weakened gradually from the southwest to the northeast as a whole. During the sedimentary period of E_k to Es_4 , the three-level active faults were mainly located in the southeastern part of the sag, and were active weakly. During the sedimentary period of Es_3 to Es_2 , the distribution of active faults was gradually extended to northeast from the southeastern part of the sag, with intense faults activity. The results suggested that the activity of active faults in Paleogene was mainly controlled by structural evolution background, and the activity of other active faults was also influenced by Daxing Fault.

Key words: Langgu Sag; Paleogene; fault activity; fault throw; growth index; genesis analysis