

## 东濮凹陷长垣断层的生长特征与半地堑演化

孙思敏<sup>1</sup>, 彭仕宓<sup>1</sup>, 汪新文<sup>2</sup>

(1. 石油大学, 北京 102249; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 通过分析长垣断层不同地质时期垂直位移分布特征, 反演了长垣断层的生长过程, 发现长垣断层是由南北两个断层段逐渐生长连接形成的, 不同地质时期长垣断层表现出不同的生长特征。沙四期长垣断层表现为两个独立的断层段, 沙三期断层段连接起来, 但各断层段仍表现出独立正断层的位移分布特征, 即断层段中央附近垂直位移最大, 向两端逐渐减小, 断层段分别控制半地堑, 它们连接处表现出断层位移亏损特征, 并在其近旁发育横向突起, 起到分隔半地堑的作用。沙二-东营期断层段连锁形成统一的断层系统, 沉降中心向长垣断层中央迁移, 横向突起沉降, 长垣断层上盘形成统一的半地堑。

关键词: 东濮凹陷; 长垣断层; 正断层生长; 半地堑演化

第一作者简介: 孙思敏, 男, 36 岁, 博士生, 开发地质

中图分类号: TE111.2 文献标识码: A

东濮凹陷位于渤海湾盆地西南端。凹陷呈 NNE 走向, 南宽北窄, 下第三系分布面积约 5 300 km<sup>2</sup>, 是一个在华北古生代地台基础上发展起来的早第三纪陆内裂谷型断陷。东濮凹陷在早第三纪存在 3 期幕式张裂活动, 由沙河街组四段(简称沙四)、沙河街组三段(简称沙三)、沙河街组二段(简称沙二)-东营组 3 个伸展幕组成。其中, 沙四期是初始裂陷期; 沙三期为强烈裂陷期, 该期沉积是凹陷的主力含油岩系; 沙二-东营期是凹陷萎缩期, 湖盆萎缩、变浅, 以漫湖相、河流相为主的砂砾岩和泥岩沉积为主。兰聊断层是东濮凹陷的东部边界断层, 它控制了东濮凹陷的形成与演化; 长垣断层是凹陷西部的一条主要边界断层, 长度达 85 km, 早第三纪断距 5 000 m。在两条断层控制下凹陷主体基本呈对称的地堑形态。

## 1 长垣断层的生长特征

### 1.1 断层生长过程反演

正断层的运动表现在两个方向: 除了在倾向上断层位移随时间积累外, 在走向上断层长度也随位移增大而增加, 正断层这种侧向发展增加断层长度的过程称之为断层生长(fault growth)<sup>[1]</sup>。典型正断层位移在断层中央附近达到最大, 向两端逐渐减小, 正断层的长度与最大位移存在相关

关系<sup>[2]</sup>。但许多大型正断层的位移分布形态却不是这样, 国外多位学者<sup>[3]</sup>都注意到大尺度的断层(系)通常由多个断层段组成, 每个断层段都具有与独立正断层相同的位移分布特征<sup>[4]</sup>, 断层位移曲线呈波状起伏状态, 其中向斜(半地堑)形成于局部位移极大处, 位于断层段中央附近; 背斜(横向突起)位于断层段连接处, 是断层位移局部极小处<sup>[5]</sup>。由于正断层的生长过程常表现为断层位移的横向迁移和扩展过程, 因此, 通过分析不同地质时期断层垂直位移沿走向分布即可以了解断层的生长过程。

为了了解长垣断层的生长过程, 笔者根据东濮凹陷的演化特征, 计算了长垣断层在沙四期、沙三期和沙二-东营期 3 个伸展幕的垂直位移沿走向的变化, 计算公式为

$$D_v = H_d - H_u$$

式中  $H_d$  为断层上盘地层厚度,  $H_u$  为断层下盘地层厚度。为计算这一参数, 笔者以每两公里左右间隔解释了 40 条垂直于长垣断层走向的地震剖面(图 1), 精确求取了其沙四期、沙三期和沙二-东营期垂直位移(图 2)。

### 1.2 不同时期断层生长特征

沙四期: 沙四期长垣断层开始活动, 并且明显表现为南北两个断层。南部断层较长, 断层位移也较大, 断层位移最大处位于 h236 线附近, 可达

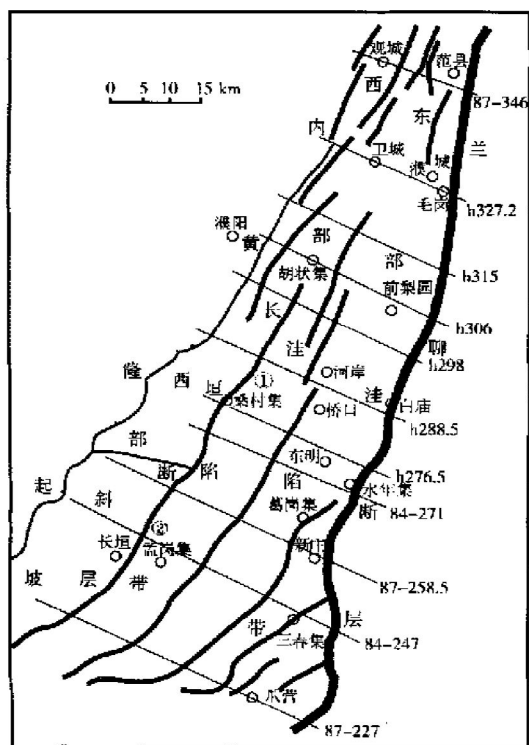


图1 东濮凹陷地震测线位置图

Fig. 1 Location map of seismic profiles in Dongpu depression

①—北部半地堑(海通集次洼); ②—南部半地堑(西南洼)

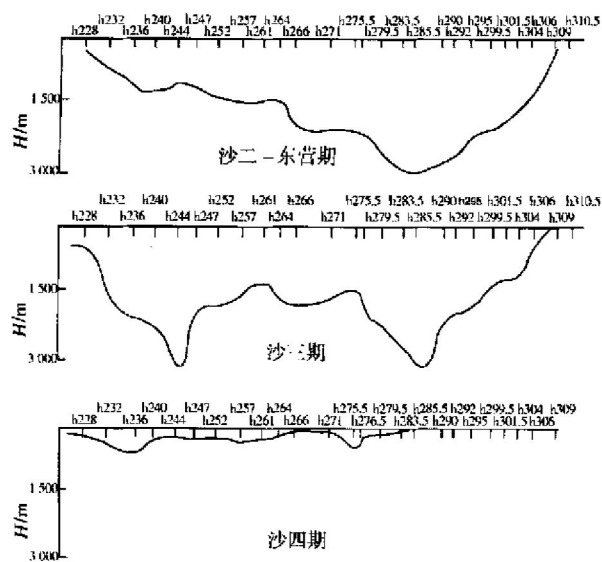


图2 长垣断层不同时期垂直位移沿走向分布图

Fig. 2 Strike distribution of vertical displacement of Changyuan fault in different geological periods

640 m; 北部断层延伸较短, 最大断层位移只有420 m, 位于h275.5线附近。这显示出它们都遵守典型正断层的长度-位移比例关系。两条断层分别控制两个半地堑单元, 它们是东濮凹陷西南洼

和海通集次洼的雏形, 中间是一段不活动段。

沙三期: 该期是东濮凹陷的主裂陷期和扩张期。长垣断层南北两个断层段横向生长并开始连接, 统一的长垣断层开始出现, 但仍表现出南北分段活动的特点, 每个断层段都表现出独立正断层的位移分布模式, 即断层位移在中间最大, 向两端逐渐减小, 分别控制南北两个半地堑。其中南段在沙四期活动的基础上继续活动并向北生长延伸, 活动中心也相应地向北迁移, 断层活动最强烈处由h236测线移至h244测线附近, 向北移动了约8 km, 最大位移为2 902 m; 北段活动中心位于h285.5测线附近, 向北移动了约10 km, 在沙三期最大位移可达2 908 m。分隔两个半地堑的是二者之间的一个低突起, 在该低突起上长垣断层位移大大减小, 只有1 000~1 500 m左右, 表现出断层段连接处断层位移亏损特征<sup>[2]</sup>。

沙二-东营期: 为长垣断层连锁期。长垣断层分段活动结束, 明显的特征是长垣断层南段活动减弱, 最大位移出现向长垣断层中央转移的趋势, 断层中部位移亏损处活动大大加强, 长垣断层上盘只有一个沉降中心, 南北两个断层段连结成一个统一的断层, 说明在该时期断层各段在动力学上是统一的。

## 2 断层生长与半地堑演化

长垣断层是东濮凹陷的西部边界断层, 控制了东濮凹陷西部洼陷带, 它的生长特征对西部洼陷带半地堑演化有重要影响。

沙四期: 长垣断层控制两个半地堑, 它们并不连通, 中间被横向突起所分隔。由于断层短, 沉降幅度很小, 沉积了较薄的地层, 以红色碎屑为主, 半地堑沉积物分布范围也很有限。

沙三期: 由于长垣断层南北各段沿走向迅速生长连接, 尤其在两个半地堑内断层上盘垂直沉降量迅猛增大, 沿断层在半地堑内形成深湖区, 使该期沉积成为凹陷的主力生油岩系。而在断层段连接处断层活动仍然较弱, 半地堑内和其连接处断层位移相差近2 000 m(图2), 断层上盘洼陷带内地形高差也更为显著。断层段南北连接处的横向突起继续存在, 相对幅度同沙四期相比更大, 南北两个沉积中心的水体仍处于分隔状态, 从而在长垣断层上盘形成一隆隔两洼的格局。

沙二-东营期: 由于长垣断层的连锁作用, 断

层最大位移开始向断层中央附近转移, 整个断层只有一个沉降中心, 南北两个半地堑贯通形成一个统一的半地堑, 沉积水系也逐渐统一。

### 3 与油气勘探的关系

长垣断层位移沿走向变化产生两个半地堑和分隔半地堑的横向突起, 半地堑位于断层位移局部最大处附近, 横向突起位于断层局部位移最小处, 即断层段连接处。横向突起相对半地堑而言是凹陷内的高地势带, 其长期存在加大了凹陷的分隔性, 使凹陷存在多个沉积中心, 从而限制了水体的循环, 促进了半地堑内封闭水体的形成, 有利于烃源岩的发育。

研究表明<sup>[1,6]</sup>, 断层上盘沉降的同时, 下盘由于均衡作用而抬升, 下盘抬升量与上盘沉降量成正相关关系。因而在断层位移量极小处, 对于上盘而言, 是凹陷中的构造高带, 而对于断层下盘而言, 它是构造低带, 是断层下盘碎屑物质进入上盘半地堑的通道。

分隔半地堑的横向突起从多个方向邻近生油中心, 因而是有利的油气运移指向区。横向突起作为高地势带在断层生长过程中, 随着半地堑范围的不断扩大, 半地堑内地层向横向背斜方向易

于形成上超、尖灭等非构造圈闭类型。进入沙二期后, 长垣断层分段活动减弱而进入断层连锁活动阶段, 下盘低地形逐渐消失, 横向突起迅速沉降而成为半地堑的一部分并接受细粒沉积, 易于形成下储上盖的有利组合, 因而是理想的勘探目标。

沿长垣断层从 h257 至 h276.5 测线的断层亏损段, 表现为构造高带, 其中尤其以 h261 测线附近构造和 h276.5 测线附近的桑村集鼻状构造更为有利。

### 参考文献

- 1 Anders M H, Schlische R W. Overlapping faults, intrabasin highs and the growth of normal faults[ J ]. *The Journal of Geology*, 1994, 120: 165~ 180
- 2 Watterson J. Fault dimensions, displacement, and growth[ J ]. *Pure and Applied Geophysics*, 1986, 124: 365~ 373
- 3 Gawthorpe R L, Hurst J M. Transfer zones in extensional basin: their structure style and influence on drainage development and stratigraphy [ J ]. *Geological Society of London Journal*, 1993, 150: 1 137~ 1 152
- 4 Dawers N H, Anders M H. Displacement-length scaling and fault linkage[ J ]. *Journal of Structural Geology*, 1995, 17: 607~ 614
- 5 Schlische R W. Geometry and origin of fault-related folds in extensional settings[ J ]. *AAPG Bull*, 1995, 79: 1 661~ 1 678
- 6 Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes[ J ]. *Geology Society of America Special Paper*, 1998, 323: 1~ 45

## GROWING CHARACTERISTICS OF CHANGYUAN FAULT AND HALF-GRABEN EVOLUTION IN DONGPU DEPRESSION

Sun Simin<sup>1</sup> Peng Shimi<sup>1</sup> Wang Xinwen<sup>2</sup>

(1. *Petroleum University, Beijing*; 2. *China University of Geosciences, Beijing*)

**Abstract:** Through analysis of distribution features of vertical displacement in different geological periods, the growing process of Changyuan fault has been inversed, which might be originated from two isolated fault segments. This study shows Changyuan fault has different growing characteristics in different geological periods. It consisted of the two individual normal faults in the Es<sub>4</sub> depositional stage, they were joined together and became one fault in the Es<sub>3</sub> depositional stage. However, each segment still had its own displacement features as independent normal fault, i. e. the largest vertical displacement to be in the central part of the fault segment, and became smaller and smaller to both ends. Both fault segments separately controlled the half-grabens, with displacement deficit on the joining site, where a transverse uplift was formed separating the half-graben. An integrated fault system had been successively formed in the Es<sub>4</sub> to Dongying stage. The depo-center then began to migrate toward the central part of Changyuan fault, the transverse uplift began to subside, and an unified half-graben was then formed on the hanging wall of Changyuan fault.

**Key words:** Dongpu depression; Changyuan fault; growing of normal fault; evolution of half-graben