

文章编号: 0253-9985(2006)04-0467-08

济阳坳陷中-新生代断裂发育特征及形成机制

张 鹏, 王良书, 丁增勇, 钟 锴

(南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 济阳坳陷中生代以 NW 向断裂活动为主; 新生代早期盆地发育受 NW 向和 NE 向断裂共同控制, 沙河街组四段沉积后, 以 NE 向断裂活动为主。济阳坳陷中-新生代断裂活动主要受太平洋板块向欧亚板块的斜向俯冲造成的弧后伸展作用及郯庐断裂的走滑作用联合控制。早白垩世初, 太平洋板块向欧亚大陆的俯冲使郯庐断裂带发生左行走滑, 在济阳地区形成了一系列 NW 向正断层。新生代早期, 济阳坳陷东部断裂活动受郯庐断裂左旋走滑的控制, 而西部受弧后伸展作用影响较大。大约 43 Ma 后, 太平洋板块聚敛方向改变, 济阳坳陷断裂活动主要受 NW-SE 向区域伸展作用控制。

关键词: 太平洋板块俯冲; 断裂活动性; 形成机制; 郯庐断裂带; 中-新生代; 济阳坳陷

中图分类号: TE111.2 **文献标识码:** A

Characteristics and formation mechanism of the faults in Mesozoic-Cenozoic in Jiyang Depression

Zhang Peng Wang Liangshu Ding Zengyong Zhong Kai

(Department of Earth Sciences Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Dominated by NW-trending faulting during the Mesozoic and jointly controlled by NW- and NE-trending faults in the Early Cenozoic, Jiyang depression was then governed by NE-trending faulting after the deposition of 4th Member in the Shahejie Formation.

The faulting in Jiyang depression in Mesozoic-Cenozoic was jointly controlled by back-arc spreading resulted from the oblique subduction of the Pacific plate towards the Eurasia plate and the strike-slip movement of the Tanlu fault zone. A series of NW-trending normal faults were formed as a response to a sinistral strike slip of the Tanlu fault belt during the Early Cretaceous. In the Early Cenozoic, faulting in the eastern Jiyang depression was controlled by the sinistral strike slip of the Tanlu fault belt, while in the western part of the depression, it was mainly affected by the back-arc spreading process. After about 43 Ma when the convergence direction of the Pacific plate changed, the faulting in Jiyang depression was mainly controlled by the NW-SE trending regional spreading process.

Key words The subduction of Pacific plate; fault activity; formation mechanism; Tanlu fault zone; Mesozoic-Cenozoic; Jiyang depression

济阳坳陷位于渤海湾盆地的南部, 南邻鲁西隆起, 东接郯庐断裂带, 北部和西部为埕宁隆起。济阳坳陷是一个在华北古生界基底上发育的中-新生代断陷盆地, 也是目前中国的第二

大油气产区。由于受多期构造运动与力学机制转变的影响, 产生了非常复杂的断裂构造样式, 断裂发育以 NE(E) 向、NW 向和 WE 向为主 (图 1)。

收稿日期: 2006-07-06

第一作者简介: 张鹏 (1981-), 男, 博士研究生, 盆地构造与地球动力学

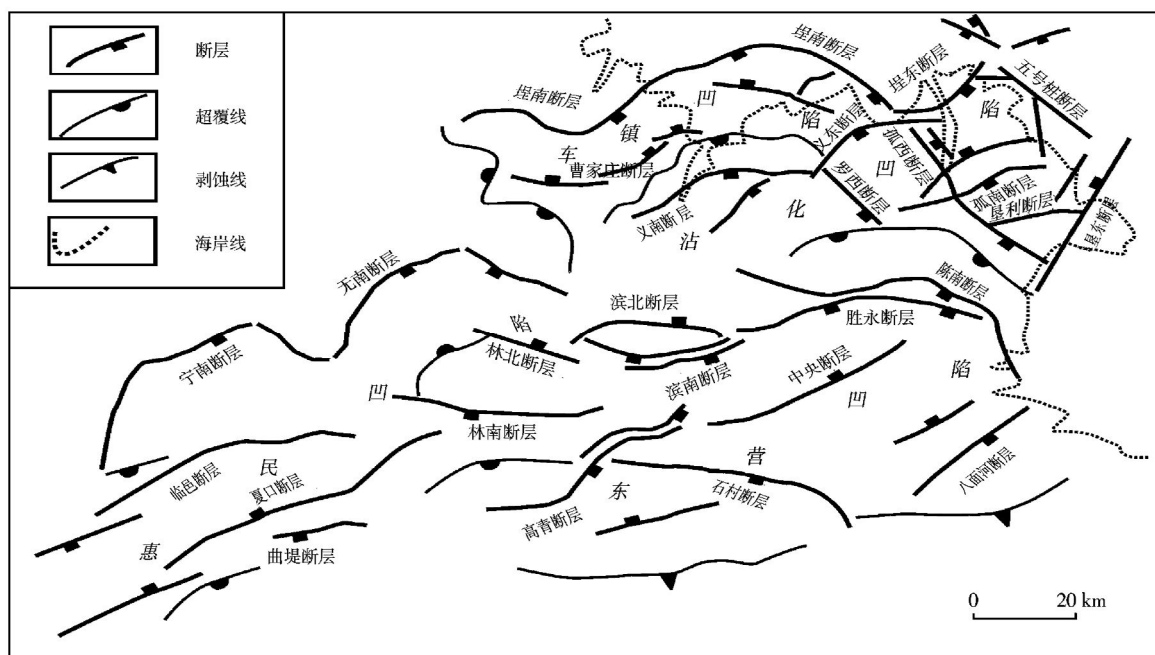


图 1 济阳坳陷主要断层分布

Fig. 1 Distribution of the major faults in Jiyang depression

断裂是济阳坳陷内主要的构造变动形式,其发育过程控制了盆地的形成和演化。断裂活动特征和成因机制的研究,对了解济阳坳陷构造演化史及油气聚集和运移史具有重要的意义。近年来,衣学磊等^[1]采用生长指数法,郑德顺等^[2]采用断层生长速率法,对济阳坳陷的断裂活动进行了研究。但在济阳坳陷的断裂发育期次、形成机制等问题上,仍存在很多争议。为此,我们研究了切割济阳坳陷主要断层的地震剖面,在断裂活动性定量分析的基础上,就济阳坳陷中—新生代断裂的发育特征和成因机制进行了探讨。

1 断裂活动性定量分析

断层落差是指在垂直于断层走向的剖面上两盘相当层之间的铅直距离,也称铅直断层滑距,它能反映断层两盘差异升降的幅度。用断层落差来反映断层的活动性,具有不受上升盘是否存在地层缺失的限制、不受盆地整体沉降幅度的影响、能清晰反映断层的活动性质等优点。张凡芹等^[3]曾用断层落差法对沾化凹陷的断层活动性进行了研究,取得了较好的成效。

本文运用断层落差法,对济阳坳陷中—新生代 NW 向断层、NE(E)向断层和 WE 向断层进行

断层活动性的定量分析。

1.1 NW 向断层

结合本项目组前期对济阳坳陷新生代各时期原始地层厚度和剥蚀厚度的研究成果,我们对地震剖面所能揭示的 NW 向断层活动性进行了计算,包括惠民凹陷的阳信断层、沾化凹陷的孤西和五号桩断层及东营凹陷的石村和陈南断层。

阳信断层位于济阳坳陷西部, M_z(中生代)时期开始活动,新生代 Ek(孔店期)时期断层活动达到高峰,到 Es²—Es³(沙二—沙三期)时期断层基本停止活动(图 2)。

石村断层位于东营凹陷西部, M_z时期开始活动,新生代 Ek 时期断层活动达到高峰,此后活动性逐渐减弱,至 Ed(东营期)时期断层基本停止活动。新生代断层西段(593测线上)活动性强于东段(616测线上)。

NW 向陈南断层自 M_z时期开始活动,新生代 Ek 时期断层活动达到高峰。Ek 时期断层东段(616测线上)活动性强于西段。Es⁴(沙四期)时期后断层活动性逐渐减弱, Ed—Es¹(东营期—沙一期)时期逐渐停止活动。

孤西断层 M_z时期开始活动,新生代 Ek 时期为活动高峰期, Es⁴时期活动开始减弱,直至 Ed—Es¹时期活动基本停滞。断层两端活动性差异较

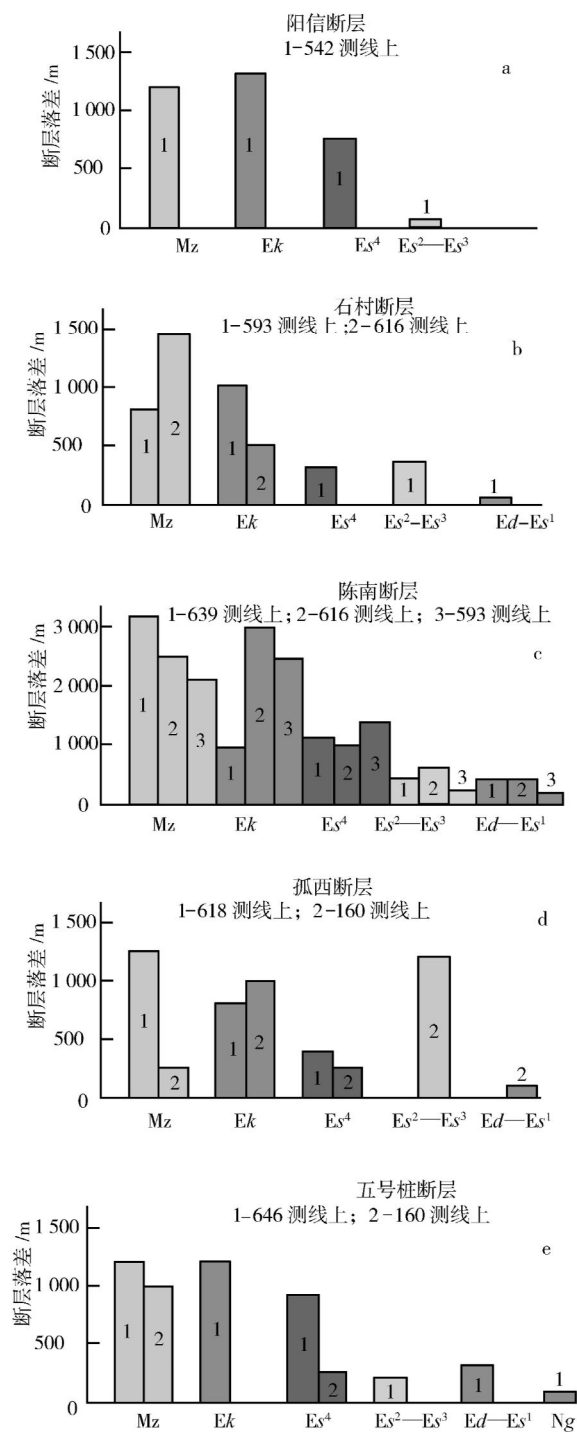


图 2 济阳拗陷各时期 NW 向断层落差直方图
Fig. 2 Histogram of NW trending fault throws in different geological stages in Jiyang depression

大。西段 (618 测线上) 断层活动结束时间较早, Es²-Es³ 时期基本停止活动; 而东段 (160 测线上) 在 Es²-Es³ 时期活动较为强烈。

五号桩断层自 Mz 时期开始活动, Es⁴ 时间活动达到高峰期, Es³ 时期活动开始迅速减弱, 直至 Ng (馆陶期) 时期活动停滞。新生代断层活动总体表现为西段 (646 测线上) 活动性比东段 (160 测线上) 强。

总体上, NW 向断层具有如下活动特征:

1) Mz 时期为 NW 向断层主要发育期和第一个活动高峰期;

2) 新生代济阳拗陷 NW 向断层活动高峰期为 Ek-Es⁴ 时期;

3) Es³ 时期开始 NW 向断层活动性逐渐减弱, 在 Ng 时期活动基本消亡。

1.2 NE(E) 向断层

济阳拗陷新生代各凹陷的边界断层大都表现为 NE(E) 向。我们对各凹陷 NE(E) 向断层进行了定量分析。

1) 惠民凹陷: 夏口断层在 Ek 时期开始活动, 活动性较强; Ed-Es¹ 时期断层活动快速降低; 至 Ng 时期断层停止活动 (图 3)。临邑断层 Ek 时期开始活动, 在 Es²-Es³ 时期活动达到高峰, Ed-Es¹ 时期后断层逐渐停止活动, 总体断层活动性较

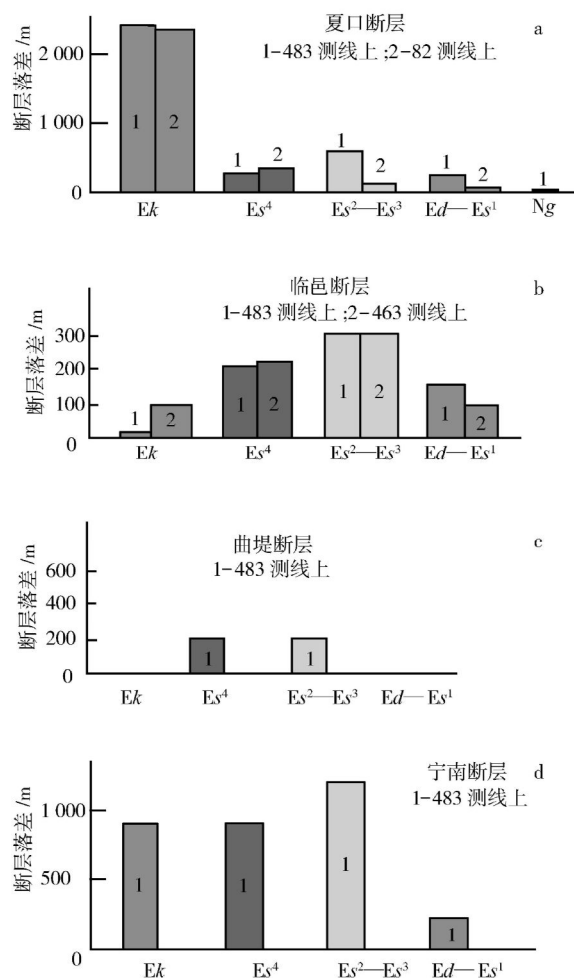


图 3 惠民凹陷各时期 NE(E) 向断层落差直方图
Fig. 3 Histogram of NE(E) trending fault throws in different stages in Huimin depression

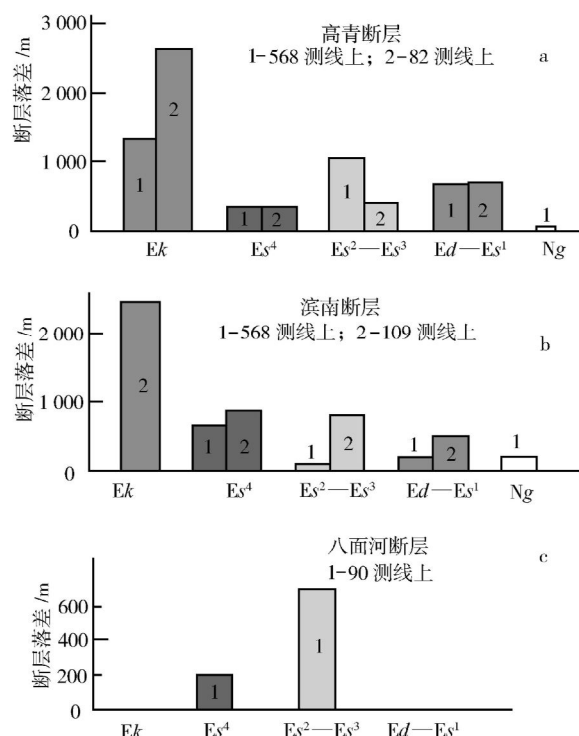


图 4 东营凹陷各时期 NE(E)向断层落差直方图

Fig. 4 Histogram of NE(E) trending fault throws in different geological stages in Dongying sag

弱。曲堤断层 Es⁴ 时期开始活动, Es¹ 时期后断层逐渐停止活动, 总体断层活动性较弱。宁南断层 Ek 时期开始活动, Es⁴-Es² 时期断层活动强度较大, Ng 时期断层逐渐停止活动。

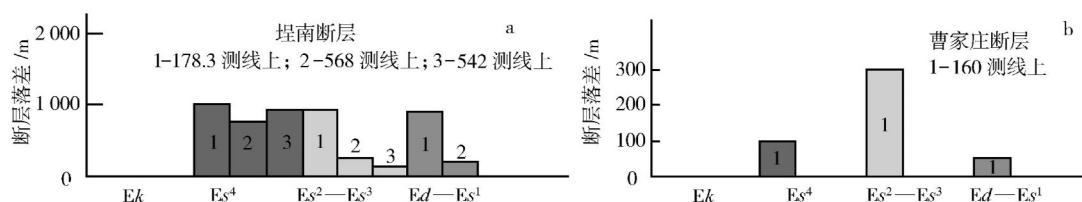


图 5 车镇凹陷各时期 NE(E)向断层落差直方图

Fig. 5 Histogram of NE(E) trending fault throws in different geological stages in Chezhen sag

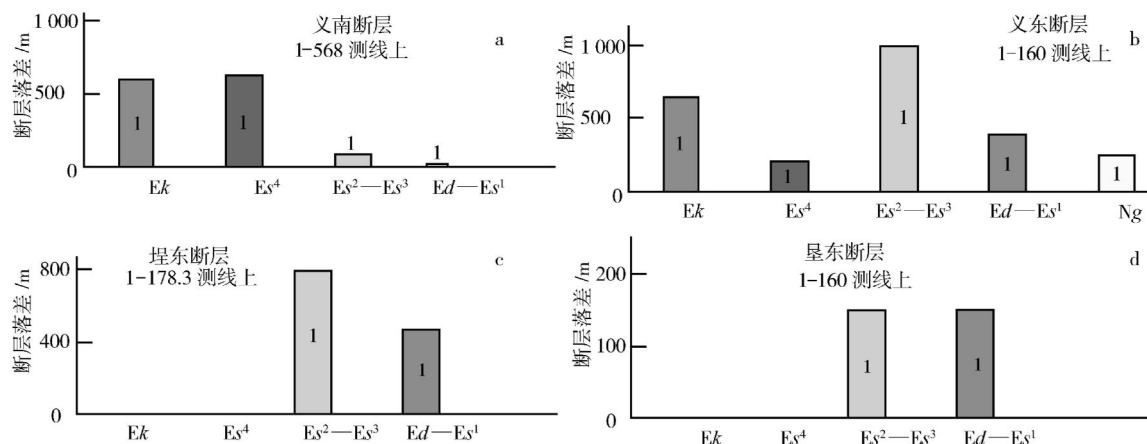


图 6 沾化凹陷各时期 NE(E)向断层落差直方图

Fig. 6 Histogram of NE(E) trending fault throws in different geological stages in Zhanhua sag

2) 东营凹陷: 高青断层 Ek 时期开始活动并达到高峰, 断层西段 (82 测线上) 活动性强于东段 (568 测线上); Es²-Es³ 时期断层活动相对较强; Es¹ 时期后断层活动性迅速降低; 整条断层 Ng 时期基本停止活动 (图 4)。滨南断层自 Ek 时期开始活动并达到高峰, Ed 时期后断层活动逐渐减弱, 至 Ng 时期断层基本停止活动; 断层落差东段 (109 测线上) 大于西段 (568 测线上)。八面河断层活动性较弱, 断层自 Es⁴ 时期开始活动, Es²-Es³ 时期断层活动达到高峰, 之后断层活动逐渐减弱, 至 Nd 时期断层逐渐停止活动。

3) 车镇凹陷: 埕南断层为车镇凹陷的北部边界断层, Ek 时期开始活动, Es⁴ 时期断层活动达到高峰, Es²-Es³ 时期断层活动稍弱, Es¹ 时期断层活动又有所增强, 之后至 Ng 初期断层停止活动 (图 5); 就整条断层活动来看, 断层东部 (178.3, 568 测线上) 的活动性强于西部 (542 测线上)。曹家庄断层 Es⁴ 时期开始活动, Es²-Es³ 时期断层活动性较强, Ed-Es¹ 后断层活动性减弱, Ng 时期断层停止活动, 总体活动性较弱。

4) 沾化凹陷: 义南断层位于义和庄凸起的南缘, Ek 时期开始活动, Es⁴ 时期活动达到高峰期, Es²-Es³ 时期活动减弱, Ed 时期断层基本停止活动 (图 6)。义东断层 Ek 时期开始活动, Es²-Es³

时期活动达到高峰期, E_d 时期断层活动性开始减弱, N_g 时期断层停止活动。埕东断层于 E_s^4 时期开始活动, $E_s^2-E_s^3$ 时期断层活动强度达到峰值, 在 $E_d-E_s^1$ 时期活动性减弱, N_g 时期断层停止活动。垦东断层在 E_s^4 时期开始活动, $E_s^2-E_s^3$ 时期活动最强烈, 之后断层活动逐渐减弱, 至 N_g 时期断层停止活动。

总体上, NE(E) 向断层具有如下活动特征:

1) NE(E) 向断层主要在 $E_k-E_s^4$ 时期开始活动;

2) 西部 NE(E) 向断层活动高峰期为 $E_k-E_s^4$ 时期, 东部 NE(E) 向断层活动高峰期为 $E_s^4-E_d$ 时期, E_d 时期后 NE(E) 向断层活动性逐渐减弱, 到 N_g 时期活动基本消亡, 断层发育和停止活动的时间表现出自西向东逐渐变晚的规律;

3) 自西向东、自南向北 NE(E) 向断层活动强度减弱。

1.3 WE 向断层

济阳拗陷中-新生代 WE 向断层发育相对较弱。我们对惠民凹陷的林南断层和沾化凹陷的孤南断层、垦利断层进行了定量分析。

孤南断层位于孤北断层的南侧, E_s^4 时期开始活动, $E_s^3-E_d$ 时期断层活动强烈, N_g 时期断层基本不活动(图 7)。

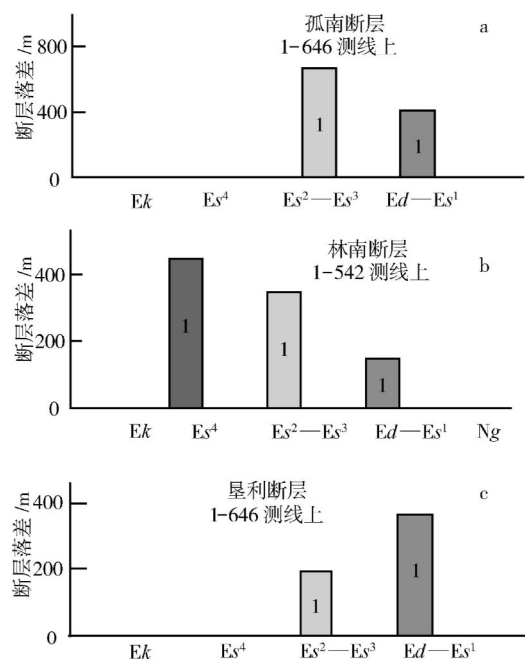


图 7 济阳拗陷各时期 WE 向断层落差直方图

Fig. 7 Histogram of EW trending fault throws in different geological stages in Jiyang depression

林南断层 E_k 时期开始活动, E_s^4 时期断层活动达到高峰, E_s^1 时期后断层活动性迅速减弱, N_g 时期断层停止活动。

垦利断层在 E_s^4 时期开始活动, $E_d-E_s^1$ 时期活动性最强, 以后断层活动逐渐减弱, 至 N_g 时期断层活动基本停滞。

WE 向断层总体在 E_s^4 时期后开始发育, 消亡于 N_g 时期。断层数量少, 活动强度弱。

2 济阳拗陷中-新生代断裂形成机制

济阳拗陷形成于太平洋板块向欧亚板块西向俯冲造成的弧后拉张作用及郯庐断裂走滑活动的构造背景下, 其后继演化还受到新生代晚期印-藏碰撞远距离效应的影响^[4-6]。

2.1 中生代

济阳拗陷中生代主要受欧亚构造域的扬子板块与华北板块的挤压拼接及滨太平洋构造域的太平洋板块向东亚大陆的俯冲这两大构造体系控制。

晚三叠世-侏罗纪, 济阳拗陷主要为 NW 向断层活动^[17]。在扬子板块与西伯利亚板块的南、北双重夹击下^[8], 华北板块板内局部挤压调整, 济阳拗陷产生了断层走向与秦岭-大别构造带大致平行的 NW 向逆冲断层。

早白垩世初, 西太平洋伊泽奈崎板块高速沿 NNW 向俯冲于东亚大陆之下, 使郯庐断裂带发生左行走滑平移^[9-12], 郯庐断裂带以西地区处于左旋剪切应力场, 在渤海湾和鲁西南形成了 NW 向雁行排列的中生代断陷盆地^[13-15](图 8)。在济阳拗陷, 先期形成的 NW 向逆冲断层受到 SW-NE 向的拉张发生构造反转, 成为一系列控制中生代盆地的张性正断层。各 NW 向正断层在中生代的活动强度较大, 断层落差都在 1 000 m 以上, 陈南断层落差更达 2 000~3 000 m, 应为靠郯庐断裂更近而受其影响更大之故。

2.2 新生代

2.2.1 古新世-早始新世 ($E_k-E_s^4$)

新生代早期, 在郯庐断裂东侧, 太平洋板块继续以 NNW 方向向欧亚大陆斜向俯冲, 但聚敛速度

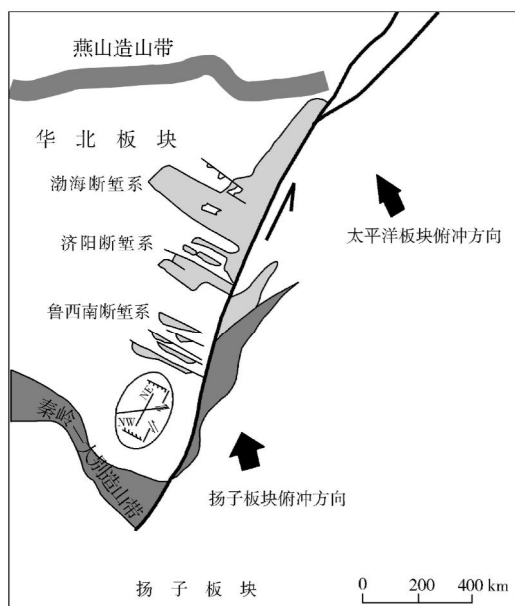


图 8 白垩纪华北地区构造格局及应力场模式

Fig. 8 Sketch map showing the tectonic units and stress field patterns in North China in the Cretaceous

降低了近一半。聚敛作用的松弛使中国东部的构造应力由挤压转变为拉张,在东亚陆缘形成弧后伸展区,初始裂谷盆地开始发育。此阶段郯庐断裂在斜向俯冲过程中仍表现为左行走滑运动^[7]。控制济阳坳陷古新世 NW 向盆地的 5 条主要断层(罗西断层、孤西断层、五号桩断层、陈南断层和石村断层)呈斜列式集中分布在郯庐断裂的西侧,它们与郯庐断裂的接触关系反映出 NE-SW 向拉张应力,指示新生代早期郯庐断裂为左行走滑平移运动。济阳坳陷东部地区临近郯庐断裂,断裂活动受郯庐断裂左行走滑的控制, NW 向正断层继续活动,控制地堑或半地堑盆地;而济阳坳陷西部位于弧后扩张中心,断裂活动不仅受郯庐断裂左行走滑影响,还受 NW-SE 向区域伸展作用控制, NE 向断层开始发育,形成与俯冲带方向(NE 向)大致平行的地堑和半地堑。因此在 Ek- E_s^4 时期,济阳坳陷断裂发育机制在东部和西部有明显的差异性: NE 向断层在西部地区 Ek 时期就开始发育,并在 Ek- E_s^4 时期具有较大的活动性;在东部, NE 向断层发育时间一般在 E_s^4 时期后,活动性也较西部弱。

NW 向正断层仍然延续了白垩纪时的特征^[16]。本时期各 NW 向断层活动强度仍然很大,断层落差在 1 000 m 左右或更高。同时 NE 向断层开始发育,西部的夏口断层、宁南断层、无南断

层、高青断层、滨南断层等一系列 NE 和 NEE 向断层自 Ek 时期开始活动并且活动性较强;而东部东营凹陷的八面河断层及车镇、沾化凹陷的 NE 向断层的出现均较西部晚,活动性也较西部弱。

2.2.2 中始新世—渐新世 (E_s^3 —Ed)

新生代早第三纪中始新世(43 Ma 左右)后,太平洋板块西岸的构造格局发生了转折。由于库拉板块的消失,太平洋板块由 NNW 向俯冲转为 NWW 向俯冲,使中国东部处于右旋剪切应力场之中^[13 14 17 18](图 9)。

太平洋板块与欧亚板块聚敛方向的改变与速度的回升,在我国东部形成广泛的弧后伸展构造和走滑拉张构造,如渤海湾、日本海、鄂霍次克海、东海、珠江口和琼东南盆地等。

济阳坳陷在太平洋板块俯冲的作用下受 NW-SE 向区域伸展作用控制进入大规模伸展时期,盆地构造类型以伸展构造为主,产生 NE-NEE 向的控盆犁式断层,断层自南向北伸展。各凹陷内 NW 向断层活动性逐渐减弱并消亡; NE(E) 向正断层继续发育,并多在此时期活动强度达到顶峰。

位于济阳坳陷东部的郯庐断裂带营潍段南段,本时期后被横向断裂强烈分割、改造而失去自身的连续性和活动性,对断裂的发育无明显控制作用^[19 20]。

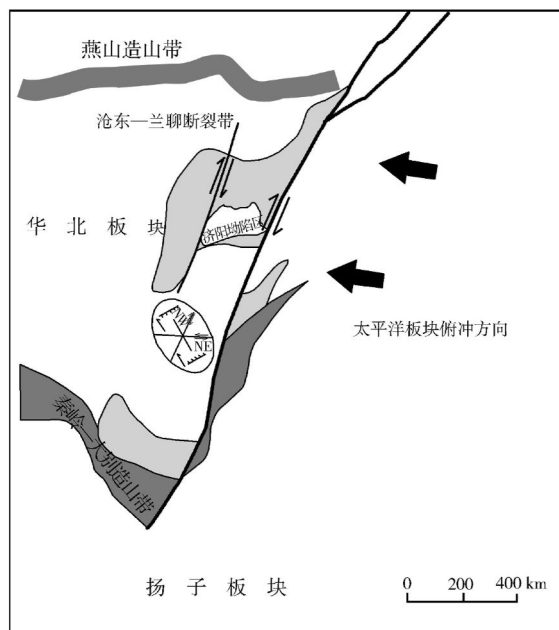


图 9 43 Ma 后华北地区构造格局及应力场模式

Fig. 9 Sketch map showing the tectonic units and stress field patterns in North China (after 43 Ma)

2.2.3 中新世—全新世(Ng—Q)

进入晚第三纪(23 Ma)以来,济阳拗陷伸展作用明显减弱,盆地整体热沉降,进入了拗陷阶段。各断层的活动强度大大降低,并走向消亡。

3 结论

济阳拗陷形成的宏观构造背景是太平洋板块西向俯冲和深部地幔物质上升造成的中国东部大陆岩石圈的伸展、减薄。济阳拗陷中-新生代断裂活动主要受太平洋板块向欧亚板块的斜向俯冲造成的弧后伸展作用及郯庐断裂的走滑作用这两大动力学机制控制。

济阳拗陷中生代NW向逆冲断层的形成,受控于扬子板块与西伯利亚板块对华北板块的水平挤压及郯庐断裂左行走滑的剪压构造机制共同作用。早白垩世,西太平洋伊泽奈崎板块高速俯冲于东亚大陆之下,使郯庐断裂带发生左行走滑平移。济阳拗陷处于左旋应力场之中,先期形成的NW向逆冲断层受到SW—NE向的拉张发生构造反转,形成一系列控制中生代盆地的NW向正断层。

新生代早期,太平洋板块与欧亚板块斜向聚敛作用开始松弛,东亚陆缘弧后裂谷开始发育。济阳拗陷东部地区临近郯庐断裂,断裂活动受郯庐断裂左行走滑的控制,NW向正断层继续活动,控制地堑或半地堑盆地;而济阳拗陷西部位于弧后扩张中心,断裂活动不仅受郯庐断裂左行走滑影响,还受NW—SE向区域伸展作用控制,NE向断层开始发育,形成与俯冲带方向(NE向)大致平行的地堑—半地堑盆地。

大约43 Ma以后,太平洋板块聚敛方向由NNW向俯冲转为近EW向,济阳拗陷受太平洋俯冲造成的NW—SE向区域伸展作用控制进入大规模伸展时期。各凹陷内NW向断层活动性逐渐减弱并消亡,NE和NEE向正断层活动强度达到最大。晚第三纪后,济阳拗陷整体沉降,进入拗陷阶段。各断层的活动强度大大降低并走向消亡。

参 考 文 献

- 1 衣学磊,侯贵廷. 济阳拗陷中-新生代断裂活动强度研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(4): 504~509
Yi Xuelei, Hou Guiting. A study of intensity of the faults activity in Jiyang Depression in Mesozoic and Cenozoic [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2002, 38(4): 504~509
- 2 郑德顺,吴智平,李伟,等. 济阳拗陷中-新生代盆地转型期断裂特征及其对盆地的控制作用[J]. 地质学报, 2005, 79(3): 386~394
Zheng Deshun, Wu Zhiping, Li Wei, et al. Faults and their control on the basin during the transfer stage of the Jiyang Depression in the Mesozoic-Cenozoic [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(3): 386~394
- 3 张凡芹,王伟峰,戴俊生. 沾化凹陷断层活动性及其对层序发育的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 253~259
Zhang Fanqin, Wang Weifeng, Dai Junsheng. Fault activities and their controls on the development of lithologic sequences in Zhanhuasag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 253~259
- 4 Allen M B, Macdonald D I M, Zhao X, et al. Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, North China [J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14(7/8): 951~972
- 5 Ren J Y, Tanaki K, Li S T, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas [J]. Tectonophysics, 2002, 344(3~4): 175~205
- 6 Zhang Y Q, Ma Y S, Yang N, et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China [J]. Journal of Geodynamics, 2003, 36(5): 591~613
- 7 宗国洪,肖焕钦,李常宝,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
Zong Guohong, Xiao Huanqin, Li Changbao, et al. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(3): 275~282
- 8 孙晓猛,张梅生,龙胜祥,等. 秦岭—大别造山带北部逆冲推覆构造与合肥盆地、周口拗陷控盆断裂[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 191~198
Sun Xiaomeng, Zhang Meisheng, Long Shengxiang, et al. Overthrust tectonic in northern Qinling-Dabie orogenic belt and basin-controlling faults in Zhoukou depression and Hefei basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 191~198
- 9 徐嘉炜,马国锋. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316~324
Xu Jiawei, Ma Guofeng. Review of ten years (1981~1989) of research on the Tancheng-Lujiang fault zone [J]. Geological Review, 1992, 38(4): 316~324
- 10 张云银. 郯庐断裂带含油气性研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 28~32, 38
Zhang Yunyin. A study of hydrocarbon-bearing characteristics in the Tancheng-Lujiang fault zone [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(1): 28~32, 38
- 11 Engebretson D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin [J]. The Geological Society of America, 1985, 206 (Special Paper): 1~59

- 12 Manuyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. *Island Arc*, 1997, 6(1): 121–142
- 13 侯贵廷, 钱祥麟, 宋新民. 渤海湾盆地形成机制研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 1998, 34(4): 503–509
Hou Guiting, Qian Xianglin, Song Xinmin. The origin of the Bohai Bay basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1998, 34(4): 503–509
- 14 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中-新生代构造演化研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2001, 37(6): 845–851
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai basin in Mesozoic and Cenozoic time [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37(6): 845–851
- 15 宗国洪, 施央申, 王秉海, 等. 济阳盆地中生代构造特征与油气 [J]. *地质论评*, 1998, 44(3): 289–294
Zong Guohong, Shi Yangshen, Wang Binghai, et al. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang basin [J]. *Geological Review*, 1998, 44(3): 289–294
- 16 朱建辉. 中国东部构造-热体制与断陷盆地多期性迁移特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(4): 367–370, 400
Zhu Jianhui. Tectonic thermal regime and multiple transporting characteristics of faulted basins in eastern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 367–370, 400
- 17 徐嘉伟, 朱光, 马国锋. 东亚大陆边缘演化的若干认识 [A]. 见: *IGCP 第 321 项中国组*, 编. 亚洲的增生 [C]. 北京: 地震出版社, 1993, 25–30
Xu Jiawei, Zhu Guang, Ma Guofeng. Some recognition about continental margin evolution in east China [A]. In: *IGCP No. 321 Chinese work group ed. The accretion of Asia* [C]. Beijing: Seismological Press, 1993, 25–30
- 18 Montgomery C W. *Physical geology* [M]. Dubuque: W C Brown Publishers, 1990, 555
- 19 徐杰, 高战武, 孙建宝, 等. 1969 年渤海 7.4 级地震区地质构造和发震构造的初步研究 [J]. *中国地震*, 2001, 17(2): 121–133
Xu Jie, Gao Zhanwu, Sun Jianbao, et al. Analysis of structures in 1969 Bohai sea M_s 7.4 earthquake area and discussion about the causative structure [J]. *Earthquake Research in China*, 2001, 17(2): 121–133
- 20 徐杰, 宋长青, 高战武. 营口-潍坊断裂带新生代活动的特征 [J]. *地震地质*, 1999, 21(4): 289–300
Xu Jie, Song Changqing, Gao Zhanwu. Active characters of the Yingkou-WEIFANG fault zone in the Cenozoic era [J]. *Seismology and Geology*, 1999, 21(4): 289–300

(编辑 李 军)

(上接第 466 页)

- Liu Luofu, Jin Zhijun. Distribution characteristics of major hydrocarbon source rocks in the middle-large oil and gas fields of China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(5): 6–13
- 20 吴世祥, 汪泽成, 张林, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(3): 210–216
Wu Shixiang, Wang Zecheng, Zhang Lin, et al. Exploration strategy for the foreland basin in western Sichuan [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(3): 210–216
- 21 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(4): 322–326, 331
Yang Keming. Status of oil & gas resources and prospecting potential in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 322–326, 331
- 22 杨克明, 叶军, 吕正祥. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 208–213
Yang Keming, Ye Jun, Lv Zhengxiang. Chronological characteristics of Upper Triassic reservoirs in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 208–213
- 23 Picha F J. Exploring for hydrocarbons under thrust belts—a challenging new frontier in the Camathians and elsewhere [J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(10): 1547–1564
- 24 Thomas F, Patrick J. Influence of basin architecture on the style of inversion and fold-thrust belt tectonics—the southern Adelaide fold-thrust belt, South Australia [J]. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(8): 1093–1110
- 25 Chaelton T R. The petroleum potential of inversion anticline in the Banda Arc [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(5): 565–585
- 26 Mitra S. Duplex structures and imbricate thrust system: geometry, structural position, and hydrocarbon potential [J]. *AAPG Bulletin*, 1986, 70(9): 1087–1112
- 27 贾承造, 卢华复. 库车-柯坪再生前陆冲断带油气聚集和勘探 [M]. 北京: 科学出版社, 2004, 1–132
Jia Chengzao, Lu Huafu. Hydrocarbon migration and exploration of Kuqa-Keping rejuvenated foreland thrust belt [M]. Beijing: Science Press, 2004, 24–67
- 28 卢华复, 贾承造. 库车-柯坪再生前陆冲断带构造 [M]. 北京: 科学出版社, 2003, 1–171
Li Huafu, Jia Chengzao. Structures of Kuqa-Keping rejuvenated foreland thrust belt [M]. Beijing: Science Press, 2003, 19–112
- 29 金强, 翟庆龙. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成 [J]. *地质科学*, 2003, 38(3): 342–349
Jing Qiang, Zhai Qinglong. Volcanic and thermal water activities and hydrocarbon generations in the rift basins, eastern China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 342–349
- 30 Macgregor D S. Hydrocarbon habitat and classification of inverted rift basins [A]. In: *Geological Society of London Basin inversion* [C]. Geological Society Special Publication, 1995, 88, 83–93

(编辑 李 军)