

鲁西隆起晚中生代以来 北西向正断层特征及物理模拟*

时秀朋, 李 理, 胡秋媛, 唐智博

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061)

摘 要: 鲁西隆起区伸展构造极为发育, 通过野外地质调查对隆起区北西向正断层的几何学特征进行研究, 采用平衡剖面演化方法, 选取横穿该区北西向断层的一条剖面, 定量计算正断层横向上和垂向上晚中生代以来各主要构造演化阶段的构造运动学参数, 并通过构造物理模拟实验详细解析鲁西隆起区伸展变形过程。研究结果表明, 北西向控凹断层在三叠纪后皆发生负反转, 晚中生代鲁西隆起受到强烈拉伸, 伸展构造主要发生在 19 ~ 20 km 以下的深尺度范围内, 断层切割深度加大。断裂带上普遍发育断层角砾岩、碎裂岩及断层泥。古近纪伸展作用以浅层拉伸为主, 鲁西伸展量和伸展率最大, 伸展作用强烈, 对应北西向正断层的活动速率值也达最大值, 同时发育大规模、范围广的半地堑。新近纪, 伸展率很小, 北西向正断层活动性大大减弱, 至第四纪, 断层几乎不再活动, 反映鲁西隆起基本处于稳定。鲁西隆起晚中生代的伸展与华北克拉通构造变革相一致, 而新生代的强烈伸展主要受控于太平洋板块与欧亚板块俯冲方向与速度的改变以及印度板块与欧亚板块的碰撞。

关键词: 正断层; 构造物理模拟; 鲁西隆起; 晚中生代-新生代

中图分类号: P548 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2010)02-0130-08

Characteristics of NW-trending Normal Faults and Physical Modeling since Late Mesozoic in West Shandong Uplift, China

SHI Xiupeng, LI Li, HU Qiuyuan, TANG Zhibo

(Institute of Geo-resources and Information, China University of Petroleum,
Dongying 257061, China)

Abstract: Extensional structures developed widely in West Shandong uplift. The characteristics of the NW-trending extensional faults in West Shandong uplift are studied based on detailed field geological survey. The tectonic kinematical parameters of each main tectonic evolution stages since late Mesozoic are calculated quantitatively using balance profile restoration along a selected profile crossing the main NW-trending faults. In addition, the process of extensional deformation is demonstrated using the structural physical modeling. The results indicate that the main NW-trending faults reversed negatively after Triassic and dominated the depositions of the adjacent depressions. In late Mesozoic, West Shandong uplift was subjected to strong extension, and the cutting depth of the normal faults reached to 19 ~ 20 km underground. And breccia, cataclasite and fault gouge developed in the fault belt. In the Paleogene, the crustal extension mainly occurred in shallow strata. The extension amount and extensional rate of the West Shandong uplift increased to their maximum. All of those show that the West Shandong uplift suffered intensive extension. The activity rates of the NW-trending faults reached peak. Half-graben developed massively and widely. Then, in the Neogene, extension rates became small and faults hardly activated, indicating that the West Shandong uplift approximately trended to be stable. The extension of the West Shan-

* 收稿日期: 2009-05-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772132), 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX_SW_18_04)

作者简介: 时秀朋(1981年生), 女, 博士研究生; E-mail: shixiupeng@yahoo.com.cn

dong uplift since late Mesozoic coincided with the tectonic evolution of the North China Craton. The strong extension in the Cenozoic is controlled by the change of the direction and the velocity of the subduction between the Pacific Plate and the Eurasian Plate, and the collision of the Indian to the Eurasian plates.

Key words: normal fault; structural physical modeling; West Shandong uplift; Late Mesozoic-Cenozoic

鲁西隆起是华北克拉通东南部一个重要的构造单元^[1]，伸展构造广泛发育，露头出露较好，是研究伸展构造的天然实验室。迄今为止，前人已对鲁西隆起的伸展构造做了许多针对性的研究工作。王炳山等^[2]研究认为鲁西自中生代以来受板块运动影响产生多次近南北向伸展作用，形成了以近东西向正断层和近南北向传递断层为主的伸展构造系统，并控制新生代沉积盆地的形成和演化。文献^[3-4]将鲁西隆起发育的正断层分为伸展正断层组、调整断层组和滑脱断层组，三者组合成伸展链锁断层系，从而形成了鲁西的主导构造格局，同时认为伸展运动与幔源岩浆活动有着密切成生关系。金振奎等^[5]研究了鲁西隆起断裂构造类型，按平面展布形态将其分为放射状断裂和同心环状。李理等^[6]将鲁西隆起晚中生代以来的伸展半地堑归纳

为伸展滑脱断块。王先美等^[7]研究了鲁西隆起北西向断裂晚中生代的构造演化规律。

本文结合野外地质调查，利用平衡剖面法，对鲁西北西向正断层进行构造解析和活动参数的定量研究，并通过构造物理模拟实验再现鲁西隆起晚中生代以来的伸展变形和断层的发育演化，论证其动力学机制及演化序列。两种方法相互印证，从时间上、空间上系统研究鲁西隆起晚中生代以来伸展构造特征及变形机制。

1 区域地质概况

鲁西隆起位于华北克拉通的东南部，北界为齐河-广饶断层 (F₅)，与济阳拗陷相邻，南界为丰沛断层 (F₀)，东以郯庐断裂为界，西以兰考-聊城断层为界 (F₆) (图 1)。

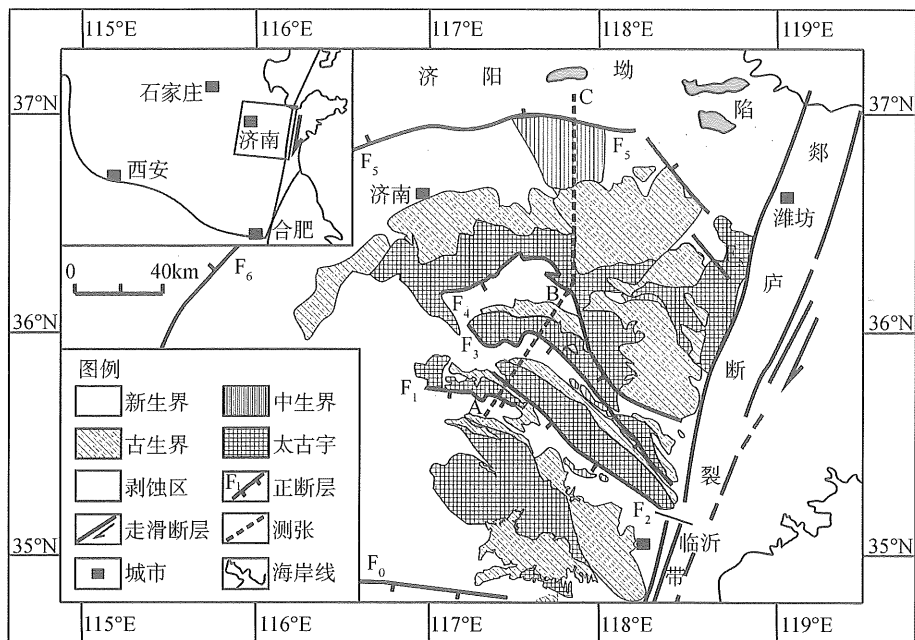


图 1 鲁西隆起区域构造位置

Fig. 1 The regional tectonic location of the West Shandong uplift

F₀ 丰沛断层; F₁ 汶泗断层; F₂ 蒙山断层; F₃ 新泰-垛庄断层; F₄ 泰山-铜冶店断层; F₅ 齐河-广饶断层; F₆ 兰考-聊城断层

本区地层发育齐全，从太古宇泰山群一直到第四系，具典型的华北克拉通型地层。基底主要由太

古宇混合花岗岩、片麻岩等变质岩组成，而盖层则由古生界、中生界和新生界碳酸盐岩和碎屑岩组

成^[8]。古生界发育寒武系、中-下奥陶统、中-上石炭统和二叠系, 缺失上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统。寒武系、中-下奥陶统主要由海相碳酸盐岩组成, 中-上石炭统和二叠系主要由海相和陆相含煤碎屑岩组成。中生界发育侏罗系和白垩系, 缺失三叠系, 主要为一套陆相碎屑岩和火山碎屑岩。新生界包括古近系、新近系和第四系, 主要由湖相碎屑岩组成^[8-9]。

鲁西隆起在古生代构造运动比较稳定, 主要表现为整体升降。古生代末期西伯利亚、华南、华北板块完成了拼接、聚合^[2]。三叠纪, 太平洋板块沿北北西方向运动, 向欧亚大陆俯冲, 郯庐断裂左行平移使鲁西地块隆升遭受剥蚀, 形成北西向张扭和北东东向压扭结构面, 并伴生一系列北东东向褶曲和逆掩断层。早侏罗纪, 鲁西开始伸展, 先期逆断层发生构造负反转。至晚侏罗纪, 古太平洋板块北北西向俯冲作用有所减弱^[2], 早白垩纪郯庐断裂由左旋走滑变为伸展^[10-11], 在这些因素的共同影响下, 鲁西受北北东-南南西向拉伸作用, 开始第一次大规模的伸展作用, 伸展构造主要发生在深尺度范围内, 地震层析成像显示集中在 19~20 km 以下^[12], 浅部伸展作用较弱, 沿早期北西-北东东向剪性结构面下滑, 掀斜, 形成一系列近东西向的半地堑^[2]。并随着伸展作用增强, 断裂切割加剧, 引发大规模的火山活动。白垩纪末, 太平洋板块向北北西方向挤压作用增强, 加之郯庐断裂左旋走滑作用, 鲁西再次遭受挤压抬升, 造成古近系与白垩系的不整合接触。新生代古新世, 太平洋板块以 78 mm/a 的速度向欧亚大陆俯冲^[13], 方向仍为北北西向, 郯庐断裂左旋走滑, 使得鲁西受到北东-南西向伸展作用。至始新世, 印度-欧亚板块碰撞产生的远程效应已波及中国东部^[14], 太平洋板块俯冲方向发生转变, 由北北西转向北西西, 速度

也有所下降, 与此同时, 郯庐断裂由左旋走滑活动转为右旋走滑活动^[15], 这些因素使得鲁西伸展作用再次增强, 一直持续到渐新世, 之后, 伸展活动逐渐减弱。

2 北西向正断层特征

2.1 露头特征

鲁西隆起由南至北, 北西向伸展正断层依次为汶泗断层、蒙山断层、新泰-垛庄断层、泰山-铜冶店断层和齐河-广饶断层 (图 1)。这些北西向伸展正断层在三叠纪末挤压的区域构造背景下发展起来, 皆为凹陷边界断层, 在平面上延伸较远, 规模较大, 发育时间较长, 切割较深, 控制半地堑的沉积。野外地质调查表明, 此类断层断面较陡, 倾角达 50°~70° (表 1)。断裂带中普遍发育构造岩 (图 2), 如, 泗水县华村水库北东 (35°41'43"N, 117°29'7"E) 可见汶泗断层断裂带中发育原岩为灰岩的断层角砾岩 (图 2a)。在放城北东 (35°41'13"N, 117°36'29"E) 蒙山断层下盘出露的太古宇中发育走向 320° 的片麻理 (图 2b), 产状为 210°∠70°, 断裂带中中断陷奥陶系岩片, 断层角砾岩、断层泥及碎裂岩发育。新泰-垛庄断层为张性正断层, 在新泰市南东向约 13 km 凤凰山 (35°48'26"N, 117°53'31"E) 可见断层上盘出露张夏组的灰岩, 断裂带经多次活动, 挤压破碎产生断层角砾岩, 断裂带中可见紫红色断层泥 (图 2c)。在莱芜县北东东向约 10 km 处鹏山地区 (36°17'33"N, 117°43'7"E), 泰山-铜冶店断层产状 246°∠79°, 其中上盘寒武系灰岩产状为 88°∠20°, 灰岩多硅化, 古近系棕红色砾岩、泥岩产状为 265°∠15°。下盘为太古宇花岗质片麻岩, 多为浅黄色或者白色。断层带宽约 9m, 其中发育构造岩, 为 10~50cm 宽的断层泥, 及硅化的花岗片麻岩 (图 2d)。

表 1 鲁西隆起主要控制凹陷沉积的陡倾斜断层

Table 1 The main steep normal faults controlling the sags deposition of the West Shandong uplift

断层名称	产 状/(°)			规 模/km ^[8]			性质	备注
	走向	倾向	倾角	长度	宽	断距		
汶泗断层	300	210	45~51	32.5	0.1	2~3	张性	控制汶泗凹陷 (J ₃ 、K ₁ 、E)
蒙山断层	300	210	60	76	0.1~0.5	0.01≥0.1	张性	控制平邑凹陷 (J ₃ 、K ₁ 、E ₂₋₃)
新泰-垛庄断层	320	230	45~80	120	0.1~0.5	0.01~0.3	张性	控制汶蒙凹陷 (J ₃ 、K ₁ 、E ₂₋₃)
泰山-铜冶店断层	330	240	75~85	160	0.1	0.01~0.3	张性	控制泰莱凹陷 (J ₃ 、K ₁ 、E ₂₋₃)
齐河-广饶断层	320	50	60	300 ^[16]	5.0 ^[16]	1.1~2.2	扭张	控制东营凹陷南缘 (J ₃ -K ₁ 、E _k -Es ₄ 、E _d)

2.2 断层活动分析

断层活动特征主要体现于平面上研究区伸展量和伸展率的变化，和垂向上断层的断距大小及断层的活动速率。

2.2.1 平面上断层活动特征 平面伸展特征主要采用平衡剖面法研究。平衡剖面基本原理认为：如果变形前后物质的体积不变，则在垂直构造走向剖面上体现为“面积不变”；如果变形前后岩层厚度保持不变，则转化为“层长不变”。所以，平衡剖面技术可理解为是一种遵循岩层层长或面积在几何学上的守恒原则，将已变形的剖面恢复到未变形状态（恢复法），或从未变形地层剖面依据变形原理得到变形剖面（正演法）的方法^[17]。采用该方法，对依次切过汶泗断层、蒙山断层、新泰-垛庄断层、泰山-铜冶店断层和齐河-广饶断层的 ABC 剖面（具体位置见图 1）进行回剥。

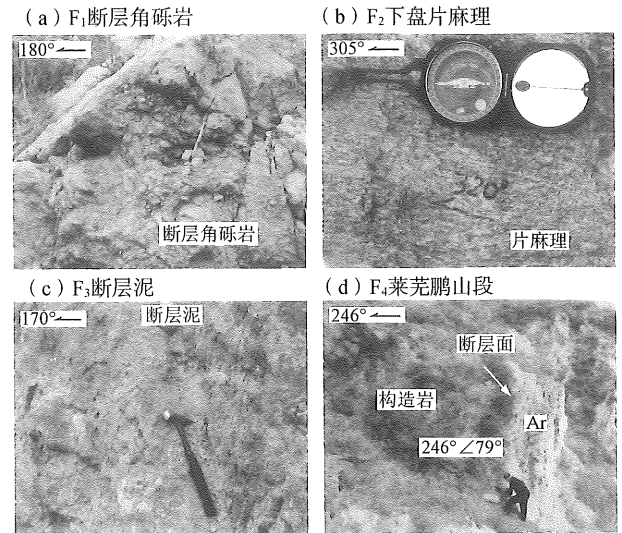


图 2 鲁西隆起北西向正断层特征
Fig. 2 The characteristics of NW-trending extensional faults in West Shandong uplift

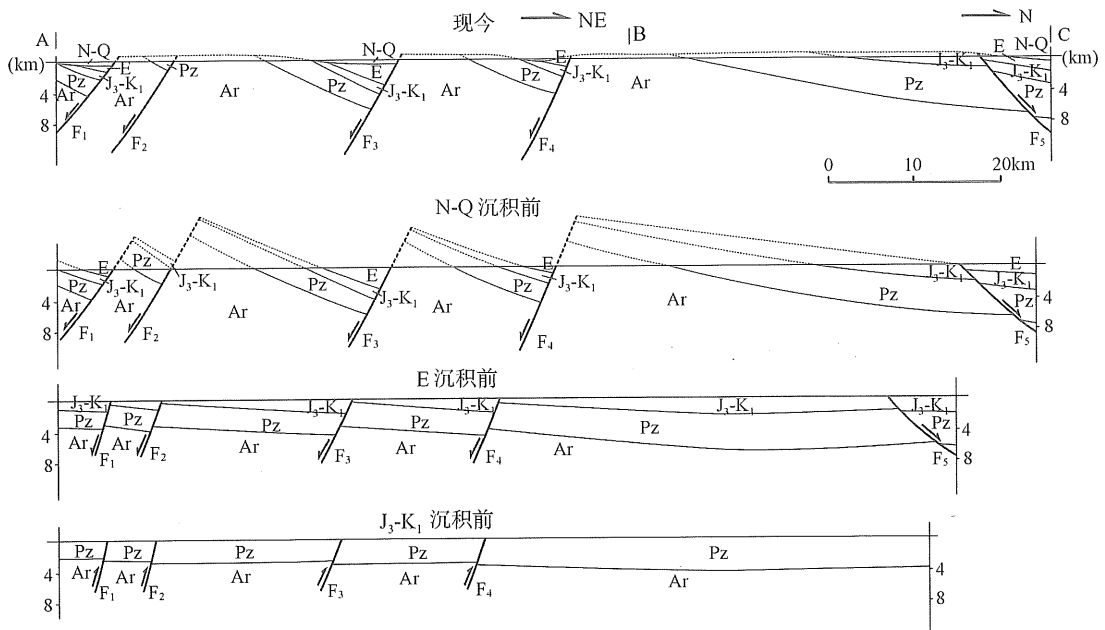


图 3 北东-南西向剖面构造演化平衡剖面（断层编号同图 1）
Fig. 3 NE-SW tectonic evolution sections (fault number referring to Fig. 1)

据伸展率 (e) 的计算公式： $e = (l_2 - l_1/l_1)$ ，(l_1 , l_2 分别为 I 时期沉积前、II 时期沉积前两个平衡剖面的长度， e 为 I 时期的伸展率)，分别计算了 $J_3 - K_1$ 、E、和 N-Q 时期的伸展率，见表 2。

可见古近纪伸展量最大，晚中生代次之，反映了鲁西隆起在晚中生代开始伸展，并逐渐增强，至古近纪，鲁西隆起遭受强烈伸展，构造活动最强烈。到了新近纪，伸展率很小，伸展作用减弱，断层也几乎不活动，反映鲁西隆起基本处于稳定。

表 2 鲁西隆起晚中生代以来伸展速率

Table 2 Extension rate since late Mesozoic of West Shandong uplift

地质时期	$J_3 - K_1$	E	N-Q	现今
剖面长度/km	102	105.2	115.2	116.2
伸展量/km	3.2	10	1.0	0
伸展率/%	3.1	9.5	0.9	0

2.2.2 垂向上断层活动特征 断层垂向活动特征主要通过断层活动速率加以分析。在沉积补偿前提下,不考虑沉积压实,断层两盘同一岩层厚度差(落差 Δh)能够表示断层活动造成的构造沉降。

落差与岩层沉积时期相比,即为断层活动速率(V_f)。利用构造演化剖面,计算汶泗断层、蒙山断层、新泰-垛庄断层、泰山-铜冶店断层和齐河-广饶断层各时期的活动速率(表3)。

表3 鲁西隆起北西向控凹断层活动速率 V_f (m/Ma) 与落差 Δh (m)

Table 3 The activity rate of NW-trending faults controlling depressions deposition in West Shandong uplift

地质时期断层	T 前 (250 ~ 208Ma)		J-K (208 ~ 65Ma)		E (65 ~ 23.3Ma)		N-Q (23.3Ma - 至今)	
	Δh	V_f	Δh	V_f	Δh	V_f	Δh	V_f
汶泗断层	-350	-8.3	800	5.6	4 900	117.5	1 150	49.4
蒙山断层	-300	-7.1	900	6.3	5 400	129.5	0	0
新泰-垛庄断层	-450	-10.7	1 450	10.1	7 600	182.3	1 100	47.2
泰山-铜冶店断层	-350	-8.3	1 150	8.0	7 050	169.1	0	0
齐河-广饶断层	0	0	400	2.8	800	19.2	200	8.6

从各断层晚中生代以来各时期的活动速率及其柱状图(图4)可知,除齐河-广饶断层外,鲁西隆起其余四条北西向正断层在三叠纪末期都发生了构造负反转,由逆断层转变为正断层;并在晚中生代断层活动由南向北逐渐增强,表现为由 F_1 到 F_3 活动速率增大;古近纪断层活动普遍比晚中生代强烈,断层活动速率呈现峰值,断层活动性也是由南至北逐渐增强;新近纪断层活动大大减弱,并趋于停止。

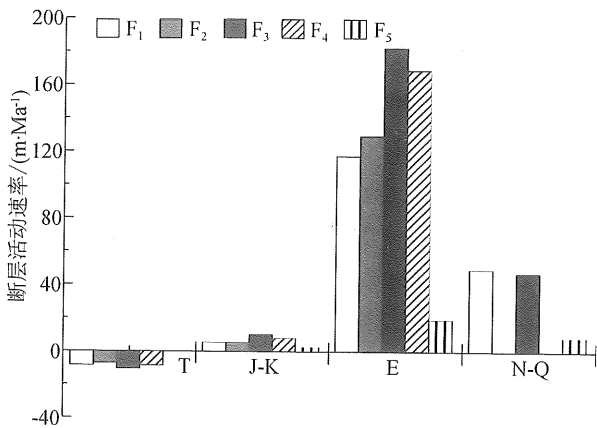


图4 各断层活动速率随时间变化直方图

Fig. 4 The histogram changing with time of each fault activity rate

3 构造物理模拟实验

构造物理模拟实验是一种独特的研究方法,可在实验室条件下再现构造体系形成和演化过程,追踪其形成的动力学成因机制,是地质科学研究由定

性描述跨入半定量-定量分析的有效途径。相似理论实验的指导思想,是提高实验精度的有效保证。它是指在实验和材料物质特性相似的物系中实施同一性质的变形过程,其中表达现象特性的同类量互为比例时,物系间构成的相互相似现象有明显的相似参数,包括几何比例相似、材料性质相似、时间相似、边界条件相似和驱动力作用方式相似等等。本次物理模拟实验也是在相似理论的基础上进行建模和实验。

3.1 实验模型的建立

3.1.1 实验材料及模型设计 由于上地壳大多为脆性物质,因此实验中采用天然石英砂模拟地层,地质界线采用与天然石英砂物性相同的彩色石英砂,使实验现象明显以便观察。上隆物质采用凡士林塑性物,通过底部注入凡士林来模拟地幔上涌。为了能够使拉力上传到模型上部,产生全面的拉伸,在地质模型的底层加上两段弹性布条。

模型的垂向(地层厚度)相似比例系数为 5.0×10^{-6} (表4),模拟区域南北距离约为 150 km,实验模型长度为 15 cm,此方向的相似比例系数为 1.0×10^{-5} 。不同时期地层在大约 $20 \sim 30 \text{ g/cm}^2$ 垂直力作用下压实成层,形成地质模型。鲁西初次伸展从晚中生代开始,模型设计的最新地层为中生界,介于模拟装置不能实现实验过程中的同沉积作用,因此新生代开始之后的沉积在模型中没有反映,相应的沉积负载因素也就不予考虑。

根据区域构造演化及各时期构造应力场,晚中生代采用横向伸展力叠加垂向上隆力,新生代则采用伸展力和上隆力并重。实验中力的大小分别通过

平流泵中蒸馏水流速和凡士林流速的改变来实现，达到半定量 - 定量控制。通过实验分析，二者采用的流速分别为 12.1 和 0.8 mL/min。

表 4 模型地层与实际地层厚度对比

Table 4 Thickness of the model layer and the real layer

地层	实际	模型	地层	实际	模型
	m	cm		m	cm
中生界	2 600	1.3	寒武 - 奥陶系	2 500	1.2
石炭 - 二叠系	1 000	0.6	太古宇	4 000	2

3.1.2 实验装置 实验仪器为中国石油大学（华东）多功能构造物理模拟装置，仪器参数和功能具体参阅文献^[18]。实验装置结构如图 5。

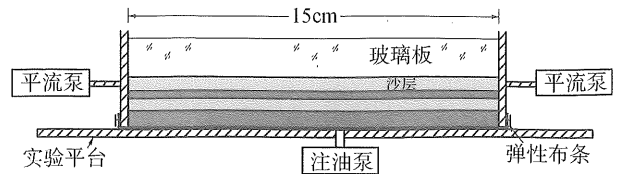


图 5 实验装置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the experimental equipment

3.2 实验现象及分析

前文已阐述鲁西隆起晚中生代伸展始于早侏罗世，加之新近纪鲁西隆起伸展活动不明显，因此模拟的地质时间限定为 208 ~ 23 Ma。实验历时 50 min，计算出时间相似系数为 3.7 Ma/min。因篇幅有限，选取六组现象明显的实验过程图像（图 6），采集时间分别为 6、28、39、44 和 50 min，对应地

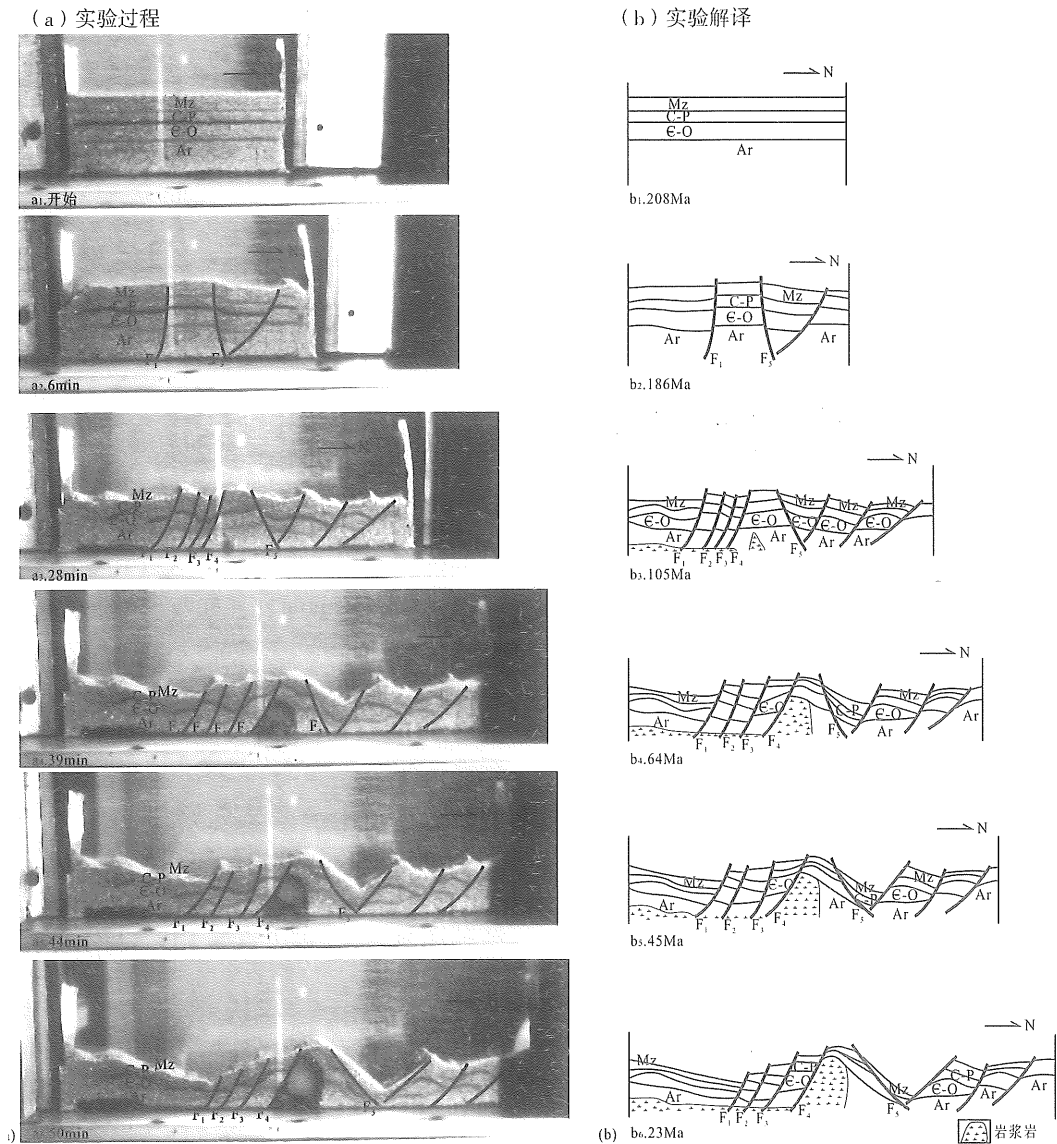


图 6 鲁西隆起伸展构造演化的构造物理模拟实验

Fig. 6 Simulation experimental analysis of extensional structure evolution in West Shandong uplift

质时间 186、105、64、45 和 23 Ma, 即早侏罗世, 早白垩世、古新世、始新世和渐新世。

图 6a₁ 为实验初始状态, 模型地层由老至新依次为太古宇泰山群, 寒武-奥陶系, 石炭-二叠系, 中生界。实验至 6 min (图 6a₂), 对应地质时间 186 Ma, 即早侏罗世, 模型受拉伸作用发育三条正断层, 其中 F₁ (汶泗断层) 断面南倾, F₃ (齐河-广饶断层) 断面北倾, 对应早侏罗纪北西向断层发生构造负反转, 开始伸展。28 min 时 (图 6a₃), 地质时间 105 Ma, 模型中相继发育一系列正断层 F₂ (蒙山断层)、F₃ (新泰-垛庄断层)、F₄ (泰山-铜冶店断层), 断面皆南倾, 并在 F₂ 和 F₃ 间地层发生了略微向北掀斜 (图 6b₃)。同时在模型左侧底部以及模型对应泰山的底部可见上涌的凡士林塑性物质, 对应该时期鲁西受强烈伸展, 断层切割深度加大, 从而引发早白垩世大范围的岩浆活动。实验至 39 min (图 6a₄), 地质时间 64 Ma, 即古新世, 由于拉伸作用增强, 凡士林快速上隆, 模型中伸展正断层活动剧烈, 半地堑发育明显, 断层间地层发生进一步掀斜, 并在寒武-奥陶系和石炭-二叠系间发生了相对滑动, 但规模不大, 现象不明显, 对应鲁西此时发育局部的、小规模的缓倾斜滑脱断层。北部的齐河-广饶断层的剧烈活动导致东营凹陷孔店组大厚度的沉积。实验继续进行, 至 44 min, 对应地质时间 45 Ma (图 6a₅), 模型中部对应泰山位置, 凡士林上涌, 地层明显抬升, 与泰山始新世的快速隆升, 雏形开始出现的现象吻合。北西向正断层进一步发育, 断块掀斜, 半地堑范围扩大。实验至 50 min 结束, 地质时间 23 Ma (图 6a₆), F₁-F₄ 断层活动性大大减弱, 北部 F₅ (齐河-广饶断层) 继续发育, 断层北侧地层剧烈沉陷, 与该时期东营凹陷馆陶组的沉积相吻合。模型中部见凡士林仍有明显隆升, 对应渐新世泰山又一次快速抬升。

依据模拟实验解译图计算实验中鲁西隆起各时期伸展率。为使计算结果更为准确, 不考虑构造物理模拟实验中伸展的边界效应, 选取实验模型中汶泗断层至齐河-广饶断层段剖面进行计算, 算得鲁西隆起晚中生代伸展率为 0.13, 古近纪伸展率为 0.23。由于实验模拟时间截止 23 Ma, 因此无法计算新近纪伸展率。鉴于构造物理模拟实验的模拟材料、力源设计、模型建立等自身局限性, 所得数据与平衡剖面数据有些偏差, 但并不影响构造物理模拟实验结果, 同样反映了鲁西隆起在晚中生代和古近纪受到较为强烈拉伸, 且古近纪伸展作用较晚中

生代强烈。

4 讨论分析

鲁西伸展构造是中新生代中国东部总的构造应力场发展演化的必然结果。三叠纪末, 鲁西应力场发生了由挤压到伸展的转变^[19]。林景仟通过对铜石镇南杂岩体进行⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年, 证实鲁西地区北西向断层在早侏罗纪, 即 189 Ma 左右开始拉张, 主要发育于鲁西南部^[20]。这一点在构造物理模拟实验 (图 6a₂) 中也有所体现, 实验证实 186 Ma 鲁西隆起最南部的北西向断层-汶泗断层最先开始发育, 发生构造负反转, 由逆断层转变为正断层。晚侏罗纪到早白垩纪, 在古太平洋板块北北西向俯冲东亚大陆之下^[21], 和郯庐断裂左旋走滑的共同影响下^[5, 22], 鲁西隆起开始第一次大规模的伸展作用, 北西向断层沿早期断面发生强烈张性伸展, 物理模拟实验 (图 6a₁₋₃) 和平衡剖面演化结果一致表明此阶段确实主要是华北岩石圈减薄, 基底的剧烈拉张导致北西向断裂切割深度加大, 沿早期北西向断面向下滑, 形成近东西向小规模的地堑和半地堑, 接受沉积。晚中生代的伸展量及伸展率较大, 断层活动速率由南至北逐渐增强。同时由于断层活动引发早白垩纪一定规模的岩浆活动, 这与林景仟测定鲁西地区中生代岩体年龄所得结论基本吻合^[20]。新生代是中国东部一个重要伸展裂陷时期, 太平洋板块对欧亚板块的持续俯冲, 加之印欧板块的碰撞^[23], 同时, 郯庐断裂带由左旋走滑转为右旋走滑活动^[15], 在这些因素共同影响下, 岩石圈发生大规模减薄, 软流圈地幔上涌^[24], 致使鲁西隆起的伸展作用再次增强, 并伴有剧烈岩浆活动。通过平衡演化剖面计算此时期的伸展量和伸展率皆最大, 对应的北西向断层的活动速率也最大, 断层活动最为剧烈, 特别是汶泗断层, 说明伸展作用强于晚中生代。对应的构造物理模拟实验也证实古近纪近东西向正断层广泛发育, 伸展作用以浅部伸展为主, 出现大规模、范围广的半地堑 (图 6a₄, 6b₄), 同时伴随强烈的岩浆作用, 主要集中在泰山附近, 与此时期泰山的快速抬升^[25] 从而导致断层活动性增强是相匹配的。至新近纪, 华北克拉通处于相对稳定, 鲁西隆起北西向断层活动速率和构造物理模拟实验显示多数断层活动明显减弱, 仅有齐河-广饶断层继承性活动, 对应东营凹陷馆陶组的披覆沉积。

5 结论

(1) 鲁西隆起区北西向控凹正断层汶泗断层、

蒙山断层、新泰-垛庄断层和泰山-铜冶店断层在三叠纪后皆由逆断层转为正断层,发生了构造负反转。齐河-广饶断层没有经历构造反转,而是从侏罗纪开始发育。

(2) 鲁西隆起晚中生代开始由南向北大规模伸展,至新生代古近纪,伸展量和伸展率达最大,对应北西向控凹断层的活动速率呈现峰值。伴随断层的剧烈活动,鲁西隆起发生大规模的岩浆活动。到了新近纪,断层活动不明显,伸展作用减弱,代之以区域沉降作用,鲁西隆起也基本处于稳定。

(3) 鲁西隆起中生代的伸展在先期挤压的环境下发展起来,与华北东部中生代构造体制发生以挤压为主到伸展为主的转变相一致。至新生代古近纪,受太平洋板块俯冲方向及速度改变于及郯庐断裂左旋变右旋走滑作用,加之印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应的共同影响下,鲁西遭受强烈伸展作用。

参考文献:

- [1] 黄汲清. 中国主要地质构造单位[M]. 北京:地质出版社,1954.
- [2] 王炳山,王西恩. 鲁西伸展构造特征及其对煤矿生产的影响[J]. 煤田地质与勘探,2000,28(3):20-24.
- [3] 王桂梁,燕守勋,姜波. 鲁西中新生代复合伸展构造系统[J]. 中国矿业大学学报,1992,21(3):1-8.
- [4] 燕守勋. 鲁西地壳隆升的伸展构造模式[J]. 地质学报,1996,70(1):1-11.
- [5] 金振奎,刘泽荣,石占中. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制[J]. 石油大学学报:自然科学版,1999,23(5):1-5.
- [6] 李理,钟大赉,时秀朋,等. 鲁西地区晚中生代以来伸展构造及其控矿作用[J]. 地质论评,2007,54(4):449-458.
- [7] 王先美,钟大赉,王毅. 鲁西北西向断裂系晚中生代活动的几何学、运动学及年代学研究[J]. 地质学报,2008,82(9):1259-1273.
- [8] 山东地矿局. 山东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [9] 宋奠南. 山东中生代盆地基本特征及演化过程[J]. 山东地质,2001,17(5):5-10.
- [10] 王勇生,朱光,宋传中,等. 大别山东段郯庐断裂带由走滑向伸展转换的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学记录[J]. 地质科学,2006,41(2):242-255.
- [11] 牛漫兰. 张八岭地区中生代岩体中黑云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 地质科学,2006,41(2):217-225.
- [12] 翟明国,孟庆任,刘建明. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘,2004,11(3):285-297.
- [13] NORTHROP C J, ROYDEN L H, BURCHFIELD B C. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extrusion along the eastern margin of Eurasia[J]. Geology, 1995, 23: 719-722.
- [14] LIU Mian, CUI Xiaojun, LIU Futian. Cenozoic rifting and volcanism in eastern China: a mantle dynamic link to the Indo-Asian collision[J]. Tectonophysics, 2004, 393(1/4): 29-42.
- [15] 徐嘉炜,朱光,吕培基,等. 郯庐断裂带平移年代学研究的进展[J]. 安徽地质,1995,5(1):1-12.
- [16] 李昶绩. 齐广断裂带的地质特征及形成时间探讨[J]. 山东地质情报,1990,(3):12-14.
- [17] KILSDONK M. A Study in Extensional Tectonics[D]. USA: Texas A & M University, 1989.
- [18] 时秀朋,李理. 构造物理模拟实验方法的发展与应用[J]. 地球物理学进展,2007,22(6):1728-1735.
- [19] 夏邦栋,李培军. 中国东部扬子板块同华北板块在中-晚三叠世拼接的沉积学证据[J]. 沉积学报,1996,14(1):12-21.
- [20] 林景仟,谭东娟,金焯. 鲁西地区中生代火成活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 岩石矿物学杂志,1996,15(3):213-220.
- [21] 徐纪人,赵志新,石川有三. 中国大陆地壳应力场与构造运动区域特征研究[J]. 地球物理学报,2008,51(3):770-781.
- [22] 李三忠,王金铎,刘建忠,等. 鲁西地块中生代构造格局及其形成背景[J]. 地质学报,2005,79(4):487-497.
- [23] 钟大赉,丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨[J]. 中国科学:D辑,1996,26(4):289-295.
- [24] 邱检生,胡建,蒋少涌等. 鲁西中、新生代镁铁质岩浆作用与地幔化学演化[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2005,30(6):645-658.
- [25] 李理. 鲁西地区晚中生代以来伸展构造与隆坳演化对比[D]. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所,2006.