

鄂尔多斯地块周缘地堑系形成机制及其地震活动性的实验研究*

王春华 廖素琼

(国家地震局地质研究所)

摘 要

本文应用形变模拟及重力模拟对鄂尔多斯地块周缘断陷盆地带的各种特征进行了研究。认为这些断陷盆地的形成和演化主要受印度洋板块和太平洋板块共同作用而形成的拉张、剪切的力学机制控制。

本文还应用了激光全息光弹性实验模拟地堑系的形成与地震活动的关系。同时,用定量分析法分别确定了各地堑系的应力集中区。发现鄂尔多斯地块的四个角域区应力集中较强,这与历史和现代强震震中分布基本吻合。

前 言

山西断陷盆地、渭河断陷盆地、河套断陷盆地以及银川—吉兰泰断陷盆地统称鄂尔多斯地块周缘地堑系。它们大多属剪切—拉张型盆地,个别为纯拉张型盆地。这些盆地均受现代规模较大的活动性断裂所控制。由于盆地内活动断裂的性质不同、活动方式的差异以及产生它们的动力学条件的影响,因而每个盆地具有各自的特征。本文应用形变模拟和重力模拟着重研究了形成各断陷盆地特征的力学机制。同时还应用激光全息光弹性实验模拟了鄂尔多斯周缘应力分布特征,并讨论了现代构造应力场与地震活动的关系。

一、鄂尔多斯地块周缘地堑系主要构造特征^[1-3]

鄂尔多斯地块周缘的地堑系主要包括:山西断陷盆地、渭河断陷盆地、河套断陷盆地及银川—吉兰泰断陷盆地(图1)。本区地堑系中的断裂主要有北东向—北北东向、北西向—北北西向、南北向和东西向几组(图1)。

这些断陷盆地的特征既具有共性又具有特性。其共性是:(1)平面分布多数以雁行式狭长带状排列;(2)盆地的一侧或两侧被断面向盆地内倾斜的剪切—拉张断层控制;(3)地堑两旁大多为高山峻岭,悬崖陡壁;(4)地堑区域地壳厚度较薄,沉积厚度较大。其特性是:(1)北部河套断陷盆地与南部渭河断陷盆地的分布及形态呈对偶性特

*本文系地震科学联合基金资助课题

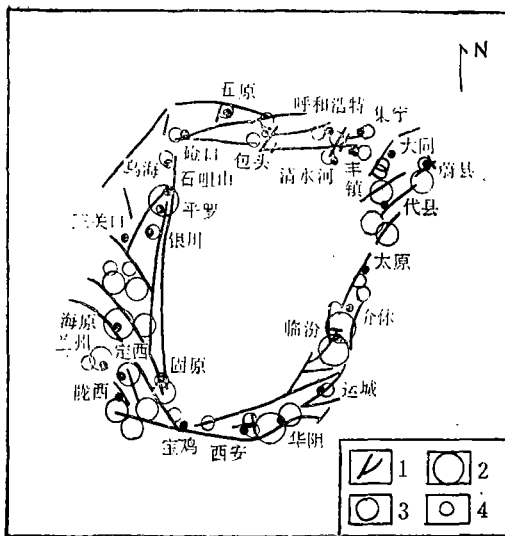


图1 鄂尔多斯地块周缘地堑系的地震地质略图

1. 断裂 2. $M \geq 7$ 3. $7 > M > 6$ 4. $M \leq 6$

Fig. 1 Seismogeology of graben system in the western part of North China

向联合挤压力为主，垂直向上的作用力为辅。

1. 共轭剪切破裂带与断陷盆地的形成

因地壳介质是弹塑性的，故用具有弹塑性的湿粘土模拟地壳。将湿粘土制成 $22 \times 15 \times 12$ 立方厘米的模型，对其施加近东西向的水平挤压力，发现在此块体中间隆起部位形成了北北东和近东西向两组共轭剪切破裂带。这些剪切破裂带呈S形展布（图2）。这种现象与鄂尔多斯块体周缘的共轭剪切破裂带〔2〕相吻合。

对此模型继续施加近东西向的水平挤压力，并在模型底部施加垂直向上的作用力，发现在剪切破裂带内部沿断裂下陷形成一系列雁行式断陷。这说明本区断陷盆地是在近东西向水平挤压作用下形成的共轭剪切破裂带的基础上，在引张力不断加强的条件下逐步形成的。

2. 对称的弧形地堑的形成

文献〔2〕在分析了鄂尔多斯块体及其周缘的构造和地震活动情况后认为，鄂尔多斯块体可以近似地作为刚性体处理，它焊接在周围的弹性介质之中。据此，我们采用一硬块体模拟鄂尔多斯刚性地块，将其放置在具弹塑性的湿粘土中间，并使二者紧密结合。对模型施加北 70° 东和南 30° 西方向的水平挤压力，发现块体东部、东北部、西南部及南部隆起，尤其西南部形成褶曲，并在东部隆起顶部出现雁行式裂隙（图3）。文献〔1〕利用工业爆破资料获得运城、临汾盆地均为莫霍面上隆区。由此，在上述模型东部相应位置的下方施加垂直上隆的作用力，结果使原裂隙加长加宽，上隆作用力松弛后，沿裂隙出现裂隙，此裂隙呈斜列式排列。此现象与山西地堑系的形成相吻合。同时，在模型中硬块体的西北角与东南角对称出现弧形裂隙，形成对称的弧形拉张区。它们分别对应了河套、银川及汾渭弧形地堑系。文献〔2〕指出鄂尔多斯块体在断陷带形成过程中不断隆起，使块体周边产生拉张。因此，将模型中硬块体整体抬升，发现块体周边产生拉张裂隙，同时块体外围粘土均向块体外侧倾斜。这

征；（2）河套、银川断陷盆地带有鄂尔多斯地块西北部形成弧形转换，与汾渭断陷盆地带有鄂尔多斯地块东南部的弧形转折对称；（3）河套断陷盆地带有渭河断陷盆地带有具左旋剪切性质的正断裂围限，山西断陷盆地带有右旋剪切断裂围限；（4）银川断陷盆地与其它斜列式断陷盆地不同，它的东、西两侧均被大型的张性正断层所围限；（5）汾渭断陷盆地中运城、临汾一带均为莫霍面上隆区〔1〕。

二、鄂尔多斯地块周缘地堑系形成机制的模拟

根据上述断陷盆地的特征，我们分别进行了模拟实验研究，进一步探讨形成断陷盆地的力学条件。根据震源机制解与地震地质分析，实验中的作用力采用北东东向和南西

与实际情况是一致的。

从图3实验结果还可以看出，模型中硬块体东侧与西侧的变化不对称。其东侧主要受到北东东向水平挤压力而形成一系列共轭剪切破裂带，进一步发展为雁列式断陷盆地。而西侧南部主要受到南西向的水平推挤力，因而形成褶曲，北部在北东东向与南西向水平挤压力共同作用下形成规模不大的右行雁列式断陷带。上述现象与汾渭断陷盆地带和银川—吉兰泰断陷带的展布一致。

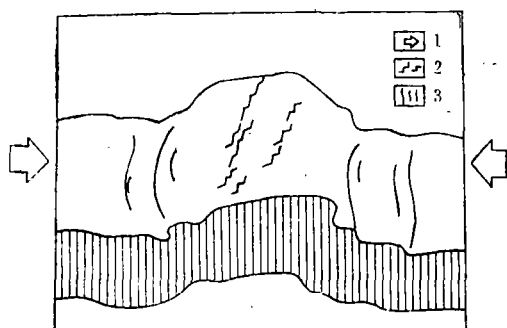


图2 共轭剪切破裂带形成的模拟示意图

1.加力方向 2.剪切破裂带 3.褶曲

Fig. 2 Simulated test of formation of conjugate shearing fractured zone

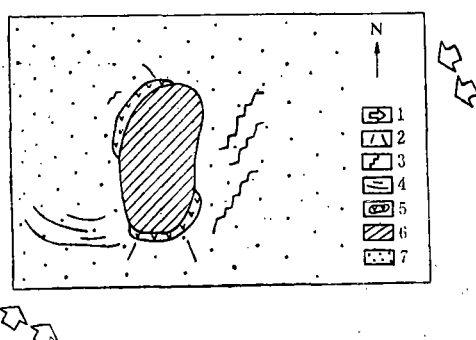


图3 对称的弧形地堑形成的模拟示意图

1.加力方向 2.裂隙 3.剪切破裂带 4.褶曲
5.弧形拉张区 6.硬块体 7.粘土

Fig. 3 Simulation of formation of symmetry of bogen graben

3. 南北对偶性地堑的形成

根据上述认识，我们作了一个剖面模型，其中间用硬块体模拟鄂尔多斯地块，两侧为湿粘土，分别模拟地块南北缘。由于本区应力场近东西向的挤压力必然伴生近南北向的引张力，因此，在模型两侧施加引张力，并逐渐抬升中间的硬块体，这时在块体两侧各形成两组裂隙，一组为背向块体的裂隙，不发育；另一组是向块体倾斜的裂隙，较发育，且呈上陡下缓的铲式正断层形式（图4a）。这种现象与河套断陷盆地和渭河断陷盆地的对偶性构造发育相似。上述两种作用力继续加强，硬块体两侧的粘土被铲式正断层分割的若干块体向硬块体外侧倾斜，它们与铲式断层构成阶梯状半地堑形态（图4b）。这种现象与实测地质剖面（图5）基本相似。实验表明，本区由于受到近南北向的引张力，从而形成了地块南北两侧的对偶性构造。

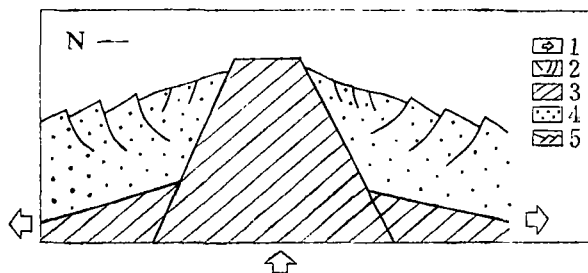


图4 南北对偶性地堑的形成模拟示意图

1.加力方向 2.裂隙 3.硬块体 4.粘土 5.阶梯状半地堑

Fig. 4 Simulation of formation of the north-south dual graben

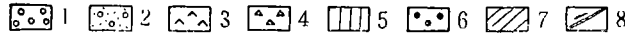
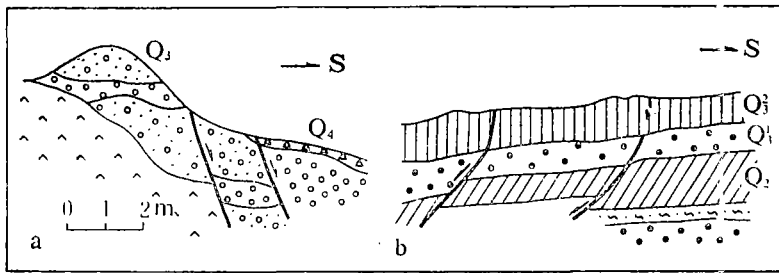


图5 鄂尔多斯南北缘断陷盆地剖面图

a. 河套乌拉山西南部剖面 b. 渭河南缘三道原前缘断层剖面 1. 巨型砾石
 2. 松散的砂砾石 3. 橄辉岩 4. 坡积物 5. Q_3 地层 6. Q_1 地层 7. Q_2 地层 8. 断裂

Fig. 5 Profile of rift basin of the northern and southern edges of the Erdos

4. 上地幔的隆起作用

文献〔1〕、〔2〕表明，本区地堑系分布区为上地幔上隆带，为此研究上地幔上隆对断陷盆地的形成的影响是很必要的。我们采用高能量离心机，用离心力模拟重力並利用密度差代替温度差的方法进行研究。由于上地幔物质主要成分为橄 榄岩，且在上地幔中温度高达1400℃左右，在这样高的温度下，橄 榄岩产生部分熔融，这样它的密度降低而粘度增大。为此，我们取密度低、粘度大的塑胶模拟上地幔物质，用弹塑性材料模拟地壳物质制成模型，然后放到离心机中进行实验。结果表明，上地幔上隆作用对地壳不仅产生次级引张力，而且由于重力均衡作用还会对地壳表层产生向下的拖曳力，从而形成断陷盆地（图6）。由此看出，上地幔上隆对本区断陷盆地的形成有一定的影响。

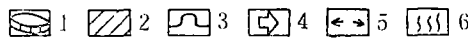
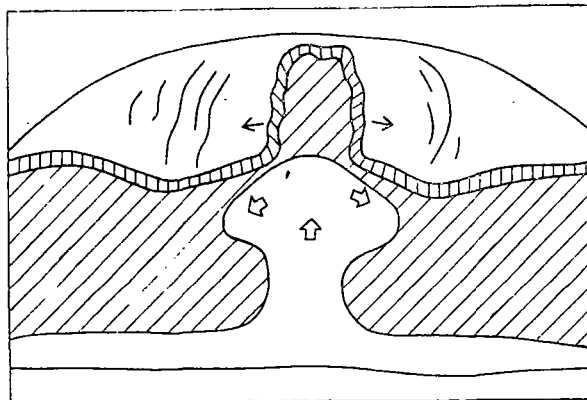


图6 上地幔上隆作用的模拟示意图

1. 地壳表层 2. 地壳岩层 3. 上地幔物质 4. 上地幔物质运动方向 5. 地壳表层的次级引张力 6. 褶曲

Fig. 6 Simulation of uplifting force of the upper mantle

三、地堑系的形成与地震关系的模拟

应用激光全息光弹性实验对本区各地堑系进行定量模拟。首先将河套、汾渭、银川等地堑系的构造格局刻在环氧树脂和有机玻璃材料上制成模型。然后将模型放在加力装置上，对其施加北东东—南西向水平挤压力。在激光全息干涉下形成两组条纹照片即等色条纹与等厚

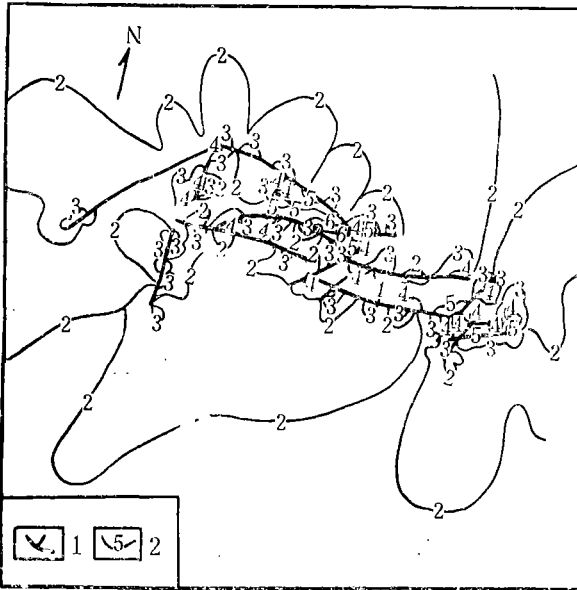


图7 河套地堑盆地最大剪应力等值线图
1.断裂 2.等值线

Fig.7 Isolines of stress in the Hetao graben basin

条纹照片。根据公式〔4〕〔6〕计算出各地堑系的应力等值线图,包括主压应力等值线图、主张应力等值线图和最大剪应力等值线图共九张。图7—9为最大剪应力等值线图。分析这些图件可以看出,三个地堑系的应力集中区的分布(表1)与历史和现代地震震中分布(图1)基本一致,尤其是应力集中较强地区与现代强震震中分布区大多相吻合。实验结果表明了地堑系内地震活动性的特征:
1.强震震中往往发生在由断裂控制的地堑系边界地带;2.在几组断裂交汇或汇而未交的强闭锁条件的地带易发生强震;3.断裂转折处、断裂活动方式突变的地段较易发生强震。上述特征与文献〔6〕的分析基本一致。

表1 鄂尔多斯地块周缘地堑系定量分析结果

类别 地堑系	应力集中区的分布		历史与现代地震震中分布
	强应力集中区	一般应力集中区	
河套地堑系	五原北部,包头北部 呼和浩特一带,兴和一丰镇地区,清水河以北,和林格尔以南	临河一带,磴口附近乌拉山北缘	呼和浩特一带,清水河,五原,包头,丰镇,磴口,集宁等地为6级左右地震分布区
银川地堑系	石咀山,平罗,三关口以西及乌海以北	三关口以东,银川	海原(8.5级) 平罗,石咀山(8级) 银川,乌海(6级左右)
汾渭地堑系	临汾一带,运城地区,大同,介休,华县一带	太原,西安	临汾(8级) 洪洞(8级) 华县(8级) 大同,代县(6—7级) 太原,运城,西安(6级左右)

四、几点认识

1.实验表明,鄂尔多斯地块周缘地堑系是在区域构造应力场北东东向与南西向水平挤压联合作用产生的剪切—拉张力和纯拉张力作用下形成的,同时上地幔隆起作用 and 重力作用也不可忽视。

2.从实验结果可看出,在区域构造应力场作用下,鄂尔多斯块体的存在及其不断隆起对



图8 银川地堑盆地最大剪应力等值线图

1.断裂 2.等值线

Fig. 8 Isolines of stress in the Yinchuan graben basin

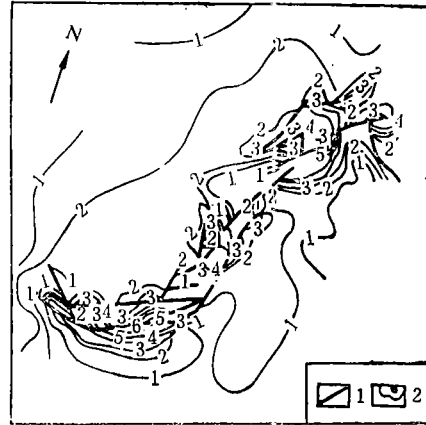


图9 汾渭地堑盆地最大剪应力等值线图

1.断裂 2.等值线

Fig. 9 Isolines of stress in the Fenwei graben basin

其周缘断陷带的形成和断陷带内的地震活动起到一定的控制作用。块体不仅承受了印度洋板块的推挤力及太平洋板块的俯冲力，而且由于它不断隆起加剧了其周缘的引张力。

3.激光全息光弹性实验分析表明，鄂尔多斯地块周缘地堑系的应力集中区大多分布在特殊的构造部位，如控制地堑系的大断裂附近，地堑系内断裂汇而未交处等。表明了地堑系的形成尤其是地堑构造活动对本区地震活动起决定性的作用。

(本文1989年12月19日收到)

参 考 文 献

- [1] 陈颢、陈运泰，晋中南地区地壳结构的初步研究，地球物理学报，Vol. 17, No. 8, 1984.
- [2] 邓起东等，鄂尔多斯周缘断陷盆地的构造活动特征及其形成机制，现代地壳运动研究，No. 1, 1985.
- [3] 孙肇中，汾渭地堑构造地质特征及成因机制，中国中生代盆地构造和演化，科学出版社，1983.
- [4] 王春华等，应用全息干涉法定量分析华北地区现代构造应力场的分布特征，地震地质，Vol. 5, No. 4, 1983.
- [5] 王春华等，汾渭地堑系形成条件及其地震活动性的实验研究，现代地壳运动研究，No. 1, 1985.
- [6] 郭增建、马宗晋，中国特大地震研究，地震出版社，1988.

THE EXPERIMENTAL STUDY ON THE SEISMIC ACTIVITY
AND THE FORMATION MECHANISM OF GRABEN SYSTEM
IN THE WESTERN PART OF NORTH CHINA

Wang Chunhua, Liao Suqiong
(*Institute of Geology, SSB, Beijing, China*)

Abstract

This paper deals with the application of deformation simulations and gravity analogy in the study of characteristic formation of graben system in the western part of North China. Experiments disclose that principal stress of the modern tectonic stress field of these graben systems is NEE-SW horizontal compression, and it is accompanied by additional vertically uplifting force from the lower crust and the upper mantle. The experimental results have confirmed that these graben systems are formed mainly due to the occurrences of tensile stress and shear stress on the axis of upheaval region of round edge of the Erdos block.

In this paper, the seismicity here is analysed and studied, and the relation between the formation of graben system and seismicity is simulated using model experiment of laser holography photoelasticity.