

南北地震带北段构造应力场与震中 迁移关系的模拟实验

王春华 廖素琼 钱瑞华 谢卫江

(国家地震局地质研究所)

摘 要

本文应用变形模拟、普通光弹和激光全息光弹性模拟方法,采用多种力源对南北地震带北段现代构造应力场分布特征进行了探讨。研究了该区各地段应力场的主压应力、主张应力展布方向,同时还绘制了主压应力、主张应力和最大剪应力等值线图,从而了解了该区各段在统一应力场作用下应力值的相对大小。文中还结合莫尔强度理论,分析了该区地震活动性,对该区现代构造应力场分布特征与震中迁移的关系进行了探讨。

一、南北地震带北段地震地质概况^[1]

南北地震带是我国东部与西部两大构造单元的分界线。其南北两段在构造特征、地貌类型、力学性质等方面存在较大的差异。本文着重讨论的南北地震带(以下简称南北带)北段北起贺兰山、南至六盘山南麓,即位于阿拉善地块、陇西山地与鄂尔多斯高原间的南北向的狭长地带。

南北带北段由一系列巨大的活动断裂组成,主要是南北向、北北东向和北北西向的断裂。该区北部的贺兰山地震带与南部的六盘山地震带又有所差异。贺兰山地震带指贺兰山至中宁、中卫一带。这一地区现代活动断裂主要以北北东向和近南北向为主,其次有北北西向和北西西向断裂。前者主要是张性正断层,后者是压扭性逆断层。这些断裂的强烈活动以及块体差异升降运动显示了这一地区新构造活动强烈。因此这一地区历史和现代地震较频繁。六盘山地震带即指中宁、中卫以南至天水一带。主要活动断裂以北西向、北北西向为主,其次为近南北向。前者主要为左旋走滑断层,后者为逆冲断层。本区强震主要集中分布在左旋走滑断裂带上,如南西华山断裂,而六盘山断裂有史以来地震很少。这与本区应力场主压应力作用方向及断裂活动有密切的关系。

南北带北段的震源机制解^[2]结果表明,中宁、中卫以北的银川平原的区域应力场以北北东向的主压应力为主,中宁、中卫以南地区主压应力方向以东北东向占优势,而中宁、中

卫地区主压应力方向近于南北方向。

物探资料^[3]反映南北带是一个明显的重力场密集梯度带,其东部重力值为0—100毫伽,其西部重力值为-200—-450毫伽,同时这里也是地壳厚度的突变地带。

二、南北带北段构造应力场分布特征的模拟实验

南北带北段同时承受了太平洋板块和印度洋板块的共同作用。因此这个地区构造应力场的分布特征比较复杂。由于强震的分布在一定程度上是受构造应力场的控制的,因此分析本区构造应力场分布特征具有一定的重要意义。

1. 本区主压应力方向的确定

(1) 普通光弹性模拟

模型为 $170 \times 170 \times 6$ 立方毫米的环氧树脂板,在其上刻划本区主要构造格局(图1)。采用多种加力方向对模型施加水平挤压力,其大小均相等。观察各种作用力下等差条纹图变化情况,也就是最大剪应力的分布特征。一般认为最大剪应力高值区是应力集中区。由此分析在各种方向的力作用下的应力集中区,将其与历史和现代地震震中分布对照,从而确定本区现代构造应力场主压应力的方向。

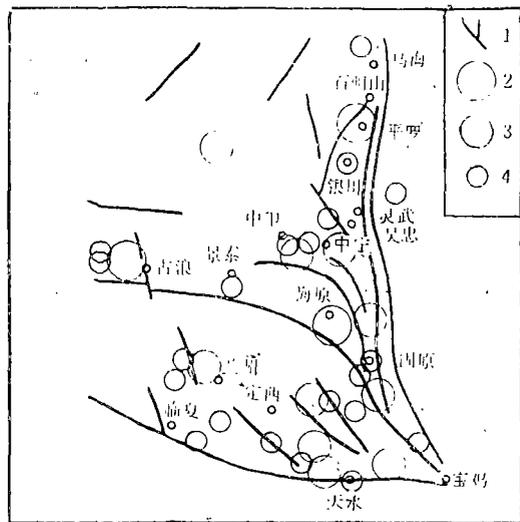


图1 南北地震带北段地震地质略图

1. 断裂 2. 8—8.5级地震 3. 7—7.9级地震 4. 6—6.9级地震

Fig. 1 The seismogeology in the northern part of north-south seismic belt.

根据现代构造应力场分析,本区主要承受了来自印度板块向北的推挤力。因此首先对模型施加北 30° 东方向的水平挤压力,获得等差条纹照片。从照片中分析,本区在北 30° 东方向的水平挤压作用下,应力集中区主要分布在石咀山、天水、临夏等地。这种应力集中区的分布特点与历史和现代地震震中分布不太一致。

西海固地区震源机制解^[2]的结果反映该区主压应力方向为北东东向。因此,又以北 70° 东向的水平挤压力作用于模型之上,获得等差条纹照片(照片1)。分析照片1,确定本区

在北 70° 东水平挤压下应力集中区主要分布在乌海、平罗、三关口、景泰、中宁、中卫、海原、固原等地。这些应力集中区的分布与本区历史和现代地震震中分布（图 1）基本一致，因此证明北东东向水平挤压力确系本区主压应力的方向。

西海固地区的震源机制解^[2]还反映了中宁、中卫以北的宁夏北部地区的主压应力方向为北北东向。因此，在实验中又以北 70° 东方向水平挤压力为主，南 30° 西向水平挤压力为附的联合作用力施加于模型之上，并获得等差条纹照片（照片 2、3）。根据照片分析并确定本区应力集中区除了上述的应力集中区以外又增加了石咀山、天水、临夏等地。同时中宁、中卫和景泰地区的应力集中增强。这种应力集中区的分布特征似乎与历史和现代地震震中的分布更接近了。由此表明，南西向（即北东向）的水平挤压力是存在的。

从上述实验看出，本区现代构造应力场主压应力的方向不是单一的，以北东东向水平挤压力为主附加南 30° 西向水平挤压力是作用于本区的主要应力。

（2）激光全息光弹半定量模拟

为了进一步确定本区主压应力方向，应用激光全息光弹性模拟进行半定量分析。实验中采用全息干涉的两个模型法。首先在环氧树脂板与有机玻璃板上分别刻上本区的构造格局。实验中采用了单轴压缩。首先对模型施加北 30° 东方向的水平挤压力，获得等差条纹照片和等和条纹照片。然后通过计算获得主压应力等值线图（图 2）、主张应力等值线图（图 3）和等差条纹图即最大剪应力等值线图（图 4）。根据莫尔强度理论分析应力集中区主要有石咀山、乌海以北、天水、临夏以及一些断层的端点。然后对模型施加北 70° 东水平挤压力，获得等差条纹照片（照片 4）及等和条纹照片（照片 5）。计算出应力值并绘制出主压应力等值线图、主张应力等值线图，同时对等差条纹判读条纹级数得出最大剪应力等值线图。分析上述等值线图，确定本区应力集中区主要分布在乌海、平罗、三关口、中宁、中卫、景泰、海原、固原等地。

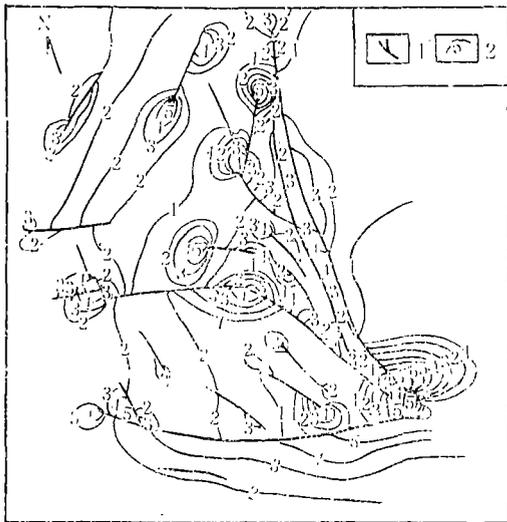


图 2 北 30° 东挤压下主压应力等值线图
1. 断层 2. 等值线

Fig. 2 The isorithm of the main compression stress with the extrusion of 30° (NE).



图 3 北 30° 东挤压下主张应力等值线图
1. 断层 2. 等值线

Fig. 3 The isorithm of the main tension stress with the extrusion of 30° angle of NE.

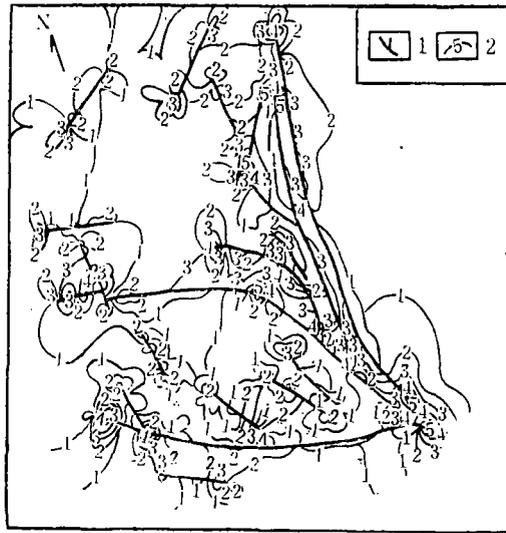


图4 北30°东挤压下最大剪应力等值线图
1.断层 2.等值线

Fig. 4 The isorithm of the greatest shear stress with the extrusion of 30° angle of NE.

根据上述施加二种方向作用力的实验结果分析,在北70°东水平挤压力作用下,本区应力集中区的分布与历史和现代地震震中更接近。因此认为本区现代构造应力场主压应力方向应该以北东东向水平挤压力为主。北30°东(或南30°西)向水平挤压力仍然存在,但其作用是次要的。

2. 本区主应力迹线的测试

作者在以前工作中曾以北70°东水平挤压力对华北地区主应力迹线做过探索,得出华北西部南北地震带北段的主压应力展布方向一律为北东向。此方向与震源机制解不完全一致。因此说明北东东向不是本区唯一的主压应力方向。

根据以前工作结果和上述实验,用以北70°东为主,南30°西为副的联合水平挤压力作用于模型之上。通过光弹仪测得等倾线条纹图,并绘制了南北带北段主应力迹线图(图5)。从图5中可以看出本区主压应力展布趋势明显分为两部分。古浪、中宁、中卫以南主压应力方向呈北东东向,在古浪、中宁、中卫以北主压应力方向呈北东向或北北东向。而主张应力迹线与主压应力迹线呈正交分布。这种主应力展布特点基本与震源机制解的结果相吻合。

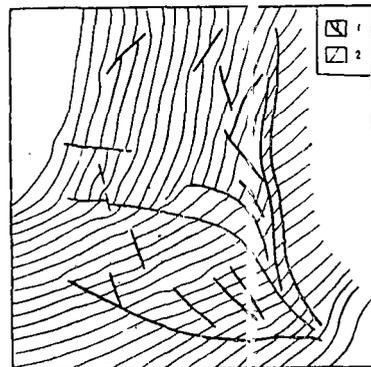


图5 南北地震带北段主应力迹线图
1.断层 2.主压应力迹线

Fig. 5 The trace of the main compression stress in the northern part of north-south belt.

三、南北带北段构造应力场与震中迁移关系的探讨

研究在现代构造应力场作用下地震的迁移规律与应力的调整,对探讨地震活动趋势有一定的意义。

本文应用光弹应力释放的方法〔7〕对地震迁移规律进行了探讨。实验是在光弹仪上进行的,对刻划好构造格局的模型施加北70°东和南30°西方向的水平挤压力,观察其应力集中区(照片6)。然后在1920年海原地震位置上钻孔并将一些断层沟通,施加同方向、相同大小的外力,发现应力集中区向北北东向的吴忠、灵武地区和北西西向的古浪、昌马以及高台地区迁移(照片7)。从实验中看出,采用应力释放的方法实验得出的地震迁移规律与实际海原大震后的迁移规律相似。同时实验表明,钻孔及断层沟通后应力释放与调整以及地震的迁移同一定外力作用下的断裂活动密切相关,并受区域构造应力场的控制。

根据地震地质资料分析〔4〕,海原大震发生后,有两个明显的震中迁移带:一个是海原至吴忠、灵武地区的北北东向震中迁移带;另一个是由海原至古浪、昌马的北西西向震中迁移带。从迁移路线来看,北北东向迁移带是沿着鄂尔多斯块体西缘的南北向构造进行的,而北西西向迁移带是沿着青藏高原块体东北边缘的北西西向大断裂进行的。由此可见,地震迁移受断裂带和块体相互作用控制。而区域构造应力场决定了断裂带的运动和块体的相互作用。这种区域应力场的作用不仅来源于板块的水平挤压作用,而且来自上地幔运动的不均匀性〔5〕。因此认为构造应力场的影响是地震迁移的重要因素之一。

结 语

1. 本文应用光弹仪,采用多种加力方式对南北地震带北段构造应力场的主压应力方向进行了探讨。确定了本区现代构造应力场主压应力方向是北东东向。同时,实验还证明印度板块的北东向推挤力和本区西北部的阿拉善地块向南运移的作用仍然存在,它仍对某些地震的发生起重要的作用。

2. 采用激光全息光弹实验对本区进行了半定量计算模拟。在北70°东和北30°东二种方向的力的作用下,出现了不同的应力集中区。其中北70°东向水平挤压作用下的应力集中区与历史和现代地震震中区基本一致,因此进一步证实北东东向水平挤压力是本区现代构造应力场主压应力方向。

3. 通过对等倾线的测试,绘制了本区主应力轨迹线图,中宁、中卫以北地区主压应力方向以北北东向为主,中宁、中卫以南地区主压应力方向以北东东向为主。

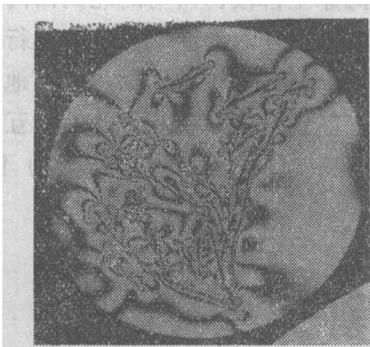
4. 在光弹模拟实验中发现,海原地震后,应力释放,应力集中区向北迁移到吴忠和灵武地区,同时还沿北西西向迁移到古浪地区。1927年古浪地震后,应力集中区又向昌马、高台地区迁移。根据迁移路线的构造位置分析,地震迁移与断裂活动和块体间的运动密切相关。而现代构造应力场又是控制断裂活动与块体运动的主要因素之一,因此认为构造应力场对地震迁移起到相当重要的控制作用。

(本文1985年11月25日到)

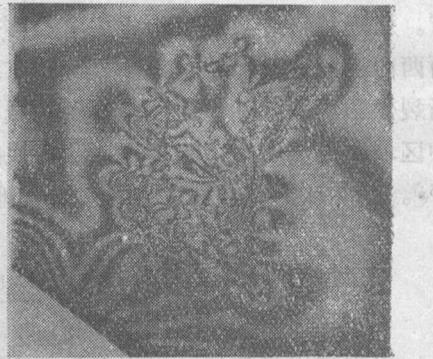
参 考 文 献

- 〔1〕中国科学院地质研究所,中国地震地质概论,科学出版社,1974.

- [2] 陈爱玲等, 西海固地区构造应力场特征及其与地震活动性的关系, 西北地震学报, Vol. 3, No. 2, 1981.
- [3] 李志义等, 对我国地震地质特点的一些初步认识, 地质科学, No. 4, 1974.
- [4] 国家地震局兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震队, 一九二〇年海原大地震, 地震出版社, 1980.
- [5] 郭增建等, 震中迁移现象, 地震战线, No. 6, 1977.
- [6] 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.
- [7] 张淑节等, 兰州—天水地区现今区域构造应力场光弹模拟实验研究, 西北地震学报, Vol. 4, No. 2, 1982.



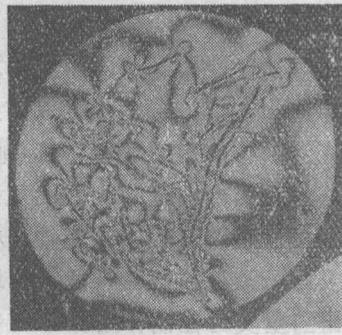
照片1 北70°东水平挤压下等差条纹(暗场)



照片3 北70°东与南30°西挤压下等差条纹(明场)



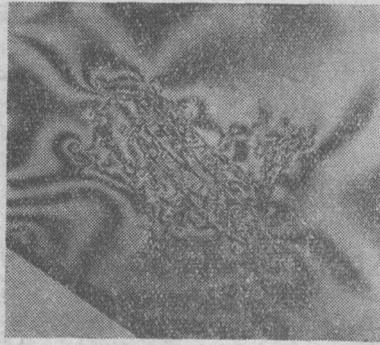
照片2 北70°东与南30°西挤压下等差条纹(暗场)



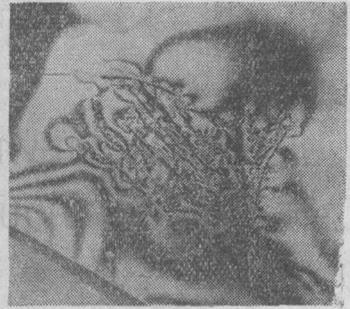
照片4 北70°东水平挤压下等差条纹(明场)



照片5 北70°东水平挤压下等和条纹(明场)



照片6 海原地震应力释放前等差条纹(暗场)



照片7 海原地震应力释放后等差条纹(暗场)

THE SIMULATED TEST ON THE RELATION BETWEEN THE TECTONIC STRESS FIELD IN THE NORTHERN PART OF NORTH-SOUTH SEISMIC BELT AND THE EPICENTRAL MIGRATION

Wang Chunhua

Liao Suqong

Qian Ruihua

Xie Weijiang

(*Geological Institute, State Seismological Bureau, China*)

Abstract

The modern characteristics of distribution of the tectonic stress field in the northern part of North-south Seismic Belt are studied in this paper with distortion analogy, ordinary optic elastics and the simulated test of optic elastics of laser holography under various force sources. The paper deals with the principal compression stress, the main tension stress and their directions in this region. The isorithm of the principal compression stress in the region is given in this paper as well. Thus it can be known from the test mentioned above the stress value in the action of unified stress field in every segment of this region. With Moll strength theory, the seismicity here is made an analysis and a research is conducted to the relation between the modern features of distribution of the tectonic stress field and epicentral migration.