第4卷 第2期

西北地震学报

Vol.4, No.2

1982年6月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL June, 1982

兰州一天水地区现今区域构造应力

场光弹模拟实验研究

张淑节 李同祺 贺玉亭 (国家地震局兰州地震研究所)

摘要

兰州—天水地区现今区域构造应力场光弹模拟实验的范围是:北纬34°— 38°、东经102°—108°之间。我们采用平面模型单轴压缩进行实验。结果 表明 最大剪应力集中区很有规律地分布在北北东和北西西共轭剪切断裂的端点、弧 形拐弯及断裂交汇等部位。与本区强震发生的部位相吻合。同时实验得出的主 压应力方向与本区震源机制解很接近。此外通过对同一构造模型施加不同方向 载荷及打孔等一系列实验证明:能量的积累,调整和迁移与作用力的方式密切 相关, 並严格地受着区域应力场的控制。

一、边界条件的确定

 模型与原型相似性的讨论 我们假定在深大断裂以外的地区介质是均匀的,而且发展 过程又是极短暂的,可作为弹性处理,用弹性材料进行模似是允许的。西、海、固、六盘山 地区从74年以后存在着北东向的压应力,水平形变反映为基线网测量边长普遍缩短,在北东 方向上线应变达最大值(-6.6×10⁻⁶)¹。说明本区承受着强大的水平力,采用单轴压缩 进行实验是较符合实际的。又根据本区 Ms≥3.5 级地震的震源机制解⁽¹²⁾平均主压应力轴向

(上接82页)

3. It is effective to strengthen the soaking settling loess by employing the powerful rammer. The experiment shows that the effective depth of strengthening is 3-5m, whereas the influenced depth may reach 4-9m below the ground surface.

实验开始阶段,刘百篪、韩芝两位同志参加了部分工作。
1)陕甘宁地壳垂直运动的基本轮廓及中期地震趋势意见

. - .

为北74°东(±5°—10°),我们分别采用北74°东及北50°东方向单轴压缩进行实验。

2.模拟构造的选取 由于抽象模型受尺寸限制仅能选取对本区起控制作用的主要断裂, 即规模巨大,活动强烈並具有地貌特征的现代构造,历史上曾发生过多次强烈地震及弱震集 中分布的构造,卫星扫描图上有显示的构造。根据上述原则确定图1所示各条断裂为模拟实 验的构造骨架。



图1 兰州—天水地区光弹模拟实验构造图

北部为一系列规模不等向北东突 出的弧形断裂,新生代以来有强烈活 动。沿断裂曾发生过1888年11月景泰 6 去级地震, 1920年12月16日海原8.5 级地震。1920年靖远东北7级地震。 1927年5月古浪八级地震(图1①)。 南部取西秦岭北麓深断裂, 走向北西 西, 第四纪以来活动强烈。沿断裂发 生过1765年武山、甘谷6.5级地震, 128年甘谷6暑级地震。143年甘谷7 级地震, 1936年康乐6寻级地震, 734 年清水7级地震(图12)。西部有庄 浪河与临夏断裂,主要显示为压性断 裂,构成兰州与西宁盆地间的地貌陡 坎。沿断裂曾发生过138年3月永靖 6暑级地震,1125年金城郡7级地震, 1440年10月河口6去级地震, 1936年

二、资料分析

在确定的边界条件下,分别从北74°东及北50°东方向进行单轴压缩,通过光弹仪测得等 差线条纹图及等倾线条纹图,並绘制出主张应力迹线图(图2)。结果证明以北74°东方向 施加载荷的实验效果较好,故作为本实验资料分析的主要依据。

1.最大主压应力迹线的分布特征:从图2可以看出主张应力迹线总体分布趋势为北西— 北北西向,主压应力迹线分布则为北东一北东东向。主压应力迹线在西泰岭一带显示为北东 东向,在六盘山、西、海、固地区为北东向,至门源附近有转为北北东向的趋势,与土应力 解除地形变测量1,及震源机制解(12)的结果基本一致(见表1、图2)。



与震源机制解对比图

表 1

兰州—天水地区最大主压应力方向对比表

实测类别	点 数	实验结果			
		方向相同或接近的点数	方向相差一定角度的点数	方向不一致的点数	
躄 源机制解	15	10点 占67%	4点占27%	1点占6%	
土应力	33	18点 占55%	14点 占42%	1点占8%	
地形变	16	9点 占56%	6点 占37.5%	1点 占6.5%	

 2.最大剪应力的分布特征 照片 I 是拍摄的等差线条纹图。它显示着 模 型 中 主应力差 (σ₁ - σ₃)的变化。根据公式τ_{max} = (σ₁ - σ₃)/₂,等差线条纹图 直 接显示着实验范围内 最大剪应力τ_{max}的分布情况^[7]。条纹级数高(多)的部位表示最大剪应力的集中区。

照片 I 反映出最大剪应力集中区与历史上发生强震的部位相吻合(见图 3)。中卫、天祝、古浪、兰州、海原、会宁、清水、武都、文县等应力集中区历史上都曾发生过大于 7 级的强震(见表 2)。

最大剪应力集中区有规律地分布在区域应力场北北东及北西西共轭剪切方向上。实验范 围内缺少北北东向的地表构造,但在以北74°东方向施加载荷的情况下,应力集中区仍然沿 北北东(图3中实线组)与北西西方向(图3中虚线组)规则地呈现出近乎平行的条带,相 互交差构成网络图象^[9]。

实验证明应力积累与作用力的方式密切相关。在同一地区同样构造条件下,受力的方式 不同应力集中的部位也不相同。至于构造的特殊部位应力是否集中也同样与作用力的方式有

1)杨斌 陕甘宁青现今区域构造应力场的初步分析(未出版)

密切的关系。为此我们做以下补充实验:对长短不等、相互交叉的三条断裂,分别以北17° 西、北24°东、北65°东方向施加载荷。照片I、I、V为实验的等差线条纹图。



图 3 兰州—天水地区最大剪应力集中区 分布图(根据照片 I 绘制)

表 2

本区M≥7级历史地震顺序表

发露日期	段中位置	寇 级	发震日期	促中位置	
公元734、3、19	淯 水	7	1709,10,14	中宁	7.5
公元839	碌曲	6 7	1718, 6, 19	通 渭 南	7.5
1125,8,30	兰州附近	7	1879, 7, 1	武都一文县	7.5
1352, 4, 18	会宁东南	7	1920, 12, 16	海原	8.5
1561, 7,25	中,宁	$7-\frac{1}{4}$	1920, 12, 25	靖远东北	7
1622, 10, 25	固原北	7	1927, 5, 23	古浪	8
1654, 7,21	天水西南	7.5	1976, 8, 16	松猫一平武	7.5

当加力方向为北24°东时(照片Ⅱ),断裂②两端的应力高度集中,断裂交叉部位应力 较为集中,但条纹级数不高、当加力方向为北65°东时(照片Ⅳ),断裂②两端应力並不集 中,断裂①的B端应力条纹比A端密集,断裂①与②交叉部位应力明显集中。当加力方向为 北17°西时(照片Ⅱ),断裂①A端的应力条纹比B端密,三条断裂交叉部位应力均不集 中。

这些应力集中部位均分别处于区域应力场中的剪切方向。若断裂平行或垂直于受力方向 时,则交叉部位应力不集中。在应力集中或比较集中的交叉断裂中至少有一条是处于应力场 的剪切方向上。断裂的弧形拐弯部位也不例外,当其处于应力场的剪切方向时应力容易集中 照片 I 反映当加力方向为北74°东时文县弧附近应力比较集中。当加力方向为北50°东时文县 弧附近应力则不集中。 3.关于应力的调整和迁移现象我们做了打孔及破裂实验。用上述补充实验的构造模型, 分别在断裂②的东南端,断裂①的西北端以及二者交叉部位各打一小孔。从北 24°东 方向加 载,当测力计的进程超过照片 II 的进程1.5时应力条纹显著增加。继续加大 载荷,进程达到 2时(相当于750kg)断裂②的西北端发生长达 18mm 的 张 破裂,然后 停止。(照片 V 中 a-b段)。部分应力得到释放与调整达到新的应力平衡状态(见照片 V)。从照片 II 清楚 地看到断裂②的两端应力条纹级数几乎相等,推测在加大载荷的过程中应力条纹增加的速度 也会是相同的。为了进一步观察,我们继续加大载荷。当进程达到2.5时(相当于1100kg), a-b段张破裂突然由b点向受力方向快速延伸,瞬间裂通,同时在东南端也发生近似对称的 张破裂以致使模型断为两半(见照片 N)。必须指出,东南端的张破裂发生在距打孔有一小 段距离的部位,可见发震部位与地壳岩石阻抗应力的强度有关。而其他两个小孔附近应力变 化不明显。可能是因为断裂①所处的位置与受力方向接近垂直的缘故。实验表明预报地震危 险区不仅应重点考虑区域应力场共轭剪切断裂上的特殊构造部位,而且要注意强震有两头跳 迁的可能性。

本实验受材料的限制很难反映地壳的不均一性,受平面模型与单轴压缩的限制也很难反 映深部构造及垂直应力(σ₂)的作用,而且地壳应力状态又是极复杂的,影响地震的因素很 多。因此我们只能在某些假设条件下,利用光弹模拟实验直观性强的最大优点,通过改变加 力方式並配合其它学科的资料对兰州一天水地区现今区域构造应力场进行综合的定性分析。 通过打孔及破裂实验观察到能量调整与释放的一些规律。虽然本手段存在不足之处,但实验 结果尚有一定的参考意义。

(本文1981年4月28日收到)

参考文献

〔1〕时振梁等,我国强震和板块构造,地质科学,№4,1973.

- [2]邓起东等,中国构造应力场特征及其与板块运动的关系,地震地质, Vol.1, №.1, 1979.
- 〔3〕罗灼礼,印度板块向北顶撞与我国西部及邻区现代构造应力场和地震活动关系,西北地 震学报,Vol.1,№.4,1979.
- 〔4〕李春昱,用板块构造学说对中国部分地区构造发展的初步分析,地球物理学报,Vol. 18, № 1,1975.

〔5〕章光月,邓起东等,在地震孕育和发展过程中共轭断层活动的作用,地 震地 质, Vol.
2, №.1,1980.

〔6〕李四光, 地质力学概论, 科学出版社, 1973.

[7]M.M.弗罗赫特,光测弹性力学,科学出版社,1964.

〔8〕王仁等,固体力学基础,地质出版社,1978.

〔9〕丁国瑜等, 我国地震活动与地表现代破裂网络, 地震学报№ 1, 1979.

- [10]马瑾等,影响断层带再活动的一些因素的实验研究,西北地震学报, Vol. 3, №. 2, 1981.
- 〔11〕李玉龙,陕甘宁青四省(区)新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析,西北 地窓学报,Vol.1,№.4,1979.

〔12〕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 №.2,1981.

[13]郭增建。秦保燕等,从水平力和垂直力的相互作用讨论我国境内地震的孕育和发生,地 球物理学报, Vol.20, №.3, 1979.

〔14〕刘百篪,中国大陆地震的应力调整场动态模型,地震地质,№.3,1979.

STUDYING THE FIELD OF THE TECTONIC STRESS IN LANZHOU -TIANSHUI REGION BY MEANS OF PHOTOELASTIC SIMULATION

Zhang Shu-jie Li Tong-qi He Yu-ting

(The seismological Institute of Lanzhou))

Abstract

The field of the tectonic stress in Lanzhou-Tianshui region was studied by means of photoelastic simulation. Results show that the points where maximal shear stress concentrates are distributed along NNE and NWW conjugate shear lines and agree very well with the epicentral locations of some historically strong earthquakes. The orientations of the principal stress in the present region tally with the mechanism solutions of earthquake foci.

By loading in different directions and punching on the structure model, it is proved that the accumulation, adjustment and movement of energy have close relation to the action manners of forces and are strictly controlled by the field of regional stress. In the particular tectonic places distributed along the conjugate shear directions of the regional stress field, strong earthquakes will most likely develop and occur. This will provide some useful data for forecasting strong earthquakes.



照片 I 兰州-天水地区等差线条纹图 (北74°东施加载荷)



照片 Ⅱ 兰州-天水地区等差线条纹图 (北17°西施加载荷)



照片 Ⅲ 北24°东单轴压缩下等差线条纹图



照片Ⅳ 北65°东单轴压缩下等差线条纹图



照片 V 北24°东单轴压缩下等差线条纹图



照片 W 北24°东单轴压缩下等差线条纹图