

激光全息光弹性及其在地震模拟中的应用

廖素琼 王春华 钱瑞华

(国家地震局地质研究所)

从全球地震统计资料可知,我国是地震的高发区。据统计,近百年来,我国六级以上地震达 500 余次;尤其是从 1966 年 3 月 8 日邢台地震以来的十余年间,我国六级以上的地震竟高达 90 余次。地震给人民的生命和财产造成了巨大损失,因而引起人们的广泛重视。同时大家知道,工程的稳定性是建设中头等重要的问题,它同样关系到人民生命、财产的安危。在工程稳定性中,首先要考虑的是地震烈度问题。

近二十年来,地震工作者取得了一系列可喜的成果。先进技术的引入便是一个重要方面,它使地震科学研究从一般性描述发展到定性分析,进而发展到定量分析,如激光测距、转换波、大地电磁测深、卫星影象识别等,均在不同方面促进了地震科学的发展。本文拟简要介绍激光全息光弹性这一新的实验方法在地震工作中的应用。

一、地震模拟实验研究的意义和作用

多年的地震地质工作使人们认识到,破坏性地震并不是发生在整个活动断裂带上,而是发生在活动断裂的一些特殊构造部位上,如端点、拐点、交汇点和差异运动大的地段等。这是因为地壳受力变形时,大型活动断裂带成为应力高度集中部位。当应力增强到一定程度并超过地壳介质的极限强度时,断裂继续发展,应力亦随之释放。如果应力以缓慢速度释放,介质则发生蠕变;如果应力以突变方式释放,便导致破坏性地震发生。

如果说地壳某一部分的固有构造特征是其发震的内因,那么一定方式、一定强度的外力作

用则是其发震的外因。因而对地壳现代构造应力场的深入研究则有利于探讨地震发生的受力条件。

作为模拟实验方法之一的光弹性实验是通过复杂的客观现象进行抽象,对地震发生的结构环境(内因)和受力条件(外因)进行模拟实验研究,所得实验资料可为中、长期地震预报和地震危险区划分(烈度审评基础)提供依据;地震模拟实验研究与震源机制研究相结合,反演区域应力场的外力作用方式,可为震源发震模式的研究提供资料。

二、激光全息光弹性

从实验光学可知,偏振光通过透明的各向同性材料制成的受力模型后可产生干涉现象,形成明暗相间的彩色条纹。光测弹性仪就是根据这一原理制成的。通过这种仪器可测得模型的等倾线和等差线。所谓等倾线是指主应力倾角相同的点连成的线,通过等倾线可求出模型上各点主应力的方向。所谓等差线是指主应力差值($\sigma_1 - \sigma_2$)相同的点连成的线,通过等差线可求出模型上各点主应力差的值。

近半个世纪以来,经典光弹性实验技术广泛地应用到生产实践中,如重型机械、交通运输、航空与空间技术等结构和强度研究都在使用这一实验手段。对于几何形状和受力条件复杂的问题,经典光弹性实验技术尤其有其独特的优点,即应力分布明显、直观。但它最大的缺点是获得的数据不全。前面已经提到经典光弹性实验技术只能获得模型的主应力差值及其方向,因而只能得到模型的边界应力。如欲确定

模型内部各点的主应力,尚须进行繁杂的计算,其结果还不一定准确.为此国外不少学者进行了长期的探索,终因没有理想的光源而结束.六十年代初,激光问世.激光的出现为光弹性实验技术提供了理想的光源(相干性和准直性好),从而促进了光弹性实验技术的发展,进而产生了激光全息光弹性.

激光全息光弹性应力分析是利用模型加载前后的两个波面干涉而获得干涉条纹.它除了能获得经典光弹性应力分析所能获得的等差线($\sigma_1 - \sigma_2$)和等倾线外,最大的优点是还可以获得等和线,即($\sigma_1 + \sigma_2$)值相同各点的连线.有了上述实验数据,只需进行简单的计算就能分解出 σ_1 , σ_2 的大小和方向,从而大大简化实验程序,缩短实验周期,提高实验数据精度.

三、激光全息光弹性实验

八十年代初,我们开始进行平面全息光弹性实验,经过几年的努力取得了初步成果.下面仅以丹江—三峡地区现代构造应力场的模拟

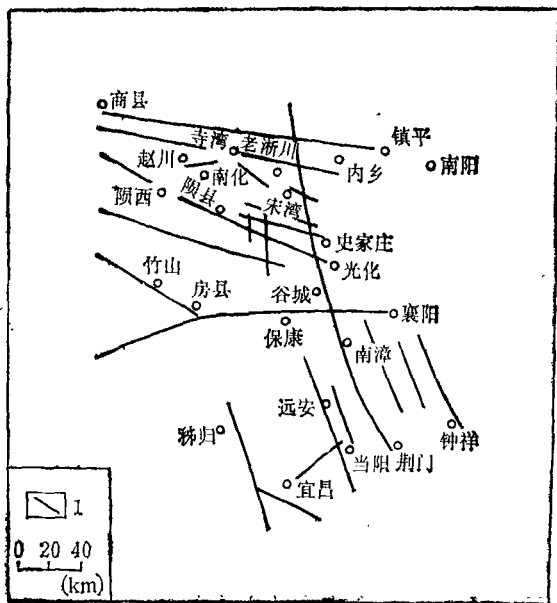


图1 丹江—三峡地区构造格架

实验为例作简要介绍.

实验中,使用了北京第三光学仪器厂生产的WZQ型激光全息光弹仪.使用自制的环氧树脂板和有机玻璃板制作的模型,其尺寸为 $17 \times 14 \times 0.8 \text{ cm}^3$.在模型中央刻划出丹江—三峡地区的构造格架,这便是我们实验中使用的模型.

根据该地区地震地质提供的资料,确定本区受 $N70^\circ W$ 水平挤压作用.实验时,对模型按此方向施以均匀分布的压力.

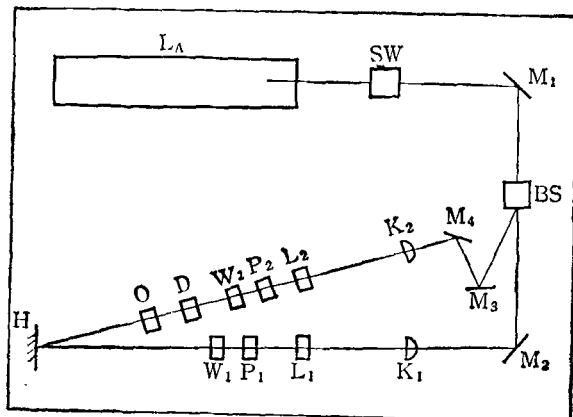


图2 实验光路示意图

L_A ——激光器; SW ——电子快门; M_1, M_2, M_3, M_4 ——反光镜; O ——试验模型; D ——毛玻璃; W_1, W_2 —— $1/4$ 玻片; K_1, K_2 ——扩束镜; L_1, L_2 ——偏振片; P_1, P_2 ——准直镜; H ——全息干版

将环氧树脂模型放入图2所示的光路中,加载后曝光一次;将有机玻璃模型放入光路,加载前后各曝光一次;若对有机玻璃模型施以相同微量载荷(连续加载),加载一次曝光一次,共进行七、八次加载、曝光.分别对上述三种条件下的全息干版进行特殊处理,然后进行“再现”,用全色胶卷对模型在三种情况下的衍射虚像反拍,处理后便可得到定量分析必需的用的等差条纹、等和条纹及零级等和条纹[即($\sigma_1 + \sigma_2$)=0的各点连线].图3和图4分别是等差条纹和

等和条纹图。



图3 本地区等差条纹图



图4 本地区等和条纹图

此外,实验中还采用了日本生产的FP-701型应力分析仪。使用这种仪器可以简便、准确地得到模型的主应力轨迹线(见图5)。

上述实验数据按以下方法进行处理:首先将光强公式进行简化,可得^[1]

物理

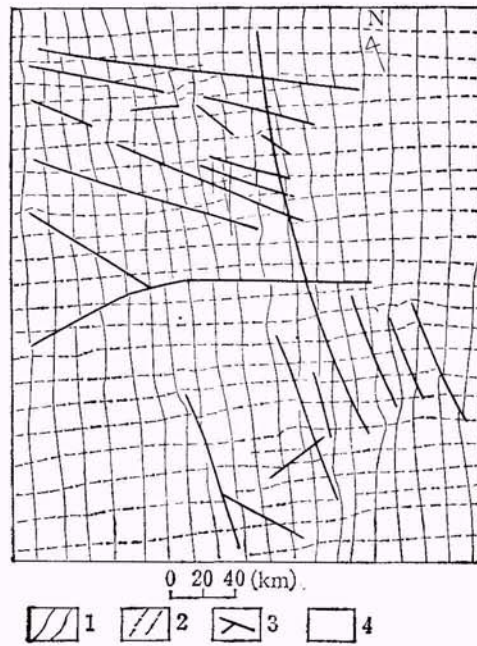


图5 本地区主应力轨迹线图

1——主压应力; 2——主张应力; 3——断裂

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N_c f_c}{h},$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{N_p f_p}{h},$$

式中 N_c 、 N_p 为等差条纹级数, f_c 、 f_p 为所用材料的等差、等和条纹值, h 为模型厚度, N_c 、 N_p 可以从条纹图上读得, f_c 、 f_p 可以通过实验求得, 模型厚度 h 为已知, 因此由上述方程组即可求出模型各点的 σ_1 和 σ_2 。对图3和图4作技术处理, 经计算、绘图后, 便得到本区主张应力 σ_1 及主压应力 σ_2 等值线分布图(见图6,7)。

通过对实验数据、本地区的地质构造及有关资料的综合分析, 便可对本地区的断裂活动性质、应力集中区的分布及地震危险区作初步评价。

1. 从本区主应力轨迹线图5可以看出, 全区主压应力分布的总趋势是北西西向, 主张应力分布的总趋势是北东东向。结合零级等和条纹图的分析, 可以得出本区断裂活动具有如下性质: 近东西向断裂呈拉张性质; 北西向断裂

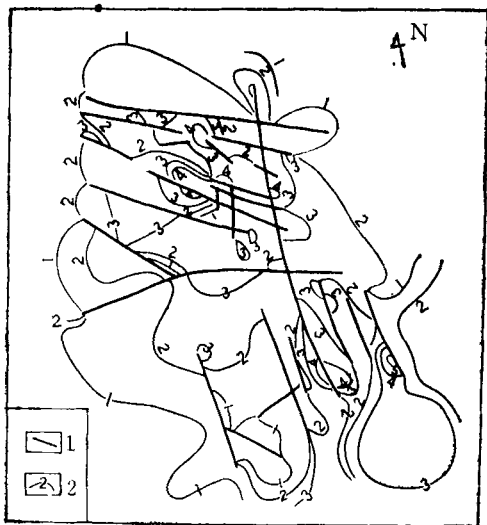


图6 本地区主张应力等值线图
1——断裂；2——等值线

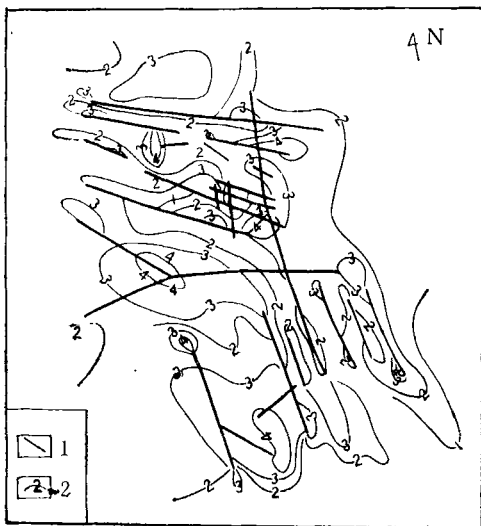


图7 本地区主压应力等值线图
1——断裂；2——等值线

呈剪切性质；近南北向断裂一般呈剪切挤压性质，个别地段呈挤压性质。上述各组断裂活动性

质与地震地质、震源机制所得结果基本一致。

2. 应力集中区及地震危险区的分析：从图6和图7可知，本区主张应力和主压应力等值线主要分布方向为近南北向。从图3可知，最大剪应力的高值区主要分布在南阳、镇平、赵川南部、光化、钟祥、谷城东等地；其次是宋湾、襄阳、南化、当阳、史家庄、房县东、保康东北等地；低值区分布在远安、宜昌、隕西、寺湾等地。因而本区的应力集中区主要分布在南阳、镇平、赵川南、光化、钟祥、谷城东等地。由此可知，本区未来较强应力地区可能是在南阳及谷城东部一带。从地质构造上分析，南阳位于几组断裂的交汇处，谷城东位于山区及平原的交界处，是差异运动剧烈的地段，因而它们均处在构造复杂的部位，应力易于集中。此外，历史上南阳曾发生过6.5级地震。根据历史上发生的地震资料的对比分析，南阳和谷城东也有可能是应力较强地区。实验结果还表明，三峡地区位于应力分布的低值区，故可视为较稳定的地区。

目前，上述实验工作尚处于初级阶段——平面应力分析阶段。随着科学技术的不断发展，实验人员技术水平的提高，将开展三维应力分析及不透明材料(岩石)模型的应力分析的实验研究，以期得到更符合地震实际的资料，用以回答更多的地震问题。

从大量资料获悉，激光全息光弹性在断裂力学、测振和变形测量等方面也取得不少科研成果。我们拟将这些成果应用于地震科学研究中，为地震成因和地震效应的研究作出贡献。

参 考 文 献

- [1] 天津大学材料力学教研室光弹组,光弹性原理及测试技术,科学出版社,(1980),375.