

84-186

# 预制裂纹灰岩试件断裂过程的光弹性试验研究

A STUDY OF PHOTO-ELASTIC EXPERIMENT TO FRACTURE PROCESS OF LIMESTONE SPECIMEN WITH PRE-CRACKS

李新 李贺 万玲 许江 尹光志

Li Xin Li He Wan Ling Xu Jiang Yin Guangzhi

(资源及环境工程系)

**摘要** 本文利用光弹性试验对裂纹试件的断裂过程进行了研究。分析结果表明, 双裂纹的存在, 使裂纹间产生相互影响, 从而相邻裂纹间出现高拉应力集中, 当应力集中到一定程度时, 就会产生拉伸破坏, 使裂纹间相互连通, 于是逐渐形成宏观破坏。裂纹间相对位置不同, 对试件断裂的影响亦不同。

**主题词** 裂纹; 断裂; 光弹性

中国图书资料分类法分类号TV544.5

03481

脆性材料

**ABSTRACT** In this paper, the fracture process of specimen with pre-cracks is studied by using photo-elastic experiment. The analysis results of cracks stress field show that because the inter-effecton appears between the the two cracks and the tensile fracture occured when the tensile stress concentration reaches to a certain degree, and cracks link up with each other, macroscopic failure will gradually result. Positions of cracks will have different effections to specimen's fracture.

**SUBJECT WORDS** crack; fracture; photo-elastic

## 一、引言

近年来国内外不少学者对材料内部裂隙的发生、发展进行了一定的研究, 充分认识到材料的宏观断裂破坏并非是材料内部某一裂纹不断扩展的结果, 而是众多裂纹不断发生、发展、密集、相互影响, 最后相互贯通的结果。但材料内部众多裂纹又是怎样发生、发展和相互影响的呢? 这在目前仍是一个未得到完全解决的问题, 由于材料本身结构及破坏的复杂性, 无法从理论上给出解释, 只限于实验研究, 也很难用常规的理论分析方法给出裂纹扩展

收文日期 1989年4月5日

的详细情况。而本文所用的光弹性试验方法能克服上述不足，其特点是直观性强，可直接观察和获得试件的应力分布情况，特别是能直接看到应力集中部位，这正是我们所需要的。

本文利用光弹模型试验，对双裂纹附近的应力场进行分析，以期对预裂纹脆性材料断裂机理的研究提供有益的帮助。

## 二、试 验

### (一) 试件制备及试验装置

本试验采用浇注成型的尺寸为 $45 \times 45 \times 5 \text{ mm}^3$ 的环氧树脂平板，并根据试验需要在其上开制两条大小为 $12 \times 2 \times 5 \text{ mm}^3$ 的预制裂纹。由于切割和加工裂纹等原因，光弹模型材料内存在初始应力条纹，试验前应进行退火处理，以消除其对结果的影响。

试验所用的加载装置是自行设计的，并用电阻应变仪监测其轴向应变以控制荷载，试验观测是在409-II型平行光式光弹仪上进行。

### (二) 试验方法

试件上裂纹的排列方式考虑了下面几种情况：不同相对位置的两平行裂纹( $\beta=15^\circ$ ,  $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ )；不同相对位置的两斜交裂纹( $\beta=15^\circ$ ,  $\gamma=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ )；另外还对间距不同( $D=6 \text{ mm}$ 、 $D=9 \text{ mm}$ )的两平行裂纹试件进行了试验。

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 角的含义分别为： $\alpha$ —两平行裂纹中心连线与裂纹长轴方向的夹角； $\beta$ —裂纹长轴方向与最大轴向应力方向的夹角（斜交裂纹指较小夹角）； $\gamma$ —两斜交裂纹长轴方向之间的夹角。

将加工成形后的试件置于加载装置的压力室中，并按分级加载的方式对其施加轴向载荷，同时利用平行光式光弹性仪观测应力条纹的变化，并对等差线与等倾线进行素描与拍照。

## 三、试验结果及分析

### (一) 对试验所得等差线、等倾线的定性分析

图1给出了两平行裂纹( $\alpha=45^\circ$ 、 $\beta=15^\circ$ )试件在单轴应力作用下断裂全过程的应力条

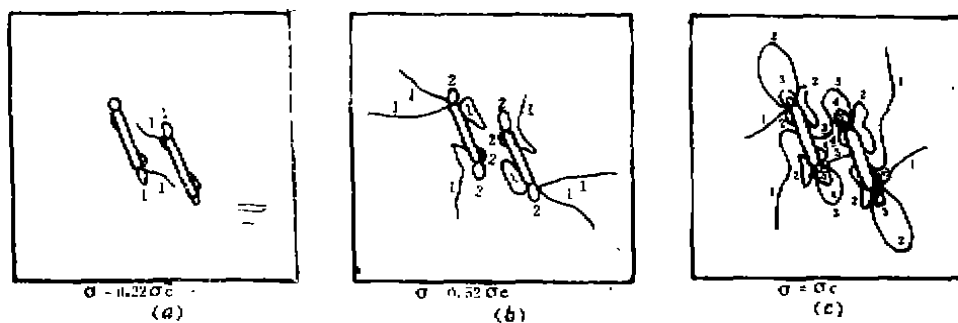


图1 单轴应力状态下平行裂纹( $\alpha=45^\circ$ 、 $\beta=15^\circ$ )试件应力条纹图

纹图。

从此图及对其它几种排列方式进行试验所得的应力条纹图中可以发现, 条纹先从裂纹端部产生, 且随载荷的增加, 端部条纹级数逐渐增加, 相邻裂纹端部条纹级数增加很快。对于斜交裂纹这一现象更明显, 两裂纹相邻端部的条纹级数远高于其他部位, 并且我们在试验中还观察到, 裂纹端部两侧均出现高级数条纹。单、双轴应力状态下条纹发展情况基本相似, 只是在双轴应力状态下, 条纹级数高于单轴应力状态下的条纹级数。

等差线表示了模型内主应力差相等的点所组成的轨迹。由应力光学定律所得的公式  $\sigma_1 - \sigma_2 = Nf/h$  可知, 主应力差与条纹级数  $N$  成正比, 条纹级数越大, 该处的的主应力差越大。所以裂纹端部条纹级数特别高, 说明在此部位出现应力集中, 且随作用载荷的增加, 应力集中增大, 当应力集中增大到一定程度, 即当应力增大到材料的强度极限时, 裂纹开始扩展, 随着载荷的继续增加, 裂纹就不断扩展, 最终导致整个试件的破坏。

## (二) 用剪应力差法计算受力模型的应力及对岩石破坏机理的分析

从平面受力模型中, 取出任一单元体  $A$  来研究, 设它处于直角坐标系  $xoy$  中任一点  $(i, j)$  处, 单元体受力情况如图 2 所示。设模型厚度为  $d$ , 本身自重不计, 根据平衡条件:

$$\sum X = 0 \quad \text{有}$$

$$\sigma_{x,i} \cdot \Delta y \cdot d - \sigma_{x,i-1} \cdot \Delta y \cdot d + \tau_{xy,i} \cdot \Delta x \cdot d - \tau_{xy,i-1} \cdot \Delta x \cdot d = 0$$

即:

$$\sigma_{x,i} = \sigma_{x,i-1} - \frac{\tau_{xy,i} - \tau_{xy,i-1}}{\Delta y} \cdot \Delta x = \sigma_{x,i-1} - \frac{\Delta \tau_{xy}}{\Delta y} \cdot \Delta x$$

以此类推得:

$$\sigma_{x,i} = \sigma_{x,0} - \sum_{i=1}^i \frac{\Delta \tau_{xy}}{\Delta y} \cdot \Delta x$$

式中  $\sigma_{x,0}$  表示模型边界上某点沿  $x$  方向的应力, 可根据边界上的等差线求出。  $\Delta \tau_{xy}$  为单元体的相距为  $\Delta y$  的上、下两截面上的剪应力之差, 由应力圆可得:

$$\sigma_y = \sigma_x - (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\alpha = \sigma_x \pm \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 - 4\tau_{xy}^2}$$

于是主应力为:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

或:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\cos 2\alpha}$$

根据上述公式, 利用计算机对单轴实验结果进行了计算, 将计算结果以矢量形式按一定比例表示于图中 (应力条纹数表示), 图 3 给出了两平行错开裂纹试件在外载 ( $P=23\text{kg}$ )