

岩石动态复合型初始断裂性能的试验研究

13
63-65

王后裕

(重庆建筑大学建筑工程学院 400045)

杜飞

(南京工程兵工程学院 南京 210007)

TU452

摘要 首先讨论了岩石动态复合型初始断裂实验的试件设计问题,指出四点弯曲试件是非常理想的试件;其次论述了大理岩动态四点弯曲试验的试验方法,并进行了初步的试验研究,得到了有实际意义的断裂曲线。

关键词 大理岩;动态复合型断裂;试验 岩石

中图分类号 TU452

近几年来,岩石断裂力学得到了蓬勃发展,并在采矿、地质、地下建筑以及水利铁道等多种工程中得到具体应用,解决了大量的实践问题。但断裂力学专家们通过实际观测和试验研究,发现工程结构和材料多数处在动态荷载作用下,而且不仅承受动态拉伸,还可能承受动态剪切(面内剪切或离面剪切)与动态扭转,因此裂纹可能同时承受 I 型、II 型、III 型动荷载,即形成所谓“动态复合型”裂纹。对于上述工程中所涉及到的岩石这种材料,研究裂纹的起始扩展性质,即为“动态复合型初始断裂”问题。根据荷载组合的不同,可能出现 I - II、II - III、I - III 以及 I - II - III 等复合型受载状态。由于岩石的纯 II 型难于在一般试验条件中实现,尽管人们在这方面做了很多探索性的工作,岩石动态复合型裂纹的试验研究进展仍十分缓慢^[1,2,3]。本文以最常见且较为实用的 I - II 复合型问题为研究对象,在总结前人研究成果的基础上,采用了一种实现岩石动态复合型断裂的试验方法,并获得了有价值的试验曲线。

1 试件设计

研究动态断裂问题一般有两种方法,即试验和数值模拟,并且前者是后者的基础。对于岩石材料,实际情况则由于试验条件和手段的限制,目前试验方面要取得突破的关键是进行试件设计研究。如一般用于测定 K_{II} 值而使用的三点弯曲试验试件(见图 1),两边有切槽,其目的是保证裂纹沿试件的中性层扩展,从而实现纯 II 断裂,即起“导向槽”的作用^[4]。但是这种试件就不适合岩石,原因是岩石的抗剪强度大于其抗拉强度好几倍,梁受力以后可能在拉应力最大部位先破坏,难以实现剪切断裂。

目前,人们认为能够较理想地实现岩石动态纯 II 型断裂的试件为四点剪切试件,如图 2 所示。

还有这样一个事实,即研究动态纯 II 型断裂的目的是为了能够较彻底地研究动态复合型断裂,所以更理想的做法是采用能够实现从纯 I 型到纯 II 型各种复合比断裂的试件,这就是采用如图 3 所示的四点弯曲试件。由图可见,通过变化 L_c 的大小,即改变 $F(t)$ 的作用位置,就可实现 K_I 和 K_{II} 的组合情况,同时又可实现从拉剪到压剪的连续变化^[5]。利用此种试件能测试到 K_{I_d} 和 K_{II_d} 的值,是研究复合型断裂非常理想的试件,本文就是利用该种试件进行动荷载条件下试验研究的,具体如图 4 所示。

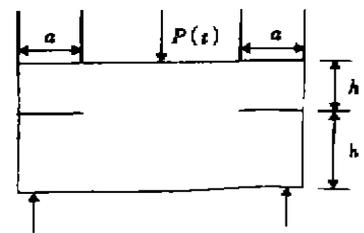


图 1 三点弯曲试件

收稿日期:1999-03-10

王后裕,男,1969年生,博士生

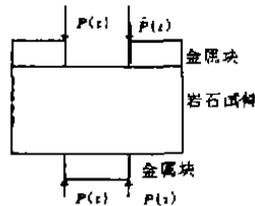


图 2 四点剪切试件

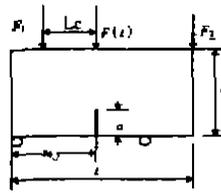


图 3 四点弯曲试件

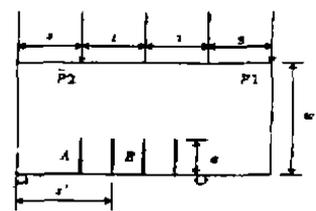


图 4 四点弯曲试件

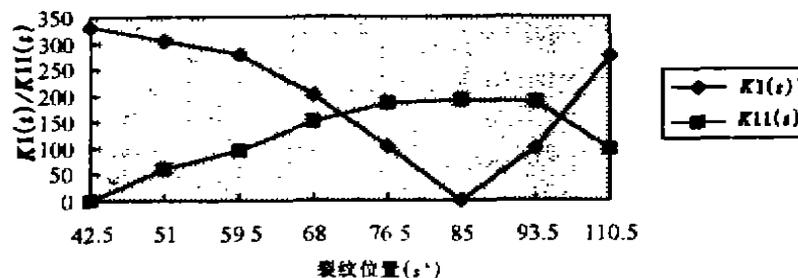
2 试验内容及结果分析

试件尺寸为 $20 \times 40 \times 170 \text{ mm}$, 所有试件均为机械细切口试件, 裂尖缝宽均在 0.3 mm 以内, 切口比 $a/w = 0.3$ 。试验主要是在刚性试验机上对单边裂纹四点弯曲试件采取反对称加载的方法进行的, 载荷类型为线性载荷 $P(t) = P_0 \times t/A$, 其中 $P_0 = 10 \text{ kN}$, A 取 50 us 。试验时试样尺寸和加载点位置固定不变, 只改变裂纹位置 (s'), 由实测到的时间 (t) 和动载荷 (P), 经过计算后就可以得到不同的 $K_I(t)$ 、 $K_{II}(t)$ 组合, 并可较方便地测定纯 I 型和纯 II 型两个极端情况时的应力强度因子值。这是因为裂纹在图 4 中的 A 点与 B 点处时只会分别发生纯 I 型和纯 II 型断裂破坏, 而其他位置时则可同时出现 I 型和 II 型复合型断裂。

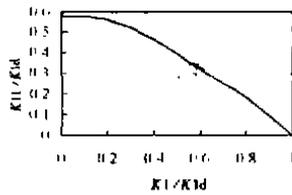
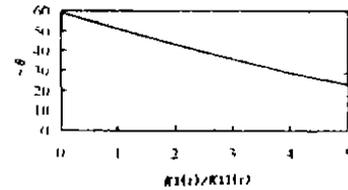
本次实验根据裂纹位置不同分别进行了 8 组试验, 每组完成 8 个试件的测定, 对获得的结果舍弃个别离散性较大的数据后, 求其平均值如表 1 和图 5 所示。归一化的大理岩断裂曲线形状见图 6、7 所示。

表 1 四点弯曲试件 $K_I(t)$ 、 $K_{II}(t)$ 和 $-\theta$ 值

裂纹位置 (s') (mm)	42.5	51.0	59.5	68.0	76.5	85.0	93.5	110.5
$K_I(t)$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-3/2}$)	331.46	304.94	278.43	202.19	102.75	0	99.44	275.44
$K_{II}(t)$ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-3/2}$)	0	59.66	96.12	152.47	185.62	192.25	187.27	97.78
$-\theta(^{\circ})$		23	34	45	53	59	54	35

图 5 裂纹位置与 $K_I(t)$ 、 $K_{II}(t)$ 的变化关系

结合表 1 和图 4、图 5 可见, 裂纹越接近 A 点, $K_I(t)$ 变大、 $K_{II}(t)$ 变小, 越接近 B 点, $K_I(t)$ 变小、 $K_{II}(t)$ 变大, 从这个数值上的互为消长的关系, 证实了 A、B 两点代表岩石发生纯 I 型和纯 II 型断裂的两个极限位置; 同时也反映了利用该试件可圆满地解决测试岩石从动态拉伸到动态剪切连续变的复合型断裂问题。

图6 $K_I(t)$ 与 $K_{II}(t)$ 的关系图7 $K_I(t)$ 与 $K_{II}(t)$ 与开裂角关系

另外,经过与几种复合型初始断裂理论比较,发现本试验所得的大理岩断裂曲线(图6、图7)变化趋势与最大拉应变理论较为吻合。文献[5]曾研究了大理岩在静态复合型载荷作用下的断裂规律,认为裂纹的临界断裂载荷与初始开裂角均较符合最大拉应变理论。这就说明大理岩的静、动态断裂破坏主要是由于裂尖处的最大拉应变达到临界值而引起的。

3 结 语

本文利用四点弯曲试件对岩石动态复合型初始断裂性能进行了初步研究,可以得到以下一些结论和认识:

- (1) 对于岩石动态复合型拉剪初始断裂试验,四点弯曲试件仍然是一种非常理想的试件;
- (2) 对于大理岩I-II复合型拉剪裂纹,其临界断裂载荷与断裂角比较符合动态初始条件下的最大拉应变理论;
- (3) 在动态复合型载荷作用下, K_I 与 K_{II} 存在着显著的交互作用;
- (4) 要了解有关岩石动态复合型初始断裂较全面的性质,仅仅上述试验是不够的,还需要进行其他方面(如加载速率影响)的补充试验。

参 考 文 献

- 1 Li Zhenzi, et. al., Dynamic Mixed-mode Fracture Initiation in rock, J. Central South University of Technology, 1995, 2(1)
- 2 刘大安. 高级计算机辅助测试技术与岩石断裂力学研究.[学位论文],中南工业大学,1990
- 3 王 淘. 用电液伺服控制系统探讨岩石动态断裂起始问题.[学位论文],中南工业大学,1993
- 4 王贵蓉,等. 岩石II型裂纹扩展的一般规律.中南矿冶学院学报,1994,25(4)
- 5 黎立云,等. 岩石的复合型断裂实验与分析.岩石力学与工程学报,1994,13(2)

Analysis of Experimental Performance of Dynamic Mixed-mode Fracture Initiation in Rock

Wang Houyu

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing Jiaozhu University, 400045)

Du Fei

(Nanjing Institute of Military Engineering, Nanjing 210007)

Abstract This paper discusses the specimen design in experiments of dynamic mixed-mode fracture initiation in rock, and explains that four-point bending specimen is very adapted; then it discusses the experimental method of four-point bending specimen, and an initial experiment and analysis was carried out. Some meaningful fracture curves were obtained.

Key Words marble; dynamic mixed-mode fracture; experiment.