

# 裂隙介质静动应力条件下的破坏模式与局部化渐进破损模型研究

张平

(湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

**博士学位论文摘要:** 裂隙岩体动力稳定性问题相当突出。已有大量关于节理裂隙几何特征对岩体静变形、静强度性质影响的室内模型试验研究, 然而对岩体动力特征的研究至今大都还是针对完整岩石样的室内试验进行的。针对岩体工程中最常见的非贯通裂隙岩体(而不是完整岩样)及岩体工程中特有的动荷特征, 对静、动荷载作用下裂隙岩体代表性体元 RVE 的破坏模式与变形、强度特性开展了系统的室内模型试验研究, 从细观上分析了其破坏机理, 从宏观上提出了适用于工程实际的模型与公式。主要内容如下:

(1) 首先, 本文将非贯通裂隙岩体的代表性体元 RVE 作为一种“结构性”材料, 从结构体(岩桥)本身的破坏模式出发, 采用量纲分析选择与砂岩相似的模型材料, 通过预埋抽条法在室内制作不同空间展布条件的闭合雁行、共面裂隙石膏模型试样, 借助于 MTS 单轴静力、动力(应变速率为  $10^{-5} \sim 10^{-1} \cdot s^{-1}$ )加载和数码设备观测, 对含裂隙试样的预制裂隙表面分支裂纹扩展、贯通过程进行了实时观测、分析, 系统总结了静载作用下裂隙扩展、贯通方式及强度随裂隙空间展布位置的变化规律, 进一步对动载作用下岩桥的破坏模式进行了新的探索, 弥补了动载作用下非贯通裂隙岩体破坏模式研究的空白。

(2) 直接通过对静、动荷载下含裂隙试样分支裂纹扩展长度、贯通方式及强度增幅的对比分析, 论证了速率效应的裂隙数目相关性, 揭示了分支裂纹扩展的惯性效应是导致含裂隙类岩石脆性材料中低加载速率下强度增大的主要原因, 这一新解释来源于试验观测数据, 较其他的对速率效应的解释更直接、合理, 借助于这一解释, 进而揭示了地震荷载下易出现 II 型剪切断裂的又一原因。

(3) 通过对含裂隙试样破坏过程的观测, 并借助于滑移型裂纹模型对几个典型问题的分析, 归纳、总结出裂隙岩体的破坏特征呈现局部化的渐进破损, 且将局部化带内这一渐进破损过程抽象为: 胶结强度丧失(拉伸型裂纹起裂、扩展), 而后摩擦强度(裂纹贯通后剪切滑移)发挥作用。

(4) 基于对含裂隙类岩石材料细观破坏特征的分析, 从脆性材料胶结强度丧失-摩擦强度发挥作用的破坏实质出发, 通过将试样划分为弹性区及剪切局部化带, 同时考虑材料内部不均质性引起的渐进破坏, 建立了能模拟软化(损伤软化、减压软化)、硬化过程且具有明确物理意义的局部化渐进破损模型, 并得以验证。该模型揭示了强度参数随变形的真实演化过程, 借助该模型得到的强度参数随不可逆应变的演化规律, 可以巧妙地从小观本质上描述含裂隙类岩石脆性材料峰值后期的宏观软化过程。

(5) 最后, 在所提出的细观渐进破损模型的基础上, 从工程实用的宏观角度入手, 推导了裂隙岩体的宏观等效弹性模量, 借助于已建立的含规则分布裂隙试样的破裂面倾角、剪胀角与裂隙空间展布位置的关系, 引入剪胀角对摩擦强度的贡献, 推导了可应用于裂隙岩体的局部化渐进破损宏观模型, 并进一步将其推广到非贯通裂隙岩体的宏观剪切强度模型中, 同时进行了相关验证。

**关键词:** 岩石力学; 非贯通裂隙; 破坏机理; 静动力学性质; 局部化; 渐进破损

**中图分类号:** TU 45

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2005)15-2802-01

## RESEARCH ON FAILURE MODES AND LOCALIZED PROGRESSIVE FAILURE MODEL OF THE CRACKED MEDIA UNDER STATIC AND DYNAMIC STRESS CONDITIONS

ZHANG Ping

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**收稿日期:** 2005-04-04

**作者简介:** 张平(1975-), 男, 2004年于西安理工大学水利水电学院获岩土工程专业博士学位, 导师为李宁教授和师俊平教授。主要从事裂隙岩体动力学和岩土工程数值仿真分析等方面的研究工作。E-mail: zhangp\_75@hnu.cn.