

# 岩石类材料的非线性动力损伤理论及其数值模型

邱战洪

(浙江大学 岩土工程研究所, 浙江 杭州 310027)

**博士学位论文摘要:** 岩石类材料的非线性动力损伤问题是岩体工程力学、结构动力学和损伤力学研究的前沿课题。对大型岩体工程的非线性动力损伤问题进行研究具有重要的学术意义和工程意义。

(1) 将最小耗能原理应用于岩石介质的脆性损伤问题, 建立了基于“应变等效”和“余应变能等效”两种损伤力学基本假定下各向同性材料的脆性损伤模型 A 和 B; 得到了针对两种不同损伤模型 A 和 B 的脆性损伤发展方程、脆性损伤本构方程和脆性损伤应变能释放率模型。进一步将损伤、渗流及孔隙率演化等相互耦合的有效应力概念引入 Mohr - Coulomb 破坏准则, 对岩石类材料提出了一种可考虑介质损伤、岩体断裂、孔隙压力变化、孔隙率演变等过程的非线性脆性动力损伤破坏的模型。

(2) 把基于“应变等效”和“余应变能等效”两种损伤力学基本假定的损伤模型分别引入粘 - 弹 - 塑性本构关系, 并把最小耗能原理与损伤理论相结合, 在试验模型的基础上给出了岩石类损伤介质的粘 - 弹 - 塑性应变速率、粘 - 弹 - 塑性损伤发展速率和粘 - 弹 - 塑性材料积累强弱化速率所描述的岩石类介质的粘 - 弹 - 塑性非线性损伤演化方程, 提出了一种岩石类介质的粘 - 弹 - 塑性动力损伤破坏模型。同时在数值分析的基础上, 对粘 - 弹 - 塑性损伤模型的非线性演化特征进行了讨论。并对提出的粘 - 弹 - 塑性动力损伤模型与相关文献中的试验进行了验证和对比, 表明数值计算结果与实验结果吻合较好。

(3) 给出了损伤结构的动力有限元离散方法, 文中通过数值算例讨论了损伤对结构阻尼的影响。在非线形损伤动力学理论基础上对岩石类结构分别建立了脆性动力损伤有限元模型和粘 - 弹 - 塑性动力损伤有限元模型。在四种常用的损伤破坏模型基础上, 给出了岩石类结构粘 - 弹 - 塑性损伤理论的增量方程模型和配套的动力方程组的积分格式。在上述内容基础上编制了相应的非线性有限元通用程序, 并对算法的稳定性和收敛性进行了讨论。

(4) 介绍了龙滩混凝土重力坝的工程设计情况, 并应用脆性动力损伤和粘 - 弹 - 塑性动力损伤两个非线性模型对地震荷载作用下的龙滩混凝土重力坝及岩基系统进行了损伤动力学的时程分析, 并在这些数值分析结果的基础上, 对龙滩混凝土重力坝经历强烈地震的安全性进行了评价、讨论。分析表明: 龙滩混凝土重力坝能经受强烈地震的考验, 但还需在震后采用一些坝体加强措施。

**关键词:** 脆性动力损伤; 粘 - 弹 - 塑性动力损伤; 岩石材料的最小耗能原理; 材料特性的非线性演化律; 有限元动力损伤分析; 大坝与岩基地震损伤响应

**中图分类号:** TU 457; O 242

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2005)19 - 3599 - 01

## THEORY OF NONLINEAR DYNAMIC DAMAGE MECHANICS AND NUMERICAL MODELING OF QUASI-ROCK MATERIALS

QIU Zhan-hong

(Geotechnical Engineering Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**收稿日期:** 2005 - 05 - 20

**基金项目:** 国家自然科学基金(编号 50379046)资助研究项目

**作者简介:** 邱战洪(1977 - ), 男, 2005年3月于浙江大学岩土工程研究所获博士学位, 导师是浙江大学张我华教授, 主要从事岩土工程及工程力学方面的研究工作。E-mail: qiuzhanhong@126.com。