

基于声发射信号连续小波分析结果的深部岩石动态拉伸破坏研究

Dynamic rock tensile failure under hydrostatic pressure analyzed with wavelet transform of acoustic emission signals

付岩¹ 徐颖¹ 姚伟^{1,2}

Fu Yan¹ Xu Ying¹ Yao Wei¹

(1. 天津大学 水利工程智能建设与运维全国重点实验室, 天津 300072;

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Intelligent Construction and Operation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

摘要: 随着经济建设和国防建设的不断发展, 各种工程不断向深地发展, 而深部岩石多处在“三高一扰动”的复杂力学环境中, 深地工程会因地震、爆破和军事打击等动态扰动产生动态破坏。因此, 对深部岩石动态破坏过程的研究是深地工程安全的重要保障。本研究以深地工程中常见的中细粒花岗岩为研究对象, 采用 SHPB 动态加载技术、应变及声发射监测技术研究了静水压和加载率对岩石动态拉伸破坏过程的影响, 改进了常规三轴动态加载系统使其可以在动态加载的同时进行声发射信号监测, 并对四种静水压条件 (0MPa, 10MPa, 20MPa, 30MPa) 下的中细粒花岗岩试样进行了动态拉伸试验, 试样表面粘贴应变片与声发射探头以获取岩石破裂信号, 利用连续小波分析方法处理试验获得的声发射监测结果, 从时频特征的角度对其进行分析, 结合应变片所监测的试样起裂信号, 分析了冲击后不同状态岩石试样的信号特征, 分离了破裂信号与干扰信号, 建立了声发射信号时频特征与岩石破裂的联系, 研究了深部岩石动态拉伸破坏过程。研究表明: (1) 在岩石动态破坏过程中, 撞击导致的 50kHz 以上的声发射信号在岩石的破裂过程中被显著吸收, 而破裂试样上高于 50kHz 的主要是岩石中裂纹发育所产生的; (2) 随着加载速率的增大, 撞击残留的声发射信号能量占比减小, 表明裂纹的发育利用了更多的动载荷的能量。此外, 高频声发射信号的比例呈增加趋势表明加载率促进了小尺寸裂纹的萌生。而静水压导致高频声发射信号的产生时间延迟和持续时间延长表明了静水压对拉伸裂纹发育的抑制作用; (3) 声发射振铃数随加载率的增加呈现先减小后增大的趋势, 而随着静水压力的增加, 声发射振铃计数呈减少趋势, 转折加载率呈增加趋势, 这是声发射信号互相掩盖和裂纹尺寸演化共同作用的结果; (4) 静水压对岩石的动抗拉强有显著的增强作用。造成这种趋势的主要原因是静水压导致高频声发射信号的产生时间延迟和持续时间延长, 这表明静水压抑制了拉伸裂纹的发育。这种对拉伸裂纹的抑制提高了岩石的动抗拉强度。

关键词: 动态拉伸破坏; 声发射; 静水压; 裂纹发育; 连续小波分析

2 通讯作者: 姚伟, yaow@tju.edu.cn