

岩石类材料三维复合型裂缝扩展判据与空间轨迹透明解析研究

Study on the 3D mixed-mode fracture propagation criteria and transparent method for spatial propagation trajectories in rock-like materials

鞠杨¹, 张一豪²

Yang Ju¹, Yihao Zhang²

(1.煤炭精细勘探与智能开发全国重点实验室, 中国矿业大学(北京), 北京 10083; 2.中国矿业大学(北京)力学与土木工程学院, 北京 10083)

(1. State Key Laboratory for Fine Exploration and Intelligent Development of Coal Resources, China University of Mining & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

摘要: 深部资源开采扰动引发的岩石内部裂缝起裂与扩展是导致岩体失稳破坏的内在原因, 如何准确量化表征扰动应力下岩石内部三维裂缝起裂与空间扩展轨迹是分析和预测岩石失稳破坏面临的基础难题。天然岩石内部三维裂缝扩展属于 I/II/III 复合型裂缝扩展, 目前缺乏准确表征这种复合型裂缝的起裂条件与扩展方向的判据以及定量刻画其空间扩展轨迹的方法。本研究通过综合考虑裂缝尖端 T -应力、泊松比和应变等因素, 建立了预测岩石类脆性材料 I/II/III 复合型裂缝起裂扩展的三维广义最大周向应变 (3D-GMTSN) 判据, 利用该判据准确表征和预测了 II 型主导和含 III 型裂缝的面外扩展角及临界应力强度因子。在此基础上, 开发了基于 3D-GMTSN 判据的复合型裂缝起裂及扩展的 Python 程序, 并将其集成入 FRANC3D 中, 模拟预测了岩石类脆性材料三维裂缝的空间扩展轨迹。为了验证起裂判据与计算程序的准确性, 采用含复合型裂缝的 3D 打印透明物理模型, 设计了长方体 (IICC)、边缘缺口圆盘 (ENDB) 和三点弯曲 (TPB) 三种模型的断裂实验, 利用高精度 CT 成像及透明解析技术, 获取了复合裂缝的空间扩展轨迹; 分别采用作者提出的基于 3D-GMTSN 判据的计算程序以及传统的基于最大剪应力 (MSS)、最大周向应力 (MTS) 和最大能量释放率 (MERR) 判据的计算程序, 模拟分析了 IICC、ENDB 和 TPB 模型中复合裂缝的空间扩展行为。模拟与实验结果对比表明: 基于 3D-GMTSN 判据的计算程序可以更准确地模拟和预测三维复合型裂缝的起裂方向及空间扩展轨迹。

关键词: 三维复合型裂缝; 起裂扩展; T -应力; 三维广义最大周向应变判据; 数值方法; 透明解析