

冻融循环作用下裂隙岩石冻胀力分段模型

A piecewise model for frost heave pressure of fractured rocks under freeze-thaw cycles

张琪¹ 戴峰¹ 刘燚¹ 魏明东¹

Qi Zhang¹ Feng Dai¹ Yi Liu¹ Mingdong Wei¹

(1. 四川大学水利水电学院山区河流保护与治理全国重点实验室, 四川成都 610065)

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, College of Water Resource and Hydropower,
Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China)

摘要: 高海拔山区岩石工程经常遭受严重的冻融问题。作为冻融损伤的主要驱动因素, 冻胀力的定量描述和预测是至关重要的。本研究建立了一个新的理论模型以表征冻融循环下裂隙岩石中冻胀力的全过程, 该模型综合考虑了多重因素的影响, 包括裂隙几何构型、基质力学性质和冻融条件。此外, 基于冻胀力五阶段演化模式, 探讨了不同阶段不同主导机制的组合效应。在冻结初期, 由于温度尚未降至冰点, 岩石内部冻胀力处于静默阶段。随着冻结的进行, 相变体积膨胀和冻胀开裂效应分别主导着冻胀力的生成以及降低阶段, 并基于弹性力学和 Griffith 能量平衡理论对冻胀力进行求解。对于融化过程, 冰分凝主导了冻胀力的二次回升阶段, 通过分凝势和水迁移速度对冻胀力进行定量表征; 此后, 随着裂隙冰的完全融化, 冻胀力进入消散阶段。此外, 通过引入衰减系数评估了冻融循环次数对冻胀力演化的影响, 并最终构建了适用于反复冻融循环下裂隙岩石的冻胀力分段模型。为了验证该模型, 我们对不同裂隙构型的花岗岩和砂岩试样开展了冻融循环试验, 并对其冻融过程中的冻胀力进行了实时监测。结果表明理论计算和试验监测得到的冻胀力演化曲线和冻胀力峰值呈现出较好的一致性, 证明了该分段模型的普适性和有效性。

关键词: 冻胀力; 冻融循环; 裂隙岩石; 分段模型