

裂隙岩体冻融损伤力学特性及多场耦合过程研究

康永水

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071)

博士学位论文摘要: 我国寒区分布广泛, 在寒区工程建设和资源开采过程中, 会遇到很多岩体工程冻融损伤破坏的问题, 严重威胁着岩体工程的安全稳定, 并造成巨大的经济损失。以“裂隙岩体冻融损伤力学特性及多场耦合过程”为主题, 将裂隙岩体视为岩块系统和裂隙系统, 通过室内试验、理论分析和数值模拟等多种手段, 对涉及冻岩领域的相关问题展开研究, 取得如下成果:

(1) 通过测试低温环境下饱和及干燥的花岗岩、白砂岩和砂质泥岩随降温产生的应变特征, 研究岩石冻胀融缩效应。结果表明: 在一次冻融循环内, 干燥岩样发生线弹性变形, 而饱水岩石的变形经历冷缩阶段、冻胀阶段、升温迟滞阶段、融缩阶段和热胀阶段等阶段。一次冻融循环内, 干燥岩样未产生残余应变, 而饱水岩样产生明显的残余应变。

(2) 基于物理化学相关理论, 考虑岩体裂隙水相变的特殊性, 分析水冰相变平衡物态方程, 得出冰点与压力的关系, 并根据能量守恒定律和功能原理推导出冻结率的表达式。提出“等效热膨胀系数法”模拟裂隙水的冻胀融缩效应, 同时模拟冻胀荷载作用下冰(水)裂隙尖端的应力场分布, 并与解析解进行对比。

(3) 参照岩石冻胀变形试验和相变分析的相关结论, 将岩石在低温环境下的变形分解为热应变、冻胀应变和围压产生的弹塑性应变 3 部分, 建立岩石准蠕变冻胀本构模型。引入冻胀激活单元, 用以控制冻胀单元是否发生作用。以 FLAC^{3D} 现有的本构模型为蓝本, 运用 VC++ 编写本构模型动态链接库文件, 并借助 Fish 函数对冻结过程中的黏聚力、内摩擦角等力学参数进行动态调整, 同时控制冻胀激活单元的工作状态。

(4) 运用双重孔隙介质模型理论, 根据质量守恒定律、能量守恒定律及静力平衡原理, 并考虑岩体水冰相变的参与, 得出冻结条件下裂隙岩体的热水力 (THM) 耦合控制方程。通过一个含裂隙隧道低温 THM 耦合算例, 研究低温 THM 耦合条件下的温度场、应力场及孔隙压力等的分布规律。

(5) 基于脆性断裂力学理论, 分析冻胀条件下压剪复合裂纹起裂扩展判据, 得出冻胀力和围压共同作用下的裂隙起裂条件、扩展方向和扩展长度公式, 并分析冻胀裂隙岩桥的贯通模式。基于拓扑学相关理论, 提出一种可实现二维冻胀裂隙网络扩展演化的算法, 可实现扩展路径定义、扩展域单元的识别及更新、裂隙贯通判断等功能。

(6) 结合上述研究成果, 以 Chalmers 理工大学试验低温储库为工程背景进行模拟, 按照现场试验条件施加温度和力学边界条件, 对冻结过程中的温度场、位移场等进行模拟, 并与实测的变形和温度测试结果进行对比。此外, 以高寒地带的乌鞘岭隧道为工程背景, 对洞口端冻融环境下围岩温度场、应力场、位移场的分布规律, 以及冻结状态分区等问题进行研究。

关键词: 岩石力学; 冻岩; 相变; 冻融损伤; THM 耦合; 岩体冻胀本构模型; 双重孔隙介质; 冻胀裂隙; 应力强度因子; 扩展路径

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2012)09 - 1944 - 01

STUDY ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DAMAGE DUE TO FREEZE-THAW ACTION IN FRACTURED ROCK MASS AND MULTI-FIELD COUPLING IN FREEZING ROCK

KANG Yongshui

(State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

收稿日期: 2012 - 07 - 15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41072239)

作者简介: 康永水(1985 -), 男, 2012 年于中国科学院武汉岩土力学研究所获博士学位, 导师为刘泉声研究员, 主要从事裂隙岩体冻融损伤及多场耦合等方面的研究工作。E-mail: kys85@163.com