

黏粒含量对红黏土力学、崩解及渗透性质的影响研究

Study on the influence of clay content on the mechanical, disintegration and permeability properties of red clay

刘宝臣^{1, 2} 周浩风¹ 杨柏¹ 晏航宇³ 王良玉⁴ 王小波¹
Liu Baochen^{1, 2} Zhou Haofeng¹ Yang Bai¹ Yan Hangyu³ Yan Hangyu⁴ Yan Hangyu¹

(1. 桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 桂林 541004;

2. 广西科技大学土木建筑工程学院, 柳州 545006;

3. 玉林师范学院物理与电信工程学院, 玉林 537000;

4. 吉林大学建设工程学院, 长春 130026)

(1. School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

(2. School of Civil and Architectural Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China

(3. School of Physics and Telecommunication Engineering, Yulin Normal University, Yulin 537000, China

(4. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

摘要: 为了研究黏粒含量对红黏土力学、崩解及渗透性质的影响, 以桂林红黏土为研究对象, 利用净水沉降原理从红黏土中制取黏粒, 通过向红黏土中掺入黏粒来控制黏粒含量, 进行三轴压缩试验、崩解试验和变水头渗透试验, 对不同黏粒含量红黏土的应力-应变曲线、抗剪强度指标、崩解现象、渗透系数进行分析。试验结果表明: 不同黏粒含量的红黏土应力-应变曲线均为应变软化型; 随着黏粒含量的增加, 红黏土的黏聚力呈上升趋势, 而内摩擦角呈下降趋势; 不同黏粒含量红黏土崩解时间-崩解量曲线均表现为“S”型特征; 随着黏粒含量的增加, 红黏土的崩解时间逐渐增加, 渗透系数逐渐减小。由机理分析可知, 由于黏粒的聚沉作用, 土中的黏粒增加, 会增强土颗粒之间的粘结作用。黏粒会以不同的形式填充土体内部的孔隙和裂隙, 减小土体颗粒之间的摩擦系数, 减弱水分对土体的渗透作用。综上所述, 黏粒可以增强红黏土的抗剪强度、水稳定性和抗渗能力。上述研究成果为红黏土地区的工程建设和红黏土改良提供参考具有重要意义。

关键词: 红黏土; 力学性质; 崩解性; 渗透性

摘 要

1885年, 奥地利地质学家Loczy将贵德盆地内的一套红色山麓-河湖相沉积地层命名为“贵德系”, 这一地层后来被中国地质科学院定义为“贵德群”。贵德群作为反映上新世古地理、气候变化和地壳活动的关键地层记录, 对于揭示青藏高原的地理演化和地壳动力过程具有重要价值。

岩石强度性质作为地壳运动和成岩作用的重要记录, 是研究地质历史、景观成因和灾害防治等问题的重要指标。本研究以贵德群红层砂泥岩强度劣化性质为核心, 研究了干湿循环对砂泥岩力学性质劣化和微观结构变化的影响。阐述了贵德盆地的地质背景, 分析得出了在季节性降雨及人类活动双重作用下, 贵德群红层砂泥岩因干湿循环导致的力学性能劣化是地质灾害的重要诱因。试验选取贵德群红层砂泥岩为样本, 通过加工和筛选, 设计了详尽的干湿循环试验计划。研究内容及成果包括:

(1) 扫描电镜试验显示, 干湿循环改变岩石颗粒与孔隙, 导致孔隙率上升, 岩石强度下降。干湿循环显著影响砂岩和泥岩的微观结构与孔隙: 随着循环次数增加, 大颗粒破碎, 孔隙增大。粘土矿物吸水导致内部孔隙扩大连通, 中等及以上孔隙增多。多次干湿循环后, 颗粒表面变光滑, 颗粒边缘变圆滑,

裂隙增多扩大, 连接变疏松, 小颗粒填充到大孔隙之中。裂隙数量和宽度增长, 这些变化与力学性能劣化现象相符。

(2) 通过 X 射线衍射与荧光分析, 分析了砂、泥岩的矿物成分在水作用下的动态变化。在干湿循环作用下, 粘土矿物因吸水膨胀、失水收缩导致微观结构损伤, 岩石强度降低。水分经层理与微裂隙渗透, 加速了泥质胶结物及可溶性矿物的溶解与再结晶过程, 加剧溶蚀作用; 长石等矿物在酸性水环境下发生离子交换, 形成新的粘土矿物如高岭石, 并释放可溶盐类; 钙质胶结物参与离子交换反应, 其溶解与重结晶活动使岩石强度发生劣化。

(3) 力学性能研究采用单轴压缩、抗剪及三轴压缩等测试方法, 探讨了砂岩和泥岩在不同干湿循环次数及围压条件下的应力-应变特性, 试验结果显示, 随着循环次数增加, 砂岩干燥与饱和状态下抗压强度和弹性模量分别下降约 9.69%、18.71%和 16.75%、12.53%, 粘聚力和内摩擦角分别下降约 48.12%、44.42%和 28.39%、23.64%。泥岩经过一次干湿循环后抗压强度降低 62.85%, 10 次干湿循环后, 内摩擦角和粘聚力分别下降 45.48%和 95.03%。

(4) 使用 ABAQUS 软件进行数值模拟, 探究干湿循环对砂岩强度劣化的影响机制。通过模拟砂岩单轴压缩试验分析得出: 在荷载作用下, 其轴向位移呈现出自顶端至底端逐渐减小的特点, 且随着循环次数增加, 尤其是到达 80 次和 100 次时, 上部应变显著增大, 100 次循环后模型在垂直变形达 0.15mm 时破裂, 裂纹逐渐扩大直至贯通。损伤首先在样本两端与中部开始并向中部扩散, 形成宏观损伤。在单轴压力下, 模型应力集中于上部, 软弱带和裂隙区域承受应力较小, 干湿循环 30 次时模型压缩初期最大应力超过 60MPa, 随着干湿循环次数增多, 最大应力值下降。干湿循环后期因水力作用导致裂隙扩大、岩石强度降低、塑性增强。

综上所述, 本研究通过系统性室内试验和数据分析, 揭示了干湿循环条件下贵德群红层砂泥岩力学性能劣化机理和微观结构变化规律, 为分析地质景观成因、评估区域地质灾害风险和提出有效防护措施提供科学支撑。

关键词: 红层砂泥岩; 干湿循环; 力学性能劣化; 微观结构变化; 数值模拟