

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221522

干湿循环作用下云母石英片岩物理性能及宏微观结构劣化规律

李志刚¹, 刘 伟², 张钟文¹, 叶宏林¹, 徐光黎³, 马 郎⁴

(1. 扬州大学建筑科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2. 十堰市自然资源和规划局, 湖北 十堰 442000; 3. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 4. 中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为研究云母石英片岩在干湿循环作用下易劣化问题,以鄂西北地区广泛分布的云母石英片岩为例,分别对不同干湿循环作用下片岩试样开展吸水性试验、波速测试和电镜扫描试验,揭示其物理性能及宏微观结构劣化规律。试验结果表明,云母石英片岩吸水率随干湿循环次数的增加呈大幅上升的趋势;波速随干湿循环次数的增加而减小,并逐渐趋于稳定;试样表面逐渐被浸染成红褐色,且片理面逐渐开裂、贯通;片状颗粒脱落变多,逐渐浑圆化、颗粒化,矿物颗粒间裂隙、孔数量不断增多,微裂隙逐渐扩展、开裂,进而使其吸水率增大、波速降低。

关键词: 云母石英片岩; 干湿循环; 物理性能; 电镜扫描; 劣化规律

中图分类号: P642.3; TV223.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)07-0167-04

1 引言

鄂西北山区是我国地质灾害高发区,区内山高坡陡、降雨量大、工程活动频繁,广泛分布着“易滑地层”——片岩^[1]。该地区片岩边坡岩体易受库水位升降、降雨—蒸发等干湿循环作用引起物理力学性能劣化,导致边坡稳定性下降,极易诱发滑坡灾害^[2]。目前,针对不同类型岩石在干湿循环作用下物理力学特性的变化规律开展了大量的试验研究,主要研究对象为砂岩,也有部分泥岩、花岗岩等,发现干湿循环作用会对岩石造成渐进性损伤,使其物理力学性能发生不同程度的劣化^[3]。针对片岩开展的水岩作用研究主要集中在吸水软化作用上^[4],亦部分研究了干湿循环对片岩力学性能的影响^[5],但针对片岩物理性质和微观结构在干湿循环作用下劣化规律研究还不完善,而这对揭示片岩在干湿循环作用下劣化机理至关重要。为此,本文选取鄂西北地区的云母石英片岩为例,通过对其开展波速测试、吸水性测试、电镜扫描等一系列室内试验,揭示其在干湿循

环作用下物理性能劣化规律及机理,以期片岩边坡防护治理提供依据。

2 试验方案

2.1 云母石英片岩地质特性

云母石英片岩岩样通过钻探取自湖北省十堰市郧西县鲍峡镇拟建十巫高速青岩寨隧道进洞口边坡,微风化,灰黑色。通过室内试验测得其矿物成分见图1,微观结构见图2。

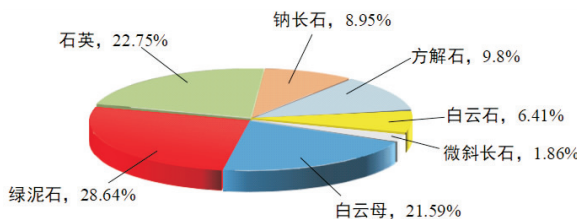


图1 云母石英片岩矿物组成

Fig. 1 Mineral composition of mica quartz schist

由图1、2可知,云母石英片岩主要成分为绿泥石、石英及白云母,并含少量的长石、方解石和白云石。绿泥石、白云母为片状矿物,含量较高,呈定向排列;石英受到区域构造应力的影响也呈

收稿日期: 2022-07-28, 修回日期: 2022-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41772314); 江苏省高等学校自然科学基金项目(20KJB170020); 湖北省科技厅重点研发项目(2021BCA219); 湖北省自然资源厅科技项目(ZRZY2022KJ17)

作者简介: 李志刚(1988-), 男, 博士、讲师、硕导, 研究方向为岩土力学, E-mail: lzgdyy@yzu.edu.cn

通讯作者: 徐光黎(1963-), 男, 博士、教授、博导, 研究方向为地质工程, E-mail: xu1963@cug.edu.cn

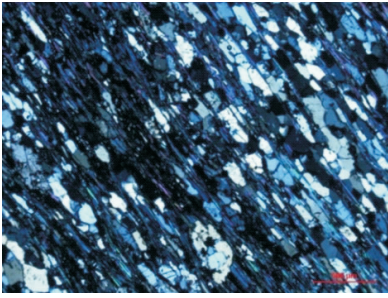


图 2 云母石英片岩显微照片

Fig. 2 Micrograph of mica quartz schist

拉长定向排列,片状构造明显,片理发育。

2.2 试样制备

云母石英片岩片理面易开裂,用于波速测试和吸水性试验的试样通过切割、磨平柱状岩芯的方式加工。加工好的试样直径和高均为 56 mm,片理倾角为 75°。为减小试验误差,选取外观完好、端面光滑、波速及密度一致的试样进行试验。

2.3 干湿循环处理试样方法

干湿循环处理云母石英片岩试样方案如下:先将试样放入烘箱中设置温度为 105 °C,烘干 24 h 后取出放在干燥器中冷却至室温,再放入水槽中采用自由吸水法浸泡 48 h,此过程定义为 1 次干湿循环;采用同样的方式将试样进行 20 次干湿循环处理。此外,将天然状态下试样烘干,定义为 0 次干湿循环的干燥状态;将天然状态下试样直接采用自由吸水法饱和,定义为 0 次干湿循环的饱和状态。

2.4 物理试验方案

(1)吸水率测试。烘干—浸泡循环处理试样过程中,使用电子天平称量出不同干湿循环次数后试样干燥和饱水状态下的质量,以计算片岩饱水后的吸水率。

(2)波速测试。波速测试分别选取干湿循环次数为 0、1、3、5、10、15、20 次的试样,在其干燥状态下进行。由于试样片理对波速影响较大,在检测时根据图 3 所示的 3 个方向进行检测:方向 1 沿着岩样的上下两个端面(轴向),方向 2 沿着试

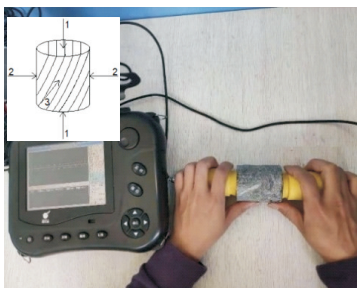


图 3 波速测试示意图

Fig. 3 Schematic diagram of wave velocity test

样径向与片理面走向垂直,方向 3 沿着试样径向与片理面走向平行。

3 云母石英片岩物理性能变化规律

3.1 波速变化规律

由波速测试结果可知,云母石英片岩试样的波速随干湿循环次数的增加而减小,并逐渐趋于稳定;试样的波速值及其变化在三个方向上有较大差异,波速值方向 3 > 方向 1 > 方向 2,即平行片理走向的波速大于与片理面相交方向的,而波速变幅方向 2 > 方向 1 > 方向 3,即平行片理走向的波速变化幅度小于与片理面相交方向的(图 4)。由于弹性波在云母石英片岩中传播受到片理面和内部孔隙的影响,传播通过的片理面数量越多、胶结程度越差,孔隙越多、连通性越好,则波速越低^[6]。云母石英片岩不同方向波速变化规律表明,干湿循环作用下云母石英片岩内部结构变化以片理面的扩展、开裂为主,内部孔隙增加、连通为辅,且在干湿循环作用前期内部结构变化较快,后期逐渐减弱。

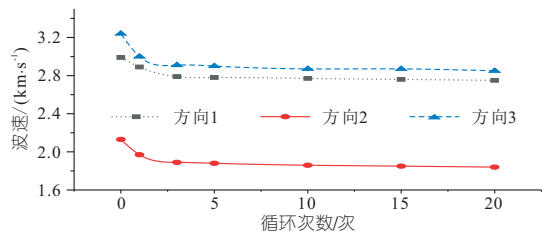


图 4 干湿循环作用下云母石英片岩波速变化规律

Fig. 4 Wave velocity variation of mica quartz schist under dry-wet cycles

3.2 吸水率变化规律

吸水率可反映岩石中孔隙、裂隙的发育情况,不同干湿循环作用下云母石英片岩的吸水率公式为:

$$\omega_a = [(m_a - m_s) / m_s] \times 100 \quad (1)$$

式中, ω_a 为试样吸水率; m_a 为试样饱水后质量; m_s 为试样烘干后质量。

通过试验可得云母石英片岩吸水率在干湿循环作用下变化规律见图 5,云母石英片岩吸水率增量随干湿循环次数变化规律见图 6。

由图 5、6 可知,干湿循环作用对云母石英片岩吸水率有较大影响,0 次干湿循环吸水率为 0.17%;干湿循环 10 次后吸水率为 0.24%,增幅为 41.18%;干湿循环 20 次后吸水率为 0.28%,增幅达到了 64.71%。可见云母石英片岩的吸水率在干湿循环作用下呈逐渐上升的趋势,表明干湿循环作用使得片岩片理面开裂,孔隙、裂隙增

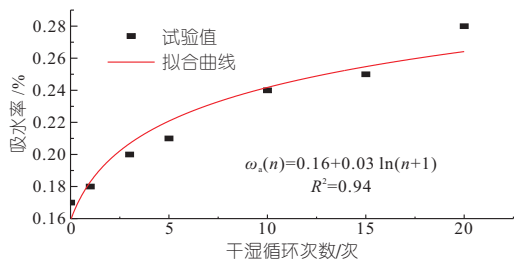


图 5 干湿循环作用下云母石英片岩吸水率变化规律

Fig. 5 Water absorption of mica quartz schist under different dry-wet cycles

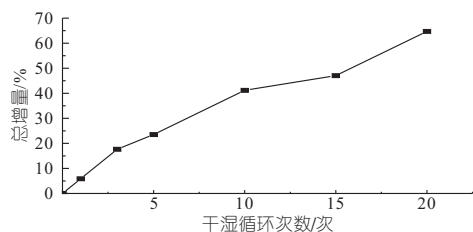


图 6 云母石英片岩吸水率增量随干湿循环次数变化规律

Fig. 6 Water absorption increment of mica quartz schist under dry-wet cycles

多,进而使其吸水率逐渐增大。

4 云母石英片岩宏微观结构劣化规律

4.1 宏观结构劣化规律

天然云母石英片岩呈灰黑色,随着干湿循环次数的增加,其表面逐渐有红褐色的物质析出并浸染表面,干湿循环 15 次后试样表面浸染范围明显增大,浸染速度明显加快,干湿循环 20 次后,红褐色物质基本浸染整个试样表面;试样片理面逐步张开,张开的程度越来越大,张开的数量也越来越多(图 7)。由此可知,试样在浸泡过程中,水极易通过片理面进入云母石英片岩内部,并溶解片理面胶结物或与某些矿物发生化学反应;在干燥

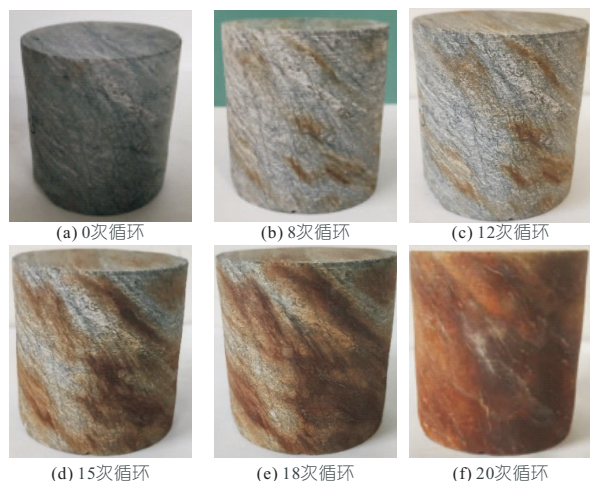


图 7 干湿循环作用下云母石英片岩表现特征变化

Fig. 7 Changes of apparent characteristics of mica quartz schist under dry-wet cycles

过程中,被溶解或反应后的矿物随着水分的蒸发被带出岩样;片理面胶结物被溶解或某些矿物与水反应被从试样内部带出之后,使得云母石英片岩内部孔隙逐渐增加、连通,片理面逐渐开裂、贯通。

4.2 微观结构劣化规律

对干湿循环作用后的云母石英片岩试样分别按垂直片理方向和平行片理方向进行电镜扫描测试,以获得其微观结构在干湿循环过程中的变化特征,测试结果见图 8、9。

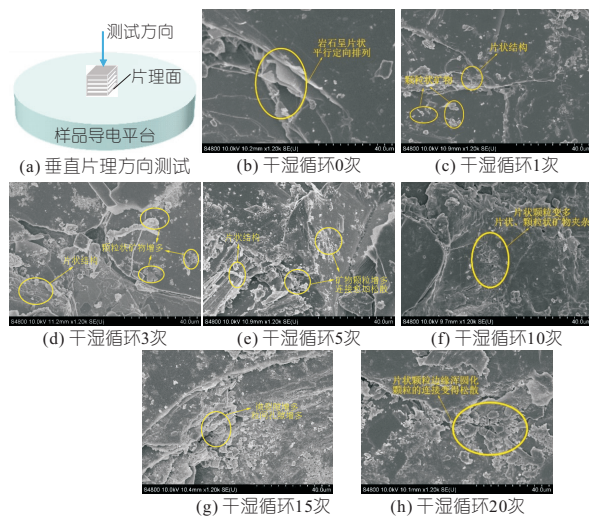


图 8 不同干湿循环作用下垂直片理 SEM 照片(×1 200 倍)

Fig. 8 SEM picture of vertical foliation under different dry-wet cycles(×1 200 times)

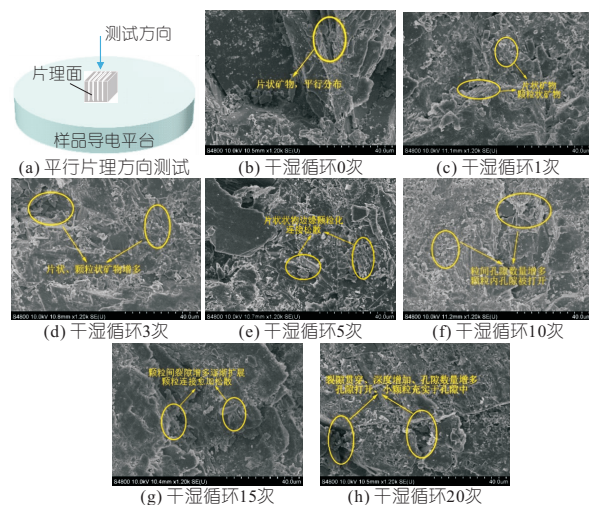


图 9 不同干湿循环作用下平行片理 SEM 照片(×1 200 倍)

Fig. 9 SEM picture of parallel foliation under different dry-wet cycles(×1 200 times)

由图 8、9 可知,在垂直片理面方向上,片状颗粒剥落数量变多,体积变小,且不规则边缘逐渐浑圆化,矿物颗粒间裂隙、孔隙数量增多并不断扩展,岩石结构变松散;在平行片理方向上,胶结较好的片理面逐渐张开形成新的裂隙,已有的裂隙的贯穿长度、深度逐渐增大,孔隙、裂隙数量逐渐增多、贯通,且小粒径颗粒也逐渐增多。

4.3 劣化机制分析

水岩相互作用过程涉及软化、泥化、溶蚀、沉淀、氧化还原、离子交换等多种物理化学机制,岩石物理特性的劣化主要与循环干湿处理后岩石内部产生的微裂纹或微孔有关^[7]。在干湿循环作用过程中,云母石英片岩物理性能劣化是由以下机制造成的:云母石英片岩发育有密集的片理面,且与片理面平行的微裂隙也较发育,易于水进出岩石内部;在润湿过程中,水可通过以上结构面进入岩石,溶解一些泥质胶结物和可溶性矿物,如方解石;在干燥过程中,岩石内部的水会蒸发,将可溶性物质带到岩石表面;水进出岩石后使得矿物产生反应或溶解并将溶解物带出,导致岩石内部片理面开裂、微裂缝和微孔隙的快速生成、扩展,使其产生吸水率增大,波速降低等物理性能劣化现象。

5 结论

a. 干湿循环作用对云母石英片岩吸水率、波速均有较大的影响。吸水率随干湿循环次数的增加呈逐渐上升的趋势;波速随干湿循环次数的增加而减小,并逐渐趋于稳定。

b. 在干湿循环作用下,云母石英片岩试样表面被溶解矿物浸染成红褐色,片理面逐渐开裂、贯通;片状颗粒剥落变多,逐渐浑圆化、颗粒化,矿物颗粒间孔隙、裂隙数量增多,微裂隙不断扩展、开裂。

c. 云母石英片岩片理面及微裂隙发育,易于

水进出岩石内部,水进出岩石后使得矿物产生反应或溶解并将溶解物带出,内部孔隙不断增加、裂隙逐渐扩展开裂,使其物理性能逐渐劣化。

参考文献:

- [1] 任伟中, 范建海, 孔令伟, 等. 鄂西北山区边(滑)坡综合分类探讨[J]. 岩土力学, 2011, 32(9): 2735-2740.
- [2] 周大华, 翟全礼, 刘廷, 等. 鄂西北地区公路片岩边坡变形破坏模式及失稳机制研究[J]. 路基工程, 2013(4): 29-33.
- [3] 梁锐. 库水位往复升降引起的软岩干湿循环损伤特性试验研究[J]. 水电能源科学, 2020, 38(10): 103-106.
- [4] BARROS R, OLIVEIRA D, VARUM H, et al. Experimental characterization of physical and mechanical properties of schist from portugal[J]. Construction and building materials, 2014, 50: 617-630.
- [5] 刘廷. 干湿循环作用下云母片岩力学特性试验研究[J]. 路基工程, 2015(4): 67-71.
- [6] 李志刚. 堵河流域变质岩工程特性与地质灾害生成关系研究[D]. 武汉:中国地质大学, 2017.
- [7] YAO WENMIN, LI CHANGDONG, ZHAN HONGBIN, et al. Multiscale study of physical and mechanical properties of sandstone in three Gorges reservoir region subjected to cyclic wetting-drying of Yangtze River water[J]. Rock mechanics and rock engineering, 2020, 53:2215-2231.

Degradation Law of Physical Properties and Macro-micro Structure of Mica-quartz Schist Under Dry-wet Cycles

LI Zhi-gang¹, LIU Wei², ZHANG Zhong-wen¹, YE Hong-lin¹, XU Guang-li³, MA Yun⁴

(1. College of Civil Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2. Shiyang Natural Resources and Planning Bureau, Shiyang 442000, China; 3. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 4. Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to study the degradation of mica-quartz schist under the action of dry-wet cycles, which widely distributed in Shiyang, Hubei province was taken as the research object. The hygroscopicity test, wave velocity test and scanning electron microscope test were carried out on the samples under the action of dry-wet cycles, respectively, to reveal the law and mechanism of physical deterioration. The test results show that the water absorption increases greatly, the wave velocity decreases and gradually tends to be stable with the increase of the number of dry-wet cycles. Besides, the surface of the sample was gradually disseminated into reddish-brown, and the foliation was gradually cracked and connected. Finally, the flake particles became more, round and granulated, the number of cracks increased and the microfractures gradually expanded, so the water absorption rate increased and wave speed decreased of mica-quartz schist under the action of dry-wet cycles.

Key words: mica-quartz schist; dry-wet cycles; physical properties; scanning electron microscope; degradation law