

云南红土的工程特性研究综述

田俊, 张祖莲, 谢道春

(昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 云南是我国红土的主要分布地区之一, 当地筑坝时遵循因地制宜, 就地取材的原则, 修建了为数较多的红土坝, 坝体的长期安全稳定运行十分重要, 因此非常有必要对红土的工程特性进行研究。文中根据目前已有研究成果对云南红土的剪切性、渗透性、开裂性、抗压性、土-水性、胀缩性以及胶结性等工程特性进行了综合的研究分析, 并在此基础上对今后红土的研究提出了一些看法。

关键词: 红土; 剪切性; 渗透性; 开裂性; 胀缩性

中图分类号: TU431

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0101-03

引言

云南省红土分布广泛, 具有较为丰富的红土资源, 云南红土是一种有着独特工程性质的土, 其具有高塑性、低密度、高孔隙比、高含水率等特点^[1-2]。而以红土为主要材料修筑成的红土坝坝体在正常运行过程中会在水库库水位循环升降、酸碱侵蚀、浸泡作用等多种因素影响下产生损伤破坏, 从而致使坝体失稳, 对下游的安全形成威胁。有鉴于此, 相关学者以云南红土为试验对象, 通过扫描、击实、直剪等试验研究了红土在多种情况下的工程特性, 以期对红土坝的设计施工和提出防治坝体破坏的措施提供一定的理论指导。随着研究的深入发展, 新的研究方法和成果不断涌出, 这为进一步深入研究更复杂因素影响下红土坝的稳定性提供了条件。因此, 更深层次、更系统、更全面的了解云南红土的工程特性是非常必要的^[3]。

一、干湿循环作用下云南红土的工程特性

1. 剪切特性

程富阳等^[4] (2017) 通过饱和红土的不固结不排水三轴试验, 研究了干湿循环次数和幅度对饱和红土剪切特性的影响, 表明饱和红土应力-应变曲线的剪切峰值、黏聚力、内摩擦角均随干湿循环次数和幅度的增加而降低, 且干湿循环幅度的影响小于循环次数的影响。张祖莲等^[5] (2018) 通过红土试样的扫描和直剪试验, 探究了干湿循环作用下红土的剪切强度与其微结构的变化规律, 表明红土的黏聚力、剪切强度和内摩擦角在起始干密度不变时都随干湿循环次数的增多而非线性降低, 且其对应的微结构参数及图像也相应变化。Peng Liu 等^[6] (2018) 针对云南红土的剪切特性问题, 探究了干湿循环对云南红土抗剪强度特性的影响, 表明红土的黏聚力会随着干湿循环次数的增多而逐步降低, 但其内摩擦角随着干湿循环次数的增多变动趋于平缓, 且不同荷载作用下的峰值强度在干湿循环后均有不同幅度的衰减。梁谏杰等^[7]

(2019) 通过干湿循环和直剪试验, 研究了干湿循环作用下添砂比例变化对红土剪切强度的影响, 表明当干湿循环次数不变时, 随着添砂比例的增加, 红土黏聚力降低、内摩擦角增大, 剪切强度呈现降低-升高-降低的变化趋向, 并且剪切强度在添砂比例约为 10% 时存在极大值。

2. 力学特性

周志伟等^[8] (2017) 以云南红土型大坝为研究对象, 通过红土坝的室内模型试验, 研究了干湿循环下坝坡红土的土压力和孔隙水压力的变化特征, 表明随干湿循环次数增加, 海拔高度较低处坝坡红土的土压力变化趋向为先降低后稳定, 海拔高度较高处红土的土压力变化趋向为先升高后稳定, 孔隙水压力有上升趋势。梁谏杰等^[9] (2017) 通过土工试验和理论分析相结合的研究方法, 用 Excel 软件对试验数据进行分析, 研究了干湿循环作用和含砂红粘土力学性质变化之间的关系, 表明在干湿循环过程中, 不同含砂比例的红粘土比重都呈先升高后降低的变化趋向, 剪切强度和剪切强度参数都有减小趋向, 干密度有增大趋向, 且最后都在经过约 10 次循环后趋于稳定。

3. 开裂特性

赵贵刚等^[10] (2017) 在考虑增湿和脱湿次数等影响因素下, 通过室内试验研究了红土裂缝的产生及其发展变化规律, 表明起始干密度越大, 红土试样在干湿循环作用下越易裂开, 当干密度为 1.20g/cm³ 时, 土样一直不开裂; 当干密度增加到 1.30 和 1.40g/cm³ 时, 红壤试样在第三次增湿中开裂; 当干密度增至 1.50g/cm³ 时, 红壤样品在第二次增湿中裂开, 除湿过程对红土试样破裂进程的影响明显小于增湿过程。

4. 胀缩特性

范本贤等^[11] (2018) 以云南红土为探究对象, 通过胀缩试验的方法研究了干湿循环次数对红壤胀缩特性的影响, 表明在干湿循环过程中, 红壤的胀缩过程均可以分为急速、平

收稿日期: 2022-02-14

作者简介: 田俊 (1996-), 男, 昆明理工大学, 硕士生。

张祖莲 (1964-), 女, 昆明理工大学, 副教授。

谢道春 (1997-), 男, 昆明理工大学。

缓和稳定三个阶段；随除湿次数的增加，稳态水平收缩率、垂直收缩率和体积收缩率均先增加后缓慢波动变更；随加湿次数的增加，稳态横向膨胀率、垂直膨胀率和体积膨胀率均先快速增加而后缓慢降低。

5. 土-水特性

黄英等^[12] (2018) 采用压力板仪法，在考虑起始干密度及含水率等影响因素下探究了干湿循环条件下云南非饱和红壤的土水特性，表明干湿循环过程中，各因素影响下红壤的基质吸力均随含水量的增加而降低，其土水特征曲线呈倒 J 形或直线型，其吸湿和除湿变化过程都可分为快速、平缓 and 稳定三个阶段。

6. 渗透特性

杨恒等^[13] (2019) 采用不定水头入渗试验的方法，以干湿循环作为管控条件，在考虑干密度和干湿循环次数的作用下探究了干湿循环对云南红壤渗透特性的影响，表明入渗前后红壤样品的质量和含水量都随干湿循环次数的增加而降低；在入渗过程中，初始入渗水头差和渗透系数均随初始入渗时间的增长而减小。

7. 抗压特性

唐芸黎等^[14] (2021) 以干湿循环为管制条件，通过室内开展云南红土的无侧限抗压强度试验，研究了干湿循环次数、初始含水率和干密度三种影响因素下除湿红土无侧限抗压强度的变化规律，表明干湿循环后除湿红土的应力与应变关系曲线呈明显的应变软化特征；与干湿循环前相比，干湿循环后除湿红土的无侧限抗压强度增加，除湿红土的无侧限抗压强度随着干湿循环次数的增多而降低；干湿循环前，随初始含水率的升高，素红土的无侧限抗压强度降低，干湿循环后，去湿红土的无侧限抗压强度增加，且其相应的峰值应变均增加；干湿循环前后红土的无侧限抗压强度都随干密度的增加而提高，相应的峰值应变亦呈增加趋势。

二、其它情况下云南红土的工程特性

1. 土壤固化剂加固下红土的抗剪强度特性

黄英等^[15] (2003) 通过室内直剪试验，研究了添加土壤固化剂后红土的剪切强度特性，表明在红土中添加土壤固化剂可以明显改进红土的剪切应力-位移关系，显著增强红土的抗剪能力；固化前后红土的归一化关系和剪切应力-位移关系均近似为双曲线，并且固化后的双曲线参数均随垂直压力变化而呈减小趋势；固化后红土的极限剪切位移模量、剪切应力的渐近值和平均剪切位移模量都随垂直压力的增加而增大，且相比固化之前均有不同水平的提高。

2. 不同排水条件下加筋红土的抗剪强度特性

黄英等^[16] (2006) 采用土工织物和玻璃纤维作为加筋材料，研究了在排水情况不同时加筋前后红土的剪切强度特性，表明在完全固结排水情况下，红土剪切强度随其加筋层数的增多而增大；在固结不排水情况下，随着红土加筋间隔的缩小，其剪切强度逐步增大；在完全不固结不排水情况下，红土加筋与围压的增加均会使其剪切强度降低。

3. 不同胶结材料添加下红土的胶结特性

黄英等^[17] (2007) 通过直剪实验研究了添加不同类型胶结材料对红壤胶结强度的影响，表明在红壤中添加不同类型的胶结材料均可使红壤形成胶结强度，垂直压力增加则红壤胶结强度也增大，但其增大水平减小，且红壤胶结效果决定于胶结材料的类型、放置时间和添加比例等因素。

4. 不同含水率下红土的剪切特性

黄英等^[18] (2013) 通过室内剪切实验研究了不同含水率下云南红壤的剪切特性，表明随着含水率的增加，红壤的紧缩变形逐步增大，内摩擦角和剪切强度逐步减小，其黏聚力在最佳含水率左右存在最大值；在湿润状态下，随含水率的增加黏聚力减小，在干燥状态下，随含水率的增加黏聚力增大。

5. 不同浸泡条件下红土的抗剪强度特性

邓欣等^[19] (2013) 通过直剪试验，在考虑浸泡时间、起始含水率及干密度等影响因素下探究了浸泡对红壤抗剪强度的影响，表明随着浸泡时间的延长，起始干密度和含水率不同的红壤剪切强度变动趋向不同；起始含水率越小、干密度越大，红壤剪切强度降低越快。

6. 不同击实次数下红土的抗剪强度特性

黄英等^[20] (2014) 通过击实和直剪实验研究了红土的剪切强度特性，表明随击实次数的增加，红土的剪切强度与内摩擦角增加，较松形态黏聚力增加，较密形态黏聚力降低；低于最佳含水 3%~5% 和 25 击上下，红土的黏聚力和剪切强度可达至最大值。

7. 磷污染红土在迁移条件下的物理特性

杨小宝等^[21] (2016) 以云南红壤为研究对象，通过六偏磷酸钠污染红壤的土柱迁徙试验，研究了不同土柱位置深度磷污染红壤物理特性的迁徙变化，表明磷污染会使红壤的物理特性发生变化，磷污染红壤在土柱表层的塑性指数、粘粒含量和相对质量均会增加；磷污染红壤的粘粒含量和相对质量随土柱深度的增大而降低，塑限、液限以及塑性指数在 3~5cm 处有最小值。

8. 不同降雨强度下红土坡面土壤的侵蚀特性

洪斌等^[22] (2016) 通过室内人工降雨和理论分析研究了坡度、坡长与降雨强度和红土坡面上红壤侵蚀之间的联系，表明在同样坡度和坡长情况下，红壤坡面的侵蚀模数与降雨强度为幂函数关系；在同样降雨强度和坡度情况下，红壤坡面侵蚀模数与坡长为二次函数关系；在同样降雨强度与坡长情况下，红壤坡面侵蚀模数和坡度亦为二次函数关系；红壤坡面侵蚀模数随坡长和降雨强度的增加而增大；坡度高于临界坡度 21.4° 的情况下，坡度增加则坡面侵蚀模数降低；坡度低于临界坡度 21.4° 的情况下，坡度增加则坡面侵蚀模数增大。

9. 不同酸碱值下红土的抗剪强度特性

潘泰^[23] (2017) 通过人工制作污染红土试样，开展室内试验研究了红土受到不同酸碱值溶液污染后的剪切强度特性，表明养护时间一定时，随着垂直压力的增大，红土在不同酸碱值下的剪切强度均逐步增加，且呈酸性条件下的剪切

强度大多比呈碱性条件下的剪切强度大。

10. 不同酸性酸雨浸泡作用下红土的剪切特性

张浚枫等^[24] (2017) 通过自配制的酸雨溶液模仿浸泡的试验方法, 在考虑酸碱值和时间的影响下探究了酸雨浸泡后红土剪切特性的变化, 表明酸雨酸性越强, 浸泡时间越长, 红土剪切强度损伤越大; 浸泡第一天时, 红土剪切强度和其特征参数减损跨度最大, 并且其随酸性的减小而波动增大。

11. 坡面红土在降雨影响下的起动特性

张祖莲等^[25] (2017) 通过力学建模和模型试验相结合的研究方法, 联系降雨影响下坡面红壤的侵蚀过程及现象, 研究了坡面红壤在降雨影响下起动的的作用因素以及其起动的的前提条件, 表明坡面红壤的侵蚀在降雨影响下主要表现为溅蚀和结皮两种现象; 坡面红壤颗粒的起动受到红壤黏聚力的抑制作用, 并且坡面红壤颗粒起动的临界切应力随剪切强度的增加而增大; 降雨影响下坡面红壤颗粒起动的临界切应力与红壤的剪切强度、粒度大小和坡面径流特性等紧密关联, 松散的坡面红壤颗粒在较小的径流切应力下就可以起动。

三、结论

文中对云南红土在多种情况下的工程特性进行了综合的分析总结, 对于红土在大多常规情况下的工程特性已经较为明了, 但在实际工程中, 影响红土工程特性的因素还有很多, 并且目前的相关研究主要是以室内试验方法为主针对红土的宏观工程特性进行的, 因此在今后需要更加深入的了解各种更复杂条件下红土的工程特性, 同时也应当着重加强红土在模型、理论以及微观结构等方面的研究。

参考文献

- [1] 李剑寒, 黄英, 唐森涛等. 基于强度折减法的云南红土型边坡数值分析[J]. 中国水运(下半月), 2020, (1).
- [2] 褚卫军. 干湿循环作用下红粘土胀缩变形特性及裂缝扩展规律研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.
- [3] 杜少少, 洪勃, 王力等. 陕北黄土地层地貌特征及工程特性综述[J]. 中国地质调查, 2018, (6).
- [4] 程富阳, 黄英, 周志伟等. 干湿循环下饱和红土不排水三轴试验研究[J]. 工程地质学报, 2017, (4).
- [5] 张祖莲, 梁谏杰, 黄英等. 干湿循环作用下红土抗剪强度与微结构关系研究[J]. 水文地质工程地质, 2018, (3).
- [6] Peng Liu, Chong Liu, Li Min Kang, Lu Lu Ji. The Experiment and Research of Yunnan laterite's Shear Strength under Function of Dry-Wet Cycle[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, (3).
- [7] 梁谏杰, 张祖莲, 黄英等. 干湿循环作用下加砂对红土抗剪强度及微结构特性的影响[J]. 山地学报, 2019, (6).
- [8] 周志伟, 黄英, 程富阳等. 干湿循环下云南红土型坝坡模型试验研究[J]. 勘察科学技术, 2017, (5).
- [9] 梁谏杰, 张祖莲, 邱观贵等. 干湿循环下云南加砂红土物理力学特性研究[J]. 水文地质工程地质, 2017, (5).
- [10] 赵贵刚, 黄英, 张浚枫等. 干湿循环作用下云南红土裂缝发展研究[J]. 水土保持学报, 2017, (2).
- [11] 范本贤, 黄英, 孙书君等. 云南红土的循环胀缩特性研究[J]. 水土保持学报, 2018, (2).
- [12] 黄英, 程富阳, 金克盛. 干湿循环下云南非饱和红土土-水特性研究[J]. 水土保持学报, 2018, (6).
- [13] 杨恒, 黄英, 周丹等. 干湿循环对云南红土渗透性的影响[J]. 科学技术与工程, 2019, (27).
- [14] 唐芸黎, 黄英, 贺登芳等. 湿-干循环作用下脱湿红土的无侧限抗压强度特性[J]. 土木与环境工程学报(中英文): 1-11[2022-03-05].
- [15] 黄英, 符必昌, 李琴书. 土壤强固剂加固红土的剪切特性[J]. 云南水力发电, 2003, (4).
- [16] 黄英, 符必昌, 金克盛等. 不同排水条件加筋红土三轴试验研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2006, (1).
- [17] 黄英, 何发祥, 金克盛等. 胶结材料对云南红土胶结特性的影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2007, (5).
- [18] 黄英, 张祖莲, 金克盛等. 含水条件变化对云南红土性状的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2013, (6).
- [19] 邓欣, 黄英, 刘鹏. 云南红土浸泡条件下抗剪强度的损伤特性[J]. 岩土工程技术, 2013, (4).
- [20] 黄英, 张祖莲, 金克盛. 昆明击实红土的抗剪强度特性研究[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2014, (1).
- [21] 杨小宝, 黄英, 任礼强等. 迁移条件下磷污染红土的物理特性研究[J]. 四川建筑科学研究, 2016, (4).
- [22] 洪斌, 张祖莲, 黄英等. 人工降雨条件下云南红土坡面土壤侵蚀特性[J]. 水土保持通报, 2016, (4).
- [23] 潘泰. 不同 pH 值下剪切红土的抗剪强度特性研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, (36).
- [24] 张浚枫, 黄英, 范本贤等. 酸雨浸泡作用下云南红土的剪切特性[J]. 环境化学, 2017, (6).
- [25] 张祖莲, 洪斌, 黄英等. 降雨作用下坡面红土起动条件研究[J]. 水土保持学报, 2017, (3).