

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.06.009

含水条件变化对云南红土性状的影响

黄英,张祖莲,金克盛,刘鹏

(昆明理工大学电力工程学院,云南昆明 650500)

摘要:考虑含水率、浸泡等不同含水条件,研究含水条件变化对云南红土性状的影响。结果表明:含水率增大,云南红土呈现出抗剪能力、抗压能力降低的损伤特征;其黏聚力在最优含水率附近存在最大值;偏干状态下,黏聚力随着含水率的增大而增大,偏湿状态下,黏聚力随着含水率的增大而减小;随着含水率的增大,其内摩擦角和抗剪强度逐渐减小,压缩变形逐渐增大。浸泡条件下,云南红土呈现出颗粒减小、相对质量降低、可塑性减弱、胶结能力降低、承载能力降低的损伤特征;随浸泡时间的延长,抗剪强度减小。分析其实质在于含水条件变化损伤了红土颗粒及其颗粒间的连接,其含水条件影响机理可以从吸附作用、软化溶解作用和润滑作用几个方面来解释,这几个方面综合作用的结果造成云南红土的性状发生变化。

关键词:云南红土;含水率影响;浸泡影响;含水性状;影响机理

中图分类号:TU446 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2013)06-0518-07

Influence of variation of moisture conditions on characteristics of Yunnan laterite

HUANG Ying, ZHANG Zulian, JIN Kesheng, LIU Peng

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: The influence of the variation of moisture conditions on the characteristics of the Yunnan laterite was studied, considering the moisture content and immersion. The results show that both the shear strength and compress strength of the laterite samples decreased with the increase of the moisture content, and the maximum cohesion was detected at the optimum moisture content. The cohesion increased with greater amounts of water in drier samples and decreased with greater amounts of water in wetter samples. In addition, the internal friction angle and shear strength became smaller and the compression deformation became larger when the moisture content increased. When immersed, the laterite samples showed a decrease in particle size, relative quality, plasticity, cementation, and carrying capacity, and the shear strength became smaller with the extension of the immersion time. The nature of the damage is that the variation of the moisture conditions causes damage to laterite particles and breaks the connection between the particles, and its mechanism can be described through water's absorption, softening, dissolving, and lubricating functions, which have a combined effect that causes variation of the characteristics of the Yunnan laterite.

Key words: Yunnan laterite; influence of moisture content; influence of immersion; moisture characteristics; influencing mechanism

对于具有特殊性质的云南红土^[1],受含水条件的影响甚为显著,其工程地质特性与含水状态密切相关,含水状态的变化必然引起红土性质发生相应的变化,造成红土性能的损伤劣化,影响红土的结构稳定性。云南干湿分明、降雨集中的气候特点,特别是近几年极端干旱气候的作用,造成红土含水状态的变化更为显著,

收稿日期:2012-12-30

基金项目:国家自然科学基金(50868009,51168022);云南省教育厅基金(2011Y354)

作者简介:黄英(1963—),女,重庆人,教授,硕士,主要从事特殊土体的研究。E-mail:huangying3764@sina.com

红土工程地质特性的损伤更为严重,出现了一系列的红土安全问题。因而,研究含水条件对云南红土的影响具有现实意义。

目前,关于含水条件对土体性质的影响已开展了较多研究。宋日英等^[2-5]分别研究了不同含水条件下黄土和膨胀土的强度变形特性,明确了含水率对黄土和膨胀土强度变形特性的影响。关于红土,刘春等^[6]通过三轴试验研究了贵州毕节红黏土的强度特性,表明非饱和红黏土的抗剪强度与含水率之间存在指数函数关系;毕庆涛等^[7]通过直剪试验研究表明,红黏土的黏聚力与含水率之间存在阶梯状关系,内摩擦角随含水率的增加变化不显著;史文兵等^[8]根据贵阳红黏土的直剪试验结果,建立了红黏土的抗剪强度参数与含水率的关系;王中文等^[9]研究了广梧高速云浮段红黏土抗剪强度的水敏性,表明高含水率和低含水率的红黏土抗剪强度相差较大,抗剪强度随着含水率的增加而减小,其中黏聚力随含水率的增加呈一阶指数衰减,内摩擦角随含水率的增加呈现分段函数的特征,并提出临界含水率抗剪强度面的概念来判别土体是否达到抗剪强度;杨庆等^[10]探讨了非饱和红黏土的抗剪强度指标与含水率之间的相关关系;王英辉等^[11]通过三轴剪切试验和无侧限抗压强度试验,研究了饱和前后击实红黏土的抗剪强度特征,表明脱湿过程或加湿过程中红黏土的强度随含水率的变化显著;王洋等^[12]研究了残积红黏土在含水率变化模式下力学性质的变异性,表明含水率的变化对红黏土的黏聚力和内摩擦角都有影响,且对黏聚力的影响远大于对内摩擦角的影响;周敏等^[13]通过直剪试验研究了红黏土水-土作用的力学效应,表明红黏土的抗剪强度都随含水率的升高而减小。

但对于云南红土,由于其特殊的区域性,目前还缺乏相应研究。因此,本文针对云南红土,考虑含水率、浸泡等不同含水条件,研究含水条件变化对云南红土性状的影响。

1 含水率对云南红土强度压缩性的影响

本文试验土样取自昆明阳宗海红土,其相对质量 2.855,粉粒(粒径 $d=0.075\sim0.005\text{ mm}$)质量分数为 55.0%,黏粒($d<0.005\text{ mm}$)质量分数 42.5%,塑限 28.7%,液限 45.5%,塑限指数 17.2,最大干密度 1.40 g/cm^3 ,最优含水率 26.4%,表明该红土属低液限红黏土。需要说明的是,本文的含水率是指备样时的含水率,备样过程和制样过程是两个环节。备样是指按照要求的含水率,对给定的松散红土进行加水、浸润、拌和,这时土体处于松散状态;而制样是指将备好样的松散红土按照击样法击实到所要求的干密度,这时土体处于密实状态。因为制好样后及时进行强度试验,所以黏聚力的变化主要取决于备样时红土颗粒自身吸附水的能力和制样时红土颗粒之间的吸附能力。

1.1 含水率对红土抗剪强度指标的影响

1.1.1 含水率对红土黏聚力的影响

图 1 为干密度分别为 1.40 g/cm^3 和 1.00 g/cm^3 时红土的抗剪强度指标与含水率的关系。图 1(a)表明,红土的黏聚力随含水率的变化存在最大值,这一最大值对应的含水率约为 27.5%,稍小于塑限,稍大于最优含水率 26.4%。当含水率小于最优含水率时,其黏聚力随着含水率的增大而增大,约在最优含水率和塑限之间达到最大;当含水率大于塑限时,其黏聚力随着含水率的增大而减小;干密度越大,黏聚力越大,干密度越小,黏聚力越小,干密度 1.40 g/cm^3 时红土的黏聚力大于干密度 1.00 g/cm^3 时红土的黏聚力。这是因为含水条件、干密度不同,水在红土中的存在方式不同。

若含水率较小,备样时,红土颗粒表面吸附的水膜较薄,水在红土中以强结合水方式存在,红土颗粒自身吸附水的能力较强。制样时,土体偏干,强结合水的存在导致颗粒之间的吸附能力较弱,颗粒移动困难,需要较大击实功才能达到要求的干密度,这时,土体处于偏干的半固态,孔隙以气体为主,气体隔开了红土颗粒,导致颗粒之间缺乏有效连接,因而连接较弱,表现为黏聚力较小。

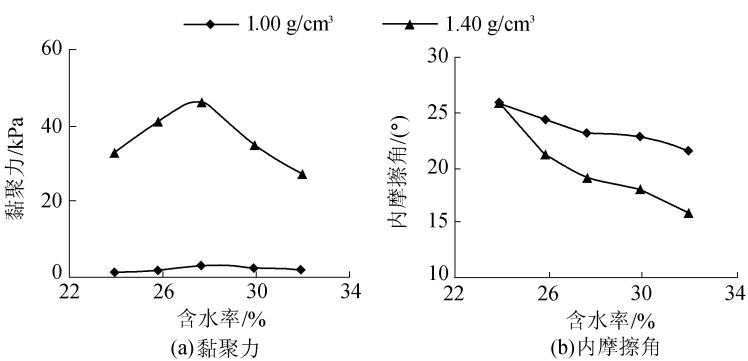


图 1 含水率对红土黏聚力和内摩擦角的影响

Fig. 1 Influence of moisture content on cohesion and internal friction angle of laterite

随着含水率增大,备样时,红土颗粒表面吸附的水膜增厚,水在红土中的存在方式转化为以弱结合水为主,红土颗粒自身吸附水的能力减弱。制样时,土体湿润,弱结合水的存在导致颗粒之间的吸附能力较强,颗粒较易移动,只要较小击实功就能达到要求的干密度,这时,红土由半固态向可塑态转化,孔隙中的气体减少,颗粒之间由于弱结合水的存在连接作用增强,因而黏聚力增大;接近塑限,孔隙气体的减少导致以弱结合水为主的水膜恰好增厚到足以使红土颗粒之间的连接作用达到最强,因而黏聚力最大。

当含水率进一步增大,备样时,红土颗粒表面吸附的水膜进一步增厚,水在红土中的存在方式转化为以自由水为主,红土颗粒自身吸附水的能力进一步减弱。制样时,土体偏湿,自由水的存在导致颗粒之间的吸附能力减弱,水的润滑作用增强,颗粒更易移动,这时,红土处于偏湿的可塑态,孔隙中的气体越来越少,颗粒之间由于自由水的存在连接作用越来越弱,因而黏聚力越来越小。

同样含水条件下,由于试验土样的体积、土质相同,因而干密度越大,土样越密实,孔隙越小,孔隙占据的空间越少,相应的,土颗粒占据的空间越多,表明土颗粒越多,颗粒之间的距离越小,引力越大,粒间连接作用越强,因而黏聚力越大。

1.1.2 含水率对红土内摩擦角的影响

图1(b)表明,含水率的增大损伤了红土的内摩擦阻力。红土的内摩擦角随着含水率的增大逐渐减小,干密度越小,内摩擦角越大,这是因为干密度小的红土试样在外荷载作用下易发生瞬时错动变形,导致粒间咬合作用增强的缘故。

干密度相同,含水率较低时,土体偏干,红土颗粒吸附水的能力强,颗粒粗糙度大,摩擦阻力较大,颗粒错动困难,需要较大的外荷载才能促使颗粒移动,因而内摩擦角较大;随着含水率的增大,红土颗粒的粗糙度降低,水在红土颗粒间的润滑作用加强,摩擦阻力减小,因而内摩擦角减小。

含水率相同,干密度越小,孔隙越多,土体越松散,颗粒间多以点接触连接为主,咬合程度较低,结构稳定性较差,外荷载作用下极易发生瞬时错动变形,导致较小颗粒或团粒立即充填在较大孔隙中,促使原有颗粒间的点接触连接瞬时转向以面接触连接为主,粒间咬合程度陡然增强,颗粒错动困难,摩擦能力提高,内摩擦角增大。干密度越大,孔隙越小,土体越密实,颗粒间以面接触连接为主,咬合程度较弱,连接力较强,结构稳定性较好,外荷载作用主要用于克服颗粒间的连接力,摩擦能力减弱,内摩擦角减小。

1.2 含水率对红土抗剪强度的影响

图2(a)反映了干密度分别为 1.40 g/cm^3 和 1.00 g/cm^3 时红土的加权抗剪强度与含水率的关系。图2(a)表明,红土的抗剪强度随含水率的增大逐渐减小,干密度越大,抗剪强度越大。

干密度相同,含水率较低时,强结合水的存在使红土处于半固态,颗粒之间的连接力弱,结构稳定性强,能够承受较大的外荷载,因而抗剪强度大,且颗粒粗糙导致红土颗粒之间的内摩擦阻力大;随着含水率的增大,强结合水外弱结合水的存在使红土由半固态向可塑态转化,颗粒之间的连接力增强,红土的可塑性增强,结构稳定性降低,承受外荷载的能力减弱,因而抗剪强度减小。随着含水率的进一步增大,弱结合水膜的进一步增厚使红土由塑态向液态转化,红土的可塑性减弱,与水作用的能力降低,弱结合水外自由水的存在导致水的润滑作用加强,红土的结构稳定性进一步降低,因而抗剪强度进一步减小。这一阶段,水的润滑作用导致红土颗粒之间的内摩擦阻力和颗粒之间的连接力进一步减弱。

而同样含水条件下,干密度越大,红土的密实性越好,黏聚力越大,结构越稳定,内摩擦角越小,承受外荷载的能力越强,但二者综合作用的结果最终导致红土的干密度越大,抗剪强度越大。

1.3 含水率对红土压缩性的影响

图2(b)为干密度为 1.40 g/cm^3 的条件下含水率与红土压缩变形之间的关系。由图2(b)可见,随着含水率的增大,红土的压缩变形量增大。当含水率由 26.5% 增加为 34.2% 时,200kPa 的压力下的压缩变形量由

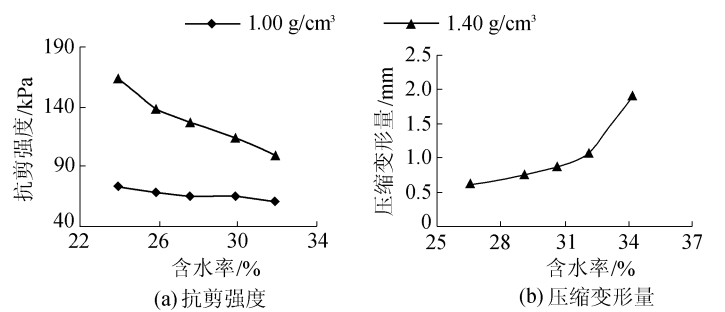


图2 含水率对红土抗剪强度和压缩性的影响

Fig. 2 Influence of moisture content on shear strength and compression of laterite

0.612 mm 增大到 1.895 mm;含水率小于 32.0%,压缩变形量随含水率增大较平缓;当含水率超过 32.0%,压缩变形量的增长较大。说明含水率的增大降低了红土抵抗压缩破坏的能力,含水量越多,压缩性越强,实质上是损伤了红土的结构稳定性。

相同干密度下,含水率较小、低于塑限时,红土处于半固态,结构稳定性强,可塑性差,抵抗压缩的能力强,因而变形量小,这时主要排除红土孔隙中的气体;含水率较大、高于塑限时,红土处于可塑态,可塑性强,结构稳定性降低,抵抗压缩的能力减弱,因而变形量增大,这时既排除红土孔隙中的气体也排除红土孔隙中的水;含水率更大时,红土由可塑态向液态转化,可塑性减弱,润滑作用增强,结构稳定性进一步降低,外荷作用下更易受到压缩,因而变形量进一步增大,这时主要排除红土孔隙中的水。而同样含水条件下,干密度越大,红土的密实程度越高,结构稳定性越好,抵抗压缩的能力越强,因而变形量越小。

2 浸泡对云南红土胶结能力和承载能力的影响

2.1 浸泡对红土胶结能力的影响

表 1 为云南红土浸泡前后的特性参数,其浸泡控制条件是针对松散红土采用水溶液浸泡,其中,铁离子质量浓度对应浸泡时间 10 个月,其他参数对应浸泡时间 20 d。为比较红土在水溶液中铁离子的迁移程度,同时用质量分数为 7% 的盐酸浸润红土并在水溶液中浸泡 7 d 进行对比。

表 1 浸泡前后红土的特性参数
Table 1 Characteristic parameters of laterite before and after immersion

浸泡条件	$\rho(\text{铁离子})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$w(\text{粉粒})/\%$	$w(\text{黏粒})/\%$	相对质量	塑性指数	pH	烧失量/ %	阳离子交换量 /($\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)
	水溶液	盐酸溶液							
浸泡前	<0.10	0	55.0	42.5	2.855	17.2	5.90	0.17	0.065 4
浸泡后	0.23	1.45	54.1	43.0	2.853	17.0	6.37	1.00	0.073 3

表 1 表明:

- a. 该红土在水溶液中浸泡 10 个月,水溶液中铁离子质量浓度增加了 0.13 mg/L 以上;特别是质量分数为 7% 的盐酸浸泡 7 d 后,其水溶液中的铁离子质量浓度达到 1.45 mg/L。说明水的浸泡作用尤其是盐酸的腐蚀作用^[14]损伤了红土中的胶结物质,导致红土中的铁离子在水溶液中发生迁移,降低了红土颗粒之间的连接能力,这与代志宏等^[15]的研究一致。
- b. 与浸泡前比较,浸泡后,红土的 pH、烧失量以及阳离子交换量都增大,pH 增大了 0.47,烧失量增大了 0.83%,阳离子交换量增大了 0.007 9 mmol/g。pH 的增大说明浸泡后红土的酸性减弱,浸泡水溶液呈碱性(pH 为 8.16),汤连生等^[16]的研究表明碱性水溶液使含铁离子物质的胶结作用降低;烧失量的增大说明浸泡出了更多的有机质;阳离子交换量的增大说明浸泡后离子交换作用加强;其综合作用的结果表明浸泡作用减弱了红土颗粒之间的联结,造成红土颗粒及其连接的损伤。
- c. 颗粒分析表明,该红土经过 20 d 的浸泡,其粉粒由浸泡前的 55.0% 减小为浸泡后的 54.1%,黏粒由浸泡前的 42.5% 增加为 43.0%,说明浸泡作用损伤了红土颗粒及其颗粒间的连接,导致红土颗粒变细,粉粒减少,黏粒增加,其实质在于浸泡作用减弱了红土颗粒的团粒化程度,使较粗的颗粒分散成较细小的颗粒。
- d. 浸泡减小了红土的相对质量,由浸泡前 2.855 减小为浸泡后的 2.853。相对质量减小说明红土颗粒的质量减小,而红土颗粒的质量与红土中铁离子的质量浓度密切相关,质量减小表示红土中铁离子的质量浓度减小,而且水溶液中铁离子质量浓度的增大表明红土中铁离子的流失(浸泡前后水溶液中铁离子质量浓度增大了 0.13mg/L 以上),浸泡作用使铁离子迁移到水溶液中,其结果必然损伤红土中铁离子的胶结能力。
- e. 浸泡减弱了红土的可塑性,塑性指数由浸泡前的 17.2 减小为浸泡后的 17.0。塑性指数减小说明浸泡作用引起红土可塑性降低,红土颗粒与水作用能力减弱。这是因为浸泡过程中水的软化作用损伤了红土颗粒之间的连接能力,虽然引起黏粒含量的增大,但溶解作用导致对红土颗粒起重要胶结作用的铁离子流失,必然减弱红土颗粒对水的吸附能力。
- f. 浸泡前后该红土的基本特性参数发生了变化,说明浸泡作用对红土具有重要影响,从而改变了红土的特性。这是由于浸泡作用改变了红土的含水状态,浸泡过程中水对红土颗粒及其胶结物质的软化溶解作用引起红土中的离子特别是铁离子的迁移,损伤了红土颗粒之间的胶结能力,进而损伤了红土的承载能力。

2.2 浸泡对红土承载能力的影响

图3(a)为浸泡过程中红土的含水率增量与浸泡时间的关系,图3(b)为400 kPa 压力下红土的抗剪强度随浸泡时间的变化。图中1号试样的含水率为28.0%,干密度 1.30 g/cm^3 ,2号试样的含水率为32.0%,干密度 1.26 g/cm^3 ,3号试样的含水率为32.0%,干密度为 1.13 g/cm^3 。

图3(a)表明:不同初始控制条件下,红土经过浸泡,其含水率增大。浸泡初期,试样的内外含水梯度大,吸水较快,含水率增量,这一浸泡时间约为0.5 h,1号样含水率增长了9.3%,2号样增长了4.4%,3号样增长了9.2%;后随浸泡时间的延长,试样的内外含水梯度减小,吸水变慢,含水率增长不明显,2号逐渐增大,1号和3号呈动态变化(这可能与制样不均匀有关)。说明浸泡过程中红土的吸水集中在最初的短时间内,而且土样越干或密实性越差,吸水性越好。初始含水率相同的2号和3号试样比较,由于2号试样的干密度大于3号,所以表现出2号的吸水率小于3号;而1号试样虽然干密度较大,但由于其初始含水率较小,因而能够吸入较多的水而使含水率增大。

图3(b)表明,不同初始控制条件下的红土经过浸泡,其抗剪强度降低。浸泡初期,抗剪强度下降较快,这一浸泡时间约为0.5 h,1号样抗剪强度下降了50.0%,2号样下降了34.0%,3号样下降了18.8%。1号样下降最大,是因为1号样初始含水率较少,浸泡后吸水较快的缘故。随着浸泡时间延长,抗剪强度呈动态变化,总体呈减小趋势,说明浸泡对红土抗剪强度的影响主要集中在最初的短时间内。

综合分析表明,浸泡作用削弱了红土抵抗剪切破坏的能力,损伤了红土的承载能力,降低了红土的结构稳定性。这是因为浸泡过程的吸附作用导致红土的含水率增大,一方面,必然导致水对红土颗粒及其颗粒之间的连接产生软化溶解作用,损伤红土颗粒之间的胶结能力,削弱颗粒之间的联结力,导致红土承载外荷载的能力降低;另一方面,水在红土颗粒之间起着润滑作用,造成颗粒间的摩擦能力降低,同样导致红土承载外荷载的能力降低,二者综合作用损伤了红土的承载能力。

3 云南红土的含水条件影响机理

分析表明,含水条件变化引起红土的性状变化,其含水条件影响机理可以从红土颗粒对水的吸附作用、水对红土颗粒的软化溶解作用以及水的润滑作用等几个方面来解释。

a. 吸附作用:红土颗粒间和颗粒内大量孔隙的存在促使红土具有强烈吸附水的能力。在含水率增大、浸泡等条件下,红土内外含水率不平衡,内部含水率小于外部含水率,为了达到平衡,红土颗粒不断吸附外界水来增大自身的含水率。含水率较少时,吸附作用强,水的黏滞性促使水在红土中起着一定的连接作用,红土的结构稳定性较好;随着含水率增大,吸附作用减弱,水的黏滞性降低,颗粒间的连接作用减弱,红土的结构稳定性降低;含水率的进一步增大,则造成红土颗粒及其颗粒间连接的软化和溶解。

b. 软化溶解作用:存在于红土中的水,由于水分子的楔入导致红土颗粒及其颗粒间的连接能力受到损伤。红土含水率较多、浸泡时间较长的条件下,一方面,红土在吸水过程中,由于吸附作用,除了红土颗粒吸附部分水以外,大量的水楔入红土颗粒之间,促使红土颗粒之间的水膜增厚,拉开了红土颗粒之间的距离,引力减小,损伤了红土颗粒间的连接能力,水起着软化红土颗粒及其颗粒间连接的作用;另一方面,由于水对红土颗粒间的胶结物质起着水解作用,导致胶结物质的溶解,进一步降低了颗粒间的连接能力,最终导致红土的结构稳定性降低。

c. 润滑作用:红土中大量水的存在,由于颗粒周围水膜的增厚导致红土颗粒易于滑动。红土含水率进一步增大、浸泡时间进一步延长的情况下,由于吸附作用,包裹红土颗粒的水膜越来越厚;由于软化溶解作用,红土颗粒之间的距离越来越大,引力越来越小,溶解的胶结物质增多,红土颗粒之间的连接能力进一步减

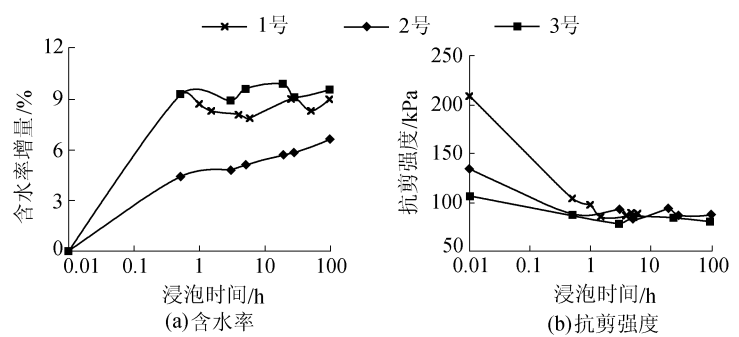


图3 浸泡对红土含水率和抗剪强度的影响

Fig. 3 Influence of immersion on moisture content and shear strength of laterite

弱,导致红土的结构稳定性进一步降低,抵抗外荷载的能力进一步减弱。

红土在含水率、浸泡等不同含水条件下,由于吸附、软化溶解、润滑几个方面的综合作用,导致含水红土的性状发生变化,引起红土的抗剪强度降低,压缩性增大,承受外荷载的能力减弱。

4 结 论

a. 含水条件的变化造成云南红土的性状发生变化,随着含水率的增大和浸泡时间的延长,红土的结构稳定性降低,呈现出抗剪能力、抗压能力、胶结能力减弱的损伤特征。

b. 含水率的增大损伤了云南红土抵抗剪切破坏和压缩变形的能力,其黏聚力在最优含水率附近存在最大值;偏干状态下,黏聚力随含水率的增大而增大;偏湿状态下,黏聚力随含水率的增大而减小;随含水率的增大,其内摩擦角和抗剪强度逐渐减小,压缩变形逐渐增大。

c. 浸泡作用损伤了云南红土的胶结能力和承载能力,引起红土呈现出颗粒减小、相对质量降低、可塑性减弱、胶结能力和承载能力降低的损伤特征。随着浸泡时间延长,红土的抗剪强度降低,特别是在浸泡初期,强度降低较大。

d. 含水条件变化影响红土性状的实质在于含水损伤了红土颗粒及其颗粒间的连接,其含水条件影响机理可以从红土颗粒对水的吸附作用、水对红土颗粒及其颗粒间胶结物质的软化溶解作用、水在红土颗粒间的润滑作用等几个方面来解释,这几个方面综合作用的结果引起云南红土的性状发生变化。

参考文献:

[1] 黄英,符必昌. 红土化作用及红土的工程地质特性[J]. 岩土工程学报,1998,20(3):40-44. (HUANG Ying,FU Bichang. Research on laterization and specific property of laterite in engineering geology[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,1998,20(3):40-44. (in Chinese))

[2] 宋日英,黄志全,陈宇. 密度及水分状态对黄土状粉土变形特征的影响[J]. 工程地质学报,2011,19(40):492-497. (SONG Riying,HUANG Zhiqian,CHEN Yu. Effects of density and moisture content on the deformation characteristics of loess-like silt[J]. Journal of Engineering Geology,2011,19(40):492-497. (in Chinese))

[3] 米海珍,李如梦,牛军贤. 含水量对兰州黄土剪切强度特性的影响[J]. 甘肃科学学报,2006,18(1):78-81. (MI Haizhen,LI Rumeng,NIU Junxian. The influence of water content on shear strength characteristics of Lanzhou intact loess[J]. Journal of Gansu Sciences,2006,18(1):78-81. (in Chinese))

[4] 缪林昌,仲晓晨,殷宗泽. 膨胀土的强度与含水量的关系[J]. 岩土力学,1999,20(2):71-75. (MIAO Linchang,ZHONG Xiaochen,YIN Zongze. The relationship between strength and water content of expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics,1999,20(2):71-75. (in Chinese))

[5] 李兆平,张弥,赵慧丽. 含水量的变化对非饱和土强度影响的试验研究[J]. 西部探矿工程,2001(4):1-3. (LI Zhaoping,ZHANG Mi,ZHAO Huili. The experiment study on unsaturated soil strength considering the influence of different water content[J]. West-China Exploration Engineering,2001(4):1-3. (in Chinese))

[6] 刘春,吴绪春. 非饱和红黏土强度特性的三轴试验研究[J]. 四川建筑科学研究,2003,29(2):65-66. (LIU Chun,WU Xuchun. Research of the strength characteristics of unsaturated red clay based on general tri-axial test[J]. Building Science Research of Sichuan,2003,29(2):65-66. (in Chinese))

[7] 毕庆涛,姜国萍,丁树云. 含水量对红黏土抗剪强度的影响[J]. 地球与环境,2005,33(3):144-147. (BI Qingtao,JIANG Guoping,DING Shuyun. Water content influence on the shearing strength of red clay[J]. Earth and Environment,2005,33(3):144-147. (in Chinese))

[8] 史文兵,廖仪玲,唐晓玲. 贵阳红黏土抗剪强度与含水量关系的探讨[J]. 路基工程,2011(4):80-81. (SHI Wenbing,LIAO Yiling,TANG Xiaoling. Discussion on the relationship between shear strength and water content of Guiyang red clay[J]. Subgrade Engineering,2011(4):80-81. (in Chinese))

[9] 王中文,洪宝宁,刘鑫,等. 红黏土抗剪强度的水敏性研究[J]. 四川大学学报:工程科学版,2011,43(1):17-22. (WANG Zhongwen,HONG Baoning,LIU Xin,et al. Water-sensitive properties of shear strength of red clay[J]. Journal of Sichuan University:Engineering Science Edition,2011,43(1):17-22. (in Chinese))

[10] 杨庆,贺洁,栾茂田. 非饱和红黏土和膨胀土抗剪强度的比较研究[J]. 岩土力学,2003,24(1):13-16. (YANG Qin,HE Jie,LUAN Maotian. Comparative study on shear strength of unsaturatedred clay and expansive soils[J]. Rock and Soil Mechanics,2003,24(1):13-16. (in Chinese))

[11] 王英辉,张全秀,田鹏程,等. 含水量变化对红黏土变形和强度特性的影响研究[J]. 工程勘察,2009,37(7):10-13. (WANG Yinghui,ZHANG Quanxiu,TIAN Pengcheng,et al. Effects of water content variation on the deformation and shear strength of laterite clay[J]. Geotechnical Investigation & Surveying,2009,37(7):10-13. (in Chinese))

[12] 王洋,汤连生,高全臣,等. 水土作用模式对残积红黏土力学性质的影响分析[J]. 中山大学学报:自然科学版,2007,46(1):128-132. (WANG Yang,TANG Liansheng,GAO Quanchen,et al. Effect of water-soil interaction on mechanical strength of residual red clay[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,2007,46(1):128-132. (in Chinese))

[13] 周敏,时凯. 红黏土的水-土作用力学效应试验研究[J]. 工程勘察,2011,39(12):17-19. (ZHOU Min,SHI Kai. Mechanical testing study on the interaction of water and soil for red clay[J]. Geotechnical Investigation & Surveying,2011,39(12):17-19. (in Chinese))

[14] 伯桐震,黄英,石崇喜,等. 酸污染红土物理性质的变化特征[J]. 水文地质工程地质,2012,39(2):111-115. (BO Tongzhen,HUANG Ying,SHI Chongxi,et al. Variation characteristics of physical properties of acid pollution laterite[J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2012,39(2):111-115. (in Chinese))

[15] 代志宏,吴恒,张信贵. 水土作用中铁对土体结构强度的影响[J]. 甘肃工业大学学报,2002,28(4):104-107. (DAI Zhihong,WU Heng,ZHANG Xingui. Influence of ferrous element participated in soil-water interaction on structural strength of soil body[J]. Journal of Gansu University of Technology,2002,28(4):104-107. (in Chinese))

[16] 汤连生,刘增贤,黄国怡,等. 红土中含铁离子物质的化学行为与力学效应[J]. 水文地质工程地质,2004,31(4):45-49. (TANG Liansheng,LIU Zengxian,HUANG Guoyi,et al. Chemical action and mechanical effect of the material with abundant iron ion in red soils[J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2004,31(4):45-49. (in Chinese))

+++++

· 简讯 ·

河海大学5门课程获“国家级精品资源共享课”立项

中华人民共和国教育部于2013年10月30日公布了第二批国家级精品资源共享课立项项目名单,河海大学有5门课程获得立项,分别是:武清玺教授负责的“理论力学”,邵国建教授负责的“弹性力学及有限单元法”,杨海霞教授负责的“结构力学”,赵振兴教授负责的“水力学”,郑金海教授负责的“海岸动力学”。

教育部开展国家级精品资源共享课建设,是落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》、实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的重要举措,旨在促进教育教学观念转变,引领教学内容和教学方法改革,推动高等学校优质课程教学资源通过现代信息技术手段共建共享,提高人才培养质量,服务学习型社会建设。教育部将给予每门课程10万元经费补贴,并对上网后社会反响良好的课程授予“国家级精品资源共享课”称号。

(本刊编辑部供稿)