

文章编号: 1005-0523(2020)01-0119-08

## 不同含水率红粘土的抗剪强度试验研究

罗文俊<sup>1</sup>, 王海洋<sup>1</sup>, 刘焕强<sup>2</sup>, 刘明星<sup>1</sup>

(1. 华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心, 江西 南昌 330013; 2. 中铁电气化局集团有限公司, 北京 100000)

**摘要:** 红粘土是一种典型的特殊土, 其遇水膨胀、失水收缩的特点会对红粘土地基、路基的稳定性造成重大影响。为了进一步了解红粘土的物理力学特性, 针对江西重塑红粘土的抗剪强度与含水率的关系进行了试验研究。室内直剪试验结果表明: 随着含水率的增加, 红粘土的抗剪强度和粘聚力均减小, 粘聚力与含水率的变化曲线近似“S”型, 而内摩擦角在一定范围内波动, 影响机理较为复杂; 通过 X 射线衍射试验分析得出, 江西红粘土的矿物成分主要有石英、云母、钾长石及少量的胶结物质氧化铁; 通过电镜扫描土样观察, 发现剪切破坏后红粘土的微观结构特征发生了巨大变化, 说明红粘土受到剪切作用后其微观结构的变化使得土体产生变形甚至破坏。

**关键词:** 红粘土; 不同含水率; 直剪试验; X 射线衍射试验; 电镜扫描; 抗剪强度

**中图分类号:** TU411      **文献标志码:** A

**DOI:** 10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.01.017

红粘土广泛存在于我国南方地区, 它是由母岩中矿物的迁移、过渡、交代、沉淀等过程, 经过一系列的化学、物理化学变化而形成的<sup>[1-2]</sup>。红粘土是一种具有特殊工程性质的土体, 具有较高含水率、高液塑限、孔隙比较大、密度大、压缩性低、遇水膨胀、失水收缩等特点<sup>[3]</sup>, 这些特点的存在一方面使得红粘土具有良好的地基承载力, 另一方面也使红粘土存在众多的工程隐患<sup>[4-5]</sup>。因此, 含水率是造成红粘土强度变化的重要因素, 进行含水率对红粘土抗剪强度的影响研究对现有工程具有重要意义。

胡展飞、傅艳蓉<sup>[6]</sup>针对上海软黏土的原状与重塑土分别进行了室内直剪试验研究, 发现抗剪强度参数和均随含水量的增加而减小; 王中文等<sup>[7]</sup>研究了广东云浮红粘土抗剪强度的水敏性, 发现其抗剪强度、粘聚力和内摩擦角均随含水率的增加呈衰减趋势; 刘小文、常立君等<sup>[8]</sup>以南昌地区红土为对象, 考虑不同含水率、干密度对其抗剪强度的影响, 进行室内直剪试验研究, 结果表明: 抗剪强度和粘聚力  $c$  随干密度的增大而递增, 内摩擦角  $\varphi$  则呈递减趋势, 随着含水率的增大,  $c$  逐渐减小而  $\varphi$  先增大后减小; 汤新福、赵云刚<sup>[9]</sup>研究了压实粘土抗剪强度与含水量的关系, 发现粘土的抗剪强度和内摩擦角  $\varphi$  随压实含水量的增大而减小, 粘聚力随压实含水量增加呈折线变化; 赵蕊等<sup>[10]</sup>以贵阳重塑红黏土为对象, 进行了三轴不固结不排水剪切试验, 结果表明: 贵阳重塑红黏土的不排水抗剪强度及粘聚力、内摩擦角均随含水量的增大而减小。

然而, 由于受到土体应力历史、矿物成分、内部微观结构形态等因素的影响, 土体抗剪强度随含水率的变化规律对于不同地域的土体具有显著的差异性<sup>[11]</sup>。国内外学者对江西省广泛分布的特殊红粘土研究较少。江西红粘土具有特殊的结构性, 二氧化硅含量高, 含网纹层, 为亚热带地区富硅铝铁的高岭土类型<sup>[12]</sup>。目前, 含水率对该类红粘土抗剪强度的影响机理尚不清晰。

本文对江西重塑红粘土的抗剪强度特性做了较为全面的试验研究, 研究了土体的抗剪强度参数(粘聚力、内摩擦角)随含水率的变化规律, 通过 X 射线衍射试验分析了江西红粘土的矿物组成及其含量占比, 通过电镜扫描观察, 用红粘土土样微观结构的变化很好地解释了宏观试验现象, 为本地区工程项目建设提供了试验基础。

**收稿日期:** 2019-05-09

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51768022); 江西省优势科技创新团队建设计划项目(20181BCB24011)

**作者简介:** 罗文俊(1979—), 女, 教授, 博士, 研究方向为铁路环境振动与噪声控制及轮轨动力学。

## 1 基本物理力学特性

### 1.1 基本物理指标

土样取自南昌市某施工工地旁的残积红土层,依据《公路土工试验规程》<sup>[13]</sup>,对红粘土样进行一系列的室内常规试验,得出红粘土的基本物理指标,试验结果见表1。

依据《土工试验技术手册》<sup>[14]</sup>,该土样液限大于40%,塑性指数大于17,为高液限红粘土,液性指数小于0,可判定其处于坚硬状态。

### 1.2 颗分试验

颗粒级配分析试验按照《公路土工试验规程》的要求进行,试验结果见表2。可以看出,颗粒粒径大于0.075 mm的含量所占的比例较大,说明红粘土未完全风化,含有风化不完全的矿物<sup>[15]</sup>。其矿物成分及含量有待进一步做X射线衍射试验分析。

表1 红粘土基本物理指标  
Tab.1 Basic physical indexes of red clay

含水率 $w/\%$	天然密度 $\rho/(g/cm^3)$	干密度 $\rho_d/(g/cm^3)$	比重 $G_s$	初始孔隙比 $e_0$	液限 $w_L$	塑限 $w_P$	塑性指数 $I_P$	液性指数 $I_L$
21.1	1.74	1.44	2.75	0.91	45.1	26.9	18.2	-0.32

表2 土样颗粒组成百分比  
Tab.2 Particle composition percentage of soil samples

土颗粒粒径/mm	$d>2$	$1<d\leq 2$	$0.5<d\leq 1$	$0.25<d\leq 0.5$	$0.075<d\leq 0.25$	$d\leq 0.075$
土颗粒含量/%	5.80	9.12	6.62	16.27	26.39	35.80

### 1.3 击实试验

按照土工试验方法标准<sup>[16]</sup>,采用余土高度“精确边击边测”的控制方法对土样进行击实试验<sup>[17]</sup>,由此来确定红粘土的最大干密度 $\rho_{dmax}$ 和最优含水率 $w_{op}$ 。图1为红粘土的击实曲线。

从图1试验结果可以看出,该击实曲线在峰值点处所对应的含水率即为红粘土的最优含水率,峰值点处所对应的干密度即为最大干密度,由此可知红粘土的最大干密度 $\rho_{dmax}=1.74 g/cm^3$ ,最优含水率 $w_{op}=16\%$ 。

### 1.4 X射线衍射试验

取适量烘干后的红粘土粉末装入样品框中,并用玻璃片一次性将样品压平。使用Bruker D8 FOCUS型X射线衍射仪测定衍射强度,利用XRD全谱拟合法对获得的XRD图谱进行半定量相分析。

分析得出,该红粘土样中主要成分为石英,其含量高达83.5%,其次为云母,占比12.4%,钾长石占比3.8%,氧化铁的含量很少,仅有0.3%。这可能是次生红粘土历经矿物的迁移、搬运、沉积,并发生一系列物理化学变化的结果,同时也反映了取土地红粘土地基的不均匀性。

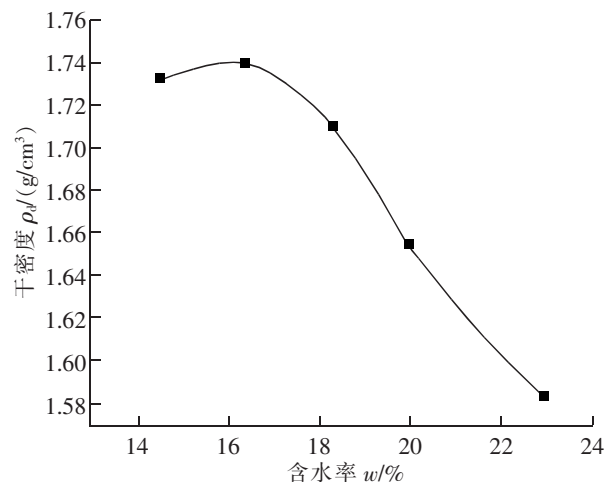


图1  $\rho_d-w$  关系曲线  
Fig.1  $\rho_d-w$  relation curve

## 2 抗剪强度试验

### 2.1 试样的制备及试验过程

#### 2.1.1 试验仪器

常规直剪试验在 ZJ-4 型四联直剪仪上进行。该试验装置为应变控制式直剪仪,位移计的量程为 10 mm,最小刻度值是 0.01 mm,所使用的环刀内径为 61.8 mm,高 20 mm,容积为 60 cm<sup>3</sup>。

#### 2.1.2 试样的制备及试验过程

首先取土样置于通风处风干,将风干后的红粘土放置于橡皮板上用木碾碾碎,过 2 mm 孔径的筛网,取筛下足量的土样,测出该风干土的含水率,然后按照设计含水率 14%,16%,18%,20%,22%,计算出每种含水率下所需要加水的质量,喷洒水雾至充分拌合均匀后,密封在塑料袋中浸润一昼夜备用。最后均以 95%的压实度(采用质量控制的方法来控制在±2 g)制成环刀土样,每种含水率下制成 4 个环刀样,共 20 个土样,每个环刀样的质量误差控制在±2 g。试样制备完毕后立即用保鲜膜将其包住,以防止水分的蒸发。由于本文是模拟土体不固结不排水并快速剪切至破坏的情形,故而进行快剪试验<sup>[18]</sup>。试样的制作过程严格遵守《土工试验规程》的相关规定。土样的实际含水率在直剪试验完成后进行测量,分别为 14.33%,16.37%,18.03%,19.33%,21.55%。

快剪试验中将制备好的土样装入直剪仪的剪切盒中,土样上下两面均依次为湿滤纸和透水石,其中湿滤纸的含水量应尽可能接近试样的含水量。试样装好后,对每组试验的 4 个土样分别施加 100,200,300,400 kPa 的垂直压力,以 0.8 mm/min 的速率进行剪切,使试样在 3~5 min 内剪坏,如测力计读数达到稳定或有显著后退,则表明土样已经剪坏,一般宜剪至剪切变形 4 mm,若测力计读数继续增加则应剪至剪切变形达到 6 mm 为止,记录土样在各级垂直荷载下的最大剪应力。

### 2.2 试验数据分析

通过对土样在试验前后的对比,从外观可以看出,试验前的土样整体比较密实,剪切破坏后高含水率土样产生较大的剪切位移,不容易开裂,呈现良好的塑性破坏特性。而低含水率土样在剪切破坏后易开裂破碎,呈现出脆性破坏特性。这与刘小文所研究的非饱和红土破坏特性较为一致<sup>[15]</sup>。

#### 2.2.1 红粘土的剪应力与剪切位移的关系

图 2 为不同含水率江西红粘土在竖直压力 200 kPa 下常规直剪试验的应力-应变关系曲线。可以看出,当含水率低于 18.03%时,江西红粘土的剪切破坏呈“软化”型,在剪应力达到峰值后,随着剪切位移的增大,剪应力迅速减小,土样破坏后,由于残余强度的存在而逐渐趋于稳定。但是,随着含水率的增大,红粘土的破坏类型呈现“硬化”型,如图中含水率分别为 19.33%与 21.55%的 2 条曲线,开始剪切时剪应力随剪切位移的增加而快速增大,剪切达到一定程度后,剪应力逐渐趋于稳定。由此可见,随着含水率的增大,江西红粘土的剪切破坏类型逐渐由“软化”型变为“硬化”型。这与傅鑫晖等所研究的桂林红粘土的强度特性随含水率的变化而改变的规律是相同的<sup>[19]</sup>。

#### 2.2.2 含水率对红粘土抗剪强度的影响分析

从图 3 可以很直观地看出,在同一种含水率下,土样的抗剪强度随着竖直压力的增大而增大,这可以用有效应力原理<sup>[20]</sup>来解释,竖直压力增大使得土颗粒间的有效应力剧增,从而引起土体的抗剪强度增大。而在相同的竖直压力下,土样的抗剪强度总体上是随着含水率的增大而减小的,含水率增大后,也就增加了土颗粒间水化膜的厚度,从而使得土体团粒之间比较容易滚动和滑移现象,降低了红粘土中游离氧化铁的胶结作用,导致土体强度急剧减小,但它们之间并未呈现出简单的线性关系,这相比于基质吸力与含水量成反比的规律较为一致。

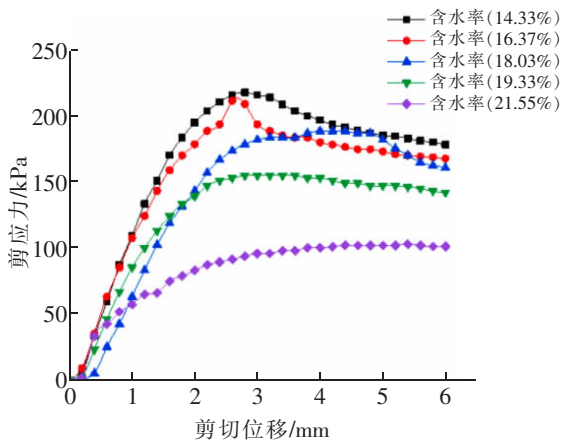


图2 不同含水率红粘土的应力-应变关系曲线  
Fig.2 Stress-strain curves of red clay with different moisture contents

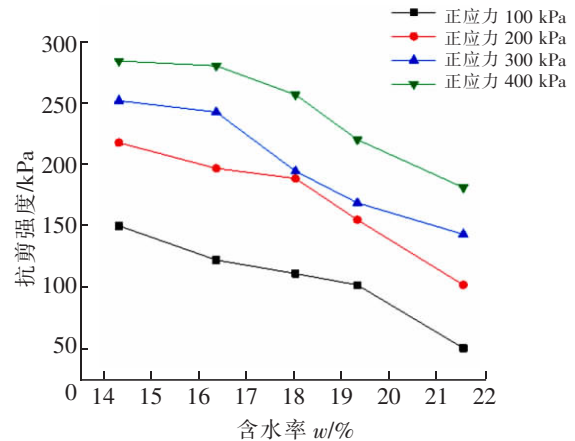


图3 不同竖直应力下含水率与抗剪强度的关系  
Fig.3 Relationship between moisture content and shear strength under different vertical stresses

### 2.2.3 抗剪强度特性分析

在岩土工程中,国内外学者从不同角度建立了土体材料强度理论公式<sup>[21]</sup>,比如特雷斯卡(Tresca)准则、米泽斯(Mises)准则、莱特-邓肯(Lade-Duncan)直线破坏准则、摩尔-库伦(Mohr-Coulomb)准则及莱特(Lade)破坏准则等等。其中,岩土工程领域应用较为广泛的为摩尔-库伦强度理论,其数学表达式为

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cot \varphi} = \sin \varphi \quad (1)$$

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (2)$$

式中: $c$ 为土体的粘聚力,kPa; $\varphi$ 为内摩擦角,(°); $\sigma_1, \sigma_3$ 为土体的第一主应力和第三主应力,kPa。

对于非饱和土,基质吸力是控制其力学性状的关键因素<sup>[22]</sup>。众多研究人员基于摩尔-库伦强度公式,通过引入基质吸力的概念,建立了一系列的非饱和土抗剪强度公式<sup>[23]</sup>,主要包含两类:Bishop有效应力抗剪强度公式和Frelund双应力状态变量抗剪强度公式。本文仍采用摩尔-库伦材料屈服准则,不同的是着重研究含水率对江西重塑红粘土的抗剪强度的影响,建立了正应力-抗剪强度-含水率之间的关系,如图4所示,当空间中某一点 $a(\tau, \sigma, w)$ 处于曲面以下时,则该点处土体处于未被破坏状态;当 $a$ 点恰好位于曲面上时,该点处土体应力状态达到了极限平衡状态;当 $a$ 点位于曲面以上时,则表明该点处土体已受到剪切破坏。

### 2.2.4 含水率对红粘土粘聚力的影响分析

粘聚力是控制土体抗剪强度的重要参数,从图5可以看出,含水率对粘聚力产生了很大的影响,总体呈现反比规律,即随着含水率的增加,粘聚力则减小。这是因为粘性土颗粒间公共水化膜的连结力及胶结物质的胶结作用对粘聚力的产生起着非常重要的作用,含水率减小时,增强了土颗粒间公共水化膜的连结力,粘聚力也就越大,土体的抗剪强度也越高;反之,当含水率增加时,降低了胶结物质对粘粒的胶结作用,粘聚力

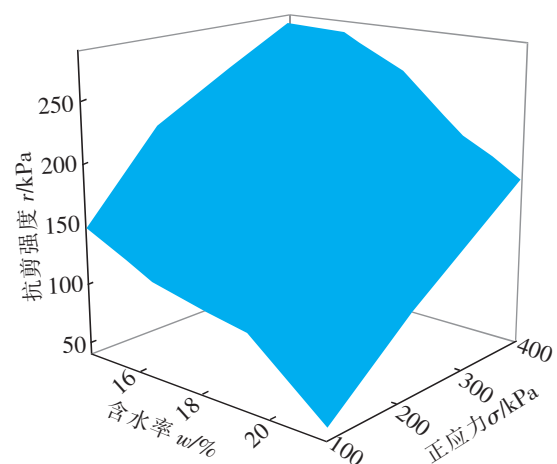


图4 重塑红粘土摩尔-库伦破坏包络面  
Fig.4 Mohr-Coulomb failure envelope of remolded red clay

就越小,土体抗剪强度越低。不难发现,当  $w < 16\%$  或  $w > 19\%$  时,粘聚力骤然下降;当  $16\% < w < 19\%$  时,粘聚力变化极小,基本保持在 70~80 kPa,变化曲线近似“S”型。这与史文兵<sup>[23]</sup>研究的贵阳红粘土粘聚力与含水量的关系曲线具有良好的一致性。

### 2.2.5 含水率对红粘土内摩擦角的影响分析

土的内摩擦角主要表现为土颗粒的表面摩擦力和颗粒间的咬合力,反映了土颗粒间的摩擦特性,与土体的结构形态和密实度有关<sup>[24]</sup>。由图 6 红粘土内摩擦角随含水率的变化趋势可以看出,含水率在 14%~22% 范围内,内摩擦角呈先上升后下降再上升的趋势,型如“N”,其值基本在 200~280° 之间波动,说明含水率对内摩擦角的影响不显著。众多研究资料显示影响土体内摩擦角的因素有土的矿物成分、含水率、密度及结构性等,卢肇钧院士认为土的内摩擦角还与其塑性指数存在相互关系<sup>[25]</sup>,其机理比较复杂,有待进一步研究。

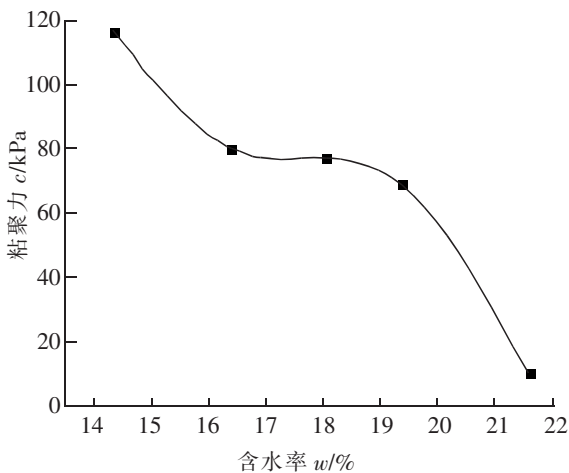


图 5 红粘土粘聚力与含水率关系曲线

Fig.5 Relationship curve between cohesion and moisture content of red clay

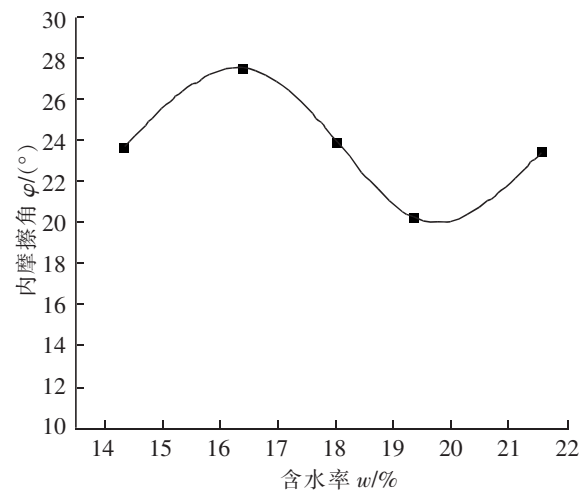


图 6 红粘土内摩擦角与含水率关系曲线

Fig.6 Relationship curve between internal friction angle and moisture content of red clay

## 3 红粘土的微观结构研究与分析

### 3.1 SEM 扫描电镜试验

试验仪器采用日本日立公司生产的 SU8010 场发射扫描电子显微镜。取适量烘干后的红粘土粉末,将样品用导电胶固定在样品台上,然后进行喷金(由于本试验中红粘土样品不具备导电性,需要对其进行喷铂金处理),喷金时间为 120 s,选择合适的样品区域进行扫描电镜观察。

### 3.2 红粘土的微观结构特征分析

通过扫描电镜得到红粘土样品的扫描图像,可以很直观地观察到样品表面的微观形态,图 7 为所采集的剪切破坏前后红粘土土样的电镜扫描(放大 2 000 倍及 5 000 倍)图像,可以清楚地看到土样的微观结构特征(孔隙大小、颗粒形态、骨架形貌)均发生了变化。江西红粘土含有大量粘土矿物聚集体,主要是书卷状的高岭石和片状的长石,局部有黄铁矿颗粒附着。天然土样由形态、大小各异的粒团颗粒单元、聚集体、胶结物质堆积而成,骨架松散,无定向排列,颗粒堆积杂乱,接触点数目少,多以点-点、边-边、边-面接触,孔隙较大,分布不连续,多呈圆形或椭圆形;剪切破坏后的土样多为直接面接触方式,颗粒排列紧凑,孔隙大大缩小,呈封闭式“片架-镶嵌”结构,接触方式的变化导致颗粒间由微胶结状态变为镶嵌胶结状态,致使红粘土结构性遭到破坏。说明红粘土受到剪切作用后其微观结构的变化使得土体产生变形甚至破坏。

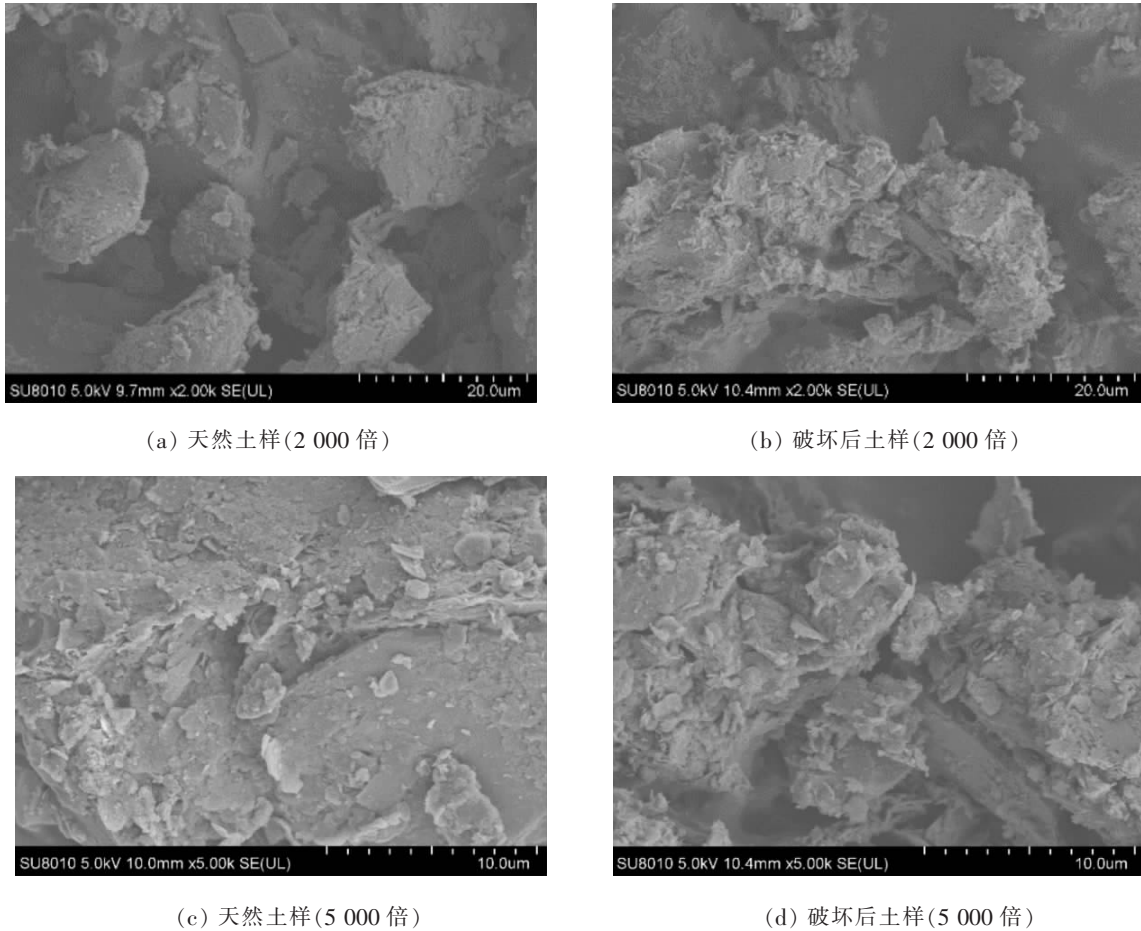


图 7 江西红粘土剪切破坏前后 SEM 图像

Fig.7 SEM images of Jiangxi red clay before and after shear failure

#### 4 结论

1) 通过X射线衍射分析试验,初步确定江西红粘土的矿物组成主要为石英、云母、钾长石,还含有少量的胶结物质氧化铁,反映了江西次生红粘土的一些独特的物理性质及取土工地红粘土地基的不均匀性。

2) 含水率是影响江西重塑红粘土抗剪强度的重要因素之一,红粘土的抗剪强度总体随着含水率的增大而减小,它们之间并未呈现出简单的线性关系;随着含水率的增大,江西红粘土逐渐由脆性破坏过渡到塑性破坏,相应的其剪切破坏类型由“软化”型变为“硬化”型。

3) 含水率对江西重塑红粘土的粘聚力影响较大,随着含水量的增加,粘聚力减小,其变化曲线近似“S”型;而对内摩擦角的影响不显著,其机理比较复杂,有待进一步研究。

4) 电镜扫描试验表明:剪切破坏后红粘土土样的微观结构发生了明显的改变,影响其强度的关键因素是土颗粒间孔隙大小、排列及形态的变化。天然土样骨架松散,无定向排列,颗粒堆积杂乱,接触点数目少,孔隙较大,受到外力作用,架空、大孔隙结构遭到破坏,红粘土颗粒产生相应位移,由微胶结状态转化为镶嵌胶结状态,造成土体发生变形、结构失稳破坏等问题。

## 参考文献:

- [1] 姜洪涛. 红粘土的成因及其对工程性质的影响[J]. 水文地质工程地质, 2000(3):33-37.
- [2] 姜其岩,余培厚,郭沛,等. 红粘土力学强度特征的形成及分析[J]. 贵州工学院学报, 1991(2):22-28.
- [3] 赵亚文. 不同含水率下红黏土抗剪强度特性的方法探讨[J]. 南方农机, 2018, 49(5):174.
- [4] 徐榴胜. 红粘土在岩土工程应用中的若干问题[J]. 贵州地质, 1993(3):257-264.
- [5] 罗明. 江西省铁路沿线网纹红土的工程地质特征[J]. 土工基础, 2002(1):34-35.
- [6] 胡展飞,傅艳蓉. 基于不同初始含水量的软粘土抗剪强度的试验研究[J]. 上海地质, 2001(1):38-42.
- [7] 王中文,洪宝宁,刘鑫,等. 红粘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.
- [8] 刘小文,常立君,耿小牧,等. 含水率、干密度对红土强度影响规律的试验研究[J]. 公路, 2008(12):154-156.
- [9] 汤新福,赵云刚. 含水量对压实粘土抗剪强度的影响[J]. 金属材料与冶金工程, 2009, 37(3):49-53.
- [10] 赵蕊,左双英,王嵩,等. 不同含水量贵阳重塑红黏土三轴抗剪强度试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(5):90-95.
- [11] 李涛,刘波,杨伟红,等. 基质吸力对重塑红黏土抗剪强度影响的试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(3):375-381.
- [12] 张金城. 江西省红土资源的某些地质学特征[J]. 华东地质学院学报, 1994(4):308-312.
- [13] JTJ051-93 公路土工试验规程[S]. 北京:人民交通出版社, 1993.
- [14] 南京水利科学研究所土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [15] 刘小文,常立君. 非饱和红土强度特性的试验研究[J]. 建筑科学, 2009, 25(1):70-72.
- [16] GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社, 1999.
- [17] 王旭,赵秀绍,艾成刚,等. 提高室内击实试验精确度的方法研究[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(5):18-23.
- [18] 杨庆,贺洁,栾茂田. 非饱和红粘土和膨胀土抗剪强度的比较研究[J]. 岩土力学, 2003(1):13-16.
- [19] 傅鑫晖,颜荣涛,于海浩,等. 红粘土的强度机理[J]. 桂林理工大学学报, 2014, 34(4):691-696.
- [20] 汤连生,颜波,张鹏程,等. 非饱和土中有效应力及有关概念的解说与辨析[J]. 岩土工程学报, 2006(2):216-220.
- [21] 李广信. 高等土力学[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.7.
- [22] 张常光,赵均海,朱倩. 非饱和土抗剪强度公式分类及总结[J]. 建筑科学与工程学报, 2012, 29(2):74-82.
- [23] 李涛,刘波,杨伟红,等. 基质吸力对重塑红黏土抗剪强度影响的试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(3):375-381.
- [24] 史文兵,廖义玲,唐晓玲. 贵阳红粘土抗剪强度与含水量关系的探讨[J]. 路基工程, 2011(4):80-81.
- [25] 卢肇钧. 非饱和土抗剪强度的探索研究[J]. 中国铁道科学, 1999(2):12-18.
- [26] 张先伟,孔令伟,郭爱国,等. 基于 SEM 和 MIP 试验结构性黏土压缩过程中微观孔隙的变化规律[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(2):406-412.
- [27] 武文举,张吾渝,马艳霞,等. 基于 GDS 动三轴试验的西宁地区原状黄土微观结构研究[J]. 青海大学学报, 2018, 36(1):54-60.

## Experimental Study on Shear Strength of Red Clay with Different Moisture Content

Luo Wenjun<sup>1</sup>, Wang Haiyang<sup>1</sup>, Liu Huanqiang<sup>2</sup>, Liu Mingxin<sup>1</sup>

(1. Research Center for Railway Environmental Vibration and Noise Engineering of the Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Research Center for Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Red clay is a typical special soil, and its characteristics of swelling in water and shrinkage in water loss will have a great impact on the stability of red clay foundation and subgrade. In order to further understand the physical and mechanical characteristics of red clay, the relationship between shear strength and water content of remolded red clay in Jiangxi province is studied experimentally in this study. The indoor direct shear test results show that with the increase of water content, the shear strength and cohesion of red clay decrease, the variation curve of cohesion and water content is similar to "S" type, while the internal friction angle fluctuates within a certain range, and the influence mechanism is more complex. According to the analysis of X-ray diffraction test, the mineral composition of Jiangxi red clay mainly includes Shi Ying, mica, potash feldspar and a small amount of iron oxide as cementing material. Through scanning the soil sample with electron microscope, it is found that the microstructure characteristics of red clay have changed greatly after shear failure, which indicates that the change of microstructure of red clay after shear makes the soil deformed or even destroyed.

**Key words:** red clay; different moisture content; direct shear test; X-ray diffraction test; scanning with electron microscope; shear strength