

# 武广客运专线非饱和红粘土三轴试验成果及分析

汪谷香<sup>1</sup>, 杨果林<sup>2</sup>

(1. 湖南省交通职业技术学院, 湖南 长沙 410004; 2. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 从武广客运专线的泉口、咸宁、耒阳3个工点的不同深度的非饱和红粘土地基中钻探取样, 分别进行不固结不排水、固结不排水、固结排水三轴试验, 获得了3个工点的非饱和红粘土的粘聚力、内摩擦角的试验值, 为武广客运专线红粘土地段的设计提供了设计指标。

**关键词:** 红粘土地基; 三轴试验; 成果分析

**中图分类号:** TU411.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2008)02-0013-04

## The Achievement and Analysis on the Triaxial Tests of Non-Saturated Red Clay of the Railway Line for Passenger Traffic from Wuhan to Guangzhou

Wang Guxiang<sup>1</sup>, Yang Guolin<sup>2</sup>

(1. Hunan Communication Polytechnic, Changsha 410004, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract** Getting drilling samples of different depths of non-saturated red clay ground from the three work places like Quankou, Xianning and Leiyang of the railway line for passenger traffic from Wuhan to Guangzhou, unconsolidated-undrained, consolidated undrained and consolidated drained triaxial tests to the samples are carried on respectively, and the experimental value of the non-saturated red clay's cohesion and the angle of internal friction of these three work places are also obtained, which has provided the design target of red clay sector design of the railway line for passenger traffic from Wuhan to Guangzhou.

**Key words:** red clay ground; triaxial tests; the achievement and analysis

## 0 引言

武广客运专线武汉至韶关段分布近100 km的灰岩残积层非饱和红粘土地基, 对一般铁路来说, 将非饱和红粘土视为饱和土进行沉降估算是可以满足设计精度要求的, 但对于高速客运专线铁路无碴轨道路基, 由于对工后沉降要求很严(要求工后沉降量不大于20 mm), 将非饱和红粘土视为饱和土进行沉降估算显然很难满足设计精度要求, 并有可能造成非饱和粘性土地基处理费用的不必要增加。同样, 将非饱和和

粘土用常规的直接试验指标不能满足设计精度的要求, 必须进行原状土样的三轴试验, 获得三轴试验指标, 为本线施工图设计提出验证修订沉降估算的可靠指标。

室内三轴试验的目的是测定土的抗剪强度参数 $c$ 、 $\phi$ 、有效抗剪强度 $c'$ 、 $\phi'$ 及变形参数。本试验用3~5个圆柱体试样, 分别在不同的围压下施加轴向压力而产生主应力差, 进行剪切至破坏, 然后根据摩尔-库仑理论, 求得抗剪强度参数。根据排水条件不同, 本试验对咸宁(DK1274)、泉口(DK1293)和耒阳(DK1783)

收稿日期: 2008-02-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50778180), 铁道部科技研究开发计划基金资助项目(2005K002-B-2-1)

作者简介: 汪谷香(1970-), 女, 湖南桃江人, 湖南省交通职业技术学院讲师, 主要从事路桥工程的教学和科研工作;

杨果林(1963-), 男, 湖南桃江人, 中南大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事道路与铁道工程, 岩土工程和结构工程的教学和科研工作。

3个工点现场所取的原状土分别进行了不固结不排水剪切(UU)、固结不排水剪切(CU)、和固结排水剪切(CD)3类试验。

## 1 试验简介

### 1.1 仪器设备

三轴试验采用的仪器为SJ-1A、SJ-1B型三轴剪剪仪, SJT-201型三轴仪试验机; 施加围压装置是YW-10C液压稳压装置和YW-20A型液压稳定装置; 测定孔压装置为KYY-1-2型孔压测量仪。

### 1.2 试验标准

试验采用的试验标准为中华人民共和国铁道部发布的《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2004)<sup>[1]</sup>和水利部发布的《土工试验规程》(SL237-1999)<sup>[2]</sup>。

#### 1.2.1 固结稳定标准

对需要固结的试验, 剪切前先进行等向固结, 对一组土样在不同的围压下进行等向固结, 同时打开排水阀门, 按0、10、20、30 min时间测记排水管水面读数, 当2次读数差小于0.05 ml时, 视该土样固结稳定。

#### 1.2.2 破坏标准

本试验采用的是应变控制的单向压缩试验, 在试验过程中, 在一定的时间内控制试样产生一定的应变, 测定相应的应力。应变控制能较准确地测定剪应力和剪切变形曲线的峰值和最终值, 剪切过程中达到峰值或至轴向应变达15%视为剪切破坏<sup>[3-5]</sup>。

### 1.3 试样的制备

取咸宁、泉口、耒阳3个工点的原状土进行试样制备, 用削样器把原状土试件加工成39.1 cm × 8.0 cm的圆柱体试件。泉口、咸宁2处所用土样为地下水位以下的饱和试样, 耒阳工点所用为地下水位以上土样, 全部土样均为天然状态含水量。

## 2 三轴试验结果及分析

UU、CU、CD试验施加的围压均为100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa、600 kPa, 以主应力差 $\sigma_1 - \sigma_3$ 的峰值作为破坏点。若剪切至轴向应变 $\varepsilon_1$ 达15%时仍无峰值, 则取 $\varepsilon_1=15%$ 时相应的值作为破坏值。3类试验的剪切速率分别为0.5%、0.1%、0.012%, 当测孔隙水压力时, 剪切速率为0.05%。

绘制强度包线时, 以法向应力 $\sigma$ 为横坐标, 剪应力 $\tau$ 为纵坐标, 在横坐标上以 $\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)_f}{2}$ 为圆心,

$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{2}$ 为半径绘制摩尔圆, 然后作圆包线, 包线的倾角为内摩擦角, 其截距为粘聚力。

## 2.1 试验结果

### 2.1.1 不固结不排水剪切(UU)

不固结不排水剪切是在施加围压和轴向压力直至破坏过程中均不允许试样排水, 该试验可测得的抗剪强度参数为 $C_{uu}$ 、 $\phi_{uu}$ 。3个工点不固结不排水剪切(UU)试验结果如表1所示。

表1 3个工点不固结不排水剪切(UU)试验结果

Table 1 Results of the unconsolidated-undrained (UU) shear test from three working site

试验工点	组号	取样深度 /m	现场标贯 N	$C_{uu}$ /kPa	$\phi_{uu}$ /( $^{\circ}$ )
泉口	1	8	18	21.75	9.04
	2	16~17	14	21.86	4.56
	3	16~17	14	12.53	5.13
	4	16~17	14	19.49	4.24
咸宁	1	5~13	19~20	9.73	9.32
	2	5~8	11~18	39.24	9.68
耒阳	1	6.3~6.5	26	51.39	6.56
	2	12.4~12.6	15	67.03	4.64
	3	12.7~12.9	18	37.21	7.54
	4	15.0~15.2	10	39.19	17.26

### 2.1.2 固结不排水剪切(CU)

试样先在某一围压作用下排水固结, 然后在保持不排水的情况下, 增加轴向压力至破坏。该试验可测得总抗剪强度或有效抗剪强度和孔隙压力系数。3个工点固结不排水剪切(CU)试验结果如表2所示。

表2 3个工点固结不排水剪切(CU)试验结果

Table 2 Results of the consolidated-undrained (CU) shear test from three working site

试验工点	组号	取样深度 /m	现场标贯 N	$C_{cu}$ /kPa	$\phi_{cu}$ /( $^{\circ}$ )
泉口	1	11.4~14.4	16~17	40.07	10.87
	2	12.4~13.3	17~18	35.02	8.12
	3	9.8~10.4	22	14.99	13.33
	4	5.8~6.4	22	50.45	17.84
咸宁	1	2.8~3.0	23	97.37	14.12
	2	6.2~6.4	13	34.08	12.37
	3	8.8~9.0	14	11.67	15.39
	4	12.7~12.9	19	22.36	15.59
耒阳	1	5.9~6.1	24	69.78	26.41
	2	6.3~6.5	33	49.62	23.07
	3	8.9~9.1	16	64.89	17.03

### 2.1.3 固结排水剪切(CD)

试样先在某一围压作用下固结, 然后在允许试样排水的情况下, 增加轴向压力至破坏。该试验可测得有效抗剪强度参数和变形参数。3个工点固结排水剪切(CD)试验结果如表3所示。

**表3 3个工点固结排水剪切(CD)试验结果**  
**Table 3 Results of the consolidated-drained (CD) shear test from three working site**

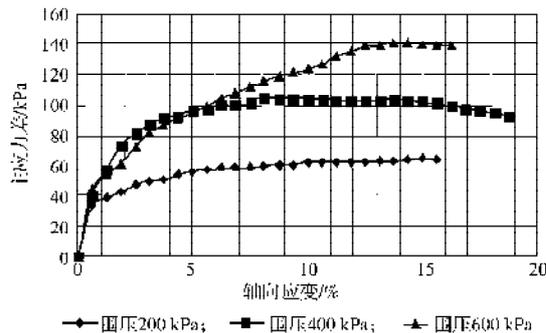
试验工点	组号	取样深度 /m	现场标贯 $N$	$C_{cd}$ /kPa	$\varphi_{cd}$ /( $^{\circ}$ )
泉口	1	7	21	44.70	9.97
	2	8	22	47.79	11.63
	3	10~11	14~19	60.86	12.15
	4	16~17	14	19.64	18.44
咸宁	1	3~5	11~23	94.00	17.09
	2	5~3.7	11~23	54.10	22.38
	3	6	10	15.17	12.45
	4	9.8	15	95.87	8.18
耒阳	1	4.6~4.8	32	50.97	29.18
	2	5.0~5.2	30	60.56	29.60
	3	8.5~8.7	20	62.06	20.67
	4	13.7~13.9	18	46.96	25.19

**2.2 应力应变试验曲线**

**2.2.1 不固结不排水剪(UU)**

**2.2.1.1 泉口UU**

泉口工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线如图1所示。

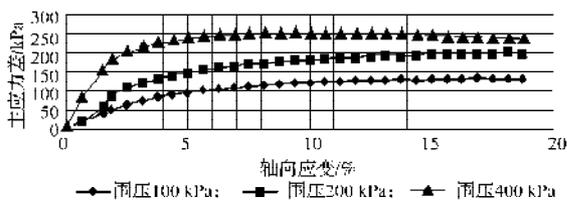


**图1 泉口工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 1 Stress-strain curves of the unconsolidated-undrained shear test in Quankou working site**

**2.2.1.2 咸宁UU**

咸宁工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线如图2所示。

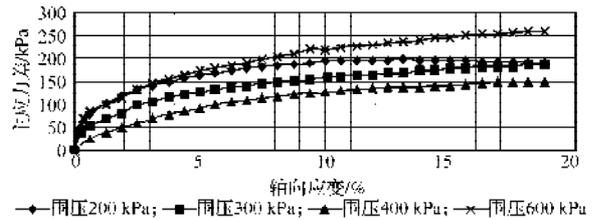


**图2 咸宁工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 2 Stress-strain curves of the unconsolidated-undrained shear test in Xianning working site**

**2.2.1.3 耒阳UU**

耒阳工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线如图3所示。



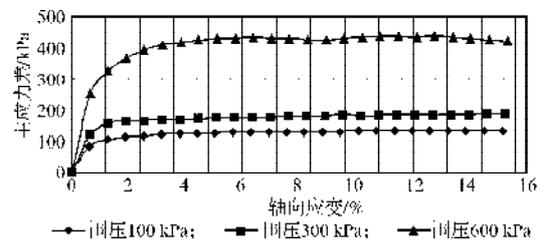
**图3 耒阳工点的不固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 3 Stress-strain curves of the unconsolidated-undrained shear test in Leiyang working site**

**2.2.2 固结不排水剪(CU)**

**2.2.2.1 泉口CU**

泉口工点的固结不排水剪应力应变试验曲线如图4所示。

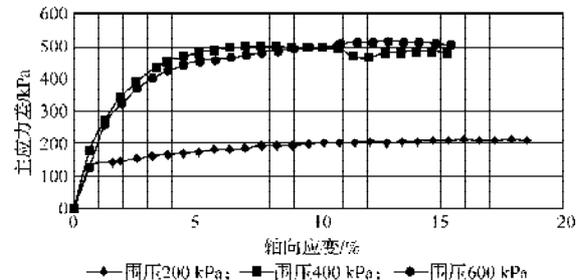


**图4 泉口工点的固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 4 Stress-strain curves of the consolidated-undrained shear test in Quankou working site**

**2.2.2.2 咸宁CU**

咸宁工点的固结不排水剪应力应变试验曲线如图5所示。

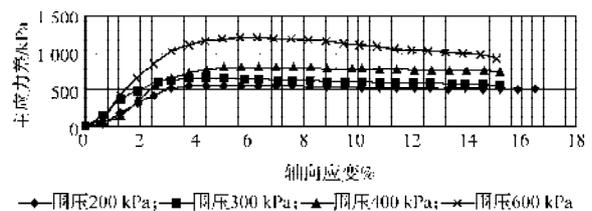


**图5 咸宁工点的固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 5 Stress-strain curves of the consolidated-undrained shear test in Xianning working site**

**2.2.2.3 耒阳CU**

耒阳工点的固结不排水剪应力应变试验曲线如图6所示。



**图6 耒阳工点的固结不排水剪应力应变试验曲线**

**Figure 6 Stress-strain curves of the consolidated-undrained shear test in Leiyang working site**

## 2.2.3 固结排水剪 (CD)

### 2.2.3.1 泉口CD

泉口工点的固结排水剪应力应变试验曲线如图7所示。

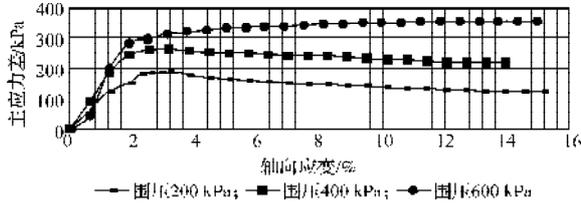


图7 泉口工点的固结排水剪应力应变试验曲线

Figure 7 Stress-strain curves of the consolidated-drained shear test in Quankou working site

### 2.2.3.2 咸宁CD

咸宁工点的固结排水剪应力应变试验曲线如图8所示。

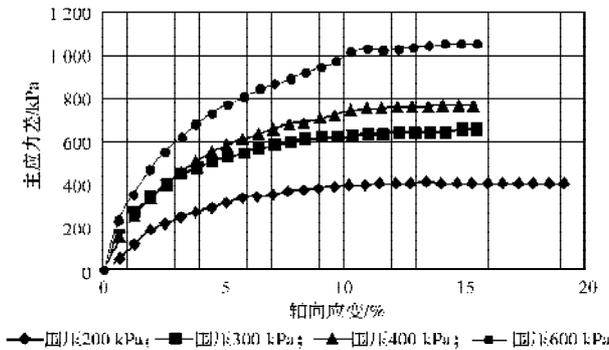


图8 咸宁工点的固结排水剪应力应变试验曲线

Figure 8 Stress-strain curves of the consolidated-drained shear test in Xianning working site

### 2.2.3.3 耒阳CD

耒阳工点的固结排水剪应力应变试验曲线如图9所示。

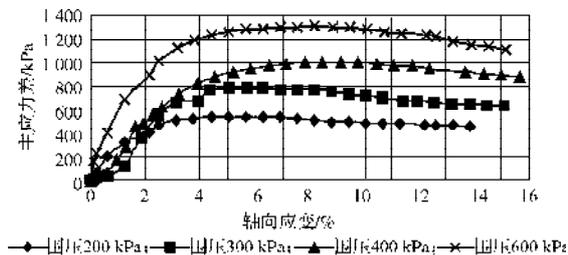


图9 耒阳工点的固结排水剪应力应变试验曲线

Figure 9 Stress-strain curves of the consolidated-drained shear test in Leiyang working site

## 3 结论

根据现场钻探勘察取样的结果,可以看出3个工点从上至下的地质情况。从泉口、咸宁、耒阳3个工点的土样情况看,它们有共性,更有个性。它们共同的特点是都属于红粘土地区,但是它们的具体土质情况各有不同。泉口工点从上至下分别为红色硬塑网纹

状粘土、褐黄色硬塑粘土夹粗细砂砾、褐黄色软塑粘土夹锰铁质结核;咸宁工点从上至下为微红色夹褐黄色硬塑粘土、褐黄色夹红色粘土、褐红色硬塑粘土,从上至下均夹有砾石,咸宁工点属于典型的红粘土地区;耒阳工点从上至下为网纹状红土夹灰白色条纹、褐黄色软塑粘土。

通过三轴试验可得出如下试验研究结论:

1) 从应力应变关系图中可看出,3个工点的原状土样呈非线性关系,证明这些土质的破坏为塑性应变的结果,具有弹塑性特点;

2) 从三轴试验应力应变关系图可看出,该土样从开始即分为弹性应变和塑性应变两部分,应力应变曲线为硬化曲线;

3) 主应力差达到峰值后均下降得不很多,而是很平缓,说明土样为正常固结粘土;

4) 三轴试验得出3个工点原状土的抗剪强度指标如表4所示。

表4 3个工点原状土的抗剪强度指标

Table 4 Shear strength parameters of undisturbed soil in three working site

试验工点	UU 剪切		CU 剪切		CD 剪切	
	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /( $^{\circ}$ )
泉口	12~21	4~9	14~50	8~17	16~60	9~18
咸宁	9~37	7~9	11~97	12~15	15~95	8~22
耒阳	37~51	4~17	46~69	17~26	46~62	20~29

由3个工点三轴试验数据显示,不固结不排水剪切的粘聚力和内摩擦角最小,固结排水剪的最大。这是由于土样固结后,试样中大部分孔隙水或气排出,土颗粒之间重新排列紧密,致使土样的强度增大,即抗剪强度指标增大。

5) 由土样标贯数和三轴试验数据对比可知,标贯数大的土样,不管是快剪还是慢剪,抗剪强度指标都较大。

## 参考文献:

- [1] TB10081-2003, 铁路工程地质原位测试规程[S].
- [2] SL237-1999, 土工试验规程[S].
- [3] 杨果林,黄向京,武广客运专线非饱和红粘土动三轴试验成果及分析[J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21(1): 16-19.
- [4] 杨果林,李珍玉,武广客运专线非饱和红粘土的动剪与慢剪对比试验研究[J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21(2): 14-20.
- [5] 杨果林,黄向京,周春梅,等. 客运专线无碴轨道红黏土地基载荷试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2007(6): 50-56.

(责任编辑:张亦静)