

## T<sub>3X</sub> 须家河组砂岩饱水作用下水岩相互作用规律研究<sup>\*</sup>

李彦军<sup>1</sup>, 王学武<sup>2</sup>, 冯学钢<sup>2</sup>, 姜云<sup>2</sup>, 蒋可<sup>2</sup>

(1. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 四川省交通厅 公路水运质量监督站, 成都 610041)

**摘 要:** 为分析研究三峡库区水位升降作用对库岸边坡稳定性的影响作用, 通过研究三峡库区内分布广泛的须家河组(T<sub>3X</sub>)砂岩在天然状态、饱水 1, 2, 5, 10, 20, 30 d 等不同饱水时间下的物理力学性质变化规律性, 测定其不同饱水时间的含水率、吸水率及抗剪强度, 预测分析砂岩抗剪强度、砂岩含水率、砂岩吸水率随不同饱水时间的变化规律以及砂岩抗剪强度随含水率的变化规律等。试验结果表明, 砂岩  $C$ 、 $\Phi$  值与饱水时间分别呈对数和指数关系, 砂岩含水率  $\omega$ 、吸水率  $\omega_a$  与饱水时间呈对数关系。应用这一规律, 对于在评价库水位升降作用对岸坡稳定性的影响作用时进行岸坡岩土体的物理力学参数取值有十分重要的理论和实际意义。

**关键词:** T<sub>3X</sub> 须家河组砂岩; 水岩相互作用; 物理力学性质

中图分类号: T452

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)03-0226-03

## Research on the Regularities of the Water-rock Interaction of the Saturated T<sub>3X</sub> Sandstone

LI Yair jun<sup>1</sup>, WANG Xue wu<sup>2</sup>, FENG Xue gang<sup>2</sup>, JIANG Yun<sup>2</sup>, JIANG Ke<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Sichuan, Mianyang 621010, China; 2. Sichuan Provincial Highway & Water Transport Engineering Quality Supervision Station, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** In order to analyze the regularities of the stability of the bank slope with the change of the water level in three gorges, the paper analyzes the mechanical regularities of T<sub>3X</sub> sandstone which is widely distributed in the three gorges in different saturated conditions such as natural, one, two, five, ten, twenty and thirty days, measured the parameter  $\omega$ ,  $\omega_a$ , shear strength in different saturated conditions. Then the paper predicts the regularities of the  $\omega$ ,  $\omega_a$ , shear strength in different saturated conditions, and the regularities of the shear strength with the change of the parameter  $\omega$ ; as the result, the paper indicates that the parameter  $C$  is relationship with the different saturated conditions, the parameter  $\Phi$  is relationship with the different saturated conditions etc. According this result, it is very important to select the mechanical parameter to assess the stability of the bank slope in the three gorges.

**Key words:** T<sub>3X</sub> sand stone; water rock interaction; the physical and mechanical character; research of the test

地下水普遍赋存于边坡岩土体中, 它与岩土体相互作用可以归纳为 2 个方面: 一是地下水与岩土体发生的机械的、物理的和化学的相互作用, 使岩土体与地下水的性质发生变化; 二是地下水与岩土体间发生的力学方面的相互作用, 它不断改变着双方的力学性态和特性。从岩土力学角度看, 地下水对岩土体力学作用主要表现为动水压力、静水压力和浮托力。因此, 在工程地质学研究中, 必须考虑岩土介质性质和力学作用, 即水岩之间相互作用<sup>[1-4]</sup>, 它是研究岩土工程中的前沿课题之一。对于水岩之间物理、化学作用的研究, 目前主要是通过试验的方法来分析。该文为研究水位升降影响下岸坡水岩相互作用的特点, 通过试验的方法研究水岩之间的物理、化学作用, 分析研究 T<sub>3X</sub> 组的砂岩在不同饱水条件下物理力学性质的变化规律。

### 1 饱水力学试验设计

该试验主要是为取得研究区内砂岩在饱水条件下力学性质的变化规律而设计。试验设计流程图如图 1 所示。

结合论文研究内容, 本次试验选取须家河组(T<sub>3X</sub>)的砂岩进行研究。在选取一较均匀砂岩岩样后, 分别测定其在天然状态、饱水 1, 2, 5, 10, 20, 30 d 时的含水率、吸水率及抗剪强度, 最后根据试验结果进行统计和拟合, 从而获得砂岩饱水后力学性质的变化规律。

### 2 天然状态砂岩基本力学性质特征

按照图 1 所示试验设计内容, 经试验得到砂岩在天然状态下的力学基本性质特征: 容重 25.1 kN/m<sup>3</sup>, 含水量( $\omega$ ) 60%, 弹性模量 6 740 MPa, 内聚力( $C$ ) 10.5 MPa, 内摩擦角

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-11-15

作者简介: 李彦军(1976-), 男, 主要从事岩土工程方面的教学与研究工作。E-mail: liyanjun82517@126.com

(Φ)43°, 基本特点为灰- 灰绿色薄至厚层石英砂岩、风化弱, 节理裂隙不发育。

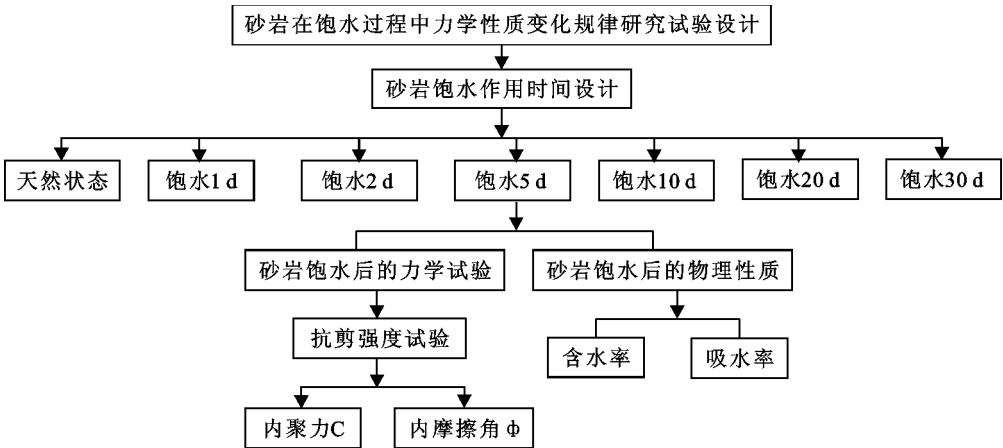


图 1 砂岩饱水物理及力学试验流程图

3 砂岩力学性质变化基本规律

主要探讨砂岩在不同饱水时间其含水率、吸水率、抗剪强度的变化规律, 试验测定不同饱水时间后的含水率、吸水率以及抗剪强度, 结果如表 1 所示。

表 1 砂岩不同饱水时间的 ω, ω<sub>a</sub>, C, Φ 值

状 态	含水率 ω/ %	吸水率 ω <sub>a</sub> / %	内聚力 C/ MPa	内摩擦角 Φ/ (°)
天然状态	0.6	—	10.5	52
饱水 1 d	1.8	1.87	8.0	50
饱水 2 d	1.9	1.94	7.5	49
饱水 5 d	2.0	1.98	7.0	48.7
饱水 10 d	2.05	2.03	6.4	48.5
饱水 20 d	2.13	2.06	6.0	48
饱水 30 d	2.49	2.07	5.4	47.5

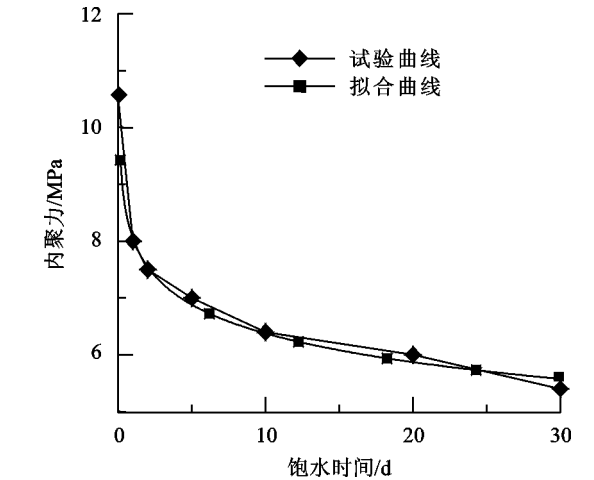


图 2 砂岩不同饱水时间内聚力变化曲线

同时, 根据试验数据, 得到了不同饱水时间含水率 ω、吸水率 ω<sub>a</sub> 值的关系曲线, 见图 4, 5, 并采用公式  $Y = A \cdot \ln(X) + B$  分别对不同饱水时间的含水率 ω、吸水率 ω<sub>a</sub> 值进行拟合, 最后得到砂岩含水率 ω、吸水率 ω<sub>a</sub> 与饱水时间的关系式 (3), (4)。

$$\omega = 0.238 \cdot \ln(t) + 1.554 \tag{3}$$

根据以上结果, 分别得到不同饱水时间内聚力、内摩擦角值的关系曲线图 2, 3, 同时根据试验数据特点, 分别采用公式  $Y = A \cdot \ln(X) + B$ ,  $Y = \text{pow}(X, A) \cdot B$ 。对不同饱水状态下的 C, Φ 值进行拟合, 最后得到砂岩 C, Φ 值与饱水时间的关系式为 (1), (2)。

$$C = -0.727 \cdot \ln(t) + 8.04992 \tag{1}$$

$$\Phi = \text{pow}(t, -0.01295) \cdot 49.778 \tag{2}$$

根据图 2, 3 及公式 (1), (2) 可看出, 砂岩的抗剪强度随饱水时间的延长而逐渐下降。饱水 1 d 后, C, Φ 值发生较大幅度下降, C 值下降近 23.8%, Φ 值下降近 3.85%; 饱水 2 d 后, C, Φ 值同样发生了较大幅度的下降, C 值只有天然状态下 71.4%, Φ 值只有天然状态下的 4.2%; 之后随着时间的延长, 砂岩的 C, Φ 值虽都有下降, 但趋势不明显, 下降较缓慢。说明砂岩在遇水后短时间内将发生力学性质的“软化”, 强度快速、大幅度降低, 之后其力学性质变化较缓慢。

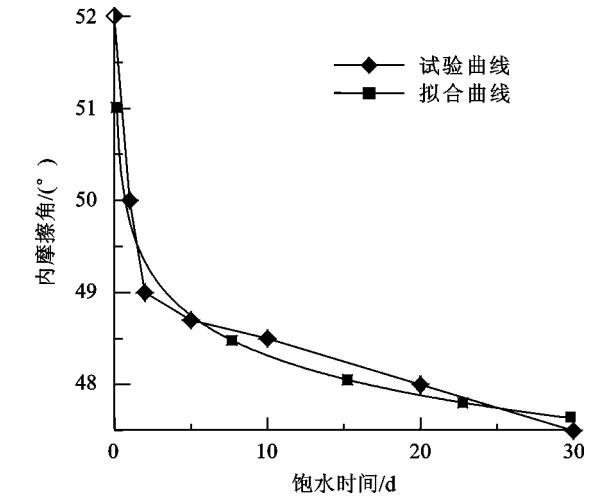


图 3 砂岩不同饱水时间内摩擦角 Φ 变化曲线

$$\omega_a = 0.0578 \cdot \ln(t) + 1.886 \tag{4}$$

据图 4, 5 及公式 (3), (4) 可看出, 砂岩含水率、吸水率随饱水时间的延长而逐渐增大。饱水 1 d 后, ω 值发生了较大幅度的上升, 上升 200%; 饱水 2 d 后, ω 及 ω<sub>a</sub> 值同样不断上升, 但上升幅度减缓, 其中 ω 值增大了 5.6%, ω<sub>a</sub> 值增大了 3.74%; 这之后, 随饱水时间的延长, ω 及 ω<sub>a</sub> 值都继续有增

大趋势,但总体上说上升不明显,速度较缓慢。由此说明砂岩在遇水后短时间内其含水率 $\omega$ 及吸水率 $\omega_a$ 值快速增大,之后其变化趋势则较缓慢。

根据试验数据,得到了不同饱水时间含水率 $\omega$ 与砂岩抗剪强度指标 $C$ 、 $\Phi$ 值之间的关系曲线,见图 6、7,并采用公式 $Y=\exp(A\cdot X)\cdot B$ 分别对不同饱水时间的含水率 $\omega$ 与砂岩抗剪强度指标 $C$ 、 $\Phi$ 值进行拟合,最后得到砂岩抗剪强度指标内聚力 $C$ 、内摩擦 $\Phi$ 与不同饱水时间的含水率 $\omega$ 关系式

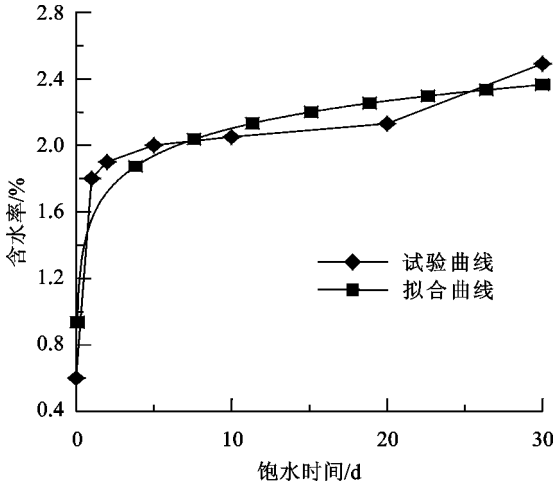


图 4 砂岩不同饱水时间含水率 $\omega$ 变化曲线

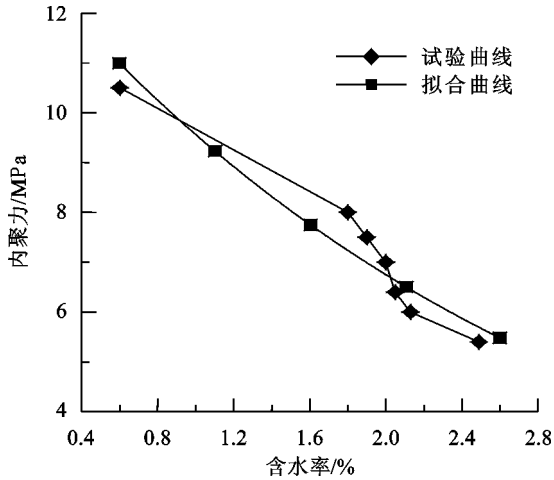


图 6 砂岩含水率 $\omega$ 与内聚力 $C$ 的关系曲线

4 讨 论

工程上,为了评价库岸滑坡的稳定性,常常需要对岸坡岩土体的物理力学参数进行取值,而其中最重要的一项参数就是岸坡岩土体的抗剪强度。在滑坡稳定性计算和加固设计中,岸坡岩土体的抗剪强度参数选取的正确与否,直接影响到滑坡推力的大小和稳定性分析。通过本次饱水试验获取的主要成果之一就是砂岩的抗剪强度随饱水时间的变化规律。由以上分析可知,对于须家河组( $T_{3x}$ )砂岩,其在饱水条件下,30 d 前抗剪强度将发生较大的变化,30 d 后其抗剪强度将趋于稳定,因此,可认为 30 d 的饱水时间为砂岩抗剪强度趋于稳定的分界点。因此,在分析库水位升降作用对

(5), (6)。

$$C = \exp(-0.348 \cdot \omega) \cdot 13.546 \tag{5}$$

$$\Phi = \exp(-0.049 \cdot \omega) \cdot 53.754 \tag{6}$$

据图 6、7 及公式 (5)、(6) 看出,砂岩的抗剪强度指标内聚力 $C$ 、内摩擦角 $\Phi$ 值随不同饱水时间的含水率 $\omega$ 的增大而逐渐减小,并且其定量表征关系服从指数变化规律即 $Y=\exp(A\cdot X)\cdot B$ 。据此可建立含水率 $\omega$ 与砂岩抗剪强度的定量关系,可为评价水岩之间的物理作用提供有益的参考价值。

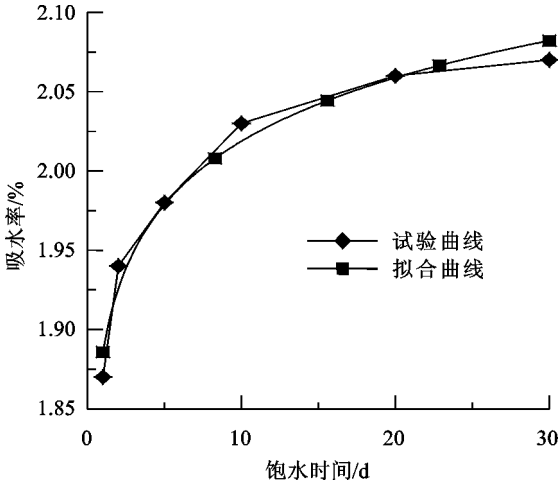


图 5 砂岩不同饱水时间吸水率 $\omega_a$ 变化曲线

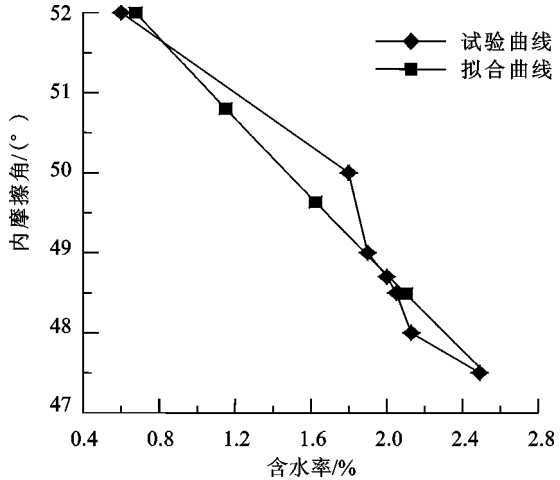


图 7 砂岩含水率 $\omega$ 与内摩擦角 $\Phi$ 关系曲线

岸坡稳定性时,对于水位上升后岸坡岩土体抗剪强度的取值应采用饱水试验 30 d 抗剪强度更为可靠合理。

参考文献:

[1] 汤连生.水-岩土反应的力学与环境效应研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(5):681-682.  
[2] 钟声辉.水岩体系中地下水效应与边坡稳定性研究[J].铁道工程学报,1999(4):86-90.  
[3] 廖秋林,李晓,等.水岩作用对川藏公路102滑坡形成与演化影响[J].工程地质学报,2003,11(4):390-396.  
[4] 王晓鸿.库岸水-岩相互作用及其环境效应[D].成都:成都理工学院,1996.