

# Study on the Characteristics of the Slope of Honeycomb Restraint System against Rainwater Erosion

Yong Sun<sup>1</sup>, Weigang Sun<sup>2</sup>, Jun Li<sup>3</sup>, Haiquan Liu<sup>4</sup>, Chuanhe Wang<sup>1</sup>, Xianwei Cai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>Bada Road & Bridge, Ltd., Harbin Heilongjiang

<sup>3</sup>Zhongjian Silk Road Construction Investment Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>CCCC Highway Consultants CO., Ltd., Beijing

Email: 2224993876@qq.com

Received: Dec. 24<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 14<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

The stability of subgrade slope is an important index of subgrade safety. In this paper, the characteristics of the slope of the honeycomb restraint system are studied by simulating the slope sliding and erosion and comparing the changes of slope stability before and after the addition of honeycomb restraint. It was found that the erosion amount of slope decreased greatly after adding honeycomb, up to 40%. At the same erosion time, the erosion rate of slope with additional honeycomb constraints was slower with the flow rate increasing, and the erosion rate decreased by 5% - 15%. The Reynolds number around the flow was analyzed to determine the flow state of the flow. It was found that the Reynolds number was greater than the lower critical Reynolds number, and the thin layer flow on the slope was judged to be turbulent. With honeycomb constraint, Froude number is less than 1, which belongs to slow flow. When there is no honeycomb constraint system, the value is greater than 1, which belongs to the jet stream. The results show that honeycomb restraint can effectively alleviate the erosion of slope caused by rainfall.

## Keywords

Honeycomb Restraint System, Slope, Erosion, Reynolds Number, Froude Number

# 蜂巢约束系统边坡防雨水侵蚀特性研究

孙 勇<sup>1</sup>, 孙维刚<sup>2</sup>, 李 俊<sup>3</sup>, 刘海权<sup>4</sup>, 王川和<sup>1</sup>, 蔡显威<sup>1</sup>

<sup>1</sup>哈尔滨工业大学交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>黑龙江省八达路桥建设有限公司, 黑龙江 哈尔滨

<sup>3</sup>中建丝路建设投资有限公司, 陕西 西安

<sup>4</sup>中交公路规划设计院有限公司, 北京  
Email: 2224993876@qq.com

收稿日期: 2018年12月24日; 录用日期: 2019年1月7日; 发布日期: 2019年1月14日

## 摘要

路基边坡的稳定性是路基安全的重要指标。本文通过试验模拟边坡滑动以及边坡冲蚀, 对比附加蜂巢约束前后边坡稳定性的变化来研究蜂巢约束系统边坡防雨水侵蚀特性。试验发现, 附加蜂巢后边坡冲蚀量大幅下降, 最大可达40%。相同冲蚀时间下, 附加蜂巢约束的边坡冲蚀量随流量增加速度较慢, 冲蚀速率下降5%~15%; 采用绕流雷诺数分析判断水流的流态, 发现雷诺数均大于取定的下临界雷诺数, 判断坡面薄层水流为紊流。且有蜂巢约束时, 弗汝德数小于1, 属于缓流; 而在无蜂巢约束系统时, 其值大于1, 属于急流。结果表明, 蜂巢约束可以有效缓解降雨对边坡的侵蚀作用。

## 关键词

蜂巢约束系统, 边坡, 侵蚀, 雷诺数, 弗汝德数

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前, 国内外在降雨对边坡稳定性影响方面有了很多研究[1] [2] [3] [4] [5], 如长沙理工大学的胡国庆, 袁宁等人分析多层结构土质边坡在不同降雨条件下的渗流过程以及稳定性变化规律, 基于降雨入渗机理以及均质土体降雨入渗深度理论计算公式, 提出了多层结构土质边坡降雨入渗深度及其稳定性计算方法。但有关于蜂巢约束下降雨对边坡稳定性的影响分析少之又少。因此, 本文针对附加蜂巢约束系统后的边坡在降雨冲蚀下稳定性的变化做出系统性的研究, 分析了降雨对边坡的冲蚀作用以及蜂巢约束的作用机理。通过设计试验模拟雨水对边坡的冲蚀, 从冲蚀量、冲蚀速率、以及雷诺数和弗汝德数等角度对比附加蜂巢约束前后边坡稳定性。基于此研究, 有助于我们明确蜂巢约束系统对边坡及其在降雨情况下的约束作用, 对路基边坡的设计、施工以及蜂巢约束的应用有着很大的帮助。

## 2. 蜂巢约束系统简介

蜂巢约束系统, 是一种由聚合物宽带经超声波焊接而成的蜂巢式三维网状物(见图1), 在使用过程中将其拉伸平铺展开后, 用钢针固定在边坡之上, 向格室中填充沙石、泥土或混凝土等材料构成具有强大侧向限制和刚度的结构, 从而代替钢筋水泥等传统材料, 对地表的土壤进行永久性固定和修复, 是当今最先进的土体稳定技术之一[6] [7] [8]是基于蜂窝约束技术和高分子纳米聚乙烯技术, 应对土体稳定与强化难题的生态、经济的革命性材料。

### 2.1. 雨对边坡的作用分析

#### 2.1.1. 自然降雨的基本参数

天然降雨是大气中积雨云的含水量大于临界值时, 雨滴所受重力大于空气浮力而落向地面的一种自

然现象，其相关参数主要有：

1) 雨滴的终点速度：在无风的情况下，雨滴的终点速度主要由雨滴的大小决定，比较常用的计算终点速度的公式有修正的沙玉清公式和修正的牛顿公式。



Figure 1. Diagram of Honeycomb constraint system  
图 1. 蜂巢约束系统示意图

① 当雨滴直径小于 1.9 mm 时，用修正的沙玉清公式计算，如下所示。

$$V_{\max} = 0.496 \times 10^{\sqrt{28.320 + 6.524 \log 0.1d - (\log 0.1d)^2 - 3.665}}$$

② 当雨滴直径大于 1.9 mm 时，用修正的牛顿公式计算，如下所示。

$$V_{\max} = (17.20 - 0.844d) \sqrt{0.1d}$$

式中： $V$ ——雨滴终落速度；

$d$ ——雨滴直径，mm。

按上式计算不同直径的雨滴终点速度并绘制图形，如图 2 所示。

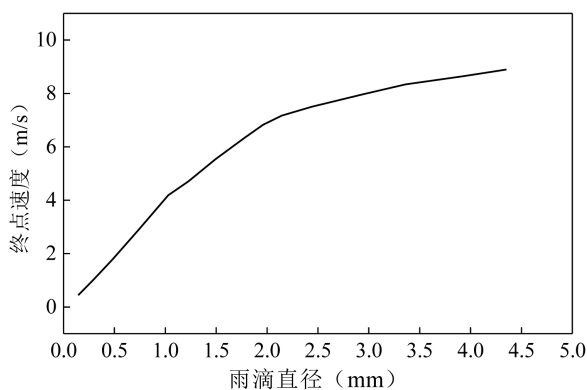


Figure 2. Terminal velocity of raindrops with different diameters  
图 2. 不同直径雨滴对应的终点速度

2) 降雨动能：在降雨对坡面土体的侵蚀分析中，降雨动能的确定是非常重要的。由于其计算过程很繁琐，许多学者将雨滴动能与降雨强度相关系，建立统计方程。如 Wischmeier、江忠善[9] [10] [11] [12] [13] 得出的单位面积上单位降雨量的雨滴动能与雨强的关系式为：

$$E = a + b \lg I$$

式中： $E$ ——降雨动能( $J/m^2$ )；

$I$ ——为降雨强度(mm/min)。

### 2.1.2. 降雨对边坡的侵蚀分析

1) 溅蚀。降雨对边坡的侵蚀过程是降雨能量对坡面土体做功的表现，做功的最初表现形式是雨滴的击溅侵蚀。

2) 冲刷。径流冲刷是地表运动水流作用于地表的一种方式，其结果在于使地表土壤颗粒发生位移，并且以水沙二相水流的方式发生运动的一种过程。

#### a) 水中土颗粒的重量 $W$

水中土颗粒受到浮力的作用，因而其重量  $W$  的计算公式为：

$$\begin{aligned} W &= \gamma' \\ &= \frac{1}{6} \pi D^3 \times \gamma' \\ &= (\gamma_s - \gamma) \frac{\pi D^3}{6} \times V \end{aligned}$$

式中：  $\gamma_s$  ——土颗粒容重；

$\gamma$  ——水的容重；

$D$  ——土的粒径。

#### b) 拖曳力和上举力

拖曳力和上举力为液相水流对固相颗粒的作用力。水流和土颗粒表面接触时将产生摩擦力  $F_1$  当坡面流雷诺数稍大时，颗粒顶部流线将发生分离，并在土颗粒背水面产生涡轂，从而在土颗粒前后产生压力差，形成形状阻力  $F_2$ 。  $F_1$  和  $F_2$  的合力为拖曳力  $F_D$ 。冲刷过程中，土颗粒顶部的流速显著大于底部上颗粒间渗透水流的流速，根据伯努力原理，将产生压力差和与空气动力上升力类似的上举力  $F_L$ ，见图 3。

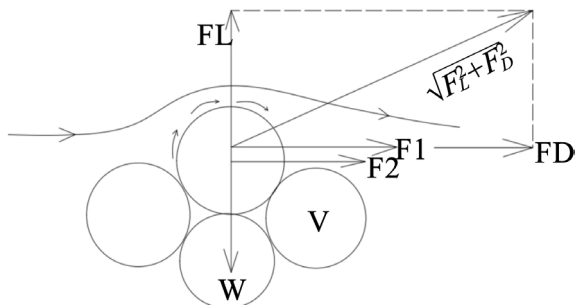


Figure 3. Schematic diagram of towing force and lifting force  
图 3. 拖曳力和上举力示意图

其中，

$$\begin{aligned} F_D &= C_D \frac{\pi D^2}{4} \frac{\rho u_0^2}{2} \\ F_L &= C_L \frac{\pi D^2}{4} \frac{\rho u_0^2}{2} \end{aligned}$$

式中：  $C_D$  ——阻力系数；

$C_L$  ——上举力系数；

$\rho$  ——水的密度；

$u_0$  ——土颗粒表面水流速度。

## c) 渗透压力

当坡面表层渗透条件较好，入渗率较大时，坡面流入渗会产生与入渗方向一致的渗透压力  $F_s$ ，其计算公式如下所示。

$$F_s = \gamma J_s \frac{\pi D^3}{6}$$

式中： $J_s$ ——土中渗透水流的水力坡度。

## d) 粒间离散力

粒间离散力可由动量原理来推求，见图 4。设边坡坡度为  $\theta$ ，水流与坡面水平呈  $\alpha$  角度。坡面土散粒的起动条件为：

$$\frac{F}{(W + F_s) \cos \theta - F_L} = f = \tan \phi$$

式中： $F = \sqrt{[F_D \sin \alpha + (W + F_s) \sin \theta]^2 + F_D^2 \cos^2 \alpha}$ ；

$f, \tan \phi$ ——土颗粒起动摩擦系数。

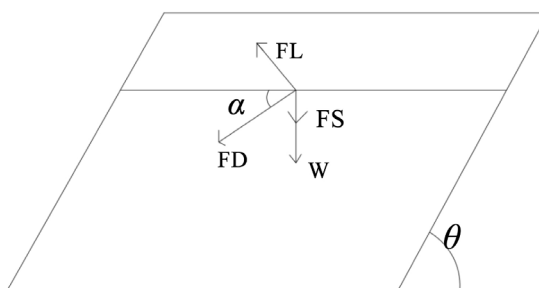


Figure 4. Stress diagram of soil particles on slope surface  
图 4. 坡面上土颗粒受力示意图

因此，土颗粒在坡面水流作用下，受到浮力、拖曳力、上举力、渗透压力等力的作用，在运动过程中还会受到粒间离散力、摩擦阻力等力的作用，当总下滑力大于阻力时坡面发生冲刷。

### 2.1.3. 蜂巢约束系统边坡防护的作用机理

蜂巢约束系统对边坡降雨冲刷有保护作用：第一，其特殊的构造可以延长水流的流动路径，从而消减水的动能，减小流速，达到减少侵蚀量的目的；第二，回填的客土，可以选用适合植物生长的土类，改善坡面植被覆盖情况，这样，不仅可以在一定程度上改善坡面表层的固土能力美化环境，还可以减小雨滴对坡面的击打作用。

## 3. 边坡模拟试验

### 3.1. 试验设备设计及试验方案

#### 3.1.1. 边坡滑动试验

本次试验采用  $3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ，底部有格条的铁试槽。下端挡板设透水孔，距底部  $50 \text{ cm}$  位置，设第一排透水孔，透水孔直径  $5 \text{ cm}$ ，间距  $6 \text{ cm}$ 。

试验用原材料：黄土、沙子、蜂巢约束格栅。吊起装置采用  $10 \text{ t}$  的人工吊起装置。通过观察土样的滑动与否来判断边坡是否破坏，同时记录试槽吊起的高度，计算边坡滑动破坏时的坡度。

### 试验方案及步骤:

实验采用振动夯实机械,按照最佳含水量、90%压实度控制。成型后,将装置吊起至一定坡度,静止 24 小时,观测坡面滑动、变形情况。

试验一:采用黄土填筑试槽,采用分层填筑的方法,分四层填筑,每层厚度 25 cm,采用振动夯实的方法,每层夯实 4 次。在顶层的土样中,加入 15 cm 厚度的格栅,然后放土压实,观察土样滑动情况。

试验二:采用沙子进行填筑,沙子处于松散状态,利用吊起装置吊起,观察其滑动情况。

### 3.1.2. 边坡冲蚀试验

记录边坡滑动时的坡度,利用此时的破断进行边坡冲蚀试验。

#### 供水设计

本次试验采用在试槽顶端利用软水管等间距的钻开小孔,利用水龙头进行控制,测定每个小孔的水流速度,控制水流量的大小。三次试验流量分别为  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。装置坡度 1:1。试验方案以及步骤:

分别制备有无蜂巢约束系统的试件,利用冲刷系统进行边坡冲刷试验。

- 1) 将试槽吊起到边坡滑动破坏的坡度后。
- 2) 打开供水装置,观察水流冲刷的现象,同时记录时间,测试计算在不同时间段土样冲刷的情况;冲蚀量的测试,采用细线拉网格( $10 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$ ),钢板尺测定网格单元深度,计算冲蚀体积。
- 3) 记录不同时间段边坡的冲刷量。

## 3.2. 试验结果

### 3.2.1. 边坡滑动试验结果

试验的起吊高度,分别设置为 1.0 m、1.2 m、1.5 m 和 1.8 m。

对黄土土样,在坡度达到 1:1.5 时,土样基本不变形,并没有丝毫的滑动趋势,24 小时后,无变化;静置几天之后,也没有变形。

对沙子,在未设置格栅时,1.0 m 起吊高度,未破坏;在吊起高度为 1.2 m 时,静止 15 min 时,出现变形,明显的出现滑动。在添加了格栅之后,1.0 m、1.2 m 未破坏;当吊起高度达到 1.5 m 时,静止 30 min,即发生破坏,破坏时坡度大致为 1:1.5。

### 3.2.2. 边坡冲刷试验结果

通过对不同流量、不同时间、有无蜂巢约束系统的试件进行冲刷量的记录,水流冲刷后的试件见图 5,得到结果见表 1。

**Table 1.** Record of the amount of punch  
**表 1.** 冲刷量记录表

| 流量 $\text{m}^3/\text{h}$ | 蜂巢约束系统 | 冲刷量 $\text{m}^3$ |      |      |
|--------------------------|--------|------------------|------|------|
|                          |        | 1 h              | 2 h  | 3 h  |
| 1                        | 有      | 0.38             | 0.68 | 0.95 |
|                          | 无      | 0.48             | 0.92 | 1.34 |
| 1.5                      | 有      | 0.56             | 0.96 | 1.37 |
|                          | 无      | 0.65             | 1.08 | 1.64 |
| 2                        | 有      | 0.82             | 1.36 | 1.94 |
|                          | 无      | 0.85             | 1.46 | 2.16 |



Figure 5. Specimen after water flow erosion  
图 5. 水流冲刷后试件

#### 4. 蜂巢约束系统对边坡冲蚀影响分析

在坡度相同的情况下，有蜂巢约束系统的试件，不同流量在不同时间内对试件的冲蚀量绘制在直角坐标系里，如图 6。

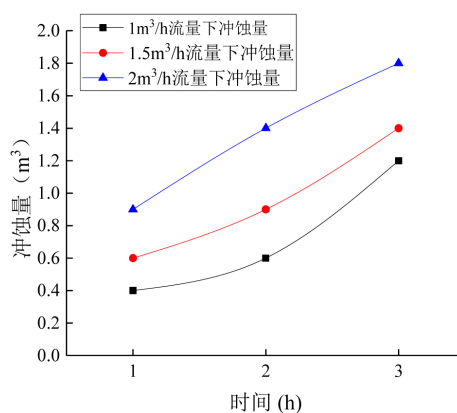


Figure 6. The erosion amount of honeycomb specimens with different flow rates changes with time  
图 6. 有蜂巢试件不同流量下冲蚀量随时间变化图

无蜂巢约束系统的试件，不同流量在不同时间内对试件的冲蚀量绘制在直角坐标系里，如图 7。

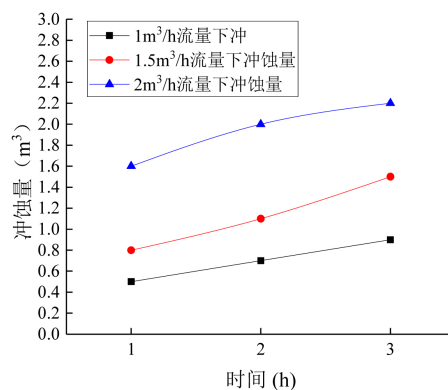
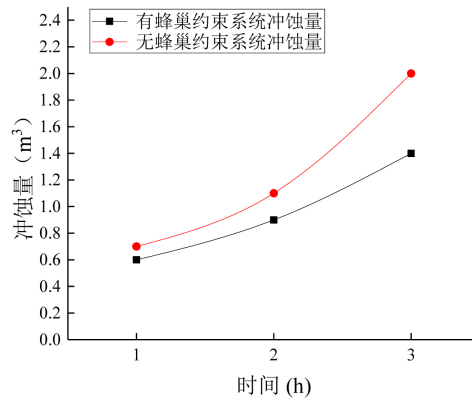


Figure 7. Changes of erosion amount with time under different flow rates of honeycomb free specimens  
图 7. 无蜂巢试件不同流量下冲蚀量随时间变化图

可以明显的看到，随着时间的增加以及流量的增大，无蜂巢约束的边坡及有蜂巢约束的边坡的充实量都呈现递增趋势。

选取 1.5 m<sup>3</sup>/h 流量，对比在有无蜂巢约束系统下，试件随时间增加的冲蚀量，绘制在直角坐标系里，如图 8。



**Figure 8.** Comparison of erosion amount with or without honeycomb restraint system  
**图 8.** 有无蜂巢约束系统冲蚀量对比

由图 8，可以看出，在有蜂巢的情况下，随时间的增加，冲蚀量比无蜂巢约束系统增加的少。计算有无蜂巢约束系统的边坡冲刷量增加情况，具体见表 2。

**Table 2.** Increase in the amount of flushing with or without honeycomb  
**表 2.** 有、无蜂巢冲刷量增加情况

| 流量 m <sup>3</sup> /h | 冲刷量增加(%) |      |      |
|----------------------|----------|------|------|
|                      | 1 h      | 2 h  | 3 h  |
| 1                    | 26.3     | 35.3 | 41.1 |
| 1.5                  | 16.1     | 12.5 | 19.7 |
| 2                    | 3.7      | 7.4  | 11.3 |

无蜂巢时，与有蜂巢相比，冲蚀量增加，最大可增加 40%的冲蚀量，数量惊人。而在相同的冲蚀时间时，冲蚀量随着流量降低，即蜂巢对土基冲蚀的保护在冲刷流速低是更明显，流速过快，其对土基的保护能力发生衰减。

计算有无蜂巢约束系统时边坡冲刷速率，具体见表 3。

**Table 3.** With or without honeycomb erosion rate  
**表 3.** 有、无蜂巢冲刷速率情况

| 流量 m <sup>3</sup> /h | 蜂巢约束系统 | 冲蚀速率 m <sup>3</sup> /h |      |      |
|----------------------|--------|------------------------|------|------|
|                      |        | 1 h                    | 2 h  | 3 h  |
| 1                    | 有      | 0.38                   | 0.34 | 0.32 |
|                      | 无      | 0.48                   | 0.46 | 0.45 |
| 1.5                  | 有      | 0.56                   | 0.48 | 0.46 |
|                      | 无      | 0.65                   | 0.54 | 0.55 |
| 2                    | 有      | 0.82                   | 0.68 | 0.65 |
|                      | 无      | 0.85                   | 0.73 | 0.72 |



随着冲蚀流量的增加, 冲蚀速率增大; 冲蚀开始之初, 冲蚀损失最大, 即, 在同流量时, 冲蚀速率开始较大, 之后减小, 并趋于稳定。有蜂巢保护的冲蚀速率均小于没有蜂巢的。流量提高  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 冲蚀损失速率增加  $0.1\sim 0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。而有蜂巢保护的可降低冲蚀损失  $0.05\sim 0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

试验采用绕流雷诺数分析判断水流的流态, 根据试验研究成果将绕流雷诺数、弗汝德数列于表 4 中。

**Table 4.** Hydrodynamic parameters

**表 4.** 水动力学参数

| 蜂巢约束系统 | 流量( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 流速( $\text{m/s}$ ) | 突起高度( $\text{cm}$ ) | 绕流雷诺数     | 弗汝德数  |
|--------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------|-------|
| 有      | 1                           | 0.35               | 2.1                 | 7037.39   | 0.766 |
|        | 1.5                         | 0.42               | 3.1                 | 12,196.51 | 0.772 |
|        | 2                           | 0.49               | 3.7                 | 17,096.48 | 0.802 |
| 无      | 1                           | 0.40               | 0.8                 | 3073.46   | 1.392 |
|        | 1.5                         | 0.47               | 1.4                 | 6138.87   | 1.276 |
|        | 2                           | 0.53               | 1.8                 | 8885.89   | 1.284 |

通过表 4 可以看出, 不管有没有蜂巢约束系统, 随着流量的增大, 雷诺数呈现递增的趋势; 可以看出雷诺数均大于取定的下临界雷诺数 1000, 判断坡面薄层水流为紊流。同时, 有蜂巢约束系统时, 其流速比无蜂巢约束系统时小。究其原因, 一方面, 随着流量的增大, 累计侵蚀量均增大, 土工格室的平均突起高度亦相应增大, 但是并未能影响到绕流雷诺数的变化趋势; 另一方面, 土工格室的突起高度破坏了水流流动的完整性, 水流在整个坡面的流动被切分为以土工格室为单位的小单元体, 水流每流过一格土工格室都会对其产生扰动, 形成跌坎, 相应的累计侵蚀量越大, 平均突起高度越大, 扰动也越剧烈, 促使绕流阻力作用远大于粘滞力作用。

同时, 由表 4 可以看出, 弗汝德数在有蜂巢约束系统时, 其值小于 1, 属于缓流; 而在无蜂巢约束系统时, 其值大于 1, 属于急流。弗汝德数之所以呈现出这种趋势的原因是: 土工格室的突起高度随着流量、坡度的增大而增大, 土工格室突起高度的值越大, 水流在格室内流动的时间相对越长, 这样一来, 土工格室防护的坡面水流便不同于无土工格室防护的坡面, 水流不再整体的流下, 形成一个个跌坎, 相对减小了坡面的坡度, 减缓了水流。

## 5. 结论

本文通过模拟边坡滑动试验以及降雨冲刷试验, 研究分析了边坡受降雨冲蚀的影响因素及蜂巢约束系统在边坡受到雨水冲刷时的作用, 具体研究结果如下:

- 1) 通过实验发现, 无论有无附加蜂巢约束系统, 随着水流流量的增加以及时间的增加, 冲蚀量增加, 并且水流流量越大, 冲蚀量增加速度越快。
- 2) 无蜂巢时, 与有蜂巢相比, 冲蚀量增加, 最大可增加 40% 的冲蚀量, 蜂巢约束效果十分明显, 这是因为在附加蜂巢约束后, 土会受到蜂巢约束的侧向约束力, 同时在冲蚀的时候, 蜂巢对于水流也有很大的阻碍作用, 减缓了水的流速。而在相同的冲蚀时间时, 冲蚀量随着流量降低, 即蜂巢对土基冲蚀的保护在冲刷流速低时更明显, 流速过快, 其对土基的保护能力发生衰减。
- 3) 随着冲蚀流量的增加, 冲蚀速率增大; 冲蚀开始之初, 冲蚀损失最大, 即, 在同流量时, 冲蚀速率开始较大, 之后减小, 并趋于稳定。有蜂巢保护的冲蚀速率均小于没有蜂巢的。流量提高  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 冲蚀损失速率增加  $0.1\sim 0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。而有蜂巢保护的可降低冲蚀损失  $0.05\sim 0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ 。
- 4) 采用绕流雷诺数分析判断水流的流态, 发现不管有没有蜂巢约束系统, 随着流量的增大, 雷诺数

呈现递增的趋势；可以看出雷诺数均大于取定的下临界雷诺数 1000，判断坡面薄层水流为紊流。同时，有蜂巢约束系统时，其流速比无蜂巢约束系统时小，这进一步体现了蜂巢对于水流的阻碍作用，降低了流速，对边坡具有很好的保护作用。

## 参考文献

- [1] 王志强, 马晓亮. 持续降雨环境下高速公路边坡稳定性影响的数值模拟分析[J]. 公路工程, 2018, 43(5): 310-315.
- [2] 郭方琴. 降雨与水位升降对边坡稳定性影响分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [3] 王建秀, 杨立中, 何静. 非饱和土降雨诱发塌陷成因探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(2): 17-21.
- [4] 朱文彬, 刘宝琛. 降雨条件下土体滑坡的有限元数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 509-512.
- [5] 殷坤龙, 汪洋, 唐仲华. 降雨对滑坡的作用机理及动态模拟研究[J]. 地质科技情报, 2002, 21(1): 75-78.
- [6] 刘晓冬, 韩俐伟. 蜂巢约束系统——新型生态土工合成材料在工程中的应用[J]. 化学工程师, 2018, 32(2): 60-63.
- [7] 罗贞礼. 蜂巢约束系统——当今最先进的土工合成材料集成应用方案[J]. 新材料产业, 2012(3): 36-41.
- [8] 土工材料行业发展趋势[J]. 水利水电技术, 2010, 41(6): 86.
- [9] 何健. 降雨入渗条件下的水气响应及边坡稳定性分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [10] 张维. 降雨条件下裂隙性膨胀土渗流稳定与变形分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [11] 雷坚. 基于随机场理论的边坡稳定可靠性及降雨滑坡风险分析[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- [12] 张雪, 盛岱超. 一种模拟土体流动的连续体数值方法[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(3): 562-569.
- [13] 杨明成, 康亚明. 容重增加法在边坡稳定性分析中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(6): 187-190.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)