

## 椰纤维网边坡防护降雨冲刷试验研究\*

李凯<sup>1</sup>, 傅鹤林<sup>2</sup>, 黄震<sup>2</sup>, 张加兵<sup>2</sup>, 姚荣<sup>2</sup>

(1.广东省南粤交通投资建设有限公司, 广东 广州 510101; 2.中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 通过降雨冲刷和面流冲刷室内模型试验模拟研究不同直径、不同间距下椰纤维网生态防护边坡的表面降雨冲刷形态特征及面流冲刷规律, 分析椰纤维网生态防护边坡在降雨作用下的坡面冲刷规律。结果表明, 椰纤维网防护能降低边坡的降雨冲刷, 减少细沟形成与扩展; 椰纤维网能增加坡面抗冲刷能力, 在其防护下, 泥砂冲刷总量比裸坡减少 40% 以上, 坡面水流速度降低 20% 以上; 椰纤维网网孔距离越小, 坡面冲刷量及坡面水流速度均越小。

**关键词:** 公路; 边坡; 椰纤维网; 生态防护; 降雨冲刷; 坡面面流

中图分类号: U418.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0120-04

在公路路基修筑过程中, 大量边坡开挖会对生态环境造成一定影响, 需采取生态防护方法进行治疗。然而治理方法不当, 极易引起水土流失, 给公路运营安全留下隐患。在确保边坡稳定性的前提下, 采取优质、环保的工程防护措施是边坡防护的重要研究方向, 也是现代环保设计理念的发展趋势。喷播植被具有施工简便、效果显著的特点, 是一种具有发展前景的生态防护技术, 应用该技术时需选取新型生态材料替代塑料网、铁丝等非环保材料。近年来, 椰纤维网作为一种环保材料在边坡防护中得到应用, 其主要功能在于可在植物生长前期对边坡表面起到土层加筋与表层抗冲刷作用, 边坡植物群落生长正常且稳定后其可自然降解, 为当前边坡防护工程中因土工合成材料大量应用而产生固体废弃物污染问题的彻底解决提供了一种思路与方法。该文通过室内模型试验研究椰纤维网生态边坡的降雨冲刷和面流冲刷规律, 探讨椰纤维网在植物生长前期对边坡表层的抗冲刷作用, 为高速公路椰纤维网生态边坡防护提供理论依据。

## 1 椰纤维网边坡生态防护技术

将椰子壳通过机械粉碎, 经过处理得到椰纤维, 并将其编织成一定规格的网(见图 1)。椰纤维网边坡生态防护技术就是在边坡上铺设椰纤维网, 并在其中种植固坡植被, 在植被根系生长作用下形成边坡整体防护体系。该技术综合考虑了椰纤维网与植物防护的优势, 在保护生态环境的前提下对边坡进



图 1 椰纤维网

行防护。其特点及优点如下:

(1) 生态性好。由于椰纤维为植物纤维, 具有自然降解的属性, 环保性好。同时椰纤维网在覆盖坡面后能防止水、热、风等对土体的侵蚀, 对土体和植物起到保护作用, 为植物的发芽和生长提供良好的自然环境, 提高水、化肥、阳光等利用的有效性。

(2) 防护性好。在边坡表面铺设椰纤维网, 根据地形、土质、地貌及气候选择合适的植被, 植被的根茎与椰纤维网和土结合后, 可增强土颗粒的整体性, 且植被能防止雨水直接冲刷。

(3) 施工迅速。采用椰纤维网, 工程量小, 铺设快速, 无需辅助设备, 天气良好时每个工人一天可完成上千平方米椰纤维网的铺设, 人工成本低。

## 2 降雨冲刷模拟试验

目前市场上的椰纤维绳以 6、12 mm 两个直径为主, 故主要针对这两种直径的椰纤维网进行试验研究。针对土质边坡, 采取不同直径和间距的纤维网进行边坡防护, 在相同降雨强度、边坡坡度和降雨历时

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51578550); 国家自然科学基金重点基金资助项目(51538009)

条件下进行降雨冲刷模拟,得到不同防护形式边坡的冲刷结果。试验用土的基本物理指标见表 1。

表 1 土的基本物理指标

项目	指标值	项目	指标值
液限	33.4	比重	2.678
塑限	20.2	最优含水率/%	17.3
塑性指数	13.2	最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.89

### 2.1 试验设备

采用自制边坡模型(见图 2),尺寸为长 180 cm × 高 20 cm × 宽 140 cm,该模型能调节边坡坡度,收集边坡雨水。降雨采用 18 个喷头。

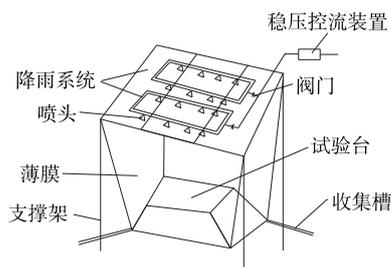


图 2 边坡模拟设备

### 2.2 试验方案

结合工程应用情况,取边坡坡比为 1 : 1,降雨量取 5.0 mm/min。对边坡实施 6 次降雨,每次历时 10 min,降雨过程中收集冲刷水量。为模拟实际工况,在椰纤维网边坡上铺设 2 cm 厚含有草籽的营养土。以不同防护形式作为试验工况(见表 2)。

表 2 降雨冲刷模拟试验工况

工况编号	防护形式
1	裸露边坡
2	间隔 10 cm、直径 6 mm 椰纤维网
3	间隔 10 cm、直径 12 mm 椰纤维网
4	间隔 5 cm、直径 6 mm 椰纤维网
5	间隔 5 cm、直径 12 mm 椰纤维网
6	间隔 10 cm、直径 6 mm 加营养土椰纤维网
7	间隔 10 cm、直径 12 mm 加营养土椰纤维网

### 2.3 试验过程

不同工况下降雨冲刷试验前后边坡情况见图 3~6。由图 3~6 可知:裸露边坡降雨冲刷后,在坡体表面形成了较大沟壑,土体表面破坏面积大,水土流失严重,存在滑坡的现象。采用椰纤维网护坡后,坡面的降雨冲刷作用减弱,没有产生较大沟壑,只形成了细沟,边坡相对稳定,间距越小,防护效果越好。

主要原因是椰纤维网能阻碍坡面水流,降低水流速度,减少土颗粒流失。在降雨作用下,营养土存在流失和向下推移的情况,边坡土体无滑移和冲刷现象。在实际工程中建议铺设含有草籽的营养土后及时采取措施对坡面进行土工布覆盖,防止大的降雨造成营养土流失。



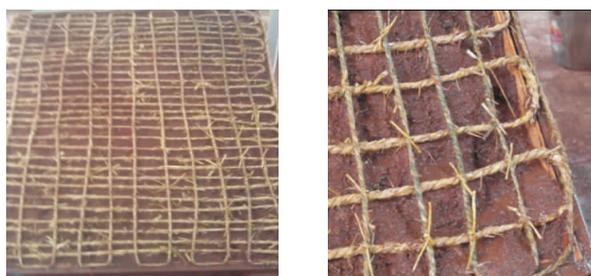
(a) 冲刷前 (b) 冲刷后

图 3 裸露边坡



(a) 冲刷前 (b) 冲刷后

图 4 直径 6 mm 椰纤维网防护后的边坡



(a) 冲刷前 (b) 冲刷后

图 5 直径 12 mm 椰纤维网防护后的边坡



(a) 冲刷前 (b) 冲刷后

图 6 覆盖营养土的直径 12 mm 椰纤维网防护后的边坡

## 2.4 试验结果及分析

降雨强度=降雨量/冲刷面积×时间;雨水收集比率=雨水收集量/降雨量;泥砂含量=泥砂量/取样体积。依据上述公式对试验结果进行处理,得到不同防护形式下边坡泥砂冲刷情况(见图7~10)。

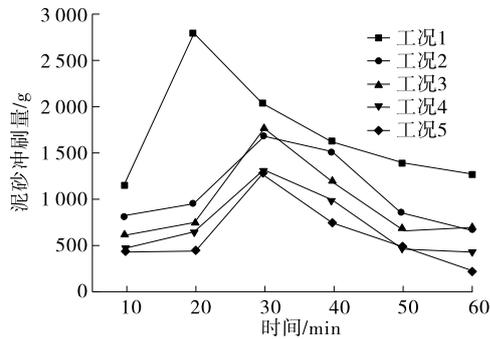


图7 泥砂冲刷量变化曲线

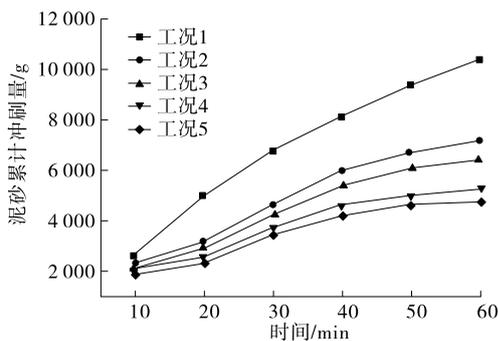


图8 泥砂累计冲刷量变化曲线

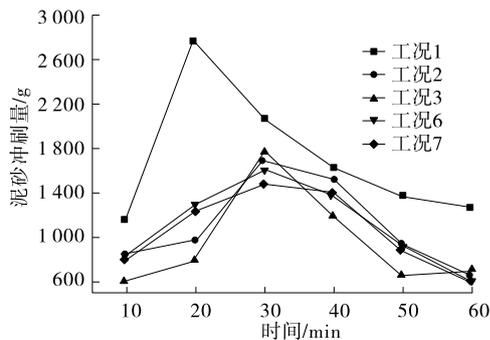


图9 加营养土防护泥砂冲刷量变化曲线

由图7~10可知:1) 裸露边坡的泥砂冲刷量高于椰纤维网防护边坡,且其峰值出现的时间比椰纤维网防护边坡早,体现出椰纤维网防护对泥砂的拦截作用。椰纤维网间距越小,对泥砂冲刷的防护效果越好;椰纤维网的直径越大,对泥砂的拦截效果越好。2) 裸露边坡的泥砂累积冲刷量显著高于椰纤维网防护边坡。椰纤维网的间距越小,泥砂累积冲刷量越小;椰纤维网的直径越大,泥砂累积冲刷量越

小;椰纤维网间距对防护效果的影响大于椰纤维网直径。3) 椰纤维网边坡防护土体表面铺设营养土后,泥砂冲刷量略微增加,铺设营养土对椰纤维网边坡防护几乎无影响;总泥砂量增加不大,铺设营养土对边坡防护的整体效果影响不大。

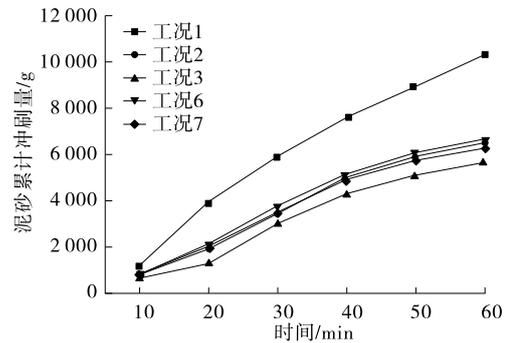


图10 加营养土泥砂累计冲刷量变化曲线

## 3 面流冲刷模拟试验

### 3.1 试验设备

面流装置的尺寸为长90 cm×高10 cm×宽60 cm,采用3 mm阳光板制作,主要分为入水水箱、稳定层和出水口三部分(见图11)。出水口每个孔径为3 mm,长度10 cm。试验时,自来水通过水管进入水箱,之后流入稳定层(稳定层水流稳定,水面高度平稳一致,无紊流),再从出水口的各小孔均匀流向坡面。由于流入边坡的水流平稳,初始高度相同,水头梯度不变,流向边坡顶端的速度也相同,阳光板出水口均匀分布的小孔能使水流均匀分布在坡面上,不形成汇流。

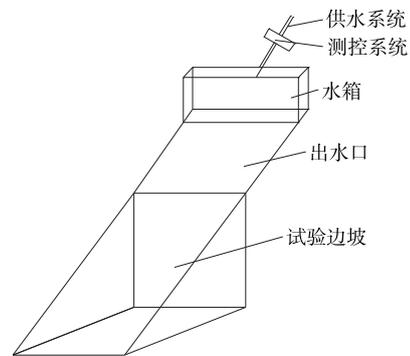


图11 面流装置示意图

### 3.2 试验方案

试验边坡坡比为1:1,降雨量为5.0 mm/min,试验用土及其压实度与冲刷模拟试验一致。冲刷历时60 min,每隔10 min在坡面左、中、右三处滴染色

剂,采用照相机对坡面面流情况进行拍摄,并依据时间计算染色剂的流动距离。试验模拟工况见表 3。

表 3 面流冲刷模拟试验工况

工况编号	防护形式
1	裸露边坡
2	间隔 10 cm、直径 6 mm 椰纤维网
3	间隔 5 cm、直径 6 mm 椰纤维网

### 3.3 试验结果及分析

边坡面流冲刷试验得到的坡面面流速度变化情况见图 12。

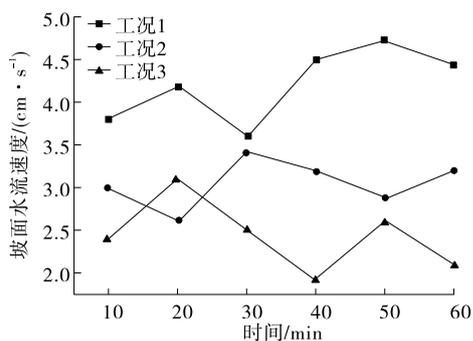


图 12 坡面面流速度折线图

由图 12 可知:裸露边坡的坡面水流速度大于椰纤维网防护边坡,且随着降雨历时的增加呈增大趋势。主要是由于坡面土颗粒逐渐流失形成了贯通的沟壑,促进了水流速度的增加。椰纤维网的间隔越小,坡面水流速度越小,这是由于椰纤维增大了坡面的粗糙度,有利于降低坡面水流速度。在减少土颗粒流失方面,椰纤维网能起到很好的防护效果。

\*\*\*\*\*  
(上接第 108 页)

因素的影响,适宜的施工温度势必是变动的,而施工温度对拌和效果、混合料性能和施工经济性都有重要影响。该文提出的方法可针对具体工程及材料特点确定适宜的温拌沥青混合料施工温度,从而实现工程经济、混合料性能的良好平衡,具有一定的现实意义和理论价值。

温拌剂的添加增加了混合料强度固化规律的复杂性,而如果不考虑固化程度的不同,会造成对混合料性能评价指标的明显偏差。该文提出的温拌沥青混合料固化时间限制能有效减小混合料性能波动程度,确保后续测试结果的稳定性和有效性,可为温拌再生混合料的配合比设计、性能评价等提供基础,具有重要现实意义。

## 4 结论

(1) 椰纤维网防护下边坡的泥砂冲刷总量比裸露边坡少 40% 以上,防护效果明显。

(2) 椰纤维网网孔距离越小,泥砂冲刷量越小,边坡防护效果越好;椰纤维网间距对边坡防护效果的影响更大;铺设营养土对边坡防护的整体效果影响不大。

(3) 椰纤维网防护对边坡细沟侵蚀有抑制作用,减少了细沟的形成;椰纤维绳使坡面水流速度降低 20% 以上,防护效果明显,且椰纤维网网孔距离越小,坡面水流速度越小,防护效果越好。

### 参考文献:

[1] Al-Durrach M M, Bradford J M H. New methods of studying soil detachment due to waterdrop impact[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45(5).

[2] Anderson Bradley A, Simons Daryl B. Soil erosion study of exposed highway construction slopes and roadways[J]. Transportation Research Record, 1984, 948.

[3] 杨淮.公路边坡生态恢复[D].西安:长安大学,2008.

[4] 王云.高挖边坡稳定性与生态防护技术研究[D].西安:长安大学,2012.

[5] 王桂尧,肖侃,田瑞丰.绳网护坡的强降雨冲刷和雨水入渗试验研究[J].水土保持研究,2016,23(1).

[6] 孔嵘,王桂尧.几种边坡生态防护形式对雨水入渗影响的试验研究[J].中外公路,2014,34(1).

收稿日期:2017-02-10

### 参考文献:

[1] 刘国礼,陈德臣.沥青砼面层施工中应重视的几个问题[J].公路与汽运,2009(2).

[2] 朱梦良,严鑫,郁飞,等.温度对胶粉改性沥青混合料体积参数的影响[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2013,10(3).

[3] 刘国礼.实行路用集料整体质量控制的必要性及措施[J].公路与汽运,2009(1).

[4] 欧阳伟,王连广,杨彦海.基于乳化技术的温拌沥青混合料应用研究[J].中外公路,2008,28(4).

[5] 李钰,黄勇,李平,等.新疆地区不同温拌剂沥青混合料路用性能对比[J].公路与汽运,2015(4).

收稿日期:2017-03-29