

绳网护坡的强降雨冲刷和雨水入渗试验研究

王桂尧¹, 肖侃^{1,2}, 田瑞丰¹

(1. 长沙理工大学 土木与建筑学院, 长沙 410114; 2. 南宁市交通工程质量监督站, 南宁 530001)

摘要:基于公路边坡的水土保持及稻秸秆等废弃物的全生态循环利用目的,研发了可防雨水冲刷的全生态绳网护坡结构,设计了室内模拟边坡的强降雨冲刷和雨水入渗试验。通过测试不同绳网参数护坡的坡面冲刷水流速度、泥沙冲刷量及雨水入渗情况,研究绳网护坡的防雨水冲刷机理及雨水入渗特点,得到绳网护坡的最优设计参数。通过绳网护坡的现场试验,得到南方高温多雨地区绳网护坡的应用效果,以及草绳绳网的腐烂变化情况。与无防护裸坡相比,绳网护坡能减缓坡面水流流速 20%~50%,减少强降雨引起的泥沙冲刷量 60%以上,同时绳网护坡还能明显增加雨水入渗,因此绳网护坡比其他方法更有利于水土保持。

关键词:公路边坡;绳网护坡;雨水入渗;强降雨冲刷;试验研究

中图分类号:U416.1; S157.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0018-05

Experimental Study on Erosion and Rainwater Infiltration on the Rope Net Protection Slope Under Heavy Rainfall

WANG Guiyao¹, XIAO Kan^{1,2}, TIAN Ruifeng¹

(1. School of Civil and Architecture Engineering, Changsha University of Science & Technology,

Changsha 410004, China; 2. Traffic Engineering Quality Supervision Station of Nanning, Nanning 530001, China)

Abstract: Based on the soil and water conservation of highway slope and the entire ecosystem of rice straw and other waste recycling purpose, the full ecological rope net slope protection structure which can prevent rainfall erosion has been developed. Through erosion tests of self-developed indoor simulated side-slope erosion devices, various parameters such as velocity of water flow scouring the surface of the slope, amount of sediment and the rainfall penetration have been compared and analyzed. The mechanism of rainfall erosion for rope net protection has also been examined and the optimal parameter has been screened. Through rope net slope protection field test, the rope net application effect on slope protection and straw rope net changes of decay in high temperature and rainy southern region are obtained. Compared with the unprotected bare slope, the slope with rope net protection can slow slope flow velocity by 20% ~ 50%, reduce more than 60% of sediment erosion caused by heavy rainfall. It shows that the performance of the rope revetment was better than the groundwork lattice revetment under the same circumstance, while the rope revetment could also increase the infiltration of waterfall, which would be beneficial for the conservation of water and soil.

Keywords: highway slope; rope net protection slope; rainwater infiltration; heavy rainfall erosion; experimental study

南方地区强降雨频发对边坡的冲刷和入渗造成了大量路域边坡的滑塌破坏,特别在粉质土等强度低、易冲刷或边坡施工完成后植被生长尚未发挥防冲刷作用的1~2年内,这种破坏极为普遍。为既不影响坡面绿

化,又能达到防雨水冲刷的作用,国内外分别研究了纸质植生带、三维土工网、土工格室、六角型混凝土空心块植草、刚性骨架植草、多孔混凝土植草等技术方法^[1-6],并在一定条件的边坡工程中进行了试验或应

用,但这些方法普遍存在造价较高,并需要大量使用非降解或难降解的土工合成材料或水泥材料等,并且这些方法的试验研究主要关注雨水冲刷问题^[7-12],很少研究不同方法的雨水入渗问题。因此研究一种既可以防雨水冲刷,又可以改善雨水入渗条件并具有价格低廉优势的全生态护坡结构具有重要意义。

椰绳绳网(CF 网)护坡是近几年提出的一种全生态护坡方法,并在一些公路工程中得到试验应用^[13-15],但绳网护坡的防强降雨冲刷机理、绳网参数的改变对强降雨冲刷和雨水入渗有何影响等问题尚未开展系统研究,能否通过改变绳网直径调节控制坡面的防冲刷和雨水入渗效果等不得而知,同时椰绳绳网普遍需要进口,绳网价格相对较高,从而影响椰绳绳网在边坡生

态防护中的应用。为此本文提出采用草绳绳网护坡新方法,并通过不同绳网参数的室内外试验,研究探讨绳网护坡防冲刷及改变雨水入渗的机理以及草绳绳网护坡的可行性,以便发挥该技术方法可完全降解、清洁无污染、价格便宜、可废物利用及易于推广等优点。

1 室内模拟冲刷试验

1.1 室内模拟冲刷试验方法

室内模拟边坡冲刷试验装置如图 1—2 所示,选用直径为 7.1 mm 和 12.8 mm 的草绳绳网,根据不同线径和网孔尺寸的绳网,以及土体表面是否加营养土的绳网防护形式进行模拟冲刷试验,同时与土工格室护坡冲刷试验做对比,具体试验组合方案如表 1 所示。



图 1 室内边坡模拟装置

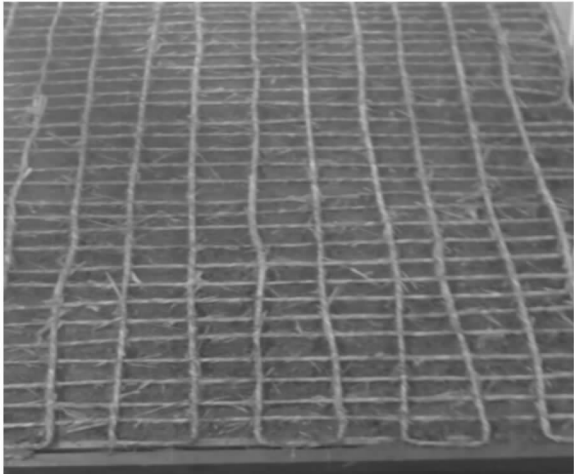


图 2 边坡草绳绳网护坡

表 1 试验方案

序号	防护形式
1	裸露边坡
2	间隔 10 cm、直径 7.1 mm 绳网
3	间隔 10 cm、直径 12.8 mm 绳网
4	间隔 5 cm、直径 7.1 mm 绳网
5	间隔 5 cm、直径 12.8 mm 绳网
6	间隔 10 cm、直径 7.1 mm 加营养土绳网
7	间隔 10 cm、直径 12.8 mm 加营养土绳网
8	高度 10 mm 加营养土的土工格室

如图 3 所示,模拟装置由有机玻璃制作而成,模拟边坡尺寸分别为:长 100 cm×高 55 cm×宽 20 cm×厚 1 cm 和长 75 cm×高 55 cm×宽 20 cm×厚 1 cm。分层击实成型后的压实度为 90%。

面流装置由入水水箱、稳定层和出水口 3 个部分组成,装置高 20 cm,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,而后流入稳定层,稳定层水流趋于稳定,水面高度平稳一致,无紊流,接着水流再从出水口的各个小孔均匀流向坡面。由于流入边坡的水流平稳,初始高度相同,水头梯度不变,故而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。

1.3 试验用土的物理指标

试验用土的物理指标如表 2 所示。

2 结果与分析

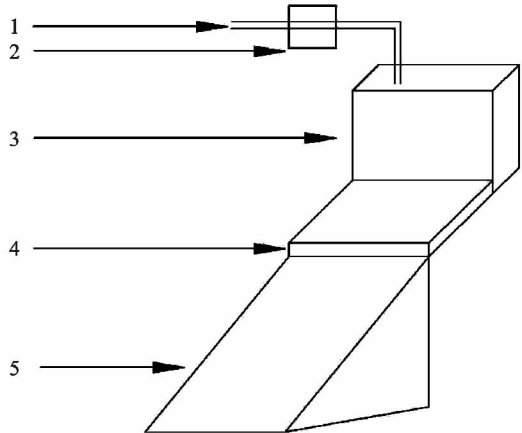
2.1 雨水冲刷试验结果与分析

经过模拟冲刷试验的雨水收集、澄清、烘干和称重之后,计算得到强降雨冲刷试验结果如图 4—7 所示。

室内模拟冲刷试验的降雨强度为 5.0 mm/min 左右,每次降雨 10 min,共降雨 6 次。试验土样的含水率为 11%,压实度为 88%。降雨试验前,以较小的降雨量湿润边坡,冲刷试验时,利用集水槽收集降雨产生的冲刷泥水量,并将每次收集的冲刷水量烘干得到泥沙含量。

1.2 雨水入渗室内模拟试验方法

雨水入渗模拟试验的模拟边坡坡比分别为 1:1, 1:1.5。采用面流冲刷,模拟降雨强度为 4.0 mm/min,连续降雨历时 4 h。



注:1 为供水系统;2 为测控系统;3 为水箱;4 为出水口;5 为试验边坡。

图 3 模拟试验装置

表 2 试验土体物理指标

指标	液限/W _L /%	塑限 W _p /%	塑性指数 I _p	比重 G _s	最佳含水率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)
数值	33.4	20.2	13.2	2.678	17.3	1.89

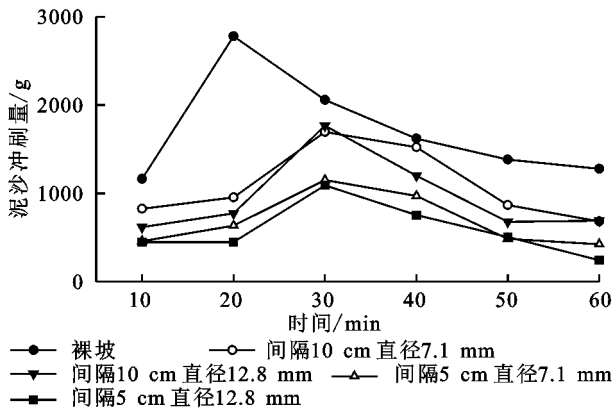


图 4 泥沙冲刷量试验结果

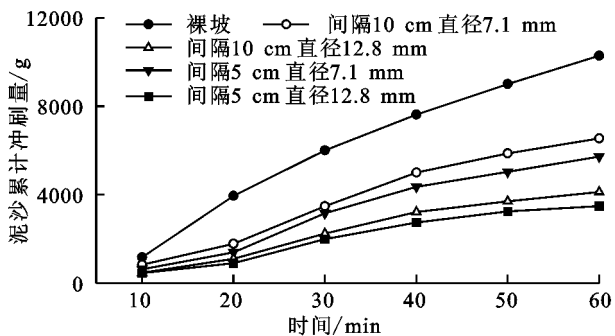


图 5 泥沙累计冲刷量试验结果

由以上试验结果分析,可得到以下结论:

(1) 草绳绳网护坡的泥沙冲刷总量比裸坡泥沙冲刷总量减少 60% 以上,因此草绳绳网护坡具有明显的防雨水冲刷效果。

(2) 由图 4 可知,草绳绳网对泥沙的拦截作用,使泥沙冲刷量的峰值延后,且峰值泥沙量相应减少。

(3) 如图 5 所示,不同尺寸绳网防护对应的总冲刷量可知,绳网网孔越小,冲刷量越少,防冲刷效果更好;绳网直径越大,泥沙冲刷量越少。但不同绳网直径的防冲刷效果差距不明显,因此绳网直径和网孔大

小相比,网孔大小对坡面冲刷影响更大。

(4) 由图 6—7 可知,在草绳绳网护坡表面铺设营养土后,泥沙冲刷量有一定的增加,但对其冲刷总量影响不大,与尺寸相当的土工格室相比,草绳绳网护坡的累计冲刷量减少 12%,因此草绳网护坡比土工格室护坡具有更好的防冲刷效果。

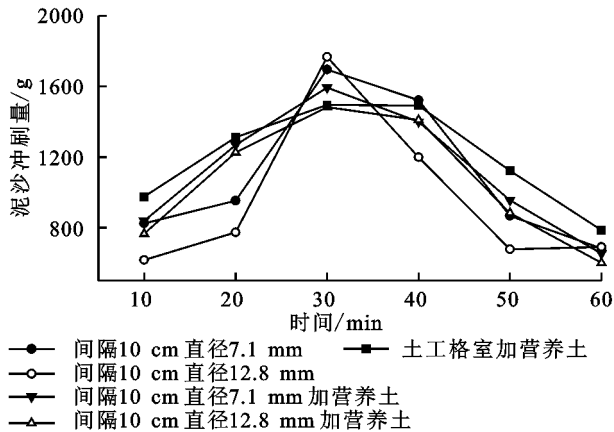


图 6 加营养土防护泥沙冲刷量试验结果

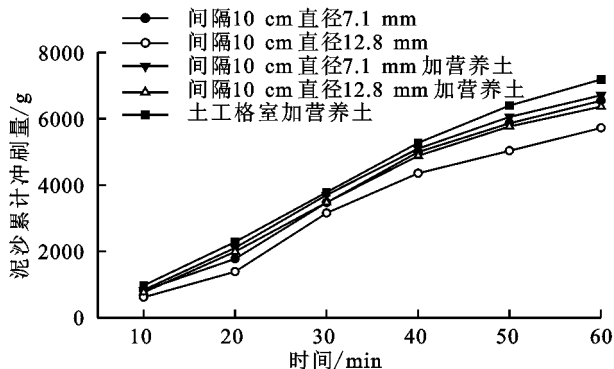


图 7 加营养土泥沙累计冲刷量试验结果

2.2 坡面水流流速测试及分析

在边坡正前方架设相机三脚架,调整到一定高

度,相机正对坡面,待到一定时间后从边坡坡顶左中右 3 处滴入有色染剂,同时用相机连拍,连拍间隔 t ,然后计算前后高度差 h ,得到 3 处平均值,计算出坡面流平均流速如图 8 所示。

可见,坡面的绳网能显著减小坡面的水流速度,在本试验条件下,绳网护坡比裸露边坡的坡面水流减小流速 20%~50%,其中绳网布置间距越小,水流流速减小幅度越大。

2.3 雨水入渗试验结果与分析

坡比 1:1.5,1:1 绳网护坡及裸露边坡的模拟雨水入渗试验完成后,每隔 10 cm 取点切片烘干测量边坡土体含水率,绘制边坡等含水率分布线。由于边坡含水率普遍在 15%~25%,所以边坡等含水率分布线采用 17%,19%,21%,23%和 25% 这 5 种代表

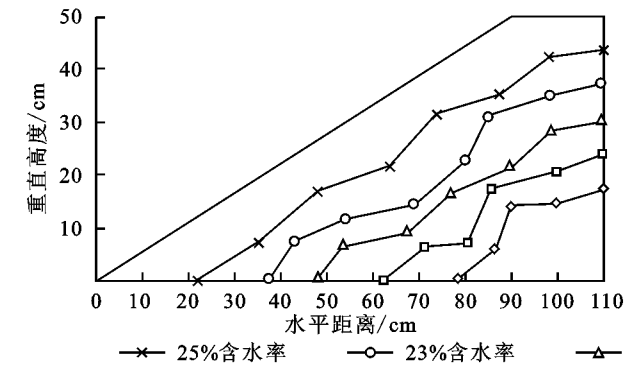


图 9 坡比为 1:1.5 的边坡等含水率线试验结果

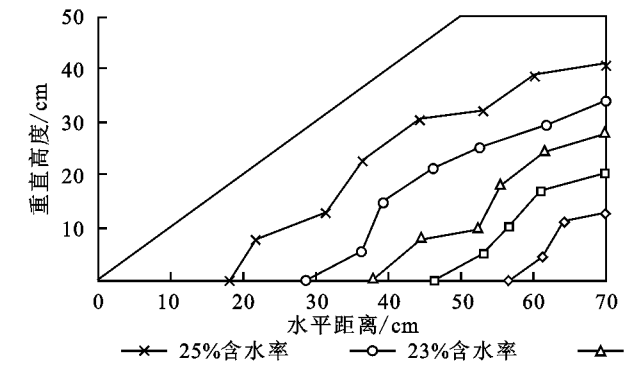


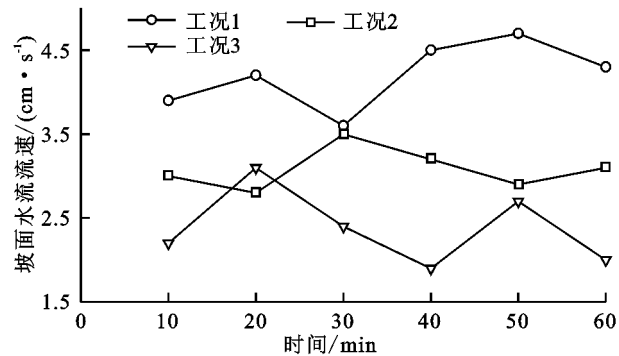
图 10 坡比为 1:1 的边坡等含水率线试验结果

由图 9—10 可知,绳网护坡的雨水入渗大于裸露边坡雨水入渗范围,这种现象在坡比为 1:1.5 缓坡表现最明显,而 1:1 陡坡的表现不很明显。出现这种现象的原因是,绳网能增加坡面的粗糙度,从而减小坡面的水流速度,增加坡面的雨水入渗深度。但随着坡度的增加,不仅坡面水流加快,而且接触雨水的坡面面积也相应减小,因此这种差异在坡度较陡时表现不明显。

2.4 现场试验及结果分析

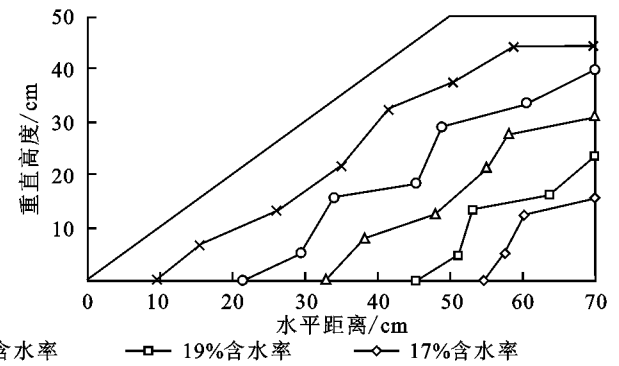
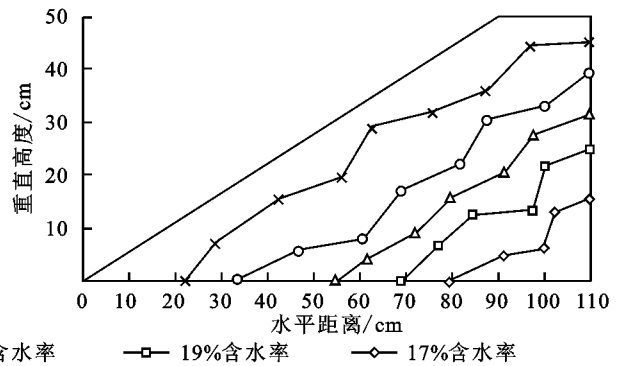
为验证绳网护坡在实际工程中的防冲刷效果,在湖南醴茶高速公路进行了现场试验。该高速公路区域属亚热带季风性湿润气候,四季分明,雨量充沛,年降水量约 1 500 mm。针对试验段 4 种常见的黏土、

性的含水率绘制,绘制的边坡等含水率分布线如图 9—10 所示。



注:工况 1 为裸露边坡;工况 2 为绳网间距 10 cm 护坡;工况 3 为绳网间距 5 cm 护坡。

图 8 坡面水流流速测试结果



砂性土、风化泥岩和卵石土边坡进行绳网护坡试验。

一年雨季过后,在绳网与边坡之间形成明显的台阶状,绳网与边坡贴合紧密,营养土和草籽在强降雨中未被大量冲刷,目前边坡稳定,无滑坡、沟槽,水土保持效果明显,植被长势良好,证明绳网护坡在实际工程运用中切实可行。由于绳网价格低廉,因此绳网护坡相对于框架护坡等具有明显的价格优势。

对于椰绳绳网而言,其腐烂变化的时间一般为 1~2 a,而草绳绳网的腐烂时间则相对要短。高温雨季现场试验草绳绳网强度变化参数测试结果如图 13 所示,在南方高温多雨春夏季节,经历半年时间,草绳能保持初试强度的 15% 以上,但由于草绳绳网与冲

刷台阶的土壤形成了一个整体,并且孔隙被渗入土粒填充后的草绳能减少草绳与空气的接触而减慢氧化腐烂速度,因此一年内的草绳绳网护坡仍不会由于雨水的冲刷而破坏。草绳绳网护坡能够为植被的生长

提供一个良好的生长环境,避免暴雨冲刷导致边坡的水土流失,带走未发芽的种子和刚刚生长的幼苗。经历一个完整的雨季后,草绳绳网开始腐烂,并自然降解在土壤中,转换为有机肥料。



图 11 砂性土边坡施工完成 30 d 后效果

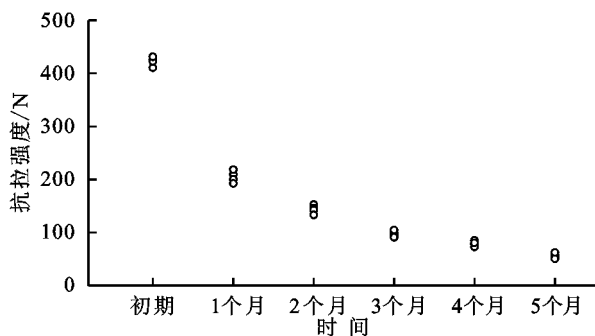


图 13 草绳抗拉强度时间变化

3 结论

(1) 绳网覆盖在边坡表面能与植物根系形成水平与垂直双向加筋效应,可有效提高边坡抗冲刷能力。与裸露边坡相比,绳网护坡使泥沙冲刷量的峰值延后,峰值泥沙量也相应减少;绳网护坡比裸露边坡减少强降雨冲刷泥沙量达 60% 以上;同等条件下覆盖绳网比采用土工格室护坡的冲刷量减少 10%~20%。

(2) 与裸露边坡相比,采用绳网护坡能明显增加雨水入渗深度和入渗范围,因此绳网护坡更有利于大气降水转化为地下水,但边坡含水率增加的不利影响会使边坡稳定性降低。

(3) 在本试验面流条件下,绳网护坡比裸露边坡坡面水流减小流速 20%~50%,这种对坡面水流的减速作用是绳网护坡能够减少坡面冲刷和增加雨水入渗的主要原因。

(4) 在南方春夏雨季的半年时间段内,暴露在大气中的草绳绳网强度减少到初始强度的 15%,但由于草绳绳网与冲刷台阶的土壤形成了一个整体,使草绳绳网护坡在一年内仍不会由于雨水冲刷而破坏。

参考文献:

[1] 熊孝波,桂国庆,郑明新,等.高速公路边坡生态防护研



图 12 黏土边坡施工完成 60 d 后效果

究现状与展望[J]. 井冈山学院学报:综合版,2008,29(10):5-11.

- [2] 孔东莲,郭小平,赵廷宁.植被护坡技术的研究[J].水土保持研究,2007,14(1):69-71.
- [3] 张俊云,李绍才.岩石边坡生态护坡研究简介[J].水土保持通报,2000,20(4):36-38.
- [4] 卓慕宁,李定强,郑煜基.高速公路生态护坡技术的水土保持效应研究[J].水土保持学报,2006,20(1):164-167.
- [5] 荣冠,王思敬,王恩志,等.强降雨下元磨公路典型工程边坡稳定性研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(4):704-711.
- [6] 赵玉丽,牛健植.人工模拟降雨试验降雨特性及问题分析[J].水土保持研究,2012,19(4):278-283.
- [7] Osman N, Barakbah S S. Parameters to predict slope stability: Soil water and root profiles[J]. Ecological Engineering,2006,28(1):90-95.
- [8] 蒋德松,蒋冲,赵明华.城市岩质边坡生态防护机理及试验[J].中南大学学报:自然科学版,2008,39(5):1087-1093.
- [9] Tosi M. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy)[J]. Geomorphology,2007,87(4):268-283.
- [10] 申震洲,姚文艺,李勉,等.不同下垫面对坡面侵蚀特征的影响[J].水土保持研究,2010,17(1):6-9.
- [11] 张卢明,何敏,郑明新,等.降雨入渗对滑坡渗流场和稳定性的影响分析[J].铁道工程学报,2009(7):15-19.
- [12] 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):23-28.
- [13] 朱祖盛.椰纤维网在喷混植生技术中的应用[J].公路交通科技:技术版,2010,6(7):284-287.
- [14] 程晔,方靓,赵俊锋.高速公路边坡 CF 网防护抗冲刷室内模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(S1):2935-2941.
- [15] 刘长红.草灌型 CF 椰纤维网育苗保水技术研究[J].湖南交通科技,2008,34(4):184-186.