

土工格室防护边坡抗冲刷规律试验研究

王广月, 孙秀玲, 魏金祥

(山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061)

摘要: 采用变坡试验水槽对土工格室防护坡面的侵蚀规律进行了试验研究。试验坡度为 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 放水流量 $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。基于传统的径流量和产沙量测定方法, 分析了土工格室边坡坡面的产流产沙演化规律。研究表明: 土工格室的存在形成一系列沿格室边缘菱形分布的纹沟, 与自然坡面的冲刷形态有本质区别; 累计侵蚀量随坡度、流量的增大而增大; 土工格室坡面的侵蚀主要发生在前 10 min, 相同时段内的侵蚀量逐渐减小; 同一流量条件下, 土工格室坡面冲刷的侵蚀模数与边坡坡度之间呈良好的幂函数正相关关系。

关键词: 土工格室坡面; 累计侵蚀量; 侵蚀模数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0069-04

中图分类号: S151⁺1

Experimental Study of Anti-erosion Pattern on Sideslope with Geocell Protection

WANG Guang-yue, SUN Xiu-ling, WEI Jin-xiang

(School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, China)

Abstract: Erosion pattern on geocell slope surface was studied using an experimental flume with varying slope. The range of slope degree was $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$ and the range of flow discharge, $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}$. The processes of runoff and sediment yields on the geocell slope surface were analyzed based on traditional measuring method. Results showed that due to the existence of geocell, a series of diamond-shaped rills formed along the edges of the geocells, which is substantially different from the scouring pattern on a natural slope. The accumulative erosion amount increased with the increased slope degree and discharge. Erosion on the geocell slope surface occurred in the early 10 min and the erosion amount decreased gradually in the same period. There was a positive correlation between the scouring erosion modulus on the geocell slope surface and slope degree at the same discharge.

Keywords: geocell slope surface; accumulative erosion amount; erosion modulus

土工格室护坡是指在展开并固定在坡面上的土工格室内填充种植土, 然后均匀撒(喷)播草种进行绿化的一种护坡技术。由于二者的有机结合充分发挥了土工格室防冲固土和草的根系固土的作用, 与传统的草皮护坡形式相比, 大大提高了边坡的抗冲刷能力, 是一种符合国家注重环保、建设绿色通道要求的护坡技术, 且施工方便简单, 维护成本低, 具有较高的环保、生态等方面的综合经济效益, 在目前的工程建设中得到越来越广泛的利用^[1-4]。有关土工格室防护边坡理论与试验方面的研究已取得了一些成果^[5-8]。由于植物生长有一个过程, 土工格室防护边坡初期抵抗侵蚀的特性就显得特别重要。国内外学者或从理论, 或根据小区野外实测资料和实验室测定资料出

发, 对坡面抗冲刷能力进行了大量的研究, 取得了大量的研究成果^[9-16]。这些研究主要针对自然坡地, 而对土工格室防护边坡初期抵抗侵蚀冲刷的规律的研究目前国内很少见到报道。本文通过室内放水冲刷模拟试验, 揭示土工格室坡面初期土壤侵蚀过程, 观察冲刷现象, 定量比较不同坡度、不同流量条件下, 土工格室坡面抗冲刷能力。

1 试验设计及方法

试验在长 5.6 m, 宽 1 m, 深 0.4 m 的土槽内进行。为了便于观测水流的流动状态, 水槽的边壁采用不锈钢框架和有机玻璃组合, 在连接处用玻璃胶粘结压实, 水槽的顶部设有稳流池, 水流经过 3 道挡板缓

收稿日期: 2012-09-12

修回日期: 2012-12-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“土工格室防护边坡水力侵蚀特性研究”(11072133)

作者简介: 王广月(1963—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 教授, 主要从事生态型坡面水力侵蚀动力特性研究。E-mail: wgyue@sdu.edu.cn。

冲消能;水槽采用液压导轨式升降,变坡范围在 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。供水系统由阀门、蓄水池、电磁流量计等组成。试验用土的颗粒级配情况如表 1 所示。通过击实试

验测得土的最优含水率为 12.6%,最大干密度为 1.869 g/cm^3 。填土采用分层填筑分层压实、超填削坡的方法,以保证坡面的平整。

表 1 试验用土的颗粒级配

颗粒/mm	>0.25	$0.25\sim 0.075$	$0.075\sim 0.005$	$0.005\sim 0.002$	<0.002
比例/%	16.47	9.83	3.06	56.64	14

土工格室选用由山东华腾塑料制品有限公司生产,格室规格为 SB150 \times 400-8 的 1.01 m \times 5.1 m 纹面,焊点剥离强度 1 000 N/10 cm,厚度 1.5 ± 0.1 mm,高度 150 mm,焊距 400 mm。在土工格室每个小格内的填土通过重量控制,填土重量通过体积和相应含水率下的密度及压实度计算。填土结束后,用特制平尺将土刮平,坡面平整度采用水准仪和水平尺控制。试验前将土壤充分饱和,并放置 12 h 以上以保证均匀一致的初始含水量条件。为了便于在试验前后与无格室边坡进行对比,在同一坡面上用隔板将 2 种防护方式隔开并同时进行了冲刷试验。

试验时先调整土槽的坡度,启动水泵,通过阀门组调节流量,流量大小通过电磁流量计控制,待流量计的读数稳定之后,开始放水冲刷。含沙率和累计侵蚀量的测定采用置换法测得,试验进行 30 min,每 1 min 接取 1 次浑水试样。观测水流冲刷坡面的形态,改变流量,重复试验,再改变坡度进行相应的试验。本试验采用了 5 个坡度: 5° , 10° , 15° , 25° , 35° ; 3 个流量: 1.0, 1.5 和 $2.0\text{ m}^3/\text{h}$; 共进行了 15 组试验。

2 结果与分析

2.1 坡面冲刷形态

在坡面初始阶段,由于土体和土工格室齐平,土工格室的作用尚未凸显出来,坡面的冲刷状态和无坡面防护情况下的相似,侵蚀以面蚀为主,基本无细沟形成。面蚀发生时间受坡度、流量的影响而不同。面蚀发生后,由于土体与土工格室粘结处黏结力较小,水流倾向于沿着耗能小的路径运动,因此侵蚀纹沟多先沿着土工格室边壁出现。土体经冲刷之后其形状和土工格室的形状相似,呈菱形,边界是细沟,细沟中的水流浸润着格室内的土体,土体强度降低,随着细沟侵蚀的加剧,侧蚀作用越来越明显(如图 1 所示)。随着格室内土体的不断减少,水流的整体性亦被破坏,形成一个一个跌坎,相当于减小了坡度,在一定程度上减小了侵蚀量。土工格室的存在使侵蚀不在集中分布,但土工格室防护下的模型冲刷也和裸坡情况下的相似,上端冲刷严重。在无格室的自然坡面情况

下,水流沿软弱的地方流动,形成细沟(图 2),与有格室的自然坡面冲刷形态有本质区别。

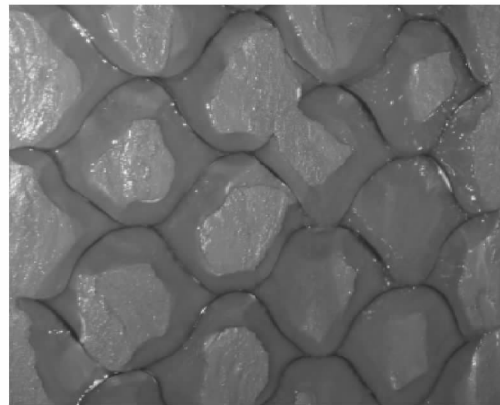


图 1 土工格式坡面冲刷形态

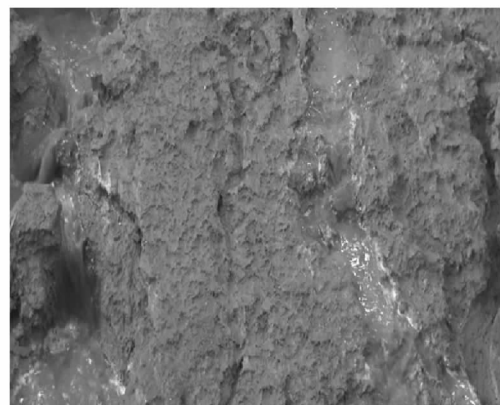


图 2 无格室时冲刷结果

2.2 累计侵蚀量的变化规律

3 种不同流量工况下土工格室边坡的累计产沙随时间的变化趋势基本一致,都是累计侵蚀量随坡度的增大而增大。坡度对侵蚀量的影响主要体现在能量方面。一般情况下,坡度越大,水流势能相应越大,搬运能力越强,因此,累计侵蚀量随坡度的增大而增大。但是,增大趋势减缓,从图 3 可以看出,同一流量增大相同坡度(10°)情况下,最终侵蚀量的增量呈递减趋势,这是由于坡面供沙能力的限制造成的。图 4 为坡度 35° 不同流量工况下累计侵蚀量的变化关系。可以看出,累计侵蚀量随流量的增大而增大。

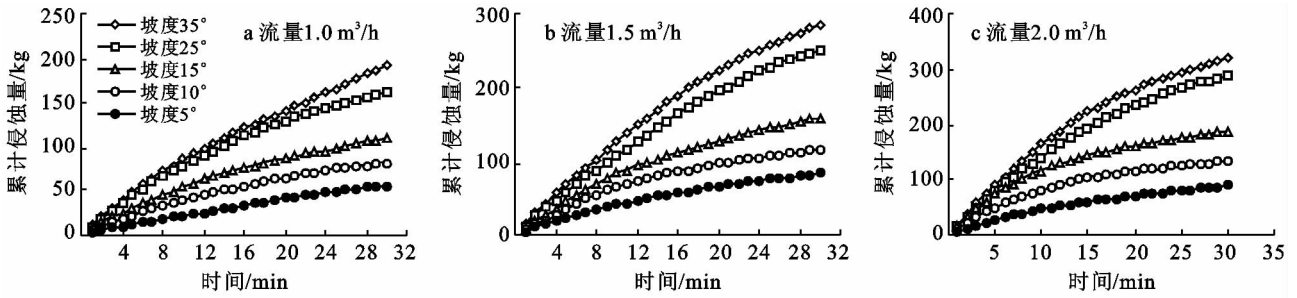


图 3 不同流量下的累计侵蚀量的变化

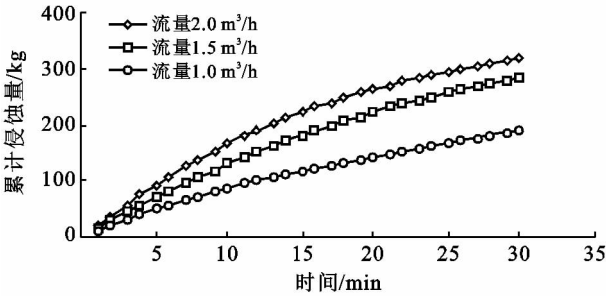


图 4 坡度 35°不同流量下累计侵蚀量的变化

图 5 为坡度 15°,放水流量 1.0 m³/h 的工况下,有、无土工格室 2 种坡面条件下的坡面侵蚀过程。放水初期(即前 10 min),格室覆盖在土壤下面,其作用并不明显,随着时间的推移格室逐渐裸露,对水流和侵蚀的影响逐步体现出来。试验观测表明,在无格室的情况下,水流将沿着软弱的地方流动,形成细沟(图 2),侵蚀量明显增大。而对于有格室的坡面,由于格室的影响,水流沿格室边缘形成优势流,导致比较规则的流路和侵蚀,坡面侵蚀量远小于无格室的坡面,说明在有格室的情况下,水流主要沿格室边缘流动,延长了水流的流径,使水流的动能部分消耗在格室上,坡面水流的径流量和流速均降低,起到了很好的消能作用,减轻了水流对坡面的冲蚀。

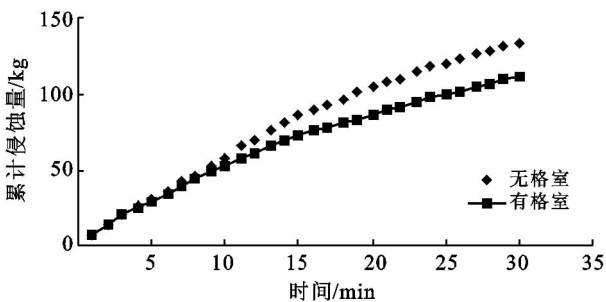


图 5 有、无格室坡面累计侵蚀量

2.3 时段侵蚀量

由于受坡面土壤的补给能力及土工格室对水流的阻碍作用的影响,随着冲刷的进行各个时段的侵蚀量是减小的,且受坡度和流量的影响逐渐减小,侵蚀

产沙主要发生在前 10 min,所占比例大概为 40%~61%(表 2)。这与鲁克新^[17]的无格室室内冲刷试验结果相似,即径流侵蚀过程中 3—7 和 7—11 min 细沟形成时,是侵蚀产沙的主要阶段,占总侵蚀产沙量的 52%~75%。时段侵蚀量随着坡度和流量的减小而减小,同一坡度不同流量下的末期侵蚀量相差不大。

表 2 各个时段的侵蚀量及末期侵蚀量

流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	坡度/ (°)	各个时间段的侵蚀量/kg			末期侵 蚀量/kg
		1— 10 min	11— 20 min	21— 30 min	
2.0	35	166.15	99.37	53.32	320.39
	25	143.86	94.02	52.10	289.97
	15	116.63	47.58	25.67	189.87
	10	81.06	35.46	20.70	137.20
	5	44.92	24.76	17.76	87.44
1.5	35	127.81	97.58	59.53	284.92
	25	109.14	87.54	53.87	250.56
	15	82.35	47.84	30.44	160.63
	10	63.74	33.64	21.90	119.28
	5	40.54	24.41	17.46	82.42
1.0	35	86.62	55.28	50.57	192.46
	25	79.53	51.32	32.58	163.42
	15	53.81	32.80	25.91	111.63
	10	38.52	25.77	20.00	82.29
	5	21.97	19.23	13.95	55.16

由表 2 可以看出,在 2,1.5,1 m³/h 的 3 种流量下,1—10 与 10—20 min,10—20 与 20—30 min 的时段侵蚀量的差值分别为 30.23 与 38.05,21.60 与 33.67,2.74 与 2.28 kg,时段侵蚀量的减小幅度在增大;而除此之外的其他情况,同一坡度同一流量下的相同时段内的侵蚀量的减小幅度均在减小,例如在 2 m³/h 的 35°,25°,15°,10°,5°情况下,1—10 与 10—20,10—20 与 20—30 min 的时段侵蚀量的差值分别为 66.79 与 46.05,49.83 与 41.93,69.05 与 21.91,45.60 与 14.75,20.16 与 6.99 kg。时段侵蚀量随着

坡度和流量的减小而减小,同一坡度不同流量下的末期侵蚀量相差不大。例如,坡度为 35° 时,流量为 2, 1.5, 1 m^3/h 最后一个时间段的侵蚀量分别为 53.32, 59.53, 50.57 kg。

2.4 坡面冲刷侵蚀模数的变化规律

土工格室坡面冲刷侵蚀模数是指格室内填土单位面积单位时间的剥蚀并发生位移的平均流失量,是衡量土工格室内填土冲刷侵蚀程度的一个量化指标。图 6 给出土工格室坡面冲刷侵蚀模数随边坡坡度的变化关系,从图 6 中可看出,土工格室坡面冲刷侵蚀模数随坡度和流量的增加而增加。通过对不同坡度和流量条件下的土工格室坡面冲刷侵蚀模数和边坡坡度进行曲线拟合分析,可以得到流量 1.0, 1.5, 2.0 m^3/h 下土工格室坡面流侵蚀模数与边坡坡度之间的经验关系:

$$A=0.0619S^{0.661} \quad (R^2=0.995) \quad (1)$$

$$A=0.1350S^{0.670} \quad (R^2=0.990) \quad (2)$$

$$A=0.1990S^{0.697} \quad (R^2=0.991) \quad (3)$$

式中: A ——冲刷侵蚀模数 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; S ——边坡坡度 ($^\circ$)。

从以上各关系式中可以看出,土工格室坡面冲刷侵蚀模数与边坡坡度之间存在较好的幂函数正相关关系,拟合曲线的相关性很高。

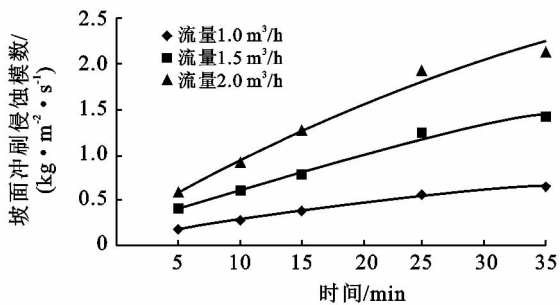


图 6 坡面冲刷侵蚀模数与坡度的关系

3 结论

(1) 土工格室防护下的坡面冲刷形态,由于格室的存在形成沿格室边缘的侵蚀,形成一系列菱形分布纹沟,与自然坡面的冲刷形态有本质区别。

(2) 累计侵蚀量随着坡度和流量的增大而增大,但是增长趋势减缓。

(3) 侵蚀主要发生在前 10 min,所占比例大概为 40%~61%,对于同一坡度不同流量下的侵蚀量,在后 10 min 的侵蚀量相差不大。

(4) 土工格室坡面冲刷侵蚀模数随坡度和流量的增加而增加,同一流量条件下,土工格室坡面冲刷侵蚀模数与坡度之间具有良好的幂函数正相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 李高旺. 土工格室植被护坡在膨胀土地区公路边坡中的应用[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2008(4): 46-48.
- [2] 卢小明. 土工格室在某公路炭质泥岩边坡防护中的应用[J]. 山西建筑, 2008, 34(1): 295-297.
- [3] 张宗媛, 李春晓, 梁志坚. 土工格室在某水库贫瘠土边坡防护中的应用[J]. 人民珠江, 2005, 26(2): 35-36.
- [4] 曾晓辉. 土工格室在挖方边坡中的应用[J]. 山西建筑, 2011, 37(9): 87-88.
- [5] 杨晓华, 晏长根, 谢永利. 黄土路堤土工格室护坡冲刷模型试验研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(9): 21-24.
- [6] 张季如, 朱瑞赛, 程序桥. 土工格室用于岩石边坡植被侵蚀防护的稳定性分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(3): 359-362.
- [7] 蒋德松, 蒋冲. 城市岩质边坡土工格室生态防护技术及其应用[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2008, 35(11): 12-16.
- [8] 王广月, 王银山, 杨建顺. 土工格室在边坡防护中的应用[J]. 中国水土保持, 2003, 24(2): 33-34.
- [9] Covers G. Relationship between discharge, velocity, and flow areas for rills eroding loose, non-layered materials[J]. Earth Surface Processes Landforms, 1992, 17(5): 515-528.
- [10] Proseer I P, Dietrich W E. Field experiments on erosion by overland flow and their implications for a digital terrain model of channel initiation[J]. Water Resources Research, 1995, 31(1): 2867-2876.
- [11] Nearing M A, Norton L D, Bulgakov D A, et al. Hydraulics and erosion in eroding rills[J]. Water Resources Research, 1997, 33(4): 865-876.
- [12] Hairsine P B, Rose C W. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles (1): Sheet flow[J]. Water Resources Research, 1992, 28(1): 237-243.
- [13] 游珍, 李占斌. 坡面植被对径流的减流减沙作用机理及试验研究[J]. 泥沙研究, 2011, 6(3): 59-62.
- [14] 张科利, 唐克丽. 黄土坡面细沟侵蚀能力的水动力学试验研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(1): 9-15.
- [15] 王文龙, 雷阿林, 李占斌, 等. 黄土丘陵区土壤侵蚀链各垂直带能量转化特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 117-121.
- [16] 雷俊山, 杨勤科. 坡面薄层水流侵蚀试验研究及土壤抗冲性评价[J]. 泥沙研究, 2004, 6(12): 22-26.
- [17] 鲁克新. 陡坡薄层水流侵蚀动力过程试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2001.