

工程堆积体坡面工程措施减流减沙效应的试验研究

牛耀彬^{1,2}, 高照良^{1,3}, 刘子壮⁴, 张少佳^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了探究工程措施水平阶和鱼鳞坑对工程堆积体陡坡坡面减流减沙和产沙过程的影响, 采用径流冲刷试验, 在流量为 40 L/min, 坡度 24°、28°、32° 范围内对工程堆积体陡坡坡面产流产沙过程进行模拟研究, 结果表明: 水平阶和鱼鳞坑在产流前期具有滞缓坡面径流、增加土壤水分入渗的作用; 在产流之后两种措施对坡面径流的拦蓄能力微弱, 甚至起到放大的作用; 其中鱼鳞坑使坡面径流强度随放水时间的延续出现两次峰值, 其坡面土壤剥蚀率变化过程也出现两次峰值, 即产流后第 6 min 和 24 min; 水平阶使径流强度随放水时间的变化呈现阶梯式变化, 变化的时间点不同坡度不尽相同; 产流后期, 水平阶和鱼鳞坑出现水毁现象, 土壤入渗率出现负值, 表明产流前期的土壤水补给径流, 导致坡面侵蚀加剧; 鱼鳞坑和水平阶使累积产沙量和累积径流量的幂函数相关性降低。对于陡坡坡面排水渠的设计不仅要考虑最大径流量还要考虑坡面措施的放大作用, 对于陡坡坡面径流调控体系而言, 工程措施防护效益的时效性值得考虑。

关键词: 工程堆积体; 工程措施; 减流减沙; 坡面

中图分类号: S152 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0862-05

Experimental study on the effects of slope surface of engineering accumulation on overland flow and sediment reduction

NIU Yaobin^{1,2}, GAO Zhaoliang^{1,3}, LIU Zizhuang⁴, ZHANG Shaoshia^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, 712100, China;

4. College of Resource Environmental Sciences, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to investigate the effects of engineering measures fish scale pit and level terrace on the reduction of overland flow and sediment by the steep slope of engineering accumulation, in this paper, the runoff scouring experiments were used to simulate the runoff and sediment process in the steep slope of engineering accumulation with the flow of 40 L/min and slope of 24°, 28°, and 32°. The results showed that (1) fish scale pit and level terrace can reduce slope runoff and increase soil water infiltration at the early stage of the production flow; (2) the interception ability of two measures decreases after the production flow and the two measures even have adverse effects; (3) fish scale pit can result in two peaks in runoff intensity with the continuation of discharge time, and soil erosion rate has two peaks as well, which occur after 6 and 24 minutes of production flow; (4) level terrace can lead to the staged variation of runoff intensity with discharge time; (5) the water logging phenomenon appears in the level terrace and fish scale pit in the later period of production flow, soil infiltration rate is negative, which indicates that soil water recharges to runoff in the early stage of production flow and leads to the increasing of slope erosion; and (6) fish scale pit and level terrace have lowered the correlation of power function of cumulative sediment yield and runoff. For the drainage design of steep slope, the maximum runoff and amplification effect of slope measures are needed to be considered. For the runoff regulation system of steep slope, the timeliness of the protective benefit of engineering measures is needed to be considered.

Key words: engineering accumulation; engineering measures; reduction of runoff and sediment; slope surface

收稿日期: 2014-11-20 修回日期: 2015-08-10 网络出版时间: 2015-09-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150924.2035.015.html>

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“农田水土保持关键技术研究” (2011BAD31B01)

作者简介: 牛耀彬(1990), 男, 甘肃甘谷人, 主要从事工程建设区人为侵蚀过程研究。E-mail: 15529021275@163.com

通信作者: 高照良(1969), 男, 河南灵宝人, 副研究员, 博士, 主要从事农业水土工程和荒漠化防治方面研究。E-mail: gzl@ms.iswc.ac.cn

我国开发建设项目数量众多、类型多样,加之气候、自然地理条件的限制和人为扰动的影响,使得水土流失特点比较复杂,防治形势严峻^[1,2]。开发建设项目所产生的弃土弃渣堆置形成的工程堆积体具有独特的土壤组成及复杂的下垫面条件,其表面土壤结构缺失、土质松散、植物根系及有机质缺乏,导致其土壤抗冲性极差,在径流条件下极易产生水土流失^[3]。坡面径流是侵蚀产生的主导因素,其变化非常复杂,不仅包含径流的形成与汇集、土体的破坏与剥蚀、泥沙输移与沉积等过程,还受到雨强^[4]、坡度^[5]、下垫面条件^[6]、土质等多种因素的影响^[7]。不同条件下的坡面径流将产生不同的水沙流动力特性^[8],其中主要受坡度^[9]、土壤粒径组成等的影响^[10]。而不同的土地利用方式下的水土保持措施功效不尽相同^[11]。水土保持措施主要通过改变下垫面特征、泥沙输移的条件,从而改变产流、侵蚀和产沙过程,使侵蚀泥沙减少、沉积量增加。主要措施有坡面修筑水平阶、鱼鳞坑和植树、种草等方式^[12]。在陡坡及其工程堆积体的防治中,常配有工程措施,以增加防护效果。水土保持减流、减沙效应的研究是泥沙研究领域中的重要问题,研究不同措施条件下的减流减沙效应可以为水土保持措施在空间和时间过程中的合理配置提供依据^[13]。目前水土流失治理措施的减水减沙研究大部分侧重于自然坡面或植被条件下的水保措施的减水减沙作用^[14],而对于工程措施的减沙机制研究较少。

本文主要通过野外小区放水试验模拟径流冲刷过程,研究不同坡度下工程措施对坡面产流产沙过程、减流减沙效应的影响,并对其水沙响应关系进行了分析。以期为陡坡坡面水土保持工程措施的合理配置提供理论参考。

表1 土壤颗粒分析机械组成

Tab. 1 The soil mechanical composition

粒径/mm	0.2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.02	0.02~0.01	0.01~0.005	0.005~0.002	<0.002
各粒径占百分比(%)	8.42	21.76	33.07	19.33	6.61	2.17	8.64

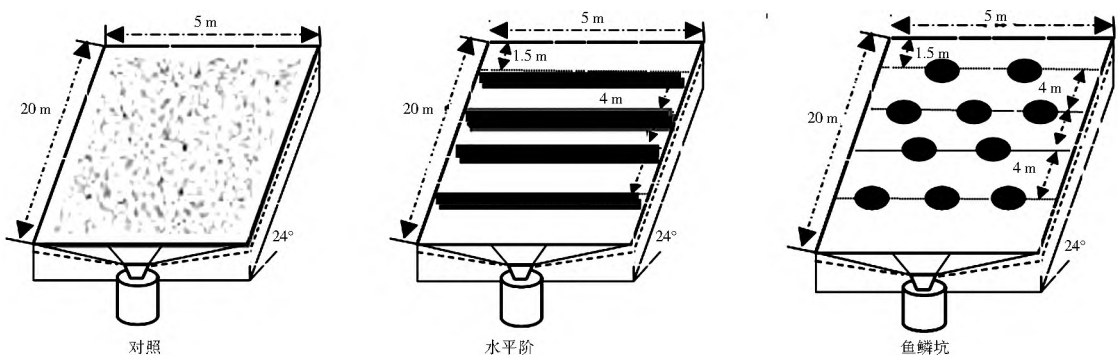


图1 试验对照及措施布设示意图

Fig. 1 Control measures and layout diagram

本试验自制放水装置,包括蓄水桶、稳水槽、分水器、阀门、流量表等,在小区上方采用恒压放水,保证出水流量均匀。依据该区暴雨发生频率和野外放水试验单宽流量,该试验设计放水流量为40 L/min。每场试验持续时间为40~60 min。产流后开始计时,最初6 min内每隔2 min测定1次浑水总量、断面流速、流宽,收集径流泥沙样品,计算获得侵蚀量,6 min后每隔3 min测定1次。坡面水流流速采用高锰酸钾染色示踪法,测距为1.5 m,流速乘以修正系数0.75作为

1 试验材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于中国科学院长武黄土高原农业生态试验站,试验点位置为北纬35°14′24.5″N,东经107°41′21.24″E,海拔高度1107 m,属典型高原沟壑区。该区属温带半湿润大陆性季风气候,多年平均降水量为579.6 mm,夏季常有洪涝灾害,主要集中在7月-9月,占全年降水量的55%左右。试验区塬川相间,沟谷发育,属旱作农耕区。森林类型属暖温带落叶阔叶林地带,主要有果树、杨树、刺槐、白羊草、苜蓿等。土壤主要为黑垆土和黄绵土。

1.2 试验设计与观测

试验采用野外人工模拟径流冲刷。试验小区建设在一处扰动堆积土体上,小区所填土壤为施工产生的弃土,小区斜长20 m,宽5 m。堆积体表层土壤类型为黑垆土,土石比超过9:1,粒径多在1 mm以下,土壤颗粒级配见表1。试验前土壤容重范围为1.21~1.56 g/cm³,土壤质量含水率范围为10.29%~20.09%。工程堆积体边坡坡度范围大多为25°~40°^[3],因此,选取试验坡度为24°、28°和32°。配置的水土保持措施有鱼鳞坑、水平阶,并设有对照,对照处理为除去杂草的裸露坡面;鱼鳞坑措施,即坑行距4 m,坑间距1 m,呈“品”字形排列,大小规格为:长×宽×深为1 m×0.8 m×0.5 m,每个小区共10个鱼鳞坑;水平阶措施,即行距4 m,距小区顶端1.5 m,台面宽0.5 m,上斜面宽0.2 m,下斜面宽0.3 m。坡度和措施完全组合共9场试验。试验对照及措施布设见图1。

水流断面平均流速^[15]。径流泥沙样品处理采用比重瓶法^[3]。试验供水引自王东沟民用泉水井,经自流到蓄水桶。

1.3 数据分析方法

(1) 径流强度 H 。试验过程中任一时刻的径流强度用该时段内的平均径流深表示,按下式计算:

$$H = \frac{Q}{bLT} \quad (1)$$

式中: H 为径流强度(mm/min); Q 为实测径流量(L); b 为平

均流宽(m); L 为坡长, $L = 20$ m; T 为取样时间间隔(min)。

(2) 土壤剥蚀率 D_r 。以单位时间单位面积上剥蚀产生的土壤颗粒质量表示^[16], 计算公式为

$$D_r = \frac{M}{bLT} \quad (2)$$

式中: D_r 为土壤剥蚀率($g/(m^2 \cdot min)$); M 为时段内的产沙量(g)。

(3) 减流效应 C_Q 、减沙效应 C_M 。布设有水平阶和鱼鳞坑的坡面与对照坡面的产流产沙的比值, 得出减流减沙效应的大小。

$$C_Q = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \quad C_M = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_Q 、 C_M 为减流、减沙效应(%); Q_1 为对照坡面产生径流量(m^3/hm^2); Q_2 为措施坡面产生径流量(m^3/hm^2); M_1 为对照坡面侵蚀产沙量(t/hm^2); M_2 为措施坡面侵蚀产沙量(t/hm^2)^[17]。

(4) 用水减沙比 E_R 。在一定调控措施坡面或研究区域, 用于减少单位泥沙所需要减少整个坡面或研究区域的地表径流量, 即采用措施后, 减流量与减沙量之间的比值^[19]。可用下式表示:

$$E_R = \frac{M_1 - M_2}{Q_1 - Q_2} \quad (4)$$

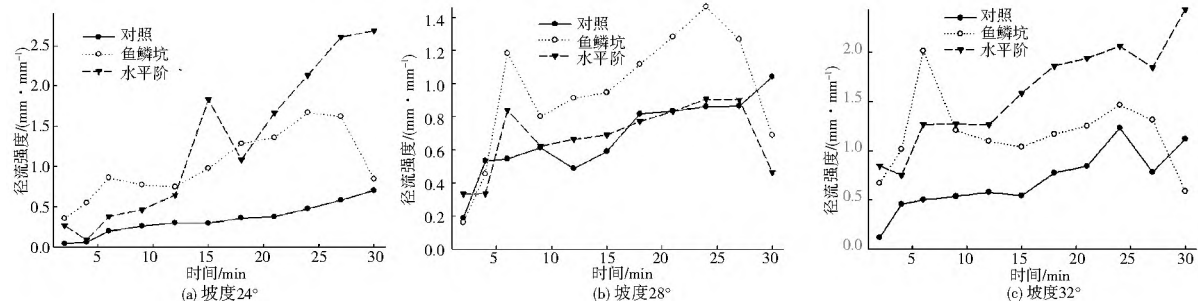


图 2 不同措施条件下径流强度随放水时间的变化过程

Fig. 2 Variation of runoff intensity with time under different measures

2.2 坡面产沙过程分析

坡度 24°、28° 和 32° 时, 不同措施条件下坡面土壤剥蚀率随放水时间的变化过程见图 3。

由图 3 分析可得水平阶和鱼鳞坑对工程堆积体坡面土壤剥蚀率的影响, 随放水时间的变化具有以下特征: 鱼鳞坑使坡面土壤剥蚀率变化过程出现两次峰值。发生时间基本与径流强度一致, 主要是因为鱼鳞坑呈“品”字型配置, 对坡

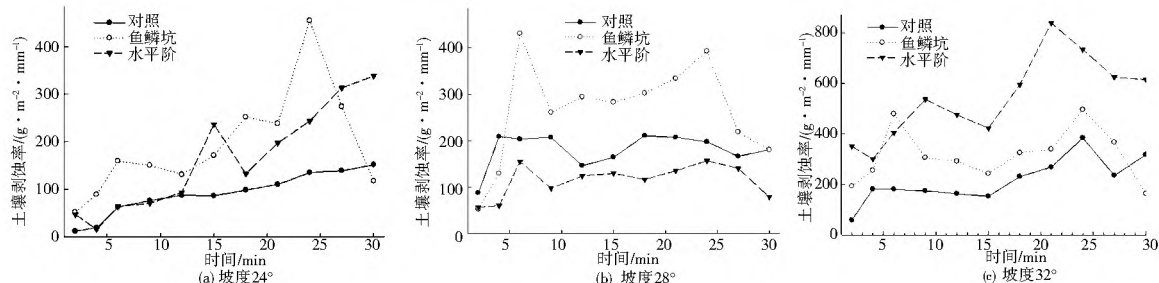


图 3 不同措施条件下土壤剥蚀率随放水时间的变化过程

Fig. 3 Variation of soil erosion rate with time under different measures

2.3 减流减沙分析

为了较为准确地分析在工程堆积体坡面工程措施的减流减沙效应本文选取了起流时间、流速、放水总量、平均径流

式中: E_R 为用水减沙比(m^3/t); M_1 为对照状况即未实施措施时研究坡面侵蚀产沙量(t/hm^2); M_2 为措施配置后研究坡面侵蚀产沙量(t/hm^2); Q_1 为对照状况即未实施措施时研究坡面产生径流量(m^3/hm^2); Q_2 为措施配置后研究区坡面产生的径流量(m^3/hm^2)。

2 结果及分析

2.1 坡面产流过程分析

坡度 24°、28° 和 32° 时, 不同措施条件下坡面径流强度随放水时间的变化过程见图 2。

图 2 表明水平阶和鱼鳞坑对工程堆积体坡面径流强度的影响特征, 鱼鳞坑使坡面径流强度随放水时间的延续出现两次峰值。在第 6 min 出现第一个峰值, 主要是因为产流前期的放水使坡面出现超渗产流, 径流强度陡增。在第 24 min 出现第二个峰值, 间隔时间为 18 min 左右。由于鱼鳞坑出现水毁现象, 径流强度变大, 鱼鳞坑起到放大径流强度的作用。水平阶使径流强度随放水时间的变化呈现阶梯式变化, 在不同坡度变化的幅度、变化的转折点亦不同, 由于水平阶沿垂直坡长方向布设, 水平阶阶面对径流的重新分配, 使坡面过水面积不均匀, 局部汇集导致后期径流强度增加。

面的扰动比较均匀, 使径流强度与土壤剥蚀率保持同步变化。水平阶条件下土壤剥蚀率与放水时间呈现波动式变化, 在不同坡度波动的幅度差异较大。主要是水平阶阶面相比鱼鳞坑面积较大, 可以拦蓄部分坡面泥沙, 使土壤剥蚀率变化较小。但在陡坡(32°)时, 坡度对径流量的影响显现, 水平阶拦蓄径流能力迅速饱和, 随后出现水平阶坍塌, 使土壤剥蚀率陡增。

强度和平均土壤剥蚀率对两种措施在不同坡度条件下的减流减沙效应进行分析, 并运用“用水减沙比”对两种措施进行分析。用水减沙比的物理意义为: 坡面采取措施后, 减少单

位泥沙所需要减少的地表径流量,与对照坡面相比较,用来反映减少的径流量与减少的泥沙量比值大小及调控能力^[19]。试验减流减沙效应指标见表2。

由表2可知,在产流开始之后,水平阶和鱼鳞坑的减流减沙效应大多是负值,平均径流强度和土壤剥蚀率均比对照高,表明水平阶和鱼鳞坑在产流之后对坡面径流的拦蓄能力微弱,甚至两种措施对径流剥蚀起到放大的作用。而从起流时间和放水总量来分析,两种措施在产流前期起到了滞缓坡面径流、增加土壤水分入渗的作用。水平阶起到了降低坡面流速的作用,主要是因为水平阶的布设使坡长变短,流速变小。两种措施的用水减沙比与吴淑芳^[17]等的研究结果相比偏小,表明在工程堆积体陡坡坡面两种措施在产流之后减少径流量与泥沙量比值及调控能力均减弱。坡面入渗率随放水时间的变化过程表明鱼鳞坑在产流之后土壤入渗快速降低,产流前坡面土壤含水量较高。而水平阶入渗率波动幅

度较大,甚至两种措施条件下坡面入渗率出现负值,表明在产流后期,由于水平阶和鱼鳞坑出现水毁现象,产流前期的土壤水补给径流,导致坡面侵蚀加剧。不同措施条件下坡面入渗率随放水时间的变化过程见图4。该研究结果表明在陡坡坡面配置工程措施水平阶和鱼鳞坑时,其减流减沙效应的最大值在产流前期,产流后水平阶和鱼鳞坑均影响了坡面的水沙关系,这一结论与反坡水平阶的研究结果不同,许炯心^[10]研究表明反坡水平阶对坡面径流和泥沙量有很好的调控作用。吴淑芳^[17]等研究表明陡坡坡地采用反坡水平阶具有减流减沙的作用。李苗苗^[18]等研究表明反坡水平阶有直接蓄水减沙的水土保持功效。主要原因是大多研究集中在小坡度坡耕地^[19]上,没有涉及陡坡范围,而试验设计的放水流量(40 L/min)比较大,加上工程堆积体下垫面的特殊性,侵蚀量比较大。

表2 水平阶和鱼鳞坑措施减流减沙效应指标

Tab.2 Reduction of flow and sediment of fishscale pit and level terrace measures

坡度(°)	措施	起流时间 /min	流速 / (m·s ⁻¹)	放水总量 /m ³	径流强度 / (mm·min ⁻¹)	土壤剥蚀率 / (g·m ⁻² ·min ⁻¹)	减流效应 (%)	减沙效应 (%)	用水减沙比 E _R / (m ³ ·t ⁻¹)
24	对照	7.63	0.33	1.50	0.33	88.57			
	鱼鳞坑	9.75	0.35	1.58	1.00	189.73	-129	-60	7.95
	水平阶	11.75	0.30	1.66	1.26	159.16	-175	-30	21.45
28	对照	3.00	0.36	1.32	0.67	180.01			
	鱼鳞坑	6.95	0.37	1.46	0.93	261.78	-11	-16	2.50
	水平阶	10.95	0.32	1.62	0.67	113.55	25	53	1.74
32	对照	2.05	0.47	1.29	0.68	213.04			
	鱼鳞坑	4.68	0.41	1.38	1.17	314.43	-9	5	-5.81
	水平阶	4.80	0.42	1.78	1.56	536.80	-26	-40	2.06

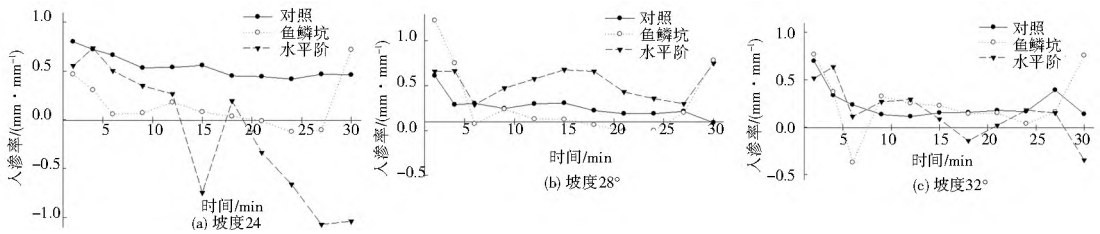


图4 不同措施条件下入渗率随放水时间的变化过程

Fig. 4 Variation of water infiltration rate with time under different measures

2.4 水沙关系分析

径流是影响坡面侵蚀和产沙过程的主要动力因素,探讨累积径流量与累积产沙量的关系对明确径流量与产沙量之间的关系,揭示工程措施的减沙机制显得尤为重要,尤其对实施相应措施,构筑坡面径流调控措施体系理论意义重大。两种措施条件下工程堆积体坡面累积产沙量与累积径流量的关系见图5。

由图可知,对照条件下次径流过程中累积产沙量与累积径流量之间存在幂函数关系,工程措施水平阶和鱼鳞坑条件下工程堆积体累积产沙量与累积径流量之间的幂函数关系发生改变,与对照相比,鱼鳞坑和水平阶条件下的幂函数相关性降低。表明工程措施水平阶和鱼鳞坑改变了裸坡坡面累积径流量和累积产沙量之间的关系。

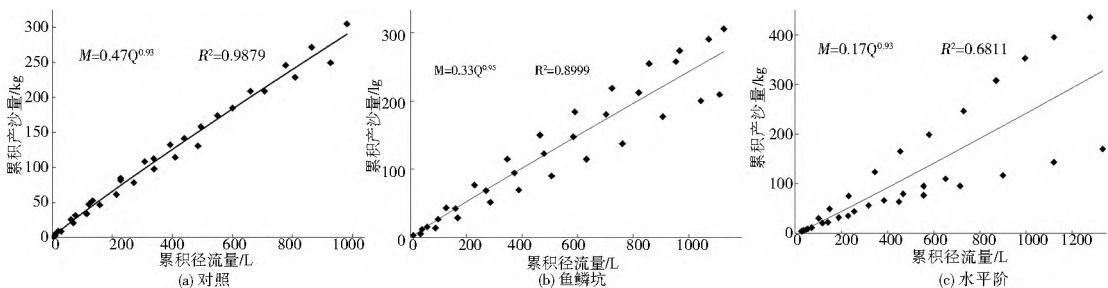


图5 累积产沙量与累积径流量的关系

Fig. 5 Relationship between cumulative sediment yield and cumulative runoff

3 结论

研究不同工程措施水平阶和鱼鳞坑对陡坡坡面产沙过程、减流减沙效应的影响。以期为工程堆积体坡面水土保持工程措施的合理配置提供理论参考。本文在流量为 40 L/min, 坡度为 24°、28°、32° 范围内采用径流冲刷试验, 对工程堆积体陡坡坡面产沙过程进行模拟研究, 结果表明: 水平阶和鱼鳞坑在产流前期起到了滞缓坡面径流、增加土壤水分入渗的作用; 在产流之后两种措施对坡面径流的拦蓄能力微弱, 甚至两种措施均对径流剥蚀起到放大的作用; 但鱼鳞坑使坡面径流强度随放水时间呈现双峰曲线, 间隔时间为 18 min 左右, 使坡面土壤剥蚀率变化过程亦出现两次峰值, 发生时间基本与径流强度一致; 而水平阶使径流强度随放水时间的变化呈现阶梯式变化, 不同坡度下变化的转折点亦不同, 在陡坡 (32°) 条件下, 水平阶拦蓄径流能力迅速饱和, 由于水平阶边坡出现坍塌, 使土壤剥蚀率陡增; 产流后期, 由于水平阶和鱼鳞坑出现水毁现象, 土壤入渗率出现负值, 产流前期的土壤水补给径流, 导致坡面侵蚀加剧; 在工程堆积体坡面, 对裸坡对照相比, 鱼鳞坑和水平阶使累积产沙量和累积径流量的幂函数相关性降低。总之, 由于工程堆积体坡面状况的复杂性, 以及水流沿程的变化, 鱼鳞坑和水平阶对于抵抗径流剥蚀的效果有限, 所以在陡坡坡面不易单纯配置工程措施, 应该结合生物措施, 比如植物篱。工程措施可以为植物措施的配置提供良好的前提条件。对于陡坡坡面排水渠的设计不仅要考虑最大径流量还要考虑坡面措施的放大作用, 对于陡坡坡面径流调控体系而言, 工程措施防护效益的时效性值得考虑。试验的不足之处在于水平阶和鱼鳞坑的尺寸、布设方式单一, 没有形成体系, 试验分析中没能充分考虑坡度的影响效应。

参考文献(References):

- [1] 赵永军, 张峰, 王云璋, 等. 开发建设项目水土保持工作现状及发展思路[J]. 中国水土保持, 2009(1): 48-51. (ZHAO Yongjun, ZHANG Feng, WANG Yuruzhang, et al. Development present situation and the development project of soil and water conservation work[J]. Soil and water conservation in China, 2009(1): 48-51. (in Chinese))
- [2] 孙厚才, 赵永军. 我国开发建设项目水土保持现状及发展趋势[J]. 中国水土保持, 2007(1): 50-52. (SUN Houcai, ZHAO Yongjun. Development and construction project of soil and water conservation in our country present situation and development trend[J]. Soil and water conservation in China, 2007(1): 50-52. (in Chinese))
- [3] 张乐涛, 高照良, 田红卫. 工程堆积体陡坡坡面径流水动力学特性[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 34-38. (ZHANG Letao, GAO Zhaoliang, TIAN hongwei. Hydrodynamic characteristics of steep slope runoff of engineering accumulation under simulated runoff conditions[J]. Journal of Soil and Water Conservation[J], 2013, 27(4): 34-38. (in Chinese))
- [4] 陈洪松, 邵明安, 张兴昌, 等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 5-8. (CHEN Hong song, SHAO Ming an, ZHANG Xingchang, et al. Field experiment on hillslope rainfall infiltration and runoff under simulated rainfall conditions[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 5-8. (in Chinese))
- [5] 鲁克新, 李占斌, 张霞, 等. 室内模拟降雨条件下径流侵蚀产沙实验研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 6-9. (LU Kexin, LI Zhar bin, ZHANG Xia, et al. Experimental study on law of runoff erosion sediment yield under Indoor simulated rainfall condition[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(2): 6-9. (in Chinese))
- [6] 包含, 候立柱, 刘江涛, 等. 室内模拟降雨条件下土壤水分入渗及再分布试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 70-75. (BAO Han, HOU Lirzhu, LIU Jiangtao, et al. Experiment on process of soil water infiltration and redistribution under simulated rainfall[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 70-75. (in Chinese))
- [7] 丁文峰, 李占斌, 丁登山, 等. 坡面细沟侵蚀产沙时空分布规律试验研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 19-23. (DING Wenfeng, LI Zhar bin, DING Dengshan, et al. Study on spatial and temporal characters of rill erosion on slope[J]. Advances in water science, 2004, 15(1): 19-23. (in Chinese))
- [8] 王文龙, 雷阿林, 李占斌, 等. 土壤侵蚀链内细沟浅沟切沟流动力机制研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 471-475. (WANG Wenlong, LEI Ailin, LI Zhar bin, et al. Study on dynamic mechanism of rills, shallow furrows and gully in the soil erosion chain[J]. Advances in water science, 2003, 14(4): 471-475. (in Chinese))
- [9] 潘成忠, 上官周平. 不同坡度草地含沙水流水力学特征及其拦沙机理[J]. 水科学进展, 2007, 18(4): 490-495. (PAN Chengzhong, SHANGGUAN Zhou ping. Hydraulic characteristics of silt laden flow on different gradient grassplots and its mechanism of sediment retention[J]. Advances in water science, 2007, 18(4): 490-495. (in Chinese))
- [10] 许炯心. 黄土高原水土保持有效性研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 105-111. (XU Jiongxin. Effectiveness of water and soil conservation on Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(1): 105-111. (in Chinese))
- [11] 于国强, 李占斌, 李鹏, 等. 不同植被类型的坡面径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 593-599. (YU Guoqiang, LI Zhar bin, LI Peng, et al. Effects of vegetation types on hillslope runoff erosion and sediment yield[J]. Advances in water science, 2010, 21(5): 593-599. (in Chinese))
- [12] 许炯心, 孙季. 水土保持措施对流域泥沙输移比的影响[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 29-34. (XU Jiongxin, SUN Ji. Effect of erosion control measures on sediment delivery ratio[J]. Advances in water science, 2004, 15(1): 29-34. (in Chinese))
- [13] 许炯心, 孙季. 无定河水土保持措施减沙效益的临界现象及其意义[J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 611-620. (XU Jiongxin, SUN Ji. Threshold phenomenon of sediment reduction beneficials from soil water conservation measures in the Wudinghe river[J]. Advances in water science, 2006, 17(5): 611-620. (in Chinese))
- [14] 郑明国, 蔡强国, 王彩峰, 等. 黄土丘陵沟壑区坡面水保措施及植被对流域尺度水沙关系的影响[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 47-53. (ZHENG Ming guo, CAI Qiang guo, WANG Cair feng, et al. Effect of vegetation and other measures for soil and water conservation on runoff sediment relationship in watershed scale[J]. Advances in water science, 2007, 38(1): 47-53. (in Chinese))

(下转第 904 页)

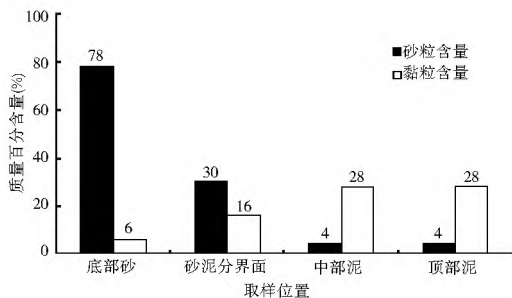


图 10 土料 4 不同部位颗粒组成

Fig. 10 Particle compositions in different positions of soil material 4

从图 8 可见,土料 2 由底部到顶部 3 个取样点的砂粒含量分别为 87%、35%、0,黏粒含量分别是 1.7%、3.8%、32%。土体底部的砂粒含量较高,但中部土体大部分粉粒,而顶部土体主要是黏粒和粉粒。可见,黏粒含量为 10%,砂粒含量为 50%的土料沉淀后分层现象非常明显。

从图 9 可见,土料 3 由低到高 4 个取样点的砂粒含量分别是 84%、52%、5%、5%,黏粒含量分别是 3%、5%、27%、27%。不同部位的土样出现了较大的分层现象,但是由于土料 3 的黏粒含量较高,因此底部黏粒含量达到 3%,同时顶部也有 5%的砂粒没有沉淀下来。

从图 10 可知,土料 4 由低到高 4 个土样的砂粒含量分别是 78%、30%、4%、4%,黏粒含量分别是 6%、16%、28%、28%。由于土料 4 的黏粒含量达到 20%,沉淀后虽然底部砂粒含量达到 78%,但是黏粒含量也达到 6%,同时顶部依然有 4%的砂粒没有沉淀到底部,不过沉淀分层的现象仍然很明显。

3 结论

通过室内试验可以发现,管袋充填的土料细颗粒含量较高时,传统的施工方法排水效率较低,管袋表层容易形成难以固结的细颗粒泥浆。在管袋表层开设排泥口后,对于黏粒含量达到 10%的土料,通过人工放水的方式,可以使管袋在充填后 6 h 左右达到理想固结度。小吊袋沉淀试验表明,不同级配的土料沉淀后都发生了分层现象,粒径较大的粗颗粒

位于吊袋底部,在管袋表层开设排水口放水不会造成粗颗粒的大量损失。本工艺适合用于土料细颗粒含量较高的沿海地区管袋充填施工。

参考文献(References):

- [1] 朱远胜. 土工管袋及其应用前景[J]. 纺织导报, 2005(12). (ZHU Yuan sheng. Geotubes and its application prospect[J]. China Textile Leader, 2005(12). (in Chinese))
- [2] 林刚, 束一鸣, 林勇. 充填管袋填筑的原理与实践[J]. 人民长江, 2005, 36(2): 25-28. (LIN Gang, SHU Yi ming, LIN Yong. Principles and practice of filled bag embankment[J]. Peoples of the Yangtze River, 2005, 36(2): 25-28. (in Chinese))
- [3] 束一鸣, 吴海民. 围垦堤防施工技术研究[J]. 水利经济, 2012, 30(3): 31-34. (SHU Yi ming, WU Hai min. Construction techniques for reclamation dikes in coastal areas[J]. Water Economy, 2012, 30(3): 31-34. (in Chinese))
- [4] 朱远胜, 靳向焯, 方汉明, 等. 堤坝中充泥袋设计初探[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(6): 71-76, 80. (ZHU Yuan sheng, JIN Xiang huang, FANG Han ming, et al. Study on design of geotube on dam[J]. Journal of China Textile University, 2000, 26(6): 71-76, 80. (in Chinese))
- [5] JTJ 239-2005, 水运工程土工合成材料应用技术规范[S]. (JTJ 239-2005, Technical Code for Application of Geosynthetics for Port and Waterway Engineering[S]. (in Chinese))
- [6] 席明军. 大型充填袋技术施工[J]. 水运工程, 2009(11). (XI Ming jun. Construction technology of large filling bags[J]. Port and Waterway Engineering, 2009(11). (in Chinese))
- [7] 林伟斌. 孔隙水压力消散程度及地基承载力与固结度的关系探讨[J]. 建材技术与应用, 2010(10): 4-6. (LIN Wei bin. Study of relationship between pore water pressure dissipation degree and foundation bearing capacity and degree of consolidation[J]. Building Material Technology and Application, 2010(10): 4-6. (in Chinese))
- [8] PLAUT R H, Suherman S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes[J]. Aeta Mechanica, 1998, 12(9): 207-218.

(上接第 866 页)

- [15] 李占斌, 秦百顺, 亢伟, 等. 陡坡面发育的细沟水动力学特征性室内试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 64-68. (LI Zhan bin, QIN Bai shun, KANG Wei, et al. Indoor experimental studies on hydrodynamic characteristics of runoff in rill erosion process steep slope[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 64-68. (in Chinese))
- [16] 张乐涛, 高照良, 田红卫. 工程堆积体陡坡坡面土壤侵蚀水动力学过程[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 94-102. (ZHANG Le tao, GAO Zhao liang, TIAN Hong wei. Hydrodynamic process of soil erosion in steep slope of engineering accumulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(24): 94-102. (in Chinese))
- [17] 吴淑芳, 吴普特, 宋维秀, 等. 坡面调控措施下的水沙输出过程及减流减沙效益研究[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 870-875. (WU Shu fang, WU Pu te, SONG Wei xiu, et al. Study on the

outflow processes of slope regulated by works and its effects on overland flow and sediment reduction[J]. Journal of hydraulic engineering, 2010, 41(7): 870-875. (in Chinese))

- [18] 李苗苗, 王克勤, 陈志中, 等. 不同坡度下反坡水平阶的蓄水减沙效益[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 100-104. (LI Miao miao, WANG Ke qin, CHEN Zhi zhong, et al. Storage of water and sediment reduction benefits of reverse slope terrace under the different slopes[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(6): 100-104. (in Chinese))
- [19] 褚利平, 王克勤, 白文忠, 等. 水平阶影响坡地产流产沙及氮磷流失的试验研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 1-6. (CHU Li ping, WANG Ke qin, BAI Wen zhong, et al. Impact of level terrace on runoff, sediment and N & P loss from sloping filed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 1-6. (in Chinese))