

文章编号: 1006-4710(2012)02-0138-07

# 扰动土与非硬化道路侵蚀产沙规律研究

秦百顺<sup>1,2</sup>, 李占斌<sup>1,3</sup>, 李鹏<sup>1</sup>, 刘海波<sup>2</sup>, 李斌斌<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 北京水保生态工程咨询有限公司, 北京 100053;

3. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 对扰动土与非硬化道路土壤侵蚀规律进行了研究。通过野外放水冲刷试验, 分析扰动土与非硬化道路含沙量、产沙速率与冲刷流量之间的关系。扰动土的含沙量呈下降趋势变化, 非硬化路面的含沙量在某一水平线上下波动; 不同坡度下平均含沙量随放水冲刷流量变化不同, 基本上呈上升趋势, 有平缓式上升、快速上升、梯形上升。扰动土累计产沙量呈抛物线式上升, 非硬化道路累计产沙量呈直线上升; 在部分坡度下, 扰动土与非硬化道路的产沙速率相近; 不同坡度平均产沙速率随放水流量的增长速度不同; 特别是扰动土坡面坡度大于  $11^\circ$ , 产沙速率有大幅度的增长, 工程建设中应特别注意扰动土坡度大于  $11^\circ$  的坡面。

**关键词:** 扰动土; 非硬化道路; 侵蚀; 产沙

**中图分类号:** S157      **文献标志码:** A

## Research on Soil Erosion and Sediment Yield of Disturbed Soil and Unpaved Roads

QIN Baishun<sup>1,2</sup>, LI Zhanbin<sup>1,3</sup>, LI Peng<sup>1</sup>, LIU Haibo<sup>2</sup>, LI Binbin<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Beijing Soil Conservation and Ecology Engineering Consulting Company limited, Beijing 100053, China;

3. Institute of Water and Soil Conservation, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Soil erosion rules of disturbed soil and unpaved roads are studied through field scouring experiment. The relationships among the sediments contents of disturbed soil and unpaved roads, sediment production rate and scouring flow are analyzed. Results indicated that the sediment contents of disturbed soil tend to fall. While the sediment contents of unpaved road surface fluctuate on a certain horizontal line. In the case of different slope degrees, the average sediment contents vary differently with the changes in scouring flow charges, but appear to have the upward tendencies including the flat upward, the fast upward and the ladder upward. The cumulative sediment production of disturbed soil appears to have the parabola rising, and the cumulative sediment production of unpaved road appears to have the straight line rising. In the case of the part slope degrees, the sediment production rates of disturbed soil and unpaved road are similar. The average sediment production rates under the different slope degrees are different with an increase in the scouring flow charges. Particularly with the slope degree of disturbed soil of over  $11^\circ$ , the sediment production rate will increase by a wide margin. Accordingly, great attention should be paid to the slope degree of over  $11^\circ$  of disturbed soil in engineering construction.

**Key words:** disturbed soil; unpaved roads; soil erosion; sediment yield

水土流失已成为当今世界面临的严重危机之一, 建设项目区的水土资源的破坏和损失主要是人为扰动地表和随意堆置弃土、弃石、弃渣而造成的,

是人类活动外营力产生的一种特殊的水土流失类型。由于建设项目区地表受到人为扰动较大, 其水土流失特点不同于天然状态下水土流失, 建设项目

收稿日期: 2012-01-06

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAD31B01); 国家自然科学基金资助项目(40971161); 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZZD-EW-04-03); 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201201084)。

作者简介: 秦百顺(1964-), 男, 甘肃天水人, 高工, 博士生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: hwtqsbs@163.com。

李占斌(1962-), 男, 河南镇平人, 教授, 博导, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zhanbinli@126.com。

的扰动土不同于一般自然土壤和耕作土壤<sup>[1]</sup>。夏素平等认为扰动土是相对于原状土而言的,由于受到外界机械作用,土体的空隙比、含水量或压密固结状态产生了较大的变化,特别是土体结构或组构的破坏和变化<sup>[2]</sup>,增加了建设项目区的水土流失。

目前针对扰动土的研究主要集中在扰动土物理性质变化、力学性质变化及对工程建设的影响等<sup>[3-10]</sup>,对于扰动土土壤侵蚀规律研究较少<sup>[11-13]</sup>。除此以外,项目建设区的硬地面,包括路面、施工便道、施工营地,极大降低了地表的入渗能力,是产流产沙的重要来源。

对于非硬化道路侵蚀特征研究,许多学者做了大量的工作<sup>[14-15]</sup>:王贞等通过野外放水试验,分析非硬化路面产沙随时间变化,平均含沙量、放水流量、坡度三者之间关系<sup>[16]</sup>;段维田等分析矿区非硬化路面不同坡度下流速随冲刷历时变化特征,路面在径流冲刷过程中,径流流速并非保持一恒定值,而是受流量和坡度的影响,随冲刷历时的延长和路面冲刷形态的变化而变化<sup>[17]</sup>。

本文运用野外放水冲刷试验对原状土与非硬化路面的土壤侵蚀规律进行研究,分析径流产沙随放水流量和坡度的变化,并对二者进行比较,为水土流失防治措施提供科学的依据。

## 1 材料与方法

放水冲刷试验在东胜矿区大柳塔煤矿进行。神府东胜矿区地处陕西和内蒙古两省交界地带,中国最大煤盆地鄂尔多斯盆地腹地,位于黄河支流窟野河上游乌兰木伦河与神木之间。矿区土壤容重为 $1.26 \sim 1.52 \text{ g/cm}^3$ ,土壤深层容重一般高于表层。土壤总孔隙度低,发育差,一般为 $50.0\%$ 以下。土壤颗粒结构主要有细砂粒、粉砂粒和物理性粘粒组成。细砂粒和粉砂粒所占比重较大,土壤结构性差,抗冲蚀能力差,保水保土性不良。矿区属中温带大陆性季风气候,冬长而干冷,夏短而多暴雨,春冬两季干旱多风沙,气温由南向北递减,多年平均降水量由南向北递减;降雨量从东南向西北逐渐递减,降雨量年内年际分布不均;年内降雨多以暴雨形式出现,雨量集中,历时短,强度大。

试验小区长 $10 \text{ m}$ ,宽 $1 \text{ m}$ ,小区边界条件通过钢板控制,其中钢板厚 $1 \text{ mm}$ ,高 $0.35 \text{ m}$ 。放水冲刷设备主要由贮水箱、溢流箱和集流槽三部分组成,见图1。贮水箱放置在试验小区顶部约 $11 \text{ m}$ 处,保持恒定的水位控制流量。贮水箱的水通过

水泵不断供给,冲刷流量通过试验小区上端阀门控制,溢流箱位于小区上方,紧靠小区顶部,溢流箱顶部紧贴地面底部嵌入地下,通过溢流箱的缓冲作用,使得试验小区的水流均匀的以薄层水流地形式向下流动,集流槽位于小区的下方,便于小区集流桶收集径流泥沙。

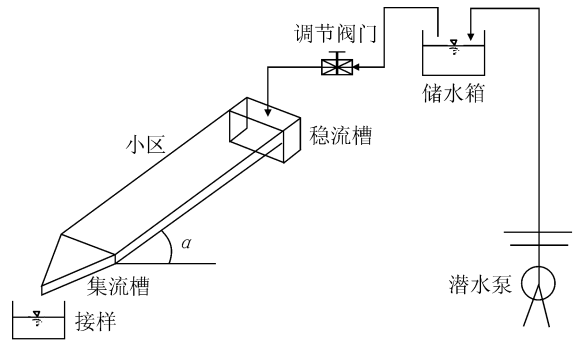


图1 野外放水冲刷试验系统示意图  
Fig. 1 Sketch map of outdoor scouring erosion experimental apparatus

试验开始后,在坡面出口处收集径流泥沙样用以分析径流泥沙过程。每隔 $1 \text{ min}$ 取 $1$ 次径流泥沙样,试验持续时间依具体情况设置在 $30 \sim 45 \text{ min}$ 。试验后,集流桶内径流样通过量筒测定,含沙量通过置换法测定。本文中扰动土是通过铁锹翻动原地面约 $25 \text{ cm}$ 深土壤形成的。非硬化道路是通过三次覆土,二次洒水人工夯实形成,非硬化道路容重维持在 $1.7 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$ 。扰动土前期含水量见表1。

表1 扰动土前期含水量  
Tab. 1 Initial water content of disturbed soil

坡度	冲刷流量/(L/min)	前期含水量/(g/g)
5°坡	23.9	0.133
	16.0	0.124
	8.10	0.137
11°坡	19.5	0.138
	14.3	0.187
17°坡	23.7	0.156
	20.3	0.120
	16.1	0.140
	10.0	0.108

## 2 结果与分析

### 2.1 含沙量分析

#### 2.1.1 扰动土含沙量分析

图2为扰动土含沙量随冲刷历时的变化,由图可以看出扰动土含沙量变化总体呈下降趋势。图(a)为扰动土 $5^\circ$ 坡面条件下含沙量变化过程。初始

5 min 内冲刷流量 8.1 L/min 与 16.0 L/min、23.9 L/min 的含沙量变化过程相反,5 min 之后,三种冲刷流量的含沙量变化曲线相接近。扰动土被剥离后随意堆积,土壤结构受到破坏,表层土壤蒸发使得含水量减少,当含水量减小到一定程度,表层土壤粘聚力消失,土质疏松;而下层的土壤在堆积过程中受到挤压,土质相对密实;在产生径流的初始阶段,表层的疏松土壤迅速融入径流中,含沙量的初始值较高,随降雨持续进行,表层疏松的土壤细小颗粒逐渐流失,含沙量减小,表层土壤细小颗粒流失完毕后,含沙量降到最小值。图 (b) 为 11° 坡面条件下含沙量变化过程。两种冲刷流量下含沙量变化过程相近。图 (c) 为 17° 坡面条件下含沙量变化过程。可以看出冲刷流量分别为 16.1 L/min、20.3 L/min、23.7 L/min 的含沙量过程线相接近,10.0 L/min 的含沙量过程线低于前者。图 (d) 为 3 个坡度下不同冲刷

流量下的含沙量过程对比分析。其中,5° 坡面的冲刷流量条件同图 2 (a); 11° 坡面的冲刷流量条件同图 2 (b); 17° 坡面的冲刷流量条件同图 2 (c), 并分别给出 10.0 L/min 及其它 3 个流量 (16.1 L/min、20.3 L/min、23.7 L/min) 的过程线。

由图可知,5° 坡面条件下与 11° 坡面条件下的含沙量变化在同一趋势线上,17° 坡面条件下较大的三种冲刷流量在同一趋势线上,并大于 5° 坡面条件下与 11° 坡面条件下的含沙量变化趋势线。17° 坡面条件下 10.0 L/min 的含沙量变化趋势线位于前两者之间。

从 3 种趋势线可以看出不同坡度造成的含沙量的差异会随着冲刷的进行会越来越小。初始阶段,5°、11° 坡面条件与 17° 坡面条件下含沙量差距很大,约 0.6 g/mL。30 min 时,17° 坡面条件下含沙量高于 5°、11° 坡约 0.1 g/mL。

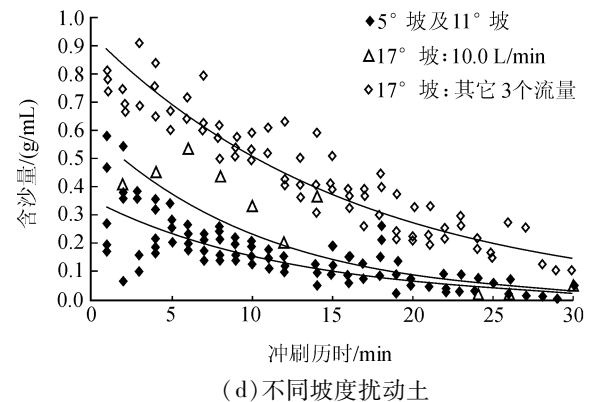
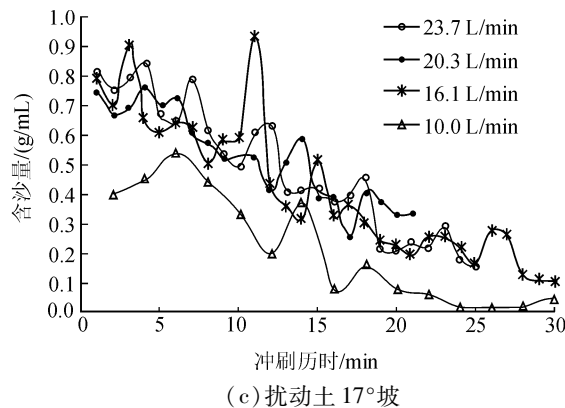
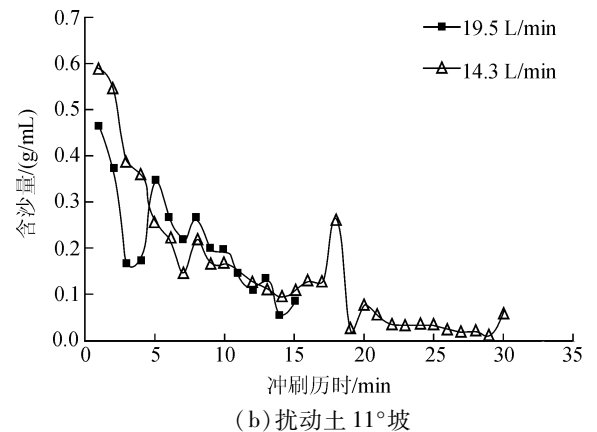
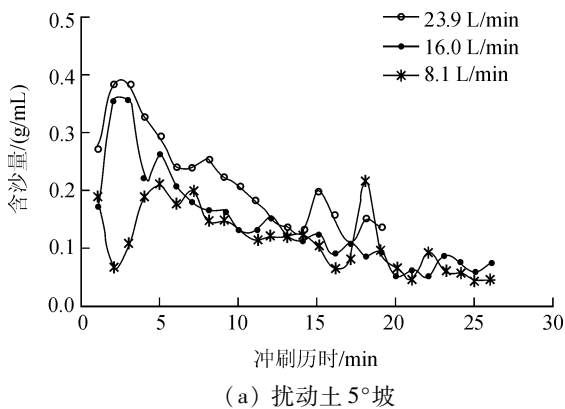


图 2 扰动土含沙量变化

Fig. 2 Sediment concentration process of disturbed soil on different slope

图 3 为扰动土时段平均含沙量随放水冲刷流量的变化。在同一坡度下,含沙量随冲刷流量的增大逐渐增大。5° 与 11° 坡面条件下含沙量增加幅度较小,17° 坡面条件下在流量 10 ~ 20 L/min 大幅度增

长,在 20 ~ 25 L/min 小幅度下降,同时含沙量随着坡度的增大而增大;17° 坡面条件下含沙量大于 11° 坡,11° 坡面条件下含沙量大于 5° 坡,其中 5° 与 11° 坡面条件下含沙量差距较小。

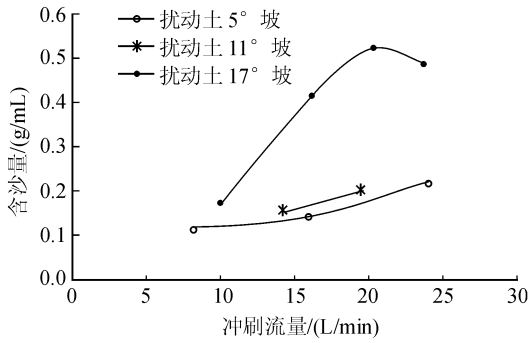


图3 扰动土含沙量随冲刷流量的变化

Fig.3 The variations of disturbed soil sediment concentration with flow discharge

### 2.1.2 非硬化道路含沙量分析

图4 为非硬化道路的含沙量的变化过程。

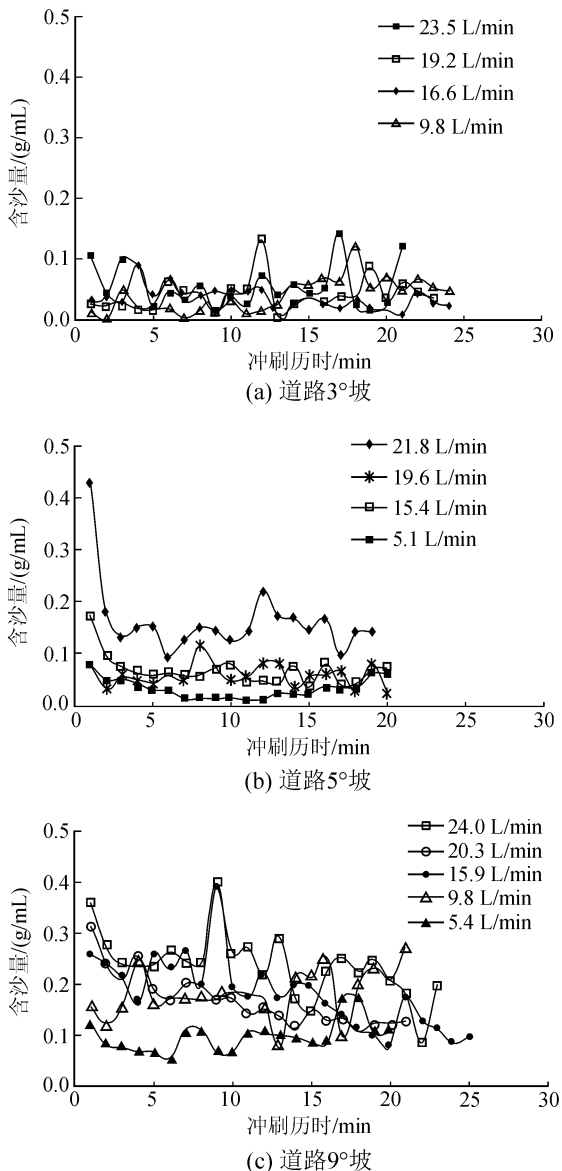


图4 非硬化道路含沙量变化

Fig.4 Sediment concentration process of unpaved roads on different slope

从图4 可看出,含沙量变化没有明显的规律,在一定范围内波动。图(a)为非硬化道路3°坡面条件下含沙量变化过程,含沙量在0~0.1 g/mL波动;图(b)为非硬化道路5°坡面条件下含沙量变化过程,含沙量没有上升或下降趋势,在0~0.20 g/mL波动;图(c)为非硬化道路9°坡面条件下含沙量变化过程,含沙量在0.06~0.3 g/mL波动。

同一坡度下,非硬化道路含沙量变化过程没有明显的变化规律,在整个降雨历时中一直处于波动状态。但含沙量的变化范围随着坡度的增加而上升。非硬化道路经过践踏和碾压,土壤密实度大,上下均匀性好,表面没有松散的土壤,在含沙量的变化过程中,初始含沙量不大。随着降雨的持续进行,径流含沙量在一定范围内波动。随着坡度增加,同一流量下,径流的流速增加,挟沙力增大,径流的含沙量有一定提高。

图5 为非硬化道路平均含沙量随冲刷流量的变化。

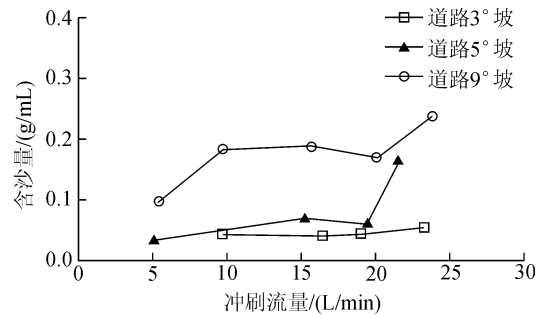


图5 非硬化道路平均含沙量随冲刷流量的变化

Fig.5 The variations of unpaved roads sediment concentration with flow discharge

由图5 可看出,含沙量的变化受坡度和冲刷流量的共同影响。坡度越大,含沙量越大,5°坡面条件含沙量大于3°坡面条件含沙量,但是差距很小,整体都在0.05 g/mL附近变化。9°坡面条件含沙量大于5°坡面条件含沙量,且差距较大,9°坡面条件含沙量整体在0.19 g/mL波动,因此坡度对含沙量的影响不是均匀的。

当超越某一坡度时,含沙量会有较大幅度的提高,冲刷流量对含沙量的影响与坡度相类似。

当在某一临界冲刷流量下,随着流量的增加,含沙量变化不大;当大于临界流量,含沙量会有很大的提高。在3°坡面条件下,流量增加到23.5 L/min时,含沙量变化不大;在5°坡面条件下,流量在21.8 L/min之前,含沙量变化不大,当流量达21.8 L/min时,含沙量迅速增加至0.16 g/mL;在9°坡面条件下,流量为5.4 L/min时,含沙量为0.10 g/mL,当流

量大于 9.8 L/min 时,含沙量基本在 0.19 g/mL 上下变化,说明含沙量产生突变的临界流量随着坡度的增加而减小。

对比扰动土与非硬化道路条件下的含沙量变化过程,扰动土条件下含沙量随冲刷历时逐渐降低;而非硬化道路条件下含沙量没有明显的趋势变化,这主要与土壤的疏松程度有关,扰动土经过翻耕,土壤松散;非硬化道路经过反复碾压,土壤密实。在相同坡度相同冲刷流量下,径流的侵蚀动力基本相同,而扰动土为侵蚀提供了丰富的物质条件。随着冲刷的进行,为侵蚀提供的松散物质越来越少,含沙量呈现减小过程;而非硬化道路为侵蚀提供的物质基础较差,冲刷表现为侵蚀动力条件与土壤抗侵蚀能力相互作用的过程,含沙量没有明显的变化趋势。

## 2.2 累计产沙量的分析

### 2.2.1 扰动土产沙量分析

扰动土放水冲刷试验累积产沙过程呈抛物线状,初期累计产沙量增长速度很快,后期增长速度逐渐变缓。同时随着冲刷流量的增大,累计产沙过程线逐渐升高的。图 6 为扰动土不同坡度下产沙速率随流量的变化。图中可以看出,不同坡度下,产沙速率均随流量增加而增加,5°与 11°坡面条件下产沙速率增加缓慢,17°坡面条件下的产沙速率随流量增加幅度较大。

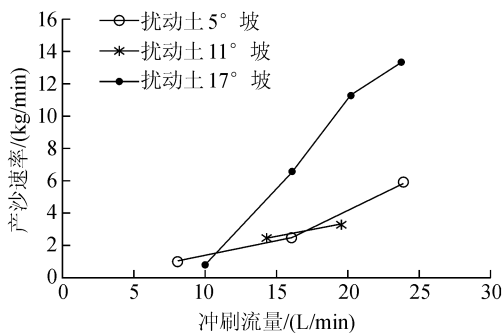


图 6 扰动土产沙速率随冲刷流量的变化

Fig. 6 The variations of disturbed soil eroded sediment rates with flow discharge

### 2.2.2 非硬化道路产沙量分析

非硬化道路累计产沙量过程呈直线上升。整体上随着流量的增加,产沙速率逐渐增大,产沙过程线逐步升高。

图 7 为非硬化道路产沙速率随流量的变化。图中可以看出,9°坡面条件下的产沙速率大于 5°坡面条件下产沙速率,5°坡面条件下的产沙速率大于 3°坡面条件下的产沙速率;9°坡面条件下产沙速率变化可分为快速上升、平缓、再快速上升三个阶段,流

量为 5 ~ 15 L/min 时快速上升,流量为 15 ~ 20 L/min 时变化平缓,流量为 20 ~ 25 L/min 时又快速上升;5°坡面条件下时产沙速率变化可分为缓慢上升、快速上升两个阶段,产沙速率在流量为 5 ~ 20 L/min 时缓慢上升,流量为 20 ~ 25 L/min 时迅速升高;3°坡面条件下时产沙速率只有一种变化趋势,流量为 10 ~ 25 L/min 均呈缓慢上升,3°坡的产沙随流量的变化比较稳定,而 5°坡与 9°坡同在流量为 20 L/min 发生突变,产沙速率迅速上升。

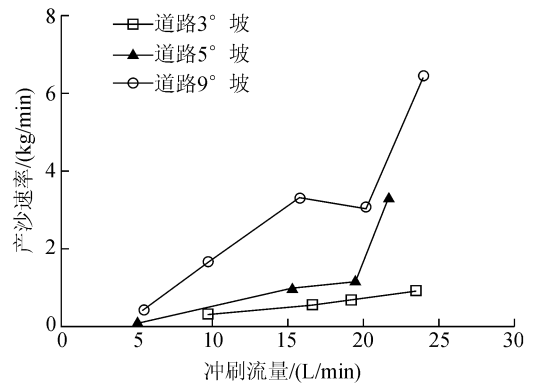


图 7 非硬化道路产沙速率随冲刷流量的变化

Fig. 7 The variations of unpaved roads eroded sediment rates with flow discharge

从以上分析可以得知,累计产沙过程线主要有抛物线和直线:扰动土以抛物线为主,非硬化道路以直线为主。累计产沙变化一方面受径流侵蚀的强弱的影响,另一方面与土壤特性有关。这两方面因素的相互作用决定了径流产沙变化特征<sup>[18]</sup>,径流侵蚀力的大小由径流量及坡度决定。

影响土壤特性的因素有土壤质地、土壤结构、土壤孔隙、水稳性等。对扰动土,表层土壤松散、空隙大,下层土壤密实、容重大,径流冲刷过程中,初期土壤抗蚀性弱,径流含沙量较大,当径流逐渐冲刷达到下层土壤时,含沙量减小。累计产沙过量也表现为先陡后缓慢,抛物线增长过程。对于非硬化道路,土质密实,上下均匀,空隙小,土壤渗透性差,抗冲能力较大。径流的含沙量稳定在某一水平线上下波动,产沙量呈直线上升。

图 8 为非硬化道路产沙速率与扰动土的比较。图中可以看出,扰动土 17°坡面条件下流量大于 15 L/min 时产沙量是最大的;扰动土 11°与 5°坡面条件下产沙量与非硬化道路 9°坡面条件下相近;非硬化道路 3°坡面条件下的产沙量与 5°坡面条件下突变前相近,同小于非硬化道路 9°坡面条件下的产沙量。

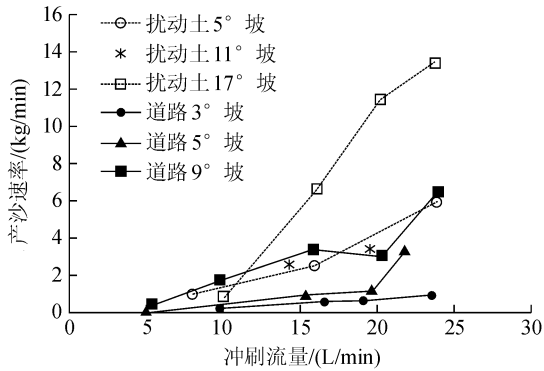


图8 非硬化道路产沙速率与扰动土的比较

Fig. 8 Eroded sediment rates comparison of unpaved roads and disturbed soil

### 3 结论

1) 扰动土的含沙量呈下降趋势变化,非硬化路面的含沙量在某一水平线上下波动;平均含沙量的变化受坡度和冲刷流量的共同影响;同一放水流量下坡度越大含沙量越大,同一坡度下含沙量随放水流量的增大而增大;不同坡度下平均含沙量随放水冲刷流量变化不同,基本上呈上升趋势,有平缓式上升、快速上升、梯形上升;坡度对平均含沙量随放水流量增长速度的影响不是均匀的;

2) 扰动土累计产沙量呈抛物线式上升,平均产沙速率随放水冲刷流量呈直线上升;非硬化道路累计产沙量呈直线上升,平均产沙速率主要以折线上升;二者坡度越大,平均产沙速率越大;同样坡度对平均产沙速率随放水增长速度的影响不是均匀的;

3) 扰动土的产沙速率没有绝对的大于非硬化道路,两者部分坡度的产沙速率随放水流量的变化相近。

### 参考文献:

- [1] 李鹏,李占斌,鲁克新. 陕北地区土地利用变化影响土壤入渗性能试验研究[J]. 西安理工大学学报,2010,26(1):7-12.  
Li Peng, Li Zhanbin, Lu Kexin. Influence of land use change on soil infiltration behaviors in North Shaanxi Area [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2010, 26(1):7-12.
- [2] 夏素平,周怀民,王立伟. 扰动土研究现状及其评价标准[J]. 岩土工程界,2005,8(9):38-42.  
Xia Suping, Zhou Huaiming, Wang Liwei. Disturbed soil research and evaluation standard [J]. Geotechnical Engineering World, 2005, 8(9):38-42.
- [3] 王卫华,王全九,樊军. 原状土与扰动土导气率、导水率与含水率的关系[J]. 农业工程学报,2008,24(8):

25-29.

Wang Weihua, Wang Qianjiu, Fan Jun. Relationship between air permeability, water conductivity and water content for undisturbed and disturbed soils [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8):25-29.

- [4] 李俊杰,白中科,赵景逵,等. “矿山工程扰动土”人工再造的概念、方法、特点与影响因素[J]. 土壤,2007,39(2):216-221.  
Li Junjie, Bai Zhongke, Zhao Jingkui, et al. Concept, methods, characteristics and influential factors of artificial rebuilding of mining engineering disturbed soil [J]. Soils, 2007, 39(2):216-221.
- [5] 于广云,夏军武,盛平,等. 扰动土性状研究及在环境治理工程中的应用[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(6):631-634.  
Yu Guangyun, Xia Junwu, Sheng Ping, et al. Research on disturbed soil and its application in environmental engineering [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(6):631-634.
- [6] 李宗禹,黄岩,刘昕,等. 高速公路路域扰动土壤及其生态管理[J]. 公路交通科技,2002,19(3):155-159.  
Li Zongyu, Huang Yan, Liu Xin, et al. Disturbed soil along expressway and its ecological management [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(3):155-159.
- [7] Luce C H, Black T A. Sediment production from forest roads in west 2ern Oregon [J]. Water Resources Research, 1999, 35(2):2561-2570.
- [8] 邵允斌. 受扰动土性状室内试验研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.  
Shao Yuncheng. Study on laboratory test of properties of disturbed soil [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [9] 于广云. 采动区大变形扰动土物理力学性质演变及工程响应研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.  
Yu Guangyun. Physical and mechanical properties evolution and engineering response of disturbed soil in mining subsidence area with large vertical deformation [D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2009.
- [10] 陈霞,杨晓龙. 天然含水量的扰动土与风干土抗剪强度的分析[J]. 吉林水利,2002,8:10-12.  
Chen Xia, Yang Xiaolong. Analysis of disturbed soil with natural moisture and air-dried soil shear strength [J]. Jilin Water Resources, 2002, 8:10-12.
- [11] 罗婷,王文龙,王贞,等. 神府东胜煤田开发建设中扰动地面产流产沙试验研究[J]. 西北林学院报,2011,26(4):59-63.  
Luo Ting, Wang Wenlong, Wang Zhen, et al. Experiment of water runoff and sediment yield on the disturbed lands in

- Shenfulongsheng Coalfield Development and Construction [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4):59-63.
- [12] 王贞,王文龙,金剑,等. 神府煤田扰动地面与原地面产流产沙及水动力学参数对比[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(6):69-74.
- Wang Zhen, Wang Wenlong, Jin Jian, et al. Comparison of runoff generation, sediment yield and hydrodynamic parameters on the undisturbed and the disturbed land surface in the Shenfu-Dongsheng coalfield[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2010, 8(6):69-74.
- [13] 李宏伟,王文龙,王贞,等. 神府东胜煤田扰动地面野外降雨试验[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2):11-20.
- Li Hongwei, Wang Wenlong, Wang Zhen, et al. Field rainfall experiment on the disturbed lands during the Shenfu-Dongsheng coalfield exploitation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(2):11-20.
- [14] 刘小勇,吴普特. 硬地面侵蚀产沙模拟试验研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1):33-36.
- Liu Xiaoyong, Wu Pute. Simulated study on erosion and sediment yield on hard ground surface[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(1):33-36.
- [15] 刘雪英,张芳琴,郑世清,等. 黄土丘陵区山坡植物路防蚀效益试验研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4):16-19.
- Liu Xueying, Zhang Fangqin, Zheng Shiqing, et al. Study of biological road controlling erosion in loess hilly region [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(4):16-19.
- [16] 王贞,王文龙,罗婷,等. 非硬化路面侵蚀产沙规律野外模拟试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12):79-83.
- Wang Zhen, Wang Wenlong, Luo Ting, et al. Field simulated experiment on soil erosion and sediment yield of unpaved roads [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(12):79-83.
- [17] 段维田,李鹏. 神府东胜煤田非硬化土路水流流速特征试验研究[J]. 陕西水利, 2010, (5):127-128.
- Duan Weitian, Li Peng. Research on flow velocity characteristic of unpaved roads in Shenfu-dongsheng [J]. Shaanxi Shuili, 2010, (5):127-128.
- [18] 张科利,秋吉康弘,张兴奇. 坡面径流冲刷及泥沙输移特征的试验研究[J]. 地理研究, 1998, 17(2):163-170.
- Zhang Keli, Akiyoshi Yasuhiro, Zhang Xinqi. A laboratory study on rill erosion and sediment delivery on the slope [J]. Geographical Research, 1998, 17(2):163-170.

(责任编辑 杨小丽)

## 简讯

### 西安理工大学 11 项成果获陕西省科技奖励

西安理工大学主持的 8 项科技成果获得 2011 年度陕西省科学技术奖。其中:刘丁教授主持完成的“大尺寸全自动化硅单晶炉关键技术及其应用”、罗兴铨教授主持完成的“高性能混流式水轮机优化设计技术及应用”获得一等奖。

“大尺寸全自动化硅单晶炉关键技术及其应用”由我校和西安理工晶体科技有限公司合作完成,在国家“863”计划等项目的支持下,研制成功我国首台极大规模集成电路用 300 mm 硅单晶炉并形成系列产品,整体性能达到国际先进水平,获授权发明专利 13 项,实用新型专利 11 项,申请美国发明专利 2 项,制定我国首部单晶炉技术标准;核心技术和系列产品已在相关行业推广使用并出口美国应用材料公司和韩国 LG 公司,取得了显著的社会、经济效益。

“高性能混流式水轮机优化设计技术及应用”对混流式水轮机水力优化设计与性能预估的关键技术进行了系统研究,建立了三维有旋的混流式转轮水力设计模型,完善了混流式水轮机的三维设计理论。项目获发明专利 2 项、实用新型专利 2 项;发表学术论文 160 余篇;出版著作 3 部。该技术及产品已在国内数十家水电站、水力机械制造厂和研究单位成功应用。

(摘自西安理工大学新闻网 2012-02-25)