

# 开发建设中扰动地面新增水土流失研究

罗婷<sup>1</sup>, 王文龙<sup>1,2</sup>, 李宏伟<sup>1</sup>, 白芸<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**针对神府东胜煤田开采过程中所引发的严重新增水土流失问题,采用野外放水冲刷的试验研究方法,对神府东胜煤田扰动地面新增水土流失机理和流失量进行了初步研究。结果表明:在相同放水冲刷流量和坡度下,原始地面的平均土壤入渗率较扰动地面的增加 30%;两种不同类型下垫面的径流量均随时间的增加而增加,冲刷的前 6 min,径流量均较小,且原始地面>扰动地面,在 6 min 以后,径流量迅速增大,且原始地面<扰动地面,扰动地面的平均径流量较原始地面增加 14%;原始地面的侵蚀产沙在整个放水冲刷过程中没有显著变化,基本维持在一个常数水平;扰动地面在放水冲刷 0—15 min 的侵蚀产沙量较高,此后侵蚀产沙随冲刷历时的延长而下降并最终趋于稳定;扰动地面的平均含沙量较原始地面增加 96%,平均产沙量增加 89%;新增土壤流失量随放水流量和坡度的增大而增大,10°时,新增土壤流失量最大;同一坡度条件下,放水流量越小,土壤流失量增加的百分比就越大,反之则越小。

**关键词:**扰动地面; 新增水土流失量; 入渗率; 径流量; 侵蚀产沙; 神府东胜煤田

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0030-06

## Study on the Newly Occurred Soil and Water Loss on the Disturbed Lands in the Site of Development and Construction

LUO Ting<sup>1</sup>, WANG Wen-long<sup>1,2</sup>, LI Hong-wei<sup>1</sup>, BAI Yun<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese

Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on the severe newly occurred soil and water loss caused by the mining exploitation in the Shenfu-Dongsheng coal mining area, mechanism of newly occurred soil and water loss and soil loss tolerance were studied by using field water discharge scouring experiments. The results showed that the average water infiltration rate of original soil increased by 30% compared to disturbed soil surface under the same flow discharge and slope; runoff rate increased with time duration under the different surface conditions. About within 6 minutes before at the beginning of scouring, runoff rate was all little and the runoff rate in original soil surface was more than that in disturbed soil surface, after 6 minutes, runoff rate increased significantly, and the runoff rate in original soil surface was less than that in disturbed soil surface, the average runoff rate of disturbed soil surface increased by 14% compared to that in original soil surface; the sediment generation of original soil surface kept a constant level basically in the whole scouring process, and obvious change of sediment yield was not observed. The sediment generation of disturbed soil surface was highest within 0—15 min, and then it decreased with time duration and tended to stable finally, the average sediment concentration increased by 96% and the average sediment yield increased by 89% compared to original soil surface; Newly occurred soil and water loss increased with flow discharge and slope increased and was the highest for slope with gradient of 10°. Under the same slope conditions, the percentages of soil loss increase were higher when flow discharge was smaller.

收稿日期:2011-10-08

修回日期:2011-11-10

资助项目:国家自然科学基金“煤矿开发建设中人为侵蚀机理及新增水土流失预报模型:以神府东胜煤田为例”(40771127);水利部公益性行业专项(201001036,201201048);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项经费(10502-T1)”

作者简介:罗婷(1983—),女,甘肃白银人,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:tingluohao@163.com

通信作者:王文龙(1964—),男,陕西大荔人,博士,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:wlwang@nwsuaf.edu.cn

**Key words:** disturbed land; newly occurred soil and water loss; infiltration rate; runoff rate; sediment generation; Shenfu-Dongsheng coalfield

新增水土流失量是指建设项目在基建过程中由于破坏原地貌、水土保持设施和生产运行期生产性弃渣造成的水土流失量的增加值<sup>[1]</sup>。煤田等开发建设项目在开发建设过程中势必破坏地表原有植被和原有土壤结构,改变地形、地貌,形成了大量的人为扰动地面。人为扰动地面几乎没有植被覆盖,在侵蚀外营力作用下极易发生水土流失。神府东胜矿区人为扰动地面新增水土流失对该区环境的压力越来越大,已成为该区最大的环境问题。因此,阐明新增水土流失发生发展规律,及时准确预测新增水土流失量及其发生部位,并提出防治对策,对防止矿区人为新增水土流失具有重要的意义<sup>[2-4]</sup>。

扰动地面是指因人类活动(如矿产开发、修筑公路铁路、建筑取土、采石等)破坏原有土壤结构和植被而造成的一种易侵蚀的新侵蚀界面。它是煤田等开发建设项目新增水土流失来源的主要下垫面之一,抓住了这类下垫面上的新增水土流失量就抓住了人为水土流失的一个主要部分。因为任何开发建设项目产生水土流失的主要方式都不外乎弃土弃渣和人为扰动地面这两类下垫面<sup>[5]</sup>。因此,研究神府东胜矿区人为扰动地面新增水土流失量对该区边开采边治理水土流失提供了重要的科学依据,也供其他开发建设项目借鉴。

目前,虽然对煤矿开采造成的水土流失有了不少的研究,但多集于在野外调查和室内模拟降雨试验,且多集中于弃土弃渣体水土流失的研究,野外放水冲刷试验和对扰动地面水土流失的研究比较少。因此,本文采用野外放水冲刷试验的研究方法,对神府东胜煤田开发建设中产生的扰动地面产流及侵蚀产沙规律进行了研究,并分析计算了新增水土流失量,以期阐明该矿区人为新增水土流失的基本规律,为新增水土流失预测和防治提供科学依据。

## 1 试验区概况与试验布设

### 1.1 试验区概况

神府东胜煤田属国家特大型煤炭生产基地,地处陕西省神木县北部、府谷县西部,内蒙古自治区鄂尔多斯市的伊金霍洛旗及东胜区南部和准格尔旗的西南部<sup>[6]</sup>。煤田面积达 3.12 万 km<sup>2</sup>,探明储量 2 236 亿 t,远景储量高达 10 000 亿 t,占全国探明储量的 1/4<sup>[7]</sup>。矿区属于干旱半干旱大陆性季风气候,平均海拔 1 329.8 m,春季冷暖交替,风沙侵袭频繁;夏季

炎热而短促,多暴雨且相当集中;冬季漫长严寒,干燥少雪多风<sup>[8]</sup>。区内沙漠化土地面积占 57%,沙漠化土地年自然增长率 0.5%。由于地表物质组成疏松、植被稀少、气候干旱、多风沙、加之地处暴雨中心,洪水大,含沙量高,自然灾害频繁,水土流失十分严重。矿区水蚀、风蚀范围广、强度大,风蚀面积占矿区面积的 92%,水蚀面积占 77%。水蚀、风蚀在时间、空间上交替进行,构成了水蚀、风蚀交加的复合侵蚀区<sup>[9]</sup>。正是煤田地理位置的特殊性决定了该区地域上的过渡性、环境上的脆弱性、敏感性和严酷性以及水土流失的严重性<sup>[10]</sup>。

### 1.2 试验布设与方法

试验区位于神木县西沟乡六道沟村的一片撂荒地上。本试验选取原始坡面、扰动坡面两种类型下垫面进行放水冲刷试验研究。原始地面是指没有耕种农作的、废弃的、没有人工扰动的撂荒地;由于各类开发建设项目在开发建设过程中对地表扰动的强度不一,很难模拟真实的扰动情形,本文扰动地面模拟试验是指用铁锹将原地面翻动 20 cm 的土层,然后用铁耙将其平整模拟形成的。其土壤容重在 1.14~1.24 g/cm<sup>3</sup> 之间。试验小区为 1 m×10 m,四周用 1 mm 厚的钢板插入地下 0.15 m 围住,地上露出 0.1 m 使小区边界条件控制一致,钢板与小区四周之间的缝隙用湿黏土填塞,以防止小区内外的水分交换和小区内的径流沿钢板边缘下渗。小区上方放置一个与小区宽度相等、紧贴地面、紧靠小区顶端并嵌入地下的溢流箱,保证在试验小区上部水流是均匀的,并以薄层水流的形式向下流动。小区下方放置集流槽,在出口处用集流桶收集径流泥沙样,以计算路面径流泥沙过程。在小区顶端 8~15 m 处放置体积为 2 m<sup>3</sup> 的水箱,水泵给水箱不断地供水,然后由汽油泵抽出给试验小区供水(图 1)。在出水管处上端安装两个闸阀控制流量,流量分别率定 2 次,前后两次误差不超过 5%。沿着小区纵向从上到下划分 3 个断面,每个断面长 1 m,分别在 2~3,5~6,8~9 m 处设置断面,以测定流速、流宽及流深。试验开始前,测定土壤容重、土壤含水量等,开始后,将温度计放入溢流箱内,并记录产流时间。产流 5 min 内每 1 min 取 1 次径流泥沙样,5 min 后每 3 min 取 1 次。试验时间为 45 min,其中不包括产流时间。放水冲刷结束后,测量细沟的上宽、下宽和沟深。坡面流速采用高锰酸钾示踪法,用薄钢尺量测各个断面的径流宽度,测量水深

时用薄钢尺在各断面取三点量测取三者平均值为流深。放水流量按照神府东胜地区暴雨发生频率在试验小区上产生的单宽流量得到,采用 5 个放水流量: 5, 10, 15, 20, 25 L/min, 3 个坡度: 5°, 10°, 18°。试验结束后,用量筒测定各个径流样体积,用烘干法测定泥沙量。

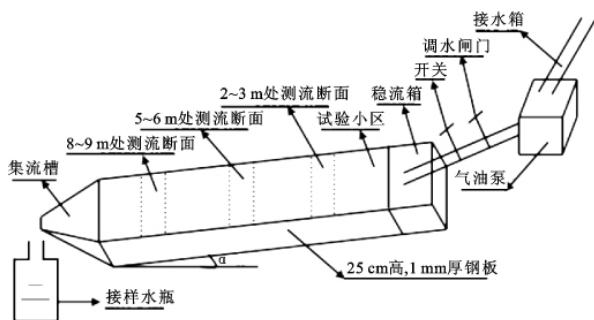


图 1 野外放水冲刷试验示意图

## 2 结果与分析

由于不同放水流量、不同坡度条件下,土壤入渗率、径流量以及侵蚀产沙随时间的变化规律相似,所以本文仅选取以 10°坡面、15 L/min 放水流量为例,以相同坡度、相同放水流量的原始地面为对照进行分析。

根据试验实测资料,将两种不同类型下垫面的平均入渗率、平均径流量、平均含沙量、平均产沙量的计算结果列入表 1。

表 1 两种不同类型下垫面产流、产沙的平均值

下垫面 类型	平均入渗率/ (mm · min <sup>-1</sup> )	平均径 流量/L	平均含沙量/ (g · L <sup>-1</sup> )	平均产沙量/ (g · min <sup>-1</sup> )
原始地面	0.388	29.524	4.523	116.05
扰动地面	0.273	34.361	103.250	1047.68

### 2.1 扰动地面新增水土流失机理

在开发建设过程中,由于生产环节或不合理的人类活动扰动地表,从而改变了原地表形态、物质组成,产生了新的侵蚀界面,其抵抗侵蚀的能力与原生地面相比大为降低。这种新的侵蚀界面相对原生地面土壤结构和物理性质均发生变化,必然导致降雨入渗和降雨径流规律的变化,进而引起侵蚀产沙的变化,而扰动下垫面上的土壤侵蚀要比原生地面剧烈的多,即扰动下垫面比原地面的水土流失增加了<sup>[5,11]</sup>。下面以原始地面作为对比参考基准,主要从两种不同类型下垫面的土壤入渗率、径流量随时间变化规律来分析扰动地面新增水土流失机理。

2.1.1 扰动地面土壤入渗率随时间的变化规律 入渗是指水分通过土壤表面垂直向下进入土壤和地下的运动过程<sup>[12]</sup>。一般来说,土壤入渗过程不参与坡面流的流动,它主要影响了产流过程和产流量。下垫

面不同,土壤水分入渗过程也不相同。土壤入渗率用公式(1)来进行计算<sup>[13]</sup>。

$$K = r \cos \theta - \frac{k \cdot F}{A \cdot t} \quad (1)$$

式中:  $K$ ——土壤入渗率(mm/min);  $r$ ——降雨强度(mm/min);  $\theta$ ——坡度(°);  $k$ ——将产流量换算成水的体积的转换系数,取  $k = 0.1 \text{ cm}^3/\text{g}$ ;  $F$ ——时间间隔  $t$  内的产流量(g);  $A$ ——土槽截面积( $\text{cm}^2$ );  $t$ ——时间间隔(min)。

从图 2 中知,在相同放水流量、相同坡度的两种下垫面条件下,达到稳渗所需的时间基本相同(大约 15 min 后),但两种不同类型下垫面对土壤入渗率均有显著影响,并具有一定的差异性。在放水冲刷初期,即大约 6 min 内,扰动地面的土壤入渗率明显大于原始地面,且急剧减小;从 6 min 开始,扰动地面的土壤入渗率小于原始地面。图 2 中曲线的共同特点是:初渗率大,并随着时间的推移两种类型下垫面的土壤入渗率均呈先减小后平稳的趋势。这是因为:(1)放水冲刷前,两种下垫面的初始土壤含水率基本控制在同一水平且很低,故放水冲刷初期,两种下垫面的土壤吸水力均很大,此时的入渗率也大。(2)原始地面未经人为扰动,土壤结构紧密,地表存在生物结皮,水分不易下渗,故土壤入渗率小;扰动地面经过人为的翻动,土壤的结构被破坏,表面密实度减小,表面土壤颗粒间的孔隙增大,同时也消除了地表生物结皮对水分入渗的影响,故在放水冲刷初期土壤入渗率很大,并且在短时间内急剧减小。随着冲刷时间的延长,土壤开始逐渐变得湿润,土壤吸力下降,土壤中的孔隙逐渐被水分填满,入渗率也随之减小;达到稳定入渗阶段后,稳渗率大小排序为:原始地面 > 扰动地面。

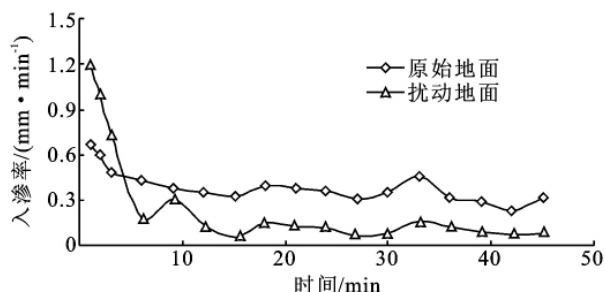


图 2 两种下垫面土壤入渗率随时间变化对比

从表 1 可以看出,在相同放水流量、相同坡度下,原始地面的平均土壤入渗率为 0.388 mm/min,而扰动地面的土壤平均入渗率为 0.273 mm/min,原始地面的土壤平均入渗率较扰动地面增加了 30%,可见,在整个冲刷过程中,原始地面水分入渗多,产生的径流量小,侵蚀力弱。

2.1.2 扰动地面径流量随时间的变化 径流是坡面侵蚀产生的主要营动力, 又是土壤输移的载体。分析两种不同类型下垫面放水冲刷试验的资料, 得到放水冲刷过程中两种不同类型下垫面径流量随时间的变化规律。由图 3 知, 在相同放水流量、相同坡度条件下, 两种不同类型下垫面的径流量随时间的增加而增加。大约在开始冲刷的前 6 min 内, 两种不同类型下垫面的径流量很小, 且原始地面 > 扰动地面, 6 min 后, 径流量迅速增大, 原始地面 < 扰动地面, 大约 10 min 后基本趋于稳定。其原因在于: 在放水冲刷初

期, 土壤入渗率比较大, 故径流量小。又由于在冲刷初期, 扰动地面的土壤入渗率比原始地面的大, 所以扰动地面的径流量比原始地面的小。当土壤入渗减缓时, 径流量迅速增大, 达到稳渗阶段后, 径流量也基本围绕一个常数上下波动。与扰动地面不同的是原始地面因地表覆盖(苔藓、杂草等)和虫洞、根孔等的存在而具有较大的入渗能力, 故产流量小。同时, 从图 3 还可以看出, 在相同放水流量、相同坡度下, 两种下垫面的累积径流量也随时间的增加而增加, 且扰动地面 > 原始地面。

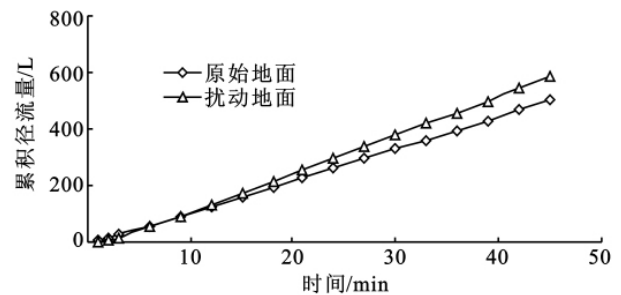
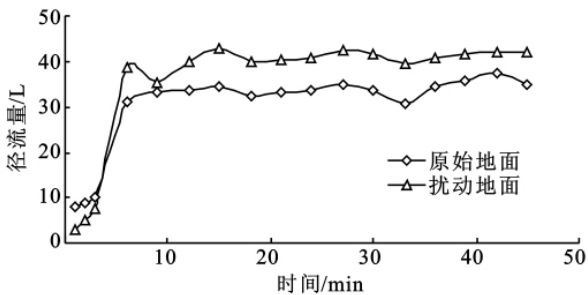


图 3 两种下垫面径流量随时间变化规律对比

由表 1 可知, 在放水流量和坡度均相同的条件下, 扰动地面的平均径流量较原始地面增加 14%, 可见, 经人为扰动的地面更容易发生水土流失。

流含沙量也趋于稳定, 即 30—45 min 是径流含沙量的稳定期。对未经人为扰动的原始地面而言, 由于密实的土壤结构和地表植被物等的影响, 土壤抗蚀力强, 在整个冲刷过程中, 径流含沙量很低且维持在一个常数水平。

2.2 扰动地面新增水土流失量研究

2.2.1 扰动地面侵蚀产沙随时间的变化规律 根据试验实测资料, 将相同放水流量和坡度下, 两种不同类型下垫面的含沙量与时间的关系点绘于图 4。从图中可以看出, 原始地面的径流含沙量很低, 且随时间的推移维持在一个常数水平; 扰动地面的径流含沙量远远大于原始地面的径流含沙量, 并随着时间的推移迅速降低, 然后维持在一个较低水平。扰动地面的径流含沙量变化可以分为三个阶段: 0—15 min 是含沙量高度变化期, 15—30 min 是含沙量微弱变化期, 30—45 min 是含沙量稳定期。原始地面的径流含沙量在放水冲刷过程中没有显著变化, 而扰动地面的径流含沙量则由高明显降低, 这说明了在放水冲刷初期, 土壤侵蚀剧烈, 相比之下在放水冲刷后期土壤侵蚀量较小。这与冲刷过程中两种不同类型下垫面的土壤入渗率和坡面径流的变化有关。从以上的分析可知, 在开始冲刷的最初 6 min 内, 扰动地面的土壤入渗率最大, 径流量最小, 这导致大部分水流通过入渗进入土壤, 土壤水分很快接近饱和, 随着冲刷的持续, 土壤入渗率很快减小, 径流量迅速增大, 径流侵蚀力也很快加强, 因此在 0—15 min 内, 扰动地面的径流含沙量最大; 而在 15—30 min 内, 由于侵蚀沟的沟床渐渐趋于稳定, 所以径流含沙量渐渐减小; 当沟床稳定后, 径

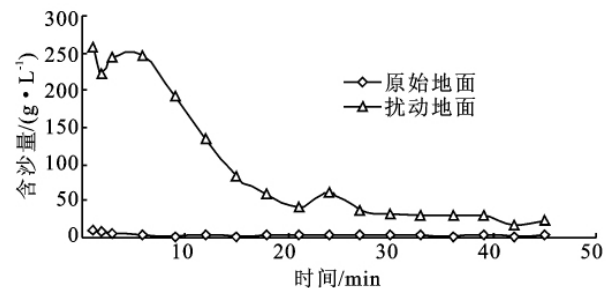


图 4 两种下垫面含沙量随时间变化规律对比

图 5 是相同放水流量和坡度下, 两种不同类型下垫面的产沙量与时间的变化关系。图 5 说明, 扰动地面的产沙量远远大于原始地面的产沙量, 0—15 min 是侵蚀产沙的高峰期, 最高峰值达 3 371.4 g/min, 随后产沙量随时间的推移迅速降低, 在 24 min 时又出现了一个峰值, 其值为 863.8 g/min。从图 5 中还可以看出, 扰动地面的累积产沙量随时间的延续呈增大趋势, 原始地面的产沙量很低, 且随时间的延续几乎维持在一个常数水平变化, 其值在 80~130 g/min 之间。

由表 1 可知, 原始地面的平均含沙量为 4.523 g/L, 平均产沙量为 116.05 g/min; 扰动地面的平均含沙量为 103.250 g/L, 平均产沙量为 1 047.68 g/min。

扰动地面的平均含沙量较原始地面增加了 96% 左右,平均产沙量增加了 89%,可见,原始地面经人为

不合理的扰动后,土壤抗蚀力减弱,更易发生土壤侵蚀,导致水土流失加剧。

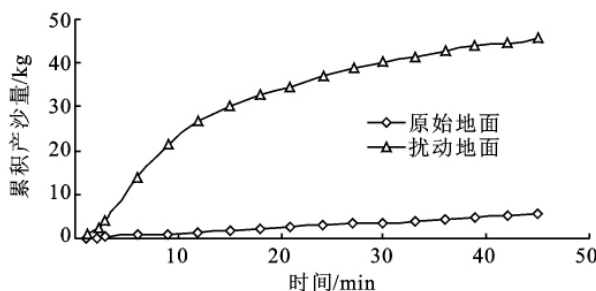
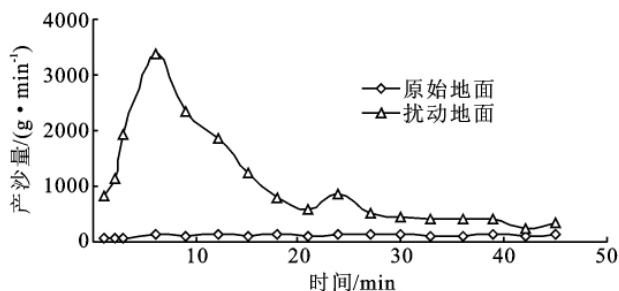


图 5 两种下垫面产沙量随时间变化规律对比

2.2.2 扰动地面新增水土流失量 新增水土流失量用公式(2)进行计算<sup>[14]</sup>:  $\Delta M_s = M_{s1} - M_s$  (2) 式中: $\Delta M_s$ ——新增侵蚀量(g); $M_{s1}$ ——扰动后的侵蚀量(g); $M_s$ ——原地面侵蚀量(g)。

流量的不同组合进行分析并用式(2)计算得出新增水土流失量。

为了对比分析坡度和放水流量对扰动地面新增水土流失量的影响程度,下面以 3 个坡度和 5 种放水

根据试验资料,以原始地面上的侵蚀产沙特征作为对比参考基准,计算出不同放水流量、不同坡度下扰动地面的新增土壤流失量。其与放水流量、坡度的关系见图 6。

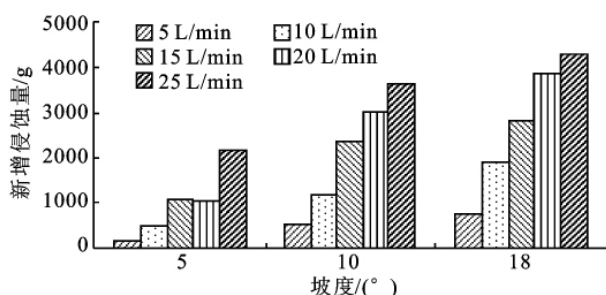
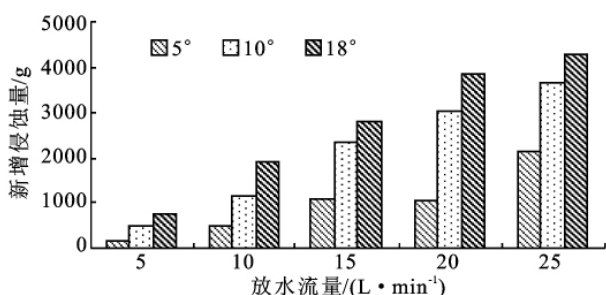


图 6 新增侵蚀量随放水流量和坡度的变化规律

从图 6 中可以看出,不同放水流量、不同坡度组合引起的新增土壤流失量各不相同,放水流量和坡度越大,产生的新增土壤流失量越大。同时,当放水流量一定时,坡度越大,产生的新增土壤流失量越大,当坡度一定时,放水流量越大,产生的新增水土流失量也越大。通过 SPSS 软件分别分析了放水流量与坡度对扰动地面新增土壤流失量的影响,发现放水流量对扰动地面新增土壤流失量的影响大于坡度。

表 2 两种不同类型下垫面条件下土壤侵蚀量及新增侵蚀量

放水流量/坡度/ (L·min <sup>-1</sup> )(°)	原始地面 侵蚀量/g	扰动地面 侵蚀量/g	新增侵 蚀量/g	增加百 分数/%
5 5	144.24	2772.94	2628.69	95
5 10	273.06	8871.24	8598.17	97
5 18	856.59	13670.30	12813.71	94
10 5	677.57	8960.37	8282.80	92
10 10	1293.33	21009.74	19716.41	94
10 18	3442.96	35989.47	32546.51	90
15 5	3432.38	21577.33	18144.95	84
15 10	5476.43	45611.70	40135.28	88
15 18	12296.33	60189.46	47893.12	80
20 5	7963.90	27532.13	19568.23	71
20 10	11539.78	62954.97	51415.19	82
20 18	19043.78	84489.38	65445.60	77
25 5	17661.55	54404.95	36743.40	68
25 10	25603.75	87688.01	62084.26	71
25 18	37939.97	110585.70	72645.69	66

通过计算将不同放水流量、不同坡度下原始地面、扰动地面的侵蚀总量及新增侵蚀总量汇总于表 2。由表 2 可知,在放水流量为 5, 10, 15, 20, 25 L/min 的条件下,坡度为 10°时,新增土壤流失量均最大,分别较原始地面增加 97%, 94%, 88%, 82%, 71%。同一坡度条件下,放水流量越小,土壤流失量增加的百分比就越大,反之,则越小。其原因是:当放水流量较小时,产生的径流量小,径流冲刷力弱,又因为原始地表的土壤抗蚀力远远强于扰动地面的土壤抗蚀力,故原始地面的土壤流失量小。当放水流量增大时,产生的径流量大,径流冲刷力强,原始地表土壤抵抗径流冲刷的能力渐渐减弱,导致土壤流失量增大。

运用 SPSS 软件拟合新增水土流失量与流量、坡度的复合关系式如下:

$$\Delta W = 144.644Q + 128.139S - 1631.127$$

$$(R^2 = 0.905, P = 0.01) \quad (3)$$

式中: $\Delta W$ ——新增土壤侵蚀量(g); $Q$ ——放水流量

(L/min);S——坡度因子(°)。

式(3)说明拟合方程显著性高,相关系数大,说明流量和坡度是影响新增水土流失量的主要因子,且流量对其的影响大于坡度。

### 3 结论

(1) 相同放水流量和坡度条件下,不同类型下垫面对土壤入渗速率的影响差异性较大,在开始冲刷的前6 min内,扰动地面>原始地面,从6 min开始,扰动地面<原始地面,扰动地面的土壤平均入渗率较原始地面小30%。

(2) 在相同放水流量、相同坡度条件下,不同类型下垫面的径流量、累积径流量随时间的增加而增加。大约在开始冲刷的前6 min内,两种不同类型下垫面的径流量很小,且原始地面>扰动地面;在6 min后,径流量迅速增大,且原始地面<扰动地面;大约10 min后径流量基本趋于一稳定值变化。扰动地面的平均径流量较原始地面增加14%左右。

(3) 在放水流量和坡度都相同的条件下,原始地面的侵蚀产沙在整个放水冲刷过程中没有显著变化,基本维持在一个常数水平。扰动地面的侵蚀产沙高峰期出现在放水冲刷初期0~15 min内,此后侵蚀产沙随冲刷历时的延长而下降并最终趋于稳定。扰动地面的平均含沙量较原始地面增加96%,平均产沙量增加89%。

(4) 不同放水流量、不同坡度组合导致的新增土壤流失量各不相同,放水流量和坡度越大,产生的新增土壤流失量越大。当坡度为10°时,扰动地面的新增土壤流失量增幅最大。不同坡度条件下,放水流量越小,扰动地面新增土壤流失量的百分比就越大,反之,则越小。新增水土流失量与流量、坡度的复合关系式为  $\Delta W = 144.644Q + 128.139S - 1631.127$ 。

#### 参考文献:

- [1] 牛四平,刘志刚,杨才敏.开发建设项目新增水土流失量预测探讨[J].山西水土保持科技,2002(4):24-25,26.
- [2] 王文龙.神府东胜煤田开发建设新增水土流失规律研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2004.
- [3] 蔺明华,慕成.晋陕蒙接壤地区煤炭开发产生的生态环境问题及其对策[J].中国水土保持,2005(12):26-28.
- [4] 王文龙,李占斌,李鹏,等.神府东胜煤田原生地面放水冲刷试验研究[J].农业工程学报,2005,21(增刊):59-64.
- [5] 蔺明华,张来章,白志刚,等.开发建设项目新增水土流失研究[M].郑州:黄河水利出版社,2008:14-15.
- [6] 王安.神东矿区生态环境综合防治体系构建及其效果[J].中国水土保持科学,2007,5(5):83-87.
- [7] 吴联军.神东矿区沉积环境分析及其对矿井开采地质条件的影响研究[D].辽宁阜新:辽宁工程技术大学,2001:1-75.
- [8] 康世勇.神府东胜煤田自然环境特点与矿区生态环境保护[J].煤矿环境保护,1999,13(4):15-16.
- [9] 顾和和,胡振琪,江建武,等.神府东胜矿区可持续发展研究[J].中国煤炭,1997,23(9):12-14.
- [10] 李锐,唐克丽.神府—东胜矿区一二期工程中环境效应考察[J].水土保持研究,1994,1(4):5-17.
- [11] 蔺明华,杜靖澳,张瑞.黄河中游地区开发建设新增水土流失预测方法研究[J].水土保持通报,2006,26(1):61-67.
- [12] 纳磊,张建军,朱金兆,等.晋西黄土区不同土地利用类型坡面土壤饱和和导水率研究[J].水土保持研究,2008,15(3):69-73.
- [13] 李强,李占斌,鲁克新,等.神府东胜矿区不同下垫面产流产沙试验研究[J].水土保持研究,2008,15(3):1-3.
- [14] 周波.木里露天煤矿水土流失量预测及防治对策[J].草业科学,2006,23(7):63-66.