

# 建设项目扰动后土壤的抗蚀抗冲性能研究

马发涛\*, 孔慈明#, 范荣会, 张雪梅, 郑鑫

曲靖市环境工程评估中心, 云南 曲靖

收稿日期: 2022年7月4日; 录用日期: 2022年8月3日; 发布日期: 2022年8月11日

## 摘要

由建设项目造成水土流失已经日渐成为社会关注的焦点。本文对房地产、建筑厂房及道路等几种不同建设项目扰动下土壤抗蚀抗冲性能进行研究, 研究表明: 开发建设项目不同扰动模式下的土壤抗蚀性能存在差异, 抗蚀性能由强到弱依次为: 复垦土壤、开挖面土壤、碾压土壤及松散堆土; 不同开发建设项目扰动的土壤抗蚀能力从高到低依次为: 采石场、厂房、房地产和道路。在坡度、冲刷水量相同的条件下, 不同开发建设项目的土壤抗冲刷系数不同在0.08~0.153 L·min/g, 开发建设项目扰动减弱了土壤的抗冲性能。不同的扰动模式下碾压土壤抗冲性由大到小依次为: 碾压后土壤、复垦土壤、开挖面土壤及松散堆积土壤; 不同建设项目间土壤抗冲性由大到小依次为: 采石场、房地产、厂房及道路。不同扰动模式下土壤抗蚀抗冲性能的研究结果, 可为开发建设项目土壤侵蚀规律和水土保持预测提供基础依据。

## 关键词

扰动行为, 土壤, 抗蚀性, 抗冲性, 建设项目

# Study on the Anti-Erosibility and Anti-Scourability of the Soil after Construction Project Disturbed

Fatao Ma\*, Ciming Kong#, Ronghui Fan, Xuemei Zhang, Xin Zheng

Qujing Appraisal Center for Environmental Engineering, Qujing Yunnan

Received: Jul. 4<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2022; published: Aug. 11<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The problem of soil erosion brought by development and construction projects is quite prominent

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 马发涛, 孔慈明, 范荣会, 张雪梅, 郑鑫. 建设项目扰动后土壤的抗蚀抗冲性能研究[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(4): 732-741. DOI: 10.12677/aep.2022.124091

in recent years. The study shows that: construction projects of different anti erodibility of soil under different disturbance modes, from strong to weak as follows: reclaimed soil, soil compaction, soil excavation and loose pile soil; the ability of disturbed soil anti erosion under different projects from high to low as follows: quarry, plant, and real estate and road. In slope erosion as same as water content, different development projects in different soil anti erosion coefficient 0.08~0.153 L·min/g, development and construction project disturbance weakened the soil anti-scourability. Under the different disturbance modes in descending order are following as: compacted soil compacted soil, soil, soil and soil excavation surface loose deposits; different construction projects between soil anti-scourability in descending order as follows: quarry, real estate, building and road. This paper is based on the development and construction projects of different disturbance modes of soil erosion resistance, to provide a scientific basis for prediction for the development and construction project of soil erosion and soil and water conservation.

## Keywords

Disturbed Action, Soil, Anti-Erosibility, Anti-Scourability, Construction Project

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国社会经济的飞速发展, 基础建设项目密度大、速度快且类型多, 建设项目所占水土流失比例快速增长。土壤侵蚀是侵蚀营力对土壤物质的分解和搬运过程[1]。在后期实践与研究中, 学者提出了土壤抗冲性的概念, 土壤抗蚀性是指土壤抵抗水(包括降水和径流)的分散和悬浮的能力之和, 土壤抗冲性是土壤抵抗风、雨、径流等对它机械性破坏和推移能力[2]。总之土壤抗蚀性和抗冲性是两种不同的性能, 抗蚀性与雨滴溅蚀和片蚀有密切关系, 而抗冲性则与沟蚀有密切关系。二者既有区别又有联系, 土壤抗蚀性与其内在的物理性质关系较大, 土壤抗冲性则与土壤的物理性质和外在的生物因素关系较大[3]。此外, 另一些学者在测定施用石灰和有机质对粘性土壤可蚀性的影响时, 采用土壤渗透性作为土壤可蚀性指标[4]。

我国对土壤侵蚀性的系统研究开始于 20 世纪 50 年代, 研究内容侧重于土壤抗冲性和抗蚀性, 我国专家学者在室内进行了原状土冲刷实验研究[2], 对草地根系强化土壤抗冲性能进行了研究等[5]。刘国彬对黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性机理的研究[6]。丁文峰等利用多坡段放水冲刷试验结合稀土元素示踪对坡面侵蚀进行研究[7]。周佩华等通过试验分析认为, 实地放水冲刷试验测定土壤抗冲性具有代表性强、结果准确的特点[8]。杨玉盛等通过对 17 个变量的测定和 PCA 分类排列后认为, 分散率和团聚状况 2 个主成分能基本反映红壤抗蚀性能[9]; 杨文元等通过自制冲刷槽和径流小区法测定并分析了四川紫色土的抗冲性随径流强度和时间变化的关系[10]。1964 年田积莹等人在子午岭地区对 8 个土壤剖面的团聚体总量、1~10 mm 团聚体量、团聚状况和团聚度进行了研究[11]; 1991 年高维森对黄土丘陵区 7 个不同类型土壤点的抗蚀性指标的测定分析[12]。赵洋毅等研究了石灰岩喀斯特土壤结构特性与土壤抗冲性能的关系[13]; 邹翔等对泥石流典型发育的云南小江流域不同土壤类型和不同土地类型的土壤抗冲性进行了研究[14]。随着土壤侵蚀学科及其它相关技术的快速发展, 土壤抗蚀性的研究取得了较大进展。

本文对建设项目扰动后的土壤抗蚀抗冲性能进行研究, 认识不同扰动模式影响土壤抗蚀抗冲性的变化规律, 对建设区水土流失的预测、防治提供依据, 能有效的控制建设项目所造成的水土流失, 为建设

项目区扰动土壤的植被恢复、恢复土地生产力提供科学依据和参考。对科学合理的实施建设项目，减少建设项目扰动土壤的人为水土流失，保护生态环境具有重要意义。

## 2. 材料及方法

### 2.1. 样品采集

本文以典型的在建道路、工业厂房、房地产和采石场为采样地，选取在 4 个不同建设项目下具体有代表性不同扰动模式下的地点进行采样，同时在每个取土点用环刀取样以及取土样混合装入自封袋，用抗冲模具采取每个样地 0~10 cm 的原状土，做原状土冲刷试验。

### 2.2. 试验内容

测定土壤的基本物理性质、土壤容重、土壤孔隙、土壤水稳性指数、土壤机械组成(比重计法)和微团聚体、土壤有机质含量、分散率、侵蚀率、粘粒率、团聚状况、团聚度、土壤水稳性团聚体、抗冲刷系数，作为土壤抗蚀抗冲性能的评估依据。

### 2.3. 试验方法

#### 1) 土壤容重及孔隙度的测定(环刀法)

土壤容重的测定利用环刀法，其计算方法按下式：

$$r_s = \frac{g}{v(1+w)} \quad (\text{公式 1})$$

式中： $r_s$ ——土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )； $g$ ——环刀内湿样重( $\text{g}$ )； $v$ ——环刀容积( $\text{cm}^3$ )； $w$ ——样品含水量(%)。

土壤总空隙度的计算方法：

$$P(\%) = \left(1 - \frac{D}{d}\right) \times 100\% \quad (\text{公式 2})$$

式中： $D$ ——土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )； $d$ ——土粒密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

毛管孔隙度计算方法：

$$P_1(\%) = \frac{w_1 - w_2}{v} \times 100\% \quad (\text{公式 3})$$

式中： $w_1$ ——环刀浸水后放置细沙上 24 h 质量( $\text{g}$ )； $w_2$ ——烘干土质量( $\text{g}$ )； $v$ ——环刀体积( $\text{ml}$ )。

土壤非毛管孔隙度的计算：

$$P_2(\%) = P - P_1 \quad (\text{公式 4})$$

式中： $P$ ——土壤总孔隙度(%)； $P_1$ ——毛管孔隙度(%)。

#### 2) 水稳性指数测定

按下式计算水稳性指数：

$$K = \frac{\sum P_i K_i + P_j}{A} \quad (\text{公式 5})$$

式中： $K$ ——水稳性指数； $i$ ——1、2、3...10； $P_j$ ——10 分钟内没有分散的土粒数； $P_i$ ——第  $i$  分钟的分散土粒数； $K_i$ ——第  $i$  分钟的校正系数； $A$ ——试验的土粒总数(50)粒。

### 3) 土壤有机质测定

土壤有机质含量的测定利用重铬酸钾外加热法，其计算方法如下：

$$\text{有机碳(g/kg)} = \frac{\frac{c \times 5}{V_0} \times (V_0 - V) \times 3 \times 10^{-3} \times 1.10}{m \times k} \times 1000 \quad (\text{公式 6})$$

$$\text{有机质(g/kg)} = \text{有机碳(g/kg)} \times 1.724 \quad (\text{公式 7})$$

式中： $c$ ——0.8000 mol/L (1/6  $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液的浓度；5——重铬酸钾标准溶液加入的体积(mL)； $V$ ——样品滴定用去硫酸亚铁标准溶液体积(mL)； $V_0$ ——空白滴定用去硫酸亚铁标准溶液体积(mL)；3——1/4 碳原子的摩尔质量(g/mol)； $10^{-3}$ ——将毫升换算成升；1.10——氧化校正系数； $m$ ——风干土样质量； $k$ ——将风干土换算成烘干土的系数，取 0.97；1.724——将有机碳换算成有机质的系数。

### 4) 土壤的机械组成(简易比重计法)

土壤机械组成采用简易比重计法测定。结果计算：

$$\text{各粒径土粒\%} = \frac{\text{比重计度数} - (\text{温度校正值} + \text{空白校正值})}{\text{烘干土重}} \times 100 \quad (\text{公式 8})$$

### 5) 微团聚体测定方法(吸管法)

土壤微团聚体的采用吸管法测定，结果计算：

$$X = \frac{g_v \times 1000}{g \times v} \times 100 \quad (\text{公式 9})$$

式中： $X$ ——小于某粒径微团聚体含量(%)； $g_v$ ——25 ml 吸液中小于某粒径微团聚体重量(g)； $g$ ——烘干样品重(g)； $v$ ——吸管容积(25 ml)。

$$\text{团聚状况(\%)} = > 0.05 \text{ mm 微团聚体(\%)} - > 0.05 \text{ mm 颗粒(\%)} \quad (\text{公式 10})$$

$$\text{团聚度(\%)} = \frac{\text{团聚状况(\%)}}{> 0.05 \text{ mm 微团聚体(\%)}} \times 100 \quad (\text{公式 11})$$

$$\text{分散率(\%)} = \frac{< 0.05 \text{ mm 的微团聚体含量(\%)}}{< 0.05 \text{ mm 的机械组成分析值(\%)}} \times 100 \quad (\text{公式 12})$$

### 6) 大团聚体和水稳性团聚体测定方法(干-湿筛法)

本实验采用干筛法和湿筛法 2 种方法测定土壤的大团聚体和水稳性团聚体，计算方法如下：

$$\text{各级大团聚体含量(\%)} = \frac{\text{各级大团聚体风干土含量(g)}}{\text{风干土含量(g)}} \times 100 \quad (\text{公式 13})$$

$$\text{各级水稳性大团聚体含量(\%)} = \frac{\text{各级水稳性大团聚体土含量}}{\text{风干土壤质量}} \times 100\% \quad (\text{公式 14})$$

采用土壤抗冲系数  $C$  来评价土壤抗冲性能，定义为每冲刷走 1 g 干土所需的水量  $Q(L)$ 和时间(min)的乘积。

$$C = \frac{Q \times t}{w} \quad (\text{公式 15})$$

式中： $Q$ ——需水量(L)； $t$ ——冲刷时间(min)； $w$ ——冲走土重(g)。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 土壤容重及孔隙度分析

土壤容重是指单位容积原状土壤干土的质量，孔隙度是指单位容积土壤中孔隙所占的百分率，即土壤固体颗粒间孔隙的百分率。有研究表明土壤容重与抗冲性呈负相关，总孔隙度与抗冲性呈正相关，而土壤容重、总孔隙度与土壤抗蚀性的相关性不明显[15]。不同开发建设项目不同扰动模式下的土壤基本物理性质见表 1。

**Table 1.** Soil bulk density and porosity of different development and construction projects in different disturbance model  
**表 1.** 不同开发建设项目不同扰动模式下的土壤容重及孔隙度

| 样地类型 | 扰动方式 | 土壤含水率(%) | 土壤容重(g/cm <sup>3</sup> ) | 非毛管孔隙(%) | 毛管孔隙(%) | 总孔隙度(%) |
|------|------|----------|--------------------------|----------|---------|---------|
| 厂房   | 松散   | 1.35     | 1.08                     | 25.59    | 33.81   | 59.39   |
|      | 碾压   | 5.35     | 1.70                     | 5.26     | 30.69   | 35.95   |
| 道路   | 松散   | 14.23    | 1.13                     | 8.85     | 37.63   | 57.43   |
|      | 碾压   | 15.26    | 1.76                     | 3.61     | 29.95   | 33.56   |
| 房地产  | 碾压   | 13.79    | 1.71                     | 12.39    | 22.96   | 35.34   |
|      | 开挖面  | 15.99    | 1.31                     | 22.13    | 28.59   | 50.72   |
|      | 松散堆土 | 7.40     | 1.14                     | 17.79    | 39.30   | 57.11   |
| 采石场  | 复垦   | 12.47    | 1.13                     | 18.21    | 37.96   | 56.17   |

土壤中的水分决定着生物过程与侵蚀程度。从表 1 可以看出不同建设项目不同扰动模式下的土壤含水率在 1.35%~15.99%之间。

不同扰动模式下土壤容重可分为二个层次，一层是松散堆积土壤的容重为 1.08~1.31 g/cm<sup>3</sup>，第二层为压实土壤的容重在 1.70~1.76 g/cm<sup>3</sup> 之间；松散堆土的土壤容重明显低于其它的土壤容重，可能是由于林草地远离人群，土壤受到的人为践踏和干扰的频率较小；松散堆积是因为土壤因为人为的扰动，使土壤松散，容重相对较小；碾压过的土壤容重相对较大，建设项目碾压土壤是因为施工需要压实和施工车流量较大的碾压，土壤受到人为影响较大，因此容重相对较大。

土壤孔隙的数量、连通性等特性对渗透的影响最大，特别是土壤非毛管孔隙是地表径流入渗的主要通道，因而土壤非毛管孔隙愈多，入渗愈快、入渗量也越大。地表径流的减小、降低了径流的侵蚀力，有利于控制土壤颗粒的流失。

#### 3.2. 土壤有机质、大团聚体和水稳性团聚体分析

土壤有机质是水稳性团粒的主要胶结剂，能够促进土壤中团粒结构的形成，增加土壤的疏松性、通气性和透水性，是农作物生长发育所必须营养物质的主要来源之一，对于提高土壤的抗蚀能力具有重要作用[16]。

土壤团聚体具有一定的机械稳定性和水稳定性，它是由土壤颗粒凝聚、胶结和黏结而相互联结组成的。土壤大团聚体含量增加使得土壤孔隙度、入渗能力和土壤持水量均得到有效改善。大于 0.25 mm 土壤团聚体是由较小团粒组成，透水性好，所以大于 0.25 mm 团聚体含量越高，土壤抗侵蚀能力越强[17]。

水稳性团聚体指由性质稳定的胶体胶结团聚而形成的具有抵抗水破坏的能力, 在水中浸泡、冲洗而不易崩解的大于 0.25 mm 的土壤团粒。水稳性团聚体具有较高的稳定性, 能抵抗雨滴的冲击, 可增强土壤渗透性, 其含量是评价土壤抗蚀性的重要指标, 其含量越高, 土壤抗侵蚀能力越强[18]。不同建设项目不同扰动模式下的土壤有机质含量、大于 0.25 mm 的大团聚体和大于 0.25 mm 水稳性团聚体结果见表 2。

**Table 2.** Soil organic matter and water-stable aggregates of different construction projects in different disturbance model  
**表 2.** 不同建设项目不同扰动模式下的土壤有机质及水稳性团聚体

| 样地类型 | 扰动方式 | 有机质含量<br>(g/kg) | 平均值<br>(g/kg) | 大团聚体<br>(%) | 平均值<br>(%) | 水稳性团聚<br>体(%) | 平均值<br>(%) |
|------|------|-----------------|---------------|-------------|------------|---------------|------------|
| 厂房   | 松散   | 5.08            | 5.35          | 73.02       | 73.16      | 17.63         | 19.13      |
|      | 碾压   | 5.62            |               | 73.30       |            | 20.63         |            |
| 道路   | 松散   | 6.28            | 6.38          | 84.14       | 85.13      | 19.49         | 20.22      |
|      | 碾压   | 6.47            |               | 86.12       |            | 20.95         |            |
| 房地产  | 碾压   | 5.12            | 5.04          | 84.65       | 82.50      | 22.21         | 20.51      |
|      | 开挖面  | 4.93            |               | 90.76       |            | 20.73         |            |
|      | 松散堆土 | 5.08            |               | 72.10       |            | 18.64         |            |
| 采石场  | 复垦   | 8.55            | 8.55          | 95.15       | 95.15      | 22.07         | 20.07      |

土壤有机质对土壤抗蚀抗冲性的强弱有重要的影响, 有研究表明抗蚀抗冲性强弱与有机质含量呈正相关关系。从表 2 可以看出开发建设项目不同扰动模式下土壤有机质的含量变化, 不同建设项目扰动土壤的有机质含量在 4.93~10.21 g/kg 之间; 采石场复垦土壤的有机质含量是不同建设项目扰动土壤的 1.3~1.7 倍。

不同建设项目不同扰动模式下土壤的水稳性团聚体含量在 17.07%~27.65%之间, 无扰动林草地大于 0.25 mm 水稳性团聚体平均含量达 27.65%, 分别为不同建设项目扰动土壤大于 0.25 mm 水稳性团聚体平均含量的 1.33~1.44 倍。

总体上反映土壤的抗蚀抗冲性从高到低依次是采石场、道路、厂房和房地产。

### 3.3. 土壤机械组成分析

土壤机械组成是由大小不同的土粒按不同的比例组合而成的, 这些不同的粒级混合在一起表现出的土壤粗细状况。研究表明黏粒含量高的土壤易形成土团或土块状结构, 抵抗径流机械破坏的能力强; 即使同类土壤也会由于土壤质地不同而导致抗冲性存在显著差异[16]。不同建设项目不同扰动模式下的土壤机械组成结果见表 3。

有研究表明土壤的抗蚀抗冲性与中粉粒(0.01~0.005 mm)和粗粉粒(0.05~0.005 mm)与土壤抗冲性指数的相关系数明显高于其它粒级且呈负相关关系, 这说明这两个径级与土壤抗冲性指数较为密切。由此可见, 土壤细砂粒(0.25~0.05 mm)含量越高, 中粉粒(0.01~0.005 mm)及粗粉粒(0.05~0.01 mm)含量越低, 土壤抗冲性能越强。

从表 3 中可以看出各样点土壤机械组成, 不同建设项目在不同扰动模式的土壤机械组成以粗砂粒(2~0.25 mm)含量最大, 含量在 39.80%~54.04%之间, 粗粉粒(0.05~0.01 mm)和细砂粒(0.25~0.05 mm)含量次之, 均含量分别为 23.43%与 16.66%; 中粉粒(0.01~0.05 mm)、细粉粒(0.05~0.001 mm)与黏粒(<0.01 mm)含量相差较小, 平均含量分别为 7.24%、3.16%、1.82%。



**Table 3.** Soil mechanical composition of different construction projects in different disturbance model  
**表 3.** 不同建设项目不同扰动模式下土壤机械组成

| 样地类型 | 扰动方式 | 2~0.25 mm<br>粗砂和中砂<br>(%) | 0.25~0.05 mm<br>细沙(%) | 0.05<br>~0.01 mm<br>粗粉砂(%) | 0.01<br>~0.005 mm<br>中粉砂(%) | 0.005<br>~0.0001 mm<br>细粉砂(%) | <0.001 mm<br>黏粒(%) |
|------|------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 道路   | 松散堆土 | 45.71                     | 18.39                 | 23.43                      | 7.48                        | 3.49                          | 1.50               |
|      | 碾压   | 49.03                     | 17.62                 | 19.41                      | 6.97                        | 5.48                          | 1.49               |
| 厂房   | 松散堆土 | 52.89                     | 12.18                 | 22.95                      | 5.49                        | 5.49                          | 1.00               |
|      | 碾压   | 50.83                     | 16.29                 | 18.93                      | 7.48                        | 4.48                          | 1.99               |
| 房地产  | 松散堆土 | 54.04                     | 12.56                 | 20.94                      | 7.98                        | 2.49                          | 1.99               |
|      | 碾压   | 39.80                     | 27.02                 | 23.41                      | 7.33                        | 0.49                          | 1.95               |
|      | 开挖面  | 49.52                     | 17.52                 | 19.47                      | 7.99                        | 2.50                          | 3.00               |
| 采石场  | 复垦   | 46.09                     | 12.10                 | 31.36                      | 6.97                        | 1.99                          | 1.49               |
|      | 平均   | 47.69                     | 16.66                 | 23.43                      | 7.24                        | 3.16                          | 1.82               |

### 3.4. 以微团聚体含量为基础的抗蚀性指标

团聚度、团聚状况反应了土壤团聚化程度，有学者的研究表明团聚度、团聚状况与土壤抗蚀性和抗冲性呈正相关，土壤分散率和分散系数与土壤抗蚀性和抗冲性呈负相关[14]。不同建设项目不同扰动模式下的土壤分散率、团聚状况及团聚度见表 4。

**Table 4.** Soil dispersion rate, reunion status and aggregation degree in different disturbance model of construction projects  
**表 4.** 不同建设项目扰动模式下的土壤分散率、团聚状况及团聚度

| 样地类型 | 扰动方式 | 团聚状况<br>(%) | 平均值<br>(%) | 团聚度<br>(%) | 平均值<br>(%) | 分散率<br>(%) | 平均值<br>(%) | 分散系数<br>(%) | 平均值<br>(%) |
|------|------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| 道路   | 松散   | 11.38       | 13.43      | 18.13      | 18.73      | 87.69      | 81.85      | 59.29       | 66.82      |
|      | 碾压   | 15.47       |            | 18.72      |            | 76.01      |            | 54.36       |            |
| 厂房   | 松散   | 13.42       | 14.68      | 18.90      | 19.99      | 83.02      | 78.64      | 70.63       | 61.99      |
|      | 碾压   | 15.94       |            | 21.09      |            | 74.26      |            | 53.35       |            |
| 房地产  | 碾压   | 17.52       | 14.56      | 22.74      | 19.61      | 86.26      | 84.13      | 42.23       | 74.76      |
|      | 开挖面  | 14.45       |            | 19.53      |            | 78.84      |            | 52.63       |            |
|      | 松散堆土 | 11.72       |            | 16.55      |            | 87.29      |            | 69.90       |            |
| 采石场  | 复垦   | 19.28       | 19.28      | 27.54      | 27.54      | 71.74      | 71.14      | 40.18       | 40.18      |

由表 4 中可以看出不同建设项目不同扰动模式下土壤团聚状况平均在 13.43%~22.43%之间，团聚度值平均在 19.61%~30.93%之间，林草地的土壤团聚状况是不同开发建设项目不同扰动模式下的 1.16~1.67 倍，团聚度是 1.12~1.58 倍；开发建设项目扰动土壤与林草地无扰动土壤相比较表明土壤扰动后土壤团聚状况和团聚度减小，土壤抗侵蚀能力减弱。土壤抗蚀能力从高到低依次为：采石场、厂房、房地产和道路。

从不同的扰动模式分析(林草地除外),复垦土壤的分散率和分散系数最小,分别为 7.14%和 40.18%,优于其他扰动模式扰动土壤,开挖面扰动土壤次之为 78.84%和 52.63%,碾压过土壤的分散率和分散系数均低于松散堆积土壤,所以不同扰动模式下土壤抗蚀性能由高到低依次为:复垦土壤、开挖面土壤、碾压后土壤及松散堆土。

### 3.5. 水稳性指数分析

水稳性指数( $K$ )土壤团粒结构的重要反映,土壤水稳性指数是检验土壤的抗蚀性能强弱的主要指标,水稳性指数越大,土壤团粒结构越良好[15]。

土体在水中时水分进入土壤孔隙后,倘若很快崩解破碎成细小的土块,就代表容易为径流推动下移,产生流失现象。有研究表明水稳性指数和土壤的抗蚀抗冲性成正比[12]。不同建设项目不同扰动模式下的水稳性指数见表 5。

**Table 5.** The water stability index of soil in different land type

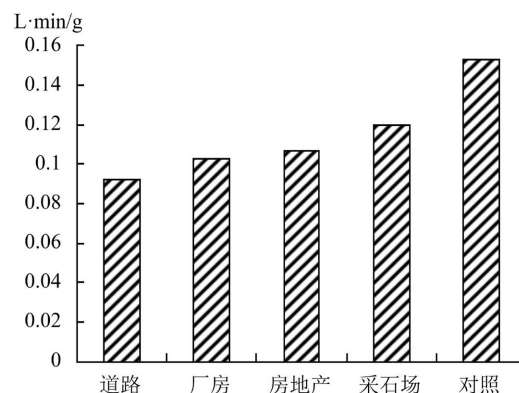
**表 5.** 不同土地类型下土壤的水稳性指数

| 样地类型      | 道路     |        | 厂房     |        | 房地产    | 采石场    |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 扰动方式      | 松散     | 碾压     | 松散     | 碾压     | 开挖面    | 碾压     | 松散堆土   | 复垦     |
| 水稳性指数 $K$ | 0.0507 | 0.1703 | 0.0987 | 0.1234 | 0.1457 | 0.1699 | 0.0747 | 0.1834 |
| 平均值       | 0.1105 |        | 0.1111 |        |        | 0.1301 |        | 0.1834 |

从表 5 中看出从不同开发建设项目扰动扰动模式下土壤的水稳性指数平均在 0.1105~0.1834 之间。从不同扰动模式分析水稳性指数,复垦土壤水稳性指数最高为 0.1834,碾压后土壤水稳性指数普遍高于松散堆土和开挖面土壤,开挖面土壤的水稳性指数高于松散堆土。所以从水稳性指数来看,不同扰动模式下土壤抗蚀性能由强到弱依次为:复垦土壤,碾压土壤、开挖面土壤及松散堆土。从不同的建设项目来看,就水稳性指数不同建设项目的抗蚀性能由强到弱依次为:采石场、房地产、厂房及道路。

### 3.6. 抗冲系数分析

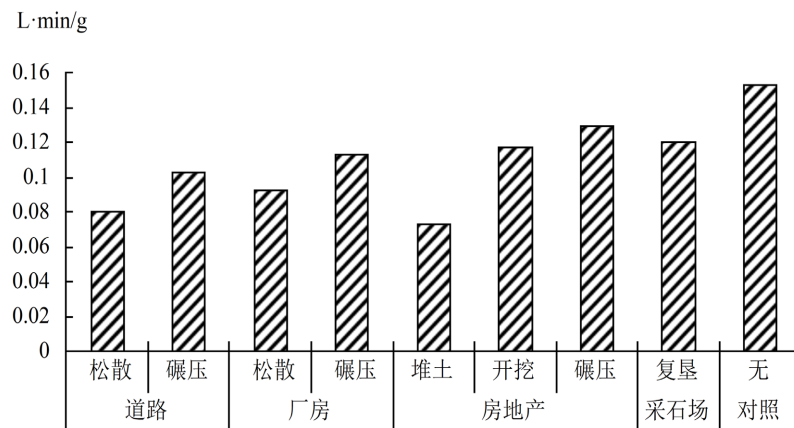
从其定义来看,土壤抗冲性是土壤抵抗径流冲刷运移的特性,主要为土体抵抗冲击的性能,是土壤的基本性质之一。土壤冲刷过程中抗冲系数的变化可反映出不同土壤在径流作用下抗冲性能随时间变化的特点,是影响土壤抗冲性的因素之一。如图 1、图 2 所示。



**Figure 1.** Scouring results of different construction projects

**图 1.** 不同建设项目的冲刷结果





**Figure 2.** Scouring results of different construction projects in scouring disturbance model  
**图 2.** 不同建设项目扰动模式的冲刷结果

由图 1 可以看出, 在坡度、冲刷水量相同的条件下, 不同开发建设项目的土壤抗冲刷系数不同在 0.08~0.153 L·min/g, 对照的林草地抗冲刷系数最高 0.153 L·min/g, 道路的抗冲刷系数最小 0.08 L·min/g; 说明开发建设项目扰动土壤的抗冲性能较弱。不同建设项目间土壤抗冲性由大到小依次为: 采石场、房地产、厂房及道路。

抗冲系数随着冲刷时间的变化而改变, 随着时间增加抗冲系数变大。随着时间的变化, 易被水流冲走的土壤微小颗粒被冲走, 留下的是相对于难以被水流大颗粒和团聚体。由图 2 可以看出不同扰动模式下土壤抗冲系数存在差异, 碾压土壤抗冲性由大到小依次为: 碾压后土壤、复垦土壤、开挖面土壤及松散堆积土壤。

#### 4. 结论

1) 不同扰动模式下, 土壤抗蚀性差异不明显, 复垦土壤因有机质含量相对较高, 土壤团粒结构较好, 抗蚀能力优于其他扰动方式, 碾压后土壤因为容重和各项指标均优于开挖面土壤和松散堆积堆土, 所以抗蚀能力优于松散堆积土壤。

2) 不同建设项目扰动的土壤抗蚀能力从高到低依次为采石场、厂房、房地产和道路。采石场复垦因为需要恢复植被, 采用表土剥离土壤覆盖, 有机质含量较高, 各项指标优于其他建设项目。其他在建项目因为开挖, 运输, 碾压等各种人为扰动, 土壤抗蚀能力减弱。

3) 抗冲刷实验研究表明, 发建设项目扰动减弱了土壤的抗冲性能。不同的扰动模式下碾压土壤抗冲性由大到小依次为: 碾压后土壤、复垦土壤、开挖面土壤及松散堆积土壤; 不同建设项目间土壤抗冲性由大到小依次为: 采石场、房地产、厂房及道路。

#### 参考文献

- [1] 土壤测定委员会. 土壤物理测定法[M]. 重庆: 科学技术出版社重庆分社, 1979.
- [2] 牛德奎, 郭晓敏. 土壤可蚀性研究现状及趋势分析[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(6): 938.
- [3] 卫志勇, 王晓冰. 植被根系与土壤抗蚀抗冲性的研究综述[J]. 内蒙古调查设计, 2011, 34(2): 103-106.
- [4] 丁文峰, 李占斌. 土壤抗蚀性的研究动态[J]. 水土保持科技情报, 2001(1): 36-37.
- [5] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 草类根系对土壤抗冲性的强化效应[J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 302-309.
- [6] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 93-96.
- [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.

- 
- [8] 周佩华, 武春光. 黄土高原土壤抗冲性的试验研究方法探讨[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 29-34.
- [9] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀, 等. 不同治理模式对严重退化红壤抗蚀性影响的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 32-38.
- [10] 杨文元, 张奇, 张建华, 等. 紫色丘陵区土壤抗冲性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报. 1997, 3(2): 22-28.
- [11] 田积莹, 黄义瑞. 子午岭连家岭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究[J]. 土壤学报, 1964, 12(3): 286-295.
- [12] 高维森. 土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 60-65.
- [13] 赵洋毅, 周云超, 段旭, 等. 黔中石灰岩喀斯特表层土壤结构域土壤抗蚀抗冲性[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 18-21.
- [14] 邹翔, 崔鹏, 陈杰, 等. 小江流域土壤抗冲性实验研究[J]. 水土保持学报, 2004, 8(2): 71-73.
- [15] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 水土保持学报. 1990, 4(3): 1-5.
- [16] 王忠林, 李会科, 贺秀贤. 渭北旱塬花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 33-37.
- [17] 陈明华, 周伏建, 黄炎和, 等. 坡度和坡长对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 31-36.
- [18] 邵明安, 王九全, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.