

人工模拟降雨与径流冲刷试验在水土流失预测中的应用探讨

杨春霞, 吴 卿, 肖培青, 杨剑锋, 王昌高, 李 莉

(黄委会黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

摘 要: 新增水土流失预测是开发建设项目水土保持方案编制的重要内容, 也是防护措施布设的关键依据, 水土流失预测方法及其适用性问题一直受到关注, 以实际例子探讨了人工降雨与径流冲刷试验在开发建设项目新增水土流失量预测中的应用。

关键词: 开发建设项目; 水土流失; 预测方法; 人工降雨; 径流冲刷试验

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)03-0229-02

Study on the Adoption of Simulated Rainfall and Runoff Scouring Experiment in Predicting Soil and Water Loss

YANG Chun-xia, WU Qing, XIAO Pei-qing, YANG Jian-feng, WANG Chang-gao, LI Li

(Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China)

Abstract Predicting newly increased soil and water loss is an important aspect in soil and water conservation plan making for development and construction projects as well as a key basis for laying out conservation measures. Prediction method of soil and water loss and its applicability have been concerned for a long time. An example was presented to study the application of simulated rainfall and runoff scouring experiment in predicting newly increased soil and water loss.

Key words: development and construction project; soil and water loss; prediction method; simulated rainfall; runoff scouring experiment

水土流失预测是开发建设项目水土保持方案编制的主要内容和水土保持措施布设的依据, 同时也是审查会专家和技术人员讨论较多的问题, 普遍认为水土流失预测方法和预测精度在以后的工作中有待进一步完善和提高。

1 常用的水土流失预测方法

通常采用的预测方法有数学模型法、实地测试法、类比预测法和物理模型法等, 在方案编制初期, 很多单位采用美国通用土壤流失方程(USLE)进行水土流失预测, 由于我国的地形地貌差异很大, 开发建设项目水土流失预测的时段及范围与USLE的适用条件有较大差别, 方程中所需参数缺乏扎实的科学基础, 因此预测结果的准确性还经不起推敲, 操作性比较差; 目前, 一些方案编制单位采用类比法, 用同类地区已有的水土流失资料推算项目建设前后的水土流失量, 比较简单、务实; 还有一些方案编制单位根据研究资料, 采用流失系数法计算水土流失量, 比较科学准确。随着我国开发建设项目的增多和人们水土保持意识的增强, 在工作中我们经常遇到新的情况, 比如开发建设区域缺乏类比资料和试验数据, 这就要求我们寻求其它以进行科学精确的水土流失预测。

将人工模拟降雨与径流冲刷试验作为辅助手段用于水土流失预测, 解决了资料和试验数据问题, 且大大提高了水土流失预测的可靠性, 为水土保持方案中水土流失预测方法开辟了新的思路, 对提出防护重点和防护措施具有重要意义。下面

以席庄至薛店高速公路水土保持方案项目为例简单说明一下人工降雨与径流冲刷试验在水土流失预测中的应用。

2 项目简介

郑州席庄至薛店段高速公路是京珠国道主干线新乡至郑州段高速公路向南的延伸, 项目跨越郑州至许昌段高速公路互通式立交后与之相连, 工程起点北接京珠国道主干线新乡至郑州高速公路终点, 向南沿郑州至许昌高速公路东侧延伸至新郑机场附近, 跨过原机场互通式立交后于薛店以北与京珠国道主干线郑州至许昌高速公路相接, 线路全长 12.96 km, 设计总概算为 34 003.31 万元人民币(含交通工程)。项目区属豫中平原微丘区, 水土流失较轻, 水土流失类型有水蚀和风蚀, 由于公路建设形成的路基边坡增加了原地面坡度, 水力侵蚀将大幅度增加, 本项目重点对路基边坡的水蚀进行预测。

3 人工模拟降雨与径流冲刷试验系统及试验设计简介

3.1 试验系统简介⁽¹⁾

该系统由人工降雨模拟装置、径流冲刷模拟装置和公路边坡模型系统三部分组成。系统基本情况见表 1。

采用野外大型活动式人工模拟降雨装置模拟天然降雨, 人工模拟雨强可达 26 种, 模拟范围在 0.15~4.2 mm/min

收稿日期: 2004-02-26

作者简介: 杨春霞(1977-), 女, 2000 年 7 月毕业于北京林业大学水土保持专业, 学士学位, 助理工程师, 主要从事水土保持科研工作。

(1) 尚培青, 杨剑锋, 杨春霞. 洛界高速公路洛阳段边坡生物防护——“人工降雨与径流冲刷模拟试验”黄委会黄河水利科学研究院水保所, 2001, 10.

之间;雨量可根据雨强和降雨历时任意确定,此人工降雨模拟装置可模拟任何类型的降雨过程。

坡面径流冲刷模拟系统主要由抽水泵、水表、阀门、供水

钢管以及软塑料管和稳流池组成。通过水表和阀门控制按设计流量由稳流池供水。

表 1 试验系统基本情况表

模拟系统组成部分	主要组成	特性描述
人工降雨模拟装置	野外大型活动式人工模拟降雨装置	可模拟 0.15~4.20 mm/m in ²⁶ 种雨强,与天然降雨特性相似性好
径流冲刷模拟装置	蓄水池、水泵、水表、稳流槽	可按设计流量提供径流冲刷,与天然坡面相似率可达到 80% 以上
公路边坡模型系统	按公路设计边坡和土质建立模型小区,模型底部出水口用水桶接样	模型填土类型、容重、密实度、含水量等特征与公路路基相同

根据相似性原理在试验场地内修建模型小区,模拟公路边坡的土壤组成、干容重、含水量、地表坡度、地面覆盖等基本特征。

3.2 试验设计

为了较准确地预测路基边坡新增水土流失量,在资料查阅和现场调查的基础上,我们按两种雨强即平均雨强和百年一遇雨强设计了两组试验。在每组试验过程中,每隔 3 m in 用测尺法测量每条细沟的长、宽、深,对因降雨和径流冲刷引起的侵蚀沟发展过程进行观测;一次降雨结束后,对整个坡面侵蚀沟形态(包括长、宽、深)和数量进行分段测量,以统计侵蚀量。

试验 1:经调查,项目区侵蚀性降雨应达到一次降雨量在 35 mm 左右,降雨历时达到 25~35 m in 的降雨,此强度以上降雨有地表径流产生,可引起路基边坡水蚀。据此试验模拟降雨历时 30 m in,雨强控制在 1.1~1.3 mm/m in。

试验 2:根据《公路路基设计规范》,高速公路路基设计洪水频率为 1/100。查阅并参考中牟县、新郑市近 30 年降雨统计资料,项目区 100 年一遇最大暴雨强度为 230 mm/h,30 m in 最大雨强为 110 mm/m in,根据该地区多年历史资料,高强度降雨历时一般在 30~20 m in 之间,所以按雨强 110 mm/m in、历时 25 m in 进行人工降雨与径流冲刷试验。

4 结果分析

根据试验测定数据,用定量分析法通过公式(1)分别推算出两种试验的加速水蚀模数 M_1 和 M_2 ,分别列于表 2 表 3。

$$E = M \cdot S \cdot t \quad (1)$$

式中: E ——测算的水土流失量, t/km^2 ; M ——高速公路路基边坡加速水蚀模数, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{m in})$; S ——模型小区面积, m^2 ; t ——试验时间, m in 。

表 2 高速公路路基边坡人工模拟试验结果(试验 1)

项目	试验	重复试验	平均值
边坡/ $^\circ$	34	34	34
小区面积/ m^2	7.211	7.211	7.211
降雨历时/ m in	30	30	30
降雨量/ mm	36	37	36.5
平均雨强/ $(\text{mm} \cdot \text{m in}^{-1})$	1.20	1.23	1.215
侵蚀量(E_1)/ $(t \cdot \text{km}^2)$	198.58	202.21	200.395
加速侵蚀模数 M_1 / $(t \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	3375.86	3437.57	3406.715

注:侵蚀模数=侵蚀量×项目区多年平均降雨历时大于 30 m in 的降雨场次(资料表明,项目区多年平均降雨历时大于 30 m in 的降雨为 17 次)

参考文献:

[1] 曾大林 对水土保持方案编制有关问题的研究[J]. 中国水土保持, 2001, (2): 34-35
 [2] 焦居仁,姜德文,蔡建勤,等 开发建设项目水土保持方案工作指南[M]. 北京:中国法制出版社,1998. 42-44

表 3 高速公路路基边坡人工模拟试验结果(试验 2)

项目	试验	重复试验	平均值	
雨强/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	110	110	110	
径流/ $(\text{L} \cdot \text{m in}^{-1})$	28	28	28	
路基边坡	1:1.5	1:1.5	1:1.5	
小区面积/ m^2	7.211	7.211	7.211	
降雨 & 冲刷历时	25	25	25	
定量分析方法 1	侵蚀沟体积/ m^3	20900.645	22358.455	21629.550
	湿容重/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.674	1.674	1.674
	含水量/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	0.144	0.144	0.144
	侵蚀量/ g	31977.987	34208.436	33093.212
单位面积侵蚀量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	径流量/ cm^3	4434.612	4743.924	4589.628
	径流量/ cm^3	508606.299	558381.037	533493.668
定量分析方法 2	含沙量/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	0.0613	0.0617	0.0615
	侵蚀量/ g	31177.566	34452.11	32814.838
单位面积侵蚀量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	定量分析方法 1	4323.612	4777.716	4550.664
	定量分析方法 2	3695.51	3953.27	3824.39
加速侵蚀模数/ $(t \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	定量分析方法 1	3603.01	3981.43	3792.22
	平均值(M_2)	3649.26	3967.35	3808.305

注:加速水蚀模数=试验实测值×雨强大于 110 mm/h 的降雨多年平均历时(历时 30 m in,雨强为 110 mm/h 的降雨频率低,考虑多年平均情况,大雨强降雨多在 30~20 m in 之间,因此取 25 m in 为年均暴雨降雨历时)

综合试验 1 和试验 2,为更接近实际情况,取两种试验的平均值得路基边坡加速水蚀模数 M_{12} 。而后通过公式(2)可计算出公路路基边坡加速水土流失量 L_s ,对预测开发建设项目造成的水土流失危害提供理论支持。

$$L_s = M_{12} \cdot S_L \cdot N \quad (2)$$

式中: M_{12} ——高速公路路基边坡加速水蚀模数, $t/\text{km}^2 \cdot \text{a}$; S_L ——路基边坡面积, km^2 ; N ——预测时段, a 。

5 结果与讨论

(1)人工降雨与径流冲刷试验用于开发建设项目水土保持方案编制尚属首次,该方法得到了专家的认可,认为方法可行,预测结果真实可靠。

(2)开发建设项目新增水土流失预测是为了提出水土流失防治重点及其防治措施布局,精确预测由于开发建设造成的新增水土流失量目前是做不到的,开发建设项目水土保持方案新增水土流失预测方面有关问题专家们正在进一步探讨。