

逾渗理论在坡面水土保持中的应用*

王协康, 敖汝庄, 方 铎

(四川大学高速水力学国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘 要: 坡面侵蚀是水土流失的源区, 有必要加快坡面水土治理。由于坡面降雨入渗、汇流、产沙输移实质上是一种逾渗过程, 则可用逾渗理论指导坡面耕地和非耕地的水保措施。通过比较多种二维点渗流(雨水占据坡面格点)逾渗模型的逾渗阈值, 从理论上认为按蜂房形对坡面进行水利及生物工程治理水土流失具有较好的效果, 为水保措施指引了一条新的思路。

关键词: 坡面侵蚀; 水土流失; 逾渗理论; 生物工程

中图分类号: S157; P641.1

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0011-02

1 引 言

坡面土壤侵蚀过程是在雨滴溅蚀和地表水侵蚀作用下土粒的分离、输移和沉积过程。它不仅受雨滴溅蚀力和水流切应力的影响, 还受到土壤特性及地表自然条件的影响。坡面在侵蚀初期, 当降雨后的地表积水深度超过微地貌制约高度(有效突起高度)时, 水体的“溢流与集聚”必须随之而生, 因其演变过程受制于输水、挟沙、耗能三种非协调机制的共同作用, 水流的通道必沿阻力最小方向发展, 所以常出现兼并、摆动等横向不稳定现象, 由此而使坡面侵蚀的方式出现了面蚀、细沟侵蚀、浅沟侵蚀以至于冲沟等, 从而增加了坡面土壤的侵蚀。此外, 从整个流域系统来看, 坡面侵蚀是水土流失的源区, 为了提高水保措施的有效程度, 研究坡面侵蚀过程, 提出针对性的水保方法, 对加快水土保持工作的进程具有指导作用。

2 逾渗理论

逾渗理论是由 S. K. Broadbent and J. M. Hammersley 在 1957 年提出的^[1], 它是描述流体在随机介质(多孔介质)中运动的一个数学模型, 本质上属于概率论的一个分支, 渗流与通常的随机过程(如扩散过程)不同之处在于流体运动本身不具有随机性, 而是介质具有随机性。渗流理论可以描述许多自然现象, 特别是它与物理上相变和临界现象的理

论密切相关, 因此, 引起人们的极大兴趣。

最简单的渗流有点渗流和键渗流, 此外还有混合渗流, 现已将其推广到多色渗流、扩程渗流、高密度渗流^[2]。点渗流考虑的是点是否联结的(占据), 键渗流考虑的是键是否联结的, 相邻的键(点)是彼此相联的。一组相联的键(点)称为一个集团。若两条键可以通过至少一条由键连成的路径联结起来, 则称这两条键属于同一集团。令网络的键概率为 P , 则随着 P 的增加, 会突然出现一个阈值 P_c , 系统的长程联结性突然出现, 即出现一个扩张到整个网络的集团, 这个集团称为跨越集团, P_c 叫做临界阈值。借助这种临界状态, 可以分析许多系统的演变机制, 如泥石流的暴发、滑坡、地震等自然突变过程。

3 坡面汇流产流的逾渗分析

3.1 降雨初期水分入渗的逾渗分析

土壤水分入渗是地表水沿着土壤孔隙的一种流动过程, 它是降雨径流损失的主要组成部分。影响土壤入渗的因素有时间、土壤物理性质、土壤起始含水量、降雨强度、植被状况等。此外, 土壤是一种分散体和多孔体, 它的孔隙度取决于土壤之间的空隙, 即与颗粒的性质、大小、形状和排列情况有关, 土壤孔隙的随机性决定了水分入渗属于多孔介质流体问题, 可用渗流理论研究。

当雨水降落到地面时, 水在重力的作用下沿着地表面上较大的裂隙孔道进入土壤内部, 地面的裂隙越多越深, 进入的水也越多越深, 进入裂隙中的水在分子吸引力和毛细管力的作用下迅速地向裂隙两旁渗透, 使地表面薄层内很快被湿润并达到饱和, 而后, 水分的运动主要在毛细管力的作用下进行。随着湿润层中水分饱和程度的增大, 土壤中大量孔隙被

收稿日期: 1999-02-08

*基金项目: 国家自然科学基金委员会与水利部联合资助项目(编号: 59890200);

攻关项目: 国家“九五”三峡工程泥沙问题研究资助项目(编号: 95-4-1-4)

充满,毛细管力的作用逐渐减小,当摩阻力抵消了毛细管力时,水主要在重力的作用下向下运动,直到满足土壤的入渗容量值。

由上述分析可知,土壤水分的入渗过程实质上可看成土壤中水在整个裂隙孔道中的导通过程,即可用逾渗理论的关键模型分析水分在土壤中的占据过程,当土壤局部渗透转变为全部渗透时,将形成无限连通的导水网络,如果导水孔隙占据率达到临界阈值,雨水渗透率最大,也最有利于减少地表径流,降低地表水对土壤的侵蚀程度。

3.2 坡面汇流的逾渗过程

雨水降落在流域上满足降雨径流损失后,坡地上开始产流。首先在坡面上开始出现水流,水沿着流域表面从斜坡上由极其曲折的细流流入谷地、凹地、小涧,当水深超过微地貌的高度时,水流出现溢流,并由此汇成较大的支流。对于地形起伏、坡度较大的坡地,在降雨强度不大的情况下,水流呈现细流状流动,地上隆起部分往往不被水层覆盖。在平坦的坡地上,随着降雨强度的增大,坡地上水流逐渐粗大并加宽,被水层覆盖的坡面面积也逐渐增大,水流可能呈现片流状。因此坡面汇流形成必须具备两个条件:一是有水源;二是水源的导通。可见坡面汇流过程也是一种水分的无限连通过程,可用逾渗理论进行研究。

4 坡面水土保持措施的逾渗机理分析

水土流失是由于降水径流对地表土壤的侵蚀输移作用造成的,是自然因素和人类生产活动综合作用的结果。其程度又受着降雨侵蚀能力、土壤可蚀性、坡面倾斜度、坡面长度、植被覆盖度和现有的水土保持措施等因素的制约。目前耕地坡面水保方法常有采用“坡改梯、垄加档、聚土免耕”等方法防止水土流失。坡改梯一般是沿等高线开挖,沿坡向形成一系列相互联结的块状田地,每一级田地都能拦截一定的坡面流和侵蚀泥沙,减缓整个坡面汇流输沙过程的导通,同时也有利于水分的入渗和蒸散发;垄加档和聚土免耕也同样具有这样的作用。而非耕地根据不同的地形和气候条件大多是水利和生物工程措施相结合,对于前者有淤地坝、挡土墙、围堰塘;而后者是种植适应于当地的植被林草地。在林区,不但林冠可以截留降雨量、增加蒸散发消耗径流量,而且地面的枯枝落叶覆盖层对下渗也起着重要作用,它可大量吸收水分不产生径流,同时有枯落物的林地也可以大大增加坡面粗糙度,起到阻延坡面径流的作用。从物理学角度讲,降水能量经过枯落物做功,

使能量得以减少,达到减小坡面流速、减小坡面侵蚀的作用。鉴于植被具有良好的保持水土、涵养水源、改善生态环境的作用,植被从林冠至根系在不同的层面上减缓径流对土壤的冲刷,并改善了土壤入渗,减少了坡面泥沙的输移,使坡面水土流失量大大减小,人们对于非耕地区域常采取种植植被的方法。而所有这些措施都隐藏着通过减缓坡面径流,阻止坡面水流及侵蚀土壤的输运在坡面上导通过程来减少水土流失量,实质上就是运用了逾渗理论的本质属性,不过它是在实践中体现了水土流失治理的依据,并没有上升到用理论来指导工程措施。

5 逾渗理论在坡面水土流失治理中的应用

坡面水土流失的治理,一般可以分为两种情况,其一是彻底消灭坡面侵蚀;其二是允许侵蚀,但尽量防止、延缓侵蚀水土外移。对于前者,耕地与非耕地都难以达到这种目标;而后者通过上述分析,利用逾渗理论是可以办到的。因为侵蚀水土在坡面汇流、产沙输移实质是一种物质的无限导通过程,可以用二维渗流理论来研究。利用水利和生物措施可以截留水量,增加地表粗糙度,阻碍地表径流,防止或延缓坡面积水产流时形成汇流,进而输运侵蚀水土。以逾渗理论为基础,把整个坡面按照一定的网络,划分可供水流过的通道数为 N_0 ,而已被水占据的通道数为 N ,则水流的导通率 $P = N / N_0$ 。设格点的占据概率为 P ,地表糙度、植被覆盖度、土壤特性及坡面水保措施等不同情况, P 值也不同。同时 P 也受降雨的影响,当降雨超过一定的强度和量时,被雨水占据的格点越来越多, P 值也随之增大。当 P 值超过临界阈值 P_c 时,坡面汇流输沙全面导通,此时即出现了坡面水土流失外移。对不同的网络, P_c 阈值亦不同。若坡面上水利及生物措施能使雨水很快吸收、阻留或渗漏疏散,使格点之间的联键成为闭塞,无水流流通,则有利于保持坡面侵蚀水土不被流失。由于坡面汇流在大暴雨时,难以避免产流输沙,所以研究逾渗临界阈值 P_c 对减少水土流失是很有意义的。其研究方法可设坡面汇流输沙导通率 σ 服从以概率为函数的幂律关系^[3]。

$$\sigma = |P - P_c|^v$$

式中 P 为水流占据概率; P_c 为临界阈值; v 为导通率指数,对不同的网格模型,利用重正化群方法可确定临界阈值 P_c 。

目前,二维点、键逾渗模型常采用的是三角形
(下转第26页)

力过程, 它的表象决定了泥石流沟具有非线性性, 由此可用非线性科学方法进行研究。

(2) 本文主要从影响泥石流发育动力因素的地形条件入手, 利用分形理论的统计自相似对泥石流沟数的累积分布随各因素变化进行了分析, 得到了比较满意的结果。为进一步研究白龙江流域甚至嘉陵江流域的泥石流都具有重要指导作用。

表 8 各动力因素的非线性分析结果表

所属流域	动力因素	取值区间	回归方程	相关系数 R^2	分维值
岷江支流	流域面积	$S < 1.0 \text{ km}^2$	$L_n N = L_n 56.3 - 0.252 L_n S$	0.9717	0.25
白龙江干流	流域面积	$S < 1.0 \text{ km}^2$	$L_n N = L_n 85.2 - 0.244 L_n S$	0.8830	0.24
白龙江干流	流域面积	$S > 1.0 \text{ km}^2$	$L_n N = L_n 92.2 - 0.715 L_n S$	0.9871	0.72
白龙江干流	沟道坡降	$J > 30\%$	$L_n N = L_n 0.445 - 4.06 L_n J$	0.9690	4.1
白龙江干流	主沟道长	$L > 1.0 \text{ km}$	$L_n N = L_n 226.8 - 1.60 L_n L$	0.9821	1.6
白龙江干流	山坡坡度	$S_0 < 30^\circ$	$N = 896.118 e^{-0.31445 S_0}$	0.8680	
白龙江干流	山坡坡度	$S_0 > 30^\circ$	$N = -1.4435 S_0 + 79.91$	0.9925	
白龙江干流	形态数	$R_f < 0.9$	$N = 62.09 e^{-1.82 R_f}$	0.9837	
白龙江干流	形态数	$R_f \geq 0.9$	$N = -5.34 R_f + 13.90$	0.9922	
白龙江干流	沟槽坡降比值	$r_s \geq 1.0$	$L_n N = L_n 30.2 - 4.70 L_n r_s$	0.9507	4.7

(3) 利用岷江和白龙江资料可得泥石流沟数累积分布在面积 $S < 1.0 \text{ km}^2$ 时, 分维值约为 0.25; 而 $S > 1.0 \text{ km}^2$ 时, 分维值约为 0.72。其它参数的统计分维数见表 8, 由于资料有限, 代表性有待进一步研究。另外, 泥石流沟数累积分布与山坡坡度和形态数的关系可用指数和线性关系分段描述, 相关性也极显著。

(4) 通过研究泥石流沟数累积分布与各影响动

(上接第 12 页)

正方形、卡哥麦及蜂房形, 其临界阈值和有关参数见表 1^[4]。由于坡面汇流、产流输移侵蚀水土可看成是点渗流的逾渗现象, 从表 1 中点渗流临界阈值 P_c^a 可知, 当水保措施使坡面格点成蜂房排列时, 最有利于阻止或延缓坡面汇流及其产沙输移, 因此对耕地治理时, 坡改梯、垄加档、聚土免耕措施尽量改为蜂房形有利于减少水土流失; 而非耕地的林地植被种植, 要将树苗按蜂房形布置, 最有利于保持水土。

表 1 不同点阵上的键渗流与点渗流临界阈值(P_c^b 与 P_c^a)

维数	类型	配位数 Z	堆积分数	P_c^b	P_c^a	临界键数	临界体积分数
2	三角形	6	0.9669	0.3473	0.5000	2.08	0.45
2	正方形	4	0.7854	0.5000	0.5930	2.00	0.47
2	卡哥麦	4	0.6802	0.4500	0.6527	1.80	0.44
2	蜂房形	3	0.6046	0.6527	0.6980	1.96	0.42

6 小 结

坡面侵蚀是水土流失的源区, 坡面降雨入渗、汇流、产沙输移实质上是一种逾渗过程。利用逾渗理论分析了坡面侵蚀水土的输移机理及耕地和非耕地的

力因素地形特征的关系(见表 8), 从地理学、地貌学的角度反映了流域中泥石流发育现状, 对进一步研究预防和治理泥石流灾害具有积极的指导作用。此外, 根据不同地形特征取值范围, 可间接识别该流域泥石流发育的主要影响因素, 如主沟道长、沟道坡降和沟槽坡降比值的影响范围处于 $L > 1.0 \text{ km}$, $J > 30\%$, $r_s > 1.0$, 而不同的面积、山坡坡度及形态数, 具有不同的累积分布形式。

参考文献:

- [1] Ai Nanshan, scheidegger, A. E. The seismotectonic stress field in the hinese Craton Northwest seimol. J. 6(3) 1984, 1-15
- [2] 唐邦兴, 柳树清, 刘世建. 我国山地灾害研究[J]. 山地研究, 1984(2): 1-7.
- [3] Ai Nanshan. Effects of neotectonic stress field on landslides proc. Intem. Conf. & Field Workshop on Landslides 1983, Tokyo: 433-436
- [4] 钟敦伦, 谢洪, 王爱英. 四川境内泥石流预测预报参数[J]. 山地研究 1990, (2): 82-88

作者简介:

- 王协康(1970 年-), 男, 江西吉安人, 四川大学高速水力学国家重点实验室博士, 从事水力学及河流动力学研究;
- 敖汝庄(1957 年-), 女, 四川成都人, 四川大学高速水力学国家重点实验室工程师, 从事水力学及河流动力学研究;
- 方 铎(1933 年-), 男, 安徽石台人, 四川大学高速水力学国家重点实验室教授, 博士生导师, 从事水力学及河流动力学研究

水保措施, 以二维逾渗模型为基础, 通过判定点渗流(雨水占据坡面格点)为模式的逾渗阈值, 从理论上提出按蜂房形对坡面进行水利与生物工程治理水土流失具有较好效果, 为水保措施提供了新的方法。

参考文献:

- [1] Broadbent, S. R., Hammersley, J. M., Percolation Processes, Proc Camb. Phil Soc 1957(53), 629-645
- [2] P. 泽仑著, 黄均, 等译. 逾渗模型, 非晶态固体物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988, 153-231.
- [3] Nolte D. D., Pyrak-Nolte L. J., Cook N. G. W. The fractal geometry of flow paths in natural fractures in rock and the approach to percolation. PA GEO PH, 1989, 131 (1/2), 111-138
- [4] L. B. Leopold, W. B. Langbein. The concept of entropy in landscape evolution. U. S. Geol Surv. prof paper 500A, 1962, 1.

作者简介:

- 王协康(1970 年-), 男, 江西吉安人, 四川大学高速水力学国家重点实验室讲师, 博士生, 从事水力学及河流动力学研究;
- 敖汝庄(1957 年-), 女, 四川成都人, 四川大学高速水力学国家重点实验室工程师, 从事水力学及河流动力学研究;
- 方 铎(1933 年-), 男, 安徽石台人, 四川大学高速水力学国家重点实验室, 教授, 博士生导师, 从事水力学及河流动力学研究

ABSTRACT

The Neural Network Model for Reservoir Operation

FU Shipeng ZHAO Wen-qian MA Guang-wen

(State Key Hydraulic Laboratory of High Velocity Flow of Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065)

Abstract: Because there are much nonlinear relationship in reservoir operation, good results are hard to gained by using traditional linear relationship. Therefore, a neural network model for long tem reservoir operation is established by BP algorithm. It is more practical and superior.

Key words: reservoir operation; neural network; BP algorithm

Application of Artificial Neural Network Model with Nonlinear Time Series in Hydrologic Forecast

WANG Wen-sheng DENG Jing LIU Guo-dong

(Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China)

Abstract: At first, the artificial neural network(ANN) models with nonlinear time series are established, then time series for single variable and multiple variables are studied with the models. The performance of the ANNs is compared with that of the auto-regressive models. The results have showed that the ANNs are effective in hydrologic forecast.

Key words: the artificial neural network models with nonlinear time series; auto-regressive model; single variable; multiple variables; daily discharge forecasting

Application of Percolation Theory in the Water and Soil Conservation for Slope

WANG Xie-kang AO Ru-zhuang FANG Duo

(State Key Hydraulic Laboratory of High Velocity Flow of Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China)

Abstract: The slope erosion is the original zone of water and soil loss and water and soil on slope must be treated quickly. because rainfall infiltration on slope, afflux and sediment transport is a percolating process, water and soil conservation for cultivated and non-cultivated land on slope is carried out by the percolation theory. Comparing percolation thresholds among the different tow-dimensional percolation models, theoretically, water and soil loss is effectively controlled on slope with honeycomb shape and by hydraulic and biological engineering, which is a new method for water and soil conservation.

Key words: slope erosion; water and soil loss; percolation theory; biological engineering

Study on Engineering Geological Problems at Tanzitai Reservoir in Fengdu County of Chongqing

DENG Rong-gui FU Xiaom in

(Civil Engineering Department of Chengdu Technical Institute, Chengdu, Sichuan, 610059, China)

Abstract: Based on numerous data obtained from field investigations, detail description and in-depth, systematical analysis on engineering geological problems at Tanzitai reservoir in Fengdu County of Chongqing are provided and the results are used as design basis for Tanzitai reservoir.

Key words: reservoir analysis; stability of rock mass; reservoir slope

Nonlinear Properties of Furrow Profiles of Debris Flow in Bailong River Basin

WANG Xie-kang AO Ru-zhuang FANG Duo

(State Key Hydraulic Laboratory of High Velocity Flow of Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China)

Abstract: Debris flow is a nonlinear dynamic process, so the furrows of debris flow have nonlinear properties. Based on analysis of dynamic factors of debris flow growth, accumulative distribution of furrows of debris flow in function with its dynamic factors is studied by fractal theory. The results are satisfactory and benefit for study on debris flow in the Bailong River Basin and Jialingjiang River Basin.

Key words: debris flow; nonlinear; fractal theory

Experimental study on the Hydraulics Characteristics of Intermittent Disposed Buoyant Flows

YU Guo-liang¹ AO Ru-zhuang¹ LIAO Neiping²

(1. State Key Hydraulic Laboratory of High Velocity Flow of Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China;

2. Southwest Electricity Survey and Design Institute Chengdu, Sichuan, 610061, China)

Abstract: There are two ways discharge of sewage water into ocean. In addition to the conventional way, the other is intermittent discharge, which is widely used, in recent decades. The hydraulic characteristics of intermittent disposed buoyant flows were preliminary experimentally studied and the differences of the hydraulic characteristics between intermittent discharge and steady discharge were compared in this paper.

Key words: buoyant flows; hydraulic characteristics; intermittent discharge; steady discharge

Several Problems Being Worth Notice in Management of Project with Foreign Funds

JU Qifeng

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co. Ltd.,

CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: In the management of projects with foreign funds, some aspects are worth discussing and improving. Then, the construction market of China will be perfect day by day and transform into international practice smoothly. Experiences and lessons gained from practice in management of project with foreign funds in Ertan Project are presented for reference to similar projects.

Key words: project with foreign funds; problem; relationship; exchange rate; escalation; subcontract; division into lots; supply; claim indemnity