

## 地表糙度与水力糙率系数的关系

郑子成<sup>1,3</sup>, 何淑勤<sup>2</sup>, 吴发启<sup>3</sup>, 胡建<sup>4</sup>

(1. 四川农业大学资源环境学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川农业大学林学院园艺学院, 四川 雅安 625014;  
3. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 四川农业大学工程技术学院, 四川 雅安 625014)

**摘 要:**通过室内人工模拟降雨实验, 初步探讨了地表糙度与水力糙率系数间的关系, 得出了两者表征阻力特征相一致的阈值为 0.979, 并回归得到小于该值求算地表糙度的计算模型  $Y = 2.4234e^{0.3005 \ln(X)}$ ,  $R = 0.769$ , 其中  $Y$  为地表糙度;  $X$  为曼宁糙率系数。

**关键词:**地表糙度; 水力糙率系数; 计算模型

**中图分类号:** S157.1

**文献标识码:** A

坡耕地地表糙度是人为耕作管理措施和降雨侵蚀共同作用下的结果, 是描述地表微地形起伏的一个特征值, 它面对的水流往往是水层较薄的水流, 且坡度较陡。与沟槽水流相比, 虽然坡面水流的单宽流量和流速常小于沟槽水流的单宽流量及流速, 坡面水注有时也偶然出现层流流态, 但当雷诺数  $Re > 500$  时, 水流流态便过渡到紊流状态<sup>[1]</sup>。

尽管由于地面坡度陡以及径流深较小等原因, 坡面流在流态特征、侵蚀搬运过程等方面有其本身的特点, 但其侵蚀、搬运、沉积过程的机理与河流没有本质的区别<sup>[2]</sup>, 况且地表糙度与水力学的糙率系数都是反映阻力特征参数。对于水力糙率系数, 在明渠中是很好推求的, 常用曼宁糙率系数去表述地表状况, 且经转换的曼宁公式求算<sup>[3]</sup>, 即

$$n = \frac{1}{q} h^{5/3} i^{1/2} \quad (1)$$

式中  $q$ —单宽流量 ( $m^3/s \cdot m^{-1}$ );  $h$ —水流深 (m);  $i$ —水力比降。

但对于这两者的关系, 以往开展研究不多, 国外初步建立了随机糙度与水力学上糙率系数的关系<sup>[4-8]</sup>, 我国学者只是从试验中得出这两者间定性的关系, 没有进一步量化<sup>[9-12]</sup>。故本文从水力学角

度出发, 在降雨作用下, 分析同一条件下的曼宁糙率系数与地表糙度间的关系。

### 1 试验设计与测定方法

试验土槽长 5 m, 宽 1 m, 深 30 cm, 分层装填 20 cm 土, 使得土壤容重保持为  $1.08 g/cm^3$ 。为了保证各种水力比降, 坡度分 5 级即:  $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$  和  $25^\circ$ , 土壤取自淳化泥河流域表层 20 cm 的黄善土, 2 台侧喷式降雨机对喷进行降雨, 雨强设计为  $1.0 mm/min$ , 降雨历时 40 min, 准确记录产流开始时间。通过人为管理措施耙地、人工锄耕、等高耕作界定不同地表糙度。

地表糙度采用接触式测针法测定, 该仪器由 51 根等长 (长度为 30 cm) 的测针组成, 测针间距为 2 cm。在进行测定时, 先将该仪器沿坡面置于试测区, 以仪器最低点作为参考点, 其他高程值的读数, 相对于该点进行人工读取, 沿坡面每隔 1 m 顺次选取 5 个断面, 再横向每隔 20 cm 测定一次, 重复一次, 最后取其平均值作为该区的糙度。为了方便不同坡面上操作, 在仪器顶部装有一个小型罗盘, 实验装置见图 1 示。

收稿日期 (Received date): 2002-12-10; 改回日期 (Accepted): 2003-04-20。

基金项目 (Foundation item): 中科院“知识创新”工程项目“农果复合型生态农业模式建设与示范”, 编号 KZCX1-06-02-03。[“Bring forth new ideas about knowledge” sponsored by Chinese Academy of Sciences. A study on experiment and demonstration of ecological agriculture mixture of agri-fruit ecosystem in Yan'an. Number: KZCX1-06-02-03]

作者简介 (Biography): 郑子成 (1976-), 男, 内蒙乌盟人, 硕士, 研究方向为环境生态治理与水土保持。[Zheng Zicheng (1976-), Male, Inner Mongoli, Master, major in management of environment and ecology and soil and water conservation.]

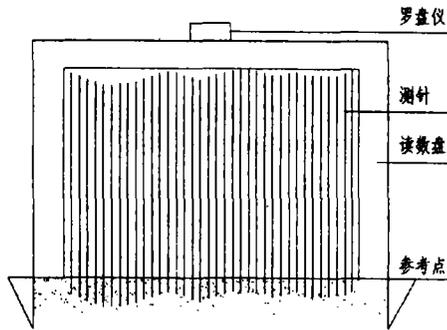


图1 接触式测针糙度仪示意图  
Fig.1 Sketch of to contact roughness meter

衡量地表糙度指标采用LD值,指的是限定的高度值,与水平间的地块的坡度或倾斜度和高度平均值间的差异相关,作为水平距离的一个函数(Linden和Van Doren,1986)<sup>[13]</sup>。将上述测定的相对高程值,按照Linden和Van Doren提出的LD值计算方法,进行计算。对于水力学曼宁糙率系数,通过式(1)可求得。采用染色法测定流速,径流量通过体积法测定。

## 2 数据处理与结果分析

现就室内模拟黄土高原南部泥河沟流域农耕习惯,界定了不同的地表糙度,进行实验,具体结果见图2。

从图2中可以看出,当地表糙度较小,与曼宁糙

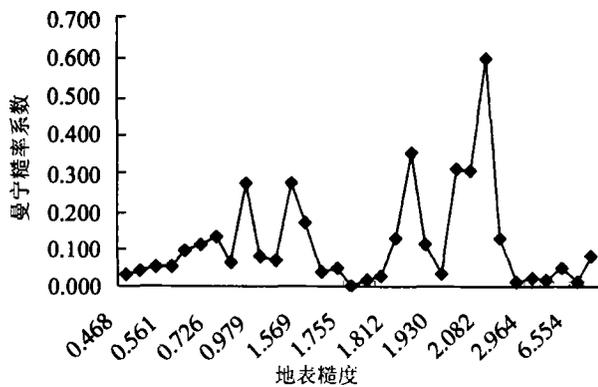


图2 地表糙度与曼宁糙率系数的关系  
Fig.2 Relationship between surface roughness and Manning roughness

率系数的变化较一致,随着糙度的增加,它们之间的关系复杂。原因是糙度小的坡面上,产生的径流在坡面上虽均匀,但 $Re > 500$ ,仍属于紊流,对地表的剪切作用相对弱,对地表冲刷作用相对较小。随着糙度的增大,虽阻挡径流作用增强,一旦地表凸处蓄水冲垮这一作用,坡面水层厚度骤增,增大了对地表的剪切、破坏作用,使得坡面很快出现了细沟,时间不久,径流又变小且较稳定。

从图2发现,当地表糙度超过0.979后,其与曼宁糙率系数间的关系发生突变,故初步推断该值为一临界值。为了更进一步说明这两者间的关系,将其进行分段分析,结果如图3。

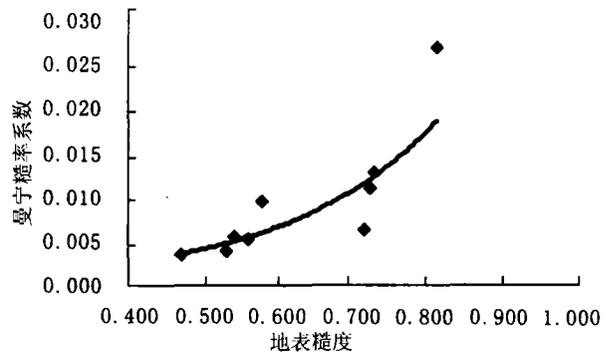


图3 地表糙度与曼宁糙率系数的关系  
Fig.3 Relationship between surface roughness and Manning roughness

将地表糙度 $< 1.000$ 的数据与曼宁糙率系数间的关系经拟合得预测模型为

$$Y = 1.3123e^{0.3005\ln(x)} \quad R = 0.769 \quad (2)$$

式中 Y—地表糙度; X—曼宁糙率系数。

由上式可明显看出, Y 和 X 成正相关,在这一范围内,随着地表糙度的增加,曼宁糙率系数呈幂指数增加。

因为雷诺数是表征惯性力与粘滞力的比值的,不仅可用来判别液流形态,也可表述地表阻力特征,对于这一范围内的雷诺数与地表糙度的关系如图4。

经最小二乘拟合得关系式

$$X = 12537X^2 - 19869X + 8297.5 \quad R = 0.793 \quad (3)$$

上式同样说明了该范围内的地表糙度在表述阻力特征时,同曼宁糙率系数间的变化是一致的。经方差检验,式(2)、式(3)在0.01水平上显著。

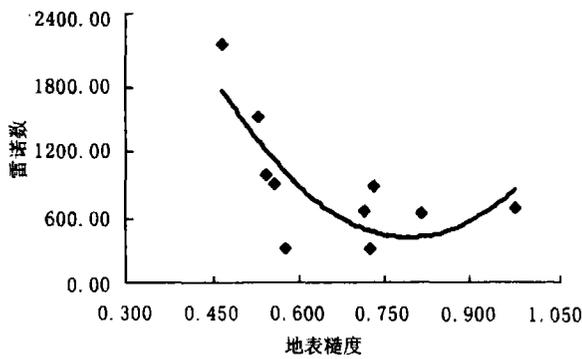


图4 地表糙度与雷诺数间的关系

Fig.4 Relationship between surface roughness and Re

### 3 结果与讨论

1. 当地表糙度较小,与曼宁糙率系数的变化较一致,随着糙度的增加,它们之间的关系复杂。

2. 初步寻得了这两者变化较一致的临界值为0.979,将这两者间的关系拟合得预测模型为:  $Y = 1.3123e^{0.3005\ln(x)}$ ,  $R = 0.769$ ,其中  $Y$  为地表糙度;  $X$  为曼宁糙率系数。

由上述分析可知:坡耕地的地表糙度 $\leq 1.000$ 范围内,同曼宁糙率系数变化一致,可以通过曼宁糙率系数求算地表糙度,但这只是对淳化泥河沟流域内的黄善土进行试验的结果,对于在其它土壤的运用,还有待于进一步研究。

#### 参考文献(References):

[1] Zhang Hongjiang, Xie Mingshu, Endo Taizo *et al.* Study on roughness coefficient under the conditions of several land utilization in the West of Shanxi Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1994, Vol. 16, (Supp.): 86~92. [张洪江、解明曙、远藤泰造,等. 晋西几种不同土地利用状况下糙率系数的研究[J]. 北京林业大学学报, 1994, 16, (增刊): 86~92.]

[2] Zhang Keli, Tang Keli. A study on hydraulic characteristics of flow for prediction of rill detachment capacity on Loess slope[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(1): 9~15. [张科利, 唐克丽. 黄土坡面细沟侵蚀能力的水动力学试验研究[J]. 土壤学报, 2000, 37

(1): 9~15.]

- [3] Zhang Hongjiang, Xie Mingshu, Endo Taizo *et al.* Effect on roughness coefficient under the conditions of several forestry land in the West of Shanxi Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1995, 15(2): 10~21. [张洪江、解明曙、远藤泰造,等. 晋西不同林地状况对糙率系数值影响的研究[J]. 水土保持通报, 1995, 15(2): 10~21.]
- [4] Cremers. N. H. D. T., Van. Dijk. P. M., Roo A. P. J. DE *et al.* Spatial and temporal variability of soil surface roughness and the application in hydrological and soil erosion modeling[J]. *Hydrological Processes*. 1996, 10[STBZ]: 1035~1047.
- [5] Engman, E. T. Roughness coefficients for routing surface runoff[J]. *J. Irrig. and Drain. Enger.*, ASCE 1986, 112(1): 39~53.
- [6] Gayle, G. A. and Skaggs. R. W. surface storage on bedded cultivated lands[J]. *Trans. ASAE*. 1978, 21(1): 101~104, 109.
- [7] Gilley, J. E., Finker, S. C. Hydraulic roughness coefficients as affected by random roughness[J]. *Trans. ASAE*. 1991, 33(3): 897~903.
- [8] Sadeghian, M. R. Mitchell, J. K. Response of surface roughness storage to rainfall on tilled soil[J]. *Trans. ASAE*. 1990, 33(6): 1875~1881.
- [9] Liu Xiezhao, Kang Shaozhong. A model of water exchange for hillslope with hysteresis considered[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(1): 16~23. [刘贤赵, 康绍忠. 黄土区考虑滞后作用的坡地水量转化模型[J]. 土壤学报, 2000, 37(1): 16~23.]
- [10] Shen Bing, Li Huaian, Shen Jin. Experimental studies of effective roughness in rainfall-overland flow processes[J]. *Journal of Water Conservancy*, 1994, 10: 61~68. [沈冰, 李怀恩, 沈晋. 坡面降雨漫流过程中有效糙率的实验研究[J]. 水利学报, 1994, 10: 61~68.]
- [11] Wu Faqi, Zhao Xiaoguang, Liu Bingzheng *et al.* On the method for measuring ground surface roughness and its effect upon runoff and erosion on the slope surface [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1998, 13(2): 15~19. [吴发启, 赵晓光, 刘秉正, 等. 地表糙度的量测方法及对地面径流和侵蚀的影响[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(2): 15~19.]
- [12] Wu Faqi, Zhao Xiaoguang, Liu Bingzheng. Analysis on erosion environment and motive mechanism in the gently slope land[M]. Xi'an: Science and Technology Press of Shaanxi, 2000. [吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 缓坡耕地侵蚀环境及动力机制分析[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.]
- [13] Linden, D. K and Van D. M Doren, JR. Parameter for Characterizing Tillage-induced Soil Surface Roughness[J]. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 1986, 50: 1565~1565.

## Relationship between Surface Roughness and Manning Roughness

ZHENG Zicheng<sup>1,3</sup>, HE Shuqin<sup>2</sup>, WU Faqi<sup>3</sup> and HU jian<sup>4</sup>

(1. College of Resources and Environment, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014 Sichuan, China;

2. College of Forestry and Gardening, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014 Sichuan, China;

3. College of Resources and Environment, NW Sci-Tech Univ. of Agr. and For. Yangling, 712100 Shaanxi, China;

4. College of Engineering and Technology, Sichuan Agriculture University, Ya'an Sichuan 625014 China)

**Abstract:** Relationship between surface roughness and Manning roughness was analysed by means of indoor simulated rainfall experiments. The critical value of same feature to the two roughness was 0.979. A formula for calculating surface roughness is obtained as:  $Y = 1.3123e^{0.3005\ln(x)}$ .

**Key words:** surface roughness; Manning roughness coefficient; calculation formula

### 资料讯息

## 汛期将近,四川省划出 4 个灾害易发区

去年川西南暴发了多起泥石流、滑坡灾害,汛期渐近,四川省国土资源厅制定了 2004 年灾害防御预案。对四川省重点地质灾害点进行了预测分析,划出了 4 个地质灾害易发区。即:川西高山峡谷易发区;川西南中高山峡谷易发区;盆中低山峡谷易发区和盆中低山丘陵易发区。预案要求各级政府建立建全地质灾害防治工作责任制,并采取多种形式进行防灾宣传。

(凤蝉月)