植被分布对地表糙率影响

张升堂[1], 梁 博[1], 张 楷[2]
(1. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 陕西省水文水资源勘测局, 陕西 西安 710068)

摘 要: [目的] 分析在植被淹没或非淹没状态不同植被覆盖密度影响下,地表糙率的变化规律与特征,为进一步研究植被对地表糙率的影响提供参考。[方法] 试验以塑料棒模拟植被分布,模拟出不同密度,分别进行放水试验。[结果] 在植被淹没与非淹没状态下地表糙率的变化不同,在非淹没状态时,地表糙率随着平均水深的增加呈减小的趋势,在淹没水深小时,地表糙率随着平均水深的增加而先增大后减小,而当淹没水深很大时,地表糙率趋向于一个稳定值。[结论] 地表糙率取值随植被覆盖密度的增大而增大;同一下垫面情况下,不同的水流方向,地表糙率取值不相同。

关键词: 地表糙率; 植被密度; 淹没植被; 非淹没植被
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2015)05-0045-04 **中图分类号**: S715.3
DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.074

Effects of Vegetation Distribution on Earth Surface Roughness

ZHANG Shengtang[1], LIANG Bo[1], ZHANG Kai[2]
(1. *College of Geological Science & Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong* 266590, *China*;
2. *Shaanxi Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, Xi'an, Shaanxi* 710068, *China*)

Abstract: [Objective] The change rules and characteristics of the surface roughness was analyzed under the station of submerged and unsubmerged and the different vegetation density in order to provide the reference for studying the effect of vegetation on the surface roughness. [Methods] The plastic rods, as a surrogate for vegetation distribution, were used to simulate two different densities in the flushing experiments. [Results] The earth surface roughness changes were different between the submerged vegetation and unsubmerged vegetation. Under the unsubmerged condition, the earth surface roughness decreased with the increase of the average water depth. While submerged depth was low, the earth surface roughness firstly increased and then decreased with the increase of the average water depth. When the submerged depth was very deep, the earth surface roughness tends to be a stable value. [Conclusion] The earth surface roughness value increases along with the vegetation density. Under the same underlying surface, the surface roughness value changes with different flow direction.

Keywords: surface roughness; vegetation density; submerged vegetation; unsubmerged vegetation

地表糙率对地表径流的流速、渗透、土壤侵蚀等都具有很大的影响作用,研究地表糙率的变化规律对于估算洪峰流量以及水土保持措施决策等具有重要意义。

地表糙率的影响因素很多,降雨、土壤类型、植被覆盖等因素都对地表糙率有很大的影响,因此地表糙率的取值复杂多变,难以确定。

在现实流域下垫面经常有杂草、灌木等,或耕种的作物、草被、树木等植被覆盖于地表,这些植被其形状、刚柔性、密度、以及分布形式等在很大程度上影响了水流的水力学参数,增大了水流阻力,加大了地表糙率,降低了地表过流能力,同时也起到了防止水土流失的作用。

因此研究植被分布对地表糙率的影响对于探讨地表径流对地表冲刷能力、坡面水沙运动规律以及调节洪水、削减洪峰等具有重要意义。所以植被分布对地表糙率影响问题的研究具有重要的理论价值以及实际应用价值。

收稿日期:2014-07-11 修回日期:2014-09-16
资助项目:国家自然科学基金项目"现代流域分布式坡面汇流模拟的矢量糙率理论"(40971021),"考虑阻力作用的分布式坡面汇流多流向流量分配算法"(41471025),山东省自然科学基金项目"坡面汇流阻力空间变异及其影响研究"(ZR2014DM004)
第一作者:张升堂(1970—),男(汉族),陕西省凤翔县人,博士(后),副教授,主要从事水文水资源方面研究。E-mail:zst0077@163.com。

近几十年来，国内外诸多学者在植被对地表糙率的影响方面进行了研究[1-5]。

Hsieh T.[6]和 Li R. M.等[7]，分别用圆柱体模拟植被，研究矩形渠道中其对水流的影响过程，指出树的密度与树的排列方式对水流速度的影响是不同的，水流阻力也会随圆柱布置密度的增大而增大。Dunn C.等[8]在矩形渠道中，对淹没状态下的刚性植物以及柔性圆棒进行试验，发现水流阻力也是随植物密度的增加而增加。闫旭峰等[9]通过试验研究得出：由于植被阻水及水流混掺效应，Darcy—Weisbach 阻力系数基本随雷诺数增大而增大，且植被刚度及密度越大，增大趋势越显著。Kim J.等[10]通过植被部分淹没研究坡面流曼宁糙率系数变化，指出坡面流糙率随植被部分淹没情况变化而变化，将显著影响坡面流路径和坡面侵蚀状况。拉尼亚[11]通过对人工模拟的菖蒲进行水槽试验，研究了 4 种分布密度对水流阻力及水流结构的影响。研究表明，植被密度的增大将导致过水断面的增大和阻力的增加。

黄文沛[12]通过室内水槽分别进行了植被密度试验与植被格局试验，其中格局试验主要为改变植被段长度；分析得到随着植被密度的增大，曼宁糙率系数明显增大，植被段长度的变化对曼宁糙率系数的影响不明显。姬昌辉等[13]采用概化水槽试验研究了在不同植物间距、水流条件下，含淹没植被明渠水位、曼宁糙率系数的变化特征，试验结果表明水流条件相同的情况下，随着植物排列间距的减小，糙率系数明显增大。房春艳等[14]通过室内变坡水槽试验研究了复式河槽中滩地植被对水流阻力的影响，认为影响滩地曼宁糙率系数的主要因素为植被密度、水深、淹没与非淹没植被。

虽然目前关于植被分布对地表糙率影响的研究已有很多，但多集中在覆盖密度或植被淹没方面。本文通过室内水槽放水模拟试验，研究分析在植被淹没与非淹没状态下，不同植被覆盖密度影响下，地表糙率的变化规律与特征，并且首次通过试验分析相同的植被排列方式下不同水流方向对地表糙率的影响，以期为进一步研究植被对地表糙率的影响提供参考。

1 试验设计与试验数据

1.1 试验装置

试验装置主要由水箱、矩形水槽、量水堰等组成。采用底宽 0.6 m，侧壁高 0.9 m，长度 13 m 的矩形水槽，水槽分上游平水段、试验铺设段、下游量水段。下游量水段末端设有矩形薄壁量水堰观测流量。水槽由水箱定水头供水，在水槽与水箱连接处设有阀门控制流量。在矩形水槽末端设有回流池，水流流经水槽后进入回流池，然后由水泵将回流池中的水抽入水箱中，用以实现水流循环，节约用水。

1.2 试验下垫面条件

天然植物不管是柔性的还是刚性的，由于其柔韧度、植株和植被叶子形状各异等植被生物特性，导致对直接模拟天然植被的特性十分困难，而且不易固定，不易用来在变坡水槽中进行试验测量，目前多数这方面的研究都是将植被进行简化[15-19]。因此本试验概化地表植被类型，以塑料棒模拟地表植被，塑料棒高度为 0.15 m。为了可以更好地分析植被不同分布方式对地表糙率的影响，试验设计了 4 种不同的玻璃底板用以模拟植被的不同分布。取 2 块有机玻璃板，分别在玻璃板上按与水流方向呈 90°和 45°夹角有规律的钻孔，孔间纵、横间距均为 60 mm，模拟植物以 60 mm×60 mm 和 60 mm×120 mm 这 2 种固定间距“种植”于有机玻璃板孔内，模拟出不同的植被覆盖密度。

2 结果与分析

图 1 给出了 4 种不同玻璃底板类型下，平均水深 h 与地表糙率 n 的关系图。试验结果表明，随着平均水深的增大，地表糙率取值呈减小的趋势，并且在平均水深较小时，地表糙率取值变化幅度较大；但随着平均水深逐渐增大，地表糙率取值变化幅度越来越小，并逐渐趋向一个稳定值。由此可见，在植被覆盖下水深对地表糙率有很大的影响作用。这与李勉等[20]通过放水冲刷试验所得结论相似。

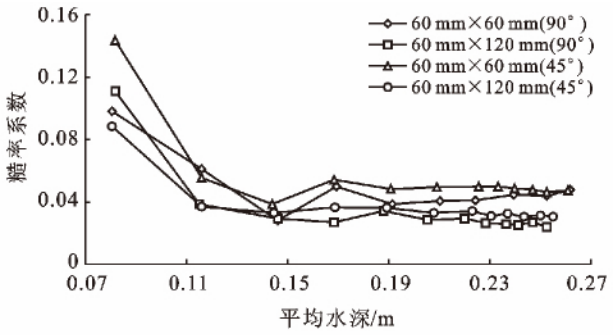


图 1 4 种不同底板类型条件下平均水深与糙率系数的关系

2.1 植被淹没状态对地表糙率的影响

根据图 1 可以看出，在平均水深小于 0.15 m 时，地表糙率取值变化幅度很大，随着平均水深的逐渐增大，其取值变化幅度逐渐减小。

由于模拟植被高度为 0.15 m，因此将试验过程按水深分为 3 个区域，第 1 区域为平均水深小于

0.15 m 时,第 2 区域为平均水深处于 0.15～0.20 m 时,第 3 区域为平均水深大于 0.20 m 时。

由图 1 可知,在第 1 区域,水流平均水深小于植被高度,为非淹没状态,此时平均水深很小,植被对地表水流的影响作用很大,随着平均水深的增大,地表糙率取值呈减小趋势,并且变化幅度较大。而在第 2 区域,植被处于淹没状态,此时植被刚刚被淹没,但是淹没水深很小。通过试验现场观察发现当水流刚刚淹没模拟植被时,随着水流流动植被顶端会出现高频率的摆动,这将对地表糙率取值产生影响,因此地表糙率的取值规律也更加复杂,通过图 1 分析得出地表糙率系数在第 2 区域基本呈先增大后减小的趋势。对于第 3 区域,水流平均水深比植被高度高很多,处于完全淹没状态,并且淹没水深逐渐增大,此时植被顶端不再摆动,而是根据水流流向弯折。随着淹没水深的增大,淹没植被对水流的影响逐渐减小,甚至可以忽略不计,因此地表糙率系数趋向于一个稳定值。Chow V. T.[21]指出只有水位低于某一特定水位,植被才对水流有显著影响,因此当确定一个比河道中植被还要高得多的洪水位时,可以用一个固定的糙率系数。

因此可以得出,植被在非淹没和淹没状态下,地表糙率取值变化规律并不相同,但总的来说,非淹没状态时植被对地表糙率取值影响较大,随着淹没水深的增加,植被对地表糙率取值影响逐渐减小甚至可以忽略不计。

2.2　植被覆盖对地表糙率的影响

2.2.1　不同覆盖密度对地表糙率取值影响　植被覆盖密度是影响地表糙率取值的重要因素之一。本试验设计了不同水流方向下 2 种不同植被覆盖密度下垫面,根据试验数据做出了不同植被覆盖密度下水深与地表糙率的关系图(图 2—3)。

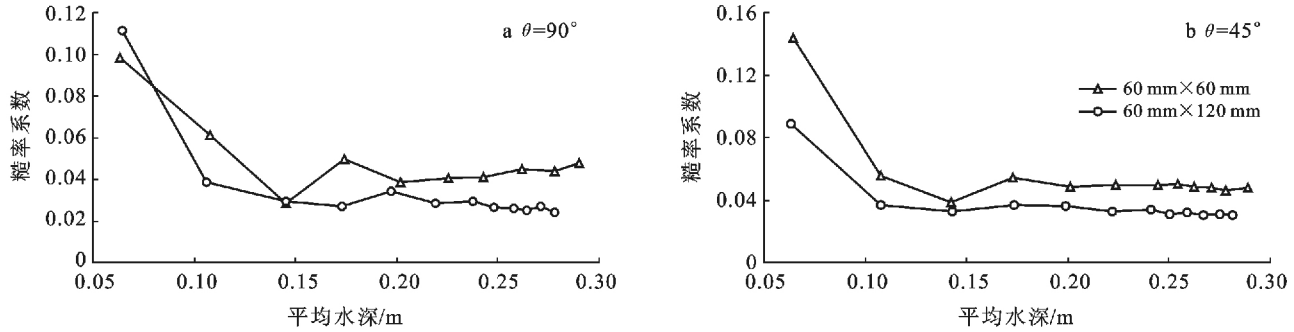


图 2　θ 为 90°,45°条件下不同密度水深与地表糙率的关系

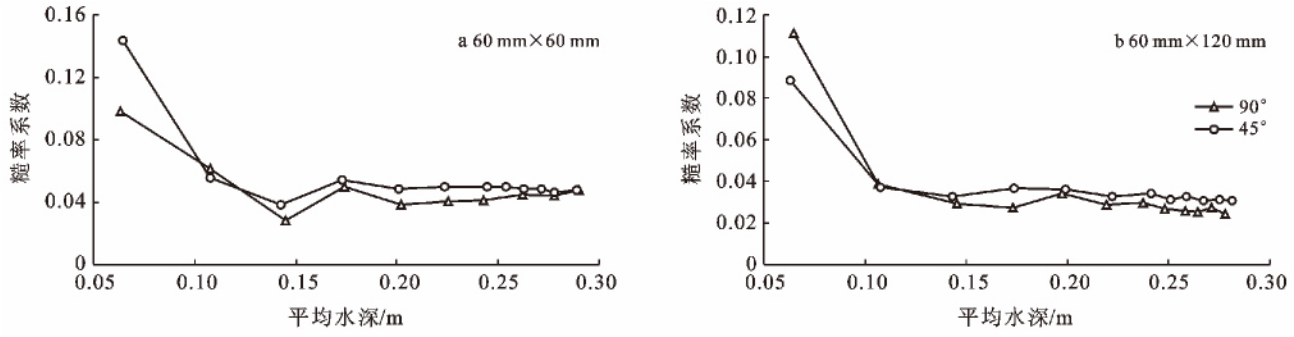


图 3　60 mm×60 mm 和 60 mm×120 mm 密度,不同水流方向条件下地表糙率与水深关系

由图 2 可以看出,不同的植被覆盖密度下,其地表糙率取值是不相同的。在 θ 为 90°时,从整体上可以看出,在平均水深较小时,不同植被覆盖密度下地表糙率取值并不具有明显规律性,只有在平均水深较大时,地表糙率取值才随着植被覆盖密度增加而增大,在前 3 个测量点时,植被覆盖密度大时,地表糙率取值并不一定大。但是当 θ 为 45°时,可以看出随着试验的进行,不同植被覆盖密度下地表糙率取值有着明确的规律性,即植被覆盖密度大时,地表糙率取值大。并且在 θ 为 90°时,只有前 3 个测量点不具有规律性,从第 3 个测量点之后也是呈植被覆盖密度大,地表糙率取值大的规律。由于试验条件等原因,并没有进行重复试验,因此,图 2 中的前 3 个测量点可能是在试验过程中或者测量时产生了误差,其具体原因

还有待进一步分析。但是总的来说，通过分析图2可以看出，植被覆盖密度对地表糙率取值有很大的影响，不同的植被覆盖密度下地表糙率取值基本呈覆盖密度大、地表糙率取值大的变化规律。这与肖培青等[22]、潘成忠等[23]、田风霞等[24]所得出的结论一致。

2.2.2 相同覆盖密度、不同水流方向对地表糙率的影响 影响地表糙率取值变化的因素很多，在相同的植被覆盖密度下，不同的水流方向对地表糙率取值也有很大的影响作用，根据试验数据做出了相同密度、不同水流方向下，地表糙率与平均水深关系图(图3)。

在现实流域面，坡面水流一般漫流于坡面，且受坡面地表的影响使其流动方向多向。目前关于地表糙率的研究一般认为在同一地表情况下其地表糙率都取同一定值。Engman E. T.[25]曾由野外小区实测洪水资料，经迭代适线方法得出了不同地表情况下的Manning糙率系数，例如遭受侵蚀的裸露黏壤地表上$n=0.02$，天然牧场$n=0.13$，刈割放牧地$n=0.10$，蓝草草地$n=0.45$。但是张升堂等[26]首次提出了“矢量糙率理论”，即糙率的取值应该是随汇流方向的不同而不同。由图3可以看出，在相同的植被覆盖密度、相同的平均水深下，水流流向不同其地表糙率取值是不相同的。也就是说，在同一下垫面情况下，坡面水流由于流向的不同而具有不同的地表糙率取值，从而进一步验证了张升堂所提出的“矢量糙率理论”。

3 结论

(1) 在植被非淹没状态下，地表糙率随着平均水深的增加而减小；在淹没状态下，当淹没水深很小时，地表糙率随着平均水深的增加而先增大后减小；随着淹没水深越来越大，地表糙率趋向于一个稳定值。

(2) 植被覆盖密度对地表糙率取值有很大的影响，不同的植被覆盖密度下地表糙率取值基本呈覆盖密度大、地表糙率取值大的变化规律。

(3) 影响地表糙率取值变化的因素很多，在相同的植被覆盖密度下，不同的水流方向对地表糙率取值也有很大的影响作用。即在同一下垫面情况下，坡面水流由于流向的不同而具有不同的地表糙率取值。

[参 考 文 献]

[1] Wu Fuchun, Shen Wenhseis, Chou Yiju. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(9):934-942.

[2] Stone B M, Shen H T. Hydraulic resistance of flow in channels with cylindrical roughness[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002,128(5):500-506.

[3] James C S, Birkhead A L, Jordanova A A, et al. Flow resistance of emergent vegetation [J]. Journal of Hydraulic Research, 2004,42(4):390-398.

[4] 拾兵，王川源，尹则高，等. 淹没植物对河道糙率的影响[J]. 中国海洋大学学报，2009,39(2):295-298.

[5] 曾玉红，槐文信，张健，等. 非淹没刚性植被流动阻力研究[J]. 水利学报，2011,42(7):834-838.

[6] Hsieh T. Resistance of cylinder piers in open-channel flow[J]. Journal of Hydraulics Division, 1964,90(1):161-173.

[7] Li R M, Shen H W. Effect of tall vegetation on flow and sediment[J]. Journal of Hydraulics Division, 1973, 99(5):793-814.

[8] Dunn C, Lopez F, Garcia M. Mean flow and turbulence in a laboratory channel with simulated vegetation[M]. Hydrosystems Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Lllinois at Urbana-Champaign, 1996.

[9] 闫旭峰，周苏芬，黄尔，等. 植被条件下坡面薄层水流动力学特性试验研究[J]. 四川大学学报：工程科学版，2012,44(2):26-30.

[10] Kim J, Ivanov V Y, Katopodes N D, Hydraulic resistance to overland flow on surfaces with partially submerged vegetation [J], Water Resources Research, 2012,48(10):1-19.

[11] 拉尼亚. 非淹没植被水流特性研究[D]. 南京：河海大学，2005.

[12] 黄文沛. 非淹没刚性植被对水流阻力和水流能量特性影响的研究[D]. 北京：华北电力大学，2013.

[13] 姬昌辉，洪大林，丁瑞，等. 含淹没植被明渠水位及糙率变化试验研究[J]. 水利水运工程学报，2013,(1):60-65.

[14] 房春艳，罗宪. 滩地植被化复式河槽的水流阻力特性试验[J]. 重庆交通大学学报：自然科学版，2013,32(4):668-672.

[15] 闫静，唐洪武，田志军，等. 植物对明渠流速分布影响的试验研究[J]. 水利水运工程学报，2011(4):138-142.

[16] Noarayanan L, Murali K, Sundar V. Manning's 'n' co-efficient for flexible emergent vegetation in tandem configuration[J]. Journal of Hydro-environment Research, 2012,6(1):51-62.

[17] Tanaka N, Yagisawa J. Flow structures and sedimentation characteristics around clump-type vegetation[J]. Journal of Hydro-environment Research, 2010,4(1):15-25.

[18] 倪汉根，顾峰峰. 湿地非淹没芦苇水流阻力的试验研究[J]. 水动力学研究与进展：A辑，2005,20(2):167-173.

(下转第54页)

[13] 王艳芬,陈佐忠.人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J].植物生态学报,1998,22(6):545-551.

[14] 陶贞,沈承德,高全洲,等.高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征[J].地理学报,2006,61(7):720-728.

[15] 武小钢,郭晋平,杨秀云,等.芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量[J].生态学报,2011,31(11):3009-3019.

[16] 李裕元,邵明安,郑纪勇,等.黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响[J].生态学报,2007,27(6):2279-2287.

[17] 王俊明,张兴昌.退耕草地演替过程中的碳储量变化[J].草业学报,2009,18(1):1-8.

[18] Potter K N, Torbert H A, Johnson H B, et al. Carbon storage after long-term grass establishment on degraded soils[J]. Soil Science, 1999,164(10):718-725.

[19] 杨景成,韩兴国,黄建辉,等.土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J].生态学报,2003,23(4):787-796.

[20] 杨黎芳,李贵桐.土壤无机碳研究进展[J].土壤通报,2011,42(4):986-990.

[21] Chang Ruiying, Fu Bojie, Liu Guohua, et al. The effects of afforestation on soil organic and inorganic carbon: A case study of the Loess Plateau of China[J]. Catena, 2012(95):145-152.

[22] 张林,孙向阳,高程达,等.荒漠草原土壤次生碳酸盐形成和周转过程中固存 CO_2 的研究[J].土壤学报,2011,48(3):578-586.

[23] Wu Haibin, Guo Zhengtang, Gao Qiong, et al. Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009,129(4):413-421.

[24] 于天仁,陈志诚.土壤发生中的化学过程[M].北京:科学出版社,1990:349-352.

(上接第 48 页)

[19] 吴福生.含植物明渠水动力特性研究[D].南京:南京水利科学研究院,2009.

[20] 李勉,姚文艺,陈江南,等.草被覆盖下坡面—沟坡系统坡面流阻力变化特征试验研究[J].水利学报,2007,38(1):112-119.

[21] Chow V T. Open-channel hydraulics[M]. New York: McGraw-Hill, 1959.

[22] 肖培青,姚文艺,李莉,等.植被影响下坡面流阻力变化特征研究[J].泥沙研究,2013(3):1-5.

[23] 潘成忠,上官周平.降雨和坡度对坡面流水动力学参数的影响[J].应用基础与工程科学报,2009,17(6):843-851.

[24] 田风霞,刘刚,郑世清,等.草本植物对土质路面径流水动力学特征及水沙过程的影响[J].农业工程学报,2009,25(10):25-29.

[25] Engman E T. Roughness coefficients for routing surface runoff[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1986,112(1):39-53.

[26] 张升堂,康绍忠.基于矢量糙率的栅格单元流量分配模型[J].水利学报,2006,36(11):1326-1330.