

坡耕地地表糙度的量测与计算

吴发启¹, 郑子成^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 四川农业大学 资源环境学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 在回顾了地表糙度的测量和计算方法后, 经实验证实, Brough D L, Linden D R 和 Van Doren D M 等人提出的糙度测量和计算方法, 均能满足黄土高原坡耕地人为耕作管理形成的微地形特征的研究需求。

关键词: 地表糙度; 量测与计算; 坡耕地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)05-0071-04

中图分类号: S157.1

Measure and Calculation of Surface Roughness on Slope Farmland

WU Fa-qi¹, ZHENG Zi-cheng^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. College of Resources and Environment, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014, Sichuan Province, China)

Abstract: After a review of the ways of measures and calculations on the surface roughness, the methods of D. L. Brough, D. R. Linden and D. M. Van Doren could satisfy the requirements of micro-relief features by artificial tillage management in the Loess Plateau.

Key words: surface roughness; measure and calculation; slope farmland

地表糙度是指在一定面积的地块上, 由土块、团聚体大小、作物种植和人为管理或降雨击溅、径流冲刷等自然和人为因素共同作用而形成的凸凹不平的一种地表现象。由于它是影响坡面径流量、流向和侵蚀产沙的主要基本因素之一, 故受到人们的普遍重视。但到目前为至, 它的野外测量和计算还没一种较为理想的方法, 从而造成对其作用的认识出现了一些不必要的分歧。因此, 本文对接触式测针法和 Linden 与 Van Doren 提出的 2 个微地形参数——LD, LS 的计算原理和室内模拟结果作一介绍, 以供研究参考。

1 接触式测针法

地表糙度的测定, 通常采用接触式和非接触式 2 种测量方法^[1-8]。前者表示在测量糙度时仪器与地表直接接触, 后者即为激光扫描探测。它们均是在测定地表相对高程值后, 通过计算相对位置的矩阵而得到地表糙度值的。接触式测量方法可总结为以下 3 种。

1.1 测针法

它是由 Kuripers 提出的^[3]。他用字母 R 表示地表糙度, 并用接触式测针法测定其高程值, 然后经计算而得糙度值。具体做法是, 在某一面积的地块上, 用 10 cm 间距的 20 根测针的微地形针, 沿坡面测定 20 次, 得 400 个高程值, 通过下式计算糙度:

$$R = 100 \lg S \quad (1)$$

式中: R ——地表糙度; S ——各测点高程值的标准差。

在此基础上, Podmore, Huggins 和 Hirschil 还提出了用方格法或断面法测定糙度值^[9-11]。

1.2 杆尺法

该方法为用 20, 30, 40, 50 m 长的测杆, 顺径流方向置于地面, 并用直尺量测地面凹地中点到杆的垂直高差 (H), 其平均值即为糙度 R_h ^[12]:

$$R_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n H_i \quad (2)$$

式中: H_i ——地表凹地中点与对应杆间的垂直高差; N ——不同长度杆尺的数量。

1.3 链条法

美国人 Ali Salch 提出了用链条法测定地表糙度的简便方法。该法认为当给定长度 (L_1) 的链条置于地表时, 其水平长度随着地面糙度的增加而减小。因此, 通过计算出链条长度的减小值, 即可得出衡量糙度的指数 C_r ^[13]:

$$C_r = (1 - L_2 / L_1) 100 \quad (3)$$

式中: C_r ——地面糙度指数; L_1, L_2 ——分别为链条实际长度和放置地面后的水平长度。

前人对链条法和杆尺法进行分析得出, 链条法所测地表糙度, 经计算样本的变差系数 C_v 和偏态系数

C_s 两值远小于杆尺法所测值。这说明样本离散程度小,较对称,稳定性高,且效率也高。但对于野外不同尺度的糙度,尤其对起伏微小的地表(土块或团砾体形成的糙度)则难以准确测定。1992年,D.L.Brough等人对接触式测针法的测针间距与地形起伏关系进行了实验研究,发现间距越小,测量结果越精确^[14]。但是,测量、收集和数据处理将需要大量的时间。因此,他建议在测量糙度时,可根据实际情况,将测针距离定在 25 mm 以下即可,且测定结果有极好的相关性,并能满足精度要求。

2 糙度计算

除了上述几种测量与计算方法外,目前还有以下 4 种方法。

2.1 随机糙度的计算

Allmaras 等人提出了计算随机糙度 (RR) 的方法,即通过测定的相对高程值,求算标准误差再经过对数转换进行计算^[15]。为了消除机具痕迹等因素的影响,对所测数据进行调整,然后可用下式计算:

$$RR = sh \quad (4)$$

式中: RR ——随机糙度; s ——进行对数变换后各测点的标准差; h ——地表平均高程值。

Huang 和 Bradford 在研究糙度与地表蓄水的关系时,用该方法求算了地表糙度,结果发现,不同蓄水量的地表,其糙度值相同或相近。因此,说明该式仅反映了地表的垂直变化,而未包含测点之间的水平变化^[5-6],故在实际中很难应用。

2.2 微地形指数法

微地形指数法是 Romken 和 Wang 提出的又一种地表糙度计算方法^[8,16],表达式为:

$$MIF = AF \quad (5)$$

式中: MIF ——微地形指数 (Microrelief Index Frequency); A ——微地形参数,即单位长度上,测地地表轮廓线与各测点高程值的最小二乘回归线之间的面积; F ——起伏频率。

对于 A 相似于 RR ,实质上它是各高程间差异的绝对平均值,而 RR 是各高程间差的平方根。 F 是单位长度上出现的起伏频率,它取决于试验区的相对大小,是不确定的。如果一个地表轮廓,在一个较小的试验区测定,出现峰的数量将增加,这将意味着不同地形的地表,可能有着相同的 MIF 值^[14,17],因此,该指数也不能很好地描述地表糙度。

2.3 弯曲度指数法

Boriffin 把弯曲度 (T) 作为一个糙度指数,它是地表轮廓长度和同它投影形成直线长度的比率^[18],

一般采用链条法测定^[13],可通过下式计算:

$$T = L/L_0 \quad \text{或} \quad T = (L - L_0)/L_0 \quad (6)$$

式中: T ——弯曲性指数; L ——地表轮廓长度; L_0 ——地表轮廓长度的水平投影长度。但 Kamphorst 等人研究证实,该方法也不能很好地描述地表糙度特征^[17]。

2.4 平均绝对高差法

该方法是 Linden 和 Van Doren 在研究耕作形成的地表糙度特征时提出的。他们认为糙度应是平均绝对高差变化的结果,且可用 2 个地表参数进行描述,即:LD(有限高差 limiting elevation difference)和 LS(有限坡度 limiting slope)^[19]。它们的计算是在下述分析的基础上进行的:

$$Z_h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i - Z_{i+h}| \quad (7)$$

式中: Z_h ——绝对高差; Z_i —— i 点的高程; Z_{i+h} —— $i+h$ 点的高程; h ——距 i 点的距离; n ——样本数。

在此基础上,经研究发现绝对平均高差 (Z_h) 与水平距离间存在下列关系。

$$1/Z_h = a + b(1/x_h) \quad (8)$$

式中: a, b ——为待定参数; x_h ——水平距离 (20 cm)。这时就可定义:

$$LD = 1/a \quad (9)$$

$$LS = 1/b \quad (10)$$

且, $(LD \times LS)^{\frac{1}{2}}$ 为粗度指数最优计算式。

后来,Bjarne Hanse 等人还提出了平均上坡凹点 (mean upslope depressions) 的糙度计算式^[20-21]。

3 实验验证

3.1 实验设计

实验是在西北农林科技大学侵蚀实验室完成的。具体设计为,降雨强度 1.0 mm/min,冲刷槽 (1 m × 5 m × 0.4 m) 坡度 10°,供试土样为淳化县泥河沟径流场的耕层黄壤土。冲刷槽内土体表面经耙耱、人工锄挖、等高耕作(垄作)和顺坡耕作 4 种处理。

糙度测量分雨前、雨后 2 次进行。每次测量均重复 5~6 次。测量仪器是依据 D.L. Brough 的建议,自行设计制作的。该仪器是由 51 根测针组成的微地形测量仪,每根测针的长度为 50 cm,测针的间距 2 cm。在进行测定时,先将该仪器沿坡面置于试验区,以最下端测针为基点,依次读取其它测针的数值。为了方便不同坡面的操作,在仪器顶部装有一个小型罗盘,用来标定坡向和坡度。

3.2 结果分析

图 1 反映的是实验中的量测结果。

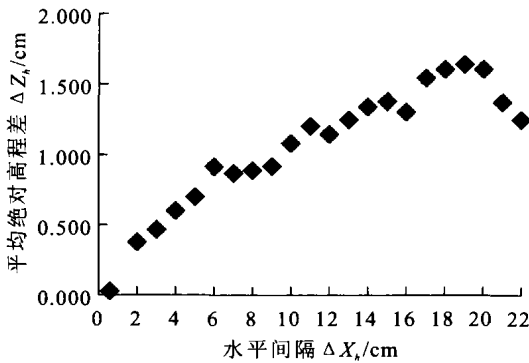


图 1 平均绝对高程与水平间隔的关系

可以看出,绝对高差与水平距离间存在着良好的相关关系,即

$$Z_h = 1 / [(1.378(1/X_h)) + 0.166]$$

$$R^2 = 0.896 \quad (11)$$

这就说明,黄土高原在坡耕地耕作管理中形成的地表起伏特征,可用 Linden 和 Van Doren 提出的绝对高差法进行描述和计算。

表 1 是 LD, LS 和 (LD × LS)^{1/2} 的量算结果,经统计分析证实(见表 2), (LDLS)^{1/2} 是最优的糙度计算式。

综上所述,黄土高原坡耕地由人为耕作管理形成的地表糙度可用微地形测量仪进行测量,并可按平均绝对高差法进行计算。

表 1 LD, LS 和 (LDLS)^{1/2} 计算结果

样本 编号	LD		LS		(LD × LS) ^{1/2}	
	雨前	雨后	雨前	雨后	雨前	雨后
1	0.420	0.416	0.470	0.363	0.444	0.389
2	0.439	0.412	0.398	0.308	0.418	0.356
3	0.467	0.323	0.279	0.276	0.361	0.299
4	0.537	0.506	0.717	0.254	0.621	0.359
5	0.541	0.507	0.485	0.397	0.512	0.449
6	0.545	0.525	0.246	0.133	0.366	0.264
7	0.569	0.489	0.430	0.196	0.495	0.310
8	0.587	0.310	0.392	0.353	0.480	0.331
9	0.612	0.436	0.470	0.763	0.536	0.577
10	0.638	0.627	0.194	0.177	0.352	0.333
11	0.655	0.588	0.183	0.199	0.346	0.342
12	0.425	0.435	0.468	0.771	0.446	0.579
13	0.441	0.411	0.405	0.299	0.423	0.351
14	0.465	0.322	0.275	0.275	0.358	0.298
15	0.600	0.503	0.707	0.250	0.651	0.355
16	0.700	0.508	0.481	0.395	0.580	0.448
17	0.800	0.521	0.245	0.131	0.443	0.261
18	0.870	0.478	0.425	0.194	0.608	0.305
19	0.619	0.298	0.390	0.351	0.491	0.323
20	0.578	0.441	0.466	0.760	0.519	0.579

表 2 LD, LS 和 (LD × LS)^{1/2} 的统计分析结果

项目	LD		LS		(LD × LS) ^{1/2}	
	雨前	雨后	雨前	雨后	雨前	雨后
M	0.575	0.453	0.406	0.342	0.472	0.375
S	0.118	0.088	0.141	0.194	0.092	0.098
Cv	0.205	0.195	0.346	0.566	0.194	0.260

注: M 为均值; S 为样本的标准偏差; C_v 为样本的变差系数。

[参 考 文 献]

[1] Bowers S A, R J Hanks. Reflection of radiant energy from soils[J]. Soil Sci. 1965, 100(2): 130—138.

[2] Burwell R E, Allmaras R R, Amemiya M. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1963, 27(6): 697—700.

[3] Kruipers H. A relief meter for soil cultivation studies[J]. Netherlands. J. Agric. Sci., 1957, 5(2): 255—262.

- [4] Harral B B, Cove C A. Development of an optical displacement transducer for the measurement of soil surface profiles [J]. *J. Agric. Eng. Res.*, 1982, 27(4): 421—429.
- [5] Huang C, Bradford J M. Applications of a laser scanner to quantify soil microtopography [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1992, 56(1): 14—21.
- [6] Huang C, Bradford J M. Depressional storage for Markov-Gaussian surfaces [J]. *Water Resources Research*. 1990, 26(9): 2235—2242.
- [7] Huang C, White I, Thwaite E G, et al. A non-contact laser system for measuring soil surface topography [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1989, 52(3): 350—355.
- [8] Romkens M J M, Wang J Y. Soil roughness changes of tillage system from rainfall [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*, 1987, 30(1): 101—107.
- [9] Podmore T H, Huggins L F. An automated profile meter for surface roughness measurements [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 1981, 24(4): 663—665, 669.
- [10] Podmore T H, Huggins L F. Surface roughness effects on overland flow [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 1980, 23(6): 1434—1445.
- [11] Hirschil M C, Barfield B J, Moore I D. Rillmeters for detailed measurement of soil surface heights [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 1984, 27(6): 2534—2557.
- [12] 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] Ali Saleh. Soil roughness measurement: chain method [J]. *J. Soil and Water Cons.* 1993, 48(6): 527—529.
- [14] Brough D L, Jarrett A R. Simple technique for approximating surface storage of slit-tilled fields [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 1992, 35(3): 885—890.
- [15] Allmaras R R, Burwell R E, Larson W E, et al. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage [M]. 1966. *USDA Conserv. Res. Rep.* 7
- [16] Romkens M, Wang J Y. The effect of tillage on surface roughness [J]. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 1986, 29(2): 429—433.
- [17] Kamphorst E C, Jettentl. Predicting depressional storage from soil surface roughness. *Soil Sci. Am. J.* 2000, 64(3): 1749—1758.
- [18] Boiffin J. Structural degradation of the soil surface by the action of rainfall [D]. Ph. D. Diss. *Inst. Natl. Agronomique Paris* / Grignon. Paris. France. 1984.
- [19] Linden D K, Van D M, Doren J R. Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1986, 50(3): 1560—1565.
- [20] Hansen B, Schjonning P, Sibbesen E. Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces [J]. *Soil Till. Res.* 1999, 52: 103—111.
- [21] Lorenzo Borselli. Segmentation of soil roughness profiles [J]. *Earth Surface Process and Landforms*. 1999(24): 71—90.

(上接第 70 页)

[参 考 文 献]

- [1] 北京大学地理系, 中国科学院自然资源综合考察委员会, 中国科学院兰州沙漠研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1983. 72—111.
- [2] 朱灵益, 宝音. 毛乌素沙地乔灌木立地质量评价 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 1—22.
- [3] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区植被资源及其合理利用 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 194—287.
- [4] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 15—465.
- [5] 吴钦孝, 杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 285—289.
- [6] 榆林地区畜牧局, 榆林地区草原试验站. 陕西省榆林地区草场资源调查成果资料汇编 [R]. 陕西榆林: 榆林报社印刷厂, 1984. 546—605.
- [7] 廖汝棠, 张文军. 毛乌素流动沙地植物分布及盖度的研究 [J]. *内蒙古林业科技*, 1996(3, 4): 15—21.
- [8] 陈仲新, 谢海生. 毛乌素沙地景观生态类型与灌丛生物多样性初步研究 [J]. *生态学报*, 1994, 14(4): 345—354.
- [9] 李新荣, 赵雨兴, 杨志忠, 等. 毛乌素沙地飞播植物与生境演变的研究 [J]. *植物生态学报*, 1999(2): 116—124.
- [10] 刘玉平. 毛乌素沙地飞播植被演替研究 [J]. *中国草地*, 1996(4): 24—27, 56.
- [11] 陈玉福, 于飞海, 张称意, 等. 根茎禾草沙鞭的克隆生长在毛乌素沙地斑块动态中的作用 [J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1745—1750.
- [12] 陈玉福, 于飞海, 董鸣. 毛乌素沙地沙生半灌木群落的空间异质性 [J]. *生态学报*, 2000, 20(4): 568—572.
- [13] 王林和, 董智, 张国盛. 毛乌素沙地天然臭柏群落新梢生长规律的研究 [J]. *内蒙古林学院学报 (自然科学版)*, 1998, 20(3): 15—22.
- [14] 高崇华, 李志忠, 付强. 毛乌素沙地引种樟子松调查报告 [J]. *内蒙古林业科技*, 1996(1): 29—32.
- [15] 周永刚, 王洪新, 胡志昂. 毛乌素沙地中间锦鸡儿群体繁育系统的变化 [J]. *植物学报*, 2001, 43(12): 1307—1309.