

获取室内模型流域 DEM 数据的实用方法

杨超¹ 赵军² 高佩玲²

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083; 2. 中国科学院、水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要 为获得模型流域的高精度 DEM 数据,自制了高程测量仪,对 65.9 m² 流域模型进行 0.1 m × 0.1 m 网格的逐点测量,获得高程数据,并利用 GIS 软件生成模型流域的 DEM。降雨强度 100 mm/h 和降雨历时 40 min 条件下,降雨前后 DEM 处理后得到的模型流域土壤侵蚀量为 4 465 kg,相对人工采样误差 7.5%。处理所得 DEM 与原模型流域地形特征点数据比较误差为 ±0.005 m。模型流域降雨侵蚀后高程的对比计算结果表明,该测量方法在室内小模型流域的降雨侵蚀定量研究中是可行的。

关键词 模型流域; GIS; 地形测量; 土壤侵蚀

中图分类号 S 29

文章编号 1007-4333(2005)01-0013-03

文献标识码 A

Practical method for DEM of a laboratory watershed model

Yang Chao¹, Zhao Jun², Gao Peiling²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;)

Abstract It is well known that it is difficult to get the morphological data for a laboratory watershed model in soil erosion study by the traditional methods and the RS, GPS and GI technologies. A practically useful apparatus was developed to quantify the digital elevation of a laboratory watershed model for a 66 m² watershed with 10 by 10 cm grids. A GIS software was used to generate the DEM of the watershed and the measured elevation values were verified with the actual ones at control points, which indicated that the error was less than 5 mm. This method can be used for geomorphologic determination of a watershed and for quantifying the soil erosion in a rainfall event by comparing the elevation changes.

Key words watershed model; GIS; elevation measurement; soil erosion

目前,流域次降雨侵蚀研究多在野外条件下进行。由于野外条件复杂,影响因子较多,不利于流域侵蚀与各影响因子之间关系和侵蚀在流域内分布情况的分析;而室内次降雨侵蚀研究多在坡面上进行,反映的是坡面相关因子与侵蚀之间的关系。在室内可控条件下进行模型流域的次降雨侵蚀研究,有利于确定流域侵蚀与各影响因子间的定量关系和侵蚀在流域中的分布情况。

室内模型流域次降雨总侵蚀量通常由流域出口处流量和水流含沙量的测量值换算得到,侵蚀量在流域内的空间分布一般采用 REE(稀土元素)法进行分块研究^[1],或采用侵蚀针观测法布点研究,但

REE 法受 REE 种类的限制分块不可能很小,侵蚀针在全流域的高密度布设也不现实。野外传统数字化地形测绘法因操作原因^[2],不能对模型流域进行非破坏性测量,而目前流行的 3S(遥感 RS、全球定位系统 GPS 和地理信息系统 GIS)技术因运行空间不足而无法对室内小型流域进行测量^[3]。进行室内坡面土壤侵蚀研究通常使用的激光微地貌扫描仪,测量宽度限制在 1 m 内^[4],无法满足较大面积模型流域的测量要求。

为获得大面积(65.9 m²)模型流域次降雨的侵蚀量和侵蚀分布,本试验用自制高程测量仪(图 1)测量模型流域高程数据,结合 GIS 技术获取模型流

收稿日期:2004-10-16

基金项目:教育部重大项目中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX32SW 2422)

作者简介:杨超,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀机理及计算机模拟研究。

域的 DEM (数字高程模型)^[5,6],通过降雨前后的 DEM 变化获得模型流域的次降雨侵蚀量和侵蚀分布。

1 高程测量仪

自制高程测量仪结构见图 1。高程仪采用手工摇柄驱动竖向标尺定位,即由摇柄控制滑块在横梁上前后移动,到达测点时缓缓降下竖向标尺,由 CCD 镜头将标尺读数传出,竖向标尺刻度为 mm。利用此高程测量仪可对模型流域进行高密度的网格测量,通过对测量数据进行横梁挠度纠偏后即可获得高精度的测点高程。

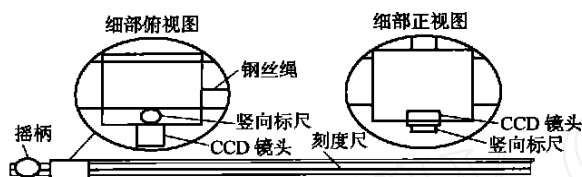


图 1 高程测量仪结构示意图

Fig. 1 Elevation measurement

2 获取模型流域的 DEM

为验证通过模型流域 DEM 获得流域次降雨侵蚀量和侵蚀分布的可行性,2004 年 7 月 5 日在中国科学院陕西杨凌水土保持研究所降雨大厅模型流域进行了降雨强度 100 mm/h、降雨历时 40 min 的降雨侵蚀试验。利用自制小流域水土保持监测系统对模型流域的产流、产沙过程进行监测,每 4 s 读取 1 次数据。人工采样作为对比,产流和退水过程每 10 s 采样 1 次,产流相对稳定时每 3 min 采样 1 次。降雨后利用自制高程测量仪对模型流域侵蚀地貌进行

非破坏性测量获取高程数据,利用 GIS 软件处理得到模型流域的 DEM。试验用模型流域的处理和测量程序如下。

1) 模型流域(图 2)。模型边界为非规则砖混墙体,流域面积 65.9 m²(宽 8.5 m,长 12.6 m)。在模型所在降雨大厅地面通过几何放样确定 x, y 轴,沿图 2 所示边框线铺设 mm 刻度钢卷尺。将模型流域非规则墙体顺坡度方向改造成台阶,两侧同级台阶高程相同。每级台阶上沿 y 轴铺设刻度尺,台阶起始点坐标标记在基准铝牌上。通过放线确定每级台阶起始点 x, y 坐标,利用水准仪测得高程值,由此获得每级台阶起始点的三维坐标值,并刻于基准牌上。

2) 将高程测量仪起始点置于台阶上的刻度尺上,测量仪横梁平行于 x 轴并横跨模型,测量人员控制摇柄推动竖向标尺沿横梁(x 轴方向)前进,每 0.1 m 定一测点。确定测点到横梁的距离:往返各测 1 次,若 2 次测量值误差超过 0.005 m 则在此测点再加测 1 次,取 3 值中相近 2 值的均值作为此测点到横梁的距离。测完一组值后,将横梁沿 y 轴方向平移 0.1 m (由墙体上 mm 刻度尺来保证平移的精度)。重复以上步骤,得到模型流域按 0.1 m × 0.1 m 网格密度测量得到的各网格点距离基准坐标点的高程差,由计算机计算得到此网格点的高程值(高程值 = 基准坐标点高程值 - 高程仪读数 - 高程测量仪挠度值)。

3) 将三维高程数据输入电脑,由程序配合 GIS 软件处理后得到模型流域的 DEM,由此可在 DEM 上获得模型流域任意点的高程值。

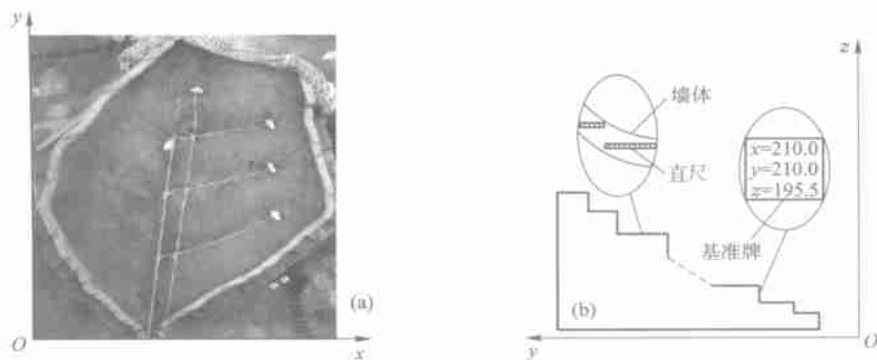
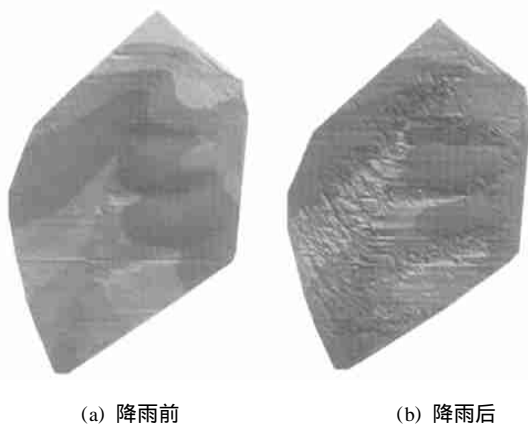


图 2 模型流域俯视图(a)及其侧视示意图(b)

Fig. 2 Aerial view (a) and lateral sketch (b) map of watershed model

3 结果与讨论

降雨前后侵蚀地貌测量数据生成的 DEM 见图 3。由于测量过程中采取回测的方法对测量数据进行了均值校正,使测量精度得到了保证。将测量得到的地形网格数据在 GIS 中生成可视 DEM(图 3),在模型中选取 30 个随机点,所得数据与实测数据的误差在 0.005 m 内。降雨强度 100 mm/h 和降雨历时 40 min 条件下,人工采样和降雨前后 DEM 处理得到的模型流域土壤侵蚀量分别为 4 829 和 4 465 kg,相对人工采样误差为 7.5%。考虑到人工采样点分布密度相对较稀疏,高精度地形测量所得模型流域侵蚀量具有较高的可靠性。对比模型流域降雨前后的 DEM 影像(图 3)可以发现,侵蚀多发生在模型流域的沟道及其边缘地带,并由此向坡面上方延伸,左侧坡面侵蚀沟道清晰可见。高精度地形测量结合 GIS 技术定量确定模型流域的侵蚀量,具有一定的可行性,可以进一步考虑在所得到的 DEM 上,通过室内可控试验完善基于物理成因的数字流域侵蚀模型。



(a) 降雨前 (b) 降雨后

图 3 降雨前后的 DEM(数字高程模型)

Fig. 3 DEMs of watershed before (a) and after (b) erodings

由于模型边界基准台阶存在放线误差,自制高程测量仪竖向标尺刻度为 mm,且其在竖直方向可能存在倾斜,而室内土壤侵蚀研究在很多情况下希望测量绝对误差能控制在 0.001 m 内;因此,此测量结果仅适用于进行侵蚀量的粗略统计工作,对于更高精度要求的侵蚀研究,则需对仪器进行改进。在目前的精度基础上,若将手工摇柄驱动竖向标尺定位改为自控电机驱动,竖向标尺改为激光测距仪,同时在高程仪上配置测量倾斜角度的仪器进行倾斜校

正,那么该仪器的测量精度是可能控制在 0.001 m 内的,即得到高精度的 DEM 模型是可能的。进一步可考虑使用图像处理技术对流域模型进行三维重现^[7-9],利用光学干涉条纹在侵蚀面上的推移再现侵蚀的微观变化过程^[10-12]。

4 结论

采用自制高程测量仪进行地形测量获得 DEM,再由 DEM 得到侵蚀量的方法可用于侵蚀量的粗略统计工作。由侵蚀后的 DEM 可清晰辨认模型流域土壤侵蚀区域以及模型流域坡面的侵蚀沟道走向,据此可以对侵蚀情况进行定性判断。如果对现有设备进行改造,获得 mm 级测量精度是可以实现的,将此方法引入室内模型流域试验的测量是可行的。

参 考 文 献

- [1] 石辉,田均良,刘普灵,等. 利用 REE 示踪法研究小流域泥沙来源. 中国科学(E 辑),1996,26(5):474-480
- [2] 张光东. 数字化地形测量的实践[J]. 地矿测绘,2000,2(3):36-42
- [3] 唐小明,李长安. 土壤侵蚀速率研究方法综述[J]. 地球科学进展,1999,14(3):274-285
- [4] 赵军,雷廷武,张晴文,等. 激光微地貌扫描仪的开发研制及在坡面侵蚀研究应用初步[J]. 山东大学学报(自然科学版),2001,32(2):201-206
- [5] 汤国安,陈正江,赵牡丹,等. ArcView 地理信息系统空间分析法[M]. 北京:科学出版社,2002:99-150
- [6] 李德仁,龚健雅,边馥苓. GIS 的数据组织与处理[J]. 测绘通报,1994(1):28-30
- [7] 雷志辉,于起峰. 亚像素图像处理技术及其在网格法中的应用[J]. 国防科技大学学报,1996,18(4):17-20
- [8] 权铁汉,于起峰. 摄影测量系统的高精度标定与修正[J]. 自动化学报,2000,26(6):748-755
- [9] 邓文怡,吕乃光,董明利,等. 数字摄影测量技术在三维测量中的应用[J]. 光电子·激光,2001,12(7):697-704
- [10] 吴震. 光干涉测量技术[M]. 北京:中国计量出版社,1995:133,414-418
- [11] 王永昭. 光学全息[M]. 北京:机械工业出版社,1981:250-252
- [12] 李田泽. 二次曝光全息技术及其应用[J]. 微细加工技术,1997(3):27-31