

# 流域土壤侵蚀测量系统研究

高佩玲

(山东理工大学资源与环境工程学院, 山东 淄博 255049)

**摘要:**流域内降雨-径流-土壤侵蚀过程中不同时空点处流量、流速、泥沙含量的获取是土壤侵蚀机理研究中的难点, 它们的实时、准确测量将为侵蚀模拟-预报模型的建立与检验提供必要的技术支持。针对这一问题, 提出一套测量流域土壤侵蚀动态变化过程变量的自动化测量系统。该系统由四部分构成: 量水堰和水位传感器实现径流流量的测量; 薄层水流流速测量系统测量坡面流及其流域内沟道中水流速度; 径流含沙量测量系统测量径流中的泥沙含量; 数据采集控制以及存储系统, 实现试验设计点处侵蚀量的动态变化过程测量及数据存储。这一系统的构建及应用必将推动侵蚀过程测量向着更自动化和可操作化方向发展。

**关键词:** 土壤侵蚀; 流量; 流速; 泥沙含量; 测量系统

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0076-03

## Study on Automated Measuring System for Soil Erosion in Watersheds

GAO Pei ling

(College of Resource and Environment Engineering, Shandong  
University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

**Abstract:** Although the difficulties, the temporal and spatial knowledge of runoff rate, flow velocity and sediment concentration or sediment yield in watersheds during the rainfall-runoff-soil erosion processes is of great importance for understanding the soil erosion mechanism. Their onsite and accurate measurements will provide very much demanded data for physically based soil erosion simulation/prediction models. An automated system is presented for the measurements of the factors affecting soil erosion dynamic processes. The whole measurement system consists of weir and water level sensor systems for runoff rate; shallow water flow velocity measuring systems for flow velocities in hill-slope rills and/or watershed water channels; sediment concentration measuring systems for sediment concentrations at designed locations; and data acquisition systems for the control and data logging of the systems. This system is promising to be applicable in the study of soil erosion dynamic processes.

**Key words:** soil erosion; runoff rate; flow velocities; sediment concentration; automated measuring system

当前, 土壤的加速侵蚀已成为全球性环境灾害之一, 严重威胁着农业的发展和人类的生存, 它既造成土地生产力的退化同时又是水体非点源污染的重要原因<sup>[1-4]</sup>。土壤侵蚀是一个复杂的过程, 定量化研究其侵蚀过程及机理, 建立基于物理基础的侵蚀模型是目前侵蚀研究发展的方向。流域侵蚀模型建立结构及其数值模拟方法的正确性依赖于流域内土壤侵蚀过程中不同时空点处流量、流速、泥沙含量的准确、有效测量<sup>[5-8]</sup>。而侵蚀建模方法及其侵蚀参数测量仪器、方法的局限性使得侵蚀参数的获取多集中于对流域出口处流量、泥沙含量的测量, 而难以实现流域内不同空间点处、不同时刻的侵蚀量的获取, 无法满足侵蚀模型对于流域内不同部位侵蚀产流、产沙过程研究的数据需求, 而制约了侵蚀模型的建立及其正确性检验, 成为土壤侵蚀模型研究中的一个难点。

本文在对侵蚀模型分析基础上, 将量水堰和水位传感器实现径流流量的测量; 薄层水流流速测量系统测量坡面流及其流域内沟道中水流速度; 径流含沙量测量系统测量径流中

的泥沙含量; 数据采集控制以及存储系统, 实现试验设计点处侵蚀量的动态变化过程测量, 这一系统的构建为室内流域模型侵蚀过程动态数据的测量提供了可靠的测量方法, 测量系统在流域侵蚀试验中的应用将为土壤侵蚀模型的进一步研究提供数据支持。

### 1 土壤侵蚀过程测量系统设计

#### 1.1 流域侵蚀模型构成及对侵蚀数据的时、空需求

流域系统由坡面和沟道两个子系统构成, 其侵蚀模型也分为两部分: 坡面侵蚀子模型和沟道侵蚀子模型, 依侵蚀过程不同分为: 土壤超渗产流、径流侵蚀产沙等子过程。从系统建模的角度来看, 若系统模型能较好的实现对流域侵蚀过程的模拟、预报, 各子模型在时间、空间上的数据衔接是必须考虑的问题。(1~4)式表明土壤侵蚀过程中降雨产流-侵蚀产沙过程中径流流量、流速、泥沙含量这些侵蚀参数互为因果, 相互关联, 侵蚀过程模型各组成部分虽各成一体, 同时各子系统侵蚀过程又在同一时间、空间尺度下相互关联成

\* 收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(40171062); 中科院知识创新重要研究方向项目(KZCX3-SW-422)

作者简介: 高佩玲(1973-), 女, 博士, 副教授, 新疆人, 主要从事土壤侵蚀机理及模型研究。

为一个统一整体。侵蚀量在时间、空间上的数据耦合处理将流域系统侵蚀数据划分为若干数据层及数据单元, 它们的准确测量将为侵蚀模型的拟合提供可靠的数据支持。

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = \frac{q}{w} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(u)}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{g\partial(h)}{\partial x} + \frac{uq}{wh} = g \left( \frac{S_x}{\sqrt{1+S_x^2}} - S_{fx} \right) \quad (2)$$

$$q = q_s + I_w \quad (3)$$

$$h \frac{\partial c}{\partial t} + hu \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( hD_H \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \left( S - c \left( \frac{Iw + q_s}{w} \right) \right) \quad (4)$$

## 1.2 测量系统测量流程

由流域系统土壤侵蚀动态模拟对侵蚀数据的时空需求分析知, 检验模型结构及数值求解方法正确性需获取以下数据: 不同降雨条件下、不同历时, 依侵蚀地貌特征确定的典型观测点处, 不同时刻径流流速、流量、侵蚀泥沙量数据。据此, 我们设计了一套流域土壤侵蚀过程测量系统以实现以上数据的测量需求。测量系统测量流程图见图 1。

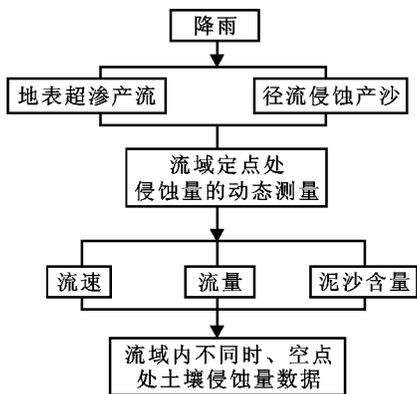


图 1 土壤侵蚀过程测量系统测量流程图

## 2 土壤侵蚀过程测量系统组成及构建

### 2.1 土壤侵蚀过程测量系统组成

土壤侵蚀过程测量系统主要包括 4 个部分:

(1) 量水堰及水位传感器。侵蚀过程中径流量测量设备(见图 2)。测量沟道中水位  $h$  高低, 通过水位  $h$  与流量  $q$  的关系实现径流量的测量。由于小流域在降雨作用下产生的流量相对较小, 三角量水堰过水断面较矩形小, 采用此量水堰减小了过水断面面积而增大了水位高度, 故可提高水位测量的精度, 水位测量误差可控制在 0.5 mm 内, 同时对于较小流量的径流测量也可实现, 而使得小流域降雨产流量的

测量范围较大。仪器 4 s 为一个测量周期, 可实时获取侵蚀过程中径流量的变化过程。

(2) 径流含沙量测量系统。土壤侵蚀过程中径流含沙量测量设备(见图 2)。雷廷武等<sup>[9-12]</sup>研制的径流含沙量测量系统用以实现径流含沙量的测量。此系统依据  $\gamma$ -射线在含沙溶液中经泥沙颗粒的折射、散射和吸收作用其透射强度将减小的原理测定含沙量<sup>[13,14]</sup>。次测量设备针对  $\gamma$ 射线水平透射时, 泥沙沉积和分层现象将对测量精度产生一定影响的问题, 通过缩短  $\gamma$ -射线源与能谱探头间的距离来减小测量时间, 同时兼顾测量结果的准确及仪器的稳定可靠, 是目前现场测量中能较好实现含沙量快捷、简便、准确可靠测量的方法, 测量范围较广, 在 0~750 kg/m<sup>3</sup> 之间。该方法测量结果的相对标准误差小于 1%。仪器测量周期为 4 s, 可实时获取侵蚀过程中泥沙含量的动态变化过程。

(3) 薄层水流流速测量系统: 实现侵蚀过程中径流流速测量设备(见图 3)。雷廷武等<sup>[15]</sup>开发的径流含沙量与流量机电一体化测控系统主要用以实现薄层水流流速测量。此系统由 4 部分组成, 即电解质脉冲发生器、感应探针、数据采集与存储和参数计算模型, 后部分可简称为测量操作系统。根据水流影响电解质扩散和其导电特性的分析, 结合电解质脉冲在水中迁移的数学模型设计而成, 实现了数据采集、参数计算和分析自动化。此仪器针对坡面薄层水流流速测量设计, 相对于染色法其测量时间更加准确, 参数计算更合理。此系统可同时测量多点的信号, 最多可同时使用 10 组感应探针, 这些感应探针用接线端子板连接。数据采集开关用程序控制, 开始时间与电解液注入时间同步。采集数据的频率根据需要可分别设定为 1 点/s、5 点/s、10 点/s、20 点/s、50 点/s、100 点/s、500 点/s 和 10 000 点/s, 测量时间最小为 1 s, 测量周期可依测量需要而定。

(4) 数据采集控制以及存储系统(见图 4)。用来实现对试验中流域内各控制点流量、流速、泥沙含量的动态变化过程测量及数据存储, 实现该系统的自动化测量。

将三角量水堰和水位计、径流含沙量测量系统、薄层水流流速测量系统有机组合, 构建土壤侵蚀过程测量系统, 突破了以往流域降雨侵蚀试验中, 流域侵蚀产流、产沙量的测量主要集中于流域出水口处且主要通过人工方法量测的局限, 实现了流域内不同地貌点处降雨侵蚀过程中径流流量、流速、泥沙含量的实时、动态数据获取及自动化存储和数据处理, 为侵蚀模型的研究提供充足及可靠的数据支持。

### 2.2 测量系统构建图

流域土壤侵蚀过程自动化测量系统构建见图 5。



图 2 量水堰、水位计及泥沙测量探头

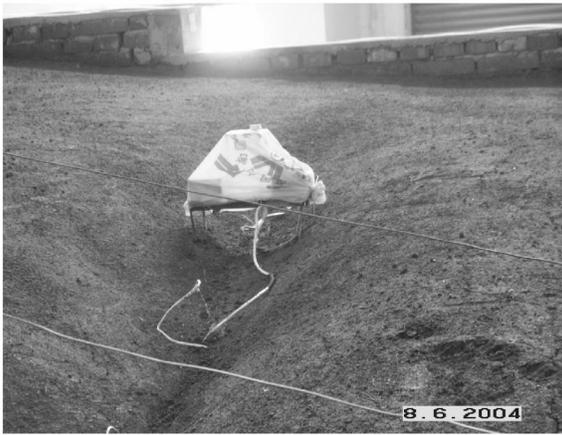


图 3 流速测量装置图

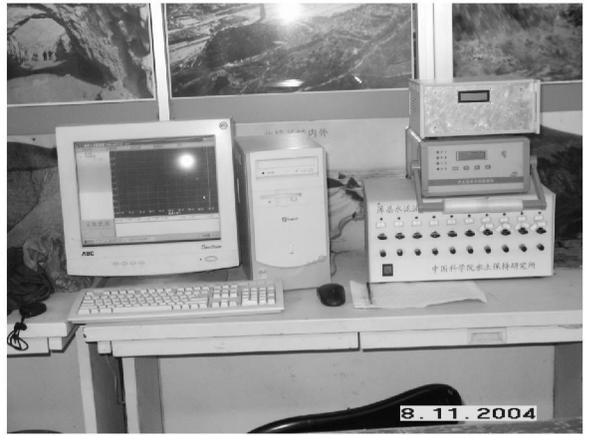


图 4 数据采集控制以及存储系统图  
(计算机、泥沙、水位显示设备)

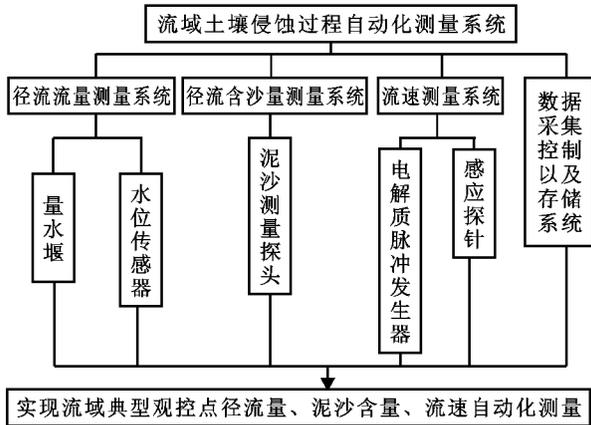


图 5 流域土壤侵蚀自动化测量系统图

### 3 小 结

研究区不同时间、空间点处侵蚀量的动态数据是土壤侵蚀模型动态模拟方法正确性检验的可靠依据。本文在对土壤侵蚀系统模型对侵蚀数据需求分析基础上,将量水堰和水位传感器用于测量径流流量;将薄层水流流速测量系统用于测量坡面及沟道薄层水流;径流含沙量测量系统用以实现径流含沙量的测量,构建了土壤侵蚀过程自动化测量系统,这一系统的构建,实现了流域典型观控点径流量、泥沙含量、流速自动化测量,为流域土壤侵蚀模型的进一步研究提供了技术支撑。这一方法的应用必将推动侵蚀过程测量向着更自动化和可操作化方向发展。

### 参考文献:

[ 1 ] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策[J]. 水土保持通报, 1991, 11(1): 3- 7.

[ 2 ] 常茂德, 赵光耀, 田安民. 黄土高原小流域综合治理与发展农业经济[J]. 水土保持研究, 1996, 3( 4 ): 88- 92.

[ 3 ] 李靖. 改善黄土高原侵蚀环境. 提高综合效益[ A ]. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展[ M ]. 西安: 陕西人民出版社, 1995.

[ 4 ] 包忠谟. 区域治理与侵蚀环境调控[ A ]. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展[ M ]. 西安: 陕西人民出版社, 1995.

[ 5 ] 周佩华, 王占礼. 黄土高原土壤侵蚀暴雨的研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 2- 5.

[ 6 ] 钱宁, 等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤影响[ A ]. 策一次河流泥沙国际学术讨论会论文集[ C ]. 北京: 光华出版社, 1980.

[ 7 ] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[ M ]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.

[ 8 ] 史培军, 刘宝元, 张科利, 等. 土壤侵蚀过程与模型研究[J]. 资源科学, 1999, 21( 5 ): 9- 18.

[ 9 ] Tingwu Lei, Jun Zhao, Jianping Yuan, et al. Determining Sediment Concentration in Runoff Flow with  $\gamma$  Ray Attenuation and the Related Theoretical Algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18( 1 ): 18- 21.

[ 10 ] Tingwu Lei, Qingkun Liu, Xingfa Huang, et al. Optimal choice of mass absorption coefficient and analysis of its influence on measured error in algorithm of using gamma ray to measure runoff sediment concentration[J]. Transactions of the CSAE, 2003, ( 19 ): 29- 34.

[ 11 ] 雷廷武, 刘清坤, 黄兴法. 伽玛射线测量径流泥沙含量算法中质量吸收系数优选及其对测量误差影响的分析[J]. 农业工程学报, 2003, ( 19 ): 29- 34.

[ 12 ] 雷廷武, 赵军, 袁建平. 利用  $\gamma$  射线透射法测量径流含沙量及算法[J]. 农业工程学报, 2002, 18( 1 ): 18- 21.

[ 13 ] Ferguson, H, Gardner, W, H. Water content measurement in soil columns by gamma ray absorption[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1962, 26: 11- 14.

[ 14 ] 李世镇, 姜德宝, 杨明江. 水文电测技术[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 81- 98.

[ 15 ] Lei, T W, W S Xia, Q W Zhang, et al. Method for measuring velocity of shallow water flow for soil erosion with electrolyte tracer[J]. Journal of Hydrology, 2005, 301: 139- 145.

[ 16 ] 高佩玲. 小流域坡面和沟道系统土壤侵蚀过程的数值模拟研究[ D ]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.