

# LTW—1 型径流泥沙含量与流量动态测量系统研究

王 辉<sup>1</sup>, 雷廷武<sup>1,2</sup>, 赵 军<sup>1</sup>, 刘清坤<sup>3</sup>, 夏卫生<sup>4</sup>

(1. 中国科学院水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083; 3. 中国农业大学 机械工程学院, 北京 100083; 4. 湖南师范大学 资源与环境学院, 湖南 长沙 410081)

**摘 要:** 简要地阐述了泥沙含量与流量动态测量系统的基本测量原理及其基本组成, 包括了 4 个子系统: 自动采样系统, 自动测量系统, 数据分析、输出及查询系统和操作控制系统。通过大量试验测试, 结果表明该测量系统不仅能够达到一定的测量精度, 而且还能够实时、在线、动态地测量室内或野外径流泥沙含量与流量, 并实现数据便捷地传输、存取等功能。

**关键词:** 泥沙含量; 流量;  $\gamma$  射线; 测量系统

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2003)02—0043—03

中图分类号: TH764

## LTW — 1 Dynamic Measuring System for Sediment Concentration and Flow Rate Determination of Runoff Flow

WANG Hui<sup>1</sup>, LEI Ting-wu<sup>1,2</sup>, ZHAO Jun<sup>1</sup>, LIU Qing-kun<sup>3</sup>, XIA Wei-sheng<sup>4</sup>

(1. *Reseach Center of Soil and Water Conservation and Eco-environment, Chinese Academy of Sciences and Education Ministry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;* 2. *Faculty of Irrigation and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;* 3. *School of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;* 4. *College of Resource and Environment Science, Normal University, Changsha Hunan 410081, China*)

**Abstract:** The measurement principle and the mainly components of a dynamic measuring system for sediment concentration and flow rate determination are simply described, including four subsystems such as: the automated sampling subsystem, automated measuring and acquisition subsystem, data analysis/output/retrieve subsystem and operation/control subsystem. Laboratory application experiments and tests of the integrated system indicate that the system has such unique capabilities as short time for high precision measurements, and fast transmission of logged data. The system is so designed that it can be used not only for measuring sediment concentration and flow rate in the laboratory experiments of soil erosion study, but also for field research and for on-site long-term monitoring of soil and water loss from runoff plots.

**Keywords:** sediment concentration; discharge;  $\gamma$ -ray; measuring system

径流泥沙含量的测量是水利水电建设、水文监测预报、土壤侵蚀、水土保持、河流泥沙等研究的重要内容。目前, 径流泥沙含量的测量主要是采用传统方法称人工采样称重法, 即取一定体积具有代表性的径流浑水样品, 然后烘干、称重, 即可求出泥沙含量<sup>[1]</sup>。该测量方法虽十分经典, 但操作过程繁杂, 费时费力, 取样的代表性影响测量精度, 并且更不能够实现快速、连续、实时动态地测量。无论是在室内人工模拟降雨进行土壤侵蚀研究, 还是在野外试验小区进行长期定点水土流失监测, 科技工作者都迫切需要一种实用的径流泥沙含量自动测量系统。以雷廷武研究员为主的

课题小组, 经过 1 a 多的研制开发, LTW—1 型全自动径流泥沙含量与径流流量动态测量仪首次研制成功。该测量系统结合了核技术、电子技术和机械制造技术, 充分利用计算机通讯技术, 不但实现了坡面径流泥沙含量进行现场快速、实时、动态地测量; 而且还实现坡面径流流量的实时、动态地测量; 具有测量精度高, 测量范围宽, 无需繁杂现场调校, 仪器稳定可靠, 数据获取方便, 可实时、在线地获取泥沙含量和径流流量等特点。

该测量系统还可以根据科研的各种实际需要, 不断增加、完善功能, 做到自动化程度高, 能够适应多种

收稿日期: 2002-08-27

资助项目: 国外杰出人才基金(982602); 国家自然科学基金(40171062, 40101005)

作者简介: 王辉(1973—), 男(苗族), 湖南古丈人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀过程计算机模拟。电话(029)7015048, E-mail: wanghuisb@163.com.

情况下的测量;充分利用所测得的数据,给出多种分析结果,满足不同研究方向的不同需要。本文对该测量系统的一些基本结构组成、测量原理、基本功能和主要性能指标做一简单介绍。

## 1 系统基本结构组成

径流泥沙含量与流量动态测量系统如图 1 所示。其工作流程:径流浑水经导流槽流进采样室,搅拌器不断搅拌; $\gamma$ 射线输出器输出 $\gamma$ 射线并透过采样室中的浑水样品,闪烁探测器探测透射 $\gamma$ 射线,输出负向电脉冲,自动定标器将电脉冲信号处理成标准数字脉冲,PC 工控机在一定时间间隔内对脉冲数读入。同时,PC 工控机将单片机中采集的上下探针间液位变化的时间差实时读入,而且将原始数据发传到上位管理计算机。一台上位管理机可对多台测量仪的测量状况进行监控和数据传输。

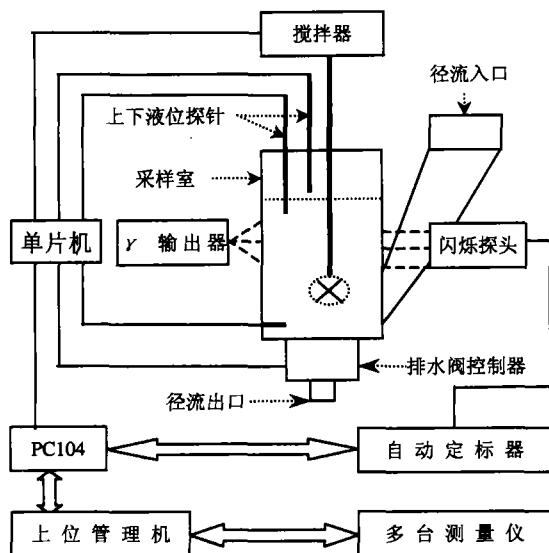


图 1 系统结构与组成

## 2 系统测量原理

### 2.1 泥沙含量测量原理

本测量系统的泥沙含量测量基本原理是利用 $\gamma$ 射线透过物体时,其强度因吸收和散射而减弱,减弱强度与射线所透过物质的厚度( $L$ )和密度( $\rho$ )有关,也和射线的能量有关,并服从指数关系<sup>[2,3]</sup>,用以下式子表示为:

$$I = I_0 e^{-\mu L} \quad (1)$$

式中: $I, I_0$ —— $\gamma$ 射线束穿过物质后、前的射线强度(n/s); $L$ ——被 $\gamma$ 射线透射的物质厚度(cm); $\mu$ ——被透射的物质对 $\gamma$ 射线的吸收系数(cm),大小为 $\mu =$

$\mu_m \rho$ ;  $\mu_m$ ——被透射物质的质量吸收系数( $\text{cm}^2/\text{g}$ );  
 $\rho$ ——被透射物质的密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

利用 $\gamma$ 射线透过泥沙溶液后其强度发生衰减且衰减的大小与径流中泥沙含量大小有关的规律来测量径流泥沙含量。

### 2.2 流量测量原理

径流流量的测量是通过上下液位探针、采样室和单片机来完成。单片机通过实时检测采样室中浑水液位到达下液位探针与上液位探针的信号来获取液位上升所花费的时间 $t$ ,采样室中上下液位探针之间所容纳的径流体积 $Q$ 可以通过多次标定获得,计算机通过简单数据处理即可得到相应时刻的流量值 $q = Q/t$ 。当入口浑水流量等于或大于出口流量的时候,排水阀门始终打开排水;同时导流槽前端进行分流处理,此时系统所测量到的流量值乘上相应标定好的修正系数,估算出总流量值。

## 3 各子系统基本功能

LTW-1 型 $\gamma$ 射线法全自动径流泥沙含量与流量测量系统通过以下 4 个子系统协调工作来实现对径流浑水自动采样,自动测量,数据自动采集、存储,远程传输。

### 3.1 径流浑水自动采样子系统

无论室内人工模拟降雨或野外天然降雨,由于受到降雨强度、持续时间、坡面入渗速率和坡面植被覆盖状况等多种因素的影响,坡面上产生的径流流量大小是随机变化的。为此,专门设计了一套连续自动采样子系统,它包括单片机、上下液位探针、采样室、排水阀控制器及排水阀等 5 部分组成。其控制过程如下所述:单片机从上下液位探针获取信号,判断采样室中的浑水液位变化,从而向排水阀门发出关闭或打开的命令;液位到达上液位探针,打开阀门排放浑水;液位降到下液位探针,关闭阀门收集浑水。这样,从径流产生到径流消失全过程径流浑水均可以采集到,从而满足径流泥沙含量与流量全过程动态地测量。

### 3.2 泥沙含量与流量自动测量子系统

径流泥沙含量与流量自动测量子系统是整个测量系统的核心部分,其中泥沙含量测量由 $\gamma$ 射线输出器、闪烁探头和 FH463A 型自动定标器等 3 部分来完成。通过这 3 部分组成的子系统,测出了透射浑水后的射线强度,根据泥沙含量与射线衰减强度相关关系求出泥沙含量值<sup>[2]</sup>,从而系统完成径流泥沙含量自动测量过程。流量测量则通过自动采样子系统的硬件,根据流量测量原理来自动完成流量的测量。

### 3.3 数据自动采集、分析、输出及查询子系统

数据自动采集功能主要是由 PC104 工控机完成。PC104 工控机实时、在线地采集定标器输出的数据并保存、显示,并可作简单的数据处理;同时,它将数据实时上传到上位管理机,在上位管理机上通过专门的数据处理软件将数据进行多种运算处理、分析判断,并且可实时动态地显示测量时间、泥沙含量、径流流量以及累积产沙量等参数。上位管理机还可同时实时地对多台径流泥沙含量与流量测量仪进行数据管理和监控工作,通过网络联接进行远程数据传输。操作人员通过多种查询模式查询多年历史记录。

### 3.4 控制操作系统

径流泥沙含量与流量动态测量仪的操作界面设计友好,人机交互设计合理,根据界面菜单提示,可掌握整个测量系统操作使用。该系统操作控制系统分 2 种模式:监测和实验模式。监测模式运用在长年野外监测场合,测量仪在无人干预下可长年连续监测工作。实验模式一般用在室内或野外进行土壤侵蚀试验研究,参数设定、修改灵活方便,可根据不同研究的测量需要,进行多次坡面径流泥沙含量与流量的测量。

## 4 流量测量系统的主要性能指标

通过大量的试验对 LTW—1 型全自动径流泥沙含量与流量动态测量系统严格测试,该测量系统均可达到以下性能指标:(1) 含沙量测量精度:误差小于 2% ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); (2) 径流量测量精度:误差小于 6% ( $\text{ml}/\text{s}$ ); (3) 最小采样间隔 2 s; (4) 径流泥沙测量范围 0~1 000  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; (5) 径流量测量范围 0~20 L/min; (6) 工作模式:监测模式、实验模式; (7) 系统

功率平均为 60 W; (8) 工作时间可长期连续工作; (9) 防辐安全性采用中国原子能科学研究院同位素研究所生产的 CX109G 型<sup>137</sup>Cs $\gamma$  辐射输出器。该输出器设计安全,操作方便,性能稳定,准直孔定位准确,具有防水功能。罐体表面辐射剂量小于 36 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ,离罐体 0.5 m 处辐射剂量低于 1  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ,符合国家安全标准; (10) 机架设备均采用不锈钢材或高强度有机玻璃制作而成,可适应在潮湿环境长期工作。

LTW—1 型  $\gamma$  射线法全自动径流泥沙含量与流量动态测量仪是集核技术、电子技术、机械工程技术和计算机网络通讯技术为一体的测量系统。该系统既适合于室内试验泥沙含量静态快速测量,更适合于野外试验监测小区坡面径流泥沙含量与流量的长期监测。但目前该系统还有许多不完善地方,例如机械加工精度、现场安装适应性以及野外试验条件适应性还有待进一步提高和改进,功能还需进一步扩充和完善。但是,这套系统成功研制为从事土壤侵蚀的研究工作者提供了使用便利、性能可靠的先进测试设备。促进了我国的水土保持研究工作和监测手段现代化,为水文、地理、水土保持、土壤侵蚀等科学的研究提供了可靠的、全自动化的测试手段。

### [参 考 文 献]

- [1] 方彦军,张红梅,程瑛. 含沙量测量的新进展[J]. 武汉水利电力大学学报,1999,32(3):55—57.
- [2] 雷廷武,赵军,袁建平,等. 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.
- [3] 汪志荣. 射线法测量土壤含水量[M]. 见:王文焰主编,动力水文实验研究. 西安:陕西科学技术出版社,1991. 89—97.
- [4] Tang Guoan. A research on the accuracy of digital elevation models[M], Science Press, Beijing, 2000.
- [5] Bolstad P V, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy: Elevation, Slope, and Aspect[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60(11): 1327—1332.
- [6] Carter J. The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using gridded DEMs[J]. Cartographica, 1992,29(1):22—34.
- [7] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale[J], Geographical Information Science, 1997,11(2):199—212.
- [8] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [9] 李国忠. 关于 DEM 的高程、坡度、坡向精度评估[J]. 黑龙江测绘,1996,19(2):87—89.
- [10] 汤国安. DEM 地形描述误差空间结构分析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2000,20(4):349—352.

(上接第 42 页)

(3) 从实验结果可见,TIN 的转换阈值在 2~6 m 之内转换精度较高,但实验验证当 TIN 的转换阈值小于 4 m 时,数据量过大,不利于数据处理。通过试验分析可得出,5 m TIN 生成的 Grid DEM 与 1:1 万 Grid DEM 相比,高程误差绝对值小于 3 m 的达到 92.39%;坡度误差绝对值小于 6°达到 75.98%,沟壑密度为 6.83,精度较高;并且数据量适中,处理方便。因此,在黄土丘陵地区,TIN 的空间转换阈值为 5 m 比较合理。

### [参 考 文 献]

- [1] Tang Guoan. A research on the accuracy of digital elevation models[M], Science Press, Beijing, 2000.
- [2] Bolstad P V, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy: