

# 坡面径流量与含沙量动态测量系统\*

王 辉 雷廷武 赵 军 刘清坤

**摘要】**设计了一套测量坡面径流含沙量与径流量的动态测量系统,利用C射线穿过不同介质后强度衰减不同的规律来测量含沙量,通过检测径流注入给定容器时液位由下检测点到达上检测点的时间来测定流量。实际应用结果表明,系统工作稳定,操作方便,省工省时,测量结果准确。系统不仅适合于室内土壤侵蚀试验中含沙量与径流量的测量,而且可用于野外坡面土壤侵蚀试验小区长期定点监测和其他相关试验研究。

关键词: 水土保持 径流量 含沙量 测量系统

中图分类号: X859; S126 文献标识码: A

## System for Dynamic Measurements of Hillslope Runoff Rate and Sediment Concentration

Wang Hui<sup>1</sup> Lei Tingwu<sup>2</sup> Zhao Jun<sup>3</sup> Liu Qingkun<sup>4</sup>

(1. Northwest A&F University 2. China Agricultural University

3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR 4. Shanghai Jiaotong University)

### Abstract

A system for dynamic measurements of hillslope runoff rate and sediment concentration was designed and developed. The sediment concentration is determined with C rays attenuated by the sediments, while the runoff rate is quantified by the time interval for the water to move from the lower water level sensor to the upper one, in a given container. Laboratory experiments indicated that the system is stable, reliable, convenient to operate, and lower labour and time demands, with high measurement accuracy. The system can be used not only in laboratory soil erosion studies, but also in field monitoring of runoff and sediment yield from runoff plots, as well as other researches, for runoff rate and sediment concentration determinations.

Key words Soil and water conservation, Runoff rate, Sediment concentration, Measurement system

### 引言

坡面径流含沙量和径流量是监测坡地水土流失状况的重要参数<sup>[1,2]</sup>。由于受野外现场环境特殊性和复杂性限制,目前国内外对土壤侵蚀中径流小区的产流量、产沙量一直采用人工收集径流、人工测量的方法<sup>[3,4]</sup>。该方法操作过程烦琐,费时费力,取样的代

表性不好影响测量精度,不能实现快速、连续、实时、动态测量。产流量、产沙量的实时动态测量对于研究土壤侵蚀动态过程非常重要,它可为土壤侵蚀动力过程的模拟研究、土壤侵蚀预报模型的建立提供基础资料;为监测和预报水土流失过程及水土流失治理决策提供科学依据。

本文利用核技术、电子技术、机械制造技术以及

收稿日期: 2003-06-30

\* 国家自然科学基金(项目编号: 40171062)和中国科学院引进国外杰出人才基金共同资助项目(项目编号: 982602)

王 辉 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 博士生, 712100 陕西杨凌

雷廷武 中国农业大学水利与土木工程学院 教授, 100083 北京市

赵 军 中科院水利部水土保持研究所 高级工程师, 712100 陕西杨凌

刘清坤 上海交通大学自动检测研究所 博士生, 200030 上海市

计算机应用技术研制了测量系统, 以实现对接面径流含沙量与径流量两个参数的现场快速、实时、动态、准确测量。

## 1 系统组成

坡面径流量与含沙量测量系统逻辑组成如图 1 所示。其工作过程由 5 个子系统共同完成。径流自动采样子系统用来收集一定径流, 并使之满足含沙量测量的要求; 径流量自动测量子系统是在径流自动采样子系统的硬件基础上衍生出来的子系统; 含沙量自动测量子系统用于实现径流含沙量快速、连续、实时、动态、准确测量, 从而实现整个系统的功能和价值; 数据采集、信息处理子系统对前端径流量和含沙量传感器的测量数据实时采集、保存和分析处理; 上位机管理控制子系统对系统所测量的结果进行管理, 同时对前端子系统远程控制。

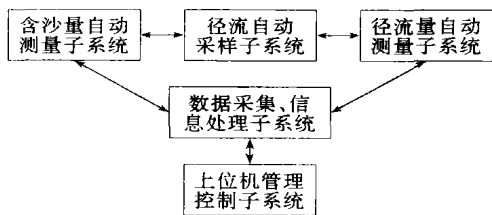


图 1 测量系统逻辑组成示意图

Fig. 1 Structure of measuring system

## 2 系统设计

### 2.1 径流自动采样子系统

要利用 C 射线连续、自动测量径流含沙量就必须保证对接流连续、自动地采样。然而, 无论是在室内人工模拟降雨, 还是在野外天然降雨, 坡面产生的地表径流流量都是随机变化的。尤其在刚刚产生地表径流时, 地表径流流量很小, 为了获取此时的径流含沙量, 需要把径流收集到容器内, 达到一定量体积才能满足用 C 射线进行测量的要求。因此, 径流自动采样是测量系统前期的重要任务, 它的采样时间、采样频率、采样的连续性、机械控制动作连贯性都将直接影响系统测量结果。为此设计了自动控制系统, 通过此系统可以实现径流连续自动采集与径流流量自动测量。

#### 2.1.1 采样系统机械结构设计

图 2 为采样系统结构示意图。采样室是用来收集径流的容器, 它是用有机玻璃板粘结而成的 80 mm × 80 mm × 150 mm 的矩形容器, 底部做成球面形状, 便于室中泥水顺畅排出, 以防止泥沙淤积在采样室底部, 同时也满足了 C 射线透射的测量要求。搅拌器由搅拌电机和搅拌杆组成。在长时间收集径

流时, 搅拌器可不断搅拌, 防止径流中的泥沙沉淀, 而且还可使采样室中的土壤团粒分散、搅拌均匀, 从而提高测量精度。径流泥水入口用于引导坡面径流进入采样室中, 入口设在底部位置是为了防止径流涌入采样室时引起液位剧烈波动, 从而减少液位控制装置误动作。溢流槽是从采样室上端侧面引出的水槽, 用于分流过大径流, 或在设备出现异常现象时, 防止径流随意溢出采样室。目前市场上所售的电控阀门均不适合高含沙量泥水的排放, 为此设计了径流电控排水装置, 它由阀门、两电磁铁牵引器、拉杆和机架等组成, 从而实现了实时电控排放采样室中泥水的功能。探针包括上液位探针、下液位探针、零位探针。在充分考虑探针灵敏性和可靠性的条件下, 探针采用耐腐蚀、导电性好、强度和刚度适宜的不锈钢材料制作, 细长棒状, 而且上、下液位探针外表做了防止水膜附粘处理。同时, 上、下液位探针采用了合理的安装方式, 如图 2 所示。这样的安装方式彻底地避免了上、下液位探针与采样室四壁间形成水膜导致错误信号和产生误动作的问题。

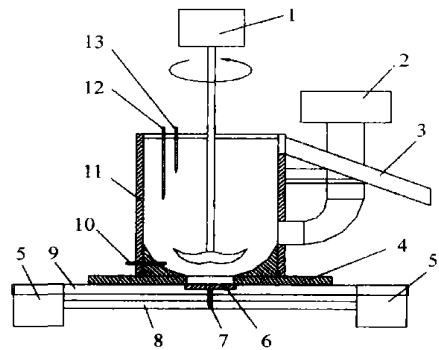


图 2 采样系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of sampling subsystem

1. 搅拌电机 2. 径流入口 3. 溢流槽 4. 不锈钢底座
5. 牵引器 6、7. 阀门 8. 拉杆 9. 机架 10. 零位探针
11. 采样室 12. 下液位探针 13. 上液位探针

#### 2.1.2 电路设计

图 3 给出了径流自动采样和径流量自动测量子系统的信号检测和控制电路原理图。系统核心部分采用 8031 单片机。其电路主要是采样室中液位检测电路, 通过上液位探针 Y1 和下液位探针 Y2 与零位探针 Y3 是否导通来检测液位状况, 并把信号传输给单片机; 另外部分电路为排水阀自动控制电路, 它是通过单片机根据检测到的液位信号进行逻辑处理做出判断, 然后向 J3 或 J4 发出关闭或打开电磁阀的信号, 进行排水或关闭动作; 最后部分电路是单片机启动搅拌电机搅拌的控制电路部分。

#### 2.1.3 采样控制系统软件设计

图 4 为径流采样与测量主控程序流程图<sup>[8]</sup>。Chki.net

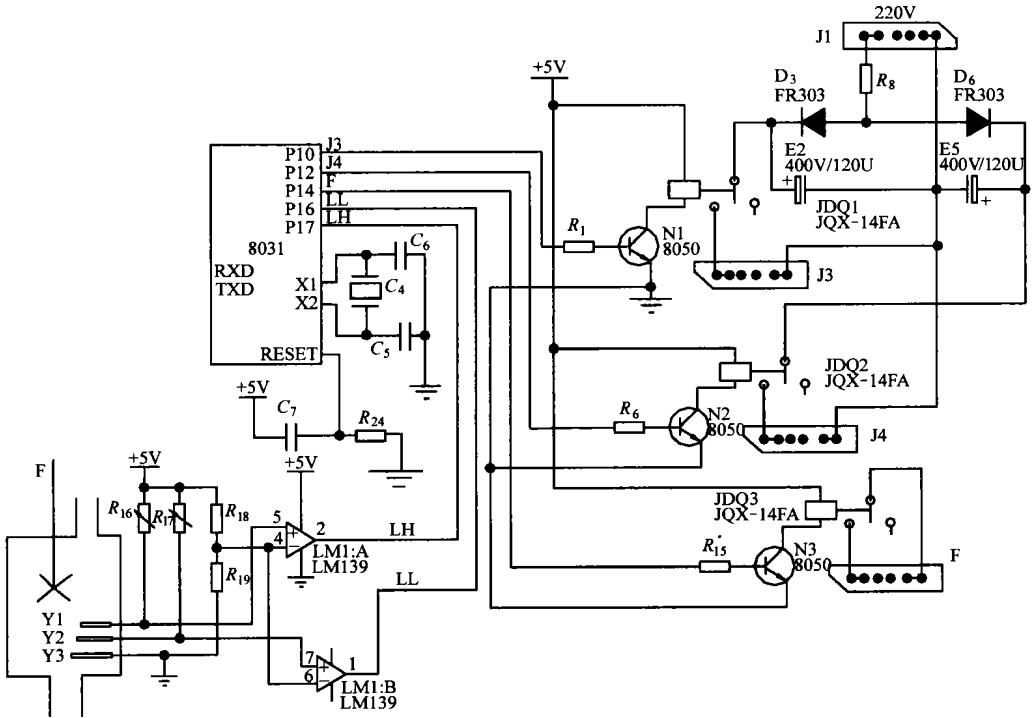


图 3 径流采样与测量电路原理图

Fig. 3 Schematic diagram of sampling and measuring circuit

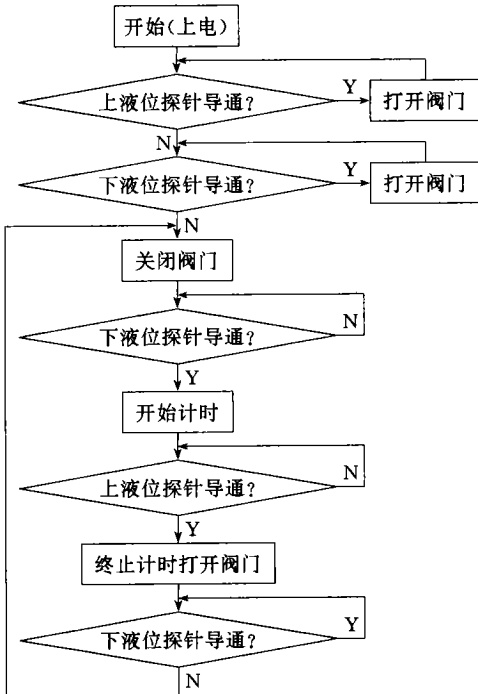


图 4 径流采样与测量主程序流程图

Fig. 4 Flow chart of main procedure to control sampling and measuring subsystems

以单片机为核心的液位检测和阀门开闭控制系统主要包括主控程序、数据采集程序以及与工控机通讯程序。程序编制采用模块化结构, 便于修改和调试。

### 2.2 坡面径流量测量子系统

坡面径流量测量原理是利用水位测量方法, 即通过测量采样室内液面从下液位上升到上液位的时间, 该两点间的体积是已知的, 从而可以计算出流量值。

微机系统和单片机系统通过串行口通讯, 实时获取数据, 通过简单数据处理即可得到相应时刻的径流量值。当流量大到一定值时, 导流槽前端进行分流处理, 同时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。

### 2.3 径流含沙量测量子系统

#### 2.3.1 径流含沙量测量原理

径流含沙量的测量原理<sup>[6-8]</sup>是利用 C 射线穿透不同浓度径流泥水后其强度衰减程度不同的规律来实现的。含沙量与 C 射线强度的相关关系可参考文献[6]。

#### 2.3.2 径流含沙量测量系统组成

径流含沙量测量系统组成如图 5 所示。含沙量测量系统包括 C 辐射输出器<sup>[9]</sup>、放射源 Cs - 137、放射源探测器、FH463A 型自动定标器、被测溶液样品、屏蔽以及测试支架组成。C 射线峰值能量为 0.661 MeV, 放射源 Cs - 137 被屏蔽在专用的 C 辐射输出器中。探测器由碘化钠闪烁晶体、光电倍增管和前置放大器组成。碘化钠晶体直径是 4 cm, 厚度 4 cm。发光持续时间为 0.25 ls, 它易于潮解, 因此被密封在不锈钢盒内。

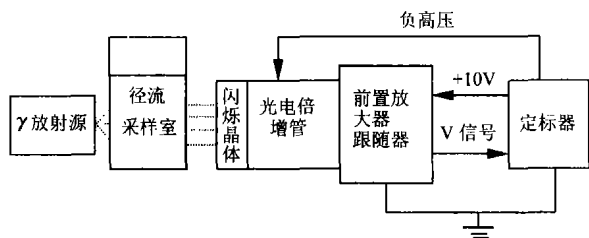


图 5 径流含沙量测量系统示意图

Fig. 5 Schematic diagram of subsystem to measure sediment concentration

## 2.4 数据采集分析子系统

数据采集处理子系统是在工业计算机系统(PC104 工控机)上开发的一套具有数据采集、存储、分析、计算以及结果显示等功能的子系统。工控机通过定标器后端上的打印端口与定标器相连接,实时获取定标器记录的射线强度值,同时也实现控制定标器开机、关闭、暂停和复位等功能。现场工控机采集到的原始数据是 C 射线强度值,通过两种处理方式把 C 射线强度值换算成相应的泥沙含量。一种是经验算法:  $Y = aX + b$ , 一种是理论算法:  $C = C_0 + \ln(I_0/I)/(LL)^{[6]}$ 。

通过上述运算对原始数据简单处理后,工控机液晶显示屏上可以实时、动态地显示出当前所测量的含沙量和径流量以及相应的时刻等内容。数据结果以 ASCII 数据形式存储,存储的数据可以用普通

软盘下载,或者通过串行口通讯与上位管理机进行数据传输。

## 2.5 上位机管理子系统

为了便于存储、分析、查询大量的测量数据,适于野外多点长期监测径流小区的坡面水土流失的情况,开发了上位机管理子系统。该系统主要是从多点监测小区获取测量数据,对获取的数据进行系统分析,实现历史数据查询,远程数据传输,根据查询到的历史数据进行相关的统计分析。例如,分析某监测小区在某时间段内土壤侵蚀量,或对监测小区的水土保持措施做出评估,或对某监测区的水土流失状况预警等。该系统部分还需要进一步开发与完善,最终将能报告水土流失量。

## 3 试验分析

该系统通过现场多次试验测试,与传统的人工测量方法进行了对比试验<sup>[10]</sup>。其结果表明该测量系统能够快速、动态地测量坡面径流泥沙含量与流量,测量精度高,测量范围广,数据分析可靠,测量结果显示、传输方便,性能稳定,操作方便,而且省时省工,节省试验费用。系统主要指标分别达到:含沙量测量误差小于 2%,流量测量误差小于 6%,径流泥沙含量测量范围  $0 \sim 1\,000 \text{ kg/m}^3$ ,流量测量范围  $0 \sim 20 \text{ L/min}$  等。

## 参 考 文 献

- 1 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素. 水土保持通报, 1981, 1(4): 13 ~ 18
- 2 李小昱, 雷廷武, 王为. 电容式传感器测量水流泥沙含量的研究. 土壤学报, 2002, 39(3): 429 ~ 435
- 3 Zobisch M A, Klingspor P, Oduor A R. The accuracy of manual runoff and sediment sampling from erosion plots. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51(3): 231
- 4 Soutani M, Tan C S, Gaynor J D, et al. Measuring and sampling surface runoff and subsurface drain outflow volume. Applied Engineering in Agriculture, 1993, 9(5): 447 ~ 450
- 5 何立民. 单片机应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.
- 6 雷廷武, 赵军, 袁建平 等. 利用 C 射线透射法测量径流含沙量及算法. 农业工程学报, 2002, 18(1): 18 ~ 21
- 7 汪志荣. C 透射法测量土壤含水量. 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
- 8 王文焰, 张建丰, 汪志荣. C 透射法在土壤水动态研究中的精度控制. 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. 98 ~ 105
- 9 Ferguson H, Gardner W H. Water content measurement in soil columns by gamma ray absorption. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1962, 26: 11 ~ 14
- 10 Lei T W, Wang H, Zhao J, et al. Automatic system for dynamical determination of sediment concentration and flow rate in runoff. Transactions of the CSAE, 2002, 18(5): 48 ~ 51