

# 全沙含量在线监测实验研究

孙超图 解建宝 李占斌

(西安理工大学·西安市·710048)

**摘要** 全沙含量在线监测是根据置换称重法的原理,通过特殊设计的传感器与微机数据采集处理系统相结合的测量方法,具有测量范围宽,适应流量下限低,测量精度不受泥沙粒度的影响,并且具有自动按时间顺序记录含沙量变化全过程的特点。是目前降雨侵蚀实验中的理想装置。

**关键词** 全沙含量 在线监测 置换称重 传感器

## Experimental Study on On-line Monitoring of Total Sediment Load

Sun Chaotu Xie Jianbao Li Zhanbin

(Xi'an University of Technology, 710048, Xi'an Municipality)

**Abstract** The principle of replacement weighting method has been used in the total sediment load monitoring. Through using the specially designed digits sensor and the computer-based digits collection system, the monitoring device has a wide sediment concentration measurement range, it can monitor and record sediment concentration processes automatically and can be used in very low runoff discharge. The observation precision of the device can't be affected by sediment partical size in runoff. The device is available for rainfall erosion experiment.

**Keywords** total sediment load; on-line monitoring; replacement weighting method; sensor

降雨侵蚀实验过程中,随着雨强和降雨历时的变化,侵蚀小区出口径流的流量及含沙量会出现随机变化,为探索径流侵蚀规律,需要对降雨全过程的径流含沙量进行连续的监测。目前广泛使用的方法仍是人工取样,置换称重法计算。这不但劳动强度大,取样次数少,漏测最大值或漏测最小值,使实验数据的置信度降低。随着降雨侵蚀研究工作的不断深入,电测法将取代人工取样。但在侵蚀实验中,由于含沙量变化幅度很大,而且泥沙组成包括了悬移质和推移质两部分,泥沙颗粒大小随下垫面和侵蚀程度的改变而随机变化,给现有电测法中含沙量测量仪的使用带来了一定的困难。同位素法、超声波法、光电法、振动法等,它们适于测量纯悬移质水流的含沙量,且测量精度受颗粒直径影响较大,要保证精度,必需在测量前根据已知颗粒直径进行标定。其次,测量时要求被测对象有一定的流量保证,如同位素低含沙量测量仪要探头距水面和池壁距离大于16cm。2N-1型振动式含沙量仪要求放入水中大于0.3m。而一般的人工降雨侵蚀实验,由于受实验小区的面积限制,最大径流量在200L/min左右。显然现有的电

测法含沙量测量仪是难以用于侵蚀径流含沙量监测之中。

本文拟介绍可用于降雨侵蚀实验用的含沙量在线监测仪的设计思想,结构特点及数值采集与数据处理。

## 1 仪器工作原理与结构

用水力学中的动量方程对一段充满水的水平直管进行受力分析表明,管中流速对垂直方向的重力无影响;而该段水平管的重力是该管水流质量的线性函数。根据这一原理设计了本仪器的核心——含沙量传感器。作为主要外围配件,还有自动采样器、信号传输放大电路,计算机数据采集与处理。

### 1.1 含沙量传感器

本传感器采用置换称重法,故无论是悬移质还是推移质,只要进入本传感器内,就可以从测出的重量而换算出对应的含沙量,传感器的结构示意图如图 1 所示。

其构成主要是:进水段、称重器、出水段、荷重传感器、连接管、支架座。进出水段与称重器采用特种薄壁不锈钢管制成,其壁厚为 0.3mm,内径为 20mm;内壁光滑,使泥沙不易产生沉积现象。进出水段与称重器应确保安装在同一水平轴线上。进水段与出水段分别由

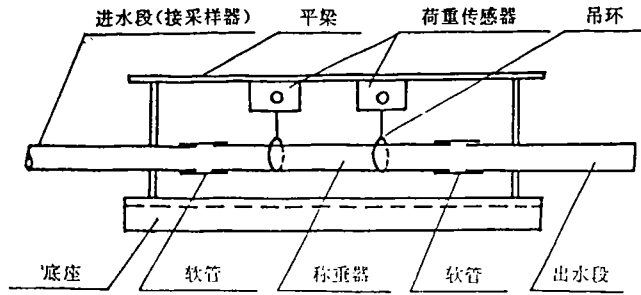


图 1 传感器结构示意图

支架固定在底座上。称重器用吊环与荷重传感器测量头相连,而荷重传感器对称地固定在上部平梁上。称重器用特制软管与进水段和出水段相连。软管套在各段的外壁上并用卡环卡紧。测量时,来自采样器的水流不断地经过进水段,流入称重器,再由出水段流出。在无气泡情况下,称重器中水流的含沙量用下式表示:

$$S = \gamma_s(W_h - W_g) / V(\gamma_s - \gamma_g) \quad (1)$$

其中  $W_g = \varphi(U_0)$   $W_h = \varphi(U_h)$ , 故有下式

$$S = \gamma_s[\varphi(U_h) - \varphi(U_0)] / [V \cdot (\gamma_s - \gamma_g)] \quad (2)$$

式中:  $\gamma_s$ ——泥沙重度;  $\gamma_g$ ——清水重度;  $V$ ——称重器体积;  $W_g$ ——称重器体积充满清水时的重量;  $W_h$ ——称重器体积充满浑水时的重量;  $U_0$ ——充满清水时的输出电压;  $U_h$ ——充满某含沙浑水时的输出电压;

(2)式表明,只要测出  $U_h$  信号,用微机即可算出沙量  $S$ 。为了保证测量精度,要在以下方面采取技术措施:

1.1.1 荷重传感器的选择 除考虑一般的精度、线性、温度特性、蠕变及零点时飘外,要求荷重传感器加载后,其测量头部分的位移形变要尽量小,以免影响称重器与进出水段的轴线对中。其次要求荷重传感器还能承受一定的侧向力,而不会影响荷重传感器的输出。考虑以上因素,选用了应变式荷重传感器,其量程为 160KN,该传感器分辨率可达到 0.1g,其满量程时最大位移为 0.5mm。

1.1.2 进水段、出水段及称重器的设计 三者均选直径为 20mm 不锈钢管,以适应实验

小区径流量的下限范围。出水段的长度在保证称重器充满与保持水流平稳前提下,尽量短,约为管径的 10 倍,同时也避免了连接软管处承受大的静压力,也可减短整个仪器的长度。进水段的长度也是在保障称重器中的水流态平稳前提下采用 200mm 长度。称重器的体积直接影响测量的精度。因为含沙量传感器的分辨率与称重器的容重成反比,所以称重器长度应按希望达到的分辨律进行选择。现选为 80cm。

1.1.3 连接软管 这是一个关键部件,它将称重器与进水段,与出水段分别连接起来,使水流顺利的通过。但水流通过接缝处,会给称重器一定的影响,而且称重器在荷载后下垂,连接软管就会受到拉力,所以选择一种弹性很好、强度较高的软橡胶管是很重要的,经过多种材料的试验,加之称重传感器头在加载后的变形位移又很少,经实验实测,软橡胶管变形对称重产生的影响可以忽略。

1.2 自动采样器

自动采样器是用于从径流中连续取出满足含沙量传感器测量要求的水样,并保证所取得的水样与总径流中的含沙量相同,有高的代表性与置信度。自动采样器的结构如图 2。

溢流式搅拌器为一圆桶,上下密封,在三个不同方位,不同高度上设有进水口,溢流口、取样口。进水口直接连接于侵蚀实验小区出口。取样口经进水槽和过度段与消气桶相连。搅拌电机装在上部,搅拌架结构如图 3。

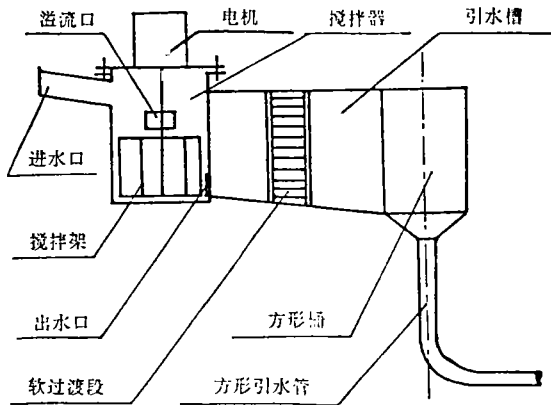


图 2 自动采样器的结构

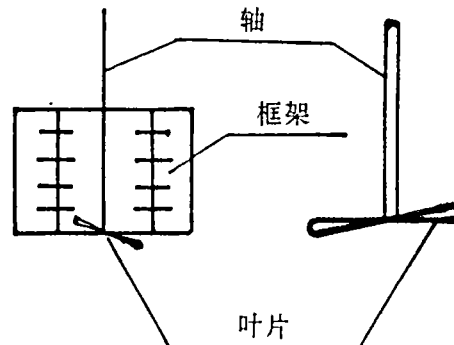


图 3 搅拌器的结构

搅拌器的特点是:(1)当含有推移质和悬移质,甚至较大的土块浑水流入搅拌器后,被叶片破碎搅匀,由于底部叶片的作用,泥沙不会沉积。(2)进水口高,取样口低,加之搅拌架的搅动,使水流保持先进入的先流出的正确时序。(3)当径流量小时,水流全部从取水口流入消气桶,再进入含沙量传感器。而径流量大时,搅拌器的水位高于溢流口时,产生溢流,以保障消气桶的水位为一恒定高度。为了证实采样器的代表性,从溢流口与取水口同时人工采样,实测两样的含沙量如表 1。

表 1 溢流口和取样口含沙量对照表

序号	溢流口	取样口	序号	溢流口	取样口	序号	溢流口	取样口
1	67.6	66.5	5	276.0	278.0	8	679.0	686.9
2	95.0	94.5	6	398.0	401.5	9	864.5	870.0
3	150.3	152.0	7	529.0	531.0	10	910.0	914.5
4	204.0	200.0						

从表 1 知,最大相对误差为 2%。

消气桶是自动采样器和含沙量传感器之间的连接中转部分。它的作用是向含沙量传感器提供一定的流速水头。并阻止气泡进入含沙量传感器。消气桶由方形桶、方形引水管及渐变段三部分组成。采用方形的目的是为了防止产生旋涡,以免气泡随旋涡一同进入含沙量传感器。当消气桶中水位在渐变段以上时,试验表明气泡不会进入含沙量传感器。

### 1.3 放大电路

因含沙量传感器中的荷重传感器输出的信号电压为微伏数量级,为防止噪声干扰与零点飘移,本放大电路采用了“直—交—直”放大系统,荷重传感器供电电源采用了高精度带补偿的恒流电源供电。供电电流为 10mA。信号传输线采用双绞金属屏蔽线,供电变压器采用多层隔离屏蔽,以提高抗干扰能力。放大电路原理框图如图 4。

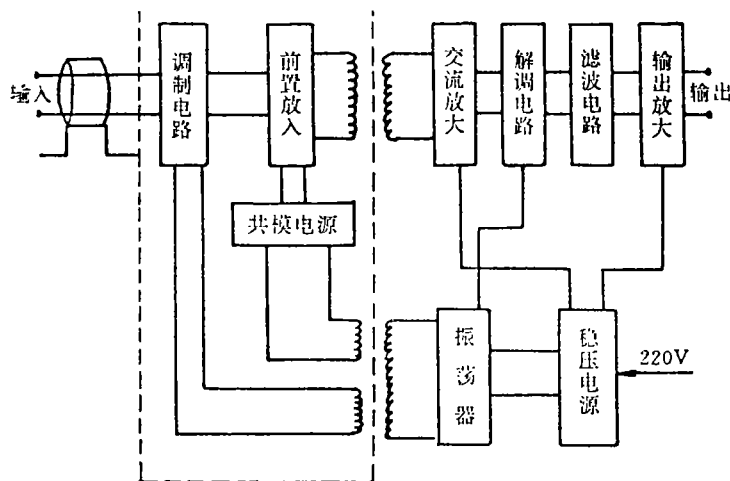


图 4 放大电路原理框图

## 2 数据采集与处理

含沙量在线监测仪中,选用了一台 286 微机且微机中插有一块 A/D 卡。微机通过 A/D 卡对放大电路输出的与含沙量成比例的电压信号进行数据采集与处理,最后以表格方式与变化趋势图方式进行输出与显示。

为了进一步消除随机干扰,采用中值滤波法对采来的数据进行处理。中值数值滤波方法的要点如下:

在侵蚀实验提出的采集时间间隔内高速采集 32 次,对 32 次值排序,剔除最大和最小值,求 30 次的代数和,求 30 次的平均值  $U_k$ ,该  $U_k$  值为这一个间隔的采集值。

由于传感器本身、放大电路等都会引入非线性因素。本实验在分析基础上,采用曲线拟合法进行第二次处理。曲线拟合的方法如下:在含沙量传感器中连续地通过清水,然后在称重容器的上方加法码,并记录对应的电压值  $U_k$ ,该电压值与称重容器的重量  $W_k$  相对应。利用最小二乘法,对所测的电压值进行曲线拟合(计算程序略)。求得函数  $W_k = \varphi(U_k)$  为:

$$W_k = -51.02345 + 3.565972 \times 10^{-2}U_k + 6.55327 \times 10^{-9}U_k^2 + \dots$$

舍去  $U_k^2$  与  $U_k^3$  等高次项后有:

$$W_k = -51.02345 + 3.565972 \times 10^{-2}U_k = \varphi(U_k) \quad (3)$$

式(3)代入式(2)有:

$$S = \gamma_s [\varphi(U_h) - \varphi(U_0)] / [V \cdot (\gamma_s - \gamma_g)] \\ = 3.56597 \times 10^{-2} (U_h - U_0) \gamma_s / [V \cdot (\gamma_s - \gamma_g)] \quad (4)$$

将公式写入到微机监测程序内,随着不同的电压值  $U_h$ ,对应输出一个含沙量  $S$ 。将不同时间的  $S$  值连续地按时间存入数组  $A$  中。微机将数组  $A$  的值写成表格,同时也可描绘出含沙量随时间变化的趋势图。

### 3 性能标定

采用实验分析法对本含沙量在线监测仪进行对比试测以标定仪器的性能。方法如下:在实验小区上端将配好的泥沙浑水连续放下,该浑水连续地通过该仪器,仪器上显示出含沙量数值  $S$ 。同时用人工采样,用称重置换法测出含沙量  $S_1$ 。改变不同的泥沙浑水。进行多次实验。得出表2结果。

表2 含沙量对比测试结果表

次数	取样测量值 (kg/m <sup>3</sup> )	仪器测值 (kg/m <sup>3</sup> )	相对误差 (%)	次数	取样测量值 (kg/m <sup>3</sup> )	仪器测值 (kg/m <sup>3</sup> )	相对误差 (%)
1	34.80	36.48	4.82	14	307.20	309.17	0.64
2	72.40	69.68	3.7	15	516.80	536.56	3.82
3	115.20	116.08	1.08	16	460.80	478.60	3.86
4	144.80	138.05	4.6	17	512.00	492.20	3.86
5	153.60	158.13	2.87	18	580.80	601.40	3.54
6	176.00	171.62	2.55	19	606.40	627.48	3.36
7	177.60	172.93	2.62	20	696.00	681.60	2.11
8	182.40	189.14	3.56	21	689.60	708.23	2.63
9	227.20	235.29	3.44	22	736.00	719.33	2.32
10	248.80	237.85	4.27	23	819.20	843.56	2.89
11	233.60	243.30	3.98	24	883.20	871.32	1.36
12	256.00	267.67	4.35	25	986.60	970.20	1.66
13	256.60	269.59	4.80				

注:1.含沙量测量范围0~1000kg/m<sup>3</sup>;2.测量误差<5%。

### 4 结 语

(1)含沙量在线监测仪建立在置换称重法之上。内壁光滑的不锈钢管做的称重容器、荷重传感器,连接软管是核心部件。

(2)高质量放大电路、采集信号的中值滤波、线性回归计算提高测量精度。

(3)采集值的记忆存储、按时间顺序显示结果,打印机打印结果,不仅减轻了降雨侵蚀实验中人员的劳动强度,而且可避免差错,更重要的是可以记录产汇流中,含沙量随时间的变化关系。

(4)搅拌溢流式采样器保证了采样的代表性与时序性。

本实验结果表明,基于称重置换法的含沙量在线自动监测仪,不受泥沙颗粒与流速的影响,可测范围大,是人工降雨侵蚀实验研究中的有力工具,也为测高含沙和测全沙含量及连续自动监测开辟新的途径。

## 参 考 文 献

- 1 程道喜等. 传感器的信号处理与接口. 北京: 科学出版社, 1989.
- 2 范荣生, 李占斌. 一种用于土壤侵蚀试验的人工降雨装置. 水土保持学报, 1991, 7
- 3 谢剑英. 微型计算机控制技术. 北京: 国防出版社, 1985.

(上接第 5 页)

在许多经济指标上可与沿海地区比美。但陕南、陕北经济水平相当落后, 土壤瘠薄, 水土流失严重, 加之这些地区还存在着严重的依赖思想和对扶贫资金的挪用行为, 在相当程度上对全省经济发展产生严重的阻碍作用, 因此, 要解决我省农业经济发展缓慢问题, 提高农业经济的发展水平, 就必须在努力提高关中经济发展水平的同时, 积极开发陕南、陕北, 扭转长期以来不平衡发展的状况, 弱化不利因素, 增强其对全省经济增长的支持作用, 以提高陕西农业经济发展的整体水平。

五是思想保守是农村经济发育迟缓的内在因素, 由于陕西地处内陆, 受传统观念的影响, 满足于自给自足, 求稳怕乱的思想比较严重, 制约着人们在推动经济发展过程中的能量释放强度, 大大降低了社会经济结构功能, 不能有效地沟通商品信息与观念的渗透与交流。由于满足现状, 过多的计较个人得失多少的小农经济思想, 失去了主动参与发展经济的内在冲劲, 由此制约了农村经济的发展进程。

六是政府职能弱化严重制约着农村经济的高效有序发展。虽然 80 年代以来, 我省各级政府机构围绕市场经济做了很大的调整, 但步伐还偏慢, 跟不上市场经济发展的要求。目前在一些基层政府, 仍然沿用传统做法, 依靠行政命令落实生产计划, 而不是按照市场经济原则, 配置资源, 布局生产, 其结果往往形成经济损失, 造成经济发展的障碍, 特别是产前, 产中, 产后服务跟不上, 致使农民的正常利益得不到有效的保护。严重障碍农村经济的发展, 而这些都是由于政府职能弱化和不到位所致。因此, 在今后发展市场经济时, 必须从宏观决策, 管理服务, 信息指导等方面予以充分的重视。