

电容式水流泥沙含量传感器自校准技术的研究*

李小昱^{1,2}, 雷廷武^{1,3}, 王 为^{1,2}, 赵 军¹

(1 中国科学院水利部西北水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;
西北农林科技大学)

2 华中农业大学 工程技术学院, 湖北 武汉 430070; 3 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

[摘 要] 采用电容式传感器研究了测量水流泥沙含量的自校准技术。结果表明, 水流泥沙含量与传感器的输出呈线性, 可采用实时标定的自校零与自校准技术; 将传感器与微型计算机结合起来, 在智能化软件的引导下, 可自动校正因零位漂移、灵敏度漂移而引入的系统误差和可变误差。

[关键词] 电容传感器; 含沙量; 自校零; 自校准

[中图分类号] TP212 02+2

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)03-0099-03

在土壤侵蚀研究与水土流失治理中, 测量水流中的泥沙含量具有重要意义。它可为土壤侵蚀动力过程的模拟与研究及土壤侵蚀预报模型的建立等提供基础资料, 为监测和预报水土流失过程, 及时准确地控制水土流失提供科学依据。

长期以来, 国内外测定水流泥沙含量普遍采用传统的“烘干称重法”^[1]。这种方法不仅测量周期长, 检测过程繁琐, 劳动强度大, 而且不能很好地检测水流的动态过程。笔者曾用自行研制的电容式传感器(专利号: ZL 00226706 3)测量水流泥沙含量, 结果表明, 这一方法具有可行性^[2]。

本研究将传感器与微型计算机结合起来, 在智能化软件的引导下实时进行自校零和自校准, 使测量系统的固定系统误差与某些干扰因素所引起的可变系统误差得以排除, 从而提高了测量系统的精度与稳定性。因此, 不必再为使测量系统中的每一个测量环节都具有高精度与高重复性、高稳定性而耗费精力, 采用低精度、低重复性、低稳定性的测量系统而获得高精度的测量结果^[3]。

1 基本理论^[4]

传感器系统经标定实验得到的静态输出 y 与输入 x 的特性如下:

$$y = a_0 + a_1x, \quad (1)$$

式中, a_0 为零位值, 即 $x = 0$ 时的输出值; a_1 为灵敏度, 又称传感器系统的转换增益。

对于一个理想的传感器系统, a_0 与 a_1 应为恒定

不变的常量。但实际上, 由于各种内在和外来因素的影响, a_0, a_1 都不可能保持恒定不变。设 $a_0 = A + \Delta a_0$, 其中 A 为零位值的恒定部分, Δa_0 为变化量; 又设 $a_1 = S + \Delta a_1$, 其中 S 为增益的恒定部分, Δa_1 为变化量, 则

$$y = (A + \Delta a_0) + (S + \Delta a_1)x, \quad (2)$$

式中, Δa_0 为零位漂移; Δa_1 为灵敏度漂移。

由(2)式可见, 零位漂移会引入零位误差, 灵敏度漂移则会引入测量误差 Δa_1x 。

传统的传感器技术一直追求高质量、高精度, 以期将 Δa_0 与 Δa_1 控制在某一限度内, 但这需要以高成本作为代价。

将传感器与微型计算机结合, 能够自动校正因零位漂移和灵敏度漂移而引入的误差。该方法要求被校系统的输出、输入特性呈线性, 即具有(1)式线性方程所描述的特性。这样仅需2个标准值(其中1个是零点标准值)就能完善标定测量系统。自校准功能实现的原理框图如图1所示。它在实时校准(又称实时标定)的基础上, 采用校零、标定、测量的三步测量法。测量系统的灵敏度 a_1 按下式计算:

$$a_1 = S + \Delta a_1 = \frac{y_R - y_0}{x_R}, \quad (3)$$

被测目标参量, 即泥沙含量 x 为

$$x = \frac{y_x - y_0}{a_1} = \frac{y_x - y_0}{y_R - y_0} x_{R0}. \quad (4)$$

式中, y_x 为泥沙含量 x 等于输入量时传感器的输出值; y_R 表示标准泥沙含量 x_R 为输入量时的输出值;

* [收稿日期] 2001-09-13

[基金项目] 中国科学院“引进国外杰出人才”项目(982602); 中国科学院、水利部西北水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室项目(10501-92); 西北农林科技大学科研专项资助项目(0808)

[作者简介] 李小昱(1953-), 女, 河南叶县人, 教授, 主要从事智能化检测与监控技术、机械设计及理论的教学与研究。

y_0 表示零点标准值 (x_0 泥沙含量为 0 时) 为输入量时的输出值。

整个测量系统的精度由标准值的精度来决定, 只要求被校系统的各环节在三步测量所需时间内保持短暂稳定, 在此之外产生的零点、灵敏度时间漂移、温度漂移等都不会引入误差。这种实时在线自校准功能, 可以采用低精度的传感器、放大器、A/D 转换器等环节达到高精度的测量结果。

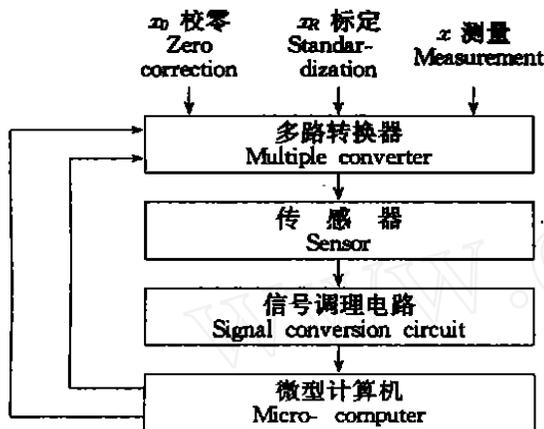


图1 测量系统实现自校准功能原理框图
Fig. 1 The merger diagram of measuring system for self-correcting

2 实现自校准的软件

将校零、标定、测量的整个过程编制成软件, 其程序框图见图 2。

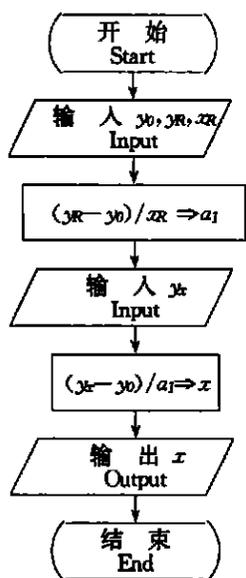


图2 自校准流程图
Fig. 2 Flow chart of self-correcting

3 材料与方方法

被测试土样为采自陕西省安塞地区的黄绵土。将土样与水配制为 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600,

700, 800 kg/m^3 的混合物^[5], 分别在 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 下研究泥沙含量与电容式传感器响应特性间的关系, 每试验重复 5 次。

4 结果与分析

测量系统经标定试验得到的静态输出 y (电容传感器输出值, mV) 和输入 x (泥沙含量, kg/m^3) 的特性见表 1。由表 1 可知, 在 0~ 45 下, 泥沙含量与电容传感器的关系为线性, 经检验极显著。可用自校准方法来提高测量精度。

表 1 不同温度下泥沙含量与电容传感器输出的关系
Table 1 The relationship of sediment concentration to the output of capacitance sensor under different temperature

温度/ Temperature	回归方程 Regression equation	F	R^2
0	$y = 1\ 027\ 244 + 0\ 456x$	724 93	0 989
5	$y = 1\ 073\ 556 + 0\ 600x$	9 096 26	0 998
10	$y = 1\ 112\ 178 + 0\ 626x$	6 398 49	0 998
15	$y = 1\ 131\ 933 + 0\ 714x$	2 637 57	0 997
20	$y = 1\ 151\ 778 + 0\ 833x$	8 516 06	0 998
25	$y = 1\ 165\ 933 + 0\ 914x$	13 872 26	0 998
30	$y = 1\ 205\ 844 + 0\ 976x$	11 435 45	0 998
35	$y = 1\ 217\ 778 + 1\ 098x$	16 329 36	0 998
40	$y = 1\ 242\ 533 + 1\ 226x$	13 599 14	0 998
45	$y = 1\ 277\ 956 + 1\ 296x$	48 865 57	0 998

注: $F_{0.01}(1, 8) = 11.26, R_{0.01}(8) = 0.765$,

Note: $F_{0.01}(1, 8) = 11.26, R_{0.01}(8) = 0.765$

当温度为 30 时, 用配制的 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 kg/m^3 标准混合物来验证该自校准方法, 其静态标定值与现场实测值见表 2。

表 2 电容传感器静态标定值与实测值
Table 2 Static standardization and measuring values of capacitance sensor

标准泥沙含量 (x_R) / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) Standard sediment concentration	静态标定值 (y_R) / mV Static standardization	实测值 (y_x) / mV Measuring values
0	1 202	1 198
100	1 313	1 300
200	1 400	1 400
300	1 488	1 498
400	1 601	1 601
500	1 699	1 704
600	1 783	1 804
700	1 892	1 905
800	1 987	2 010

由表 1 和表 2 可知, 当温度为 30 时, 泥沙含量与电容传感器输出的回归方程为

$$y = 1\ 205\ 844 + 0\ 976x,$$

不用自校准方法所得的泥沙含量:

$$x = \frac{y_x - 1\ 205\ 844}{0\ 976} \quad (5)$$

当用自校准方法时, 若 $x_0 = 0, y_0 = 1\ 198\ \text{mV}$, $x_R = 500\ \text{kg}/\text{m}^3$ 时, $y_R = 1\ 704\ \text{mV}$ 。

泥沙含量

将表 2 的数据分别代入(5)、(6)式, 得到通常所用方法与采用自校准方法的测量结果, 见表 3。

$$x = \frac{y_x - y_0}{y_R - y_0} \quad x_R = \frac{y_x - 1198}{1704 - 1198} \times 500 \quad (6)$$

表 3 两种测量方法的测量结果

Table 3 The values of two measuring methods

标准泥沙含量(x _R) Standard sediment concentration	非自校准(x) Nonself-correcting	自校准(x) Self-correcting	非自校准误差 Nonself-correcting errors	自校准误差 Self-correcting errors
0	- 8.2	0	- 8.2	0
100	96.3	100.8	- 3.7	+ 0.8
200	198.8	199.6	- 1.2	- 0.4
300	298.2	298.4	- 1.8	- 1.6
400	404.7	398.2	+ 4.7	- 1.8
500	510.2	500.0	+ 10.2	0
600	612.7	598.9	+ 12.7	- 1.1
700	716.2	698.6	+ 16.2	- 1.4
800	823.8	802.4	+ 23.8	+ 2.4

由表 3 可以看出, 采用自校准方法后, 其测量精度显著提高, 在实测中仅需采用 2 个标准值的三步测量法即可, 其中 1 个零点标准值为清水, 另 1 个标准值本研究中取 x_R = 500 kg/m³。在工程实用中很方便。

将传感器与微型计算机结合起来, 在智能化软件的引导下实时进行自校零和自校准, 以自动校正因零位漂移、灵敏度漂移而引入的系统误差和干扰因素所致的可变误差, 这样可使用低精度的测量系统获得高精度的测量结果。

5 结 论

被测目标参量泥沙含量与电容传感器的输出呈线性, 可采用实时标定的自校零和自校准方法来提高系统的测量精确度。

本试验结果表明, 实时标定的自校零和自校准方法可显著提高系统的测量精确度, 这为水流泥沙含量的准确、快速、在线测量提供了一种有效的方法。

[参考文献]

- [1] 方彦军, 张红梅, 程 瑛 含沙量的新进展[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(3): 55- 57.
- [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[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 36- 42.
- [3] 藤召胜, 罗隆禧, 童调生, 等. 智能化检测系统与数据融合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000 1- 8.
- [4] 刘君华. 智能传感器系统[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999. 197- 209.
- [5] 杜榕桓. 泥石流研究及治理[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

Research on the capacitance sensor self-correcting technique for measuring sediment concentration in the flow water

LIXiao-yu^{1,2}, LEITing-wu^{1,3}, WANGWei^{1,2}, ZHAO Jun¹

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3 College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: By adapting the capacitance sensor, a self-correcting technique for measuring sediment concentration in the flow water has been studied. The experimental results showed that the sediment concentration in the flow of water is in line with output of capacitance sensor. Using the zeroing & self-correcting technique, standardization, and combining the capacitance sensor with micro-computer under the software leading, it can be self-corrected the systematic errors & indeterminate errors produced from the drift of zeroing & sensitivity.

Key words: capacitance sensor; sediment concentration; zeroing; self-correcting