

电子蒸发计研制报告*

赵 报 永

(气象科学研究院)

提 要

本文着重介绍用超声脉冲法,设计的一种电子袖珍仪器,用于蒸发和水位观测的数字显示。对本机原理、计算测量电路及试验结果作了探讨和分析,并讨论了蒸发观测现状及其自动化方面的有关问题。

一、引言

蒸发是水文、气象学的观测要素之一。目前直接测量蒸发的仪器有多种,由于蒸发受多方面因素的影响,各种仪器的观测结果均有差异。我国的水面蒸发观测,通常是以标尺、测针、专用量杯或称重等方法,测量一定容器内水面高度及间隔一定时间的变化,用以表示该时间内的蒸发量。这种观测方式,因手工操作,不便于测量,且人为误差较大。E601型蒸发器,使用测针观测,由于近地面作业,操作不便,虽有《观测规范》的约束,但在操作方法上,却因人而异,造成更大的误差。尤其是遇上风雨天,因水面波动,测针尖接触水面时断时续,以至使测读发生困难。

近年来,在气象业务现代化迅速发展的形势下,观测人员普遍呼吁观测自动化,曾多次反映要求改善现有水面蒸发观测状况。为了改善蒸发的观测现状,我们研制了袖珍式电子蒸发计。经过长期检测和试验,结果表明,本机配用原器口面积为 3000cm^2 的蒸发水桶进行水面蒸发观测是可行的。

本机用超声波脉冲法,实现测量水面相对高度值的数字显示。整机电路,绝大部分使用CMOS集成电路设计,具有低功耗(用9V电池组合电源,按日蒸发量观测,可用一年)、体积小($40\times 86\times 177\text{mm}$)、携带方便

等特点。电路内具有BCD码输出,可供打印和记录。本机还可配在其它有关的系统上供自动测量水位使用。

二、工作原理

图1为电子蒸发计示意图。将水面传感器设置在蒸发桶壁的内侧或外侧,用连通管把蒸发桶和水面传感器沟通。在水面传感器的底部安装超声波压电陶瓷换能器,即探头。用电缆把探头同计测电路连接起来。

由计测电路产生电脉冲,并加到超声波换能器上;换能器把电脉冲变换为超声脉冲,向水中发射,并往水面方向传播,传至水面时发生反射,返回的超声脉冲又被换能器接收,转变为电脉冲,送到计测电路。

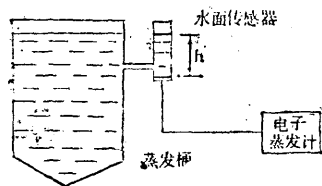


图1 电子蒸发计示意图

设 h 为探头的发射面至水面之间的高度, t 为超声脉冲波往返于水高 h 的时间, c 为水中声速。它们之间有如下关系式:

$$h = \frac{1}{2}ct \quad (1)$$

* 研究过程中,裴步祥等同志给予了协助并提供了有关信息,在此致谢。

设 $h_0 = 0.1\text{mm}$ 水高, c_0 为某一水温下的声速, 则由 (1) 式得时标公式如下:

$$t_0 = \frac{2h_0}{c_0} \quad (2)$$

这样, 每一个时标 t_0 都代表了 0.1mm 的水高, 时间 t 由时标 t_0 度量的结果表示:

$$t = mt_0 \quad (3)$$

式中 m 便是以 0.1mm 水高为单位的总的水面高度的 h 值。

为了降低电路的工作速度, 以便在电路设计上选用 CMOS 集成电路, 于是将时标 t_0 扩大 a 倍, 并固定 t_1 为时间标志, 则时标公式为:

$$t_1 = at_0 \quad (4)$$

这时被度量的时间 t 也应扩大 a 倍, 方可保持 (3) 式的关系, 即:

$$at = mt_1 \quad (5)$$

另一方面, 为了保证应有的测量精度, 必须考虑水中声速的变化, 亦即必须进行温度补偿。设 dc 为温度改变时水中声速的增量, 这时声速表示为下式:

$$c = c_0 + dc \quad (6)$$

在这种情况下, 为了用时标 t_1 来度量时间 t 所得到的结果, 仍以 0.1mm (水高) 为单位, 这就需要将时间 t 乘以系数 b ; b 是声速 c 的函数:

$$b = f(c) \quad (7)$$

令 $K = ab$, 则 (5) 式变为:

$$Kt = mt_1 \quad (8)$$

显然, 式中 m 仍然是以 0.1mm (水高) 为单位的实际水面高度 h 的值, 这时 h 值是考虑了水温变化后的实际水面高度值。

以上是运用时间放大措施, 降低电路的工作速度和进行温度补偿的原理。而实际上的观测操作却是相当简便的, 只需调整读数显示为校正值, 随后按动按钮, 便可显示出欲测的水面高度值。

三、计测框图

图 2 为电子蒸发计方框图。由主振产生

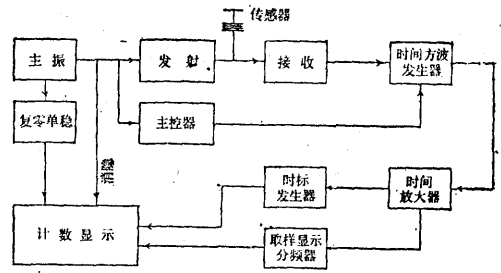


图 2 电子蒸发计框图

的方波来决定测量的周期。每次测量时, 首先由主控器输出的方波将时间方波发生器复原, 并由发射电路产生发射脉冲, 加到超声波换能器上。换能器一方面将电脉冲变换为超声脉冲波, 另一方面又将反射的超声脉冲波变换为电脉冲, 并加到接收放大器上。被放大后的电脉冲作用于时间方波发生器, 从而产生脉冲宽度为 t 的时间方波。时间 t 便相当于超声脉冲波往返于水面高度 h 的时间。由时间放大器将时间 t 放大 K 倍, 然后去控制时标发生器, 使它在时间 Kt 内, 产生时标 t_1 , 随后再将时标脉冲送到计数器, 最后由显示器显示出被测水面的高度值 m 来。

时间方波发生器在主控器的作用下, 复原为低电平 (见图 3)。

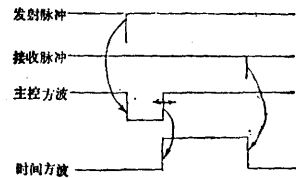


图 3 时间方波与高低电平

主控器的设计, 保证了在主控脉冲作用时间内, 不允许时间方波发生器翻转为高电平, 这就保证了只能是第一个接收脉冲的前沿起作用, 从而使时间测量不受其它脉冲或杂波的干扰。因此做到了测时的可靠性。此外, 在调试过程中, 利用主控器可进行起点调

节,以便调定校正读数。

为了在观测时稳定读数,专门设计了取样显示分频器。为了减少能耗,设计了消隐电路,在取样显示的短时间内,有一半的时间是使数码管处于消隐的状态。实验证明,消隐后,亮度稳定,不影响测读。

四、试验数据与误差分析

1. 对比试验

(1) 两台电子蒸发计分别为 861 号机和 862 号机;原 E601 型蒸发器测针和本机的水面传感器,均置于器口面积为 3000cm^2 的蒸发桶之外;减水时间间隔为 2 分钟以上,均取模拟蒸发量。

试验方式分为两种。其一是有 5 级模拟吹风水面波动情况下的观测;其二是无风水面平静情况下的观测。模拟蒸发量的数据列于表 1。

表 1 (单位:mm)

有风波动水面蒸发量			无风平静水面蒸发量		
861号	862号	E601	861号	862号	E601
2.4	2.4	2.3	0.5	0.4	0.0
2.1	2.2	2.9	0.2	0.2	0.8
1.3	1.3	0.8	0.3	0.4	0.0
1.8	1.7	1.9	0.2	0.2	0.5
1.3	1.4	1.1	0.2	0.1	0.0
1.7	1.7	1.8	0.2	0.2	0.0
1.5	1.5	2.3	2.3	2.3	2.2
0.7	0.8	0.5	2.5	2.6	2.8
2.2	2.1	2.0	2.8	2.7	3.0
0.9	0.9	0.7	2.5	2.5	2.5
1.5	1.5	1.1	2.6	2.7	3.5
1.9	1.9	2.1	2.6	2.6	3.0
1.5	1.5	1.6	2.6	2.5	2.0
1.9	2.0	1.8	2.7	2.6	1.8
2.5	2.5	3.1	2.1	2.2	2.7
2.6	2.5	2.1	2.6	2.5	2.3
2.2	2.2	2.2	2.7	2.5	2.8
1.7	1.5	1.7	0.2	0.3	0.5
1.5	1.5	0.7	0.3	0.2	0.0
1.7	1.7	3.1	0.2	0.2	0.6

(2) 观测结果对比分析

①在有风吹水面情况下,两台电子蒸发

计的观测数据,每次误差保持在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内,说明两机的计测精度相同。它们同测针的观测数据相差很大,最大已超出 1mm 水面高度。

②水面波动较大时,测针尖接触水面时断时续,只能在断续的平均状态下测读,因此测读误差较大。而在这种情况下,两台电子蒸发计的显示数却相当稳定。

③在水面静止的情况下观测,两台电子蒸发计的观测数据基本相同(具有 $\pm 0.1\text{mm}$ 误差)。而此时测针的观测数据的误差却较大,多次出现观测值为 0 的情况,即模拟蒸发量较小时,用测针观测不出数据来。说明测针的观测误差较大(误差大于 0.5mm 水高)。

2. 用称重折算水面增高的试验

水面传感器的截面积为 $S \approx 21\text{cm}^2$;天平感量为 0.5g ;水增量为 $\Delta P(\text{g})$;折合水面增高为: $\Delta h \approx \Delta P/S\text{mm}$ 。观测数据见表 2。

表 2 (单位:mm)

h_z	4.8	9.5	14.3	19.0	23.8	28.6	33.3	38.1	42.9	47.6
h_D	4.9	9.8	14.8	19.6	24.4	29.1	33.6	38.2	42.7	47.0

h_z 为加 10g 水后折合水面递增的高度, h_D 为电子蒸发计显示的水面高度

3. 误差分析

(1) 每次加水由于天平感量误差带来的高度计算误差为:

$$\Delta h = 0.2 \text{ (mm水高)}$$

根据测试情况,误差计算应按方和根误差合成法^[1],故有如下公式:

$$\Delta h_z = \pm \sqrt{\sum_{j=1}^n \Delta h_j^2} \quad (9)$$

式中, Δh_z 为总的加水后带来的水面高度误差, Δh_j 为每次称重误差折合的水面高度误差。

$n = 10 \quad \Delta h_j = \Delta h = 0.2$ (mm水高)

代入(9)式计算得:

$$\Delta h_z \approx 0.63 \text{ (mm水高)}$$

即由于天平感量误差带来的合成误差为0.63mm水高。

(2) 每次加水损失和水面传感器内径的加工误差两者共估计为0.1mm(水高), 根据(9)式计算方和根误差为0.32mm(水高)。

(3) 电子蒸发计每次测量误差估计为0.1mm(水高)。总的测量误差按(9)式计算方和根误差为0.32mm(水高)。

总之, 根据以上误差分析看出, 两实测数据, 符合方和根误差合成的计算结果。

五、讨论

有关蒸发的理论和实验指出, 受蒸发观测器周围环境条件和气象条件的影响, 蒸发观测器本身的几何形状和尺寸大小, 以及它的容水量多少等都直接影响被观测的蒸发量。因此, 在有关的《观测规范》中, 对各种蒸发器都有比较严格的规定。

目前, 直接测量蒸发的全自动化仪器很少见, 其原因主要是, 蒸发观测需要固定蒸发桶内的水量, 而作为水量自动调节的水路设计和自控电路较为复杂, 从经济上和耐久性等方面考虑, 不易获得满意的效果。

鉴于E601型蒸发器的蒸发桶的几何形状和尺寸, 与世界气象组织推荐的ГГИ-3000蒸发器的大小相当, 并被认为是一种性能比较好的蒸发器。因此, 如果把它的水高测量手段加以更新, 则将有助于该蒸发器的推广应用。电子蒸发计就是针对以上情况而研制的。实验表明, 电子蒸发计在测读分辨力和稳定性方面, 优于E601型蒸发器的测针。

近年来, 国内外在提高折算系数、运用

有关资料计算蒸发和对现行蒸发观测的改进, 以及自动化等方面均有研究。例如, 国内有改善E601型蒸发器的测针尖触水的判断研究, 以及利用机械的水位记录仪测定蒸发的试验等; 国外有如匈牙利研制的全自动观测蒸发-雨量的试验设备^[2], 它使用器口面积为3000cm²的蒸发桶, 而传感器是靠金属浮子在线圈的磁场中产生涡流, 因而使固定于水中的线圈参数变化, 从而取出水面高度信号。水面传感器中, 有长期接触水的金属浮子和线圈, 因此做到防水和耐久是其关键技术难点之一。

可靠地取出水面高度信号, 是实现蒸发自动观测的首要任务。本机是用超声波的传播方式取得水面高度信号的, 因此水面传感器的结构比较简单, 其中同水长期接触的主要是超声波压电陶瓷换能器, 而其它材料均为不锈钢或铜, 所以耐久性比较好。本机的水面传感器已进行了两年的长期考验, 并接受了外场测试考验, 其结果仍保持稳定可靠的性能。

六、结束语

本机是着眼于改善水面蒸发观测现状而研制的袖珍式水面高度测量仪, 并且在水面传感器确定后, 电子线路成为主要的研制对象。如若解决了蒸发桶内水量的自动调节问题, 那么本机还可接到室内, 通过自控电路的设计和信息处理, 便能同时进行降水和蒸发的全自动观测。

参考文献

- (1) 检定与测试中的数据处理, 中国计量科学研究院情报室, (67), 1977年。
- (2) Agricultural meteorology, VOL, 25, NO. 1, (35), September, 1981.

Report on the development of an electronic evaporimeter

Zhao Genyong

(Academy of Meteorological Science SMA)

Abstract

This text introduces a pocket electronic instrument which is designed by the method of ultrasonic pulses and is able to digitally display the meaned results of the evaporation and the water level. The working principles of the instrument, the calculation, the measuring circuit and the experimental results have been discussed and analyzed. The status of the evaporating observation and the problems about its automation have been discussed as well.