

The Application of Ultrasonic Type Evaporation Recording Instrument

Ting Zhang¹, Qiong Wu², Shao'an Liu¹

¹The Water Resources and Survey Bureau of the Changjiang Middle Reaches, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

²Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei
Email: 591720244@qq.com

Received: Jul. 26th, 2015; accepted: Aug. 7th, 2015; published: Aug. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

According to the auto-recording data of a ground automatic meteorological station in Hankou and those of synchronous evaporation by manual observation, we analyzed the accuracy of ultrasonic type evaporation recording instrument, evaluated the impact of environmental factors on the ultrasonic evaporating, and verified the accuracy of one commonly used water surface evaporation capacity calculation formula. While collecting the reference articles, we noticed the difference between automatic evaporation and manual observation, so as to change the method to improve the accuracy of recording evaporation.

Keywords

Ultrasonic Type Evaporation Instrument, Manual Observation, Evaporation, Daily Error of Evaporation, Monthly Error of Evaporation, Evaporation Equation of Water Surface

超声波式自记蒸发仪的生产应用

张 亭¹, 吴 琼², 刘少安¹

¹长江水利委员会水文局长江中游水文水资源勘测局, 湖北 武汉

²长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

Email: 591720244@qq.com

作者简介: 张亭(1982-), 男, 湖北襄阳人, 本科, 主要从事水文测验、水资源调查评价等方面相关研究工作。

文章引用: 张亭, 吴琼, 刘少安. 超声波式自记蒸发仪的生产应用[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 368-374.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.44045>

收稿日期：2015年7月26日；录用日期：2015年8月7日；发布日期：2015年8月25日

摘要

本文依据汉口某地面气象自动观测系统的自记资料及同步的人工观测蒸发量，来分析超声波式自记蒸发仪的精度，并对超声波蒸发仪受环境因素影响进行了分析，还验证其中一种常用水面蒸发量计算公式的精度。本文中参考诸多自动蒸发方面的文章，在收集资料时注意自动蒸发与人工观测的不同，改进方法提高自记蒸发量的精度。

关键词

超声波式蒸发仪，人工观测，蒸发量，蒸发量日误差，蒸发量月误差，水面蒸散发公式

1. 引言

随着近几年水文现代化步伐的加快，自动化程度有了明显的提高，ADCP、OBS 等测流、测沙方面的先进仪器已广泛应用于实际生产，既简化了生产流程，又节省了大量的人力、物力，但是蒸发等地面气象自动观测方面的仪器在实际生产中的应用还有些欠缺。本文主要结合汉口某地面气象自动观测系统(DZZ2 型)的超声波式蒸发仪的实际应用情况，进行计算和分析。该 DZZ2 型自动气象站由天津气象仪器厂生产，于 2007 年 10 月建设完成并通过验收，观测项目包括蒸发(E601 型)、温湿度、降水、日照、风速风向、气压。在这几年试运行中，该系统运行稳定，但蒸发量精度较差。经过不断的努力，熟悉仪器的性能，自记蒸发观测精度有所提高。

2. 蒸发量的观测与数据

2.1. 观测原理

E601B 型蒸发器由蒸发桶、水圈、溢流桶和测针等组成。每日 8 时进行人工观测，观测员用游标尺读水面高度，蒸发量计算公式为：

$$\text{日蒸发量} = \text{前一日水面高度} + \text{降水量} - \text{溢流量} - \text{今日水面高度} \quad (1)$$

公式中，降水量采用 0.1 mm 翻斗式自记雨量器，溢流量用量筒量得。

自动观测根据超声波测距原理，利用高精度超声波探头，对 E-601B 型蒸发器内的水面高度变化进行连续检测，转换成电信号输出存储。仪器测量范围 0~100 mm，分辨率是 0.1 mm。通过记录某时水位，利用式(1)，可得自记日蒸发量。

通过对比人工日蒸发量和自记日蒸发量，来分析超声波式自记蒸发仪使用情况，以此提高生产中实测蒸发量的精度。

2.2. 观测中注意的问题

参考文献[1]中，提出了 6 种影响观测精度的细节。其中第 3 条提到了自动观测以小时记误差累积的问题，而用摘录每日 8 时自动观测水位计算日蒸发量，避免了这一累积误差。我们将这一想法付诸实践，为自记日蒸发量计算提供了一种较高精度的方法。我们还在维护自记降水仪时，做到了每次较大降雨后，清洗仪器上的灰尘，提高降水量的精度。

2.3. 观测数据

从 2012 年 4 月 1 日起，至 2012 年 9 月 1 日，每 1 日或每 3 日人工观测与自记进行比测。统计每 1 日自记

与人工的差值共 90 组, 分析前对数据做 3 倍标准差的粗差处理, 用这些数据进行日蒸发量误差分析。从 2012 年 4 月至 2014 年 12 月, 除了部分月份因结冰影响自记蒸发量或仪器故障, 共 20 个月的蒸发量进行月蒸发量误差分析。

除蒸发量观测外, 还有蒸发的辅助项目观测, 有 1.5 米处气温、气压、湿度, 10 米处风速, 离地 0.7 米高处 0.1 mm 精度翻斗式雨量, 水面下 1 至 4 cm 水温, 等。

此外, 本文采用 2012 年 4 月至 12 月这几个月的辅助项目资料, 来验证常用的蒸发公式。

3. 环境影响误差分析

在实际观测中, 发现自记水位有时不随液面变化而变化。为了找出影响水位变化因素, 特地于 2012-7-11 至 2012-7-20 之间, 将超声波探头下液面与连至 E601 蒸发池内液面的管道阀门关闭, 同时观测超声波自记水位及气温等环境变量。这样在液面近似稳定条件下, 除去蒸发皿内蒸发影响, 只受环境影响或在蒸发极小情况下, 观察超声波水位的变化, 分析超声水位影响因子。

从 2012-7-11 至 2012-7-20 按小时收集水位及气象数据, 共收集 216 组。选入时间 h (小时数)、气温 t 、相对湿度 u 、气压 p 、风速 fs 五个因子, 采用逐步回归方法筛选因子[2], 并建立回归方程。在显著水平为 0.05 时, 入选因子是 h 、 t 、 u 、 fs 因子不满足 F 检验未入选。 F 检验结果见表 1, 对应线性模型为: $Z = 80 - 0.0167 * h - 0.0119 * u + 0.0801 * t$ 。整个时段内蒸发水位的变化范围在 82.5 mm 至 77.6 mm 之间, 十天内蒸发量极小, 说明蒸发在较封闭环境不明显, 这期间的液面水位受环境影响相对蒸发因素更大。

从回归公式来看, Z 受 h 影响, 代表超声波水位会随着时间推移, 液面因挥发而下降。若打开管道阀门, 液面水位 Z' (假定打开阀门后蒸发皿水位)变化代表蒸发皿内蒸发量、 u 和 t 影响值、其它因子(fs 等)的综合变化。计算蒸发量时, Z' 的除去回归公式 u 和 t 影响, 得到 $Z_0 = Z' + 0.0119 * u - 0.0801 * t$ (Z_0 指除去 u 、 t 影响的蒸发皿水位)。

对比两图表, 图 1 显示用相对湿度和气温所得的回归方程计算值与实际值在整体过程上基本一致。图 2 中小三角形的点波动较大, 基本与风速大于 2.5 m/s 的点对应。说明超声波水位不确定性因素主要是风速引起, 干挠了水位的连续性, 属偶然误差, 但不作为回归方程影响因子, 不影响方程精度。

4. 蒸发量的日、月误差分析

4.1. 日量的绝对差值分析

检验自动与人工观测月蒸发量差值是否遵守标准正态分布, 在 0.05 显著水平下, 若样本峰度系数 g_1 、偏度系数 g_2 满足下式: $|g_1| > 1.96s_{g_1}$, $|g_2| > 1.96s_{g_2}$, 则拒绝假设, 变量不遵从正态分布。其中 $s_{g_1} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}$,

$s_{g_2} = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}$ (n 为样本容量) [2]。计算所得见表 2。其中, 自记差 1 = $Z_{前一天} - Z_{当天}$, 自记差 2 = $Z_{前一天} - Z_{当天}$ ($Z_{前一天}$ 、 $Z_{当天}$ 为用回归方程去除湿度、气温影响后的液面高), 自记差 3 = \sum_{24} 每小时蒸发量。

由表 2 结果可知自记差 1、自记差 2 的标准差大致相等, 就是说自记观测的精度大概在 0.6 mm, 而自记差 3 精度就太低, 实际生产中不能采用自记差 3 这种方法。自记差 1、自记差 2 能通过标准正态的假设检验, 而且去除湿度、温度影响后的蒸发量, 与不去除时相比, 大致相同, 说明选在每日 8 时固定时间的自记水位计算蒸发量, 排除了一些环境因素的影响。

4.2. 月蒸发量的精度分析

通过对 2012 年 4 月至 2014 年 12 月的人工与自记蒸发量的计算, 得出统计月蒸发量的误差, 并计算相对误

Table 1. Inspection of the regression equation and factor F
表 1. 回归方程及因子 F 检验表

检验因子、公式	F	F _{0.05(3,212)}	是否满足
回归方程	307	2.6	满足
<i>f_s</i>	0.35	2.6	不满足

Table 2. Normal distributing inspection daily error of evaporation of ultrasonic type evaporation apparatus and manual observation
表 2. 超声波式蒸发仪日蒸发量与人工观测误差正态分布检验表

	总样本	标准差	粗差率%	计算样本	g1	1.96 s _{g1}	g2	1.96 s _{g2}	结果
自记差 1	89	0.60	2.3	87	0.02	0.50	0.17	0.95	接受
自记差 2	89	0.61	2.3	87	0.06	0.50	0.17	0.95	接受
自记差 3	89	2.95	2.3	87	0.65	0.50	0.89	0.95	拒绝

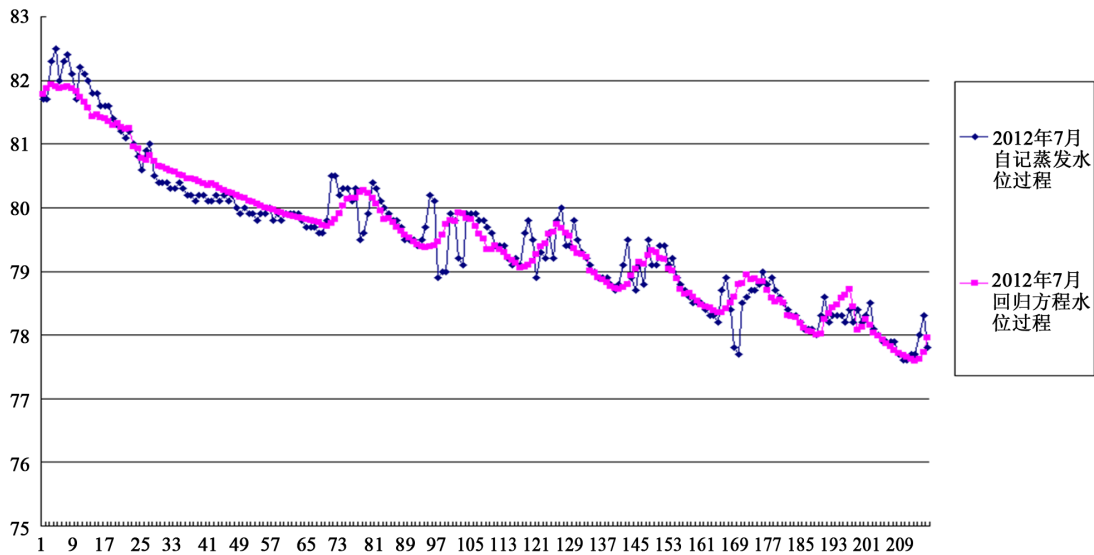


Figure 1. Comparison chart of water level process between ultrasonic type auto recording with regression equation
图 1. 超声波自记水位过程与回归方程水位过程比较图

差，见表 3。这里的自记蒸发量采用每日 8 时超声波水位来计算。其中 2014 年只统计 10~12 月的量。

从表 3 中可见，人工与自动差值在 2012 年与 2014 年未超过 5 mm，相对百分比未超过 6.1%，2013 年误差因为超声波蒸发探头仪器原因，误差稍大。2014 年 9 月更换超声波蒸发探头后，精度有明显提高。从所有月平均误差来看，与文献[2]中月误差均值自记偏高 5.74 mm [3]相比，表 3 中平均误差 1.4 mm 精度要好很多。

5. 检验一种常用蒸发量计算公式

作者查阅了国内蒸发公式相关的论文[4] [5]，从超温水体蒸发散热到水面蒸发公式，认为参考文献[4]中推荐公式，参考了国内外许多公式，该公式精度较高，故本文选择该公式[4]作为计算值来验证。公式如下：

$$E = \alpha \times \Delta e$$

$$\alpha = \left[0.027 + 0.0156W^2 + 0.0025 \frac{\Delta T^2}{1 + \alpha_{04}\Delta T} \right]$$

Δe (hpa)为水汽压力差, α (mm/d/hpa)为蒸发系数, W (m/s)为 H 高处风速, ΔT ($^{\circ}\text{C}$)水气温差, α_{04} 当 $\Delta T \geq 0$ 时为 0, 当 $\Delta T < 0$ 时为 0.01。式中含 α_{04} 项为适用稳定温度层结和提高计算精度用。

与公式中参数要求有所不同, 汉口自动气象场 E601 型蒸发池是陆上蒸发池, 风速离地面 10 m, 水面温度因自记仪器所限, 所测水温在水面下 1~4 cm 之间, 未严格在 1 cm。

本文采用 2012 年 4 月至 12 月的气温、湿度、水面水温、风速因子, 采用上述公式计算日蒸发量, 并与超声波式蒸发仪比较, 误差见表 4。

NT、NR 分别为资料总数及 $\Delta E > 1.0$ mm 的次数, Emer、Ecal、 δmer 、 δcal 分别为实测日蒸发量的均值、公式计算日蒸发量的均值、实测日蒸发量的方差、公式计算日蒸发量的方差, R 为日蒸发量实测值与计算值的相

Table 3. Monthly error evaporation of ultrasonic type evaporation apparatus and manual observation
表 3. 超声波式蒸发仪月蒸发量与人工观测误差表

年月	人工月蒸发量(mm)	自记月蒸发量(mm)	差值(mm)	相对百分比(%)
2012.04	52.4	53.0	0.6	1.1
2012.05	66.4	64.2	-2.2	-3.3
2012.06	79.0	76.6	-2.4	-3.0
2012.07	122.7	122.6	-0.1	-0.1
2012.08	135.5	131.6	-3.9	-2.8
2012.09	109.9	108.0	-1.9	-1.7
2012.10	73.4	75.6	2.2	3.0
2012.11	47.6	48.7	1.1	2.3
2012.12	36.5	35.5	-1.0	-2.7
2013.01	31.8	结冰	-	-
2013.02	21.0	结冰	-	-
2013.03	59.0	60.0	1.0	1.7
2013.04	86.9	83.6	-2.5	-2.9
2013.05	58.5	63.2	4.7	8.0
2013.06	111.1	111.2	0.1	0.1
2013.07	142.0	148.9	7.0	4.9
2013.08	195.4	205.5	10.1	5.2
2013.09	101.3	107.6	6.3	6.2
2013.10	101.0	113.6	12.6	12.5
2013.11	62.2	-	-	-
2013.12	43.3	-	-	-
2014.10	86.2	85.1	-1.1	-1.3
2014.11	46.2	43.4	-2.8	-6.1
2014.12	46.0	45.3	-0.7	-1.5
绝对误差平均值			1.4	

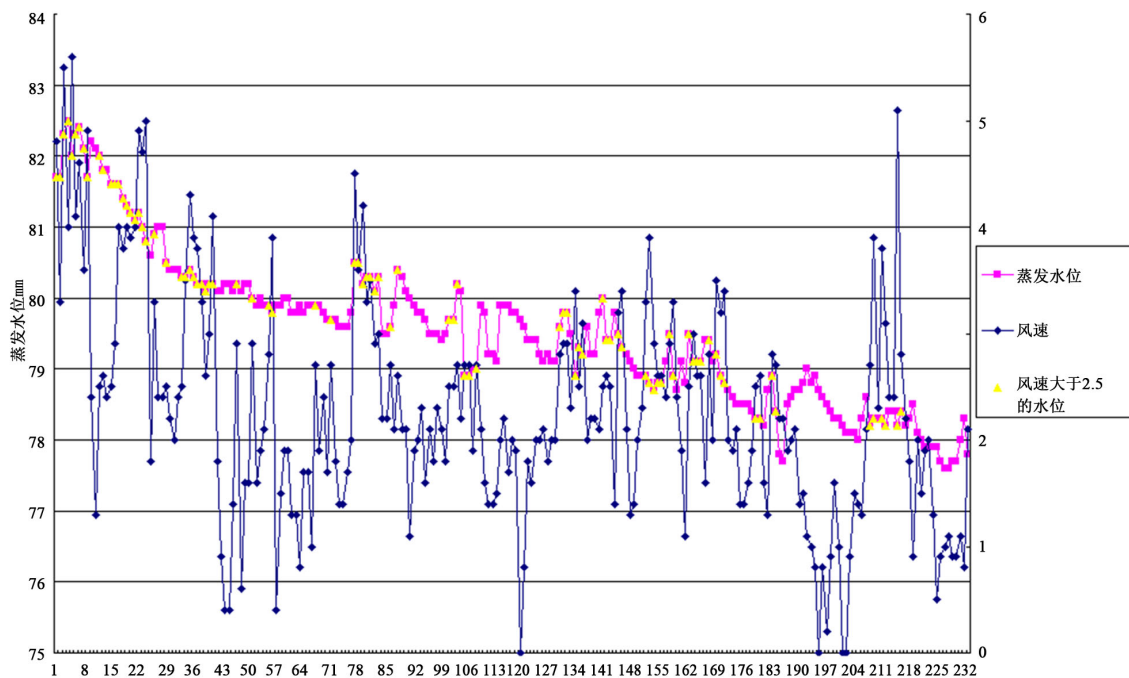


Figure 2. Relation chart of water level process of ultrasonic type auto recording and wind speed

图 2. 超声波自记水位过程与风速关系对照图

Table 4. Error analyzing table of daily evaporation measured value and formula calculation

表 4. 日蒸发量实测值与公式计算值误差分析表(单位: mm)

NT	NR	Emer	Ecal	δ_{mer}	δ_{cal}	R	a	b	δ	d
275	63	2.7	3.0	1.8	2.1	0.84	0.7208	0.5352	1.15	-0.3

关系数, a、b 为线性回归系数, δ 为蒸发量实测值与计算值差值的方差, d 为蒸发量实测值与计算值差值的均值。

从表 4 中可以看出, 公式应用与参考文献[4]中的结果宜兴地区的相关系数 R [4]接近。虽然应用该公式时, 风速、水面温度均存在误差, 但从相关系数来看, 公式应用情况好于文献[4]中大多数地区, 说明该公式在武汉市地区适应性较好。

文献中计算的是蒸发系数 α , 本文是蒸发量, 虽然不是一个物理因子, 但两者关系接近, 有很高的可比性。

6. 结论及讨论

1) 采用超声波式蒸发仪每日 8 时自记水位计算的日蒸发量误差, 标准差为 0.6 mm, 是逐小时累积标准差的 1/5, 并且与人工日蒸发量的绝对误差满足标准的正态分布。对超声波自记水位进行逐步回归筛选环境因子, 去除相对湿度、气温影响后的自记水位, 计算的蒸发量与人工差值相比, 也满足标准的正态分布, 但精度提高不大。说明每日固定 8 时的水位计算蒸发量消除了除风速外的因素, 精度较高。

2) 采用超声波式蒸发仪每日 8 时自记水位计算的月蒸发量的平均误差为 1.4 mm, 而且随着对仪器性能的不断熟悉, 精度仍有提高的可能。2012 年和 2014 年的精度较 2013 年精度为高, 2014 年是更换新的超声波探头, 精度明显好转。

3) 常用的水面蒸散公式, 利用地面气象观测系统的气象因素计算的日蒸发量, 与实测日蒸发量有较高的相关性, 相关系数达到 0.8 以上, 与文献[1]中验算的精度相当。

从以上结论, 说明利用超声波式自记蒸发仪仍然是目前自记蒸发观测的最佳选择之一, 虽然受风速、气温、

湿度等环境因素影响超声波水位，但采用固定 8 时自记水位计算蒸发量，能消除部分环境因素影响，在实际生产中有良好的应用。

参考文献 (References)

- [1] 范元品, 李玲. 地面自动站蒸发量观测中应注意的几个问题[J]. 贵州气象, 2004, 28(6): 33-34.
FAN Yuanpin, LI Ling. Several problems in the observation of evaporation of the ground automatic station. Journal of Guizhou Meteorology, 2004, 28(6): 33-34. (in Chinese)
- [2] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
HUANG Jiayou. Meteorological statistical analysis and forecasting method. Beijing: China Meteorological Press, 2000. (in Chinese)
- [3] 沈艳等. 我国自动与人工蒸发量观测资料的对比分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(4): 463-470.
SHEN Yan, et al. The comparative analysis of the observation data of the automatic and manual evaporation in China. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(4): 463-470. (in Chinese)
- [4] 濮培民. 水面蒸发与散热系数公式研究[J]. 湖泊科学, 1994, 6(1): 1-12.
PU Peimin. The formula of water surface evaporation and heat dissipation coefficient. Journal of Lake Sciences, 1994, 6(1): 1-12. (in Chinese)
- [5] 闵骞. 水面蒸发量计算公式的研究[J]. 水资源研究, 2004, 25(1): 38-47.
MIN Qian. Study on the calculation formula of water surface evaporation. Journal of Water Resources Research, 2004, 25(1): 38-47. (in Chinese)