

# HY·FFZ-03 自动水面蒸发站比测分析研究

封常周,黄修东,周 恒

(青岛市水文中心,山东 青岛 266071)

**【摘要】** HY·FFZ-03 水面蒸发站是一种新型的数字式全自动水面蒸发器,仪器采用主动定量汲水方案及高精度、低迟滞、抗干扰能力强的磁致伸缩液位传感器进行蒸发桶内水位观测,采用暴雨期间蒸发量处理算法,克服了暴雨期间蒸发数据误差偏大的问题。文章对山东省南村水文站 HY·FFZ-03 全自动数字水面蒸发站进行了连续 2 年的逐日比测,结果显示,蒸发站系统运行稳定,精度满足水文测站蒸发观测要求。

**【关键词】** 水面蒸发;HY·FFZ-03;主动定量汲水;误差分析

**【中图分类号】** TV213.4

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1009-6159(2025)-09-0010-03

## Comparative Measurement and Analysis of HY·FFZ-03

### Automatic Water Surface Evaporation Station

FENG Changzhou, HUANG Xiudong, ZHOU Heng

(Hydrological Center of Qingdao Municipality, Qingdao, Shandong 266071, China)

**Abstract:** The HY·FFZ-03 water surface evaporation station is a new type of digital automatic instrument of water surface evaporator. It adopts an active quantitative water drawing scheme and a high-precision, low-hysteresis, and strong anti-interference magnetostrictive liquid level sensor to observe the water level in the evaporation bucket. It also uses an evaporation processing algorithm during heavy rains to overcome the problem of large errors in evaporation data during heavy rain periods. This paper conducts a two-year consecutive daily comparative measurement on the HY·FFZ-03 fully automatic digital water surface evaporation station at Nancun Hydrological Station in Shandong Province. The results show that the evaporation station system operates stably, and its accuracy meets the requirements of evaporation observation at hydrological stations.

**Key words:** Water surface evaporation; HY·FFZ-03; Active quantitative water drawing; Error analysis

水面蒸发是水文要素之一,其观测精度对区域水资源分析、水文预报以及防汛抗旱减灾具有重要的意义。近 10 年来,国内自动蒸发观测技术研发取得较大发展,不同厂家和型号的水面蒸发自动观测设备迅速在行业内推广应用<sup>[1-3]</sup>。以山东省为例,目前大部分国家基本水文站和省级重要水文站已经安装了自动蒸发观测设备。由于对自动蒸发设备的观测精度等缺乏科学的评定,对自动蒸发设备的可靠性、稳定性尚处于探索阶段<sup>[4-5]</sup>,目前,水面蒸发整编成果仍基本采用人工观测数据,阻碍了自动蒸发设备的技术改进和大范围推广应用。

HY·FFZ-03 水面蒸发站是一种新型的数字

式全自动水面蒸发器,采用主动定量汲水方案和高精度、低迟滞、抗干扰能力更强的磁致伸缩液位传感器进行蒸发桶内水位观测。文章对山东省青岛市南村水文站 HY·FFZ-03 全自动数字水面蒸发站进行了连续 2 年的逐日比测分析及研究,通过比测分析,表明该系统运行稳定,观测精度较高。

## 1 蒸发站结构和工作原理

### 1.1 主要构造、特点及工作原理

1)主要构造。全自动观测方式能测记蒸发的

收稿日期:2025-03-16

作者简介:封常周(1970—),男,工程师

变化过程,自动完成降雨量、蒸发皿桶内水面高度变化、溢流量、补水水面高度变化值、取水水面高度变化的观测功能,分辨率达到 0.1 mm。HY·FFZ-03 水面蒸发站系统由 E-601 型蒸发皿、置于静水桶上的蒸发水面检测传感器、数字式雨量计、自动补水装置、自动控制阀、采集控制柜、上位机系统和供电系统组成,采用蒸发桶内液位自动控制溢流和补水。

2)主要特点。HY·FFZ-03 水面蒸发站是一种新型的数字式全自动水面蒸发器,采用磁致伸缩液位传感器进行蒸发桶内水位观测,水位观测精度更高、更稳定。改变传统的溢流测量模式,采用主动定量汲水方案(无溢流计量状态),解决溢流过程测量不准确的问题,提高了设备的精确度与可靠性。采用暴雨期间蒸发量处理算法,克服了暴雨期间蒸发数据误差偏大的问题。

3)工作原理。蒸发桶内的液位计量是否灵敏、精确是全自动蒸发站的关键, HY·FFZ-03 全自动蒸发站采用磁致伸缩液位传感器进行蒸发桶内水位观测,配套减阻、防波阻尼系统,水位分辨率高达 0.031 mm。磁致伸缩技术原理是利用 2 个不同磁场相交产生一个应变脉冲信号,计算这个信号被探测所需的时间周期,从而换算出准确的位置。全自动蒸发站必须配套雨量观测,该型号自动蒸发站雨量观测采用磁致伸缩液式雨量计,精度达到 0.031 mm,有效解决了普通翻斗式雨量计精度不足的问题。

## 1.2 暴雨期间自动蒸发仪算法

目前,水面蒸发器基本都是采用连通管连接蒸发器与液位控制器,因此暴雨期间,蒸发器水位上升较快,连通管液位控制器往往难以及时反映实时降雨量,导致蒸发量计算结果出现负值或异常暴增等明显不合理情况。HY·FFZ-03 水面蒸发站现场控制系统对暴雨期间蒸发量的计算采取有效的处理动作,从而避免了上述问题的发生。其基本依据是暴雨时段的蒸发量应近于 0,系统首先按照公式计算暴雨期间的时段蒸发量并判断是否合理,若不合理则系统植入算法自动修正不合理的蒸发量,即暴雨期间按 0 处理。

## 2 比测和精度评定

根据山东水文系统水面蒸发观测规定,每年

3 月 1 日—11 月 31 日采用 E-601 水面蒸发器。南村水文站观测场内同时安装了 E-601 人工观测水面蒸发器和 HY·FFZ-03 水面蒸发站系统,两套系统控制相同的观测条件,水面蒸发计算方法蒸发量以 8 时为日分界。前一日 8 时至当日 8 时观测的蒸发量,为前一日的蒸发量。根据《水面蒸发观测规范》(SL 630—2013)中关于日蒸发量的计算公式:

$$E=P-\sum h_{\text{溢}}+\sum h_{\text{取}}+(h_1-h_2) \quad (1)$$

式中: $E$  为日蒸发量,mm; $P$  为日降水量,mm; $\sum h_{\text{溢}}$  为前一日 8 时至当日 8 时各次溢流量之和,mm; $\sum h_{\text{取}}$  为前一日 8 时至当日 8 时各次取出水量之和加入水量之和,mm。

无降水日时,采集器自动采集蒸发桶内水面高度变化,计算蒸发量。当蒸发桶内水面高度降至约定值时,采集器控制补水泵工作,给蒸发桶、水圈自动补水;然后,以补水后稳定水面的高度作为起测点,测量下一时段的蒸发量。在降水日,当蒸发桶水位升高至约定值时,采集器驱动电磁阀门关闭,记录此时的水面高度,溢流泵工作,排出静水桶内的水,当静水桶内的水面下降到一定高度时,溢流泵停止工作,采集器记录此时的水面高度,并计算此次排水的高度差。对 2020—2021 年人工与自动观测蒸发进行了连续 2 年的逐日比测,并对比测精度进行了评定。

### 2.1 精度评定指标

1)绝对误差。测量值与真值的差值称为测量误差,实际估算时往往把多次测量的平均值作为真值。蒸发量人工观测值测量两次取平均值。比测差值为测量值减真实值的差值,为自动观测值  $E_{\text{自动}}$  与人工观测值  $E_{\text{人工}}$  之间差异的指标,即:

$$\text{绝对误差}=E_{\text{自动}}-E_{\text{人工}} \quad (2)$$

2)相对误差。比测相对误差为绝对误差除以真实值,即:

$$\text{相对误差}=(E_{\text{自动}}-E_{\text{人工}})/E_{\text{人工}}\times 100\% \quad (3)$$

3)随机不确定度。采用自动监测设备监测蒸发时,其置信水平 95%的随机不确定度按下式估算:

$$X=2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{\text{自动}}-E_{\text{人工}})^2}{N-1}} \quad (4)$$

### 2.2 月观测精度分析

对山东省南村水文站 HY·FFZ-03 全自动数

字水面蒸发站从2020年3月至2021年11月进行了连续2年的逐日比测,2020年、2021年3—11月累计蒸发量比测结果分别仅相差-2.5 mm、-2.6 mm。从逐月统计数据来看,自动观测和人工观测数据的累计值均十分接近,最大蒸发绝对误差相差4.8 mm,最大相对误差5.1%。说明从月统计结果看,HY·FFZ-03全自动数字水面蒸发站与人工观测蒸发值十分接近,自动观测的蒸发量误差较小,精度较高,HY·FFZ-03全自动数字水面蒸发站蒸发量监测数据完全可以用于区域水资源评价、防汛抗旱减灾等工作中。南村站逐月误差统计见表1。

表1 南村站逐月误差统计表

日期	蒸发量/mm			
	人工	自动	绝对误差	相对误差/%
2020年3月	66.7	65.3	-1.4	-2.1%
2020年4月	76.5	73.0	-3.5	-4.6%
2020年5月	109.3	107.4	-1.9	-1.7%
2020年6月	116.8	114.2	-2.6	-2.2%
2020年7月	103.9	107.1	3.2	3.1%
2020年8月	91.1	94.3	3.2	3.5%
2020年9月	107.6	104.7	-2.9	-2.7%
2020年10月	72.5	73.6	1.1	1.5%
2020年11月	44.9	47.2	2.3	5.1%
2020年累计	789.3	786.8	-2.5	-0.3%
2021年3月	73.8	72.9	-0.9	-1.2%
2021年4月	98.0	102.8	4.8	4.9%
2021年5月	103.3	105.2	1.9	1.8%
2021年6月	108.3	109.1	0.8	0.7%
2021年7月	101.7	98.2	-3.5	-3.4%
2021年8月	82.2	83.6	1.4	1.7%
2021年9月	105.5	103.4	-2.1	-2.0%
2021年10月	68.4	64.9	-3.5	-5.1%
2021年11月	48.5	47.0	-1.5	-3.1%
2021年累计	789.7	787.1	-2.6	-0.3%

### 2.3 逐日观测精度分析

从图1误差范围分布图中可以看出,逐日绝对误差在-1.0~1.0 mm之间,绝对误差的平均值为-0.05 mm,说明系统误差很小,可以忽略。误差主要为均匀地分布在0轴两侧的随机误差,正、负误差出现的次数接近。统计绝对误差值的分布,-0.2~0.2 mm的天数占到70.0%,误差在-0.5~0.5 mm天数为占到89.4%,表明自动蒸发主要表现为正、

负误差出现次数接近的随机误差。说明从逐日统计结果看,HY·FFZ-03全自动数字水面蒸发站与人工观测蒸发值误差较小,精度较高。

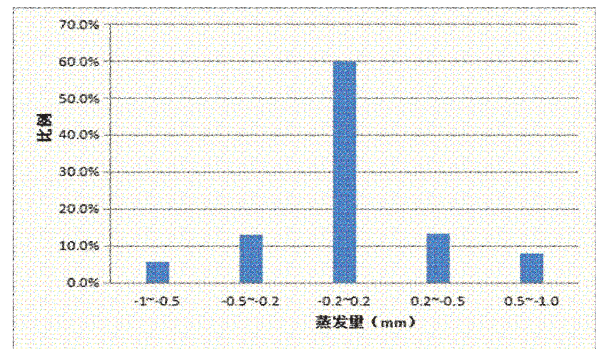


图1 南村站逐日误差范围分布图

## 3 结论

HY·FFZ-03水面蒸发站是一种新型的数字式全自动水面蒸发器,文章对山东省青岛市南村水文站HY·FFZ-03全自动数字水面蒸发站进行了连续2年的逐日比测分析研究,结果表明该系统运行稳定,观测精度较高。特别是系统采用了暴雨期间蒸发量计算算法,克服了暴雨期间蒸发数据误差偏大的问题。

目前,水面蒸发仍以人工观测为主,不同型号自动蒸发设备的质量参差不齐,非常有必要进行数字式水面蒸发仪的调查研究,不断提高自动水面蒸发观测设备的稳定性、可靠性、准确性,为进一步完善和推广水面蒸发自动测报技术提供借鉴。同时,现行《水面蒸发观测规范》中尚未对自动蒸发仪器的观测精度提出明确要求,建议继续开展相关研究,为下一步规范修订积累资料依据。

### 参考文献

- [1] 朱珊珊,黄绍德.HY.FFZ-3 定量汲水水面自动蒸发测量系统的应用分析[J].云南水力发电,2022,38(4):24-28.
- [2] 麦梓泳.全自动水面蒸发监测系统在官良水文站的应用分析[J].广东水利水电,2022(1):35-39.
- [3] 张莉,杨鑫,张德佩.FFZ-01Z 型数字式水面蒸发器在丹江口水库蒸发站的应用[J].河南科技,2021,40(13):48-51.
- [4] 李晓霜,梁斐斐,邵志恒,等.后营站自动水面蒸发观测系统误差分析[J].治淮,2020(11):65-67.
- [5] 梁智杰.数字水面蒸发站在容县水文站的应用分析[J].广西水利水电,2020(1):88-90,95.

(责任编辑 崔春梅)