

降蒸一体化自动监测系统在萍乡水文站的应用分析

刘卫根, 易 珍, 黄 敏, 姚国龙, 刘永红, 张郑维

(赣江下游水文水资源监测中心, 江西 宜春 336000)

摘 要: 自动在线监测是水文监测的发展趋势. 本文介绍了 FFZ-01 型自动水面蒸发站的系统组成、工作原理, 采用差值分析法和一致率分析法对萍乡水文站 2019 年 4 月至 2020 年 8 月自动监测和人工观测蒸发数据进行比测分析, 并采用 F 检验、t 检验、回归分析对人工和自动蒸发观测数据进行统计分析. 结果表明: 自动蒸发观测精度较高, 且无雨日观测精度高于有雨日. 比测期间各月总体一致率高达 90.9%, 且非汛期比测观测一致率高于汛期. 统计分析表明: 人工蒸发和自动蒸发数据方差无显著性差异, 两者观测结果没有发生显著变化; 自动蒸发与人工观测存在相关关系且关系密切, 所建立的回归方程 $y=0.914\ 2x+0.039\ 9$ 有效, 达到显著性水平.

关键词: FFZ-01 型自动水面蒸发站; 比测分析; 萍乡水文站

中图分类号: P332 P336

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2021)01-0064-06

经过长期努力, 水文要素的实时在线监测取得了长足的进步. 水位、降水量观测在江西省已基本实现了自动采集、存储和报讯; 流量测验采用水文缆道、声学多普勒流速剖面仪或雷达波在线测流系统, 也基本实现了自动或半自动测验^[1], 黄敏、刘运珊等分别对走航式 ADCP 和雷达波在线测流系统的测验精度进行了分析研究, 分析仪器设备的测验精度和适用性^[2-3].

蒸发自动观测进展相对缓慢, 但近年来也取得了一定的突破. 为推进水文要素全自动化监测, 推广和使用水面蒸发自动测报技术, 提高测报的准确性和实效性, 萍乡水文站于 2019 年 4 月安装了降蒸一体化自动监测系统——FFZ-01 型自动水面蒸发站, 并与 E601B 型蒸发器进行了为期 17 个月的比测观测, 并用统计方法对比测结果进行分析, 探索自动蒸发观测代替人工观测的可行性.

1 萍乡水文站概况

萍乡水文站于 2018 年 1 月建站, 位于江西省萍乡

市安源区五陂镇册雷村, 控制流域面积为 479 km², 为国家基本水文站、区域代表站, 观测项目有水位、流量、降水量、蒸发量. 其中水位、雨量均已实现在线监测, 采用遥测数据进行整编.

观测场地势为北高南低, 北面为站房, 南面为菜地, 西面和东面为杂草地, 土质为黏土和沙壤土. 观测场地面高程为 108.56 m (1985 国家高程基准).

观测场内主要仪器设备有 JQH-1 型人工雨量器、JDQS-05 型智能翻斗式遥测雨量计、E601B 型蒸发器、FFZ-01 型自动水面蒸发站.

2 降蒸一体化自动监测系统组成、工作原理^[4]

2.1 系统组成

本系统主体结构为 FFZ-01 型自动水面蒸发站, 由 E601B 型蒸发器、置于静水桶上的蒸发水面检测传感器、溢流量控制检测传感器、数字式降雨量检测传感器、放置在蒸发水面检测传感器内的数据处理和存储

控制器、补水装置、电源装置等组成。其中雨量计和蒸发计分辨率均为 0.1mm, 溢流量的分辨率为 0.01mm, 符合相关国家标准最高等级要求。

2.2 工作原理

本系统以蒸发计和雨量计为基本观测工具, 蒸发计将蒸发桶内的水位转化成数字量、雨量计提供降雨量、数据采集控制终端负责计算蒸发量和溢流量并且控制水泵进行补水和溢流。

采集器通过 RS485/232 通信接口分别与上位机系统、数传通信机(RTU)连接, 在电脑上打开数据接收平台系统, 输入具备权限的用户名和密码, 登陆后即可查询、下载历史和实时数据, 从而实现水面蒸发量的在线自动化测报。

3 数据采集和分析方法

3.1 数据采集

收集了 2019 年 4 月 1 日至 2020 年 8 月 31 日共 17 个月人工观测和自动监测日蒸发量数据。2019 年 12 月份至 2020 年 3 月份, 仪器出现故障, 数据缺失较多; 剔除故障期 103 天数据不完整部分, 得到 416 天有效人工和自动日蒸发量资料。收集的蒸发观测数据真实可靠, 可用于比测分析。

3.2 分析方法

3.2.1 差值分析

测量值与真实值之差, 称为绝对误差。本文将同一日自动蒸发量减去人工观测蒸发量, 得到各日蒸发差值(绝对误差), 统计比测期间各日蒸发差值分布情况。

3.2.2 自动与人工蒸发观测一致率分析

一致率, 即对比观测期内人工、自动水面蒸发比测绝对误差小于 1.0mm 的天数, 占总有效观测天数的百分比^[5]。

3.2.3 F 检验^[6,7]

F 检验又叫方差齐性检验, 是英国统计学家 Fisher 提出的, 主要用于检验两个研究样本的方差是否相等。设 $X \sim N(\alpha_{\text{人工}}, \sigma_{\text{人工}}^2)$, $Y \sim N(\alpha_{\text{自动}}, \sigma_{\text{自动}}^2)$, 其中 X 为人工观测蒸发量, Y 为自动蒸发量, X 与 Y 相互独立。现要检验 $\sigma_{\text{人工}}^2$ 和 $\sigma_{\text{自动}}^2$ 是否相等, 即 $H_0: \sigma_{\text{人工}}^2 = \sigma_{\text{自动}}^2$; $H_1: \sigma_{\text{人工}}^2 \neq \sigma_{\text{自动}}^2$ 。选择统计量 $F = S_{\text{人工}}^{*2} / S_{\text{自动}}^{*2}$

$\left[1/(n_{\text{人工}}-1) \sum_{i=1}^{n_{\text{人工}}} (X_i - \bar{X})^2 \right] / \left[1/(n_{\text{自动}}-1) \sum_{i=1}^{n_{\text{自动}}} (Y_i - \bar{Y})^2 \right] \sim F_{(n_{\text{人工}}-1, n_{\text{自动}}-1)}$ 由给定的 σ 查 F 分布表得 $F_{\sigma/2}$, 若由样本算出的 F 值大于 $F_{\sigma/2}$, 则拒绝 H_0 , 否则接受 H_0 。

3.2.4 t 检验^[6,8]

t 检验是以数理统计为基础的一种检验方法, 又称 Student's t 检验, 可用于检验两个样本平均数与其各自所代表的总体的差异是否显著, 从而检验 2 个数据序列是否存在显著差异性。水文学中常用 t 检验来判定稳定的水位流量关系是否发生了显著变化, 相邻年份是否需要分别定线等。本文采用学生氏 t 检验来判定两组数据(人工观测和自动监测蒸发量)是否发生显著变化。

假设 $H_0: \alpha_{\text{人工}} = \alpha_{\text{自动}}; \alpha_{\text{人工}} \neq \alpha_{\text{自动}}$, 选择统计量

$$t = \frac{\bar{X}_{\text{人工}} - \bar{X}_{\text{自动}}}{\sqrt{\frac{(n_{\text{人工}}-1)S_{\text{人工}}^{*2} + (n_{\text{自动}}-1)S_{\text{自动}}^{*2}}{n_{\text{人工}} + n_{\text{自动}} - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_{\text{人工}}} + \frac{1}{n_{\text{自动}}}}}$$

式中, $\bar{X}_{\text{人工}}$ 和 $\bar{X}_{\text{自动}}$ 分别人工观测和自动观测平均值; $n_{\text{人工}}$ 和 $n_{\text{自动}}$ 分别为人工和自动蒸发观测样本个数; $S_{\text{人工}}^{*2}$ 和 $S_{\text{自动}}^{*2}$ 为人工观测和自动观测均方差。如果 $|t| < t_{\alpha/2}$, 接受原假设, 即表示样本没有显著差异。

3.2.5 回归分析^[9]

回归分析是研究变量之间相关关系的数学方法, 建立回归方程可用来预测、插补和展延水文资料。本文将自动蒸发数值 x 作为自变量, 人工观测蒸发量 y 作为因变量, 对 416 组蒸发数据进行一元线性回归分析, 并对回归方程进行显著性检验。假设 $H_0: \beta_1 = 0$ 成立时, 因变量和自变量不存在线性关系; 统计量 $F = \frac{S_{\text{回}}}{S_{\text{剩}}/(n-2)}$ 服从 $F(1, n-2)$ 分布。当用样本得出的 F 值大于 F_{α} 时, 拒绝 H_0 , 即认为线性回归方程是显著的。

4 结果分析

4.1 差值分析

将上述收集到的 416 天人工观测蒸发量和自动蒸发观测值进行比测分析, 计算观测差值, 结果见表 1。

由表 1 可以看出, 比测期内自动和人工蒸发比测差值在 $-1.0 \leq \delta < 0$ 范围内的占比 29.6%, 在 $0 \leq \delta < 1.0$ 范围内占比 61.3%, 在 $-1.0 \leq \delta < 1.0$ 范围的比例达

表 1 萍乡水文站人工与自动水面蒸发比测差值分布表

差值	全部比测期		无雨日		有雨日	
	天数	百分比/%	天数	百分比/%	天数	百分比/%
$-4.0 \leq \delta < -3.0$	0	0	0	0	0	0
$-3.0 \leq \delta < -2.0$	0	0	0	0	0	0
$-2.0 \leq \delta < -1.0$	5	1.2	0	0	5	3.4
$-1.0 \leq \delta < 0$	123	29.6	86	32.2	37	24.8
$0 \leq \delta < 1.0$	255	61.3	170	63.7	85	57.1
$1.0 \leq \delta < 2.0$	28	6.7	11	4.1	17	11.4
$2.0 \leq \delta < 3.0$	2	0.5	0	0	2	1.3
$3.0 \leq \delta < 4.0$	3	0.7	0	0	3	2.0
$4.0 \leq \delta$	0	0	0	0	0	0
合计	416	100	267	100	149	100

到 90.9%。其中，无雨日自动和人工蒸发比测差值在 $-1.0 \leq \delta < 0$ 范围内的占比 32.2%，在 $0 \leq \delta < 1.0$ 范围内占比 63.7%，在 $-1.0 \leq \delta < 1.0$ 范围的比例达到 95.9%；有雨日自动和人工蒸发比测差值在 $-1.0 \leq \delta < 0$ 范围内的占比 24.8%，在 $0 \leq \delta < 1.0$ 范围内占比 57.1%，在 $-1.0 \leq \delta < 1.0$ 范围的比例达到 81.9%。自动蒸发总体观测精度较高，特别是无雨日自动和人工观测误差较小。从表 1 也可看出，无雨日观测精度高于有雨日，比测差值较大时（ $-2.0 \leq \delta < -1.0$ 、 $2.0 \leq \delta < 3.0$ 、 $3.0 \leq \delta < 4.0$ ）均出现在有雨日。

4.2 人工与自动蒸发观测一致率分析

统计萍乡水文站 2019 年 4 月 1 日至 2020 年 8 月 31 日人工和自动蒸发观测值绝对误差小于 1mm 的天

数，计算各月及比测期内总体一致率。结果见表 2。

从表 2 可以看出，2019 年一致率最低出现在 6 月份，为 71.4%，其次为 7 月份 73.7%；其余月份均超过 80%，8~11 月份超过 90%，9 月份最高，达 96.2%。2019 年 12 月份至 2020 年 3 月份，仪器出现故障，数据缺失较多，联系厂家更换了 RTU 及数据模块，从 2020 年 4 月份开始，仪器比较稳定，各月一致率均超过 90.0%，其中 4 月份和 8 月份达到 100%。

2019 年 4 月至 2020 年 8 月比测期间，有效观测天数 416 天，一致率天数 378 天，总体一致率为 90.9%；剔除 2019 年 12 月至 2020 年 3 月数据后，一致率为 90.6%。

从表 2 中也可以看出，2020 年一致率高于 2019

表 2 萍乡站人工、自动蒸发观测一致率分析

年份	2019 年										2020 年								总数
月份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月		
有效观测天数	26	25	28	19	29	26	28	27	10	20	34	11	27	28	27	30	31	378	
绝对误差小于 1mm 天数	22	21	20	14	27	25	26	25	10	20	22	8	27	27	25	28	31	416	
一致率/%	84.6	84.0	71.4	73.7	93.1	96.2	92.9	92.6	100.0	100.0	91.7	72.7	100.0	96.4	92.6	93.3	100.0	90.9	

年,非汛期高于汛期。汛期一致率降低,可能因汛期强降雨时自动蒸发池溅水误差较大、配套雨量计雨量观测误差增大等原因导致。此外,暴雨加测、蒸发池汲水、排水等非自然蒸发变化也会导致人工观测误差增大,从而影响观测一致率。

4.3 F 检验

将采集到的 416 天人工和自动蒸发量数据代入公式求得 $S_{\text{人工}}^{*2}=2.46$, $S_{\text{自动}}^{*2}=19.51$, $F=S_{\text{人工}}^{*2}/S_{\text{自动}}^{*2}=2.46/19.51=0.126$ 。由显著性水平 $\alpha=0.05$, 用统计函数 FINV 求得 $F_{\alpha/2}=\text{FINV}(0.05/2, 415, 415)=1.21$ 。由于 $F<F_{\alpha/2}$, 故接受原假设; 即 $H_0: \sigma_{\text{人工}}^2 = \sigma_{\text{自动}}^2$, 人工蒸发和自动蒸发数据方差无显著性差异。

4.4 t 检验

因 $\sigma_{\text{人工}}^2 = \sigma_{\text{自动}}^2$ 成立, 人工蒸发和自动蒸发数据方差无显著性差异, 故可用 t 检验进一步判断人工蒸发

和自动蒸发数据是否发生显著变化。 $n_{\text{人工}}=416$, $n_{\text{自动}}=416$, $x=\bar{X}_{\text{人工}}-\bar{X}_{\text{自动}}=2.8-3.2=-0.4$, 将有关数据代入后, 得到

$$t = \frac{\bar{X}_{\text{人工}} - \bar{X}_{\text{自动}}}{\sqrt{\frac{(n_{\text{人工}}-1)S_{\text{人工}}^{*2} + (n_{\text{自动}}-1)S_{\text{自动}}^{*2}}{n_{\text{人工}} + n_{\text{自动}} - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_{\text{人工}}} + \frac{1}{n_{\text{自动}}}}} = -1.77$$

由显著性水平 $\alpha=0.05$, $n_{\text{人工}}+n_{\text{自动}}-2=830$, 查 t 分布表得临界值 $t_{\alpha/2}(n_{\text{人工}}+n_{\text{自动}}-2)=1.96$, 亦可由统计函数 TINV 求得 $t_{\alpha/2}=\text{TINV}(0.05, 830)=1.96$ 。由于 $|t| < t_{\alpha/2}(830)$, 故接受原假设, 人工观测和自动监测蒸发数据没有发生显著变化。

4.5 回归分析

以自动蒸发量为自变量 x , 人工观测蒸发量因变量 y , 对 416 组人工和自动观测蒸发量数据进行一元线性回归分析, 得到 $y=0.914\ 2x+0.039\ 9$ ($R^2=0.866\ 7$, $R=$

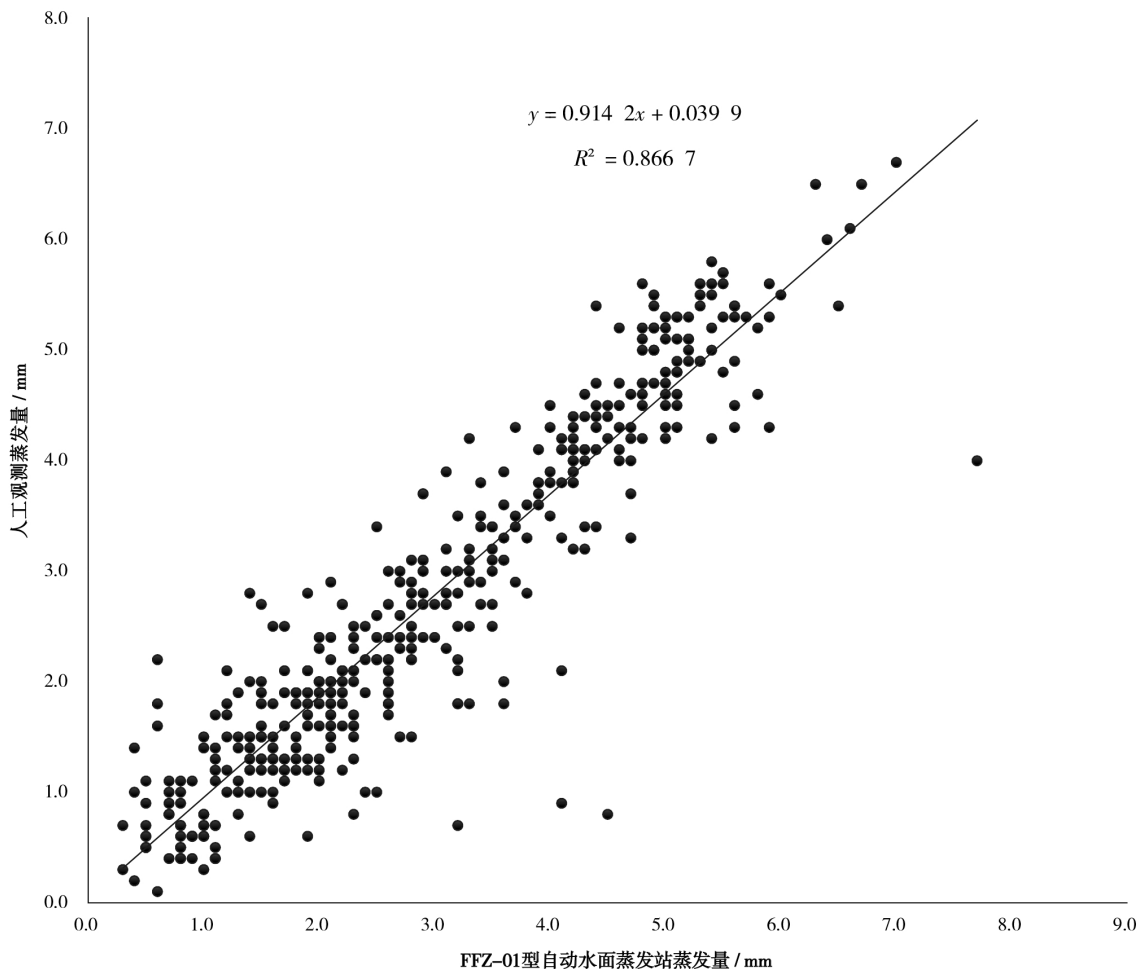


图 1 人工与自动蒸发量线性回归分析图

表 3 回归计算结果汇总输出表

回归统计					
multiple R	0.930 9				
R Square	0.866 7				
Adjusted R Square	0.866 3				
标准误差	0.573 0				
观测值	416				

方差分析	df	SS	MS	F	Significance F
回归分析	1	883.382 3	883.382 3	2 690.838 5	3.098 1E-183
残差	414	135.913 1	0.328 3		
总计	415	1 019.295 4			

	Coefficients	标准误差	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
Intercept	0.039 9	0.059 4	0.671 7	0.502 2	-0.076 9	0.156 8	-0.076 6	0.156 8
X Variable 1	0.914 2	0.017 6	51.873 3	0.000 0	0.879 6	0.948 8	0.879 6	0.948 8

0.930 9),线性回归图见图 1,回归计算结果汇总输出表见表3。

统计量 $F = \frac{S_{回}}{S_{剩} / (n - 2)} = \frac{883.382\ 3}{135.913\ 1 / (416 - 2)} = 2\ 690.838\ 5$ 服从 $F(m, n - m - 1)$ 分布,即服从 $F(1, 414)$ 分布。由显著性水平 $\alpha = 0.05$, 用统计函数 FINV 求得 $F_\alpha = \text{FINV}(0.05, 1, 414) = 3.86$, $F = 2\ 690.838\ 5 > 3.86$, 否定原假设,所建立的回归方程有效。从回归计算结果汇总输出表也可以看出, $P(F > 2\ 690.838\ 5) = 3.098\ 1E - 183 < \alpha = 0.05$, 否定原假设,方程 $y = 0.914\ 2x + 0.039\ 9 (R^2 = 0.866\ 7, R = 0.930\ 9)$ 有效,达到显著性水平;说明两种观测方式存在相关关系,且关系密切。

5 结论与建议

5.1 结论

(1)差值分析和一致率分析结果表明,自动蒸发观测精度较高,且无雨日观测精度高于有雨日。比测期间各月总体一致率高达 90.9%,且非汛期比对观测一致率

高于汛期。

(2)F 检验和 t 检验结果表明,人工蒸发和自动蒸发数据方差无显著性差异,两者观测结果没有发生显著变化;回归分析结果表明,所建立的回归方程 $y = 0.914\ 2x + 0.039\ 9$ 有效,达到显著性水平。当特殊情况人工或者自动蒸发缺测时,可用另一观测方法进行资料插补。

(3)通过实际应用,此系统在实际过程中依然存在一些技术瓶颈,主要有以下几个方面:

① 数据采集器位于蒸发传感器底盘上,置于蒸发桶内部,维护不方便。

② 采集器液晶屏比较小,如果查看数据需要手动翻页,页面停留时间短(5 秒),带来观测不便。

③ 故障率较高,故障期需人工观测补充。

5.2 建议与对策

(1)建立独立的采集显示系统,配置唤醒页面启动按钮,使观测更加直观方便。

(2)将溢流传感器去除,和蒸发传感器合二为一,降低设备故障率,提高观测数据一致率。

(3) 日常使用过程中,需规范清洗设备,发现问题及时处理。

(4) 需定期检查电源电压,保证电源电压正常,从而降低故障率。流域水文水资源监测中心或监测大队增加易损配件的备份,并加强职工对该系统的使用和维护培训,出现故障时第一时间维护或者更换配件。常见故障测站职工自行维护比厂家或流域水文水资源监测中心过来维修可以大大节省时间,缩短故障期。

(5) 为保证仪器精度和稳定性,确保资料可靠,需定期进行人工观测校核和蒸发注水试验。

(6) 通过本研究可以得出,自动蒸发观测精度较高,性能可靠,可推广使用。普及降蒸一体化自动监测系统可逐步转变蒸发观测模式,以自动监测为主,仪器故障时进行人工观测补充,可减少人力成本和提高工作效率,提高水文监测信息化水平。

参考文献:

- [1] 罗国平,陈松生,张建新,等. 水文测验[M]. 中国水利水电出版社,2017:3~4.
- [2] 黄敏,黄监初,刘卫根,等. 走航式 ADCP 流量测验精度校测分析[J]. 江西水利科技,2019,45(2):84~88.
- [3] 刘运珊,刘明荣. 雷达波在线测流系统在崇义水文站的应用[J]. 江西水利科技,2020,46(4):286~291.
- [4] 秦钊林,李子星,李创生. 降蒸一体化自动监测系统在梧州(四)站的应用分析[J]. 广西水利水电,2016(4):4~6.
- [5] 黄敏,杨小凤,殷勇. 晋坪水文站人工与自动水文蒸发观测结果比测分析[J]. 陕西水利,2019(2):57~58+60.
- [6] 周建康,李帆,陈松生. 实用水文统计[M]. 中国水利水电出版社,2017:43~45,112~116,129~139.
- [7] 胡尊乐,黄炜,唐大伟,等. 沙河水库水文站两种浮子式自动蒸发仪运行分析[J]. 江苏水利,2019(8):7~13.
- [8] 罗国平,王永东,林祚顶. 水文资料整编[M]. 中国水利水电出版社,2017:33~34.

编辑:张绍付

Application of integrative and automatic monitoring system of rainfall and evaporation at Pingxiang hydrologic station

LIU Weigen, YI Zhen, HUANG Min, YAO Guolong, LIU Yonghong, ZHANG Zhengwei
(Hydrology and Water Resources Monitoring Center of Lower Reaches of Ganjiang River,
Yichun 336000, China)

Abstract: The automatic online monitoring system is the development trend of hydrological monitor. In this paper, the system components and working principle of FFZ-01 water surface evaporation station were introduced. The absolute error, agreement rate, F-test, T-test and regression analysis of evaporation data collected by manual and automatic observation from April 1, 2019 to August 31, 2020 at Pingxiang hydrologic station were analyzed. The results showed that the integrative and automatic monitoring system was an important device with high measuring precision, especially for the rainless days. The agreement rate during the comparative observation period reached 90.6%, and the result in non-flood season was higher than that in flood season. The statistical analysis showed that there were no significant differences in the variance of evaporation data collected by manual and automatic observation. Regression analysis showed that there was a correlation between these two groups of data. The regression equation ($y=0.914\ 2x+0.039\ 9$) reached a significant level, which was effective and reliable.

Key words: FFZ-01 water surface evaporation station; comparative analysis; Pingxiang hydrology station

翻译:刘卫根