

沙河水库水文站两种浮子式 自动蒸发仪运行分析

胡尊乐¹, 黄 炜², 唐大伟¹, 汪 珊¹, 潘芷璐³

(1. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213022;

2. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029;

3. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要:依据溧阳市沙河水库水文站的自动蒸发仪观测资料及同步的人工观测蒸发量,分别进行F检验、显著性检验、Q检验和回归分析,来分析FFZ-01X型和CQS.FFH-2型浮子式遥测水面蒸发仪的精度,为推进自动化蒸发监测提供经验和 technical 支撑。

关键词:浮子式蒸发仪;自动观测;蒸发量

中图分类号:TV124

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)08-0007-07

Analysis on the operation of two kinds of float - type automatic evaporators at the hydrological station of Shahe reservoir

HU Zunle¹, HUANG Wei², TANG Dawei¹, WANG Shan¹, PAN Zhilu³

(1. Changzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213022, Jiangsu;

2. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, Jiangsu;

3. Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu)

Abstract: According to the observation data of automatic evaporator at the hydrological station of Shahe reservoir and the synchronous evaporation data by manual observation in Liyang City, the F test, the significance test, the Q test and the regression analysis were respectively carried out to analyze the accuracy of FFZ-01X type and CQS.FFH-2 float-type remote water surface evaporator to provide experience and technical support for the promotion of automated evaporation monitoring.

Key words: float-type evaporator; automatic observation; evaporation

0 引言

水面蒸发是水文气象预报、水资源评价、涉水工程规划的基本测验要素之一^[1]。随着近几年水文现代化步伐的加快,水文测验要素自动化采集程度有了明显提高。水位、降水量观测已在江苏省基本实现自动化,为推进蒸发量、流量、含沙量等水文测验要素自动化采集传输工作,江苏省提出了

“1021”工程,沙河水库水文站作为该项目蒸发量自动测验项目试点场地,安装FFZ-01X型和CQS.FFH-2型自动蒸发仪,开展蒸发量自动采集传输技术与资料整编试点研究,为全省开展自动蒸发监测提供经验和 technical 支撑^[2-3]。

本文依托溧阳市沙河水库水文站FFZ-01X型数字水面蒸发仪2015年4月~2017年2月和CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪2016年5月~

收稿日期:2019-01-18

作者简介:胡尊乐(1970—),男,本科,高级工程师,主要从事水文水资源工作。

2017年2月的监测数据与Φ618 mm蒸发桶人工观测数据进行比测分析,并结合自动蒸发仪的实际运行情况进行计算和分析,为改善自动化仪器生产以及推动水文现代化进程应用提供理论依据。

1 浮子式自动蒸发仪

自动蒸发仪主要有自记蒸发量和可以用于遥测的信号输出功能。现阶段,自动蒸发仪主要有补水式自动蒸发仪、浮子式自动蒸发仪和超声自记蒸发仪等。浮子式自动蒸发仪较补水式自动蒸发仪自动化程度高,且使用条件受环境影响小,而超声波仪器受环境因素影响大,故很难达到要求。

1.1 FFZ-01X型数字水面蒸发仪

1.1.1 工作原理

FFZ-01X型数字水面蒸发仪是依据中华人民共和国水利电力部《水面蒸发观测规范》(SD265—88)和中国气象局2003年版《地面气象观测规范》的相关要求制造。按照其工作原理,它属于浮子式遥测水面蒸发仪,蒸发量的计算方法为:

蒸发量 = (蒸发桶水位测量值 - 蒸发桶水位起算值) + 降水量 - 溢流量

上式可简化表示为:

$$Q_F = (W_t - W_0) + Q_j - Q_l \quad (1)$$

式(1)中, Q_F 表示水面蒸发量(mm); W_t 表示测量时刻(t)的蒸发桶水位(mm), W_0 表示起算时刻的蒸发桶水位(mm), Q_j 表示被测时段内的降水量(mm),由JFZ-01型数字雨量计提供; Q_l 表示被测时段内的溢流量(mm),由测井自动测量; W_t 、 W_0 值由FFZ-01型数字水面蒸发器自动测量。

1.1.2 系统组成

FFZ-01X型数字式水面蒸发仪由FFZ-01X型数字水面蒸发器、JFZ-01型数字雨量计(以下称雨量计)、自动补水装置、采集控制器(以下称采集器)、上位机系统、供电系统组成。其系统组成示意图,见图1。

1.2 CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪

1.2.1 工作原理

CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪是依据中华人民共和国国家标准《水面蒸发器》(GB/T 21327-2007)的相关要求制造,工作原理类同FFZ-01X型数字水面蒸发仪,亦可用于自动连续观测水面蒸发过程。CQS.FFH-2型水面遥测蒸发器蒸发桶或蒸发池内水位下降或升高带动高精度液位传感器浮子下降或升高,液位传感器将浮子下降或升高的高

度变化转换成电信号,高精度雨量传感器通过0.1 mm翻斗将雨量转换成开关信号,水面遥测蒸发器直接连接液位,雨量传感器自动采集水位、雨量信号,通过判断、分析、计算后得出水位下降高度值、日降雨量、日蒸发量和某段时间内的累计蒸发量。

1.2.2 系统组成

CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪主要由浮子式液位传感器、0.1 mm翻斗雨量计、水面遥测蒸发仪主机、取水泵和补水泵、无线数据发射装置、太阳能电池板、太阳能充电控制器、12 V蓄电池、室外机箱等组成。其安装示意图,见图2。

2 比测分析

2.1 比测场所

沙河水库水文站位于江苏省溧阳市沙河水库,东经119°26′,北纬31°19′,1959年5月由江苏省水文总站设立,主要观测项目有坝上水位(温),主涵、东涵、西涵、泄洪闸、沙溪引河5处涵闸出库流量,降水量、蒸发量和浅层地下水位。其中,水位、降水量均已实现在线监测,监测数据纳入整编范围。

沙河水库水文站降蒸观测场位于沙河水库湖里山北侧,东西长约30 m,南北宽24 m,总面积约625 m²,四周为树木。降蒸观测场内现布置人工观测的Φ618 mm蒸发桶、FFZ-01X型数字水面蒸发仪以及CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪各1套。另外,布置标准雨量器、自记雨量计、称重式雨量计、JDZ05遥测雨量计各1套。

2.2 比测方法

根据统计学理论,要检验FFZ-01X型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪和Φ618 mm蒸发桶的观测精度是否一致,可用服从F分布的统计量来分别检验FFZ-01X型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪和Φ618 mm蒸发桶的正态总体方差是否相等(F检验)。若相等,则观测精度一致,反之则观测精度不一致。其中,由于日蒸发量较小,偶然误差较大,故采用旬蒸发量作为样本值。另外,为了消除偶然误差,可用显著性差值检验法对FFZ-01X型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2型水面遥测蒸发仪蒸发量与人工观测蒸发量进行逐日比测分析,对于差值较大者进行Q值检验。最后进行相关性分析,以便在缺测资料时插补延用。比测数据选用FFZ-01X型数字水面蒸发仪2015年4月~2017年2月和CQS.FFH-

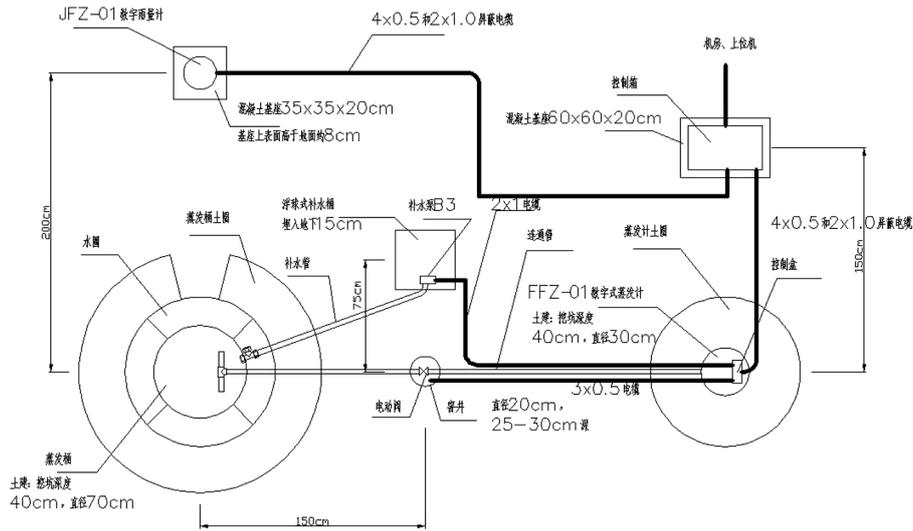


图 1 FFZ-01X 型数字式水面蒸发仪系统组成图

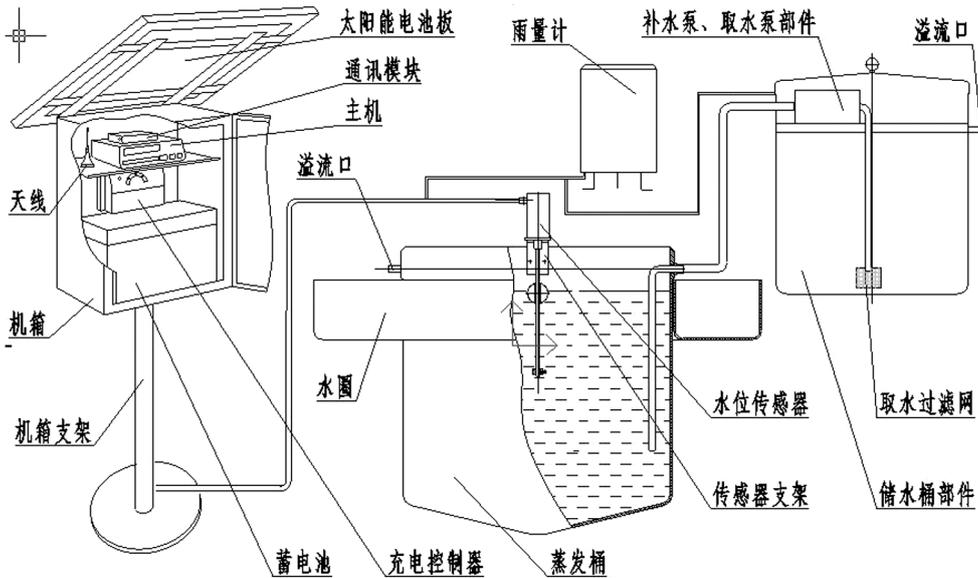


图 2 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发仪安装示意图

2 型水面遥测蒸发仪 2016 年 5 月~2017 年 2 月的监测数据。

2.2.1 F 检验

F 检验又叫方差齐性检验。从 2 个研究总体中随机抽取样本, 要对这 2 个样本进行比较的时候, 首先要判断总体方差是否相同, 即方差齐性。F 检验法是英国统计学家 Fisher 提出的, 主要通过比较 2 组数据的方差 S^2 , 以确定他们的精密度是否有显著性差异。至于 2 组数据之间是否存在系统误差, 则在进行 F 检验并确定它们的精密度没有显著性差异之后, 再进行 t 检验。原假设为:

$$D_{\xi} = D_{\eta} \quad (2)$$

式(2)中, D_{ξ} 为 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测总体方

差; D_{η} 为 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发仪观测总体方差。

检验统计量为:

$$F = \frac{s_{\xi}^{*2}}{s_{\eta}^{*2}} \sim F(n_1 - 1, n_2 - 1) \quad (3)$$

式(3)中, n_1 为 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测甸数; n_2 为 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发仪观测甸数。

由于样本间相互独立、随机, 选择显著性水平 $\alpha = 0.10$ 。2 个样本的观测次数分别按 2015 年 4 月~2017 年 2 月、2016 年 5 月~2017 年 2 月观测甸数统计。

2.2.2 显著性差异检验

显著性差异检验就是事先对总体(随机变量,本文指自动监测蒸发量与人工观测蒸发量之差)的参数或总体分布形式做出一个假设,然后利用样本信息来判断这个假设是否合理,即判断总体的真实情况与原假设是否有显著性差异。显著性检验是针对总体所做的假设做检验,其原理就是“小概率事件实际不可能性原理”来接受或否定假设。

设对比差值为 $X_i = R_i - U_i$, 其中 R_i, U_i 分别为第 i 次人工和自动观测值,对比差值应当在 $\pm N$ mm (N 为待定值),否则认为偏差超出正常范围。假设样本总数为 n ,差值的均值计算公式为:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - U_i)}{n} \quad (4)$$

显著性差异检验可以检验 2 个数据序列是否存在显著差异性,计算其平均值、标准差,根据样本量大小选择 t 检验数据序列的差异性。数据序列标准差 σ 的计算方法如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

2.2.3 Q 检验

Q 检验法又叫做舍弃商法,是迪克森(W. J. Dixon)在 1951 年专为分析化学中少量观测次数 ($n < 10$) 提出的一种简易判据式。按以下步骤来确定可疑值的取舍:

(1) 将各数据按递增顺序排列: x_1, x_2, \dots, x_n ;

(2) 求出最大值与最小值的差值(极差) $X_{max} - X_{min}$;

(3) 求出可疑值与其最相邻数据之间差值的绝对值;

(4) 求出 Q (Q 等于“(3)”中的差值除以“(2)”中的极差);

(5) 根据测定次数 n 和要求的置信水平(如 95%) 得到相应值 Q_0 ;

(6) 判断:若计算 $Q > Q_0$, 则舍去可疑值, 否则应予保留。

2.2.4 回归分析

回归分析是一种统计学上分析数据的方法,目的在于了解 2 个或多个变量间是否相关、相关方向与强度,并建立数学模型以便观察特定变量和预测。回归分析是建立因变量 y 与自变量 x 之间关系的模型。如果通过回归分析,在因变量和自变量之间建立密切的相关关系,可用于水文资料(如雨量)

插补。

采用回归分析法,对 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发仪与标准雨量筒进行逐月降水总量(降水日数)对比、时段最大降水量对比,并进行误差成因分析。其中,回归分析原理如下:

设 x_i, y_i 代表 2 个系列的观测值,计有 n 对,把点 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) 点绘于直角坐标平面图上,并采用分析法来确定相关线的方程,即回归方程式。

设该直线方程式的形式为:

$$y = a + bx \quad (6)$$

式(6)中, x 为自变量(标准雨量筒观测值); y 为因变量(FFZ-01X 型数字水面蒸发仪、CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发仪观测值); a, b 为待定常数,由最小二乘法确定。

回归线只是对点据拟合最佳的一条线。实际上在回归线上所对应的 y 只不过是许多 y_i 的平均数,通常称为条件平均数。因此,回归线只反映 1 种平均关系,借此关系由 x 推求出的 y 和实际的可能值是不一样的,也就是说,存在着误差,这种误差与随机变量的分布有关,衡量这种误差的大小,一般采用均方误差来表示。如用 S_y 表示 y 倚 x 的回归线的均方误差, y_i 为观测点据的纵坐标值, n 为观测项数,则:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-2}} \quad (7)$$

通过回归线求出的条件平均数并非是总体的条件平均数,两者差别的大小取决于样本的代表性。

3 数据结果

3.1 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪

3.1.1 F 检验

检验统计量为:

$$F = \frac{s_{\xi}^{*2}}{s_{\eta}^{*2}} \sim F(n_1 - 1, n_2 - 1) \quad (8)$$

式(8)中, n_1 为 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测旬数; n_2 为 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪观测旬数。

由于样本间相互独立、随机,选择显著性水平 $\alpha = 0.10$ 。观测次数按 2015 年 4 月 ~ 2017 年 2 月观测旬数统计。

FFZ-01X 型数字水面蒸发仪的 F 检验,根据

统计蒸发数据:

$$n_1 = 24, n_2 = 16,$$

$$s_{\xi}^{*2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (R_i - \bar{R})^2}{24 - 1}} = 121.17,$$

$$s_{\eta}^{*2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{16} (U_i - \bar{U})^2}{16 - 1}} = 113.58,$$

$$F = \frac{s_{\xi}^{*2}}{s_{\eta}^{*2}} = 1.07, F(n_1 - 1, n_2 - 1) = F(23, 15) =$$

1.91, 因为 $F < F(23, 15)$, 所以 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测的蒸发数据的方差无显著差异。

3.1.2 显著性差异检验

因为 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶所观测的蒸发数据具有方差齐性, 故可用 t 检验进行显著性差异检验, 显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

检验统计量:

$$t = \frac{\bar{R} - \bar{U}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \sim$$

$$t(n_1 + n_2 - 2) \quad (9)$$

假设: 人工和自动观测值的对比差值 $X_i = R_i - U_i$ 在正常范围内 (H_0), 人工和自动观测值的对比差值 $X_i = R_i - U_i$ 超出正常范围 (H_1)。根据统计蒸发数据:

$$n_1 = 332, n_2 = 297,$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} = 1.82,$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} = 1.54,$$

$$t = \frac{\bar{R} - \bar{U}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} =$$

1.04, 查表得 $t(n_1 + n_2 - 2) = 1.96$, 因为 $t < t(n_1 + n_2 - 2)$, 所以接受 H_0 的假设, 认为 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶所观测的蒸发数据无显著性差异。

3.1.3 Q 检验

对 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪与 $\Phi 618$ mm 蒸发桶的观测蒸发数据的对比差值 X_i 进行 Q 检验。可疑值为 2.9, 可疑值产生主要是由于 $\Phi 618$ mm 蒸发桶人工观测误差, 最大值与最小值的差值(极差) $X_{max} - X_{min} = 2.9$, 2.9 与其最相邻数据

之间差值的绝对值为 0.4, $Q = \frac{0.4}{2.9} = 0.14$, 置信水平取 95%, $Q_0 = 0.48$, 因为 $Q < Q_0$, 所以可疑值 2.9 (2017 年 1 月 12 日) 应保留。

3.1.4 回归分析

(1) 逐月降水总量对比

设 x_i, y_i 分别代表标准雨量筒与 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪的观测值, 共计 12 对, 把点 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, 12$) 点绘于直角坐标平面图上, 采用分析法确定相关线的方程为 $y = 1.77x$, y 倚 x 的回归

$$线的均方误 S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 375.02.$$

逐月降水总量回归线见图 3。

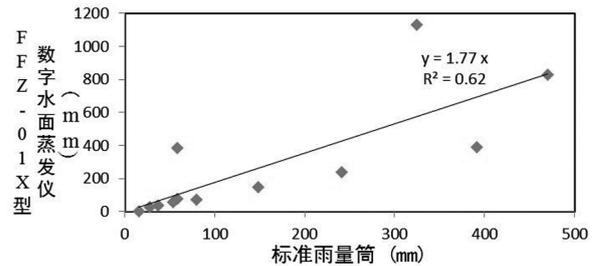


图 3 逐月降水总量回归线图

(2) 时段最大降水量对比

分析法确定相关线的方程为 $y = 1.95x$, y 倚 x

$$的回归线的均方误 S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 122.08.$$

时段最大降雨量回归线见图 4。

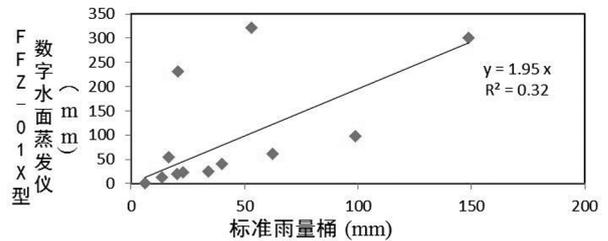


图 4 时段最大降雨量回归线图

(3) 逐月蒸发总量对比

设 x_i, y_i 分别代表 $\Phi 618$ mm 蒸发桶与 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪的观测值, 共计 13 对, 采用分析法确定相关线的方程为 $y = 0.85x$, y 倚 x 的回归

$$线的均方误 S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 29.15.$$

逐月蒸发总量回归线见图 5。

显然, FFZ-01X 型数字水面蒸发仪观测雨量值与标准雨量筒月雨量观测值差异较大, 相关性也

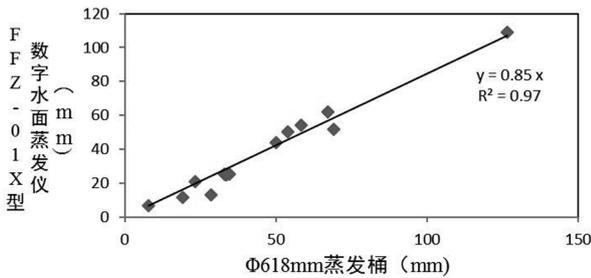


图5 逐月蒸发总量回归线图

很小;月蒸发量观测值也存在差异,但相关性较好。

3.2 CQS.FFH-2型水面遥测蒸发器

3.2.1 F检验

检验统计量为:

$$F = \frac{s_{\xi}^{*2}}{s_{\eta}^{*2}} \sim F(n_1 - 1, n_2 - 1) \quad (10)$$

式(10)中, n_1 为 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测旬数; n_2 为 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器观测旬数。

由于样本间相互独立、随机,选择显著性水平 $\alpha = 0.10$,观测次数按 2016 年 5 月 ~ 2017 年 2 月观测旬数统计。

CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器的 F 检验,根据统计蒸发数据:

$$n_1 = 26, n_2 = 24,$$

$$s_{\xi}^{*2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (R_i - \bar{R})^2}{24 - 1}} = 185.21,$$

$$s_{\eta}^{*2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (U_i - \bar{U})^2}{16 - 1}} = 75.73,$$

$$F = \frac{s_{\xi}^{*2}}{s_{\eta}^{*2}} = 2.45, F(n_1 - 1, n_2 - 1) = F(25, 23) =$$

1.73, 因为 $F > F(25, 23)$, 所以 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器与 $\Phi 618$ mm 蒸发桶观测的蒸发数据的方差有显著差异。

3.2.2 显著性差异检验

因为 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶所观测的蒸发数据的方差有显著性差异,故采用 t 检验进行显著性差异检验,显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

检验统计量为:

$$t = \frac{\bar{R} - \bar{U}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim t_{df} \quad (11)$$

假设:人工和自动观测值的对比差值 $X_i = R_i - U_i$ 在正常范围内(H_0),人工和自动观测值的对比差值 $X_i = R_i - U_i$ 超出正常范围(H_1)。根据统计蒸发

数据:

$$n_1 = 271, n_2 = 267,$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} = 2.39,$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} = 1.45,$$

$$t = \frac{\bar{R} - \bar{U}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = 0.94, \text{查表得 } t_{df} = 1.965, \text{因为}$$

$t < t_{df}$, 所以接受 H_0 的假设,认为 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶所观测的蒸发数据无显著性差异。

3.2.3 Q检验

对 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器与 $\Phi 618$ mm 蒸发桶的观测蒸发数据的对比差值 X_i 进行 Q 检验。可疑值为 4.0、4.3、4.4、4.9、5.1、5.5,可疑值产生主要是由于无溢流量,置信水平取 95%,检验结果见表 1。因为所有可疑值的 Q 均小于 Q_0 ,所以可疑值全部保留。

表1 Q检验结果表

可疑值	日期	Q	Q_0
4.0	2016/09/28	0.05	0.48
4.3	2016/07/03	0.02	0.48
4.4	2016/10/21	0.02	0.48
4.9	2016/07/02	0.04	0.48
5.1	2016/07/01	0.04	0.48
5.5	2016/10/26	0.07	0.48

3.2.4 回归分析

(1) 逐月降水总量(降水日数)对比

设 x_i, y_i 分别代表标准雨量筒与 CQS.FFH-2 型水面遥测蒸发器的观测值,共计 10 对,把点 (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots, 10$) 点绘于直角坐标平面图上,采用分析法确定相关线的方程为 $y = 1.11x$, y 倚 x 的

$$\text{回归线的均方误 } S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 220.31。$$

逐月降水总量回归线见图 6。

(2) 时段最大降水量对比

分析法确定相关线的方程为 $y = 1.17x$, y 倚 x

$$\text{的回归线的均方误 } S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 66.64。$$

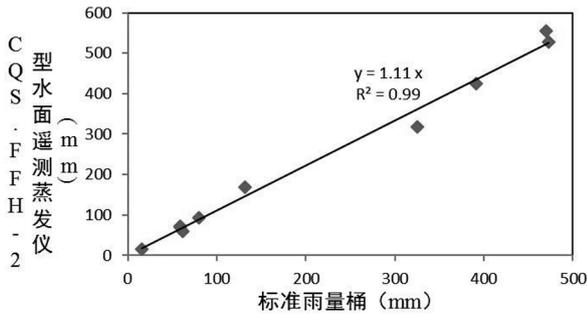


图 6 逐月降水总量回归线图

时段最大降雨量回归线见图 7。

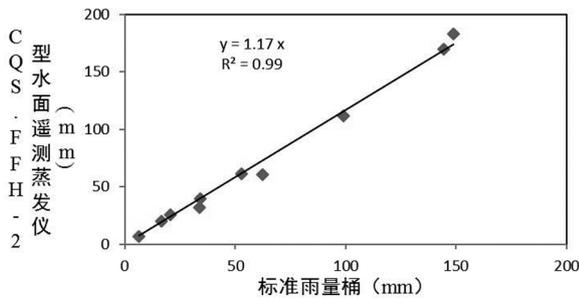


图 7 时段最大降雨量回归线图

(3) 逐月蒸发总量对比

设 x_i, y_i 分别代表 $\Phi 618$ mm 蒸发桶与 CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发仪的观测值, 共计 10 对, 采用分析法确定相关线的方程为 $y = 1.17x$, y 倚 x

的回归线的均方误 $S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 2}} = 92.81$ 。

逐月蒸发总量回归线见图 8。

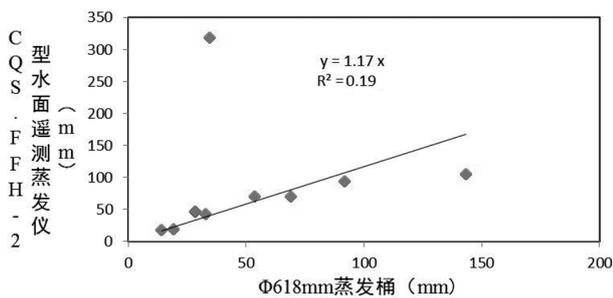


图 8 逐月蒸发总量回归线图

显然, CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发仪观测雨量值与标准雨量筒月降水量观测值差异较大, 但相关性较好; 月蒸发量观测值差异较大, 相关性也不好。

4 结语

(1) 对于蒸发量, FFZ-01X 型数字水面蒸发仪和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶的蒸发量观测精度基本一致, CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发仪和 $\Phi 618$ mm 蒸发桶的蒸发量观测精度不一致, 故 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪的蒸发量观测精度较 CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发仪更高。

(2) 对于降水量, CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发仪与标准雨量筒观测值的相关性较 FFZ-01X 型数字水面蒸发仪更好。

在实际运行过程中, FFZ-01X 型数字水面蒸发仪多次出现故障, 导致较长时间无法正常使用, 且清洗蒸发桶可操作性较差, 建议提高维护质量, 增加维护频次, 同时提高雨量观测精度。CQS. FFH-2 型水面遥测蒸发器仪自身设计缺陷相当明显, 无溢流量与补水量, 蒸发仪自动观测雨量、蒸发量与人工雨量、蒸发值相差较大, 需对仪器进行系统性改进。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL630—2013 水面蒸发观测规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 张援朝, 张敏, 张永立. 数字记录式水面蒸发器的研究与应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2003(4): 1-9.
- [3] 朱华亮, 温华洋, 邱康俊. 基于两种方法的小型蒸发器与 E-601B 蒸发器蒸发量折算研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2018, 35(1): 20-26.