

# 福建古田站水面蒸发计算 方法的探讨

陈 天 珠

(福建省水文总站)

## 提 要

本文以器测法和经验公式法,从物理成因和公式的确定,探讨了古田站用蒸发器测量的水面蒸发量,换算为自然水体蒸发量,及以水文气象因子的资料,计算水面蒸发量。

在器测法中,以折算系数和统计相关两种不同方法,探讨折算系数的确定、时空变化规律,及其影响因素,分升、降温期,用数学函数建立蒸发池、器蒸发量间的关系公式。

在经验公式法中,探讨水面蒸发与湿度梯度、温度梯度和风速的关系,并建立其与水文气象因子的关系公式。

本文可供研究确定水面蒸发量参考。在同一个气候区内,以各已知要素资料,用其相应公式,计算水面蒸发量,可以得到满意的成果。

水面蒸发是水资源损失的一个主要部分,尤其对湖泊、水库、山塘、渠道等水体,影响颇大。因此,对水面蒸发的观测、计算和研究十分必要。

用蒸发器测量水面蒸发量,是简便、经济和普遍应用的方法。以蒸发器蒸发量,通过换算,求得自然水体蒸发量,称为器测法。根据测量的蒸发值与影响它的主要水文气象因子,建立水面蒸发经验公式,通过水文气象因子的观测资料,来计算水面蒸发,称为经验公式法。

古田站于1957年设立,是我国陆上水面蒸发实验站之一。其地理位置:东经 $118^{\circ}47'$ 、北纬 $26^{\circ}33'$ 。观测场面积1200平方米,高程340米(黄海基面)。观测项目齐全,资料精度可靠。

应用上述两种方法,对古田站的二十多年蒸发及水文气象资料,进行分析研究,得到了下列成果。

## 一、器测法

### (一) 折算系数法:

器测法的研究工作,主要在于确定折算系数的问题上。由于气候、季节、仪器构造和观测等因素,使折算系数互相差异。

由于蒸发器的储热量与自然水体不同，及其1.5米高度处测得的空气湿度、一般小于在自然水体所测的，因此，根据蒸发器测得的蒸发量，不能代替自然水体，必须乘以折算系数，以求得自然水体蒸发量。换算的精度如何，关键在于折算系数的准确性。

表 1 古田站蒸发器多年平均月年折算系数表  
Tab.1 Long-term average month and year Conversion Coefficients for evaporation pans at the Gutian Station.

折 算 系 数 R	蒸 发 器 月	E <sub>601</sub>		ГГН <sub>3000</sub>	φ80 <sub>(1)</sub>	φ80 <sub>(2)</sub>	φ20
		(1)	(2)				
	1	1.04	1.03	0.94	1.02	1.12	0.89
	2	0.96	0.98	0.88	0.92	0.99	0.86
	3	0.92	0.93	0.85	0.86	0.88	0.73
	4	0.87	0.90	0.83	0.82	0.82	0.66
	5	0.94	0.90	0.87	0.84	0.82	0.71
	6	0.94	0.93	0.90	0.86	0.83	0.71
	7	0.99	0.97	0.93	0.91	0.93	0.78
	8	1.00	0.99	0.93	0.93	0.95	0.81
	9	1.03	1.03	0.96	0.98	1.02	0.89
	10	1.07	1.07	0.99	1.08	1.18	0.99
	11	1.10	1.10	1.00	1.09	1.21	1.00
	12	1.07	1.06	0.90	1.09	1.19	0.97
	年	0.99	0.99	0.93	0.94	0.96	0.82
变 域	R月	0.87~1.10	0.90~1.10	0.83~1.00	0.82~1.09	0.82~1.21	0.66~1.00
	R年	0.91~1.04		0.85~1.01	0.86~1.01	0.91~1.03	0.78~0.85
蒸发器说明		钢板、圆形、地下		钢板、圆形、地下	白铁、圆形、地下	白铁、圆形、地面	白铁、圆形、地面
观测方法		测 针 法		测 针 法	测 针 法	测 针 法	容 积 法
统计资料		1963~1979		1959~1965 1967~1977	1959~1964 1967~1978	1959~1964 1967~1978	1959 1961~1965 1967~1978

注：E<sub>601</sub>中(1)、(2)由公式(1)、(2)计算。

1. 折算系数      折算系数R为自然水体蒸发量E（毫米）与蒸发器蒸发量E<sub>器</sub>（毫米）之比，即：

$$R = \frac{E}{E_{器}} \tag{1}$$

1972年9月世界气象组织蒸发工作组在日内瓦会议作出决定：认为以 20 平方米蒸发池研究浅水湖泊的蒸发，可得出满意的结果。本文以20平方米蒸发池代替自然水体。各种蒸发器折算系数见表 1。

计算、分析E<sub>601</sub>蒸发器折算系数与各水文气象因子的回归关系，筛选建立折算系数经验公式：

$$R_{E601月} = 1.08085 - 0.0124\Delta t - 0.00687P_d \tag{2}$$

式中：R<sub>E601月</sub>——E<sub>601</sub>蒸发器月折算系数；Δt——相应月气温与前月气温差（℃）；P<sub>d</sub>——相应月降雨日数。

气温差Δt，表示这月水体储热量的增减。降雨期间，水体储热量减小，同时，空气湿度一般较大，水体蒸发减小，由于水体大小和仪器特性不同，蒸发减率亦有所差异。折算系数变化过程，实际上是体现大小水体储热量变化而产生蒸发增减率不同的过程。

用公式（2）计算E<sub>601</sub>蒸发器多年平均月折算系数见表 1。

在同一气象、地理条件的情况下，大小水体蒸发池、器的蒸发关系，是有一定规律的。福建省16个县城站点，用公式（2）计算E<sub>601</sub>蒸发器多年平均月折算系数，年折算系数见表 2。

表 2 福建省E<sub>601</sub>蒸发器多年平均年折算系数表  
Tab.2 Long-term average year Conversion Coefficients for E<sub>601</sub> evaporation pans in Fujian province.

站 名	崇安	邵武	建宁	松溪	长汀	南平	永安	上杭	福安	古田	德化	永太	莆田	同安	漳州	诏安
折算系数 R	0.98	0.98	0.98	0.988	0.987	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

折算系数是有一定的气候、地理规律，其等值线走向与海岸线大致平行。

2. 折算系数影响因素      蒸发器折算系数的时空变化，取决于大水体蒸发量与蒸发器蒸发量二者影响因素之间的差别：

（1）大水体的储热量较蒸发器的储热量大，一年内大水体蒸发量特征值出现时间在蒸发器蒸发量特征值出现时间之后。

（2）热平流通过地上蒸发器的四周与底部，蒸发器内受热较快，因此，蒸发器的蒸发量大于大水体蒸发量。冷平流通过时，情况则相反。

（3）由于风的作用，将蒸发器上的湿空气带走换上干空气，因此，蒸发器上的水汽较大水体上的水汽扩散得快，蒸发量比较大，

（4）蒸发器的尺寸大小、制造材料、结构形式、安装方法影响了储热量，使蒸发器的

蒸发量不同于大水体蒸发量，在升（2～7月）、降（8～1月）温期，大、小水体蒸发增减率不同。

因而，蒸发量受辐射、水温、水汽压、风、热（冷）平流、储热量等影响，使折算系数逐月变化，呈单峰形，4、11月为最小、最大值，5月开始上升，12月又下降，其特征值出现时间，比气温、地温特征值出现时间推迟3～4月。折算系数年际间变化较小。

## （二）统计相关法：

由于大小水体储热量的不同，分升、降温期，用数学函数表示蒸发池、器蒸发量间相互关系的规律，其相关公式：

$$E = a + bE_{\text{器}}^n \quad (3)$$

式中：E——蒸发池蒸发量（毫米/月）；

a——截距；b——斜率；n——指数，升温期 $n > 1.0$ ；降温期 $n < 1.0$ 。

20平方米蒸发池与蒸发器月蒸发量相关公式见表3。

表3 古田站20M<sup>2</sup>蒸发池与各蒸发器相关公式表（毫米/月）

Tab.3 Correlation between 20M<sup>2</sup> evaporation ponds and evaporation pans at the Gutian Station.

蒸 发 器	升 温 期	降 温 期
E <sub>601</sub>	$E = 22.8 + 0.06E_{\text{器}}^{1.54}$	$E = -55.5 + 11.2E_{\text{器}}^{0.58}$
ГГИ <sub>3000</sub>	$E = 19.7 + 0.08E_{\text{器}}^{1.46}$	$E = -69.7 + 14.6E_{\text{器}}^{0.53}$
φ30	$E = 19.7 + 0.12E_{\text{器}}^{1.37}$	$E = -65.7 + 15.4E_{\text{器}}^{0.52}$
φ30(2)	$E = 28.0 + 0.05E_{\text{器}}^{1.54}$	$E = -196.0 + 92.0E_{\text{器}}^{0.26}$
φ20	$E = 29.7 + 0.025E_{\text{器}}^{1.62}$	$E = -223.5 + 107.2E_{\text{器}}^{0.24}$

各蒸发器逐年月蒸发量以折算系数和相关公式，验算20平方米蒸发池蒸发量，多年平均年误差，地下型的 $< 1.0\%$ 、地上型的 $< 2.0\%$ 。月蒸发量误差在 $\pm 10\%$ 以内累积频率，地下型的大于85%、地上型的大于70%。

## 二、经验公式法

### （一）水面蒸发经验公式的基本形式：

水面蒸发经验公式较多，但有物理基础、普遍应用的公式是：

$$E = (e_0 - e_{150}) f(v) \quad (4)$$

式中：E——蒸发池（器）蒸发量（毫米）；

$e_0$ 、 $e_{150}$ ——分别为蒸发池(器)水面、1.5米高度处的水汽压(毫巴);  
 $f(V)$ ——风速函数。

## (二) 水面蒸发与水文气象因子的关系:

水面蒸发是水分子运动与乱流扩散的过程,其量是水分子从水面逸出和进入的通量之差。水体储热量和近水层空气运动,决定水面蒸发率。 $E = -\rho K \frac{\partial e}{\partial z}$  (式中: $\rho$ ——空气密度; $K$ ——乱流交换强度),  $K = f(V, \frac{\partial e}{\partial z})$  所以,水面蒸发是由湿度梯度 $\frac{\partial e}{\partial z}$ 、温度梯度 $\frac{\partial T}{\partial z}$  和风速 $V$ 来决定的。

众所周知,水面蒸发率与水面饱和水汽压和其上空气水汽压之差成比例。水汽压力差是水汽梯度,反映水汽垂直交换作用。饱和差和相对湿度反映空气的干湿程度。所以,湿度是决定水面蒸发强度的重要因素。气温直接对水温起作用,并通过地温间接对水温起作用。水温反映水体储热量,它是水面蒸发的主要因子之一。水面上风的作用,使水分含量低的空气交换接近水面的空气,促进水汽交换,加速质量转移,增大水面蒸发率。

## (三) 水面蒸发经验公式:

用水文气象因子月平均值与20平方米蒸发池月平均蒸发率,建立水面蒸发公式。

1. 水汽压力差、风速因子 认为蒸发跟风速与湿度梯度乘积成比例,即质量转移法,亦称空气动力学法,公式形式:

$$E = CV_{150}(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (5)$$

式中: $C$ ——蒸发系数;其余符号同前。

从蒸发池实测资料,经过统计分析,得出水面蒸发公式:

$$E = 0.217V_{150}(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (6)$$

如果蒸发系数 $C$ 为风速 $V$ 的函数,以经验二项式表示, $CV_{150} = a + bV_{150}$ ,式中: $a$ 、 $b$ 为经验系数,由实测资料统计分析求出。系数 $a = 0.180$ 、 $b = 0.047$ ,水面蒸发公式:

$$E = (0.180 + 0.047V_{150})(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (7)$$

有关蒸发实验站的公式:

$$\text{广东广州站} \quad E = (0.180 + 0.038V_{150})(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (8)$$

$$\text{湖北东湖站} \quad E = (0.219 + 0.057V_{150})(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (9)$$

$$\text{辽宁营盘站} \quad E = (0.239 + 0.056V_{150})(e_0 - e_{150}) \text{ 毫米/日} \quad (10)$$

## 2. 主要气象因子

$$(1) \text{ 饱和差} \quad E = -0.22 + 1.01d^{0.71} \text{ (毫米/日)} \quad (11)$$

$$(3) \text{ 相对湿度} \quad 5 \sim 10 \text{ 月} \quad E = 23.4 - 0.25\gamma \text{ (毫米/日)} \quad (12)$$

$$11 \sim 4 \text{ 月} \quad E = 10.0 - 0.10\gamma \text{ (毫米/日)} \quad (13)$$

$$(3) \text{ 气温} \quad \text{升温期} \quad E = 1.42 + 0.00048t^{2.62} \text{ (毫米/日)} \quad (14)$$

我省5、6月为雨季,计算值减0.3毫米/日。当雨季结束后,气温骤升,7月计算值加0.4毫米/日。

$$\text{降温期} \quad E = 1.20 + 0.006t^{1.90} \text{ (毫米/日)} \quad (15)$$

(4) 日照时数 用日照时数为因子、以相应气温作参数，建立关系公式：

$$E = f(t, T_{\text{日照时数}}) \quad (\text{毫米/日}) \tag{16}$$

当t为定值时：

$$E = a + bT^n_{\text{日照时数}} \quad (\text{毫米/日}) \tag{17}$$

式中：a——截距；b——斜率；n——指数、 $>1.0$ 。

不同的t，b、n相同，a不同，见表4。

表 4 古田站a、b、n值表

Tab.4 Values of a,b.and n for the Gutian Station.

期别	b	n	t	28.0	27.5	25.0	22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	9.0	7.5	7.0
升温	0.029	1.79	a	3.54	3.16	2.46	2.06	1.78	1.60	1.42	1.10	0.90	0.78		
降温	0.025	1.84	a	3.73	3.43	2.91	2.56	2.23	2.00	1.71	1.44	1.13		0.84	0.67

用各气象因子月平均值，验算20平方米蒸发池蒸发量，多年平均年误差 $<2.0\%$ 。月蒸发量误差在 $\pm 10\%$ 以内累积频率〔除(12)、(13)式外〕达65%以上。两因子的公式，精度更高些。

由于蒸发站的数目比较少，有的分布也不均匀，在无资料地区计算蒸发量，存在困难。水文气象因子建立的水体蒸发公式，是一种可取的途径，水文气象因子站点多，且易得到，用公式计算，可以得到满意的成果。

## DISCUSSION OF THE CALCULATION METHOD OF WATER SURFACE EVAPORATION AT GUTIAN STATION FUJIAN PROVINCE

Chen Tianzhu

(The General Hydrologic Station of Fujian Province)

### Abstract

Based on both pan-measured method and experience formula method, the conversion of water surface evaporation measured by pans at the Gutian station into evaporation from natural water body was explored in this paper from physical causes to the determination of formula. Water surface evaporation was also calculated by using the data of hydrometeorological factors.

The determination of conversion coefficients and the laws of timespace variation as well as their effect factors were studied separately from the view points of both conversion coefficient and statistic correlation in the panmeasured method. Dividing them into rising and falling temperature periods, the correlation formula between the evaporation of both ponds and pans was found out by mathematical function.

The correlation between water surface evaporation and humidity grade, temperature grade as well as wind velocity was also explored in the experience formula method and then the correlation formula between water surface evaporation and hydrometeorological factors was developed.

This paper can be used as references for studying the determination of water surface evaporation in the same climatic regions, the water surface evaporation can be calculated by means of the known data of various factors and the corresponding formulae, and the results might be satisfactory.