

# 小型蒸发器蒸发资料的应用 与仪器的改进

闵 鑫

(江西省鄱阳湖水文气象实验站)

## 提 要

本文根据我国漂浮蒸发器比陆地大型蒸发池更多的实际情况，提出了用小型蒸发器与漂浮蒸发器同步观测资料确定小型蒸发器蒸发量对自然大水体蒸发量的折算系数的方法。并对造成小型蒸发器性能较差的原因进行了分析，在此基础上提出了小型蒸发器的改进措施。

## 一、引 言

口径20cm的小型蒸发器是气象台站观测水面蒸发的主要仪器，不仅数量多，而且观测历史长，比其它任何一种蒸发器的资料序列都长。但由于小型蒸发器的性能较差<sup>[1][2]</sup>，致使由它观测到的水面蒸发量资料无法直接引用。如何利用已积累的大量小型蒸发器蒸发资料为国民经济建设服务，是一项重要且有实际意义的研究工作。

目前采用的方法是利用蒸发实验站小型蒸发器与大型蒸发池同步观测资料，计算小型蒸发器蒸发量对自然大水体蒸发量的折算系数（简称小型蒸发器折算系数），通过分区、分月统计，确定各地小型蒸发器的折算系数，供各地区没有建造大型蒸发池的普通测站将小型蒸发器的蒸发量折算成自然大水体的蒸发量用<sup>[3][4]</sup>。

大型蒸发池不仅造价很高，而且技术要求也很高，因而水文、气象部门都没有将它列入站网蒸发器，水文部门一直是将漂浮蒸发器列入水库、湖泊等自然大水体水面蒸发

观测的站网蒸发器<sup>[5]</sup>。我国只在少数蒸发实验站（约20余处）建造了大型蒸发池，绝大多数蒸发实验站（约50余处）仍采用漂浮蒸发器。研究如何利用小型蒸发器与漂浮蒸发器同步观测资料，确定小型蒸发器蒸发量对自然大水体蒸发量的折算系数，是十分必要的。

本文建立了将小型蒸发器蒸发量对漂浮蒸发器蒸发量的折算系数，改正成为小型蒸发器蒸发量对自然大水体蒸发量的折算系数的公式，供参考。

## 二、自然大水体蒸发量的推求

利用小型蒸发器与大型蒸发池同步观测资料计算小型蒸发器的折算系数时，是以蒸发池的蒸发量直接作为自然大水体的蒸发量。但漂浮蒸发器的蒸发量不能直接作为自然大水体的蒸发量<sup>[6]</sup>，故下面首先讨论如何用漂浮蒸发器的蒸发量推求自然大水体的蒸发量的问题。

漂浮蒸发器蒸发量与自然大水体蒸发量的差异主要表现在两个方面：一是漂浮蒸发器观测到的蒸发量不是蒸发器内自由水面的

蒸发量，而是蒸发器的器壁耗水量与器内自由水面蒸发量的总和；二是器内水体与器外自然大水体被器壁隔开，器内、外水体的温热特征有所不同，使得漂浮蒸发器内自由水面的蒸发量不能代表器外自然大水体的蒸发量。要将漂浮蒸发器的蒸发量扣除器壁耗水量后，再作热力因素改正，所得结果方可代表自然大水体的蒸发量。

### 1. 器壁耗水量的扣除

蒸发器的器壁耗水量是指蒸发器内壁自由水面附近被水浸润的湿润圈上的蒸发量。在水的吸附力与重力的共同作用下，自由水面以上一定高度内所形成的湿润圈加大了蒸发器内水体的蒸发面积，增加了器内水体的蒸发量。器壁被浸润的面积处在垂直曲面上，其蒸发强度稍小于器内自由水面上的蒸发强度，为了便于确定蒸发器的器壁耗水量，忽略上述差异，假设器壁浸润面积上的蒸发强度等于蒸发器内自由水面上的蒸发强度，则器壁耗水量可由下式决定

$$\Delta E = \frac{A}{A+S} \cdot E' \quad (1)$$

式中： $\Delta E$ —蒸发器的器壁耗水量；

$A$ —器壁被浸润的面积；

$S$ —器口的面积；

$E'$ —器测蒸发量（本文指漂浮蒸发器的蒸发量）。

对于圆形蒸发器， $A = 2\pi Rh$ ,  $S = \pi R^2$ ，代入(1)式得到

$$\Delta E = \frac{2h}{R+2h} \cdot E' \quad (2)$$

式中： $h$ —器壁浸润高度。

将蒸发器观测到的蒸发量扣除器壁耗水量，即是蒸发器内自由水面的蒸发量：

$$E_0 = E' - \Delta E \\ = \frac{R}{R+2h} \cdot E' \quad (3)$$

式中， $E_0$ —蒸发器内自由水面的蒸发量。

作者从多年从事水面蒸发观测工作的经

验中提出以下看法： $E_{601}$ ,  $\Gamma\Gamma I_{3000}$ 等常用蒸发器的浸润高度正常天气为4—6mm，吹风期间及降雨以后比正常天气要大些，对于月蒸发量的计算，可取 $h=10\text{mm}$ 。

我国作漂浮蒸发观测的蒸发实验站绝大多数采用 $E_{601}$ 或 $\Gamma\Gamma I_{3000}$ 两种蒸发作为漂浮蒸发器，只有少数站以口径为80cm的套盆式蒸发器或小型蒸发器作为漂浮蒸发器。对于 $E_{601}$ 或 $\Gamma\Gamma I_{3000}$ 蒸发器， $R=30.9\text{cm}$ ，代入(3)式得到常用漂浮蒸发器内自由水面蒸发量的计算公式为

$$E_0 = 0.9392 E' \quad (4)$$

### 2. 自由水面蒸发量的热力因素改正

质量转移模型是水面蒸发量计算中常用的模型<sup>[7]</sup>，一般形式如下：

$$E = C \cdot \Delta e \cdot W_z \quad (5)$$

式中： $\Delta e$ —用水面温度计算的饱和水汽压差；

$W_z$ —蒸发面以上 $z\text{cm}$ 处的风速；

$C$ —整块蒸发系数。

由于漂浮蒸发器内自由水面与器外水库或湖泊等自然大水体的水面齐平，可以假设漂浮蒸发器内、外水面蒸发量模型中的 $C$ 、 $W_z$ 相等，因此得到以下关系式：

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\Delta e}{\Delta e'} \quad (6)$$

式中： $E$ —自然大水体的蒸发量；

$\Delta e$ —自然大水体的饱和水汽压差；

$\Delta e'$ —漂浮蒸发器的饱和水汽压差。

$\Delta e$ 是水面温度、气温及大气中相对湿度的函数，所以 $\Delta e$ 反映了水体表面的温热特征，用它作为漂浮蒸发器内、外水体温热差的改正指标是可行的，改正公式为

$$E = \frac{\Delta e}{\Delta e'} \cdot E_0 \quad (7)$$

将(4)式代入(7)式得到：

$$E = 0.9392 \frac{\Delta e}{\Delta e'} \cdot E' \quad (8)$$

### 三、小型蒸发器折算系数

的计算与应用

## 1. 折算系数的计算与检验

小型蒸发器蒸发量对自然大水体蒸发量的折算系数用以下公式计算：

$$R_{\text{小}} = \frac{E}{E_{\text{小}}} \quad (9)$$

式中： $R_{\text{小}}$ ——小型蒸发器的折算系数；  
 $E_{\text{小}}$ ——小型蒸发器的蒸发量。

将(8)式代入(9)式成为

$$R_{\text{小}} = 0.9392 \frac{\Delta e}{\Delta e'} \cdot \frac{E'}{E_{\text{小}}} \quad (10)$$

其中的  $\frac{E'}{E_{\text{小}}}$  是小型蒸发器蒸发量对漂

浮蒸发器蒸发量的折算系数，用  $R'$  表示，则有

表 1

都昌蒸发实验站小型蒸发器折算系数的计算

| 月份<br>项目             | 1    | 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12   | 平均     |
|----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| $E'$                 | 32.7 | 26.7 | 38.9 | 62.1  | 107.2 | 113.7 | 156.9 | 174.1 | 136.7 | 96.2  | 60.2 | 42.7 | 1048.1 |
| $E_{\text{小}}$       | 56.4 | 54.5 | 70.7 | 105.3 | 164.9 | 157.9 | 221.0 | 223.2 | 159.0 | 113.2 | 82.5 | 65.7 | 1474.3 |
| $R'_{\text{小}}$      | 0.58 | 0.49 | 0.55 | 0.59  | 0.65  | 0.72  | 0.71  | 0.78  | 0.86  | 0.85  | 0.73 | 0.65 | 0.68   |
| $\Delta e/\Delta e'$ | 0.94 | 1.20 | 0.95 | 0.92  | 0.98  | 1.00  | 1.01  | 1.02  | 1.03  | 1.04  | 1.02 | 1.03 | 1.01   |
| $R_{\text{小}}$       | 0.51 | 0.55 | 0.49 | 0.51  | 0.60  | 0.68  | 0.67  | 0.75  | 0.83  | 0.83  | 0.70 | 0.63 | 0.65   |

表 2

小型蒸发器折算系数的比较(华中区)

| 月份<br>站名 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 平均   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 都昌       | 0.51 | 0.55 | 0.49 | 0.51 | 0.60 | 0.68 | 0.67 | 0.75 | 0.83 | 0.83 | 0.70 | 0.63 | 0.65 |
| 重庆       | 0.65 | 0.56 | 0.50 | 0.50 | 0.56 | 0.55 | 0.57 | 0.64 | 0.70 | 0.79 | 0.88 | 0.82 | 0.61 |
| 东湖       | 0.64 | 0.56 | 0.56 | 0.52 | 0.52 | 0.60 | 0.60 | 0.63 | 0.69 | 0.72 | 0.82 | 0.78 | 0.62 |
| 宜兴       | 0.78 | 0.65 | 0.64 | 0.61 | 0.51 | 0.59 | 0.51 | 0.67 | 0.81 | 0.84 | 0.83 | 0.82 | 0.69 |
| 东溪口      | 0.82 | 0.77 | 0.62 | 0.63 | 0.71 | 0.74 | 0.75 | 0.81 | 0.93 | 0.90 | 0.89 | 0.86 | 0.79 |
| 芦桐埠      | 0.73 | 0.64 | 0.49 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.56 | 0.63 | 0.75 | 0.75 | 0.77 | 0.75 | 0.63 |
| 古田       | 0.91 | 0.83 | 0.73 | 0.65 | 0.70 | 0.71 | 0.79 | 0.81 | 0.94 | 1.00 | 1.01 | 0.97 | 0.81 |

湖区小型蒸发器的折算系数，实验期为1980—1987年，实验结果见表1。

为了更准确地求得鄱阳湖大水体的多年平均蒸发量，并分析蒸发量的多年(年际)变化状况，选择湖区湖口、星子、都昌三个气象站和棠荫岛、康山圩两个水文气象站共五站1962—1987逐年小型蒸发器蒸发量资料，用折算系数法求出逐年各月的自然大

体蒸发量，并以5站算术平均值代表湖面蒸发量。湖面多年平均蒸发量计算结果见表3，与用其它方法计算的结果相比，介于其它几

表 3 鄱阳湖大水体蒸发量计算值的比较

| 计算方法 | 本文方法   | 韦伯公式法  | 经验公式法  | 水量平衡法  |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 年蒸发量 | 1130mm | 1163mm | 1150mm | 1073mm |

种方法的计算结果之间，而且相对误差均在10%以内，表明其结果是可靠的。

#### 四、小型蒸发器改进措施的探讨

许多研究成果都表明，现在站网上使用的口径为20cm的金属小型蒸发器是所有蒸发器中性能最差的一种蒸发器，但它却具有成本低、观测方便、结冰期仍可使用等突出优点。作者认为如何改进现用小型蒸发器，使之在保持它原有优点的基础上提高其性能，是个值得探讨的现实问题。

自然大水体的蒸发量是指受地理位置、气候条件所决定的蒸发量，是不受人为因素影响的，伴随蒸发所发生的自然水体与空气的热量交换是通过水面进行的。而小型蒸发器内的水体与空气的热量交换不仅通过水面进行，而且通过蒸发器的器壁也有热量交换，因此，小型蒸发器的蒸发量受到器壁这一人为因素的影响。造成小型蒸发器蒸发量与自然大水体蒸发量差异较大的主要原因就在于其器壁起了器内水体与器外空气热量交换的媒介作用。

小型蒸发器内单位体积的水体与器外空气的热量交换可用下式表示：

$$\Delta Q = q \cdot \frac{F}{W} \quad [8] \quad (13)$$

式中： $\Delta Q$ —单位体积的水体的热量交换；

$q$ —单位面积器壁上的热量交换；

$F$ —蒸发器器壁的面积；

$W$ —器内水体的体积。

其中 $q$ 取决于器壁制作材料的导热系数和器内水体与器外空气的温差，它们的关系为

$$q = \alpha \rho \cdot \Delta t \quad (13)$$

式中： $\rho$ —器壁制作材料的导热系数；

$\Delta t$ —器内水体与器外空气的温差

$\alpha$ —热量交换系数。

将(13)式代入(12)式成为：

$$\Delta Q = \alpha \cdot \rho \cdot \Delta t \cdot F / W \quad (14)$$

$F/W$ 与蒸发器的口径，器内水深等因素有关，由于本文不改变现用小型蒸发器的尺寸大小和器内加水深度为前提，故不讨论 $F/W$ 对 $\Delta Q$ 的影响。

由(14)式可见，小型蒸发器内、外热量交换的大小主要取决于其制作材料的导热系数和器内水体与器外空气的温差，后者属于气象因素，所以决定小型蒸发器性能的最主要因素是其制作材料的导热性。现在站网上使用的是金属材料制作的小型蒸发器，由于它的导热性很强（导热系数很大），因而它的性能较差。

上述结论可从国家气象局气象科学研究院大气探测研究所在广州蒸发实验站的试验结果中得到证实<sup>[1]</sup>。试验中用金属制作的小型蒸发器与玻璃钢小型蒸发器作对比观测，

表 4 不同材料制作的小型蒸发器的折算系数(广州)

| 蒸发器类型      | 月份<br>年份 | 不同材料制作的小型蒸发器的折算系数(广州) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|----------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |          | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 平均   |
| 金 属        | 1983     | 0.69                  | 0.68 | 0.51 | 0.48 | 0.44 | 0.62 | 0.63 | 0.70 | 0.75 | 0.78 | 0.72 | 0.72 | 0.64 |
|            | 1984     | 0.63                  | 0.60 | 0.32 | 0.44 | 0.51 | 0.57 | 0.63 | 0.67 | 0.68 | 0.78 | 0.76 | 0.84 | 0.62 |
|            | 平均       | 0.66                  | 0.64 | 0.42 | 0.46 | 0.48 | 0.60 | 0.63 | 0.69 | 0.72 | 0.78 | 0.74 | 0.78 | 0.63 |
| 玻 璃 钢      | 1983     | 0.76                  | 0.68 | 0.56 | 0.54 | 0.49 | 0.71 | 0.71 | 0.80 | 0.88 | 0.90 | 0.82 | 0.84 | 0.72 |
|            | 1984     | 0.72                  | 0.63 | 0.38 | 0.51 | 0.60 | 0.68 | 0.76 | 0.84 | 0.84 | 0.95 | 0.89 | 0.96 | 0.74 |
|            | 平均       | 0.74                  | 0.66 | 0.47 | 0.53 | 0.55 | 0.70 | 0.74 | 0.82 | 0.86 | 0.93 | 0.86 | 0.90 | 0.73 |
| 差值(玻璃钢—金属) |          | 0.08                  | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.12 | 0.15 | 0.12 | 0.12 | 0.10 |

它们的差异可以从小型蒸发器蒸发量对20m<sup>2</sup>蒸发池蒸发量的折算系数的差异中反映出来，玻璃钢小型蒸发器的折算系数明显大于金属小型蒸发器的折算系数（见表4），说明前者的蒸发量比后者的蒸发量更接近于20m<sup>2</sup>蒸发池的蒸发量。

蒸发器的性能可用一个定量指标f<sub>R</sub>来反映，其计算公式如下：

$$f_R = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (1-R_i)^2} \quad (15)$$

用(15)式分别计算金属小型蒸发器与玻璃钢小型蒸发器的f<sub>R</sub>值（见表5），玻璃钢小型蒸发器的f<sub>R</sub>值明显小于金属小型蒸发器的f<sub>R</sub>值，说明玻璃钢小型蒸发器的性能明显优于金属小型蒸发器。

表 5 不同材料制作的小型蒸发器  
折算系数的变化及f<sub>R</sub>值的统计 (m=24)

| 项目<br>类别           | 变域        | 变幅   | 变异系数  | f <sub>R</sub> |
|--------------------|-----------|------|-------|----------------|
| 金属 R <sub>小</sub>  | 0.32—0.84 | 0.52 | 0.166 | 0.698          |
| 玻璃钢 R <sub>小</sub> | 0.38—0.96 | 0.58 | 0.176 | 0.319          |

两种小型蒸发器的口径、深度、安装高度完全相同，其实验结果不同的原因仅在于玻璃钢的导热系数远比金属的导热系数要小得多。

通过以上分析，作者认为只要改用隔热

材料（导热系数为0）或导热性很差（导热系数很小）的材料制作小型蒸发器，它的性能就会获得显著的提高，改进后的小型蒸发器有可能仍可作为站网蒸发器使用。

## 五、结语

我国已取得了大范围、长时间的小型蒸发器蒸发量资料，如何使它们得到最佳使用效果，是个值得作进一步讨论研究的问题。同时对于如何提高小型蒸发器的性能，应从不同的角度作全面的试验研究工作。

本文仅在这两个方面作了一点探索性的尝试，还有待于进一步研究完善。

## 参 考 文 献

- [1] 裴步祥等，几种站网蒸发器的比较试验研究。气象科学研究院院刊，1987年第2期。
- [2] 闵騄，水面蒸发器折算系数昼夜差别初步分析。水文，1988年第4期。
- [3] 裴步祥，邹耀芳，利用小型蒸发器观测水面蒸发量的几个问题。气象，1989年第6期。
- [4] 施成熙等，水面蒸发器折算系数的研究。地理科学，1986年第4期。
- [5] 水利电力部水利司，水文测验手册，第一册（野外工作）。水利电力出版社，1975年。
- [6] 闵騄，水库湖泊水面蒸发量推求方法的探讨。水文，待发表。
- [7] 施成熙等，确定水面蒸发模型。地理科学，1984年第1期。
- [8] 陈宏藩，水面蒸发的研究与应用。人民长江，1983年第1期。