工作研究

利用小型蒸发器观测水面蒸发量的几个问题

裴步祥　邹耀芳

（气象科学研究院）

提　　要

本文利用广州蒸发实验站的水面蒸发量和气象要素的观测资料，计算了小型蒸发器的折算系数及其变异系数等；得出小型蒸发器与标准蒸发器月蒸发量的回归方程，以及计算水面蒸发量的经验公式。对上述观测和计算方法的结果进行了比较。并就气象台站的水面蒸发观测工作提出了建议。

一、前言

小型蒸发器是口径20cm、高约10cm的测定水面蒸发量的金属蒸发器。多年来，我国水文气象站网一直沿用这种蒸发器，目前它仍是气象台站观测水面蒸发的常规仪器[1]，并积累了大量资料，在为国民经济建设服务中得到了应用。

在世界各国的水文气象站网中使用着多种型号的水面蒸发器，其性能是不同的。为了了解各种蒸发器的性能，从观测中得到较准确的资料，进行了大量的试验比较工作。世界气象组织仪器和观测方法委员会曾对3种水面蒸发器（20m²蒸发池、苏联ГГИ-3000和美国A级蒸发器）在一些会员国中做了较长时期的比较，并得出了结果[2]。在国内对蒸发器也做了很多试验工作，并在苏联ГГИ-3000的基础上，经改进研制成E601蒸发器，在水文气象站网中使用。

虽然对小型蒸发器也做过一些试验，然而这些试验还不够系统和全面，所以对它的认识是不够的。为此，有必要根据已有的观测资料进行分析比较，以便对小型蒸发器得出全面的评价。这是一件重要而有实际意义的工作。

本文利用广州蒸发实验站的多年观测资料，对小型蒸发器的折算系数、回归分析以及用经验公式计算方法的结果进行了分析，得出一些初步的结果。

二、小型蒸发器资料的折算系数

按照世界气象组织的规定，标准蒸发器为20m²蒸发池，它的蒸发量可近似代表自然水体（如水库、湖泊）的水面蒸发量。由于标准蒸发器与小型蒸发器的结构、尺寸和安装方法等不同，所以在相同气象条件下其蒸发量是不一样的。图1为小型蒸发器与标准蒸发器月蒸发量的比较，图中月蒸发量以月平均的日蒸发量来表示。由图可见，两者的变化趋势基本一致，但小型蒸发器的月蒸发量均大于同期标准蒸发器的月蒸发量。所以，对小型蒸发器的观测资料应进行折算，才能得出接近标准蒸发器（即接近自然水体）的蒸发量。

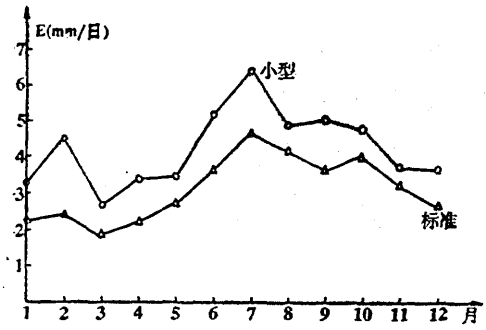


图1　小型蒸发器与标准蒸发器月蒸发量的比较(1960年,广州)

折算系数的推求方法之一，是用它与标准蒸发器的比较观测资料来计算，其公式为

$$K = \frac{E_{标}}{E_{小}} \qquad (1)$$

式中K为小型蒸发器蒸发量的折算系数，$E_{标}$、$E_{小}$分别为标准蒸发器和小型蒸发器的蒸发量。由于同时期的$E_{标} < E_{小}$，所$K < 1$。

利用广州蒸发实验站1960—1961年小型蒸发器与标准蒸发器的观测资料，求得小型蒸发器蒸发量的年、月折算系数(见表1)。

表1　广州小型蒸发器蒸发量的折算系数（1960—1961年）

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1960	0.72	0.54	0.70	0.64	0.78	0.70	0.72	0.84	0.72	0.84	0.86	0.74	0.73
1961	0.67	0.67	0.71	0.81	0.67	0.73	0.98	0.88	0.88	0.85	0.87	0.94	0.81

由表1可见，小型蒸发器蒸发量的折算系数不仅逐月是变化的，而且年平均值也是不同的。为了说明折算系数对蒸发量计算的影响，计算了折算系数的变幅和变异系数（表2）。

表2　广州折算系数变幅及其变异系数（1960—1961年）

折算系数（$\overline{K}$）	变　幅	变异系数（%）
0.77	0.44	14.3

表2中$\overline{K}$为1960、1961年的年平均折算系数。两年逐月折算系数最低值为0.54（1960年2月），最高值为0.98(1961年7月)，其变幅为0.44，变幅为平均折算系数的0.57。在求得折算系数的标准差（σ）后，得出其变异系数（$\sigma/\overline{K}\times100\%$）为14.3。变幅和变异系数都说明折算系数的稳定性的。从表2可见，折算系数的变幅和变异系数都较大，所以求取折算系数应该使用长序列的对比观测资料。实际上，广州蒸发实验站利用多年观测资料得出的小型蒸发器蒸发量的折算系数为0.68。

水文部门在各地设置了一些标准蒸发器，并得出了该地小型蒸发器蒸发量的折算系数。利用这些资料中16个站的折算系数，绘制了其等值线图（图2）。由图2可见，折算系数有由东南沿海向北逐渐减小的趋势。由于其地区变化较大，因而必须考虑和估算，否则会引起较大的误差。一些气象台站常不加说明的把小型蒸发器观测的蒸发量资料直接提供给用户，这样常常会引起误解，即所提供的蒸发量资料要比实际水面蒸发量大得多。这是必须引起重视的。

还需要指出，由于我国地域辽阔，各地气候差异较大，图2上的站点较少，因此图

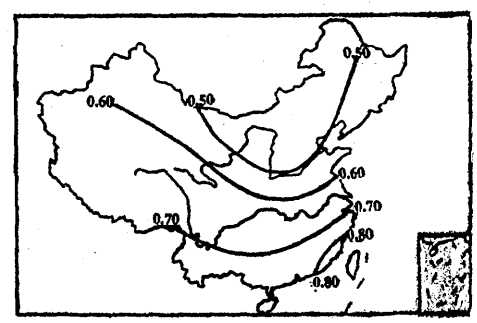


图2　小型蒸发器蒸发量折算系数等值线图

上的等值线也仅能指出大致的变化趋势，决不能仅根据这张图得出全国各站小型蒸发器蒸发量的折算系数值。

三、相关与回归分析

利用广州站小型蒸发器与标准蒸发器1960年、1961年的比较观测资料作成相关图（图3），由图可见，观测值均位于直线两侧附近，说明两者存在着近似的线性关系。

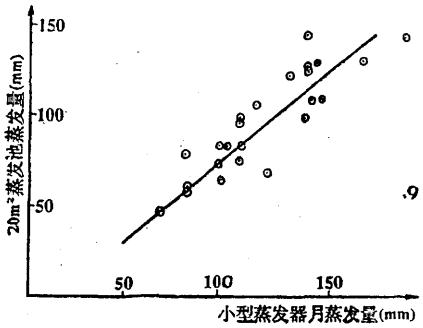


图3　小型蒸发器、标准蒸发器月蒸发量相关图（1960—1961年，广州）

如果以x和y分别表示小型蒸发器与标准蒸发器的月蒸发量，则其回归方程为

$$\hat{y} = a + bx \quad (2)$$

式中$\hat{y}$为标准蒸发器月蒸发量估值，a和b为回归系数。利用广州站1961年上述两种蒸发器的观测资料得出：

$$a = 0.509,\ b = 0.690$$

$$\hat{y} = 0.509 + 0.690x \quad (3)$$

（3）式即广州站两种蒸发器的回归方程。当然，在求取回归方程时，最好使用长序列的比较观测资料，以得到较准确的结果。

由于标准蒸发器的成本高，且使用也比较复杂，在站网中不可能设置很多标准蒸发器，所以有限的标准蒸发器与较多的小型蒸发器的比较观测资料建立它们的回归方程，并用它和小型蒸发器的观测结果来求得标准蒸发器蒸发量的估值，这是一个既较好又较经济的推求水面蒸发量的方法。

四、用经验公式计算水面蒸发量

水面蒸发量的计算公式较多，其中使用较普遍的经验公式法，也叫质量输送法或道尔顿（Dalton）公式法。它是用水汽压力差、风速与蒸发量的关系得出的，可表示为

$$E = (e_0 - e_{200})\, f(W_{200}) \quad (4)$$

式中E为蒸发量（mm），e_0、e_{200}分别为水面温度的饱和水汽压与2m高处蒸发面上的水汽压（hPa），W_{200}为2m高处的风速（$m \cdot s^{-1}$）。

广州蒸发实验站根据蒸发量与其它气象要素的关系，其中包括水汽压差和风速的关系，并以月平均风速、水汽压差和水面蒸发量，计算和点绘$E/(E_0 - E_{200})$与W_{200}的关系，推求得出20m²蒸发池蒸发量的计算公式为[3]：

$$E = 0.15(e_0 - e_{200})(1 + 0.525W_{200}) \quad (5)$$

利用（5）式，当已知广州站该月的平均风速（W_{200}）和（$e_0 - e_{200}$）值时，可以计算得出近似20m²蒸发池的月蒸发量。

上面已经给出水面蒸发量器测和计算的一些方法。为了进一步说明各种方法的精确性，现以广州站1960年资料为例，将它们的结果进行比较。参加比较的项目有：1）20m²蒸发池（标准）月蒸发量；2）小型蒸发器折算后的月蒸发量；3）用回归方程（3）式得出的月蒸发量；4）用经验公式（5）式计算得出的月蒸发量。计算它们与20m²蒸发池逐月月蒸发量的偏差和相对误差，以及年相对误差平均值，其结果见表3。

从表3比较几种测定和计算水面蒸发量的结果中可看出，月相对误差变化较大，最大可达30%，这虽然是个别月份，可见其结果不能较好地满足业务和科研的要求；各月相对误差的年算术平均值都小于10%，故上述几种方法用来得出年蒸发量是可行的。

如果将表3中比较的几种方法进行对比，则可看出，经验公式法的结果最好，无

表3　广州1960年水面蒸发量的器测和计算结果比较（单位：mm）

项目＼月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
20m²蒸发池蒸发量	72.7	68.4	58.5	64.6	82.5	108.1	143.2	127.6	107.9	124.6	95.7	83.5	1137.3
小型蒸发器蒸发量	100.9	127.3	83.2	101.1	105.2	154.8	200.1	151.9	149.8	148.6	110.9	113.5	1547.3
折算后的蒸发量	68.6	86.6	56.6	68.7	71.5	105.3	136.1	103.3	101.9	101.0	75.4	77.2	1052.2
相对误差（%）	5.6	−26.6	3.2	−6.3	13.3	2.6	5.2	19 0	5.6	18.9	21.2	7.5	5.8
用（3）式得出的蒸发量	70.1	88.3	57.9	79.3	73.1	107.3	138.6	106.3	103.9	103.0	77.0	78.8	1083.6
相对误差（%）	3.5	−29.1	1.0	−22.8	11.4	0.7	3.2	16.7	3.7	17.3	19.5	5.6	2.6
用（5）式计算的蒸发量	70.4	67.0	60.7	64.1	84.2	124.1	157.4	127.5	117.6	122.7	94.4	80.0	1169.7
相对误差（%）	3.2	2.1	−3.8	0.8	−2.1	−14.8	−9.9	0.1	−9.0	1.9	1.4	4.2	−2.2

论月或年的相对误差都较小，说明它可较准确地得出月、年的水面蒸发量。因此，在有20m²蒸发池的蒸发实验站，一般都求得了如（5）式的经验公式，经过验证，认为可得出较好的结果，这和本文的结果是一致的。

五、讨论和结语

早在前一世纪后期，我国的气象台站就开始进行水面蒸发量的观测，其资料已多次编印出版。解放前蒸发观测的仪器不统一，有小型蒸发器、直径80cm的蒸发器等。解放后，特别是1951年后，仪器规格、观测方法和时制统一，使用小型蒸发器。1979年国家气象局的地面观测规范把小型蒸发器和E601蒸发器作为地面气象站网水面蒸发的观测仪器，以后在地区、省（区、市）气象台配备了E601蒸发器，与小型蒸发器同时观测使用。

从上述历史沿革来看，小型蒸发器是气象台站观测水面蒸发使用时间最长、数量也最多的仪器。目前水文气象站网中水面蒸发在数千个测站进行观测，花费的人力、物力较多，因此，通过蒸发站网体制、仪器和观测方法的改革，使它取得最好的经济效益和社会效益，是一个很需要讨论研究的问题。

小型蒸发器的优点是成本低、观测方便，在我国北方冬季结冰季节，也能用来观测蒸发量。这对其它类型的、口径较大的蒸发器，是个目前尚未得到解决的问题。但小型蒸发器的资料不如计算方法的结果精确，这在本文和其它文献中都得到了证明。另外从几种站网蒸发器的性能比较中，也得到了小型蒸发器性能不如E601金属和E601玻璃钢蒸发器的结果[4]。日本早年也使用过小型蒸发器，后来通过试验，他们发现小型蒸发器的性能较差；就采用了A级蒸发器和计算方法同时使用，把小型蒸发器淘汰了。

用较大型的水面蒸发器，如E601型来替代小型蒸发器是需要的，这将是国民经济各部门对蒸发资料要求日益提高的结果。但解决目前的气象部门的蒸发观测问题，不单纯是替代小型蒸发器，而是在蒸发器和观测方法工作中采取多种措施，以期使蒸发资料得到最佳使用效果。

邓根云在文献[5]中曾提出蒸发观测应采取大型蒸发池与站网蒸发观测建立相关公式的点面结合的方法，我们认为他的意见是可取的，因而需要：

（下转45页）

（上接51页）

1）建立包括标准蒸发器在内的配套使用的站网蒸发器序列。首先在各大气候区，甚至各省配备20m²蒸发池，可先在基准气候站试验考验点上建立，用来求取站网蒸发器的折算系数、回归方程等。

对站网蒸发器开展试验研究，摸清E601等蒸发器的性能，冬季冰期的蒸发测定方法。研制自动遥测气象站上的蒸发仪器。

2）研究水面蒸发量的计算方法，并做为气象站网取得蒸发量的常规方法。

3）根据国民经济各部门对蒸发的需求，考虑蒸发观测仪器及其计算方法的配置情况等，研究水面蒸发观测站网布局。

总之，根据本文的初步结果，当前需要建立蒸发观测的标准仪器、改进和完善站网仪器，同时把器测和计算方法紧密结合起来，以期取得更多高质量的水面蒸发资料，更好地为农业和国民经济服务。为达到这个目的，领导机关的重视，以及业务管理和科研单位的合作和协调是必不可少的重要条件。

参考文献

（1）中央气象局编定，地面气象观测规范，气象出版社，1979年。

（2）WMO T. N. 449. The CIMO International evaporimeter comparisions. 1976.

（3）广东省水文总站，广州蒸发实验站1960—1965年水面蒸发实验资料（附分析成果），油印本，1968。

（4）裴步祥、邹耀芳、高淑东，几种站网蒸发器的比较试验研究，气象科学研究院院刊，第2卷2期，1987。

（5）邓根云，水面蒸发量的一种气候学计算方法，气象学报，Vol.37. No. 3，1979。