

小型蒸发器水面蒸发昼夜差异的分析

闵 蓐

(江西省鄱阳湖水文气象实验站, 都昌 332600)

提 要

根据都昌蒸发实验站 1980—1991 年日两段制水面蒸发资料, 分析了小型蒸发器水面蒸发量及其折算系数的昼夜差异, 并与 E_{601} 型蒸发器水面蒸发量及其折算系数的昼夜差异进行比较, 从另一角度揭示了小型蒸发器水面蒸发特点及其存在的问题, 提出了改进意见。

关键词: 小型蒸发器 水面蒸发量 折算系数 昼夜差异

引 言

器测水面蒸发量的大小既与气候条件有关, 也受所采用的水面蒸发器自身因素(制作材料、尺寸大小、安装方式等)的制约, 而且这两个方面对蒸发的作用相互影响。对于气候条件、季节交替的年周期变化引起的小型蒸发器蒸发量及其折算系数随季节的变化, 国内已有很多研究, 而对于气候条件昼夜交替的日周期变化引起的小型蒸发器蒸发量及其折算系数的昼夜变化, 探讨则甚少。

本文根据都昌蒸发实验站 1980—1991 年日两段制(08—20 时和 20—08 时, 分别于 20 时和 08 时进行观测)蒸发资料, 对小型蒸发器(口径 20cm 的蒸发皿, 以下简称 Φ_{20})蒸发量及其折算系数的昼夜差异、变化规律等问题作些初步分析; 并从蒸发量及其折算系数的昼夜差异角度出发, 对 Φ_{20} 的仪器性能、改进途径等问题进行初步探讨。

1 蒸发量的昼夜差异

为了比较不同气候环境下 Φ_{20} 蒸发量及其折算系数的昼夜差异, 分别采用地面观测场和水面(漂浮)观测场资料进行统计。

地面 1980—1991 年、水面 1980—1987 年 Φ_{20} 昼夜多年平均蒸发量见表 1, 其中 20

时观测值作为日间蒸发量, 08 时观测值作为夜间蒸发量(下同)。为便于不同蒸发器蒸发量昼夜差异的对比, 将 E_{601} 型蒸发器(下面简称 E_{601})昼夜蒸发量的多年(地面 1980—1991 年、水面 1980—1987 年)平均值也列在同一表中。其中小东湖的水面蒸发量用文献[1]中的方法确定。

由表 1 可见, 无论是陆地还是水面, Φ_{20} 昼夜蒸发量均有显著差异, 而且远大于 E_{601} 蒸发量的昼夜差异。

Φ_{20} 与 E_{601} 昼夜蒸发量的差值(日间蒸发量—夜间蒸发量)都是 8 月最大, 1 月或 2 月最小。

将地面 Φ_{20} 蒸发量、空气饱和差、气温、相对湿度、风速昼夜差值的年内变化曲线点绘在同一张图内(见图 1), 发现蒸发量的昼夜差异与空气饱和差的昼夜差异的季节变化完全相应, 表明小型蒸发器蒸发量的昼夜差异主要系空气饱和差的昼夜差异引起的。而空气饱和差是由气温、湿度以及它们的垂直梯度决定的, 因此, 蒸发量的昼夜差异是温、湿度及其垂直梯度的昼夜差异的综合反映。

根据道尔顿水面蒸发模式, Φ_{20} 蒸发量与饱和差、风速的关系可用下式表示

$$E = (a + bd)(A + BW) \quad (1)$$

表1 Φ_{20} 、 E_{601} 昼夜蒸发量/mm 统计

月 份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年	
地面	Φ_{20}	白天	40.2	43.8	60.8	91.2	135.3	140.6	199.8	197.8	142.9	108.6	74.0	58.0	1293.0
		夜间	9.0	9.6	10.3	13.9	19.2	19.1	35.5	24.2	14.9	12.5	9.7	10.6	188.5
	E_{601}	白天	25.2	23.0	30.8	40.2	57.9	60.0	88.3	91.8	70.3	54.3	37.4	31.7	610.4
		夜间	11.6	13.6	18.8	25.8	39.9	44.5	66.2	64.8	48.0	36.9	26.1	18.5	414.7
水面	Φ_{20}	白天	47.3	43.0	63.9	96.7	147.9	146.5	199.3	206.0	154.4	107.4	73.2	59.6	1345.2
		夜间	11.6	10.4	14.9	18.9	26.5	27.2	42.0	37.9	23.0	18.5	13.8	15.8	259.5
	E_{601}	白天	19.3	16.6	23.9	36.8	65.2	67.0	93.5	102.2	83.2	56.5	33.8	26.3	624.3
		夜间	10.2	12.2	15.0	24.2	42.2	46.7	64.2	72.0	53.6	40.1	26.6	16.6	423.6
东湖	白天	17.4	15.6	20.4	32.5	59.0	61.9	85.8	96.5	79.5	53.4	31.9	24.3	578.2	
	夜间	11.1	12.2	14.7	22.3	41.0	46.2	63.6	73.0	54.9	41.3	27.5	18.6	426.4	

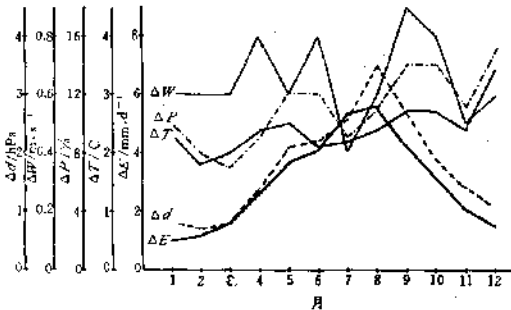


图1 蒸发量及主要影响因素昼夜差异年变化
 ΔE 、 ΔT 、 ΔP 、 ΔW 和 Δd 分别表示蒸发量、气温、相对湿度、风速和空气饱和差的昼夜差异

又根据误差理论,可将蒸发量的昼夜差异与饱和差、风速的昼夜差异之间的关系写成下式:

$$\Delta E = b(A + B\bar{W}) \cdot \Delta d + B(a + b\bar{d}) \cdot \Delta W \quad (2)$$

式中, ΔE 、 Δd 和 ΔW 分别为蒸发量、饱和差和风速的昼夜差异; \bar{d} 、 \bar{W} 为饱和差、风速的昼夜平均值; a 、 b 、 A 、 B 为回归系数。

由于 $A \gg B$ 、 $b \gg B^{[2]}$, 而且 $\Delta d > \Delta W$, 故 Δd 对 ΔE 的作用远大于 ΔW 对 ΔE 的作用, 说明图1所揭示的规律与理论分析结果一致。

与 E_{601} 蒸发量比较, Φ_{20} 蒸发量白天明显倍大, 夜间明显偏小, 全天也是偏大。除1月外, 水面和陆地其它各月均符合此规律, 其中

白天偏大值 ($\Delta E' = E_{20}' - E_{601}'$) 的最大值出现在7月, 夜间偏小值 ($\Delta E'' = E_{20}'' - E_{601}''$) 的最大值出现在8月, 最小值都出现在1月或2月。白天偏大的数值在7—9月, 水面稍大于陆地, 10—6月均是水面小于陆地; 夜间偏小的数值都是水面小于陆地, 这是由于水陆气候条件差异及水陆 E_{601} 下垫面条件差异共同影响造成的。

造成 Φ_{20} 蒸发量昼夜差异的原因有两个方面: 一是影响水面蒸发的温度白天高于夜间、湿度白天小于夜间, 风速白天大于夜间; 二是 Φ_{20} 暴露在空气中, 而且由导热性极强的合金材料制作, 使得器内水体温度随气温昼夜交替升降而迅速变化(表略)。前者是自然规律, 后者属仪器特性; 前者在 E_{601} 蒸发量中也有反映, 后者可用 Φ_{20} 蒸发量与 E_{601} 蒸发量的差值反映, 所以 $E_{20}' - E_{601}'$ 、 $E_{20}'' - E_{601}''$ 、 $E_{20} - E_{601}$ 值可以看作是小型蒸发器对器测蒸发量的影响值。

根据观测统计, Φ_{20} 表面水温的昼夜差异, 远大于 E_{601} 表面水温的昼夜差异。而表面水温是影响水面蒸发的重要因素^[3], 所以 Φ_{20} 蒸发量的昼夜差异远大于 E_{601} 蒸发量的昼夜差异。两种蒸发器表面水温之差 ($t_{20} - t_{601}$) 是夜间大于白天, 故 Φ_{20} 蒸发量夜间偏小相对比率大于白天偏大相对比率。 Φ_{20} 与 E_{601} 表面水

温差的正最大值出现在上午 10 时左右,负最大值出现在 20 时左右。目前气象部门在每天 20 时观测蒸发量,正好在 Φ_{20} 表面水温比 E_{601} 表面水温偏低高值段,可能对观测精度有一定影响,如能改在 08 时观测,其影响可能会小些。

Φ_{20} 蒸发量与 E_{601} 蒸发量之间的相关关系也有明显的昼夜差异(见图 2),虽然都是直线关系,但直线的斜率有明显差别, $E_{601}'' - E_{20}''$ 的斜率远大于 $E_{601}' - E_{20}'$ 的斜率;而且相关点群的分布状况也有显著的差异, $E_{601}' - E_{20}'$ 点远比 $E_{601}'' - E_{20}''$ 点密集。

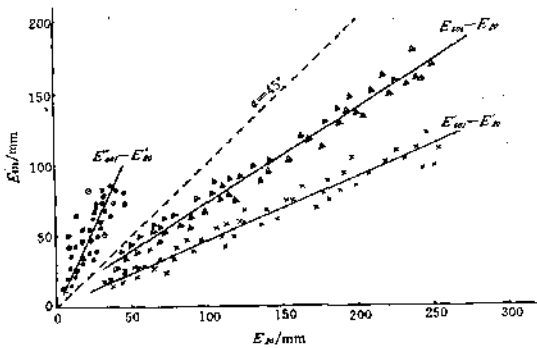


图 2 Φ_{20} 、 E_{601} 蒸发量相关图

Φ_{20} 蒸发量昼夜分配比(昼、夜蒸发量占全天蒸发量的权重)随着季节交替而变化(见表 2),白天蒸发量占的比例的最大值出现在 9 月,达 0.91,最小值出现在 1 月,也有 0.80,与 E_{601} 白天蒸发量所占比例的年内变化趋势不一致,变化幅度则是前者小于后者。平均而言, Φ_{20} 白天蒸发量占的比例地面明显大于水面, E_{601} 白天蒸发量占的比例则是地面与水面相近。无论是地面还是水面,都是 E_{601} 蒸发量的昼夜分配比较 Φ_{20} 蒸发量的昼夜分配比更接近自然水体(东湖)蒸发量的昼夜分配比。

Φ_{20} 白天蒸发量占的比例与 E_{601} 白天蒸发量占的比例相比,地面平均偏大 0.28,水面平均偏大 0.24,差别较大的是 6-11 月,较小的是 12-3 月。

2 折算系数的昼夜差异

为了说明折算系数的昼夜差异,以月为计算时段,分别统计地面、水面 Φ_{20} 、 E_{601} 的昼、夜及全天折算系数(分别用 R_{20}' 、 R_{20}'' 、 R_{20} 、 R_{601}' 、 R_{601}'' 、 R_{601} 表示,下同),其结果见表 3。

由表 3 可知,无论是地面还是水面, Φ_{20} 、 E_{601} 夜间折算系数均大于白天折算系数,特别是 Φ_{20} 、 R_{20}'' (夜间) $\gg R_{20}'$ (白天)。 R_{20}' 、 R_{601}' (白天)与 R_{20}'' 、 R_{601}'' (夜间)年内变化趋势基本一致(都是秋高冬低型,最大、最小值出现时间有的相错 1 个月),但 R_{20}' 的变化幅度远大于 R_{20}'' 。 R_{601}' 的变化幅度,与 R_{601}'' 相近。

R_{20} 与 R_{20}' 不仅年内变化大小有明显差异,而且它们的差值($R_{20}' - R_{20}''$)也有显著的季节变化,并远大于 $R_{601}' - R_{601}''$ 的季节变化。其中 $R_{20}' - R_{20}''$ 是夏秋季较大,冬春季较小,而且地面明显大于水面; $R_{601}' - R_{601}''$ 则是冬春季较大,夏秋季较小,地面稍大于水面。

昼、夜、全天折算系数之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} R_{20} &= \delta_{20}' R_{20}' + \delta_{20}'' R_{20}'' \\ R_{601} &= \delta_{601}' R_{601}' + \delta_{601}'' R_{601}'' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

表明全天折算系数 R 是昼、夜折算系数 R' 、 R'' 的加权平均值,权重分别是昼、夜蒸发量占全天蒸发量的比例(δ' 与 δ'')。

都昌蒸发实验站地面 Φ_{20} 、 E_{601} 全天折算系数与昼、夜折算系数之间的平均关系为

$$\left. \begin{aligned} R_{20} &= 0.873 R_{20}' + 0.127 R_{20}'' \\ R_{601} &= 0.595 R_{601}' + 0.405 R_{601}'' \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

由于 Φ_{20} 白天蒸发量占的比例远大于夜间蒸发量占的比例,所以 R_{20} 很接近 R_{20}' ,而与 R_{20}'' 相差甚远; E_{601} 白天蒸发量占的比例稍大于夜间蒸发量占的比例,所以 R_{601} 与 R_{601}' 较接近,与 R_{601}'' 的差别也不大。在都昌蒸发实验站,全年各月都具有上述规律。

水面蒸发器性能优劣,可用折算系数的大小和稳定程度来综合评价^[4]。折算系数越接近于 1,且越稳定(时程变化小),则蒸发器

的性能越好;否则,蒸发器的性能越差。用定量指标 W_R 来综合反映折算系数值与 1 的差值大小及其稳定程度,计算公式如式(5):

下面从 Φ_{20} 、 E_{601} 蒸发量年内变化角度,计算出它们昼、夜、全天折算系数的 W_R 值

($n=12$),结果见表 4。

$$W_R = \frac{1}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - 1)^2}{n}}} \quad (5)$$

表 2 Φ_{20} 、 E_{601} 蒸发量昼夜分配比统计*

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	变幅
地面	Φ_{20}	0.82	0.82	0.86	0.87	0.88	0.88	0.85	0.89	0.91	0.90	0.88	0.85	0.873	0.09
	E_{601}	0.68	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.57	0.59	0.59	0.60	0.59	0.63	0.595	0.11
水面	Φ_{20}	0.80	0.81	0.81	0.84	0.85	0.84	0.83	0.84	0.87	0.85	0.85	0.80	0.838	0.07
	E_{601}	0.65	0.58	0.61	0.60	0.61	0.59	0.59	0.59	0.61	0.58	0.56	0.61	0.596	0.09
东湖		0.61	0.56	0.58	0.59	0.59	0.57	0.57	0.57	0.59	0.56	0.54	0.57	0.576	0.07

* 表中的数值是白天蒸发量占的比例

表 3 Φ_{20} 、 E_{601} 昼、夜、全天折算系数的统计

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	变幅
地面	R_{20}	0.38	0.38	0.34	0.36	0.41	0.45	0.46	0.48	0.54	0.53	0.46	0.44	0.44	0.20
	R'_{20}	1.29	1.44	1.63	1.79	2.10	2.35	1.96	2.94	3.78	3.86	3.12	1.58	2.34	2.57
	R_{20}	0.52	0.56	0.51	0.52	0.61	0.69	0.68	0.76	0.84	0.84	0.75	0.64	0.66	0.33
	R'_{601}	0.63	0.70	0.68	0.83	0.98	1.04	1.02	1.05	1.14	1.08	0.90	0.76	0.90	0.41
	R'_{601}	1.06	1.06	0.91	0.85	1.01	1.05	1.02	1.12	1.15	1.19	1.09	1.09	1.05	0.34
	R_{601}	0.73	0.82	0.76	0.83	0.99	1.10	1.02	1.08	1.14	1.13	0.98	0.87	0.95	0.51
水面	R_{20}	0.37	0.36	0.32	0.34	0.40	0.42	0.43	0.46	0.52	0.50	0.44	0.41	0.41	0.20
	R'_{20}	1.00	1.20	1.00	1.26	1.56	1.76	1.52	1.94	2.42	2.25	2.12	1.19	1.60	1.42
	R_{20}	0.49	0.51	0.45	0.47	0.57	0.62	0.62	0.69	0.76	0.76	0.68	0.58	0.60	0.31
	R'_{601}	0.91	0.93	0.85	0.88	0.91	0.92	0.93	0.95	0.96	0.95	0.94	0.95	0.92	0.11
	R'_{601}	1.08	1.04	0.98	0.96	0.98	0.99	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.07	1.02	0.12
	R_{601}	0.98	0.96	0.90	0.91	0.94	0.95	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.96	0.09

表 4 Φ_{20} 、 E_{601} 的 W_R' 、 W_R'' 、 W_R 值统计

	地面	水面
W_{R20}'	1.76	1.70
W_{R20}''	0.63	1.31
W_{R20}	2.77	2.42
W_{R601}'	5.13	12.05
W_{R601}''	9.62	26.32
W_{R601}	6.90	23.26

由表 4 可见,无论是地面还是水面,都是 $W'_{R20} > W_{R20}$,表明 Φ_{20} 的性能是白天比夜间好;但 $W'_{R20} < W'_{R601}$ 、 $W''_{R20} < W''_{R601}$ 、 $W_{R20} <$

W_{R601} ,说明无论是白天还是夜间或全天, Φ_{20} 的性能都不如 E_{601} ,这种差别夜间比白天更加突出。无论是 Φ_{20} 还是 E_{601} ,都是水面 W_R 大于地面 W_R ,说明水面蒸发器的性能不仅昼夜之间有显著差异,而且随气候条件(或气候环境)而变化。这一问题在水面蒸发器的选择、安装和改进,以及场地安排等工作中都应考虑。

将各种蒸发器(增加 Φ_{30} 蒸发器) W_R 与 $R''-R'$ 相关点绘在同一张图中,得到一条较光滑的折线(见图 3),说明水面蒸发器的性

能与其昼、夜折算系数的差值之间有显著的相关关系。昼、夜折算系数的差值越大,蒸发器的性能越差;差值越小,蒸发器的性能越佳。 Φ_{20} 的性能较差,主要原因就在于它的蒸发量及其折算系数的昼夜差异很大。

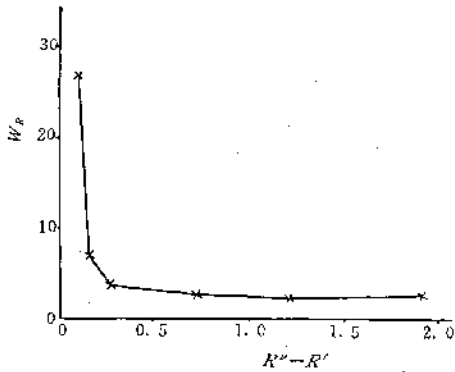


图3 W_p 与 $R'' - R'$ 相关图

3 蒸发资料的使用和蒸发器的改进

3.1 小型蒸发器蒸发资料的使用

在湖泊、水库等自然大水体热量平衡研究和气候效应评价等工作中,需要昼、夜蒸发量,此时需用 R'_{20} 与 R''_{20} (或 R'_{601} 与 R''_{601}) 对 Φ_{20} (或 E_{601}) 昼、夜蒸发量 (E'_{20} 与 E''_{20} 或 E'_{601} 与 E''_{601}) 进行折算。

对于年、月水面蒸发量的计算,可以采用下列两种方法(以 Φ_{20} 为例):

$$E = R'_{20} \cdot E'_{20} + R''_{20} \cdot E''_{20} \quad (6)$$

$$E = R_{20} \cdot E_{20} \quad (7)$$

用(6)、(7)两式分别计算东湖 1980—1987 年水面蒸发量,其拟合误差见表 5。

表 5 昼、夜、全天折算系数计算蒸发量的误差的统计

时段	月蒸发量			年蒸发量		
	均方误差/mm	平均相对误差/%	合格率/%		绝对误差/mm	相对误差/%
			±10%以内	±20%以内		
公式(6)	12.6	10.8	67.5	90.0	15.2	1.5
公式(7)	8.2	7.7	75.0	96.3	1.5	0.1

由表 5 可知,两种方法计算的多年平均年、月蒸发量的数值虽然相近,但逐月蒸发量的误差却有明显的差别,各种误差都是式(6)大于式(7),表明用 R'_{20} 、 R''_{20} 计算年、月水面蒸发量还不如直接采用 R_{20} 计算的精度高。原因主要在于计算时段越短,折算系数的稳定性越差,用它计算水面蒸发量的误差也就越大。

因此,可以认为没有必要采用昼、夜折算系数计算年、月蒸发量,仍以采用全天折算系数为妥;水面蒸发量的观测也只需要日一段制(最好在 08 时观测)。

3.2 小型蒸发器的改进途径

小型蒸发器的性能虽然较差,但它具有观测方便,读数准确等优点,而且已收集了大量蒸发资料,因此,有必要对以下两个方面的问题进行分析探讨:第一,过去积累的 Φ_{20} 蒸

发资料是否有用,如何提高现有资料的利用效果;第二, Φ_{20} 能否在今后继续使用,如何进行改进。

Φ_{20} 蒸发量的昼夜差异虽然很大,但它与 E_{501} 蒸发量的昼夜差异间的关系却很密切(见图 4),表明两者之间有稳定的定量关系。况且用 Φ_{20} 蒸发量折算成自然水体蒸发量的误差较小(见表 5)。这两个方面的事实表明, Φ_{20} 蒸发量虽然不能直接代替自然水体的蒸

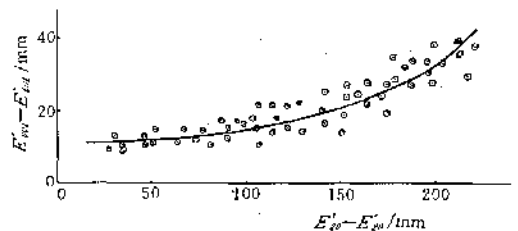


图4 $E'_{20} - E'_{20}$ 与 $E'_{501} - E'_{501}$ 相关图

发量,但可用以间接推求自然水体的蒸发量,而且可以获得比较满意的结果。

既然 Φ_{20} 蒸发量可用以确定自然水体的蒸发量(做参证量),则 Φ_{20} 一定仍然可以继续使用。但对它进行改进是必要的,从减小它的蒸发量及其折算系数的昼夜差异角度考虑,可以采用以下两种方法对现用 Φ_{20} 作改进:其一,改用导热性能差(导热系数小)的材料制作,如玻璃钢、木材等;其二,在现用 Φ_{20} 四周和底部增加盛水套盆,即改用套盆式 Φ_{20} 蒸发器。这两种方法的出发点都在于通过减小 Φ_{20} 器内水体与器外空气透过器壁的热量交换,达到减小 Φ_{20} 器内水温随空气温度升降而变化的速度和幅度。

4 结语

小型蒸发器的蒸发量及其折算系数均有明显的昼夜差异,造成昼夜差异的原因有气候条件昼夜变化和仪器性能两个方面,而且后者占主导地位。反过来说,小型蒸发器水面蒸发昼夜差异太大,是致使它性能较差的主要因素。

小型蒸发器蒸发量与 E_{601} 蒸发量及自然

水体蒸发量虽有较大偏差(偏大),但存在着良好的定量关系(相关系数分别为 0.98 和 0.95,临界判别值 $r_{0.01}=0.38$),所以小型蒸发器蒸发量具有对 E_{601} 蒸发量和自然水体蒸发量的隐代表性,小型蒸发器不仅可以在气象站网继续使用,而且能保证足够的精度(其实比气候模式法的精度还高^[3])。

今后应加强对小型蒸发器改进方法的试验研究,设计制造既可保持现用仪器优点,又能提高由它观测的蒸发量对自然水体蒸发量的显代表性的新一代小型蒸发器,作为全国气象站网更新换代蒸发仪器。

参考文献

- 1 闵蓁. 小型蒸发器蒸发资料的应用及仪器的改进. 气象, 1990, 16(9).
- 2 闵蓁. 利用气象资料确定水库湖泊的水面蒸发量. 江西气象科技, 1991 年第 3 期.
- 3 闵蓁. 开阔水域水面蒸发量的计算. 大气科学研究与应用, 1992 年第 3 期.
- 4 闵蓁. 水面蒸发器折算系数昼夜差别初步分析. 水文, 1988 年第 3 期.
- 5 闵蓁. 建立计算水面蒸发量的实用性气候学模式. 气象, 1991, 17(11).

An Analysis of Difference in Water-Surface Evaporation between Day and Night from Small Type Evaporation Pan

Min Qian

(Hydrometeorological Experiment Station of Poyang Lake, Jiangxi Province, Duchang 332600)

Abstract

Based on the data two-times a day in 1980—1991 for the Duchang evaporation-station, the differences of water-surface evaporation and discount coefficient between day and night for small type evaporation pan are analyzed and comparisons with that for the E_{601} -type evaporation pan are also made. Moreover, features and existing questions of water surface evaporation for the small-type evaporation pan are revealed, and improving suggestions are also proposed.

Key Words: small-type evaporation pan water-surface evaporation conversion coefficient difference between day and night