

利用彭曼公式计算潜在蒸发的高度订正方法*

王 菱 陈沈斌 侯光良

(中国科学院 自然资源综合考察委员会
国家计委)

英国学者 H. L. 彭曼推导的计算潜在蒸发公式,具有较可靠的物理基础和较精确的计算等优点,被国内、外学者广泛应用。

彭曼公式^[1-2]

$$E_0 = (\delta R_n / L + \gamma E_a) / (\delta + \gamma) \quad (1)$$

式中 E_0 为下垫面的潜在蒸发; R_n 为辐射平衡 ($J/(cm^2 \cdot d)$), 化为蒸发相当量 (取值 $245.346 J/cm^3 = 1 mm$ 蒸发量); E_a 为空气干燥力 (mm/d); δ 为气温等于 T_a 时饱和水汽压曲线的斜率; γ 为干湿表常数 (δ 和 γ 单位为 $hPa/^\circ C$)。 $\frac{\delta}{\delta + \gamma}$ 和 $\frac{\gamma}{\delta + \gamma}$ 为转换成水蒸汽能量的“加权因子”, 它们是无因次量。

有些学者在应用彭曼公式时,把公式中的 γ 取为常数,也未考虑太阳辐射随高度变化,因此在计算海拔较高地区的潜在蒸发时,仍采用适用于海平面的参数值,则计算结果会产生较大误差,需要作高度订正。

1. 对“加权因子” $\frac{\delta}{\delta + \gamma}$ 和 $\frac{\gamma}{\delta + \gamma}$ 的订正

“加权因子” $\frac{\delta}{\delta + \gamma}$ 和 $\frac{\gamma}{\delta + \gamma}$ 不仅是平均温度的函数,而且也是高度(即大气压力)的函数,即这两个因子对高度有显著的依赖关系。文献[2-4]中给出了两个“加权因子”的查算图、表,但内插费工费时精度差,从公式入手,可迅速而精确地计算出“加权因子”。

加权因子中的

$$\delta = \frac{de_a}{dT_a} = \frac{e_a}{273 + T_a} \left[\frac{6463}{273 + T_a} - 3.927 \right]^{[5]} \quad (2)$$

它仅是温度的函数;

$$\gamma = c_p p / \epsilon L^{[4]} \quad (3)$$

式中的 c_p 为干空气的定压比热 ($J/(g \cdot k)$), 取值 0.24; ϵ 为水汽分子量对于干空气分子量的比, 取值 0.622; L 为水的蒸发潜热 (J/cm^3), 可近似取值为 245.346, p 为大气压力 (hPa), 它是高度 z 的函数, 如果忽略了湿度和重力影响,可用下式^[6]表示:

$$p = p_0 / 10^{z / (18400(1 + \alpha T_a))} \quad (4)$$

式中 p_0 为海平面气压 (hPa), z 为测站高度 (m), T_a 为测站温度 ($^\circ C$), α 为气体膨胀系数, $\alpha = \frac{1}{273}$, 气压 p 随高度 z 递减, 即 p 是 z 的函数, 因此由 γ 和 δ 组成的加权因子 $\frac{\delta}{\delta + \gamma}$ 和 $\frac{\gamma}{\delta + \gamma}$ 是温度和高度的函数。

* 本文于 1986 年 6 月 10 日收到, 1987 年 10 月 9 日收到最后修改稿。

2. 对辐射项的修正

彭曼公式中的辐射平衡由下式确定:

$$R = \left\{ Q_A (1-R) (0.18 + 0.55) \frac{n}{N} \right\} - \left\{ \sigma T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_a}) \cdot (0.10 + 0.90 \frac{n}{N}) \right\} \quad (5)$$

式中 Q_A 为大气上界太阳辐射常数, R 为充分湿润下垫面的反射率, $\frac{n}{N}$ 为日照百分率, σT_a^4 为气温为 T_a 时的黑体辐射, e_a 为水汽压(hPa)。(5) 式中的 $Q_A (0.18 + 0.55 \frac{n}{N})$ 为计算总辐射的经验公式, 它是在特定的地理环境中实验推导出来的, 没有考虑辐射随高度变化的问题, 因而在我国高海拔地区应用将会产生较大的误差, 需要进行订正。左大康等人^[7] 根据我国 26 个日射观测站实测总辐射与日照百分率的

表 1 订正后的彭曼公式(8)与未经订正式(1)计算年潜在蒸发量(单位: mm)

地 点	北 纬	高 度 (m)	式(8)计算值	式(1)计算值	差 值
山 东 胶 南	35°53'	6.7	984.6	932.2	52.4
诸 城	35°59'	65.7	1054.8	995.9	58.9
沂 水	35°45'	159.9	1033.5	964.5	69.0
山 西 临 汾	36°04'	450.3	1043.8	965.9	77.9
陕 西 富 县	36°	920.0	911.5	823.9	87.6
宁 夏 固 原	36°	1753.2	967.6	837.0	130.6
青 海 化 隆	36°06'	2834.7	859.1	671.6	187.5

表 4 20m²蒸发池实测值与彭曼公式计算值(订正和未订正式)比较(单位: mm)

地 点	类 别	月 份										总 量
		4	5	6	7	8	9	10	11	12		
北京官厅	20m ² 实测值	116.1	161.3	158.0	138.9	127.6	121.0	88.1				911.0
	订正式的计算值	112.2	160.3	164.5	141.8	127.0	93.0	55.1				853.9
	差 值	3.9	1.0	-6.5	-2.9	0.6	28.0	33.0				57.1
	未订正式计算值	105.6	151.0	155.5	133.9	119.6	87.4	50.0				803.0
	差 值	10.5	10.3	2.5	5.0	8.0	33.6	38.1				108.0
河南三门峡	20m ² 实测值	98.7	120.0	172.1	132.0	149.9	109.8	78.6	58.0	37.9		957.0
	订正式的计算值	97.1	126.5	153.5	162.2	147.2	91.9	62.5	39.8	30.8		911.5
	差 值	1.6	-6.5	18.6	-30.2	2.7	17.9	16.1	18.2	7.1		45.5
	未订正式计算值	91.9	117.9	143.7	152.6	138.9	87.1	57.9	36.6	28.1		854.7
	差 值	6.8	2.1	28.4	-20.6	11.0	22.7	20.7	21.4	9.8		102.3

相关关系, 确定了在我国范围内应用的经验公式:

$$(Q+q) = (0.248 + 0.752 \frac{n}{N}) \quad (6)$$

式中 $(Q+q)$ 为晴天条件下的太阳总辐射量。但 $(Q+q)$ 在实际应用上存在一定困难, 因而本文采用张炯远等人^[8] 根据我国 72 个日射站资料, 推导出的经验公式

$$(Q+q)_{0i} = c_{0i} + c_{1i}G + c_{2i}z + c_{3i}E \quad (7)$$

计算我国晴天最大辐射。式中 $i=1, 2, \dots, 12$ (月), $(Q+q)_{0i}$ 为 1—12 月各月的最大晴天总辐射月总量 ($\text{MJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$), G 是纬度($^\circ$), z 为海拔高度(m), E 为月平均绝对湿度(hPa), 因此采用改进后的彭曼

公式为

$$E_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma} \frac{1}{L} \left\{ (Q + q)_{0i} \left(0.248 + 0.752 \frac{n}{N} \right) (1 - R) \right\} - \frac{\delta}{\delta + \gamma} \frac{1}{L} \left\{ \sigma T_a^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}) \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \right\} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma} \{ 0.26 (1 + 9.8 \times 10^{-3} u_2) (e_a - e_s) \} \quad (8)$$

($e_a - e_s$) 为饱和差(hPa), u_2 为 2 m 高处的平均水平风速(m/s)。

应用订正后的彭曼公式(8)与未经订正的彭曼公式(1), 计算了我国沿 36° N, 不同海拔高度测站年潜在蒸发量, 如表 1 所示。两者差异随高度增大, 其原因是经高度订正的彭曼公式考虑了加权因子和太阳辐射随高度的变化。

选用北京官厅水库 1964—1970 年、河南三门峡水库 1961—1967 年 20 m² 蒸发池蒸发资料¹⁾, 与应用高度订正后的彭曼公式, 计算同时期的潜在蒸发进行比较, 并同时列出未经订正彭曼公式的计算结果。从表 2 中可以看出, 订正后的彭曼公式计算的潜在蒸发数值更接近于实测值。

参 考 文 献

- [1] 朱岗崑、杨勿章, 气象纪录在经济建设中的应用 (II), 中国各地蒸发量的初步研究, 气象学报, 26, 1—2, 1—24, 1955。
- [2] 王懿贤, 彭门蒸发力快速表算法, 地理研究, 2, 1, 95—102, 1983。
- [3] 王懿贤, 高度对彭曼蒸发力公式二因子 $\frac{\delta}{\delta + \gamma}$ 与 $\frac{\gamma}{\delta + \gamma}$ 的影响, 气象学报, 39, 4, 503—506, 1981。
- [4] Mculloch, J. S. G., Tables for the rapid computation of the Penman estimate of evaporation, *East African Agricultural and Forestry Journal*, 30, 3, 286—295, 1965。
- [5] 陈力, 最大蒸发量的计算、分析及其应用, 气象学报, 40, 2, 219—228, 1982。
- [6] 气象常用表(第三号), 中央气象局编印, 1975 年。
- [7] 左大康等, 中国地区太阳总辐射的空间分布特征, 气象学报, 33, 1, 78—95, 1963。
- [8] 张炯远等, 用多元回归方程计算我国最大晴天总辐射能资源的研究, 自然资源, 1981, 1, 38—46。

METHOD FOR ALTITUDINAL CORRECTIONS OF PENMAN EVAPOTRANSPIRATION FORMULA

Wang Ling Chen Shenbin Hou Guangliang

(Commission for Integrated Survey of Natural Resources, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Based on regional maximum radiation of clear day and the relation to sunshine percentage of China, this paper presented the method for altitudinal correction of $Q_A (0.18 + 0.55 \frac{n}{N}) (1-R)$ in Penman formula. It was corrected, as $Q_{0i} (0.248 + 0.752 \frac{n}{N}) (1-R)$.

¹⁾ 系由中科院地理所洪嘉琏同志提供, 谨致谢意。