

# 山区小地形对温湿度影响的确定\*

虞静明 詹兴伴 张宜平\*\*

(南京大学大气科学系)

## 提 要

本文提出一种用野外考察资料和气象哨资料定量地计算山区小地形对温湿度影响的方法。该方法在福建和云南等省山区使用,效果较好。

**关键词** 温度 湿度 小地形 山区 小气候

## 一、前 言

为了推求山区无测站地方的温湿度的分布,目前较流行的方法,其主要思路是把山区气象要素场分解为受宏观地理因素和微观地形因素影响的两部分<sup>[1]</sup>。前者主要是指地理位置(经、纬度)、海拔高度、大地形以及自然地理环境(包括大森林、大水体)等;后者是指坡地方位和地形形态(高地、谷地、坡地、山头)以及土壤和植被等<sup>[2]</sup>。宏观地理因素可以利用气象站的资料来推求,微观地形因素在不同天气条件、不同小地形和植被条件下是不相同的。由于山区气象站设置较稀,而且多分布在海拔较低、地势较平的城镇附近的高地或山头上,它虽能反映地理位置和大地形的影响,却不能反映山区复杂地形尤其是小地形对气象要素场的作用。为此必须在各类代表性的地形上进行专门的小气候考察,或利用这些地形上的气象资料,确定该项的大小<sup>[3]</sup>。

山区地形变化多端,素有“十里不同天”的说法。在一个地区,即使选择到有代表性的地形,但其附近,不一定能找到平坦地方可供设点进行对比观测。气象站设址虽不受小地形影响(或小地形相似),但其附近往往又不易找到可以设点观测的各类代表性地形;即使能找到,也很难与气象站在同一高度上。因而,一般情况都是测点距气象站较远,它们之间还可能有大山隔开,不能用气象站的观测值代替测点附近的平地值(或称本体值),更不能利用其周围各个气象站的资料内插得到。

为了确定小地形对温、湿度的影响,首先要找出测点附近同高度的温、湿度的本体值。

## 二、计 算 方 法

山区任意地点、任意时段温(湿)度场可以表示为

\* 本文为科技基金资助课题。得到傅抱璞教授的指导,深表感谢。

\*\* 参加野外考察工作的还有潘裕强等同志。

$$T(\lambda, \varphi, h, t) = T_0(\lambda, \varphi, h, t) + \Delta T_m(t) \quad (1)$$

式中,  $T(\lambda, \varphi, h, t)$ —— $t$ 时刻在经度为 $\lambda$ 、纬度为 $\varphi$ 、高度为 $h$ 的某测点的温(湿)度;  
 $T_0(\lambda, \varphi, h, t)$ ——相同位置但不受小地形影响(或小地形相似)的温(湿)度的宏观分布  
 值,亦即本底值,它是经、纬和高度以及时间 $t$ 的函数; $\Delta T_m(t)$ ——该点的小地形订正  
 值。

对气象站来说,(1)式右端第二项  $\Delta T_m(t)$  可以略去;对考察点或气象哨,此项为待  
 求。

本体值  $T_0(\lambda, \varphi, h, t)$  是多变量函数,虽然无法表示出它的解析形式,但一般它在  
 一个地区的分布可以看成是连续的,它对其中任一变量元的任意阶偏导数存在且连续(若  
 遇急剧转折地形,可将其作光滑处理,仍可保持导数连续,也不影响实际计算),则可以把它  
 展为泰勒级数<sup>[4]</sup>。由于这里需要推求的是温度或湿度随地理位置和高度的变化关系,因  
 而可将  $T_0(\lambda, \varphi, h, t)$  展为<sup>[5]</sup>:

$$\begin{aligned} T_0(\lambda, \varphi, h, t) = & A_0(t)T_0(\lambda_0, \varphi_0, h_0) + A_1(t) \frac{1}{1!} \left[ (\lambda - \lambda_0) \frac{\partial}{\partial \lambda} \right. \\ & + (\varphi - \varphi_0) \frac{\partial}{\partial \varphi} + (h - h_0) \frac{\partial}{\partial h} \left. \right] T_0(\lambda_0, \varphi_0, h_0) + A_2(t) \frac{1}{2!} (\lambda - \lambda_0) \frac{\partial}{\partial \lambda} \\ & + (\varphi - \varphi_0) \frac{\partial}{\partial \varphi} + (h - h_0) \frac{\partial}{\partial h} \left. \right]^2 T_0(\lambda_0, \varphi_0, h_0) + \dots \\ & + A_n(t) \frac{1}{n!} \left[ (\lambda - \lambda_0) \frac{\partial}{\partial \lambda} + (\varphi - \varphi_0) \frac{\partial}{\partial \varphi} + (h - h_0) \frac{\partial}{\partial h} \right]^n \cdot T_0(\lambda_0, \varphi_0, h_0) \\ & + T_0(\lambda_0, \varphi_0, h_0) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $(\lambda_0, \varphi_0)$  为该地区中心经纬度,  $h_0$  为基准高度。级数(2)是否收敛? 究竟取多少  
 项? 这些应由该地区的大地形和自然地理环境的非均一性程度而定。

引进  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ ,  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ ,  $\Delta h = h - h_0$ , 且满足  $|\Delta\lambda| < 1$ ,  $|\Delta\varphi| < 1$ , 选  
 择适当的高度单位,使  $\Delta h$  也很小,则级数(2)可以满足收敛条件。直接用  $\lambda$  代替  $\Delta\lambda$ ,  $\varphi$   
 代替  $\Delta\varphi$ ,  $h$  代替  $\Delta h$ , 级数(2)就转变为马克劳林级数:

$$\begin{aligned} T_0(\lambda, \varphi, h, t) = & A_0(t)T_0(0, 0, 0) + A_1(t) \frac{1}{1!} \left[ \lambda \frac{\partial}{\partial \lambda} + \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} + h \frac{\partial}{\partial h} \right] \cdot \\ & \cdot T_0(0, 0, 0) + A_2(t) \frac{1}{2!} \left[ \lambda \frac{\partial}{\partial \lambda} + \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} + h \frac{\partial}{\partial h} \right]^2 T_0(0, 0, 0) \\ & + \dots + A_n(t) \frac{1}{n!} \left[ \lambda \frac{\partial}{\partial \lambda} + \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} + h \frac{\partial}{\partial h} \right]^n T_0(0, 0, 0) + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

令  $b_0 = A_0(t)T_0(0, 0, 0)$

$$b_1 = A_1(t) \frac{\partial}{\partial \lambda} T_0(\lambda, \varphi, h) \Big|_{\lambda=0, \varphi=0, h=0}$$

$$b_2 = A_2(t) \frac{\partial}{\partial \varphi} T_0(\lambda, \varphi, h) \Big|_{\lambda=0, \varphi=0, h=0}$$

$$b_3 = A_3(t) \frac{\partial}{\partial h} T_0(\lambda, \varphi, h) \Big|_{\lambda=0, \varphi=0, h=0}$$

$$b_4 = A_2(t) \frac{1}{2!} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} T_0(\lambda, \varphi, h) \big|_{\lambda=0, \varphi=0, h=0}$$

$$b_5 = A_2(t) \frac{1}{2!} \frac{\partial^2}{\partial \varphi \partial \lambda} T_0(\lambda, \varphi, h) \big|_{\lambda=0, \varphi=0, h=0}$$

.....

这样, (3) 可写成:

$$T_0(\lambda, \varphi, h, t) = b_0 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda^2 + b_5\lambda\varphi + \dots \quad (4)$$

如果研究的地区有  $N$  个气象站, 各站点的温(湿)度都可以展成如(4)式那样的马克劳林级数, 因各站的  $\lambda$ 、 $\varphi$  和  $h$  都是已知量, 则(4)式中各个系数  $b_i$  就是待求量。用矩阵表示:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ T_N \end{bmatrix} = [b_0, b_1, b_2, \dots, b_M] \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N \\ \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_N \\ h_1 & h_2 & \dots & h_N \\ \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & \dots & \lambda_N^2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{bmatrix} \quad (5)$$

求解(5)中系数矩阵  $[b_i]$ , 实际就是解多元回归问题。

用回归方法求出  $[b_i]$  后, 再反推与测点(或哨)相同位置、相同高度的本底值, 再用测点的值减去本底值, 就得到了该点的小地形订正值。

### 三、应用实例

1. 1985 年 1 月下旬到 2 月中旬, 作者等<sup>1)</sup>在福建省永安县槐南乡的一个十分典型的圆形山谷中作小气候考察。测点设置在东、南、西、北四个坡及谷底和山顶上, 观测项目有温、湿、风、降水和辐射等要素。四个坡上的测点高度相同, 均为 370m, 谷底为 330m, 山顶为 510m。另外在此圆形谷的西南偏西水平距离约 5km 的一个 800m 高的山顶上, 还设一个辅助测点。以上各点, 每天观测 6 次, 晴夜加测。

在槐南, 我们无法找到与四个坡同高度的平坦地方或山头。若要求取 370m 和 330m 高度的本体值, 在这里有两种方法: 一种就是我们前面介绍的方法; 另一种是有四个同高度的坡, 可以用这四个坡的要素的平均值, 作为 370m 高度的本底值。

在槐南周围有四个较近的气象站(见图 1), 即三明、永安、大田和尤溪。槐南介于它们之间。这四个气象站的经度差最大仅 0.8 度, 纬度差最大仅 0.6 度, 但各站之间往往有大山隔开。图上画线部分就是海拔 1000—1500m 地区。四个气象站的海拔高度也不相同, 不能简单地用这些站的数据内插作为槐南的本底值。表 1 列出各气象站的地理位置及海拔高度。

考察期间, 各个气象站和考察点在不同天气型下的平均温度列在表 2 中。

1) 在该地考察的有南京大学, 大气科学系气候专业 35 名师生。





表 5 小地形对湿度影响订正值

Tab. 5 Corrections of microtopographical effects on humidity

地 形 项 目	东 坡	南 坡	西 坡	北 坡	谷 底
$\Delta l_m(\text{hPa})$	0.5	-0.4	-0.4	-0.1	-0.2
$\Delta R_m(\%)$	5.5	-2.5	-1.5	3.5	-0.5

度影响不大。

在考察期间, 槐南的各类小地形的湿度订正值可用同样的方法求得。其结果列在表 5 中。表中  $\Delta l_m$  表示水汽压的订正值,  $\Delta R_m$  是相对湿度的订正值。可以看出东坡湿度最大, 西坡和南坡的湿度最小。其原因是东坡测点下面的一条深溪对湿度的影响较大; 西坡测点附近有大块石头。因此, 表中的订正值不能完全看成是地形效应。

利用表 4 上不同天气型温度的小地形订正值, 再由该地区晴、云、阴出现的频率, 算得槐南长年 2 月份气温的小地形订正值如下:

东坡 0.0℃, 南坡 0.2℃, 西坡 -0.1℃, 北坡 -0.5℃, 谷底 0.2℃。

2. 福建省明溪县胡坊和清流县邓家各设有一个气象哨。胡坊哨点座落在西南—东北走向的长谷中的北侧南坡上, 坡度较缓, 测点接近谷底; 邓家哨设在盆地中一大块凸出的裸地(坟墓)的北坡上, 坡度亦很缓。

根据这两个哨的多年(都在 6 年以上)观测资料可推算它们的湿度小地形订正值。

从地形图查阅, 胡坊周围地势比槐南周围要平缓一些, 它的四周有沙县、三明、永安、连城、清流、宁化和明溪等气象站。

首先把胡坊的气象哨资料从短期的 8 年延长为 1961—1980 年的 20 年平均值, 这样就与周围 7 个气象站资料同步。再用上述 7 个站的数据拟合胡坊的本底值。在拟合过程中, 我们作了多种试验, 最后得出下式最佳:

$$y_i = b_0 + b_1 x_i + b_2 \varphi_i + b_3 h_i + b_4 h_i^2 \quad (8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 7)$$

由方程组(8)算得胡坊哨点的年平均水汽压的本底值为 18.14hPa, 复相关系数  $R = 1$ , 统计量  $F = 60.52$ , 比  $\alpha = 0.05$  时的  $F_\alpha = 9.12$  要大得多, 方程完全通过。胡坊哨全年各月湿度小地形订正值计算结果见图 2。图中采用年变化包络线作为订正值的范围。用同样的方法算得的邓家哨的订正值亦画在图 2 上。图中, 上图 a 为两个哨的地形的水汽压订正值的年变化包络线, 下图 b 为相对湿度订正值年变化包络线。采用包络线的方法可以剔除某些月份出现的异常的不合理的订正值。

从图 2 可看出, 胡坊的水汽压小地形订正值全年为正, 最大在 7 月份, 最小在 3 月份; 邓家全年为负, 绝对值最大亦在 7 月份。相对湿度的订正值胡坊全年亦为正值, 最大在冬季, 最小在春末夏初的雨季; 邓家的相对湿度订正值是秋冬为正, 春夏为负。另外还看出, 相对湿度的订正值全年都是胡坊比邓家大。这是因为胡坊在谷中的南坡上, 且测点附近均为水田; 邓家在北坡上, 红棕色的土壤, 又不长植物, 且测点离水田很远。因此, 即使雨

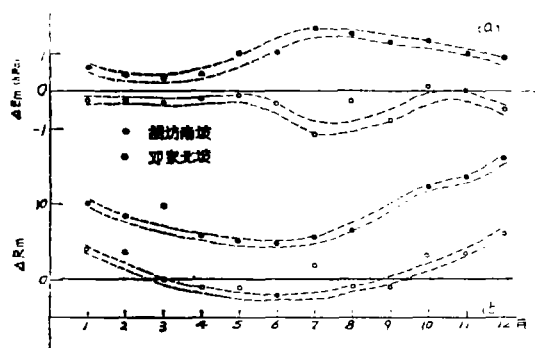


图 2 福建省胡坊、邓家湿度小地形订正值年变化

Fig. 2 Annual variation in the correction of microtopography on humidity  
(in Hufang and Dengjia meteorological posts in Fujian Province)

季,邓家的相对湿度也较平地小,全年订正值都比胡坊小。另外,在四、五、六月份(雨季),整个沙溪流域相对湿度都很大,因而坡地的值与本底值差异减小,所以图 2 上两个哨的相对湿度订正值都偏小。到了冬季,水田全部灌水,也不长庄稼,所以冬季胡坊的相对湿度订正值更大。

由以上分析可以看出,小地形订正值不仅要受地形影响,而且还受水体、植被、土壤和季节等因子的影响。由于胡坊哨处于谷中水田附近,虽为南坡,但相对湿度订正值全年为正,比干燥的北坡还要大。

3. 云南省东部山区,地势比福建省沙溪流域陡峻得多,尤其是金沙江下游东川一带地区,受南北走向的高大山脉切割,山高谷深,高差悬殊,植被较少,气候比福建干燥。

我们选取东川及其周围十个台站,用上述方法计算峡谷和谷中北坡的小地形订正值。

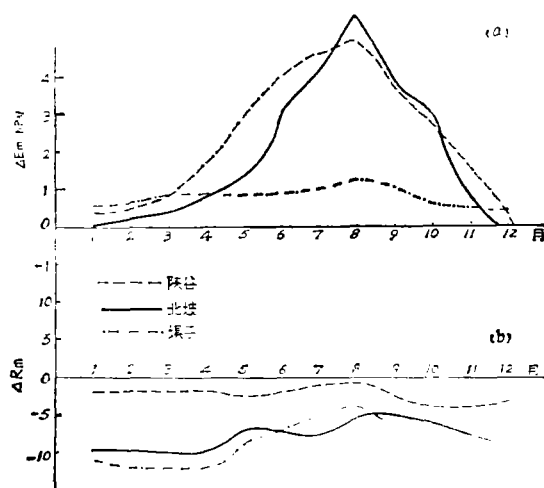


图 3 云南省东川和红河湿度小地形订正值的年变化

Fig. 3 Annual variation in the correction of microtopography on temperature  
(in Dongchuan and Honghe meteorological posts in Yunnan Province)

另外选取东南部红河州地区,根据 12 个气象站和大坝子气象哨资料,推算坝子地形对湿度的影响。这些计算结果都画在图 3 上。

从图 3 上看出,云南省东部山区,无论是峡谷或坝子,甚至是谷中北坡,水汽压订正值几乎全年为正,且雨季(5—10 月)比干季大。相对湿度订正值正好相反,全年均为负,其绝对值雨季比干季小。与福建省完全不同。这是因为云南山区河谷属干热型,加之高差悬殊,遮蔽度大,谷中风速很小,温度又高,所以水汽压在谷中比开阔地区大,而相对湿度比开阔地区小。在红河州大坝子中,按理其湿度的地形订正值应等于零。但由于该坝子处于暖湿气流的背风坡,因而这里的绝对湿度偏大,相对湿度偏小,且这种差异在冬、春季更突出。

## 四、结 语

本文提出了小地形对温湿度影响的定量计算方法,并应用于福建和云南山区。从计算和分析得到以下几点结论:

1. 山区温湿度小地形订正值可以利用测点(或气象哨)周围气象站的同步温湿度资料,首先推求测点(哨)所在地点的本底值(宏观分布),然后求得订正值。

2. 可借助于多元回归分析推求宏观分布,所取元数应视气象站多少和地形、自然地理条件的非均一程度而定。气象站越多,地形越复杂,取的元数应越多。计算后应统计检验。

3. 山区任一地点的本底值不能用周围气象站的观测值线性内插方法来求。考虑到小地形的效应,线性内插更不合理。

4. 各类小地形订正值不仅随地理位置而变,还随地区的气候型而变;即使在同一地区,由于被复情况以及与水体的距离等不同,小地形订正值都不相同。这可从福建的槐南、胡坊和邓家以及云南的东川、红河的分析清楚地看出。因此,各地区的小地形订正值不能简单地互相套用,必须具体确定,或根据条件的相似性应用。

## 参 考 文 献

- [1] 傅抱璞,山地气候论文集,气象出版社,23—34,1984。
- [2] 卢其尧,南京大学学报,23(8),65—72,1987。
- [3] 傅抱璞等,福建省沙漠流域气候资料图集,南京大学出版社,18—36,1987。
- [4] H. H. 鲁金著,谭家岱等译,积分学,高等教育出版社,151—214,1959。
- [5] 数学手册编写组,数学手册,高等教育出版社,219—224,1979。
- [6] 么枕生,气候统计学基础,科学出版社,191—213,1984。
- [7] Barry R. G., Mountain weather and climate. Methuen London and New York, 17—73, 1981.



## DETERMINATION OF THE EFFECTS OF MICROTOPOGRAPHY ON TEMPERATURE AND HUMIDITY IN MOUNTAIN REGIONS

Yu Jingming, Zhan Xingpan, Zhang Yiping

(*Departments of Atmospheric Sciences, Nanjing University*)

**Key words** Temperature; Humidity; Microtopography; Mountain region; microclimate

### Abstract

A method for calculating the effects of microtopography on temperature and humidity in mountain regions is presented. The results of its application to the mountain regions in Fujian Province and in the eastern part of Yunnan Province are very satisfactory.

The temperature or humidity field at any place in mountain regions can be attributed to the macro-geographical factors and the microtopographical factors. The former is a function of longitude ( $\lambda$ ), latitude ( $\varphi$ ) and elevation ( $h$ ), and can be expanded as a Taylor's series (it is called the "macro basic value", MBV), while the latter is affected by the slope orientation, topographical type, etc. and is impossible to be expressed by a function.

The climatic effect of microtopography can be determined by the data of microclimatological observation points (OP) or meteorological posts (MP). We first calculate the MBV of OP by using the data of temperature and humidity of meteorological stations (MS) in the surroundings of OP or MP in the same period, and then determine the temperature and humidity effects of microtopography from the difference between the observed value and MBV of OP.

In Fujian Province, for the OP over a circular valley in Huainan Township of Yonggan County, for Hufang MP (S—slope in a valley) in Mingxi County and for Dengjia MP (on a mound in the basin), the obtained temperature and humidity effects of microtopography show that: (1) in Huainan Township the MBV of temperature agrees with the average value of temperature on four slopes at the same elevation (2) the effect of vapour pressure on S—N slopes is inversive and (3) the annual variation in relative humidity on S—N slopes has the same pattern. The result obtained in mountain region in the eastern part of Yunnan Province obviously differs from that in Fujian Province, Because the former represents the effect in dry-hot valley, while the latter in wet valley.

It may be seen that the climatic effect of microtopography not only varies with the microtopographical type, but also with the macrotopography climatic type, season and geographical environment.