

## 山区平均气温细网格插值方法的比较

周锁铨 缪启龙 吴战平 于俊伟

(南京气象学院应用气象学系,南京,210044) (贵州省气象局,贵阳,550002)

**摘要** 采用逐步插值和多元回归的方法,计算了贵州省1月、7月份气温 $10' \times 10'$ 细网格的内插值。通过两种结果与实际状况的比较,及其误差的分析,发现逐步插值的计算结果更符合实际,且剩余误差为多元回归结果的 $1/5 \sim 1/10$ 。

**关键词** 山区,气温,逐步插值法,多元回归

**分类号** P463.2

山区气温的细网格分析方法及应用,已有许多学者进行过研究<sup>[1~3]</sup>。这些工作主要是采用较为成熟的多元回归方法,即以经度、纬度、海拔高度的一次、二次项或这些因子的乘积项作为变量,以温度作为应变量,统计得到函数关系。该方法的特点是简单易于掌握,只要因子选得好,效果也较好,基本上反映了气候资源分布的规律性,在一定程度上满足了气候资源分析的需要。但是,事实上气候要素随经度、纬度的变化,不会象回归方程的系数那样,呈简单的递增或递减关系;其次,回归方程的剩余误差,需人工判读到格点上,剩余误差越大,判读过程的误差也越大,且判读误差很难评估。根据在实际工作中的经验,本文对气温采用逐步插值的细网格分析方法,且与多元回归方法的结果及实际状况进行了比较,试图探讨山区气候要素细网格分析方法的新途径。

### 1 计算方法

#### 1.1 逐步插值法<sup>[4]</sup>

设站点的二维气候要素分布为 $F(x, y)$ ,则某一格点 $(x, y)$ 的内插值 $G(x, y)$ ,可由 $F(x, y)$ 计算得到:

$$G(x, y) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} F(x + r\cos\theta, y + r\sin\theta) W r dr d\theta \quad (1)$$

式中 $r$ 为格点与测点的距离, $W$ 为积分权重函数,可由气候要素的二维相关函数确定,取

$$W = \frac{1}{4\pi k} \exp\left(-\frac{r^2}{4k}\right) \quad (2)$$

$k$ 是 $W$ 的权重参数。由(2)式,(1)式可写成

$$G(x, y) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} F(x + r\cos\theta, y + r\sin\theta) \left(\frac{\eta}{2r}\right) d\left(\frac{r^2}{4k}\right) d\theta \quad (3)$$

式中  $\eta = \exp(-r^2/4k)$  (4)

对于离散的情形,用有限影响范围内资料进行插值,用求和代替求积。可以证明<sup>[4]</sup>,插值函数  $G(x,y)$  一致收敛于实际值  $F(x,y)$ 。

### 1.2 多元回归法<sup>[3]</sup>

考虑三向地带性因子(纬度  $\varphi$ , 经度  $\lambda$ , 海拔高度  $h$ )及局地环境因子  $G$  所决定的地面温度气候学方程,即

$$T = T(\varphi, \lambda, h, G) \quad (5)$$

可写成回归方程的形式

$$T = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3h + T_e \quad (6)$$

$T_e$  即为所拟合方程的剩余误差,也可视为环境因子所产生的温度效应,即

$$T_e = T(\text{实测值}) - T(\varphi, \lambda, h) \quad (7)$$

(6)式中  $a_1 = \partial T / \partial \varphi$ ,  $a_2 = \partial T / \partial \lambda$ ,  $a_3 = \partial T / \partial h$ 。当  $a_1, a_2$  的值确定后,即表示气温随经纬度递增或递减,气候要素的高低值中心由  $a_3h$  项决定。

## 2 结果分析

利用逐步修正插值法和多元回归法,我们分别计算了贵州省 1 月、7 月平均温度的细网格内插值,所用资料为 76 个台站的 30 年整编资料,计算格距为  $10' \times 10'$ ,修正插值步数为 4 步。

### 2.1 逐步插值结果与实际状况的比较

为了检验逐步插值的能力及计算效果,我们在插值中暂不考虑其它因素的作用,仅仅作地面插值。得到贵州 1 月份气温的逐步插值计算结果,全省的气温呈现南高北低、东高西低的形势,最高达  $9.9^\circ\text{C}$ ,最低为  $1.5^\circ\text{C}$ ,与 1 月实际地面气温比较,可以看到,两者不仅形势一致,而且其等值线的走向,高低值中心的位置与大小都非常吻合。我们选取具有代表性的 4 个没参加计算的站点,计算了实际测值与计算值的误差,分别为:威宁  $0.1^\circ\text{C}$ 、贵阳  $0.2^\circ\text{C}$ 、台江  $-0.1^\circ\text{C}$ 、正安  $0.2^\circ\text{C}$ (图略)。7 月份的逐步插值计算结果,与实际状况也非常一致,计算的细网格气温由东向西递减,而南北差异不大,低值中心位于海拔较高的西部山区,为  $17.4^\circ\text{C}$ ,最高位于兴义东部的边界上,达  $28^\circ\text{C}$ ;上述 4 个站的误差分别为:威宁  $0.2^\circ\text{C}$ 、贵阳  $0.9^\circ\text{C}$ 、台江  $-0.6^\circ\text{C}$ 、正安  $0.2^\circ\text{C}$ (图略)。

### 2.2 逐步插值结果与多元回归方法计算结果的比较

为了比较逐步插值结果与多元回归方法计算结果的差异及优劣,在逐步插值方法中考虑测站海拔高度的影响,与实测情况比较(1 月份),从南到北、由东到西温度减少,最高温度为  $10.2^\circ\text{C}$ ,位于南部边界上,最低温度为  $1.0^\circ\text{C}$ ,位于西部海拔较高的山区, $5^\circ\text{C}$  等值线以南气温分布与实际吻合。不同处表现在:等值线的走向更为复杂,闭合中心明显增多,这主要是局地气候状况的体现。4 个代表站的绝对误差分别为:贵阳  $0.0^\circ\text{C}$ 、威宁  $0.1^\circ\text{C}$ 、台江  $0.0^\circ\text{C}$ 、正安  $0.0^\circ\text{C}$ (误差近似到 1 位小数)。可见,考虑地形的影响,误差变小。

为了进一步探讨逐步插值法的计算效果,我们利用多元回归的方法(见表 1),计算了贵州省细网格上的气温  $T(\varphi, \lambda, h)$ ,其总的趋势与实况基本上是符合的,但其中心位置与实际值偏离了大约 1 个经度,0.5 个纬度;位于最北部的最低值( $-2.1^\circ\text{C}$ ),实测状况为一小高值区。西部的海拔较高地区的负值区域,与实际状况也不十分符合(水城  $2.9^\circ\text{C}$ 、赫章  $3.5^\circ\text{C}$ 、威宁  $1.7^\circ\text{C}$ ),差异是十分显著的。尽管如此,回归方程的复相关系数仍然很高,这表明,多元回归方法本身存在着某些不足。

表 1 贵州省 1 月、7 月细网格气温的多元回归方程

月 份	复相关系数	F 值	回 归 方 程
1 月	0.9490	238.57	$T_1 = 25.3354 - 0.8848x_1 - 1.2795x_2 - 0.5876x_3$
7 月	0.9869	986.06	$T_7 = 28.9667 + 0.3487x_1 - 0.2662x_2 - 0.5480x_3$

注:  $\varphi = (x_1 + 20^\circ)$ ,  $\lambda = (x_2 + 100^\circ)$ ,  $h = (x_3 \cdot 100)$  分别为测站的纬度、经度、海拔高度

7 月份的计算,也有类似的结果,考虑地形影响后的逐步插值的细网格值,4 个站点的误差分别为:威宁  $0.1^\circ\text{C}$ 、贵阳  $0.3^\circ\text{C}$ 、台江  $-0.2^\circ\text{C}$ 、正安  $0.1^\circ\text{C}$ ,比没有考虑地形影响的逐步插值的误差明显减小,而多元回归方法的计算结果,无论在分布状况,还是在高低中心值上,都与实测状况差异较大;上述分析表明,逐步插值的计算结果比多元回归的计算结果精度明显提高,更能反映实际状况,且不需人为地进行误差订正(图略)。

### 3 误差分析

#### 3.1 逐步插值方法的精度状况

逐步修正插值法,有一套严格的误差计算与误差修正的方法。如贵州省 1 月份气温  $10' \times 10'$  细网格逐步插值结果,先将测站的值插到格点上,再用格点的值反插到站点,以求出站点误差,再用站点的误差修正格点的值,这样就可以逐步提高插值的精度,减少计算的误差。从表 2 可以看到,每次修正后的平均误差是呈指数形式衰减的,可见逐步修正插值,有效地提高了平均精度,减小了误差。表 3 为 1 月份初始插值及第 4 步修正插值的情况,在  $0.0\% \sim 1.0\%$  误差范围内的站数占总站数的  $57.5\%$ ,  $0.0\% \sim 4.0\%$  范围内的站点数占总站数的  $82.5\%$ ;经 4 次修正插值后,  $0.0\% \sim 1.0\%$  范围的站点数增加到总站数的  $85.0\%$ ,而  $0.0\% \sim 4.0\%$  误差范围内的站点数,则由原来的  $82.5\%$  增加到  $95.6\%$ ,绝大多数站点的误差都在  $4.0\%$  以下。上述结果表明:(1)随着修正次数的增加,不仅平均误差逐渐减小,精度提高,而且参加计算的每一个站点的误差都一致地逐渐减小;(2)误差在  $0.0\% \sim 1.0\%$  范围内的站点数,随着修正次数的增加,增加得十分显著,因而对总体精度的贡献也较大;(3)以每次插值的结果看,站点数是在向较小误差区间聚集,从而使精度提高。

表 2 各步修正插值后的平均误差

插值步数	初始插值	第 1 步插值	第 2 步插值	第 3 步插值	第 4 步插值
平均误差	3.16%	1.74%	0.94%	0.44%	0.23%

表 3 各误差区间的站数占总站数的百分数

误差区间	0.0%~1.0%	1.0%~2.0%	2.0%~3.0%	3.0%~4.0%	4.0%~5.0%	5.0%~6.0%
初始插值	57.5%	10.5%	8.0%	6.5%	3.0%	6.0%
第 4 步插值	85.0%	5.5%	3.0%	2.1%	1.7%	2.2%

图 1 是 1 月份修正插值后,误差的空间分布,修正值越大,说明前一次插值的误差越大,修正作用越明显,反之亦然。图 1a 表明:(1)正负修正值范围较广,强度较大,这反映了初始插值后的剩余误差尚大,第一次修正作用较明显;(2)正负中心相互间隔,表明了插值对实测值中高

低值中心有一定的削弱,这在以后的修正插值中,可以得到改善。图 1b 显示:(1)大多数格点的修正值为零或接近零,说明修正作用起到了预期的效果,插值结果已达到较高的精度,误差也很小;(2)正负值中心的范围和中心值明显减弱,且位置与图 4a 一致,这表明逐步插值修正了计算对高低值中心的削弱,起到了改善计算效果的作用。

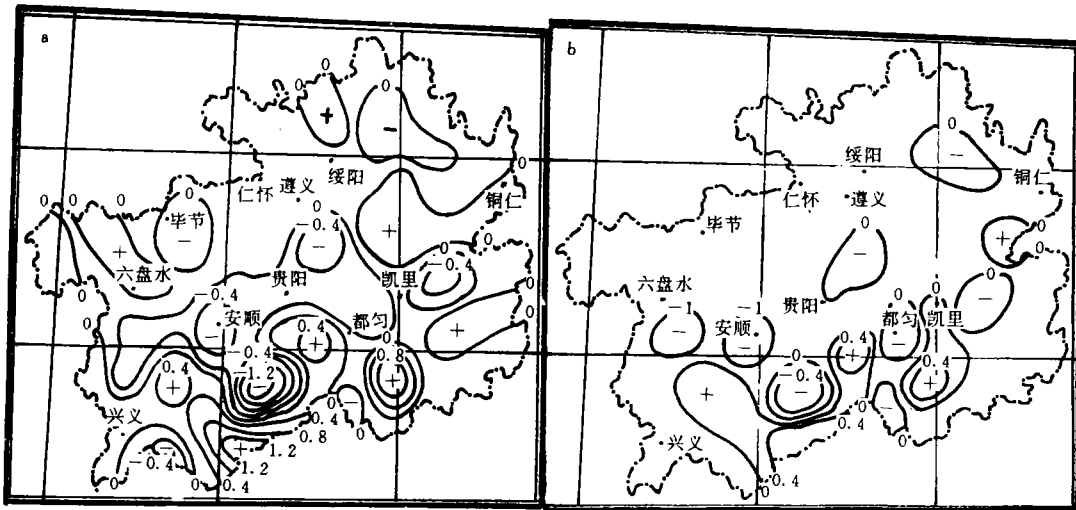


图 1 a. 第 1 次修正插值中对格点的修正值(°C), b. 第 4 次修正插值中对格点的修正值(°C)

### 3.2 逐步插值与多元回归计算结果的剩余误差的比较

由(7)式,计算各测站绝对误差  $T_e$ ,并绘制成剩余误差分布(见图 2)。由图 2a 可以看出:1 月  $T_e$  的趋势性十分明显,全省除中部地区出现负值外,其它地区都是正值,这表明在实测高值区,计算值小,而在低值区,计算值大,削弱了气温分布的高低值中心,起着平滑实际场的作用。贵州的北部、西部最大绝对误差达 1.4°C、1.3°C,而实测值为 5.5°C、1.7°C;贵阳北部负值区最大误差为 -0.9°C,实测值为 1.9°C,可见计算误差是相当大的。由图 2b 可知:大部分地区的误差为零或接近为零,最大负值中心分别位于贵阳地区(-0.9°C)及都匀南部(-0.8°C),正

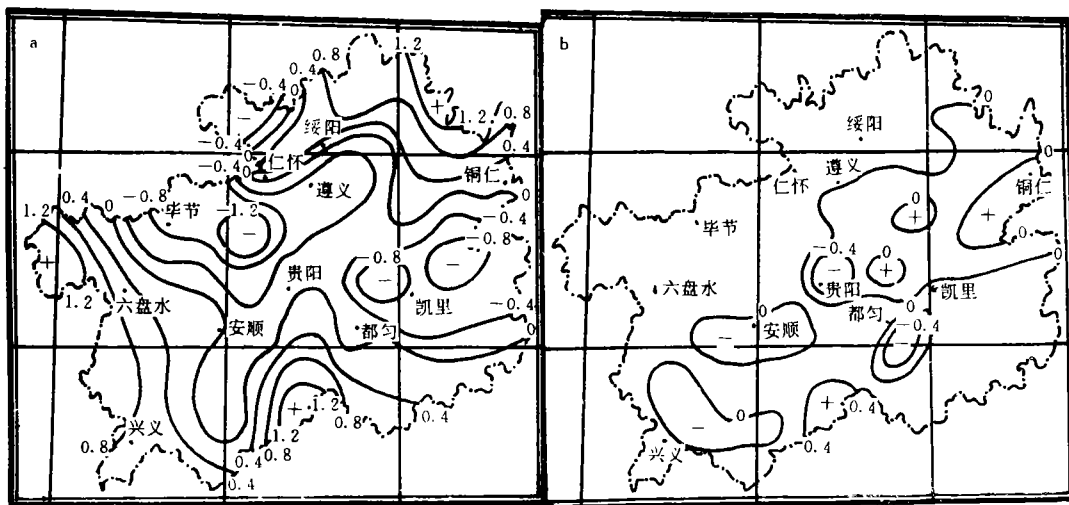


图 2 a. 贵州省 1 月份多元回归计算结果的剩余误差分布( $T_e$ ), b. 贵州省 1 月份逐步插值计算结果的剩余误差分布

值区位于贵州省南部的一较小范围内,最大值为  $0.8^{\circ}\text{C}$ ,正负值中心相互间隔。与图 2a 比较,图 2b 不仅正负值的范围较小,而且绝对误差普遍比多元回归的计算结果小很多。

## 4 结 论

通过比较两种细网格方法的计算结果,得到如下结论:

- (1) 逐步插值法的理论可靠,数学严谨。多元回归方法则简单明了,易于掌握。
- (2) 多元回归法需要筛选因子,这就涉及到开始提供的因子是否包含了所有与应变量相关的因子,所筛选出的因子是否具有明确的物理意义。逐步插值法则不存在这一问题。
- (3) 逐步插值法的计算量小,并且一次计算结束,无需人工干预。多元回归法需用较大的计算量来完成筛选因子,求回归方程,检验判别,以及人工判读等。
- (4) 逐步插值的结果准确客观地反映了实际状况。多元回归结果,基本上反映了实际状况的主要趋势,但部分地区与实际状况有较大出入,故推算的结果值得推敲。
- (5) 逐步插值法有效地解决了剩余误差问题,能根据计算要求,使结果达到某一给定的精度。多元回归法是通过人工判读的方法解决剩余误差,精度较差且判读本身的误差无法评估。

## 参 考 文 献

- 1 傅抱璞. 山地气候要素空间分布的模拟. 气象学报, 1988, 46(3): 319~325
- 2 虞静明. 山区小地形对温、湿度影响的确定. 地理学报, 1988, 43(2): 224~231
- 3 沈国权. 考虑宏观地形的小网格温度场分析方法. 气象, 1984, 6: 22~27
- 4 周锁铨. 日照百分率的小网格分析方法. 气象科学, 1993, 13(2): 201~210

# COMPARISON OF STEPWISE INTERPOLATION ON SMALL GRIDS AND MULTI-REGRESSION ANALYSIS FOR MOUNTAIN MEAN TEMPERATURE

Zhou Suoquan Miao Qilong

(Department of Applied Meteorology, NIM, 210044, Nanjing, PRC)

Wu Zhanping Yu Junwei

(Guizhou Meteorological Administration, 530002, Guiyang, PRC)

**Abstract** Using stepwise interpolation and multi-regression analysis, calculation is made of  $10' \times 10'$  grid interpolations of temperature for January and July over Guizhou mountain area. Error analysis of the two techniques shows the computation of the stepwise interpolations is closer to reality with the residual error is five to ten times smaller as compared to the multi-regression analysis.

**Keywords** mountain area, temperature, stepwise interpolation, multi-regression