

气温序列的延长和插补

屠 其 璞

(南京气象学院)

在进行县级气候调查和农业气候区划时,为了较细致地分析气候空间变化规律,常常需要利用一些气象哨、组以及临时观测得到的气象资料。由于这些观测记录的年代一般较短,所求出的累年平均值缺乏一定的代表性,如不经过订正就难以用于空间分布的分析。对短期观测资料订正求得它们在统一的基本时期内的累年平均值,就是通常所说的序列延长问题。

我国大部分测站只有二、三十年的连续气象记录。在研究气候变化和长期预报时,我们希望能得到一个长期的(几十年甚至上百年的)、连续的气象记录序列,即要根据较短时期内的观测记录求得较长时期内气象要素的历年值。为了区别前一类序列延长问题,通常把这一类问题称作序列插补。

月平均气温是表征一地热量状况的基本气候指标,应用十分广泛。从月平均气温出发,不难求出许多其它热量指标。这里我们主要讨论月平均气温序列的延长和插补方法。

序列延长和插补的方法虽然很多,但基本思路却有许多共同之处。我们通常把资料需要延长、插补的测站称作订正站。各种订正方法都要在订正站邻近区域中,选择一个在基本时期内有连续观测记录的气象站(基本站),分析订正站与基本站气象要素相互连系的统计规律,作为序列延长和插补的基本依据。

一、月平均气温短序列的延长

理论分析和实际资料的计算结果表明,若基本时期长30年,对一个月的平均气温来说,只有根据基本时期内17—18年以上观测资料求得的累年平均值,才可不加延长而直接用于气候分析。

观测资料表明,相邻测站(点)月平均气温差的年际变化幅度要比气温本身的年际变化小得多。因此,尽管不同记录时期求得的月平均气温累年平均值的差异不能忽略,不同记录时期内相邻测站月平均气温差的累年值却可近似地看作常数,这就是所谓差值的稳定性。从差值稳定性出发,即可得出最常用的月平均气温序列延长方法——差值订正法。

设基本站月平均气温在基本时期内的累年恒为 x_N ,订正站在基本时期内有 n 年($n < N$)记录,它的月平均气温累年平均值为 y_n ,同期基本站月平均气温的累年平均值为 x_n 。根据差值的稳定性,可认为等式

$$y_N - x_N = y_n - x_n \quad (1)$$

近似地成立,于是得差值订正公式:

$$\hat{y}_N = x_N + (y_n - x_n)$$

式中 $\hat{y}_N$ 表示订正站月平均气温在基本时期内的累年平均(订正)值。

例如,某县气象站1951—1975年1月平均气温累年值为 3.2°C ,县内某气象哨1971—1975年1月平均气温累年平均值为 2.4°C ,同期县气象站1月平均气温累年平均值为 2.7°C ,则气象哨在1951—1975年间1月平均气温累年平均值为

$$y_N = 3.2 + (2.4 - 2.7) = 2.9^\circ\text{C}$$

差值订正法意义直观,使用简便。它的订正效果取决于基本站与订正站气温相关密切的程度和订正站在基本时期内的观测记录年数 n 。一般来说,基本站与订正站气温相关越密切,订正站观测年数 n 越接近基本时期长度 N ,订正的平均误差越小。理论分析和实际试验的结果表明:一般情况下,在一个县的范围内,只要订正站(哨)有3—5年以上的观测资料,即可用差值订正法求得较为满意的订正结果。

在实际工作中,还可用回归分析方法建立订正站月平均气温 y 依基本站月平均气温 x 的回归方程

$$y = a + bx,$$

从而得到回归延长公式

$$\hat{y}_N = a + bx_N$$

回归延长公式计算较差值延长公式复杂。但是理论分析表明,除了订正站与基本站气温相关较弱、订正站在基本时期观测年数较多的情况外,用回归订正法进行序列延长的效果不会比差值订正法有明显的改善。

二、气温超短序列的延长

在进行县级农业气候区划时,常常设置临时测点,

以期得到对各地气候状况更细致的认识。这些临时观测点的记录,短则只有几个月,长也不过一、两年,这种短期气象记录序列,我们称之为超短序列。由于观测时期太短,用差值订正法将超短序列延长到基本时期的精度常常不能令人满意。观测资料表明,相邻测站气温差与太阳辐射状况很有关系,晴天,阴天、阴天的平均温差常常有明显的不同。因此,两站月平均气温差值的年际变化通常与该地区各种天气频率的年际变化有关。从这点出发,我们得到了平均气温超短序列的条件差值延长公式:

$$\hat{y}_N = x_N + (d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3) \quad (2)$$

式中, $\hat{y}_N$, x_N 的意义同 (1) 式, d_1 , d_2 , d_3 分别表示晴、云、阴天气条件下临时测点与基本气象站日平均气温差 (临时测点气温减气象站气温) 的条件平均值, v_1 , v_2 , v_3 分别表示气象站晴、云、阴天气频率累年值。

例如,某气象站 1951—1975 年 1 月平均气温累年平均值为 3.2°C , 晴、云、阴天气频率累年值分别为 0.32、0.26 和 0.42。某气象站在 1975 年 1 月进行了一个月临时观测。在观测期间,气象站与气象站日平均气温差在 5 个晴天内的平均值为 0.25°C , 在 12 个云天内的平均差值为 0.60°C , 在 14 个阴天内的平均差值为 0.42°C , 据 (2) 式可求得气象站在 1951—1975 年间 1 月平均气温的累年平均 (订正) 值为:

$$\hat{y}_N = 3.2 + 0.25 \times 0.32 + 0.60 \times 0.26 + 0.42 \times 0.42 = 3.6^\circ\text{C}$$

在相同的资料条件下,用条件差值订正法进行超短序列延长的精确度通常总是优于一般的差值订正法。不同天气型下温差条件平均值的差异越明显,订正精确度越高。一些地区观测资料订正试验结果表明,当气象站与气象站距离在 50—100 公里范围内时,将气象站一年的观测资料延长到基本时期的平均误差一般都在 0.3°C 以下。

相邻测站月平均气温差或各种天气条件下条件平均温差都有明显的季节变化。为了得到较好的订正效果,一般应分月统计温差,分月进行延长订正。如果在进行超短序列订正时,由于资料限制而不可能分月统计时,那么至少应对冬、夏两季代表月分别计算条件温差,然后用内插法计算各月温差的条件平均值,分别建立各月订正式。

三、月平均气温序列的插补

从相邻测站月平均气温差值稳定性出发,订正站基本时期内个别年分缺测气温资料可用差值插补公式 $\hat{y}(t) = x(t) + (y_n - x_n)$ (3) 进行插补。式中 $\hat{y}(t)$ 表示插补站的缺测记录, $x(t)$ 表示同期基本站的气温记录,其它符号同 (1) 式。差值插补公式的基本出发点是把插补站和基本站月平均气温差看作常数。基本时期内插补站和基本站历年月平均气温 $y(t)$ 和 $x(t)$ 可分别表示成

$$y(t) = y_n + y'(t) \\ x(t) = x_n + x'(t)$$

式中 $y'(t)$ 和 $x'(t)$ 分别表示两站的气温距平。差值订

正法把 $y(t) - x(t)$ 看作常数,也就是认为 $x'(t) = y'(t)$,即认为插补站与基本站气温年际变化规律完全相同。这样,用差值插补公式进行序列插补,实际上相当于在插补时段内把基本站气温年际变化规律原封不动地移植到插补站。因此,差值插补法仅仅适用于个别缺测年分的插补,不宜用于为了延长序列而进行的整段缺测资料的插补。

用插补站气温依基本站气温的一元回归方程进行缺测资料插补的效果,由于回归系数通常很接近 1,一般与差值订正法相近。

用于整段缺测资料插补的方法,除了要能使插补值具有一定的精度外,还应尽可能地把插补站月平均气温年际变化不同于基本站的特点反映出来。根据气候学原理, $y'(t) - x'(t)$ 与大范围环流特点的年际变化有关,而后者又必然在基本站各种气象要素中得到不同程度的反映。因此,可以期望通过建立以基本站多种气象要素值为自变量的多元回归插补方程,使插补值既具有较高的精度,又能较好地反映出插补站月平均气温年际变化不同于基本站的特点,以满足整段缺测资料插补的需要。

我们以上海为基本站,用逐步回归分析方法建立了南京各月多元回归插补方程,进行插补试验,得到了 1874 年至今的连续的南京月平均气温序列。从上海和南京的资料情况出发,用于建立方程的样本资料共 48 年 (1905—1920, 1931—1935, 1946—1972),其它平行观测年分的资料则用作检验插补效果的独立试验样本。建立回归方程时供筛选的因子是上海月平均气压 (x_1), 月平均气温 (x_2), 月平均最高气温 (x_3), 月平均最低气温 (x_4), 月降水总量 (x_5), 日降水量 ≥ 0.1 毫米日数 (x_6) 和日降水量 ≥ 1.0 毫米日数 (x_7)。表 1 给出各月插补方程选中因子、复相关系数 R 和平均插补误差 E_R 。作为对比,表 1 同时给出各月以上海月平均气温为自变量的一元回归插补方程的相关系数和一元回归插补方程的平均插补误差 E_R 与 E_K 之比。从表可见,十二个插补方程中,基本站月平均气温选中的次数最多。此外,8 个方程中引进了表征基本站降水特征因子 (x_6 , x_7), 6 个方程中引进了基本站月平均最高气温。正是通过这些因子的引进,使得插补的平均误差较一元回归插补方程有了明显的减小。更重要的是,通过在方程中引进这些因子,使得插补值能更好地反映出南京月平均气温年际变化不同于上海的特点。不难理解,南京、上海月平均气温差插补值 $\Delta'(t) = \hat{y}(t) - x(t)$ 和实测值 $\Delta(t) = y(t) - x(t)$ 之间的线性相关系数 $r_{\Delta, \Delta'}$, 可以作为插补值能否反映南京气温年际变化不同于上海特点的数量指标。用差值插补方程插补时,插补站气温插补值与基本站气温差

$$\hat{y}(t) - x(t) = y_n - x_n = \text{常数}$$

因此, $r_{\Delta, \Delta'} = 0$ 。

表 2 给出南京各月插补方程得到的南京、上海温差插补值和实测值的线性相关系数。表中各月相关系数都在 0.40 以上,其中 8 个月在 0.60 以上,由此可见,这些多元回归插补方程得到的插补值都能相当好

表1 南京各月气温插补方程选中因子、
复相关系数和平均插补误差

月	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	R	E_R	r	E_r/E_R
1		✓		✓	✓	✓		0.96	0.36	0.89	1.57
2	✓	✓	✓				✓	0.95	0.42	0.91	1.30
3		✓	✓		✓			0.96	0.29	0.90	1.48
4		✓				✓		0.96	0.28	0.93	1.21
5		✓					✓	0.92	0.32	0.86	1.25
6		✓				✓		0.90	0.32	0.86	1.14
7		✓					✓	0.93	0.45	0.91	1.06
8	✓	✓				✓		0.89	0.41	0.85	1.14
9		✓	✓					0.87	0.40	0.83	1.13
10	✓	✓	✓					0.91	0.31	0.80	1.43
11		✓	✓					0.93	0.36	0.88	1.32
12	✓		✓	✓				0.97	0.34	0.93	1.52

地反映出南京月平均气温年
际变化不同于上海的特点。

南京各月平均气温插补
试验结果表明,为了研究大
范围气候变化和长期预报的
需要,把国内一些连续记录
较长的测站作为基本站,用
多元回归插补方程进行插
补,建立既有一定精度,又
能较好地反映各地气温年变
化固有特点的百年气温序列
是可能办到的。我们甚至可
以以两个以上基本站的各种
气象要素作为建立插补方程
时供筛选的因子,以期达到
最大限度改善插补效果的目
的。

表2 各月插补温差与
实测温差的相关系数

月份	$r_{\Delta, \Delta'}$
①	0.81
②	0.68
③	0.75
④	0.58
⑤	0.62
⑥	0.52
⑦	0.41
⑧	0.52
⑨	0.63
⑩	0.75
⑪	0.71
⑫	0.77