

李亚丽. 三次观测站 02 时气温插补方法的比较分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 365-370.

三次观测站 02 时气温插补方法的比较分析^{*}

李亚丽

陕西省气象信息中心, 西安 710014

提 要: 现行的国家级地面气象观测站网(共 2416 个站)包括基准站、基本站和一般站,其中 1590 个一般站(占总站数的 65.8%)夜间不观测,但是按照《地面气象观测规范》的规定,在计算日平均气温时,必须通过数学方法给 02 时赋一个替代值或近似值,这种赋值过程无形中会带来计算误差。本文利用 1961—2009 年陕西 19 个国家基本/基准站的定时气温资料,对这种赋值误差进行定量评估分析,并通过多种方案的比较,提出新的赋值(或称插补)方法。结果表明:(1)传统方法所赋予的 02 时气温替代值比实测值偏高,19 个站平均偏高 0.77℃;(2)台站所处的纬度,以及季节、天气状况所引起的辐射强弱的差异,通过赋值变量(前一日 20 时气温)的传导,较明显地影响着 02 时气温的赋值误差;(3)用逐步回归分析方法,将传统方法的平均加权法调整为多因子非对称加权,显著减小了前一日 20 时气温的权重,降低了辐射强弱的影响,赋值与实测值更为接近,19 个站平均偏差近似为零;新的回归方程对月平均气温、年平均气温产生一定的修正作用,年平均气温值可调降 0.1~0.4℃,月平均气温甚至可下降 0.5℃。

关键词: 02 时气温, 实测资料, 逐步回归分析

The Comparative Analysis of Interpolation Method About 02 BT's Temperature at 3 Times Daily Observation Stations

LI Yali

Shaanxi Meteorological Information Centre, Xi'an 710014

Abstract: Current national ground meteorological observation net consists of the benchmark, basic and general stations (counting up to 2416 stations), of which about 65.8% the general stations didn't observe at night time. According to Specification of Surface Meteorological Observation, the average daily temperature must be calculated through mathematical methods, giving a replacement value for 02 BT's temperature. This process virtually brings about calculation errors. Using the timing temperature data of 19 national basic stations in Shaanxi from 1961 to 2009, the assignment errors are analyzed and evaluated quantitatively through various schemes comparison, and a new assignment (or interpolation) method is raised. The results show that: (1) The replacement value of 02 BT's given by traditional method is higher than the observed temperature, the average difference at 19 stations is 0.77℃. (2) Radiation intensity caused by stations in place of latitude, season and weather conditions conducting to assigned variable (20 BT's temperature the day before) magnifies obviously 02 BT's temperature assignment error. (3) Using stepwise regression analysis method to adjust the traditional weighted average as multi-factor asymmetric weighting method can reduce significantly the weighting coefficient of 20 BT's temperature the day before and reduce the influence caused by the intensity of radiation, thus making the assignment closer to the observed one. The average difference at 19 stations is approximately zero. New regression equations have

* 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY201106038)、中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2008Z12)和陕西省气象局气象科技创新基金项目(2010M-59)共同资助

2011 年 3 月 6 日收稿; 2011 年 10 月 17 日收修定稿

作者: 李亚丽, 从事气候资料分析和应用研究. Email: yalisongli@126.com

certain correction effect on the monthly and yearly average temperature, and the annual average temperature can be decreased by 0.1 to 0.4 °C, the monthly average temperature even by 0.5 °C.

Key words: 02 BT's temperature, observed data, stepwise regression analysis

引言

气温是表征气候冷暖的热量指标^[1],也是气候变化研究的最基本要素,其代表性、准确性和比较性又是评价气候变化研究的关键性指标。为达到上述“三性”的基本要求,在进行气候变化研究前,需要对气温资料进行严格的质量控制、评估和均一性检验,并对缺测记录进行插补订正,然后再进行“由时到日”、“由日到月”等不同时间尺度的加工统计,以更好地解析出气候变化的时空尺度特征。根据《地面气象观测规范》,日平均气温为 02、08、14 和 20 时(北京时,下同)4 个时次气温实测值的算术平均。然而,在我国现行的国家级地面气象观测站网中,约有 1590 个站为一般站,每天只进行 3 次观测(夜间不观测),导致 02 时气温缺测。为获得完整的日平均气温序列,必须通过数学方法给 02 时赋一个替代值或近似值。关于赋值方法,在不同的历史时期有不同的规定,例如 1960 年 7 月以前,一般直接用 07 时实测值来替代。之后凡是有自记仪器的,用订正后的自记值来替代;无自记仪器的,用前一日 20 时气温与当日最低气温的平均值来替代^[2]。这种较为简单的赋值方法无形中会带来计算误差,而且这种赋值误差究竟有多大?对气候变化事实的评估有没有影响?一直没有引起关注,也没有得到定量评估。

有研究表明^[3-11],计算方法的变化是导致气候序列不均一的主要因子之一。在我国 826 个国家基本/基准站中有 163 个站存在从每天 3 次观测向每

天 4 次观测的调整变迁,亦即在历史上的某一天 02 时气温由替代值变为实测值,这种变化是否导致气候序列不均一?也没有被论证。

本文旨在利用陕西省 19 个基本/基准站的实测资料,首先对 02 时气温进行屏蔽,用《地面气象观测规范》规定的赋值方法(简称为传统方法),对 02 时气温进行简单赋值,然后将其与实测值进行比对,定量评估误差大小,并分析引起误差的物理机制。与此同时,还进行了多种赋值方法的对比分析,试图摸索出更加科学有效的赋值方法,以提高赋值精度,提高气候序列的代表性,减少气候变化评估事实的不确定性。

1 资料与方法

文章使用了陕西 19 个国家基本/基准站长年代的逐日 4 次定时观测气温资料(资料年代见表 1)、6 个基准站(定边、绥德、洛川、西安、安康、汉中)的逐日日照时数,以及 2009 年 6 个基准站的每日 24 次观测气温资料。资料全部来自国家气象信息中心,均经过了严格的质量控制。

首先按照《地面气象观测规范》的传统方法计算了 02 时气温替代值(T_{02}'):

$$T_{02}' = (T_{20} + T_{\min}) / 2 \quad (1)$$

式中, T_{20} 为前一日 20 时气温, T_{\min} 为当日最低气温。02 时气温替代值与实测值的差值用 ΔT 表示:

$$\Delta T = T_{02}' - T_{02} \quad (2)$$

式中, T_{02} 为 02 时气温实测值。

表 1 台站名称及资料年代

Table 1 Station name and the time frame of data

站名	纬度	资料年代	站名	纬度	资料年代
榆林	38°16'N	1961—2003	横山	37°56'N	1961—1966, 1975—2003
定边	37°35'N	1989—2009	绥德	37°30'N	1961—2003
吴起	36°55'N	1961—2003	延安	36°36'N	1961—2003
洛川	35°49'N	1961—1967, 1969—2009	长武	35°12'N	1975—2003
铜川	35°05'N	1961—1999	宝鸡	34°21'N	1961—2003
西安	34°18'N	1961—2005	武功	34°15'N	1961—1966, 1973—2003
商县	33°52'N	1961—2003	佛坪	33°31'N	1961—2003
镇安	33°26'N	1961—2003	略阳	33°19'N	1961—2003
汉中	33°04'N	1961—2009	石泉	33°03'N	1961—1966, 1975—2003
安康	32°43'N	1961—2009			

其次,计算了不同时间尺度的差值标准差(S_x)和相对差值(D'):

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta T_i - \overline{\Delta T})^2} \quad (3)$$

$$D' = |\Delta T / T_{02}| \times 100\% \quad (4)$$

此外,还根据 02 时气温与相邻时次气温的相关程度,采用逐步回归分析方法,选取当日 08 时气温(T_{08})、前一日 20 时气温(T_{20})、当日最低气温(T_{\min})作为自变量,来拟合 02 时气温值 T_{02}'' :

$$T_{02}'' = \beta_0 + \beta_1 T_{08} + \beta_2 T_{20} + \beta_3 T_{\min} \quad (5)$$

由偏回归方程可求出回归系数 $\beta_i (i=0, 1, 2, 3)$ 、残差和残差标准差等。

2 结果分析

2.1 误差统计

表 2 给出了陕西省 19 个站不同季节 02 时气温的替代值 T_{02}' 与实测值 T_{02} 的平均差值、平均差值标准差及平均相对差值。可以看出,利用 30 多万个个初始样本计算得到的 02 时气温 T_{02}' 普遍高于实测值。总体而言,绝对误差以夏季最大,平均差值为 1.16°C ,春季次之(0.94°C),冬季最小(0.43°C),但是相对差值却以冬季最大(39.33%),春季次之

表 2 02 时气温替代值与实测值的差值(ΔT)、标准差(S_x)(单位: $^\circ\text{C}$)及相对差值(D')(单位:%)

Table 2 The 02 BT's temperature difference ΔT between replacement and observed value, standard deviation S_x (unit: $^\circ\text{C}$) and relative difference D' (unit:%)

站名	春			夏			秋			冬		
	ΔT	S_x	D'	ΔT	S_x	D'	ΔT	S_x	D'	ΔT	S_x	D'
榆林	1.42	1.50	22.33	1.52	1.43	8.27	0.94	1.31	18.25	0.70	1.31	6.93
横山	1.10	1.26	15.03	1.28	1.23	6.70	0.81	1.09	12.81	0.71	1.13	8.43
定边	0.84	1.48	11.87	1.04	1.35	5.67	0.24	1.45	3.76	-0.08	1.70	1.01
绥德	1.02	1.19	11.54	1.11	1.13	5.50	0.90	1.07	12.40	0.76	1.05	10.55
吴起	1.73	1.59	31.28	1.75	1.38	10.49	1.14	1.31	24.62	1.18	1.39	13.05
延安	1.51	1.38	19.28	1.58	1.22	8.50	1.00	1.10	14.76	0.86	1.10	13.14
洛川	0.41	1.01	4.98	0.75	0.90	4.05	0.14	0.85	1.74	-0.17	0.87	3.97
长武	0.53	1.28	7.32	1.07	1.15	6.02	0.18	1.15	2.44	-0.23	1.30	4.87
铜川	0.94	1.40	11.33	1.36	1.26	7.15	0.63	1.18	7.52	0.44	1.25	11.61
宝鸡	0.80	1.29	7.19	0.89	1.13	4.00	0.43	1.01	3.89	0.43	1.05	82.37
西安	0.76	1.38	6.43	0.97	1.33	4.21	0.28	1.09	2.37	0.19	1.11	50.31
武功	0.86	1.28	7.83	1.06	1.16	4.76	0.39	0.96	3.45	0.27	1.06	38.05
商县	0.76	1.23	7.19	1.02	1.07	4.90	0.61	1.08	5.59	0.48	1.06	254.99
佛坪	0.69	1.27	7.46	0.99	0.97	5.43	0.26	0.90	2.64	0.17	0.93	93.77
镇安	0.85	1.31	7.89	1.14	1.02	5.59	0.59	0.96	5.36	0.49	0.96	69.54
略阳	0.92	1.36	7.92	1.32	1.21	6.48	0.70	1.10	6.09	0.50	1.16	31.01
汉中	0.75	1.07	5.87	0.90	0.89	3.96	0.29	0.77	2.18	0.26	0.84	11.09
石泉	1.10	1.31	8.97	1.31	1.10	5.98	0.66	0.97	5.13	0.66	1.06	28.51
安康	0.84	1.26	6.15	1.04	1.05	4.36	0.50	0.90	3.46	0.46	0.94	14.11
平均	0.94	1.31	10.94	1.16	1.16	5.90	0.56	1.07	7.29	0.43	1.12	39.33

(10.94%),夏季最小(5.90%)。分区域来看,陕北的相对差值均为春季最大,其中吴起站误差最为显著(相对差值 31.28%),而关中和陕南地区相对差值冬季最大,部分台站相对差值超过了 100% 。

总之,广泛存在的正偏差(仅定边、长武、洛川站冬季为弱的负偏差),说明传统的赋值方法高估了 02 时气温,而且这种误差会最终传递到日平均气温上。全省平均而言,日平均气温约高估了 0.19°C ,其中冬季高估 0.11°C ,夏季高估 0.29°C 。

2.2 误差原因初探

2.2.1 纬度和季节因素

为探寻上述误差的原因,用前一日 20 时气温(T_{20})、当日最低气温(T_{\min})和当日 08 时气温(T_{08})分别与当日 02 时实测气温(T_{02})求差值。平均而言,02 时气温与前一日 20 时气温差值的绝对值最大(3.95°C),与当日 08 时气温差值最小(0.98°C),而且这种规律性在全省 19 个站中高度一致(表略)。

同样地,从前一日 20 时气温(T_{20})、当日最低气温(T_{\min})、当日 08 时气温(T_{08})与当日 02 时实测气温(T_{02})的相关系数来看,三者中 02 时气温与前一日 20 时气温的相关性最差,而与当日最低气温(T_{\min})、当日 08 时气温(T_{08})的相关系数存在地域差异,在纬度较高的陕北 T_{02} 与 T_{\min} 相关性最高,在纬度较低的陕南 T_{02} 与 T_{08} 相关性最高。这些都表明 20 时气温与 02 时气温的关联性较弱,在赋值过程中不足以占到 50% 的权重。

用陕西 6 个基准站(定边、绥德、洛川、西安泾河、汉中和安康)2009 年的逐时气温资料来分析气

温的日变化规律,以安康站为例(图 1),一天中气温的最低值通常出现在日出前后(即 06—08 时),冬季最低气温出现时间偏晚(贴近 08 时),夏季偏早(在 06 时前后)。而且气温日较差也在夏季最大,主要因为夏季太阳高度角大,日照时间长,白天温度较高,到傍晚 20 时虽然太阳辐射减弱,但辐射冷却时间不长,地面累积热量较高,地面的热量传递给空气,使 20 时气温仍较高,故夏季用前一日 20 时气温与当日最低气温的平均值来替代 02 时气温的差值 $\Delta T(1.3^{\circ}\text{C})$ 较冬季(0.9°C)大。

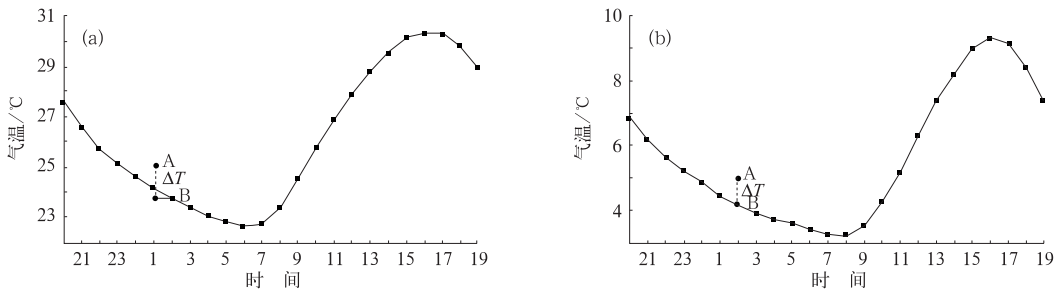


图 1 安康站夏季(a)、冬季(b)气温日变化图(虚线表示 ΔT)

Fig. 1 Daily temperature variations at Ankang Station in summer (a) and winter (b)
(dotted line represents ΔT)

2.2.2 天气因素

进一步求算 6 个基准站 T_{20} 与 T_{02} 的差值,以及差值与前一日日照时数的相关系数(表 3),在 0.001 显著性水平下,各站一年四季均显著相关,即当前一天的日照时数长时, T_{20} 与 T_{02} 的差值也较大,当前一日的日照时数短时,相应差值较小。换句话说,当前一天天气较晴朗时,地球吸收的太阳辐射多,20 时地面贮存热量仍较高,地面向空气传递的热量致使 20 时的气温在一天中仍相对较高, T_{02} 并不处在

$1/2(T_{20} + T_{\min})$ 的位置,因此用公式(1)计算出的 T_{02}' 比真实气温要高。分析前一日 20 时地温与当日 02 时地温的差值,以及差值与当日 02 时气温的相关性,存在同样规律。

综合来看,传统方法的赋值误差大小明显受制于前一天太阳辐射的强弱变化。台站所处的纬度,以及季节、天气状况所引起的辐射强弱的影响,基本上是通过赋值变量之一的前一日 20 时气温传导而来的。

表 3 T_{20} 与 T_{02} 的差值以及差值与前 1 日日照时数的相关系数

Table 3 D-values between the previous T_{20} and T_{02} and correlation coefficients of D-value and the previous day sunshine hours

站名	差值/ $^{\circ}\text{C}$	春	夏	秋	冬
定边	4.46	0.44	0.56	0.36	0.19
绥德	4.85	0.62	0.66	0.67	0.51
洛川	3.48	0.65	0.70	0.66	0.53
西安	3.37	0.60	0.60	0.56	0.46
汉中	2.92	0.74	0.72	0.69	0.61
安康	3.39	0.76	0.72	0.75	0.69

2.3 插值方案的改进

基于上述分析,以及台站既有的观测数据条件,笔者拟引入前一日 20 时气温(T_{20})、当日最低气温(T_{\min})和当日 08 时气温(T_{08})三个赋值因子,用逐步回归分析方法对每个站的 02 时气温进行拟合(式 5),并用显著性水平 0.05 的 F 检验对因子进行判别。当某因子未通过 F 检验时,对应的系数 β_i 为零,表示该因子不引入。这样下来,定边、横山、长武、西安站春季;榆林站夏季;绥德、宝鸡站冬季 08 时气温(T_{08})被剔除。其余站或季的 3 个自变量全

部引入回归方程(表 4)。经独立性检验,在 0.05 的显著性水平,经过逐步筛选最后得到的回归方程均具有显著的统计学意义,19 个站四个季节的回归误差均近似为零。

此外,为了使回归效果达到最佳(即残差最小),保留了常数项,且不强制常数项为零。从 19 个站的拟合效果来看,02 时气温的线性拟合值(T_{02}'')与实测值(T_{02})的平均残差为 0 或者近似为 0。19 站均调低了前一日 20 时气温(T_{20})的权重系数(β_2)。在

08 时气温(T_{08})未被引入的二元回归方程中最低气温的权重(β_3)显著调增了,不再是传统方法中各占 50%。而在引入了 08 时气温(T_{08})的三元回归方程中 β_1 、 β_2 和 β_3 也不是等同的,站与站之间也存在差异性,例如在镇安、石泉、安康等陕南地区,08 时气温的权重是明显加大的(表 4)。这与 2.2.1 节的相关性分析结果也是一致的。总之,对 02 时不观测且无自记仪器的台站,可以用以上 3 个变量采取逐步回归的方法进行插补。

表 4 逐步回归方程各变量的回归系数

Table 4 Regression coefficients of every variable of stepwise regression equation

站名	春				夏				秋				冬			
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3
榆林	0.55	-0.04	0.31	0.73	0.19	0	0.27	0.75	0.57	0.08	0.29	0.61	0.26	0.09	0.40	0.53
定边	0.24	0	0.38	0.60	0.27	0.10	0.30	0.60	0.54	0.10	0.37	0.52	0.59	0.16	0.40	0.45
吴旗	0.56	0.07	0.26	0.66	-0.02	0.15	0.21	0.66	0.35	0.26	0.26	0.46	0.48	-0.03	0.30	0.72
横山	0.21	0	0.36	0.63	-0.17	0.14	0.28	0.61	0.27	0.19	0.33	0.46	0.23	0.09	0.39	0.53
绥德	0.22	0.11	0.35	0.52	0.05	0.13	0.30	0.57	0.31	0.19	0.32	0.47	0.28	0	0.36	0.64
延安	0.35	0.07	0.28	0.64	0.22	0.07	0.23	0.70	0.26	0.33	0.28	0.37	0.15	0.07	0.37	0.58
长武	0.19	0	0.42	0.54	0.53	0.06	0.29	0.63	0.56	0.20	0.35	0.41	0.35	0.12	0.38	0.48
洛川	-0.10	0.11	0.46	0.39	0.69	0.07	0.37	0.52	0.17	0.23	0.44	0.30	-0.20	0.21	0.51	0.26
铜川	0.35	-0.07	0.33	0.72	1.19	-0.07	0.24	0.80	0.52	0.16	0.26	0.56	0.51	0.05	0.32	0.66
宝鸡	0.41	0.09	0.31	0.57	-0.09	0.22	0.26	0.53	0.33	0.29	0.30	0.41	0.42	0	0.32	0.69
武功	0.57	0.04	0.31	0.63	-0.51	0.12	0.27	0.64	0.54	0.30	0.30	0.38	0.48	0.08	0.34	0.59
西安	0.38	0	0.35	0.63	-1.00	0.05	0.32	0.69	0.42	0.15	0.36	0.48	0.49	0.16	0.32	0.51
略阳	0.62	0.24	0.26	0.47	0.76	0.25	0.27	0.43	0.29	0.33	0.19	0.47	0.44	0.32	0.25	0.40
汉中	0.56	0.20	0.31	0.45	0.61	0.11	0.27	0.60	0.38	0.38	0.33	0.27	0.20	0.12	0.37	0.50
佛坪	0.53	0.23	0.29	0.44	1.07	0.03	0.20	0.75	0.46	0.26	0.30	0.41	0.24	0.21	0.35	0.43
商县	0.35	0.27	0.34	0.34	-0.67	0.28	0.26	0.50	0.42	0.45	0.28	0.24	0.21	0.21	0.35	0.44
镇安	0.58	0.54	0.27	0.14	0.23	0.41	0.20	0.38	0.35	0.59	0.29	0.08	0.12	0.52	0.34	0.13
石泉	0.73	0.44	0.24	0.27	0.37	0.30	0.18	0.51	0.29	0.62	0.24	0.12	0.22	0.32	0.30	0.38
安康	0.66	0.47	0.26	0.22	-0.07	0.30	0.22	0.49	0.18	0.59	0.27	0.11	0.09	0.38	0.34	0.30

2.4 新插值方法对气温序列的修正效果

如上所述,新方案综合考虑了纬度、季节等因素,对于插值误差的修正效果是显而易见的。同时,用插补后的资料重新计算日平均气温,势必会进一步对月平均气温、年平均气温,甚至更长尺度气温变化趋势产生修正作用。据对原始气象记录报表的查证,19 个台站中有 5 个台站在相应的历史时段曾用式(1)所示的传统方法对 02 时气温进行了插补(见表 5),但是利用表 4 的回归方程对上述 5 个站的 02 时气温重新赋值,发现年平均气温值降低了 0.1~0.4℃,月平均气温甚至可下降 0.5℃,如石泉站 1969 年 6 月、1969 年 8 月、1972 年 8 月和横山 1968

年 6 月。由图 2 可见,两条序列之间的差异呈周期性变化,这与 2.1 及 2.2 节分析讨论是一致的,即传统方法导致春、夏季气温明显偏高。

表 5 台站资料时段及原始与新的年平均气温
Table 5 Station name and the time frame of data, the original and new yearly average temperatures

站名	资料时段	年平均气温/℃	
		原始	新
定边	1962 年 1 月 1 日—1970 年 12 月 31 日	7.8	7.7
横山	1967 年 3 月 1 日—1970 年 12 月 31 日	8.4	8.1
长武	1960 年 8 月 1 日—1973 年 12 月 31 日	9.2	9.1
武功	1967 年 1 月 1 日—1972 年 12 月 31 日	12.9	12.7
石泉	1967 年 3 月 1 日—1973 年 8 月 31 日	14.7	14.3

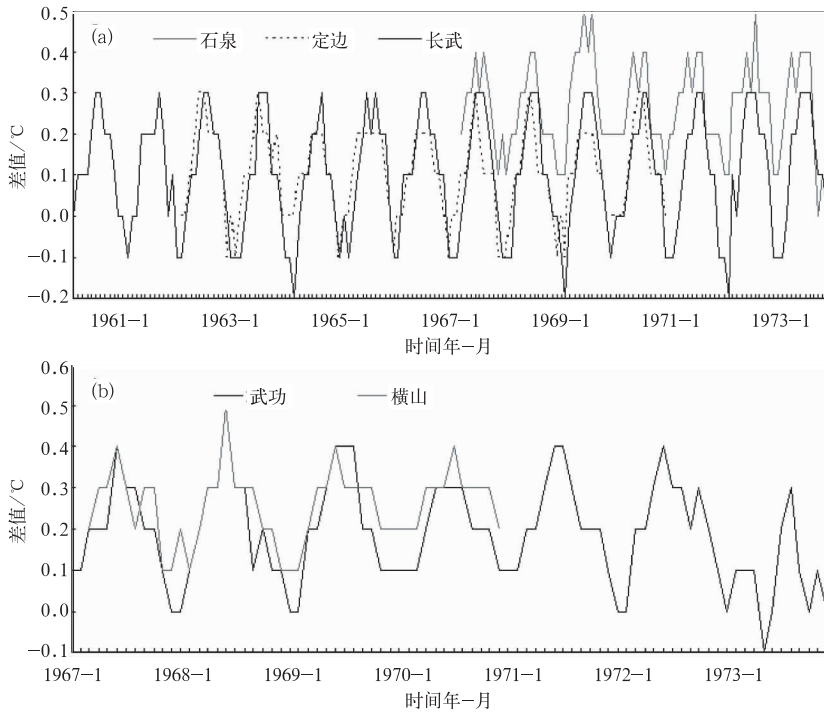


图 2 原始与新的月平均气温差值序列

(a) 石泉、定边、长武, (b) 武功、横山

Fig. 2 The original and new monthly average temperatures sequences for

(a) Stations Shiquan, Dingbian, and Changwu, (b) Stations Wugong and Hengshan

3 小 结

通过以上分析,我们可以得出以下结论:

(1) 对于每天只进行 3 次观测(夜间不观测)的一般站,现行《地面气象观测规范》中传统方法所赋予的 02 时气温的替代值比实测值偏高,陕西全省 19 个站平均偏高 0.77°C 。同时可能导致日平均气温高估 0.19°C ,其中冬季高估 0.11°C ,夏季高估 0.29°C 。

(2) 传统方法的赋值误差大小明显受制于前一天太阳辐射的强弱变化。台站所处的纬度,以及季节、天气状况所引起的辐射强弱的变化,基本上是通过赋值变量之一的前一日 20 时气温传导而来的。

(3) 用逐步回归分析方法,将传统方法的平均加权法调整为多因子非对称加权,显著减小了前一日 20 时气温的权重,降低了辐射强弱的影响,赋值与实测值更为接近,19 个站平均偏差近似为零。在 0.05 的显著性水平,新的回归方程均具有显著的统计学意义,并对月平均气温、年平均气温产生一定的修正作用,年平均气温值可调降 $0.1\sim 0.4^{\circ}\text{C}$,月平均气温甚至可下降 0.5°C 。

致谢: 本文得到国家气象信息中心周自江老师的悉心指导,特此致谢!

参考文献

- [1] 高国栋,陆渝蓉. 气候学[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [2] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003:111.
- [3] 吴利红,康丽莉,陈海燕,等. 地面气象站环境变化对气温序列均一性影响[J]. 气象科技,2007,35(1):152-156.
- [4] 吴增祥. 气象台站历史沿革信息及其对观测资料序列均一性影响的初步分析[J]. 应用气象学报,2005,16(4):461-467.
- [5] 刘小宁,孙安健. 年降水量序列非均一性检验方法探讨[J]. 气象,1995,21(8):3-6.
- [6] 王海军,涂诗玉,陈正洪. 日气温数据缺测的插补方法试验与误差分析[J]. 气象,2008,34(7):83-91.
- [7] 刘小宁,张洪政,李庆祥. 不同方法计算的气温平均值差异分析[J]. 应用气象学报,2005,16(3):345-356.
- [8] 曾红玲,张强,祝昌汉. 三峡库区气压资料的不均一性检验及订正[J]. 气象,2010,36(10):57-61.
- [9] 曹丽娟,鞠晓慧,刘小宁. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. 气象,2010,36(10):52-56.
- [10] 张智,林莉,梁培,等. 宁夏年气温资料的均一性检验研究[J]. 气象,2009,35(10):79-83.
- [11] 司鹏,李庆祥,李伟. 城市化进程对中国东北部气温变暖的贡献检测[J]. 气象,2010,36(2):13-21.