

城市体感温度预报中的城市效应与辐射订正方法

孙风华 杨素英 (中国气象局沈阳大气环境研究所 沈阳 110016)

摘要 运用 1998~2001 年沈阳常规气象数据和 1989 年沈阳现象台迁址期的新、旧址的并行观测数据,采用逐步回归等方法,建立了考虑城市热岛效应和辐射等因子作用的城市最高和最低体感温度预测模型,分析了城市热岛效应造成日最高气温变化的机理和辐射对人的冷热感觉的影响机制。

关键词 体感温度 城市效应 辐射订正 预测模型

1 研究内容

城市体感温度研究包含两方面内容:一是城市气温订正(属城市气候学范畴),运用城市气候学原理及实测数据分析研究各种天气形势下城市气温的变化特点,采用短期观测数据订正方法和常规测站的长期观测数据,确定城市气温的订正参数,建立不同条件下城市气温的订正方程;二是体感温度研究(属人类生物气象学范畴),利用得到的特种观测数据和人类生物气象学理论,研究辐射、湿度、风对体感温度的修正方法^[1-2]。

2 研究数据

使用的常规气象观测数据主要有 1998~2001 年沈阳逐日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均气压、日平均风速、日平均相对湿度、日平均云量等;城市温度订正数据取自 1989 年沈阳现象台迁址期新旧址的并行观测数据和 2000 年沈阳现象台百叶箱内、外并行观测数据。

3 城市体感温度计算方法

3.1 城市效应的影响订正

城市效应对居民所生活城市的气温已产生了很大影响,在建立体感温度预报模型时,首先考虑由城市效应所造成的气温偏差。

3.1.1 影响机理及过程 城市下垫面的导热率 K 和热容量 C 都比郊区大,这些热性质的城、郊差异,导致城市下垫面的储热量 ΔQ ,显著高于郊区。在日落以后,郊区因白天下垫面储热量 ΔQ 小,通过长波净辐射,下垫面温度和近地面层气温的下降速度很快。城区因白天情积的热量较多,其热导纳高,下垫面温度和近地面气温下降的速度都比郊区慢,城、郊在日落后降温率的不同造成夜晚两者之间的温差较大。而日出后,郊区气温增温率大于城区,到了中午的时候一般风速比夜间大,湍流增强,城、郊间的水平和垂直方向的混合增强,城郊气温差别更小甚至消失。总之,城、郊下垫面热性质的差异是产生温差日夜变化的根本原因。

3.1.2 城、郊温差的基本变化规律 使用 1989 年沈阳城、郊逐日最高气温和最低气温资料分析城、郊温差分布的基本规律(图 1)。日最低气温温差(Δt_d)要远远大于日最高气温温差(Δt_g),年平均 Δt_d 是 Δt_g 的 6 倍多。两者年变化呈反位相分布趋势。 Δt_d 在 1 a 内为两峰一谷分布,第 1 峰值出现在 2 月,第 2 峰值出现在 10 月;谷值出现于 6 月。 Δt_g 年平均只有

0.3℃,远远小于 Δt_d ,即城市效应对日最低气温的影响要远

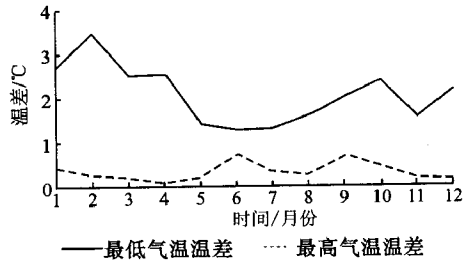


图 1 沈阳城、郊日最高和日最低气温温差年变化

远大于对日最高气温的影响。 Δt_g 年变幅较小,有 2 个峰值,出现在 6 和 9 月;最低值出现在 4 月,近似为 0,即此月份城、郊日最高气温基本持平。日最低气温温差最大值为 6.3℃,最小值为 -0.3℃,日最高气温温差最大值为 3.0℃,最小值为 -1.4℃,出现较大负值,即市区日最高气温有时会低于郊区。因此,在不同条件下,造成的城、郊温差变化很大。找出其影响因素,进行较为合理准确的订正是十分必要的。

3.1.3 统计预报方程的建立 在 1 a 之中,城、郊日最高最低温差都存在很高的变幅。这种变化与太阳辐射、风、降水等要素的关系十分密切。首先分别计算出日最高气温和日最低气温与当日、前 1 d、前 2 d 所有可能有关的气象要素之间的相关系数。结果表明,两温差与前 2 d 的要素值基本无相关,与前 1 d 要素值相关效果不显著,与当日的一些要素值相关程度最为显著。对计算出的相关系数做水平为 0.05 的显著性检验。

相关系数的临界值由式 $r_c = \sqrt{\frac{t_a^2}{n-2+t_a^2}}$ 计算。以此为标准,选出当日和前 1 d 的日平均风速、日照时数、总云量、相对湿度、降水量等 10 个因子,与日最高气温温差和日最低气温温差分别进行了逐步回归分析。

采用双重检验的逐步回归方案。因子样本长度 $n = 365$,待选因子数 $p = 10$,显著水平 α 取 0.05。为方便计算,方程中引入变量的 F 检验值取 4,剔除变量的 F 检验值取 3。

分别以日最高气温差(Δt_g)和日最低气温差(Δt_d)为依变量,选取的气象因子为自变量建立的回归预报方程为:

$$\Delta t_g = 0.5075 + 0.0322 t_d - 0.0313 t_g - 0.0749 V_t + 0.0199 S_1 + 0.0458 R_h \quad (1)$$

$$\Delta t_d = 1.5883 + 0.4444 t - 0.4068 t_d - 0.0692 t_g - 0.2615 V_t - 0.0344 S - 0.0292 R \quad (2)$$

基金项目:本课题系辽宁省自然科学基金项目(项目号 002022)资助

收稿日期:2003-10-21;修订日期:2004-03-04

Δt_g 的预报方程有 5 个因子入选,分别为当日最低气温(t_d),当日最高气温(t_g),当日日平均风速(V_s),前一日日照时数(S_1)和当日日平均相对湿度(R_h)。 Δt_d 的预报方程有 6 个因子入选,有当日日平均气温(t),当日最低气温(t_d),当日最高气温(t_g),当日日平均风速(V_s),当日日照时数(S)和当日降水量(R)。由此可见, Δt_g 和 Δt_d 的大小主要受当日的气象条件影响。

3.1.4 预报方程效果检验 统计检验^[3]。为检验回归方程的统计显著性程度,计算出一些重要的统计量(表1)。表1统

表1 回归方程效果检验有关统计量

项目	分子自由度 P	分母自由度 $N-P-1$	复相关系数 R	F	$F_{\alpha}=0.05$
Δt_g 的相关参数	5	359	0.305	7.36	2.25
Δt_d 的相关参数	6	358	0.778	91.50	2.13

计量 F 服从分子自由度为 5,分母自由度为 360 的 F 分布,表 1 统计量 F 遵从分子自由度为 6,分母自由度为 359 的 F 分布。

由此可见,2 个回归方程的 F 值均大于信度为 0.05 的置信限 F_{α} 。2 个方程的回归效果是显著的,尤其是表 1 中复相关系数 R 为 0.778, F 值达到 91.50,远远大于 F_{α} ,回归效果非常显著。

拟合验证。对 Δt_d 和 Δt_g 的预报方程进行了趋势拟合验证。估计值和实测值同时高于或同时低于平均值认为趋势拟合正确,反之则为不正确,则 Δt_d 和 Δt_g 的拟合准确率分别为 79% 和 61%。

预报检验。2000 年 10 月在沈阳市区建立了自动气象观测站,为预报提供检验数据。应用预报方程对 2000 年 10 月沈阳市逐日最高气温和最低气温进行 31 次试报,对预报值和实测值做对比分析,其预报日最高气温的绝对误差为 0.9℃,相对误差为 0.1;预报日最低气温绝对误差为 0.6℃,相对误差为 0.1,达到了较好的预报效果。

3.2 城市体感温度的辐射订正

辐射对体感温度的影响地域性较强,不易确定。我们采用百叶箱外温度观测进行体感温度的辐射订正研究。

3.2.1 百叶箱外气温的时空分布特征^[4] 由表 2 可见,与百叶箱内气温相比,百叶箱外呈最高气温较高、最低气温较低的特点,气温日较差增大。百叶箱外与百叶箱内的日最高气温温差的年平均值为 1.8℃,最大差值为 4.6℃,发生在冬季。平均差值夏季最大,冬、春、秋季基本相同。百叶箱外与百叶箱内的日最低气温温差的年平均值为 -2.4℃,最大差值为 -4.2℃,发生于夏季,平均差值以秋季为最大,冬季最小。

表 2 百叶箱外与百叶箱内日最高气温和日最低气温温差的分布 ℃

项目	1月	4月	7月	10月	最大值	最小值
最高气温温差	1.6	1.6	2.2	1.6	4.6	-0.5
最低气温温差	-1.2	-1.9	-3.1	-3.6	0.1	-4.2

日变化特征:07~18 时,百叶箱外气温高于百叶箱内气温,在 13 时差值最大。18~08 时,百叶箱外气温低于百叶箱内气温。

3.2.2 百叶箱外和百叶箱内气温差异的原理解释 箱外最低气温低于箱内气温的主要原因有 2 个:一是百叶箱等设备白天吸热在夜间以长波辐射的形式释放出来,使箱内气温较高;二是箱内气流速度远小于箱外,一般认为箱内风速只达到箱外风速的 1/3 左右,使得测量元件与自然空气达到热平衡时间延长。夜间,地

面净辐射为负值,气温持续降低,气温大约在日出前达到最低。日出后,净辐射转为正值,气温很快回升。受其影响,近地面气温也呈此变化。这样,箱内最低气温要高于实际的最低气温。因此,夜间在百叶箱外测得的最低气温应该更接近自然空气的最低气温。

3.2.3 体感温度与百叶箱外气温的关系 取得百叶箱外气温后,体感温度的表达式为:

$$t_g = t_0 + t_u - t_v \quad (3)$$

式(3)中, t_0 为百叶箱外气温, t_u 、 t_v 分别为湿度和风速对体感温度的修正值。

由我们取得的数据分析,百叶箱外与百叶箱内的日最低气温温差变化比较平稳,但有季节变化,可在不同季节加入 1 个常量订正。即:

$$t_0 = t_i + \Delta t_{\alpha} \quad (4)$$

式(4)中 t_i 为百叶箱内气温, Δt_{α} 为不同季节的气温取值。

百叶箱外与百叶箱内的日最高气温温差值主要受辐射条件的影响。选择同期和前期的气象因子与日最高气温温差进行逐步回归分析,得到回归方程:

$$y = 1.444 5 + 0.124 4x_1 - 0.173 03x_2$$

式中, y 即是 Δt_{0i} ,故

$$t_0 = 1.444 5 + 0.124 4x_1 - 0.173 03x_2 + t_i \quad (5)$$

式(5)中, x_1 为日照时数, x_2 为日平均(4 次观测平均)总云量。回归方程显著水平 $\alpha = 0.05$ 。采用式(4)和式(5),可计算出百叶箱外最低气温和最高气温,即为辐射订正后的体感温度。

3.3 城市体感温度的确定及预报

城市体感温度的计算由上面得出的统计方程进行城市效应订正和辐射订正,再加上风和湿度订正(查取订正表)就可计算出最后的体感温度^[1]。预报时,输入未来的天气预报和数值预报做出的各种要素预报值,经各步运算就可得到日最高最低城市体感温度的预报结果。

4 结论

4.1 沈阳城市与郊区日最高和最低气温存在较大的差值,尤其以日最低气温差值的变幅更大,且均存在明显的季节变化,在预报城市体感温度时应加以考虑。

4.2 在大量分析研究基础上建立的城市体感温度预报模型经统计检验、拟和检验和预报检验均有显著效果。方程有一定的预报能力。

4.3 百叶箱外气温与百叶箱内气温有较大差别。其影响主要是由于辐射所致,风和湿度也会引起较小的变化。

4.4 城市效应和辐射对体感温度的作用是主要的,综合考虑这 2 个因素影响建立的体感温度预报模型做出的预报结果更具有说服力,也便于公众理解,在专业气象服务中能起到更好的服务效果。

参考文献

- 于波,刘海,严明良,等.凉爽条件下体感温度模型的建立及风速、水汽压、辐射的影响.气象科学,2002,22(3).
- 潘守文,李永康,马开玉,等.现代气候学原理.北京:气象出版社,1994.
- 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,1990.81.
- 刘连吉,顾晶,李云川.台站用百叶箱内外气温比对与分析.青岛海洋大学学报,1994,24(1).