# 一种研究城市发展对局地气候要素影响的新方法及其应用*

石春娥** 王兴荣 马晓群 陈晓平 严芳娟

(安徽省气象科学研究所,合肥,230061)

**摘 要**

针对气候成因的多样性提出了一种研究城市发展对局地气候要素影响的新方法,该方法采用方差分析和简化分波的手段,尽可能排除非城市发展因素对局地气候要素的影响。利用该方法,研究了合肥城市发展对局地气温的影响。结果表明:城市发展对气温的影响显著,并且主要表现为最低气温的显著增高。

**关键词**:城市发展,局地气温,影响。

## 1 引 言

随着城市规模的日益扩大,城市人口的增多,人类活动范围的相对集中,气象要素不可避免地要受到城市化的影响,这已引起国内外不少学者的关注,并已取得了不少有益的成果[1~3]。以往工作多采用不同台站之间的直接对比的方法,虽然用这种方法可以分析出城市发展对局地气候要素的一些影响,但是由于不同台站之间的气候差异是由多种因素造成的,城市发展仅仅是形成气候差异的一个因素,并不是唯一决定因素,因此,用不同台站之间的直接对比得到的城市发展对局地气候要素的影响的分析结果常被其他因素干扰而变得相当模糊。针对这个问题,本文在理论分析的基础上,采用方差分析和简化分波的手段[4],提出了尽可能地排除非城市发展因素对局地气候的影响的一种方法,利用合肥市及江淮之间的18个县的1961~1996年的地面气温资料,讨论了合肥城市发展对局地气温的影响。

## 2 原理与方法

根据气候的定义以及气候形成原因的分析[5],对于任一城市($i$),任一气候要素($j$)的某年($n$)平均值 $\Phi_{ij}(n)$ 都可以表示为:

$$\Phi_{ij}(n)=\Phi'_{ij}(n)+\Phi''_{ij}(n)+\Phi'''_{ij}(n) \tag{1}$$

其中第一项 $\Phi'_{ij}(n)$ 由基本不变的气候因子,如太阳辐射、下垫面特征所决定,对一城市而言,如果只考虑几十年内变化,那么除了迁站引起的下垫面改变而使这一项发生突然的系统变化外,基本上可以认为是一个不随时间变化的常数,可以写为:

$$\Phi'_{ij}(n)=\Phi'_{ij}+\triangle\Phi'_{ij}\delta_{ijL}(n) \tag{2}$$

其中 $\delta_{ijL}(n)$ 为 $\delta$ 函数,当 $n$ 大于等于迁站年份 $L$ 时,其值为1,否则为0。而 $\Phi'_{ij}$,$\Delta\Phi'_{ij}$ 为常

* 初稿时间:1998年7月28日;修改稿时间:1999年1月12日。
** 现在中国科技大学读博士。

数；式(1)中第二项($\Phi''_{ij}(n)$)是受天文因子、大气环流等引起的准周期变化的影响，可以表示为$\sum_k a_{ijk}\sin(\omega_{ijk}n)$；第三项($\Phi'''_{ij}(n)$)是由人类活动变化造成的，因为所讨论的问题主要是城市发展引起的气候变化，这样式(1)可写为：

$$\Phi_{ij}(n)=\Phi'_{ij}+\triangle\Phi'_{ij}\delta_{ijL}(n)+\sum_k a_{ijk}\sin(\omega_{ijk}n)+\Phi'''_{ij}(n) \tag{3}$$

如果设下标 $i=0$ 代表所研究的城市，$i\neq 0$ 代表用于对比的小县城，则由式(1)～(3)可以推得：

$$\begin{aligned}\triangle\Phi_j(n)&=\Phi_{0j}(n)-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi_{ij}(n)\\&=\Phi'_{0j}-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi'_{ij}+\triangle\Phi'_{0j}\delta_{0jL}(n)-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\triangle\Phi'_{ij}\delta_{ijL}(n)+\sum_k a_{0jk}\sin(\omega_{0jk}n)-\\&\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\sum_k a_{ijk}\sin(\omega_{ijk}n)+\Phi'''_{0j}(n)-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi'''_{ij}(n)\end{aligned} \tag{4}$$

其中 $m$ 是用于对比的小县城的数目。由于县站迁站不可能同时出现，而且 $\Delta\Phi'_{ij}$ 满足正态分布的随机事件，所以，不难证明，当 $m$ 足够大时，$\Delta\Phi'_{0j}\delta_{0jL}(n)$ 变化数量级远远大于 $\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\triangle\Phi'_{ij}\delta_{ijL}(n)$ 变化的数量级，即有：

$$O(\triangle\Phi'_{0j}\delta_{0jL}(n))\gg O(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\triangle\Phi'_{ij}\delta_{ijL}(n)) \tag{5}$$

此外，注意到县城的发展对局地气候要素的影响远小于大城市发展对局地气候要素的影响，因此，同样不难证明：

$$O(\Phi'''_{0j}(n))\gg O(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi'''_{ij}) \tag{6}$$

根据式(5)，(6)可把式(4)改写为：

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_j(n)&=\Phi'_{0j}-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi'_{ij}+\Delta\Phi'_{0j}\delta_{0jL}(n)+\Phi'''_{0j}(n)+\\&\sum_k a_{0jk}\sin(\omega_{0jk}n)-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\sum_k a_{ijk}\sin(\omega_{ijk}n)\end{aligned} \tag{7}$$

由于方程(7)最后二项均为周期函数，故可以合并写为：

$$\sum_k a_{0jk}\sin(\omega_{0jk}n)-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\sum_k a_{ijk}\sin(\omega_{ijk}n)=\sum_k A_{ik'}\sin(\omega_{jk'}n) \tag{8}$$

由式(7)，(8)可得城市发展对局地气候要素的影响 $\Phi'''_{0j}(n)$ 为：

$$\Phi'''_{0j}(n)=\Delta\Phi_j(n)-\sum_{k'}A_{jk'}\sin(\omega_{jk'}n)-\triangle\Phi'_{0j}\delta_{0jL}(n)-(\Phi'_{0j}-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\Phi'_{ij}) \tag{9}$$

从上面分析可知式(9)左边是一个单调变化项，右边第一项可以根据所研究大城市和对比县城的历史资料计算出，而第二项为周期变化项，第三项是一个常值升降的突变项，最后括号内为常数项，由于常值升降突变项很容易辨别，而常数项又不影响问题的讨论，因此只要求得 $\Delta\Phi_j(n)$ 滤去周期变化项的值 $\Psi(n)$

$$\Psi_j(n)=\triangle\Phi_j(n)-\sum_{k'}A_{jk'}\sin(\omega_{jk'}n) \tag{10}$$

就可以看出城市发展对局地气候要素的影响。为了做到这一点，首先可以对式(10)进行5 a滑动平均，滤去短周期变化项，然后对其5 a滑动平均值$\overline{\triangle\Phi_j(n)}$按不同周期长度(大于5 a)进行方差分析[4]。计算和比较各个周期所对应的统计量$f$，在一定的置信度条件下挑选最佳周期，然后按最佳周期计算出$\overline{\triangle\Phi_j(n)}$不同位相的平均值，构成最佳周期规则波，$A_{j1}\sin(\omega_{j1}n)$，对$\overline{\triangle\Phi_j(n)}$进行简化分波，即从中减去$A_{j1}\sin(\omega_{j1}n)$得到剩余的$\Psi'(n)$

$$\Psi'(n)=\overline{\triangle\Phi_j(n)}-A_{j1}\sin(\omega_{j1}n)$$

再利用同样的方法，对$\Psi'$进行方差分析和简化分波分别求出第2，3周期等相应的规则波$A_{jk}\sin(\omega_{jk}n)$直至置信度条件不能满足，最后得到$\Psi_j(n)$，这样，根据式(9)，利用获得的$\Psi_j(n)$就可以讨论城市发展对局地气候的影响。

下面，作为一个例子，用这个方法讨论合肥市城市发展对局地气温的影响。

## 3 合肥市城市发展对局地气温的影响

### 3.1 合肥市发展

合肥市是安徽省的省会，位于长江淮河之间的丘陵地区中部，南濒巢湖，西有大别山，北边是广阔的淮北平原，东与滁县接壤。建国后的近50 a，合肥市的经济建设及城市规模等得到迅速发展，城区面积由解放前的5 km$^2$发展到1996年的120 km$^2$，非农业人口由解放前的不到6万增加到1996年的122.8万。根据省统计局提供的资料，绘制了合肥市工业总产值5 a滑动平均演变图，见图1，图中工业总产值是以1980年不变价格计算的。由图1可见1980年以前合肥市工业发展相当缓慢，到1980年代改革开放以后，速度有所提高，1990年以后工业总产值迅速上升，到1996年已达35.5亿元。

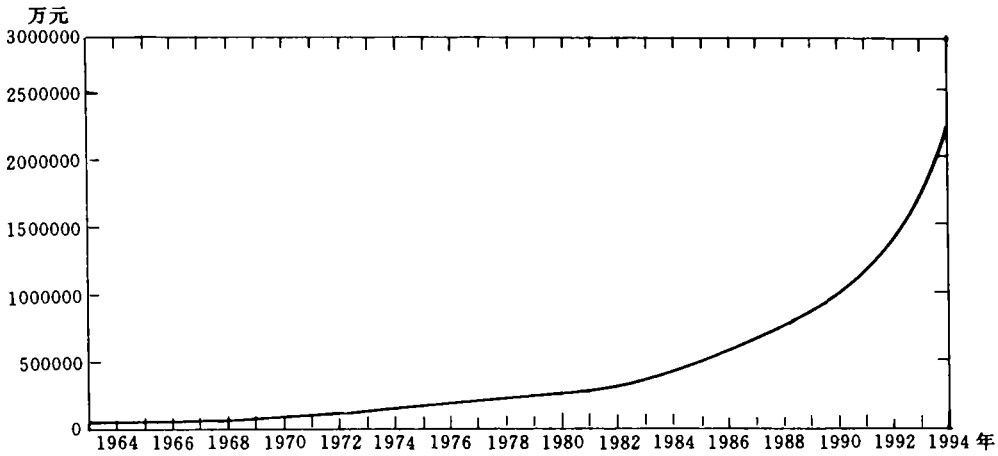



图1 合肥市工业总产值5a滑动平均演变图

此外，由于城市发展使得合肥市气象站原地环境恶化，不适于观测，不得不在1979年7月1日由合肥市芜湖路120号迁至合肥西郊巫大岗处。虽然温度的观测仪器和观测方

法没有多大的改变，但观测环境发生了一定的变化。原测站是靠近环城公园的城区，附近有一面积不小的水域，水汽充足，而且周围有相当数量的民用建筑，而西郊则是不靠近任何水域的郊区。

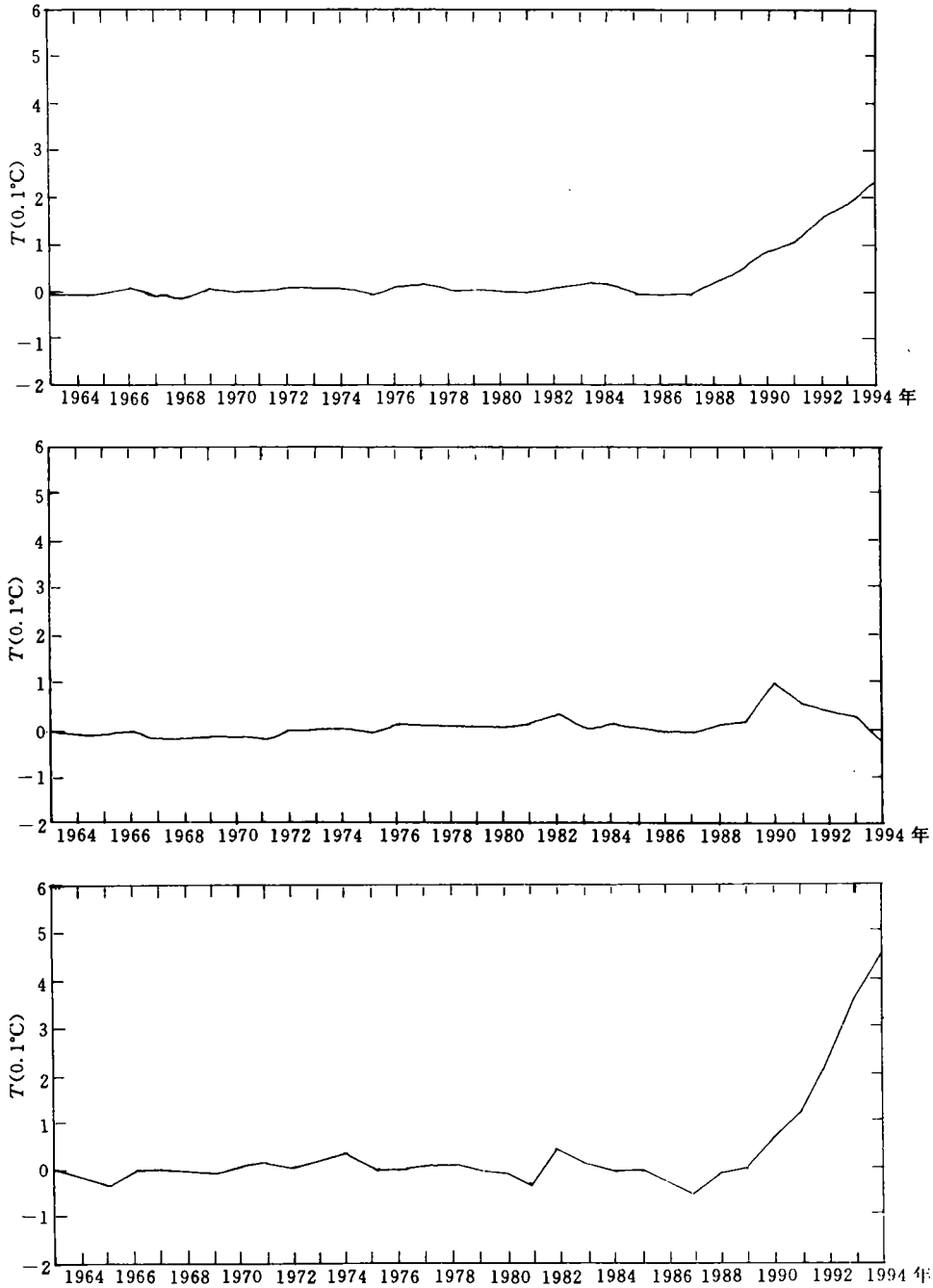



图 2　合肥气温 $\Psi_T(n)$演变图

(a. 年平均气温；b. 年平均最高气温；c. 年平均最低气温。纵坐标为 0.1℃)

### 3.2 结果分析

利用合肥市及周围18个县站历史资料通过滑动平均在置信度0.25水平下，借助于方差分析和简化分波，滤去13 a和9 a周期波得到合肥市与周围18个县站气温差经过滤波后的结果($\Psi_T(n)$)(如图2)。

由图可见，未发现1979年迁站引起气温突变，1988年以前，年平均气温虽有小的波动，但变化不大，1988年以后，年平均气温开始明显上升，至1994年升值达0.3℃，对照图1，可见大致与合肥市工业总产值演变趋势一致。对于平均最高气温，虽有小的起伏，但无大的变化。平均最低气温变化与平均温度的变化曲线相似，1985年以前虽有小的波动，但变化不大，1988年后开始明显上升，与工业总产值演变趋势相一致。与平均气温相比，最低气温上升幅度明显大于平均气温，大约为平均气温的2倍。可见城市发展对最高气温影响不大，而对最低气温的影响最明显，对年平均气温的影响可能就是通过对年平均最低气温的影响来实现的。城市发展对气温的影响，主要是由于人为热源和大气污染颗粒物的增多而引起的。根据文献[6,7]的结果，城市气溶胶粒子能使夜间的近地面气温升高，而使白天的近地面气温降低。加上工业发展产生的人为热，其综合作用就是使白天的最高气温几乎不变或变化不大，而使夜间的最低气温大幅度上升。

## 4 小 结

针对气候成因的多样性，通过理论分析提出了一种研究城市发展对局地气候要素影响的新方法，利用该方法，研究了合肥城市发展对局地气温的影响，证明了该方法的有效性。结果表明：城市发展对气温的影响显著，并且主要表现为最低气温的显著增高。

## 参考文献

1 仇财兴等. 城市发展对能见度的影响的初步分析. 气象科学，1995，15(1)：9～26
2 陈沈斌等. 城市化对北京平均气温的影响. 地理学报，1997，52(2)：7～36
3 白虎志. 兰州城市化发展对局地气候的影响. 高原气象，1997，16(4)：410～416
4 王宗浩，李麦村等编著. 天气预报中的概率统计方法. 北京：科学出版社，1974. 76～87
5 张家诚，林之光著. 中国气候(1～4). 上海：上海科学技术出版社，1985. 527～537
6 涂晓平，李子华. 气溶胶粒子对城市夜间边界层温度影响的模式研究. 南京气象学院学报，1994，17(2)：195～199
7 尹宏，韩志刚. 气溶胶大气对太阳辐射的吸收. 气象学报，1980，47(1)：118～123

# A NOVEL METHOD FOR STUDYING THE EFFECT OF THE URBAN DEVELOPMENT ON LOCAL CLIMATE ELEMENTS AND ITS APPLICATION

Shi Chune　Wang Xingrong　Ma Xiaoqun
Chen Xiaoping　Yan Fangjuan
(*Anhui Research Institute of Meteorological, Science, Hefei*, 230061)

## Abstract

In the light of the variety of the contributing factors of climate , a new method is put forward to study the effect on local climate elements of the urban development. In the method, the means of variance analysis and simplifying dividing wave are used to eliminate the effect on local climate of factors which don't belong to urban development. Using this method, the effect on the Hefei's temperature of urban development is studied. The result reveals that urban development affects local temperature obviously, especially in the lowest air temperature.

**Key words**: Urban development, Local temperature, Effect.