

林学椿,于淑秋.北京地区气温的年代际变化和热岛效应.地球物理学报,2005,48(1):39~45

Lin X C, Yu S Q. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(1): 39~45

北京地区气温的年代际变化和热岛效应

林学椿¹, 于淑秋²

1 中国气象局国家气候中心,北京 100081

2 中国气象科学研究院,北京 100081

摘 要 用北京地区 20 个气象观测站 41 年(1960~2000 年)的年平均气温记录,研究了北京地区的大尺度气温变化及其热岛效应.结果认为,(1)北京地区气温的年际变化具有大尺度的特点,1981 年是显著的跃变点,跃变后比跃变前北京地区气温增加了 0.55,近 40 年的增温率为 0.25/10 年.(2)北京城市热岛效应应具有典型性.1960~2000 年北京城市热岛平均强度接近 1.随着北京城市建设和城市化速度的加快,北京城市热岛强度也在明显地增加,近 40 年热岛强度的增温率为 0.31/10 年.

关键词 热岛效应 年代际气候振荡 温度 大气科学

文章编号 0001-5733(2005)01-0039-07 中图分类号 P463 收稿日期 2003-05-12,2004-04-26 收修定稿

Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect

LIN Xue-Chun¹, YU Shu-Qiu²

1 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract We study large scale temperature changes and heat island effect in the Beijing region using the annual mean temperature data from 1960 to 2000 at 20 meteorological stations. Our results show that the interannual changes of the temperature in the region have a feature of large-scale. The year 1981 is a remarkable jump point, and the temperature increased by 0.55 after the jump compared with that before the jump and the warming rate in the recent 40 years is 0.25/10-year. The urban heat island effect in the Beijing region is typical. The averaged urban heat island intensity over 1960~2000 is about 1. With the acceleration of urban construction and urbanization, the urban heat island intensity is also increasing, and its growth rate in the recent 40 years is 0.31/10-year.

Keywords Heat island, Interdecadal climate oscillation, Temperature, Atmospheric science.

1 引 言

城市热岛是城市对气温影响最突出的特征.早在 19 世纪初,有人曾对伦敦城区和郊区的气温进行同时间的对比观测,发现城区气温比其四周郊区气

温都高.此后各国学者对不同纬度、不同类型城市作了大量的城、郊气温的对比观测,都发现了类似的现象^[1].城市热岛成为城市气候中的典型特征之一.我国大规模地研究城市热岛效应,始于 20 世纪 80 年代,对上海^[2]、广州^[3]和北京^[4~6]等地都组织了规模较大的城、郊气温对比观测和研究,得到了很多有

基金项目 国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999045700)和(2001BA611B-01)项目共同资助.

作者简介 林学椿,男,研究员,1961年毕业于南京大学气象系天气动力专业,主要从事海气相互作用、气候变化和短期气候预测等方面的研究. E-mail: Lxc7762@163.com

益的结果.

在评估人类活动对气候变化影响中,科学家面临的一个重要问题是如何区分气候变化中的自然变化和人类活动的作用.利用气候模式可以模拟人类活动如大气中二氧化碳浓度增加对气候的影响,大量简单和复杂的气候模式模拟表明,大气中二氧化碳浓度增加使全球气候明显变暖.但是由于气候模式中存在着诸多的不确定因素,其模拟结果还不足以确定人类活动对气候的影响.与此同时,科学家对实际资料进行了许多观测研究,希望从实际的温度变化资料中把人类活动的影响从自然因素中分离出来.城市是人类活动的集中表现^[7].因此,在诸多的人类活动研究中,城市热岛效应就成为气候研究中的一个新热点.例如 Peterson et al.^[8]研究了全球农村气温变化趋势,以区别城市热岛效应对全球增温的影响. Hughes et al.^[9]研究了城市对南非气温变化趋势的影响. Jones et al.^[10]评估了城市化对大陆气温序列的影响.赵宗慈^[11]研究过近 39 年中国的气温变化与城市化影响等等.这些研究工作与以往的不同,以往的研究工作,所用的资料一般是短时期的城、乡对比观测或加密观测试验所得的结果.而这些研究工作所用资料都是近半个世纪或百年尺度的长序列.

本文用北京地区 20 个站近 41 年年平均气温资

料(以下文中所用的‘气温’都指年平均气温),研究在全球增暖的大背景下北京地区的气温的变化及其热岛效应的影响.

2 资料处理

首都北京的总面积 1.68 万平方公里,全市人口 1300 余万.北京地区有东城、西城、崇文、宣武、朝阳、海淀、丰台、石景山、门头沟等 9 个区,还有大兴、房山、通州、顺义、平谷、怀柔、密云、昌平和延庆等 9 个郊区县.北京地区地处华北平原北部,北京的西面和北面多山,东南部多平原,属华北平原一部分.北京地区共有 20 个气象观测站(表 1),表中前 15 个站观测资料比较整齐,都是 1960~2000 年,共 41 年资料.其他 5 个站是从 20 世纪 70 年代中期开始观测,至 2000 年,有 23~27 年不等的资料.由表 1 可见,这 20 个站海拔高度相差很大,北京站(站号 54511)的高度为 54.7m,最低的通县站(站号 54431),海拔高度只有 26.9m,最高的是佛爷顶(站号 54410),高达 1216.9m.由表可见,海拔较高的站都是郊区站,如果不订正,就会加大热岛强度,甚至得出错误结论.为此我们用干绝热递减率,即每上升 100m 气温下降 0.6^o,把这 20 个站气温都订正到海平面高度.

表 1 北京地区各站的海拔高度 H 、订正气温 t 及北京站气温与其他各站的相关系数 R
Table 1 Elevations and corrections of temperature for each station and their temperature correlation coefficients with the Beijing station

| 站名 | 顺义 | 延庆 | 密云 | 怀柔 | 上甸子 | 平谷 | 通县 | 朝阳 | 昌平 | 门头沟 |
|-------|------|-------|------|------|-------|------|--------|-------|-------|------|
| 观测开始年 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 |
| H/m | 39.5 | 489.0 | 73.1 | 60.6 | 286.5 | 29.4 | 26.9 | 36.5 | 79.7 | 93.6 |
| $t/$ | 0.23 | 2.93 | 0.44 | 0.36 | 1.72 | 0.18 | 0.16 | 0.22 | 0.48 | 0.56 |
| R | 0.90 | 0.79 | 0.72 | 0.83 | 0.69 | 0.59 | 0.87 | 0.90 | 0.86 | 0.87 |
| 站名 | 北京 | 丰台 | 大兴 | 房山 | 霞云岭 | 海淀 | 佛爷顶 | 汤河口 | 斋堂 | 石景山 |
| 观测开始年 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1960 | 1975 | 1978 | 1974 | 1975 | 1977 |
| H/m | 54.7 | 56.3 | 41.3 | 46.9 | 409.1 | 46.3 | 1216.9 | 333.7 | 441.1 | 70.8 |
| $t/$ | 0.33 | 0.34 | 0.25 | 0.29 | 2.45 | 0.28 | 7.30 | 2.00 | 2.65 | 0.42 |
| R | 1.00 | 0.92 | 0.85 | 0.81 | 0.53 | 0.68 | 0.79 | 0.96 | 0.94 | 0.73 |

北京站及邻近地区的 20 个站 41 年的气温记录,至少包含了两种尺度的气候变化,即大尺度的年际变化(或年代际振荡)和小尺度的热岛效应.城市热岛效应是一种小尺度的气候现象.图 1 给出了北京站(B)、通县站(T)和佛爷岭站(F)的气温 t 的逐年变化曲线.由图可以清晰地看到两种尺度的气候变化,一种是大尺度的变化,即它们都有相似的年际

变化,从 20 世纪 70 年代开始都呈同位相的波动式的上升,这反映全球增暖的大背景下,我国华北地区的增温的大尺度气候变化特征.另一种是小尺度的热岛效应,这三条曲线中,北京站的气温最高,佛爷岭次之,通县最低.

尺度分离的方法很多,如滤波等.这里用最简单,也是最有效的方法,即平均法,因为热岛效应是

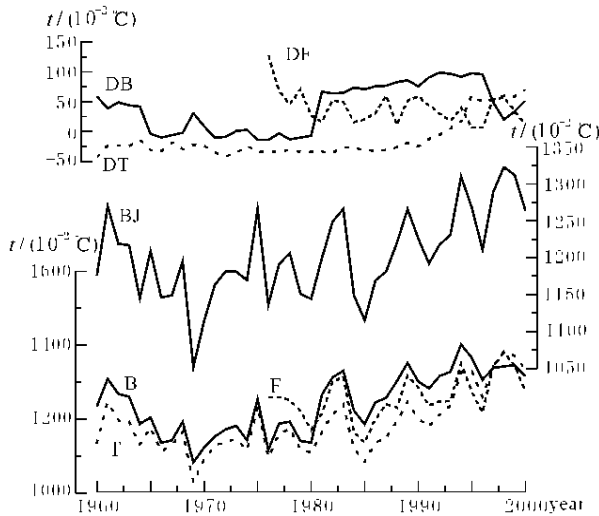


图1 北京地区气温(BJ)变化曲线及北京站(B)、通县站(T)和佛爷岭站(F)的气温变化曲线及其与北京地区气温之偏差(分别为DB、DT、DF曲线)
Fig. 1 Temperature variation curves of the Beijing region (BJ), Beijing (B) station, Tongxian (T) station, and Fuyeling (F) station, and their deviations (DB, DT, DF) from BJ

小尺度气候变化,通过北京地区 20 站的平均,能消除这种小尺度的变化.在平均之前,必须确定这 20 个站是属于同一气候区的.当两个时间序列之间的相关系数超过某一信度(如 1%)时,则可认为一个时间序列的变化可以代表另一个时间序列,这两个时间序列的气象要素同属一个气候区.我们计算了这 20 个站气温的每两站之间的相关系数,得到元素为 20 的三角矩阵(略,表 1 只给了北京与各站之间的相关系数),北京站和霞云岭站的相关系数最小,为 0.53,已超过了 1%信度,其他各站的相关系数都在这个数以上,大部分都在 0.80~0.90 之间,说明这 20 个站是属于同一气候区的.对它们逐年作平均,来代表北京地区气温的大尺度变化特征(图 1 中的 BJ 曲线),称作北京地区气温.各站与北京地区气温的偏差则表示它们之间的小尺度差异,称作局地气温.由图 1 中的 DB、DT 和 DF 曲线可见,这三条曲线的变化幅度都很小,不超过 1,但是其变化已经没有了同步性,反映了城、乡之间小尺度变化特征.

3 北京地区气温的年代际振荡

从一个稳定的气候阶段向另一个稳定的气候阶段过渡,且气候阶段的持续时间的长度远大于过渡时期的长度,这种现象称作年代际气候跃变.所谓稳

定气候阶段是指这一时间内的统计特征量(如平均值、方差等)无显著的差异.换言之,年代际气候跃变是指两个稳定气候阶段之间统计特征量发生显著差异的现象.可见,气候跃变和气候阶段的概念与周期概念有本质的不同,前者是不连续的跳跃变化,统计上可把两个样本作为来自不同的母体处理,后者则是渐变过程.

检验气候跃变方法很多^[12-17],一般用滑动 T 检验方法. Ai Wanxiu et al.^[13] 曾用滑动 T 检验方法研究了海平面气压、全球平均气温等要素的年代际气候跃变,结果指出:在近百年中全球气候发生三次较大的跃变,分别在 20 世纪 20 年代、50 年代和 70 年代末到 80 年代初,每个稳定气候阶段持续期约为 30 年左右.跃变前后北半球海平面气压、500hPa 高度和北太平洋海温结构都有显著差异,发生了全球性的气候年代际变化.近百年来中国气温的变化也有三次全国性的跃变,分别在 1920、1955 和 1980 年^[16].

图 2 是北京地区气温距平、5 年滑动平均及其跃变点和它们的阶段平均值.由图可见北京地区气温自 20 世纪 60 年代中期以来在不断的上升.1980 年以前以负距平为主,1980 年以后以正距平为主,存在着明显的跃变.对北京地区气温做 15 年的滑动 T 检验.1981 年是显著的跃变点,这一年的前后 $T = 3.27$,超过 1%信度.跃变后比跃变前北京地区气温增加了 0.55 (如图 2 中的实折线),相当于增温率为 0.25 /10 年.

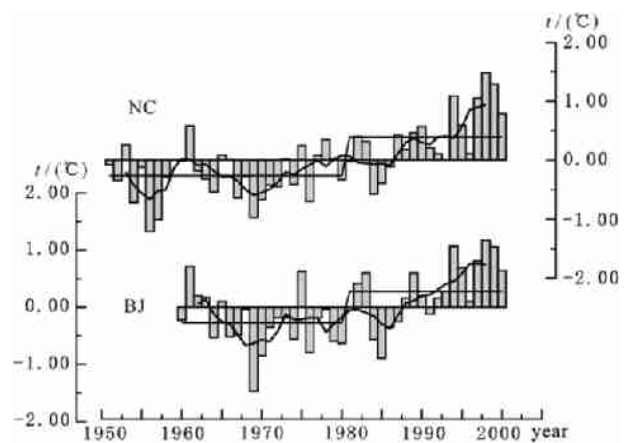


图2 北京地区(BJ)、华北地区(NC)气温距平(直方图)、5 年滑动平均(实曲线)和阶段平均及跃变点(实折线)
Fig. 2 Temperature anomalies (histogram), 5-year running means (solid curve), stage means and its jump points (solid polygonal line) in the Beijing (BJ) and North China (NC) region

1981年前后的气候跃变反映了北京地区气温的大尺度变化,是北京地区各站气温的共同特点.为了证明这一特征,用同样的15年滑动T检验,对资料较长的15个站气温进行T检验,结果如表2.由表可见,只有上甸子和霞云岭两站的T值未超过5%信度,大部分站的T值都在5%信度以上,跃变都发生在1981~1982年.可见1981~1982年的气候跃变是北京地区大尺度气候变化的共同特征.

实际上,北京地区气温的年际变化,代表了我国大尺度气温变化的特点.由图2华北地区气温变化(NC线)可见,两者的变化几乎是同步的.华北地区气温也在1981年发生跃变,跃变后气温比跃变前上

升了0.63,相当于增温率为0.27/10年.说明北京地区气温年际变化,可以代表华北地区,乃至中国气温的年际变化.它是全球性增温下,中国气温大尺度变化的反映.

由表2可见,各站跃变后的气温都比跃变前增加,城区站如北京站、朝阳站、丰台站和门头沟站等增温幅度较大,最大的是北京站,达1.24.而郊区站如上甸子站、霞云岭站和平谷站等增温幅度较小,其中最小的是霞云岭,增温只有0.01.跃变后与跃变前各站的气温差的差异,除了反映大尺度增温外,还反映了北京城乡之间的热岛效应.

表2 北京地区各站气温滑动T检验结果和跃变前后气温差(t)

Table 2 Running T test results of the temperature of each station in the Beijing region

| 站名 | 顺义 | 延庆 | 密云 | 怀柔 | 上甸子 | 平谷 | 通州 | 朝阳 | 昌平 | 门头沟 | 北京 | 丰台 | 大兴 | 房山 | 霞云岭 |
|-----|--------|-------|-------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| 跃变年 | 1981 | 1982 | 1986 | 1981 | 1982 | 1986 | 1982 | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 | 1981 |
| T值 | 3.68** | 2.13* | 2.34* | 3.13** | 1.11 | 1.96 | 3.50** | 3.65** | 3.06** | 3.53** | 7.82** | 5.18** | 3.06** | 2.24* | 0.26 |
| t/ | 0.78 | 0.41 | 0.20 | 0.42 | 0.20 | 0.11 | 0.52 | 0.69 | 0.58 | 0.61 | 1.24 | 1.00 | 0.58 | 0.42 | 0.01 |

表中带*的T值超过5%信度,带**的T值超过1%信度.

4 热岛效应

各站气温与北京地区气温的偏差,称作各站的局地气温,它反映了各站气温滤去了大尺度气候背景变化后的小尺度城乡差异.各站局地气温的多年平均可以作为北京城市热岛的量度 t_{hi} (如图3).由图可见,以北京站、海淀站、石景山等站为代表的市区高温中心非常清楚,平均达0.5,并快速地向郊区递减,到郊区如霞云岭、佛爷顶、上甸子等站平均局地气温已达到-0.5以下.图中的零线大致反映北京市区和郊区的分界线.这个热岛图已扩展到了远郊区,且是用了40年长的资料所得的结果,与过去的研究结果有所不同,过去北京地区的热岛效应研究用资料往往是短时期的对比观测结果,即使使用较长的资料,其范围也只限于城区和近郊区^[17],而近郊区如丰台站、海淀站、石景山站和门头沟站等,都已城市化,不能反映郊区特征.

图4给出了北京城市热岛剖面图,该图由北京地区西南部的霞云岭站,经丰台站、北京站、顺义站至北京地区的西北部上甸子站,是一西南北向的剖面图.由图可以清楚地看到北京城市热岛的特征.从霞云岭站到房山站气温急剧升高,这是由于郊区农村到城市边缘的近郊下垫面发生巨大变化,引起气温陡然升高,被称作“陡崖”(cliff).由房山站至北

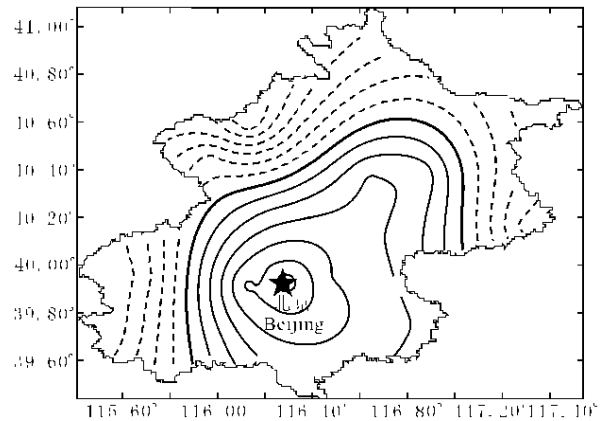


图3 北京市热岛(1960~2000年各站局地气温平均)等值线间隔0.2,粗实线为零线,实线为正值,虚线为负值.

Fig. 3 Beijing urban heat island (the averaged local temperature at each station over 1960~2000)

The contour interval is 0.2, the thick solid line is zero contour, solid lines denote positive values, and dash lines negative values.

京站气温在高水平上起伏,气温梯度比较平缓,这是因城市下垫面性质的地区差异而引起的气温波动,被称作“高原”(plateau).到了城市中心区人口密度和建筑密度及人为热释放量最大的地点,气温也最高(北京站),被称作“高峰”(peak).这与Oke^[1]根据北美加拿大多次观测城市热岛的实例,概括成典型的城市热岛剖面图非常相似,说明北京城市热岛具有典型性.“高峰”过后再向东北,其基本特征如“高

原”、“陡崖”等都存在,但不对称,气温要比西南低,这反映北京城市西南部和东北部布局的差别。

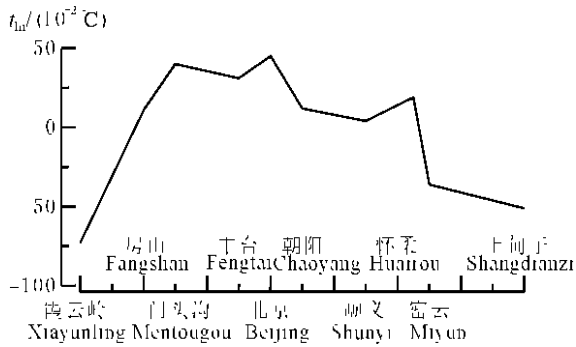


图4 北京城市热岛剖面图

Fig. 4 Cross section of the Beijing urban heat island

一般把“高峰”与郊区个别站的气温差定义为热岛强度。由于资料和观测条件的限制,对热岛强度的定义不同,其结果也不同,可比性差。我们用北京站、朝阳站、丰台站、海淀站、石景山站和门头沟站等6站局地气温的平均代表市区局地气温;用上甸子站、汤河口站、佛爷顶站、延庆站、西斋堂站、平谷和霞云岭站等7站局地气温的平均代表郊区局地气温,用它们之间的局地气温差来定义北京城市热岛强度。北京市区的局地气温1960~2000年平均为0.37,郊区平均为-0.57,北京城市热岛强度平均为0.94,接近1。文献[6]指出根据国内外热岛研究结果,一般百万人以上的大城市平均气温约高于郊区0.5~1.0,可见北京地区平均热岛强度为1是有代表性的。

城市热岛效应是在城市化的人为因素和局地天气气候条件的共同作用下形成的。人为因素以下垫面性质的改变、人为热和过量温室气体排放以及大气污染等为最重要。在局地天气气候条件中则以天气形势、风、云量等关系最大。在城市热岛形成的诸多因素中以下垫面性质改变最为重要。首先是城市下垫面的不透水性。城市的下垫面除了少量的绿地外,大部分为混凝土建筑和柏油路所覆盖,下垫面的不透水性远比郊区农村大,阻断了地面水分的蒸发;城市排水系统通畅,雨水渗入地面少,使市区可供蒸发的水分远比郊区农村少,因此城市下垫面所获得的净辐射用于蒸发耗热部分比郊区农村小,而用于加热下垫面变为贮存热的部分和向大气的显热输送部分则比郊区农村多,导致城市近地层气温比郊区农村高。其次是下垫面的热性质。城市下垫面的导热率和总的热容量都比郊区农村大,下垫面热性质的

城、郊差异,导致城市下垫面的储热量显著高于郊区农村。第三是城市下垫面的立体性。城市中建筑物参差错落,形成许多高宽比不同的城市街谷。这种复杂的立体下垫面,在白天能比郊区获得较多的太阳辐射,在夜晚热量比空旷的郊区不易外散。这三方面的共同作用是形成城市热岛效应主要因素。

图5给出北京地区的热岛强度随时间的变化。由图可以看出,市区的局地气温除1968年以前略有下降外,以后一直在上升,上升率为0.11/10年(表3),1981年为跃变点,市区局地气温跃变后比跃变前上升0.29。郊区局地气温1968年以前略有上升外,以后一直在下降,下降率为-0.20/10年,1981年为跃变点,郊区局地气温跃变后比跃变前下降-0.51。造成郊区局地气温减少是因为减去北京地区气温变化而得出的。由图5热岛强度可见,除了在1968年以前略有下降外,以后一直在增加,增加率为0.31/10年比北京地区气温的增温率还高。在1981年有明显的跃变,跃变后热岛强度比跃变前增加了0.80,比北京地区气温跃变后比跃变前的增温0.55还大。这是否意味着以城市为代表的人类活动引起的增温已超过自然增温?这需要进一步研究。

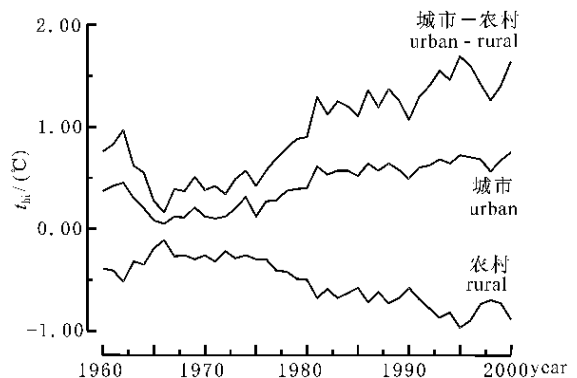


图5 北京地区的热岛强度随时间的变化

Fig. 5 Change with time of the intensity of the heat island in the Beijing region

表3 市、郊气温跃变点和增温率

Table 3 Urban and rural temperature jumps and their warming rates

| | 跃变点 (年) | 1960~1980 年平均 | 1981~2000 年平均 | 跃变前后 气温差 (/10年) | 增温率 |
|--------|---------|---------------|---------------|------------------|-------|
| 北京地区气温 | 1981 | 11.71 | 12.26 | 0.55 | 0.25 |
| 市区局地气温 | 1981 | 0.22 | 0.52 | 0.29 | 0.11 |
| 郊区局地气温 | 1981 | -0.33 | -0.83 | -0.51 | -0.20 |
| 热岛强度 | 1981 | 0.55 | 1.35 | 0.80 | 0.31 |

引起北京市热岛强度随时间增加的原因,主要是北京市的扩大和城市化程度的提高. 20 世纪 80 年代以来,特别是近年来,北京的城市建设和发展取得了重大进展. 城市的繁荣和经济的发展给北京带来了令人瞩目的变化,如海淀、朝阳、石景山、丰台、门头沟、房山、通州、顺义等区的经济都有长足的发展;房地产业的发展如火如荼,方兴未艾,高大建筑如雨后春笋拔地而起,在城市中心形成一层层围起的高高的立体建筑物,并向各区县扩展和延伸. 三环、四环、五环路的建成,以及建设中的六环路,使柏油路的覆盖面积大范围的扩大. 北京市的各种机动车辆、特别是汽车,正以每年 15% 速度快速增长. 今天的北京市比 20 世纪 60 年代扩大了好几倍. 北京市城市的扩大和城市化程度的提高,都会使热岛效应增加. 城、乡之间下垫面差异是造成城市热岛效应的主要原因. 观测表明^[14],夏季(1983 年 7 月 22 日)天安门广场柏油路面日平均温度为 47.2 (水泥路面为 44.2),而树阴下土地的温度只有 33.4,相差 13.8. 一般柏油路面与草地、树阴下土地、树阴下草地相比,日平均地面温度要高出 11.7~17.5. 而离地面 1.5m 高、不同下垫面的空气温度仍以柏油路面为最高. 夏季(1983 年 7 月 22 日)柏油路面上的日平均气温为 33.5,比草地高 1.1,日最高气温 38.8,比草地高 1.2. 所以,城市的发展和城市化的提高都会使城市热岛加强.

用城市房屋和高级道路竣工的总面积作为城市发展指标(简称总面积),来讨论它与热岛强度的关系. 图 6 给出了 1965~1989 年每 5 年平均总面积 $S^{[14]}$ 与对应热岛强度 t_{hi} 的关系. 由图清晰可见,北京城市发展指标——城市房屋和高级道路竣工的总

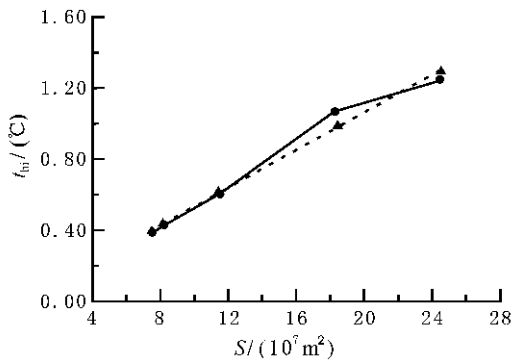


图 6 1965~1989 年每 5 年平均城市房屋及高级道路竣工的总面积^[13]和对应热岛强度

Fig. 6 5-year averaged total completion area of the city buildings and high-grade roads in 1965~1989 and corresponding intensity of the heat island in urban and rural areas

面积和城市热岛强度几乎成直线关系. 它们的回归方程为 $y = 0.745 + 0.534x$ (图中虚线). 1963~1978 年平均城市房屋和高级道路竣工的总面积为 $1.021 \times 10^7 \text{ m}^2$, 而 1979~1987 年平均城市房屋和高级道路竣工的总面积为 $2.141 \times 10^7 \text{ m}^2$, 后者比前者增加了一倍. 对应的热岛强度 1963~1978 年为 0.471, 1979~1987 年为 1.056, 后者比前者增加了 0.586, 也在一倍以上. 可见,北京城市热岛强度在 1981 年前后发生跃变(表 3)与北京城市发展指标——城市房屋和高级道路竣工的总面积明显增加有关.

5 小结

(1) 北京地区气温的年际变化具有大尺度的特点,能代表华北地区,乃至全国气温的变化. 1981 年是显著的跃变点,跃变后比跃变前北京地区气温增加了 0.55,近 40 年的增温率为 0.25/10 年.

(2) 用上甸子站、汤河口站、佛爷顶站、延庆站、西斋堂、平谷和霞云岭站等 7 站局地气温的平均代表郊区局地气温,1981 年后比 1981 年前郊区局地气温下降了 0.51,近 40 年的增温率为 -0.20/10 年.

(3) 用北京站、朝阳站、丰台站、海淀站、石景山站和门头沟站等 6 站局地气温的平均代表市区局地气温. 1981 年是显著的跃变点,跃变后比跃变前北京市区气温增加了 0.29,近 40 年的增温率为 0.11/10 年.

(4) 北京城市热岛具有典型性. 用市区与郊区之间的局地气温差来定义北京城市热岛强度. 1960~2000 年北京城市平均热岛强度为 0.94,接近 1. 随着北京城市建设和城市化速度的加快,北京城市热岛强度也在明显的增加,1981 年是显著的跃变点,跃变后比跃变前北京城市热岛强度增加了 0.80. 近 40 年热岛强度的增温率为 0.31/10 年.

参考文献 (References)

- [1] 周淑贞,束炯. 城市气候学,北京:气象出版社,1994,244~345
Zhou S Z, Shu J. Urban Climatology (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994. 244~345
- [2] 周淑贞. 上海城市热岛效应. 地理学报, 1983, 38(4): 397~405
Zhou S Z. Urban heat island effect of Shanghai. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 1983, 38(4): 397~405
- [3] 吴艳标. 广州城区热岛特征及其对空气污染的影响. 热带气象, 1986, 2(3): 212~230

- Wu Y B. Heat island character and its influence on air pollution over Guangzhou. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1986, **2**(3): 212 ~ 230
- [4] 周明煜, 曲绍厚, 李玉英等. 北京地区热岛和热岛环流特征. *环境科学*, 1980, **1**(5): 12 ~ 18
Zhou M Y, Qu S H, Li Y Y, et al. Heat island in the Beijing region and its circulation characters. *Journal of Environmental Science* (in Chinese), 1980, **1**(5): 12 ~ 18
- [5] 苏红兵, 洪钟祥. 北京城郊近地层湍流实验观测. *大气科学*, 1994, **18**(3): 739 ~ 750
Su H B, Hong Z X. An experimental study of turbulence in the northern suburban surface layer of Beijing. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, **18**(3): 739 ~ 750
- [6] 徐祥德, 汤绪编著. 城市化环境气象学引论. 北京: 气象出版社, 2002. 62 ~ 80
Xu X D, Tang X. An Introduction to Meteorology in Urbanization Environment (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2002. 62 ~ 80
- [7] 高晓清, 汤懋苍, 朱德琴. 关于气候系统和地球系统的若干思考. *地球物理学报*, 2004, **47**(2): 364 ~ 368
Gao X Q, Tang M C, Zhu D Q. Some thoughts on climate system and Earth system. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, **47**(2): 364 ~ 368
- [8] Peterson T C, Gallo K P, Lawrimore J, et al. Global rural temperature trends. *Geophysical Research Letters*, 1999, **26**(3): 329 ~ 332
- [9] Hughes W S, Robert C. Urban influences on South African temperature trends. *International J. Climatology*, 1996, **16**(4): 935 ~ 850
- [10] Jones P D. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperatures over land. *Nature*, 1990, **347**(4): 169 ~ 172
- [11] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响. *气象*, 1991, **17**(4): 14 ~ 17
Zhao Z C. The changes of temperature and the effects of the urbanization in China in the last 39 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1991, **17**(4): 14 ~ 17
- [12] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climatic jump. *J. Met. Soc. Jap.*, 1986, **11**: 273 ~ 281
- [13] Ai Wanxiu, Lin Xuechun. The climatic abrupt change in the Northern Hemisphere for 1920s and 1950s. *Acta Meteor. Sinica*, 1995, **9**(2): 190 ~ 198
- [14] 林学椿. 70 年代末 80 年代初气候跃变及其影响, 东亚季风和 中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 240 ~ 249
Lin X C. Climatic Jump in the End of 1970s and the Beginning of 1980s and Its Influences, In East Asian Monsoon and Heavy Rain in China (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 240 ~ 249
- [15] 北京市气象局资料室编著. 北京城市气候. 北京: 气象出版社, 1992. 1 ~ 17
Beijing Meteorological Bureau Reference Room. Urban Climate of Beijing (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1992. 1 ~ 17
- [16] 程乾生, 周小波, 朱迎善. 气候突变的聚类分析. *地球物理学报*, 1998, **41**(3): 308 ~ 315
Cheng Q S, Zhou X B, Zhu Y S. Cluster analysis of climate jump. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1998, **41**(3): 308 ~ 315
- [17] 刘太中, 荣平平, 刘式达. 气候突变的子波分析. *地球物理学报*, 1995, **38**(2): 156 ~ 163
Liu T Z, Rong P P, Liu S D. Wavelet analysis of climate jump. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1995, **38**(2): 156 ~ 163