

# 北京城市化进程与热岛强度关系的研究\*

林学椿<sup>1</sup> 于淑秋<sup>2</sup> 唐国利<sup>1</sup>

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** 利用北京市统计局编的《北京50年——统计资料》中的三类城市发展指数: 人口、基本建设投资总额和城市基础设施投资总额、房屋竣工面积和住房竣工面积及北京地区20个站近40年年平均气温资料, 研究了北京城市发展指数与城市热岛效应变化之间的关系, 认为: (1) 北京城市发展指数, 在改革开放前发展缓慢, 改革开放后, 北京城市发展指数增长率比改革开放前成几十倍乃至百倍的增长; (2) 近40年, 北京市郊区的增温率为 $0.04^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 城市中心区的增温率为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 而热岛强度的增温率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ . 城市热岛强度(或市中心区)的增温率是城市郊区的8倍(9倍); (3) 热岛强度的增温率在改革开放前为 $0.001^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ; 改革开放后跃变为 $0.2286^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ . 它与城市发展指数的变化颇为一致, 两者之间的相关系数都超过了0.1%信度. 说明北京城市人类活动引起的增温已经超过了自然因素引起的增温, 能改变城市中的温度变化.

**关键词** 北京地区 温度变化 热岛效应 人类活动

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<sup>[1]</sup>. 我国大规模地研究城市热岛效应, 开始于20世纪80年代, 对上海<sup>[2]</sup>、广州<sup>[3]</sup>和北京<sup>[4-6]</sup>等地都组织过规模较大的城、郊气温的对比观测和研究, 得到了很多有益的结果.

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. 另一方面, 科学家对实际资料也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. 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 等<sup>[7]</sup>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 等<sup>[8]</sup>研究了城市对南非气温变化趋势的影响. Jones 等<sup>[9]</sup>评估了城市化对大陆气温序列的影响. 赵宗慈<sup>[10]</sup>研究过近39年中国的气温变化与城市化影响, 周淑贞<sup>[11]</sup>研究过上海城市发展对气温的影响等等.

本文在作者<sup>[12]</sup>对北京地区气温的年代际变化和热岛效应的研究基础上, 利用北京统计局编的《北京50年——统计资料》<sup>[13]</sup>及北京地区20个站近40年年平均气温资料(以下文中所用的‘气温’都指年平均气温), 研究了北京城市规模不断发展与城市热岛效应变化之间的关系, 结果表明: 近半个世纪以来随着北京城市化进程的不断扩大, 北京城市热岛强度也在不断加强, 两者关系密切, 证明北京

2004-09-08 收稿, 2004-11-26 收修改稿

\* 国家重点基础研究发展规划(批准号: G1999045700, 2003CB716806)资助项目

E-mail: Lxc7762@163.com

城市的温度变化在很大程度上是城市人类活动的结果。

## 1 北京城市发展指数的变化

近半个世纪,北京市的城市建设得到了长足发展,城市规模不断扩大。以下用人口、基本建设投资总额和城市基础设施投资总额、房屋竣工面积和住房竣工面积来描述北京城市建设的巨大变化。

人口。解放初期(1949年)北京的常住人口,包括非农业人口和农业人口只有209.2万人,到2001年发展为1366.6万人,比解放初期增加了6.5倍,平均增长率为17.36万人/年。由20世纪50年代到60年代,北京市人口有一快速增长时期,这一时期除了人口的自然增加外,还有两个原因<sup>[14]</sup>:一是人口的机械增长(迁入人口减去迁出人口);二是行政辖区的扩大,北京市先后5次扩大市辖行政区域的范围,共增加土地面积16101平方公里,增加人口282.6万人。20世纪70年代开始北京市的常住人口得到较好的控制,形成稳定的增长。但80年代改革开放以来,外来人口(主要是外来务工人员,并领有暂住证的)不断的增加,据估计北京市的外来人口有300多万,北京市实际人口应在1600万以上。

基本建设投资总额和基础设施投资总额。1952年北京市的基本建设投资总额只有1个亿,到2001年达到387.28亿,增加了近390倍<sup>[15]</sup>,有两个最基本的特点:(1)基本建设投资总额在20世纪60年代前后有一较明显的波动,从1952年1亿元到1959年的17.9亿元有较大幅度的增加,1960年以后的‘三年自然灾害’和‘文化大革命’又有较大的回落,1962—1968年较低,投资总额不到4亿元。(2)改革开放(1980年)以后基本建设投资总额有大幅度的增长,改革开放前基本建设投资总额的平均增长率只有0.4479亿元/年,而改革开放后至2001年平均增长率为23.4551亿元/年,是改革开放前的52倍。

基础设施投资总额,在1952年为0.4897亿元,到2001年为356.4044亿元,增长了727倍。它也有两个最基本的特点:(1)基础设施投资总额在20世纪60年代前后有一较明显的波动,从1952年0.4897亿元到1959年的4.5280亿元有较大幅度的增

加,1960年以后的‘三年自然灾害’和‘文革’期间又有较大的回落,1962和1963年最低分别只有0.4248和0.4394亿元。(2)改革开放(1980年)以后基础设施投资总额有大幅度的增长,改革开放前基础设施投资总额的平均增长率只有0.1186亿元/年,而改革开放后至2001年平均增长率为17.2905亿元/年,是改革开放前的145倍。

房屋竣工面积和住房竣工面积。建国以来,共建成各类房屋面积 $28323 \times 10^4 \text{m}^2$ ,相当于解放前旧北京各类房屋面积的14倍多<sup>[16]</sup>。图1为房屋竣工面积(实线)和住房竣工面积(虚线)的逐年变化。由图(图中实线)可见,有二个基本特征:(1)房屋竣工面积1950年后不断增加,到1958年达到极大值,为 $364.7 \times 10^4 \text{m}^2$ ,以后受‘三年自然灾害’和‘文革’的影响,房屋竣工面积减少,1967到达极小值,为 $66.6 \times 10^4 \text{m}^2$ ,之后开始缓慢的增加。(2)改革开放以后,房屋竣工面积大幅度增加。1980年前,房屋竣工面积平均增长率为 $0.8851 \times 10^4 \text{m}^2/\text{a}$ ;1980年后,平均增长率为 $78.8766 \times 10^4 \text{m}^2/\text{a}$ ,相当于改革开放前房屋竣工面积增长率的90倍。

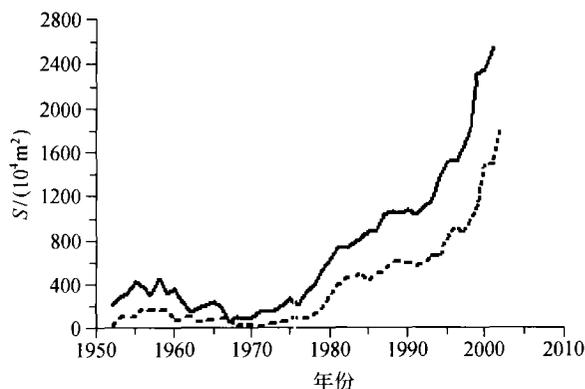


图1 北京城市房屋竣工面积(实线)和住房竣工面积(虚线)的逐年变化

住房竣工面积(图中虚线)也有类似的变化特征:(1)住房竣工面积1950年后不断增加,到1957年到达极大,为 $169.8 \times 10^4 \text{m}^2$ ,以后受‘三年自然灾害’和‘文革’的影响,住房竣工面积减少,1970年到达极小值,为 $20.1 \times 10^4 \text{m}^2$ ,之后开始缓慢的增加。(2)改革开放以后,住房竣工面积大幅度增加。1980年前,住房竣工面积平均增长率为 $0.3905 \times 10^4 \text{m}^2/\text{a}$ ;1980年后,平均增长率为

$56.0521 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{a}$ , 相当于改革开放前住房竣工面积平均增长率的 143 倍。

## 2 热岛强度的年际变化

引起气候变化的因素包括自然与人类活动两大类。前者主要是指太阳辐射的变化(包括太阳本身的物理过程如太阳黑子、耀斑等引起太阳辐射强度的变化和因地球轨道参数的变化引起太阳辐射强度的相对变化)、火山爆发等自然因素。后者主要指温室气体和硫化物气溶胶的排放、土地利用的变化以及城市化进程加快等人为因素。城市是人类活动的高度集中表现。城市因人口密度大而成为所在地区的政治、经济、文化和消费中心,使得交通运输、工业生产和商品流通都较为发达,特别是现代化大城市更是生产资料、生活资料和能源消耗高度集中的地区。必然对城市温度产生影响。

一般把城区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。北京地区有 20 个气象观测站,从 1960—2000 年共 41 年温度资料。温度资料的处理方法与文献[12]完全相同,即用于绝热递减率,将这 20 个站不同海拔高度的气温统一订正到海平面温度。在此基础上,选用城市化速度较快的北京站、朝阳站、丰台站、海淀站、石景山站和门头沟站等 6 个站的平均温度代表市中心区温度。

作为对比,城郊乡村地区人口稀少,远离市区,人类活动对这些地区的影响也较少或未受人类活动的影响,温度变化应以自然变化为主。选用远郊区的上甸子站、汤河口站、佛爷岭站、延庆站、西斋堂、平谷和霞云岭站等 7 个远郊区站的平均温度,代表城市郊区温度,可以认为这个地区的温度变化受人类活动影响较少(或未受人类活动影响),突出地反映了自然变化。用上述市中心区温度减去城市郊区温度定义为热岛强度,这相当于去掉自然变化,而突出人类活动对温度的影响,所以热岛强度是城市人类活动对温度影响的一种量度。

市区的气温 1960—2000 年平均为  $12.32^\circ\text{C}$ , 郊区温度平均为  $11.38^\circ\text{C}$ , 北京城市热岛强度平均为  $0.94^\circ\text{C}$ , 接近  $1^\circ\text{C}$ 。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.

$5-1.0^\circ\text{C}$ , 可见北京地区平均热岛强度为  $1^\circ\text{C}$  是有代表性的。图 2 给出了北京城市热岛强度(城市-农村线)、市中心区温度(城市线)和郊区温度(农村线)的年际变化。

由图 2 可见,市中心区温度(城市线)和郊区温度(农村线)的变化基本上相类似,都从 1962 年开始降温至 1970 年达到最低点,此后温度波动式的上升,这反映了大尺度温度变化特点,作者已经在文献[12]作了详细讨论。但两者之间有明显的差异,市中心气温始终比郊区高,而且随着时间越来越高。由热岛强度((城市-农村线)的年际变化更清楚地反映了这一特点,热岛强度由 20 世纪 60 年代初开始下降,至 1968 年达最低点,此后缓慢上升,80 年代以后这个上升趋势加速。郊区的增温率(即图中直线的斜率,下同)为  $0.04^\circ\text{C}/10\text{a}$ ,市区的增温率为  $0.35^\circ\text{C}/10\text{a}$ ,而热岛强度的增温率为  $0.31^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。热岛强度(或市中心区)的增温率是郊区的 8 倍(9 倍),说明北京城市的人类活动引起的温度变化比郊区大得多,足以改变自然因素引起的温度变化。

为什么北京城市热岛强度越来越大,这和北京城市发展速度有关。

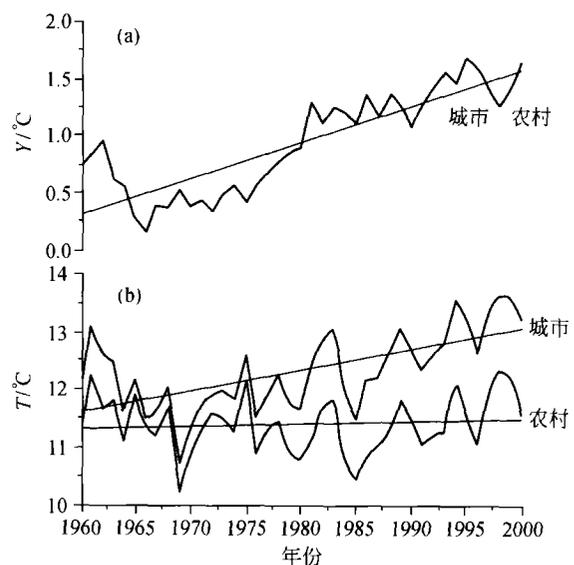


图 2 北京城市热岛强度、城市中心区温度(城市线)和城市郊区温度(农村线)的年际变化

(a)热岛强度的年际变化;

(b)城市中心区和城市郊区温度的年际变化

### 3 热岛强度变化和城市发展指数的关系

城市影响气温主要表现在两个方面,一是城市因生活、取暖以及工业化和交通运输等燃烧大量的石化燃料(如煤炭、煤气、石油等),向大气排放大量的包括二氧化碳、甲烷在内的温室气体和气溶胶,污染大气.城市是温室气体等的排放源,这些温室气体排放到大气中之后,通过温室效应使城市温度增加.另一个原因是它的固定建筑物.高楼林立、道路四通八达,改变了原有的自然下垫面,形成了以混凝土建筑物和柏油路为主的立体下垫面.城市下垫面的不透水性、导热率、热容量、反射率以及它的立体性,再加上人为热等因素,都导致城市近地层温度比郊区农村高.城市化进程的加快,就会使城市增温加大.

北京市是一个发展极其迅速的特大城市.因为人口多,能源消耗大,排放的温室气体也多;建筑物密度大、范围广,极大地改变了下垫面性质,这些必将影响城市热岛强度的变化.综合上述,近50余年来北京城市人口增加了6.5倍,基本建设投资增加了近390倍,房屋增加14倍.北京城市发展指数的变化有二个基本特点(如图1):一是解放初至20世纪60年代初,在近10年时间内,城市规模有较快的发展,以后受‘三年自然灾害’和‘十年文革’的影响,北京城市建设缩减,发展较慢.二是改革开放以来,市政建设有了飞快的发展.无论基本建设投资增长率或房屋竣工面积增长率比之于改革开放前都成几十倍乃至百倍的增长.对照图2可见,从1962年到1968年热岛强度有一明显的减少过程,正好与北京城市建设缩减时期对应.而80年代后热岛强度也有一个跃变式的上升,两者表现颇为一致.表1.给出了城市发展指数与城市热岛强度改革开放(1980年)前后的增长率及其相关系数.

改革开放前基础设施投资总额的平均增长率只有0.1186亿元/年,而改革开放后至2001年平均增长率为17.2905亿元/年,是改革开放前的145倍.改革开放前,房屋竣工面积平均增长率为 $0.8851 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{a}$ ;改革开放后,平均增长率为 $78.8766 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{a}$ ,相当于改革开放前房屋竣工面积增长率的90倍.而热岛强度在改革开放前的增温率只有

$0.001^\circ\text{C}/10\text{a}$ ,而改革开放后剧增到 $0.2286^\circ\text{C}/10\text{a}$ ,是改革开放前的200多倍.实际上热岛强度(见图2)是从1965年开始稳定而缓慢的增加,但到1980年后有一非常明显的加速增加过程

表1 北京城市发展指数和热岛强度在改革开放前后(1980年)的增长率

	改革开放前	改革开放后	与热岛强度的相关系数
基本建设投资总额/(亿元·a <sup>-1</sup> )	0.4479	23.4551	0.7051
基础设施投资总额/(亿元·a <sup>-1</sup> )	0.1186	17.2905	0.5975
房屋竣工面积/(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	0.8851	78.8766	0.8766
住宅竣工面积/(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	0.3905	51.0521	0.8747
热岛强度/(°C·(10a) <sup>-1</sup> )	0.001	0.2286	

城市发展指数与城市热岛强度之间的相关系数(表中最后一列)都超过了0.1%( $\alpha_{0.001}=0.4895$ )信度,其中最高的是房屋竣工面积和住房竣工面积相关系数分别为0.8766和0.8747.因为房屋竣工面积和住房竣工面积直接反映了城市规模和下垫面的变化,所以它和热岛强度关系表现最为密切.

图3给出了热岛强度和房屋竣工面积之间的线性关系.它们之间的线性回归方程为

$$y = 0.0004369x + 0.27783,$$

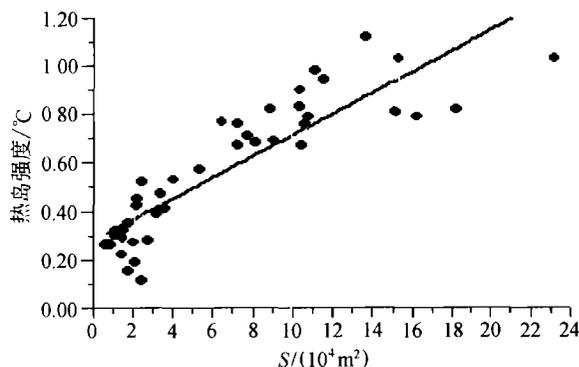


图3 热岛强度和房屋竣工面积的点聚图

其中 $y$ 为热岛强度(单位为 $^\circ\text{C}$ ), $x$ 为房屋竣工面积(单位为 $10^4 \text{ m}^2$ ),它的残差平方和为0.7219.这就是说当房屋竣工面积每增加 $10^6 \text{ m}^2$ ,北京城市的热岛强度增加 $0.043^\circ\text{C}$ ,即北京市内的温度比远郊区高出 $0.043^\circ\text{C}$ .同样,由北京城市热岛强度与基本建设投资总额的点聚图(图略),得到它们的线性关

系为

$$y = 0.00158608z + 0.44995,$$

其中  $y$  为热岛强度(单位为 $^{\circ}\text{C}$ ),  $z$  为基本建设投资总额(单位为亿元), 它的残差平方和为 1.65325, 比房屋竣工面积的大. 当北京城市基本建设投资总额每增加 100 亿元时, 北京城市温度要比远郊区高出  $0.16^{\circ}\text{C}$ .

#### 4 结论

用北京统计局编的《北京 50 年——统计资料》的三类城市发展指数:(人口、基本建设投资总额和城市基础设施投资总额、房屋竣工面积和住房竣工面积)及北京地区 20 个站近 40 年年平均气温资料, 研究了北京城市发展指数与城市热岛效应变化之间的关系, 得到如下的结论:

(1) 北京城市发展指数, 在改革开放前发展缓慢. 改革开放后发展很快, 北京城市发展指数增长率比改革开放前成几十倍乃至百倍的增长. 如房屋竣工面积, 在改革开放前平均增长率为  $0.8851 \times 10^4 \text{m}^2/\text{a}$ ; 改革开放后, 平均增长率为  $78.8766 \times 10^4 \text{m}^2/\text{a}$ , 相当于改革开放前房屋竣工面积增长率的 90 倍.

(2) 近 40 年, 北京市郊区的增温率为  $0.04^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 城市中心区的增温率为  $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 而热岛强度的增温率为  $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ . 城市热岛强度(或市中心区)的增温率是城市郊区的 8 倍(9 倍);

(3) 热岛强度的增温率在改革开放前为  $0.001^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ; 改革开放后跃变升为  $0.2286^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ . 它与城市发展指数的变化颇为一致, 两者之间的相关系数都超过了 0.1% 信度. 热岛强度与城市发展指数的回归方程表明: 房屋竣工面积每增加  $1 \times 10^6 \text{m}^2$ , 北京城市的热岛强度增加  $0.043^{\circ}\text{C}$ , 或北京城市基本建设投资总额每增加 100 亿元, 北京城市温度要比远郊区升高  $0.16^{\circ}\text{C}$ .

热岛强度是城市人类活动对温度影响的一种量度. 北京热岛强度的增温率是自然因素(郊区)增温率的 8 倍, 而它与城市发展指数的相关系数都超过了 0.1% 信度, 这说明城市人类活动能影响城市温度. 这是一个证据, 也是一个特例. 北京是一个发

展中的特大城市, 特别是改革开放后的高速度发展在全世界千万人以上的大城市中, 都是罕见的. 这种跃变式的高速发展, 就有可能明显的影响温度, 在温度资料上明显反映出来. 近百年全球性的增温是否由人类活动引起还需要更多的这类分析来证明.

#### 参 考 文 献

- 1 周淑贞, 束 炯. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994, 244—345
- 2 周淑贞. 上海城市热岛效应. 地理学报, 1982, 37(4): 372—381
- 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
- 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
- 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(4): 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
- 7 Peterson T C, Gallo K P, Lawrimore J, et al. Global rural temperature trends. Geophysical Research Letters, 1999, 26(3): 329—332
- 8 Hughes W S, Robert C. Urban influences on South African temperature trends. International J Climatology, 1996, 16(4): 935—850
- 9 Jones P D. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperatures over land. Nature, 1990, 347(4): 169—172
- 10 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
- 11 周淑贞. 上海城市发展对气温的影响. 地理学报, 1983, 38(4): 397—405
- 12 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
- 13 北京统计局编. 北京 50 年——统计资料 1949—1998 年. 见: 北京 50 年——统计资料(电子版). 北京: 北京电子出版物出版中心, 1999
- 14 北京统计局(执笔: 沈 青). 人口与计划生育. 见: 北京 50 年——统计资料(电子版). 北京: 北京电子出版物出版中心, 1999
- 15 北京统计局(执笔: 乔立娜, 张 君). 投资. 见: 北京 50 年——统计资料(电子版). 北京: 北京电子出版物出版中心, 1999
- 16 北京统计局(撰稿: 于秀琴, 邢志宏, 何京伟). 京华巨变逢盛世 长风破浪越千年——北京市五十年社会经济发展回顾与前瞻. 见: 北京 50 年——统计资料(电子版). 北京: 北京电子出版物出版中心, 1999