

# 兰州城市热岛效应特征及其影响因子研究

白虎志<sup>1</sup> 任国玉<sup>2</sup> 方 锋<sup>1</sup>

(1 兰州中心气象台,兰州 730020; 2 国家气候中心,北京 100081)

**摘要** 利用 1958~2003 年兰州及临近两个乡村气象站气温资料,研究了兰州城市热岛效应特征和导致热岛效应季节差异及其年代际变化趋势的主要气象因子。结果表明:近 40 多年来,兰州城市热岛效应一直呈增强趋势,热岛效应在冬季尤为显著;在日变化中以 02:00 热岛效应最为明显,而 14:00 效应较小。冬季逆温层、夏季城市下垫面对热岛效应的季节差异影响较大。城市发展导致热岛效应增强,而部分气象要素的年代际异常加剧了热岛效应。

**关键词** 兰州 城市热岛效应 气象条件 气温变化

## 引言

城市气候最显著的特点之一是城市热岛效应。随着城市规模的不断发展,城市下垫面改变、人口不断增加、温室气体排放增多,能源消耗和各种热量排放增多,这些人类活动造成的城市热岛效应已经超过了自然界的调节能力,从而导致城市热岛效应越来越显著,不仅为城市建设规划提出了新的问题,而且也给有关全球气候变化的研究带来一些不确定性<sup>[1,2]</sup>。兰州市地处黄河河谷,是南北两山夹峙的盆地,两山相对高度为 500~600 m,黄河自西向东横穿市区。兰州观测站位于城市东部的城关区,20 世纪 80 年代以前,观测站周围主要是居民区和菜地果园,90 年代以来,城市化发展迅速,观测站以外的地方已是高楼林立,成为一个比较典型的城市观测站。研究兰州市热岛效应的特征,对科学制定城市发展规划,实现经济效益与环境效益的有机统一,以及对于了解观测环境变化如何影响兰州站地表气温记录,都具有重要的现实意义。

## 1 资料和研究方法

地面气温资料来源于兰州中心气象台信息化资料,兰州 1996 年至 2000 年冬半年(10 月至次年 3 月)探空资料由兰州气象观测站整理。

乡村气象站为位于兰州市以北约 50 km 的皋兰站和东南 30 km 的榆中站,2 个气象站海拔高度相近,周围以农田为主,测点附近地势较平坦,是比较标准的乡村站。取兰州(36°03'N,103°53'E,海拔 1.518 km)郊区基本未受城市化影响的皋兰站(36°21'N,103°56'E,海拔 1.670 km)和榆中站(35°52'N,104°09'E,海拔 1.875 km)作为对比站,用以下方法求算城市增温效应:

(1) 消除大气候的影响:即求算兰州气象站的气温和乡村对比站平均气温差值  $T = (T_{\text{城市}} - T_{\text{郊区}})$  作为城市与郊区气温差。

(2) 求城市增温效应的增温率:假设 60 年代兰州热岛效应较小,只存在地理位置造成的气温差异,用消除大气候影响后的差值序列中 60 年代平均值作为初始值,计算出每 10 年平均城郊气温差值与该初始值的差,这个差值即可认为是城市发展所造成的增温率,即  $T = T - T_{60}$ 。

计算气温变化速率  $a$  时,采用线性方法<sup>[3]</sup>,为了反映年代变化率,将  $a$  扩大 10 倍,单位为 每 10 年。

## 2 兰州城市热岛效应特征

### 2.1 城郊平均温差的气候特征

兰州观测站处于小盆地之中,海拔高度比郊区

国家“十五”科技攻关项目课题“全球与中国气候变化的检测和预测(2001BA611B-01)”和甘肃省气象局青年科技基金资助

作者简介:白虎志,男,1966 年生,硕士,高级工程师,主要从事干旱气候变化研究,Email: Baihuzhi@163.com

收稿日期:2005 年 1 月 11 日;定稿日期:2005 年 4 月 8 日

乡村站低 150~360 m,城郊气温存在地理上的自然差异,近 46 年平均温差非常明显(表 1),各季度多年平均温差为 2.6~3.0 ;最高气温相差为 3.2~3.6 ;最低气温差为 1.4~2.5 。多年平均 4 个时次的温差表明,冬季城郊温差 08:00(北京时,下同)最大、02:00 次之、14:00 最小;其它季节 02:00 最大、20:00 次之、14:00 最小,与全年平均气温日变化特征相似。

表 1 兰州城郊多年平均气温差

	02:00	08:00	14:00	20:00	最低	最高	日平均
冬季	3.1	3.3	1.1	3.2	1.4	3.6	2.7
春季	3.5	2.8	2.2	3.3	2.5	3.6	3.0
夏季	3.4	2.3	2.1	3.1	2.5	3.5	2.7
秋季	2.9	2.9	1.7	2.9	2.0	3.2	2.6
全年	3.2	2.8	1.8	3.1	2.1	3.5	2.7

### 2.2 兰州城市热岛效应的变化趋势

与郊区乡村站比较,兰州城市热岛效应非常明显。兰州城为东西向的带状盆地,气象观测站位于东端的城关区东岗东路,60 年代观测站周围基本没有高层建筑,周围几乎都是菜地和果园。因此,兰州站附近城市化效应很小,可以认为城郊只存在地理位置上的自然温差,将以后每一个年代的城郊温差减去 60 年代的平均城郊温差,这个差值既消除了气候的年代际变化、也消除了气温的地理位置差异,因此,可认为它是城市发展所造成的增温率  $T$ 。从  $T$  的年代际变化趋势(图 1)看,城市热岛效应对最高气温和 14:00 气温影响较小,它们的  $T$  基本在零附近摆动,其它要素基本呈现直线上升趋势,近 40 多年来年平均上升幅度从大到小的顺序依次是 02:00 气温、最低气温、08:00 气温、平均气温、20:00 气温。与 20 世纪 60 年代相比,21 世纪初兰州城市热岛效应变化引起上述对应要素的增温幅度分别为 2.1、1.9、1.7、1.1 和 0.8。由此可见,城市热岛效应变化造成的增温夜间比白天明显。

四季各时次平均气温的年代趋势与全年平均各时次趋势相似(图略),但它们受当地地形以及气候条件的影响,各季节热岛效应的变化趋势也有差异。各季节、全年 10 年平均气温多年平均趋势变化速率的分布图(图 2)表明,就日平均温度来讲,冬季趋势率最大、夏季次之、秋季最小,冬季变化速率相对其它季节同时次的趋势率一致最大,冬季 02:00、最低、08:00、日平均、20:00 的变化速率分别为 0.80

、0.76、0.75、0.50 和 0.40;单个时次气温要素年变化速率最小的季节各不相同,春季 20:00 平均气温,夏季 08:00 气温,秋季 02:00、平均最低气温以及日平均气温变化速率最小,而秋季 14:00 的气温和日最高气温的变化速率呈负值。因此,多年城市化热岛效应变化趋势在冬季显得尤为显著,而冬季的 02:00、08:00 气温和最低气温的变化速率尤为明显。

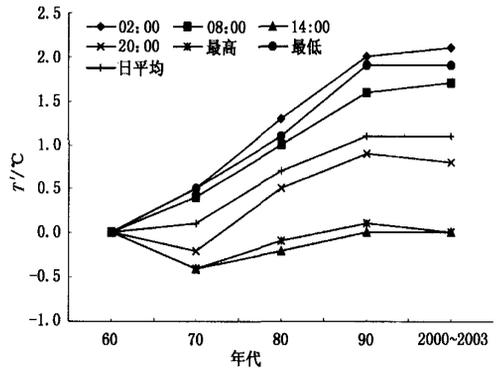


图 1 兰州城市热岛效应 ( $T$ ) 相对于 20 世纪 60 年代的年代际变化

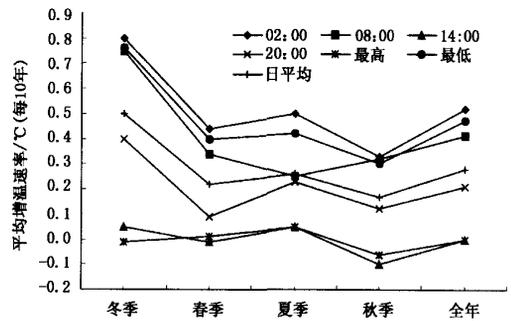


图 2 兰州站近 40 年四季、年各时次气温平均增温速率

近地面观测的气温显示,近 100 多年来全球气温有明显的增暖,线性趋势达到每 100 年 0.6 [4]。中国近 50 年来地表平均气温增暖幅度达 1.1 [2]。目前,全球变暖研究使用的地面气温观测记录有很多是来自城市站,而资料中最大的问题是城市热岛效应的影响[1~3]。赵宗慈[3]研究了 1951~1989 年全国 160 个台站年平均变化后指出,大城市和次大城市增温最明显,39 年大约变暖 0.27~0.45;陈沈斌等[5]利用 1960~1993 年月平均气温研究城市热岛累积影响,估算出城市化对北京观象台气温记录的影响约为每 33 年 0.21。

兰州站是国家基准(基本)气象站,与其他的国

家基准(基本)站一起,兰州站资料被用来研究区域或全国平均气温变化趋势。但是,兰州市城市规模迅速扩大,人口密度增加,建筑物增多,能耗加大,这一切都会改变城市热状况,必然造成城市热岛效应的加剧,改变地表气温记录。本文的分析表明,从20世纪60年代到21世纪初,兰州站附近由于热岛效应因素引起的平均气温增暖达到 $1.1$ ,变化速率为每10年 $0.28$ ,比上述研究者获得的结果高得多。这和文献[6]中得出的70年代中期之后城郊年平均气温差每10年上升 $0.415$ 的结论基本一致。可见,城市热岛效应变化在相当大的程度上给气候变化研究带来了不确定性。对地面观测资料进行重新订正,剔除城市化效应,增加乡村站比例来研究全球或区域气候变化问题更加合理。

### 3 兰州城市热岛效应季节差异的成因分析

兰州城市化发展造成城市热岛效应,但特殊地形及大气层结的稳定度造成城市污染物和热量向外扩散缓慢,减缓了大气长波辐射,增加了城市热岛效应。兰州一年四季皆有逆温层存在,冬季逆温层发生频率最高,达到 $95.8\%$ <sup>[7]</sup>,较高层逆温持续时间较乡村上空同高度逆温持续时间长,城市热效应在地面至200 m影响显著,05:00~07:00城市热岛效应最强,午后减弱。引起上述温度层结特征的城乡差异的主要原因是城市热岛效应和烟雾层的辐射效应对兰州市上空大气的影 响。两者联合作用使300~400 m城市加热率大于乡村<sup>[8]</sup>,因此,本文选取城市热岛效应最明显的冬季来研究逆温层特征以及冬季热岛效应明显的原因。

通过对1986~2000年兰州冬半年(10月至次年3月)07:00、19:00两个时次探空资料的分析,发现兰州上空存在单层逆温和双层逆温两种(表略)。单层逆温出现的频率比双层逆温大,逆温频率最高的月份是12月,逆温频率高达 $95.5\%$ ,冬半年07:00、19:00和日平均出现逆温频率分别为 $68.5\%$ 、 $46.7\%$ 和 $73.9\%$ ,冬季(12月至次年2月)逆温日数出现的频率为 $80.8\%$ ,这一结果比姜大膀<sup>[7]</sup>计算得到的频率低,可能与本文没有考虑等温层有关。冬季逆温日数的年际变化也非常明显,最大日数(1998年)与最小日数(2000年)相差41天,有些月份逆温日数频率最高可达到 $100\%$ 。

总体来讲,兰州冬季07:00的逆温层发生频率

高、强度大,这与冬季午夜到清晨期间城市热岛效应引起的增温趋势最明显是一致的。兰州季节平均逆温日数的频率从高到低依次为冬季 $96\%$ 、秋季 $82\%$ 、春季 $76\%$ 、夏季 $66\%$ ,冬季的逆温层厚度和强度也最强<sup>[7]</sup>。兰州城市热岛效应引起的增温趋势从大到小的顺序是冬、夏、春、秋季。可以认为,冬季兰州城市增温与城市上空逆温层“干暖盖”的作用有密切关系。它阻止城市污染物和城市热量的向外扩散,从而减少了大气长波辐射降温,特别是后半夜显得更加明显。

夏季逆温层频率较小,对兰州城热岛效应的贡献也小,主要的影响因素可能是城市下垫面和建筑物类型。由于夏季地面气温比较高,太阳能对地面加热因地面覆盖材料不同而有差异,城市化发展使地表面和建筑物水泥受热面积成倍增加,而城市地表覆盖中,夏季沥青和混凝土的温度最高<sup>[9]</sup>,这种加热作用比其它季节明显,白天它不但对城市地表层大气有加热作用,而且它会在夜间释放热量持续影响地面气温记录,因此,夏季热岛效应相对就比春季和秋季明显。

### 4 兰州城市热岛效应年代际变化的气象因子

目前公认城市热岛效应主要是城市化的结果,但同时与气象要素的异常有紧密联系。例如,地面风速可以带走城市热量和温室气体,减小城市热岛效应;降水可以起到净化空气的作用,有利于污染物的扩散,同时,有降水必然有上升运动,上升运动将城市热量和污染物输送到高空扩散等等,而兰州冬季降水很少,静风频率为一年中最高。因此,风速和降水的变化将对热岛效应强度产生重要影响。

从兰州年平均风速和全年日降水大于等于 $0.1$  mm的日数变化表明(图3),这两项地面气象要素年代际变化趋势非常明显。兰州降水日数和平均风速总体呈现下降趋势,特别是20世纪50年代非常明显。70年代平均风速和降水日数相对均有所上升。对应70年代兰州城市热岛效应强度增加缓慢(图1),平均气温的城乡差接近60年代,20:00、14:00气温以及日平均最高气温城乡差值甚至低于同时其它任何年代。兰州年降水日数每10年减少2~8天,年平均风速每10年平均值呈现较弱的相间波动特征。降水日数和平均风速的下降趋势可能在一定程度上加强了兰州城市热岛效应的加剧。因此,城市化发展无疑是城市热岛效应不断增强的决定因

素,但相关气象要素的变化加剧了兰州城市热岛效应。这提示我们,仅利用社会、经济、人口或建城区面积等因子来表征城市热岛效应是不全面的,直接利用城市与乡村站气温差的变化来分析城市热岛效应变化趋势也是有一定的局限性。对气候变化的检测和原因识别是非常复杂的。

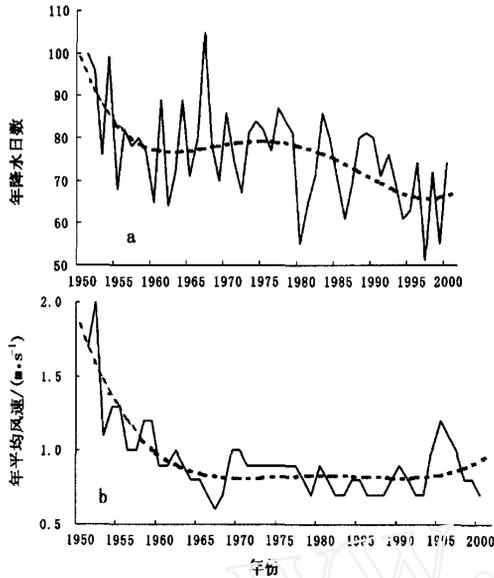


图 3 兰州全年日降水大于等于 0.1 mm 的日数(a)和年平均风速(b)变化曲线(虚线为 4 阶多项式趋势拟合曲线)

### 5 结束语

近十几年来,我国城乡建设都有巨大的发展,原来设在郊区的气象站已经或正在被各种建筑物所包围。在这种情况下,一些观测站不得不外迁,以保证观测环境的“代表性”。2001 年兰州探空站迁至郊区榆中,2003 年兰州地面观测业务也移交郊区皋兰县,原兰州观测站只作为兰州城市生态站开展业务。但是,有很多国家基准、基本站仍处于城区之内,城市热岛效应对气温的影响仍然十分明显。在开展气候变化检测和原因研究时,应该对这个问题给予足够的重视。就兰州站城市热岛效应的影响来讲,本文获得以下几点认识:

(1) 近 40 多年来,兰州城市热岛效应一直呈增强趋势,与 20 世纪 60 年代相比,21 世纪初多年平均的 02:00、日平均最低、08:00、日平均、20:00 的气温因城市热岛效应引起的增温幅度分别为 2.1、1.9、1.7、1.1 和 0.8,最高气温和 14:00 气温受城市热岛影响较小。

(2) 兰州城市热岛效应在冬季尤为显著,而冬季的 02:00、08:00 气温和最低气温受城市热岛影响的日变化中又最为明显。

(3) 兰州热岛效应季节变化差异可能主要与城市上空的逆温层、城市下垫面以及建筑物类型有关。冬季午夜到清晨期间城市热岛效应引起的增温趋势最明显,这与此时逆温强度最强有关;而夏季城市沥青混凝土建筑面对热岛效应的贡献最大。

(4) 城市化是造成城市热岛效应加强的决定因素,但若干相关气象要素的变化加剧了热岛效应。这说明,仅利用社会、经济、人口或城区面积等非气象因子来表征城市热岛效应的变化是不全面的。

### 参考文献

- 1 龚道溢,王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性. 地学前沿, 2002, 92(2): 371 - 376
- 2 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题. 气象, 2003, 29(8): 3 - 6
- 3 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
- 4 Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al (eds). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Press Syndicate of Cambridge University, 2001
- 5 陈沈斌, 潘莉卿. 城市化对北京平均气温的影响. 地理学报, 1997, 52(1): 27 - 36
- 6 白虎志, 张涣儒, 张存杰. 兰州城市化发展对局地气候的影响. 高原气象, 1997, 16(4): 410 - 416
- 7 姜大膀, 王式功, 郎咸梅, 等. 兰州市区低空大气温度层结特征及其与空气污染的关系. 兰州大学学报, 2001, 37(4): 133 - 139
- 8 张裕芬, 陈长和. 冬季兰州城市上空层结特征的分析研究. 兰州大学学报, 1998, 34(2): 104 - 110
- 9 董靓. 城市地表覆盖材料的热反应. 城市环境与城市生态, 1995, 8(2): 18 - 20

(下转第 500 页)

## 参考文献

- 1 Reap R M, Mac Gorman D R. Cloud-to-ground lightning climatological characteristics and relationships to motion fields, radar observations, and severe local storms. *Mon Wea Rev*, 1988, 117: 518 - 535
- 2 陶祖钰, 赵昕奕. 京津冀地区闪电的气候分析. *气象学报*, 1993, 51(3): 325 - 332
- 3 冯桂力, 陈文选, 刘诗军, 等. 山东地区闪电的特征分析. *应用气象学报*, 2002, 13(3): 347 - 355
- 4 吴正华. 京津冀夏季短历时降水气候分析. *大气科学*, 1993, 17(3): 268 - 273

## Preliminary Analysis of Lightning Characteristics in Beijing

He Hui Li Hongyu

(Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089)

**Abstract :** Based on the cloud-to-ground (CG) data from 2000 to 2003 collected by the XDDO3A lightning detection system in Beijing, a study was made of the daily and monthly lightning variation, as well as lightning intensity, polarity and density, etc., and the climatic characteristics of lightning in Beijing was analyzed. The results show that most cloud-to-ground flashes are negative; the mean intensities of positive CG flashes are bigger than those of the negatives; the CG flashes have a daily variation characteristic of two peaks and two valleys; the maximum number of lightning days was found in July and August (lightning occurs almost every day), and lightning occurs most frequently in August; and in Beijing, CG flashes occurred mostly in four areas, and the spatial distribution of lightning is related to the topography and the nature of the underlying surface.

**Key words :** lightning detection system, cloud-to-ground lightning, lightning density

(上接第 495 页)

## Characteristics of Urban Heat Island Effect and Its Influencing Factors in Lanzhou

Bai Huzhi<sup>1</sup> Ren Guoyu<sup>2</sup> Fang Feng<sup>1</sup>

(1 Lanzhou Central Meteorological Office, Lanzhou 730020; 2 National Climate Center, Beijing 100081)

**Abstract :** The characteristics of Lanzhou urban heat island effect and the major meteorological factors resulting in the seasonal difference and the inter-decade change trend of heat island effect were analyzed by using temperature data from 1958 to 2003 of Lanzhou and two rural observation stations near Lanzhou. The results indicate that urban island heat effect in Lanzhou strengthened increasingly in the recent 40 years, and the intensity is greater in winter; as for daily variation, the heat island effect at 02:00 is most obvious, but that at 14:00 was less obvious. The winter inversion layer and the characteristics of the urban underlying surface in summer are the main factors leading to seasonal difference of heat island effect. The urban development resulted in the increasing heat island effect, and the abnormality of some meteorological factors aggravated the heat island effect in Lanzhou.

**Key words :** Lanzhou, urban heat island effect, meteorological factor, temperature variation