

山东省城市化对区域平均温度序列的影响

张爱英¹ 任国玉²

1 山东省气象中心, 济南 250031

2 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

摘要 对山东省国家基本/基准站、代表性的城市站与代表性的乡村站 1963~2002 年共 40 年的月、季、年平均温度资料进行了对比分析, 并对济南站进行了个例研究。从增温趋势看出, 城市站和国家基本/基准站比乡村站增温趋势显著。近 40 年来城市热岛效应增强因素对基本/基准站年平均温度的增温贡献率为 27.22%, 对所选城市站年平均温度的增温贡献率为 21.71%, 济南站为 23.43%。城市热岛效应增强因素对季节增暖的贡献以夏季为最大, 其次是春季和秋季, 而冬季最小。因此, 日前根据国家基本/基准站资料建立的山东或华北地区平均温度序列在一定程度上保留着城市化的影响, 有必要做进一步的检验和订正。

关键词 热岛效应 温度序列 增温率

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0754-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Urban Heat Island Effect on Change of Regional Mean Temperature over Shandong Province, China

ZHANG Ai-Ying¹ and REN GUO-Yu²

1 Shandong Meteorological Center, Jinan 250031

2 Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract Using data of monthly mean temperature from 88 stations over Shandong Province, effect of increased urban heat island magnitude on the regional annual and seasonal mean temperature series as constructed based on the national basic/reference stations and five urban stations was analyzed for period of 1963—2002. It has been found that the trends of temperature change as calculated using data from national basic/reference stations and urban stations are generally larger than that from rural stations. The rural stations consist of five “pure” countryside stations across the province. The contributions of increased urban heat island magnitude to the trends of regional mean temperature change calculated based on data from national basic/reference stations and five urban stations are estimated as being 27.22%, and 21.71% respectively. It is also interesting to note that, on the basis of national basic/reference stations records, maximum warming rate of the regional seasonal mean temperature occurred in wintertime, and maximum urban warming rate occurred in springtime, but the largest relative contribution of increased urban heat island magnitude to the regional warming rate, about 77%, was in summertime. Above all, the results indicate the essentiality to pay more attention to the effect of urban heat island magnitude change on long-term mean temperature series as constructed using the data of national basic/reference stations, at least on the regional scale in North China.

Key words heat island effect, regional mean temperature, rate of temperature change

收稿日期 2005-07-26 收到, 2005-12-05 收到修定稿

资助项目 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)

作者简介 张爱英, 女, 1974 年出生, 工程师, 主要从事气候方面的研究和业务工作。E-mail: zhangay66@sohu.com

1 引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)的第三次评估报告指出: 全球地表气温从有仪器记录以来已经显著地增加了。然而, 长期以来不断有学者对全球和区域地表平均气温序列的代表性提出质疑。在现有的温度序列中, 城市化的影响有多大? 是不是小到可以忽略的地步? 如果不是, 那么, 应该如何剔除城市化的影响? 城市及邻近区域的增温主要是由建筑物的遮蔽、地面特性改变和人为热排放等因素影响造成的, 而具有热岛效应的城市只占全球或区域面积很小的比例。城市站的增温无法代表大范围背景气温场的变化。在气候变化的检测研究中, 只有大范围背景气温场的信息才是有用的^[1]。

有许多中外学者对城市热岛效应问题进行过探讨^[2~18]。有些学者认为, 城市热岛效应对地面温度序列的影响微乎其微, 甚至小到可以忽略不计的地步; 另外有些研究者却认为, 城市化对温度序列的影响是显著的, 绝不是可以忽略的因素。目前对这个问题还存在着争议。

山东省位于华北地区的东部, 经济发展和城镇化非常迅速。根据国家基本/基准站资料分析, 山东地区在过去的 40~50 年里也经历了显著的气候变化, 地面气温明显上升, 降水量则显著减少, 气候趋向暖干化。在山东省记录的增温中, 城市化因素究竟起到多大作用? 这也是关心我国华北和山东地区气候变化的人们比较感兴趣的问题。有研究者曾就济南的气温与热岛效应的关系进行过研究^[15], 但是迄今还没有人专门分析城市化因素对区域性地面平均气温序列的影响。本文试图根据山东省不同程度城市化站点近 40 年地表气温资料, 来探讨城市化对代表性台站和区域平均气温变化趋势的影响。

2 资料

由于本文主要研究城市化对不同类型台站地面温度序列的影响, 应利用各类台站与乡村站气温记录进行对比分析, 计算相对热岛强度随时间的变化。所以问题的关键在于如何选取有代表性

的乡村站或背景站。

山东省台站较多, 各站建站时间不同, 资料序列长短不一, 究竟选取有多少年资料的站点, 也是一个值得注意的问题。当然, 对于研究气温变化趋势来说, 资料年代越长越好, 但具有较长资料记录年代的站点也比较少。因此, 考虑到资料年代的长度以及站点的个数, 本文选出了全部具有 40 年(1963~2002 年)记录的 88 个台站, 再从这些站点选出有代表性的城市站和乡村站。另外, 随着社会经济的发展和观测环境的变化, 绝大多数台站的观测点都发生过迁移。对所选的站点查了沿革表, 了解到各站迁移情况。严格地说, 为了保证序列的均一性, 应该对迁站前后的资料进行订正; 但鉴于有的站点迁站次数较多, 且迁站次数不一, 序列订正难度较大, 故本文没有做序列非均一性订正。针对中国华北等地区的分析表明, 主要由于台站迁移造成的非均一性对区域平均温度趋势有一定影响, 但这种影响不是很显著的^[17,18]。

在选择城市或乡村站时, 采用了台站所在地人口统计资料。人口数据来自国家统计局 2000 年全国人口普查资料。城市人口就是该城市所有城区街道常住人口的总和, 不包括郊区乡镇人口。县站的人口是指县城(城关镇)的人口数量, 不包括乡镇及村庄的人口。

3 研究方法

选取 1971~2000 年共 30 年作为气候参考期, 计算各站逐年的月、季、年平均气温距平值。季节采用气象季节定义, 即 1、2 月和上一年的 12 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季。这样获得了各站逐年的月、季、年平均温度距平值, 并由此计算各站月、季、年平均温度变化的线性趋势及其温度变化速率。本文侧重分析气温的变化趋势。温度变化速率表示为每 10 年温度的变化, 采用最小二乘法求得。

分析城市热岛效应对气温记录的影响, 关键在于确定有代表性的乡村站。就地表气温来看, 整个山东地区处于相似的大尺度环流或气候背景下。同一时期不同台站、特别是城市和乡村台站之间地表平均气温变化幅度或速率的差别应主要

反映台站所在地城市化或土地利用变化等局地因子影响的差异。本文采用对 88 个台站年平均气温距平做经验正交函数分解方法 (EOF) 来确定乡村站, 并根据人口数量和台站的具体位置加以限定。即认为空间函数第二特征向量指示城市热岛效应或土地利用等局地因素对温度的影响, 将年平均温度距平 EOF 第二特征向量为“负”值, 人口数量低于 3×10^5 且台站位置处于“乡村”的站点作为乡村站或背景站。同时, 将人口大于 5×10^5 的较大城市且台站位置不处于“乡村”的站点作为城市站。这样, 选择乡村站的标准比仅用 EOF 或人口数据更为合理、严格。图 1 给出了 EOF 第二特征向量分布图。低值区域主要分布在西南、西北和中东部。

按照上述标准, 分别选出有代表性的 5 个城市站和 5 个乡村站, 其中城市站有: 济南、青岛、烟台、聊城、滨州; 乡村站有: 无棣、昌乐、梁山、巨野、成武。表 1 列出了城市站、乡村站以及国家基本/基准站的具体情况 (其中基本/基准站为有 40 年连续温度序列的)。图 2 给出了城市站、乡村站以及基本/基准站的具体位置。

我们定义城市站平均温度变化速率与乡村站平均温度变化速率之差为区域热岛增温率, 热岛增温率在其总增温率中所占的百分比为热岛增温贡献率。由于目前代表性的全国或大区域平均温度序列均由国家基本/基准站资料计算得出, 本文重点分析基本/基准站的热岛增温率及其城市热岛强度变化对区域平均温度变化的相对贡献。

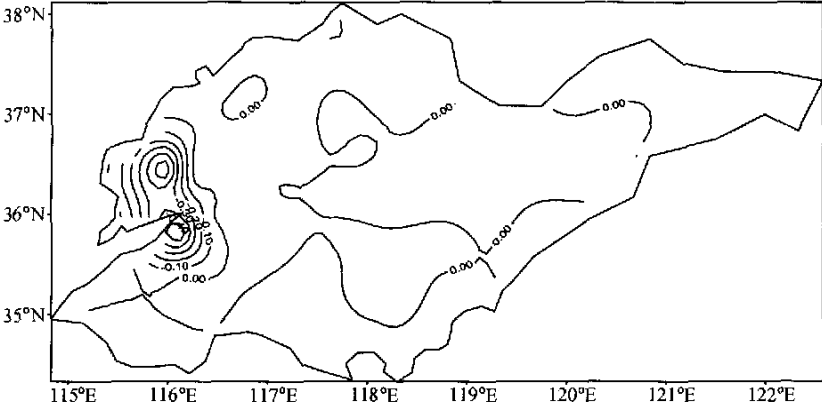


图 1 山东省年平均气温距平的 EOF 第二特征向量分布
Fig. 1 Spatial distribution of all stations used and the EOF second eigenvector of annual mean temperature anomalies in Shandong Province

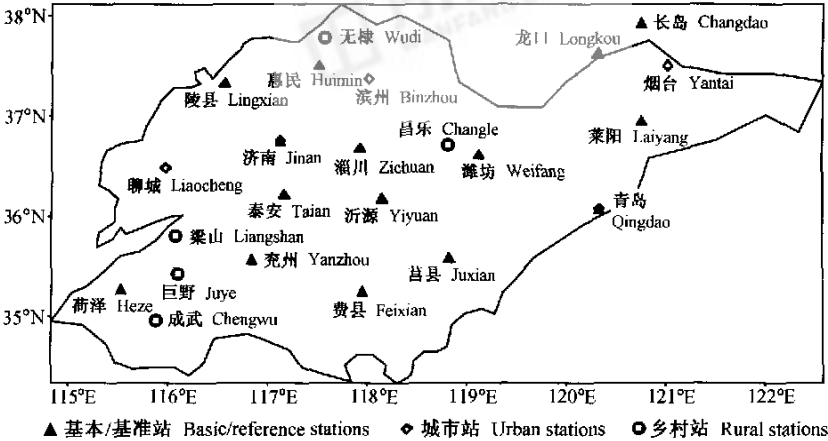


图 2 山东省城市站、乡村站以及国家基本/基准站位置
Fig. 2 Locations of stations used in the study

表 1 山东省城市站、乡村站及基本/基准站一览表
Table 1 Condition of basic/reference stations, urban stations and rural stations

	站名 Station	纬度 Latitude	经度 Longitude	第二特征向量 Second eigenvector	人口数量 (×10 ⁴) Population (×10 ⁴)
城市站 Urban stations	济南 Jinan	36°04'N	120°20'E	+	300
	青岛 Qingdao	37°33'N	121°22'E	—	138
	烟台 Yantai	36°29'N	115°58'E	+	75
	聊城 Liaocheng	37°22'N	118°01'E	—	95
	滨州 Binzhou	37°46'N	117°35'E	+	22
乡村站 Rural stations	无棣 Wudi	36°42'N	118°50'E	—	8
	昌乐 Changle	35°48'N	116°05'E	—	8
	梁山 Liangshan	35°25'N	116°06'E	—	9
	巨野 Juye	34°57'N	115°53'E	—	7
	成武 Chengwu	36°41'N	116°59'E	—	8
基本/基准站 Basic/reference sta- tions	济南 Jinan	36°04'N	120°20'E	+	300
	青岛 Qingdao	37°37'N	120°19'E	+	138
	龙口 Longkou	37°55'N	120°43'E	+	8
	长岛 Changdao	36°53'N	122°25'E	+	3
	石岛 Shidao	36°42'N	119°07'E	+	—
	潍坊 Weifang	35°16'N	115°32'E	—	23
	菏泽 Heze	37°20'N	116°34'E	+	38
	陵县 Lingxian	37°30'N	117°32'E	+	15
	惠民 Huimin	35°34'N	116°51'E	+	7
	兖州 Yanzhou	36°15'N	117°06'E	+	9
	泰安 Taian	36°41'N	117°56'E	—	46
	淄川 Zichuan	36°57'N	120°45'E	+	5
	莱阳 Laiyang	35°15'N	117°57'E	—	15
	费县 Feixian	36°11'N	118°09'E	+	11
	沂源 Yiyuan	35°35'N	118°50'E	—	11
	莒县 Juxian	36°04'N	120°20'E	+	12

4 结果及分析

图 3 为城市站 (US)、基本/基准站 (BR) 和乡村站 (RS) 的年平均气温距平值变化曲线。可见, 城市、乡村及基本/基准站的年平均气温总体变化特征非常相似。1970 年以前山东地区地面气温有一个小幅度的降温期, 1970 年以后升温趋势逐渐明显, 但明显的增温发生在 20 世纪 80 年代中期以后。城市站与基本/基准站的年平均气温趋势更为接近, 其升温趋势均比乡村站显著, 反映出城市站和国家基本/基准站的温度资料序列在一定程度上存在着城市化的影响。

图 4 表示山东省近 40 年间年平均温度变化速率等值线。各季节增温率 (图略) 的空间分布规律与年平均温度变化速率大致相同。年平均温度最显著的增暖出现在青岛、威海、烟台、东营等沿海地带及滨州、莱芜等地区, 增温速率一般在

0.35 °C/10 a 以上, 而增温最弱的台站基本都分布在鲁西地区, 增温速率多在 0.25 °C/10 a 以下, 鲁西南最低仅有 0.15 °C/10 a 左右。聊城附近分别有一个明显的低值中心和高值中心。城市站和多数国家基准/基本站受城市化影响比较明显, 而乡村站记录的增温相对较弱。由图 4 也可以看出, 本文所选取的 5 个乡村站都不在增温速率的高值中心, 其中昌乐位于一个明显的低值中心。

把所有站按年增温率做降序排列, 分别选出增温率最大和最小的 5 个站。增温率最大的 5 个站是淄博、崂山、龙口、德州、胶州; 增温率最小的 5 个站是高唐、鄄城、东明、梁山、朝城。增温率最大的 5 个站中, 有 4 个都分布在东部, 而增温率较小的 5 个站都分布在鲁西和鲁西南。这可能和东部地区经济发达、城市化明显, 而西部地区经济相对落后, 城市化过程较慢有关。

表 2 给出了 1963~2002 年山东省国家基本/基准站 (BS)、城市站 (US) 和乡村站 (RS) 平

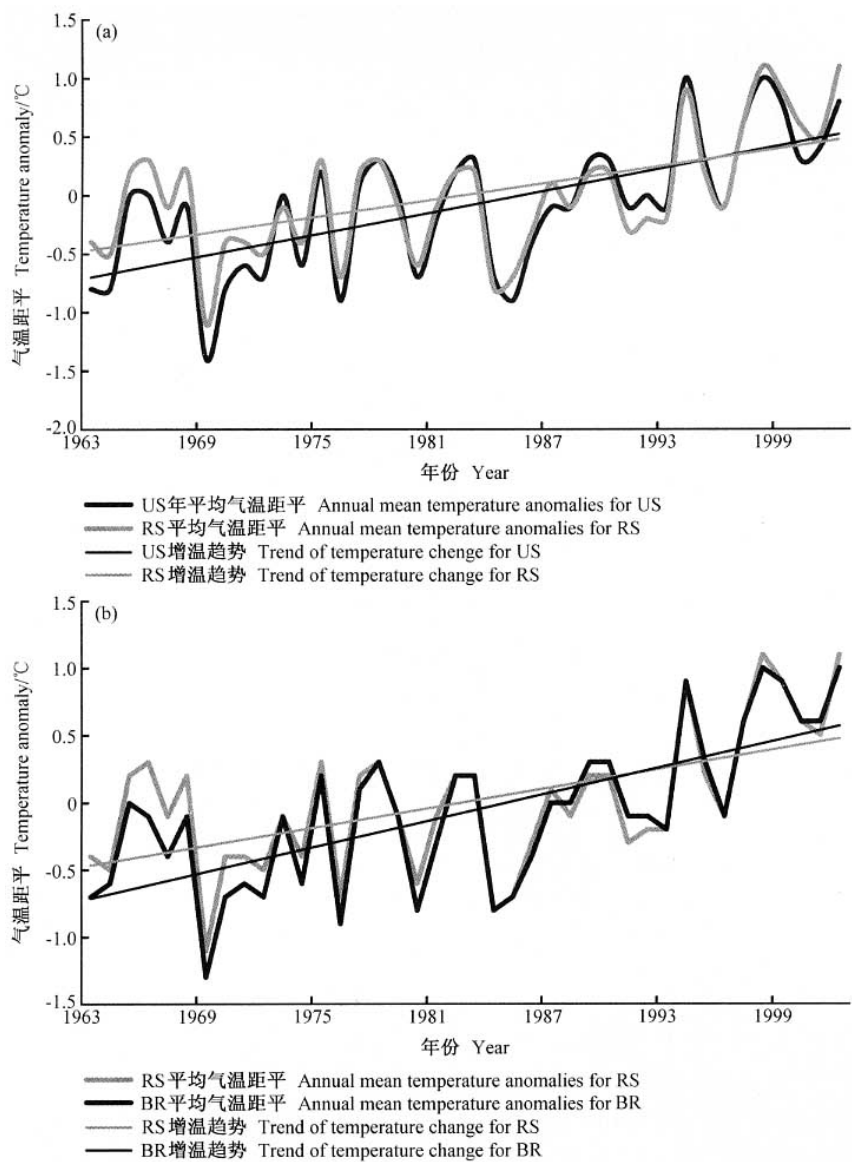


图3 (a) 城市站 (US)、乡村站 (RS) 年平均气温距平和 (b) 基本/基准站 (BR)、乡村站 (RS) 年平均气温距平
Fig. 3 Annual mean temperature anomalies for (a) urban stations and rural stations and (b) basic/reference stations and rural stations (1963—2002)

表2 1963~2002 年山东省基本/基准站 (BS)、城市站 (US) 和乡村站 (RS) 平均增温速率
Table 2 Averaged rates of temperature change for basic/reference stations (BS), urban stations (US) and rural stations (RS) (1963—2002)

	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	年 Annual
BS	0.363	0.127	0.173	0.649	0.327
US	0.346	0.113	0.125	0.632	0.304
RS	0.205	0.029	0.103	0.618	0.238

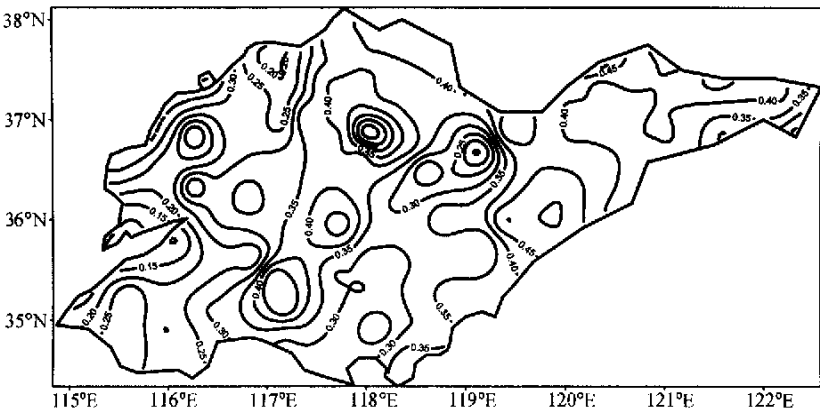


图 4 山东省 1963~2002 年间年平均温度变化速率 (单位:℃/10 a)
Fig. 4 Spatial distribution of rates of annual mean temperature over Shandong Province (1963—2002) (units: °C/10 a)

表 3 1963~2002 年山东省基本/基准站 (BS)、城市站 (US) 热岛增温率及热岛增温贡献率
Table 3 Averaged rates of urban heat island warming for basic/reference stations (BS) and urban stations (US), and the contributions to the total amounts of temperature change (1963—2002)

	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	年 Annual
BS 站平均热岛增温率 Averaged rates of urban heat island warming for BS/ (°C/10 a)	0.158	0.098	0.070	0.031	0.089
US 站平均热岛增温率 Averaged rates of urban heat island warming for US/ (°C/10 a)	0.141	0.084	0.022	0.014	0.066
BS 站热岛增温贡献率 Contribution of urban heat island warming for BS to total amounts of temperature change/%	43.53	77.17	40.46	4.78	27.22
US 站热岛增温贡献率 Contribution of urban heat island warming for US to total amounts of temperature change/%	40.75	74.34	17.60	2.22	21.71

均的四季和年增温速率。可见，无论四季或全年，平均增温速率 BS 站和 US 站均比 RS 站高。基准/基本站与城市站年平均增温速率分别为 0.327℃/10 a 和 0.304℃/10 a，而乡村站为 0.238℃/10 a。所有类型台站冬季增温率最高，春季次之；夏季增温率最低，秋季次之。

表 3 列出了 1963~2002 年山东省国家基本/基准站 (BS)、城市站 (US) 热岛增温率及热岛增温贡献率。1963~2002 年期间，BS 站年平均热岛增温率为 0.089℃/10 a，即在所分析的时期内，BS 站的气温增暖中约有 27.22% 是由城市化影响引起的。从季节分布上看，城市热岛效应增强对 BS 站夏季平均气温增暖的相对影响最大，约有 77.17% 由城市化影响所致。城市化对 BS 站增暖的相对影响以冬季为最小，热岛增温贡献率仅为

4.78%。US 站的热岛增温率在各季节都略低于 BS 站，但季节变化趋势的差异是相似的，即热岛增温贡献率都是夏季最大，冬季最小。这可能是因为冬季和春季背景增温更多，热岛贡献相对小；夏季相反，可能是背景增温比较不明显的缘故，也与夏季空调的大量使用有着或多或少的联系。US 站的年平均气温增暖中约有 21.71% 是由城市化影响所致。

为了进一步了解基准/基本站中代表性城市站气温记录中热岛效应增强因素的影响，本文选择省会济南及其周围代表性乡村站进行对比分析。作为和济南站对比的乡村站有附近的济阳、禹城和商河，它们均位于济南的郊区或附近乡村，具有一定的代表性。图 5 为济南及其乡村站平均的年气温距平变化曲线。可以看出，在这 40 年中，

济南站及其乡村站平均的年平均气温距平变化趋势也基本相同,都存在显著增温趋势,但济南站比乡村站平均增温趋势显著的特点同样很明显。1963~2002 年期间,济南年平均气温增加速率为 0.303 °C/10 a,乡村站平均增温速率为 0.232 °C/10 a (表 4)。因此,济南站记录到的热岛增温率为 0.071 °C/10 a,在近 40 年内年平均气温的增暖约有 23.43%是由城市化影响引起的。这和国家基准/基本站平均情况非常接近。从季节来看,热岛增温贡献率也是冬季最小,为 0.75%,而夏季的增暖全部为城市化作用所为,因为夏季背景气候变化存在很小的变凉趋势。冬季城市热岛效应增强因素对增温的影响并不大,其主要贡献因子可

能是大尺度环流作用或增强的温室效应影响,或二者的共同作用。

5 结论与讨论

本文通过对 1963~2002 年山东省城市站、国家基本/基准站与城市化影响微弱的乡村站气温记录进行对比分析,发现前者均在一定程度上存在着城市化影响的印记。就国家基本/基准站的平均来说,近 40 年来由于热岛效应加强因素引起的增温在春季最大,为 0.158 °C/10 a,秋季最小为 0.031 °C/10 a,全年为 0.089 °C/10 a;城市热岛增强因素对基本站/基准站平均温度增暖的贡献最

表 4 1963~2002 年济南及其乡村站平均增温速率、热岛增温率及贡献率
Table 4 Averaged rates of temperature change for Jinan Station and the rural stations, and the contributions to the total warming for Jinan Station (1963—2002)

	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	年 Annual
济南增温率 Averaged rates of temperature change for Jinan Station/ (°C/10 a)	0.331	0.086	0.130	0.663	0.303
乡村站平均增温率 Averaged rates of temperature change for rural stations/ (°C/10 a)	0.216	—0.001	0.063	0.658	0.232
热岛增温率 Urban heat island warming rates/ (°C/10 a)	0.115	0.087	0.067	0.005	0.071
热岛增温贡献率 Contributions of urban heat island warming to total temperature change/%	34.74	100.00	51.28	0.75	23.43

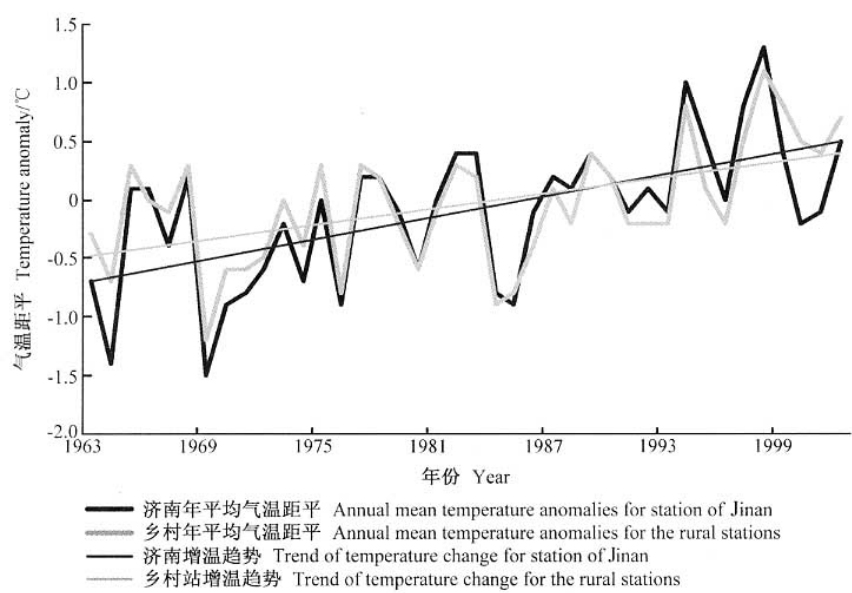


图 5 1963~2002 年济南及郊区年平均气温距平
Fig. 5 Annual mean temperature anomalies for station of Jinan City, the capital of Shandong Province and for three rural stations around the city (1963—2002)

少发生于冬季, 在 5% 左右; 最大出现在夏季, 可达到 77.17%; 年平均贡献率为 27.22%。此外, 所选的城市站及省会城市济南站温度变化记录中热岛增温的贡献同样明显, 5 个城市站年平均气温增暖约有 21.71% 是由城市化本身引起的, 济南站近 40 年的年平均气温增暖中约有 23.43% 是由城市化影响造成的。因此, 在山东地区城市化对地表气温的影响是比较明显的。

国家基本/基准站地面记录是研究全国和区域平均地面气温变化趋势的基础资料, 也是我国气候变化检测和原因识别研究的基础。本文分析表明, 至少在山东地区, 这些台站的气温记录已经明显受到城市化的影响, 必须引起足够的重视, 在今后的研究中给予充分的考虑。

当然, 准确地估计城市化对基本/基准站温度趋势影响的程度仍有一定困难。这主要是由于城市站特别是乡村站的选择标准还很难确定。本文以人口大于 5×10^5 且观测点位置不在乡村 (即位于城区或郊区) 的站点作为城市站, 但实际上大多数台站位置不在城市正中心, 因此它们并非真正意义上的城市站。这可能是城市站平均热岛增温贡献率反而比国家基准、基本站还略小的主要原因; 另一方面, 本文所选的乡村站实际上也并非位于真正的乡村, 因为即使一般气象站也多设在城镇, 加之山东省人口众多, 城镇发展迅速, 本文所选的乡村站仍不可避免地受到城镇化的影响。从这个意义上说, 上述计算得到的城市化对基本/基准站和城市站气温记录的影响应该是最低估计值。

致谢 感谢李长军、初子莹和郭军提供了帮助。第一作者还感谢中国气象局气候研究开放实验室在她做访问学者时所提供的良好研究条件。

参考文献

- [1] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题. 气象, 2003, 29 (8): 3~6
Ren Guoyu. An overview on studies of surface air temperature change. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2003, 29 (8): 3~6
- [2] Hansen J R, Lebedeff S. Global trends of measured surface temperature. *Geophysical Research*, 1987, 92 (13): 345~372
- [3] Karl T R, Diaz H F, Kukla G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. *J. Climate*, 1988, 1: 1099~1123
- [4] Karl T R, Jones P D. Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1989, 70: 265~270
- [5] Balling R C, Idso S B. Historical temperature trends in the United States and the effect of urban population growth. *J. Geophys. Res.*, 1989, 94: 3359~3363
- [6] Wang W C, Zeng Z, Karl T R. Urban heat islands in China. *Gophys. Res. Lett.*, 1990, 7: 2377~2380
- [7] Goodridge J D. Urban bias influences on long-term California air temperature trends. *Atmos. Environ.*, 1992, 26B (1): 1~7
- [8] Hughes W E, Balling R C. Urban influences on South African temperature trends. *Climatology*, 1996, 16: 935~940
- [9] 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 Zongci. 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
- [10] 朱瑞兆, 吴虹. 中国城市热岛效应的研究及其对气候序列影响评估. 见: 陈隆勋等主编, 变化规律及其数值模拟研究论文集. 北京: 气象出版社, 1995
Zhu Ruizhao, Wu Hong. Study on urbanization in China and its influences on the temperature data series. In: *Collection of Research Per on Climate Change and the Simulations* (in Chinese), Chen Longxun, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1995. 21~132
- [11] 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
Chen Shenbin, Pan Liqing. Effects of urbanization on the annual mean temperature of Beijing. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1997, 52 (1): 7~36
- [12] 白虎志, 张焕儒, 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
Bai Huzhi, Zhang Huanru, Zhang Chunjie. The influences of lanzhou urban development on local climate. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1997, 16 (4): 410~416
- [13] 张一平, 彭贵芬, 李玉麟. 低纬高原城市昆明的气候特征. 高原气象, 1997, 16 (3): 319~325
Zhang Yiping, Peng Guifen, Li Yulin. The characteristic of urban climate of Kunming city in low latitude plateau area. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1997, 16 (3): 319~325
- [14] 张一平, 何云玲, 马友鑫. 昆明城市热岛效应立体分布特征. 高原气象, 2002, 21 (6): 604~609
Zhang Yiping, He Yunling, Ma Youxin. Characteristics of

- vertical distribution of urban heatisland effect in Kunming city. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (6): 604~609
- [15] 薛德强. 济南的城市发展对气候的影响, *气象*, 1996, (2): 3~7
Xue Deqiang. Effects of development of Jinan city on climate. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1996, (2): 3~7
- [16] 张一平, 李佑荣. 城市化对北京室内外气温影响的研究, *气候与环境研究*, 2002, **7** (3): 345~350
Zhang Yiping, Li Yourong. A study about urbanization effect on the indoor and outdoor air temperature of Beijing city. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (3): 345~350
- [17] 余建明. 慈溪市气象站迁站前后气温资料序列的均一性检验. *浙江气象*, 1999, **20** (1): 54~55
Yu Jianming. Detection of homogeneity of temperature data series before and after relocation of Cixi station. *Journal of Zhejiang Meteorology* (in Chinese), 1999, **20** (1): 54~55
- [18] 周雅清, 任国玉. 华北地区热岛效应对区域平均气温序列的影响. *气候与环境研究*, 2005, **10** (4): 743~753
Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Identifying and correcting urban bias for regional surface air temperature series of North China over period of 1961—2000. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (4): 743~753