

河北省城市热岛强度变化对区域 地表平均气温序列的影响

刘学锋¹ 于长文¹ 任国玉²

1 河北省气候中心, 石家庄 050021

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 按照大中城市站、城市站、国家基本/基准站与乡村站等类别, 对河北省区域内 55 个气象站 1961~2003 年和 1981~2003 年时段月、季、年平均气温变化进行了对比分析。结果表明: 近 40 年来, 大中城市增温趋势最为显著, 城市站、国家基本/基准站增温趋势较强, 乡村站增温趋势最小, 季节中以冬季增温为最大; 城市热岛效应增强因素对大中城市站、城市站、国家基本/基准站年平均温度增加的份额分别占到 44.7%、38.7%、39.7%。城市热岛效应增强因素对季节增暖的作用在夏秋季较大, 冬季最小; 近 20 年来各类台站增温趋势更加明显, 但热岛增温效应对平均温度序列增温的相对贡献却在降低, 说明近 20 年的迅速增温可能是由于大气环流和增强的温室效应引起的; 近 20 年全省各类台站由于城市热岛效应引起的增温与 1961~2003 年整个时段相比表现不一, 部分站城市热岛增温效应绝对量趋于增强, 部分站城市热岛增温效应趋于弱化或消失。因此, 城市热岛增温效应对台站和区域平均温度序列的影响比较复杂, 它受到人口增长、城市化进程、乡村台站环境变化等多种因素的影响。

关键词 热岛效应 气温序列 增温率

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0763-08 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Change in Urban Heat Island Magnitude and Its Effect on Surface Mean Air Temperature Record in Hebei Province, China

LIU Xue-Feng¹, YU Chang-Wen¹, and REN Guo-Yu²

1 Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050021

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

Abstract According to the different stations including large and medium urban stations, urban, national basic/reference and rural stations, mean air temperature of month, season and year were analyzed for 55 stations between the periods 1961—2003 and 1981—2003 in Hebei Province. The results show that the warming trend for large and medium stations was the most remarkable in the last 40 years, and for urban, national basic/reference stations was obvious, while for rural stations was the least, and maximum warming rate was occurred in winter. Contribution of urban heat island effect to the regional annual mean air temperature increasing were 44.7%, 38.7% and 39.7% for large and medium urban stations, urban, national basic/reference stations respectively. And the contribution of urban island heat effect to seasonal warming was big in summer and autumn, but small in winter. Although the warming trends was more evident for all stations in the last 20 years, the relative contribution of heat island warming effect to mean air temperature

收稿日期 2005-07-26 收到, 2005-12-02 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 刘学锋, 男, 1963 年出生, 高级工程师, 从事气候变化、沙尘天气研究。E-mail: lxfhbqhxz@sina.com

sets was reduce, which shows that the rapid warming record in the last 20 years might have been caused by changed atmospheric circulation and enhanced greenhouse effect. And air temperature increasing caused by urban heat effect has a contrast between the last 20 years and all the years (1961—2003) for all stations, the absolute value of warming effect tends to rise for some stations, and also tends to weaken for another stations. Therefore, it was very complicated for the urban heat is land effect to stations and regional mean air temperature set, and it was affected by many factors such as population growth, urbanization and environmental change of stations.

Key words urban heat island effect, air temperature sets, warming rate of temperature

1 引言

在研究人类活动对气候变化的影响中,所面临的一个重要问题就是如何区分气候变化中的自然变化和人类活动的作用。在诸多的人类活动中,城市热岛效应对地面气温序列的影响成为气候变化研究中的一个新热点。城市热岛在站点和区域气温增暖记录中究竟占多大的份额?在现有的温度序列中,是不是小到可以忽略的地步?如果不是,那么,应该如何剔除城市热岛增温的影响?这些问题亟待解决。

许多中外学者对城市热岛效应进行过探讨^[1~16],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;有些研究者却认为,城市热岛对温度序列的影响是显著的,绝不是可以忽略的因素。可见,在现有的全球和区域平均温度序列中城市热岛效应的影响问题并未解决。我国学者已经利用不同的资料集建立了近 50 年到上百年的全国平均气温序列^[13~19]。这些资料几乎均来自国家基准和基本台站的记录。为了有效检测气候变化并正确认识气候变化的原因,首先需要确认城市热岛对这些台站地表气温记录影响的性质和程度。

本文根据河北省不同类型台站(大中城市站(LMS)、城市站(US)、国家基本/基准站(BS)和乡村站(RS))40 余年地表气温资料,分析了由其统计获得的区域平均增温速率的差异,并分析了各类区域平均温度变化序列中热岛强度引起的温度变化趋势及其对总增温的贡献。

2 资料及质量控制

本文选用河北省地区 74 个气象台站的地表平均气温资料作为基础资料。应用 2000 年全国人口

普查资料、各站迁址的具体情况以及应用经验正交函数分解方法(EOF)等判别标准做为参考,分别选取了大中城市站、城市站、国家基本/基准站、乡村站点共 4 种类型台站,由于前 3 种类型台站相互之间有交叉,实际共选取 55 个台站(图 1)。另外,为了考虑空间分布的连续性,将北京地区 5 个站点和天津地区 4 个站点作为参考,在分析空间分布时一并考虑。

本文所选的 55 个台站的资料序列,都具有 40 年以上的记录(1961~2003 年)。个别台站中缺测年份和季节的记录进行了插补。大多数台站的观

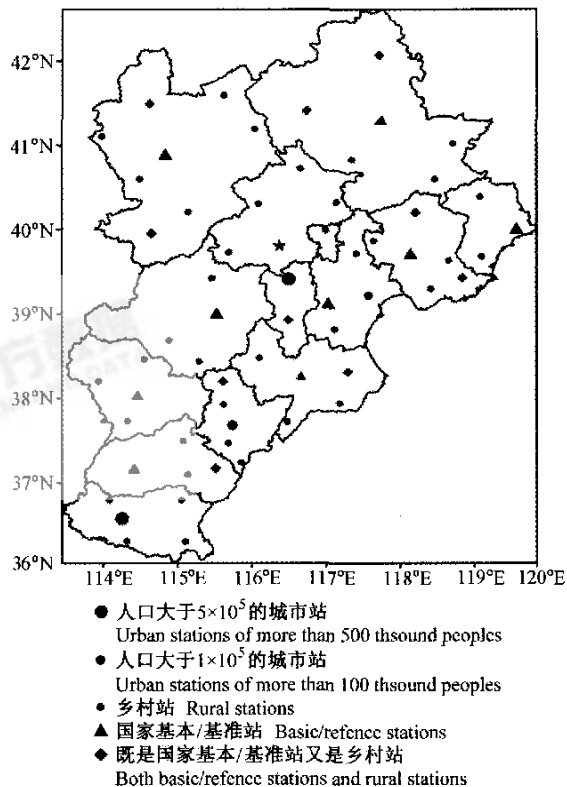


图 1 河北省区域(包括京津地区)所选站点分布

Fig. 1 Location selected of stations in the region of Hebei Province (include Beijing and Tianjin city)

测点都发生过迁移。所选取 55 个台站中没有迁站经历的占 30.9%，有 1 次迁站经历的 16.4%，2 次迁站经历 25.5%，3 次及以上迁站经历的占 27.3%。迁站造成了气温序列的非均一性，需要加以订正。

为了确定台站气温序列是否均一，应用距平累加法、连续 t 检验方法^[20]对各站资料进行了检验。具体做法是将被选取的 55 个站点作为被检验台站，根据距离较近、地理环境条件相似、具有较长的平行资料序列且相关系数较高等原则，确定某一行政区域内或相邻行政区域的站点确定互为被检验站和参考站，同时遵循不少于 3 个站作为参考站序列的原则。采用与被检验站同一时期若干参考站资料的算术平均值作为参考序列，资料年代为 1961~2003 年，气温序列为春、夏、秋、冬季和年平均气温。

通过应用距平累加法、连续 t 检验方法对资料序列进行检验，检验出各站资料序列的断点。利用最近收集整理的台站历史沿革数据，进一步检验这些断点是否为人为因素造成。如果可能不连续点附近存在明显的站址迁移、仪器换型、观测方法的改变以及统计方法的改变等记录，那么该不连续点被认为是不合理的，并做订正；而如果可能不连续点附近年份未能从历史沿革数据中得到合理的解释，就暂时不考虑去做订正。根据上述原则，从中找出与上述原则相符的 11 个断点，具体见表 1。根据被检验出断点的情况，利用被检验站与参考站序列差值的平均值序列，去订正。

表 1 被检验站间断年份的统计

Table 1 The statistics of interrupted year under the tested stations

被检验站 Tested stations	断点 Interrupted year	台站迁移时间 Moved time of stations
大名 Daming	1999	2000-01
宁晋 Ninjin	1982	1983-08
河间 Hejian	1992	1992-10
三河 Sanhe	1971	1971-11
滦县 Luanxian	1987	1988-02
迁安 Qianan	1971	1971-11
秦皇岛 Qinhuangdao	1998	1999-01
昌黎 Changli	1964	1965-07
承德 Chengde	1999	2000-01
沽源 Guyuan	1998	1997-01
蔚县 Yuxian	1969	1967-01

正间断年份之后被检验站的具体数值，从而将各站点的整个平均气温序列订正为均一性气温序列。因此，本文所应用的平均气温资料时间序列是相对均一的。

3 研究方法

本文选取 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、年平均气温距平值，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。线性趋势采用最小二乘法进行估计，温度变化速率表示为每 10 年的温度变化。

分析城市热岛效应增强对气温序列的影响，关键在于确定有代表性的乡村站，以及怎样定义台站所在地的热岛强度^[21]，如何确定热岛强度变化所造成的增温幅度与速率。本文在确定大中城市站、城市站、国家站、乡村台站时，主要以 2000 年国家第 5 次人口普查资料和台站具体位置为主要依据，以经验正交函数分解空间函数第二特征向量为参考，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对局地温度的影响。并将年和季节平均温度 EOF 第二特征向量为负值的站作为“乡村”站^[22,23]。把台站所在居民点内固定人口 5×10^5 以上的作为大中城市站，人口 10^5 以上的地级市作为城市站，人口 10^5 以下的作为乡村站。空间函数第二特征向量为负值的做为选择乡村站的参考。在选择乡村台站时也考虑迁站次数要尽可能少。最终选取了 7 个大中城市站、11 个城市站（包括大中城市站）、20 个国家基准/基本站、32 个乡村站（图 1），做为分析研究对象。

我们定义各类台站平均温度变化速率与乡村站平均温度变化速率之差为其区域热岛增温率。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^[22]。计算了不同类型台站平均的 1961~2000 年和 1981~2003 年时期平均热岛增温率和平均热岛增温贡献率。

4 结果及其分析

4.1 不同类型台站年、季增温率分析

图 2、3、4 是河北省大中城市站、城市站、国家基准/基本站与乡村站对比的年平均气温距平值变化曲线。可以看出,大中城市站、城市站、基准/基本站与乡村站的气温距平变化趋势是一致的,都呈现由降温到增温的变化过程,其中 1969 年是拐点,在此之前呈现降温趋势,而在此之后总体上呈增温趋势。但各类站点 1961~2003 年增温率却不尽相同,其中大中城市站年平均增温率最高,为 $0.387\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;基准/基本站、城市站年增温率相当,分别为 $0.355\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.349\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;乡村站的年增温率最小,为 $0.215\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

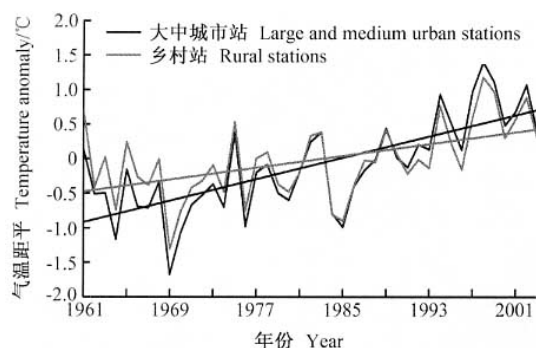


图 2 1961~2003 年期间河北省地区大中城市站、乡村站平均的年平均气温距平

Fig. 2 Annual mean air temperature anomalies for large and medium urban stations (LMS), rural stations (RS) over Hebei Province (1961—2003)

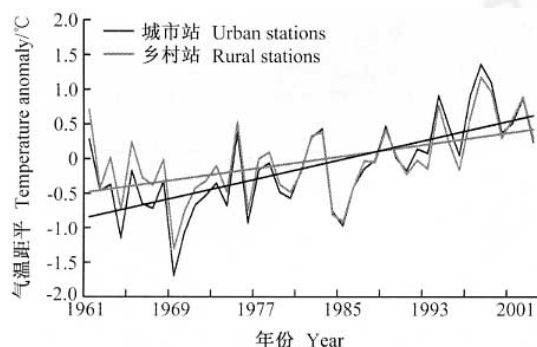


图 3 1961~2003 年期间河北省地区城市站、乡村站平均的年平均气温距平

Fig. 3 Annual mean air temperature anomalies for urban stations (US), rural stations (RS) over Hebei Province (1961—2003)

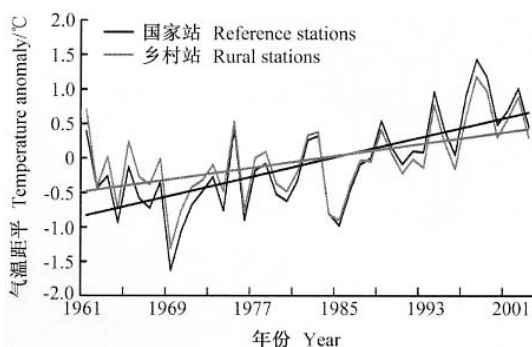


图 4 1961~2003 年期间河北省地区国家站、乡村站平均的年平均气温距平

Fig. 4 Annual mean air temperature anomalies for basic/reference stations (US), rural stations (RS) over Hebei Province (1961—2003)

从大中城市站、城市站、基准/基本站和乡村站各季节变化看,不论在 1961~2003 年还是 1981~2003 年时期,冬季的增温率都是最高的,春季次之,1961~2003 年时期夏季增温率最小,而 1981~2003 年时期秋季增温率最小(表 2)。在增温迅速的近 20 多年,各季和年的增温率都有显著提高,尤以冬季增温率增加最为显著,但同期的夏季增温率也有了显著提高,仅次于冬季,秋季的增温率最弱。这说明 20 世纪 80 年代以后,夏季增温率的增加相对春秋季要大一些。

由表 2 还可看出,1961~2003 年和 1981~2003 年两段时期河北省大中城市站、城市站、基准/基本站和乡村站的增温速率明显不同。在两段时期内,除大中城市站、城市站、基准/基本站冬季的增温速率数值相当外,其余各季及年增温率大中城市站都高于城市站、基准/基本站和乡村站;乡村站的年和季增温率都低于大中城市站、城市站和基准/基本站;而基准/基本站与城市站各季增温率两者之间比较差异不大,自 1981 年以来所有类别台站的所有季节和年的增温率均比 1961~2003 年时期要高,冬季尤为明显。

从 1961~2003 年和 1981~2003 年不同时段城市站与乡村站温度变化速率的空间分布(图 5)看,1961~2003 年阶段,除承德市以外,其他城市的增温速率一般高于乡村台站,城市存在着增温率高值中心,但各站数值较 1981~2003 年时段相应偏小;1981~2003 年时段气温增温率在空间分布型式上发生一定变化。石家庄市增温率等值

表 2 大中城市站、城市站、基准/基本站和乡村站平均增温速率

Table 2 Averaged rates of air temperature change for large-middle urban station (LMS), urban stations (US), basic/reference stations (BS), and rural stations (RS)

			℃/10 a				
			冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	年 Year
1961~2003	大中城市站	LMS	0.694	0.409	0.196	0.246	0.387
	城市站	US	0.664	0.361	0.169	0.203	0.349
	国家站	BS	0.665	0.370	0.193	0.193	0.355
	乡村站	RS	0.517	0.211	0.062	0.077	0.215
1981~2003	大中城市站	LMS	1.088	0.655	0.553	0.355	0.650
	城市站	US	1.044	0.565	0.475	0.290	0.585
	国家站	BS	1.118	0.579	0.470	0.334	0.620
	乡村站	RS	0.988	0.474	0.381	0.223	0.522

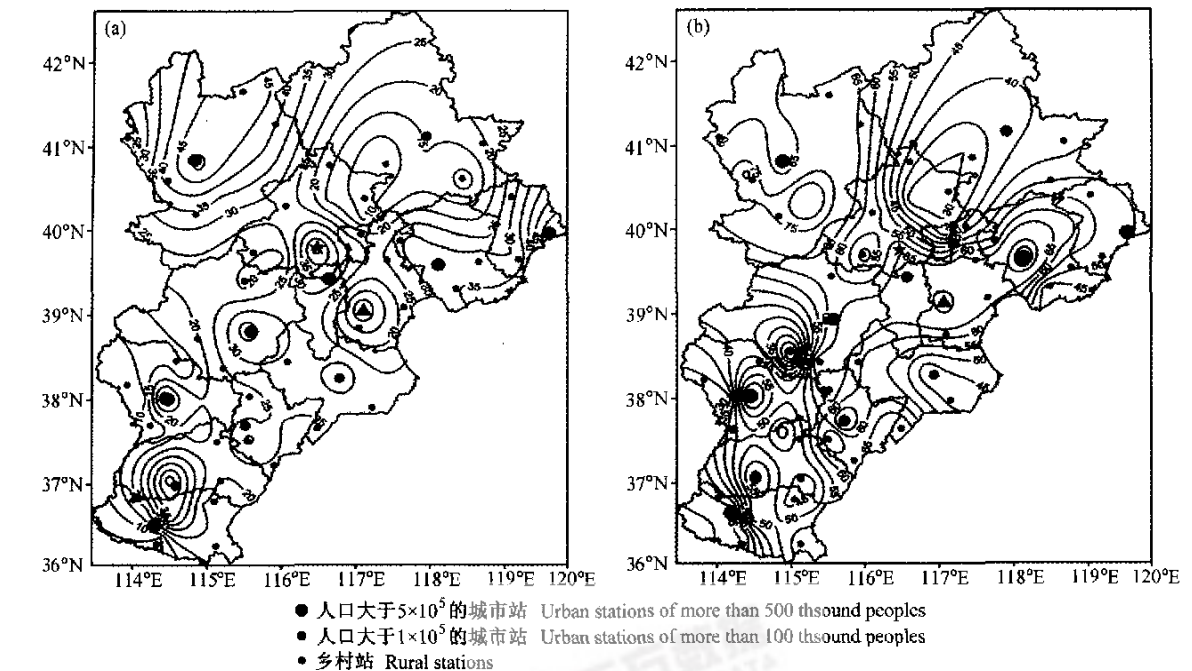


图 5 河北省区域城市、乡村站年平均温度变化速率空间分布 (单位: $10^{-2}/10\text{ a}$)。 (a) 1961~2003 年; (b) 1981~2003 年
Fig. 5 Spatial distribution of rates of annual mean air temperature change for urban stations (US), rural stations (RS) over Hebei Province (units; $10^{-2}/10\text{ a}$) . (a) 1961—2003; (b) 1981—2003

线较 1961~2003 年整个时段更为密集,唐山市和廊坊市以及北京市、天津市连成了一个较大区域的高值中心,其等值线也较 1961~2003 年整个时段更为密集,说明这些城市自 20 世纪 80 年代以后热岛增温进一步增强;而有些城市的增温速率等值线却变得相对稀疏,如邢台市、保定市,热岛增温效应在弱化;有些城市区域的增温速率高值中心不复存在,甚至变为负中心,说明这一时期部分区域的“乡村站”增温率高于城市站,承德市在两个不同时段其增温率都不存在高值中心,

即不存在热岛效应增温现象,这除了承德市是旅游胜地,其城市化进程受到一定程度控制外,还与承德气象观测站的具体位置有关系。它坐落在半山坡上,明显比市区要高,同时又在市区西北侧的上风方向,在很大程度上不受城市热岛效应增强因素的影响。

4.2 热岛增温率和热岛增温贡献率

从各类型台站热岛增温率和热岛增温贡献率来看(见表 3),1961~2003 年期间,从总体上看同类型台站各个季节间的差别比较小,这在基准/

表 3 1961~2003 和 1981~2003 年期间河北省区域大中城市站、城市站、国家站和乡村站热岛增温率 (单位:℃/10 a) 及热岛增温贡献率 (单位:%)

Table 3 Averaged rates of urban heat island warming (units:℃/10 a) for large and medium urban stations (LMS), urban stations (US) and basic/reference stations (BS), and the contributions to the total amounts of temperature change (units:%) (1961—2003, 1981—2003)

		冬 Winter	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	年 Year
1961~2003	大中城市站热岛增温率	0.177	0.198	0.134	0.169	0.173
	Averaged rates of urban heat island warming for LMS					
	城市站热岛增温率	0.147	0.150	0.107	0.126	0.135
	Averaged rates of urban heat island warming for US					
	国家站热岛增温率	0.148	0.159	0.131	0.116	0.141
	Averaged rates of urban heat island warming for BS					
	大中城市热岛增温贡献率	25.5	48.4	68.4	68.7	44.7
	The contributions rates of heat island warming for LMS					
1981~2003	城市站热岛增温贡献率	22.1	41.6	63.3	62.1	38.7
	The contributions rates of heat island warming for US					
	国家站热岛增温贡献率	22.2	42.9	67.9	60.1	39.7
	The contributions rates of heat island warming for BS					
	大中城市站热岛增温率	0.100	0.181	0.172	0.132	0.128
	Averaged rates of urban heat island warming for LMS					
	城市站热岛增温率	0.056	0.091	0.094	0.067	0.063
	Averaged rates of urban heat island warming for US					
	国家站热岛增温率	0.105	0.105	0.089	0.111	0.098
	Averaged rates of urban heat island warming for BS					
	大中城市热岛增温贡献率	9.2	27.6	31.1	37.1	19.7
	The contributions rates of heat island warming for LMS					
	城市站热岛增温贡献率	5.4	19.7	23.1	30.3	10.8
	The contributions rates of heat island warming for US					
	国家站热岛增温贡献率	11.6	18.1	18.9	33.2	15.8
	The contributions rates of heat island warming for BS					

基本站和城市站中表现较为明显。这表明,热岛效应加强因素引起的长期增温在各个季节和全年都起作用。大中城市 1981~2003 年时段夏季热岛增温率较 1961~2003 年整个时段有所增大。其余各类站点 1981~2003 年时段各季节和全年的热岛增温率较 1961~2003 年时段都有不同程度的降低,各类台站平均的热岛增温效应似在弱化。但一些城市的情况却不尽然,例如石家庄、唐山、廊坊三市的年平均热岛增温率 1981~2003 年时段分别为 0.414、0.282、0.279℃/10 a,均比 1961~2003 年时段为高。分析三市热岛增温速率持续增大的原因,人口数量的快速增长可能是其主要原因之一。查阅河北省 1964 年人口普查资料发现,1964 年人口普查时,唐山、石家庄市人口居河北省第一、二位,分别为 64.8979×10^4 和 43.9785×10^4 ,河北省境内只有唐山市人口超过了 5×10^5 。而到了 2000 年人口普查时,所有城市人口都呈增加趋势,11 个城市中超过 5×10^5 人口的城市已达 7 个,超过 1×10^6 人口的城市只有唐山和石家庄,从人口数量增加程度来看,增加

最多的是唐山和石家庄市,比 1964 年分别增加了 79.8907×10^4 、 75.1446×10^4 人,而其余城市人口增长均在 5×10^5 以下。因此,唐山、石家庄市人口快速增长导致城市建城区面积的扩大,城市化进程的加快致使热岛增温率持续增高。廊坊由于在京津包围之中,京津人口数量增加趋势明显,从而对廊坊市的热岛增温速率有明显影响;针对其他城市由于人口基数小,人口增长数量在 5×10^5 以下,城市规模发展相对缓慢一些,其热岛增温率增加相对小一些。另外,近年一些乡镇的城镇化速度也在提高,作为“乡村站”的观测环境也在发生变化,从而造成城市站热岛增温率数值相对下降。这说明,背景站或乡村站的选择还是目前研究中的大问题。本文给出的各类城市和基准/基本站热岛增温率和热岛增温贡献率可能是最低估计值。

从热岛增温贡献率看,1961~2003 年整个时段的热岛增温对大气增温的影响相对较大,在各种类型台站的年增温变化中,40%左右是由热岛增温效应造成的;而在各种类型台站的各季增温

中, 热岛增温的贡献却不尽一致, 在 22%~69% 范围内波动, 以冬季最小, 夏秋季较大。

1981~2003 年时段的热岛增温贡献率, 无论是各类站点还是各个季节及年值都明显比 1961~2003 年整个时段要小, 各季热岛增温贡献与 1961~2003 年整个时段相类似, 以冬季最小, 秋季最大, 范围在 5%~37% 之间。从年值来看, 1961~2003 整个时段内大中城市站、城市站、基准/基本站的热岛增温贡献率分别为 44.7%、38.7%、39.7%, 而 1981~2003 年时段的热岛增温贡献率却分别为 19.7%、10.8%、15.8%, 减少了一半还多。这说明近 20 多年的增温主要是由于大尺度环流作用或增强的温室效应影响, 或二者的迭加作用, 热岛效应对增温的贡献相对减小。

5 讨论与结论

1961~2003 年期间河北省的绝大多数台站表现出明显的气候变暖趋势, 冬季气温变暖趋势尤其明显; 大中城市站、城市站、基准/基本站增温速率较乡村站明显偏高, 表现出不同程度的热岛增温现象, 其中大中城市的热岛增温率和热岛增温贡献率最高, 城市站和基准/基本站的热岛增温率、热岛增温贡献率大体相当。在河北省的平均温度序列构建过程中, 资料的来源一般来自国家基准/基本站站, 这些台站大部分已受到城市热岛强度变化的影响。

1981~2003 年期间河北省变暖趋势更加明显, 各类站点增温速率较 1961~2003 年期间明显增大。但此期间各类站点的年平均热岛增温速率一般却比 1961~2003 年期间要小。与近 40 年相比, 近 20 年城市热岛增温贡献率减少了一半多, 这说明 20 世纪 80 年代以来的增温可能主要是由于大尺度环流作用或增强的温室效应影响, 或二者的迭加作用, 热岛效应对增温的贡献相对减小。

近 20 年全省各类台站由于城市热岛效应引起的增温与 1961~2003 年整个时段相比表现不一, 部分站城市热岛增温效应绝对量趋于增强, 如石家庄、唐山和廊坊; 部分站城市热岛增温效应趋于弱化或消失, 如河北省的其他一些城市。究其原因, 可能与城市的人口基数和增长程度, 城市的规模大小以及发展程度有关系, 同时与“乡村

站”的选取和周围环境变化也有一定关系。因此, 城市热岛增温效应对台站和区域平均温度序列的影响比较复杂, 它受到人口增长、城市化进程、乡村台站环境变化等多种因素的影响。如何量化地研究它们之间的相互关系, 是我们今后有待于进一步研究的问题。

参考文献

- [1] Hansen J R, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature. *J. Geophys. Res.*, 1987, **92** (13): 13345~13372
- [2] 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
- [3] Karl T R, Jones P D. Urban bias in area-averaged surface air temperature trends. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1989, **70**: 265~270
- [4] Karl T R, Jones P D. Comments on "Urban bias in area-averaged surface air temperature trends" Reply to GM Cohen. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1990, **71**: 571~574
- [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. *Geophys. Res. Lett.*, 1990, **17**: 2377~2380
- [7] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响. 气象, 1991, **17** (4): 14~16
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): 14~16
- [8] Goodridge J D. Urban bias influences on long-term California air temperature trends. *Atmos. Environ.*, 1992, **26B** (1): 1~7
- [9] Hughes W E, Balling R C. Urban influences on South African temperature trends. *Int. J. Climatol.*, 1996, **16**: 935~940
- [10] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应, 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2004. 85~97
Ling Xuechun, Yu Shuqiu. The study of temperature change and heat island effect in Beijing. *Proceedings of the Seminar on Climate Change and Eco-Environment*. Beijing: China Meteorological Press, 2004. 85~97
- [11] Jones P D, Groisman P Ya, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 1990, **347**: 169~172
- [12] Peterson T C, Gallo K P, Livermore J, et al. Global rural

- temperature trends, *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**: 329~332
- [13] 张兰生, 方修琦. 中国气温变化的区域分异规律. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1988, **3**: 78~85
Zhang Lansheng, Fang Xiuqi. Regional differentiation of the temperature fluctuation process in china. *Jouknal of Beijing Normal University (Natural Science)* (in Chinese), 1988, **3**: 78~85
- [14] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象, 1990, **16** (2): 11~15
Wang Shaowu. Variations of temperature in china for the 100 years period in comparison with global temperatures. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1990, **16** (2): 11~15
- [15] 李克让, 林贤超, 王维强. 近四十年来我国气温的长期变化趋势. 地理研究, 1990, **9** (4): 26~37
Li Kerang, Lin Xianchao, Wang Weiqiang. The long range variational trend of temperature in china from 1951 to 1988. *Geographical Research* (in Chinese), 1990, **9** (4): 26~37
- [16] 唐国利, 林学椿. 1921—1990 年我国气温序列及变化趋势. 气象, 1992, **18** (7): 3~6
Tang Guoli, Lin Xuechun. Average air temperature series and its variations in china, 1921—1990. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1992, **18** (7): 3~6
- [17] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列. 大气科学, 1995, **19** (5): 525~534
Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Series average air temperature over china for the last 100-year period. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1995, **19** (5): 525~534
- [18] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, **56** (3): 257~271
Chen Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen, et al. Studies on climate change in china in recent 4 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **56** (3): 257~271
- [19] 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
- [20] 宋超辉, 刘小宁, 李集明. 气温序列非均一性检验检验方法的研究. 应用气象学报, 1995, **6** (3): 289~296
Song Chaohui, Liu Xiaoning, Li Jiming. Study of testing methods on in homogeneity of temperature sequences. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1995, **6** (3): 289~296
- [21] 周淑贞, 束炯. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994
Zhou Shuzhen, Su Jiong. *Climatology of City*. Beijing, China Meteorological Press, 1994
- [22] 初子莹, 任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响. 气象学报, 2005, **63** (4): 534~540
Chu Ziying, Ren Guoyu. Effect of enhanced urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Beijing region. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (4): 534~540
- [23] 周雅清, 任国玉. 华北地区城镇化对地表气温记录的影响. 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