

华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正

周雅清^{1,2} 任国玉¹

1 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

2 山西省晋中市气象局, 晋中 030600

摘要 根据人口资料和台站位置将华北地区 282 个国家基本、基准站和一般气候站分为乡村站、小城市站、中等城市站、大城市站和特大城市站 5 个级别, 用经过均一性检验和订正的平均气温资料分别讨论了各级城市站热岛效应对地面气温趋势的影响, 发现人口为 $5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ 的大城市站受到城市化影响最大, 40 年热岛增温达到 0.64 。作者还分析了华北地区城市化对国家基本、基准站 1961~2000 年期间观测的平均气温变化趋势的影响, 结果表明, 由热岛效应引起的国家基本、基准站年平均气温增暖为 $0.11 / 10 \text{ a}$, 对这个时期全部增温的贡献达到 37.9%。目前根据国家基本、基准站资料建立的区域和全国平均气温序列在很大程度上仍保留了城市化的影响。作者进一步对华北地区 1961~2000 年根据国家基本、基准站资料建立的区域年平均气温序列进行了订正, 订正后气温线性趋势由 $0.29 / 10 \text{ a}$ 降低为 $0.18 / 10 \text{ a}$ 。消除城市化影响, 研究时段内华北地区年平均地面气温线性增加值为 0.72 。

关键词 华北地区 均一性检验 热岛效应 气温序列

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0743-11 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Identifying and Correcting Urban Bias for Regional Surface Air Temperature Series of North China over Period of 1961—2000

ZHOU Ya-Qing and REN Guo-Yu

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

2 *Jinzhong Meteorological Bureau of Shanxi Province, Jinzhong 030600*

Abstract In this paper, 282 stations including all of general and basic/reference climatological surface stations of North China were classified into rural, town, middle-size city, big city and metropolis based on the total population and specific station locations. The significance of urban warming effect on average regional temperature trends is estimated using monthly mean temperature series of the five group data sets, which have been homogeneity-adjusted. It is concluded that the effect in the big city groups is the biggest, of which urban warming is $0.64 / 40 \text{ a}$ or $0.16 / 10 \text{ a}$. The similar assessment is also made for the data set of national basic/reference stations, which have been widely used in climate analyses in the country. The result indicates that temperature anomaly series as calculated using the data from basic/reference stations of the study area are significantly impacted by urban warming. By analyzing the difference of rates of temperature changes as estimated with basic/reference stations and rural stations, we could further obtain the rate of warming induced by urbanization, and could calculate the relative contribution of urban warming to the total change in the regional mean temperature. The contribution for annual mean temperature change as estimated with the basic/reference station data set reaches to 37.9%, with the urban warming rate of

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 周雅清, 女, 1971 年出生, 硕士生, 主要从事区域气候变化方面的工作。E-mail: zhouyqxs@yahoo.com

0.11 / 10 a, a little bit smaller than that for big current regional mean temperature series in North China or probably in the country as a whole, there still remains large effect of urban warming. We correct the urban bias for the regional average temperature series. After that, the increasing rate of the regional annual mean temperature is brought down from 0.29 / 10 a to 0.18 / 10 a, and the total increase of temperature gets to 0.72 in this 40-year period.

Key words North China, in-homogeneity adjusting, heat island effect, temperature series

1 引言

最新的观测资料分析表明,近 50 年来,我国北方地区气温显著上升,华北和东北地区的增温幅度最大^[1]。各种迹象表明,目前的气候变化不仅只是自然的变化,在很大程度上可能与人类活动有密切关联。检测和识别近百年全球和中国气候变化特别是气候变暖的性质和可能原因,是当前气候研究的一个热点问题。

气候变化检测与原因识别主要依据积累多年的仪器观测记录。由于观测仪器的更新换代,观测台站的变迁,观测时次和时制的变更以及城市化的影响,导致资料中存在不同程度的偏差。因此,在计算大尺度区域平均气温时,必须首先对观测的台站资料进行校对与检查,同时要严格去除城市化的影响。这样得到的区域平均气温序列才更合理和可靠^[2~5]。

不过目前国际上就气温序列中城市化影响的显著程度还存在较大分歧。IPCC 第 3 次评估报告^[5]指出:自 20 世纪以来,全球表面气温变化的最佳估计是 0.6,城市热岛效应被怀疑是过去几十年中陆地观测气温升高的部分原因。但这种影响相对于气温背景变化来说是次要的:城市热岛产生的全球气温的偏差(截至 1990 年)没有超过 0.05。但是,来自区域性的研究一般表明城市热岛效应增强的作用明显,应该得到重视,并给予订正^[6~8]。国内几个地区的分析也表明,城市热岛强度随时间增强因素对我国地面气候站近几十年温度记录可能具有明显的影响,需要在气候变化检测和原因识别工作中予以更多注意^[9~12]。

热岛效应因素在中国区域平均气温的增暖中贡献有多少?华北地区作为我国相对增温显著区域,城市热岛增强因素的影响又有多大?这是人们关注的科学问题。本文选取华北区作为案例,

对其 1961~2000 年平均气温中热岛效应引起的增温进行了分析。为了提高地面气温资料的代表性和可靠性,对研究范围的站点进行了加密,采用了所有国家基本、基准站和一般气候站的资料,同时对气温资料进行了均一性检验和订正,剔除了主要由于迁站造成的影响。在此基础上,分析了华北地区平均气温序列中存在的热岛影响,并对其进行了订正。

2 资料与分析方法

本文研究的华北地区主要包括内蒙中南部、北京、天津、河北、山西、陕西东部、河南北部、山东中、西部以及安徽和江苏北部等地区,经纬度范围为(33~43°N, 108~120°E)之间。所用气象资料为华北地区所有观测台站(包括国家基本、基准站和一般气候站)1961~2000 年具有全部长度记录的月平均气温资料。个别月份的缺测值由多年平均值代替。在对所有台站的气温资料进行初步质量检验后,剔除了一部分可能存在错误的台站记录,最终选取了 282 个台站的资料。台站密度为 2 个/104 km²。如此密集在台站分布从全球来看也是不多的,资料质量较好,代表性也比较高。

在分析热岛效应对地面气温序列的可能影响时,最好对资料的非均一性问题给予考虑,并进行订正。本文借鉴检验和订正国家基本、基准站气温数据集时所采用的 E-P 方法^[13],对通过初步质量控制的气温资料又进行了非均一性检验和订正。

为此,首先对所有台站建立气温变化序列 dT/dt , 计算待检台站 dT/dt 序列和它附近台站的 dT/dt 序列的相关系数,选取 5 个与之正相关最大的台站作为参考台站。利用参考台站序列和待检序列相关系数的平方作为权重建立参考 dT/dt

序列,再反算得到参考序列。然后采用滑动 t 检验法检测待检序列和参考序列的差异序列的不连续点,并通过台站历史沿革资料确定其合理性。如果不连续点附近存在站址迁移,则认为该不连续点是合理的,并进一步进行订正;否则保留原始记录。对于那些被确认的有合理不连续点的待检序列,计算其与参考序列的差异序列在不连续点前后 5 年的差值,以此作为补偿值来订正不连续点。为了与以后的资料合并使用,订正是以最近的资料为基础从后向前进行的。由于上述方法要求序列子段必须多于 5 年,因此,如果不连续点是在开始年后或结束年前的 5 年内,检验的结果也只能出现在开始后或结束前的第 5 年。这就需要参考台站的沿革资料进行鉴别,确定其真实不连续点的位置和补偿值。

经过检验发现,共有 4 成以上台站的资料存在非均一性引起的偏差,表明华北地区近 40 年气温资料中的非均一性现象还是比较严重的。这些偏差主要是由台站迁移造成的。

假设乡村站没有受到城市化的影响,其增温为大气的实际或背景增温,那么就可以将乡村站作为背景站来讨论城市化的影响。为了解不同规模城市站热岛效应的影响,本文采用台站所在居民地的人口数量和台站位置描述作为主要依据对其进行了分级。人口资料为国家统计局提供的《中国乡、镇、街道人口资料》中的常住人口数量^[14]。台站位置描述取自中国地面气象观测年报表,一般可分为城市(包括“市区”、“城区”、“市内”等描述)、城郊(包括“近郊”、“远郊”、“郊外”、“郊区”等描述)和乡村(包括“农村”、“乡村”等描述,但也有一些地方性的特殊描述,如“草原”、“沙漠”、“海岛”、“山顶”等,这里均当作乡村处理)。

根据华北地区的实际情况,确定:气象台站在乡村,人口 5×10^4 以下(山东省因为情况特殊,基本无 5×10^4 人口以下的台站,故放宽人口条件到 1×10^5 以下)为乡村站。将人口 1×10^4 以上,站址不在乡村的台站分为 4 级:人口 $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$,为小城市站;人口 $1 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$,为中等城市站;人口 $5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ 为大城市站;人口 1×10^6 以上为特大城市站。由于我国长期气

候变化研究一般是在国家基本、基准站资料的基础上进行的,因此本文将基本、基准站单独作为一级进行了讨论,目的是了解研究地区城市热岛效应增强因素对利用基本、基准站资料获得的温度序列的影响程度。这一级不考虑人口因素和具体台站位置描述。各级别台站数统计情况见表 1。由于基本、基准站中有 85 个台站分布在前 5 级中,因此表 1 中只有 10 个台站参与合计。

图 1 给出了华北地区各级台站的空间分布。可以看出,乡村站、小城市站和基本、基准站站点密集,分布也比较均匀;中等城市站、大城市站和特大城市站站点少,分布也相对不均匀。中等城市站和特大城市站主要分布在东南部和中部,西部较少;大城市站主要分布在中部。

本文主要研究热岛效应增强因素对台站和区域年平均气温序列的影响,如果采用平均气温均值很难避免地形、海拔等因素的影响,因此采用距平变化来表征区域温度的年际变化。以 1971~2000 年作为气候参考期,计算逐年的月、季、年平均气温距平值。参考 Jones 网格面积加权平均法^[15],把研究区域划分成 $2^\circ \times 3^\circ$ (纬度 \times 经度)的 20 个网格,将每个网格内各站点的逐年距平值求算术平均得到该网格平均的逐年距平值,然后考虑各网格面积大小进行权重,得到整个华北区域逐年的气温距平序列。

3 结果分析

3.1 区域平均气温变化

图 2 给出了 1961~2000 年华北地区各级台站的年平均气温距平曲线。可见,各级台站的气温变化形势相当一致,近 40 年气温变化趋势总的特点都是增暖的,在增暖的趋势下又存在年际和年代波动,其中 1961~1969 年是逐渐变冷的,1969 年后气温回升,尤其是 1984 年后气温迅速上升,1998 年增温达到高峰。华北地区年平均气温变化的年与年代特点与全国平均情况也是一致的^[16]。

表 2 给出了各级台站年、季平均气温变化趋势。从年变化看,大城市的增温最显著,线性趋势达到 $0.34 / 10 \text{ a}$,其次为中等城市、特大城市和小城市,线性趋势为 $0.25 \sim 0.28 / 10 \text{ a}$,乡村

表 1 华北地区各级台站数目分布

Table 1 Number of stations for each group in North China

	乡村站 Rural	小城市站 Town	中等城市站 Middle-size city	大城市站 Big city	特大城市站 Metropolis	基本、基准站 Basic/ Reference stations
台站数 Number of stations	63	133	37	17	22	95
占总台站数百分比 Percentage/ %	22	47	13	6	8	34

表 2 1961~2000 年华北地区各级台站年、季平均气温变化趋势以及各级城镇站的热岛增温趋势

Table 2 Trends of temperature change and urban warming in North China for 1961—2000

/ 10 a

		年 Annual	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
气温变化趋势 Trends of temperature change	乡村站 Rural	0.18	0.14	-0.00	0.11	0.50
	小城市站 Town	0.25	0.20	0.04	0.18	0.61
	中等城市站 Middle-size city	0.28	0.27	0.10	0.20	0.60
	大城市站 Big city	0.34	0.31	0.14	0.25	0.72
	特大城市站 Metropolis	0.26	0.25	0.05	0.21	0.56
	基本、基准站 Basic/ Reference stations	0.29	0.24	0.09	0.21	0.62
热岛增温速率 Trends of urban warming	小城市站 Town	0.07	0.06	0.04	0.07	0.11
	中等城市站 Middle-size city	0.10	0.13	0.10	0.09	0.10
	大城市站 Big city	0.16	0.16	0.14	0.14	0.22
	特大城市站 Metropolis	0.08	0.11	0.05	0.10	0.06
	基本、基准站 Basic/ Reference stations	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12

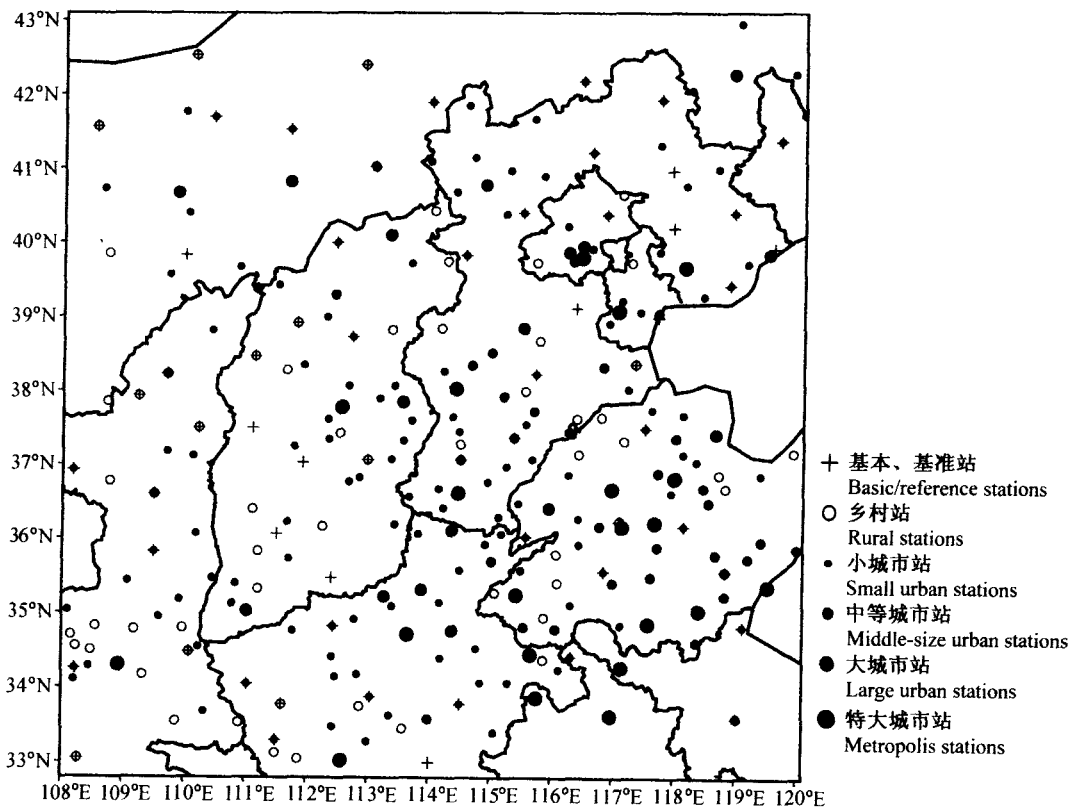


图 1 华北地区各级台站的空间分布

Fig. 1 Location of stations in North China

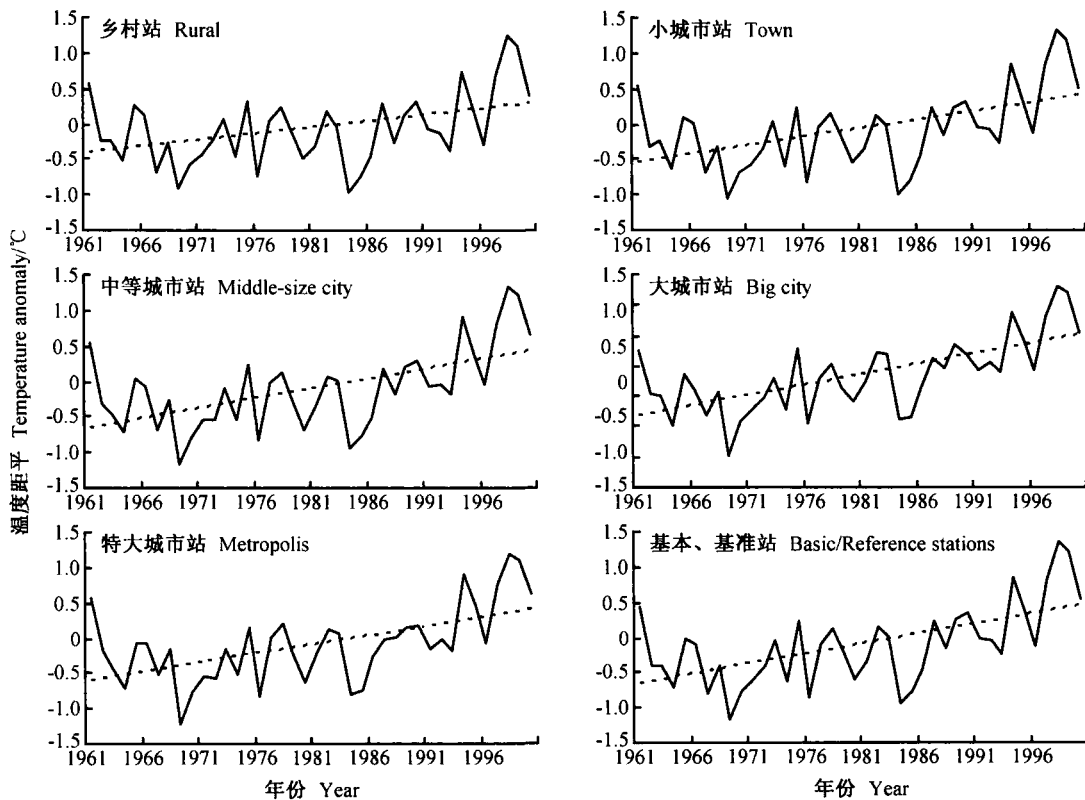


图2 1961~2000年华北地区各级台站年平均气温距平及趋势

Fig. 2 Annual mean temperature anomalies series and the trends over North China for 1961—2000

站的增温幅度最小, 仅为 $0.18 / 10 \text{ a}$ 。国家基本、基准站的增温仅次于大城市, 线性趋势为 $0.29 / 10 \text{ a}$ 。

从季节性变化看, 各级台站的气温变化均以冬季上升最为明显, 春、秋季次之, 夏季升温最小, 乡村站夏季甚至为微弱的降温趋势。在各个季节中, 则以大城市站增温幅度最大、乡村站最小为主要特点, 国家基本、基准站的增温在所有季节都是比较显著的。其余各级城市站各季节增温情况不尽相同。

和全国相比, 华北地区的增暖更明显, 幅度更大。全国 1951~2001 年期间年平均气温增加速率是 $0.22 / 10 \text{ a}$, 51 年平均气温上升了 1.1 ; 华北地区 1961~2000 年基本、基准站的气温增加速率 $0.29 / 10 \text{ a}$, 40 年平均气温就上升了 1.16 。

其中冬季、春季、秋季的增暖幅度有不同程度的增大, 而夏季则偏小。全国 1951~2000 年冬季气温增幅为 $0.36 / 10 \text{ a}$, 华北地区为 $0.62 / 10 \text{ a}$, 差异相当明显; 春季和秋季全国气温增幅

分别为 $0.23 / 10 \text{ a}$ 和 $0.19 / 10 \text{ a}$, 华北地区分别为 $0.25 / 10 \text{ a}$ 和 $0.22 / 10 \text{ a}$, 二者比较接近; 夏季全国气温增幅为 $0.12 / 10 \text{ a}$, 而华北地区则略小, 为 $0.1 / 10 \text{ a}$ ^[17]。

表 3 给出了利用国家基准、基本站获得的区域平均气温的年代和趋势变化情况。可以看出, 在 1961~2000 年期间年平均气温有明显上升趋势, 四季平均气温也都增加, 其中冬季增加最明显, 春、秋季次之, 夏季最弱。冬季在 20 世纪 90 年代, 夏、秋季在 80 年代, 气温的增温幅度有不同程度减小。和多年平均比较, 90 年代的春季是最暖的, 而 60 年代的冬季是最冷的。60 年代其他季节也偏冷, 而 90 年代所有季节温度距平都是正的。80 年代和 70 年代的冬季平均气温也显著偏高。

3.2 气温趋势空间分布

图 3 给出了 1961~2000 年华北地区年平均气温变化趋势的空间分布。可见, 除河南局部和陕西南部的小部分地区为降温外, 其他地区都呈升

表 3 基本、基准站每 10 年平均的距平值 (单位:) 及 1961~2000 年的线性变化速率 (单位: /10 a)

Table 3 Average annual and seasonal anomalies and rates of change of basic/reference stations for 1961—2000 (units for anomalies and rates are and /10 a respectively)

时间 Time	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	年 Year
60 年代 1960s	- 1. 8	- 0. 80	- 0. 62	- 0. 80	- 1. 01
70 年代 1970s	1. 63	- 0. 72	- 0. 43	0. 51	0. 20
80 年代 1980s	1. 88	- 0. 82	- 0. 17	0. 16	0. 62
90 年代 1990s	0. 31	2. 00	1. 33	1. 37	1. 29
变化速率 Rates of change	0. 62	0. 24	0. 09	0. 21	0. 29

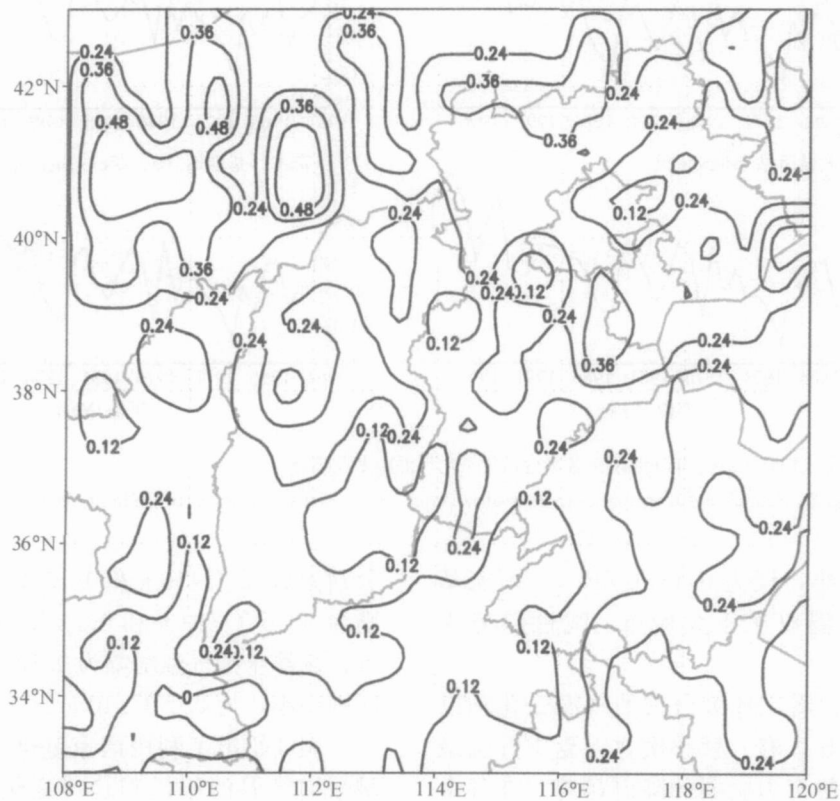


图 3 1961~2000 年华北地区年平均气温变化趋势 (单位: /10 a)

Fig. 3 Spatial distribution of the annual mean temperature anomalies of North China for 1961—2000 (units: /10 a)

温趋势, 其中内蒙中南部地区升温趋势最明显, 最高可达 0.5 /10 a。河南大部分和陕西南部年平均气温增加速率一般在 0.15 /10 a 以下。造成增温区域差异的原因还需要进一步探讨。一些局地的增温高值中心如秦皇岛、张家口、淄博、邢台、廊坊、北京等, 均为经济发达、人口密集的城市地区。由于本文选取的台站较为密集, 可以看到, 增温速率的空间分布有很多低值和高值中心, 它们与乡村站和城市站的分布有较好的对应关系。

3.3 热岛效应影响分析

表 2 也给出了各级城市站的热岛增温率和热岛增温对全部增温的贡献。从年平均气温的热岛影响情况看, 大城市受热岛效应影响最为显著, 其热岛增温率为 0.16 /10 a, 占总增温的 47.1%; 中等城市、特大城市和小城市受热岛效应影响较小, 热岛增温贡献率在 30% 左右; 国家基本、基准站的热岛增温贡献率为 37.9%。近 40 年来华北地区由于加强的热岛效应导致的增温分别为: 小城市 0.28, 中等城市 0.4, 大城市

0.64，特大城市 0.32，国家基本、基准站 0.44。特大城市受热岛效应影响比大城市小的原因还需要进一步探讨，但推测与台站位置距市中心的距离、台站高度以及局地气象条件有关，也可能与特大城市的城市化速度相对较慢有关。当然，特大城市站数量最少，分布又不很均匀，这对于计算区域平均温度序列来说其代表性也没有其他类型台站好。

就四季情况而言，由热岛效应引起的增温以冬季为最大，春、秋季次之，夏季最小。但是，热岛增温对总增温的贡献则以夏季为最大，各级台站热岛增温贡献率均达到了 100%。去除了热岛增温的影响后，本区夏季背景气温不仅不是增温趋势，反而还略有下降；其次为秋季和春季，国

家基本、基准站热岛增温贡献率分别为 47.6% 和 41.7%；冬季相对而言热岛增温在总增温中所占比重较小，仅为 19.4%，表明在冬季迅速变暖的过程中，城市热岛效应增强因素贡献并不像期望的那样大，有可能是大尺度环流变化和增强的温室效应或其他因子变化起到了更重要的作用。

3.4 城市热岛增温影响的订正

由前面分析可知，城市热岛增强因素对区域平均气温序列有相当大的影响。只有去除了这种影响才能更好地分析区域背景气温的变化趋势，并进一步检测区域气候变化。由于目前大部分区域气候变化分析使用的都是国家基本、基准站的资料，因此本文将华北地区基本、基准站的气温序列进行了热岛效应影响订正。订正方法是：利

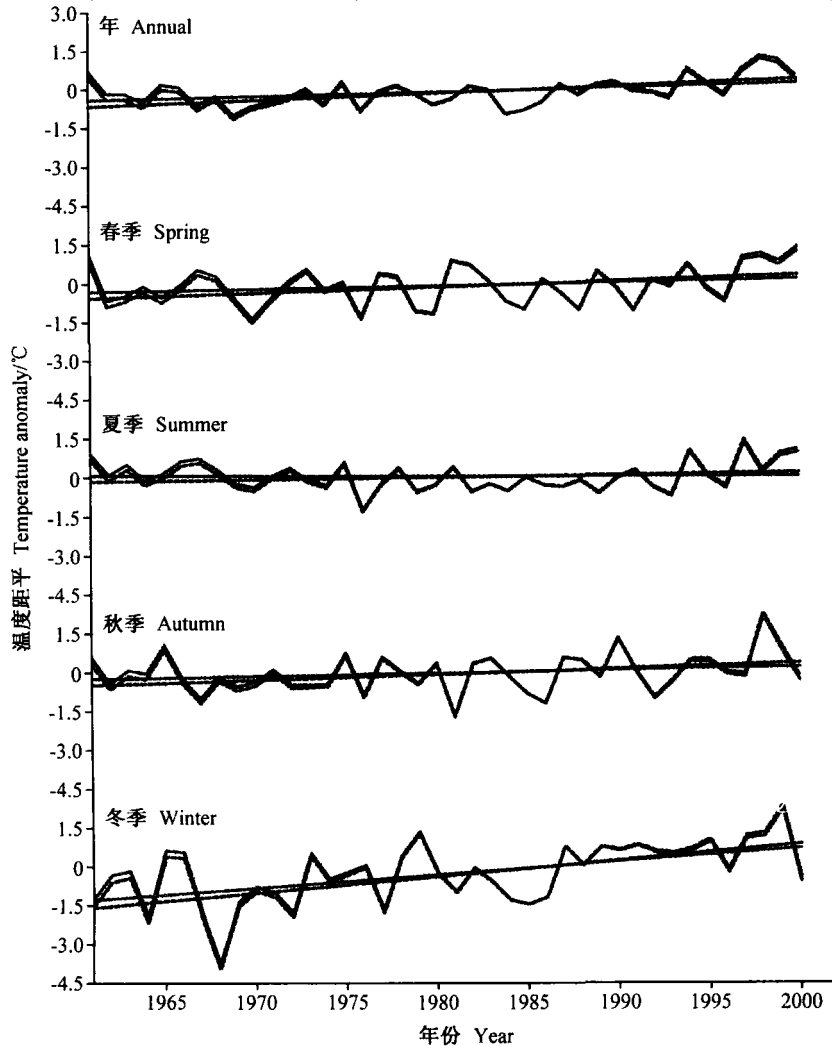


图4 热岛效应影响订正前(虚线)、后(实线)年、季平均气温序列的比较

Fig. 4 Annual and seasonal temperature series before (dashed line) and after (solid line) urban warming correction

用根据前述各类城市台站资料获得的区域平均气温距平的线性趋势减去根据乡村站资料获得的区域平均气温距平的线性趋势, 得到趋势差, 作为订正系数; 然后从各类台站 (包括基本、基准站) 逐年的气温距平中将其去除, 即得到了这些台站订正后的年平均气温距平序列。对于根据基本、基准站资料获得的华北区域平均气温序列, 则可以通过直接与乡村站对比得到订正序列。

图 4 给出了根据国家基本、基准站资料获得的华北地区年平均气温序列热岛订正前后的对比情况。可以看出, 订正了热岛效应的影响后, 华北地区 1961~2000 年的增温幅度有明显下降, 增温趋势由订正前的 $0.29 / 10 \text{ a}$ 下降到 $0.18 / 10 \text{ a}$, 表明华北地区的增温有很大一部分是由城市热岛效应引起的, 其 40 年内的背景增温值估计为 0.72 。同时, 订正后各季节的增温均明显减弱, 其中冬季增温趋势由原来的 $0.62 / 10 \text{ a}$ 下降为 $0.5 / 10 \text{ a}$, 春、秋季增温趋势分别由订正前的 $0.24 / 10 \text{ a}$ 和 $0.21 / 10 \text{ a}$ 下降为 $0.14 / 10 \text{ a}$ 和 $0.11 / 10 \text{ a}$, 夏季增温趋势由 0.09

$/ 10 \text{ a}$ 下降为微弱负值。订正以后的增温趋势表明, 华北地区近 40 年区域背景增温幅度分别为: 春季 0.56 , 秋季 0.44 , 冬季 2.00 , 夏季则为微弱的降温趋势。

利用热岛影响订正后的资料分析华北地区气温变化趋势的空间特征 (图 5), 发现年和季节增温速率普遍减少 (四季图略), 内蒙古中南部和一些城市区域减少尤其明显, 大部分地区的增温速率在 $0 / 10 \text{ a}$ 到 $0.3 / 10 \text{ a}$, 增温显著区域的范围也明显缩小。此外, 原来环绕城市的闭合增温中心变弱, 河南和陕西南部局部地区的降温趋势表现得更明显了, 但整个区域气温变化的空间分布趋势没有根本改变。

4 讨论

Wang 等^[18]发现, 在 1954~1983 年期间, 华北区城市站的增温趋势为 $0.21 / 10 \text{ a}$, 乡村站的增温趋势为 $0.12 / 10 \text{ a}$ 。Portman 等^[19]也曾对华北区的热岛影响进行了分析, 他们采用 1954~

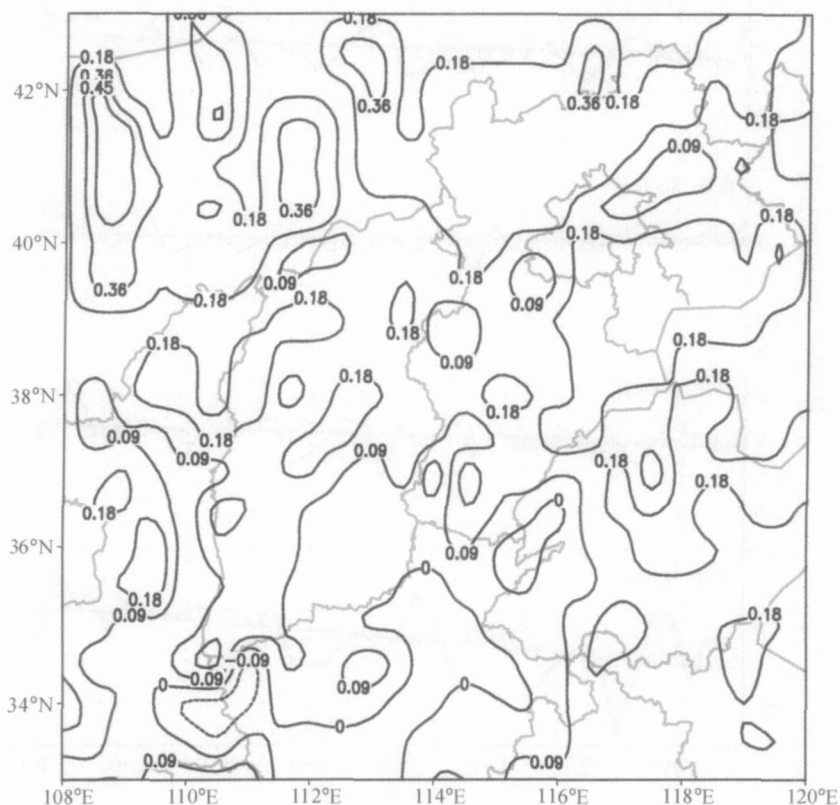


图 5 1961~2000 年华北地区热岛效应影响订正后的年平均气温变化速率 (单位: $/ 10 \text{ a}$)

Fig. 5 Rate of change of annual mean temperature after urban warming correction for 1961—2000 (units: $/ 10 \text{ a}$)

1983 年 (32~42 N, 110~125 E) 21 个城市站和 8 个乡村站的平均气温资料, 21 个城市站根据人口又分为 7 个较大城市站 (平均人口 23×10^5) 和 14 个较小城市站 (平均人口 4×10^5), 所用气温资料经过了非均一性订正。结果表明, 7 个较大城市站热岛增温速率为 $0.09 / 10 \text{ a}$, 14 个较小城市站的热岛增温速率为 $0.05 / 10 \text{ a}$ 。

本文定义的华北地区范围基本涵盖了 Wang 等^[18]的研究区域, 而且与 Portman 等^[19]区域范围也大体相近。但本文采用了比前人密集得多的台站资料, 资料序列包含了 20 世纪 80 年代初以来最明显的增温阶段, 且所用气温资料均经过了非均一性检验和订正, 采用了更合理的区域平均方法。因此, 本文得到的结果当比前人具有实质性改进。由于研究区域范围、所采用的资料和方法不同, 现在的分析结果难以和前人工作比较, 但在发现城市热岛效应增强因素对区域平均气温序列有明显影响这一点上却有惊人的一致性。

但是, Jones 等^[20]对包括华北在内的中国东部等地区所做的分析却得出了不同的结果。在中国东部, 他们用了 42 个城市—乡村站对, 观测时期为 1954~1983 年。城市站定义为人口 5×10^5 以上, 乡村站定义为人口 10^5 以下。他们分别计算了该区域内乡村站、城市站和 Jones 等本人资料序列的区域平均气温变化趋势。Jones 等认为城市化对中国东部以及当时广泛引用的 Jones 等全球温度序列的影响微乎其微。这项工作具有广泛而长远的影响, IPCC 第 3 次评估报告再次引用他们的研究结论, 并认为现有的全球或半球平均温度序列中几乎没有保留城市化的影响^[5]。由于资料稀少, 序列长度偏短, 乡村站定义不准确, 这项研究中针对中国东部的结论的确是值得商榷的。

最近, Peterson^[21]也就气候资料中可能包含的热岛效应影响做了估计, 结果支持 Jones 等早期的结论。他们认为气温资料中存在的非均一性导致了错误的城市热岛影响分析结果。采用美国地区非均一化订正前、后的 3 年资料对城市热岛效应的影响进行了对比分析, 发现非均一性订正前, 城市与乡村平均气温差为 0.31 ; 而订正后则仅为 0.04 。因此认为在大尺度的年平均气温序列中, 没有统计显著的城市化影响。我们比较了非均一性检验和订正前后华北地区城市热岛因

素对区域平均气温序列的影响, 发现其差异很小。根据非均一化订正后资料得到的区域平均热岛增温率较订正前还有微弱的升高, 其中基本、基准站年热岛增温率为 $0.11 / 10 \text{ a}$, 比订正前仅升高了 $0.02 / 10 \text{ a}$ 。这表明, 是否对气温资料序列做非均一性订正不会显著影响有关城市热岛影响分析的结果。当然, 本文的非均一性订正以剔除迁站影响为主, 没有考虑观测时间和仪器改变可能引起的误差, 因此非均一化订正不是很彻底, 有待进一步完善。但从产生非均一性的原因来看, 所有类型的偏差对资料的影响都不是绝对为负的, 这些偏差可能导致城乡温度差减小, 也可能导致差异加大。Peterson 等仅根据 3 年的订正前后资料对比得到的结论就推断大尺度范围内没有统计显著的热岛影响是值得进一步探讨的。

可见, 本文得到的结论与国内、外的研究结果有一致也有差异。产生差异的原因可能主要与台站密度大小、城市站和乡村站的标准、分析的方法、序列年代长度以及区域范围等因素有关。本文采用的站点相对密集, 代表性较好, 且对平均气温资料进行了均一化订正, 有效地剔除了非气候因子的影响, 城市站的分级也比较细致, 各种规模的城市基本都作了考虑。但是, 本文对台站所在城镇主要以人口为依据进行分级, 虽然也考虑了台站具体位置方面的描述, 但没有具体考虑台站距市中心或建城区边缘的距离以及城市功能类型, 有待今后进一步改善。更重要的是, 由于完全没有城镇化影响的乡村站很少, 本文选取的乡村背景站只是相对来说受城市热岛增强因素影响最小的那部分台站, 在由其合成的区域气温序列里或多或少还会存在一定城市化的影响。因此, 本文对城市热岛效应影响的分析结果只能是最低估计值。

5 结论

本文利用经过均一性检验和订正的年平均气温资料分析了华北地区 1961~2000 年气温变化趋势, 并分析了城市化因素对区域平均气温变化趋势的影响, 得到以下结果:

(1) 根据非均一性订正后的国家基本、基准站资料, 华北地区近 40 年来年平均气温上升了

1.16, 春季、夏季、秋季和冬季平均气温分别上升了 0.96、0.36、0.84 和 2.48。和全国相比, 华北地区增暖更明显。

(2) 华北地区平均气温序列受城市热岛效应增强因素的影响相当显著, 根据国家基本、基准站资料获得的平均气温序列中, 热岛增温率为 0.11 /10 a, 占总增温速率的 37.9%。近 40 年由热岛引起的区域平均增温幅度为 0.44, 其中冬季为最大, 春、秋季次之, 夏季最小。在各级城市站中, 大城市站的年、季平均气温增幅都是最大的, 而且热岛效应引起的增温也是所有级别台站中最显著的。

(3) 订正了热岛效应的影响后, 华北地区 1961~2000 年的年、季平均增温幅度有明显下降。年平均增温趋势由订正前的 0.29 /10 a 下降到 0.18 /10 a; 冬季由 0.62 /10 a 下降为 0.5 /10 a; 春、秋季分别由 0.24 /10 a 和 0.21 /10 a 下降为 0.14 /10 a 和 0.11 /10 a; 夏季则由比较明显的增温 (0.09 /10 a) 变为微弱的降温趋势。

(4) 尽管还存在一定的不确定性, 今后需要开展进一步研究, 但本文的结果表明, 华北地区现代气候的增暖有很大一部分是由城市热岛效应引起的。在区域气候变化检测和原因识别研究中, 这部分影响不能被忽略。

参考文献

[1] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水的变化趋势分析. 高原气象, 2004, 23 (2): 238~244
Zuo Hongchao, L ü Shihua, Hu Yinqiao. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, 23 (2): 238~244

[2] IPCC, WGI. *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. Houghton J T, et al., Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. 365pp

[3] IPCC, WGI. *Climate Change, The Supplementary Report*. Houghton J T, et al., Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1992. 198pp

[4] IPCC, WGI. *Climate Change, The Science of Climate Change*. Houghton J T, et al., Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996. 570pp

[5] IPCC. *Climate Change, The Science of Climate Change*.

Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J T, et al., Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 881pp

[6] 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

[7] 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

[8] 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 change of temperature and the effects of the urbanization in China in the last 39 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1991, 17 (4): 14~16

[9] 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 Ziyang, Ren Guoyu. Change in urban heat island magnitude and its effect on mean air temperature record in Beijing region. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, 63 (4): 534~540

[10] 陈正洪, 王海军, 任国玉, 等. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 771~779
Chen Zhenghong, Wang Haijun, Ren Guoyu, et al. Effect of enhanced urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Hubei Province, China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, 10 (4): 771~779

[11] 张爱英, 任国玉. 山东省城市化对区域平均温度序列的影响. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 754~762
Zhang Aiyang, Ren Guoyu. Urban heat island effect on change of regional mean temperature over Shandong Province, China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, 10 (4): 754~762

[12] 刘学峰, 于长文, 任国玉. 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. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 763~770
Liu Xuefeng, Ren Guoyu. Change in urban heat island magnitude and its effect on surface mean air temperature record in Hebei province, China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, 10 (4): 763~770

[13] Li Qingxiang, Liu Xiaoning, Zhang Hongzheng, Peterson T C, Easterling D R. Detecting and adjusting on temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature data set. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 21 (2): 260~268

[14] 中国统计局. 中国乡、镇、街道人口资料. 北京: 中国统

- 计局出版社, 2002. 1~482
- China Statistic Bureau. *Population Data of China Towns and City Districts*. Beijing: China Statistic Press, 2002. 1~482
- [15] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *Int. J. Climatol.*, 1996, **16**: 361~377
- [16] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. *气象*, 1994, **20** (12): 19~26
- Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1994, **20** (12): 19~26
- [17] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 五十年来中国大陆近地面气候变化的基本特征. *气象学报*, 2005, **63** (6): 942~956
- Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. Climate changes of Mainland China over the past half century. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (6): 942~956
- [18] Wang W C, Zeng Z, Karl T R. Urban heat islands in China. *Geophys. Res. Lett.*, 1990, **17**: 2377~2380
- [19] Portman D A. Identifying and correcting urban bias in regional time series: surface temperature in China's northern plains. *J. Climate*, 1993, **6**: 2298~2308
- [20] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al.. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 1990, **347**: 169~172
- [21] Peterson T C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found. *J. Climate*, 2003, **16** (18): 2941~2959

www.cnki.net