

国家基本/基准站地面气温资料城市化偏差订正

温康民¹,任国玉^{1,2*},李 娇³,任玉玉²,孙秀宝⁴,周雅清^{1,5},张爱英⁶

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院大气科学系,武汉 430074; 2. 国家气候中心,北京 100081;
3. 辽宁省铁岭市气象局,辽宁 铁岭 112000; 4. 中国科学院南海海洋研究所,广州 510000;
5. 山西省晋中市气象局,山西 晋中 030600; 6. 北京市气象局,北京 100089)

摘 要:城市化偏差是中国地面气温观测记录中最大的系统性偏差,订正该偏差可为大尺度气候变化监测和研究提供准确的基础资料。论文介绍了用于单站地面月平均气温序列城市化偏差订正的一个方法,并利用该方法订正了685个国家基本/基准站1961—2015年地面年及月平均气温序列中的城市化偏差。采取自东往西迭代订正的方法,即从东往西逐经度订正,订正完的目标站也可作为参考站。首先,规定目标站的参考站在300 km范围内,并利用2站的去线性趋势年均气温的相关系数作为标准,规定相关系数最大且通过信度水平为0.005显著性检验的4个候选参考站作为该目标站的参考站;然后,对各个参考站年均气温与其对应目标站年均气温求相关,并以其平方为权重计算各参考站月和年均气温的平均值序列,即为各目标站年和月平均地面气温参考序列;其次,利用目标站气温序列趋势及其参考序列趋势之差作为总的订正值,订正目标站气温序列中包含的城市化偏差。较大的城市化偏差出现在华北地区、华中部分地区、东北北部、西南及西部部分地区,介于0.1~0.3 °C/10 a;在中国西北部分地区、西藏西部及南部、东北南部、华南沿海、华东及华中个别站存在负偏差;对整个中国而言,相对城市化偏差为19.6%。以北京、武汉、银川、深圳作为华北、华中、西北和华南地区的大城市代表站,发现其在过去55 a的相对城市化偏差分别为67.0%、75.4%、32.7%和50.3%,与前人针对单站评估城市化影响的结果基本一致,说明论文的订正方法较为合理。论文介绍的城市化偏差订正方法,可用于订正中国等快速城市化地区地面气温观测资料的系统偏差,订正后的气温数据在很大程度上消除了城市化因素引起的不确定性。

关键词:国家基本/基准站;地面气温;月均气温;城市化偏差;订正方法

城市化影响是中国地面气温观测数据出现系统偏差的重要来源之一(Ren et al, 2008; 张爱英等, 2010; Yang et al, 2011; Wang et al, 2017)。尽管很多研究定量评价了城市化对中国较大区域范围平均地面气温序列的影响(任玉玉等, 2010),其中绝大多数研究发现城市化影响非常显著。20世纪末,赵宗慈(1991)利用全国160站1951—1989年各月气温资料,对中国城市化影响气温变化作了深入分析,得出大城市年平均增暖明显,变暖大约0.27~0.45 °C,小城市变暖很少,平均变暖大约0.04~0.12 °C。Portman(1993)利用1954—1983年华北平原气温资料,

以8个乡村站为参考站,研究得出:21个城市站年平均气温城市化偏差为0.19 °C/30 a,其中7个大城市站为0.26 °C/30 a,14个小城市站为0.15 °C/30 a。

21世纪初,相关学者利用城市减乡村的方法,发现我国部分甚至整个地区的地面气温受城市化影响显著。Zhou等(2004)利用中国东南部1979—1998气温资料,分析发现年平均气温的城市化偏差为0.05 °C/10 a。初子莹等(2005)利用1961—2000年北京20个台站,分析得到国家基本、基准站城市化偏差为0.16 °C/10 a,城市化贡献率为71.0%。周雅清等(2005)对1961—2000年间华北地区地表气

收稿日期:2018-05-10;修订日期:2018-12-20。

基金项目:国家自然科学基金项目(41575003)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41575003.]

第一作者简介:温康民(1992—),男,江西赣州人,博士生,研究方向为气候变化。E-mail: wenkangmin@126.com

*通信作者简介:任国玉(1958—),男,辽宁康平人,研究员,博导,主要从事气候变化与古气候研究。

E-mail: guoyoo@cma.gov.cn

引用格式:温康民,任国玉,李娇,等. 2019. 国家基本/基准站地面气温资料城市化偏差订正[J]. 地理科学进展, 38(4): 600-611. [Wen K M, Ren G Y, Li J, et al. 2019. Adjustment of urbanization bias in surface air temperature over the mainland of China. Progress in Geography, 38(4): 600-611.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.04.012

温观测中城镇化影响进行检测,发现国家基本、基准站相对城市化偏差达到37.9%。陈正洪等(2005)利用湖北省71个气象站1961—2000年间气温资料,分析武汉站相对郊区代表站,全省的城市代表站、基本和基准站相对乡村代表站的热岛增温贡献率,发现年平均气温的热岛增温贡献率分别为64.5%、75.0%及60.0%以上。唐国利等(2008)分析了西南地区国家基准/基本站、大城市站、小城市站、乡村站1961—2004年的气温变化特征,计算了国家基准/基本站和城镇站地面气温中的相对城市化偏差,发现大中城市站和国家站的相对城市化偏差分别为57.6%和45.3%,小城市的相对城市化偏差为19.9%。张爱英等(2010)利用全国范围614个国家基本/基准站和138个乡村站1961—2004年气温资料,采用城市减乡村的方法,得出中国地面年均气温趋势中含有 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的城市化影响,城市化贡献率为27.33%。

近年来,研究人员利用再分析资料、土地利用数据及卫星遥感数据等,分析发现城市化对我国气温影响明显。Yang等(2011)利用包括中国东部1981—2007年一般和国家基本、基准站,和NCEP/NCAR再分析资料共463个气象站的月平均气温,得出中国东部相对城市化偏差为24.2%。Yang等(2013)利用安徽52个气象站,并根据土地利用和土地覆盖数据,将其分为城市站、郊区站和乡村站,分析发现1970—2008年间,城市站受城市化影响最为严重,年平均、年最高、年最低气温的城市化贡献率分别为35.82%、14.29%和45.16%。Wu等(2013)利用中国东部312个气象站1979—2008年均一化订正气温资料和DMSP/OLS夜间灯光数据,使用空间滤波方法检测了不同空间尺度的气温趋势,发现长三角地区夏季变暖主要源于最大温度的显著增加,且城市化偏差为 $0.13\sim 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对城市化偏差为36.0%~68.0%;京津冀地区冬季变暖主要因为最低气温的显著增加,且城市化偏差为 $0.10\sim 0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对城市化偏差为12.0%~24.0%。He等(2013)利用北京、天津、河北共69个没有迁站的气象站1978—2008年温度资料及历史遥感数据,发现该区域过去30 a增温速率为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,城市化偏差为44.1%。Li等(2013)利用中国1979—2010年274站温度数据和NCEP/NCAR再分析数据,通过OMR(Observation Minus Reanalysis)的方法来检测城市化影响,认为核心大城市的增暖速率为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,边缘型小城市的增暖速率为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

最近, Sun等(2016)利用中国2419个气象站1961—2013年均一化月平均气温资料,得到1961—2013年期间中国的温度增加了 $1.44\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对城市化偏差为33.3%。Wang等(2017)利用中国753站1980—2009年均一化日气温数据集、ERA-Interim再分析数据集、土地覆盖数据集,分析了中国东部气温变化中的城市化偏差,得出中国东部平均及最低日气温中相对城市化偏差分别为4.0%、9.0%。同时指出城市站气温资料序列城市化偏差订正的必要性(任国玉等, 2005; 张爱英等, 2010; Yang et al, 2013; Bian et al, 2015),但迄今尚未发展出一套建立在对城市化影响科学评估和可靠方法订正基础上的国家基本/基准站地面气温数据集。造成这种局面的主要原因有两方面:一是缺少一个较为合理的用于全国范围内单站气温序列中的城市化偏差订正的技术方案,二是长期以来对这套气温资料所构成的不同区域和不同类型台站中的城市化偏差,缺乏一个系统的估计值。

Karl等(1988)对美国1219个观测台站附近居民点人口数据和其热岛增温速率建立回归方程,订正区域和单站平均气温和平均最高、最低气温资料,指出这个回归方程在美国之外的其他地区并不一定适用;Gallo等(1999)利用城乡气温差值同地表辐射温度、卫星反演的归一化植被指数(NDVI)的城乡差值对比,获得显著的相关关系,指出基于卫星遥感和基于人口的城市化订正具有相同的误差量级;Portman(1993)利用均一化检验后的华北地区站点,剔除包含间断点的站点,并去除各站点经纬度、海拔高度不一致造成的偏差,对城市和乡村站温度序列求差值,获得城市站区域平均的城市化订正公式;Choi等(2003)利用城市和乡村台站资料序列趋势的差值方法订正了韩国年平均和各个季节的城镇站区域平均序列;Hansen等利用两段式线性趋势订正单个城市的城市化影响,是以假定在研究的两个时段之内城市化增温是线性增加为前提的(Hansen et al, 1999; Hansen et al, 2001)。Fujibe(2009)利用城市站为中心的周边一定圆形范围内的人口密度为依据,将日本的气象站分为6类,并且将第1类和第2类站点作为参考站,订正并分析了第3至第6类站点中的城市化偏差。

在中国,周雅清等(2005)和张爱英等(2009)利用研究时段内城镇站温度趋势减乡村站温度趋势的方法订正了城镇站区域平均温度序列,获得消除城市化偏差后的区域平均气温距平序列(表1)。

城-乡站趋势差值方法避免了人口数据质量、回归方程调整检验等一系列问题。这种方法建立在假设整个研究时期内城市化对地面气温趋势影响是准线性的基础之上。但是,迄今尚没有开展站点基础上的国家级气象站地面气温城市化偏差订正工作。对于普遍具有较大城市化偏差的中国地面气温观测资料来说,这种局面无助于大尺度气候变化监测和研究工作的深入。

本文采用本课题组前期分析调查得到的地面气温参考站网,建立了一个订正城镇站网地面月平均气温城市化偏差的方法,并利用此方法对国家基本/基准站网地面月平均气温序列作了城市化偏差订正,建立了一套基于较为全面的城市化偏差订正技术体系订正城市化偏差后的国家基本/基准站月平均地面气温(包括最高气温、最低气温和平均气温)历史资料数据集。

表1 中国及区域地面气温中城市化偏差的评价
Tab.1 Assessment of urbanization bias for surface air temperature in China

文献	地区	时段	数据集	结果
赵宗慈(1991)	中国	1951—1989年	160站月平均气温	大城市和次大城市39 a平均增暖约0.27℃和0.45℃,次小城市和小城市变暖约0.12℃和0.04℃
Portman(1993)	华北地区	1954—1983年	60站气候要素和205站气温和降水数据集	21个城市站年平均气温城市化偏差为0.19℃/30 a,其中7个大城市站为0.26℃/30 a,14个小城市站为0.15℃/30 a
Zhou等(2004)	中国东南部	1979—1998年	671站月平均最高和最低气温,NCEP R-2再分析数据	年平均温度的城市化偏差为0.05℃/10 a
初子莹等(2005)	北京地区	1961—2000年	北京地区20站月平均温度	国家基本、基准站城市化偏差为0.16℃/10 a,城市化贡献率为71.0%
张爱英等(2005)	山东省	1963—2002年	山东省88个国家基本/基准站及一般站月平均气温	国家基本/基准站和城市站年平均气温的城市化影响贡献率分别为27.2%和21.7%
周雅清等(2005)	华北地区	1961—2000年	华北地区282站月平均气温	国家基本、基准站相对城市化偏差为37.9%
陈正洪等(2005)	湖北省	1961—2000年	湖北省71站逐月地表平均、最高、最低气温	年平均气温相对城市化偏差武汉为64.5%,全省城市代表站可达75.0%以上,全省基本和基准站可达60.0%以上
白虎志等(2006)	甘肃省	1961—2002年	甘肃省38站月平均、平均最高、平均最低气温	基本/基准站和城市站年平均温度的城市化贡献率分别为18.5%、37.6%
唐国利等(2008)	西南地区	1961—2004年	西南地区322站月平均气温	相对城市化偏差大中城市站和国家站分别为57.6%和45.3%,小城市为19.9%
张爱英等(2010)	中国	1961—2004年	2300站均一化月平均气温	国家基本、基准站地面年平均气温中相对城市化偏差为27.3%
Yang等(2011)	中国东部	1981—2007年	463站月平均气温和NCEP/NCAR再分析气温	中国东部相对城市化偏差为24.2%
Ren等(2011)	中国	1961—2004年	672国家基本/基准站均一化月气温	国家基本/基准站年平均温度中的城市化影响偏差为0.06℃/10 a,城市化影响贡献率为23.0%
Yang等(2013)	安徽省	1970—2008年	安徽52站月平均、平均最高、平均最低气温	年平均、年最高、年最低气温的城市化贡献率分别为35.82%、14.29%和45.16%
Wu等(2013)	中国东部	1979—2008年	中国东部312站均一化日平均气温	长三角地区夏季相对城市化偏差为36.0%~68.0%,京津冀地区冬季相对城市化偏差为12.0%~24.0%
He等(2013)	河北省	1978—2008年	京津冀地区69站月平均气温	相对城市化偏差为44.1%
Li等(2013)	中国	1979—2010年	752站月气温和NCEP/NCAR再分析月平均气温	核心大城市和边缘型小城市的增暖速率分别为0.22℃/10 a和0.12℃/10 a
Ren等(2015)	中国	1961—2004年	825基本/基准站均一化月气温	国家基本/基准站年平均温度中的城市化影响为0.074℃/10 a,城市化贡献率为24.9%
Wang等(2015)	中国	1951—2010年	728基本/基准站均一化月气温	在站点水平上,强城市化站点和中度城市化影响站点的城市化影响贡献率分别为24%和21%
Sun等(2016)	中国	1961—2013年	2419站均一化月气温和CMIP56气候模式月平均气温	相对城市化偏差为33.3%
Wang等(2017)	中国东部	1980—2009年	753站均一化日气温和ERA-中期再分析数据	中国东部日平均及最低气温中相对城市化偏差分别为4.0%、9.0%

1 研究资料

1.1 国家站资料

本文所用资料为中国气象局国家气象信息中心提供的“国家级地面气象站均一化气温月值数据集”(国家气象信息中心, 2013), 该资料包含中国 2419 个国家级台站 1951—2016 年均一化逐月平均气温、逐月平均最高气温、逐月平均最低气温, 由月平均气温可以得到年平均气温。在中国, 研究气候变化的基础数据通常是利用国家基本/基准站(国家站)的观测资料, 因此, 本文对 825 个国家站的气温月值数据作城市化偏差订正, 即剔除气温记录中的城市化偏差(系统误差), 得到基本不包含该系统偏差的气温数据。考虑到上述资料中 1961 年以前及 2016 年中气温资料缺测较多, 故选定时间范围为 1961—2015 年。其次, 规定在 1961—2015 年间缺测率不超过 2%, 即缺测不超过 13 个月, 得到 764 个国家基本/基准站。对于目标站中的缺测值, 采用缺测年为中心的前后各 5 a 共 10 a 平均值替代。最后, 去除 143 个参考站中的 79 个国家基本/基准站, 最终得到 685 个国家基本/基准站用于城市化偏差订正和分析(图 1)。在 685 个目标站的月数据中, 有 575 个目标站没有缺测, 缺测 1 个月的目标站有 60 个, 缺测 2 个月的目标站有 13 个, 缺测 3 个月的目标站有 7 个, 缺测 4 个月的目标站有 8 个, 缺测 5、6、7、8、9、10、11、12、13 个月的目标站分别只有 6、8、1、1、2、1、1、1、1 个。

1.2 参考站资料

利用任国玉等(2010)、Ren 等(2015)建立的 143

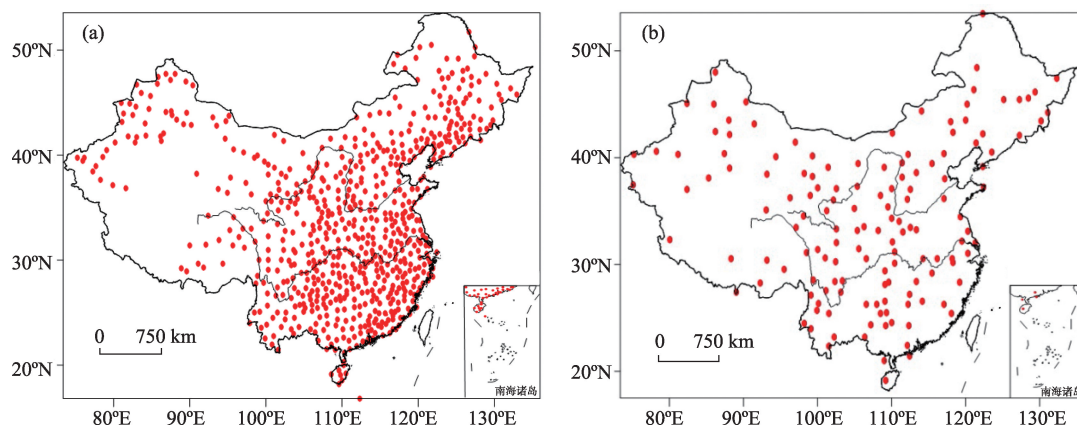
个中国大陆地面气温参考站网。此参考站网是由全国范围 2400 个长序列观测站中挑选的, 对台站观测连续性和历史资料的起止年份、迁站次数、观测点附近聚落人口数量、观测场周围 12 km² 范围内人工建筑的比率、测站与附近城镇中心的距离等诸多信息进行了充分考虑, 最终在中国大陆区域共挑选出 143 个参考站。云南的巍山站附近周围分布数座砖窑, 代表性已经恶化; 巍山站附近的漾濞站观测环境符合参考站遴选条件。经过重新评估之后, 删除了巍山站, 增补漾濞站。在所有参考站中, 79 个为国家基本/基准站, 64 个国家一般站。143 个参考站的月平均地面气温资料来源同上, 对于个别参考站中的缺测值, 采用缺测年为中心的前后各 5 a 共 10 a 平均值替代。

2 城市化偏差订正方法

2.1 城镇站对应参考站的确定

对于每个目标站, 其附近都应有一定数量的参考站。参考站距目标站最远距离由研究、监测的目的和气候变量类型决定。对于全球的大陆尺度而言, 较稀疏的站网密度(平均每 1000~2000 km 一个站)就可以满足地面气温变化研究和监测的目的(Peterson et al, 1997); 对于次大陆尺度而言, 监测大尺度地面气温变化则有更高的要求, 需要辨别区域尺度气候变化因子的影响, 这要求台站平均距离保持在 500 km 以内(Janis et al, 2004; 任玉玉等, 2012)。

在构建每个目标站的参考站时, 本文参考了气候数据质量控制中检验空间一致性的邻站选取法



注: 本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)1569 号的标准地图制作, 底图无修改。下同。

图 1 中国 685 个国家基本/基准站(a)和 143 个参考站(b)空间分布

Fig.1 Distribution of the 685 national basic and standard stations (a) and 143 reference stations (b) in the mainland of China

(Karl et al, 1987; Mitchell et al, 2005; 李庆祥, 2011)。将分布在以某站为圆心, 某一距离为半径的圆内的参考站当作该目标站的参考站。求算2站间距离的公式为:

$$d(A_1, A_2) = R \cos^{-1} [\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)] \quad (1)$$

式中: θ_1 和 φ_1 为 A_1 点(城镇站)经度和纬度; θ_2 和 φ_2 分别为 A_2 点(参考站)经度和纬度; R 为地球半径, 这里取平均值 6371 km。

要比较区域内的城乡差别, 首先要消除(或消减)大尺度气候变化格局, 因此, 本文要求参考站和目标站之间相距不超过 300 km。其次, 为确保青藏高原中西部和东北参考站分布较稀疏的地区, 任意目标站也能够选出参考站, 本文采取自东往西迭代订正的方法, 即从东往西逐经度订正, 并把订正完的目标站作为候选参考站。

对城镇站距参考站距离进行规定后, 再考虑候选参考站与目标站地面气温年际、年代际变异的一致性, 即考察它们是否处在同一个自然气候子区。因此, 利用去线性趋势的2站年均气温的相关系数作为标准。去线性趋势的温度序列主要体现地面气温在年际、年代际尺度上的变异性。利用一元线性回归分析得到线性趋势方程, 剔除时间序列中的趋势项, 获得目标站和参考站去趋势的年均气温序列。计算各目标站与其各候选参考站去趋势年均、月均气温的相关系数, 要求候选参考站的相关系数通过信度水平为 0.005 的显著性检验 ($t_{0.005}=0.364$), 才能作为这个目标站的参考站。

表2给出具有不同参考站数量的目标站数目, 及其占有所有目标站的百分比。发现666个目标站具有至少3个参考站, 占有所有目标站的97.4%。具有至少8个参考站的目标站大约占到82.5%, 仅有1~2个参考站的目标站只有18个。图2展示了各目标站的参考站数量分布, 不难发现海南、东北北部、内蒙古北部、新疆、西藏, 以及山东半岛和江苏、上海、浙江沿海地区及东南沿海地区目标站的参考站数

量较少, 在13个以下; 在华中、华东、华北, 以及东北南部的目标站的参考站数量较多, 在17个以上。

2.2 城镇站参考序列的建立

得到能代表目标站周围背景气温变化的参考序列是订正城市化偏差的关键, 因此构建目标站的单一参考序列的方法至关重要。

有研究发现, 要插补单站缺测气温资料, 利用和其具有最高相关性的4个邻近站计算获得的插补值有较高精度(余予等, 2012); 也有研究表明, 在订正中国降水序列的均一性中, 参考序列的构建中以从相距最近的20个站中挑选相关系数最大的3个站较为合适(江志红等, 2008)。参考前人的方法, 由于过多的参考站参加计算会引入噪声, 本文规定当目标站的参考站多于4个时, 根据年均气温去趋势的相关系数, 将相关性最大的4个站作为最后的参考站; 当参考站数目 ≤ 4 时则全部选取。

按照上述评判标准, 685个国家基本/基准站共筛选出2681个参考站。表3列出了和目标站有不同等级相关系数的参考站数及其百分比。发现目标站和参考站普遍具有较好的相关性, 其中92.1%的参考站相关系数在0.80以上, 仅有0.8%的参考站相关系数在0.60以下。

对于各目标站, 将其去趋势月均气温序列与其各参考站去趋势月均气温序列的相关系数的平方值作为权重, 求算参考站月均地面气温序列的加权平均, 获得各目标站1961—2015年间月均地面气温序列的参考序列。

2.3 城市化偏差订正方法

在大尺度气候变化研究中, 主要关注气候要素的线性趋势变化及其统计显著性。本文借鉴张爱英等(2009)的线性订正方法, 利用研究时段目标站的线性趋势减参考序列的线性趋势差值作为总的订正值, 订正目标站的城市化偏差。根据这种方法, 订正过的城镇站的地面气温序列线性趋势和其对参考序列的地面气温线性趋势是相同的。该方法是以两个假设为前提的: ① 构建的某个目标站

表2 对应不同数量参考站的目标站数及其百分比

Tab.2 Number of urban stations with different numbers of reference stations and their percentages

目标站数及百分比	参考站数/个						
	27~32	21~26	13~20	8~12	5~7	3~4	1~2
目标站数/个	26	160	263	115	75	27	18
百分比/%	3.8	23.4	38.5	16.8	11.0	3.9	2.6
累积百分比/%	—	27.2	65.7	82.5	93.5	97.4	100

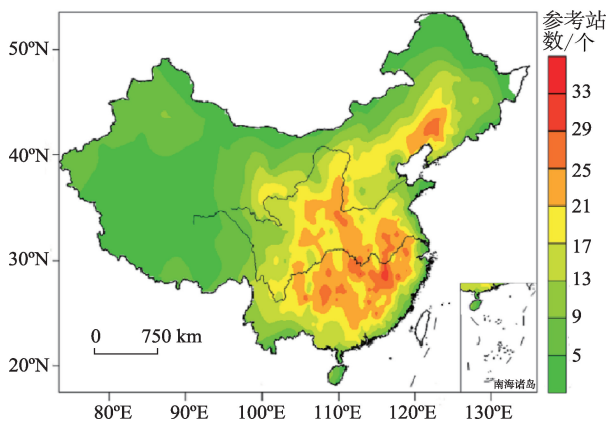


图2 目标站对应的参考站数量分布
Fig.2 Distribution of the number of reference stations corresponding to the target stations

的参考序列气温线性趋势能够代表此区域大尺度的背景气温的变化趋势;② 目标站平均地面气温受城市化的影响是线性增加的,即城市化影响在各年份是近似的。近年来,研究人员将城镇站气温的趋势减对应的参考序列气温趋势的差定义为城市化增温率或城市化影响(初子莹等, 2005; Ren et al, 2008)。订正目标站地面气温数据中的城市化偏差,就是在各年的基础上剔除城市化影响等量值。

张爱英等(2009)的订正是从目标站序列的最早年份开始,向后逐渐递减平均每年的城市化影响,订正过的序列代表剔除城市化偏差的区域平均气温序列[式(2)]。为方便未来观测数据可以直接更新而不必逐年订正,本文修改如下:以目标站序列最晚年份(本文为2015年)作为基准,向前逐渐递加平均每年的城市化影响,订正过的序列把站点当前及未来最近几年的气温作为固定值,新的气温资料在未来数年内具有更好的可延展性(式(3))。

$$T'_i = T_i - (\Delta T_{u-r}/10)(i-j) \quad (2)$$

$$T'_i = T_i + (\Delta T_{u-r}/10)(k-i) \quad (3)$$

式中: T'_i 为订正后的气温值; T_i 为订正前的气温值; ΔT_{u-r} 为整个时期目标站 u 和参考站 r 的气候倾

向率差值,即城市化偏差($^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$); i 代表订正的年份; j 和 k 分别代表气温序列的起始和终止年份。图3是本文订正国家基本/基准站月平均地面气温中城市化偏差的基本流程。

3 城市化偏差订正结果及其检验

按照上述方法,对685个站1961—2015年逐月平均地面气温资料进行城市化偏差订正,建立了一套国家基本/基准站地面月平均气温(包括最高气温、最低气温和平均气温)城市化偏差订正资料数据集。

为了了解订正效果及其合理性,采用对比前人针对单站城市化偏差评价研究的方法,对本文城市化偏差订正方法和订正结果的合理性进行验证。首先比较订正前后685个站1961—2015年的年平均气温线性趋势及其差值分布(图4)。由图4a可见,城市化偏差订正前,年平均气温增温趋势在中国东北、华北、西北、西南及华东沿海地区较大,大部分地区介于 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;而在华东、华中及华南地区,年平均气温增温趋势较小,大部分地区介于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。城市化偏差订正后(图4b),年平均气温增温趋势在中国东北、华北部分地区、新疆、西藏、西北部分地区、华东部分地区仍然较大,普遍介于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而在华北、华中、华南及华东部分地区,年平均气温增温趋势较小,普遍介于 0 ~ $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;相比订正前温度变化的零散分布,订正后的温度变化趋势分布相对集中,且呈带状,这更加符合中国真实气候变化及气候带的分布;此外,订正后的增温趋势在全国广泛明显地下降,这些均表明了城市化偏差明显存在于中国国家基本/基准站地面气温资料中。由图4c可以直观地看出,城市化偏差较大的地区分布在华北地区、华中部分地区、东北北部地区、西南部分地区、新疆及西藏部分地区,介于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而在中国西北部分

表3 目标站不同等级相关系数的参考站数及其百分比

Tab.3 Number of reference stations (frequency) with different correlation coefficients with annual mean temperature of urban stations and their percentages

参考站数及百分比	相关系数					合计
	0.90~1.00	0.80~0.90	0.70~0.80	0.60~0.70	0.38~0.60	
参考站数/个	1640	830	160	29	22	2681
百分比/%	61.2	30.9	6.0	1.1	0.8	100
累积百分比/%	—	92.1	98.1	99.2	100	

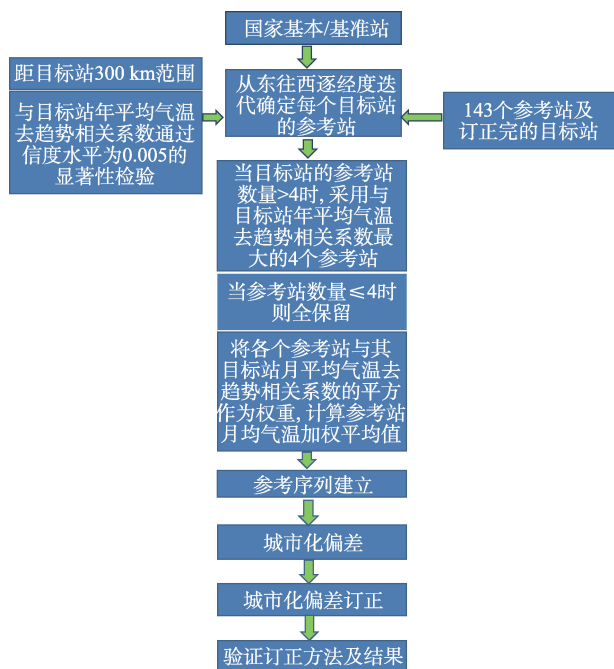


图3 城市化偏差订正流程

Fig.3 Flowchart of the procedure for correcting urbanization bias

地区、西藏西部及南部存在负偏差,这是由于在干燥地区,受绿洲效应影响,随着绿洲的扩大,城市站夏秋季节具有变凉趋势,乡村站相对城市站出现增温趋势,而在中国东北南部、华南沿海、华东及华中个别站,可能由于参考站和目标站增温趋势差异很小,甚至参考站有可能选取在邻近平原上较大乡镇站,出现相对增温现象,所以在上述地区的城市站呈现出负的城市化偏差。这与Ren等(2015)和张爱英等(2010)研究得出的华北、中国中东部、中国沿海地带城市站存在显著为正的城市化偏差(其值介于 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),而在中国西北地区、中国东北南部、西南部分地区的城市站存在显著为负的城市化偏差的结论一致,表明本文城市站的城市化偏差订正具有一定合理性。此外,利用网格面积加权法(Jones et al, 1996),估算得到中国区域城市站的相对城市化偏差为19.6%。

考虑站点分布的均匀性和资料可用性,选取北京、武汉、银川和深圳这4个站分别作为华北、华中、西北、华南的大城市代表站,对订正结果进行检验。

图5展示了4个具有代表性的城市站订正前和订正后的年均地面气温时间序列。表4展示了4个代表站城市化偏差订正前后气温序列的各统计量,以及城市化影响的表征指标。可以发现,相比订正之前,城市化偏差订正后,各站的年均气温均值稍

有增加,方差则明显减小,研究时段内增温趋势显著降低。订正之前,气温序列中包含的城市化偏差非常显著,与全国平均年地面气温增温速率处于一个数量级上(任国玉等, 2005),其中北京和武汉站分别达到 $0.296\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.328\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,深圳和银川站分别为 $0.167\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.148\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;相对城市化偏差北京、武汉分别达到67.0%、75.4%,深圳和银川站分别为50.3%和32.7%。

1961—2015年北京站订正前的年平均地面气温增加速率为 $0.442\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,订正后降至 $0.146\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。订正之前的气温序列中,城市化偏差及相对城市化偏差分别为 $0.296\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和67.0%。订正以后增温速率明显降低,但年代际的波动振幅非常一致。初子莹等(2005)将北京附近的斋堂、霞云岭、佛爷顶、怀柔、汤河口和上甸子当作参考站,发现北京站1961—2000年间的城市化偏差为 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,和本文分析结果非常接近;司鹏等(2009)研究发现,北京站1960—2006年间年均地面气温的城市化影响为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,稍低于本文结果。Yan等(2010)估计北京站1977—2006年间城市化偏差介于 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,与本文研究结果相一致。由于选取参考站的方法、资料处理方法和研究时段明显不同,本文与前人针对相当长度时间序列研究结果的差别可以说是很小的,表明本文参考站的选取和参考序列的建立方法是合理的。

订正城市化影响以前武汉站的年均气温增加速率为 $0.435\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,订正城市化影响之后降低至 $0.107\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。前人的研究利用武汉周边的新洲、黄陂、蔡甸和江夏4站当作参考站,计算得出武汉1961—2000年的城市化偏差是 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对城市化偏差为64.5%(陈正洪等, 2005; Ren et al, 2007);对1960—2005年武汉站城市化偏差的更新评估结果为:城市化偏差为 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对城市化偏差为60.4%(陈正洪等, 2007)。本文根据迭代订正的方法,得到1961—2015年武汉站年平均气温城市化偏差为 $0.328\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对城市化偏差为75.4%,略高于前人分析结果,这可能主要由于本文选取的参考站和参考序列长度与前人不同,但武汉年平均气温序列中存在较严重的城市化偏差的结论是一致的。

本文获得银川站城市化影响订正以前和订正之后的年均地面气温增加趋势分别为 $0.453\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.305\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。订正前序列的城市化偏差为

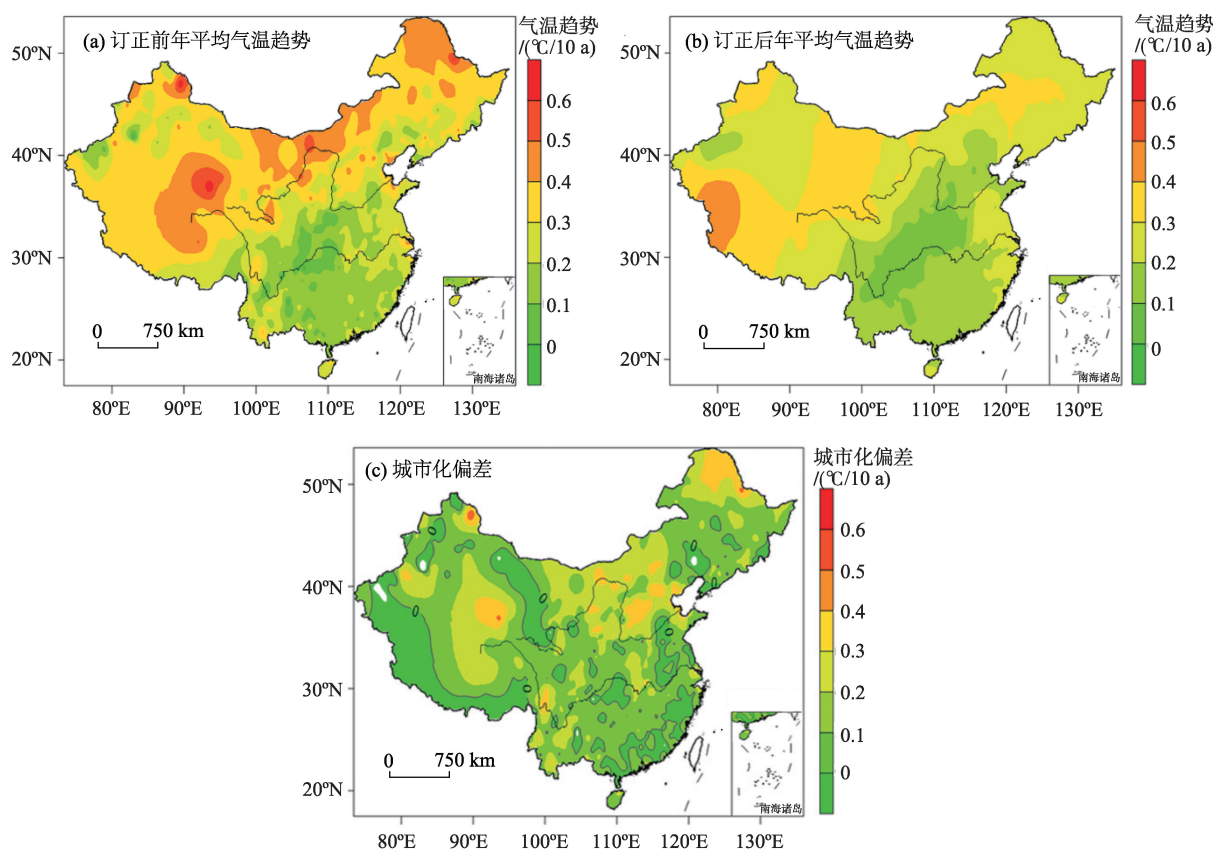


图4 中国685国家基本/基准站城市化偏差订正前(a)、订正后(b)年平均气温趋势及城市化偏差(c)空间分布
Fig.4 Distribution of yearly mean surface air temperature trends before (a) and after (b) urbanization bias correction and urbanization bias (c) in 685 national basic and standard stations in the mainland of China

0.148 °C/10 a, 相对城市化偏差为32.7%。李凤琴等(2009)选取银川市郊区的贺兰、灵武、永宁为参考站,发现银川站1951—2007年年平均气温变化趋势约为0.357 °C/10 a, 3个参考站的城市化偏差分别为-0.072 °C/10 a、0.217 °C/10 a和-0.279 °C/10 a;出现城市化偏差为负的情况,主要是参考站中还包含了极大的城市化偏差,原则上此类站点不宜作为代表背景气候变化的乡村站,若是采用这类参考站作为背景站,将会得到偏大的增温趋势,由于参考站选取的不同及研究时段的差异,严格意义上说其结果与本文是不具有可比性的。

分析得到深圳站订正前后1961—2015年期间的年平均地面气温变化趋势分别为0.332 °C/10 a和0.165 °C/10 a, 城市化偏差为0.167 °C/10 a, 相对城市化偏差为50.3%。司鹏等(2010)利用深圳附近的台山、惠阳、斗门、上川岛和汕尾5站当作参考站,求得1967—2005年深圳的城市化影响为0.12 °C/10 a, 相对城市化偏差则为37%, 相比本文估计的结果偏低。造成这一差别的主要原因是研究时段及选取

参考站的方法不同。张恩洁等(2007)发现,深圳站1953—2004年间年平均地面气温上升速率为0.34 °C/10 a, 与本文计算结果接近。Chen等(2006)通过分析卫星遥感反演的亮度温度,发现了20世纪90年代以后深圳城市热岛强度和影响区域快速增加的现象,说明深圳站地面气温记录明显受到城市化的影响,与本文所得结论基本一致。

4 结论和讨论

城市化偏差是站点气温记录中最常见的系统偏差,量化并剔除地面气温记录中的城市化偏差,得到去除城市化偏差的大规模温度平均值,对于气候变化研究和推进我们对气候变化的了解,具有重要意义。

确定城市化偏差最直接的方法是将每个城市站与被认为不受城市化影响的邻近(最好是乡村)站进行比较,本文制定了订正单站月平均地面气温资料序列的城市化偏差的方法,包括挑选目标站对应

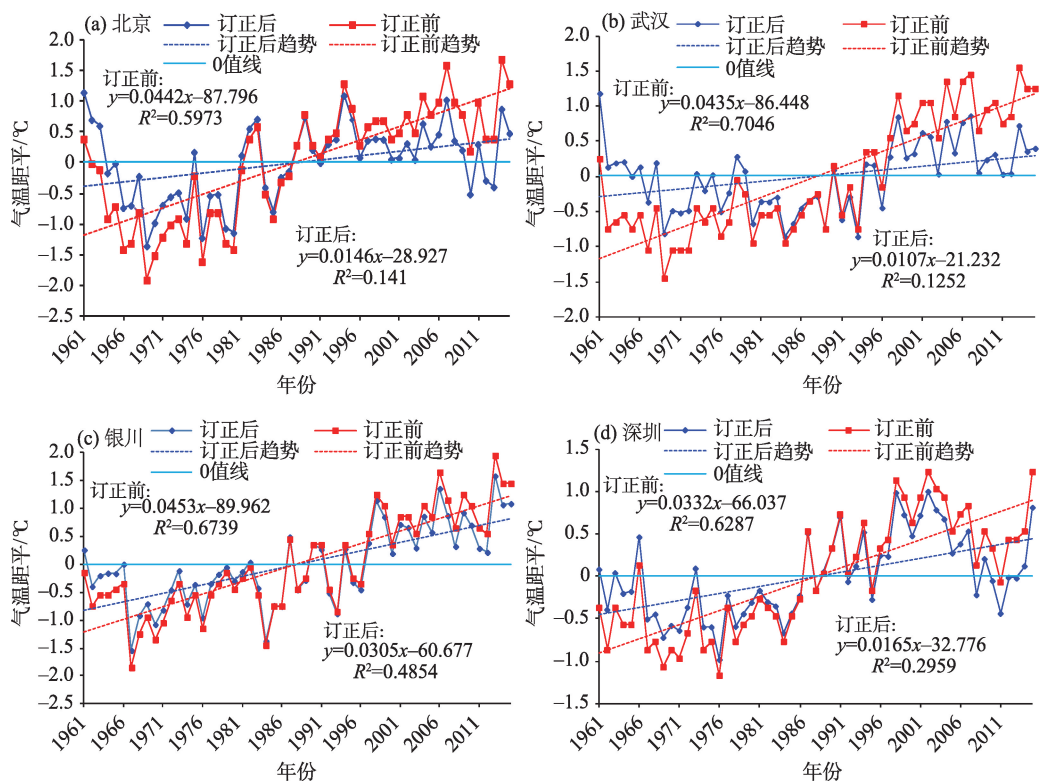


图5 代表站订正前后的年平均地面气温距平序列和线性趋势

Fig.5 Mean annual temperature anomalies and linear trends of the original and urban-bias adjusted data for representative urban stations

表4 代表性城市站城市化偏差订正前和订正后的统计量及城市化影响的表征指标

Tab.4 Statistical characteristics of four urban stations before and after urban-bias adjustment and the urban effects for the original temperature series

站名	站号	气温趋势/(°C/10 a)		均值/°C		方差/°C		城市化偏差/(°C/10 a)	相对城市化偏差/%
		订正前	订正后	订正前	订正后	订正前	订正后		
北京	54511	0.442**	0.146	12.413	13.220	0.838	0.385	0.296**	67.0
武汉	57494	0.435**	0.107**	15.545	16.423	0.689	0.234	0.328**	75.4
银川	53614	0.453**	0.305**	9.247	9.637	0.780	0.493	0.148**	32.7
深圳	59493	0.332**	0.165**	22.665	23.128	0.45	0.236	0.167**	50.3

注:**、*分别表示通过0.01、0.05信度水平的显著性检验。

的参考站的方法、构建目标站的参考序列的方法及线性订正城市化偏差的方法,并利用该方法订正了685个国家基本/基准站1961—2015年年及月平均地面气温资料序列的城市化偏差。最后,通过与以往对单站城市化偏差评价研究的结果进行对比,对本文城市化偏差订正方法和订正结果的合理性进行验证。结果表明,本文发展的订正方法和获得的订正后的国家基本/基准站数据集具有一定的客观性和合理性。需要指出的是,由于中国近几十年的飞速发展,之前选取的乡村站也将或多或少地受到城市化的影响,因此,由于参考站的不确定性,本文

获得的城市化偏差可以认为是最低值,今后仍需选取更为严格的参考站。

本文获得的这套订正后的国家基本/基准站资料,可以认为基本剔除了城市化偏差,利用这套资料分析研究现代气候变化,可以得到更为真实的全国和各区域地面气温长期变化趋势时空特征。因此,这套数据不仅对气候变化监测以及检测、模拟研究,而且对于气候变化影响评估,均具有重要价值。尤其是,农业领域和水资源领域的气候变化影响评估,需要区域背景气候变化信息,本数据集可以满足相应需要。

参考文献(References)

- 白虎志, 任国玉, 张爱英, 等. 2006. 城市热岛效应对甘肃省温度序列的影响 [J]. 高原气象, 25(1): 90-94. [Bai H Z, Ren G Y, Zhang A Y, et al. 2006. The effect of urban heat island on change of regional mean temperature in Gansu Province, China. Plateau Meteorology, 25(1): 90-94.]
- 陈正洪, 王海军, 任国玉. 2007. 武汉市城市热岛强度非对称性变化 [J]. 气候变化研究进展, 3(5): 282-286. [Chen Z H, Wang H J, Ren G Y. 2007. Asymmetrical change of urban heat island intensity in Wuhan, China. Advance in Climate Change Research, 3(5): 282-286.]
- 陈正洪, 王海军, 任国玉, 等. 2005. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 10(4): 771-779. [Chen Z H, Wang H J, Ren G Y, et al. 2005. Change of urban heat island intensity and its effect on regional temperature series: A case study in Hubei Province. Climatic and Environmental Research, 10(4): 771-779.]
- 初子莹, 任国玉. 2005. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响 [J]. 气象学报, 63(4): 534-540. [Chu Z Y, Ren G Y. 2005. Change in urban heat island magnitude and its effect on mean air temperature record in Beijing region. Acta Meteorologica Sinica, 63(4): 534-540.]
- 国家气象信息中心. 2013. 中国国家级地面气象站均一化气温月值数据集(V1.0)评估报告 [M]. 北京: 国家气象信息中心. [National Meteorological Information Center. 2013. Monthly dataset of homogenized temperature for national ground meteorological station (V1.0) Assessment Report. Beijing, China: National Meteorological Information Center.]
- 江志红, 黄群, 李庆祥. 2008. 近50年中国降水序列均一性检验与订正研究 [J]. 气候与环境研究, 13(1): 67-74. [Jiang Z H, Huang Q, Li Q X. 2008. Study of precipitation series homogeneous adjustment and their correction over China in the last 50 years. Climatic and Environmental Research, 13(1): 67-74.]
- 李凤琴, 谭华. 2009. 近50年来城市化对银川市局地气候的影响 [J]. 宁夏工程技术, 8(4): 303-309. [Li F Q, Tan H. 2009. Urbanization effects on local climate in Yinchuan in recent 50 years. Ningxia Engineering Technology, 8(4): 303-309.]
- 李庆祥. 2011. 气候资料均一性研究导论 [M]. 北京: 气象出版社: 43-44. [Li Q X. 2011. Introductory study of historic climate data homogeneity, Beijing, China: Meteorological Press: 43-44.]
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 10(4): 701-716. [Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, et al. 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China. Climatic and Environmental Research, 10(4): 701-716.]
- 任国玉, 张爱英, 初子莹, 等. 2010. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法 [J]. 气象科技, 38(1): 78-85. [Ren G Y, Zhang A Y, Chu Z Y, et al. 2010. Principles and procedures for selecting reference surface air temperature stations in China. Meteorological Science and Technology, 38(1): 78-85.]
- 任玉玉, 任国玉, 张爱英, 等. 2010. 城市化对地面气温变化趋势影响研究综述 [J]. 地理科学进展, 29(11): 1301-1310. [Ren Y Y, Ren G Y, Zhang A Y, et al. 2010. An overview of researches of urbanization effect on land surface air temperature trends. Progress in Geography, 29(11): 1301-1310.]
- 司鹏, 李庆祥, 李伟, 等. 2010. 城市化对深圳气温变化的贡献 [J]. 大气科学学报, 33(1): 110-116. [Si P, Li Q X, Li W, et al. 2010. Urbanization-induced surface air temperature change at Shenzhen. Transactions of Atmospheric Sciences, 33(1): 110-116.]
- 司鹏, 李庆祥, 轩春怡, 等. 2009. 城市化对北京气温变化的贡献分析 [J]. 自然灾害学报, 18(4): 138-144. [Si P, Li Q X, Xuan C Y, et al. 2009. Contribution of urbanization to change of air temperature in Beijing. Journal of Natural Disasters, 18(4): 138-144.]
- 唐国利, 任国玉, 周江兴. 2008. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响 [J]. 应用气象学报, 19(6): 722-730. [Tang G L, Ren G Y, Zhou J X. 2008. Change of urban heat island intensity and its effect on surface mean air temperature records in Southwest China. Journal of Applied Meteorological Science, 19(6): 722-730.]
- 余予, 李俊, 任芝花, 等. 2012. 标准序列法在日平均气温缺失数据插补中的应用 [J]. 气象, 38(9): 1135-1139. [Yu Y, Li J, Ren Z H, et al. 2012. Application of standardized method in estimating missing daily mean air temperature. Meteorological Monthly, 38(9): 1135-1139.]
- 张爱英. 2009. 国家基本基准站地面气温序列中城市化影响的检测与订正 [D]. 北京: 中国气象科学研究院. [Zhang A Y. 2009. Detection and correction to national basic data station sequence of surface temperature on the impact of urbanization. Beijing, China: Chinese Academy of Meteorological Sciences.]
- 张爱英, 任国玉. 2005. 山东省城市化对区域平均温度序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 10(4): 754-762. [Zhang A Y, Ren G Y. 2005. Urban heat island effect on change of regional mean temperature over Shandong Province, China. Climatic and Environmental Research, 10(4): 754-762.]
- 张爱英, 任国玉, 周江兴, 等. 2010. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差 [J]. 气象学报, 68(6): 957-966. [Zhang A Y, Ren G Y, Zhou J X, et al. 2010. Urbanization effect on surface air temperature trends over China. Acta

- Meteorologica Sinica, 68(6): 957-966.]
- 张恩洁, 赵昕奕, 张晶晶. 2007. 近 50 年深圳气候变化研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 43(4): 535-541. [Zhang E J, Zhao X Y, Zhang J J. 2007. Climate change in Shenzhen during 1953-2004. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 43(4): 535-541.]
- 赵宗慈. 1991. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响 [J]. 气象, 17(4): 14-17. [Zhao Z C. 1991. The changes of temperature and the effects of the urbanization in China in the last 39 years. *Meteorological Monthly*, 17(4): 14-17.]
- 周雅清, 任国玉. 2005. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正 [J]. 气候与环境研究, 10(4): 743-753. [Zhou Y Q, Ren G Y. 2005. Identifying and correcting urban bias for regional surface air temperature series of North China over time period of 1961-2000. *Climatic and Environmental Research*, 10(4): 743-753.]
- Bian T, Ren G Y, Zhang B X, et al. 2015. Urbanization effect on long-term trends of extreme temperature indices at Shijiazhuang station, North China [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 119: 407-418.
- Chen X L, Zhao H M, Li P X, Yin Z Y. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes [J]. *Remote Sensing of Environment*, 104: 133-146.
- Choi J, Chung U, Yun J I. 2003. Urban effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 42: 1711-1719.
- Fujibe F. 2009. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan [J]. *International Journal of Climatology*, 29(12): 1811-1822.
- Gallo K P, Owen T W. 1999. Satellite-based adjustments for the urban heat island bias [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 806-813.
- Hansen J, Ruedy R, Glascoe J, et al. 1999. GISS analysis of surface temperature change [J]. *Journal of Geophysical Research*, 104(D24): 30997-31022.
- Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. 2001. A closer look at United States and global surface temperature change [J]. *Journal of Geophysical Research*, 106(D20): 23947-23963.
- He Y T, Jia G S, Hu Y H, et al. 2013. Detecting urban warming signals in climate records [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 30: 1143-1153.
- Janis M J, Hubbard K G, Redmond K T. 2004. Station density strategy for monitoring long-term climate change in the contiguous United States [J]. *Journal of Climate*, 17: 151-162.
- Jones P D, Hulme M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations [J]. *International Journal of Climatology*, 16: 361-377.
- Karl T R, Diaz H F, Kukla G. 1988. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record [J]. *Journal of Climatology*, 1: 1099-1123.
- Karl T R, Williams C N. 1987. An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities [J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26: 1744-1763.
- Li Y, Zhu L, Zhao X, Li S. 2013. Urbanization impact on temperature change in China with emphasis on land cover change and human activity [J]. *Journal of Climate*, 26: 8765-8780.
- Mitchell T D, Jones P D, et al. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids [J]. *International Journal of Climatology*, 25: 693-712.
- Peterson T C, Daan H, Jones P D. 1997. Initial selection of GCOS surface network [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(10): 2145-2152.
- Portman D A. 1993. Identifying and correcting urban bias in regional time series: Surface temperature in China's northern plains [J]. *Journal of Climate*, 6: 2298-2308.
- Ren G Y, Chu Z Y, Chen Z H, et al. 2007. Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations [J]. *Geophysical Research Letters*, 34: L05711.
- Ren G Y, Li J, Ren Y Y, et al. 2015. An integrated procedure to determine a reference station network for evaluating and adjusting urban bias in surface air temperature data [J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 54: 1248-1266.
- Ren G Y, Zhou Y Q, Chu Z Y, et al. 2008. Urbanization effect on observed surface air temperature trends in North China [J]. *Journal of Climate*, 21: 1333-1348.
- Ren Y Y, Ren G Y. 2011. A remote-sensing method of selecting reference stations for evaluating urbanization effect on surface air temperature trends [J]. *Journal of Climate*, 24: 3179-3189.
- Sun Y, Zhang X B, Ren G Y, et al. 2016. Contribution of urbanization to warming in China [J]. *Nature Climate Change*, 6: 706-709.
- Wang F, Ge Q, Wang S, et al. 2015. A new estimation of urbanization's contribution to the warming trend in China [J]. *Journal of Climate*, 24: 3179-3189.
- Wang J, Tett S F B, Yan Z W. 2017. Correcting urban bias in large-scale temperature records in China, 1980-2009 [J]. *Geophysical Research Letters*, 44: 401-408.
- Wu K, Yang X Q. 2013. Urbanization and heterogeneous surface warming in Eastern China [J]. *Chinese Science Bulletin*

- tin, 58: 1363-1373.
- Yang X C, Hou Y L, Chen B D. 2011. Observed surface warming induced by urbanization in East China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 116: D14113.
- Yang Y J, Wu B W, Shi C E, et al. 2013. Impacts of urbanization and station-relocation on surface air temperature series in Anhui Province, China [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 170: 1969-1983.
- Yan Z W, Li Z, Li Q X, et al. 2010. Effects of site change and urbanisation in the Beijing temperature series 1977–2006 [J]. *International Journal of Climatology*, 30: 1226-1234.
- Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, et al. 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China [J]. *PNAS*, 101(26): 9540-9544.

Adjustment of urbanization bias in surface air temperature over the mainland of China

WEN Kangmin¹, REN Guoyu^{1,2*}, LI Jiao³, REN Yuyu², SUN Xiubao⁴, ZHOU Yaqing^{1,5}, ZHANG Aiying⁶

(1. Department of Atmospheric Sciences, School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Tieling Meteorological Bureau, Liaoning Province, Tieling 112000, Liaoning, China; 4. South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510000, China; 5. Jinzhong Meteorological Bureau, Shanxi Province, Jinzhong 030600, Shanxi, China; 6. Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089, China)

Abstract: This study developed a method for correcting urbanization bias of station monthly mean surface air temperature data. By using this method and the data of 143 reference stations obtained from a previous research, we corrected urbanization bias of annual and monthly mean temperature data from 1961 to 2015 for 685 national reference climate and basic weather stations (national stations). We explained the rationality and evaluated the effect of the adjustment in the monitoring and analysis of surface air temperature change in the mainland of China. This study adopted a method of iterative correction that corrects longitudinally from east to west, and a revised target station can also serve as a reference station. First, the reference stations of a target station was set as within the range of 300 km, and the correlation coefficients of the detrended annual mean temperature between the target and candidate reference stations were taken as the criteria for selecting the reference stations. Second, by using the correlation coefficients of the reference stations as weights, the weighted average of the annual and monthly mean temperature of all the reference stations around a target station was calculated, obtaining annual and monthly mean temperature reference series for each of the target stations. Third, urbanization biases of the target stations were adjusted by using the linear temperature trend differences of the target station and the reference series as the total correction amounts. The areas with large adjustments are located in North China, part of Central China, northern Northeast China, part of Southwest China, and western China, ranging from 0.1 to 0.3 °C/10 a, and negative urbanization bias exists in some areas of northwestern China, western and southern Tibet, southern Northeast China, coastal South China, and a few stations in East and Central China. For the whole of China's mainland, the relative urbanization bias is 19.6%. As representative metropolis observational sites in North China, Central China, Northwest and South China, respectively, Beijing, Wuhan, Yinchuan, and Shenzhen stations are found to have larger relative adjustments of 67.0%, 75.4%, 32.7%, and 50.3% respectively in the past 55 years. The adjustments are in line with the results of previous studies on assessment of impacts of urbanization for the stations. The results show that the adjustment is reasonable. The corrected temperature data largely have eliminated the uncertainties caused by urbanization biases.

Keywords: national stations; surface air temperature; monthly mean temperature; urbanization bias; correction method