

# 上海城市热岛的精细结构气候特征分析

沈钟平<sup>①\*</sup>, 梁萍<sup>①</sup>, 何金海<sup>②</sup>

① 上海市气候中心, 上海 200030;

② 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044

\* 联系人, E-mail: shenzhongping126@126.com

2016-09-22 收稿, 2016-11-19 接受

中国科学院战略性先导科技专项(XDA05090204); 国家自然科学基金资助项目(41571044); 沪气函[2017]63号

**摘要** 对上海地区 59 个自动站 2006—2013 年逐时气温资料进行了本地化的质量控制, 得到一套高分辨率气温数据集。将其与常规观测资料进行对比, 发现两者反映的上海年平均及季节平均气温基本一致, 说明经质量控制的加密资料是可信的。但其空间差异更为明显, 表明高分辨气温数据在城市热环境精细空间分布研究中更具代表性和有效性。基于该数据集研究了上海的城市热岛空间分布。结果表明, 加密观测数据可反映出城市热岛的精细结构气候特征: 热岛分布由中心城区向四周及西南部扩展, 尤其是出现了“多中心”结构特征, 即除中心城区的热岛主中心外, 在闵行北部和松江南部均出现了与快速城市化进程相联系的区域性副热岛中心; 受大气环流季节转换和局地海陆风的影响, 热岛位置在秋冬季偏东南方向, 春夏季偏西北方向。上述精细化特征在常规资料中并不明显或无法体现。由此可见, 经质量控制的加密气温数据在城市热岛的精细结构研究中更具优势。

**关键词**

自动站;  
气温;  
质量控制;  
城市热岛;  
精细结构

在全球增暖及快速城市化进程的背景下, 城市热环境已成为气候、环境、生态等领域研究的热点问题(史军等, 2011; 杨鹏等, 2013; Tan et al., 2015)。近年来, 上海地区极端天气气候事件频发, 尤其是高温热浪的持续时间愈来愈长, 强度愈来愈大。这与城市热岛空间结构的变化密不可分。精细化的城市热岛气候特征可以为极端高温事件的落区预测提供一定的依据。和常规观测相比, 加密自动气象观测具有高时空分辨率等优点, 可以更为清晰地描述热岛的精细结构。但其质量的可靠性和准确性是研究及服务的难点。因此对自动站资料的质量进行系统、科学的评估是一项重要的基础性工作。特别是将自动气象观测应用于气候研究时, 还需要对长序列的高分辨自动气象观测进行系统性的质量控制, 确保其时空变化的均一性。

世界气象组织非常重视气象资料的质量控制, 并给出了许多指导性的意见(WMO, 2008)。国内

外对自动站观测数据的质量控制做了大量的研究(Eischeid et al., 1995; Peterson et al., 1998; 陶士伟和徐枝芳, 2007; 孙娟和胡平, 2009; 傅娜等, 2014)。大部分工作都是针对多要素建立实时的质量控制系统。Vejen et al.(2002)介绍了北欧自动站数据的质量控制系统, 主要包括台站级质量控制、入库前实时质量控制、入库后非实时质量控制以及人工质量控制等。孙娟和胡平(2009)对上海自动气象站多种要素进行了实时的质量控制。但在气温资料的气候极值检查中, 其将上海 1970—2009 年各月的月极端最高(低)气温的最高(低)值作为阈值。考虑到打破台站历史记录的极端天气气候事件, 该阈值的选取方法有一定的局限性。同时在空间一致性检查中, 其将上海自动站分为内陆、沿海和海上三个区域进行分区对比, 但这个范围选取过大。傅娜等(2014)对上海自动站 2011 年 7 月—2012 年 6 月气温资料进行了质量控制, 但其仅做了空间一致性检

**引用格式:** 沈钟平, 梁萍, 何金海, 2017. 上海城市热岛的精细结构气候特征分析[J]. 大气科学学报, 40(3): 369-378.

Shen Z P, Liang P, He J H, 2017. Analysis on the climatic characteristics of the fine structure of the urban heat island in Shanghai[J]. Trans Atmos Sci, 40(3): 369-378. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20160922001. (in Chinese).

验。实际观测中,在时间一致性等方面也存在一些问题。作为世界级超大城市,上海自20世纪90年代以来建立了包括加密自动气象站在内的城市综合观测体系,为城市热岛的精细化特征研究提供了重要的观测数据基础。关于城市热岛的已有研究大多采用常规气象观测(李兴荣等,2007;侯依玲等,2008;谈建国等,2008)或者卫星遥感数据(王桂玲等,2007;程蕊,2009;钟杰,2015),如Liu et al.(2007)从北京城区和郊区各选取一个典型站点,并利用1977—2000年的常规气温资料,分析了北京的城市热岛强度及城市化对其产生的影响。Roth et al.(1989)利用NOAA AVHRR热红外数据得到了美国西海岸几个城市的热岛空间分布。Tran et al.(2006)利用MODIS的地表温度资料对亚洲多个超大城市的热岛效应进行了评估。但常规观测资料的时空分辨率不够高,卫星遥感数据在可靠性方面还有待进一步完善,而高分辨率的加密气温资料在该领域的应用较为鲜见。为了进一步揭示城市热环境特别是城市热岛的精细化结构气候特征,有必要利用质量控制后的加密观测数据对城市热环境开展更深入的研究。

本文利用上海地区2006—2013年加密自动气象站逐时气温资料,在对其进行系统检验评估的基础上,研发了一套本地化质量控制方案,得到了一份较为准确可靠的高时空分辨率气温数据集。通过与

常规观测资料的对比,对数据的可靠性做了进一步验证。最后利用该数据集研究上海城市热岛的年平均及季节平均的空间结构分布,进一步展现四季热岛在强度和位置等方面的精细化气候特征,并从城市化的角度出发,初步阐述其形成原因,为高分辨城市热岛及相关的精细化监测、预报、预警服务提供科学依据。

## 1 资料与方法

上海市气象部门从2002年开始全面加快自动气象站的建设。截止目前,已建成并有效使用的自动气象站有一百多个,主要观测温度、雨量、气压、风、能见度和露点等要素。本文选取了从2006年1月1日开始有气温观测记录的59个自动站。图1为各站点的分布情况,其中标记“\*”的站点是常规站,既有常规观测,又有自动观测。而标记“●”的站点是自动站,只有自动观测。从地理位置来看,上海自动站大致可分为海上、沿海、内陆三大类。本文采用上海市2006年1月1日至2013年12月31日期间的常规站逐日气温资料和自动站逐小时气温资料,其中常规资料来源于上海市气候中心,自动站资料来源于上海市气象局信息中心。若自动站一天24 h均无缺测,则将24个时次的气温求平均,得到该日日平均气温;若自动站02时、08时、14时和20时四个时次不缺测,其余时次部分缺测,则将上述四

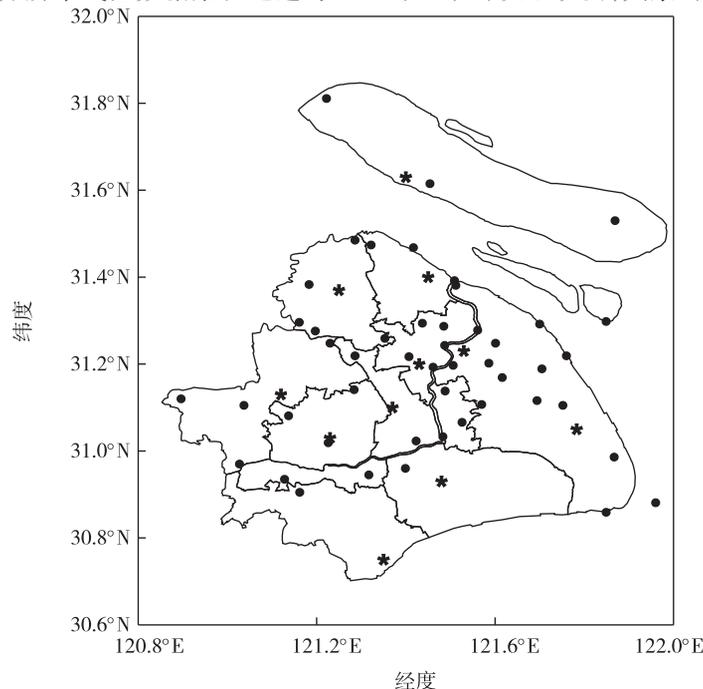


图1 自动站的地理位置分布(“\*”表示常规站点)

Fig.1 Distribution of AWSs in Shanghai

个时次的气温求平均,得到该日平均气温。若自动站 02 时、08 时、14 时和 20 时部分缺测,则认为该日缺测。常规观测资料主要包括徐家汇、闵行、宝山、嘉定、浦东、松江、金山、奉贤、南汇、青浦和崇明共 11 个气象站。自动站的空间分布广泛,覆盖了上海市全部地域,且分布密度呈现由中心城区一近郊一远郊逐渐递减的特征。这与上海城市化进程的空间差异一致,基本能满足开展加密城市化效应研究的需要。

## 2 加密观测气温资料的质量控制与评估

### 2.1 质量控制方案

本文使用的常规观测气温资料已经过人工校对和质量控制,并多次应用于已有研究中(侯依玲等,2008)。因此,本文重点对加密观测气温资料进行质量控制。参考已有的关于自动站资料质量控制技术的业务流程系统(王海军等,2007;孙娟和胡平,2009;王亚男等,2011),考虑到上海地区气候背景等综合因素,本文制定了以下本地化的质量控制方案(图 2),主要包括台站格式参数检查、气候极值检查、时间一致性检查和空间一致性检查 4 部分。与已有研究不同的是,本文在气候极值检查和空间一致性检查中做了更细化的处理。即:考虑到在极端天气气候事件中,台站气温具有打破历史记录的可能性,本文参考了建站以来各月月极端最高/低气温的最高/低值,并在此基础上将该极值范围适当放宽,作为各月的阈值。在空间一致性检查中,由于自动观测站点分布仍存在一定的非均匀性,本文针对不同的站点类型(中心城区和郊区)采用了不同距离标准分别进行空间一致性检查。

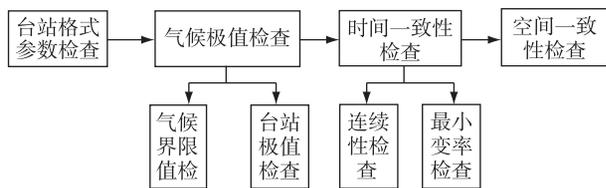


图 2 加密自动站气温资料质量控制流程图

Fig.2 The quality control procedures of temperature data from AWSs

#### 2.1.1 台站格式参数检查

台站格式参数检查主要是对原始气温资料的格式进行筛查。上海自动站的原始数据正确格式如下:00 时为“X 年-X 月-X 日,气温值”,其余时次为“X 年-X 月-X 日 X 时,气温值”。筛查结果显

示,数据格式基本都满足上述条件,但存在极少数时次重复出现的情况。对重复出现的记录进行了人工比较,若气温数值相同,则认为数据可信;反之,认为数据可疑。

#### 2.1.2 气候极值检查

气候极值检查主要包括气候界限值检查和台站极值检查两部分。气候界限值是指气候学上不可能出现的气象要素界限值,超过这个值的数据则修订为缺测。本文采取的气温阈值为 $-30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (王亚男等,2011)。台站极值是指某站点历史上曾经出现过的最大值和最小值。一般来说,气温大于最大值或小于最小值的可能性非常小。本文根据不同月份的月极端最高/低气温的最高/低值动态地调整阈值。考虑到各站点不同的环境因素以及极端天气事件出现的可能性,我们在上述极值的基础上再上下浮动 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,作为气温的阈值,超出这一范围则认为数据可疑。

#### 2.1.3 时间一致性检查

时间一致性检查是指对气象要素是否在一定的时间内变化且具有特定规律的检查,主要包括连续性检查和最小变率检查。

1)连续性检查:气温随时间的变化应该是连续的,在一定的时间间隔,其前后波动应该在一定范围内。根据气温本身的变化规律和历年来的历史经验值,以小时为跨度,用当前时刻的观测数据与前一小时的观测数据相比较。若 $|T_k - T_{k+1}| > 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,则认为数据错误。其中 $T_k$ 、 $T_{k+1}$ 分别表示第 $k$ 和 $k+1$ 时刻的气温。

2)最小变率检查:气温应该随时间发生连续平稳的变化。若连续若干个小时的气温观测数据恒定不变,可以认为仪器出现故障。根据对上海地区 11 个常规站气温的时间连续性演变分析,本文定义若观测数据连续超过 12 h 无变化,则认为数据错误。

#### 2.1.4 空间一致性检查

空间一致性检查是指对空间相近的站点之间相同要素的相互关系是否符合客观规律的检查。从理论上说,自然环境相仿且距离较为相近的站点之间,气温的观测数据有很大的可比性。根据观测站点的真实分布情况,采用了不同的站点类型(中心城区和郊区)使用不同距离标准的方法,亦即对于中心城区,定义两个站点之间的距离小于 10 km 则为相近站点;对于郊区,若两个站点之间的距离小于 15 km 则认为相近站点。本文对上海地区 11 个常规站历年的气温数据进行反复对比分析后,定义若

某个气象站点的气温与其邻近范围内多个站点的平均气温之差超过 5℃, 则判定为错误数据。

### 2.2 加密观测资料的质量评估

通过上述检查, 将所有判定为可疑或错误的数据库修订为缺测, 保留其余通过检验的数据, 可得到质量控制后的数据集。但如果资料的缺测数据太多, 那么可用性就差, 甚至不可用。因此, 有必要采用缺测率进一步评估加密观测气温资料的完整性及可用性。质量控制后的缺测数据主要包括两部分, 一是其固有的缺测数据; 二是质量控制后的缺测数据。将原始缺测数据和修订缺测数据统一纳入缺测率计算, 即:

$$I_{MVR} = \frac{(I_{OMN} + I_{RMN})}{I_{TDN}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $I_{MVR}$  为缺测率;  $I_{OMN}$  为原始缺测数据个数;  $I_{RMN}$  为修订缺测数据个数;  $I_{TDN}$  为样本总数。

为了更清晰地对比质量控制前后的有效数据状况, 基于缺测率的定义(公式(1)), 对比质量控制前后该数据集的年缺测率(如图3所示)。可以看到, 质量控制并未改变数据年缺测率的变化趋势, 这也旁证了质量控制过程是可信的。其中2006—2008年的年缺测率在质量控制前后有一定差异, 2007年年缺测率由质量控制前的7.33%上升到质量控制后的7.58%, 增加了0.25%。而2009年以后质量控制前后数据的年缺测率差别非常小, 均在0.13%以内。这说明在2009年以后上海地区自动站原始气

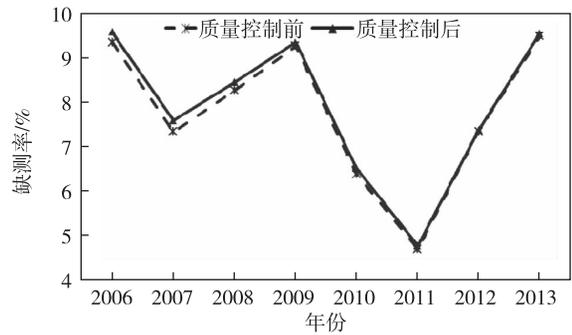


图3 质量控制前后的缺测率比较

Fig.3 Comparison of missing data ratio before and after quality control

温资料的准确性和可靠性得到了大幅提高。从质量控制后资料的年缺测率来看, 2006—2013年自动站年缺测率均在10%以下, 远小于北京自动站的年缺测率(杨萍等, 2011)。其中2011年年缺测率最低, 仅为4.7%。说明本文所采用的经质量控制后的加密观测气温资料有较好的完整性和可用性。

采用经以上质量控制方案得到的加密气温观测数据, 与常规观测进行对比分析, 可直观地反映资料的可靠性。图4给了两种观测条件下的上海年平均气温空间分布。从整体分布来看, 年平均气温的分布形态是一致的, 即中心城区及其附近为气温高值区, 远郊及崇明三岛为低值区。但加密观测除中心城区外, 还可清晰地反映出闵行北部和松江南部的两个气温高值中心。而常规观测仅反映徐家汇一个高值中心。此外, 由于常规观测站点稀疏, 在插值过

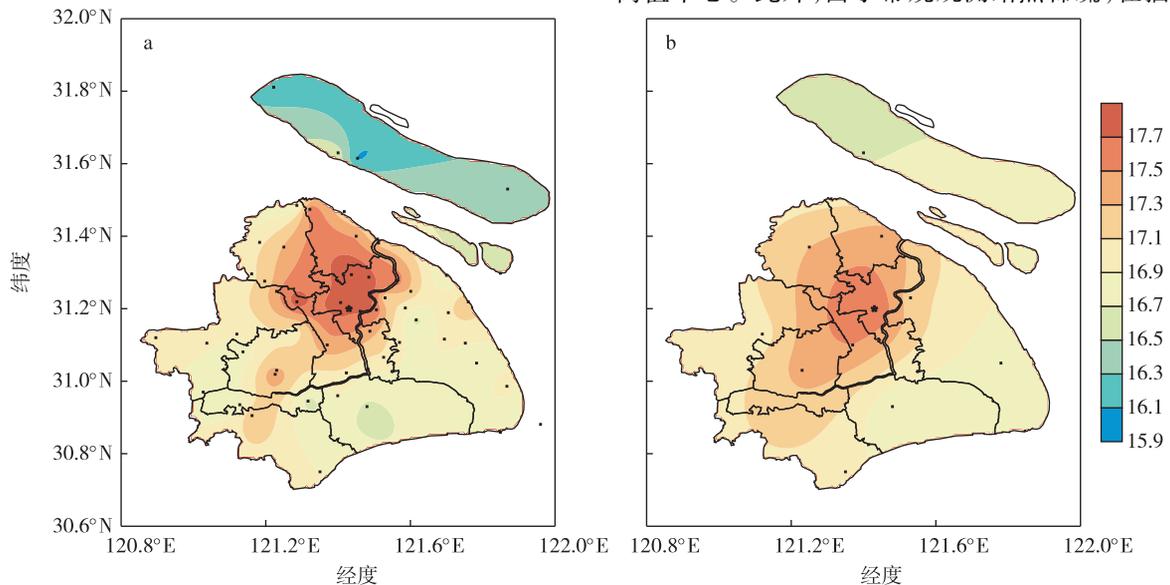


图4 自动站(a)与常规站(b)的年平均气温分布(单位:℃;“\*”代表徐家汇站)

Fig.4 Distribution of annual mean temperature from (a) automated and (b) manual observations (units:℃; “\*” represents Xujiahui station)

程中会造成气温的均匀化。如在高值区范围内,常规观测气温不及加密观测高,低值区范围内,气温不及加密观测低。

图 5a 给出加密观测和常规观测得到的上海地区季节平均气温差异。从季节平均来看,加密观测和常规观测的差异并不大,均在 0.1 °C 以下,特别是春、秋季节。换言之,质量控制之后的加密观测和常规观测反映的上海季节平均气温基本一致。由于常规观测数据较为可靠,由此表明质量控制后的加密气温数据能较好地反映上海的气候状况。进一步采用季节平均气温在空间分布上的标准差(公式(2)),考察两套数据在空间分布上的差异。

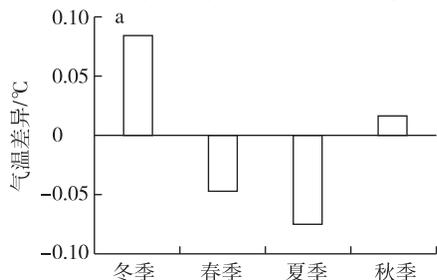
$$S_j = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (T_{i,j} - \bar{T}_j)^2} \quad (2)$$

其中: $i$  为站号; $j$  为季节编号(包括春、夏、秋、冬四个季节); $N$  为站点数目; $T_{i,j}$  为第  $i$  站在  $j$  季节的平均气温; $\bar{T}_j$  为在  $j$  季节各站的平均气温; $S_j$  为  $j$  季节平均气温的空间标准差。

图 5b 给出了自动站与常规站季节平均气温的空间标准差。可以看到,两套数据能一致地反映出上海气温空间差异的季节变化,即冬季最小,春季最大,4 个季节的自动站标准差均大于常规站,说明自动气象站之间的气温差异较常规站更加显著。总体而言,加密观测得到的上海地区年平均气温、季节平均气温均与常规观测基本一致,但反映出的空间差异较常规观测更大,进一步证明了加密观测的重要性和必要性。

### 3 城市热岛的精细气候结构特征

由于不同时间尺度(如年或季节)的平均气温空间差异较大,在进行城市热环境空间差异对比中,采用气温空间差异相对全区平均气温的大小进行分析,可以更合理地揭示城市热岛的空间结构。参考



Liang et al.(2011),定义标准化相对气温如下:

$$T_{si} = \frac{(T_i - \bar{T})}{\sigma_T}, i = 1, 2, 3, \dots, 59. \quad (3)$$

其中: $i$  为站号; $T_{si}$  为第  $i$  站的标准化相对气温; $T_i$  为第  $i$  站的气温; $\bar{T}$  为全区域的平均气温; $\sigma_T$  为该区域所有站点组成的气温序列的标准差。这里,采用标准化相对气温来分析上海地区城市热岛分布的空间差异,以揭示热岛的气候精细结构。

#### 3.1 城市热岛的年平均分布特征

图 6 为自动站与常规站的年平均城市热岛空间分布,可见,两种观测手段所体现的热岛结构形态基本一致,但加密资料更清晰地展现了上海城市热岛范围正逐步向周围及西南方向扩展的特性,且上海热岛的精细结构表现出“多中心”特征,即除中心城区的主热岛中心外,在闵行北部和松江南部还有两个副热岛中心。三个热岛中心如图 6a 的蓝圈所示。上述精细化热岛结构特征在常规观测中并不明显,有些甚至无法体现。说明经质量控制后的加密观测数据在高分辨城市热岛研究中具有重要的应用价值。

#### 3.2 城市热岛的季节分布特征

图 7 为加密观测和常规观测资料所反映的上海市不同季节的城市热岛分布特征,可见,两者的热岛结构形态基本一致。具体表现在:春夏季节,上海城市热岛范围(即标准化气温大于零)的区域主要分布在中西部地区,而秋冬季节城市热岛主要位于中北部和东部沿海地区。上述热岛空间分布的季节差异与受盛行风向的季节转换和局地海陆风影响有关。春夏季上海盛行东南风向,受东南风影响最明显的东南部地区相对凉爽,热岛中心位置偏西北方向。秋冬季节盛行西北风,受其影响北部郊区相对偏冷。同时,受局地海陆风影响,东部沿海地区较内陆偏暖。综合上述区域性大气环流和局地性海陆风

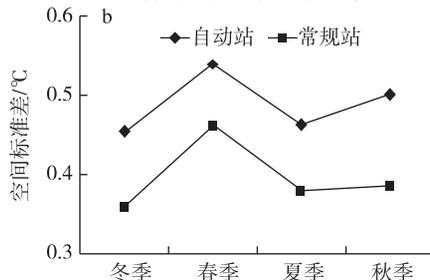


图 5 自动站与常规站的季节平均气温差异(a)及空间标准差(b)(单位:°C)

Fig.5 (a) The difference of seasonal mean temperature and (b) spatial standard deviation between automated and manual observations(unit: °C)

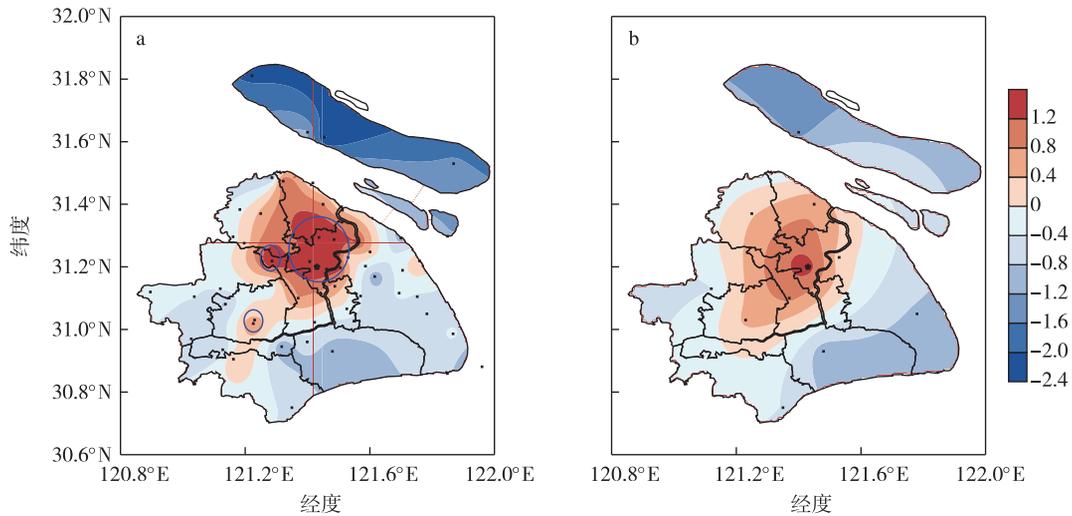


图6 自动站(a)与常规站(b)2006—2013年年平均热岛分布(单位:°C;“\*”代表徐家汇站)

Fig.6 Distribution of annual mean hot island during 2006 and 2013 from (a) automated and (b) manual observations (units: °C; “\*” represents Xujiahui station)

影响,秋冬季节热岛中心位置偏东南方向。由此可见,加密观测反映的热岛空间分布走向与大气环流的季节转换和局地海陆风的实际影响相吻合。而常规观测由于站点稀疏,对热岛分布走向的描述存在一定的局限性。

值得注意的是,常规站资料所反映的夏季热岛较自动站明显偏弱。这主要是因为11个常规站中位于中心城区(徐家汇站)附近的站点气温相对较低,而59个自动站中位于中心城区及其附近的部分站点气温偏高,有些甚至高于徐家汇站(具体详见3.3节)。此外,在秋冬季节,除中心城区的主热岛中心外,加密观测中可清晰反映出闵行北部和松江南部的两个热岛副中心的存在;而春夏季节,加密观测反映的热岛中心范围更大,以致于闵行北部的副中心与中心城区的主中心合并为一个主热岛。

### 3.3 城市热岛精细化结构特征成因的初步分析

由于城市化带来的人口数量增加和下垫面改变对气温变化有重要作用,以下对上海的城市化进程做初步分析,进一步考察质量控制后的加密观测气温数据在反映城市热岛精细结构特征上的合理性。

Yang et al.(2011)指出,上海近27 a升温率为 $0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ ,城市化占32.759%的贡献率,说明城市化进程的加快对气温的增加有着重要影响。由于人口与城市发展程度、人为热量的排放等有密切关系,因此大量人口迁入城市是导致热岛的主要因素。城市化程度的高低可用城市人口数量来表示(周淑贞和束炯,1994)。表1为三个热岛中心所在

区(中心城区、闵行区和松江区)在2005年末和2013年末的人口数及2013年人口较2005年的增长倍数(数据来源于《上海统计年鉴》)。由表1可见,中心城区的人口增长倍数远小于松江和闵行。截至2013年末其人口数目较2005年末仅增加0.08倍,但由于其人口基数过大,使之成为上海的主热岛中心。而松江南部和闵行北部出现的范围较小两个副热岛中心,主要和一些区域性的新城建设项目有关。如2001年松江开始实施“松江新城”项目建设。截至2009年“松江新城”已成为上海的又一个城市副中心。可以看到,松江的人口增长速率非常迅速,2013年末其人口数量较2005年末近乎翻倍。此外,依托2010年“大虹桥”板块的城市建设,华漕镇逐渐成为闵行北部的中心,是闵行区城市化发展的重点区域。2013年末闵行区人口较2005年末仅增加0.48倍。仅2010年,闵行区就增加了61.7万人口。由此可见,上述城市副中心的建设,不仅改变了下垫面状态,还使得人口急剧膨胀,产生更多的人为热,从而形成副热岛中心。

此外,加密观测反映的主热岛中心强度较常规观测更大,且位置也有移动。这主要是因为常规观测的热岛中心以徐家汇站为代表,而实际上由加密观测资料可以看出,中心城区及其附近的部分站点气温高于徐家汇站。表2为主热岛中心区内部分自动站日平均气温高于徐家汇站的概率。据统计,位于中心城区的延安西路中山西路站和共和新路中山北路站,全年日平均气温高于徐家汇站的概率分别

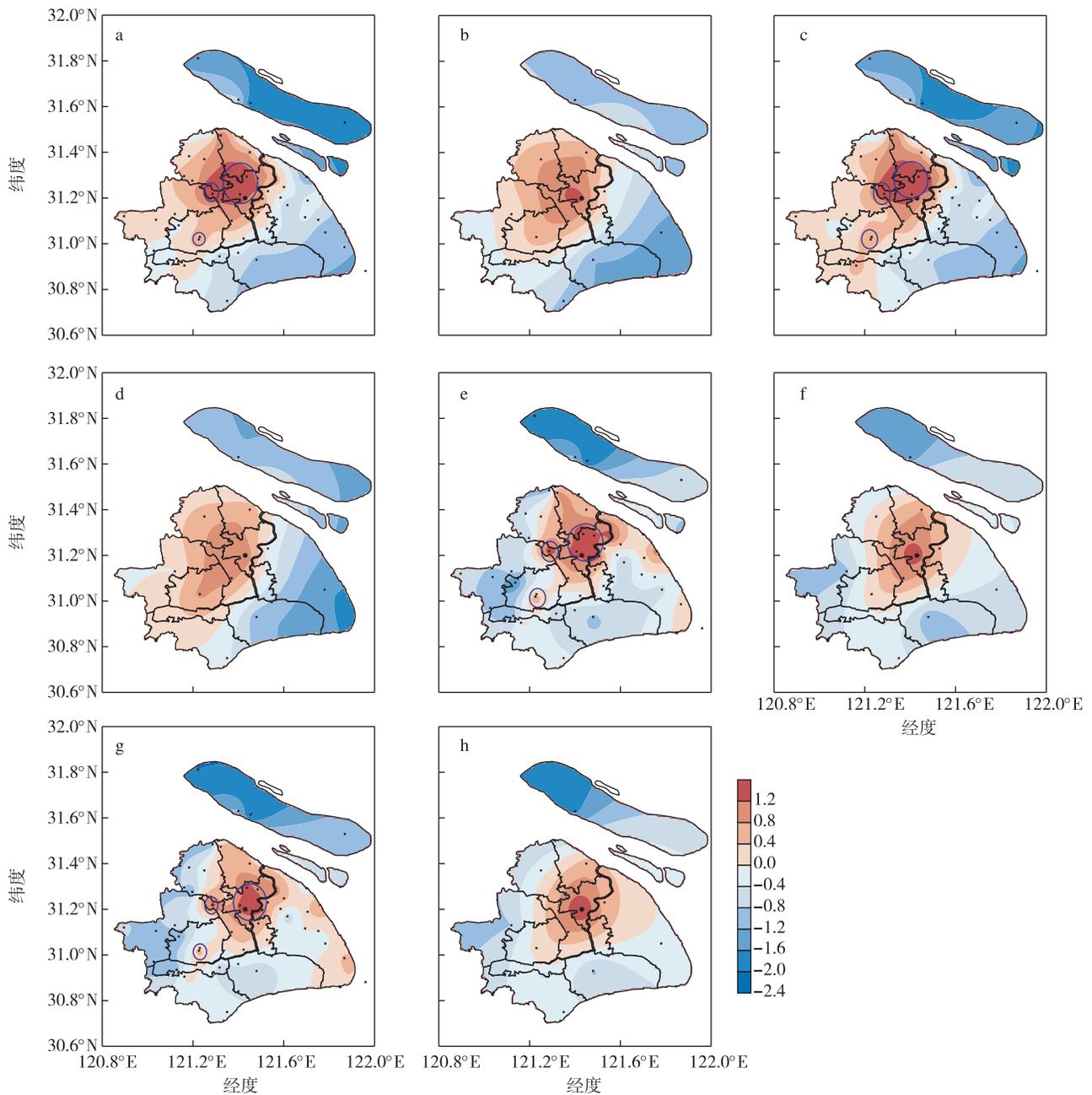


图7 上海自动站(a,c,e,g)和常规站(b,d,f,h)所反映的城市热岛的季节分布(\*代表徐家汇站)

a,b.春季;c,d.夏季;e,f.秋季;g,h.冬季

Fig.7 Distribution of seasonal mean hot islands from (a,c,e,g) automated and (b,d,f,h) manual observations (“\*” represents Xujiahui station) a,b.spring;c,d.summer;e,f.autumn;g,h.winter

高达 57.9% 和 48.5%，而位于城区附近的闵行陈家角站和嘉定真新站日平均气温高于徐家汇站的概率分别为 44.7% 和 38.4%。特别是在夏季，这些站点的日平均气温高于徐家汇站的概率则更高，均在 50% 以上。其中延安西路中山西路站日平均气温高于徐家汇站的概率高达 70.7%。由此可见，城市化过程已经改变了上海气温的气候态空间分布。徐家汇不再是中心城区气温最高的代表站。因此，在反

映真实的城市热岛强度方面，加密观测数据较常规观测更具优越性。

综上所述，加密气温数据所反映的城市热岛精细化空间分布均与上海的城市气候特征及城市发展相符，这进一步佐证了本文对自动站观测数据质量控制的可信性，同时也说明了加密观测资料在高分辨城市热岛分布研究中具有重要的应用价值。

表1 3个热岛中心所在区在2005年末、2013年末的人口数及2013年较2005年的增长倍数

Table 1 Population changes in the areas of the three heat island centers 万人

区域	2005年末	2013年末	增长倍数
中心城区	654.42	707.88	0.08
闵行区	170.76	253.22	0.48
松江区	88.58	173.66	0.96

表2 主热岛中心区的部分自动站日平均气温高于徐家汇站的概率

Table 2 The probabilities of some AWSs with higher daily mean temperature than Xujiahui station %

	延安西路 中山西路	共和新路 中山北路	闵行陈家角	嘉定真新
全年	57.9	48.6	44.7	38.4
夏季	70.7	60.2	52.5	67.2

## 4 结论

上海城市热岛的精细结构可以为气温预测和极端天气气候事件的预测提供一定的科学依据。因此本文对2006—2013年共59个自动站的逐时气温资料进行了本地化的质量控制。将质量控制后的加密

资料与常规资料对比分析,以对数据的可靠性做进一步验证。在此基础上研究了上海城市热岛的精细化空间结构特征,并从城市化角度对其形成原因进行了初步的分析,进一步证明了高分辨气温数据在城市热岛研究中的重要性和优越性。主要得到以下结论:

1) 利用气候极值检查、时空一致性检查等,得到一套高分辨率气温数据集。经质量控制的加密观测资料所反映的年平均及四季平均气温与常规观测基本一致,但前者所反映的空间差异更明显。因此,加密资料在城市热岛精细化结构特征的研究中更具有代表性和有效应。

2) 基于质量控制后的加密观测资料,研究发现上海城市热岛的精细结构表现出“多中心”特征,亦即城区的主中心、闵行和松江的两个副中心。区域性的新城建设加快了两个副热岛中心的城市化进程,不仅改变了下垫面,也使大量外来人口迁入其中产生更多的人为热,进而形成多个副热岛中心。

3) 受大气环流的季节转换和局地海陆风的共同影响,热岛范围在春夏季偏西北方向,而秋冬季偏东南方向。

致谢:衷心感谢美国马里兰大学钟洪麟博士给本文提供帮助!

## 参考文献(References)

程蕊,2009.上海市热环境监测方法及城镇居住区热岛效应研究[D].上海:华东师范大学. Cheng R,2009.Research on methods of thermal environment monitoring and heat island effect of urban residential district in Shanghai City[D].Shanghai:East China Normal University.(in Chinese).

Eischeid J K,Baker C B,Karl T R,et al.,1995.The quality control of long-term climatological data using objective data analysis [J].J Appl Meteor,34(12):2787-2795.

傅娜,陈葆德,谭燕,等,2014.上海自动站气温资料的空间质量控制与特征分析[J].大气科学学报,37(2):199-207. Fu N,Chen B D,Tan Y,et al.,2014.Spatial quality control and characteristic analysis of AWS temperature data in Shanghai[J].Trans Atmos Sci,37(2):199-207.(in Chinese).

侯依玲,陈葆德,陈伯民,等,2008.上海城市化进程导致的局地气温变化特征[J].高原气象,27(增刊):131-137. Hou Y L,Chen B D,Chen B M,et al.,2008.Characteristics of local air temperature variation influenced by Shanghai urbanization[J].Plateau Meteorology,27(S):131-137.(in Chinese).

李兴荣,胡非,舒文军,2007.北京冬季城市热岛特征及强弱热岛影响因子研究[J].中国科学院研究生院学报,24(4):431-438. Li X R,Hu F,Shu W J,2007.Research on the characteristics of Beijing winter UHI and the influencing factors of a strong UHI and a weak one[J].Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences,24(4):431-438.(in Chinese).

Liang P,Ding Y H,He J H,et al.,2011.Study of relationship between urbanization speed and change of spatial distribution of rainfall over Shanghai [J].J Trop Meteor,27(4):475-483.

Liu W, Ji C,Zhong J,et al.,2007.Temporal characteristics of the Beijing urban heat island[J].Theor Appl Climatol,87(1):213-221.

Peterson T C,Vose R S,Schmoyer R,et al.,1998.Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data[J].Int J Climatol,18(11):1169-1179.

Roth M,Oke T R,Emery W J,1989.Satellite derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology [J].Int J Remote Sens,10(11):1699-1720.

- 史军,梁萍,万齐林,等,2011.城市气候效应研究进展[J].热带气象报,27(6):942-951. Shi J, Liang P, Wan Q L, et al., 2011. A review of the progress of research on urban climate[J]. J Trop Meteor, 27(6):942-951. (in Chinese).
- 孙娟,胡平,2009.上海自动气象站实时质量控制研究[J].气象水文海洋仪器,26(4):38-41. Sun J, Hu P, 2009. Study on real time quality control system of Shanghai automatic weather station[J]. Meteorology, Hydrological and Marine Instruments, 26(4):38-41. (in Chinese).
- 谈建国,郑有飞,彭丽,等,2008.城市热岛对上海夏季高温热浪的影响[J].高原气象,27(增刊):144-149. Tan J G, Zheng Y F, Peng L, et al., 2008. Effect of urban heat island on heat waves in summer of Shanghai[J]. Plateau Meteorology, 27(S):144-149. (in Chinese).
- Tan J, Yang L, Grimmond C S B, et al., 2015. Urban integrated meteorological observations: practice and experience in Shanghai, China[J]. Bull Amer Meteor Soc, 96(1):197-210.
- 陶士伟,徐枝芳,2007.加密自动站资料质量保障体系分析[J].气象,33(2):34-41. Tao S W, Xu Z F, 2007. Analysis of the quality assurance procedures in intensified automatic surface weather observation system[J]. Meteor Mon, 33(2):34-41. (in Chinese).
- Tran H, Daisuke U, Shiro O, et al., 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities [J]. Int J Appl Earth Obs, 8:34-48.
- Vejen F, Jacobsson C, Fredriksson U, et al., 2002. Quality control of meteorological observations automatic methods used in the Nordic countries [R]. Klima.
- 王桂玲,蒋维楣,魏鸣,2007.城市热岛效应的卫星遥感分析[J].南京气象学院学报,30(3):298-304. Wang G L, Jiang W M, Wei M, 2007. An assessment of urban heat island effect using remote sensing data[J]. J Nanjing Inst Meteor, 30(3):298-304. (in Chinese).
- 王海军,杨志彪,杨代才,等,2007.自动气象站实时资料自动质量控制方法及其应用[J].气象,33(10):102-106. Wang H J, Yang Z B, Yang D C, et al., 2007. The method and application of automatic quality control for real time data from automatic weather stations[J]. Meteor Mon, 33(10):102-106. (in Chinese).
- 王亚男,吴彬贵,解以扬,2011.华北高速天津段公路气象数据质量控制分析[J].气象科技,39(6):723-730. Wang Y N, Wu B G, Xie Y Y, 2011. Quality analysis of meteorological data from Huabei Expressway in Tianjin[J]. Meteor Sci Tech, 39(6):723-730. (in Chinese).
- WMO, 2008. Guide to meteorological instrument and methods of observation [R].
- 杨鹏,陈静,侯晓玮,等,2013.基于多源数据的城市热岛效应研究——以石家庄地区为例[J].气象,39(10):1304-1313. Yang P, Chen J, Hou X W, et al., 2013. Study of urban heat island based on multi-source data——By the example of the Shijiazhuang area [J]. Meteor Mon, 39(10):1304-1313. (in Chinese).
- 杨萍,刘伟东,仲跻芹,等,2011.北京地区自动气象站气温观测资料的质量评估[J].应用气象学报,22(6):706-715. Yang P, Liu W D, Zhong J Q, et al., 2011. Evaluating the quality of temperature measured at automatic weather stations in Beijing [J]. J Appl Meteor Sci, 22(6):706-715. (in Chinese).
- Yang X C, Hou Y L, Chen B D, 2011. Observed surface warming induced by urbanization in East China [J]. J Geophys Res, 116, D14113. doi: 10.1029/2010/JD15452.
- 钟杰,2015.基于MODIS的长三角城市群热岛特征分析[D].上海:上海师范大学. Zhong J, 2015. Analysis on the characteristics of heat island in Yangtze River Delta region based on MODIS [D]. Shanghai: Shanghai Normal University. (in Chinese).
- 周淑贞,束炯,1994.城市气候学[M].北京:气象出版社:285-291. Zhou S Z, Shu J, 1994. Urban climatology [M]. Beijing: Meteorological Press: 285-291. (in Chinese).

## Analysis on the climatic characteristics of the fine structure of the urban heat island in Shanghai

SHEN Zhongping<sup>1</sup>, LIANG Ping<sup>1</sup>, HE Jinhai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China;

<sup>2</sup>Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Data quality is a basic assurance for meteorological researches and data applications. In this paper, considering local climate in Shanghai, a localized quality control flow is formulated from 59 AWSs (Automatic Weather Stations) hourly temperature data during the period of 2006—2013. It includes station format parameter check, climate extreme value check, time consistency check and space consistency check, especially by using the methods of dynamic threshold in climate extreme value check and different distance standards for different areas in spatial consistency check. After quality control, the annual mean data missing rates of this data set are all below

10% , which means the AWS data in Shanghai bears good integrality and confidence. Thus a set of high-quality and high-resolution temperature data set is obtained. Compared with the manual observation data, it is found that the average annual and seasonal mean temperatures in Shanghai are almost the same, which proves that the quality of this data set is reliable. But the spatial difference is more obvious, which just indicates that the high resolution temperature data is more representative and effective in the researches about fine spatial distribution features in urban thermal environment. Based on standardized temperature, the spatial distribution of urban heat island in Shanghai is analyzed with this data set. The results indicate that the AWS data can reflect many fine features of the distribution of urban heat island. The urban heat island center has expanded from the city center to periphery and the southwest area, especially presents a multi-centered feature. In addition to the main center of heat island at the city center, there are two sub-centers in the north of Minhang district and the south of Songjiang district respectively, which are associated with rapid urbanization. Two regional construction projects, namely, “Songjiang New Town” in 2009 and “Big Hongqiao Section” in 2010, have greatly accelerated the process of urbanization. They have not only changed the underlying surface status, but also made a large amount of anthropogenic heat caused by lots of people moving into the sub-centers of the city. Also the heat islands are located in the southeast area in autumn and winter and in the northwest area in spring and summer, which is affected by local sea-land wind and seasonal transition of atmospheric circulation. The above detailed characteristics are not obvious or can not be reflected from manual data. Therefore, the AWS data with quality control is better applicable than manual data in the research of fine structures of urban heat island.

**AWS( Automatic Weather Station ) ; emperature ; quality control ; urban heat island ; fine structure**

doi:10. 13878/j.cnki.dqkxxb.20160922001

(责任编辑:张福颖)