

傅新姝, 谈建国. 2015. 特殊天气城市复杂环境温度观测疑误数据的合理性分析. 气象, 41(12):1531-1537.

特殊天气城市复杂环境温度观测 疑误数据的合理性分析^{*}

傅新姝 谈建国

上海市气象科学研究所, 上海 200030

提 要: 对温度观测资料进行质量控制时, 僵值和突变是常见的疑误类型, 针对城市复杂环境中僵值和突变疑误数据进行研究, 对降低城市自动站温度资料质量控制的误检率有重要价值。文章针对城市复杂环境(以上海世博园为例)中 18 个自动气象站一年(2010 年 5 月至 2011 年 4 月)逐时温度资料进行质量控制, 着重探讨僵值及突变疑误数据的分布特征和可能原因。结果表明: (1) 僵值疑误数据集中出现在冬季夜间, 局地性强。阴天或多云天气, 通风不佳的测站感热项较小, 易出现僵值过程, 最长持续 11 h。 (2) 温度突变疑误数据可分“突升”和“突降”两类, “突升”集中出现在秋冬季, 而“突降”集中在春夏季; “突升”集中出现在日出前后, 而“突降”主要出现在午后至夜晚, “突升”局地性强而“突降”各站间趋同性较强。分析发现, 城市复杂环境下, 日照突然增加或减少以及午后短时强降水是导致温度突变疑误数据的主要原因。因此, 这些“疑误”数据是城市复杂环境影响或特定天气条件导致的, 为真实有效的观测资料。针对城市复杂环境下的温度观测资料开展质量控制时, 需结合观测环境等元数据进一步甄别。

关键词: 温度, 质量控制, 原因分析, 城市, 短历时天气过程

中图分类号: P413 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.12.011

Analysis of Suspected Temperature Observations from Urban Areas in Particular Weather Conditions

FU Xinshu TAN Jianguo

Shanghai Institute of Meteorological Science, Shanghai 200030

Abstract: Temperature observations, especially those observations from highly urbanized areas, are most likely to fail persistence test and step test when basic quality assurance (QA) procedures are applied. According to WMO, doubtful data from the persistence test and the step test are called dead band suspected data and inconsistent suspected data. Studying these suspected observations may contribute to validating important doubtful data and improving the performance of temperature QA system. Basic QA procedures are applied to hourly temperature observations at 18 automatic weather stations in a highly urbanized area (Shanghai Expo) collected from May 2010 to April 2011. The distribution of suspected data and possible causes are investigated. The results show that temperature dead band suspected cases occur mostly at isolated stations in the winter evening. They are more likely observed at shielded and blocked stations in cloudy weather. The sensible heat flux is low in these situations, which may be the reason that temperature keeps the same value for several hours, even lasting for 11 h at most. In addition, the temperature inconsistent suspected cases can be grouped into two subsets: temperature jump cases and temperature slump cases. The temperature jump cases mostly occur around sunrise in autumn and winter while the slump

^{*} 国家自然科学基金项目(41275021)和上海市气象局研究型科技专项(YJ201206)共同资助
2014 年 7 月 4 日收稿; 2015 年 7 月 16 日收修定稿
第一作者: 傅新姝, 主要从事城市气象研究. Email: fuxshu@gmail.com
通信作者: 谈建国, 主要从事城市气象研究. Email: jianguot@21cn.com

cases mainly are found in the afternoon or evening of spring-summer season. Moreover, the temperature jump cases appear at isolated stations, but temperature slump cases co-occur at different observing sites. The occurrence of these cases is closely related to weather conditions. As solar altitude increases at sunrise, the sheltered stations are suddenly exposed to the sun and warm up dramatically. Similarly, temperature goes down rapidly around sunset at the sheltered stations and temperature slump cases occur. In addition, the short-time heavy precipitation also causes dramatically cooling at stations. Therefore, these suspected data are reasonable. They might be important observations in studying extreme weather events as well as environment effects on temperature. Multiple cross-checks are required when some samples fail in the basic QA test.

Key words: temperature, quality assurance, cause analysis, urban area, short-time weather events

引言

随着气象观测网的发展和完善,人工站已逐步被自动气象站取代。做好自动站数据质量控制、判定观测数据是否合理是现代气象预报、服务和科研的基础性工作。

针对气象数据质量控制方法的研究,国内外已开展了一些工作(Shafer et al, 2000; WMO, 2003; 任芝花等, 2010; 周笑天等, 2012; 李平等, 2013; 刘雨佳等, 2014; 王红艳等, 2015), 还设计了自动站资料质量控制业务系统(任芝花等, 2007; 2015; 窦以文等, 2008; 李志鹏等, 2012)。质量控制方法主要包括极值检查、时间一致性检查、内部一致性检查、空间一致性检查等几种检验方法(Zahumenský, 2004; 何志军等, 2010; 韩海涛等, 2012; 王海军等, 2014; 李亚丽等, 2015), 对于单项检验为可疑的数据, 需要进一步综合判别其正确性。任芝花等(2005)的工作表明, 用界限控制法删选出的极端异常月平均气温属极端天气气候事件, 应进一步通过参考元数据等综合性质控方法进行分析, 从而保留极端天气气候事件的观测事实。王海军等(2012)提出未通过空间一致性等单项检查的温度资料, 可能是被检站天气与邻近站存在差异造成的, 需要结合其他一致性检查进行综合判断。微气象误差(Zahumenský, 2004)是受局地扰动产生的, 时间一致性和空间一致性均不满足, 在质量控制系统中一般被标示为“异常”, 但此类数据在研究中小尺度天气系统和测站环境对气象要素的影响方面具有重要价值。Lussana 等(2010)建议对微气象误差的疑误数据进行反复核对。在城市地区, 自动站数据不能通过时间一致性和空间一致性检查的情况更为常见, 此类“异常”数据是研究城市复杂环境和天气过程对气象要素影响

的重要观测资料。因此, 对未通过单项检验的“异常”数据的特征和形成原因进行深入研究分析, 对降低城市自动站质量控制系统的误检率具有重要价值, 但目前相关研究还非常少。

本文通过对上海世博园区 18 个气象站的逐时温度资料进行质量控制, 设计了城市复杂下垫面温度观测数据质量控制的流程图, 并着重探讨时间一致性检查疑误数据的分布特征和可能原因, 为今后城市复杂下垫面自动站温度观测数据质量控制的综合分析提供技术支持。

1 数据来源和质量控制流程

1.1 资料来源

研究区域(上海世博园, 简称世博站)位于上海城区黄浦江两岸, 占地面积 5.28 km², 土地利用类型复杂、下垫面多样, 本文选取 2010 年 5 月 1 日至 2011 年 4 月 30 日一整年正常工作的 18 个自动气象站逐时温度观测数据进行质量控制, 并结合同时段浦东气象观测站的逐时降水量、日照和云量资料, 分析温度疑误数据产生的可能原因。

1.2 质量控制流程及方法

自动气象站质量控制方案有极值检验、内部一致性检验、时间一致性检验和空间一致性检验等方法(韩海涛等, 2012), 本文采用气候历史极值检验和时间一致性检验, 其中时间一致性检验包括僵值检查及突变检查两步, 流程如图 1 所示。

气候极值检查是利用历史极值对气象要素观测资料的合理性进行判断, 未能通过该检查的数据被定义为错误值并剔除。参考周伟东等(2006)对上海自动站资料质量控制方法中用的极值范围, 并考虑

到研究区域在市中心区,本文将极值范围设为 $-13^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ 。

僵值检查又称最小时间变率检查,本文采用连续若干时次的标准差进行判断(Zahumenský, 2004),若连续 n 小时的标准差为0,则定义为一次

持续 n 小时的僵值过程。本文考察持续 6 h 及以上的僵值过程,相应的各时次温度标记为僵值疑误样本,占总样本数的 3‰。

温度突变检查又称最大时间变率检查,本文采用温度 1 h 时变检查,即用温度在 1 h 内的可能变化范围来判断质量。本文关注温度 1 h 时变值超过其平均值 4 倍标准差的样本,标记为温度突变疑误样本,占总样本数的 4.7‰。

2 结果分析

2.1 僵值和温度突变疑误样本分布特征

2.1.1 僵值

统计得到研究时段内持续 6 h 及以上的僵值过程共 25 个,其中 18 个过程持续 6 h,持续 7~8 h 的过程共 6 次,最长的一次过程长达 11 h。

图 2 显示,僵值疑误样本的时间分布存在季节差异,冬季1月的僵值疑误样本明显多于其他月份。

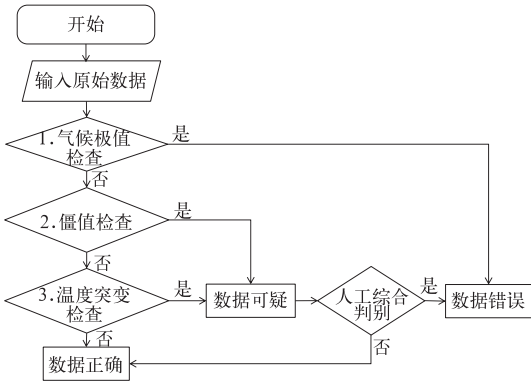


图 1 自动气象站温度数据质量
控制流程框图

Fig.1 The flow diagram of QA for air
temperature observations from AWS

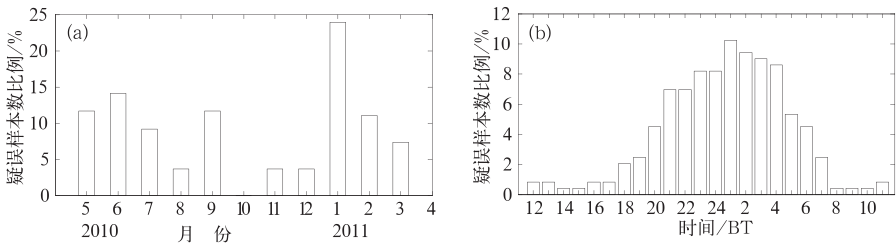


图 2 僵值疑误样本的时间分布
(a)月变化,(b)日变化

Fig.2 Temporal variations of suspected dead band samples
(a) monthly variation, (b) diurnal variation

僵值疑误样本呈现单峰型的日变化特征,集中出现在夜间(18:00 至次日 07:00)。

统计还发现,在城市中心区域僵值过程的局地性很强,18 个站中最多只有 4 个站点同时出现僵值过程,大部分(17 个)僵值过程仅单站出现。

2.1.2 温度突变

温度突变疑误数据分升温(“突升”)和降温(“突降”)两种类型,分别占 35% 和 65%,两类样本出现的季节和时刻基本错开。“突升”类型主要出现在秋、冬季,而“突降”类型集中在春、夏季(图 3a);“突升”绝大部分在日出前后(06:00—09:00)出现,而“突降”疑误样本则多在午后至上半夜出现(图 3b)。

分析发现温度“突升”和“突降”疑误样本的趋同性不一致(图 4)，“突升”疑误样本局地性较强,90% 以上的“突升”过程中,同时出现温度“突升”的站点不超过 4 个,而“突降”疑误样本则趋同性较强,多个站点(4 个以上)同时出现温度“突降”的情况占“突降”疑误样本总数的 50% 以上,甚至有全部站点都出现“突降”的情况。

2.2 原因分析

2.2.1 僵值

出现长时间僵值和温度突变通常会被认为观测资料有误,但在城市区域复杂环境下是否合理呢?

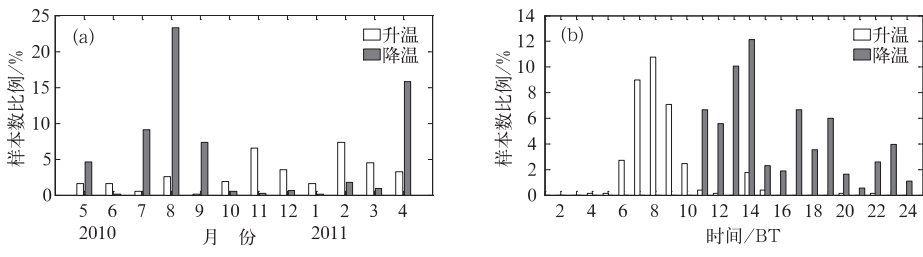


图 3 温度突变疑误样本的时间分布
(a)月变化, (b)日变化

Fig. 3 Temporal distributions of suspected temperature jump and slump samples
(a) monthly variation, (b) diurnal variation

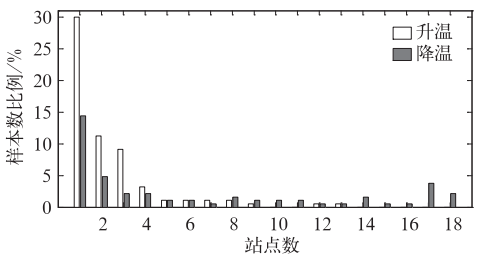


图 4 在不同数量的站点同时出现
“突升”和“突降”的样本比例

Fig. 4 Percentage of suspected temperature jump and slump samples appearing simultaneously at different stations

接下来探讨这些疑误样本是否与特定的天气过程和城市区域站点观测小环境有关。

图 5 显示,僵值过程中,僵值站点的温度与所有站点平均温度的差异很小,最大差值仅为 0.3℃左右。因此,僵值的出现并非单站仪器故障所致。进一步考察僵值过程出现时的天气条件发现,25 次僵值过程有 24 次出现在阴雨天气,其中 50% 以上有降水,但僵值时刻的降水较弱,平均降水强度仅为 1 mm · h⁻¹ 左右(图 6)。

上述结果表明,僵值过程主要出现在弱阴雨天气,这与局地地表能量平衡有关,地表能量平衡可由下式表示(Kiehl et al, 1997)。

$$K_{\downarrow} - K_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow} + Q_F = Q_H + Q_E + Q_S + Q_A \quad (1)$$

式中, K_{\downarrow} 和 K_{\uparrow} 分别为向下和向上的短波辐射, L_{\downarrow} 和 L_{\uparrow} 分别为向下和向上的长波辐射, Q_H 、 Q_E 、 Q_A 分别为感热、潜热和平流输送项, Q_S 和 Q_F 分别为储热和人为热。若不考虑 Q_F 和 Q_S ,白天当云量较大时,地表吸收的净辐射减少(Kiehl et al, 1997),如果有弱降水,潜热(Q_E)增加,较易抵消净辐射,从而

通风不佳的测站感热较小,易出现僵值(图 7a)。而夜晚 $K_{\downarrow} = K_{\uparrow} = 0$,云量较大时,能量收支基本平衡。若无降水,则潜热较小,风速较小的测站感热也

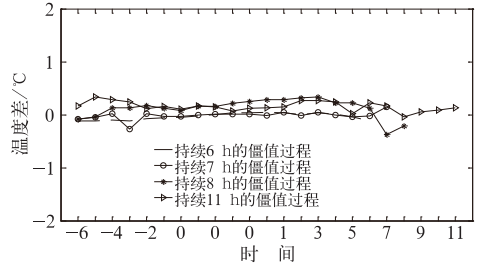


图 5 僵值过程开始前 6 h 至结束后 6 h 期间僵值站点温度与所有站点平均温度的偏差
(横坐标上“0”表示僵值时刻,-1,-2,-3...分别表示僵值出现前 1、2 和 3 h,1、2、3...则分别表示僵值结束后 1、2 和 3 h)
Fig. 5 The difference between temperature at dead band stations and spatial mean temperature in the period from 6 h before the onset of dead band processes to 6 h after the end of the processes
(On abscissa, 0 means the dead band, -1, -2, -3... mean the different hours before the onset of dead band, and 1, 2, 3, ... mean the hours after the end of that, respectively)

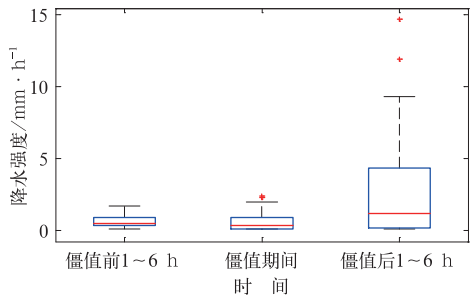


图 6 僵值过程中的降水强度统计
Fig. 6 Distribution of precipitation intensity in dead band cases

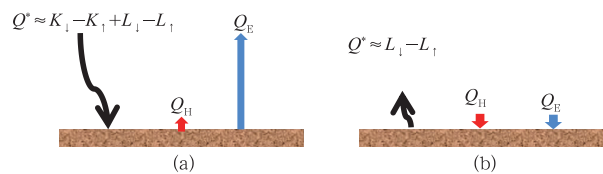


图 7 出现僵值过程的能量收支示意图
(a)白天, (b)夜晚

Fig. 7 Sketch of energy budget during
dead band process
(a) daytime, (b) nighttime

较小,易出现僵值(图 7b)。
下面分白天和夜晚举例说明僵值过程出现的原因:

(1) 白天:2011 年 2 月 10 日 08—13 时世博村站出现僵值过程

早晨太阳辐射增加,地温升高(图 8b,以浦东气象站为例),加热大气,但当天总云量达 100%,因此净辐射通量比晴天小。另一方面,世博村所处环境下垫面粗糙,通风不佳(图 8c),平流输送项很小。所以发生弱降水时(图 8d),潜热小幅增加,易抵消地表吸收的净辐射,地表能量收支得以长时间维持平衡,出现僵值(图 8a)。

(2) 夜晚:2010 年 7 月 11 日夜晩至 7 月 12 日凌晨世博村站和世界气象馆站出现僵值过程

7 月 11 日夜晩总云量达 100%,地温和气温非常接近(图 9b),世界气象馆和世博村两站位于建筑物附近,风速较小(图 9c),因此净辐射和感热都很小,21 时降水停止后(图 9d),潜热减少,地表能量收支得以长时间维持平衡,出现僵值过程(图 9a)。

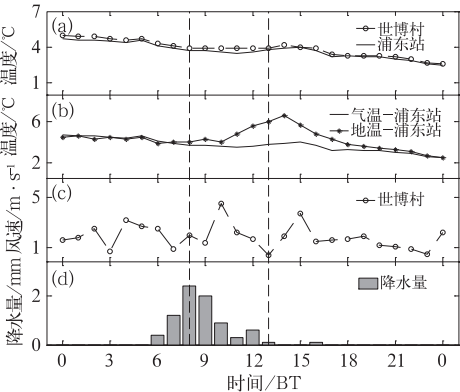


图 8 2011 年 2 月 10 日僵值过程各气象要素
Fig. 8 Meteorological elements in
temperature dead band case at
Expo Village Station on 10 February 2011

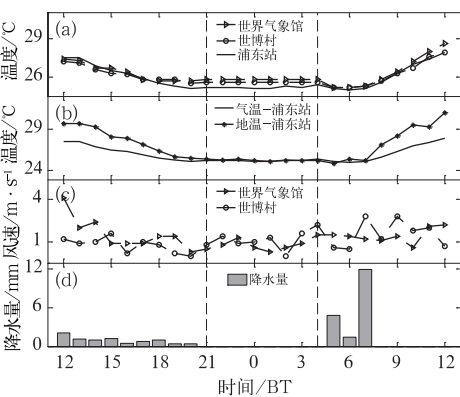


图 9 2010 年 7 月 11—12 日僵值过程各气象要素
Fig. 9 Meteorological elements in temperature
dead band case at Expo Village Site and
Meteorology Pavilion Site on 11—12 July 2010

2.2.2 温度突变

温度“突升”疑误样本多出现在日出前后,与日出前后日照变化密切相关。分析发现,升温过程主要出现在少云天气,其中以 08 时低云量为 0 的云天状况最多(70%以上)(图 10)。升温前后温度的变化与是否照射到日照的百分率有很大关系(图 11),随着太阳高度角增大,原来被遮蔽的测站也能接收到日照,测站周围突然被太阳辐射加热,易造成突然升温。这也是“突升”过程局地性较强的原因。

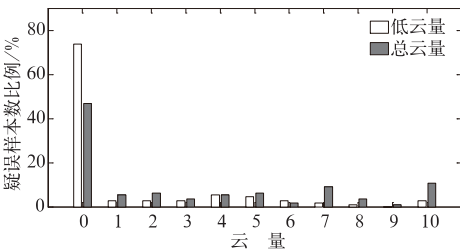


图 10 不同云量(08 时)情况下出现
温度突升疑误样本的比例
Fig. 10 Percentage of suspected temperature
jump samples under different cloud
cover 08:00 BT

分析发现温度“突降”样本主要出现在午后,与日照和降水密切相关,根据出现原因将“突降”过程分为两组。第一组降温过程与“突升”相似,主要出现在低云量较少的少云天气(占 80%以上,图 12a),下午太阳高度角减少过程中,测站被遮蔽太阳辐射而突然降温(图 13a)。第二组过程是由于云量突然增加或者短时强降水导致剧烈降温,此类过程集中

出现在总云量大于 5 的多云天或阴天(图 12b),且大多伴随着强降水(平均降水强度 $10\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$)。与第一组降温过程相比,此类过程空气湿度较大,尤其是降温后,湿度接近饱和(图 13b),此类降温过程系统性强,这也是“突降”过程趋同性较为一致的原因。

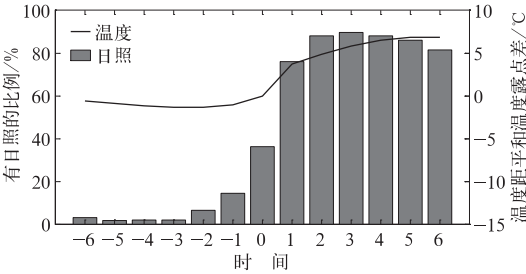


图 11 升温过程日照和温度距平(相对温度突升时刻的温度距平)统计

(横坐标“0”代表升温发生时,“1~6”为升温发生后 1~6 h,“-1~-6”为升温发生前 1~6 h)

Fig. 11 Solar (percentage with solar, bar) and temperature (anomaly relative to temperature at “0” moment, solid line) in warming up processes (On abscissa, “0” means the hour when temperature jump cases occur, “1~6” mean different hours after that, and “-1~-6” means different hours before that)

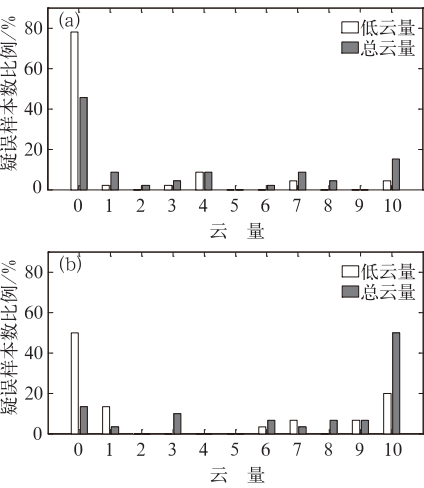


图 12 不同云量(14 时)情况下出现温度突降疑误样本的比例

(a)日照减少的个例,(b)发生强降水的个例

Fig. 12 Percentage of suspected temperature slump samples under different cloud cover 14:00 BT (a) cases related to solar decrease, (b) cases related to heavy precipitation

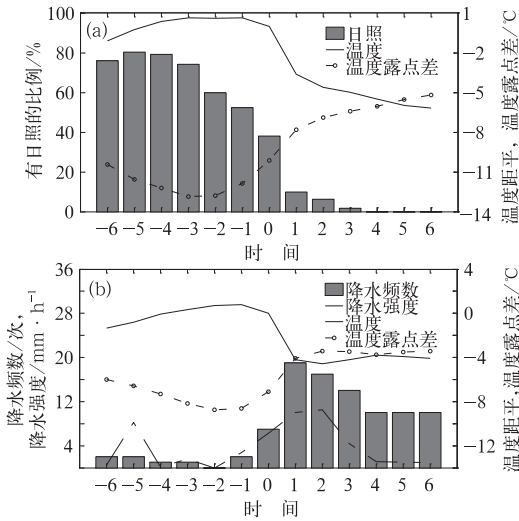


图 13 降温过程日照、温度露点差和温度距平(相对温度突降时刻的温度距平)统计

(图例同图 11)

(a)日照和温度露点差,(b)降水频数、降水强度和温度露点差

Fig. 13 Solar (percentage with solar, bar), humidity (dew point temperature minus temperature, dashed line with circles) and temperature (anomaly relative to temperature at “0” moment, solid line) in suspected temperature slump cases (Legend same as Fig. 11)

(a) solar and humidity in suspected temperature slump cases related to solar decrease,

(b) precipitation frequency, precipitation intensity and humidity in suspected temperature slump cases related to heavy precipitation

3 结 论

针对城市复杂环境(以世博园为例)18 个自动站的逐时温度观测数据(2010 年 5 月 1 日至 2011 年 4 月 30 日)进行质量控制,着重分析了僵值和突变疑误数据分布特征及可能原因。主要结论如下:

- (1) 僵值数据的分布有显著的季节差异和单峰型日变化特征,局地性强。僵值过程集中在冬季夜间,最长持续 11 h,且大部分只在单站出现。
- (2) 上述僵值过程主要出现在阴天或多云天气,与局地地表能量平衡密切相关。潜热与地表吸收的净辐射相互抵消或能量收支平衡时,通风不佳的测站感热项很小,易出现僵值过程。
- (3) 温度突变疑误数据可分“突升”和“突降”两

类,两类疑误数据的时空分布特征不同。升温疑误数据集中出现在秋、冬季日出前后,局地性较强;而降温过程主要出现在春、夏季午后至上半夜,趋同性强。

(4) 上述突变疑误样本与特定天气过程及局地观测环境密切相关。升温疑误数据只出现在低云量少于 5 的天气,大部分降温疑误数据在阴天(总云量>5)的午后或傍晚出现。日照迅速增加(减少)导致部分被遮蔽的站点剧烈升(降)温,短时强降水会导致大幅降温。

较长时间僵值、突变等是统计意义上的极端异常现象,但本文结果表明,此类数据反映了城市局地复杂环境及特定天气过程的影响,是真实有效的。因此,对城市复杂环境下获得的温度观测资料开展质量控制时,需根据观测环境等元数据信息对疑误值进行进一步甄别。

参考文献

窦以文,屈玉贵,陶士伟,等. 2008. 北京自动气象站实时数据质量控制应用. 气象,34(8):77-81.

韩海涛,李仲龙. 2012. 地面实时气象数据质量控制方法研究进展. 干旱气象,30(2):261-265.

何志军,封秀燕,何利德,等. 2010. 气象观测资料的四方位空间一致性检验. 气象,36(5):118-122.

李平,徐枝芳,范广洲,等. 2013. 探空温度资料质量控制技术研究. 气象,39(12):1626-1634.

李亚丽,任芝花,陈高峰,等. 2015. 自动与人工观测气温差异偏大的原因及影响分析——以 143 个国家基准站为例. 气象,41(8):1007-1016.

李志鹏,张玮,黄少平,等. 2012. 自动气象站数据实时质量控制业务软件设计与实现. 气象,38(3):371-376.

刘雨佳,陈洪滨,金德镇,等. 2014. 加密自动气象站雨量计资料的质

量控制及其相关关系的研究. 大气科学,38(1):159-170.

任芝花,刘小宁,杨文霞. 2005. 极端异常气象资料的综合性质量控制与分析. 气象学报,63(4):526-533.

任芝花,熊安元. 2007. 地面自动站观测资料三级质量控制业务系统的研制. 气象,33(1):19-24.

任芝花,张志富,孙超,等. 2015. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统研制. 气象,41(10):1268-1277.

任芝花,赵平,张强,等. 2010. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法. 气象,36(7):123-132.

王海军,刘莹. 2012. 综合一致性质量控制方法及其在气温中的应用. 应用气象学报,23(1):69-76.

王海军,闫莽莽,向芬,等. 2014. 逐时气温质量控制中界限值检查算法的设计. 高原气象,33(6):1722-1729.

王红艳,王政利,刘黎平,等. 2015. 利用雷达资料对自动雨量计实时质量控制的方法研究. 大气科学,39(1):59-67.

周伟东,朱洁华,穆海振,等. 2006. 上海地区自动气象站资料质量控制方法研究. 第三届长三角气象科技论坛论文集:382-387.

周笑天,褚希,姚志平. 2012. 一种基于 k-means 聚类的实时气温动态质量控制方法. 气象,38(10):1295-1300.

Kiehl J T, Trenberth K E. 1997. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. Bull Ame Meteor Soc, 78(2):197-208.

Lussana C, Uboldi F, Salvati M R. 2010. A spatial consistency test for surface observations from mesoscale meteorological networks. Quar J Roy Meteor Soc, 136(649):1075-1088.

Shafer M A, Fiebrich C A, Arndt D S, et al. 2000. Quality assurance procedures in the Oklahoma Meso network. J Atmos Ocea Tech, 17(4):474-494.

WMO. 2003. Manual on the Global Observing System. WMO-No. 544, Volume I.

Zahumenský I. 2004. Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. Commission for Instrument and Methods of Observation, Geneva, Switzerland, 13-16 October. CIMO/OPAG-SURFACE/ET ST&-MT-1/Doc. 6. 1(2).