

# 京津冀地区 1951—2015 年逐日风速序列的均一化

冯婧<sup>1,2</sup> 林润生<sup>2</sup> 王冀<sup>3\*</sup> 窦以文<sup>2</sup> 胡天洁<sup>2</sup>

(1 北京城市气象研究院, 北京 100089; 2 北京市气象信息中心, 北京 100089; 3 北京市气候中心, 北京 100089)

**摘要** 结合台站元数据,对京津冀地区 179 个国家气象站 1951—2015 年的日平均风速序列进行了非均一性检验和均一化订正,结果表明:造成序列非均一性的原因,按贡献大小依次是仪器切换占 40%、站址迁移占 34%、观测时制变更占 18%、台站周围环境变化占 8%。对比分析均一化序列和原始序列的线性趋势发现:1951—2015 年,京津冀地区日平均风速呈下降趋势,均一化序列的下降速率明显更快;二者有相似的空间分布特征,即河北西北部、北京、天津、河北东南部的西北—东南走向的带状区域中,风速的下降速率最快,河北西部次快,河北东北部最缓慢;均一化序列的下降速率明显偏快的区域主要在 39°N 以北。均一化序列准确反映了气候变化的特点,数据可靠。

**关键词** 日平均风速;台站元数据;非均一性检验;均一化;线性趋势

**中图分类号:** P49 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20180599 **文献标识码:** A

## 引言

国家地面气象观测站从建立之日起,经历过迁站、观测仪器切换、周围环境变化和观测时制变更等不可避免的客观人为影响,使得气象要素的气候序列中包含着相对于自然变率不可忽视的系统差异,即非均一性,因而不能真实地反映气候变化趋势。直接使用原始数据会造成气候变化监测结果的歪曲,因此对气候序列进行均一化订正是获得可靠的气候变化结论的基础。

20 世纪 80 年代中期,基于研究全球气候变暖<sup>[1-3]</sup>的迫切需要,国际上开展了一系列检测气候资料非均一性的研究,经过多年业务和科研应用,形成了一系列经典的非均一性客观检验方法<sup>[4-14]</sup>,如标准正态检验(SNHT),二项回归(TPR),多元线性回归,多元分析方法(MASH),最大惩罚 F 检验(PMFT)和最大惩罚 T 检验(PMTT)等。气候资

料的非均一性逐步受到了世界气象组织(WMO)的关注,WMO 在 2003 年的《世界气候资料与监测计划(WCDMP)指南》的“气候元数据和均一性指南丛书”<sup>[15]</sup>中,对台站元数据的建立和均一化研究给予了明确指导。我国科学家应用国际通用的非均一性检测和均一化方法对中国多种气象要素的气候序列进行了非均一性分析和均一化订正,取得了诸多成果<sup>[16-22]</sup>。Xu 等<sup>[23]</sup>和 Cao 等<sup>[24]</sup>对中国气温做了均一化研究并得到了可靠的气候变化结论。

在以京津冀地区为发展核心的中国华北,近年来雾霾频发,造成工厂停工、学校停课、交通堵塞、流行疾病传播等一系列严重阻碍社会经济活动和影响人体健康的重大空气污染事件,而风速对雾霾形成和消散有直接影响,本文尝试对京津冀地区地面气象观测站的逐日风速序列进行均一化,为研究京津冀地区雾霾的成因和变化规律,提供接近真实气候变化的逐日风速数据。

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

国家重点研发计划“重大自然灾害监测预警与防范”重点专项“气候变暖背景下极端强降温形成机理和预测方法研究”子项目“京津冀精细化强降温预测技术研发及在北京冬奥会中的应用(2018YFC1505604)”、北京市科委科研项目“复杂地形冬季气象服务技术研究(D171100000717002)”、北京市气象局科技项目“北京气象百年溯源数据的逐日均一化数据集建设(BMBKJ201901031)”资助

作者简介:冯婧,女,1982 年生,博士,工程师,主要从事气象资料的均一化以及气候变化的研究,Email:fengjing\_qx@163.com

收稿日期:2018 年 10 月 29 日;定稿日期:2019 年 8 月 29 日

\* 通信作者,Email:wangji\_zl@163.com

## 1 资料和方法

本文根据台站元数据对北京、天津、河北 3 个地区 179 个国家站的日平均风速数据进行非均一性检验和均一化订正。站点数据来自国家气象信息中心“中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集 SURF\_CLI\_CHN\_MUL\_DAY\_V3.0”,选用的时段是 1951 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日,其中 1951—2010 年的数据是基于“地面基础气象资料建设项目”归档的“1951—2010 年中国 2474 个国家级地面站更正后的月报数据文件基础资料集”,2011—2015 年的日值数据基于台站“地面月报数据文件”。本文中使用的月平均风速是由日平均风速计算而来。

台站元数据来自国家气象信息中心“地面气象台站元数据专题数据集 OTHE\_SURF\_CHN\_STATION\_INFORMATION(V1.0)”。该套数据来源于台站地面气象记录月报表、气压自记记录月报表、温度自记记录月报表、湿度自记记录月报表、日照日射记录月报表、降水量自记记录月报表、风向风速自记记录月报表、地面气象记录年总表、地面气象记录年报表和地面气象观测数据月报文件。台站元数据是观测历史沿革唯一的参考依据,决定着均一化数据是否可靠。元数据中台站迁移、观测场周围障碍物增减造成的观测环境变化、风向风速测量仪器的切换、观测时制的变更等 4 类沿革记录,是非均一性间断点主要来源,在风速序列的非均一性检验中,用来判断间断点是否保留,在均一化中,用来确认间断点的具体时间。

上述 2 套数据集经过台站、省级、国家级三级质控标准质控后形成,数据权威且质量高。

本文使用加拿大气象局开发的进行气候序列非均一性检验和均一化订正的专业软件 RHtestV4,包含 2 种国际通用的检验方法:①使用参考序列的最大惩罚 T 检验(PMTT)<sup>[10-12,14]</sup>;②不使用参考序列的最大惩罚 F 检验(PMFT)<sup>[13-14]</sup>,同时包含分位数匹配(QM)<sup>[12]</sup>均一化订正法。上述方法已被广泛应用到我国站点气候序列的均一化研究中<sup>[21-22]</sup>,不再赘述其计算原理。

考虑到风速对局地环境变化敏感,绝大部分台站的元数据中存在周围百米之内环境频繁变化的记录,因此风速相对气温等其他要素的代表性较差,为

了避免参考序列在待检序列中引入新的非均一性,本文选用 PMFT 方法进行非均一性检验。

直接对日平均风速序列进行 PMFT 所得的间断点与元数据相比有较大误差,因此本文先对月平均风速序列进行 PMFT 检验,结合元数据,确定统计显著间断点的具体日期,再使用 QM 方法对日平均风速序列进行均一化订正。

## 2 结果分析

### 2.1 数据的完整性和代表性检查

根据台站元数据,1951 年 1 月至 2015 年 12 月期间,京津冀地区的国家站共 194 个。为了保证数据的完整性和可比性,检查了地面基础气象要素数据集中 194 个原始序列的长度,剔除了因撤站而缺少近十年及以上数据的序列 15 个,剩余 179 个序列,除了个别年份因历史原因有缺测,从建站开始至 2015 年 12 月 31 日,缺测率均小于 5%。从 179 个站点的空间分布(图 1)可见所选站点分布均匀,因此所选数据序列在整个区域上具有较好的代表性。

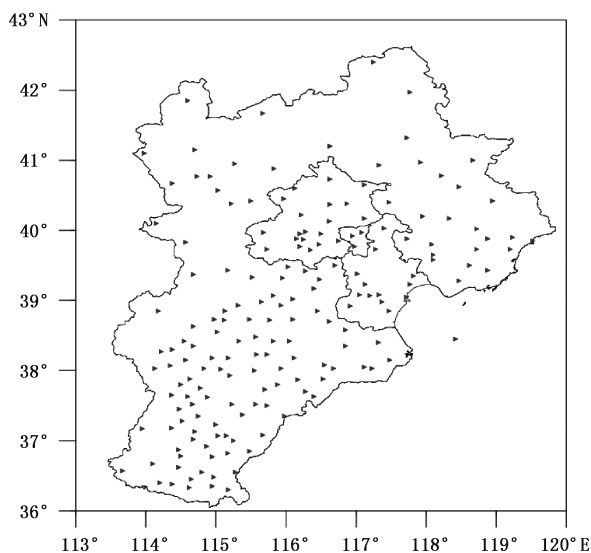


图 1 京津冀地区 179 个站点空间分布

### 2.2 非均一性的归因分类和贡献分析

结合台站元数据,对 PMFT 方法产生的非均一性间断点进行统计分析发现,有元数据支撑的通过 0.05 显著性检验的非均一性间断点有 237 个,依据元数据中风速观测变更记录,将其归因为 4 类(图 2),按照每一类的贡献大小排序依次是:观测仪器切换 96 个,占比 40%;站址迁移 81 个,占比 34%;观测

时制变更 42 个,占比 18%;台站周围环境变化 18 个,占比 8%。

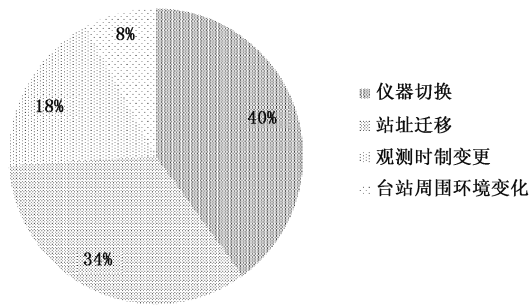


图 2 PMFT 方法产生且通过 0.05 显著性检验的非均一性间断点分类

2.3 非均一性来源分析

仪器切换是造成序列非均一性的 4 类原因中最重要的,占比 40%。为方便描述起见,本文将全国大范围内使用过的气向风速测量仪和仪器切换称为主流仪器和主流仪器切换,主流仪器包括维尔德测风器、EL 型电接风向风速计、风杯式遥测风向风速传感器;将少数台站使用过的气向风速测量仪和仪器切换叫做非主流仪器和非主流仪器切换,非主流仪器包括达因式风向风速计、风程表、EN 型测风数据处理仪、EN1G 型风向风速计、EN-1 型风向风速计。

进一步分析元数据发现,国家级地面气象观测站的主流仪器切换主要有 2 次:①20 世纪 60 年代末至 70 年代初,EL 型电接风向风速计切换为维尔德测风器;②20 世纪 90 年代末至 21 世纪初,风杯式遥测风向风速传感器切换为 EL 型电接风向风速计。非主流仪器切换:①少数台站由达因式风向风速计、风程表切换为维尔德测风器;②少数台站由 EN 型测风数据处理仪、EN1G 型风向风速计、EN-1 型风向风速计等切换为 EL 型电接风向风速计再到风杯式遥测风向风速传感器。

对由仪器切换造成的 96 个非均一性间断点进行统计分析发现(表 1):非主流仪器切换中不同种类和同种类型的仪器切换造成的间断点较少,总共占 11%。主流仪器切换中,同种类型仪器切换,即维尔德测风器的切换(用“维-维”表示)和 EL 型电接风向风速计的切换(用“EL-EL”表示),造成的非均一性间断点所占比例分别是 14%和 29%,共计 43%;不同类型仪器切换,按时间先后排列,即维尔

德测风器切换为 EL 型电接风向风速计(用“维-EL”表示),EL 型电接风向风速计切换为 EN 型电接风向风速计(用“EL-EN”表示),EL 型电接风向风速计切换为风杯风向风速传感器(用“EL-风杯”表示),所占比重分别是 27%,7%和 11%,共计 45%。上述结果表明:新中国成立后,国家气象站在主流仪器的切换中,对风速序列产生了明显的非均一性影响,其中同种仪器切换导致的间断点发生在“维-维”和“EL-EL”切换中。这 2 种仪器测量原理简单,制造工艺简陋,加之早期我国测风仪器的制造工艺和技术水平有限,因此仪器个体之间测量误差大,性能不稳定性,容易导致数据的非均一性。而当前正在运行的主流仪器的切换,即风杯式遥测风向风速传感器的切换,对数据序列产生的非均一性影响可以忽略不计,因此使用风杯式遥测风向风速传感器之后,数据序列最稳定。

表 1 非主流仪器和主流仪器中各类仪器切换造成的非均一性间断点的比例 %

| 非主流仪器切换 | 主流仪器切换 |       |      |       |       |
|---------|--------|-------|------|-------|-------|
|         | 维-维    | EL-EL | 维-EL | EL-EN | EL-风杯 |
| 11      | 14     | 29    | 27   | 7     | 11    |

台站迁移是造成序列非均一性的第二大原因,占比 34%。主要与我国城市化进程较快这一大的历史背景有关。

观测时制变更也是造成非均一性的重要原因,占 18%贡献,分析元数据发现,该类非均一性间断点主要是台站每日 3 次(08:00、14:00、20:00)和 4 次观测(02:00、08:00、14:00、20:00)的时制切换导致。

台站周围环境变化造成的非均一性间断点主要来自地面气象观测场周围 100 m 内建筑物和树木的增减变化。这一原因较前 3 种原因占比最小,8%,主要归功于我国地面气象观测业务中实行了《地面气象观测规范》,其对于观测场周围的障碍物大小和距离有明确的限定,以便控制人为影响观测环境从而影响数据质量的事件,最大可能保证序列的均一性。

2.4 非均一性检验的不确定性分析

为了检验 PMFT 方法对风速序列非均一性检验的可靠性,选取北京地区 20 个国家气象站月平均风速序列为对象,同时使用 PMFT 和 PMTT 2 种方法,进行了非均一性检验对比试验,结果发现(表

略): PMTT 与 PMFT 方法相比, 会在待检序列中引入更多无元数据支撑的间断点, 但是数量较少。20 个序列中, PMTT 比 PMFT 共多引入 5 个无元数据支撑的间断点, PMFT 比 PMTT 共多引入 3 个无元数据支撑的间断点, 遗漏 6 个有元数据支撑的间断点, 其余间断点均相同。两组间断点中, PMTT 与 PMFT 不同的个数占 13%, PMFT 与 PMTT 不同的个数占 3%。因此使用 PMFT 和 PMTT 得到的结果, 都具有不确定性, 但是不确定性很小, 对后续均一化数据的线性趋势的影响可以忽略。以上对比试验说明, 当且仅当元数据详实可靠, PMFT 方法适用于风速的非均一性检验, 对后续均一化结果的不确定性影响可以忽略。

## 2.5 均一化数据的可靠性评估

### 2.5.1 均一化序列订正量的特征分析

为评估均一化序列的可靠性, 分别统计了 1951—2015 年京津冀地区日平均风速的均一化序列在春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12 月至次年 2 月)四季的订正量, 结果显示: 均一化序列订正量的范围是  $-7.8 \sim 4.0$  m/s, 订正量的平均值在夏季最大, 春季最小(表 2)。

表 2 1951—2015 年京津冀地区日平均风速均一化

| 序列在四季的订正量统计    |               |     |      | m/s |
|----------------|---------------|-----|------|-----|
| 季节             | 区间            | 中位数 | 平均值  |     |
| 春(3—5 月)       | $[-7.8, 4.0]$ | 0.2 | 0.32 |     |
| 夏(6—8 月)       | $[-7.8, 4.0]$ | 0.4 | 0.51 |     |
| 秋(9—11 月)      | $[-7.8, 4.0]$ | 0.4 | 0.42 |     |
| 冬(12 月至次年 2 月) | $[-7.8, 4.0]$ | 0.4 | 0.46 |     |

### 2.5.2 均一化序列线性趋势的特征分析

为评估均一化序列的可靠性, 对比原始序列和均一化序列的线性趋势发现: 1951—2015 年, 京津冀地区日平均风速呈下降趋势, 原始序列线性趋势的区域平均值为  $-0.097 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 均一化序列的为  $-0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 均一化序列在春、夏、秋、冬四季的线性趋势分别为  $-0.31$ 、 $-0.3$ 、 $-0.32$ 、 $-0.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 冬季的日平均风速下降最快、秋季次之、春季第 3、夏季最慢。这一结论与京津冀地区近年秋冬雾霾日数增加相一致。

为了找到区域平均风速减小的原因, 分析了春、夏、秋、冬四季京津冀区域的平均气压、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均日较差的线性趋

势, 结果表明(表 3): 1951—2015 年, 京津冀地区的春、夏、秋、冬四季的平均气压均呈下降趋势, 下降速率由快到慢依次是春季、冬季、秋季、夏季。其中春、秋、冬季的下降速率要明显大于夏季; 平均气温、平均最低气温、平均最高气温四季均为上升趋势, 且最低气温上升速率超过最高气温上升速率, 日较差呈下降趋势; 春季和冬季的平均气温、平均最高气温、平均最低气温的上升速率明显高于夏季和秋季。有研究表明, 气候变暖背景下, 冷空气活动频次减少<sup>[25]</sup>, 因春、秋、冬季是强冷空气频繁活动的季节, 冷空气活动减少, 强度减弱, 使得气压下降、气温升高、与冷空气活动伴随的大风日数减少, 可能是导致平均风速减小的主要原因。

表 3 1951—2015 年京津冀地区四季的平均气压、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均日较差的线性趋势

|                                 | 要素变化的线性趋势 |       |       |       |
|---------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
|                                 | 春季        | 夏季    | 秋季    | 冬季    |
| 平均气压/(hPa·(10a) <sup>-1</sup> ) | -2.81     | -2.42 | -2.70 | -2.78 |
| 平均气温/(℃·(10a) <sup>-1</sup> )   | 0.23      | 0.05  | 0.02  | 0.19  |
| 平均最高气温/(℃·(10a) <sup>-1</sup> ) | 0.17      | 0.04  | 0.01  | 0.16  |
| 平均最低气温/(℃·(10a) <sup>-1</sup> ) | 0.22      | 0.05  | 0.05  | 0.24  |
| 平均日较差/(℃·(10a) <sup>-1</sup> )  | -0.06     | -0.03 | -0.06 | -0.11 |

原始序列(图 3a)和均一化序列(图 3b)线性趋势的空间分布特征相似, 即河北西北部、北京、天津、河北东南部的西北—东南走向的带状区域中, 风速下降速率最快, 河北西部次快, 河北东北部最缓慢。

均一化序列与原始序列的线性趋势的空间差值分布显示(图 3c): 在京津冀地区绝大部分区域, 均一化序列下降速率更快, 只有河北东北角和河北东南角的很小区域, 均一化序列的下降速率略慢。均一化序列比原始序列的下降速率偏快的区域在河北西北部, 向东、向南和向北差异递减, 以 39°N 为界, 北部差异明显大于南部。

## 3 结论

(1) 京津冀地区日平均风速序列的非均一性产生的原因按贡献由大到小依次是: 观测仪器切换占 40%、站址迁移占 34%、观测时制变更占 18%、台站周围环境变化占 8%。观测仪器切换导致的非均一性主要来自主流仪器的切换, 即“维-维”、“EL-EL”、“维-EL”、“EL-EN”、“EL-风杯”的切换。台站迁移造成的非均一性主要与我国国家建设和发展速度较

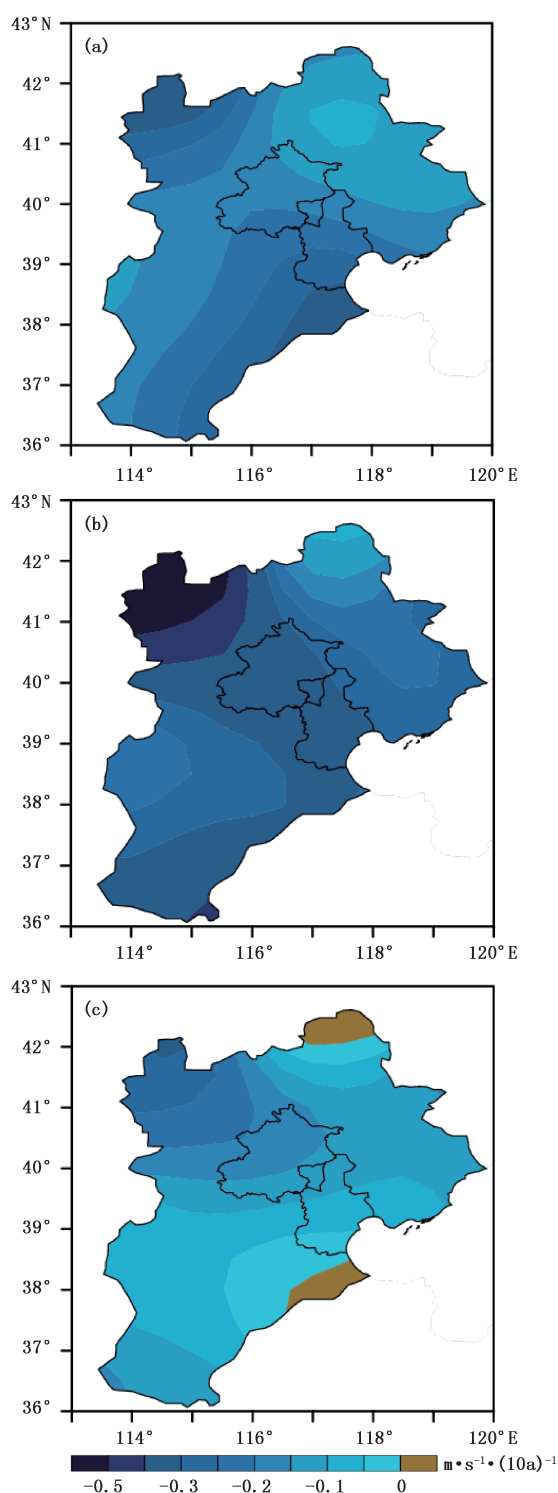


图3 1951—2015年京津冀地区179个国家站日平均风速原始序列(a)、均一化序列(b)的线性趋势,以及二者差值(均一化-原始)的空间分布(c)

快密切相关。观测时制变更导致的非均一性主要来自台站每日3次(08:00、14:00、20:00)和4次

(02:00、08:00、14:00、20:00)观测时制的切换。台站周围环境变化导致的非均一性主要来自地面气象观测场周围100 m内建筑物和树木的增减。

(2)元数据详实的前提下,PMFT方法适用于风速序列的非均一性研究,对后续均一化序列的线性趋势的不确定性影响可以忽略。

(3)1951—2015年,京津冀地区日平均风速呈明显下降趋势。均一化序列比原始序列的下降速率更快,区域平均值为 $-0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;均一化序列与原始序列的线性趋势的空间分布特征相似,即河北西北部、北京、天津、河北东南部的西北、东南走向的带状区域中,风速下降速率最快,河北西部次快,河北东北部最缓慢;均一化序列的下降速率明显偏快的区域主要在 $39^{\circ}\text{N}$ 以北。

进一步分析表明,在气候变暖背景下,春、秋、冬季冷空气活动频次减少导致区域平均气温升高、平均气压下降、伴随的大风日数减少,可能是平均风速减小的主要原因。均一化数据的线性趋势能够反映出原始序列线性趋势的空间分布特征以及气候变化的事实,是可靠的。

## 参考文献

- [1] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-15.
- [2] 唐国利, 林学椿. 1921—1990年我国气温序列及变化趋势[J]. 气象, 1992, 18(7): 3-6.
- [3] 唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 71-78.
- [4] Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data [J]. International Journal of Climatology, 1986, 6: 661-675.
- [5] Solow A R. Testing for climatic change: an application of the two phase regression model [J]. J Climate Appl Meteor, 1987, 26: 1401-1405.
- [6] Easterling D R, Peterson T C. A new method for detecting and adjusting for undocumented discontinuities in climatological time series [J]. International Journal of Climatology, 1995, 15: 369-377.
- [7] Alexandersson H, Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data, Part I: A homogeneity test for linear trends [J]. Int J Climatol, 1997, 17: 25-34.
- [8] Vincent L A. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series [J]. Journal of Climate, 1998, 11: 1094-1104.
- [9] Szentimrey T. Multiple analysis of series for homogenization (MASH) [R]. Proceedings of the Second Seminar for Homog-

- enization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary: WMO, 1999, WCDMP-No. 41: 27-46.
- [10] Robert L, Jaxk R. Detection of undocumented changepoints: a revision of the two-phase regression model [J]. *J Climate*, 2002, 15: 2547-2554.
- [11] Wang X L. Comments on "Detection of undocumented changepoints: a revision of the two-phase regression model [J]. *J Climate*, 2003, 16: 3383-3385.
- [12] Wang X L, Wen Q H, Wu Y. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series [J]. *J Appl Meteor Climatol*, 2007, 46(6): 916-931.
- [13] Wang X L. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change [J]. *J Atmos Oceanic Tech*, 2008, 25(3): 368-384.
- [14] Wang X L. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test [J]. *J Appl Meteor Climatol*, 2008, 47(9): 2423-2444.
- [15] Aguilar E, Auer I, Brunet M, et al. Guidelines on climate metadata and homogenization [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2003, WMO-TD No. 1186, WCDMP No. 53: 29.
- [16] 刘小宁, 孙安健. 年降水序列非均一性检验方法探讨[J]. *气象*, 1995, 21(8): 3-6.
- [17] 刘小宁. 我国 40 年年平均风速的均一性检验[J]. *应用气象学*, 2000, 11 (1): 27-34.
- [18] Li Q X, Liu X N, Zhang H Z, et al. Detecting and adjusting on temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature dataset [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21 (2): 260-268.
- [19] 鞠晓慧, 屠其璞, 李庆祥. 我国太阳总辐射月总量资料的均一性检验及订正[J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29 (3): 336-341.
- [20] Li Z, Yan Z W. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960—2008 [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2009, 2: 236-242.
- [21] 江志红, 黄群, 李庆祥. 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*, 2008, 13 (1): 67-74.
- [22] 曹丽娟, 鞠晓慧, 刘小宁. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. *气象*, 2010, 36(10): 52-56.
- [23] Xu W H, Li Q X, Wang X L, et al. Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices [J]. *J Geophys Res*, 2013, 17: 9708-9720.
- [24] Cao L J, Zhu Y N, Tang G L, et al. Climatic warming in China according to a homogenized dataset from 2419 stations [J]. *International Journal of climatology*, 2016, 36: 4384-4392.
- [25] 王遵亲, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. *大气科学*, 2006, 30(6): 1068-1076.

## Homogenization of Daily-Mean Wind Speed Series from 1951 to 2015 in Beijing-Tianjin-Hebei Area

FENG Jing<sup>1,2</sup> LIN Runsheng<sup>2</sup> WANG Ji<sup>3</sup> DOU Yiwen<sup>2</sup> HU Tianjie<sup>2</sup>

(1 Beijing Institute of Urban Meteorology, Beijing 100089; 2 Beijing Meteorological Information Center, Beijing 100089; 3 Beijing Climate Center, Beijing 100089)

**Abstract:** Based on the metadata archive, the detection of inhomogeneity and the homogenization of raw daily-mean wind speed data of 179 meteorological observation stations from 1951 to 2015 in the region of Beijing, Tianjin and Hebei Provinces are conducted. The results show: in the order of the ratio of contributions to inhomogeneity, the instrument switching accounts for 40%, the station relocating 34%, the schedule changing of the observational task 18%, environment changing around the station 8%. The wind speed decreased in both the raw data and the homogenized data, and the latter declined significantly faster. Their linear trends have the similar characteristics, with a distribution: there is a banded region of the fastest declining wind speed from northwest to southeast, and the second fastest declining area in the western Hebei, and the slowest declining area in the northeastern Hebei. The faster declining rate is found mainly in the areas north of 39°N in the homogenized data, which can accurately reflect the climatic change characteristic and is reliable.

**Keywords:** daily-mean wind speed; metadata; inhomogeneity detection; homogenization; linear trend