

新旧宁波奉化站气象要素差异性对比分析

徐 蓉¹, 姚日升², 吕劲文¹

¹宁波市气象服务中心, 浙江 宁波

²宁波市生态环境气象中心, 浙江 宁波

收稿日期: 2023年7月17日; 录用日期: 2023年8月17日; 发布日期: 2023年8月25日

摘要

宁波奉化国家气象站于2014年1月1日迁址, 新旧站的地理环境存在差异。本文通过对2013年新旧站的气温、相对湿度、风向风速、平均气压进行对比分析, 发现两站的气象观测要素存在明显差异, 其中新站的平均气温和平均气压较旧站偏低, 相对湿度偏高, 夏季的平均风速偏大, 造成差异的原因主要与观测站的海拔高度及变化以及城市化进程相关。同时, 通过对新旧站的气温进行线性拟合, 建立了订正方程, 从而使新旧资料间能够连续使用, 为今后当地气象资料的科学应用提供依据。

关键词

迁站, 气象要素, 对比分析, 城市化进程

Comparative Analysis of the Differences in Meteorological Elements between the New and Old Ningbo Fenghua Meteorological Station

Rong Xu^{1*}, Risheng Yao², Jinwen Lv¹

¹Ningbo Meteorological Service Center, Ningbo Zhejiang

²Ningbo Ecological Meteorological Center, Ningbo Zhejiang

Received: Jul. 17th, 2023; accepted: Aug. 17th, 2023; published: Aug. 25th, 2023

Abstract

The National General Station in Ningbo Fenghua has been moved on January 1, 2014, and differences exist in geographical environment between the new and old stations. Based on the compar-

ative analysis of the temperature, relative humidity, wind speed, and air pressure data, obvious differences are found between two stations' meteorological observation elements. The results indicate that, the mean temperature and air pressure in new station are both lower, the relative humidity is higher, and the wind speed in summer is faster than those of the old station, the significant differences in these elements are highly related to stations' altitude and the urbanization process. At last, the line regression equations of the temperature between the new and old stations are fitted by using the least square method, which realizes the continuous use of the observation data of the two stations and offer scientific support of meteorological data application in Fenghua in the future.

Keywords

Station Moving, Meteorological Elements, Comparative Analysis, Urbanization Process

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

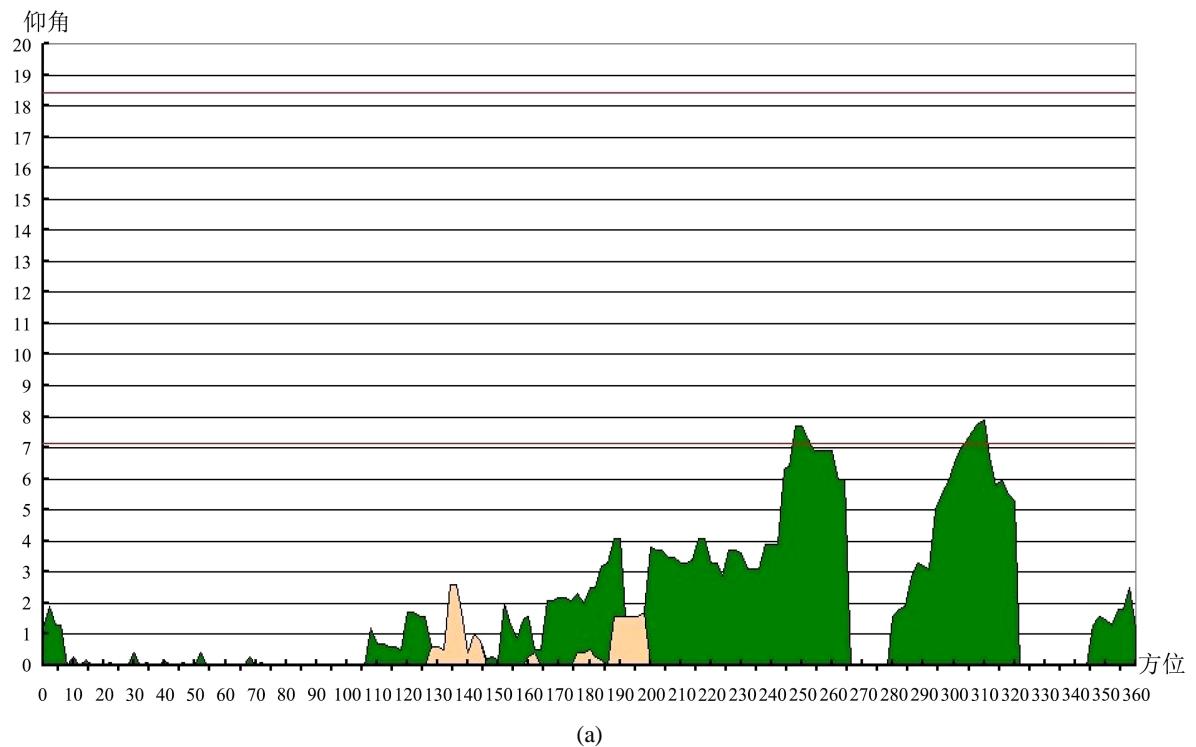
在近地面层气象要素上，存在着空间分布的不均匀性和随时间变化的脉动性，近年来，由于城镇化发展，城市建筑面积逐渐扩大，导致台站周围原本裸露的地表逐渐被城市建筑物所代替，气象站点周围环境发生显著变化，部分台站被迫搬迁，站点在迁址前后的气象要素产生差异[1] [2]。研究表明，台站沿革越复杂，变动也越多，对气候资料序列就越容易造成非均一的影响[3] [4] [5] [6]。张爱英等[7]通过对比回发现台站附近观测环境变化和城市化等局地人为因素的影响较为重要。周建平等[8]提出台站迁移造成科学研究结果不能够正确地反映气候的变化趋势[8]。因此找出台站迁移前后气象资料序列的差异性，对保持气象要素资料的代表性、准确性、比较性具有重要意义。为了分析环境改变对气象要素的影响，本文对2013年宁波奉化国家站的新旧站气象要素资料进行差异性对比，具体分析了产生差异的原因，并开展相应订正，分析结果有助于获取较为准确的气象要素统计资料序列，从而使得气象数据能更好地反映当地天气、气候变化特点，进而应用于相关业务服务和科研工作中。

2. 研究区域概况及资料方法

宁波奉化国家气象站始建于1958年12月，2000年1月1日，观测场迁至奉化区岳林街道牌门村，即东经 $121^{\circ}26'$ ，北纬 $29^{\circ}41'$ 。随着城市规模的快速扩张，使该站点的探测环境受到威胁，观测场旧站址被高大的建筑群近距离包围，周围环境受到一定程度的破坏，观测环境已不符合标准要求。为保证观测数据的准确性和科学性，2014年1月1日，新站迁至奉化区萧王庙街道傅家岙村(郊外)，即东经 $121^{\circ}23'13''$ ，北纬 $29^{\circ}41'30''$ ，海拔高度为41.5米。新站附近基本无建筑物，满足《地面气象观测规范》中对气象观测站周围环境的要求。图1为新旧观测场中心四周障碍物仰角图，新旧观测场的观测环境发生改变(表1)。

为掌握新旧站点因地理位置，特别是周围环境不同以及其他因素形成的两站气象要素的差异，本文选取宁波奉化站迁站前1年(2013年)，以1、4、7、10月作为代表月[9]，开展气象要素的差异性分析，利用相关统计方法对新旧站的气温、风向风速、相对湿度、气压多项要素作详细对比，同时，针对气温要素开展方差和均值的显著性检验，运用线性回归方法分析新旧站气温的相关性和进行回归订正。

图例: █ 山脉、丘陵 █ 人为障碍物 地平圈遮蔽图和人为障碍物仰角图
(观测点: 观测场中心距地1.5米高处)



图例: █ 山脉、丘陵 █ 人为障碍物 地平圈遮蔽图和人为障碍物仰角图
(观测点: 观测场中心距地1.5米高处)

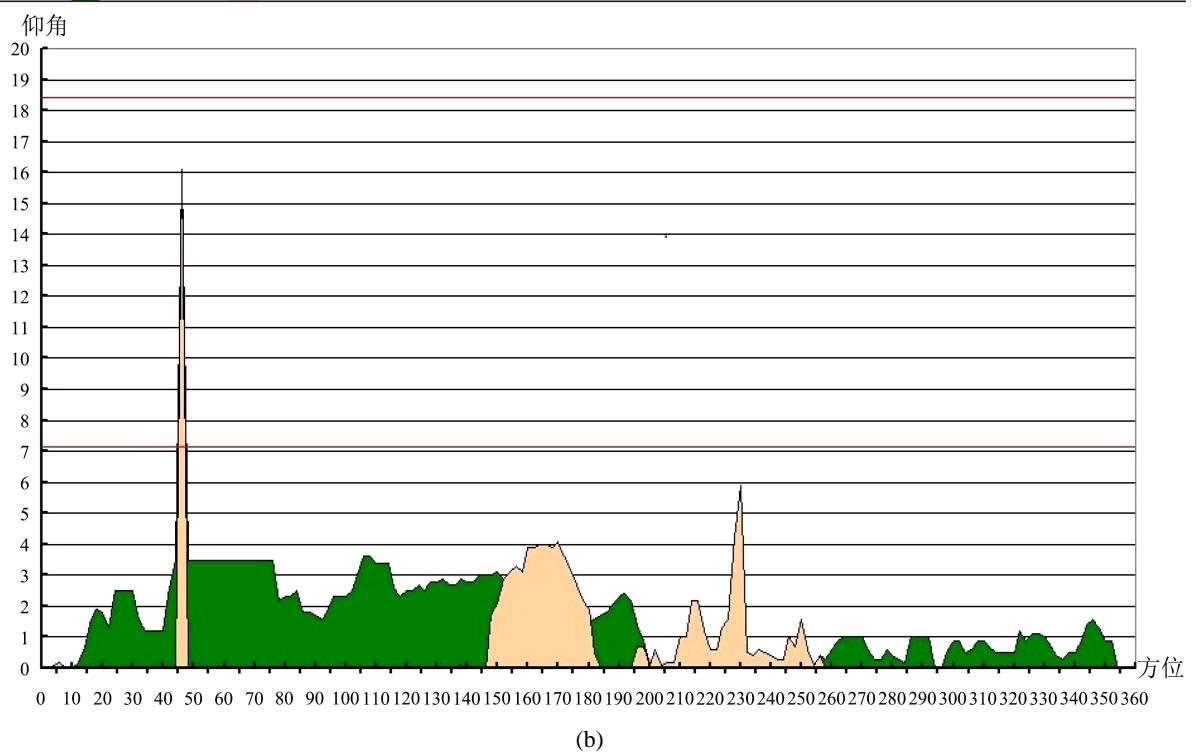


Figure 1. Barrier elevation of the new and old stations in Fenghua ((a) new station, (b) old station)

图 1. 奉化新站、旧站四周障碍物仰角图((a) 新站, (b) 旧站)

Table 1. Comparison of the new and old stations' basic information
表 1. 新旧站基本信息对比

类型	站址	观测场海拔高度(米)	气压传感器海拔高度(米)	风速传感器距地高度(米)
旧站	奉化区岳林街道牌门村	19.9	21.1	10.6
新站	奉化区萧王庙街道傅家岙村(郊外)	41.5	42.7	10.5

3. 气温

3.1. 气温对比观测结果及差异分析

从1、4、7、10月新旧测站气温要素差值(表2)可以看出,在平均气温上,新站1、4、7、10月要素值均低于旧站,存在明显的负温差。近似用1月作为典型月代表冬季,4月代表春季,7月代表夏季,10月代表秋季。由于7月差异最大,因此迁站以后对平均气温的影响在夏季最为明显,冬季、春(秋)季相对次之。从极端气温上看,旧站月极端最高气温比新测站平均偏高,而1、4、10月的极端最低气温新站高于旧站。

Table 2. Comparison of the average temperature between the new and old stations in January, April, July and October 2013 ($T_{new}-T_{old}$, unit: $^{\circ}\text{C}$)

表 2. 2013年1、4、7、10月新旧站气温要素差值($T_{\text{新站}}-T_{\text{旧站}}$, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

月份	平均	平均最高	平均最低	极端最高	极端最低
1月	-0.3	-0.9	0	-1	0.3
4月	-0.4	-1.1	-0.5	-0.7	0.1
7月	-0.6	-1.1	-0.5	-2.5	-1.4
10月	-0.1	-1.2	0.1	-1.7	0.8

对各月差值作分析(图2)可知:1、4、7、10月的月平均气温差值的分别为 -0.3°C , -0.5°C , -0.6°C , -0.12°C , 从天气系统上看,1月份以冷气团控制为主,天气相对稳定,所以对比差值最小,7月份多以副热带高压控制,常伴有剧烈的天气变化,对比差值最大。但从站址环境变化上看,新旧站海拔高度差21.6 m,按照近地面层的气温平均递减率 $0.0065^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 计算,新站气温应偏低约 0.14°C ,而实际气温要素差值明显超过该值,排除新站仪器精密度对气温的影响,除了海拔高度对气温造成的影响外,可以反映出旧站周围人为环境对气温产生了一定的影响,起到了一定的“城市热岛效应”的作用,特别是在2013年7月,旧站有持续6天最高气温超过 40°C ,其中24日出现了 42.7°C 的极端高温。从7月一日内逐时气温变化曲线(图3)可以看出,新站的气温在均比旧站呈现偏低的态势,而且差值较大的时段出现在3时至7时,以及11时至17时,热岛效应明显。新站位于郊外小山坡上,地势空旷,周围多为植物林区,而旧站位于城区,因为城市化进程的加剧,周围人为下垫面覆盖明显增多,绿地面积明显减少。当考虑城市化进程这一因素,某地的实际气温升高与其有着紧密的联系[10][11]。赵伍杰等[12]研究也表明,在夏季宁波地区具有城市建筑特征的平均气温较其他下垫面明显偏高。因此,由于旧站城市建筑群密集,

柏油路和水泥路面比郊外自然下垫面的土壤、植被具有更大的吸热率，其升温更加迅速，热量也不容易散发出去，导致与新站在同一时期相比在一定程度上成为了“热岛”，从而造成新旧站在气温上的显著差异。

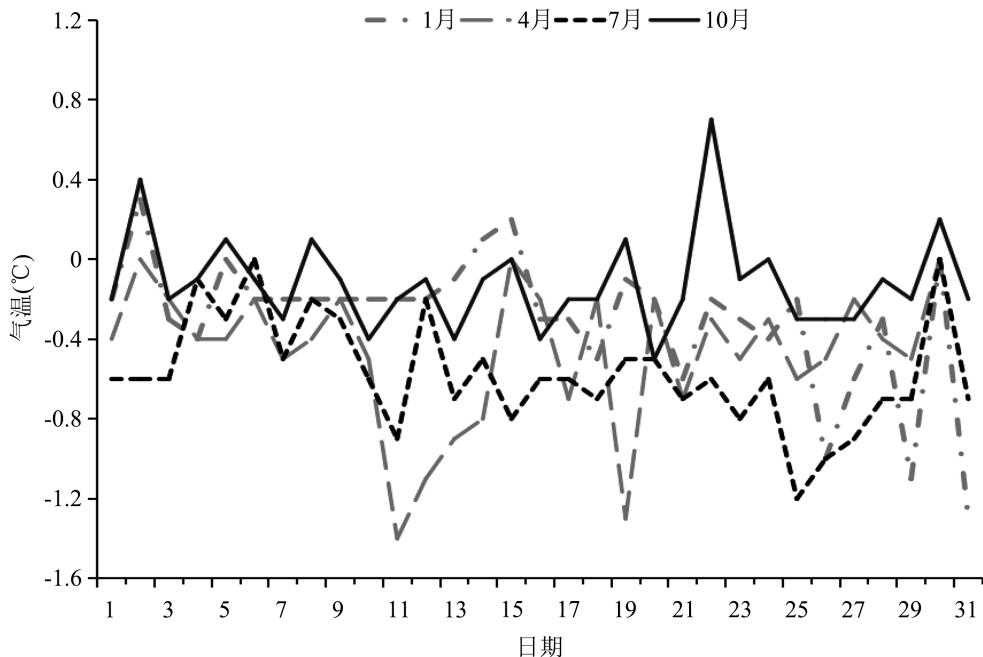


Figure 2. The difference of daily average temperature between the new and old stations in January, April, July and October 2013 $T_{new} - T_{old}$

图 2. 2013 年 1、4、7、10 月新旧站逐日平均气温差值曲线 $T_{\text{新站}} - T_{\text{旧站}}$

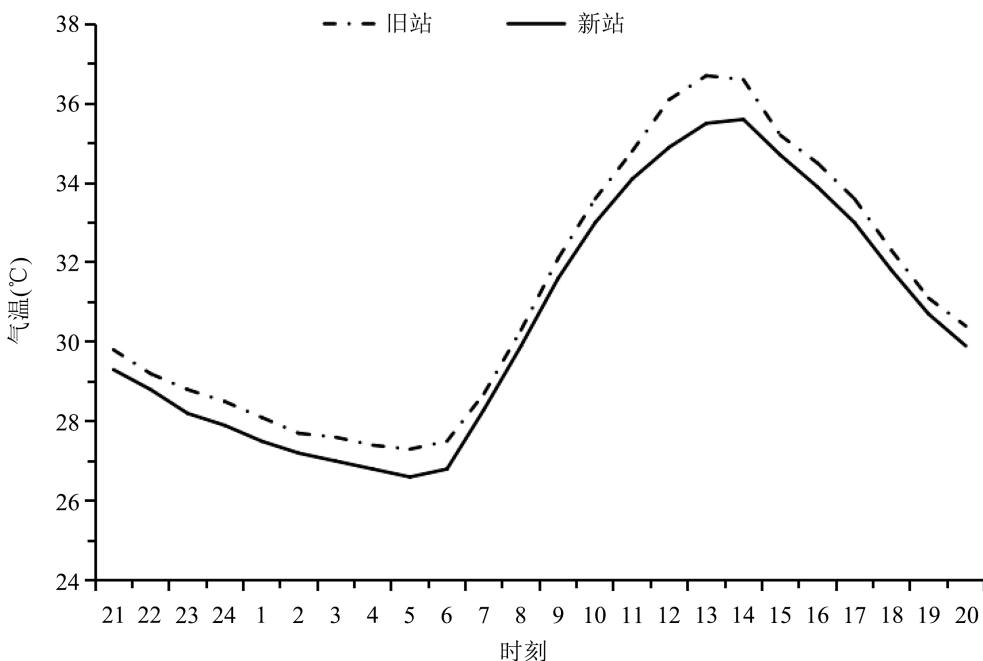


Figure 3. The hourly change of average temperature between the new and old stations in July 2013

图 3. 2013 年 7 月新旧站一日内月平均逐时气温变化曲线

3.2. 气温的显著性检验

3.2.1. 方差检验

检验两地样本方差是否有显著差异，一般看它们是否接近正态分布。在气象变量当中，年、月、旬、日的平均气温、最高与最低气温都接近正态分布[13]。对于来自 2 个相互独立的正态总体，假定第 1 个样本系从均值为 \bar{x} 、方差近似为 S_{n1}^{*2} 的的新站正态总体中随机取出，第 2 个样本取自均值为 \bar{y} 、方差近似为 S_{n2}^{*2} 的旧站正态总体中随机取出，其 F 统计量可表示为：

$$F = \frac{S_{n1}^{*2}}{S_{n2}^{*2}} \quad (1)$$

其中：

$$S_{n1}^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2}{n_1 - 1} \quad (2)$$

$$S_{n2}^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x})^2}{n_2 - 1} \quad (3)$$

当 $|F|$ 很大或很小时，说明 S_{n1}^{*2} 和 S_{n2}^{*2} 有显著差异，当 $|F|$ 落在接受区间内时，说明 S_{n1}^{*2} 和 S_{n2}^{*2} 没有差异。从表 3 看出，1、4、7 月三个月的平均、最高、最低气温的 $|F|$ 值均落在接受区间内，即认为新旧站两地的方差没有显著差异。

Table 3. F-test of temperature in January, April, July and October 2013

表 3. 2013 年 1、4、7、10 月气温资料的 F 检验

要素	S_{n1}^{*2} (新站)	S_{n2}^{*2} (旧站)	$ F $	接受区间(F'_α , F''_α)
1 月日平均气温	12.01	12.97	0.93	(0.54, 1.84)
4 月日平均气温	14.98	14.96	1.00	(0.53, 1.88)
7 月日平均气温	2.10	2.34	0.90	(0.54, 1.84)
10 月日平均气温	7.69	7.62	1.01	(0.54, 1.84)
1 月日最高气温	26.48	29.11	0.91	(0.54, 1.84)
4 月日最高气温	25.61	26.14	0.98	(0.53, 1.88)
7 月日最高气温	5.71	8.80	0.65	(0.54, 1.84)
10 月日最高气温	9.43	11.53	0.82	(0.54, 1.84)
1 月日最低气温	9.58	11.50	0.83	(0.54, 1.84)
4 月日最低气温	12.64	16.02	0.79	(0.53, 1.88)
7 月日最低气温	1.14	1.13	1.01	(0.54, 1.84)
10 月日最低气温	10.78	11.31	0.95	(0.54, 1.84)

3.3.2. 均值检验

由于温度序列可以通过经纬度的变动来确定变化发生的时间点，所以采用 T 检验来确定迁移前后温度的变化特点，设定新旧站为两个相互独立的正态总体： $X \sim N(\mu_1, S_{n1}^2)$ ， $Y \sim N(\mu_2, S_{n2}^2)$ ，构造均值有无显著差异的统计量 T [14] 如下：

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4)$$

其中，统计量 T 服从 $n_1 + n_2 - 2$ 个自由度的 T 分布，如果 $|T| > T_\alpha$ ，则两总体的平均值有“显著性差异”。根据公式计算 2013 年 1、4、7、10 月的平均气温、最高气温、最低气温的 T 统计量，结果见表 4。给定信度为 $\alpha = 0.10$ ，经查 $T_{0.01} = 1.6706$ ，显然 7 月的最高气温和最低气温 $|T| > T_{0.01}$ ，表明新旧站对应资料值存在显著差异，样本资料不能合并统计，而其他月份 $|T| < T_{0.01}$ ，表明对应资料值没有显著差异，资料可以合并统计。

Table 4. T-test of temperature in January, April, July and October 2013

表 4. 2013 年 1、4、7、10 月气温资料的 T 检验

要素	1 月	4 月	7 月	10 月
日平均气温	-0.33057	-0.46713	-1.50739	-0.16528
日最高气温	-0.6745	-0.87054	-1.71568	-1.54594
日最低气温	-0.05086	-0.44676	-2.09975	0.145198

3.3.3. 气温的订正方程

计算 7 月两站最高、最低气温的相关系数可知有较好的相关性，表明两站的变化趋势接近一致，为了使气温资料能连续使用，同时能消除城市化进程带来的增温影响，以新站资料作为自变量，订正后的旧站资料作为因变量，采用一元线性回归对旧站的资料进行订正，得出订正方程(表 5，其中 X 为新站气温，Y 为订正后的旧站气温)。利用线性回归对旧站资料做出订正后，即可考虑将气温资料合并使用。

Table 5. The correlation coefficients and linear regression equations of the new and old stations' high and low temperature data in July 2013

表 5. 2013 年 7 月新旧站最高、最低气温资料的相关系数及直线回归方程

要素	相关系数	直线回归方程
7 月日最高气温	0.933051	$Y = -4.58659 + 1.157955X$
7 月日最低气温	0.848397	$Y = 4.588182 + 0.846869X$

4. 风向、风速对比观测差异分析

新旧站月平均风速均在 7 月份到达峰值，较 1、4 月份值高，从各月逐日平均风速差值曲线上看(图 4)，三个月中 7 月份风速差值主要集中正值区域，即夏季的新站日平均风速高于旧站，7 月的月平均风速对比差值为 0.2 m/s。从 7 月的风玫瑰图(图 5)可以看出，7 月新旧站的主导风向一致，都是偏南风。刘雪峰等[15]研究发现，台站综合观测环境和周围障碍物遮蔽程度均对地面风速的减小趋势起到了显著影响。

由于新站地势偏高，视野开阔，障碍物较少，而旧观测场南侧是建筑集中地区，对风的阻挡效果更为明显，这也是造成旧站7月风速值衰减的原因。另外，在风频数据上(图略)，旧站的静风频率相对较高，表明其四周建筑对风的衰减和阻挡作用相对明显。

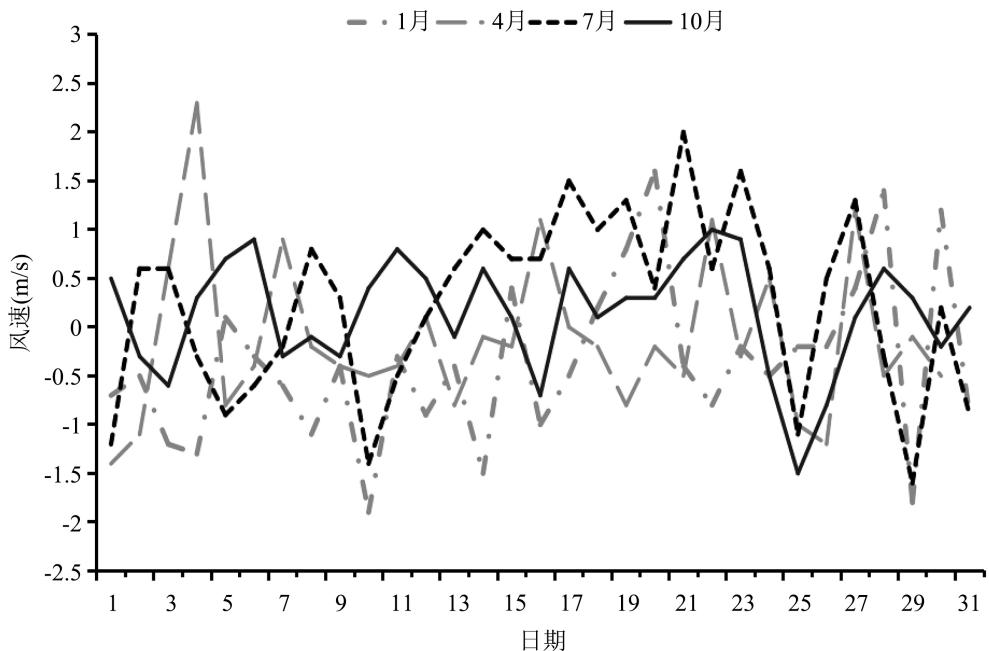


Figure 4. The difference of daily average wind speed between the new and old stations in January, April, July and October 2013 $v_{new} - v_{old}$

图 4. 2013 年 1、4、7、10 月新旧站逐日平均风速差值曲线 $v_{\text{新站}} - v_{\text{旧站}}$

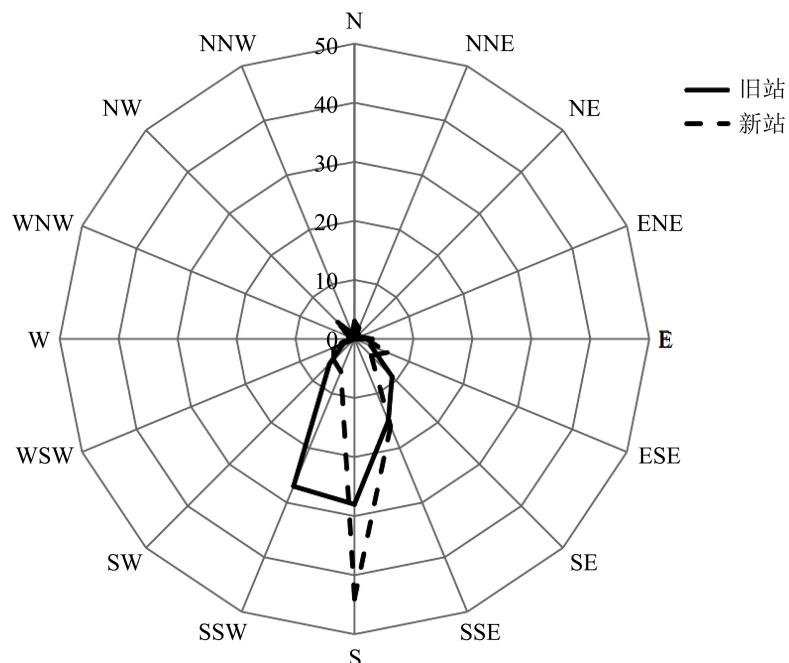


Figure 5. The wind rose diagram of the new and old stations in July 2013

图 5. 2013 年 7 月新旧站风玫瑰图

5. 相对湿度对比观测差异分析

图 6 为新旧站日平均相对湿度差值曲线，总体上，新站的相对湿度高于旧站，以 7 月最为明显，10 月、4 月、1 月依次次之。出现差异的主要原因主要与站址周围环境有关，夏季主要受偏南风输送湿润的水汽影响，新站四周的植被覆盖率更高，植物的蒸腾作用使得空气中的相对湿度增大，因此新旧站的湿度出现正位相的差值。同时，受城市建筑屏蔽作用的影响，旧站的空气湿度也受到削减。而在冬季，以水汽含量较少的干冷的偏北风为主，并且城区内的水汽不易扩散，两者间差值相对减小。

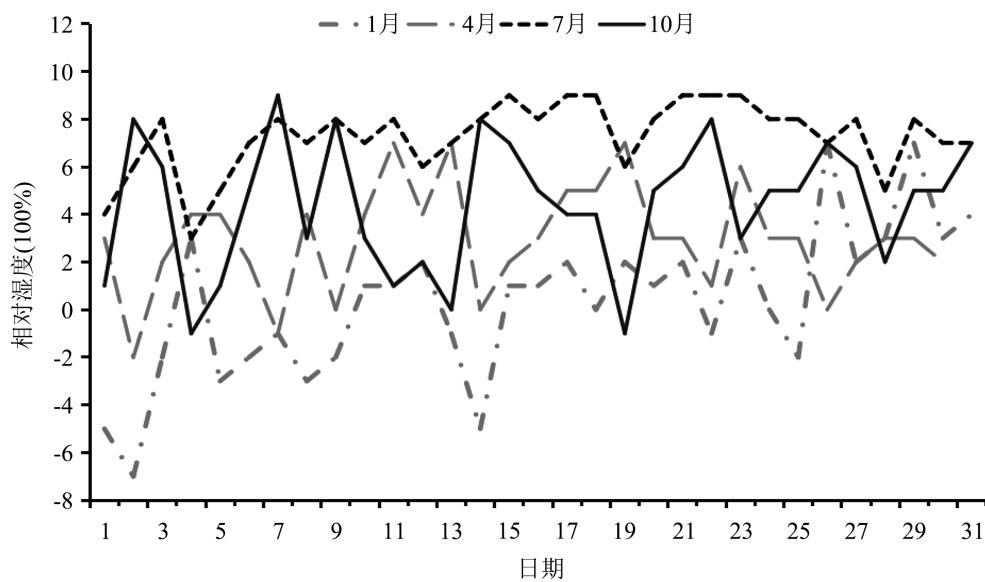


Figure 6. The difference of daily average relative humidity between the new and old stations in January, April, July and October 2013 $rh_{new} - rh_{old}$

图 6. 2013 年 1、4、7、10 月新旧站逐日相对湿度差值曲线 $rh_{\text{新站}} - rh_{\text{旧站}}$

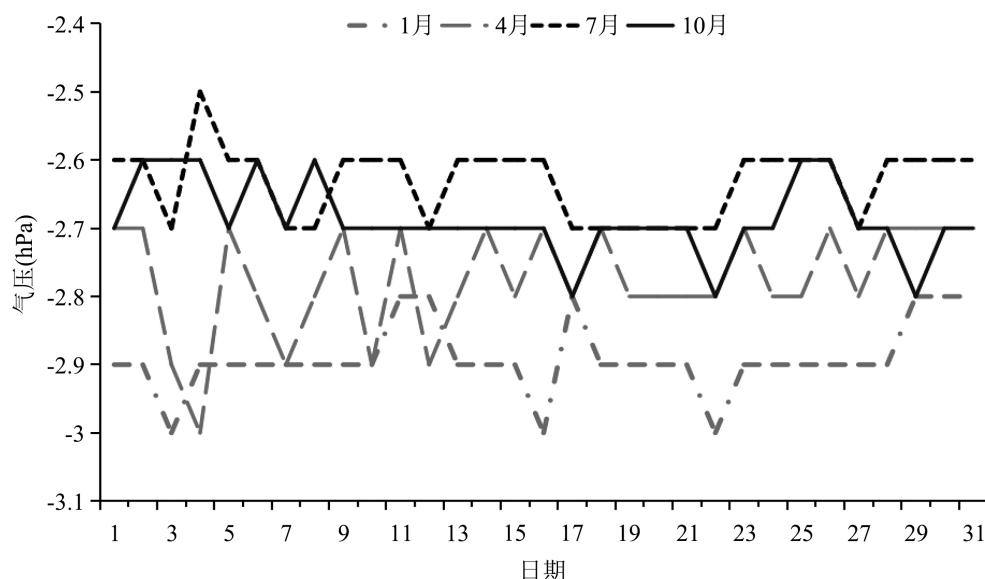


Figure 7. The difference of daily average pressure between the new and old stations in January, April, July and October 2013 $P_{new} - P_{old}$

图 7. 2013 年 1、4、7、10 月新旧站逐日气压差值曲线 $P_{\text{新站}} - P_{\text{旧站}}$

6. 气压对比观测差异分析

三个月中，新站的平均气压均比旧址显著偏低，差值范围在 $-3\text{ hpa}\sim-2.5\text{ hpa}$ ，1月差值最大，7月最小(图7)。由于在近地面层当中，气压随海拔高度增高而降低，依据简化的气压高度差订正公式 $\Delta P = -\Delta H/8$ ，两站气压传感器高度相差21.6 m，计算可得新旧站气压差值为 -2.7 hPa ，与实际的差值近似，因此造成两者气压差异的原因主要与海拔高度不同相关。

7. 总结

1) 受到站址迁移影响，宁波奉化国家站的新旧站之间气象要素存在明显差异，其中新站较旧站的平均气温、平均气压偏低，相对湿度偏高，夏季的平均风速偏大。

2) 新旧站之间要素差异与探测环境的改变存在密切联系：一方面，在垂直方向上新旧站海拔高度差值造成新站气压值偏低，另一方面，在水平方向上，新站四周除自然遮蔽物外没有建筑物的阻挡，而旧站地处当地城区当中，受城市化进程影响，四周建筑增多，下垫面性质改变，因此导致夏季旧站出现明显的气温升高，相对湿度降低以及风速衰减。

3) 经统计检验表明，两站7月的最高、最低气温之间存在显著差异，需要进行订正，因此建立了新旧站最高、最低气温的线性回归方程，使新旧资料更好地衔接，对气象资料的连续性使用具有一定的参考意义。

基金项目

浙江省基础公益研究计划项目(LGF22D050005)；宁波市气象科技计划项目(NBQX2022022A)。

参考文献

- [1] 马凤莲, 刘园园, 周士茹, 等. 从对比观测资料看城镇化对气象要素的影响——以围场国家基本气象站为例[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 205-210.
- [2] 刘燕. 气象站迁站前后主要气象要素的差异性分析及对预报服务工作的影响[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(2): 138-143.
- [3] 吴增祥. 气象台站历史沿革信息及其对观测资料序列均一性影响的初步分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 461-467.
- [4] 韩海涛, 李仲龙, 张鸿, 等. 甘肃省新旧气象站址观测资料对比及均一性分析[J]. 高原气象, 2023, 42(2): 506-514.
- [5] Vincent, L.A. (1998) A Technique for the Identification of Homogeneities in Canadian Temperature Series. *Journal of Climate*, 11, 1094-1104. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<1094:ATFTIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<1094:ATFTIO>2.0.CO;2)
- [6] 马鹏里, 杨金虎, 卢国阳, 等. 西北地区东部气候的转折性变化[J]. 高原气象, 2020, 39(4): 840-850.
- [7] 张爱英, 任国玉, 郭军, 等. 近30年我国高空风速变化趋势分析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 680-687.
- [8] 周建平, 孙照渤, 倪东鸿, 等. 中国气象台站迁移对年平均气温均一性的影响[J]. 大气科学学报, 2013, 36(2): 139-146.
- [9] 中央气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [10] 李又君, 梁国坚, 杨士恩, 等. 气象站迁站前后气温同期观测资料对比[J]. 气象科技, 2010, 38(5): 599-604.
- [11] 罗碧瑜, 陈映强, 贺汉清, 等. 梅州近50年气候变化特征及未来变化趋势[J]. 气象科技, 2008, 36(3): 289-292.
- [12] 赵伍杰, 丁烨毅, 黄鹤楼, 等. 不同下垫面对宁波市夏季气温的影响[J]. 浙江农业科学, 2014(5): 736-739.
- [13] 屠其璞. 气象应用概率统计学[M]. 北京: 气象出版社, 1984.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [15] 刘学锋, 梁秀慧, 任国玉, 等. 台站观测环境改变对我国近地面风速观测资料序列的影响[J]. 高原气象, 2012, 31(6): 1645-1652.