

鞠晓慧,任芝花,曹丽娟,等. 自动与人工观测气压的差异及原因分析[J]. 气象,2010,36(1):104-110.

# 自动与人工观测气压的差异及原因分析<sup>\*</sup>

鞠晓慧 任芝花 曹丽娟 刘小宁

国家气象信息中心,北京 100081

**提 要:** 利用全国 373 个基准基本站自动与人工平行观测期间的气压对比观测资料,进行了自动与人工观测气压的差异分析,重点从本站气压计算公式和环境温度方面分析了两种观测方式引起气压观测数据差异的原因。结果表明:(1)自动观测的气压值比人工观测气压值普遍偏低 0.1~0.2 hPa。日最低气压差异最大,可达到 0.34 hPa。自动与人工观测气压的差值有较明显的日变化和季节变化;(2)从分布区域看,自动与人工观测气压差异较大的区域位于海拔较高的西部地区,我国中东部地区则差异较小,绝大多数在 0.2 hPa 以内;(3)由于人工观测气压计算公式的问题,在 2004 年之前人工观测的本站气压值偏大,海拔高度越高的地方,偏大程度越高。统计结果还表明,30 ℃ 以上的高温环境和 -30 ℃ 以下的低温环境,自动与人工观测气压差异明显。

**关键词:** 地面自动站, 气压, 差异

## Difference Analysis Between Automatic and Manual Atmospheric Pressure Measurements

JU Xiaohui REN Zhihua CAO Lijuan LIU Xiaoning

National Meteorological Information Center, Beijing 100081

**Abstract:** Based on the atmospheric pressure data from 2001 to 2007 during parallel observation, analyses have been made on the differences between automatic-observed and manual-observed atmospheric pressure data, especially the cause of differences is discussed. The results show that most automatic-observed pressure data are less than manual-observed pressure data. And the higher the sea level elevation is, the more evident the differences are. Because of systematic error in manual pressure formula, the manual pressure data before 2004 are larger than that after 2004. There are obvious daily variation and annual variation in pressure differences. In the higher temperature of period or month, the pressure difference is great always. The statistic results show when the temperature is higher than 30 ℃ or below -30 ℃, the differences between manual and automatic pressure measurements are considerably obvious.

**Key words:** automatic observing station, pressure, difference

## 引 言

2000 年前后,我国各级气象部门陆续建立了地面自动气象站。用地面自动观测系统逐渐取代多年的人工观测系统,不仅包含观测仪器的变化,还有观测方式、观测环境和观测时间等方面的变化。上述

变化引起的自动与人工观测之间的差异是不可避免的。近年来,我国许多学者进行了自动与人工观测数据的差异分析<sup>[1-9]</sup>,其中对气温、降水、蒸发、地面温度以及相对湿度等要素进行了较为详细的分析研究,但对气压要素的研究较少。

气压是地面气象观测中重要要素之一,是表示大气物理现象和物理变化的重要参数,是分析地面

\* 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2006Z03,CMATG2008Z12)  
2008 年 11 月 24 日收稿; 2009 年 9 月 18 日收修定稿  
第一作者:鞠晓慧,从事气象资料质量控制. Email:juxh@cma.gov.cn

天气系统的重要因子,气压测量的准确性十分重要<sup>[10-11]</sup>。人工观测所用的气压仪器是水银气压表,气压值经人工读数后通过一定的公式计算得到。而自动站则用电测气压传感器直接测得气压值。观测仪器和观测方式的变化,必然会对气压观测数据产生影响,从而引起两种观测方式测量气压值的差异。

本文利用自动和人工平行观测期间(2001—2007年)的本站气压资料,分析了自动与人工观测气压的差异,并重点从人工观测气压计算公式和环境温度等方面对产生差异的原因进行了详细的分析。

## 1 气压观测及其资料

### 1.1 气压观测

人工观测气压的仪器是动槽式或定槽式水银气压表。水银气压表一般安装在气压室内,气压室要求温度少变、光线充足、既通风又无太大空气流动。测量时观测人员要先读出附属温度表的读数,再读出水银气压表的读数,然后由本站气压计算公式<sup>[12]</sup>计算得到本站气压值。

目前,我国自动气象站测量气压广泛使用芬兰维萨拉(VAISALA)公司生产的 PTB220 系列数字气压表。PTB220 气压传感器具有较宽的工作温度和气压测量范围,传感器采用高级 RC 振荡电路以及依赖于电容压力和电容温度补偿的 3 个参考电容进行持续的测量,可以测量  $-40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  环境的气压(测量范围  $500\sim 1100\text{ hPa}$ )<sup>[13]</sup>。我国的自动气象站类型主要有两类,一类是 CAWS 型系列(简称 C 型自动站,包括 MILOS500),它的 PTB220 气压传感器安装在室外;另一类是 DYY-ZII 型或 ZQZ-CII 型自动站(简称 II 型自动站),它的 PTB220 气压传感器安装在室内<sup>[14]</sup>。

### 1.2 台站及其资料

一般情况下,观测气压的人工仪器和自动仪器安装在不同的位置,仪器的高度可能是不一样的。气压要素对高度非常敏感,根据气压和高度的关系公式,平原地区在海拔高度相差  $1\text{ m}$  时,气压值大约差  $0.1\text{ hPa}$ 。要讨论人工观测气压与自动观测气压的差异,首先应消除仪器高度差造成的差异。考虑到我国幅员辽阔,各地差别很大,不能进行统一的高度订正,所以本文仅限讨论人工和自动气压仪器

高度一致的台站。截至到 2007 年,全国共有 749 个国家基准、基本台站正式建立了自动气象站,其中有 373 个台站(包括 24 个国家基准台站)人工和自动气压仪器高度一致。同时,考虑到自动站气压传感器的安装环境不同,可能会有一定的影响,本文又将 373 个台站分为自动站气压传感器在室内的 303 个(主要是 II 型自动站),在室外的 70 个(主要是 C 型自动站和 MILOS 系列)。台站的分布图见图 1,其中标识为浅灰色的台站气压传感器在室内,标识为深灰色的台站气压传感器在室外。

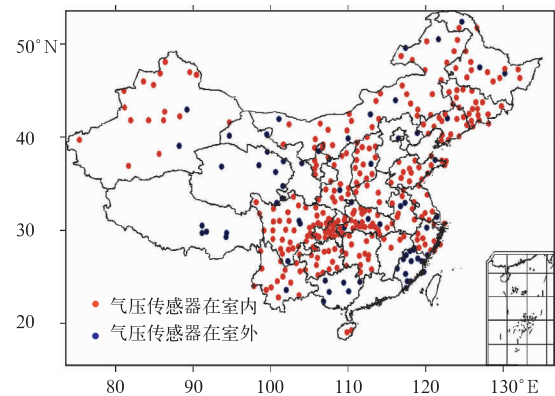


图 1 气象台站分布图

Fig. 1 Geographical distribution of the meteorological stations in China

为了确保分析气压差异的正确、可靠,首先对气压观测数据进行基本的质量控制,即气压的极限值检查。不同海拔高度的台站有不同的气压极限值。本文由国家基准、基本台站 1971—2000 年 30 年气压标准值得到了气压和台站海拔高度的线性关系,再加上经验订正系数,制定了不同海拔高度( $0\sim 5000\text{ m}$ )的气压极限值标准(表 1)。规定不同海拔高度的定时气压和日最高、最低气压数值在对应的

表 1 不同海拔高度( $h$ )的气压极限值

Table 1 The threshold values for pressure of different height

海拔高度/m	气压低限值/hPa	气压高限值/hPa
$0\leq h\leq 500$	909.4	1058.5
$500<h\leq 1000$	859.7	1008.8
$1000<h\leq 1500$	810.0	959.1
$1500<h\leq 2000$	760.3	909.4
$2000<h\leq 2500$	710.6	859.7
$2500<h\leq 3000$	660.9	810.0
$3000<h\leq 3500$	611.2	760.3
$3500<h\leq 4000$	561.5	710.6
$4000<h\leq 4500$	511.8	660.9
$4500<h\leq 5000$	462.1	611.2

低限值和最高限值之间,超出范围认为是错误数据,剔除。质量控制结果显示,人工观测本站气压值无错误记录,自动观测本站气压值错误记录有 33 个,占总有效记录数的 0.03%。

在自动和人工平行观测期间,国家基准、基本台站的区别是,国家基准台站每天保持 24 时次的对比观测,并且一直保留自动和人工并行观测;而国家基本台站每天仅进行 4 时次(北京时 02、08、14、20 时)的对比观测,且在两年左右的平行观测期结束后仅保留自动观测。我国的国家基准站建立的自动气象站都是 C 型自动站。

本文统计了定时气压、日平均气压、日最高气压、日最低气压和年平均气压等项目的对比差值用来分析自动与人工观测气压的差异,由于大多数自动气压值比人工值偏低,为便于比较,定义气压对比差值为:

$$\text{对比差值} = \text{人工观测气压值} - \text{自动观测气压值} \quad (1)$$

在分析气压对比差值(以下简称差值)之前需要对气压差值进行粗差处理,剔除差异较大的差值。方法是:计算气压差值每月的月平均值和标准差<sup>[15]</sup>,如果某个差值和差值月平均值之差的绝对值大于 3 倍标准差,认为该差值是粗差,剔除。对 373 个台站的日平均气压、日最高和日最低气压用上述方法进行粗差处理,粗差率分别为:0.23%、0.40%、0.37%。

## 2 自动与人工气压差异分析

### 2.1 自动与人工气压的总体差异

图 2 为日平均、日最高和日最低气压差值的频率分布图。从图中可以看出,绝大多数(95%以上)

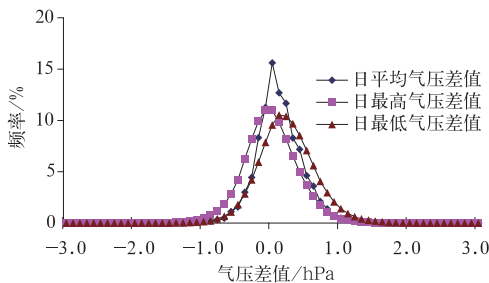


图 2 气压差值的频率分布图

Fig. 2 Frequency distribution of the differences between two pressure measurements

日平均气压和最高最低气压的差值都不大,在 1.0 hPa 以内,日平均气压差值的分布中心稍微偏向正值,日最高气压的分布中心基本在 0.0 hPa 附近,日最低气压的分布中心则明显偏向正值,中心在 0.1 hPa。这说明不同的气压测量仪器会造成不同程度的系统偏差,尤其日最低气压的系统偏差更大。

气压传感器在室内的 II 型自动站和气压传感器在室外的 C 型自动站自动与人工气压差值的具体情况是:日平均气压差值分别为 0.08 hPa、0.21 hPa;日最高气压差值分别为 -0.04 hPa、0.07 hPa;日最低气压差值分别为 0.18 hPa、0.34 hPa。可以看出,两类自动站都是日最高气压差值最小,日平均气压差值其次,日最低气压差值最大。但是在差异程度上,C 型自动站的气压差值明显比 II 型自动站的差值大。C 型自动站自动与人工气压的差异更值得关注。

### 2.2 自动与人工观测气压差异的日变化和季节变化

考虑到 C 型和 II 型两种自动站自动与人工观测气压的差异程度不同,下面就气压差值日变化和季节变化将两种自动站分别讨论。除海拔高度外,气压还是一个对环境温度敏感的气象要素,气压本身具有明显的日变化和季节变化(图略)。那么,自动与人工观测气压的差值的日变化和季节变化同样存在。图 3 是 C 型和 II 型两种自动站自动与人工观测定时气压差值的日变化图,其中 C 型自动站每天有 24 时次气压差值,可以清楚地看到气压差值的逐小时变化。而 II 型自动站每天有 4 次气压差值,虽然不能看到全天的变化,但可以看出大致的变化规律。图中显示,两种自动站气压差值的日变化规律一致,即一日当中气压差值有两个高峰和两个低谷,气压差值最高峰在 14 时前后,C 型自动站气压

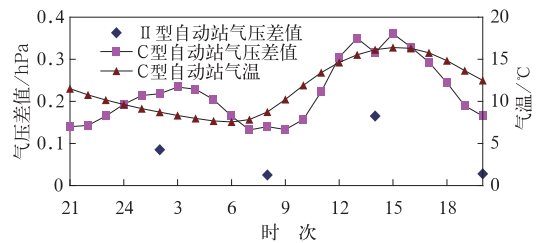


图 3 气压差值的日变化

Fig. 3 Daily variation of the difference between two pressure measurements

差值达到 0.36 hPa, II 型自动站气压差值为 0.17 hPa。次高峰在 3 时前后, C 型自动站气压差值达到 0.23 hPa, II 型自动站气压差值为 0.09 hPa; 两个低谷分别在 8 时和 21 时前后, C 型自动站达到 0.14 hPa, II 型自动站为 0.03 hPa。C 型自动站的气压差值要比 II 型自动站的高 0.1~0.2 hPa。和气温的日变化结合起来发现, 气压差值出现最高峰的时刻就是气温接近最高点的时刻。气压差值出现次高峰的时刻虽然不是气温最低点, 但也是在低温期。

由日平均差值统计出月平均差值, 来看气压差值的季节变化(图 4), 这里只绘出 C 型自动站气压差值的季节变化情况, 包括日平均、日最高和日最低气压差值。这三类气压差值的变化规律基本一致, 都是在气温较高的 5—7 月气压差值较大, 在 10—12 月的气压差值较小, 在气温较低的 1—2 月, 气压差值居中。其中日最低气压的差异最大, 6 月日最低气压差值达到 0.44 hPa, 日平均气压的差异其次, 5 月日平均气压差值达到 0.28 hPa, 日最高气压的差异最小, 5 月日最高气压差值达到 0.14 hPa。

气压差值的日变化和季节变化都表明, 在温度较高的时期, 气压差值较大; 在温度较低的时期, 气压差值稍大。尤其气压传感器安装在室外的 C 型自动站, 在气温较高时段的气压差值更大。

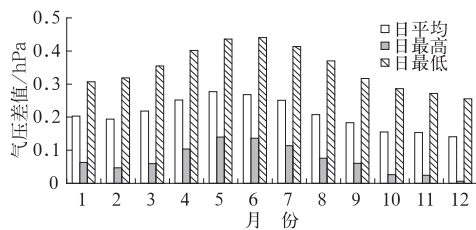


图 4 C 型自动站气压差值的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of the differences between two pressure measurements

### 2.3 自动与人工年平均气压差异区域分布

为了比较全国范围内人工和自动气压资料的平均差异情况, 利用 373 台站的年平均气压差值绘制了全国分布图(图 5)。

图中, 全国绝大部分地区的日平均气压差值在  $-0.2 \sim 0.2$  hPa 之间, 尤其在我国  $110^\circ\text{E}$  以东的华北、华东和华南地区, 除安徽和内蒙古的部分地区外差异都比较小。而我国  $110^\circ\text{E}$  以西的地区, 尤其在青藏高原、天山、祁连山、秦岭, 横断山, 云贵高原等海拔高的山脉和高原地区, 差值基本都超过 0.2

hPa。青海和四川的部分地区差值甚至达到 0.6 hPa 及以上。

和日平均气压差值相比, 日最高气压差值在  $-0.2 \sim 0.2$  hPa 的区域更多, 我国中东部除零星地区外, 差值都很小。差值大的区域仍旧主要分布在青海、四川、云南等海拔较高的省区。

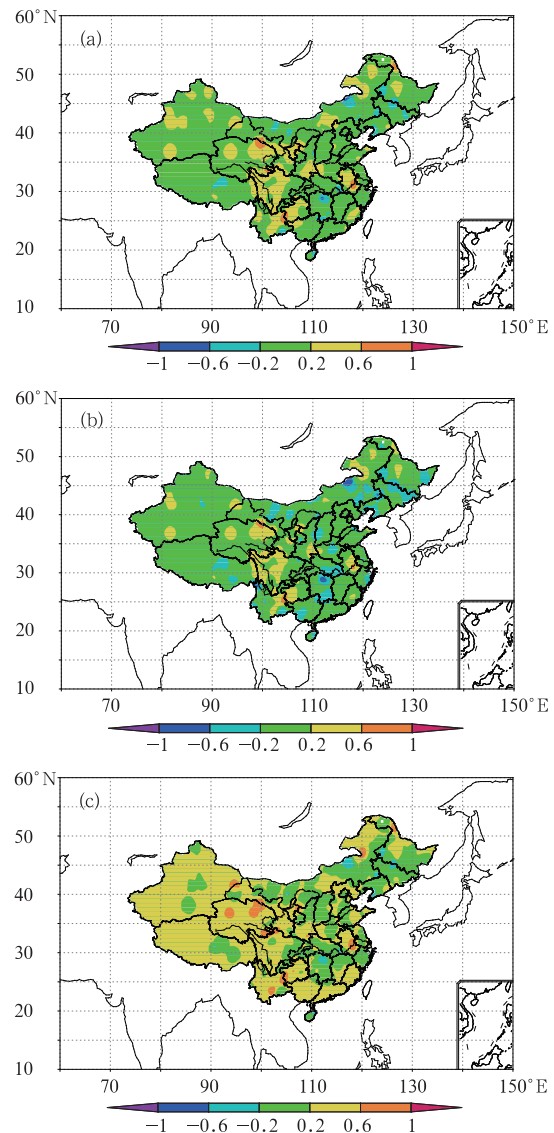


图 5 自动与人工观测气压差值的全国分布(hPa)

(a) 日平均气压, (b) 日最高气压,  
(c) 日最低气压

Fig. 5 The distribution of the differences between two pressure measurements in China(hPa)  
(a) daily pressure; (b) daily maximum pressure;  
(c) daily minimum pressure

在日最低气压差值分布图上, 差值在 0.2 hPa 以上的地区大大增加, 超过了一半的范围。尤其在我国中西部高海拔地区和华南地区, 差值基本都大于 0.2 hPa。东北、华北和长江中下游地区差值一般在  $-0.2 \sim 0.2$  hPa。

综上所述,在我国的中东部大部分地区自动与人工观测的气压差异不大。气压差异大的区域主要分布在我国的青藏高原东部和四川省西北部和云贵高原等,这些区域多是山岭和高原等海拔较高的地区。日最低气温的差值普遍比日平均和日最高气温偏大,分布范围也更广。

## 2.4 自动与人工气压差异原因分析

### 2.4.1 海拔高度对气压差异的影响

人工观测本站气压的计算公式经过了水银气压表的器差订正、测站的重力差订正以及附属温度表的器差订正。其中重力差订正项在 2005 年进行了较大的调整。2005 年之前,重力差订正公式用的是气象常用表(第三号)公布的旧公式(2),2005 年开始用的是世界气象组织仪器和观测方法委员会(CIMO)于 1983 年公布的新公式(3)<sup>[12]</sup>。

$$\begin{cases} g_{\varphi,h} = g_{\varphi,0} \times (1 - 0.000000196h) \\ g_{\varphi,0} = 9.80665 \times (1 - 1.00265 \cos 2\varphi) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} g_{\varphi,h} = g_{\varphi,0} - 0.000003086h + \\ \quad 0.000001118(h - h') \\ g_{\varphi,0} = 9.80620[1 - 0.0026642 \cos 2\varphi + \\ \quad 0.0000058(\cos 2\varphi)^2] \end{cases} \quad (3)$$

式中: $g_{\varphi,h}$ 为测站重力加速度; $g_{\varphi,0}$ 为纬度 $\varphi$ 处的平均海平面重力加速度( $\text{m/s}^2$ ); $h$ 为测站海拔高度(m); $h'$ 为以站点为圆心,在半径为 150 km 范围内的平均海拔高度(m)。在周围地形较平坦的台站,设 $h=h'$ ;在周围地形差异大的台站,应采用重力加速度实测值。

新旧公式存在明显的系统误差。李建英等<sup>[16]</sup>指出气象常用表(第三号)关于重力加速度的计算公式存在着显著的与海拔高度有关的系统误差,其影响已超过了仪器的允许误差。特别是对高山气象站的影响最大。

新旧两个公式计算得到的人工气压值存在明显差异。举例说明,表 2 给出了 40°N 地区不同气压、不同海拔高度下,采用不同的人工气压计算公式计算出的本站气压的对比差值(新公式-旧公式)。由表 2 可以看出,旧公式计算的气压值偏大,并且海拔高度越高时,两个公式产生的差异越大。一个海拔高度 2000 m 左右,气压 800 hPa 左右的台站,旧公式比新公式计算的人工本站气压高 0.2 hPa。由此可以得到结论,在 2004 年及之前人工观测的本站气压值是偏大的,并且,海拔高度越高的地方,偏大程度越高,这造成了自动与人工气压的差异也越大。

表 2 40°N 地区不同气压、海拔高度下两种方法计算的气压对比差值(hPa)

Table 2 The difference of pressure calculated under two different pressure and altitude areas at 40°N

经过器差和温度订正的气压	海拔 100 m 的气压差值	海拔 500 m 的气压差值	海拔 1000 m 的气压差值	海拔 1200 m 的气压差值	海拔 2000 m 的气压差值
1000	-0.06	-0.10	-0.16	-0.22	-0.28
800	-0.05	-0.08	-0.13	-0.18	-0.23
600	-0.03	-0.06	-0.10	-0.13	-0.17

把现有资料分成两部分,一部分是 2005 年之前的资料,另一部分是 2005 年之后的资料,统计不同海拔高度下对应的年平均气压对比差值,得到图 6。

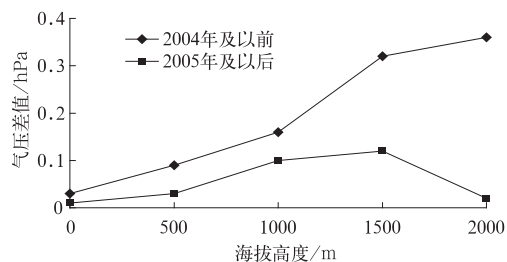


图 6 不同海拔高度对应的气压差值

Fig. 6 The difference of pressure corresponding to different altitudes

在 2005 年之前,气压差值随着海拔高度的增加都是逐渐增加的。海拔高度在 500 m 以下时,气压差异很小,不到 0.1 hPa;当海拔高度达到 1000 m 时,气压差值超过 0.1 hPa。当海拔高度达到 2000 m 时,气压差值超过了 0.3 hPa。在 2005 年之后,气压差值随着海拔高度的增加而增加的趋势就不明显了。在 500 m 以内,气压差值接近为 0;500~1500 m,气压差值都在 0.1 hPa 左右。这表明,气压差值在 2005 年之前对台站海拔高度是非常敏感的,而在 2005 年之后气压差值对台站海拔高度不敏感。这就说明 2005 年之前人工观测的高海拔地区的气压系统误差比较大,海拔越高,系统误差越大。在使用 2005 年之前高海拔台站的气压资料时要注意此

问题。

#### 2.4.2 环境温度对气压差异的影响

自动与人工气压差值与气温一样有较为明显的日变化(图 3)和季节变化(图 4),环境温度是影响气压差值的因子之一。

为了研究究竟多高或多低的气温对气压差值产生多大的影响,用 C 型和 II 型自动站观测的定时气温资料和定时气压差值资料绘成图 7。图 7 中横轴刻度“0”表示“0~10 °C”;“10”表示“10~20 °C”;依次类推。图中显示,C 型和 II 型自动站自动与人工气压差值随气温的变化规律是相当一致的,当气温在 0~10 °C 时(横轴刻度为“0”),气压差值最小。随着气温的升高或降低,气压差值非线性升高。气温高于 30 °C 或低于 -30 °C 时,气压差值最大。不同的是,C 型和 II 型自动站的气压差值随着气温变化的幅度是不同的,C 型自动站气压差值明显大于 II 型自动站气压差值,大约偏高 0.2 hPa。当气温高于 30 °C 或低于 -30 °C 时,C 型自动站气压差值已经超过 0.4 hPa。由于 C 型自动站的气压传感器是安装在室外的,当气温超过 30 °C 或低于 -30 °C 较高时,实际的环境温度会更高或更低。可见极高或极低的温度环境都会对气压差值产生较明显的影响。

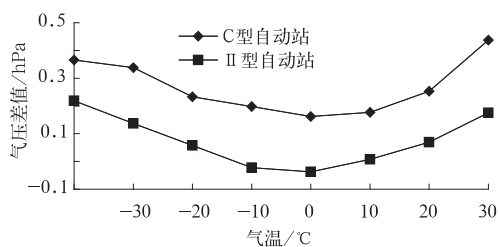


图 7 不同气温对应的气压差值  
Fig. 7 The difference of pressure corresponding to different temperatures

根据公式(1),极高或极低的温度环境下气压差值变大或是人工观测的气压偏大,或是自动观测的气压偏小,或是二者偏移同时发生。人工观测气压是在气压室进行的,地面气象观测规范对气压室有严格的要求,气压室内的温度是相对稳定的,室外的高温或低温对人工观测的气压影响不大,但对气压传感器的影响较大。罗淇等<sup>[17-18]</sup>研究了不同温度条件下校准气压传感器的误差情况,用气压标准器校准 C 型自动站的气压传感器,当气温在 25 °C 以上

(实际环境温度超过 30 °C)时,发现校准的气压误差值偏向负值区,认为是高温环境下,气压标准器产生了正向偏移所致。罗淇等<sup>[19]</sup>还实验了不同环境温度下气压标准器的工作情况,结果表明,无论温度升高或降低,气压标准器的数值都是增大的。由于现用的气压标准器主要用于校准室内气压传感器的气压标准器,对于现场校准安装在室外的气压传感器,尤其在高温时会产生一定的正向误差。但是在高温环境下,用气压标准器校准气压传感器产生的附加误差,不仅有气压标准器的误差,也有气压传感器产生的温度漂移误差。虽然 PTB220 气压传感器经过了温度补偿,但 CIMO<sup>[20]</sup>指出,温度对气压传感器产生的影响相当严重,而且这种影响总不能被内置的温度补偿电路完全补偿。因此,在极高或极低的环境温度下,气压传感器都会因为温度补偿不足产生温度漂移误差,使得气压传感器测得的气压值偏小,从而自动与人工观测的气压差异较大。

### 3 结论

(1) 大多数自动观测的气压较人工气压偏低;人工和自动观测日平均气压的差值平均为 0.1~0.2 hPa。日最低气压的差异最大,可达到 0.3 hPa。气压差值具有较为明显的日变化和季节变化。

(2) 气压差异大的区域分布在我国青海、西藏、四川、甘肃、云南和贵州等海拔较高的区域,气压差值多在 0.2~0.6 hPa,其中部分区域的差值达到 0.6 hPa 以上。在我国的中东部地区则差异不大,绝大多数在 0.2 hPa 以内。

(3) 由于计算公式的问题,在 2004 年及之前人工观测的本站气压值是偏大的,海拔高度越高的地方,偏大程度越高,自动与人工观测气压的差异也越大。

(4) 统计表明,随着气温的升高或降低,自动与人工观测气压差值非线性升高,在 30 °C 以上的高温环境和 -30 °C 以下的低温环境,差异更明显。气压传感器温度漂移的研究有待加强。

(5) 气压传感器安装在室外的自动站与气压传感器安装在室内的自动站相比,自动与人工观测的气压差异较大,大约偏高 0.2 hPa。

## 参考文献

- [1] 王颖,刘小宁.自动站与人工观测气温的对比分析[J].应用气象学报,2002,13(6):741-748.
- [2] 顾品强,王美华.Ⅱ型自动站与常规站温湿度观测记录的比较[J].气象,2003,29(1):35-38.
- [3] 胡玉峰.自动与人工观测数据的差异[J].应用气象学报,2004,15(6):719-726.
- [4] 连志鸾.自动站与人工站观测记录的差异分析[J].气象,2005,31(3):48-52.
- [5] 任芝花,冯明农,张洪政.自动与人工观测降雨量的差异及相关性[J].应用气象学报,2007,18(3):358-364.
- [6] 余君,胡玉峰,刘均.我国中部地区自动站与人工站气温的差异及原因分析[J].气象,2007,33(5):94-99.
- [7] 王颖,刘小宁,鞠晓慧.自动观测与人工观测差异的初步分析[J].应用气象学报,2007,18(6):849-854.
- [8] 刘小宁,任芝花,王颖.自动观测与人工观测地面温度的差异及其分析[J].应用气象学报,2008,19(5):554-563.
- [9] 余君,牟容.自动站与人工站相对湿度观测结果的差异及原因分析[J].气象,2008,34(12):96-102.
- [10] 尹宪志,叶兴中,丁林.气压室环境对气压观测准确性的影响[J].气象,2004,30(2):55-56.
- [11] 刘玉洪,张一平,马友鑫,等.本站气压对湿度测量精度的影响[J].气象,2005,31(2):48-50.
- [12] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:30-31.
- [13] 胡帆,陈正一.PTB220系列数字式气压表的原理[J].气象水文海洋仪器,2008(2):64-67.
- [14] 李黄.自动气象站使用手册[M].北京:气象出版社,2007:19-20.
- [15] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2000:6-7.
- [16] 李建英,贺晓雷.水银气压表的温度重力修正和重力引用问题[J].气象科技,2003,31(1):42-44.
- [17] 罗淇,邹树峰,边文超,等.现场校准气压传感器超差原因的诊断分析[J].气象水文海洋仪器,2007(2):16-19.
- [18] 罗淇,任芝花,邹树峰,等.自动气象站现场校准方法探讨[J].气象,2007,33(12):93-97.
- [19] 罗淇,朱乐坤,高林,等.自动气象站气压传感器现场校准方法[J].气象科技,2008,36(4):499-501.
- [20] WMO—No. 8. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation,1996.
- [21] 张霁琛.现代气象观测[M].北京:北京大学出版社,2003:76-98.
- [22] 胡玉峰.自动气象站原理与测量方法[M].北京:气象出版社,2004.