

温华洋, 华连生, 金素文, 等. 2013. 基于空间一致性的双套站数据选取方法探索. 气象, 39(8):1069-1075.

基于空间一致性的双套站数据选取方法探索^{* 1}

温华洋¹ 华连生¹ 金素文¹ 徐光清¹ 汪腊宝² 胡 雯²

1 安徽省气象信息中心, 合肥 230031

2 安徽省气象局, 合肥 230031

提 要: 国家级台站自动气象站双套运行后, 将双套站产生的多套数据处理为一套数据的算法成为双套站投入业务运行前必须解决的重要问题。文章从数据“热备份”角度提出了基于空间一致性的主备法, 在此基础上进一步从统计学基本原理以及保证数据连续角度提出了基于空间一致性的差值订正合成法两种数据处理算法。利用安徽省休宁站逐小时气温资料对两种算法结果的完整性和差异性进行了评估, 评估使用的方法包括缺失率、差值均值、差值标准差、差值的一致率、超差率和粗差率等。评估结果表明: 算法均能很好地保证数据的完整性; 算法结果均与“真值”较为接近, 基本能够反映大气真实情况, 基于差值订正的“合成法”结果更优。最后利用新疆库车、安徽安庆等 5 个台站资料对算法涉及到的空间一致性方法进行了评估, 结果表明该方法总体效果较好, 尤其在相对湿度、气压和气温上具有很好的判别效果, 而风速可能受局地地形或参考站选取影响效果略差。

关键词: 双套站, 算法, 数据选取, 空间一致性, 气温

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.08.014

Data Processing Methods of Double Automatic Stations Based on Space Consistency Check

WEN Huayang¹ HUA Liansheng¹ JIN Suwen¹ XU Guangqing¹ WANG Labao² HU Wen²

1 Anhui Meteorological Information Centre, Hefei 230031

2 Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230031

Abstract: Since national automatic weather stations were run in dual sets, the algorithm to make multiple sets of data generated by the double automatic stations into one set of data has become an important issue that must be resolved before the double stations are put into operation. This article presents the master and slave law based on the space consistency from the standpoint of the data of “hot spare”, and also presents two data processing algorithms based on revised synthesis method according to spatial consistency difference from basic statistical principles and the angle to ensure that the data are continuous. We evaluate the integrity and differences of the results by the two algorithms using the hourly temperature data from Xiuning Station. Many assessment methods are used including missing rate, the mean of difference values, the standard deviation of difference values, the consistency rate of difference, ultra-slip and coarse slip etc. The results show that both of the two algorithms can guarantee the integrity of the data well, and the results of these algorithms are closer to the “true value” and also can reflect the true situation of the atmosphere. Comparatively, however, the result based on the difference between the revised synthesis is better. Finally, the double station observation data collected from Kuche, Anqing and other three stations are

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006055)、国家自然科学基金项目(41205126)和安徽省气象局气象科技发展基金(KM201208)共同资助

2012 年 3 月 20 日收稿; 2012 年 12 月 9 日收修定稿

第一作者: 温华洋, 主要从事资料质量控制、评估相关研究. Email: wenhy12@163.com

used to assess the spatial consistency method which involves the algorithm. It is indicated that this method is effective in general. Especially, it has a better discriminant ability in humidity, pressure and temperature, but is less effective in distinguishing wind speed, which may be affected by local topography or the impact of selected reference stations.

Key words: double automatic stations, algorithm, data processing, space consistency, temperature

引言

2010 年安徽省气象局牵头承担国家级自动气象站双套运行试点建设工作,在安徽的休宁、新疆的库车、河北的南宫等 10 个台站建设双套自动站(双套站均为第二代新型自动站,两套仪器分别记为 A 和 B 站,原观测场运行自动站为第一代自动站,记为本站),并于 2010 年 10 月陆续投入试验运行。实行自动站双套运行后,气温、气压、相对湿度和风向风速等要素均产生两套数据,如何将两套数据处理为一套完整准确的观测数据成为双套站投入运行后必须解决的重要问题。

目前国内外鲜有关于双套站数据处理方法的相关研究,相类似的研究主要集中在多传感器数据融合方面(Hall et al, 1997;王军等, 2004),这些研究成果广泛应用于战场监视、自动飞行器导航、机器人、医疗诊断、图像处理和复杂工业过程控制等领域。涉及到的处理方法包括加权平均(潘泉等, 2003)、估计理论(Mutambara, 1998)、卡尔曼滤波(周锐等, 1998)和统计决策理论(Kamberova et al, 1996)等方法。美国国家气候数据处理中心给出 USCRN 三套气温传感器仪器决策处理的较为经典的成熟算法,但该算法需要每个时次传感器通风风扇速度(speed of fan)资料,而目前布设的双套自动站采用的仪器无相关数据,因此无法直接利用相关算法处理双套站数据。而事实上双套自动站运行后主要考虑如何从两套中选取一套,或者如何给予两套数据不同的权重,合成为一套完整准确的数据。本文从以上两个角度,借助周边台站的数据对双套站采集的气温、气压、相对湿度和风速等要素数据选取合成方法进行了探索,获得了一些有益的结论,为历史数据的处理分析等提供参考。

1 资料说明

使用的资料为 2010 年 10 月至 2011 年 3 月安

徽休宁、安庆、歙县和新疆库车、莫索湾 5 个台站以及对应台站双套站的逐小时观测资料。此外使用到的参考站资料包括安徽的屯溪、黟县、怀宁、枞阳、东至、青阳,新疆的拜城、新和、沙雅和轮台 10 个台站。本站以及周边台站资料均经过台站、省级和国家级严格的三级质量控制后资料,而双套站数据则只经过初步的质量控制,质量控制的方法包含气候界限值检验、气候极值检验、时间一致性和内部一致性检验等(窦以文等, 2008;何志军等, 2010;刘小宁等, 2006;任芝花等, 2007; 2010),将双套站没有通过初步质量控制的数据设定为缺测。

2 算法简介

当 A、B 站差值超过一定阈值时,表明了其中至少一套仪器出现了故障,需要利用空间一致性检验判断。其阈值根据中国气象局(2010)第二代新型自动站功能规格书仪器探测精度的最大允许误差确定(气温为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, 气压为 $\pm 0.3\text{ hPa}$, 相对湿度为 $\pm 3\%$, 风速为 $\pm 0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。对于空间一致性检验,近年来讨论较多,如刘小宁等(2006)采用空间回归检验的方法,在降水、风速等空间变化较大的要素上检验的效果较好,主要适用于单一要素的检验,任芝花等(2010)提出了适用于全国小时降水的空间一致性检测方法,该方法需要较多的临近站才能给出准确的判断,计算相对复杂。而本文采用的空间一致性判别方法有别于以上方法,主要从要素跳跃幅度的接近程度进行考察判定,具有计算简单,参考站选取较为灵活的特点,具体判断方法如下:

设两套仪器观测的两组数据为 $\{a\}$ 与 $\{b\}$, 记算法新数据为 z , 本站观测数据为 $\{c\}$, 周边 n 个参考台站数据为 $\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, 参考台站合成数据为

$$\{s\}, s = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k. \text{ 第 } i \text{ 时刻各序列对应数据 } a_i, b_i$$

和 s_i . 其中 $\Delta a = \frac{a_{i-1} - a_{i-4}}{3} - (a_i - a_{i-1}) = \frac{4}{3}a_{i-1} -$

$\frac{1}{3}a_{i-4} - a_i$, $\Delta b = \frac{4}{3}b_{i-1} - \frac{1}{3}b_{i-4} - b_i$, $\Delta s = \frac{4}{3}s_{i-1} - \frac{1}{3}s_{i-4} - s_i$, 即 $\Delta a, \Delta b$ 和 Δs 分别表示在 i 时刻 a_i, b_i 和 s_i 前面 3 个时次前后时次变化均值与当前时次变化值的差值。令 $\Delta as = |\Delta a - \Delta s|$, $\Delta bs = |\Delta b - \Delta s|$, 即 a_i, b_i 相对于参考数据 s_i 在 i 时刻跳跃幅度的大小。考虑到数据均通过了初步的质量控制, 没有通过质量控制的数据已被设为缺测, 若 $\Delta as \leq \Delta bs$, 则表明相对于 b_i, a_i 在 i 时刻与参考台站跳跃幅度更为接近, 认为 a_i 正确的可能性更高, 否则认为 b_i 与参考台站跳跃幅度更为接近, b_i 正确的可能性更高。

其中参考站一般选取 3~5 个, 并按照如下原则选取: 拔海高度差不超过 500 m, 纬度相近、经度相近, 一般相距不超过 100 km; 历史数据相关系数通过显著性水平检验($\alpha=0.01$), 且尽可能的大。

2.1 基于空间一致性的主备法(简记“主备法”)

该算法思想是若 A、B 站差值在正常阈值内则将双套站中某一套仪器(如 A 站)的资料作为传输资料, 而另外一套(B 站)则作为“热备份”资料, 即备用资料; 当 A、B 两站差值异常时, 利用前文所述空间一致性判断, 若 A 站数据异常时直接使用 B 站数据替换, 最终形成一套完整数据。

以选择 A 站为主站, 气温为例(根据探测仪器最大允许误差给出气温差值阈值为 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 气压则为 $\pm 0.6\text{ hPa}$, 相对湿度 $\pm 6\%$, 风速为 $\pm 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$):

- (1) 当 $|a_i - b_i| \leq 0.4$ 时, 取 $z_i = a_i$;
- (2) 当 $|a_i - b_i| > 0.4$ 时, 则认为 A、B 两站其中

一套数据出现异常, 在周边台站中选取 3~5 个参考站, 进行空间一致性判断(要求 a_i 与 b_i 及前四个时刻数据完整且差值 ≤ 0.4 , 否则 i 向前顺移, 直到同时有 4 组连续的 a_j 与 b_j 均完整, 且 a_j 与 b_j 的差值均 ≤ 0.4 , 下同): 若 $\Delta as \leq \Delta bs$, 则 $z_i = a_i$, 否则 $z_i = b_i$ 。

(3) 若 a_i 与 b_i 其中一个缺测, 按照如下方法处理: 若 a_i 缺测, $z_i = b_i$; 否则 $z_i = a_i$ 。

(4) 若 a_i 与 b_i 均缺测, 则 z_i 缺测。

2.2 基于空间一致性的差值订正合成法(简记“合成法”)

合成法算法思想认为均值更接近于统计上的“真值”, 即数据差值在正常阈值内将两套仪器的平均值作为实时业务传输资料, 当数据差值异常时, 利用空间一致性判断, 选取正确数据, 并利用差值均值对该数据进行订正, 以保持合成数据的连续性。最终形成一套完整数据。算法如下:

- (1) 当 $|a_i - b_i| \leq 0.4$ 时, 取 $z_i = (a_i + b_i)/2$;
- (2) 当 $|a_i - b_i| > 0.4$ 时, 若 $\Delta as \leq \Delta bs$, $z_i = a_i - \frac{1}{2}\Delta$, 否则, $z_i = b_i + \frac{1}{2}\Delta$; 其中 $\Delta = \frac{1}{4} \sum_{j=i-4}^{i-1} (a_j - b_j)$, 即 Δ 表示 A、B 两个序列 i 时刻前 4 个时次的差值均值;
- (3) 若 a_i 与 b_i 其中一个缺测, 按照如下方法处理: 若 a_i 缺测, $z_i = b_i + \frac{1}{2}\Delta$; 否则若 b_i 缺测, $z_i = a_i - \frac{1}{2}\Delta$;
- (4) 若 a_i 与 b_i 均缺测, 则 z_i 缺测。

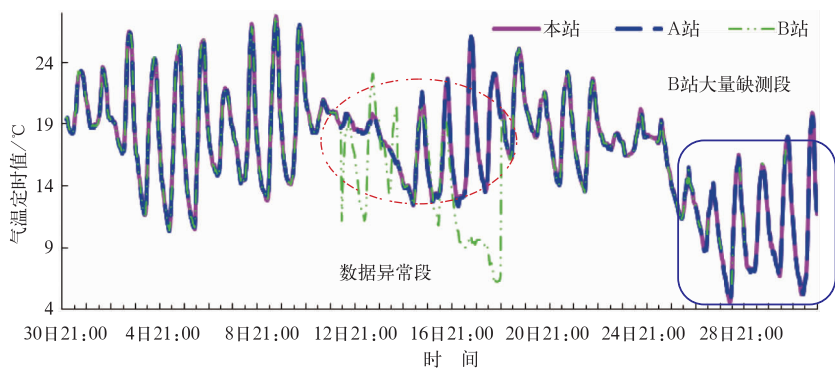


图 1 休宁双套站与本站 2010 年 10 月逐小时气温比较
Fig. 1 Comparison of hourly temperature of the double automatic stations in Xiuning with the native automatic stations in October 2010

表 1 休宁双套站逐小时数据缺测次数比较

Table 1 Comparison of the frequency of hourly temperature missing data of Xiuning double automatic stations

| 月份 | A 站 /次数 | B 站 /次数 | A、B 站同时缺测 /次数 | 本站 /次数 | 主备法 /次数 | 合成法 /次数 | 样本总数 /个 |
|----|------------|------------|------------------|-----------|------------|------------|------------|
| 10 | 3 | 107 | 3 | 12 | 3 | 3 | 744 |
| 11 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 720 |
| 12 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 744 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 744 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 672 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 744 |

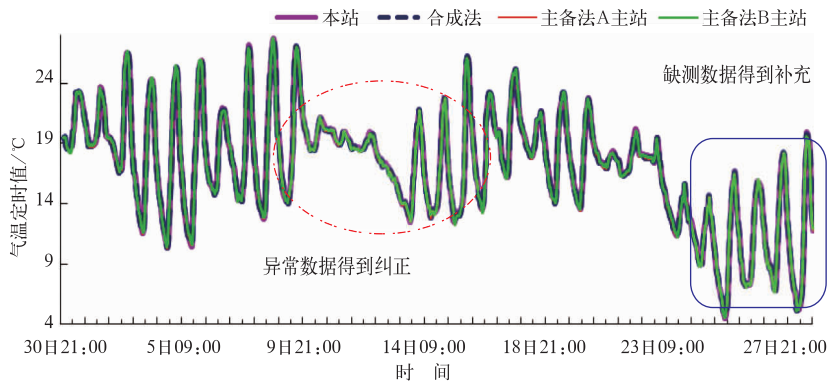


图 2 休宁站 2010 年 10 月双套站各种算法的逐小时气温结果与本站比较

Fig. 2 Comparison of hourly temperatures of Xiuning double automatic stations with this automatic station by different algorithms in October 2010

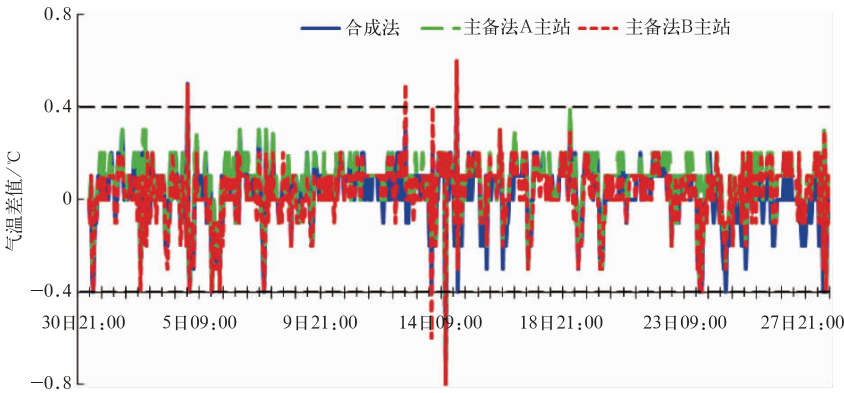


图 3 休宁站 2010 年 10 月双套站各种算法的逐小时气温结果与本站差值

Fig. 3 Difference values of hourly temperatures between Xiuning double automatic stations and this automatic stations in October 2010

3 算法结果及评估

算法评估的主要思路:以休宁本站观测资料为“真值”,考察双套站算法数据的完整性以及与“真值”的差异性,涉及空间一致性判断则利用屯溪、歙县、黟县自动站数据构建参考序列。

休宁站 2010 年 10 月双套站资料出现大量的异常数据情况(主要是数据传输问题),如 B 站在 10 月 12—18 日数据偏离本站较多,10 月 25 日后出现大量缺测等异常现象(仅以气温为例见图 1),而 2010 年 11 月至 2011 年 3 月数据则相对正常(文中所用资料为气象时资料,即 10 月实际为 9 月 30 日 21 时至 10 月 31 日 20 时。故各图形从 30 日 21 时

开始,下同)。

3.1 完整性评估

表 1 给出了双套站、本站以及算法数据的完整性,从表 1 看算法结果和 A、B 站同时缺测的结果一致,两站算法均很好的保证了数据的完整性。且 10 月及 2 算法的缺测率低于本站(因电力故障 9 月 30 日 21 时至 10 月 1 日 08 时缺测 12 次,2 月 24 日 15—17 时仪器调试缺测 3 次),双套站在保证数据完整性,减少数据缺测率的优势有所体现。

3.2 差异性评估

对算法评估的方法包括与本站数据差值的平均值、差值标准差、一致率(邓天宏等,2005)、粗差率(中国气象局气象信息中心,1999)和超差率等(连志鸾,2005;王颖等,2002;余君等,2008)。

特别的是,根据新型自动气象站功能规格书中规定的仪器测量性能要求定义超差率。其公式如下:

$$T_r = \frac{t}{n} \times 100\%$$

其中 T_r 为超差率, n 为有效观测次数,即除缺测以外的观测样本数, t 为超差次数,即差值超过最大允许误差(中国气象局,2010)2 倍的次数。

主备法选择不同站作为主站将对结果产生影响,故分别用以 A 为主站(简记 A 主站)、以 B 为主站(简记 B 主站)和合成法结果同时与本站数据进行比较,图 2 给出了 10 月双套站算法结果与本站数据的比较。总体上看三者均与本站结果接近。算法对图 1 中 10 月 12—18 日的异常数据段得到了纠正,同时 B 站 10 月 25—31 日缺测的数据,算法也进行了补充。

进一步给出了本站与算法结果的差值图(见图 3)。从图上可知,10 月 B 主站与本站差值有 5 个小时值超过了 0.4°C 。以 5 日 09 时为例,A 站为 14.7°C ,B 站为 14.6°C ,A、B 两站差值在 0.4°C 以内,认为两个值均无异常,则 B 主站结果为 14.6°C ,此时休宁本站为 15.1°C ,B 主站与本站相差 0.5°C ,合成法数据为 14.6°C 与本站相差 0.5°C ,均在差值阈值之外(考虑有较多差值为 0.1°C 的现象,采用通常的“四舍五入”则出现全部取 A、B 较大值的情况,故采用“四舍六入,五看奇偶”的方法)。而 A 主站结果为 14.7°C 与本站则相对接近,其他 4 个时次也

有类似情况。本文将 A、B 两站差值在差值阈值内的,而 A 站或 B 站与本站差值在差值阈值之外的情况,归结于与本站仪器与双套站仪器探测性能存在差异有关,而显然算法无法解决该类仪器性能问题。

图 4 给出了 2010 年 11 月至 2011 年 3 月 A、B 两站的差值统计描述,去掉缺测剩余的 3624 个样本两者气温差值极差为 0.6°C ,最大值为 0.3°C ,最小值为 -0.3°C 。根据算法均不需要调用空间一致性判断。故只给出算法结果与本站差值的统计描述见表 2。

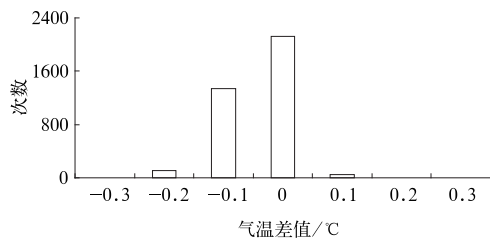


图 4 2010 年 11 月至 2011 年 3 月休宁双套站 A、B 差值统计描述

Fig. 4 Statistical description of the difference values of Xiuning double automatic stations from November 2010 to March 2011

从表 2 的结果看,算法结果与本站均较为接近,其差值均值均在 0.2°C 以内,标准差均在 0.15°C 以内,一致率的最小也达到了 82%,最高的达到了 97.5%;超差率大多在 2% 以下,最大为 3.63%;粗差率大多在 3% 以下,最大为 3.90%。综合以上统计量,B 主站与本站最为接近,合成法次之,A 主站略差。考虑到“主备法”在选择主站时存在“主观性”或者说“随机性”,故认为合成法的结果更优。

3.3 空间一致性效果评估

为评估本文所用的空间一致性检验方法的效果,以本站观测数据为“真值”,判断算法数据的准确性。使用的资料包含了新疆的库车、莫索湾以及安徽的安庆、歙县和休宁 5 站的气温、气压、相对湿度和风速等要素。要说明的是为了检验空间一致性的检验效果这些双套站的数据没有经过质量控制。

表 3 和表 4 分别给出各台站以及各要素利用该方法做出正确判断的比例。总体上,5 个台站 4 个要素共出现了 790 组异常值,占有观测数据组的 1.3%,方法对其中 686 个值做出正确判断,占 86.8%。从两地区的异常值来看,新疆地区异常值较

表 2 休宁 2010 年 10 月至 2011 年 3 月双套站各种算法的逐小时气温结果与本站差值的统计描述

Table 2 Statistical description of hourly temperature by different algorithms from double automatic stations and the difference value of this automatic stations from October 2010 to March 2011

| 月份 | 算法 | 均值/℃ | 标准差/℃ | 一致率/% | 超差率/% | 粗差率/% |
|----|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | A 主站 | 0.07 | 0.121 | 95.50 | 0.14 | 2.59 |
| | B 主站 | 0.03 | 0.131 | 95.09 | 0.68 | 1.91 |
| | 合成法 | 0.05 | 0.127 | 95.36 | 0.41 | 1.64 |
| 11 | A 主站 | 0.10 | 0.103 | 95.83 | 0.42 | 0.83 |
| | B 主站 | 0.01 | 0.107 | 97.50 | 0.14 | 1.39 |
| | 合成法 | 0.06 | 0.109 | 96.39 | 0.14 | 1.25 |
| 12 | A 主站 | 0.13 | 0.121 | 90.46 | 1.34 | 1.48 |
| | B 主站 | 0.04 | 0.136 | 93.41 | 1.21 | 1.21 |
| | 合成法 | 0.09 | 0.132 | 92.07 | 1.34 | 1.61 |
| 1 | A 主站 | 0.17 | 0.134 | 82.80 | 3.49 | 2.42 |
| | B 主站 | 0.17 | 0.134 | 83.47 | 3.63 | 3.90 |
| | 合成法 | 0.17 | 0.134 | 83.20 | 3.63 | 3.90 |
| 2 | A 主站 | 0.17 | 0.124 | 82.89 | 2.53 | 1.34 |
| | B 主站 | 0.15 | 0.125 | 84.97 | 2.08 | 2.53 |
| | 合成法 | 0.16 | 0.125 | 83.48 | 2.53 | 2.68 |
| 3 | A 主站 | 0.14 | 0.109 | 90.05 | 1.34 | 2.55 |
| | B 主站 | 0.12 | 0.108 | 91.94 | 0.67 | 2.02 |
| | 合成法 | 0.13 | 0.109 | 90.73 | 1.08 | 2.28 |

表 3 空间一致性判别效果评估(分台站)

Table 3 Impact assessment of spatial consistency discrimination (according to stations)

| 省(区) | 台站 | 参考站 | 异常值/组数 | 正确判断/组数 | 正确判断比例/% | 时间段 |
|------|-----|-------------|--------|---------|----------|--------|
| 新疆 | 库车 | 拜城、新和、沙雅、轮台 | 75 | 56 | 74.7 | 1—3 月 |
| | 莫索湾 | 无合适台站 | 0 | / | / | 1—3 月 |
| | 合计 | | 75 | 56 | 74.7 | |
| 安徽 | 歙县 | 休宁、屯溪、绩溪 | 191 | 138 | 72.3 | 1—4 月 |
| | 休宁 | 黟县、屯溪、歙县 | 453 | 435 | 96.0 | 10—4 月 |
| | 安庆 | 怀宁、枞阳、东至、青阳 | 71 | 57 | 80.3 | 1—4 月 |
| | 合计 | | 715 | 630 | 88.1 | |

表 4 空间一致性判别效果评估(分要素)

Table 4 Impact assessment of spatial consistency discrimination (according to elements)

| 要素 | 差值超过最大允许 误差 2 倍次数 | 正确判断 次数 | 正确判断 比例/% |
|----|----------------------|------------|--------------|
| 湿度 | 207 | 204 | 98.6 |
| 气压 | 215 | 196 | 91.2 |
| 气温 | 148 | 139 | 93.9 |
| 风速 | 220 | 147 | 66.8 |
| 合计 | 790 | 686 | 86.8 |

少,可能与仪器性能较为稳定有关系(与安徽各站使用的仪器生产商不同),其中莫索湾站距离周边国家站均较远,无合适的台站作为参考站,但由于 4 个要素均没有出现异常值,无法检验空间一致性效果;库车站仅气压出现部分异常值,其检验效果(74.7%)低于表 4 中气压的总体效果(91.2%),可能与周边

台站稀疏,参考站距离较远有一定关系。安徽地区异常值较多,休宁站和歙县站均较多,主要与试运行初期相关软硬件仪器不稳定有关系。

对于各台站而言,方法在休宁站效果最好,对其中 96%组数据做出正确判断,而歙县和库车较差不足 75%。从要素上看,气温的异常值最少,风速最多;而方法对 90%以上相对湿度、气压和气温等要素数据组做出正确判断,但风速判别效果较差,准确率不足 70%。可能与风速容易受台站探测环境或局地地形影响有关,也有可能选择的参考站有一定关系。

綜上述,空间一致性在相对湿度、气压和气温等要素上具有很好的判别能力,而风速可能受局地地形或参考站选取影响效果略差。台站稀疏地区空间一致性的判别效果可能略差。

4 小 结

(1) 两种算法都很好地保证了数据的完整性,算法结果与本站均较为接近,其中“合成法”结果更优。“主备法”的优点是数据均为原始观测值,但在主站选择是存在一定的随机性(亦可通过前期的运行情况的评估进行选择),且当主站数据异常时,可能出现数据不连续的情况。“合成法”结果更接近于“真值”,且考虑了数据的连续性,也许更能反映大气的真实状况。但由于不是原始观测值,使用该类数据可能存在一定的风险。

(2) 在双套站仪器其中一套出现异常时,本文的空间一致性方法可以很好地判断双套站中哪套仪器数据出现异常,尤其对气压、气温和相对湿度的检验效果较好,且有计算简单,参考站选取较为灵活的特点,但存在使用不同周边台站作为参考站以及不同要素对其结果可能会有影响的问题。

(3) 下一步将从时间、空间和要素上扩大样本量,进一步考察算法的可行性,并结合目前业务现状进一步完善算法。

参考文献

- 邓天宏,米鸿涛,王安国,等. 2005. 自动气象站资料评估方法及应用. 河南气象, (3): 44-46.
- 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.
- 何志军,封秀燕,何德利,等. 2010. 气象观测资料的四方位空间一致

- 性检验. 气象, 36(1): 118-122.
- 连志鸾. 2005. 自动站与人工站观测记录的差异分析. 气象, 31(3): 48-52.
- 刘小宁,鞠晓慧,范邵华. 2006. 空间回归检验方法在气象资料质量检验中的应用. 应用气象学报, 17(1): 37-43.
- 潘泉,于听,程咏梅,等. 2003. 信息融合理论的基本方法与进展. 自动化学报, 29(4): 599-615.
- 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,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.
- 王军,苏剑波,席裕庚. 2004. 多传感器融合综述. 数据采集与处理, 19(1): 72-77.
- 王颖,刘小宁. 2002. 自动站与人工观测气温的对比分析. 应用气象学报, 13(6): 741-748.
- 余君,牟容. 2008. 自动站与人工站相对湿度观测结果的差异及原因分析. 气象, 34(12): 96-102.
- 中国气象局气象信息中心. 1999. 对比观测期间监测资料评估技术方法.
- 中国气象局. 2010. 第二代新型自动气象站功能规格书.
- 周锐,申功勋,房建成,等. 1998. 基于信息融合的目标图像跟踪. 电子学报, 26(12): 89-91.
- Hall D L, Linas L J. 1997. An introduction to multi-sensor data fusion. In Proceeding of the IEEE, 85(1): 6-23.
- Kamberova G M, Elbaum R. 1996. Statistical decision theory for mobile robotics: theory and application. Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Multi-sensor Fusion and Integration for Intelligent Systems.
- Mutambara A G O. 1998. Decent grade imitation and control for multisensory system. CRC Press.
- U. S. National Climate Data Center. Official USCRN Temperature Algorithm. <http://www.ncdc.noaa.gov/crn/officialtemp.html>.