

何冬燕,田红,邓伟涛. 2012. 多种方法在年平均风速均一性检验中的效果对比[J]. 大气科学学报, 35(3):342-349.

He Dong-yan, Tian Hong, Deng Wei-tao. 2012. Comparative analysis of the effects of different methods in homogeneity test on annual mean wind speed [J]. Trans Atmos Sci, 35(3):342-349.

多种方法在年平均风速均一性检验中的效果对比

何冬燕¹, 田红¹, 邓伟涛²

(1. 安徽省气候中心, 安徽 合肥 230031; 2. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要:针对安徽省天长和宿松气象站建站至 2010 年逐年平均风速资料, 分别利用直接检验方法和 3 种间接检验方法: 标准正态均一检验(the standard normal homogeneity test, SNHT)、惩罚最大 t 检验(the penalized maximal t test, PMTT) 和惩罚最大 F 检验(the penalized maximal F test, PMFT), 对这两个气象站逐年平均风速序列进行了均一性检验, 并对不同检验方法的效果进行了对比分析。研究表明: 1) 站址迁移、观测场环境变化、仪器变更以及测风手段变化等均能对年平均风速序列的均一性产生影响, 其中测风手段变化的影响最为明显。2) 由于以气象台站观测记录为依据, 直接检验得到的结果最为真实可信; 此外 SNHT、PMTT 和 PMFT 方法对年平均风速序列的间断点均有一定的检验能力, 但遗漏间断点的情况也比较明显。因而在年平均风速序列的均一性检验中, 若气象台站观测记录相对较齐全, 首先考虑采用直接检验, 然后再考虑补充采用其他间接检验手段。

关键词: 风速; 均一性; 直接检验方法; 间接检验方法

中图分类号: P413.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2012)03-0342-08

Comparative analysis of the effects of different methods in homogeneity test on annual mean wind speed

HE Dong-yan¹, TIAN Hong¹, DENG Wei-tao²

(1. Anhui Climate Center, Hefei 230031, China; 2. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: By using the direct homogeneity test (based on the observation data and the t test) and 3 indirect homogeneity methods (including SNHT, PMTT and PMFT), time series of annual mean wind speed at 2 meteorological stations, Tianchang and Susong, from 1957 to 2010, have been tested respectively. The results show that station relocation, observational environment change, instruments updating and measurements variation can all influence the homogeneity of the mean wind speed, and the impact of measurements updating is the most prominent factor. Because based on observation data from meteorological stations, the results of direct test is more reliable. However, SNHT, PMTT and PMFT are effective in identifying the change-points, but the missing ratio is also of a high degree. Thus, to test mean wind speed homogeneity, if the observation data from meteorological stations are correct and intact, the direct test should be used firstly and then other methods can be used additionally.

Key words: wind speed; homogeneity; direct test; indirect test

0 引言

受站址迁移、仪器变动、观测手段变化等因素的干扰,气候观测资料极易产生不连续的现象,这往往对气候变化尤其是区域或局地气候变化检测结果带来明显的歪曲。然而由于资料质量和其他相关信息可信度等原因,判断具体气候数据是否均一存在着很大难度。国外许多气候学家在这方面做了大量的工作,取得了很多重要的进展,发展出两种常用的检验体系:1)直接检验,即依据台站历史元数据文件(Raino,1997;李庆祥等,2003)、仪器平行比较观测数据等进行均一性检验的方法(Førland et al.,1996;Nicholls et al.,1996);2)间接检验,主要是采取数学统计方法寻找是否存在不连续点的检验方法,如Craddock检验(Craddock,1979)、Potter方法(Potter,1981)、二位相回归(Solow,1987)、等级顺序变点检验(Lanzante,1996)、SNHT方法(Alexandersson and Moberg,1997)、多元线性回归(Vincent,1998)等。

作为主要的气候要素之一,风不仅可以反映大气环流的特征,也是我国重点开发利用的气候资源。考察风速的长期变化特征,首先必须对所利用的风速气候序列进行均一性检验和订正。国内,刘小宁(2000)和曹丽娟等(2010)分别引入标准正态均一检验(the standard normalhomogeneity test,SNHT)和惩罚最大 F 检验(the penalized maximal F test,PMFT)方法(Wang,2008)对我国主要气象台站年平均风速气候资料进行了均一性检验并分析了造成非均一性的主要原因。吴利红等(2008)也对浙江省多年平均风速进行了均一性检验,取得了一定成果。但上述对风速资料的均一性检验还属于探讨阶段不够成熟,此外哪种方法在检验中更具优势也需要进一步研究。

本文以安徽省风能资源详查和评估项目中天长和宿松详查点所在县的气象站为例,分别利用直接检验方法(基于台站历史沿革结合 t 检验方法(魏凤英,2007))和3种间接检验方法:SNHT(the standard normalhomogeneity test,标准正态均一检验)、PMTT(the penalized maximal t test,惩罚最大 T 检验)(Wang,2007)和PMFT(the penalized maximal F test,惩罚最大 F 检验),对这两个气象站逐年平均风速序列进行均一性检验,寻找对其影响显著的因子,并通过比较不同方法的检验效果,对比分析各种方法在风速均一性检验中的适用性。

1 资料和方法

1.1 资料

所研究的天长和宿松两个气象站均于1957年建站,因而天长和宿松及相应参证站平均风速研究时段均为1957—2010年。

1.2 方法

1.2.1 直接检验方法

依据台站历史沿革文件中给出的站址、仪器、观测手段、观测场周围环境等变化的信息,将样本分成若干时段。构建检验统计量 t :

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

其中: $\bar{x}_1$ 、 s_1 和 n_1 分别为变化前序列的平均值、标准差和样本数; $\bar{x}_2$ 、 s_2 和 n_2 为变化后序列的平均值、标准差和样本数。当 t 大于某信度为 $\alpha=0.05$,自由度为 $n_1 + n_2 - 2$ 的临界值 t_{95} ,则该序列在该水平上非均一。

1.2.2 间接检验方法

1) SNHT方法

SNHT方法是目前应用最广泛的气候资料均一性检验方法之一,其具体步骤如下所示。

a) 构造待检序列

挑选若干参照站,利用比值法建立序列 Q_i :

$$Q_i = \frac{Y_i \cdot \sum_{j=1}^5 \rho_j^2}{\left(\sum_{j=1}^5 \rho_j^2 X_{ji} \bar{Y} / \bar{X}_j \right)} \quad (2)$$

其中: Y_i 代表被检验气象站第 i 年的平均风速; $\bar{Y}$ 为其多年平均值; X_{ji} 代表第 j 个参照站第 i 年的平均风速; $\bar{X}_j$ 代表第 j 个参照站的多年平均风速; ρ_j 是被检验气象站和第 j 个参照站历年平均风速的相关系数。对序列 $\{Q_i\}$ 进行标准化,得到 $\{Z_i\}$ 。由于待检序列必须服从正态分布,若 $\{Z_i\}$ 不服从正态分布,还需进行正态转换。本文采用的是立方根转换法。

b) 构建检验统计量进行均一性检验

对于序列 $\{Z_i\}$,如果有一间断点且出现在序列 k 处($1 \leq k \leq n$),则可构造检验统计量

$$T_k = [k\mu_1^2 + (n - k)\mu_2^2] \quad (3)$$

其中: μ_1 和 μ_2 分别为间断点 k 前后两个序列的平均值,且 $\mu_1 \neq \mu_2$, n 为样本数。 $T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} \{T_k\}$ 为该序列的最大值。当 T_0 大于信度 $\alpha=0.05$,自由度为 $n-1$ 的临界值 T_{95} (Alexandersson and Moberg,1997;刘小宁,2000),则序列 $\{Z_i\}$ 存在断点 k 。

2) PMTT 方法

PMTT 方法也是针对正态化的待检序列进行的(构建过程如 SNHT 方法所示),其利用序列中不同节点前后时段平均量偏移程度来寻找间断点。由于考虑了不同节点的相对位置,运用该方法可消除由

$$P_t = \max_{1 \leq k \leq n-1} \left[P(k) \frac{n-2}{\left(\sum_{1 \leq t \leq k} (z_t - \mu_1)^2 + \sum_{k+1 \leq t \leq n} (z_t - \mu_2)^2 \right)} \left(\frac{k(n-k)}{n} \right)^{1/2} |\mu_1 - \mu_2| \right]. \quad (4)$$

其中: $P(k)$ 是建立的经验性的惩罚因子,其建立方法参见 Wang (2007)。 μ_1 和 μ_2 分别为间断点 k 前后两个序列的平均值且 $\mu_1 \neq \mu_2$, n 为样本数。当 P_t 大于信度 $\alpha = 0.05$, 自由度为 $n - 1$ 的临界值 P_t (Wang,2007), 则序列 $\{Z_i\}$ 存在断点 k 。

3) PMFT 方法

PMFT 方法是在对二位相回归检验方法进行系

$$P_F = \max_{1 \leq k \leq n-1} \left[P(k) (n-3) \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \hat{\mu}_0 + \hat{\beta}_0 t)^2 - \sum_{t=1}^k (X_t - \hat{\mu}_1 + \hat{\beta}_1 t)^2 - \sum_{t=k+1}^n (X_t - \hat{\mu}_2 + \hat{\beta}_2 t)^2}{\sum_{t=1}^k (X_t - \hat{\mu}_1 + \hat{\beta}_1 t)^2 + \sum_{t=k+1}^n (X_t - \hat{\mu}_2 + \hat{\beta}_2 t)^2} \right]. \quad (5)$$

其中: $P(k)$ 是建立的经验性的惩罚因子,其建立方法参见 Wang (2008)。 μ_1 和 μ_2 分别为间断点 k 前后两个序列的回归常数,且 $\mu_1 \neq \mu_2$, $\hat{\mu}_0$ 和 $\hat{\beta}_0$ 是在 $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ 时的估计值。当 P_F 大于信度 $\alpha = 0.05$, 自由度为 $n - 1$ 的临界值 P_F (Wang,2008), 则序列 $\{X_t\}$ 存在断点 k 。

2 结果分析

2.1 直接检验方法

从气象站观测记录报表所记载情况上看,对年平均风速序列的均一性可能发生影响的主要因素有:站址迁移、城市化进程等使得观测场周围环境发生变化、更换风速观测仪器、观测方式改变(主要是观测次数的改变)等。表 1 给出了天长和宿松气象站具体的测风沿革情况。天长气象站建站以来迁站 1 次,发生在 1979 年;1981、1996、1999、2005、2007 年测场周围由于建造楼房或树木生长导致观测场周围环境发生一定的变化;经历了 2 次仪器换型,分别发生在 1973 和 2005 年;风速观测次数在 1991 年 7 月由每天 4 次增加至每天 24 次。宿松气象站建站以来迁站 1 次,发生在 1965 年;1980、1983、1992 年有观测场周围环境变化的记录;经历了 3 次仪器换型,分别发生在 1973、2000 和 2005 年;风速观测次数在 1989 年 1 月由每天 4 次增加至每天 24 次。总的来看,两站观测场环境变化和仪器换型发生均相

于样本长度不同对检验结果造成的影响;此外该方法还引入经验性的惩罚函数,使得其对序列中部间断点的判断能力增强。

对于序列 $\{Z_i\}$,如果有一间断点且出现在序列 k 处 ($1 \leq k \leq n$), 则最可能的间断点服从以下分布:

列改进后提出的,其经验性地考虑了时间序列的一阶滞后自相关,并嵌入回归检验算法,通过应用经验性的惩罚函数,能用于检验包含一阶自回归误差的数据序列的多个间断点。

对于存在线性趋势 β 的时间序列 $\{X_t\}$,如果有一间断点且出现在序列 k 处 ($1 \leq k \leq n$), 则最可能的间断点服从以下分布:

对较多,而迁站和观测方式的改变则很少发生。
表 1 2 个气象站建站以来至 2010 年期间站址、观测场周围环境、仪器、观测手段的变化情况

Table 1 The address, observational environment, instruments and measurements variations at the two stations since the time when they were found to 2010

气象站	迁站	测场周围环境变化	仪器换型	增加观测次数
天长	1979 年	1981、1996、1999、2005、2007 年	1973、2005 年	1991 年
宿松	1965 年	1980、1983、1992 年	1973、2000、2005 年	1989 年

依据表 1 给出的时间点,将天长和宿松历年平均风速序列划分为若干时段,对不同时段风速序列进行 t 检验以考察它们的均一性,表 2 给出了具体的 t 检验结果。从表 2 看,各站历年平均风速序列均有不均一的情况,存在间断点。相应于表 1 所记录的天长气象站 9 次沿革变化,有 5 次导致了天长气象站年平均风速出现间断,间断分别出现在 1972—1973 年、1978—1979 年、1981—1982 年、1991—1992 年、1996—1997 年;其中 1972—1973 年的间断是由于仪器换型造成的,1978—1979 年的间断是由于站址迁移造成的,1991—1992 年的间断是由于增加观测次数造成的,其他两次间断的出现则归因为观测场周围的环境变化。相应于表 1 所记录

的 8 次沿革变化,宿松气象站逐年平均风速发生了 3 次间断,其中 1972—1973 年的间断是由于仪器换型造成的,1988—1989 年的间断是由于风速观测次数增加造成的,而 1992—1993 年风速的间断则是由于观测场周围环境发生变化所造成的。可见气象站迁站、观测场周围环境变化、风速仪器换型及风速观测次数增加都可能使得平均风速序列的均一性发生变化。

表 2 t 检验结果

气象站	间断点出现时间
天长	1972—1973 ³⁾ 、1978—1979 ¹⁾ 、1981—1982 ²⁾ 、 1991—1992 ⁴⁾ 、1996—1997 ²⁾ 年
宿松	1972—1973 ³⁾ 、1988—1989 ⁴⁾ 、1992—1993 ²⁾ 年

注:1)由于迁站产生的间断点;2)由于观测场周围环境变迁产生的间断点;3)由于风速测量仪器换型产生的间断点;4)由于风速观测方式改变产生的间断点。

对比表 1 和表 2 还发现,两个气象站共发生迁站 2 次,由此造成的间断点 1 个,占总迁站数的 50%;观测场周围环境共发生变迁 8 次,由此造成的间断点 3 个,占总环境变化数的 37.5%;风速测量仪器共换型 5 次,由此造成的间断点 2 个,占总仪器换型数的 40%,风速观测次数增加共出现 2 次,均使得风速序列发生间断,达到了 100%。观测场周围环境变迁造成的间断点绝对数目较多,但相对气象站周边环境变化次数发生频率不高,可能是由于环境因素的改变被台站迁移或仪器变化掩盖造成的(曹丽娟等,2010);此外,新增建筑或树木高度较低,在风速观测仪器架设高度上风阻挡作用较小,或高大阻挡物不在风向分布的主要扇区内,对风速的影响也较小。而风速观测发生变化次数不多,但观测次数变化对平均风速的计算精度有着较明显的影响,相应年份两个气象站平均风速序列均出现间

断,可见风速观测次数发生变化对平均风速序列均一性的影响较大。

2.2 间接检验方法

2.2.1 SNHT 方法

为天长和宿松各挑选 5 个参照站,建立 SNHT 待检序列。挑选参照站的条件为:1)与被检验气象站直线距离小于 200 km;2)年平均风速样本长度大于或等于被检验气象站,且基本无缺测;3)从被检验站建站至 2010 年时段内,与被检验站历年平均风速相关系数通过信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,且排名前 5 位。选取的具体参照站见表 3。从表 3 看,各气象站的参照站与其直线距离均在 200 km 以内,并且海拔高度差也较小;从各气象站建站以来至 2010 年与相应参照站同时段逐年平均风速序列的相关性上看,相关系数基本在 0.5 以上,经检验均通过信度 $\alpha = 0.05$ 的 t 检验,相关性较好。

表 3 所选取的参照站

气象站	参照站	相关系数	直线距离/ km	海拔高差 (参照站 - 被检验站)/m
天长	当涂	0.742	135.7	1.9
	淮南	0.728	187.3	11.3
	明光	0.698	97.3	13.6
	滁州	0.597	79.6	6.2
	宣城	0.593	196.2	9.9
宿松	望江	0.736	54.6	-28.6
	潜山	0.641	67.5	-19.6
	舒城	0.600	164.3	-32.7
	东至	0.585	85.3	-37.1
	六安	0.470	177.7	19.4

图 1 给出了依据天长(宿松)气象站和其分别对应的参照站逐年平均风速计算得到的待检序列。

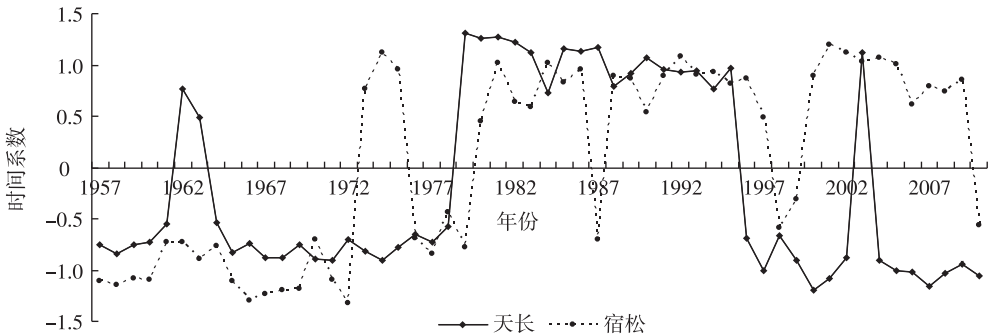


图 1 待检序列(实线代表天长气象站;虚线代表宿松气象站)

Fig. 1 Candidate series (solid line denotes Tianchang station;dashed line denotes Susong station)

各待检序列均存在一定的年际和周期变化,天长气象站平均风速待检序列在 1962、1979、1996 和 2003 年前后变化幅度较大,而宿松气象站平均风速待检序列变化较大的年份则主要出现在 1973、1976、1980、1986、1998、2000 和 2010 年前后。将天长和宿松年平均风速待检序列分别进行 SNHT 检验,具体结果如表 4 所示。天长气象站年平均风速序列在 1978—1979 年、1983 年、1995 年出现间断;宿松气象站年平均风速序列在 1972 年出现间断。

表 4 SNHT 检验结果
Table 4 Results of SNHT

气象站	间断点出现时间
天长	1978—1979 ¹⁾ 、1983 ²⁾ 、1995 ²⁾ 年
宿松	1972 ³⁾ 年

注:1)由于迁站产生的间断点;2)由于观测场周围环境变迁产生的间断点;3)由于风速测量仪器换型产生的间断点。

结合直接检验结果,进一步利用 t 检验方法考察 SNHT 检验出的各间断点前后风速序列是否具有显著的差异,以考察间断点的可靠程度。由于 SNHT 方法检验到的间断点较实际偏少,在进行进一步 t 检验时,划分的时段较直接检验有所不同,使得部分实际存在的间断点被错误判别为虚假间断点,也使得部分不存在的间断点被误判为实际存在。因此规定:1)若某个间断点虽然经进一步 t 检验判别为误判,但在直接检验中已被判断为实际存在的间断点或出现时间与实际存在的间断点相差只有 1 a(表 2),仍认为该点判断正确;2)若某个间断点经进一步 t 检验为误判,并且气象站观测记录报表

表 5 各参照站建站以来至 2010 年期间站址、观测场周围环境、仪器、观测手段的变化情况

Table 5 The address, observational environment, instruments and measurements variations of the reference stations since the time when they were found to 2010

气象站	参照站	迁站	测场周围环境变化	仪器换型	增加观测次数
天长	当涂	1964、2007 年	2004、2007 年	1969、2000、2002、2003、2006 年	2000 年
	淮南	1964、1984 年	1984、1993、1996、2000 年	1969 年	1991 年
	明光	1960 年	1986、1989、2007 年	1972 年	1991 年
	滁州	无	1976、1983 年	1967、1993、2001 年	1987 年
	宣城	1959 年	1984 年	1969、2005 年	1991 年
宿松	望江	1958 年	1983、2003、2005 年	1980、2000、2004 年	1991 年
	潜山	1958 年	1974、1983、1985、1994、1995、1997、2000、2001 年	1972、2004、2007 年	1989 年
	舒城	无	1974、1975、1983、1990、1998、2003、2005 年	1973 年	1991 年
	东至	1959、1981 年	1979、1983、1986、1992、2007 年	1980、2006 年	1989 年
	六安	1962、2007 年	1983、2006、2007 年	1974、1993、2001 年	1987 年

无记载则认为该点为误判;3)若检验出来的间断点在气象站观测记录报表中无记载,则依据直接检验结果,将其所处时段分为两段重新进行 t 检验,若前后两个阶段存在显著性差异,则该断点认为可靠;反之,则认为虚假断点;4)后面其他方法检验出的间断点可靠性的进一步检验与此相同。

经检验,SNHT 方法得到的间断点均为实际存在,并且在表 1 中均有记录与之相对应。天长气象站 1978 和 1979 年 2 个风速间断点的出现均归因于该站的迁站,1983 和 1995 年 2 个间断点则为该站观测场周围环境变化造成的;宿松气象站 1972 年这一风速间断点则是由于该气象站仪器换型引起的。

从检验结果看,SNHT 方法对气象站站址迁移、观测环境变迁所造成的间断点的较为敏感,尤其对站址迁移所造成的风速间断点检验效果最好。但 SNHT 方法对风速观测仪器换型和风速观测方式改变所造成的间断点判断能力较差,观测次数增加所造成的间断点都没有检验出来;经查(表 5),在天长和宿松仪器换型(或观测次数发生变化)的年份或临近几年,均有参照站发生仪器变更(或观测次数发生改变),这可能是天长和宿松仪器换型及观测次数发生变化在待检序列中没有突出的不均一表现的主要原因,这也是利用参照资料进行均一性检验的弱点和需要注意的方面之一(曹丽娟等,2010)。

2.2.2 PMTT 方法

天长和宿松气象站逐年平均风速待检序列的 PMTT 检验结果见表 6。该检验结果与 SNHT 检验结果一致,各气象站历年平均风速发生间断分别出

现在:天长气象站,1978—1979 年、1983 年、1995 年;宿松气象站,1972 年。该方法同样对气象站站址迁移、观测环境变迁所造成的年平均风速的间断点较为敏感,但对风速测量仪器换型及风速观测方式改变(观测次数增加)所造成的间断点判断能力较差。可见,在依据参照站构建年平均风速待检序列时,无论运用哪种方法对该待检序列进行均一性检验,均需要注意气象站与参证气象站仪器换型和观测方式改变发生在同一年或临近几年时可能对间断点的掩盖。

表 6 PMTT 检验结果

Table 6 Results of PMTT

气象站	间断点出现时间
天长	1978—1979 ¹⁾ 、1983 ²⁾ 、1995 ²⁾ 年
宿松	1972 ³⁾ 年

注:1)由于迁站产生的间断点;2)由于观测场周围环境变迁产生的间断点;3)由于风速测量仪器换型产生的间断点。

2.2.3 PMFT 方法

表 7 给出了 PMFT 方法的具体检验结果。天长气象站历年平均风速的间断点出现在 1959、1978、1995 年;其中 1978 年的间断点是由于迁站引起的,1995 年的间断点是由于观测场周围环境变化引起的,而 1959 年这一间断点在天长气象站观测记录报表上则没有记载。宿松气象站没有检验出间断点。经进一步考察,上述间断点也为真实间断点。

表 7 PMFT 检验结果

Table 7 Results of PMFT

气象站	间断点出现时间
天长	1959 ¹⁾ 、1978 ²⁾ 、1995 ³⁾ 年
宿松	无

注:1)报表上没有记录的的间断点;2)由于迁站产生的间断点;3)由于观测场周围环境变迁产生的间断点。

从 PMFT 检验结果看,其对平均风速间断点的敏感性较差,天长气象站检验出的间断点较实际少,宿松气象站更没有检验出间断点。已有研究表明:和断点不连续相比,趋势不均一由于可以叠加在气候变化之上,更加难以检测(李庆祥等,2003);PM-FT 方法对年平均风速间断点的判别能力相对较低,可能与近几十年来我国年平均风速存在明显减小的气候变化趋势(江滢等,2007)有关。图 2 给出了天长和宿松气象站原始年平均序列及依据间断点划分时段得到的线性回归趋势,从该图上看,天长和宿松气象站年平均风速均呈现出明显的减小趋势,其中天长气象站在间断点前后年份平均风速趋势变化明显,而宿松气象站自建站以来风速变化趋势则较一致。此外,由于 PMFT 检验要求序列长度在 15 个样本以上,短时间内频繁出现的趋势不均一情况也无法判断。

不过通过运用 PMFT 方法,天长气象站还检验出了 1959 年这一在气象报表上没有记录的间断点;由于气象报表描述未必齐全,而且除人为因素外,气

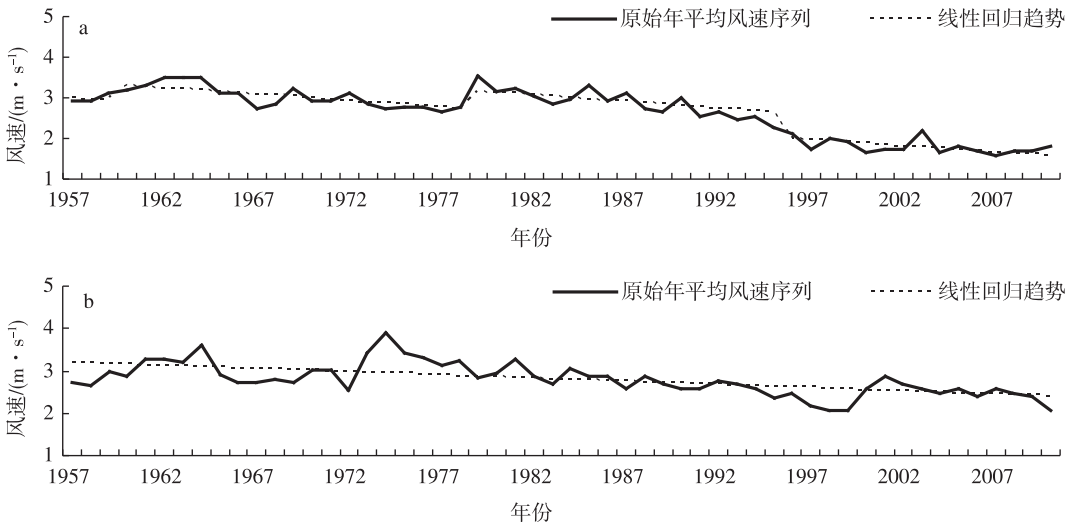


图 2 天长(a)和宿松(b)年平均风速序列(实线代表原始序列;虚线代表根据不同间断点划分阶段的线性回归序列)

Fig. 2 Annual mean wind speed series at (a) Tianchang and (b) Susong stations(Solid line denotes original series and dashed line denotes linear regression tendency)

候背景发生突变也可能使得风速产生突变,因此在气象报表记录不完整时,可将间接检验方法结果作为直接检验结果的补充。

2.3 检验结果的对比

以直接检验结果为依据,对比各种间接方法的均一性检验结果(表 8),SNHT 和 PMTT 方法均引入参照站,主要对待检序列前后阶段的均值进行检验,检验结果相同,其中 4 个间断点与直接检验方法一致,4 个间断点没有检验出来;PMFT 方法 2 个间断点与直接检验方法一致,并检验出 1 个直接检验方法没有检验出来的间断点,没有检验出来的间断点 6 个。将直接检验未检验出的真实间断点也一并计入总间断点数,则直接检验方法正确率为 88.9%,遗漏率为 11.1%;SNHT 和 PMTT 方法正确率为 44.4%,遗漏率为 55.6%;PMFT 方法正确率为 33.3%,遗漏率为 66.7%。

总的来看,与直接检验方法相比,SNHT、PMTT 和 PMFT 方法在年平均风速的均一性检验中对实际间断点遗漏的情况较多,其中 PMFT 方法遗漏率稍高,但 PMFT 方法判别出一些报表中未有记载的间断点,可以作为对直接检验方法的一个补充。

表 8 各种检验结果对比

Table 8 Contrast of different results		个			
方法	气象站	正确		遗漏	错误
		与直接检验 结果一致	与直接检验 结果不一致		
SNHT	天长	3	0	2	0
	宿松	1	0	2	0
PMTT	天长	3	0	2	0
	宿松	1	0	2	0
PMFT	天长	2	1	3	0
	宿松	0	0	3	0

3 结论与讨论

根据各气象站观测记录报表所记载的情况结合 t 检验方法(直接检验方法),对天长和宿松建站至 2010 年逐年年平均风速序列进行均一性检验显示,气象站站址迁移、观测场周围环境变迁、风速测量仪器换型以及风速观测方式改变均会对年平均风速的均一性产生一定的影响;其中风速观测方式改变对风速序列均一性的影响最大。

进一步利用几种间接检验方法发现,SNHT、

PMTT、PMFT 等方法对年平均风速序列的间断点均有一定的检验能力,与直接检验方法相比,均存在漏判的情况。SNHT 和 PMTT 在检验过程中均引入了参照序列,得到的结论是一致的,这两种方法的漏判率较 PMFT 稍低;但当气象站与参照气象站仪器换型和观测方式改变发生在同一年或临近几年时,这两种方法对间断点的检验能力明显降低。相比 SNHT 和 PMTT 方法,PMFT 方法虽然对间断点的漏判稍多,但对观测记录报表中未记录的间断点有一定的判断能力,也具有一定优势。

比较各种检验结果可得:进行年平均风速序列的均一性检验,在气象站观测记录报表记录比较真实全面的情况下,首先应该利用直接检验的方法;当气象站观测记录报表不全时,可考虑采用 SNHT、PMTT、PMFT 等间接诊断的方法,但需对这些方法得到的间断点进行进一步检验。由于本文所用个例和间接均一性检验的方法均较少,目前哪一种方法在平均风速序列的均一性检验中更具优势尚不知,值得进一步探讨。

相比而言,SNHT 和 PMTT 方法对待检序列要求较高,所引入的参照站也要满足一定条件;而 PMFT 方法可直接对原始序列进行检验,实用性更强;对原始序列进行预处理,使得 PMTT 方法对平均风速序列间断点的敏感性增加,具有较高的研究意义。Zurbenko et al. (1996) 将一个滤波器应用于单个台站资料,其可以平滑掉时间序列的噪声而保留作为明显断点的不连续性。参考该方法,将天长和宿松气象站历年平均风速进行 9 点滑动滤波,然后再进行 PMFT 检验。从结果看,PMTT 方法对滑动滤波后序列的敏感性增强,检验出的间断点增多,可见通过滤波方法平滑掉时间噪声确实可以使得序列中间断点的显著性增强。但此方法得到的多数间断点在观测记录报表中无记载,并且误判率较高;因而如何对原始序列进行人为干预,使得 PMTT 方法对序列间断点敏感性增加的同时正确率也得到提高,需要进一步研究。

参考文献:

曹丽娟,鞠晓慧,刘小宁. 2010. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. 气象,36(1):52-56.

江湛,罗勇,赵宗慈,等. 2007. 近 50 年中国风速变化及原因分析 [C]//中国气象学会. 中国气象学会 2007 年年会气候变化分会场论文集. 北京:中国气象学会:80-89.

李庆祥,刘小宁,张洪政,等. 2003. 定点观测气候序列的均一性研究 [J]. 气象科技,31(1):3-22.

- 刘小宁. 2000. 我国 40 年年平均风速的均一性检验[J]. 应用气象学报, 11(2): 27-34.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社.
- 吴利红, 骆月珍, 孙莉莉. 2008. 浙江省近 34 年年平均风速序列均一性检验研究[J]. 气象科技, 36(5): 661-665.
- Alexandersson H, Moberg A. 1997. Homogenization of Swedish temperature data, Part I: A homogeneity test for linear trends [J]. Int J Climatol, 17(1): 25-34.
- Craddock J M. 1979. Methods of comparing annual rainfall records for climatic purpose [J]. Weather, 34: 332-346.
- Førland E J, Allerup P, Dahlstrom B, et al. 1996. Manual for operational correction of nordic precipitation data [M]. Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
- Lanzante J R. 1996. Resistant, robust and nonparametric techniques for the analysis of climate data. Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data [J]. Int J Climatol, 16(11): 1197-1226.
- Nicholls N, Tapp R, Buroows K, et al. 1996. Historical thermometer exposures in Australia [J]. Int J Climatol, 16(6): 705-710.
- Potter K W. 1981. Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series [J]. Mon Wea Rev, 109(9): 2040-2045.
- Raino H. 1997. Metadata and their role in homogenization [C]//Proceedings of the first seminar for homogenization of surface climatological data. Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat: 5-8.
- Solow A. 1987. Testing for climatic change: An application of the two-phase regression model [J]. J Climate Appl Meteor, 26(10): 1401-1405.
- Vincent L. 1998. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series [J]. J Climate, 11(5): 1094-1104.
- Wang X L. 2007. Penalized maximal T test for detecting undocumented mean change in climate data series [J]. J Appl Meteor Climatol, 46(7): 916-937.
- Wang X L. 2008. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change [J]. J Atmo Oceanic Tech, 25(3): 368-384.
- Zurbenko I, Porter P S, Rao S T, et al. 1996. Detecting discontinuities in time series of upper airdata: Development and demonstration of an adaptive filter technique [J]. J Climate, 9(12): 3548-3560.

(责任编辑: 张福颖)