

魏娜,孙娴,姜创业,等. 台站迁移对陕西省气温资料均一性的影响及其偏差订正[J]. 气象,2012,38(12):1532-1537.

# 台站迁移对陕西省气温资料均一性的影响及其偏差订正<sup>\*</sup>

魏 娜 孙 娴 姜创业 程肖侠

陕西省气候中心, 西安 710015

**提 要:** 利用陕西省 74 个台站 1961—2008 年气温资料和台站沿革资料,采用二相回归法进行均一性检测和订正。结果发现台站迁移对气温资料的均一性有明显的影 响,陕北台站迁移较少,关中和陕南迁站较多,全省 74 个台站中有 24 个台站资料的 非均一性是因为台站迁移而引起的,对其中的 12 个台站进行了调整,使得全省气温序列从南至北分布具有较好的‘均一性’。

**关键词:** 台站迁移, 气温序列, 断点, 均一性

## Station Relocation Influence on Homogeneity of Temperature Series over Shaanxi Province and Deviation Correction

WEI Na SUN Xian JIANG Chuangye CHENG Xiaoxia

Climate Centre of Shaanxi Province, Xi'an 710015

**Abstract:** By the method of two-phase regression (TPR), using temperature dataset and the information of the meteorological station's historical evolution from 1961 to 2008, the temperature series of 74 stations in Shaanxi Province were detected and adjusted. The results have shown that: station relocation has influence on the homogeneity of temperature series in Shaanxi Province; there are few station relocations in the northern Shaanxi and more in central and southern Shaanxi; the temperature series at 24 stations are apparently inhomogeneous because of station relocation, and among them the temperature series at 12 stations are adjusted. This work makes the temperature series as homogeneous as possible over Shaanxi Province.

**Key words:** station relocation, temperature series, discontinuity, homogeneity

### 引 言

随着全球气候增暖和气象灾害的频繁发生,气候变化研究成为各国政府和科研机构关注的热点,而均一的长序列气候资料是其研究的重要基础。所谓均一的气候资料是指测站的气象记录序列仅仅包含天气和气候变化的信息<sup>[1]</sup>,然而仪器更换、站址迁移、统计方法不同和观测站外围环境变化等因素破坏了气候资料的均一性,影响了气候变化研究的质

量,所以建立相对均一的气候资料是非常重要的一项工作。国外很多气候学家对资料非均一性的检测和订正做了大量工作,采用各自适合的方法建立了气候数据集<sup>[2-5]</sup>。美国的 USHCN (US Historical Climate Network) 在对原始数据质量控制的基础上,对温度观测时次不同和观测仪器更换的影响作了调整,后来根据台站历史迁移情况,利用统计方法对温度和降水的参考序列进行订正;GHCN (Global Historical Climate Network) 采用 E-P 方法对全球气温、降水和气压进行了均一性检验和订正;加拿大

<sup>\*</sup> 中国气候变化专项(CCSF-09-6)资助  
2011 年 9 月 23 日收稿; 2012 年 6 月 4 日收修定稿  
第一作者:魏娜,主要从事气候预测和气候变化相关研究工作,Email:77230366@qq.com

利用多元线性回归方法检验了年最高和年最低气温,并做了相应的订正。近年来,国内也有不少研究人员开始注重气候资料均一性的研究,如李庆祥等<sup>[6]</sup>采用二相回归模式对中国东南部地区平均最高和平均最低气温进行了均一性检验;翟盘茂<sup>[7]</sup>采用 E-P 方法对我国探空和湿度资料进行均一性订正研究;刘小宁<sup>[8]</sup>采用 SNHT 方法对我国部分站点的年平均风速进行了检验;Li 等<sup>[9-10]</sup>利用 MASH 方法对我国 549 个基准和基本站 1960—2008 年逐日平均、最高和最低温度序列进行均一性检验和订正;曹丽娟等<sup>[11]</sup>利用 PMFT 方法结合台站元数据信息对我国 701 个气象观测台站年平均风速资料进行均一性检验,也有部分省份做了各自区域气候资料的检测和订正<sup>[12-13]</sup>。

但是目前针对西部省份气候资料的均一性研究较少;在对气候资料的非均一性检测和订正中,对气候资料序列更多关注于数学意义上的分析,而对于造成非均一性的物理意义探讨较少。吴增祥<sup>[14]</sup>研究表明:我国 70% 的地面基本站因为周围台站环境改变,直接影响观测记录的代表性而有过 1 次以上的迁站记录,其中台站迁移对观测记录的影响性最大,尤其是对气温、雨量和风速有显著影响。本文采用二相回归法,结合详细的台站沿革资料,对陕西省台站迁移造成资料非均一性进行了分析和订正研究,以期客观地研究陕西气候变化奠定基础。

1 资料及方法

1.1 资料来源及资料空间一致性检验

本文采用陕西省气象信息中心气象资料室收集的陕西省 74 个气象站 1961—2008 年逐月气温资料及相应的台站沿革历史资料。对日气温资料进行了初步的质量控制,对缺测的数据采用逐步回归法进行插补。

陕西省是一个南北向的狭长地带,地形地貌复杂,纵跨温带、暖温带和北亚热带三个气候带,气候背景差异较大,气温资料在空间的分布上可能有一定的差异性,而在气温资料的均一性检测中,要求气温的空间分布尽可能具有较好的一致性。图 1 采用全省 74 个台站之间气温距平相关性与距离的关系,用非线性最小二乘法进行了拟合,从图中看出台站气温距平相关系数随台站之间的距离变大而呈变小

的趋势分布,二者为明显的负相关,相关系数为  $-0.55$ ,通过了  $0.01$  的显著性检验。这表明陕西省 74 个台站气温序列的分布有着较好的一致性。

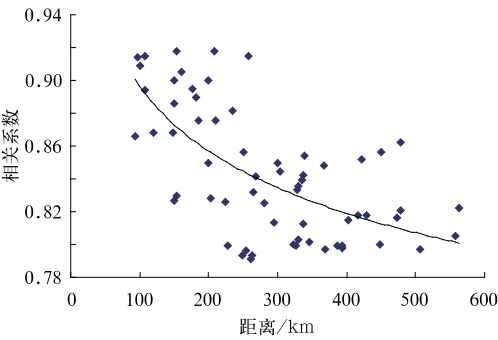


图 1 陕西省 74 个台站气温序列  
相关系数与距离的分布

Fig. 1 The distribution of the temperature  
series correlation and station distance

1.2 方法

气候资料均一性检测和订正方法主要分为 4 个步骤:(1)构建待检序列的参考序列;(2)构建待检序列的检测序列;(3)对检测序列进行断点检测;(4)对出现断点的序列进行订正。

构建参考序列是气候资料均一性检测和订正的关键基础,参考序列必须是均一的,可以反映待检序列所处位置的真实气候变化事实。具体做法是:从每个待检序列邻近的所有台站中挑选 4 个左右与待检站序列相关系数最高的气温序列,作为待检序列的参考序列,利用式(1)建立参考序列  $r_i$ ,由于参考序列回避了个别台站的影响,所以这个参考序列近似地认为是相对均一的。基于上述的全省 74 个台站,我们分别将每一个台站的气温值作为待检验序列,其余的 73 个台站作为备选构造检验参考序列。

$$r_i = \left[ \sum_{j=1}^4 \rho_j^2 X_{ji} \right] / \sum_{j=1}^4 \rho_j^2 \tag{1}$$

$$P_i = Y_i - r_i \tag{2}$$

式中,  $\rho_j$  是待检序列和参考序列  $X_{ji}$  的相关系数。构造检验序列  $P_i$  有两种方法,一种是差值法,另外一种是比较法。温度资料的空间分布具有较好的连续性,所以这里我们采用了差值法,见公式(2)。本文采用检测法为二相回归法(TPR),方法详见文献<sup>[15]</sup>。

气候资料均一性检测的方法,主要分为直接检验和间接检验两种方法。直接检验主要指的是元数

据的应用以及仪器的平行比较统计研究,仪器的平行比较观测在仪器更换和换型工作应用中,已经取得了一定的效果;间接检验方法主要指采用一定的数学方法使得序列中不连续通过统计假设检验显示出来,具体的检验方法主要有 Craddock 检验、 $t$  检验、Potter 方法、SNHT 方法、二位相回归、序列均一性的多元分析和等级顺序变点检验等<sup>[16-20]</sup>。各种检测方法都有其优势和不足之处,在选取突变检测方法时,往往可能导致出现不一致的结果。本文采用的二相回归法(TPR)是众多突变检测方法中较为经典的一种方法,是检测序列中存在均值及趋势转折点的有效方法,此方法对于序列中由于人为因素导致的不连续点有较好的检测效果。方法详见文献[15]。

采用的订正方法为对检测出来的断点的前后值进行差补,其差补值可从构造的检验序列  $P_i$  中获得。比如,在一个 50 年的时间序列中,发现在第 27 年有突变点,那么它的差补值为检验序列第 27~50 年的平均值与第 1~26 年平均值的差值,一般将第 1~26 年之间的值进行调整。

2 均一性检验与订正

2.1 非均一性序列检测和订正

本文分别选取了陕北的吴起、关中的千阳和陕南的旬阳三个较为典型的台站,进一步表述气温非均一性检测和订正在具体的分析过程中的应用。

在距离最近的站点中选择志丹、子长和定边站,相关系数分别达到 0.955、0.949 和 0.932,根据公式(1)和(2)站建立气温参考序列和差值序列。以陕

北的吴起站为例,从差值序列的变化曲线来看(图 2a),吴起站 1961—1991 年前后,变化值在  $-0.8\sim -0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间振荡,从 1992 年开始,曲线出现明显的下降趋势,到 2006 年最低值为  $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。吴起站的差值序列没有出现异常的变高和变低,但从整体变化来看,从 1991 年开始曲线出现了趋势突变。

经过二相回归法检测,发现在 1990 年出现断点。查阅台站沿革资料,1991 年 1 月 1 日吴起站由‘城市’迁往‘农村’,是由相对偏‘暖’到相对偏‘冷’,所以差值序列出现了明显的降低趋势。采用 2.1 节的方法对此进行了订正,将 1961—1991 年期间的温度调低了  $0.154\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,订正后的线性变化趋势为  $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,订正前的线性变化趋势为  $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,温度相对调高了  $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

地处关中的千阳站(图 3),选择了周围的风翔、陇县、宝鸡和岐山,相关系数分别为 0.91、0.90、0.87 和 0.92。差值序列在 1961—1991 年期间在  $-1.2\sim -0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间振荡,没有明显的跳跃。从 1992 年开始,出现了均值突变,差值序列变化范围在  $-0.8\sim -0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间,两个时间段的平均差为  $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。经过检测发现在 1991 年有断点,查阅台站沿革资料,千阳站在 1991 年 1 月 1 日由千阳县曹家塬乡村迁至县城开发区 2 号市区,是由‘农村’迁往‘城市’,是一个由相对偏‘冷’到相对偏‘暖’的变化,把 1991 年之前的温度调高了  $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,订正之前千阳站从 1961—2008 年的线性趋势为  $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,而订正之后为  $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,较符合千阳站周围站点气温的变化趋势。

陕南的旬阳站(图 4)差值序列在 1999 年有明显的均值突变,查阅旬阳的历史资料,2000 年 1 月 1

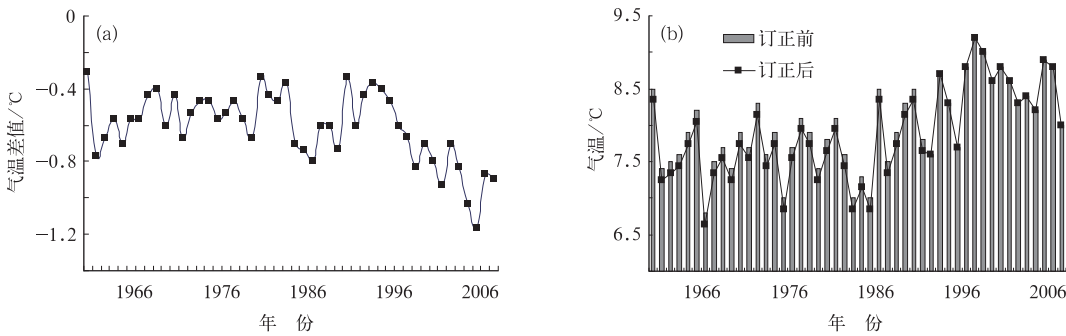


图 2 吴起站 1961—2008 年气温差值序列(a)与序列订正前后对比图(b)

Fig. 2 Annual air temperature differential series at Wuqi Station (a), and the annual air temperature series before and after adjustment (b) from 1961 to 2008

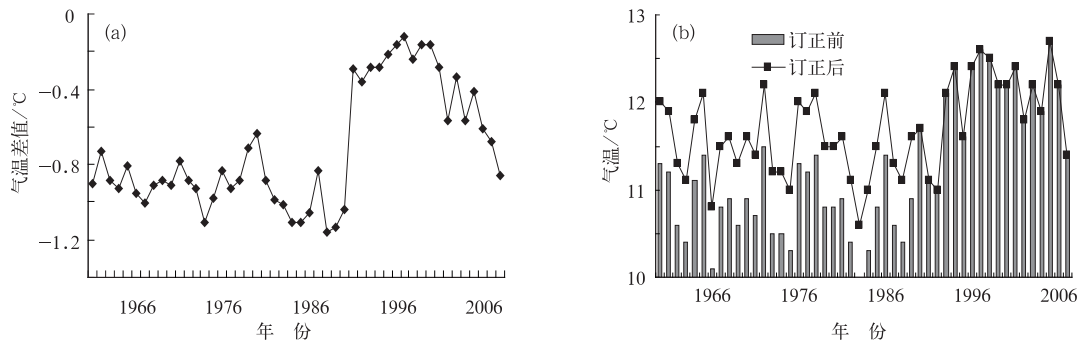


图 3 千阳站 1961—2008 年气温差值序列(a)与序列订正前后对比分析(b)  
Fig. 3 Same as in Fig. 2, but for Qianyang Station

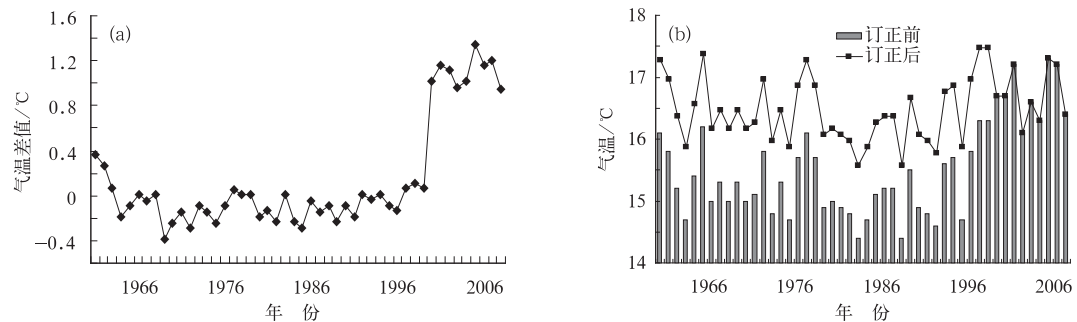


图 4 旬阳站 1961—2008 年气温差值序列(a)与序列订正前后对比分析(b)  
Fig. 4 Same as in Fig. 2, but for Xunyang Station

日,由县城关镇小河北丹凤岭山顶迁至县城关镇一居委龚家梁山顶,海拔下降了 160 m,是由‘山顶’迁到‘平地’,从相对偏‘冷’到相对偏‘暖’的一个变化。经过订正,2000 年以前的温度均调高 1.17℃,订正之前旬阳站 1961—2008 年的性趋势为  $0.216^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,旬阳站所处的秦岭南麓浅山区平均温度的线性趋势为  $0.08^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,旬阳站订正之后为  $0.026^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与周围环境的气温变率较为接近。

2.2 非均一性检测结果分析

用 TPR 法对陕西 74 个台站进行了逐站的检测分析,结果发现全省 74 个台站,有 34 个台站的气温序列具有突变点。通过查阅台站历史记录,其中 24 个台站气温序列的突变点是由于台站迁移引起的,剩余 10 个台站均没有台站迁移、仪器更换等记录,所以着重分析了这 10 个台站外围环境的变化情况。这 10 个台站主要分布在陕北和关中的较发达区域,突变点大都出现在 20 世纪 90 年代,这可能与这些区域在 90 年代开始经济迅速发展,台站外围环境受城市化影响较为严重有关。本文重点讨论台站迁移

对气温资料的影响,关于城市化对气温资料的贡献将在另外的篇幅里讨论。

在 24 个台站中有 12 个台站因为迁站次数频繁并且周围参考台站稀少而无法订正,所以在数据集分析中,认为这 12 个台站的资料具有非均一性特征,将这 12 个台站去掉,不参与分析。

我们对剩余 12 个台站(吴起、千阳、岐山、眉县、富平、临潼、勉县、佛坪、镇安、山阳、旬阳和平利)进行了同样的分析订正(表 1)。

图 5 为全省 62 个台站订正前和订正后年气温线性趋势分布图,图中浅色的原点为受台站迁移而订正的台站,从图中可以看出,陕北处于中高纬地区,受全球变暖影响,陕北区域整体升温明显,且迁站较少,所以陕北地区订正前和订正后的差异不明显;关中与陕南地区整体气温增长率要明显低于陕北地区,但部分站点由于人口相对密集,城市发展较快、迁站较多,站点气温增长率要明显高于周围站点,局地特征非常显著,订正以后的站点气温变化趋势与相邻站点气温变化趋势较一致,尤其是陕南地区,订正之前气温增长率在  $0.1\sim 0.4^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  之间,订正之后气温增长率为  $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

表 1 陕西省 12 个台站订正情况表

Table 1 Reduction list for 12 stations in Shanxi Province

| 站号    | 突变年份 | 订正值/℃  | 台站迁移情况   |
|-------|------|--------|--|
| 53738 | 1991 | −0.154 | 1991 年 1 月 1 日,由吴起县金佛坪行政村迁至吴起县城南宗湾子村城郊                                   |
| 57021 | 1992 | 0.7    | 1991 年 1 月 1 日,由千阳县曹家塬乡村迁至千阳县城开发区 2 号市区,距原址直线距离 6000 m                   |
| 57024 | 1978 | −0.2   | 1974 年 8 月 1 日,由岐山县孝子陵乡董家务乡村迁至岐山县城东门外五里铺乡村                               |
| 57027 | 1981 | −0.4   | 1981 年 1 月 1 日,由眉县一道巷迁至眉县二道巷延伸段南端  |
| 57042 | 1973 | 0.277  | 1973 年 1 月 1 日,由富平县庄里镇迁至富平县华朱乡,距原址直线距离 13 km                             |
| 57044 | 1972 | 0.05   | 1973 年 1 月 1 日,由临潼县交口公社迁至临潼县秦陵镇转房村西北角                                    |
| 57119 | 1976 | 0.18   | 1977 年 1 月 1 日,由勉县赵家庄迁至勉县勉阳镇三官堂  |
| 57134 | 2001 | 1.03   | 2001 年 7 月 1 日,由佛坪县袁家庄镇东面山梁山顶迁至袁家庄镇城区                                    |
| 57144 | 1981 | 1.43   | 1981 年 1 月 1 日,由北城坡山顶迁至营盘梁   |
| 57155 | 1970 | 0.4    | 1970 年 1 月 1 日,由山阳县十里乡农场迁至山阳县十里乡高家村;1991 年 1 月 1 日,由山阳县十里乡高家村迁至山阳县城关镇西河村 |
| 57242 | 2000 | 1.17   | 2000 年 1 月 1 日,由县城关镇小河北丹凤岭山顶迁至县城关镇一居委龚家梁山顶                               |
| 57248 | 1998 | 0.76   | 1998 年 1 月 1 日,由南门外捞钵盖“山顶”迁至县商贸小区“城区”                                    |

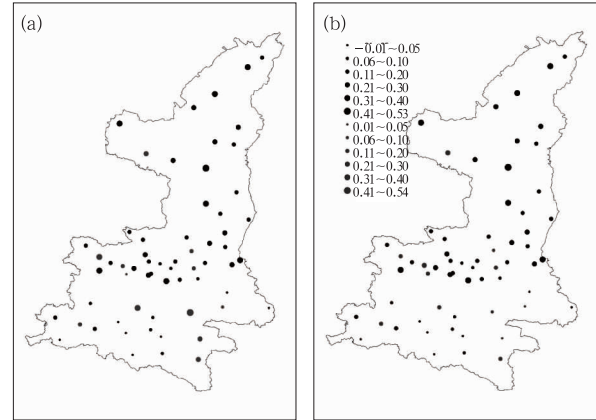


图 5 订正之前(a)和订正之后(b)全省 62 个台站的年气温线性趋势分布图  
[浅色圆点为订正台站,深色圆点为没有订正过的台站,单位:℃·(10a)<sup>-1</sup>]  
Fig. 5 The variance trend distributions of the annual temperature before (a) and after (b) adjustment (unit: °C · (10a)<sup>-1</sup>) for 62 Stations in Shaanxi Province

3 讨论

本文采用二相回归法对陕西省近 50 年来 74 个台站进行均一性检测和订正,结果发现台站迁移对气温资料的均一性有明显的影 响,全省有 24 个台站的气温资料因为台站迁移出现明显的非均一性特征,其中 12 个台站因为迁站次数频繁,且周围找不到合适的参考台站而放弃订正,对剩余的 12 个台站进行了相应的订正,订正以后的气温序列比订正之前具有更好的‘均一性’。

全省 74 个站点检测和订正情况分析表明,陕北区域的台站迁址较少,气温在 20 世纪 90 年代中期开始逐渐升温,但气温变化没有出现明显的跳跃,这可能与 90 年代以后城市发展和全球中高纬度增温显著有关;关中和陕南地区的部分台站由于站址迁移而引起温度序列的突变,造成明显的局地特征,对这些站点进行相应的调整,使之尽可能‘均一’。

本文主要以台站沿革记录中迁站年份与迁站前后环境为基础,利用数学方法对序列进行检测,把“不连续点”与台站沿革记录联系起来,分析台站迁移之前和之后环境的差异,找出导致气温序列“不连续”的原因,并对“不连续”序列进行订正。最近一些研究关注无记录变点和多变点的均一性检验和订正,如 MASH 方法可以不用台站沿革记录,可以检测出气温序列的“不连续点”,具有一定的客观意义。PMFT 检验方法能够有效避免非均一性的参考序列带来的检验误差,进行变点检验时可以不使用参考序列,从而能够对受局地环境影响较大的气象要素进行检验。MASH 和 PMFT 方法更多地倾向于数学方法的分析,而本文更多地倾向物理意义的探讨,如何将数学方法和物理意义二者更好地结合起来,是均一性研究中值得探索的问题。

参考文献

[1] 李庆祥,刘小宁,张洪政,等. 定点气候序列的均一性研究[J]. 气象科技,2003,31(1):2-12.  
[2] Peterson T C, Easterling D R, Karl T R, et al. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review[J]. Int J Climatol, 1998,18:1493-1517.  
[3] Hawkins D M. Point estimation of the parameters of a piecewise regression model[J]. Appl Stat, 1976,25:51-57.  
[4] Olga E Pakhaliuk. Methods of Testing the Homogeneity of Climatological Time Series of National Hydrometeorological



Service of UKRAINE// The fifth International Meeting on Stastical Climatology[C],1992: 97-100.

[5] WMO. Data format and supporting documentation for WMO members to use when providing di gital historical data for GCOS surface network sites to the national climatic data center[R]. 1999.

[6] Li Qingxiang, Liu Xiaoning, Zhang Hongzheng, et al. De-tecting and adjusting on temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature dataset[J]. Adv Atmos Sci, 2004, 21(4):260-268.

[7] 翟盘茂. 中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题[J]. 气象学报,1997,55(5):563—572.

[8] 刘小宁. 我国 40 年年平均风速的均一性检验[J]. 应用气象学报,2000,11(2):27-34.

[9] Li Z, Yan Z. Application of multiple analysis of series for homogenization (MASH) to Beijing daily temperature series 1960—2006[J]. Adv Atmos Sci,2010, 27(4):777-787. doi: 10.1007/s00376-009-9052-0.

[10] Li Z, Yan Z. Homogenized China daily mean/maximum/min-imum temperature series 1960—2008[J]. Atmospheric and Ocean Science Letters,2009, 2(4):237-243.

[11] 曹丽娟,鞠晓慧,刘小宁,等. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. 气象,2010,36(10):53-57.

[12] 曾红玲,张强,祝昌汉. 三峡库区气压资料的不均一性检验及订正[J]. 气象,2010,36(10):57-61.

[13] 张智,林莉,梁培,等. 宁夏年气温资料的均一性检验研究[J]. 气象,2009,35(10):79-83.

[14] 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.

[15] Lund R, Reeves J. Detection of undocumented changepoints; A revision of the two-phase regression model[J]. J Climate, 2002,15:2547-2554.

[16] 黄嘉佑,李庆祥. 一种诊断序列非均一性的新方法[J]. 高原气象,2007,26(1):62-66.

[17] 吴利红,康丽莉,毛裕定,等. SNHT 方法用于气温序列的非均一性检验的研究[J]. 科技通报,2007,23 (3):337-341.

[18] 李庆祥,江志红,黄群,等. 长江三角洲地区降水资料的均一性检验与订正试验[J]. 气象学报,2008,19 (2):219-226.

[19] Alexanderson H. A homogeneity test applied to precipitation data[J]. J Climatol,1986,6:661-675.

[20] Potter K W. Illustration of a new test for detecting a shift in mean precipitation series[J]. Mon Wea Rev,1981,109:2040-2045.