

周建平,孙照渤,倪东鸿,等. 2013. 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,36(2):139-146.

Zhou Jian-ping, Sun Zhao-bo, Ni Dong-hong, et al. 2013. Impact of meteorological station relocation on homogeneity of annual mean temperature in China[J]. Trans Atmos Sci, 36(2):139-146. (in Chinese)

中国气象台站迁移对年平均气温均一性的影响

周建平,孙照渤,倪东鸿,李忠贤

(气象灾害教育部重点实验室(南京信息工程大学),江苏 南京 210044)

摘要:在确定中国1951—2010年753站观测数据的迁移状况的基础上,采用 t 检验方法和标准正态检验(standard normal homogeneity test, SNHT)差值法,分析了迁移对中国年平均温度序列均一性的影响,并对非均一温度序列进行订正。结果表明:将有业务代替的台站序列合并起来后得到了714站数据,714站中完全没有迁移的台站只有148站,其他566站共计有950次迁移; t 检验表明950次迁移中235次迁移前后年平均温度差异显著;而SNHT检验表明950次迁移中有237次年平均温度的均一性受到迁移的影响,其中79次需要调整 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;84%的非均一性序列经订正后相对符合均一性条件。

关键词:台站迁移;气温;均一性

中图分类号:P468 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-7097(2013)02-0139-08

Impact of meteorological station relocation on homogeneity of annual mean temperature in China

ZHOU Jian-ping, SUN Zhao-bo, NI Dong-hong, LI Zhong-xian

(Key Laboratory of Meteorological Disaster(NUIST), Ministry of Education, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the daily temperature data from 1951 to 2010, and the longitudes/latitudes/altitudes of 753 stations in China, the relocation point of each station is determined. By using the t -test method and the difference method of standard normal homogeneity test(SNHT), this paper studies the impact of relocation on homogeneity of annual mean temperature over China and corrects the inhomogeneous temperature series. Results show that the data of 714 stations are gotten by linking the series of business substitution station. Only 148 of 714 stations have not been relocated, and the other 566 stations have been relocated for 950 times. The t -test shows that the 235 of 950 times relocations lead to significant differences of annual mean temperature. The SNHT test shows that the 237 of 950 times inhomogeneities of annual mean temperature are caused by the relocations, where the 79 times temperature should be adjusted more than $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The 84% inhomogeneous series by the relocations could be relatively adjusted to homogeneous series by adding a coefficient.

Key words: station relocation; air temperature; homogeneity

0 引言

如果一个测站的气象记录序列仅仅是气候变化

的反映,那么这样的资料就是均一的(屠其璞等,1984)。均一性的气温序列是研究气候变率和变化趋势的基础,然而在实际上,除了观测等不可避免的

收稿日期:2012-01-03;改回日期:2012-04-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41105059);江苏省高校自然科学基金项目(12KJB170007);公益性行业科研专项(GYHY201306020);江苏省“青蓝工程”资助项目;江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介:周建平(1986—),男,安徽宿松人,硕士,研究方向为短期气候预测, jpchouah@yahoo.com.cn;孙照渤(通信作者),教授,博士生导师, sunzb@nuist.edu.cn.

误差以外,影响均一性的主要原因还包括台站迁移、观测仪器和安装方法的更新以及观测时制的改变等。中国的大量台站都发生了迁移,从而影响了所测资料的均一性,使得研究结果不能正确反映气候的变化趋势。因此,有必要研究中国台站迁移对台站数据均一性的影响。

自 20 世纪 80 年代以来,国内外许多气候学家在资料非均一性判断方法及其订正方面做了大量研究工作。Hawkins(1977)从统计角度提出了标准正态检验(standard normal homogeneity test, SNHT)方法;Alexandersson(1986)、Alexandersson and Moberg(1997)改进发展了该方法,并应用到气象序列的均一性检验中,提出参考台站相关系数达到 0.8 时检验效果较好,并对瑞典观测数据的均一性检验做了许多开创性的工作。屠其璞等(1984)、么枕生和丁裕国(1990)较早开展了序列订正方法的研究。宋超辉等(1995)、宋超辉和孙安健(1995)研究了气温序列非均一性检验的 3 种方法和订正的 4 种方法,认为逐步多元线性回归对序列的订正效果较好。李庆祥等(2003)系统研究了定点观测均一性检验方法和国外此类工作的开展情况。吴增祥(2005)研究了中国气象台站历史沿革资料,并分析了其对观测资料均一性的影响,认为台站迁移对观测记录均一性的影响最大。此外,许多气象学者对某个地区、省份或单个台站迁移对各种要素均一性的影响进行了有益探讨(刘小宁,2000;高晓荣等,2008;江志红等,2008;田红等,2008;王钰和黄少平,2008;张弦等,2009;李庆祥等,2010;李祥余等,2010)。

不同于单个台站的分析,要整体上讨论中国大量测站观测数据的均一性是一个非常复杂的工作。一方面是检验的准确性问题;另一方面由于缺乏台站历史沿革资料(元数据)以及台站数量众多,所以

分析破坏均一性的因素比较困难。因此,本文主要分析中国台站的迁移状况以及年平均温度、年平均最高温度和年平均最低温度序列的均一性,以研究台站迁移对温度序列均一性的影响。

1 资料和方法

采用中国国家气象信息中心整编的中国 753 个地面观测站的数据,针对 1951 年 1 月 1 日—2010 年 12 月 31 日的逐日气温数据,按照气候统计规范构造每个站点月平均温度、年平均温度、平均最高温度、平均最低温度序列。在中国由于台站的改制或撤销,存在许多业务代替的台站,一般这些代替的台站距离并不远,所以将两站数据合并,前后可以作为一次迁移考虑。根据台站代替记录和数据的起止时间,取合并后的台站号和经纬度作为这一序列的台站号和经纬度,如 54714 德州站 1995 年业务由 54715 陵县代替,将两个序列合并后,取台站号为 54715。将 753 站共计 39 次台站代替的数据序列进行合并,最后得 714 站(图 1a)。序列的长度并不一致,超过 50 a 的台站有 621 站,55 a 以上的台站超过一半。20 世纪 50 年代是台站数量飞速发展的时期,由 1951 年不足 148 站快速增长到 1960 年 648 站(图 1b),此后随着部分台站的改制或撤销以及一些台站的新建,逐年略微有所增减。

迁移在中国的台站中普遍存在,但由于缺乏元数据,本文通过原始逐日数据——经纬度的一致性来确定是否有迁移。在某一日该站的经纬度与前一天不一致时,则认为该站在该日有迁移的可能性。为了去除错误的经纬度记录和部分短期代替的数据,作如下处理:如果新的经纬度上记录超过一年,则记为一次迁移,并通过经纬度换算迁移的空间距离;否则不记为迁移。

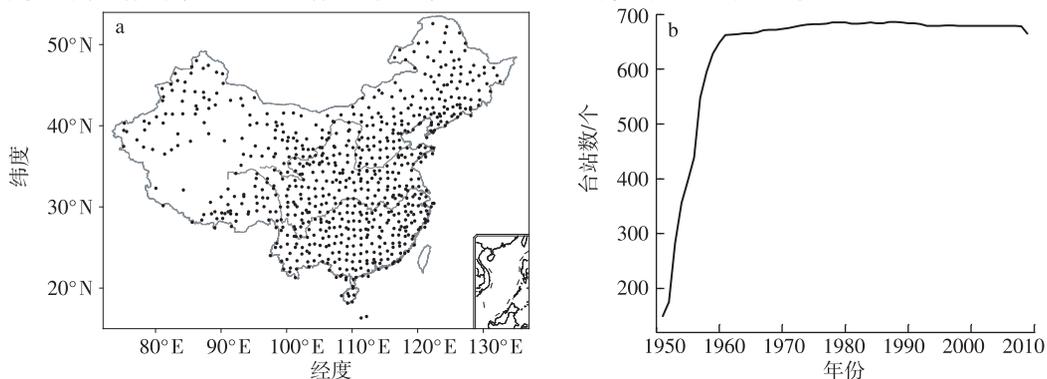


图 1 中国 714 站台站分布(a)和 1951—2010 年逐年台站数分布(b)

Fig. 1 (a) Distribution of 714 stations in China and (b) the station number from 1951 to 2010

通过上述标准确定的台站迁移主要包括以下几种情况:1)台站位置有迁移,即从一个地点迁移至另一个地点;2)因观测任务变动,将两个区站号相互更换;3)前述提到的业务代替;4)台站经纬度可能因测量方法或查算方法不同或者错误记录而存在的变动。4种情况中,前3种均可能造成资料的非均一性;而第四种情况是记录错误,并没有台站迁移,对观测资料的均一性没有影响,设置迁移应长于一年的规定后,已尽可能地减少了这种情况的发生。这里确定的迁移有可能在实际情况下台站并没有搬迁;为了方便叙述,所有情况均统称为台站迁移。

目前已发展了多种均一性的检验方法。本文研究迁移对台站温度序列的影响,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,所以较容易通过 t 检验来确定迁移前后温度的变化特点;因为序列长度的不一致,采用完整的 t 检验公式(魏凤英,2007):

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

式中: $\bar{\mu}_1$ 、 $\bar{\mu}_2$ 和 s_1 、 s_2 分别为迁移前后温度的年平均值和方差; n_1 、 n_2 为样本长度。分别对年平均温度、年平均最高温度、年平均最低温度作检验。设显著性水平 $\alpha = 0.05$;为了减少对迁移前后气候变化趋势的影响,迁移点前后的样本数都不超过 15 a。分别对迁移的年平均温度、年平均最高温度、年平均最低温度进行检验。

因为 t 检验是单站检验,其实质上是检验一点前后平均值的变化;而温度序列中也包含了气候变化趋势,所以检验的结果可能表明气候发生了突变。因此,均一性检验仅仅做单站检验是不够的,所以本文采用均一性检验中广泛应用的标准正态检验(SNHT)方法(Alexandersson, 1986; Alexandersson and Moberg, 1997)。检验年平均温度得出的不连续点,与台站的迁移点作比较,以评估台站迁移对平均温度的影响。该方法的核心是建立一个相对均一的参考序列,然后将它和检验序列做比值或者差值对比,以检验序列的均一性。由于年平均温度分布近似遵从正态分布,所以本文检验所有台站。

本文检验温度,利用差值法(Alexandersson and Moberg, 1997)建立序列:

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

式中: Y_i 为待检台站的温度序列; X_{ji} ($j = 1, 2, \dots, 5$) 为 5 个参考台站的参考序列;采用相关系数 ρ 的平方作为加权因子;为了减少序列的差异,建立序列时候采用距平值。对 Q 进行标准化,得到待检序列 Z_i ,使得 $\bar{Z} = 0$, $\sigma_z = 1$,即使其近似服从 $N(0, 1)$ 分布:

$$Z_i = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\sigma_Q} \quad (3)$$

统计检验主要是检验 T_{\max}^s :

$$T_{\max}^s = \max_{1 \leq a < n} \{T_a^s\} = \max_{1 \leq a < n} \{a\bar{z}_1^2 + (n - a)\bar{z}_2^2\} \quad (4)$$

式中: \bar{z}_1 和 \bar{z}_2 是 Z 序列 a 点前后的平均值。参照刘小宁(2000)所给的阈值,显著性水平取 0.05,如果 T_{\max}^s 大于阈值则认为该点为序列的不连续点,再将序列分段检验,直至序列长度小于 10 a 止。通过 SNHT 检验确定序列的断点,将其与确定的迁移点及其 t 检验结果进行核对,以确定中国台站迁移对中国气温序列的影响。

Alexandersson and Moberg (1997) 也提供了序列的订正方法,如果序列在 a 点断裂,则:

$$\bar{q}_1 = \sigma_Q \bar{z}_1 + \bar{Q}; \bar{q}_2 = \sigma_Q \bar{z}_2 + \bar{Q} \quad (5)$$

式中: \bar{z}_1 和 \bar{z}_2 与(4)式相同。将序列中 $\{1, 2, \dots, a\}$ 点加上 $\bar{q}_2 - \bar{q}_1$,这是一个订正差值,单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

SNHT 检验关键是选择参考台站建立检验序列。本文主要从距离最近的 15 个包含待检序列长度的台站中选择相关系数较高的 5 个台站作为参考台站。由图 1b 可以看出,1955 年以前的台站稀少,选择参考台站较为困难。因此,本文主要检验 1955—2010 年的台站迁移对温度均一性的影响;1955 年以前的迁移主要采用 t 检验并根据迁移前后平均温度有无显著差异来判断序列的均一性。受气温年际变化和参考台站的影响,如果不是变化较明显,SNHT 检验不一定能将不连续点准确地定位在迁移点上,所以如果不连续点在该站迁移前后的 3 a 内,则认为此点是由迁移造成的,序列在迁移前后是不均一的。

2 台站迁移对资料的影响

2.1 迁移状况

由通过经纬度差异方法确定台站迁移的结果来看:近 60 a 的 714 站中,共有 950 次迁移;完全没有迁移的台站只有 148 站(约占 21%),304 站有 1 次迁移,迁移 2 次及以上的有 262 站,部分台站甚至有

5~7 次迁移,可见大多数台站都有过迁移。由图 2 可见,1960 年前后和 1980 年前后发生的迁移较多,这主要是由于中国台站建立的完善和行政管理等方面的原因;1990 年以后,台站发生的迁移较少,这主要因为台站环境得到法律法规保护,台站迁移受到严格控制,但由于城市规划或台站处于城市中间而不再适合作为观测台站,所以有许多台站发生了迁移,而且大多数台站级别沿革、撤销、新建、业务代替等也大多发生在这一时期,对数据的影响也比以前的迁移要大。950 次迁移中 601 次迁移的水平距离在 10 km 内,192 次迁移的水平距离超过 20 km;950 次迁移中有 533 次迁移的海拔高度没有变化,713 次迁移的高度差低于 10 m,93 次迁移的高度差超过 50 m;249 次迁移距离超过 20 km 或(和)海拔高度相差超过 50 m,中国台站迁移明显。

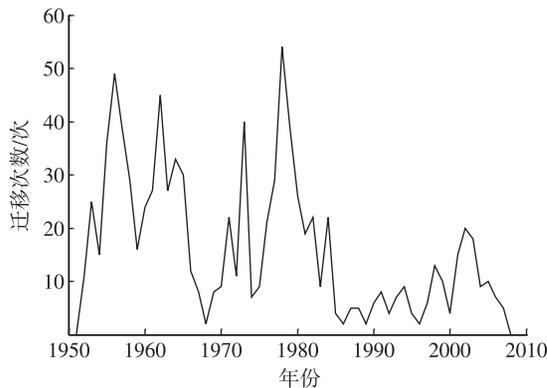


图 2 1952—2008 年台站迁移次数的逐年变化

Fig. 2 Yearly variation of the station relocation times from 1952 to 2008

2.2 迁移前后温度的变化特点

t 检验实质上是对迁移前后均值变化的一种检验。分别对 950 次迁移的年平均温度、年平均最高温度、年平均最低温度进行检验, t 值大于临界值的台站数如表 1 所示。从台站数和次数上来说,迁移对最低温度影响最大,其次是平均温度,对最高温度的影响最小。迁移前后平均温度增加约 $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$,总体来说迁移后是变暖的,迁移后温度减少的台站相对较少。这也说明台站迁移与增温评估存在一定关系。

表 1 950 次迁移的 t 检验结果

Table 1 The t -test results for 950 times station relocation

	$t > t_{\alpha}$	$t > t_{\alpha}$	温度差异/ $^{\circ}\text{C}$	温度减少的 台站比例/%
	次数	台站数		
年平均温度	235	201	0.56	22
年平均最高温度	180	159	0.58	32
年平均最低温度	334	280	0.56	23

图 3 为台站迁移前后年平均温度、年平均最高气温、年平均最低气温显著变化的台站。可见:迁移后年平均温度减少的台站大多分布在中国西南部;迁移后年平均最高气温减少的台站多一些,主要分布在中国西南、华南和西北地区东部;迁移后年平均最低气温未通过 t 检验的台站数大大增加,这与日最低温度的时间分布和空间分布有较大关系。值得注意的是,台站迁移对平均气温、最高气温和最低气温的影响存在差异,如漠河站 1997 年有一次较大的迁移,年平均气温迁移后只增加了 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ (没有通过显著性检验),而年平均最高气温和年平均最低气温的前后变化却较显著,但是它们的变化却是相反的,迁移后 14 a 年平均最高气温较迁移前平均增加了 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均最低温度减少了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这反映出台站迁移前后环境变化对不同时段温度变化影响的不一致性。有些台站主要因海拔高度发生较大改变而产生了较大变化,如五台山站(53588)1998 年从山顶迁移到山脚,海拔高度减少了 687.5 m,平均温度增加了 $5.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度增加了 $6.35\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低温度增加了 $5.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如果这些台站的温度数据不经过订正而使用,在气候趋势研究中是没有意义的。

在影响迁移前后温度变化的因子中,海拔高度差无疑是最重要的。235 次迁移的年平均温度差与海拔高度差的相关系数达 -0.85 ,即海拔高度减少后,温度升高;而与水平距离的相关系数只有 0.22 ,如果考虑到南北迁移对温度升降的差异性后,其相关系数可增加到 0.38 。所以,迁移的海拔高度差是考虑迁移前后年平均温度变化的一个主要因素,但是迁移还不能仅仅从水平和垂直距离上考虑,有时需要考虑迁移前后台站周围的地理环境变动,是市区还是郊区等,因为这些变动仅仅通过空间位置数据是不能反映出来的。

对于年平均温度来说,950 次迁移前后温度平均增加了 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中 641 次迁移后平均温度是升高的,差异明显的 235 次迁移在迁移后平均增温约 $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如果 t 值很高,表明迁移前后温度差值较大,据此就能直接判断出温度序列的不均一性。但是大多数台站的 t 值接近于临界值,由于气候序列中包含了气候变化趋势,加上台站周围环境如城市化等缓慢变化的作用也包含于序列变化之中,序列均一性的直接判断就有部分困难,所以要作邻站对比的检验,将气候趋势变化剔除出来。

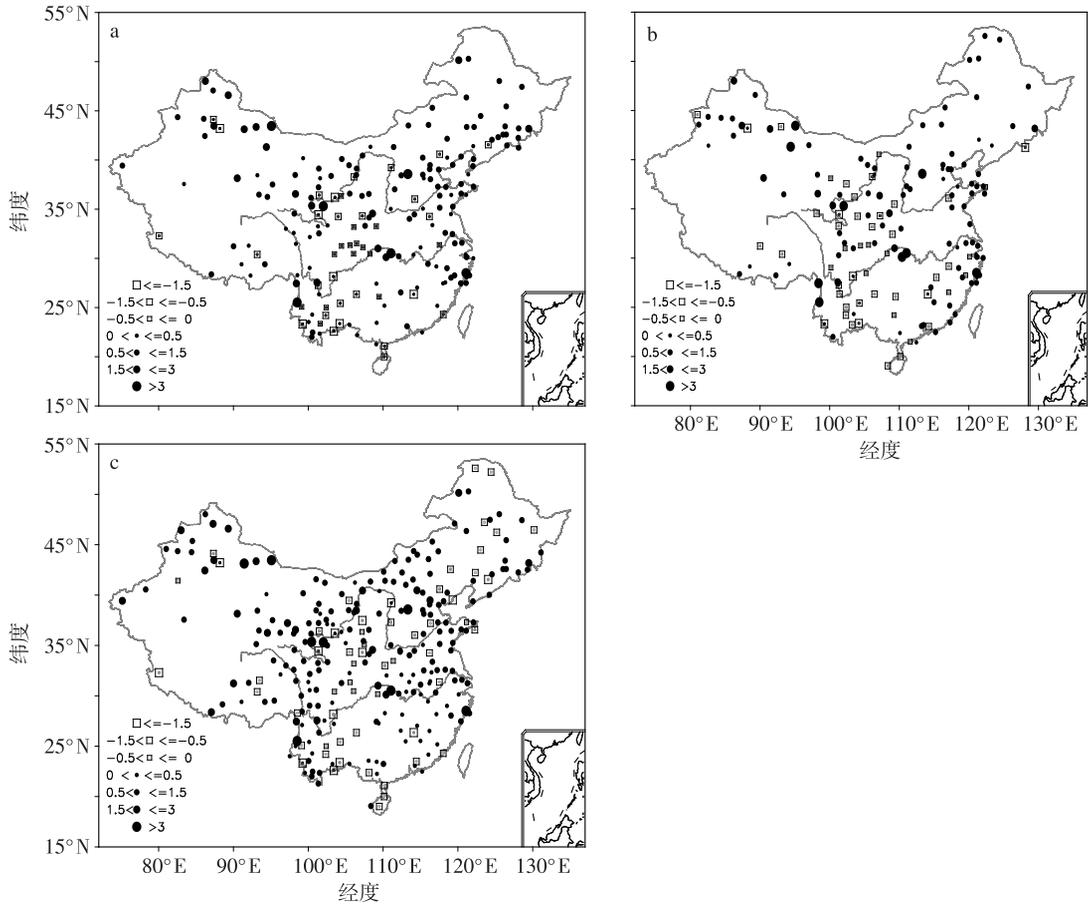


图 3 年平均气温(a)、年平均最高气温(b)和年平均最低气温(c)迁移前后差异显著(t 检验)的台站以及温度平均差值分布(单位:℃;方框表示迁移后温度降低,实点表示迁移后温度升高)

Fig. 3 Stations with significant temperature differences caused by station relocation and their differences (units: °C; panes (solid points) denote the temperature decreasing (increasing) after station relocation)
a. annual mean temperature; b. annual mean maximum temperature; c. annual mean minimum temperature

3 平均温度的均一性检验

通过公式(4)中 T_{max}^s 来检验每个台站的温度序列。以七角井站(51495)为例说明 SNHT 检验过程及订正结果分析(图 4)。从经纬度上来说,共有 3 次迁移,分别在 1955、1962、1998 年,前两次迁移距离较小,只有 1 km 左右,而 1998 年迁移距离约为 30 km,海拔高度降低了 83 m,该站的年平均温度序列如图 4a 所示,迁移后 12 a 的平均温度较迁移前平均增加了约 3 °C,有一个非常明显的突变。选定 52418、51777、52203、51156、51573 站作为参考台站(最远距离约为 600 km),5 个参考台站与七角井站(51495)年平均温度的相关系数均超过 0.78。通过差值法建立逐年 Q 值(图 4c)、 T^s 值(图 4e),可以看出,1998 年有一个突变点, T_{max}^s 值达到 50.8,远超过阈值 8.6。分别检验 1955—1997 年和 1998—2010 年序列,未发现不连续点。七角井站 1998 年的迁移

造成了序列的非均一性,通过公式(5)确定的订正值约为 2.15 °C,订正 1955—1997 年的温度,如图 4b 所示。经检验,订正后该序列不存在不连续点,表明它是均一的。

经过 SNHT 检验,有 632 站检验序列与参考序列相关系数超过 0.8,相关度较好。年平均温度序列完全均一的台站只有 172 站,而其余的 542 站有可疑的不连续点 884 个,但是有 174 个可疑点距离起始点较近(在 3 a 内),203 次检验的 T_{max}^s 与阈值差值小于 2。也就是说,如果改变信度的话,会影响均一性判断的结果,加上参考台站等不确定因素,如果不连续点前后有台站的迁移,则认为此不连续点是迁移造成的,是不均一点。经过统计,有 237 个不连续点是迁移造成的,将 1955 年以前 t 检验的 4 次迁移计入结果内,1951—2010 年迁移造成的序列不均一点个数如图 5 所示。将台站迁移时间(图 2)与非均一点所处时间进行逐一比较可以发现,1960 年前

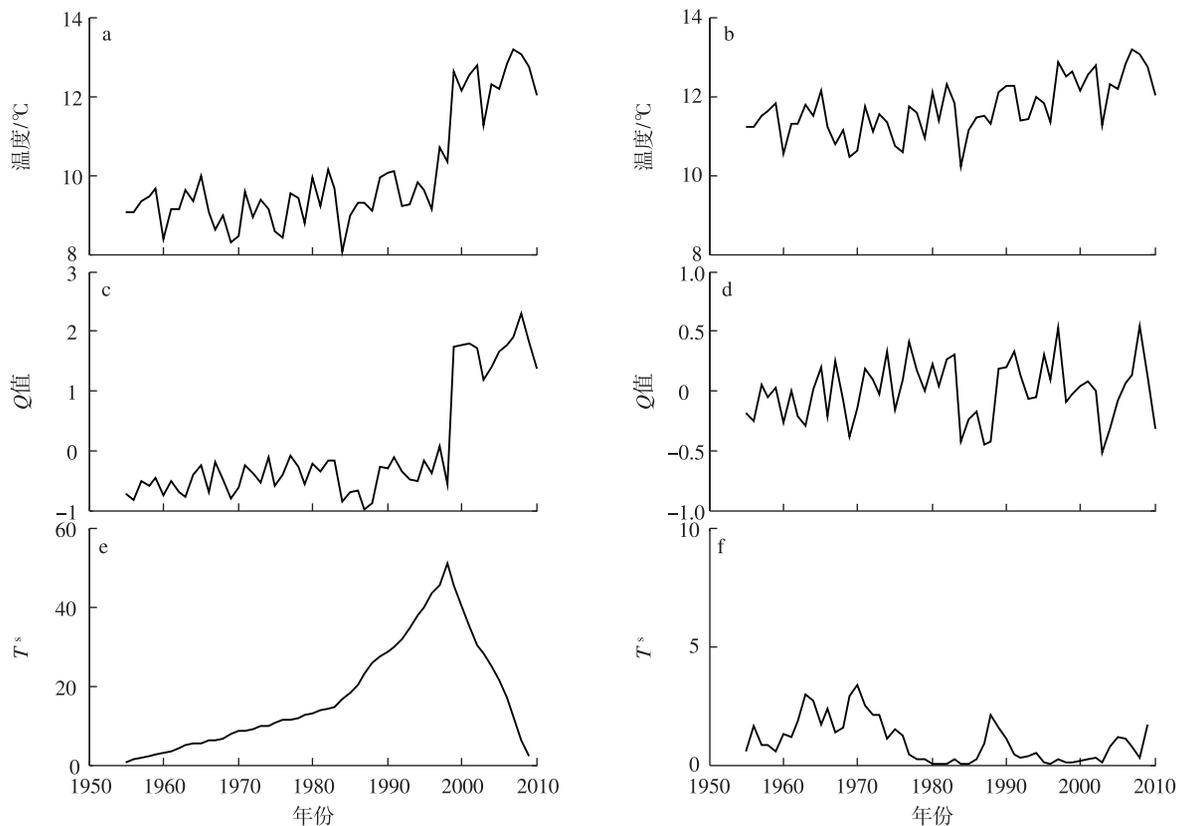


图 4 七角井站订正前(a,c,e)、后(b,d,f)年平均温度序列(a,b;单位:°C)、Q值(c,d)、 T^s 序列(e,f)

Fig. 4 (a,b) Annual mean temperature(°C), (c,d) Q and (e,f) T^s (a,c,e) before and (b,d,f) after adjusting at Qi-jiaojing station

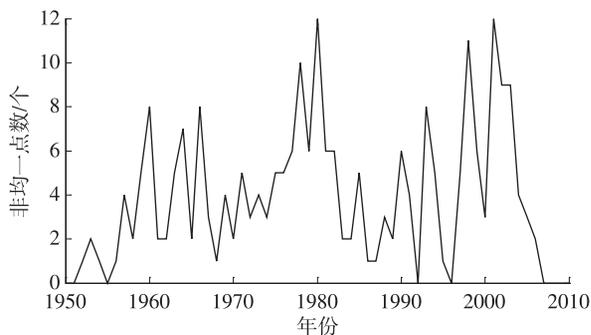


图 5 1951—2010 年平均温度非均一点个数的逐年变化
Fig. 5 Yearly variation of number of inhomogeneity points for annual mean temperature from 1951 to 2010

后,1980 年前后不均一点的两个峰值与迁移频繁年份较吻合,这两段时期的非均一点较多,主要是由迁移较多引起的。而 2000 年以后台站迁移虽然相对较少,但是非均一点占迁移次数的比例却明显增高,说明该时期台站迁移对数据均一性影响要大。

将 SNHT 检验的非均一点与迁移 t 检验结果作对比发现,237 次非均一点与 t 检验 235 次迁移造成的前后平均温度有显著差异的次数差不多,其中有 99 次迁移造成了迁移前后的温度差值非常明显(平

均约 $0.71\text{ }^{\circ}\text{C}$)。也就是说,这 99 次迁移前后平均温度差异显著,而且序列是非均一的,而其他 138 次迁移,尽管迁移前后的温度差异并不显著,但是同样造成了序列的非均一性。

温度在不同的时间尺度上都有不同的变化,日最高、最低气温反映的是一天的温度变化范围,而随着太阳辐射的季节变化,月平均温度也有差异,而迁移对不同时间段的温度序列均一性影响的差异也值得研究。分别以 1、4、7、10 月作为代表月份和以年平均最高、最低气温代表不同时段的温度,检验均一性对温度变化的影响(表 2)。结果发现,各月可疑点和迁移造成的非均一点都要远远低于年平均温度。以 1 月为例,可疑点不连续点有 449 个,约为年平均温度可疑点数的一半,迁移造成的非均一点有 149 个,这其中有 112 个与年平均温度是一致的。4、7、10 月可疑点和迁移造成的非均一点均有所增加,但是与年平均气温一致的迁移次数相差不多,约有 70% 与年平均气温是一致的,即这些迁移在月时间尺度上造成了序列的非均一性,在年尺度上也是非均一的。当然,迁移对不同月份温度的影响存在

差异,而年平均温度是否均一则是12个月综合作用的结果。

表2 不同温度序列的均一性检验及其与年平均温度非均一点的关系

Table 2 The homogeneity test of different temperature series and their relations to inhomogeneity points of annual mean temperature

	可疑不连续点	迁移非均一点	与年平均气温一致的点 个
1月平均温度	449	149	112
4月平均温度	480	154	109
7月平均温度	512	171	114
10月平均温度	566	167	125
年平均最高温度	688	196	114
年平均最低温度	1 044	266	161

年平均最高气温与年平均气温相比,迁移对其影响要稍微小一点。年平均最高气温有688个可疑的不连续点,少于年平均气温,有196次是迁移造成的,其中114次和年平均温度一致,是由同一次迁移造成的。迁移对年平均最低气温的非均一性影响比年平均气温要大。迁移对其造成的非均一点达到最多(266个),其中与年平均温度的237个非均一点有161次是同一次迁移造成的。从迁移造成的非均一点也可以看出,迁移对年平均最低温度的影响最大,其次是年平均气温,对年平均最高气温影响较小,这与 t 检验的结果是一致的。

4 非均一年平均温度订正

订正是将一个非均一的序列订正为尽可能满足均一条件的序列。年平均温度序列有204站共计237个非均一点需要订正,用订正差值对迁移前的序列加以订正。图4b为七角井站订正后的温度序列,1998年以前的订正差值为 2.15°C ,少于迁移后的温度差值 3°C ,这说明该订正方法考虑了气候变化的因素。但是统一增加同一个订正值是否合适,还需检验订正结果。

237次迁移的平均订正值小于(大于)0的有152次(85次),即这些台站迁移后温度降低(升高)了,需要将迁移前的序列减去(加上)一定的值(图4b)。表3为订正值绝对值的分布。可见,约33%的迁移订正差值超过 0.5°C ,这些迁移对序列的影响较明显。

将订正后的714站结果用SNHT方法检验序列

的均一性。经检验,还存在72站78次因迁移造成的非均一性,其中38次是经过订正还存在的非均一性,还需要进一步订正,而其余40次是新增的因迁移造成的非均一性。

237次因迁移造成的非均一点已经订正好199次,订正均一的比例约为84%。虽然还存在78次因迁移造成的非均一性,但是订正温度差比上一次的订正温度差小了很多,此次的订正差值绝对值超过 0.5°C 只有3次,没有超过 1°C 的迁移订正差值,所以均一性订正效果较好。38次新检验出来的非均一性序列主要是由于订正影响了部分检验台站的参考台站,这说明参考台站建立的序列只能近似为均一的,难以达到理论上的均一性,参考台站数目越少,受单站的影响越大,增加参考台站数量可以减少个别非均一台站的影响。

表3 年平均气温订正差值大小及其次数分布

Table 3 Adjusted values of annual mean temperature and their corresponding frequency distribution

订正温度差绝对值范围/ $^{\circ}\text{C}$	订正次数	还需调整次数	调整比例/%	调整后订正次数
<0.2	36	2	94	26
$\geq 0.2, <0.3$	60	9	85	27
$\geq 0.3, <0.5$	62	12	81	22
$\geq 0.5, <1.0$	44	11	75	3
≥ 1.0	35	4	89	0
合计	237	38	84	78

用迁移前后回归系数的差异来表示订正对序列的影响。由图6可以看出,订正差值较大的台站主要分布于中国西部,这些地区地形复杂,迁移对台站数据影响较大,许多台站从高海拔地区迁移到低处,订正后温度变化趋势明显降低。当然订正后序列趋势变化大小不仅与迁移前后位置变动的大小有关,还与迁移发生的时间点以及订正的序列长度关系较大,迁移之前或者之后序列长度短,对趋势的影响都较小。

5 结论和讨论

本文在整理原有753站逐日观测数据的基础上,分析了气象台站的迁移状况,讨论了迁移对中国年平均气温序列均一性的影响,并对迁移造成的非均一序列进行订正,得到如下主要结论:

1)首先将39个业务代替的台站合并起来,作为一次迁移考虑,得到714站。通过经纬度以及海

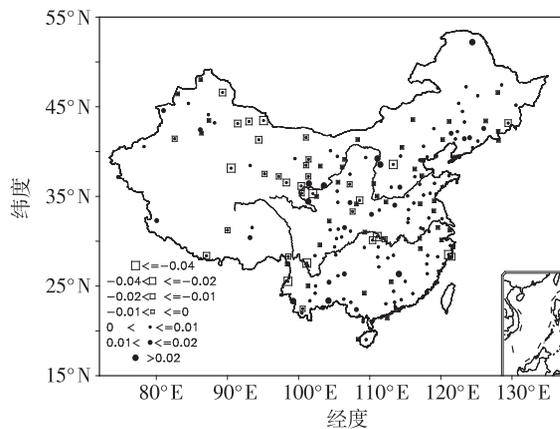


图 6 订正前后的年平均温度趋势差值分布(单位: $^{\circ}\text{C}/\text{a}$; 方框表示趋势减少, 实点表示趋势增加)

Fig. 6 Distribution of annual mean temperature trend difference before and after adjusting (units: $^{\circ}\text{C}/\text{a}$; panes (solid points) denote decreasing (increasing) tendency)

拔高度差异的分析发现, 只有 148 站没有迁移, 其他 566 站共有 950 次迁移, 601 次迁移的水平距离在 10 km 内, 192 次迁移超过 20 km; 950 次迁移中有 533 次迁移的海拔高度没有变化, 713 次迁移的海拔高度变化低于 10 m, 93 次高于 50 m; 249 次迁移的水平距离超过 20 km 或 (和) 海拔高度变化超过 50 m, 中国台站迁移明显。t 检验结果表明, 对于年平均温度, 950 次迁移共造成 201 站 235 次迁移前后的温度差异显著。

2) SNHT 检验发现, 204 站的 237 个非均一点是由迁移造成的, 有 79 个非均一点温度订正差值超过 0.5°C 。t 检验结果和 SNHT 检验结果表明, 有 99 次迁移前后平均温度差异显著, 且序列是非均一的, 而其他 138 次迁移, 尽管迁移前后的温度差异不显著, 但同样序列是非均一的。t 检验能很好地与台站迁移点结合起来, 但难以简单地通过单站平均温度的差异判断序列的均一性, 而 SNHT 检验考虑了周围台站气候变化趋势的影响, 能较好地判断序列的均一性, 但是如果没有元数据的支撑, 难以确定非均一点的合理性。

3) 采用差值订正方法对序列进行订正, 经过订正, 迁移造成的非均一性能够得到较大的改善, 84% 由迁移造成的非均一序列能够调整得相对均一, 其他序列也能得到相应改善。比较逐月平均温度订正的差异可发现, 不同月份的月平均气温订正值并不一致, 对更小尺度序列的订正需进一步深入研究。

通过经纬度确定的台站迁移可能存在部分误差, 其他的台站沿革对均一性的影响也需要考虑, 而均一性检验中受参考台站尤其是西部观测台站稀疏等因素的影响, 相关系数并不能都达到理想状态的 0.8, 参考序列并不能都达到理想状态的均一, 加上统计检验的不确定性以及部分台站城市化等因素对温度影响的差异, 结果的应用性有待于进一步检验, 建立准确及时有效的均一性气候序列还是一项长期工作。

参考文献:

- 高晓荣, 李庆祥, 董文杰. 2008. 五台山站历史气候资料的均一性分析 [J]. 气象科技, 36(1): 112-118.
- 江志红, 黄群, 李庆祥. 2008. 近 50 年中国降水序列均一性检验与订正研究 [J]. 气候与环境研究, 13(1): 67-74.
- 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): 3-10.
- 李庆祥, 董文杰, 李伟, 等. 2010. 近百年中国气温变化中的不确定性估计 [J]. 科学通报, 55(16): 1544-1554.
- 李祥余, 黄少鹏, 叶红, 等. 2010. 厦门站气温非均一性订正及其变化特征对比分析 [J]. 地理科学, 30(5): 798-801.
- 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(1): 27-34.
- 宋超辉, 孙安健. 1995. 非均一性气温气候序列订正方法的研究 [J]. 高原气象, 14(2): 215-220.
- 宋超辉, 刘小宁, 李集明. 1995. 气温序列非均一性检验方法的研究 [J]. 应用气象学报, 6(3): 289-296.
- 田红, 王双五, 鲁俊. 2008. 江淮流域年降水量和温度均一性检验 [J]. 气象科学, 28(2): 227-231.
- 屠其璞, 王俊德, 丁裕国, 等. 1984. 气象应用概率统计学 [M]. 北京: 气象出版社: 486-506.
- 王钰, 黄少平. 2008. 江西省地面气象台站沿革及其对观测资料均一性的影响 [J]. 气象与减灾研究, 31(4): 43-47.
- 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: 27-35.
- 吴增祥. 2005. 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, 16(4): 461-467.
- 么枕生, 丁裕国. 1990. 气候统计 [M]. 北京: 气象出版社: 776-826.
- 张弦, 吴必文, 严平, 等. 2009. 合肥气象站迁址对气温观测的影响 [J]. 安徽农学通报, 15(3): 67-68.
- Alexandersson H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data [J]. Int J Climatol, 6: 661-675.
- Alexandersson H, Moberg A. 1997. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends [J]. Int J Climatol, 17: 25-34.
- Hawkins D M. 1977. Testing a sequence of observations for a shift in random location [J]. J Amer Statist Assoc, 3: 180-185.

(责任编辑: 张福颖)