

定点观测气候序列的均一性研究

李庆祥^{1,2} 刘小宁¹ 张洪政¹ 屠其璞²

(1 国家气象中心气象资料室, 北京 100081)

(2 江苏省气象灾害与环境变化重点实验室, 南京 210044)

摘要 文章分析了气候资料产生非均一性的原因,介绍了近年来国内、外气候资料均一性研究的方法以及一些国家利用这些研究方法对本国或区域气候序列均一性问题的研究成果。对我国气象观测站观测站址、仪器变化等因素进行了总结,并介绍了我国气象资料均一性检验的一些结论,讨论了与气象资料均一性研究相关的一些问题。

关键词 气候变化 气候序列 均一性 检验与订正技术

引言

气候资料可以提供许多影响人类活动的大气环境信息。例如,用来决定最佳城市选址(通过计算大洪水的回复周期)、一个地区农业规划(无霜生长期长短)、城市规划(潜在的对供暖燃料需求)等。然而,对于这些或其他长期气候分析(尤其是长期气候变化分析)来说,利用包含非气候因素变化的气候序列可能导致矛盾的结论,为了准确,所用的气候资料必须是均一的。利用均一性气候序列的重要性近来备受关注^[1]。一个均一性时间序列被定义为只包含天气和气候变化的序列。时间序列中的非均一性既可能是渐变的趋势,如城市增暖,也可以是突然不连续(断点)的。

均一的长序列的气候资料是气候变化研究的基础。但由于缺乏均一性检验技术研究,直至今日,我国还没有建立具有权威性的基本要素数据集。而国外许多气候学家已作了大量的工作,取得了十分重要的进展,有的甚至已经在气候资料管理部门的业务工作中应用,值得我们借鉴参考。近来我国不少专家也开始注重这方面的研究,但是这些工作仍然只能停留于一些方法的研究和探讨阶段,与科研工作对于气候资料的要求还具有很大的差距。气象资料的均一性检验和订正工作目前已经受到广泛关

注,并被纳入“中国国家气候计划纲要 2001~2010 年”中。因此,深入研究气候资料各自的特性和均一性检验以及订正方法,努力探索气候资料均一化业务实施手段,仍是我们的一个重要课题。本文介绍了气候资料均一性研究的方法及成果和我国气象资料均一性检验的一些情况。

1 气候序列不均一性产生的原因

气候资料不连续的产生有很多原因:从台站的迁移和仪器的变更到计算时间平均方法的变化等。Quayle 等^[2]发现在美国合作网络(USA Cooperative Network)中,从液体玻璃管(LIG)温度计到基于电热调节器的最高、最低温度系统(MMTS)的转变导致了月平均最高气温下降(-0.4°C)和月平均最低气温的升高($+0.3^{\circ}\text{C}$),即导致了人为的月平均日较差的减小;Chenoweth 检测了 20 世纪初期美国的温度计暴露度(从北墙到木棉地区有遮挡)的变化^[3],发现这个变化似乎导致了温度读数的降低,于是 Chenoweth 认为 19 世纪晚期的观测温度普遍地偏高;在时间平均方法变化以及观测次数变化时也产生不连续。

和断点不连续相比,趋势不均一通常更难以检测,因为它们可以叠加在气候变化之上,Karl 等^[4]提出了一种利用城市污染为预报因子基于回归来调

科技部基础性工作专项基金项目“2001 DE A30029”和江苏省高校省级重点实验室开放课题“KJS021 04”资助。

收稿日期:2002 年 7 月 17 日;定稿日期:2002 年 9 月 9 日

李庆祥,男,1973 年生,硕士,从事气候变化和气候资料均一性研究,E-mail:liqx@cma.gov.cn

整城市增暖效应的逼近方法,并用它检验了在温度时间序列中检测和解释城市热岛的问题。而对其他的一些趋势,比如仪器漂移或掩体特性则显得无能为力。

图 1 为 Heino 总结的导致长期气候的变化产生原因^[5]。Heino 把导致长期气候变化的原因划分为

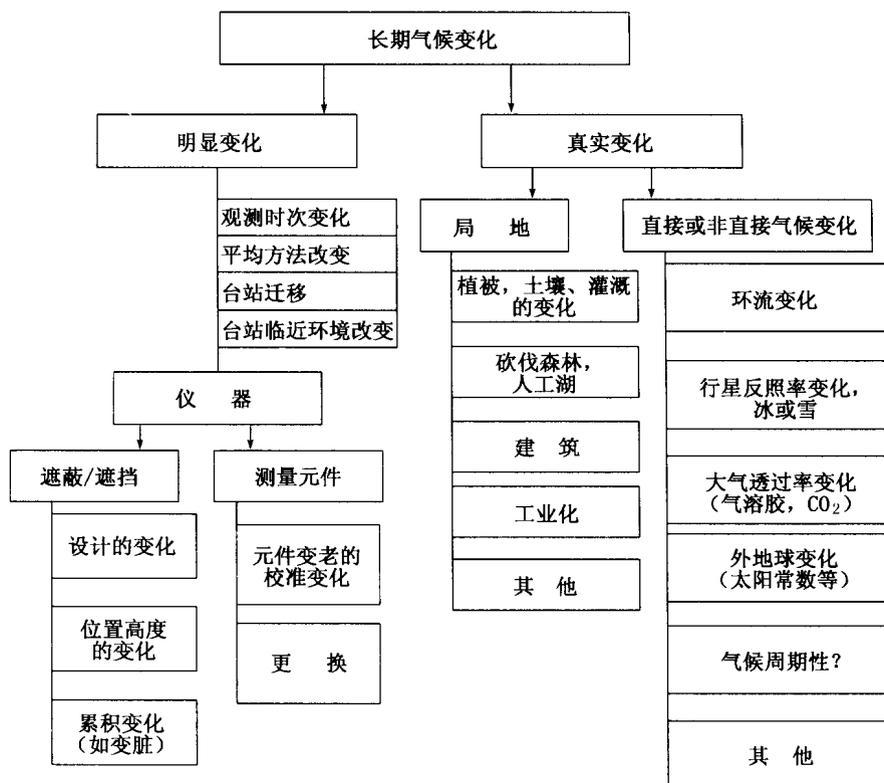


图 1 导致长期气候变化的因子(Heino,1997)^[5]

2 国外对气候序列均一性研究方法

2.1 均一性检验的直接方法

2.1.1 元数据(Metadata)的应用

在所有的均一性技术中最常用的信息来自于台站历史元数据文件。台站迁移、仪器变更、仪器故障、新的计算平均公式、台站周围的环境变化如建筑和植被情况、新的观测者、观测次数变化以及仪器变化中的仪器比较研究等都是评估均一性的相关信息。这些元数据可以在台站纪录、气象年册、原始观测表、台站检查报告及通信以及不同的技术手册中找到,元数据还可以同台站操作人员的交谈会见中获得。元数据包含的特殊信息和观测数据是非常相关的,并且可以提供给研究者关于不均一发生的精

两种:明显变化和真实变化,其中明显变化就是我们这里提到的导致气候资料非均一的因素。我们要得到的就是去除了明显变化的气候的真实变化,也就是通常所说的所谓均一性气候序列所反映的气候变化特征。

确时间以及造成不均一的原因。

2.1.2 仪器的平行比较及统计研究

根据各国的实际情况,仪器类型改变时常采用不同仪器的平行比较观测。理想状况下是在每一个台站均作这样的比较,以便新旧仪器之间有交替的时间序列,但实际上通常是只在有限数量的台站作比较。例如,挪威全国有 20 个台站对有、无遮挡的雨量器的差异作了比较^[6]。平行观测比较必须持续至少一整年,这是为了评估不同仪器之间季节变率的差异,有些比较甚至延续了几十年。例如,在 Stevenson 百叶箱里以 Glaisher 标准的温度测量仪器就用了 60 年以上^[7]。在我国,仪器的平行比较观测已经在仪器更替和换型工作中应用,并已取得一定的效果。

仪器平行比较观测所得到的气象资料要纳入统一的观测数据集,就必须进行统计研究。

一个典型例子是:针对美国的温度观测仪器从在木棉地有遮挡(CRS)的液体玻璃管(LIG)温度计到一个新的电热调节器最高、最低温度系统(MMTS)的变化,Quayle等(1991)利用台站元数据判断哪些台站保留 CRS 不变,哪些台站以采用 MMTS 作为惟一的变化(例如同时没有主要的变址);对于每个 MMTS 台站的 CRS 最高相关的 5 个台站被用来建立对每个 MMTS 的局地 CRS 台站序列;在建立起每个 MMTS 台站的 MMTS - CRS 时间序列后,对研究中上百个 MMTS - CRS 序列作平均,利用了 MMTS 安装月份的所有台站可得到的资料,这样就平滑了单个台站的噪声但保留了仪器变化的平均影响。有意思的是,检查结果显示:从采取 MMTS 之前到之后的时间延续了几个月。这些是由于元数据显示的变化日期的不准确。像这样许多台站的平均可能形成一个明显的显示不连续的平均幅度的信号。然而,这仅仅是区域平均,而单个台站的确切的影响则在某种程度上依赖于局地环境或气候因子。

2.2 均一性检验的间接方法

2.2.1 利用单站资料

台站资料适用于大部分均一性检验技术,但必须是与元数据或与相邻台站联系在一起。仅利用单个台站的资料是有问题的,因为当检测到的变化(或无变化)可能是由于实际气候变化造成(或被之所掩盖)。然而,有一些独立的台站周围并没有足够的台站,这样就必须要求单个台站的资料更可靠。另外,当元数据不精确时,还必须用台站资料来确定变化时间,当尽可能的要素都可取得时则最好(例如气压的变化常常比降水资料更好地确定出迁移时间)。

Zurbenko^[8]将一个滤波器应用于单个台站资料来确定不连续时间,这个过程是迭代的,它可以平滑掉时间序列的噪声而保留作为明显的断点的不连续性;Rhoades 和 Salinger^[9]也提出了一些统计程序均一化单个台站的资料。虽然对不连续点的调整必须要求更加主观,但很多的图形和分析技巧对于均一性调整也是有帮助的,例如图形分析、利用在平均间隔上的年及年内差异的简单统计检验,以及由元数据检验出的不连续的时间序列判断最明显的变化断点的验证程序,这些程序为均一性研究提供了采取

调整的原则。

2.2.2 构造参照序列

台站的时间序列的变化可能显示不均一性,但也可能仅显示局地气候的一个突变。为了把这两者分离,许多检验技术应用了临近台站的资料作为局地气候的显示器。把任何显著不同于局地气候讯号的假定认为是不连续。在均一性检验工作中,直接利用临近台站的资料或利用台站资料发展一个参照序列在许多方法中得到应用。

建立参考台站的时间序列的方法是非常重要的,并且需要对站网和调整方法有充分了解,这主要是因为通常情况下我们不能提前估计台站序列的均一性对于参考序列的作用。

在一些情况下,可以利用元数据来判断哪些临近台站在特定时段内是均一的。Potter^[10]建立了一个 19 个站的站网的参考序列,对观测时间相同的其他 18 个站的平均作为每一个待检台站的参考序列。在经过均一性检验,去除那些含有非均一性的台站后,用相同的方法重新建立了一个新的参考序列。

利用含有未知的非均一性的序列建立一个完全均一的参考序列是不可能的,但采用一些技术可以减小参考序列中潜在的不均一性。首先是找寻相关性最好的临近台站,对第一差分序列($FD_i = T_{i+1} - T_i$)作相关分析。比如,温度计的改变将只改变第一差分序列中的当年值,而对于原始数据,这样的变化将改变所有后面的年份的值^[11]。第二建立第一差分参考序列的最小化技术是计算不包括待检年份数据的相关系数。这样,如果某一年待检序列的第一差分值如果因为不连续而异常的话,当年的第一差分参考序列值的确定将完全不受该不连续点的影响。在建立每年的第一差分分值时,采取一种多元随机块置换检验(MRBP)^[12],利用周围 5 个最高相关的台站的途径有足够的资料准确地模拟待检序列,以至于由于随机性导致的相似性的可能性小于 0.01;另一个减小参考序列的非均一性方法——Peterson 和 Easterling^[12]技术利用了 5 个最高相关的中心的 3 个值来构造第一个差分序列的资料点。当然别的一些技术,比如 PCA,也可以产生非常好的参考序列。当临近台站资料在许多均一性调整途径时,当那些资料都不够好的时候,就要进行多次调整。

2.2.3 主观方法

主观调整^[13]在众多的调整方法中是一个很重

要的工具,因为它可以解决很多不能用程序实现的因子权重的因素。例如,当看到一个图形输出揭示一个台站时间序列,一个临近台站的序列和一个差异序列(待检-临近)时,主观的均一性评估就取决于台站序列之间的相关、通过序列方差比较体现的明显不连续的幅度、临近台站的资料质量、其他相关的信息以及可得到的元数据的可信度等。主观调整在台站资料的内部检查和当某种因素(比如元数据)的可信度变化时尤其有用。

流量对照分析^[14]可以作为一个对主观评价的补充。一个流量对照曲线图画出了一个临近台站的累计和与待检台站的累计和的对照。许多流量分析图都是粗略地为直线,所以一个新的倾斜度突然变化则表示不连续,缺点是它不能认定是因为待检序列还是临近台站的序列发生不连续。为了解决这个问题,Rhoades 和 Salinger(1993)同时画出了临近一些台站的平行累计和(CUSUM)曲线。

2.2.4 客观方法

所谓客观方法就是采取一定的数学方法使得序列中不连续点在统计上体现出来。目前国外经常采用的一些检验方法:第一步为滤波,这样去除系统的气候可变性和变化;第二步应用一些随机性检验来通过或拒绝它的随机性或趋势的存在与否;最近还提出了一些更复杂的方法,主要是针对多个断点的检验,这些检验方法主要是基于最大似然原理。下面是国外许多研究者发展(大致按提出的时间先后)的一系列具体的研究气候序列均一性的方法^[15]。

(1) Craddock 检验。由 Craddock^[16]发展,虽然有时足够长均一的子段是充分的,这个检验仍需要一个均一的参考序列。Craddock 检验根据下列公式计算了参考序列和待检序列的正态化差异序列:

$$s_i = s_{i-1} + a_i(b_m/a_m) - b_i \quad (1)$$

式(1)中 a 是均一性的参考序列, b 是待检序列, a_m 和 b_m 是整个序列的平均值。如果检验的气候元素变为 0(或接近 0)它必须用一个附加常数来转换,以避免被 0 除。对于温度,则可以通过用绝对温标 K 代替摄氏度。

(2) t 检验。通常的 Student's t 检验也被用于检验均一性。例如,这种检验方法已经被挪威气象研究所(DNMI)用于温度时间序列,该序列中元数据已经显示一个主要变化的时间。

(3) Potter 方法。Potter(1981)应用这种技术

对待检台站序列的降水比率序列和复合的参考序列进行了检查。Potter 方法是对原假设——整个序列具有相同的双变量正态分布和可变假设——检验年份之前、后具有不同的分布之间的最大似然比率的显著性检验,这种双变量检验和流量对照曲线分析非常相似。一部分检验统计取决于时间序列的所有点而另一部分仅取决于在有问题的点之前的点,统计量值的最大值点的次年即为台站时间序列的均值不连续点。Plummer 等(1995)利用 Potter 方法来形成一个对每个资料值的检验统计和对资料值的最大可能抵消或调整的评估。

(4) SNHT 方法。Alexandersson^[17]发展了广泛应用的 SNHT 方法。现在用这种方法不仅可以检验不止一个断点的情况以及除了跳点以外对趋势的均一性检验,还包括了方差的变化^[18]情况。像 Potter 方法一样,SNHT 方法也是一种最大似然检验方法。这个检验是针对待检序列和参考序列的比率或差值序列的。首先序列被正态化,在最简单的形式下,SNHT 统计检验量是 T_v 的最大值:

$$T_v = v|\bar{Z}_1|^2 + (n-v)|\bar{Z}_2|^2 \quad (2)$$

式(2)中 \bar{Z}_1 是 1 到 v 的平均值, \bar{Z}_2 是 $v+1$ 到 n 的平均值。

(5) 二位相回归。Solow^[19]描述了一种通过在一个二位相回归中确定变点来检验时间序列的趋势变化的技术,被检验的年前、后的回归线强迫在该点会合。因为仪器变化可能导致跳跃点,Easterling 和 Peterson^[20,21]发展了这一技术,之后称为 E-P 技术,使得回归线不强迫在该点会合,而在被检验年份的前后的差异序列(待检-参考)都用线性回归来拟合。

这个检验对所有年的时间序列进行重复(每一段至少 5 年),最小残差平方和的年份被认为是潜在不连续的年份,同时也计算了整个时间序列的单独回归的残差平方和。利用:①用两个残差平方和的最大似然比例统计;②用 Student's t 检验不连续点前后序列的平均值差异,以此来检验两个位相的回归拟合的显著性。

如果不连续认为是显著的,时间序列在该年被分为两部分,每一小段同样地检验。这种进一步划分延续到时间序列没有不连续点或序列长度太短为止(小于 10 年)。每一个确定的不连续点用一个多响应置换程序(MRPP; Mielke)^[11]进一步检验,MRPP 检验是无参数的,通过比较每一组成员之间

的欧氏距离和两组中所有成员之间的距离, 返回一个这样的可能性, 即由随机性产生的两个组区别更大。这两组在不连续点的每一边是 12 年窗口, 这个窗在第二个潜在不连续点处被截断。如果不连续达到 95% 的显著性水平 ($\alpha = 0.05$), 则认为是真正的不连续。应用到不连续点之前的所有资料点的调整值就是(台站 - 参考台站) 的差异序列的两个窗的平均值之差。

(6) 序列均一性的多元分析(MASH)。该方法由匈牙利气象局的 Szenti mrey(1994 ~ 1996 年) 发展的, 它也没有假定参考序列是均一的, 可能的断点或转折点可能被检测出来, 然后通过相同气候区域相互的比较进行调整。待检序列是从所有可得到的序列中选出来的, 其余的序列就成了参考序列, 这些众多序列的作用在程序中一步步改变。针对不同气候要素, 应用加法或乘法模式, 乘法模式也可以通过取对数转化为加法模式。

差异序列是由待检序列和权重参考序列构成的, 最佳的权重是由最小化差异序列的方差来决定的。为了增加统计检验的效率, 假设待检序列就是所有的差异序列中惟一的普通序列, 在所有差异序列中检测到的断点就认为是待检序列中的断点。

新发展的一种多元断点检验程序考虑了显著性和效率。显著性和效率分别根据与两类不连续点有关的常规统计公式量化计算。这个检验不仅得到评估的断点和转折值, 还得到相应的显著性间隔。可以利用这些点和间隔评估对序列做出调整。

(7) 等级顺序变点检验。由于利用一个对时间序列等级值的检验具有不会显著地受到外界的相反影响 Lanzante^[22]描述了这样一个和 Wilcoxon-Mann-Whitney 检验相关的无参数检验。这种检验利用的统计量在每一点都计算了基于从开始到有问题的点等级之和。首先是判断时间序列中每一点的等级, 然后形成一个等级的和的序列(SR_i); 下一步对长度为 n 的序列计算一个调整和(SA_i): $SA_i = |2SR_i - i(n+1)|$ 。除了最后一个点, SA_i 的最大值被认为是可能不连续点。如果记为 x , 则统计量:

$$z = \frac{[SR_x - x(n+1)/2 + d]}{[x(n-x)(n+1)/12]^{0.5}} \quad (3)$$

式(3)中 d 为一个经验值, 如 $SR_x = x(n+1)/2$ 则 $d = 0$; 如 $SR_x < x(n+1)/2$ 则 $d = 0.5$; 如 $SR_x > x(n+1)/2$ 则 $d = -0.5$ 。如果 $x > 10$ 并且 $(n-x)$

> 10 , 即不连续点前后至少有 10 年资料, 那么利用一个正态概率表的双尾检验可以用来评估统计量的显著性。

(8) Caussinus-Mestre 技术。Caussinus-Mestre 方法同时集检验未知数量的多断点和构造均一的参考序列于一体。它是基于这样两个前提: ①两个断点之间的时间序列是均一, ②这些均一的子序列可以用作参考序列。单个序列在相同的气候区域同别的序列比较以产生差值(温度、气压)或比值(降水)序列, 然后检验这些差值或比值序列的不连续性。当一个检验的断点在整个待检站和周围站比较的过程中都保持不变时, 这个断点就认为存在于待检台站的时间序列中。

(9) 多元线性回归。在加拿大, 由 Vincent^[23]发展了一个基于多元线性回归的新方法来检验温度序列中的跳跃和趋势。这个技术是基于应用一个回归模型来确定被检验的序列是否均一、有一个趋势、一个单独的跳跃或(在跳跃点前和/或后)趋势。这里, 非独立的变量是待检台站序列, 独立变量是许多周围台站的序列。额外的独立变量用来描述或衡量存在于检验序列中的趋势或跳跃。为了确定跳跃点的位置, 在不同时间位置应用第三个模式, 提供了最小残差平方和的位置点, 它代表检验时间序列中最可能跳跃点的位置。

3 国外气候序列均一性研究进展

3.1 美国 NOAA

(1) USHCN(U S Historical Climate Network), 在对原始数据质量控制的基础上, 首先针对温度观测时次的影响因素作一个调整; 第二步利用一定的偏差对引入 MMTS 应用一个预先校准, 这一步校准主要针对观测仪器的变化(Qualye)^[21]; 第三步根据台站历史迁移情况, 利用统计技术和参考序列对温度和降水进行调整(Karl 和 Williams)^[24]; 最后利用一个回归框架利用人口作为预报因子, 对城市热岛的影响进行调整。

(2) GHCN(Global Historical Climate Network), 采用 E-P 方法对全球气温、降水、气压进行了统一的均一性检验、订正(其中气温 6000 站, 降水 7500 站, 气压 2000 站)。

3.2 澳大利亚

(1) 采用 E-P 方法, 对平均最低、最高气温以

及日温度较差(DTR)进行了检验、订正。(2)采用 Potter 检验,在每个台站和其周围台站之间进行,应用于澳大利亚的降水资料。

3.3 奥地利

应用元数据和 Craddock 检验的结合成功地检验了一个较密集(平均距离 40km)的温度和降水台站网络。

3.4 加拿大

利用多元线性回归方法分别检验了年平均最高气温和最低气温并进行了相应的调整,利用元数据本身对日雨量和雪量资料进行了均一化调整。

3.5 芬兰

采用 SNHT 方法和元数据结合,对年温度和降水序列进行检验,并发展了订正方法。

3.6 新西兰和太平洋群岛

采用 CUSUM 和 t 检验,其特点是针对岛屿台站,没有临近台站可用的情况下。

3.7 挪威和瑞典

采用 SNHT 方法分别对本国的气候资料进行了类似研究。

由上面的总结可以看到,各个国家都是根据本国的具体情况,采用数学方法和台站元数据结合的原则,对本国的气候数据均一性进行研究,并通过调整得到本国的均一性的气候数据集。

4 我国气候资料序列均一性研究概况

为了研究我国气候资料序列均一性,首先应该对我国气象台站的历史沿革有一个充分了解,我们对我国的基本、基准气象观测站作了一个粗略地调查。调查的范围有全国基本站:535个;基准站:136个。在我国,1951年以来未迁移的基本基准站共 189(28%)个,迁移 1 次的 206(31%)站,迁移 2 次以上的有 276(41%)站(图 2)。

在仪器变化方面,气温、降水、风等最常用的要素,观测仪器也发生过多变化,探空仪器也有过重变化,20 世纪 60 年代从 RZ-049 型仪器向 GZZ-2 型探空仪器的更换;从 1966 年 1 月 1 日起统一开始对仪器进行辐射订正。

我国观测台站的迁移、仪器的变化等因素究竟对长气候数据产生多大影响,是否会造成气候序列的非均一,是我国气候资料研究工作者十分关心的问题,因此气候资料序列的非均一检验是必要的。

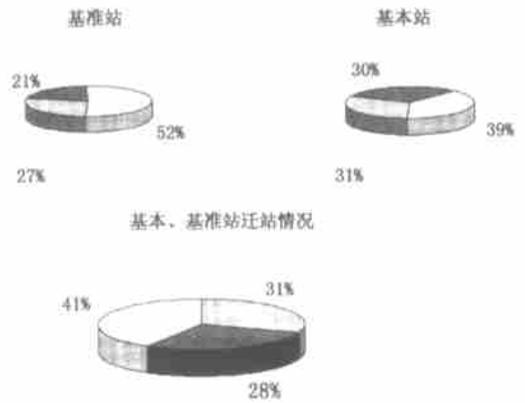


图 2 我国 1951 年以来基本和基准站台站迁移情况 (由浅到深分别是迁站 2 次以上,迁 1 次以及未迁站个数所占百分比)

我国气候资料均一性研究工作起步较晚,刘小宁等^[25]、宋超辉等^[26]分别针对年降水量和平均温度序列的均一性检验方法作了一些总结,并利用这些方法对我国的部分台站的年降水量以及温度序列进行了一些实用性实验,取得了一些有益的结论。翟盘茂^[27,28]采用美国 NCDC 的 Easterling 和 Peterson 等人的均一性检验手段对我国的探空和湿度资料进行了均一性检验,得出 20 世纪 60 年代我国探空序列存在明显的不均一的结论,并进一步指出,这种不均一性是和探空仪的变换和辐射订正相联系的,在此基础上,翟盘茂还对以上资料进行了订正和调整。刘小宁^[29,30]采用 SNHT 方法对我国部分站的年平均风速进行了检验,结果表明:约有 20.1% 的站的年平均风速资料有间断,而间断的年资料中由于仪器变化导致间断的占 67.1%,因迁站而间断的占 15.7%,还有 17.1% 的间断原因不明;而在由于仪器变化导致间断的站中,又有换型(占 17%)、更换仪器(53.2%)和仪器高度变化间断(29.8%)。最近,严中伟^[31]讨论了北京、上海两站的平均气温和平均最高、最低气温对于估算两地温度变化趋势的影响。

从国内已有的工作看来,主要集中于气候资料的均一性检验,采用的方法主要是标准正态检验(SNHT)、回归法、双质量分析法等一些理论方法,主要针对一些气候资料的年值进行了初步的检验工作。但这些工作对于大型的气候数据集的各种实际处理没有作太多的考虑,因此加强这方面的研究工作,对于我国的气象资料处理和管理业务水平的提高,具有重要的意义。

5 总结与讨论

5.1 要重视尽可能详尽的元数据收集

元数据的有利条件是它包含的特殊信息是和序列非均一性非常相关,并且可以给研究者提供关于不均一发生的精确时间以及造成不均一的原因。不幸的是,元数据往往不完备,丢失或实际有错(比如在变化发生后若干年后凭工作人员的记忆完成的)。甚至在挪威,即使有了较好的至少向前延续到19、20世纪之交的元数据,Forland 还是发现一些重要变化在检查报告中并未正确地报告出;有时在正确解释元数据中也会遇到问题(例如1880年的经度或纬度的变化可能更多归因于调查方法的改进而不是单站的移动)。

台站历史元数据的最大的问题是从一个可用的表格中为了检验不连续点而获得相关的信息,一些元数据源里面包含大量不相关的信息,从大量信息里面抽取重要的部分是相当费时和乏味的。然而,一些国家或机构已经将它们选定台站或选定时段的元数据数字化。虽然费时,但最后提供给研究人员存取的台站历史信息,不需要费时地通过纸质档案逐个台站搜索。一旦数字化后,这些元数据就可以通过总分析表、相关数据基础(例如美国)进行存取(例如澳大利亚),对于北大西洋气候资料集(NACD),一些欧洲国家之间达成了共同的元数据结构以至于元数据可以在部门之间共享。

元数据包含了大量的影响气候变化的信息,观测场地的草地变化、台站周围环境、台站所处的位置变动、台站所处城市的发展等,这一切都可能导致气候序列不均一的产生,因此尽可能详尽的元数据的收集,是均一性研究的重要基础环节。

正是因为元数据在气象数据均一性研究中的重要作用,因此尽可能收集完备的元数据资料就成为均一性研究的重要基础工作之一。

5.2 要充分尊重实际观测数据的参考作用

观测数据是气候分析的第一手资料,尽管存在以上的种种不均一性的情况,但我们仍然不能否认观测数据的参考作用。我们调整资料非均一性,并不等于完全否定观测数据的作用,我们的目的是,尽可能去除气候序列非均一性影响因子,使得订正后的序列只包含纯粹的“真实”气候变化信息,但这种“真实性”正如前面所述只能是相对的,比如前面把

气象台站周围环境变化作为非均一性的影响因子之一,比如城市热岛效应,从非均一性的影响来说,它对气候序列的均一性有影响,而从小气候变化的角度,它又反映了局地气候的真实情况,所以,要全面了解气候变化特征,就必须充分尊重观测数据的参考作用。

5.3 在作均一性调整时要充分考虑区域性气候变化

气候序列均一性检验和订正的关键点在于构造一个能够反映台站所处地区的“真实”的气候变化特征的均一的参考序列,然而如前所述,这也是一种理想状态。一般说,这个序列的选取,主要是依靠临近台站的观测资料对所检验和订正的台站序列进行插补,但如果附近台站的气候特征和所研究的台站的气候特征完全一致,那么这样插补出来的参考序列就能够代表该站的气候实际,但事实上这也是不可能的,临近台站的气候最多能“大体”代表所研究台站的气候特征。另外,我们所采用的资料站点之间的距离往往是比较大的(一般在100km尺度以上),特别是在西部高原地区,台站之间距离往往更大,因此“距离最近”的台站也许和研究的台站的气候特征非常不一致(尤其是降水等气象要素),而其他的距离稍远点的台站反而可能会相似,所以在选取参考台站时不仅要考虑距离的影响,还要把相关性考虑在内。这样可以避免区域性局地气候变化的因素, Peterson 等人(1994)在建立参考序列时还引入了多变量随机排列检验(MRBP),来解决那些由于参考站和所研究台站因时间短而偶然出现高相关的情况,这样就更加合理和可靠了。

5.4 研究气候资料均一性必须从主、客观途径进行

从前面的总结可以看出,研究气候序列均一性有两个基本途径,一个是根据台站的历史沿革直接对所研究的台站的序列作订正,这种途径往往是比较可靠的,但问题是台站沿革文档很多时候不可取得,或者是语焉不详,不够完备。因此,完全依赖主观的途径,恐怕还是不够全面;从客观的途径检验气候序列的均一性的方法越来越得到大家的注意,它已经成为这方面研究的主要手段,但是完全依赖数学方法的结果又缺乏充分的说服力。因此笔者认为,主、客观手段的结合,气候序列均一性研究的结果才能更加可靠和合理。

致谢:国家气候中心翟盘茂研究员和美国国家气候资料中心的 Thomas. C. Peterson 博士对本工作给予了指点和帮

助,其中概述部分一些段落是根据 Peterson 博士原文翻译整理而成,谨致谢忱。

参考文献

- 1 Bradley R S, Kelly P M, Jones P D, et al. A Climatic Data Bank for Northern Hemisphere Land Areas, 1851 - 1980, TRO17, Department of Energy, Washington, 1985, 335
- 2 Quayle R G, Easterling D R, Karl T R, et al. Effects of recent thermometer changes in the cooperative station network. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1991, 72: 1718 - 1724
- 3 Chenoweth M. A possible discontinuity in the U. S. historical temperature record. *J. Climate*, 1992, 5: 1172 - 1179
- 4 Karl T R, Diaz H F and Kukla G. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *J. Climate*, 1988, 1: 1099 - 1123
- 5 Raino Heino. 1996, Metadata and their role in homogeneity. In: Proceedings of the First Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, 1997, 5 - 8
- 6 Førland E J, Allerup P, Dahlström B, et al. Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data. *DNMI - Reports* 1996, 24: 66
- 7 Nicholls N, Tapp R, Burrows K, et al. Historical thermometer exposures in Australia. *Int. J. Climatol.*, 1996, 16: 705 - 710
- 8 Zurbenko I, Porter P S, Rao S T, et al. Detecting discontinuities in time series of upper air data: Development and demonstration of an adaptive filter technique. *J. Climate*, 1996, 9: 3548 - 3560
- 9 Rhoades D A and Salinger M J. Adjustment of temperature and rainfall records for site changes. *Int. J. Climatol.*, 1993, 13: 899 - 913
- 10 Potter K W. Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, 109: 2040 - 2045
- 11 Mielke P W. The application of multivariate permutation methods based on distance functions in the earth sciences. *Earth - Sci. Rev.*, 1991, 31: 55 - 71
- 12 Peterson T C and Easterling D R. Creation of homogeneous composite climatological reference series. *Int. J. Climatol.*, 1994, 14: 671 - 679
- 13 Plummer N, Lin Z and Torok S. Trends in the diurnal temperature range over Australia since 1951. *Atmos. Res.*, 1995, 37: 79 - 86
- 14 Kohler M A. Double - mass analysis for testing the consistency of records and for making adjustments. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1949, 30: 188 - 189
- 15 T C Peterson, Easterling D R, et al. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatol.*, 1998, 18: 1493 - 1517
- 16 Craddock J M. Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes. *Weather*, 1979, 34: 332 - 346
- 17 Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data. *Int. J. Climatol.*, 1986, 6: 661 - 675
- 18 Alexandersson H and Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data, Part I: A homogeneity test for linear trends. *Int. J. Climatol.*, 1997, 17: 25 - 34
- 19 Solow A. Testing for climatic change: an application of the two-phase regression model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1987, 26: 1401 - 1405
- 20 Easterling D R and Peterson T C. A new method for detecting and adjusting for undocumented discontinuities in climatological time series. *Int. J. Climatol.*, 1995a, 15: 369 - 377
- 21 Easterling D R and Peterson T C. The effect of artificial discontinuities on recent trends in minimum and maximum temperatures. *Atmos. Res.*, 1995b, 37: 19 - 26.
- 22 Lanzante J R. Resistant, robust and nonparametric techniques for the analysis of climate data. Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *Int. J. Climatol.*, 1996, 16: 1197 - 1226
- 23 Vincent L. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Climate*, 1998, 11: 1094 - 1104
- 24 Karl T R and Williams C N Jr. An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities. *J. Climate Appl. Meteorol.*, 1987, 26: 1744 - 1763
- 25 刘小宁, 孙安健. 年降水量序列非均一性检验方法探讨. *气象*, 1995, 21(8): 3 - 6
- 26 宋超辉, 刘小宁, 李集明. 气温序列非均一性检验方法的研究. *应用气象学报*, 1995, 6(3): 289 - 296
- 27 Zhai P - M and Eskridge R E. Analysis of inhomogeneities in radiosonde and humidity time series. *Int. J. Climatol.*, 1996, 9(6): 884 - 894
- 28 翟盘茂. 中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题. *气象学报*, 1997, 55(5): 563 - 572
- 29 刘小宁. 我国 40 年年平均风速的均一性检验. *应用气象学报*, 2000, 11(2): 27 - 34
- 30 刘小宁. 我国气候序列非均一性检验的进展. *国家气象中心科技年报(A册)*, 2000
- 31 Yan Zhongwei, Yang Chi, Jones P. Influence of inhomogeneity on the estimation of mean and extreme temperature trends in Beijing and Shanghai. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18(3): 309 - 321

(下转 22 页)

HOMOGENEITY STUDY OF IN SITU OBSERVATIONAL CLIMATE SERIES

Li Qingxiang^{1,2} Liu Xiaoning¹ Zhang Hongzheng¹ Tu Qipu²

(1 Division of Meteorological Data , National Meteorological Center , Beijing 100081 , China)

(2 Key Laboratory of Meteorology & Environment of Jiangsu Province , Nanjing 210044 , China)

Abstract: The factors causing inhomogeneities and the techniques of identifying inhomogeneities and adjusting climate series developed by the native and foreign climatologists are discussed. The progress of the homogeneity study of the national or regional climate data in respective countries are summarized. A summary of the relocations of the stations and the changes of the instruments in China during 1951 - 2001 is given. The conclusions on the homogeneity study of Chinese climate data are reviewed, and some discussions and suggestions on homogeneity study of meteorological data are presented.

Key words: climate change, climate series, homogeneity, testing and adjusting techniques