

刘佳, 马振峰, 范广洲, 等. 多种均一性检验方法比较研究[J]. 气象, 2012, 38(9): 1121-1128.

多种均一性检验方法比较研究^{* 1}

刘 佳^{1,2} 马振峰¹ 范广洲² 游 泳¹

1 四川省气候中心, 成都 610071

2 成都信息工程学院, 成都 610225

提 要: 气候资料的均一性检验对气候观测及变化研究有着重要作用。本文从四川省 160 个台站近 50 年气温资料中, 选取具有连续观测记录的站点 105 个, 综合 SNHT(标准正态均一性检验)、Buishand 检验、Pettitt 检验、MASH(均一性序列多元分析)、TPR(二位相回归检验)和 von Neumann 比率法, 对该省年平均气温进行均一性检验。结果表明有 42 个台站存在序列间断点, 占 40%; 而不均一台站中, 因迁站导致的有 29 个, 更换仪器引起的有 19 个。对气温序列分年代统计发现不均一台站数目有增加的趋势, 其中 20 世纪 60—70 和 80—90 年代不均一性均由台站迁移所致。评估不同检验方法的敏感度和适用性, 发现 SNHT 法与 Buishand 法、Pettitt 法检验结果相符率为 48.6%, TPR 法与其他方法相符率偏低, 但该方法不涉及邻近站是否均一, 在分析中可做补充判断。参考四川省地形特征分析, SNHT 法在盆地及山地台站的断点显露率最高, 分别为 67.6% 和 57.1%, 漏检和误判较少; 高原地区 SNHT 法和 Buishand 法显露率较高, 其中 Buishand 法漏检和误判率最低。鉴于减小对元数据依赖度的均一化检验思路, 应采用多种检验方法综合, 有助于气候资料在区域气候变化研究中的有效利用。

关键词: 气候序列, 均一性检验, 间断点, 敏感度, 相符率

Research on the Comparison of Different Homogeneity Test Methods

LIU Jia^{1,2} MA Zhenfeng¹ FAN Guangzhou² YOU Yong¹

1 Sichuan Climatic Research Centre, Chengdu 610071

2 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

Abstract: Homogenization of climate observations remains a challenge to climate change research. To examine the influence of metadata on homogenizing climate data, the authors applied many test methods including SHNT (standard normal homogeneity test), Buishand test, Pettitt test, MASH (multiple analysis of series for homogenization), TPR (two-phase regression), and Von Neumann ratio test to the Sichuan annual temperature series during 1960–2009. The results show that there are 42 stations existing discontinuity, about 40%; in the inhomogeneous stations, 29 were caused by station migration, and 19 caused by the replacement of equipment. The heterogeneity of the station was increasing during 1960s–1970s, 1980s–1990s and after 2000, and most breakpoints were caused by migration. Analyzing and assessing the sensitivity and applicability of the test methods show that, 48.6% of the SNHT test results were consistent with Buishand and Pettitt, and TPR method which does not involve adjacent stations was consistent with other methods in a low rate. In reference to the topography of Sichuan, it is found that SNHT makes the breakpoint being revealed with the highest rate in the basin and mountain stations, reaching 67.6% and 57.1%, and the missed rate and false positives were low. SNHT and Buishand methods make the break-

* 中国气象局 2010 年气候变化专项(ccfs-2010)资助

2011 年 6 月 18 日收稿; 2012 年 3 月 16 日收修定稿

第一作者: 刘佳, 主要从事短期气候诊断. Email: liujia851229@163.com

point being revealed with the highest rate in plateau stations, and the missed rate and false positives were low with Buishand. Therefore, in view of reducing dependence on metadata, the homogenization test with the integrated application of variety test methods should contribute to climate change research effectively.

Key words: climatic time series, homogeneity test, breakpoint, sensitivity, matching rate

引 言

随着全球气候变暖,气候要素序列的均一性检验愈来愈受到科学家的关注^[1-5]。所谓均一性序列,是指测站得到的气象记录序列仅仅是气候实际变化的反映^[6]。然而大多数气候要素序列都受到非气候因素的影响,包括台站迁移、仪器变更和台站环境改变等^[7]。利用这些非均一性气候序列分析气候变化,可能导致非真实结论,进而影响气候研究以及业务工作的开展。

国外均一性研究起步较早。自 Mitchell 在 1966 年首次提出均一性检验后, Alexandersson 等^[8]、Solow^[9]、Lund 等^[10]相继发展了 SNHT、TPR、Potter 等均一性检验方法,并用于北美和欧洲气候数据处理。Slonosky 等^[11]和 Wijngaard 等^[12]利用 Buishand、Pettitt、von Neumann 方法检验 ECA 日平均气温、降水和气压数据的均一性。国内,气象资料的均一性检验和订正工作也逐渐受到学者的关注,刘小宁^[13-14]、田红^[15]、吴利红^[16]和宋超辉等^[17]总结了气候资料序列的均一性检验方法,并应用于我国部分台站气温和降水序列。李庆祥等^[18]、李庆祥^[19]和高理^[20]利用多种方法对中国东南部地区气候序列进行了均一性

检验,力求减少对台站沿革数据的依赖。

以往均一性检验主要集中在我国东部地区,对西南区域气候资料研究较少。四川省位于中国西南部,地形复杂多样。根据地形特点,本文将四川省气象台站分为盆地底部地区(99 个),盆地边缘和川西南山地区(14 个),川西北高原区(47 个)(见图 1),利用 SNHT、TPR、Buishand、Pettitt、MASH 和 von Neumann 法对年平均气温序列进行均一性检验,对比检验结果,分析造成非均一性的可能原因,为气候基本资料的衔接和质量控制工作提供参考依据。

1 资料与检验方法

1.1 均一化思路

考虑到四川省 1960 年以来气温资料的相对完整性,本文从 160 个台站 1960—2009 年气温资料中,选取具有连续观测记录 50 年以上的站点 105 个。以周边台站为参考站,选相关系数最高的 5 个台站为待检站,利用比值法构造参考序列 Y_i 。依据 Wijngaard 等^[12]所设定均一性检验思路:通过不同统计方法判断序列的均一性:4 种及 4 种以上方法检验均通过的台站资料为可用,2 种不通过的为可疑,至少 3 种不通过的为不可信。

1.2 方法介绍

本文选取 SNHT、TPR、Buishand、Pettitt、MASH^[21]和 von Neumann 法对年平均气温序列进行均一性检验。各方法原理在文献^[8-12]中已有详细介绍。本文总结各方法具体差异,见表 1。

2 四川省年平均气温序列个例均一性检验分析

以汶川站(56183)为例,6 种方法均以 $\alpha=0.01$ 显著性水平下的临界值检验。图 2 为汶川站年平均

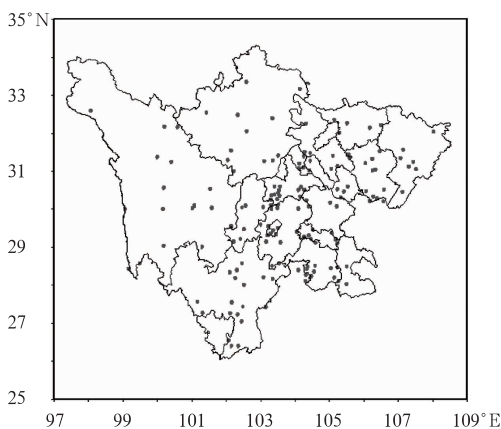


图 1 四川省台站分布图
Fig. 1 Station distribution
in Sichuan Province

表 1 各种检验方法对比

Table 1 Comparison of various test methods

检验方法	基本原理	检验变量的正态性	是否建立参考序列	主要原理公式	断点判断依据	断点年	断点敏感度
SNHT	最大似然法	假设正态	选取相关性高的邻近台站	$Z_i = (Y_i - \bar{Y}) / \sigma_Q$ $T_{\max}^s = \max_{1 \leq a \leq n-1} T^s = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{a \bar{z}_1 + (n-a) \bar{z}_2\}$	T_{\max}^s 大于某临界值水平	提供	待检序列前端和靠近尾部部分
Buishand	距平累加法	假设正态	选取相关性高的邻近台站	$S_0^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})$ $R = (\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^*) / s$	R/\sqrt{n} 大于某临界值水平	提供	待检序列中部
Pettitt	非参数秩检验	秩检验	选取相关性高的邻近台站	r_1, \dots, r_n 是检验序列 Y_1, \dots, Y_n 的秩序列 $X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1)$	X_k 大于某临界值水平	提供	待检序列中部
von Neumann	最大似然法	假设随机分布	选取相关性高的邻近台站	$N = \sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2 / \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	N 值大于某临界值水平	不提供	不适用
MASH	序列均一性的多元分析检验	假设正态	选取相关性高的邻近台站	$Z_c^{(m)}(t) = X_c(t) - \sum_{i \in R_c^{(m)}} w_i \cdot X_i(t),$ $\sum w_i = 1, w_i \geq 0,$ $V(Z_c^{(m)}) = \text{Variance}(Z_c^{(m)}) = \text{minimum}_w$	最优差异序列的统计量大于某临界值	提供	待检序列全部
TPR	线性回归拟合	假设正态	不需要建立	<p>对任一时间点前后的序列进行线性回归模拟</p> $X = \begin{cases} \mu_1 + \alpha_1 t + \epsilon_t, & 1 \leq t \leq c \\ \mu_2 + \alpha_2 t + \epsilon_t, & c \leq t \leq n \end{cases},$ <p>将最小二乘估计 $\begin{cases} \hat{\mu}_1 = \bar{x}_1 - \hat{\alpha}_1 \bar{t}_1 \\ \hat{\mu}_2 = \bar{x}_2 - \hat{\alpha}_2 \bar{t}_2 \end{cases}$</p> <p>调整为</p> $F = \frac{(SSE_{\text{red}} - SSE_{\text{full}}) / 2}{SSE_{\text{full}} / (n - 4)}$ $SSE_{\text{full}} = \sum_{t=1}^c (x_t - \hat{\mu}_1 - \hat{\alpha}_1 t)^2 + \sum_{t=c+1}^n (x_t - \hat{\mu}_2 - \hat{\alpha}_2 t)^2$ $SSE_{\text{red}} = \sum_{t=1}^n (x_t - \hat{\mu}_{\text{red}} - \hat{\alpha}_{\text{red}} t)^2$	$F_{\text{统计值}} >$ F_{max}	提供	待检序列中部

气温采用 SNHT、Buishand 和 Pettitt 法的检验结果。图 3 为采用 TPR 法的检验结果；图 4 为 MASH 软件检验汶川站平均气温构建差异序列的检验结果(von Neumann 法为非定位检验法,不能给出断点所在年份,因此无检验图)。

由图 2 和 3 可知,SNHT、Buishand、Pettitt 和 TPR 法计算出的统计量均未通过 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验。由图 4 及 MASH 软件运行结果可明显得出在 1976 和 1986 年汶川站存在断点和转折。von Neumann 比率法计算出统计量为 0.201

(< 1.36)为均一,6 种方法中有 5 种均检验出该序列存在断点,初步判断汶川站气温序列不均一,断点在 1977 年处。

根据台站沿革资料,1977 年 7 月 1 日,该站由威州镇姜维城“山腰”迁至汶川县城南部边缘处。图 2 和 3 中,统计序列的最大值均出现在 1977 年附近,很可能受 1977 年迁站影响,而图 4 中差异序列 1 和 2 均在 1976 和 1986 年处出现转折,由于 MASH 软件在检验时自动在均一性程序中给予考虑,并优先考虑元数据,元数据质量在程序中可被检

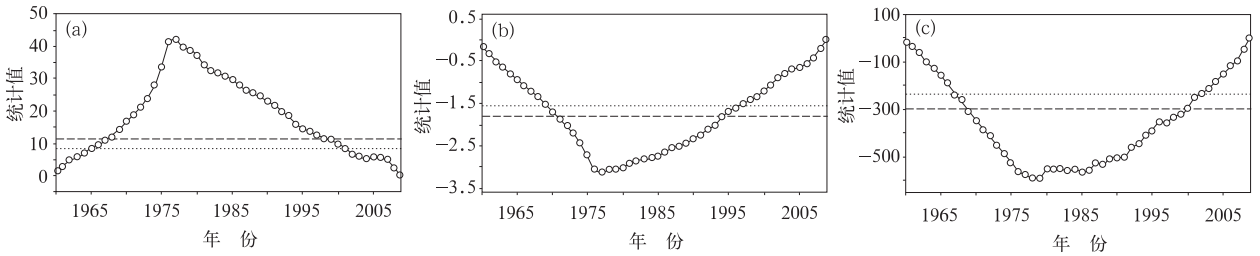


图 2 汶川站 SNHT(a)、Buishand 检验(b)和 Pettitt 检验(c)方法年平均气温的均一性检验图
(虚线为 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验,点线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验)

Fig. 2 The average temperature of Wenchuan Station in the homogeneity test chart by using SNHT (a), Buishand range test (b), and Pettitt test (c)
(Dashed line is the 1% significance level, dotted lines for the 5% significance level)

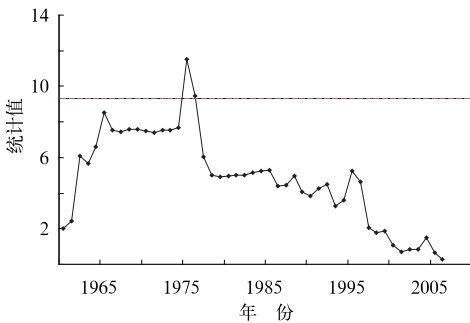


图 3 汶川站 TPR 方法平均气温的均一性检验图

(虚线为 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验)

Fig. 3 The average temperature of Wenchuan Station in the homogeneity test chart by using TPR test
(Dashed line is the 1% significance level)

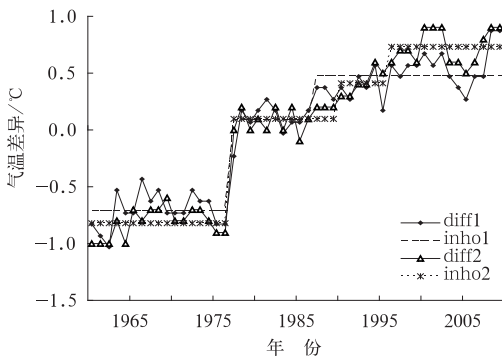


图 4 MASH 检验汶川站平均气温差异序列及其转折值

Fig. 4 The difference series and the shift values identified by MASH for the average temperature of Wenchuan Station

大中型建筑(如建筑物抬升)有关(如 1986 年处的转折),因此元数据不能作为评判气候数据不均一性的唯一完备基础。在以上综合分析基础上,可判断汶川站气温资料具有不均一性。同理,选取不同地形条件下 12 个代表站,分析检验结果见表 2。

3 气温均一性综合检验分析

3.1 断点检验的敏感度

文中所选 6 种方法均要求原假设为独立、同分布,但拒绝假设存在差异:SNHT、Buishand、Pettitt 和 TPR 法假设在平均值上存在逐步转变(即断点),MASH 检验中最优差异序列的统计量通过 Monte Carlo 法与临界值相比来确定断点位置,这 5 种方法检验时可定位断点所在年,为特定位置检验法。von Neumann 法在拒绝假设中设定该序列非随机分布,因此无法给出断点所在年份的信息。此外,SNHT 和 Buishand 法均假设 Y_i 值为正态分布,但 Pettitt 法无此限制,它基于序列中要素的排列方式,并非值本身。Pettitt 法的排列方式使其对“离群点”的敏感度减弱。TPR 法将断点时间作为不可知参数处理,避免 data-dredging^[9]。为进一步说明特定位置检验法对断点敏感度的区别,现将检验结果去掉突变点位于序列前后两年的站点(虚假不连续点)后分年代统计(见图 5),发现 SNHT 和 TPR 法易在序列前端和后端检测断点,Pettitt 法对序列中部断点较敏感,这与 Wijingard 等^[12]的研究结论相符。

3.2 检验结果相符率

为了表征检验结果的相似性,借鉴吴利红^[16]的“相符率”概念,相符率=检验结果相同站数/被检验

验并通过检验统计量来验证。而在元数据中未被记录但被所有方法检测出来的断点,可能与台站周边

表 2 12 个台站不同方法间断序列的统计

Table 2 The statistics of discontinuous series under different methods in 12 stations

地形	站名	各方法检验						Von Neumann 结果	检验不均一方法个数	检验结果	原因
		SNHT 断点年份	Buishand 断点年份	Pettitt 断点年份	TPR 断点年份	MASH 断点年份					
盆地	剑阁	1987	1987	1985	1986	1986	不均一	6	不均一	1987 迁站	
	高坪	无	无	无	1980	1971	均一	2	怀疑	1980 迁站	
	珙县	1979	1979	无	2002	1978	均一	3	不均一	1979 迁站, 2002 仪器变更	
山地	遂宁	2001	2001	无	1999	2001	均一	4	不均一	2001 迁站	
	都江堰	1992	1992	1986	1989	无	均一	3	不均一	原因不明	
	宝兴	2007	无	无	1996	无	均一	1	均一	无迁站, 无仪器变更	
	米易	无	无	无	无	1965、1971	均一	1	均一	无迁站, 无仪器变更	
	石棉	1963	无	无	1963	1964	均一	3	不均一	1963 迁站	
高原	金阳	2006	2006	无	2006	1978、2006	不均一	5	不均一	2006 仪器变更	
	盐源	1977	1977	无	1977	1977	不均一	5	不均一	1977 迁站	
	木里	1990	1990	1989	1989	1989	不均一	6	不均一	1990 迁站	
	乡城	无	无	无	无	无	均一	0	均一	无迁站, 无仪器变更	

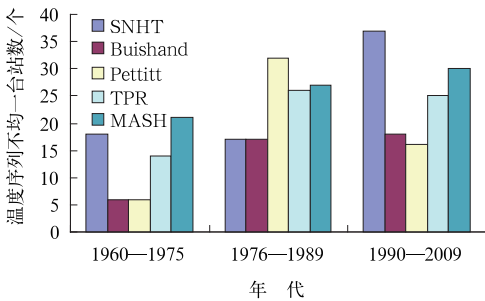


图 5 不同方法检验温度序列断点敏感度
 Fig. 5 The breakpoint sensitivity testing of temperature series in different methods

果相同;3 种方法中 SNHT、Buishand 和 Pettitt 法检验结果相同的台站有 51 个,相符率为 48.6%。可见这 3 种相关性较好,检验结果最为相似。MASH 法假设所有序列都可能存在非均一性变点,通过相同气候区域各站多重比较进行统一检测,对序列的不均一断点及转折点判断较敏感。相较于以上 4 种方法需要建立参考序列,TPR 法则不涉及邻近站是否均一的问题,各台站可以利用该法,独立对自身序列进行均一性检验判断。因此 TPR 法与其他方法相关性较弱,在综合判断时具有补充作用。

3.3 年平均气温序列均一性检验结果

由四川省 105 个站点气温序列的检验结果(见表 4),初步判断 73 个站点可能存在断点,结合台站

站总数。对温度检验结果相符率分析(见表 3),其中 SNHT 与 Buishand 法有 72 个测站的检验结果相同, Pettitt 与 Buishand 法有 73 个测站的检验结

表 3 温度均一性检验结果相符率(单位: %)

Table 3 Matching rate of temperature homogeneity test results (unit: %)

2 种方法之间的相符率	SB	SP	ST	BP	BT	PT	SM	BM	PM	TM
	68.6	44.8	19.0	69.5	22.9	18.1	22.9	15.2	12.4	24.8
3 种方法之间的相符率	SBP	SBT	SBM	SPT	SPM	STM	BPT	BPM	BTM	PTM
	48.6	19.0	14.3	15.2	9.5	9.5	16.2	8.6	8.6	5.7
4 种方法之间的相符率	SBPT	SBPM	SBTM	SPTM	BPTM					
	14.3	8.9	7.6	3.8	4.8					
5 种方法之间的相符率	SBPTM									
	5.7									

表中 S 为 SNHT 法, B 为 Buishand 法, P 为 Pettitt 法, T 为 TPR 法, M 为 MASH 法。

沿革数据发现 43 个可疑台站序列中,有 12 个台站可由迁站或仪器变更信息确定非均一性;其余 31 个断点因无法确定是人为因素造成,而不作为非均一性断点。综上,四川省年平均气温序列通过均一性检验的台站有 32 个,占 30.5%;可疑台站有 31 个,占 29.5%;非均一的有 42 个,占 40.0%(见图 6)。

表 4 四川省年平均气温序列均一性检验结果

Table 4 Homogeneity test results of temperature sequence in Sichuan Province

拒绝原假设的个数	是否通过均一性检验	站数	所占比率
3~6	不通过	30	28.6%
2	可疑	43	41.0%
0~1	通过	32	30.5%

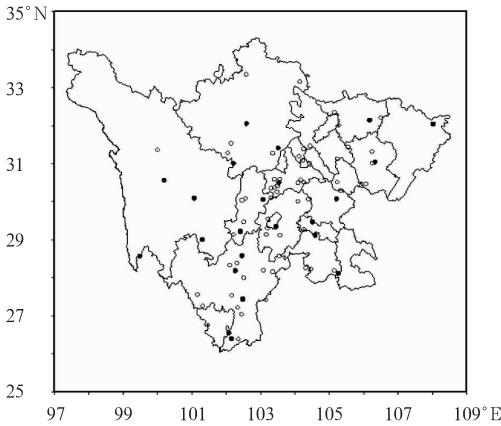


图 6 四川省气温序列通过均一性检验(实心点)和未通过均一性检验(空心点)台站分布图

Fig. 6 Station distribution of the temperature series in Sichuan Province which passed the homogeneity test (dark dots) and not (circles)

分测站类型进行温度均一性检验时发现,基准站有 5 个,无不均一台站;基本站 24 个,均一占 20.8%;一般站 76 个,均一台站占 28.9%。由于四川地形变化明显,气候资料代表的区域范围较为有限。因此,大范围的气候变化研究宜选择代表性范围尽可能大的站点。

借鉴吴利红^[16]对断点原因的分类,本文将非均一性原因作如下定义:间断点与测站迁站时间基本吻合(允许误差 5 年)为迁站原因;由于仪器重新安置而导致资料序列的非均一性为仪器变化原因;其他无明显环境破坏记载,定义为不明原因。联系台站沿革数据,将非均一性台站分类,见表 5。统计发现,迁站对气温序列均一性检验影响很大。在 160 个测站中,1960—2009 年有 111 个台站有迁站史

(占检测站总数的 69.4%),检验因迁站引起的非均一性有 44 个,其中有 33 个站(75%)的“地理环境”变化剧烈,如在“郊区”和“市区”间迁移,以及迁站前后地理环境受城市化影响,由郊区变为“市区”。在迁站后仍为均一的台站中,有 10 个台站迁移前后地理环境相同,如从“郊区”迁移到“郊区”。分年代统计,20 世纪 60—70、80—90 年代以及 2000 年以后不均一台站有增加的趋势,其中 60—70 和 80—90 年代不均一性均由台站迁移所致,2000 年后台站不均一性 90%为仪器的变更造成的。

表 5 四川省年平均气温序列非均一性原因统计

Table 5 The causes for inhomogenization on the temperature sequence

断点原因	台站迁移	仪器变更	不明原因
台站个数	28	18	36

由于地理条件的差异,各台站对检验方法的适用性也不同,以降低误判断点为前提,利用台站沿革数据验证各方法所得断点的真实性(见表 6),在显著水平为 0.01 时,6 种方法显露年数占总年数的百分比分别是:SNHT 法为 59.4%,Buinshand 法为 33.3%,Pettitt 法为 37.1%,von Neumann 法为 49.5%,TPR 法为 73.3%,MASH 为 55.2%。可见 TPR 检验法对非均一性断点最敏感,SNHT 和 MASH 法次之,其中 MASH 法检验为增加统计检验的效率,由差异序列的最小方差决定最优权重,假设待检序列就是所有的差异序列中唯一的普通序列,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,多样性检验程序基于通过一个显著性水平的假设检验,并且要同时考虑第一类误差(虚假和多余不均一性的检验)以及第二类误差(真实不均一性的忽略)。因此对断点及转折的判断也较为敏感。综合分析各检验方法,发现 3 种或 3 种以上同时显露的间断点占 32.4%,两种或两种以上同时显露的间断点占 74.3%,表明两种方法在大多数情况下都能显露出相同的间断年份,因此应用这些方法检验温度序列非均一性是较为有效的。进一步联系台站沿革数据分析不同地形下各种方法检验效果,以 SNHT 法为例(见表 7),检测出的显露年份可由元数据解释的台站数中盆地占 67.6%,误判为 17.6%;山地显露率占 57.1%,误判为 28.6%;高原显露率占 57.1%,误判占 14.3%。

同理对 SNHT、Buishand、Pettitt、TPR 及

MASH 法进行比较,并参考各台站具体数据(见表 8),分析发现 Buishand 法的显露年份大部分与 SNHT 法所显露的年份相同,检验盆地及山地台站时,SNHT 法显露率最高,分别为 67.6%和 57.1%,漏检和误判较少;高原地区 SNHT 和 Buishand 法

显露率较高,分别为 57.1%和 50%,Buishand 法漏检和误判率最低。因此,对于盆地和川西南山地台站,SNHT 法判断的气温序列断点与实际较符合;川西北高原台站,Buishand 法适用性较强。

表 6 不同地形各方法判断气温间断的统计

Table 6 The statistics of different methods to determine the breakpoint of temperature in different regions

	SNHT		Buishand		Pettitt		von Neumann		TPR		MASH	
	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2
盆地底部区域	34	21	14	6	14	3	30	不可查	57	12	38	13
盆地边缘和川西南山地区域	7	4	3	1	5	2	7	不可查	6	1	6	3
川西高原区域	21	11	18	11	20	6	15	不可查	14	5	14	7

注: N_1 为非均一台站数, N_2 为沿革数据验证的非均一台站数。

Note: N_1 is number of inhomogeneous stations, N_2 is number of inhomogeneous stations for data valodation in historical evolution.

表 7 不同地形下 SNHT 法对温度均一性检验

Table 7 SNHT to determine the breakpoint of temperature in different regions

检测结果 地形	检测结果					
	无缺测台站数	显露数	台站迁移台站数	仪器变更台站数	误判台站数	漏检台站数
盆地底部区域	63	34	12	11	14	4
盆地边缘和川西南山地区域	10	7	3	1	4	0
川西高原区域	32	21	8	4	10	0

表 8 温度均一性检验各方法漏检和误判率(单位: %)

Table 8 The missed rate and false positives of temperature in different regions with different methods (unit: %)

	SNHT 法		Buishand 法		Pettitt 法		TPR 法		MASH 法	
	漏测率	误判率	漏测率	误判率	漏测率	误判率	漏测率	误判率	漏测率	误判率
盆地底部区域	6.15	21.5	25.4	12.7	25.4	15.9	4.8	73.0	17.5	25.4
盆地边缘和川西南山地区域	0	40	20	20	10	30	10	70	30	40
川西高原区域	0	31.3	0	28.1	3.1	43.8	9.4	21.9	25	18.75

4 结论与讨论

4.1 资料的可用性分析

(1) 在显著性水平 $\alpha=0.01$ 的检验中,四川省 105 个待检台站年平均气温序列通过均一性检验的有 32 个,占 30.5%;其中均一的基准站有 5 个,基本站有 5 个,一般站有 22 个。均一的基本站和一般站的使用将扩展气候资料代表的区域范围,提高气候资料的使用率,有助于四川省的气候变化研究。

(2) 可疑台站有 31 个,占 29.5%;造成这类台站无法确定断点的原因,一方面可能由其他因素产生,如气候变化、环境变化、观测方法改变等原因,需

要进一步分析;另一方面可能由于台站沿革资料不完备造成,致使断点信息无法查阅。因此对于不明原因的断点序列,必须通过更加详细的历史沿革资料判断其真实性。

(3) 不均一台站 42 个,占 40%,利用这部分温度资料序列进行气候气候变化分析研究时应注意资料的订正。

4.2 非均一性原因

序列不均一原因中,因迁站导致的有 28 个,更换仪器引起的有 18 个。分年代统计,20 世纪 60—70、80—90 年代以及 2000 年以后不均一台站有增加的趋势,其中 60—70 和 80—90 年代不均一性均由台站迁移所致。再次证实,迁站是引起序列间断

的主要原因之一。

4.3 检验方法评估分析

对不同方法的敏感度和适用性作评估分析发现,SNHT 和 TPR 法易在序列前端和后端检测断点,Pettitt 法对序列中部断点较敏感,MASH 对序列各部断点检测均较敏感,这与其差异序列的数学原理及检验效率有关。SNHT 与 Buishand 和 Pettitt 法检验结果相符率为 48.6%,TPR 法与其他方法相符率偏低,但该法不涉及邻近站是否均一,因此检验中可做补充判断。根据四川省特殊地形分析,发现对盆地及山地台站而言,SNHT 法显露率最高,分别为 67.6%和 57.1%,漏检和误判较少;高原地区 SNHT 法和 Buishand 法显露率较高,其中 Buishand 法漏检和误判率最低。

因此,鉴于减小对元数据依赖度的均一化检验思路,在缺乏元数据时,应采用多种检验方法综合分析,有助于气候资料在区域气候变化研究中的有效利用。

致谢:上海台风研究所陈葆德老师、占瑞芬老师,中科院大气所李珍老师以及四川省气候中心孙昭萱、钟燕川同志对本工作给予很多指点和帮助,谨致谢忱。

参考文献

- [1] 李庆祥,刘小宁,张洪政,等. 定点观测气候序列的均一性研究[J]. 气象科技,1999,31(1):3-10.
- [2] 曹丽娟,鞠晓慧,刘小宁. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. 气象,2010,36(10):52-56.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 王秋香,李庆祥,周昊楠,等. 中国降水序列均一性研究及对比分析[J]. 气象,待发表.
- [6] Standt M, Esteban Parra M J, Castro-Diez Y. Homogenization of long-term monthly Spanish temperature data[J]. International J Climate,2007,27(13):1809-1823.
- [7] 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,2005,10(4):461-467.
- [8] Alexandersson H, Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends[J]. J Climatol,1997,17(1):25-34.
- [9] Solow A R. Testing for Climate Change: An application of the two-phase regression model[J]. J of Climate and Applied Meteorology,1987,26(10):1401-1405.
- [10] Lund R, Reeves J. Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model[J]. J Climate,2002,15(17):2547-2554.
- [11] Slonosky V, Jones P D, Davies T D. Homogenization techniques for European monthly mean surface pressure series[J]. J Climate 1999,12(8):2658-2672.
- [12] Wijngaard J B, Klein Tank A M G, Können G P. Homogeneity of the 20th century European daily temperature and precipitation series [J]. International Journal of Climatology, 2003,23(6):679-692.
- [13] 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(1):27-34.
- [14] 刘小宁. 年降水量序列非均一性检验方法探讨[J]. 气象,1995,21(8):3-8.
- [15] 田红. 江淮流域年降水量和气温的均一性检验[J]. 气象科学,2008,28(2):227-231.
- [16] 吴利红. SNHT 方法用于气温序列非均一性检验的研究[J]. 科技通报,2007,23(3):338-341.
- [17] 宋超辉,刘小宁,李集明. 气温序列非均一性检验方法的研究[J]. 应用气象学报,1995,6(3):289-296.
- [18] 李庆祥,江志红. 长江三角洲地区降水资料的均一性检验与订正试验[J]. 应用气象学报,2008,19(2):220-225.
- [19] 李庆祥. 利用多模式对中国气温序列中不连续点的检测[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):736-742.
- [20] 高理. 山东省观测资料的均一性检验[J]. 山东气象,2010,30(121):1-4.
- [21] Li Zhen, Yan Zhongwei. Application of multiple analysis of series for homogenization to Beijing daily temperature series (1960—2006)[J]. Adv Atmos Sci. 2010,27(4):777-787.