

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,2012,38(11):1390-1398.

# 中国降水序列均一性研究及对比分析<sup>\*</sup>

王秋香<sup>1</sup> 李庆祥<sup>2</sup> 周昊楠<sup>1</sup> 魏娜<sup>3</sup> 邢旭煌<sup>4</sup> 吴胜安<sup>4</sup>

1 新疆气象信息中心,乌鲁木齐 830002

2 国家气象信息中心,北京 100081

3 陕西省气候中心,西安 710015

4 海南省气候中心,海口 570203

**提 要:** 文章采用全国 2415 个站 1951—2009 年逐日降水量资料,采用标准正态均一性检验(SNHT)方法对年序列进行均一性检测,得到存在不连续的断点的站点数为 114 个,占有检测站点数的 4.72%;对其中 70 个与对比站相关系数在 0.7 以上断点的逐年、逐月和逐日降水序列进行了订正。分析发现,订正对冬季降水序列的影响比对夏季序列要大。将订正前后资料按不同的条件分为山区、台站稀疏地区等进行了分析比较,发现订正前后降水序列的变差系数各站差别不大,说明订正的结果是可信的;降水距平对比分析结果表明,多数台站订正前后值差异很小,台站稀疏地区亦是如此,山区站降水量订正前后值差异略大;对均一化前后降水序列趋势分析结果表明,序列趋势增减并不大,多数增减值占原值的比例在 10% 以下,年及绝大多数月份降水序列订正前后趋势的增减符号是一致的,台站稀疏地区亦是如此,山区站趋势增减幅度略大,即山区迁站对降水量趋势影响较大,但总体上并没有影响到趋势的显著性。

**关键词:** 降水量,均一化,检测,订正,分析

## Homogeneity Study and Comparison Analysis on Precipitation Series over China

WANG Qiuxiang<sup>1</sup> LI Qingxiang<sup>2</sup> ZHOU Haonan<sup>1</sup> WEI Na<sup>3</sup> XING Xuhuang<sup>4</sup> WU Sheng'an<sup>4</sup>

1 Xinjiang Meteorological Information Centre, Urumqi 830002

2 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081

3 Shaanxi Climate Centre, Xi'an 710015

4 Hainan Climate Centre, Haikou 570203

**Abstract:** Based on the precipitation data during 1951—2009 for all the 2415 stations in China, an SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) method is used to test the homogeneity of annual data series. The result shows that about 114 stations contain data discontinuities, which covers about 4.72 percent of the total. In the following step, the inhomogeneous series at the 70 stations where the candidate series have good correlation with the reference stations with correlation coefficients above 0.7, have been adjusted in annual, monthly and daily time scales. Further comparison and analysis show that, the adjustment effects on winter precipitation series are much more than those on summer precipitation series. Finally the raw and adjusted data over plain, mountainous and station-denser or sparser areas have been analyzed, and the result shows that the adjustment is reasonable. The variation coefficients, precipitation anomalies and linear trends have not changed greatly for the most of the adjusted series, with an exception in mountainous

\* 国家重点基础研究发展计划(2010CB951600)、国家科技支撑项目(2012BAC22B00)、中国气象局气候变化专项项目(CCSF2009-07)、中国沙漠气象科学研究基金(sqj2005004)及国家自然科学基金(40475041)共同资助

2011年8月25日收稿; 2011年12月29日收修定稿

第一作者:王秋香,现主要从事气候数据分析、气候变化、气象灾害等方面的研究。Email:wqx188@126.com

通信作者:李庆祥,现从事气象数据分析与应用研究。Email:liqx@cma.gov.cn

areas, the changes are slightly larger.

**Key words:** precipitation, homogenization, test, adjustment, analysis

## 引 言

对气候序列的均一性研究已经开展了多年,国内很多学者做了大量的工作。大量的工作集中在对气温的均一化处理上<sup>[1-6]</sup>,并分析了气候资料非均一的原因,介绍了近年来国内外气候资料均一性研究的方法及进展,探讨了利用多模式对中国气温序列中不连续点的检测等方法的研究<sup>[6]</sup>。在此基础上,中国气象局于 2006 年制作并发布了全国 730 个站 1951—2004 年逐月和逐日气温数据集<sup>[7]</sup>。除此之外,一些学者还探索了用各种方法进行风速、太阳总辐射、气压和高空温度的均一化检测<sup>[8-12]</sup>,这些探索虽然为资料的均一化检测奠定了基础,但除气温外,其他一些要素的均一性检测还不够成熟<sup>[13-15]</sup>,尤其是降水序列的均一化工作,虽然近年来也有部分工作<sup>[16-18]</sup>,但由于降水资料分布的特殊性(不是正态分布及与周边站相关普遍低等特点),限制了降水序列均一化研究的深入和业务应用。最近,江志红等<sup>[16]</sup>选取中国 681 个台站近 50 年(1951—2004 年)月降水资料,通过对各站年代际分量的 EOF 分析及 North 判别进行均一化检验,但依然存在待检台站与参考台站的相关性不高,导致降水量序列均一性

订正困难的问题。站点稀疏对降水序列的均一性检测和订正的影响到底有多大?这是目前人们关注的问题,本文拟在对全国目前最高密度站点(2415 个站)1951—2009 年降水量序列的均一性分析与订正的基础上,进行分区域(山区、台站稀疏地区等)研究比较,即对台站稀疏和密集区以及山区和平原站均一化检测和订正结果进行对比分析和精度分析,探讨站点稀疏对降水序列均一性检测和订正的影响,为深入进行我国降水序列均一性研究和业务化奠定基础。

## 1 资料来源及处理

本文采用的资料为国家气象信息中心收集整理的全中国 2415 个站 1951—2009 年逐年、月、日降水量资料,由于建站时间不一致、缺测和站点取消等多种原因导致每个站点序列长度并不相同,本文从中选取了 2350 个具有连续观测 40 年以上记录的站点。图 1 给出了站点的分布情况,可以看出中国东部地区站点密度相对较大,而西部新疆、青海等部分地区站点分布比较稀疏,西藏地区较大范围内没有观测站点。检测和订正过程中,上述年月数据资料缺测时,计算中将自动跳过缺测年月份,并不影响检测和订正结果。

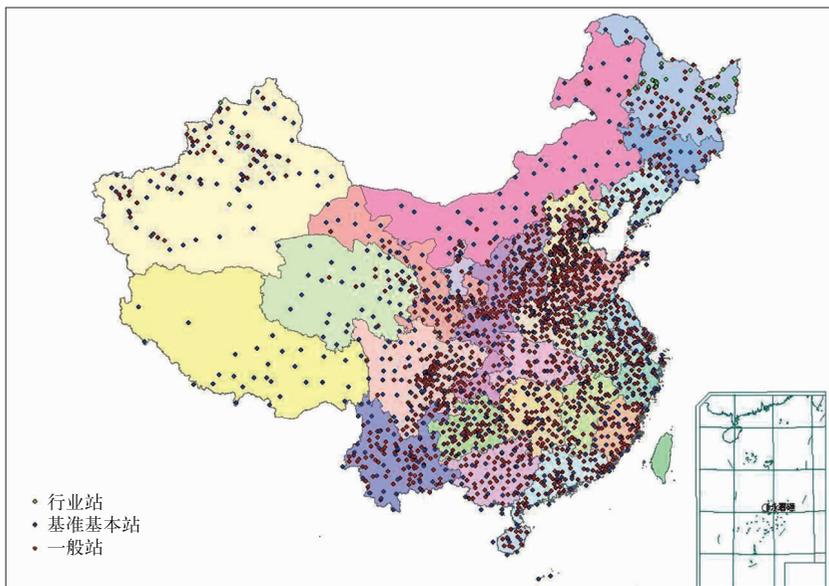


图 1 中国高密度台站分布图

Fig. 1 The distribution of the high-density stations in China

为了保证检验结果的质量,对降水量数据集进行初步的正态化转换。类似江志红等<sup>[16]</sup>和李庆祥等<sup>[17]</sup>的做法:由于降水分布通常是偏态,对于不服从正态分布的变量需作正态化处理,为此对各站年降水资料进行了开三次方处理,并进行了标准化处理,对比显示:开三次方后,降水分布明显呈现较好的正态性或者类似正态性特点(图略)。

## 2 研究方法与有关情况处理

采用标准正态检验(Standard Normal Homogeneity Test, SNHT)方法对全国降水量进行均一性检测,对检测出的断点用比值法进行订正,为了充分利用现有资料进行断点检测,在对周边对比站相关系数较小的站点进行检测中,进行了适当的处理和拓展。对序列的订正值进行分析,同时对订正前后降水量的距平、变差系数、气候趋势进行对比分析,以分析降水量序列均一化的效果、精度及其对气候趋势的影响。另外,为了探讨站点稀疏对降水序列均一性检测和订正的影响,将全国均一化序列按不同的条件分为不同区域,将 300 km 范围内对比站少于 5 个的地区视为台站稀疏地区,对比分析山区、台站稀疏地区和密集区均一化的效果。

### 2.1 检测方法

采用 SNHT 方法进行均一性检测,本文只对全国年降水序列进行检测,对计算过程如下:

设:  $X_{ji}$  为临近站观测值序列,  $j=1, \dots, 5$ ,  $j$  为临近站的个数。  $i$  表示序列的长度。  $X_{0i}$  表示待检序列。

构造年降水量参考序列:

$$F_i = \left[ \sum_{j=1}^5 \rho_j^2 X_{ji} \right] / \sum_{j=1}^5 \rho_j^2$$

构造统计量:  $T_0 = v \bar{z}_1^2 + (n-v) \bar{z}_2^2$

$$Z_i = (Q_i - \bar{Q}) / \sigma_Q, \text{ 比值序列: } Q_i = \frac{Y_i / \bar{Y}}{F_i / F}, Y_i$$

代表降水序列,  $\bar{Y}$  代表降水平均值,  $F_m$  是参考序列值,  $n$  为待检序列的总年数,  $v$  为间断点序号。

检验时将被检验的  $z$  序列分成  $v$  及  $(n-v)$  两段,分别构成  $z_1$  与  $z_2$  序列,将  $v$  从 1 至  $(n-1)$  不断取值,采用程序循环计算  $T_0$  的值,并挑出最大的  $T_0$  值(若该值大于给定的显著性水平 0.05 的阈值,即记为  $T_s$  值,此时,  $v$  即为潜在不连续点位置)。

### 2.2 比值法订正

本文用比值法,对检测出的年降水断点进行年月日订正,为了使月日降水资料订正值更符合实际情况,并与年值吻合,月降水资料订正值采用年值和月比值共同订正,计算方法如下:

$$\text{年订正算法: } \begin{cases} q_1 = \sigma_Q \bar{z}_1 + \bar{Q} \\ q_2 = \sigma_Q \bar{z}_2 + \bar{Q} \end{cases} \text{ 则订正系数}$$

为:  $\bar{q}_2 / \bar{q}_1$

月日订正算法:

分别用年月降水资料计算出  $\Delta A$ (年订正值)和

$$\Delta X_i (\text{月计算比值, } i \text{ 为月份}), \frac{(\sum_{i=1}^{12} \Delta X_i) / 12}{\Delta A} =$$

$\frac{\Delta X_i}{\Delta A_i}$ , 其中:  $\Delta A_i$  为各月的订正值,  $\Delta X_i$  为各月计算

比值。由于所构造年的降水量参考序列与对比站的相关系数和降水量值有关,因此,订正值的大小不仅取决于本站降水量的大小,还取决于和对比站的相关系数及降水量值的大小。

日降水资料订正值使用月订正值。

### 2.3 检验中的有关情况处理及结果

检测过程中,一些地形复杂的地区,以及台站稀疏地区,参考站与待检站的相关较差,在检测出断点的 114 个台站中,约有近三分之一的台站与周边参考站的相关系数小于 0.7,为了对这部分台站降水量进行检测,本文进行了一系列的试验检测。众所周知,参考站的选择是为了滤除气候变化对资料序列的影响,在同一气候区域内,同一类型的气候序列相关应该为正,即两站气候趋势一致。但相关系数不够大的情况下检验结果是否可靠? 本文进行了如下对比检测分析,在台站密集区选择相关系数较好(0.7 以上)和相关系数差(0.7 以下或者更小)的两组参考站,进行对比检测,结果见表 1。由表可见,用不同相关系数的对比站检测结果断点一致,只是  $T_s$  值不同而已,也就是说,待检测站与对比站相关系数的大小,对均一性检测结果影响并不大。

对全国 2415 个气象台站降水量资料进行均一化检测,有断点的站点数为 114 个,占有检测站点的 4.72%。为了保证订正值的准确,只对参考站与订正站序列之间相关系数在 0.7 以上的断点进行订正(见图 2 红色点),订正站点为 70 个,占有检测

站点的 2.9%。另外,有 44 个站点没有订正,其中,有 30 个站因为待检站与对比站相关系数较小(小于 0.7,见图中黄色点)而没有订正; 12 个站因为月资料有问题,考虑到本文缺乏有关元数据的支持,因此无法进行月订正系数的计算,故而没有进行订正(见

图中蓝色点);有 2 个站疑似资料有问题,故没有订正(见图中灰色点)。从图中可以看出。因相关系数较小而没有订正的站点主要分布在台站稀疏地区和山区。

表 1 不同相关系数的对比站检测对比分析

Table 1 Test results between candidate and reference stations with different correlation coefficients

待检站	断点年代	对比站相关系数	$T_s$	对比站相关系数	$T_s$
安顺	1991	0.71 以上	9.782	0.69 以下	12.083
长沙	1974	0.82 以上	8.274	0.69 以下	8.542
横县	1997	0.74 以上	13.012	0.69 以下	13.850
绩溪	2002	0.89 以上	8.291	0.78 以下	8.152
吉兰太	1980	0.66 以上	12.651	0.60 以下	13.387
济源	1979	0.80 以上	13.750	0.75 以下	14.266
佳木斯	1966	0.80 以上	12.260	0.50 以下	13.509
江孜	1986	0.65 以上	11.031	0.65 以下	8.904
崂山	1975	0.81 以上	8.878	0.75 以下	10.512
施甸	1974	0.70 以上	15.339	0.60 以下	10.061
五台山	1988	0.65 以上	22.190	0.60 以下	17.657
西宁	1994	0.73 以上	14.471	0.60 以下	17.677
兴文	1987	0.63 以上	15.280	0.50 以下	12.871
荣经	2003	0.70 以上	9.481	0.70 以下	10.824
垣曲	2004	0.70 以上	12.863	0.70 以下	12.655
竹溪	1968	0.80 以上	11.104	0.75 以下	12.226
淄博	1988	0.85 以上	10.489	0.75 以下	8.931
永登	1981	0.70 以上	9.593	0.50 以下	9.778
乌鲁木齐	1975	0.75 以上	27.052	0.50 以下	21.091

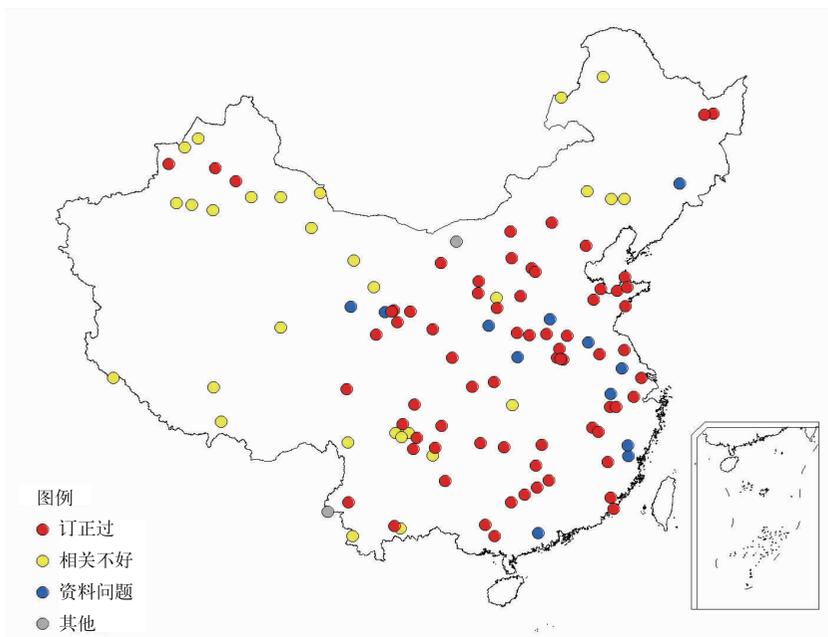


图 2 全国降水量序列检测和订正结果分布图

Fig. 2 The distribution map of detecting and adjusting results of precipitation series over China

### 3 全国降水均一性检测结果分析

#### 3.1 序列订正值分析

为了分析全国降水序列的订正效果,本文先对年及各月的订正值进行分析比较,设置绝对差值,若以  $q_i$  为订正值( $i$  为  $0, 1, 2, \dots, 12$ , 其中,  $q_0$  为年订正值,  $q_1$  为 1 月订正值, 依此类推……), 绝对差值为  $p_i$ , 计算公式如下:

$$p_i = |1 - q_i|$$

绝对差值是表示订正值与原始值差距大小的统计量。表 2 为全国降水量年月绝对差值统计, 由表可见, 年订正值与原始值差距不大, 相比之下, 冬季绝对差最大, 夏季绝对差最小, 也就是说, 迁站或者更换仪器等对冬季降水序列的影响比夏季大。

表 2 全国降水量订正值年月绝对差值统计表

Table 2 The statistics of the annual/monthly differences between raw and adjusted precipitation series

	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
全部站	0.018	0.252	0.222	0.193	0.144	0.133	0.125	0.191	0.156	0.171	0.154	0.284	0.315
稀疏区	0.022	0.481	0.399	0.343	0.222	0.200	0.174	0.173	0.185	0.137	0.195	0.663	0.522
密集区	0.017	0.178	0.166	0.144	0.118	0.112	0.110	0.196	0.146	0.182	0.140	0.163	0.248
山区	0.019	0.605	0.359	0.193	0.194	0.133	0.140	0.143	0.151	0.170	0.141	0.459	0.569
平原	0.018	0.199	0.202	0.193	0.136	0.133	0.123	0.198	0.157	0.171	0.156	0.258	0.277

#### 3.2 订正前后距平对比分析

从表 2 可以看出, 降水量订正前后年值差异并不大, 为了比较各月差值, 以 1968—2008 年作为全国降水量的标准气候期, 分别计算了 1968—2008 年我国降水量订正前后资料距平, 给出 7 月(夏季)和 1 月(冬季)降水量订正前后降水量距平比较图(图 3)。从图中可以看出, 所有订正站和台站稀疏地区站点的冬夏降水量值订正前后差异均不大, 而山区站降水量订正前后数值差异较大, 尤其以冬季 12 月最大(图略)。这说明, 地形引起的对比站与待检测站降水量差距, 对订正值的影响比相关系数的影响更大。另外, 冬季降水量稀少, 更容易产生差异。这也证明了前面分析结果, 即订正站对山区降水序列影响较大的事实。

#### 3.3 订正前后变差系数对比分析

为了分析均一化资料的精度, 计算了 70 个站降水量订正前后的变差系数, 并分别给出降水量订正前后各站的变差系数分布图(见图 4), 由图可以看

另外, 对比山区和平原站的绝对差值, 结果表明, 山区绝对差最大, 平原站降水序列绝对差小, 即迁站或者更换仪器等对山区站降水序列的影响比平原站大。这也是山区地形复杂, 对降水影响较大的体现。

如果将周边 300 km 范围对比站少于 5 个的地区称为台站稀疏地区, 从表 2 可以看出, 台站稀疏地区绝对差大, 台站密集地区降水序列绝对差小, 即迁站或者更换仪器等对台站稀疏地区降水序列的影响比台站密集地区大。

从前面订正比值的计算公式可见, 订正值与待检测站与对比站的相关系数有关。在台站稀疏地区, 由于对比站选择较少, 检测站与对比站的相关系数略差, 影响了订正精度。

总体来看, 台站稀疏地区和山区订正值略差。

出, 各站降水量订正前后的变差系数的差别不大。若计算降水量订正前后变差系数的相对差值(即订正前后变差系数差值占订正前变差系数的比率), 各站变差系数的相对差值很小, 其中, 变差系数相对差值在 1% 以下的有 54 个站, 占有订正站点数的 77.1%; 相对差值在 1%~5% 之间的有 15 个站, 占有订正站点数的 21.4%; 相对差值在 5% 以上的有 1 个站, 占有订正站点数的 1.40%, 相对差值为 5.74%, 是山西省的五台山站, 五台山站 1997 年左右迁址, 新旧站址的海拔高度差达到 700 m 左右。以上分析充分说明全国降水量均一化订正的结果是可信的, 并且效果较好。

为了更进一步对山区、台站稀疏地区相对差值进行比较分析, 分别计算了这些地区的相对差值(表 3), 由表可见, 变差系数相对差值山区最大, 台站稀疏地区次之。不过, 总体来讲, 全国降水量订正前后变差系数相差很小, 即使是山区, 变差系数相对差值也不到 1.5%。这也印证了图 4 变差系数的差别不大的事实。

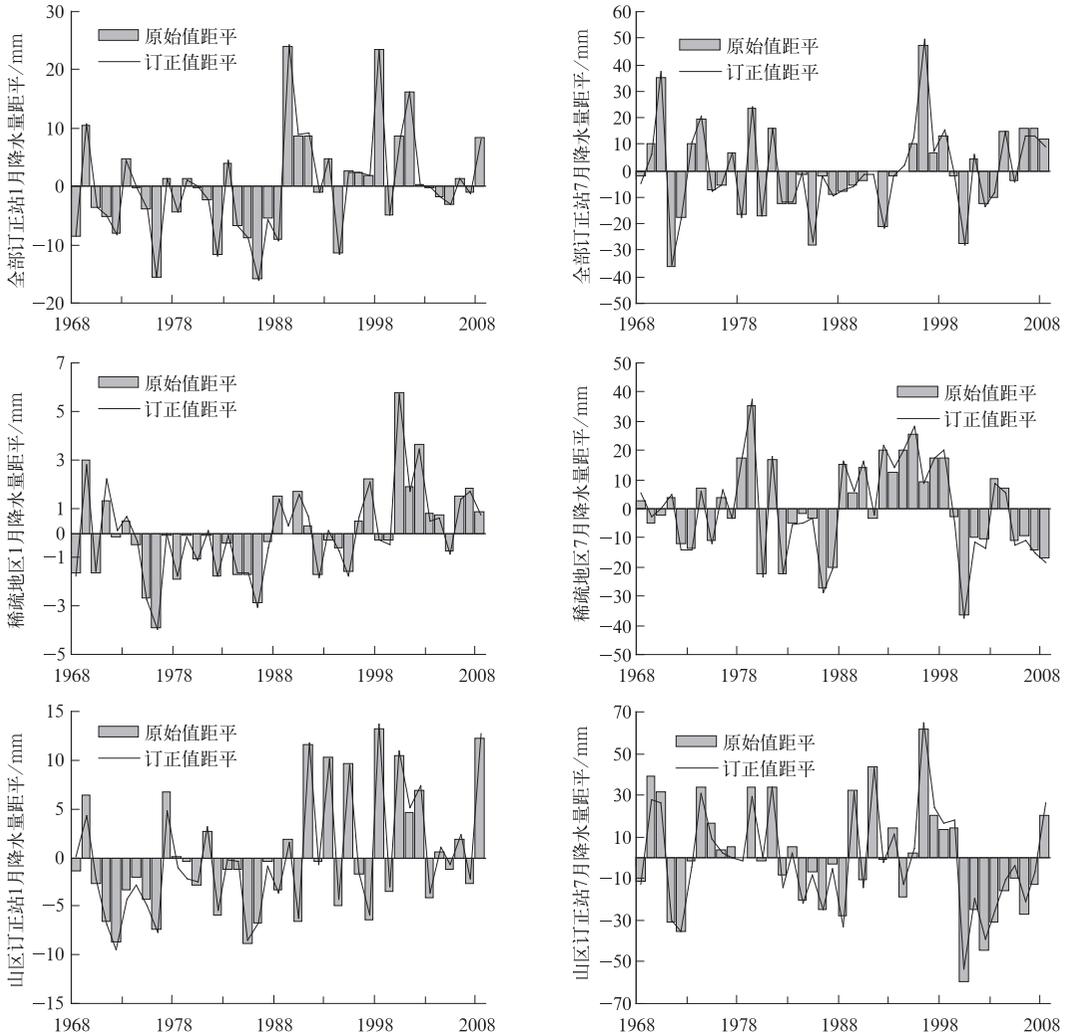


图 3 1968—2008 年全国降水原始与订正时间序列距平比较

Fig. 3 Comparisons between raw and adjusted precipitation anomalies in January (left panel) and July (right panel) during 1968—2008

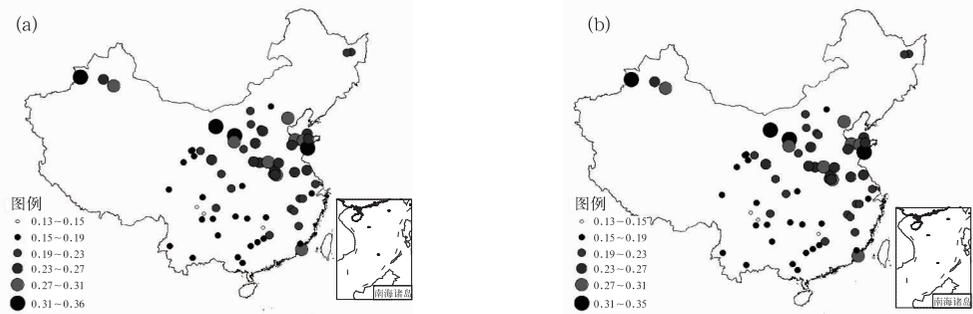


图 4 降水量均一化前(a)和后(b)资料变差系数对比分析

Fig. 4 The variation coefficients of raw (a) and homogenized (b) precipitation series

表 3 全国降水量订正前后变差系数差值表

Table 3 Differences of the variation coefficients between raw and homogenized precipitation series

	变差系数绝对差值	变差系数相对差值
山区	0.0027	1.44%
稀疏	0.0021	0.88%
全部	0.0016	0.76%

### 3.4 均一化前后数据序列气候趋势分析

为了对均一化前后数据序列趋势进行对比分析,用分别计算 70 个站降水资料均一化前后的气候趋势系数,并分别给出分布图(见图 5),由图可见,

降水量订正前后的气候趋势系数的差别也不大。表现在两方面,第一,趋势的符号基本一致,除了个别趋势值很小的站外,各站前后降水量增减趋势不变,

原为增加的依然为增加趋势;第二,各站经过均一化订正的降水量气候趋势系数与原始降水序列相差不大。

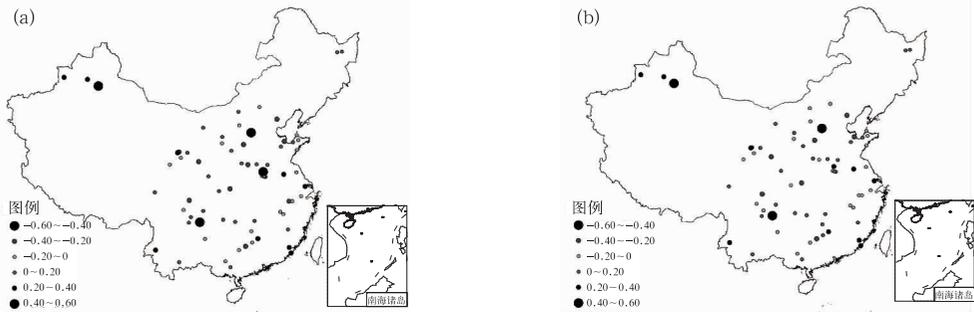


图 5 降水量均一化前(a)后(b)序列气候趋势对比分析(单位:  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )

Fig. 5 Comparisons of the trends between raw (a) and homogenized (b) precipitation series (unit:  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )

为了分析订正前、后降水量趋势的差异,分别对已经订正的 70 个站降水资料进行秩检验(见表 4)。由于各站点开始年代不同,为了方便比较,本文选择 1968 年以来 40 多年降水序列做检验。表 4 中第三大列是全部订正站计算结果,由表可见,年及各月降水序列订正前后趋势都是正值,即无论是订正前还是订正后趋势都是递增的;从趋势的量值上看,除 1 月和 6 月较大外,其余月份及年递增趋势的量值均

不大,即递增趋势不显著( $Z(0.05)$ 为 0.215)。若以原始序列趋势值与订正序列趋势值的差值,占原始序列趋势值的比例作为订正前后趋势的相对增减值(见表 4 全部订正站计算结果中最后一列),年及多数月份订正前后趋势相对增减值都在 10%以下,即降水量订正前后趋势差距不大,并且没有影响到趋势的显著性。

表 4 均一化前后数据序列趋势对比分析

Table 4 Comparisons of the climate trends of raw and homogenized precipitation series

	山区			稀疏			全部		
	原始序列 Z 值	订正序列 Z 值	趋势增减值/%	原始序列 Z 值	订正序列 Z 值	趋势增减值/%	原始序列 Z 值	订正序列 Z 值	趋势增减值/%
年	0.213	0.066	0.147	0.149	0.146	0.003	0.079	0.090	0.010
1 月	0.277	0.310	0.033	0.364	0.305	0.059	0.233	0.231	0.003
2 月	0.028	0.083	0.055	0.036	0.034	0.003	0.164	0.169	0.005
3 月	0.062	0.103	0.041	0.208	0.174	0.033	0.159	0.162	0.003
4 月	0.015	0.105	0.090	0.044	0.056	0.013	0.092	0.092	0.000
5 月	0.113	0.210	0.097	0.233	0.226	0.008	0.017	0.020	0.002
6 月	0.082	0.154	0.072	0.151	0.136	0.015	0.251	0.244	0.008
7 月	0.118	0.036	0.082	0.033	0.018	0.015	0.192	0.187	0.005
8 月	0.023	0.031	0.008	0.120	0.087	0.033	0.126	0.152	0.028
9 月	0.061	0.083	0.022	0.023	0.015	0.008	0.123	0.127	0.004
10 月	0.054	0.126	0.072	0.046	0.013	0.033	0.133	0.144	0.010
11 月	0.021	0.008	0.013	0.050	0.061	0.011	0.162	0.151	0.010
12 月	0.010	0.107	0.098	0.297	0.244	0.054	0.010	0.015	0.005

对于台站稀疏地区和山区作降水数据序列趋势分析,结果表明,年及绝大多数月份降水序列,订正前后趋势的增减基本是一致的,除了个别月份外,绝大多数月份及年降水量增减趋势都不显著( $Z$

(0.05)为 0.215);台站稀疏地区趋势的增减值比全部 70 个站的趋势增减略大(图 6),也就是说,台站稀疏地区迁站,尽管由于对比站选择较少,相关系数相对较低,订正前后降水趋势的增减与其他地区并

无太大差异,也没有影响趋势的显著性。

对山区站做均一化前后数据序列趋势对比分析,结果表明,趋势增减值比其他站趋势增减值较大(图 5),也就是说,山区由于地形复杂,不同地形下降水量的差异较大,迁站影响了降水序列的趋势,但同样也没有影响到趋势的显著性。

从以上分析可知,降水资料的不连续,并没有影响趋势的显著性,而且订正站数为 70 个,仅占全国降水观测站点的 2.9%,对全国降水资料来讲,资料的不连续不影响趋势的变化。

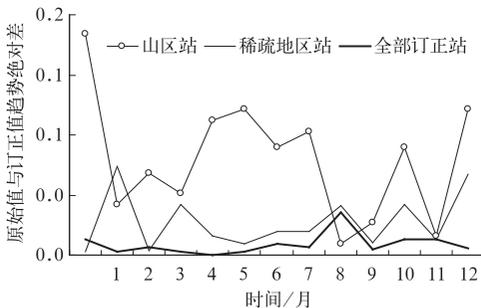


图 6 全国降水原始与订正  
时间序列趋势差值比较

Fig. 6 Comparisons of the average trends  
of raw and homogenized precipitation series

## 4 结论与讨论

文章采用经典气候资料均一性检验技术,系统地在全国基本、基准和一般气象站的降水数据进行了均一性检验,检验表明:在全国 2415 个站点的年降水量序列中,仅 114 个站点存在不连续点(不到 5%),这一结果和对气温序列的检测存在非常大的不同,在此基础上,本文选取了近 70 个周边参考台站较为丰富的站点进行了初步订正、对比,形成了一套均一化降水数据集,在此基础上研制了逐日网格化数据集。

(1)对于地形复杂的地区,以及台站稀疏地区,对比站与待检站的相关较差时,若在同一气候区域内,当相关系数为正时,可以直接进行均一化检测,并不影响检测结果。对全国 2415 个气象台站降水量序列进行均一化检测结果,断点数为 114 个,占有检测站点的 4.72%。对 70 个相关系数在 0.7 以上的断点进行了订正,占有检测站点的 2.9%。

(2)从年及各月的订正值分析比较全国降水

序列的订正效果,结果表明,冬季绝对差值最大,夏季绝对差值最小,也就是说,迁站或者更换仪器等对冬季降水序列的影响比夏季大。另外,山区绝对差最大,即迁站或者更换仪器等对山区站降水序列的影响比平原站大。对于台站稀疏地区而言,绝对差比台站密集地区降水序列绝对差大,即迁站或者更换仪器等对台站稀疏地区降水序列的影响比台站密集地区略大。

(3)从订正前后降水序列的变差系数分析可知,各站降水量订正前后的变差系数的差别不大。从变差系数的差值来看,全国降水量订正前后变差系数相差很小,只占总变差系数的不到 1.5%。说明订正的结果是可信的,并且效果较好。不过相对而言,山区略大。

(4)从订正前后降水量平均值和距平分析对比来看,所有订正站和台站稀疏地区站点的冬夏降水量值订正前后差异均不大,而山区站降水量订正前后值差异较大。

(5)对均一化前后降水数据序列进行趋势对比分析发现,降水量订正前后趋势增减并不大,多数增减值占原值的比例在 10% 以下。台站稀疏地区和山区年及绝大多数月份降水序列,无论订正前后,趋势的增减基本也是一致的,台站稀疏地区降水趋势的增减与其他地区并无太大差异。山区站趋势增减值比其他地区趋势增减值大很多,也就是说,山区由于地形复杂,不同地形下降水量的差异较大,迁站影响了降水序列的趋势。但是,无论山区、台站稀疏地区,还是全部台站,迁站并没有影响到趋势的显著性。

从以上分析可知,降水资料的不连续,并没有影响趋势的显著性,而且订正站数为 70 个,仅占全国降水观测站点的 2.9%,对全国降水资料来讲,资料的不连续并不影响总趋势的变化。值得说明的是,降水观测中的许多误差,比如风速导致的固体降水(雪)等的测量误差、仪器沾湿误差等在本文均尚没有得以考虑,因此,本文的均一化数据集仍然是初步的,还需要在上述误差得以充分考虑后进行深入分析和完善。

## 参考文献

- [1] Liu Xiaoning, Li Qingxiang. The research of the inhomogeneity test on China climate data series[J]. Acta Meteor Sinica, 2003, 17(2):492-502.

- [2] 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,2003,31(1):3-11.
- [3] Li Q and Dong W. Detection and adjustment of undocumented discontinuities in chinese temperature series using a composite approach[J]. Adv Atmos Sci,2009, 26(1):143-153.
- [4] 黄朝迎. 温度变化研究中两个值得注意的问题 [J]. 气象, 1990,16(12):30-32.
- [5] 郭艳君,李庆祥,丁一汇. 探空资料中的人为误差对长期变化趋势的影响[J]. 大气科学,2009,33(6):1309-1318.
- [6] 宋超辉,孙安健. 非均一性气温气候序列订正方法的研究[J]. 高原气象,1995,14(2):215-220.
- [7] 李庆祥,张洪政,刘小宁,等. 中国均一化历史资料气温数据集(1950—2004)(1.0 版)[G]. 北京:2006,12-13.
- [8] 鞠晓慧,屠其璞,李庆祥. 我国太阳总辐射月总量资料的均一性检验及订正[J]. 南京气象学院学报,2006,29(3):336-341.
- [9] 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,2002,11(1):27-34.
- [10] 吴必文,温华洋,惠军. 基于  $r$  分布的气压序列非均一性检验方法初探[J]. 应用气象学报,2008,19(4):496-501.
- [11] 吴利红,骆月珍,孙丽丽. 浙江省近 34 年平均风速序列均一性检验研究[J]. 气象科技,2008,36(5):661-665.
- [12] 郭艳君,丁一汇. 近 50 年我国探空温度序列均一化及变化趋势[J]. 应用气象学报,2008,19(6):646-653.
- [13] 王秋香,周昊楠,陈晓燕. 单站资料均一性对本地气候资料趋势结果的影响[J]. 沙漠绿洲与气象,2010,4(4):1-5.
- [14] 高晓容,李庆祥,董文杰. 五台山站历史气候资料的均一性分析[J]. 气象科技,2008,36(1):112-118.
- [15] 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.
- [16] 江志红,黄群,李庆祥. 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, 2008, 13(1):67-74.
- [17] 李庆祥,江志红,黄群,游泳. 长三角地区降水序列的均一性检验与订正试验[J]. 应用气象学报,2008,19(2):219-226.
- [18] 刘小宁,孙安健. 年降水量序列非均一性检验方法探讨[J]. 气象,1995,21(8):3-6.
- [19] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [20] 李庆祥. 气候资料均一性导论[M]. 北京:气象出版社, 2011.