贵阳近百年气温序列的建立及其变化分析

吴兴洋[1] 严小冬[2] 金凡琦[3] 支亚京[1] 陈怡璇[1]

1 贵州省气象信息中心，贵阳 550002

2 贵州省山地气象科学研究所，贵阳 550081

3 贵州省气象服务中心，贵阳 550002

提　要：基于 1920 年 9 月 5 日贵阳国家基准气象站建站以来~~完整的~~器测气温记录月报表，建立其百年最高、最低气温以及气温日较差序列。~~经~~多种方法检验~~后~~发现，1938—1944 年最低气温、气温日较差与序列均值存在显著性差异，1937 年、1944 年、2000 年序列出现断点。~~根~~据历史沿革、观测记录簿和天气报存根，多源多站数据比对判定，1938—1944 年报表中的日最高、最低气温不准确，~~该时期~~数据改用观测簿记录。用 1938—1949 年日最高、最低气温均值与日气温差值，建立两者转换订正标尺，构建 1921—1936 年缺失的~~无记录~~日气温。站址迁移引起气温非均一，用本站初值和最优参考站逐年变化值递推订正，最终建立的贵阳近百年气温均一化序列与全球同期气温变化有较好的一致性。结果表明，近百年来，贵阳气温经历了两次较明显的“升温”，1937—1953 年及始于 1978 年的升温，本轮升温，1996 年加速，2011 年~~发生~~突变。贵阳近百年气温变化倾向率为 0.12～0.14℃·(10 a)$^{-1}$；最低气温自 1929 年以来，震荡上升，以 0.26～0.31℃·(10 a)$^{-1}$ 的变化倾向率升温；气温日较差以-0.27～-0.29℃·(10 a)$^{-1}$ 的变化倾向率减小；最高气温没有明显的趋势变化。~~日平均~~气温和~~日~~最低气温秋冬季升温速率高于春夏季节，2 月是升温最多月，7 月是升温最少月。升温主要由最低气温升高所致。

关键词：贵阳，气温，百年序列，倾向率，突变

中图分类号：P467　　**文献标志码：**A

引　言

观测站百年尺度气象要素观测资料已成为人们认识区域气候变化的基础数据，其中气温序列和数据集的建立及其变化的研究，一直备受关注。Rowntree（1998）介绍了 1750 年以来全球年气温变化的主要影响因子。王丽萍和郑瑞清（2002）介绍了 1841—2001 年中国百年温度降水数据集的研制情况，李庆祥和李伟（2007）研制了 1951—2004 年中国网格气温数据集，国家气象信息中心近几年不断研究并发布了中国及全球百年温度数据集。国内气候

项目资助：中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程项目(2019-04)和贵州省气象局省市联合基金项目（QHLSSLJ[2022]-12）共同资助

第一作者：吴兴洋,主要从事气象资料质量控制、应用评估。E-mail：wxy110wxy@aliyun。com

通讯作者:严小冬,主要从事气候与气候变化研究工作。E-mail：yxd_climate@163.com

气象科技

变化研究学者，从20世纪80年代就开始研究中国区域温度百年变化（张先恭和李小泉，1982；唐国利和林学椿，1992；唐国利等，2009；王绍武，1994；王绍武等，1998；施能等，1995；林学椿等，1995；屠其璞等，1999；任国玉等，2005；李庆祥等，2010；丁一汇和王会军，2016；严中伟等，2020），构建了中国区域不同阶段的百年尺度以上气温序列。任国玉等（2005）和唐国利等（2009），总结了当时取得的中国百年气温变化研究成果，得出1906—2005年中国的年平均气温上升了0.78 ℃±0.27℃。丁一汇和王会军（2016）在总结中国的三次气候变化国家评估报告时指出，中国近百年地表气温变化为0.90～1.52℃，中值为1.20℃。严中伟等（2020）基于均一化的气温观测序列集，对近百年中国气候变暖趋势进行了再评估，得出1900年以来中国气温变化区间为1.3～1.7℃ $(100\ a)^{-1}$。政府间气候变化专门委员会（IPCC）基于改进的观测数据集，第六次评估历史气候变化（孙颖，2021）指出：21世纪以来，全球气候正在快速变暖，2001—2020年、2011—2020年全球平均表面气温相比工业化前（1850—1900年）分别增高了1.09℃、0.99℃。

近30年来，随着观测资料的积累，国内城市、区域百年气温序列构建及变化研究逐渐增多。如郭军等（2011）利用1910—2009年天津气象站逐日最高、最低气温观测资料分析发现，天津市近百年平均气温、最低气温呈显著上升趋势，变化速率分别为0.13℃ $(10\ a)^{-1}$、0.28℃ $(10\ a)^{-1}$。闫军辉等（2017）分析发现武汉1906—2015年气温变化经历了“暖—冷—暖”3个多年代际波动，年均温变暖速率为0.31℃ $(100\ a)^{-1}$。潘蔚娟等（2021）基于均一化资料对广州近百年气温变化研究得出广州升温速率为1.39℃ $(100\ a)^{-1}$。司鹏等（2022）基于国家气象信息中心收集整理的日最高和最低气温观测资料，构建了1841—2019年北京最高和最低气温日值序列，统计得出1911—2019年北京地区年平均气温升高趋势为0.154℃ $(10\ a)^{-1}$ ±0.018℃ $(10\ a)^{-1}$（95%不确定性水平估计）。刘蕾等（2022）用1880—1937年、1952—2020年安徽芜湖站气温观测资料和1901—2020年英国东英吉利大学气候研究中心格点气温资料，构建了1880—2020年芜湖站月平均气温序列。尤卫红等（1997；1998；1999）、陈文秀等（1999）分别应用昆明、成都和西昌插补延长的气温资料，研究了各区域百年气温变化特征。受限于资料长度，贵州区域以器测气温数据为基础的百年气温变化研究欠缺。

由于长期气象观测序列不可避免地受到观测站迁址、仪器更换、观测规则变化（如每日n次观测平均）等非自然因素的影响，导致相关时段的子序列之间存在系统性的偏差，即非

均一性。1949 年以前，我国建立的大多数气象站，因站址频繁变动、战事、资料保存等原因，观测资料缺失较多，刘蕾等（2022）、司鹏等（2022）等人构建的不同地区百年温度序列都存在不少缺失资料的插补。贵阳国家基准气象站（以下简称贵阳站）于 1920 年 9 月 5 日建站观测，台站历史沿革和观测记录月报表完整，日最高、最低气温数据缺失率小于 3‰，日气温数据缺失率为 17.2%。研究人员应用贵阳百年气温资料时，由于没有完全的第一手资料，都存在资料质量控制、非均一性处理问题，如朱亚妮等（2022）在研究 20 世纪 40 年代中国“偏暖”工作中应用的贵阳站气温资料，1921—1950 年贵阳站气温无缺失、无断点并不准确，主要是因为：贵阳站气象观测月报表中 1938—1944 年最高、最低气温数据无缺失，但其记录的最高气温偏高、最低气温偏低，掩盖了该时期两者均值代替的气温不准确，这一疑误难以用技术手段发现，只有对日较差及最高、最低气温序列检验才会发现问题。迄今为止，1949 年以前贵阳气象观测薄记录未数字化，以至于贵阳百年气温序列至今未曾建立。本研究基于贵阳站建站至 2023 年气温观测记录、月报表和年报表，通过多源、多站数据比对、显著性差异检验和非均一性处理后，建立的近百年贵阳均一化气温序列，序列插补数据少，是西南区域乃至国内少有的器测气温序列；该序列可供深入了解云贵高原近百年气温变化和贵州区域气候变化。

1 资料和方法

资料源于贵阳站历史沿革、观测薄、月报表和年报表。1949 年之前全国气温资料，参考唐国利和林学椿（1992）序列，1949 年之后资料来源于国家气候中心。气温序列非均一性检验，应用标准正态归一（SNHT）检验（宋超辉等，1995；严小冬等，2009；任国玉等，2010；李庆祥，2011；2016）。显著性水平检验应用黄嘉佑（2010）著作中统计量 *T* 分布检验、均值与标准差检验。突变时间检测应用 *M-K* 和 *Yamamoto* 检验（符淙斌和王强（1992）、丹尼尔·威尔克斯（2017））。下文介绍 1949 年之前贵阳气温数据缺失插补、台站迁移非均一性订正、气温阶段性升降变化判定的技术方法。

1921—1936 年贵阳站仅有日最高气温（T_{max}）、日最低气温（T_{min}）记录，无日平均气温记录，其日平均气温（T），通过式（1）构建。

$$T = \frac{(T_{max}+T_{min})}{2} - \Delta T \qquad (1)$$

式中△T为1938—1949年日最高、最低气温均值与对应日平均气温差值的平均值。

根据邻域气温场连续均一原理，在距贵阳站100 km范围内选取一个最优参考站（贵阳站址变动前或后最近一个气候周期逐年气温、逐年气温变化差值相关系数均最高的站），用式（2）对迁站后或前的气温做非均一性订正。与选用多个参考站逐年拟合订正相比，该方法的计算量和多站噪音影响均相对较小。

$$T_{gk} = T_{g(k-1)} + C \times (T_{ck} - T_{(ck-1)}) \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{29}\sum_{k=2}^{30}\left(\frac{T_{gk} - T_{g(k-1)}}{T_{ck} - T_{c(k-1)}}\right) \quad (3)$$

式中：T_{gk}、T_{ck}分别是贵阳站、最优参考站第k年气温，$T_{g,k-1}$为贵阳第k-1年气温，T_{ck}-$T_{c,k-1}$为参考站第k年与前一年气温差值。 C是以站址迁移年为界的一个气候周期内，贵阳站与参考站站址均无变动的逐年气温变化值比值平均值。

用年气温序列（t_i）构建其逐累年平均序列T_j，如式（4）所示，该序列可清楚显示气温阶段性的升降变化，T_j的低值、高值分别对应阶段性升转折年和降转折年。

$$T_j = \frac{1}{i}\sum_{j=1}^{i} t_i \quad j \le i = 1 \ldots\ldots k \quad (4)$$

2 贵阳国家基准气象站历史沿革及气温数据缺失情况

自1920年9月5日贵阳站建站以来，其站址变动6次，前5次在老城区辗转变动，最远距离2500 m，最大海拔差为17.6 m；2000年为最后一次迁站，迁站距离2.5 km，海拔差为154 m。2004年起由人工观测改为自动观测，与气温相关的历史沿革数据（吴增祥，2006）见表1。

表1 贵阳站1920年9月5日至2023年12月31日气温相关历史沿革数据

Table 1 Historical evolution of temperature-related data at Guiyang National Reference Meteorological Station from 5 September 1920 to 31 December 2023

《气象》待刊

观测时段	台站海拔高度/m	观测仪器	观测时次
1920 年 9 月 5 日至 1935 年 10 月 31 日	1075.0	水银温度表	08、14、20 时
1935 年 11 月 1 日至 1937 年 11 月 30	1075.0	水银温度表	逐时观测
1937 年 12 月 1 日至 1953 年 8 月 31 日	1057.4	水银温度表	逐时观测
1953 年 9 月 1 日至 1953 年 12 月 31 日	1071.2	水银/酒精温度表	逐时观测
1954 年 1 月 1 日至 1960 年 7 月 31 日	1071.2	水银/酒精温度表	01、07、13、19 时
1960 年 8 月 1 日至 1985 年 12 月 31 日	1071.2	水银/酒精温度表	02、08、14、20 时
1986 年 1 月 1 日至 1986 年 12 月 31 日	1074.3	水银/酒精温度表	02、08、14、20 时
1986 年 1 月 1 日至 1999 年 12 月 31 日	1074.3	水银/酒精温度表	逐时观测
2000 年 1 月 1 日至 2003 年 12 月 31 日	1227.3	水银/酒精温度表	逐时观测
2004 年 1 月 1 日至今	1227.3	铂电阻温度传感器	逐分观测

贵阳站建站以来的气象观测记录月报表完整，1921—1944 年月报表中记录有日最高气温、日最低气温及二者均值（代替的日气温和气温日较差）。1937 年 2 月起有气象观测薄记录，记录内容包括：逐时气温、日最高气温和日最低气温。图 1 是 1921—1949 年贵阳气象观测薄、月报表整合后的日气温数据缺失情况，日最低气温缺失率为 5.2%，日最高气温缺失率为 5.3%；日气温：1921—1936 年，数据缺失率为 100%，1937—1948 年，数据缺失率为 12.2%，1949 年之后，数据完整。需要说明的是：1921—1953 年，日最高气温、日最低气温是当日 00—23 时观测值；1954 年 1 月至 1960 年 7 月、1960 年 8 月至 2023 年 12 月，日最高气温、日最低气温分别是前日 19 时至当日 19 时、前日 20 时至当日 20 时出现的最高气温、最低气温；1937—1944 年、1960 年 8 月至 2020 年 12 月，日气温是当日 02、08、14、20 时的 4 次气温正点观测值平均值；1954 年 1 月至 1960 年 7 月，日气温是当日 01、07、13、19 时的 4 个时次气温正点观测值平均值。

《气象》待刊

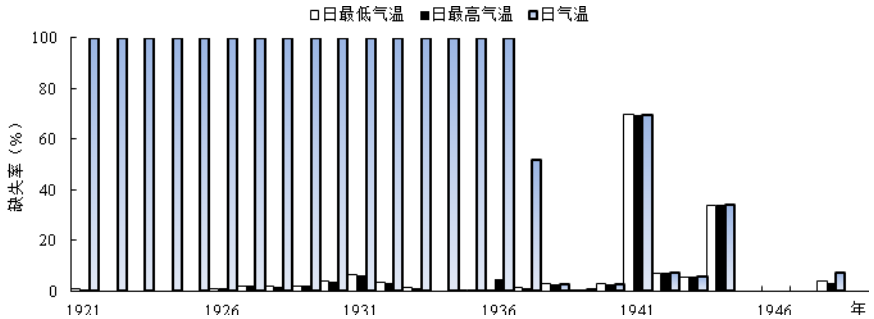


图 1　1921—1949 年贵阳站逐年气温数据缺失率

Fig.1　Percentage of missing temperature data from 1921 to 1949 at Guiyang Station

3　气温资料预处理

3.1　1949 年之前贵阳站多源气温资料考证

贵州气象档案馆存有贵阳站建站以来完整的气象观测月报表，1937 年以来的气象观测记录薄（部分缺失），以及 1940 年 4 月 13 日至 6 月 24 日的天气报告明文存根。图 2 是用月报表数据建立的百年最高、最低气温及气温日较差序列。经过滑动 *T* 检验、SNHT 等方法检测发现：1937 年、1944 年、1999 年 3 个序列出现断点，其中 1938—1944 年的***气温日较差***和 1940—1943 年的***最高、最低气温***，与序列均值比较差异显著，差值接近或高于序列 3 倍标准差。对比表 1 元数据，1999 年断点是迁站导致，2000 年后气温偏低与站址变动相符，1937 年、1944 年断点与站址变动不符，因此，必须考证 1938—1944 年贵阳气象观测月报表中，***最低气温显著偏低、最高气温偏高的正确性***。这里用贵阳站多源气温观测记录和同期多站气温日较差比对考证，表 2 是贵阳站 1940 年 5 月观测薄、月报表和天气报 3 种气温记录统计结果（档案中只有 1940 年 5 月有完整天气报文），月报表中气温与天气报告一致性很差，***最低气温***完全不一致，两者最大差值为 9.1℃，平均误差为 4.6℃，观测薄中气温与天气报告一致性高，***最低气温***两者一致率为 87%，两者最大差值为 1.1℃，平均误差为 0.2℃。图 3 展示了贵阳 1940 年 5 月 12 日观测薄（3a）、天气报告存根（华氏温度）（3b）与手工抄录 5 月报表（3c）的扫描图像例证，天气报告存根中的华氏温度换算为摄氏温度，最高气温 ***（79.7－32）/1.8＝26.5 ℃***、最低气温 ***（63.5－32）/1.8＝17.5 ℃***，与观测薄中 18 时最高气温 ***26.5 ℃***和 07 时最低气温 ***17.5 ℃***一致，与月报表中 12 日第 4 列最高气温 ***27.2 ℃***、第 3 列最

《气象》待刊

低气温 ***13.0 ℃***不一致。图 4 是 1938—1950 年贵阳、独山、毕节同期气温日较差序列，图中反映出贵阳观测薄气温日较差与独山、毕节气温日较差变化一致，日较差大小与地理纬度相符（独山位于贵阳东南，毕节位于贵阳西北），而 1938—1944 年月报表记录与独山、毕节差异大，也与地理位置不符。因此，1938—1944 年贵阳月报表中日最高、最低气温数据不宜用于百年序列构建，构建本序列改用观测薄记录数据。

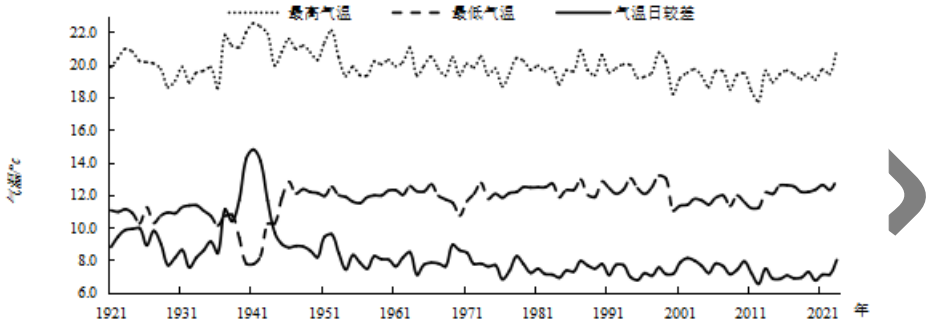


图 2　1921—2023 年贵阳气象观测月报表最低气温、最高气温、气温日较差序列

Fig.2　Sequences of minimum temperature, maximum temperature and diurnal temperature range from Guiyang Meteorological Observation Monthly Reports from 1921 to 2023

表 2　1940 年 5 月贵阳站观测薄、月报表、天气报日最高、最低气温记录比对

Table 2　Comparison of daily maximum and minimum temperature records from Observation Log, Monthly Report and Synoptic Report for May 1940 at Guiyang Station

对比项	数据一致率/%		最大误差/℃		平均误差/℃	
	观测薄/天气报	月报表/天气报	观测薄/天气报	月报表/天气报	观测薄/天气报	月报表/天气报
最高气温	80	58	1.9	3.3	0.5	1.0
最低气温	87	0	1.1	9.1	0.2	4.6

图 3　贵阳站 1940 年（民国 29 年）5 月 12 日（a）观测薄（b）天气报告存根（c）5 月报表扫描图像

Fig.3　Scanned images of Guiyang Station （a）the stub of the Guiyang Observation Log （b） Synoptic Report for 12 May, （c） the Monthly Report for May in 1940

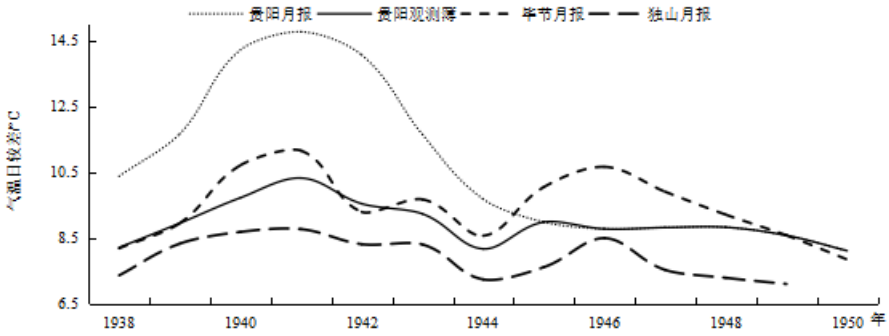


图 4　1938—1950 年贵阳、毕节、独山气温日较差序列

Fig.4　Temperature diurnal range sequences from 1938 to 1950 in Guiyang (Monthly Report and Observation Log), Bijie and Dushan (Monthly Report)

3.2　1921—1936 年、1941 年、1944 年缺失气温插补

由于 1921—1936 年无日气温记录，只能用其***日最高气温、最低气温据式（1）构建日气温***，误差用 1938—1949 年的日最高、日最低气温与日平均气温数据制作的标尺订正，标尺如图 5 所示，图中全量程订正均值与年订正值一致，同为 0.7，月气温订正值见表 3。

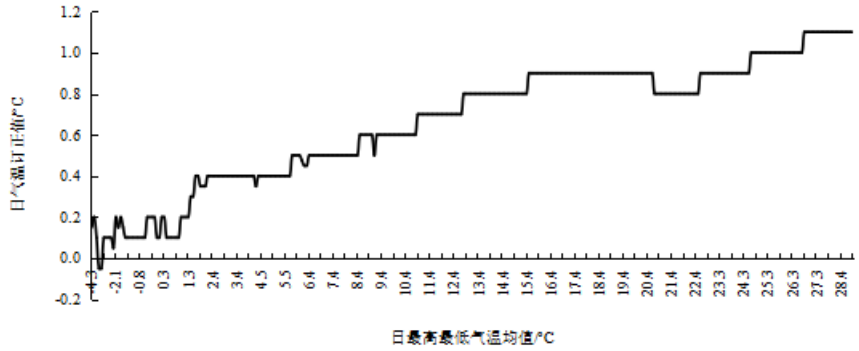


图 5　1938—1949 年贵阳日最高最低气温均值与日气温差值分布

Fig.5　Difference distribution between the mean value of daily maximum and minimum temperatures and daily temperature in Guiyang from 1938-1949

表 3　贵阳月、年***最高和最低***气温均值转换到月、年气温订正值

Table 3　Monthly and annual average of maximum and minimum temperatures in Guiyang convert to monthly and annual temperature corrections

月　份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年

订正值	0.5	0.8	0.7	0.8	0.6	0.6	0.9	1.0	0.9	0.7	0.7	0.5	0.7

1937 年、1941 年、1944 年缺失的月最低、最高气温和月气温数据，用独山站（与贵阳站***最高气温***、***最低气温***、***气温***相关系数分别为 0.986、0.994、0.995）同期数据，参考王海军等（2008）、司鹏等（2017）介绍的方法补齐。

3.3 不同观测时制年气温相关性及差异

贵阳站气温观测主要有 3 种观测时制，相关规定见中国气象局 1950 版；1954 版；1961 版；2003 版地面气象观测规范。百年气温序列的日、月、年气温以常用的 02 时、08 时、14 时、20 时 4 次观测平均构建，需分析几种时次观测数据统计气温的误差和相关性，表 4 是几种观测时次正点观测统计年气温与逐时次正点观测统计年气温的误差及相关性。人工和自动观测 10 年期统计结果均表明，贵阳历史上 3 种气温观测时次与逐时次观测统计年气温的误差在-0.1～0.1℃，相关系数为 1.000，因此，3 种观测时次统计年气温构建百年序列兼容并且具有代表性。

表 4 贵阳 4 个时次与逐时次观测统计年气温的差异和相关系数

Table 4 Differences and correlation coefficients between four-times-a-day observation and hourly observation in statistical annual temperature for Guiyang

观测方式 观测时次	人工观测（1993—2002 年）与 逐时次观测统计年气温差异/相关系数	自动观测（2011—2020 年）4 个时时次与 逐时次观测统计年气温差异/相关系数
02；08；14；20	0.1/1.000	0.1/1.000
01；07；13；19	0.1/1.000	0.1/1.000
00；06；12；18	-0.1/1.000	0.0/1.000

3.4 气温资料的均一化

据贵阳站历史沿革，影响贵阳站气温序列非均一性的因素（参见气象出版社出版：WMO 观测指南，2006；吴增祥，2005；2006）有：观测时次差异、观测仪器变更、站址变动、计算方法等。2004 年，贵阳站气温观测仪器由人工观测转换为自动观测，已有研究表明两种观测序列无显著差异（王颖和刘小宁，2002；吴兴洋等，2023）。因此，构建贵阳站均一化气温序列的关键是订正 1999 年贵阳站址变动引起的气温非均一。鉴于 1937 年以前，贵州仅贵阳有气象观测记录，因此，本研究首先考虑将现址气温订正到旧址（城区），命名为序列

1；为了方便后续序列延长，也将 2000 年前气温订正到现址（东山），命名为序列 2。序列 1 中，清镇站（1970—1999 年，贵阳、清镇两站气温及气温逐年变化差值序列的相关系数分别为 0.96、0.99。）是贵阳站旧址最优参考站，贵阳站旧址 2000—2023 年气温，以贵阳站 1999 年气温作为初值，用清镇站与贵阳站现址同期气温，据式（2）延长。序列 2 中，乌当站（2000—2023 年，贵阳、乌当两站气温及气温逐年变化差值序列的相关系数分别为 0.96、0.97）是贵阳站现址最优参考站， 贵阳站现址 1968（乌当站 1968 年起，气温完整均一）—1999 年气温，以贵阳站 2000 年气温作为初值，用乌当站与贵阳站旧址同期气温，据式（2）延长，用现址延长的 1970—1999 年气温序列与原序列（旧址）差值均值，去订正原序列 1921—1967 年逐年气温得到现址同期气温。

4 贵阳近百年气温统计特征及变化

4.1 贵阳百年气温特征值与变化分析

在补齐贵阳近百年气温缺失数据和站址变动引起气温非均一性订正后，建立了城区序列 1 与东山序列 2。序列 1 和序列 2 的气温、最高气温、最低气温、气温日较差相关系数分别为 0.99、0.98、0.97、0.98。由 2 个气温序列的百年特征值可见（表 5），序列 1 和序列 2 百年中的最高、最低气温出现年一致；同时，城区的气温、最高气温、最低气温分别比东山分别偏高 1.6、1.1、1.7℃，而气温日较差则比东山偏低 0.4℃，反映了贵阳城市有较为明显的热岛效应。

表 5 1921—2023 年贵阳气温序列 1/序列 2 特征值(单位：℃)

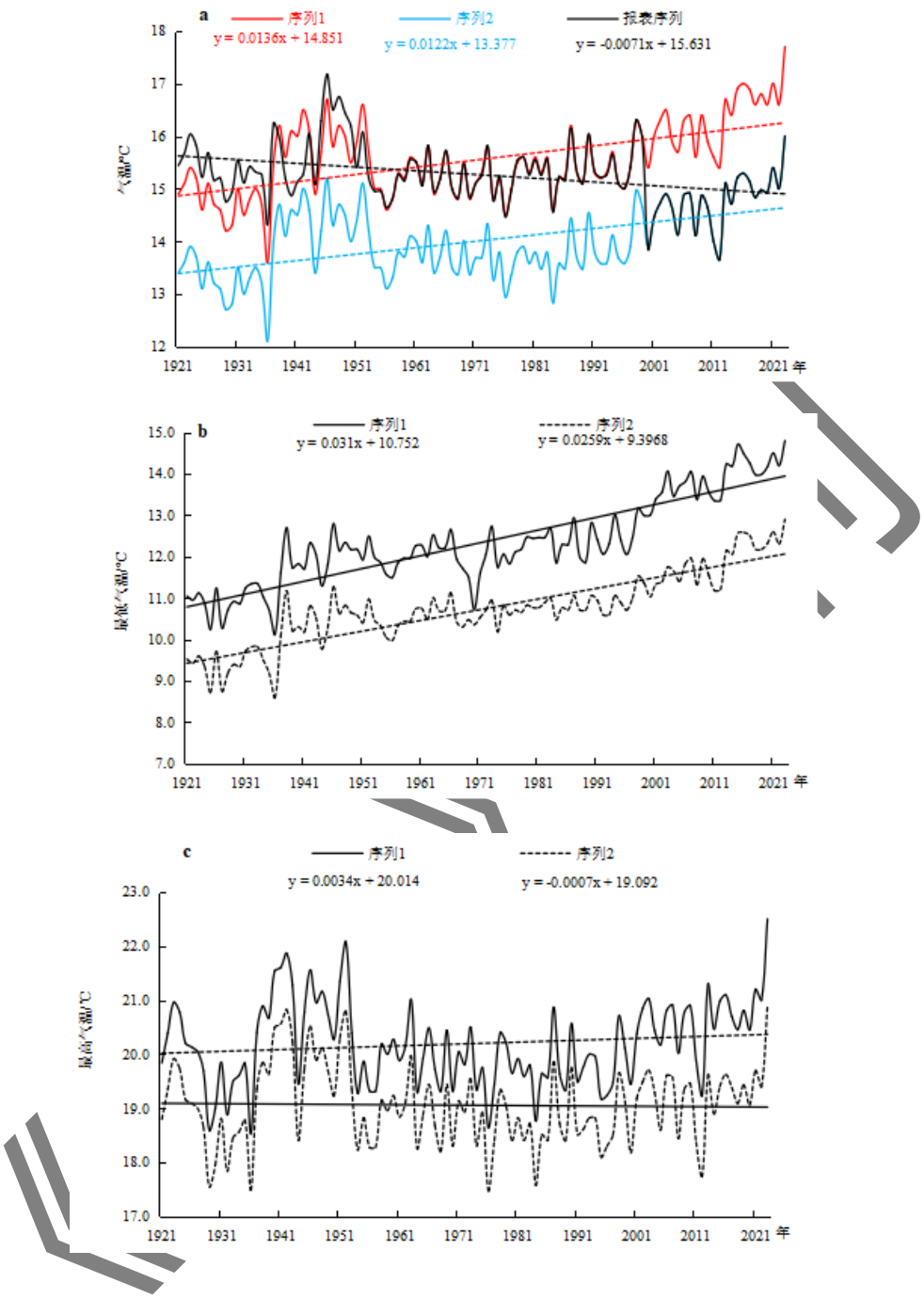
Table 5 Eigenvalues of Guiyang temperature series 1 / series 2 from 1921 to 2023 （unit:℃）

特征值 项 目	平均值	最高值（出现年）	最低值（出现年）
气 温	15.6/14.0	17.7/16.0（2023）	13.6/12.1（1936）
最低气温	12.3/10.6	14.8/12.9（2023）	10.1/8.6（1936）
最高气温	20.2/19.1	22.5/20.9（2023）	18.5/17.5（1936）

《气象》待刊

图 6a~6d 分别是均一化订正前后的贵阳站气温、最低气温、最高气温、气温日较差百年序列。与图 2 对比可见，1938—1944 年最低气温明显偏低、最高气温偏高，且气温日较差明显偏大得到了纠正，站址变动及资料不准确所呈现的断点消失，序列均一性好。订正序列 1 与月报表序列相比， 1921—1937 年、1944—1949 年月报表序列的最高、最低气温均值代替的气温偏高，1938—1944 年最高、最低气温均值代替的气温偏低，1950—1953 年的 3 次观测统计气温偏低（图 6a）。序列 1 和序列 2 中，气温变化倾向率分别为 0.14℃ $(10\ a)^{-1}$、0.12℃ $(10\ a)^{-1}$，最低气温分别约以 0.31℃ $(10\ a)^{-1}$、0.26℃ $(10\ a)^{-1}$ 的倾向率升温，序列 1 与序列 2 气温日较差则分别约以-0.29℃ $(10\ a)^{-1}$、-0.27℃ $(10\ a)^{-1}$ 的倾向率减小，最高气温无明显变化（图 6b~6d）。订正前，序列 1 呈降温趋势，趋势系数为-0.35，订正后，序列 1/序列 2 气温变化趋势系数分别为：气温 0.56/0.52，最低气温 0.87/0.87、日较差 -0.84/-0.83，均通过了 0.01 显著性水平检验。图 6a 中 1936—1953 年的贵阳气温波动较大。为此，建立 1937 年建站且资料较完整的毕节、独山 1937—2020 年气温序列（图 6e），该时期 2 个站的气温变化与贵阳一致。观察发现序列中 2011—2023 年气温的变化与 1936—1948 年期间的变化相似，进一步分析贵阳气温变化周期，贵阳气温存在 16 年和 32 年左右的周期，该结果与魏凤英和曹鸿兴（1995）、尤卫红等（1998）的结论相似。

为了评估贵阳近百年气温序列 1、序列 2 的代表性，应用国家气候中心 1951—2020 年全国评估气温变化数据、近 3 年国家气候公报及唐国利和林学椿（1992）研究成果，构建 1921—2023 年全国气温序列，并与同期全球气温（https://www.ncei.noaa.gov/data/global-summary）同期序列对比，分析与贵阳序列 1 和序列 2 的相关性，相关系数见表 6。同时，以 1970—1999 年均值为基准值（该时期观测仪器规格和规范与全国一致），做各序列标准值距平图 ~~Z_score~~（图 6f），结果表明贵阳气温变化与全球气温变化有较好的一致性，其中 1950—1953 年是中国气温与全球和贵阳气温差异最大的时期。


a
序列1
y = 0.0136x + 14.851
序列2
y = 0.0122x + 13.377
报表序列
y = -0.0071x + 15.631
气温/°C
年
b
序列1
y = 0.031x + 10.752
序列2
y = 0.0259x + 9.3968
最低气温/°C
年
c
序列1
y = 0.0034x + 20.014
序列2
y = -0.0007x + 19.092
最高气温/°C
年

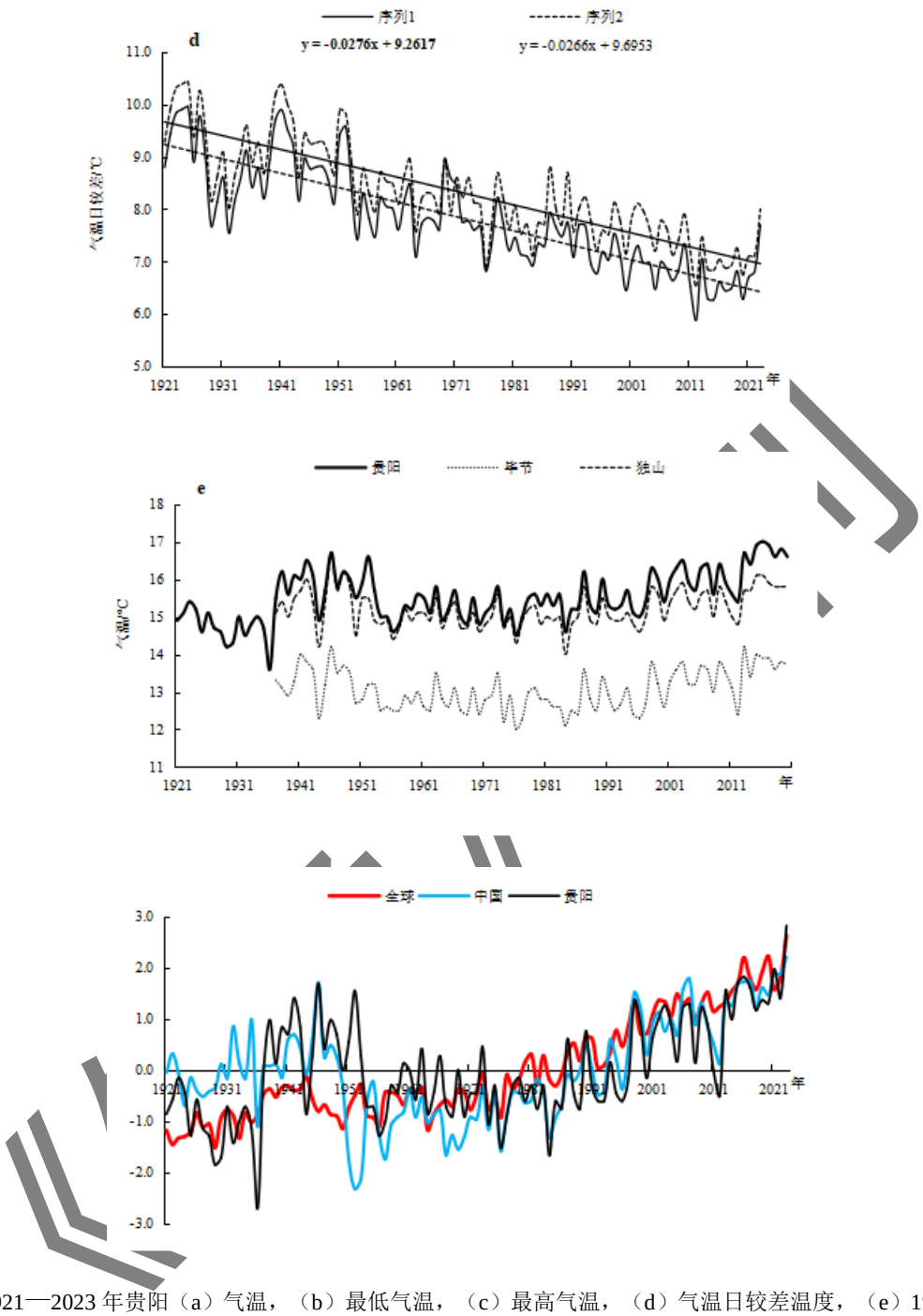


图 6　1921—2023 年贵阳（a）气温，（b）最低气温，（c）最高气温，（d）气温日较差温度，（e）1937—2020 年贵阳、毕节、独山气温，（f）1921—2023 年贵阳、中国、全球气温距平标准值（以 1970—1999 年为基准值）

Fig.6　Guiyang temperature series from 1921 to 2023: (a) Temperature, (b) Minimum temperature, (c) Maximum temperature, (d) Diurnal temperature range, (e) Temperature series of Guiyang、Bijie and Dushan from 1937 to 2020, (f) Standard value series of temperature anomaly for Guiyang, China and the globe from 1921 to 2023 (with the base period 1970-1999)

表 6　1921—2023 年贵阳、中国气温序列与全球气温序列不同时段相关系数

Table 6　Correlation coefficients between Guiyang and China temperature series versus global temperature series at different time periods from 1921 to 2023

时段——区域	1921—1953 年	1954—2023 年	2000—2023 年	1921—2023 年
	全球区域	全球区域	全球区域	全球区域
贵阳报表序列	0.039	-0.104	0.750	-0.275
贵阳城区序列	0.537	0.831	0.813	0.709
贵阳东山序列	0.537	0.849	0.750	0.675
中国区序列	-0.055	0.919	0.722	0.681

4.2　贵阳近百年气温阶段变化与突变检验

据式（3）建立贵阳站逐累年平均气温、逐累年平均最高、最低气温序列（图 7）。由图可见，贵阳气温、最高气温经历了两次明显的“降、升”变化，第一个“降、升”期，序列 1 和序列 2 在 1921—1936 年（降温），1937—1953 年（升温），第二个降温期：序列 1 是 1954—1977 年，序列 2 是 1953—1986 年， 序列 1 在 1978—1986 年是弱升温，可能与城市热效应有关，1987 年至今，序列 1 和序列 2 是升温趋势；最高气温第二个降温期从 1954 年持续到 1996 年，1997 年后进入升温周期。最低气温仅在 1921—1929 年，是较为明显的降温期，1929 年至今是明显升温趋势。

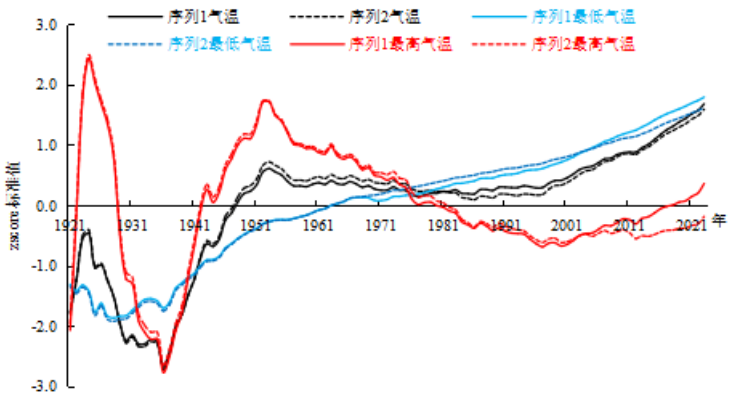
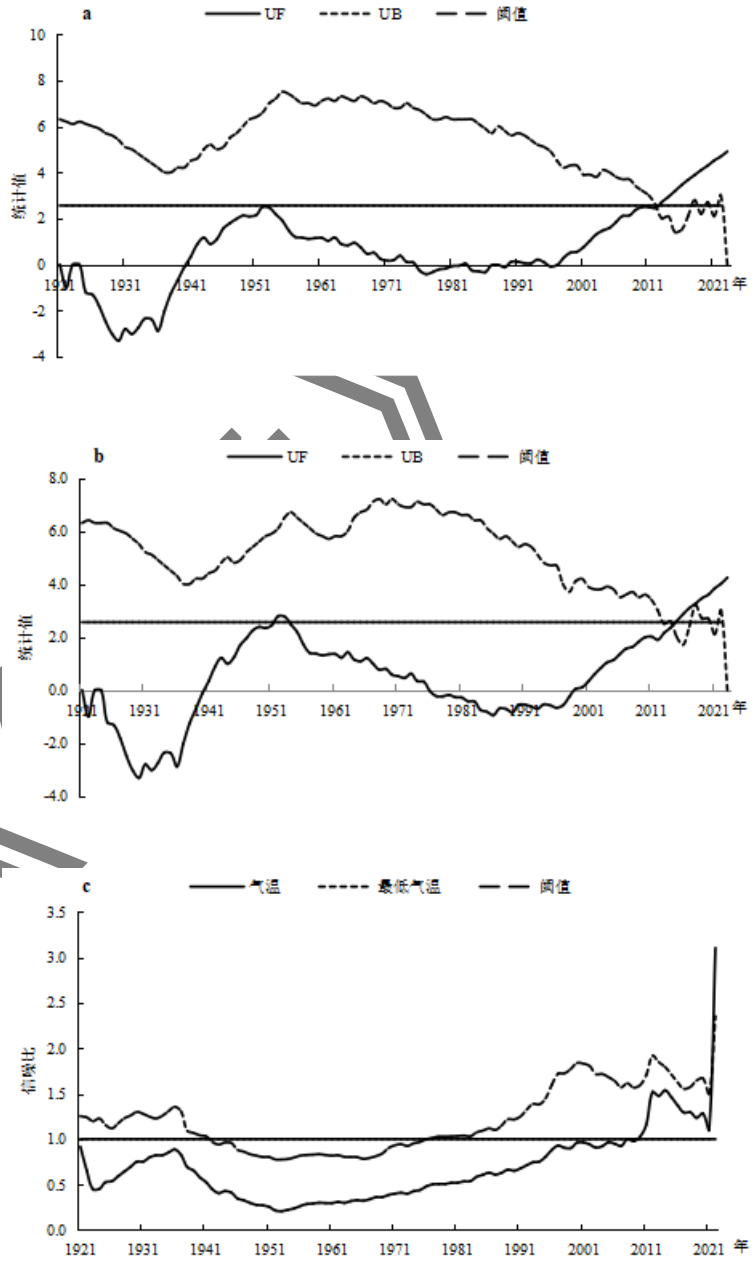


图 7　1921—2023 年贵阳站逐累年平均气温、逐累年平均最高、最低气温标准值序列

Fig 7　The standard value series of the cumulative annual average temperature, the cumulative annual average maximum and minimum temperature in Guiyang Station from 1921 to 2023

贵阳站气温序列 1 和序列 2 的 *T* 检验表明，1929 年、1936 年贵阳显著偏冷，2015—2017 年、2021 年、2023 年贵阳显著偏暖。由于最高气温没有明显的趋势变化，这里仅对序列 1 和序列 2 的气温、最低气温进行突变检测。序列 1、序列 2 的 M-K 检验（图 8a，8b）和 Yamaomoto 信噪比（图 8c，8d）检验结果相同，2 个序列的突变均发生在 2011 年，图 6a

显示 2012 年之后气温一直处于线性变化趋势线上方，也佐证了这一结果。序列 1 和序列 2 的最低气温突变年信噪比和 M-K 检验有差异，信噪比检验最近的突变分别发生在 1977 年、1990 年（图 8c，8d），M-K 检验（图略）最近的突变年均在 1997 年，与张寅等（2020）1901—2018 年全球最低气温序列最近的一次突变时间一致。图 8e 为气温、最低气温突变前后累年平均值距平及突变前后变化倾向率，气温和最低气温突变前累年平均为负距平，突变后累年平均为正距平，突变后的距平值超过突变前的 3 倍；突变前、后的气温变化倾向率差异达 10 倍，最低气温变化倾向率差异为 3 倍。



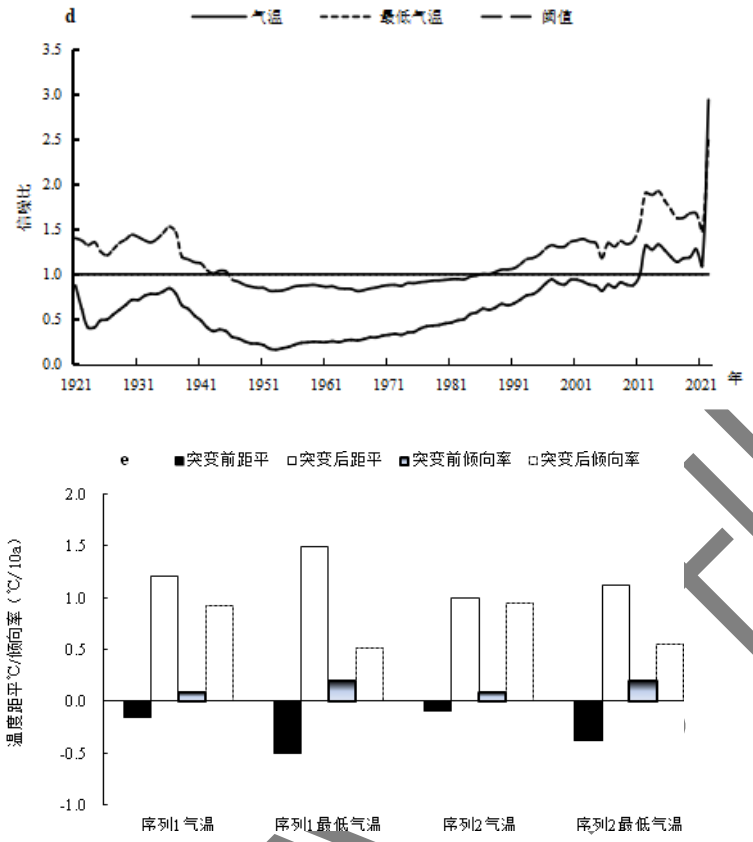


图 8　贵阳站 1921—2023 年（a,c）序列 1、（b,d）序列 2 的（a,b） 气温 M-K 检验,（c,d）气温和最低气温信噪比检验,（e）2 个序列气温和最低气温突变前后累年均值距平及变化倾向率

Fig 8　Statistical tests of temperature series in Guiyang Station from 1921 to 2023: (a) and (b) represent the M-K test for temperature series 1 and series 2; (c) and (d) represent the SNR test for temperature and minimum temperature series 1 and series 2; (e) represents the cumulative annual mean anomalies and tendency rates before and after the abrupt change in temperature and minimum temperature for series 1 and series 2

4.3　年平均最高、最低气温均值序列与年平均气温序列的差异

贵阳自建站以来最高、最低气温数据完整，建立最高、最低气温均值序列，命名为序列 3。唐国利和丁一汇（2007）、Liu et al（2019）对比了全国 603 个观测站 1961—2002 年气温序列 3 与序列 1 的距平序列及增温速率，认为差异不明显，在一定条件下两者可以互相替换，同时也指出最高、最低气温变化普遍存在不对称现象。图 6a、6b、6c~~4.1~~中贵阳序列 1 和 2 都表明贵阳最高、最低气温变化不同步，最低气温升温早于和快于最高气温，这与江志红和丁裕国（1999）、胡桂芳等（2004）、居丽丽等（2020）研究结果一致。表 8 列出了贵阳序列 1 和序列 3 在最近一个升温期 1978—2023 年、突变后 2012—2023 年及 1921—2023

年的变化倾向率，序列 1 和序列 3 变化倾向率在不同时期都存在差别，最高、最低气温均值序列变化倾向率比气温序列大。

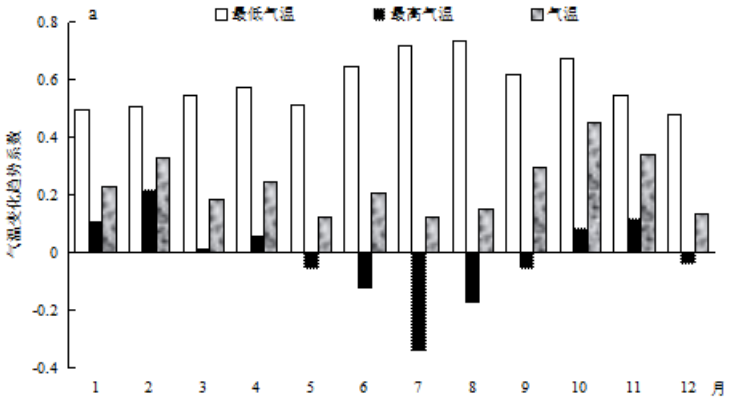
表 7　贵阳站 1921—2023 年气温序列 1 与最高、最低气温均值序列 3 在不同时期变化倾向率（℃ (10 a)$^{-1}$）

Table 7　The trend rates in different periods of the temperature series and the series of average maximum and minimum temperatures in Guiyang Station from 1921 to 2023（℃ (10 a)$^{-1}$）

时段	1978—2023	2012—2023	1921—2023
气温序列	0.39	0.945	0.136
最高、最低气温均值序列	0.452	0.995	0.172

4.4　贵阳近百年气温的月、季变化

图 9a，9b 为 1921—2023 年贵阳百年气温序列 1 的月变化趋势系数、季节变化倾向率。最高气温变化仅 2 月升温趋势和 7 月降温趋势分别通过了 0.05 和 0.01 的显著性水平检验；气温升温趋势在降水或雨日偏多的 3 月、5 月、7 月、8 月及 12 月，未通过 0.05 显著性水平检验，1 月、4 月和 6 月，通过 0.05 显著性水平检验，在降水或雨日偏少的 2 月、9 月、10 月及 11 月，通过了 0.01 显著性水平检验，可见降水对气温、最高气温升温速率有一定程度的调节作用。最低气温 1—12 月升温均通过了 0.01 显著性水平检验，由于最低气温多出现在夜间，季节更替与降水都没有影响其明显的升温趋势，升温应是非自然因素所致。季节上，最低气温四季升温显著；气温在秋、冬季升温明显，夏季是贵阳近百年来气温变化最小的季节；最高气温季节变化不明显。



气象公报

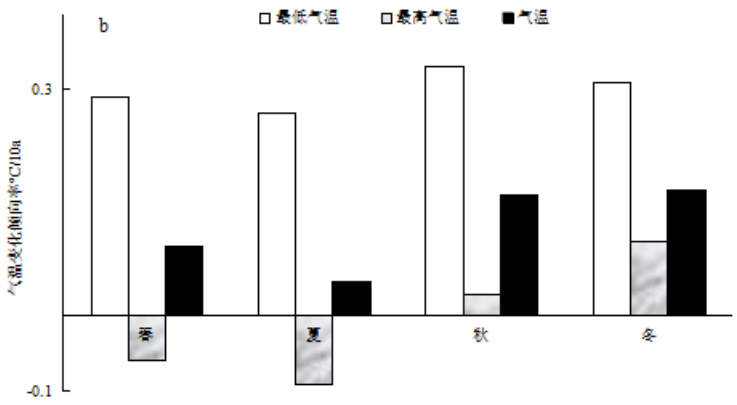


图 9　1921—2020 年贵阳气温的（a）月变化趋势系数和（b）季节变化倾向率

Fig.9　Temperature trends in Guiyang from 1921 to 2020: (a) Monthly variation trend coefficient, (b) Seasonal variation tendency rate

5　结论与讨论

贵阳近百年多源气温数据经对比和严格的质量控制后建立的均一化序列，得到以下主要结论：

（1）贵阳气温近百年升温趋势显著，气温升温趋势系数 0.52～0.56，变化倾向率 0.12～0.14℃ $(10\ a)^{-1}$，百年间经历了两次主要“升温”过程，早期是 1937—1953 年，最近一次始于 1978 年，与童宣等（2018）、Cao et al（2017）的结论一致，但贵阳的升温过程有区域特征，1978—1986 年升温缓慢，1987 年后升温加快，1996 年起升温加速，2011 年升温突变。最低气温仅在 20 世纪 30 年代出现过短暂降温，1929 年以来一直呈震荡上升趋势，百年间变化区间在 2.6～3.0 ℃。百年来年平均气温日较差呈明显减小趋势，减小了 2.7～2.9℃，最高气温没有明显的趋势变化，升温主要是由最低气温升高所致，最低气温出现时间为夜间占绝对多数，气候变暖的主要原因，应是非自然热力强迫所致。

（2）秋、冬季升温明显，最低气温和气温夏季升温最少。气温秋季升温最多，5 月升温最少，10 月升温最多。春、秋季贵阳最低气温（百年平均分别为 12.4℃、13.2℃）较低，冬季百年平均气温为 6.3℃，且气温日较差为 6.5℃，在一定程度上影响人居生活。夏季最高气温介于 26.7～29.0℃，变化呈不显著减小趋势，百年均值为 28.2℃，未来有较强的避暑优势。

《气象》待刊

（3）随着城市化发展，城市规模逐渐扩大，人口增多，城市热效应逐步显现，苗世光等（2020）、张爱英等（2010）、司鹏等（2010）研究表明，城市气象站气温在反映气候变暖方面存在放大现象。白莹莹等（2015）、周晓宇等（2022）、程志刚等（2016）分别用重庆、昆明气象观测数据、成都 MODIS 影像数据从不同角度研究了重庆、昆明、成都的城市热效应，贵阳虽然没有此类城市规模大，但其城市热效应有相似之处，夜间强于白天，极端高温有减小情况。序列 1 和序列 2 气温日较差变化（图 6d）反映出：自 20 世纪 90 年代后期发展至今，贵阳城市气温具有明显的热效应，2000 年以来东山与城区日较差平均差值为 0.4℃，城区热效应约为 0.36℃，可参见李庆祥等（2009）、汪凯等（2010）相关研究。

（4）近百年来，贵阳气温发生突变对应本区域、中国区域和全球气温升温速率变化的时间节点，有着较强的气候变化信号作用。1997 年，贵阳城区最低气温升温强突变，对应中国区域和贵州区域加速升温时间节点，年平均气温 2011 年发生突变，与全球加速升温一致。据贵阳气温冷暖交替时间周期推测，本轮暖周期将延续至 2024 年。

（5）20 世纪 30 年代中后期至 50 年代初（1937—1953 年），贵阳阶段性升温，1947—1953 年 “偏暖”，与全球和北半球同期气温变化一致，该结果不同于“唐国利、林学椿等构建的中国百年气温序列，1946 年后中国区域气温下降很快，降温早于北半球”。1950—1953 年，是贵阳气温序列与现有中国区域气温序列差异最明显的时期，已有的中国百年气温序列，1950—1953 年与全球气温变化的差异是否因统计所致，有待考证。该时期在全国有部分台站月报表的气温是三次观测记录，用它统计年气温，气温偏低，在贵阳、贵州区域订正前后的序列中均有反映。

本研究探索了站址迁移引起气温非均一性处理、气温阶段性变化新技术，基于原始观测数据质量控制后建立的 2 个序列，但未订正城市热效应的影响，因此序列还有待进一步改进。由于最高气温和最低气温的长期变化不同步，因此，用最高、最低气温均值序列研究气温变化，虽然在气温变化趋势方面具有代表性，但其能否准确反映气温变化过程的长期变率，尚需进一步探索。

谨以此文特别致敬：1949 年之前贵阳测候所的气象观测工作者！特别感谢国家气候中心王长科同志提供的 1951—2020 年中国区气温数据。

《气象》待刊

参考文献

白莹莹, 程炳岩, 王勇, 等, 2015. 城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响[J]. 气象, 41(3): 319-327. Bai Y Y, Cheng B Y, Wang Y, et al, 2015. Influences of urbanization speed on the summer high temperature and sultry weather in Chongqing[J]. Meteor Mon, 41(3): 319-327 (in Chinese).

陈文秀, 郝克俊, 田宏, 1999. 近 100 年四川气温变化的多时间尺度分析[J]. 成都气象学院学报, 14(1): 78-82. Chen W X, Hao K J, Tian H, 1999. Multiple time scale analyses of surface temperature variations in Sichuan during last 100 years[J]. J Chengdu Univ Inf Technol, 14(1): 78-82 (in Chinese).

程志刚, 杨欣悦, 孙晨, 等, 2016. 成都地区夏季城市热岛变化及其与城市发展的关系[J]. 气候变化研究进展, 12(4): 322-331. Cheng Z G, Yang X Y, Sun C, et al, 2016. The trend of summer urban heat island effect and its relationship with urban development in Chengdu[J]. Climate Change Res, 12(4): 322-331 (in Chinese).

丹尼尔 威尔克斯, 2017. 大气科学中的统计方法[M]. 朱玉祥, 译. 北京: 气象出版社: 1-25. Wilks D, 2017. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences[M]. Zhu Y X, trans. Beijing: China Meteorological Press: 1-25 (in Chinese).

丁一汇, 王会军, 2016. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 61(10): 1029-1041. Ding Y H, Wang H J, 2016. Newly acquired knowledge on the scientific issues related to climate change over the recent 100 years in China[J]. Chin Sci Bull, 61(10): 1029-1041 (in Chinese).

符淙斌, 王强, 1992. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 16(4): 482-493. Fu C B, Wang Q, 1992. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Sci Atmos Sin, 16(4): 482-493 (in Chinese).

郭军, 任国玉, 任雨, 2011. 近 100 年天津平均气温与极端气温变化[J]. 高原气象, 30(5): 1399-1405. Guo J, Ren G Y, Ren Y, 2011. Changes of mean and extreme temperatures in Tianjin in recent 100 years[J]. Plateau Meteor, 30(5): 1399-1405 (in Chinese).

胡桂芳, 李芸, 李德萍, 2004. 山东近百年来的最高、最低温度变化[J]. 气象, 30(11): 43-46. Hu G F, Li Y, Li D P, 2004. Changes of maximum and minimum temperature for recent 100 years in Shandong province[J]. Meteor Mon, 30(11): 43-46 (in Chinese).

黄嘉佑, 2010. 气象统计分析与预报方法: 第 3 版[M]. 北京: 气象出版社: 298. Huang J Y, 2010. Statistic Analysis and Porecast Methods in Meteorology[M]. 3rd ed. Beijing: China Meteorological Press: 298 (in Chinese).

《气象》待刊

江志红，丁裕国, 1999. 近百年上海气候变暖过程的再认识——平均温度与最低、最高温度的对比[J]. 应用气象学报, 10(2): 151-159. Jiang Z H, Ding Y G, 1999. Renewed study on the warming process of Shanghai during the past 100 years[J]. Quart J Appl Meteor, 10(2): 151-159 (in Chinese).

居丽丽，史军，张敏, 2020. 1961-2015 年华东地区极端气温变化研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 14(3): 112-121. Ju L L, Shi J, Zhang M, 2020. A study of extreme temperature changes in east China from 1961 to 2015[J]. Desert Oasis Meteor, 14(3): 112-121 (in Chinese).

李庆祥, 2011. 气候资料均一性研究导论[M]. 北京: 气象出版社: 115. Li Q X, 2011. The Introduction to the Research of Climate Data Homogenization[M]. Beijing: China Meteorological Press: 115 (in Chinese).

李庆祥, 2016. 我国气候资料均一性研究现状与展望[J]. 气象科技进展, 6(3): 67-74. Li Q X, 2016. Climate data homogeneity studies in China: progresses and prospects[J]. Adv Meteor Sci Technol, 6(3): 67-74 (in Chinese).

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. Li Q X, Dong W J, Li W, et al, 2010. Assessment of the uncertainties in temperature change in China during the last century[J]. Chin Sci Bull, 55(19): 1974-1982.

李庆祥，黄嘉佑，董文杰, 2009. 基于气温日较差的城市热岛强度指标初探[J]. 大气科学学报, 32(4): 530-535. Li Q X, Huang J Y, Dong W J, et al, 2009. An urban heat island intensity index based on temperature diurnal range[J]. Trans Atmos Sci, 32(4): 530-535 (in Chinese).

李庆祥，李伟, 2007. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立[J]. 气象学报, 65(2): 293-300. Li Q X, Li W, 2007. Construction of the gridded historic temperature dataset over China during the recent half century[J]. Acta Meteor Sin, 65(2): 293-300 (in Chinese).

林学椿，于淑秋，唐国利, 1995. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 19(5): 525-534. Lin X C, Yu S Q, Tang G L, 1995. Series of average air temperature over China for the last 100-year period[J]. Chin J Atmos Sci, 19(5): 525-534 (in Chinese).

刘蕾，李鸾，张丽，等, 2022. 1880—2020 年安徽芜湖气温长序列构建及年代际特征[J]. 干旱气象, 40(5): 831-839. Liu L, Li L, Zhang L, et al, 2022. Construction of temperature series and its decadal characteristics from 1880 to 2020 in Wuhu of Anhui Province[J]. J Arid Meteor, 40(5): 831-839 (in Chinese).

苗世光，蒋维楣，梁萍，等, 2020. 城市气象研究进展[J]. 气象学报, 78(3): 477-499. Miao S G, Jiang W M, Liang P, et al, 2020. Advances in urban meteorology in China[J]. Acta Meteor Sin, 78(3): 477-499 (in Chinese).

《气象》待刊

潘蔚娟, 吴晓绚, 何健, 等, 2021. 基于均一化资料的广州近百年气温变化特征研究[J]. 气候变化研究进展, 17(4): 444-454. Pan W J, Wu X X, He J, et al, 2021. Study on the change characteristics of Guangzhou centennial air temperature based on the homogenization data[J]. Climate Change Res, 17(4): 444-454 (in Chinese).

任国玉, 初子莹, 周雅清, 等, 2005. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 10(4): 701-716. Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, et al, 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China[J]. Climatic Environ Res, 10(4): 701-716 (in Chinese).

任国玉, 张爱英, 初子莹, 等, 2010. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法[J]. 气象科技, 38(1): 78-85. Ren G Y, Zhang A Y, Chu Z Y, et al, 2010. Principles and procedures for selecting reference surface air temperature stations in China[J]. Meteor Sci Technol, 38(1): 78-85 (in Chinese).

施能, 陈家其, 屠其璞, 1995. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 53(4): 431-439. Shi N, Chen J Q, Tu Q P, 1995. 4-Phase climate change features in the last 100 years over China[J]. Acta Meteor Sin, 53(4): 431-439 (in Chinese).

司鹏, 郭军, 赵煜飞, 等, 2022. 北京1841年以来均一化最高和最低气温日值序列的构建[J]. 气象学报, 80(1): 136-152. Si P, Guo J, Zhao Y F, et al, 2022. New series of daily maximum and minimum temperature observations for Beijing, China since 1841[J]. Acta Meteor Sin, 80(1): 136-152 (in Chinese).

司鹏, 郝立生, 罗传军, 等, 2017. 河北保定气象站长序列气温资料缺测记录插补和非均一性订正[J]. 气候变化研究进展, 13(1): 41-51. Si P, Hao L S, Luo C J, et al, 2017. The interpolation and homogenization of long-term temperature time series at Baoding observation station in Hebei province[J]. Climate Change Res, 13(1): 41-51 (in Chinese).

司鹏, 李庆祥, 李伟, 2010. 城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测[J]. 气象, 36(2): 13-21. Si P, Li Q X, Li W, 2010. Impact of urbanization on surface air temperature warming in northeast China[J]. Meteor Mon, 36(2): 13-21 (in Chinese).

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. Song C H, Liu X N, Li J M, 1995. A study of testing methods on inhomogeneity of temperature sequences[J]. Quart J Appl Meteor, 6(3): 289-296 (in Chinese).

孙颖, 2021. 人类活动对气候系统的影响——解读IPCC第六次评估报告第一工作组报告第三章[J]. 大气科学学报, 44(5): 654-657. Sun Y, 2021. Impact of humanactivities on climate system: an interpretation of Chapter III of WGI report of IPCC AR6[J]. Trans Atmos Sci, 44(5): 654-657 (in Chinese).

《气象》待刊

唐国利，丁一汇, 2007. 由最高最低气温求算的平均气温对我国年平均气温序列影响[J]. 应用气象学报, 18(2): 187-192. Tang G L, Ding Y H, 2007. Impacts of the average air temperature derived from maximum and minimum temperatures on annual mean air temperatures series of China[J]. J Appl Meteor Sci, 18(2): 187-192 (in Chinese).

唐国利，丁一汇，王绍武，等, 2009. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. 气候变化研究进展, 5(2): 71-78. Tang G L, Ding Y H, Wang S W, et al, 2009. Comparative analysis of the time series of surface air temperature over China for the last 100 years[J]. Adv Climate Change Res, 5(2): 71-78 (in Chinese).

唐国利，林学椿, 1992. 1921—1990 年我国气温序列及变化趋势[J]. 气象, 18(7): 3-6. Tang G L, Lin X C, 1992. Average air temperature series and its variations in China[J]. Meteor Mon, 18(7): 3-6 (in Chinese).

童宣，严中伟，李珍，等, 2018. 近百年中国两次年代际气候变暖中的冷、暖平流背景[J]. 气象学报, 76(4): 554-565. Tong X, Yan Z W, Li Z, et al, 2018. The background of cold/warm advection for two interdecadal warming processes during the last century in China[J]. Acta Meteor Sin, 76(4): 554-565 (in Chinese).

屠其璞，邓自旺，周晓兰, 1999. 中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究[J]. 应用气象学报, 10(S1): 34-42. Tu Q P, Deng Z W, Zhou X L, 1999. Study of regional characteristics on mean annual temperature variation of near 117 years in China[J]. Quart J Appl Meteor, 10(S1): 34-42 (in Chinese).

汪凯，叶红，唐立娜，等, 2010. 气温日较差研究进展：变化趋势及其影响因素[J]. 气候变化研究进展, 6(6): 417-423. Wang K, Ye H, Tang L N, et al, 2010. Research progresses on diurnal temperature range: variation trend and influential factors[J]. Adv Climate Change Res, 6(6): 417-423 (in Chinese).

王海军，涂诗玉，陈正洪, 2008. 日气温数据缺测的插补方法试验与误差分析[J]. 气象, 34(7): 83-91. Wang H J, Tu S Y, Chen Z H, 2008. Interpolating method for missing data of daily air temperature and its error analysis[J]. Meteor Mon, 34(7): 83-91 (in Chinese).

王丽萍，郑瑞清, 2002. 我国近百年温度降水资料现状及数据集的研制[J]. 气象, 28(12): 27-29. Wang L P, Zheng R Q, 2002. Data set of temperature and precipitation in last 100 years in China[J]. Meteor Mon, 28(12): 27-29 (in Chinese).

王绍武, 1994. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 52(3): 261-273. Wang S W, 1994. Diagnostic studies on the climate change and variability for the period of 1880-1990[J]. Acta Meteor Sin, 52(3): 261-273 (in Chinese).

《气象》待刊

王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等, 1998. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 9(4): 392-401. Wang S W, Ye J L, Gong D Y, et al, 1998. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China[J]. Quart J Appl Meteor, 9(4): 392-401 (in Chinese).

王颖, 刘小宁, 2002. 自动站与人工观测气温的对比分析[J]. 应用气象学报, 13(6): 741-748. Wang Y, Liu X N, 2002. Comparative analysis of AWS- and man-observed temperatures[J]. J Appl Meteor Sci, 13(6): 741-748 (in Chinese).

魏凤英, 曹鸿兴, 1995. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 19(2): 140-148. Wei F Y, Cao H X, 1995. Detection of abrupt changes and trend prediction of the air temperature in China, the northern hemisphere and the globe[J]. Sci Atmos Sin, 19(2): 140-148 (in Chinese).

WMO, 2006. 气象仪器和观测方法指南[M]. 北京: 气象出版社. World Meteorological Organization, 2006. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation[M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).

吴兴洋, 陈怡璇, 支亚京, 等, 2023. 1951—2020 年贵州均一化气温序列构建及初步分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 17(5): 152-158. Wu X Y, Chen Y X, Zhi Y J, et al, 2023. Construction and analysis of homogenized temperature series in Guizhou from 1951 to 2020[J]. Desert Oasis Meteor, 17(5): 152-158 (in Chinese).

~~吴兴洋, 潘徐燕, 周成霞, 2011. 建立和审核气象台站历史沿革的技术方法[J]. 贵州气象, 35(2): 50-52, 59. Wu X Y, Pan X Y, Zhou C X, 2011. Technical methods to establish and review the history of meteorological stations[J]. J Guizhou Meteor, 35(2): 50-52, 59 (in Chinese).~~

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. Wu Z X, 2005. Preliminary analyses of the information on meteorological station historical evolution and its impacts on homogeneity of observational records[J]. J Appl Meteor Sci, 16(4): 461-467 (in Chinese).

吴增祥, 2006. 中国地面气象台站(1950-2004)沿革情况概述[C]//中国气象学会 2006 年年会“气象史志研究进展”分会场论文集. 成都: 87-97. Wu Z X, 2006. An overview of the evolution of surface meteorological stations in China (1950-2004)[C]//Proceedings of the "Advances in Historical and Chronicles Research in Meteorology" Session at the 2006 Annual Meeting of the Chinese Meteorological Society. Chengdu: 87-97 (in Chinese).

严小冬, 龚雪芹, 石艳, 2009. 贵阳站气温均一性检验与订正[J]. 贵州气象, 33(3): 6-8. Yan X D, Gong X Q, Shi Y, 2009. Homogeneity test and the revised[J]. J Guizhou Meteor, 33(3): 6-8 (in Chinese).

严中伟, 丁一汇, 翟盘茂, 等, 2020. 近百年中国气候变暖趋势之再评估[J]. 气象学报, 78(3): 370-378. Yan Z W, Ding Y H, Zhai P M, et al, 2020. Re-assessing climatic warming in China since the last century[J]. Acta Meteor Sin, 78(3): 370-378 (in Chinese).

《气象》待刊

闫军辉, 刘浩龙, 葛全胜, 等, 2017. 1906-2015 年武汉市温度变化序列重建与初步分析[J]. 地理科学进展, 36(9): 1176-1183. Yan J H, Liu H L, Ge Q S, et al, 2017. Reconstruction and analysis of annual mean temperature of Wuhan for the 1906-2015 period[J]. Prog Geogr, 36(9): 1176-1183 (in Chinese).

尤卫红, 段旭, 邓自旺, 等, 1998. 全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征[J]. 热带气象学报, 14(2): 173-180. You W H, Duan X, Deng Z W, 1998. The multihierarchical structure and the jumpfeatures of climate changes for the globe, China and Yunnan during the last one hundred years[J]. J Trop Meteor, 14(2): 173-180 (in Chinese).

尤卫红, 段旭, 杞明辉, 1999. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象, 18(1): 47-54. You W H, Duan X, Qi M H, 1999. Continuous wavelet transforms and their applications to surface air temperature and yearly precipitation

尤卫红, 林振山, 邓自旺, 1997. 自适应多分辨数据滤波器及其在我国气候诊断中的应用[J]. 大气科学, 21(2): 183-190. You W H, Lin Z S, Deng Z W, 1997. An adaptive multiresolution data filter and its application in climatic diagnosis in China[J]. Sci Atmos Sin, 21(2): 183-190 (in Chinese).

variations in Yunnan during last one hundred years[J]. Plateau Meteor, 18(1): 47-54 (in Chinese).

张爱英, 任国玉, 周江兴, 等, 2010. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差[J]. 气象学报, 68(6): 957-966. Zhang A Y, Ren G Y, Zhou J X, et al, 2010. On the urbanization effect on surface air temperature trends over China[J]. Acta Meteor Sin, 68(6): 957-966 (in Chinese).

张先恭, 李小泉, 1982. 本世纪我国气温变化的某些特征[J]. 气象学报, 40(2): 198-208. Zhang X G, Li X Q, 1982. Some characteristics of temperature variation in China in the present century[J]. Acta Meteor Sin, 40(2): 198-208 (in Chinese).

张寅, 闫凯, 刘钊, 等, 2020. 基于 CRU 数据的 1901—2018 年全球陆表气温时空变化特征分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 41(6): 51-58. Zhang Y, Yan K, Liu Z, et al, 2020. Analysis of spatio-temporal variation characteristics of global surface air temperature from 1901 to 2018 based on CRU data[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 41(6): 51-58 (in Chinese).

周晓宇, 王咏薇, 孙绩华, 等, 2022. 昆明城市热岛效应的数值模拟研究[J]. 大气科学, 46(4): 921-935. Zhou X Y, Wang Y W, Sun J H, et al, 2022. A numerical simulation of urban heat island effect in Kunming[J]. Chin J Atmos Sci, 46(4): 921-935 (in Chinese).

朱亚妮, 赵平, 曹丽娟, 等, 2022. 中国 1940 年代“偏暖”的资料问题[J]. 气候与环境研究, 27(2): 230-242. Zhu Y N, Zhao P, Cao L J, et al, 2022. ‘Warmth’ of China in the 1940s due to inhomogeneous data[J]. Climatic Environ Res, 27(2): 230-242 (in Chinese).

Cao L J, Yan Z W, Zhao P, et al, 2017. Climatic warming in China during 1901-2015 based on an extended dataset of instrumental temperature records[J]. Environ Res Lett, 12(6): 064005.

《气象》待刊

Liu Y L, Ren G Y, Kang H Y, et al, 2019. A significant bias of Tmax and Tmin average temperature and its trend[J]. J Appl Meteor Climatol, 58(10): 2235-2246.

Rowntree P R, 1998. Global average climate forcing and temperature response since 1750[J]. Int J Climatol, 18(4): 355-377.

Establishment and Change Analysis of Temperature Sequence in Guiyang over the Past Century

WU Xingyang[1] YAN Xiaodong[2] JIN Fanqi[3] ZHI Yajing[1] CHEN Yixuan[1]

1.Guizhou Meteorological Information Center,Guiyang 550002

2. Guizhou Institute of Mountainous Meteorological Sciences,GuiYang 550081

3. Guizhou Meteorological Service Center,Guiyang 550002

Abstract: Based on the complete monthly reports of the maximum and minimum temperatures recorded by instruments since the establishment of the Guiyang National Reference Meteorological Station on September 5, 1920, the sequences of the maximum and minimum temperatures and the daily temperature differences over the past century in Guiyang were established. Through multiple methods of verification of the sequences, it was found that the minimum temperature and the daily temperature differences from 1938 to 1944 had significant differences from the mean value of the sequences, and there were breakpoints in the sequences in 1937, 1944 and 2000. According to the historical evolution, observation record books and weather report stubs, as well as the comparison of multi-source and multi-station data, the minimum and maximum temperatures from 1938 to 1944 in the reports were found to be inaccurate, thus the data for this period were replaced with the records from the observation record books. Using the mean value of daily maximum and minimum temperatures and the daily temperature differences from 1938 to 1949, a conversion and correction scale was established to construct the daily temperatures for the period from 1921 to 1936 when there were no records. The non-uniformity of temperature caused by station relocation was revised recursively by using the initial values of this station and the annual changes of the optimal reference station. The final established homogenized temperature series of Guiyang over the past century shows a good consistency with the global

temperature changes during the same period. The results show that over the past century, Guiyang's temperature has experienced two relatively significant "warming", one from 1937 to 1953 and the other one starting from 1978, the current warming accelerated in 1996 and changed abruptly in 2011. The tendency rate of temperature change in Guiyang over the past century is 0.122℃ per decade to 0.136℃ per decade, and the minimum temperature has been oscillating upward since 1929, warming up with a tendency rate of 0.26℃ per decade to 0.31℃ per decade. The daily temperature differences decreases with a tendency rate of -0.27℃ per decade to -0.29℃ per decade. There is no obvious trend change in the maximum temperature. The warming rate of temperature and minimum temperature in autumn and winter is higher than that in spring and summer, February is the month of most warming, and July is the month of least warming. The warming is mainly caused by the increase in minimum temperature.

Key words: Guiyang, air temperature, centennial sequence, tendency rate, abrupt change

《气象》待刊