

河北保定百年均一化逐日气温序列的建立及其气候变化特征

司鹏^{①②③}，郝立生^{②*}，傅宁^④，王敏^⑤，赵煜飞^⑥，梁冬坡^②

① 天津市气象信息中心，天津市气象局，天津 300074；

② 天津市气候中心，天津市气象局，天津 300074；

③ 天津市海洋气象重点实验室，天津市气象局，天津 300074；

④ 空中交通管理学院，中国民航大学，天津 300300；

⑤ 韶关市气象局，广东省气象局，韶关 512028；

⑥ 国家气象信息中心，中国气象局，北京 100081；

*联系人，E-mail: hls54515@163.com

2022-00-00 收稿，2022-00-00 接受

国家重点研发计划资助（2020YFB1600103）；国家自然科学基金青年基金项目（41905132）

摘要 基于国家气象信息中心收集整理的保定气象站 1919 年以来逐日最高和最低气温观测数据，首先，通过数据质量控制剔除原始观测资料中因人工观测或记录、仪器故障及数字化人工录入等导致的错误数据；其次，基于天津百年均一化逐日气温数据，利用标准化序列法对质控后的原始观测数据进行延长插补；进而，通过两种途径建立的年和月尺度参考序列，利用惩罚最大 t 检验（PMT）和分位数匹配法（QM），修正了插补后保定气象站日最高和最低气温序列中因数据插补、迁站和仪器变更等造成的非均一性影响，由此建立了河北保定 1912—2019 年均一化最高和最低气温日值序列。分析表明，构建的年平均气温距平序列百年尺度的年代际和趋势变化特点与 Berkeley Earth-monthly、CRUTS4.03 和 GHCNV3 基本一致，并且与整个京津冀区域相比，很好地反映出保定地区城市快速发展所带来的增暖变化特点。另外，从百年极端温度变化来看，保定地区 1912 年以来年和季节极端温度也是呈明显的增暖变化，年和秋季极端最低气温（TNn）的增暖趋势分别为 $0.340^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.404^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，对应的气温日较差（DTR）分别为 $-0.118^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $-0.215^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ （均通过 95% 显著性检验）。

关键词 百年尺度；日值序列；延长插补；均一化；极端温度变化

长年代完整可靠的气候观测资料是诠释区域气候变化和评估模式模拟性能的重要基础支撑，也是深入系统地检测区域或局地气候变化规律及预测未来气候变化趋势的可靠观测依据。然而，由于目前国内外站点覆盖度、资料完整性及观测序列非均一性等问题，使得 19 世纪到 20 世纪中叶长达百年尺度的区域或局地气候变化特征仍然存在着许多不确定性（Stocker et al., 2013; Sun et al., 2017; 苏布达等, 2022）。因此，如何建立完整可靠的长时间观测序列一直是气候变化研究中首先需要解决的关键问题（Dáithí et al., 2013）。

目前国内外对于 20 世纪 50 年代以来全球范围气温观测序列的建立研究相对成熟，并且随着气候资料处理技术的逐步完善及研究证据的不断增加，20 世纪中叶以来全球尺度和大多数陆地区域尺度极端温度事件的归因在信度上也有大幅度提高（孙颖, 2021; 姜彤等, 2022; 袁宇锋和翟盘茂, 2022）。根据 IPCC AR6 最新研究结论得到（Masson et al., 2021），全球气候增暖已是毋庸置疑的事实，随之带来的极端气候事件强度的增强以及频率的增多已达到高信度水平，即使是全球小幅变暖也会加剧极端事件频次和强度的变化。所以，这些认识不得不让我们重新审视尽可能长时间尺度完整且相对可靠的气候观测资料的重要性。对于百年尺度的气温观测资料来说，由于收集和获取困难以及观测时间不同等非气候因素造成的序列系统

作者简介 司鹏，女，1983 年出生，硕士，高级工程师，主要从事气候资料分析处理、气候变化等方面研究。
E-mail: spsbox@163.com

41 误差，导致很难形成一套完整连续且质量较好的全球百年尺度逐日气温数据集（Menne et al.,
42 2012）。同样，对于我国来说，由于历史原因造成 1950 年以前观测序列的不完整以及迁站等
43 原因造成的气候资料非均一性（Yan et al., 2001; Li et al., 2018; Si et al., 2021; 司鹏等, 2022），
44 导致许多珍贵的百年尺度观测气温序列无法在区域或局地极端气候变化研究中充分实现其重
45 要的科学价值。

46 保定气象站是我国京津冀地区保留着百年以上观测气候资料的典型台站之一（司鹏等，
47 2017）。司鹏等（2017）基于多来源的气温月值资料，在数据整合和初步质量控制基础上，通
48 过缺测记录插补和非均一性订正建立了保定气象站 1913—2014 年逐月气温序列，研究成果对
49 我国京津冀地区百年尺度气温观测序列的建立提供了重要借鉴。然而，随着近年来我国对长
50 序列原始观测资料的不断收集整理、国内外新的全球陆表长时间尺度观测气温数据集的研制
51 及其构建方法的改进，细化保定气象站百年尺度气温观测资料的时间尺度，并提高现有百年
52 观测资料的质量是有必要尝试的。同时，也能够满足气候变化和极端气候变化研究领域对可
53 靠长时间尺度逐日基础观测数据的需求。因此，本文拟在已有研究基础上（司鹏等, 2017），
54 收集整理尽可能详尽的台站元数据信息，基于日尺度的保定气象站最高和最低气温观测数据，
55 采用新的参考数据源，并改进均一化分析中参考序列的建立方法来构建该站百年尺度的均一
56 化逐日气温序列。

57 1 保定气象站历史沿革

58 据中国近代气象台站信息记载（吴增祥, 2007），保定气象站在 1949 年以前的不同时段有
59 2 个观测点（依据经纬度信息）。1912 年—1949 年 12 月期间（观测点 1）分别隶属直隶省农
60 事试验场（1912 年—1920 年）以及河北省立农学院（1913 年 12 月—1949 年 12 月），其中，
61 1912 年—1920 年观测记录不完整且不连续，1937 年 6 月—1946 年 12 月观测中断，仅 1949
62 年 9 月—12 月有观测记录。观测点 2 起止于 1944 年 1 月—1948 年 10 月，期间分别隶属于伪
63 华北观象台（1944 年 1 月—1945 年 8 月）和民国中央气象局（1945 年 9 月—1948 年 10 月），
64 观测记录较完整。

65 综合上述信息，根据中国气象局出台的气象测报简要（1950 年版）、气象观测暂行规范-
66 地面部分（1954 年版）、地面气象观测规范（1964 年版；1979 年版；2003 年版；2020 年版）
67 规定的观测项目和观测时间以及中国地面气象站元数据（V1.0, <http://data.cma.cn/>）对保定气
68 象站 1912 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日的历史沿革信息进行了整理。如表 1 所示，保定
69 气象站在 1950 年以前存在 2 个时段的观测记录，分别来自不同的观测位置，结合中国近代气
70 象台站信息（吴增祥, 2007），研究中拟将 2 个时段连接的位置，即 1944 年 1 月 1 日和 1949
71 年 9 月 1 日作为 2 个迁站时间点。1950 年 1 月 1 日—1954 年 11 月 30 日观测期间，经纬度信
72 息一致，研究中认为该时段没有发生迁站现象。1954 年 12 月 1 日（含该时间点）以后发生了
73 3 次迁站，其中，2011 年 1 月 1 日由市区迁到乡村，使得台站周围环境发生了明显变化，并
74 且也造成了新旧站址水平距离差异较明显，但 3 次迁站过程并没有造成显著的海拔高度差异。
75 1912 年以来，人工观测时期有明确记录的最高和最低气温观测仪器分别发生了 4 次和 3 次变
76 更，2003 年 1 月 1 日起自动观测取代人工观测，自 2014 年 1 月 1 日全国地面气象观测业务
77 全面实现改革调整，新套自动观测系统进入业务运行。另外，仅依据 1950 年至今的中国地面
78 气象观测规范得到，1950 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日保定气象站日最高和最低气温观测
79 时间发生了 4 次改变，其中，1954 年 1 月 1 日—1960 年 7 月 31 日观测时制的改变可能会增
80 加气温观测序列非均一的可能性。图 1 标出了保定气象站历次迁站及日最高和最低气温观测
81 仪器变更的时间点。

82 表 1 保定气象站 1912 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日历史沿革信息

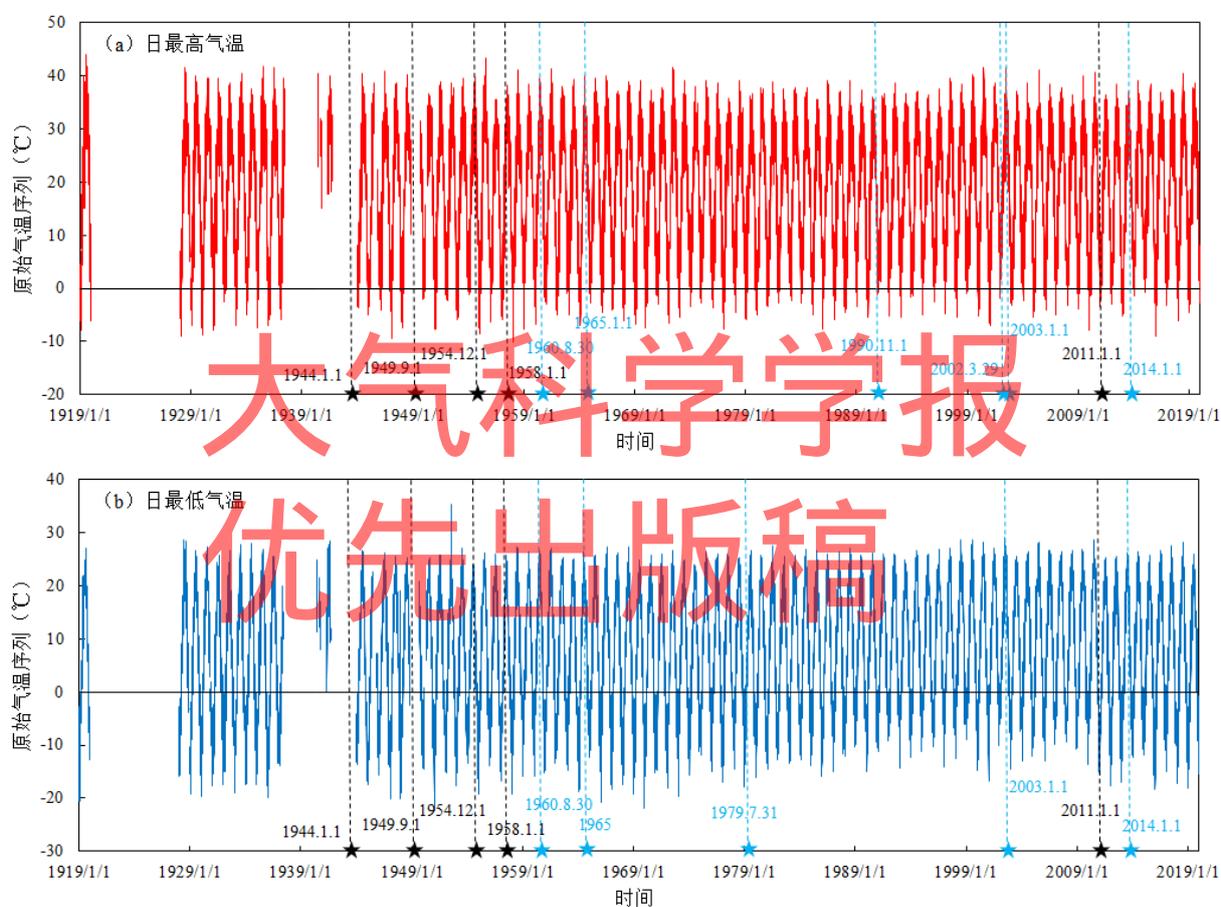
Table 1 Metadata of Baoding meteorological observation station from Jan 1 1912 to Dec 31 2019

观测时段	纬度	经度	海拔 高度 (m)	站址 (探测 环境)	迁站信息	仪器变更	观测时间
1912—1949.12	38°53'	115°28'	不详	不详	——	——	不详
1944.1.1—1948.10.31	38°52'	115°29'	19.3	保定市环 城西北薛 家庄(郊 外)	——	——	不详
1950.1.1—1953.12.31	38°53'	115°28'	19.3	不详	不详	不详	最高气温 1951.1.1 18:00 最低气温 1951.1.1 09:00
1954.1.1—1954.11.30	38°53'	115°28'	20.0	不详	不详	不详	不详
1954.12.1—1957.12.31	38°53'	115°34'	21.9	保定市新 华村西头 (郊外)	不详	——	不详
1958.1.1—1980.12.31	38°50'	115°34'	17.2	保定市红 星路东口 杨庄乡 (郊外)	距1954 年站址东 南部 2.5km	最高气温 1960.8.30 ; 1965.1.1 最低气温 1960.8.30 ; 1965; 1979.7.31	最高气温 1960.8.1 20:00 最低气温 1960.8.1 20:00
1981.1.1—2002.12.31	38°51'	115°31'	17.2	保定市红 星路东口 杨庄乡 (市区)	——	最高气温 1990.11.1 ; 2002.3.29 最低气温 ——	——
2003.1.1—2007.12.31	38°51'	115°31'	17.2	同上	——	自动观测	定时分钟 数据挑取
2008.1.1—2010.12.31	38°51'	115°31'	17.2	保定市裕 华东路杨 庄乡(市	——	——	——

大气科学学报
优先出版稿

					区)			
2011.1.1—2013.12.31	38°44'	115°29'	16.8	保定市清苑县京石高速出口南约两公里(乡村)	距 1958 年站址南西南部 12.9 km	—	—	
2014.1.1 至今	38°44'	115°29'	16.8	同上	—	新型自动观测设备	定时分钟数据挑取	

84 注：表中“—”表示没有变动；“不祥”表示因现存气象档案资料不完整或记录信息多样性而无法确定
85 准确信息；“观测时制”除 1954 年 1 月 1 日—1960 年 7 月 31 日为当地地方平均太阳时以外，其他
86 均为北京时。



87

88

89 图 1 保定气象站 1919 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日原始观测的逐日最高 (a) 和最低气温 (b) 序列 (黑
90 色和蓝色星号的垂直虚线分别表示迁站和观测仪器变更的记录时间)

91 Fig. 1 Original series of daily maximum temperature (a) and minimum temperature (b) at Baoding meteorological
92 observation station during the period of Jan 1 1919 - Dec 31 2019. Vertical dashed lines with black and blue
93 stars on the axes mark metadata times of station relocation and instrument changes, respectively

94 2 数据来源

95 2.1 原始观测数据及其质量控制

96 研究中用到的原始观测数据来自中国气象局国家气象信息中心收集整理的 2 类逐日最高

97 和最低气温基础资料。一类是 1919 年 1 月 1 日—1954 年 12 月 31 日保定气象站数字化的观
 98 测资料，其中，1919 年 1 月 1 日—1949 年 12 月 31 日时段的资料来自中国近代气象台站信息
 99 记载的保定气象站 2 个观测点（吴增祥, 2007）；1950 年 1 月 1 日—1954 年 11 月 30 日观测期
 100 间，由于现存气象档案资料记录不完整，仅根据整理的数字化资料，查阅到相关观测点的经
 101 纬度及海拔高度信息，并且与观测点 1 一致（表 1），研究中拟将该时段资料视为来自观测点
 102 1。表 2 给出了各个观测点观测的气温资料的完整性信息。如表 2 所示，观测点 1 在 1919 年
 103 1 月 1 日—1949 年 12 月 31 日观测期间日最高和最低气温资料的缺测率基本相当，均达到 57%
 104 以上，并且缺测年份均主要集中在 1920—1927 年、1937 年下半年、1938—1943 年以及 1949
 105 年上半年；而观测点 2 观测期间日最高和最低气温资料的缺测率仅有 7%左右，主要集中在
 106 1945 年下半年。另外，根据表 1 显示，1954 年 12 月 1 日—1954 年 12 月 31 日期间的观测资
 107 料来自新迁站点（拟称为“观测点 3”），统计得到其完整性为 100%。另一类是中国气象局发布
 108 的《中国地面日值资料》，时间段为 1955 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日，资料完整性较好
 109 （日最高和最低气温资料的缺测率均仅为 0.2%）。研究中将 2 类观测资料拼接为一条完整的
 110 基础序列，形成保定气象站 1919 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日逐日最高和最低气温原始
 111 观测序列。

112 表 2 保定气象站 1919 年 1 月 1 日—1954 年 12 月 31 日原始观测数据完整性信息

113 Table 2 Integrity information of the original data from Jan 1 1919 to Dec 31 1954 at Baoding meteorological
 114 observation station

观测点	观测时段	缺测率 (%)		主要缺测时段
		最高气温	最低气温	
1	1919.1.1—1949.12.31; 1950.1.1—1954.11.30	57.1; 3.7	57.3; 3.6	1920.1.1—1927.12.31、1928.12.1— 1928.12.31、1937.6.1—1937.12.31、 1938.1.1—1943.12.31、1948.11.1— 1948.12.31、1949.1.1—1949.8.31; 1950.3.1—1950.4.30
	2	1944.1.1—1948.10.31	7.1	7.0
3	1954.12.1—1954.12.31	0	0	—

115 为剔除人工观测期间，因观测员观测或记录、仪器故障以及数字化过程中人工录入等导
 116 致的错误数据，研究中类似对北京和天津气象站百年观测序列的处理（Si et al., 2021；司鹏等，
 117 2022），分别采用界限值、内部一致性和气候异常值 3 步检查对拼接后保定气象站 1919 年以
 118 来的日最高和最低气温观测数据及其统计得到的月值和年值数据进行质量控制。其中，对月
 119 值和年值的质量检查均是基于界限值和内部一致性检查处理后的日最高和最低气温数据。气
 120 候异常值检查的阈值标准均为 5 倍最高或最低气温距平序列的标准差（气候标准值为 1961—
 121 1990 年）。检查结果如表 3 所示，总的来看，保定气象站 1919 年以来原始观测数据的质量相
 122 对较好。

123 表 3 保定气象站 1919 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日最高和最低气温观测数据质量控制结果

124 Table 3 Quality control results for daily maximum and minimum temperatures from Jan 1 1919 to Dec 31 2019 at
 125 Baoding meteorological observation station

	界限值检查	内部一致性检查	气候异常值检查
最高气温	—	1946.8.8（置缺）	2002.2.21（置缺）
最低气温	—	1928.8.19（置缺） 1947.12.20（-19.2℃）	1952.7.19（置缺）

126 注：括号中均为处理后的结果，其中，置缺均表示将原始值进行缺测处理

127 2.2 参考数据源

128 我国 1950 年以前的站点数量稀少，逐日观测资料和元数据信息普遍严重缺失，给长年代
 129 气候资料的插补和均一化分析带来很大困难。所以，如何找到质量较好并且尽可能长时间的
 130 参考数据源是建立完整可靠百年尺度观测序列首先需要解决的关键问题。目前国际上最具代
 131 表性的长年代观测气候数据集主要有美国国家气候资料中心研发的全球历史气候数据集
 132 (GHCN) (Peterson et al., 1998; Lawrimore et al., 2011; Menne et al., 2018)，英国东英格利亚
 133 大学气候研究中心研发的全球月平均地表气候数据集 (CRU) (Jones et al., 2012; Harris et al.,
 134 2020)，美国伯克利地球研发中心研发的地球表面温度数据集 (Berkeley Earth) (Rohde et al.,
 135 2013a, b)，以及美国国家宇航局哥达德航天研究所研发的全球地表温度数据集 (GISTEMP)
 136 (Hansen et al., 2010) 等。这些数据集主要是通过统计方法将来源于全球各个国家正式或非正
 137 式交换的不同数据源 (包括全球站点观测资料、观象台年报、月报或日报、天气报告、气候
 138 数据等) 整合为一套完整的全球陆面格点或站点基础观测数据，并且均经过严格的质量控制
 139 和不同程度的均一化处理。其中，GHCNV3 (Lawrimore et al., 2011; [https://www.ncdc.noaa.gov/ghcnd-
 141 data-access](https://www.ncdc.noaa.gov/ghcnd-

 140 data-access))、CRUTS4.03 (Harris et al., 2020; http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_4.03/data/) 和 Berkeley Earth monthly/daily
 142 (Rohde et al., 2013a, b; <http://berkeleyearth.org/data/>) 3 类数据集在北京和天津百年均一化气
 143 温日值序列构建研究中得到了较理想的应用效果 (Si et al., 2021; 司鹏等, 2022)。同时，从
 144 表 4 给出的具体信息来看，目前国内外具有百年尺度的气温观测数据集中，仅有 Berkeley Earth
 145 包含了全球范围内时间相对较长、完整且可靠的日气温数据。因此，研究中类似 Si et al. (2021)
 146 和司鹏等 (2022) 采用表 4 列出的这 3 类陆表温度观测数据作为保定气象站原始观测数据延
 147 长插补和均一化分析的气候参考源。

148 表 4 参考数据源信息

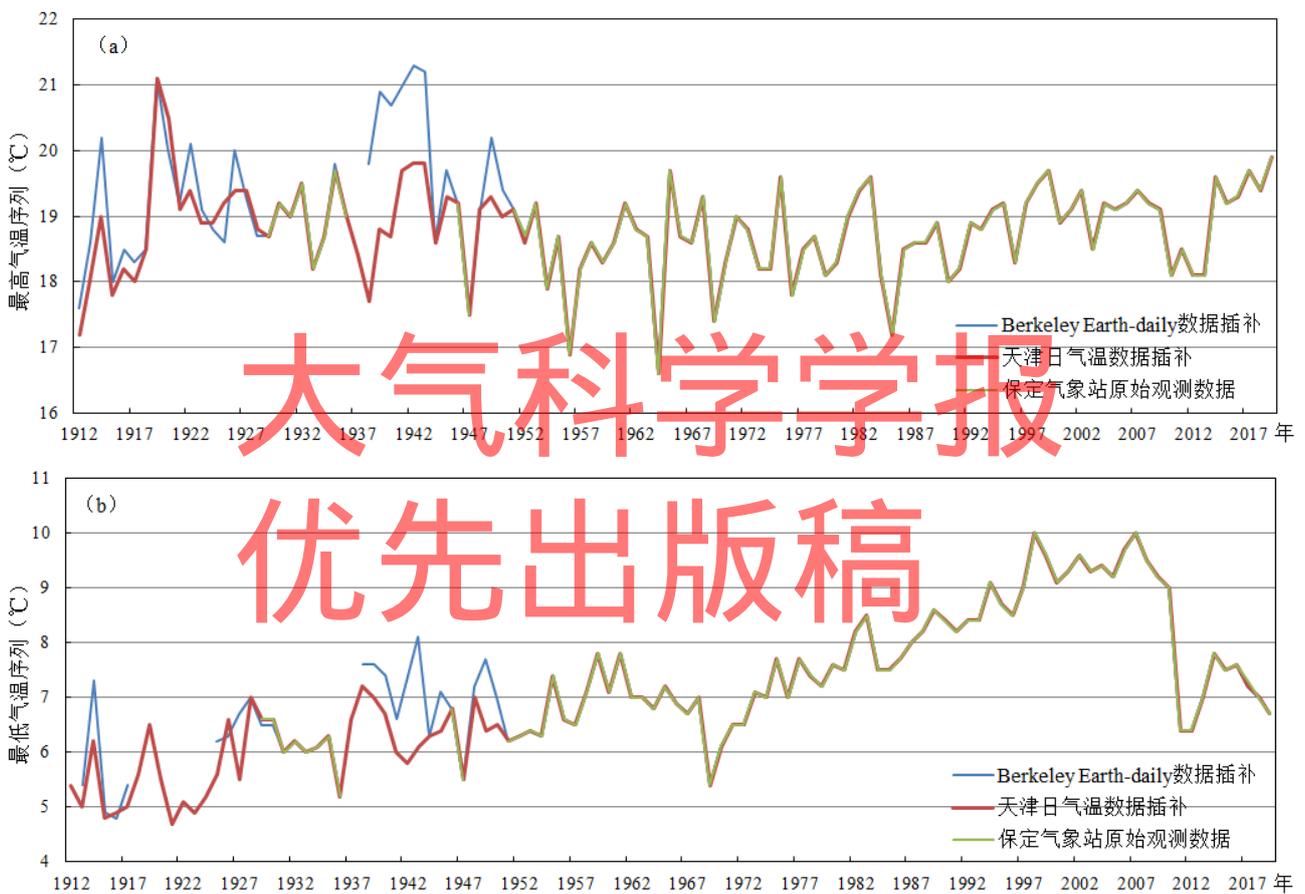
149 Table 4 Information of reference data sources

参考数据源	时间分辨率	格点或站点	对应保定气象站 站点水平的时段	是否 质控	是否均一 性订正
CRUTS4.03	月	0.5°×0.5°格点	1901.1—2018.12	√	√
Berkeley Earth-monthly	月	1°×1°格点	1872.12—2019.12	√	×
Berkeley Earth-daily	日	1°×1°格点	最高气温 1880.6.1— 2018.12.31 最低气温 1911.1.1— 2018.12.31	√	×
GHCNV3	月	站点	最高气温 1913.12—1989.3 最低气温 1913.12—1990.12	√	√

150 3 数据插补

151 根据中国近代气象台站信息记载，保定气象站的观测起始于 1912 年 (吴增祥, 2007)，并
 152 且 1950 年以前的原始观测记录存在大量缺测 (表 2)，所以，为尽可能恢复完整的保定气象
 153 站原始观测基础序列，研究中拟采用合理的参考数据源对其进行延长插补。在天津百年最高

154 和最低气温日值序列的构建中，原始基础观测资料的完整性为 100%，没有缺测插补带来的误差影响，与此同时，在建立北京百年逐日气温序列研究中，采用的 Berkeley Earth-daily 插补数据源效果较好，最终构建的百年序列均为极端气候变化研究领域提供了更为可靠的新的基础数据源 (Si et al., 2021; 司鹏等, 2022)。因此，这里基于构建的天津百年均一化气温日值数据及插值到站点水平的 Berkeley Earth-daily 保定气象站 (38°44'N, 115°29'E) 日最高和最低气温数据，利用标准化序列法 (具体处理步骤参照司鹏等 (2017)) 分别对质控后的保定气象站原始观测资料进行插补，通过比较 2 类插补序列的年代际等气候变化特点，选取相对合理的保定气象站 1912 年以来日最高和最低气温插补序列。拟合时段的选取主要依据 1950 年以前保定气象站原始观测序列相对完整、连续的 (表 2 显示没有缺测数据) 并且相对均一的 (表 1 给出没有发生迁站、仪器变更和观测时间变化等) 原则 (Si et al., 2021; 司鹏等, 2022)，最终选取时段 1929 年 1 月 1 日—1936 年 12 月 31 日。图 2 给出基于 2 类参考数据源的保定气象站日最高和最低气温插补序列统计得到的年平均序列。



166

167

168 图 2 保定气象站 1912 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日最高 (a) 和最低气温 (b) 年平均插补序列

169 Fig. 2 Annual average interpolated series of daily maximum (a) and minimum temperatures (b) at Baoding
170 meteorological observation station during the period of Jan 1 1912 - Dec 31 2019

171 从图 2 可以看出，1950 年以前，相对于 Berkeley Earth-daily 插补序列，利用天津百年均
172 一化逐日气温数据插补的保定气象站日最高和最低气温统计得到的年平均序列的年代际变化
173 更为合理，并且从插补序列的完整性来看，基于天津日气温数据的插补序列更为完整。同时，
174 为保证插补后基础数据的质量，对 2 类插补序列 1912—1950 年时段数据的内部一致性进行了
175 检验，对出现日最低气温大于等于最高气温的数据均进行了置缺，统计得到天津日气温插补
176 数据和 Berkeley Earth-daily 插补数据的置缺率分别占对应总数据量的 0.2%和 0.3%。因此，综

177 合来看，最终选取基于天津日气温数据插补得到的保定气象站日最高和最低气温序列。

178 但单从基于天津日气温数据得到的保定气象站年平均最高气温插补序列来看（图 2a），
179 1912—1928 年期间，除 1919 年为保定气象站原始观测数据以外，其他时段均为插补数据。通
180 过统计 1919 年最高气温达 21.1℃，显著大于插补前后两个时段（1912—1918 年、1920—1928
181 年）的逐年最高气温值，并且从 1950 年以前的年平均曲线变化来看，1919 年存在明显的年际
182 变化异常。而在台站元数据信息中（表 1），1919 年 1 月 1 日—12 月 31 日观测期间并没有
183 出现明显的迁站、仪器变更或观测时间改变等非气候因素影响的记录。另外，在质量控制过
184 程中，正是因为没有前后时段数据的对比，很难判断这一时段数据的可靠性。所以，为尽可能
185 能保证基础序列气候变化的合理性，研究中拟利用天津日气温插补数据替换 1919 年 1 月 1 日
186 —12 月 31 日最高气温原始观测数据，作为最终的保定气象站 1912 年 1 月 1 日—2019 年 12
187 月 31 日最高气温插补序列。

188 4 数据均一化

189 均一化是解决气候观测资料非均一性的重要手段，通过剔除观测数据中因迁站、仪
190 器变更、观测时间改变等造成的系统误差，来保留真实的气候变化特征（Quayle et al.,
191 1991; Della-Marta et al., 2006; Haimberger et al., 2012; Rahimzadeh et al., 2014;
192 Hewaarachchi et al., 2017）。

193 4.1 参考序列的建立

194 参考序列是均一化处理过程中序列断点检验和订正的重要依据（Si et al., 2018; Si et al.,
195 2019; 司鹏等, 2020）。相对年和月尺度观测资料，日尺度观测序列自身的变率较大，造成时
196 间序列均一性检验存在一定的困难（Vincent et al., 2012; Trewin, 2013）。研究中类似北京百年
197 日气温序列构建中的处理方法（司鹏等, 2022），通过两种途径分别建立了年和月尺度参考序
198 列同时用于保定气象站日气温序列断点的检验，一是基于 Berkeley Earth-monthly、CRUTS4.03
199 和 GHCNV3 保定气象站站点水平（38°44'N, 115°29'E）3 类月值数据（表 4）；二是仅基于
200 Berkeley Earth-monthly 站点水平的月值数据（表 4）。日尺度参考序列的建立则用于日气温序
201 列断点的订正，仅基于 Berkeley Earth-daily 站点水平的日值数据（表 4）。3 种时间尺度参考
202 序列的具体建立方法参见司鹏等（2022）。其中，仅基于 Berkeley Earth-monthly/daily 站点水
203 平的 11 个站点信息如表 5 所示，其选取方法参照 Si 等（2021）。图 3 给出两种途径建立的
204 保定气象站日最高和最低气温的年和月尺度参考序列。

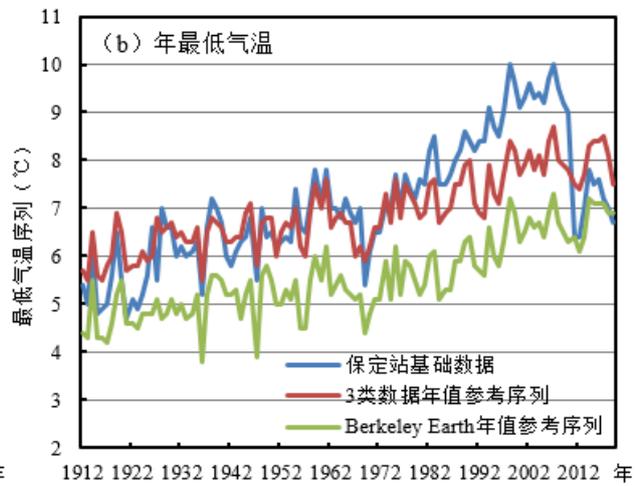
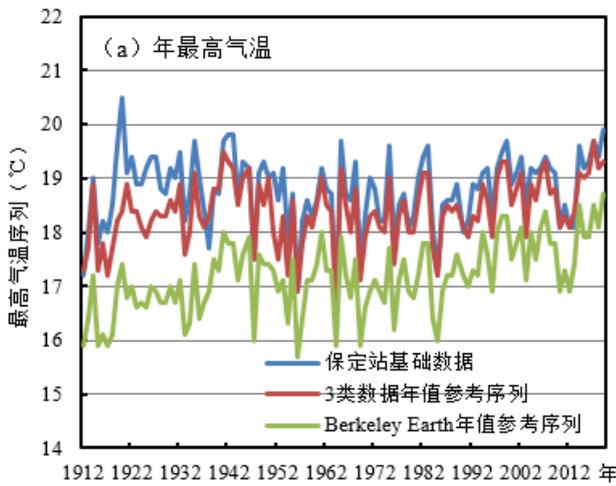
205 表 5 仅基于 Berkeley Earth 站点水平的 11 个站点信息

206 Table 5 Metadata information of the selected 11 meteorological observation stations based on Berkeley Earth station
207 level

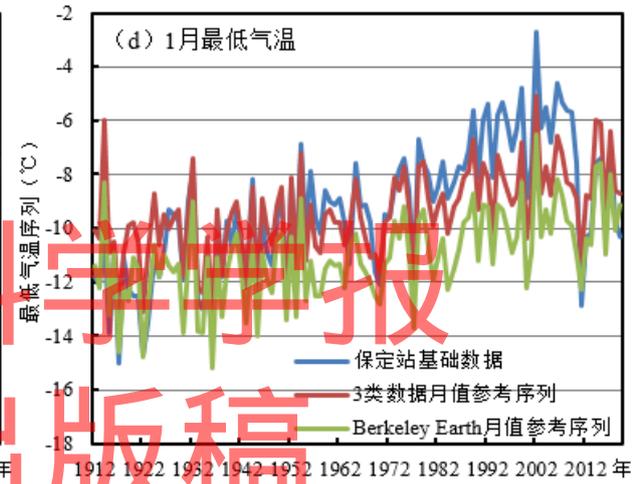
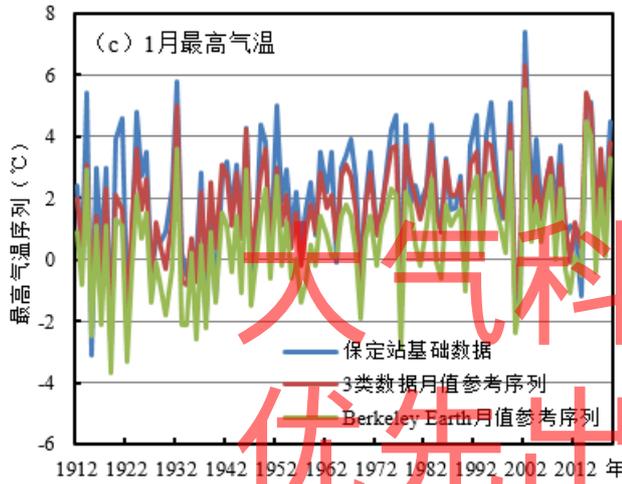
站名	站号	纬度	经度	海拔高度 (米)	探测环境
河北顺平气象站	53596	38°51'	115°08'	52.2	乡村
河北唐县气象站	53692	38°44'	114°59'	66.5	乡村
河北卢龙气象站	54438	39°53'	118°53'	65.0	县城
河北迁安气象站	54439	40°01'	118°43'	50.9	乡村
河北滦县气象站	54531	39°44'	118°43'	43.0	乡村
河北徐水气象站	54601	38°59'	115°39'	13.1	乡村
河北保定气象站	54602	38°44'	115°29'	16.8	乡村
河北高阳气象站	54603	38°43'	115°46'	10.0	集镇
河北望都气象站	54607	38°43'	115°07'	45.0	乡村

河北满城气象站	54611	38°56'	115°19'	44.8	乡村
河北蠡县气象站	54620	38°29'	115°34'	18.5	集镇

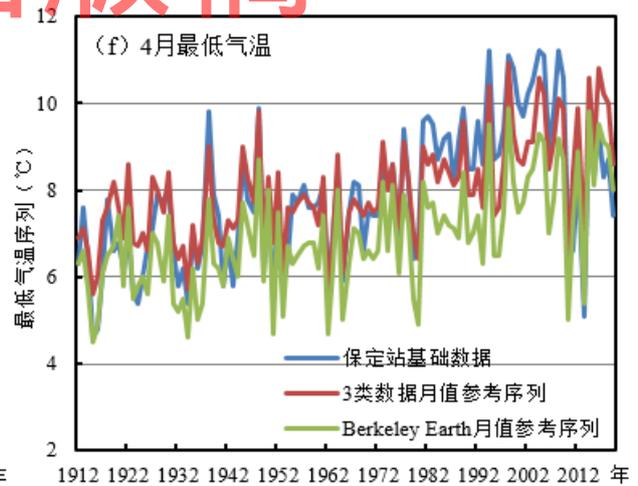
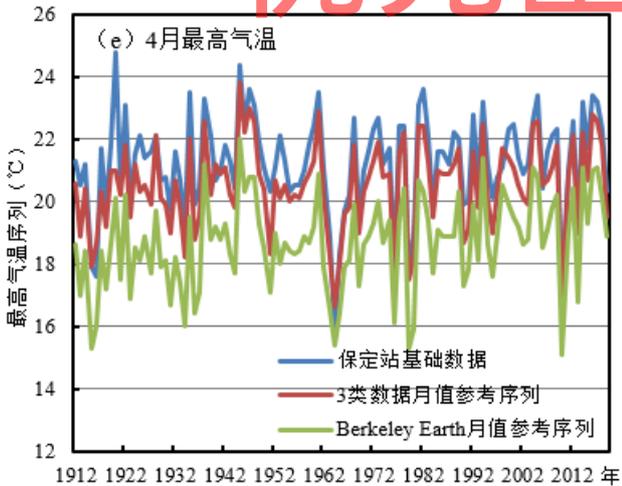
208 注：表中站点信息依据《中国地面气象站元数据 V1.0》整理



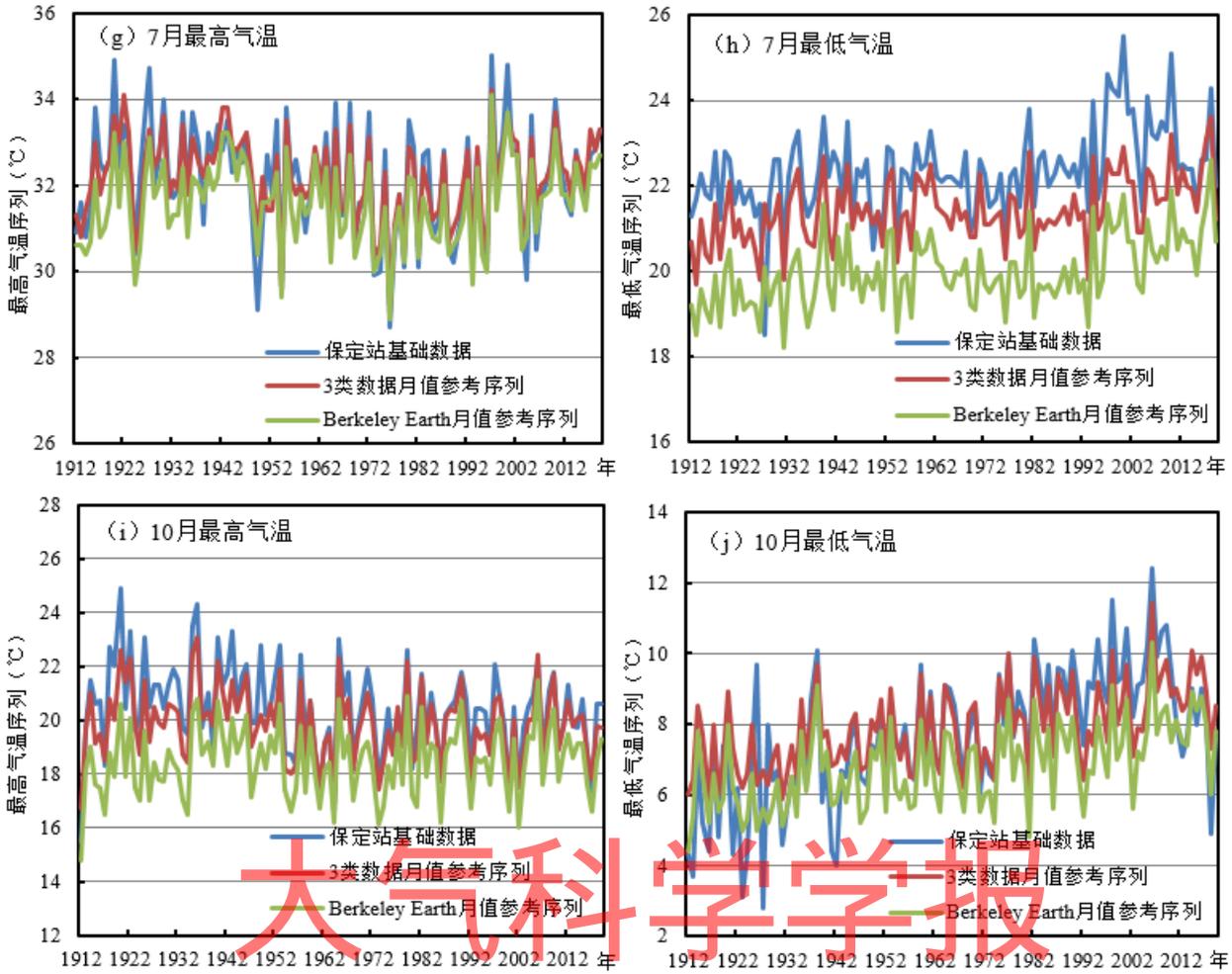
209 1912 1922 1932 1942 1952 1962 1972 1982 1992 2002 2012 年



210 1912 1922 1932 1942 1952 1962 1972 1982 1992 2002 2012 年



211 1912 1922 1932 1942 1952 1962 1972 1982 1992 2002 2012 年



212

213

214

215

216

217

图3 两种途径建立的保定气象站年和月尺度最高(a、c、e、g、i)和最低(b、d、f、h、j)气温基础观测数据的参考序列
 Fig. 3 Annual and monthly reference series of maximum (a、c、e、g、i) and minimum (b、d、f、h、j) temperatures based on two means for Baoding station

218

4.2 断点检验和订正

219

220

221

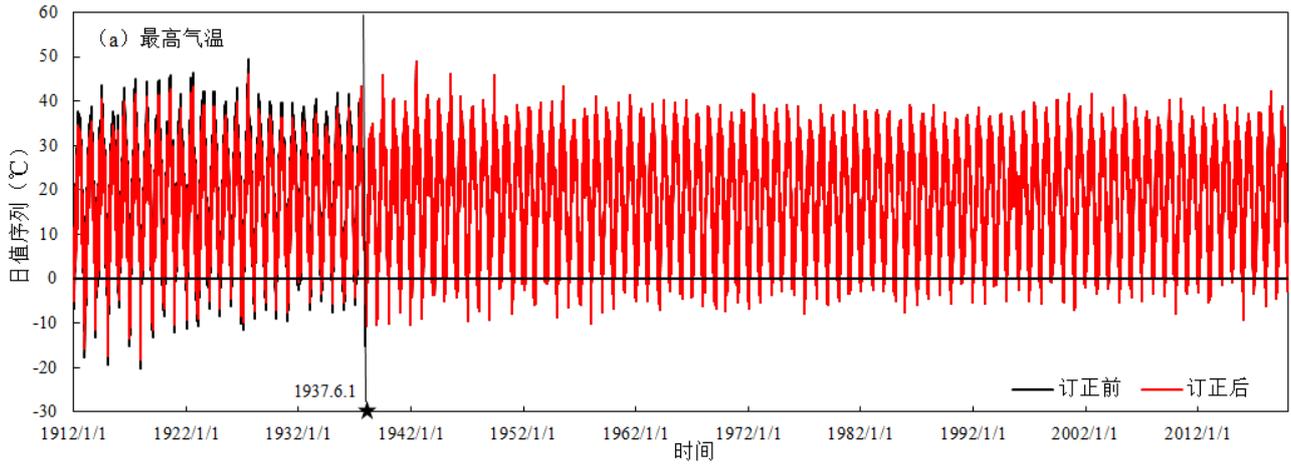
222

223

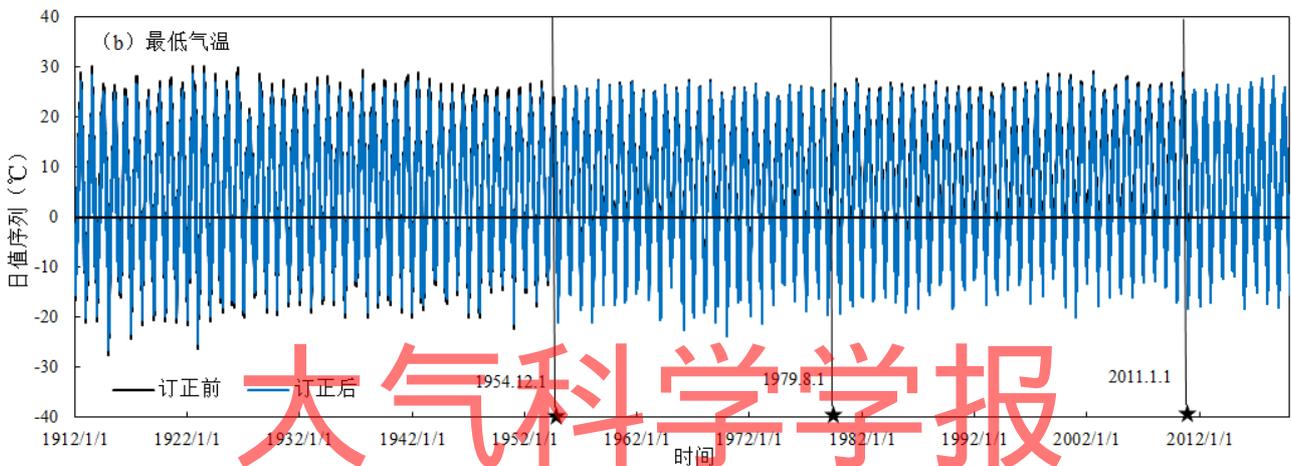
224

研究中利用惩罚最大 t 检验 (PMT) (Wang et al., 2007), 基于两种途径建立的年和月尺度参考序列, 在 95% 显著性水平下, 对保定气象站 1912 年以来插补后的日最高和最低气温基础观测序列进行均一性检验。进而利用分位数匹配法 (QM) (显著性水平 95%) (Wang et al., 2010; Bai et al., 2020; Lv et al., 2020), 在日尺度参考序列下, 结合保定气象站历史沿革信息 (表 1), 对两种途径的年和月尺度参考序列同时检验得到相同时间点的统计显著断点进行订正。检验和订正结果如图 4 所示。

225



226

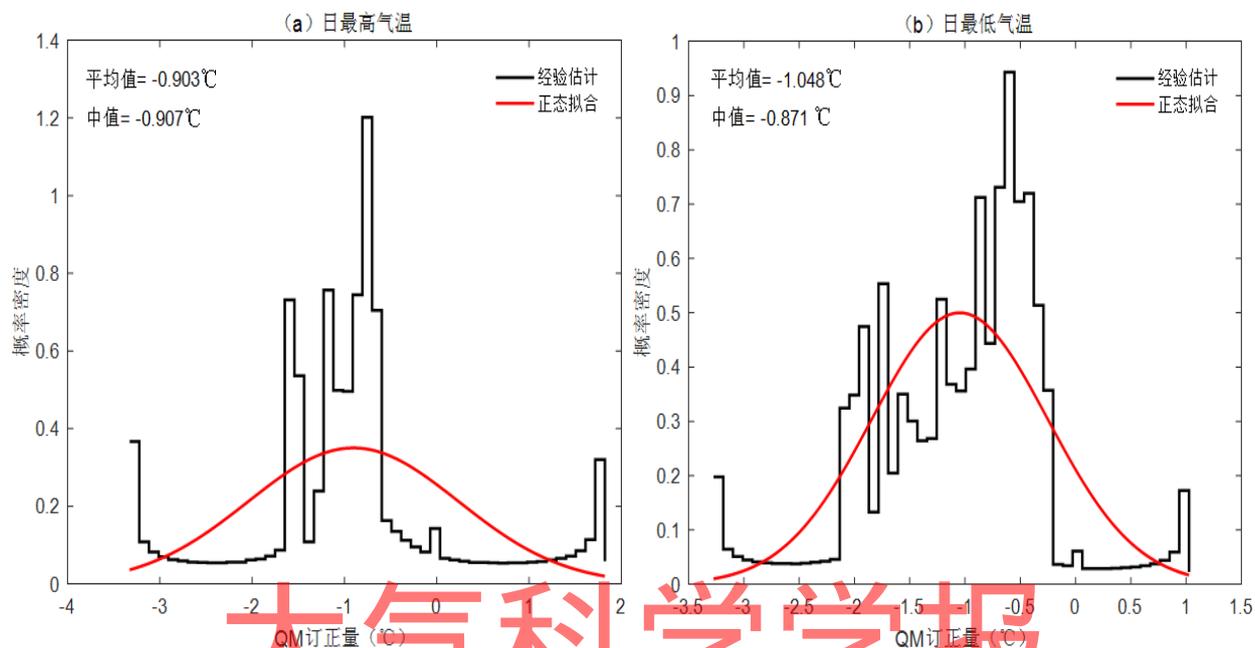


227 图4 保定气象站1912年1月1日—2019年12月31日序列断点订正前后的日最高(a)和最低(b)气温
 228 序列(垂直线标注出订正断点的时间点分别是1937年6月1日、1954年12月1日、1979年8月1
 229 日和2011年1月1日)

230 Fig. 4 QM-adjusted and raw series of daily maximum (a) and minimum (b) temperatures at Baoding meteorological
 231 observation station during the period of Jan 1 1912 - Dec 31 2019. Vertical lines demarcate the discontinuities
 232 on Jun 1 1937, Dec 1 1954, Aug 1 1979 and Jan 1 2011

233 从图4可以看出,最高气温序列(图4a)受非气候因素影响相对较弱,仅1937年6月1
 234 日数据插补的衔接点出现统计显著断点。而对于最低气温来说(图4b),1954年12月1日、
 235 2011年1月1日的2次迁站以及1979年8月1日的仪器变更均造成了日最低气温序列产生
 236 统计显著断点。但2003年和2014年的2次自动站业务化(仪器变更)并没有造成保定气象
 237 站日最高和最低气温观测序列的非均一性影响。并且表1中有明确记录的4次观测时间改变
 238 也没有导致其产生统计显著断点,包括1954年1月1日—1960年7月31日期间观测时制的
 239 改变。这一特点与北京、天津百年日气温序列的均一性检验结果基本一致(Si et al., 2021; 司
 240 鹏等, 2022),可以反映出在我国现有的地面气象观测规范规定下,观测时间或观测时制的改
 241 变在一定程度上不会造成日最高和最低气温观测序列的非均一性影响。所以,采用对日最高
 242 和最低气温观测序列进行均一性检验和订正,进而通过算术平均得到均一化的日平均气温观
 243 测序列的处理方法,要明显优于直接对日平均气温序列进行均一化处理,能够有效避免观测
 244 时间或观测时制的变更导致日平均气温统计方法的改变而造成时间序列的非均一性影响(刘
 245 小宁等, 2005),并且很大程度上也会避免同时对平均、最高和最低气温进行均一性订正而出
 246 现逻辑错误结果的可能性。因此,相比司鹏等(2017),本研究的处理方法有明显的改进。另

247 外, 从检验的断点信息来看, 由于在均一性检验过程中, 司鹏等 (2017) 没有找到相对可靠
 248 且时间尺度较长的参考序列, 所以采用了惩罚最大 F 检验 (PMF) 无参考序列检验法 (Wang,
 249 2008), 仅检验出最低气温序列中 1979 年 8 月和 2011 年 1 月两个统计显著断点, 而并没有检
 250 验出 1954 年 12 月 1 日迁站造成的最低气温序列非均一性影响, 以及 1937 年 6 月 1 日最高气
 251 温序列插补导致的统计显著断点。从而, 一定程度上也能够反映出均一性检验过程中, 相对
 252 合理可靠的参考序列的重要性。

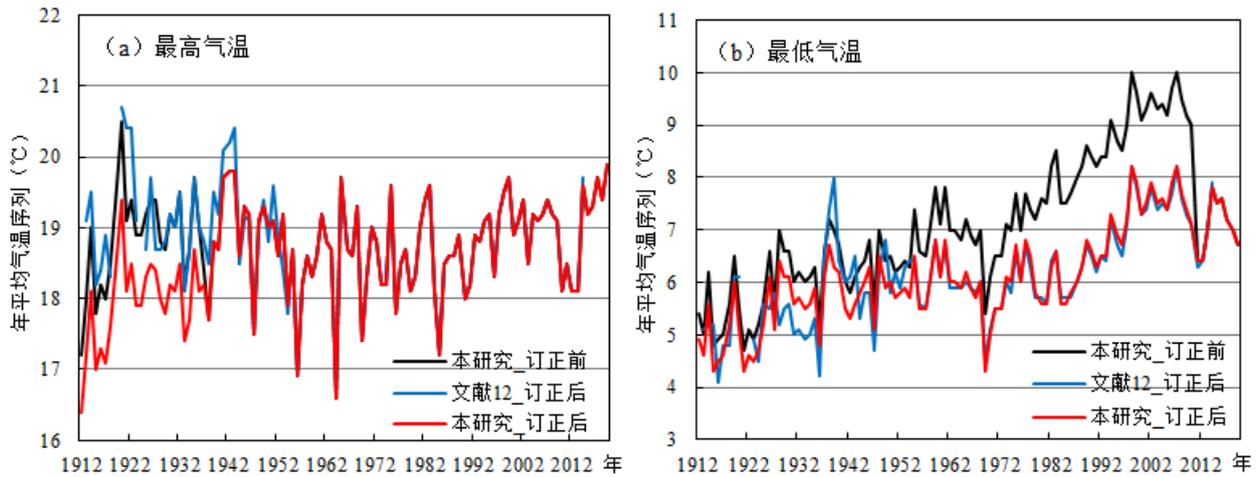


253 图 5 保定气象站日最高 (a) 和最低气温 (b) 序列 QM 订正量的概率密度分布
 254 Fig. 5 Probability density distribution of QM-adjustments applied to daily maximum (a) and minimum (b)
 255 temperature series at Baoding meteorological observation station
 256

257 表 6 保定气象站日最高和最低气温月平均 QM 订正量
 258 Table 6 Monthly average QM-adjustments applied to daily maximum and minimum temperature series at Baoding
 259 meteorological observation station

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最高 气温	0.764	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.331
最低 气温	1.163	1.186	1.116	1.045	0.995	0.875	0.904	0.904	0.970	1.057	1.142	1.220

260 图 5 给出保定气象站日最高和最低气温序列 QM 订正量的概率密度分布。如图所示, 日
 261 最高 (图 5a) 和最低 (图 5b) 气温序列均以负偏差订正为主, 其平均值分别为 -0.903°C 、 $-$
 262 1.048°C , 对应的中值分别为 -0.907°C 、 -0.871°C , 订正幅度范围分别是 $-3.328\sim 1.821^{\circ}\text{C}$ 、 $-3.274\sim$
 263 1.026°C 。其中, 概率密度达到 0.2 以上的分别约集中在 $-2.248\sim 0.449^{\circ}\text{C}$ 、 $-2.249\sim 0.149^{\circ}\text{C}$ 。结
 264 合表 6 给出的 QM 月统计量来看, 最高气温序列冷季月份 (12 月、1 月和 2 月) 的订正量基
 265 本表现为幅度较小的正偏差订正, 而暖季月份 (5—9 月) 则表现为幅度较大的负偏差订正。
 266 最低气温序列逐月平均 QM 订正量均为负值并且订正幅度没有明显差异。



267
 268 图 6 基于本研究均一性订正前、后日气温序列以及司鹏等（2017）均一性订正后月气温序列分别统计得到的保定气象站 1912—2019 年和 1913—2014 年平均最高（a）、最低（b）气温序列
 269

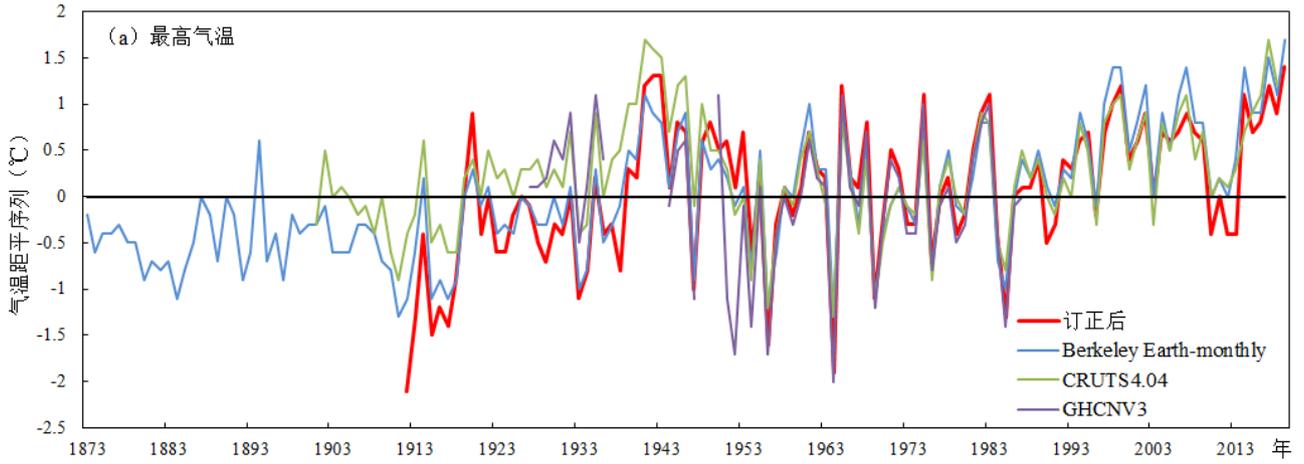
270 Fig. 6 Annual average series of QM-adjusted and raw daily maximum (a) and minimum (b) temperatures of this
 271 paper and those of Si et al (2017) at Baoding meteorological observation station during the period of 1912 -
 272 2019 and 1913 - 2014

273 这里给出了基于本研究均一性订正前、后以及司鹏等（2017）均一性订正后保定气象站
 274 百年尺度的年平均最高和最低气温序列。如图 6 所示，与订正前序列相比，本研究在有参考
 275 序列的订正下明显修正了 1937 年 6 月 1 日之前因插补导致的最高气温异常偏高的现象（图
 276 6a），以及 2 次迁站和 1 次仪器变更造成的最低气温序列异常突变（图 6b），特别是明显减弱
 277 了 2011 年 1 月 1 日由市区迁到乡村导致的最低气温异常降低，使得保定气象站 1912 年以来的
 278 最高和最低气温序列的年代际变化相对合理。对比司鹏等（2017）订正后的年平均气温序
 279 列，二者最高气温（图 6a）序列的年代际变化特点基本一致，但司鹏等（2017）的气温值明
 280 显大于本研究订正后的气温值，这很大一部分原因可能是由于 1937 年 6 月的非均一性断点造
 281 成的。而二者的最低气温（图 6b）序列，在 20 世纪第 2 个 10 年到 20 年代末、40 年代到 50
 282 年代初有明显的年代际变化差异，同样，1954 年 12 月的序列断点可能也是造成这些差异的
 283 主要因素。另外，建立原始观测序列的基础数据源和插补数据源的不同也是造成二者订正后
 284 气温序列年代际和数值大小差异的原因之一。因此，一定程度上说明本研究基于日尺度原始
 285 观测序列，采用新的参考序列建立方法构建的保定气象站百年气温序列的合理性和可靠性有
 286 一定的改善和提高。同时，也进一步印证了气象基础观测数据的处理不是一成不变的，只有
 287 不断改进和采用新技术、新方法和新的观测资料才能提高构建的百年基础数据质量（司鹏等，
 288 2020）。

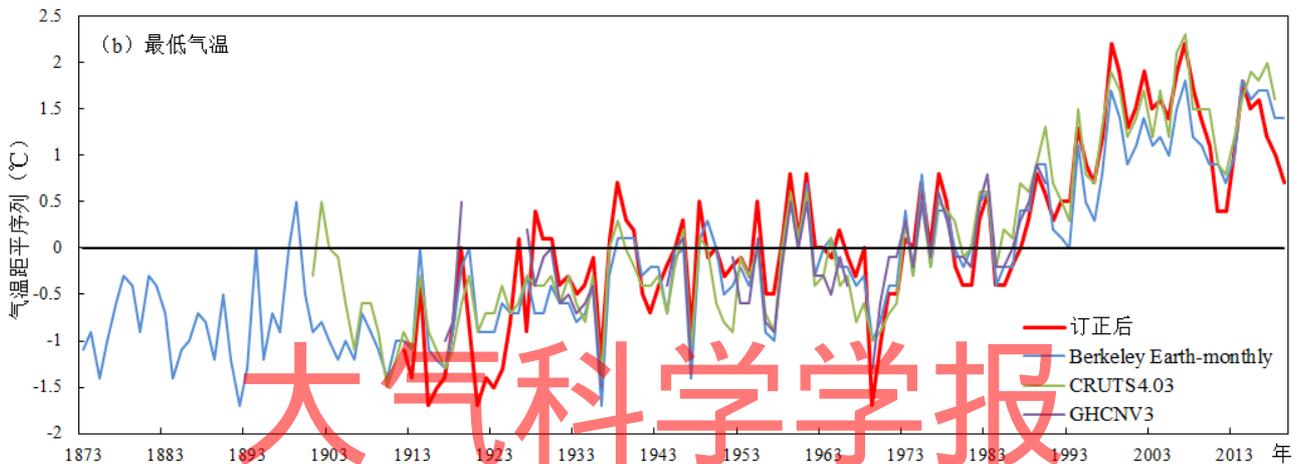
289 **5 保定地区 1912 年以来温度变化特征**

290 **5.1 平均气温变化**

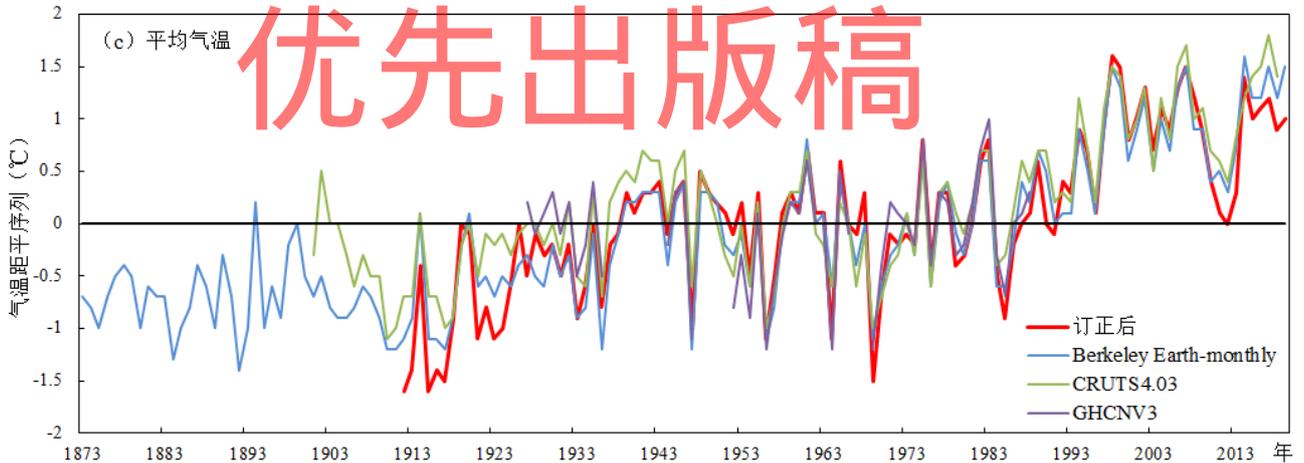
291



292



293



294 图 7 保定气象站 1912—2019 年均一性订正后的年平均最高 (a)、最低 (b) 和平均 (c) 气温距平序列及
 295 其对应 Berkeley Earth-monthly (1873—2019 年)、CRUTS4.03 (1901—2018 年) 和 GHCNV3 (1914—
 296 1990 年) 保定站点气温距平序列

297 Fig. 7 Annual average anomalies of QM-adjusted daily maximum (a), minimum (b) and mean (c) temperatures
 298 during the period of 1912 - 2019, corresponding with those from Berkeley Earth-monthly (1873 - 2019),
 299 CRUTS4.03 (1901 - 2018) and GHCNV3 (1914 - 1990) at Baoding meteorological observation station

300 图 7 给出基于保定气象站均一性订正后日最高和最低气温统计得到的年平均距平序列,
 301 以及 3 类参考数据源 (表 4) 保定站点水平的年平均气温距平序列。如图所示, 订正后最高和

302 最低气温距平序列的年代际变化与 3 类参考数据源序列基本一致。对于最高气温来说(图 7a),
 303 20 世纪第二个 10 年到 30 年代、80 年代末以后出现两个明显的增暖时期, 相比之下, 20 世
 304 纪 50 年代到 60 年代为明显的降温时期。而最低气温(图 7b)除在 20 世纪 60 年代有一个明
 305 显的降温时期以外, 其他时期均为增暖变化, 特别是 20 世纪 80 年代末以后。图 7 中的平均
 306 气温序列均为各类最高和最低气温算术平均统计得到。同样, 订正后的年平均气温距平序列
 307 (图 7c)与 3 类参考数据源序列的年代际变化基本一致, 其中, 增暖时期主要出现在 20 世纪
 308 第二个 10 年到 30 年代和 80 年代末以后, 20 世纪 50 年代到 60 年代为明显的降温时期。

309 表 7 保定气象站均一性订正前、后百年尺度年平均气温序列及其对应的 Berkeley Earth-monthly 和
 310 CRUTS4.03 站点数据以及北京(司鹏等, 2022)和天津(Si et al., 2021)百年尺度年平均气温序列趋
 311 势变化($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)(95%不确定性水平估计)

312 Table 7 Trends of annual temperature series based on QM-adjusted and raw daily data at Baoding meteorological
 313 observation station, corresponding with Berkeley Earth-monthly and CRUTS4.03, and those from Beijing (Si
 314 et al., 2022) and Tianjin (Si et al., 2021) at the century timescale with uncertainties at 95% confidence
 315 (Units: $^{\circ}\text{C decade}^{-1}$)

	订正后	订正前	Berkeley Earth-monthly	CRUTS4.03	北京	天津
最高 气温	0.109±0.021	0.017±0.021	0.098±0.010	0.047±0.016	0.099±0.016	0.119±0.015
最低 气温	0.224±0.018	0.324±0.025	0.158±0.010	0.213±0.015	0.187±0.019	0.194±0.013
平均 气温	0.166±0.016	0.172±0.018	0.128±0.009	0.131±0.013	0.154±0.018	0.154±0.013

316 注: 表中平均气温均为各类最高和最低气温算术平均统计得到; 订正前、后的年平均最高、最低和平均气
 317 温序列统计时段均为 1912—2019 年; Berkeley Earth-monthly 和 CRUTS4.03 气温序列统计时段分别
 318 为 1873—2019 年、1901—2018 年; 北京年平均最高、最低和平均气温序列统计时段分别为 1881—
 319 2019 年、1911—2019 年、1911—2019 年(司鹏等, 2022); 天津年平均最高、最低和平均气温序列统
 320 计时段分别为 1887—2019 年、1891—2019 年、1891—2019 年(Si et al., 2021)

321 从趋势变化来看, 如表 7 所示, 均一性订正后的保定气象站百年尺度年平均最高、最低
 322 和平均气温趋势增暖幅度分别为 $0.109\pm 0.021^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.224\pm 0.018^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.166\pm 0.016^{\circ}\text{C}/10\text{a}$
 323 (95%不确定性水平估计), 与对应 Berkeley Earth-monthly 和 CRUTS4.03 趋势变化幅度基本
 324 一致, 并且相比订正前的气温趋势变化($0.017\pm 0.021^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.324\pm 0.025^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.172\pm 0.018^{\circ}\text{C}$
 325 $/10\text{a}$)更具合理性。同时, 从整个京津冀区域来看, 保定地区与北京(司鹏等, 2022)、天津(Si
 326 et al., 2021)百年尺度气温增暖变化特点也是基本一致的, 但增暖幅度要稍大于后者, 其较好
 327 地反映出相对北京和天津这类发展到一定程度的大城市, 保定地区城市快速发展所带来的气
 328 候变化特点(司鹏等, 2021)。另外, 这里也统计出订正后的保定气象站 1985—2019 年平均最
 329 高、最低和平均气温的趋势变化分别为 $0.259\pm 0.090^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.320\pm 0.099^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.299\pm 0.085^{\circ}\text{C}$
 330 $/10\text{a}$ (95%不确定性水平估计), 增暖幅度显著大于整个百年尺度。

331 5.2 极端温度变化

332 表 8 极端温度指数的定义

333 Table 8 Definition of temperature extremes

指数	名称	定义	单位
----	----	----	----

TXx	月极端最高气温	每月内日最高气温的最大值	℃
TNn	月极端最低气温	每月内日最低气温的最小值	℃
TN10p	冷夜日数	日最低气温 (TN) 小于 10%阈值的天数	d
TN90p	暖夜日数	日最低气温 (TN) 大于 90%阈值的天数	d
TX10p	冷昼日数	日最高气温 (TX) 小于 10%阈值的天数	d
TX90p	暖昼日数	日最高气温 (TX) 大于 90%阈值的天数	d
DTR	日较差	逐月日最高气温 (TX) 与日最低气温 (TN) 的差值平均值	℃

334 表 9 保定地区 1912—2019 年和季节极端温度指数变化趋势

335 Table 9 Trend changes of the annual and seasonal temperature extremes in Baoding from 1912 to 2019

极端温度指数	年	春季	夏季	秋季	冬季	单位
TXx	-0.126	0.159*	-0.038	0.008	0.030	℃/10a
TNn	0.340*	0.304*	0.293*	0.404*	0.250*	℃/10a
TN10p	-1.270*	-1.607*	-1.040*	-1.818*	-0.613*	d/10a
TN90p	1.534*	1.415*	2.065*	0.952*	1.749*	d/10a
TX10p	-0.503*	-0.792*	-0.615*	-0.393*	-0.218	d/10a
TX90p	0.391*	0.642*	0.432	-0.091	0.601*	d/10a
DTR	-0.118*	-0.054	-0.041	-0.215*	-0.161*	℃/10a

336 注：表中*表示通过 95%显著性检验

337 表9给出保定地区1912年以来7类年和季节极端温度指数的变化趋势，7类极端温度指数均
338 源自世界气象组织指数专家组 (ETCCDMI) 推荐使用的温度指标 (Peterson et al., 2001) (表
339 8)，选取1961—1990 年作为代表超过气候阈值的极端指数标准值。如表9所示，对于年变化
340 来说，1912年以来保定地区的TNn表现出显著的增加趋势，为0.340℃/10a(95%显著性检验)，
341 但TXx的趋势变化并不显著。极端冷事件 (TN10p、TX10p) 均表现为显著的减少趋势，而极
342 端暖事件 (TN90p、TX90p) 则表现出显著的增加趋势，并且从变化幅度来看，日极端事件
343 (TX10p、TX90p) 的趋势变化幅度远远小于夜极端事件 (TN10p、TN90p)，从而导致气温
344 日较差趋势幅度的显著减少，为-0.118℃/10a (95%显著性检验)。从季节变化来看，与年尺
345 度特点基本一致，各季节TNn均表现出显著的增加趋势，特别是秋季TNn趋势增加幅度相对最
346 大，为0.404℃/10a (95%显著性检验)，而TXx除了春季趋势呈显著增加以外，其他季节的趋
347 势变化并不显著。各季节的极端冷事件 (TN10p、TX10p) 基本表现为显著的减少趋势 (除冬
348 季TX10p趋势变化不显著以外)，而极端暖事件 (TN90p、TX90p) 基本表现为显著的增加趋
349 势 (除夏季和秋季TX90p趋势变化不显著以外)。同样，各季节日极端事件 (TX10p、TX90p)
350 的趋势变化幅度均远远小于夜极端事件 (TN10p、TN90p)，导致气温日较差趋势幅度的显著
351 减少 (除春季和夏季DTR趋势变化不显著以外)，并且秋季DTR的趋势减少幅度也是相对最
352 大的，为-0.215℃/10a (95%显著性检验)。

353 6 结论

354 基于中国气象局国家气象信息中心收集整理的保定气象站 1919—2019 年逐日最高和最

355 低气温原始基础数据，构建了河北保定地区 1912—2019 年均一化最高和最低气温日值序列，
356 并对该地区百年以来的气温变化特征进行了分析，得到如下结论：

357 1) 为尽可能恢复完整可靠的原始基础资料，研究中分别采用天津百年均一化逐日气温数
358 据和插值到保定站点水平的 Berkeley Earth-daily 气温数据，通过标准化序列法对质控后的保
359 定气象站原始观测序列进行延长插补，通过比对最终选取基于天津日气温数据得到的插补序
360 列。

361 2) 基于两种途径建立的年和月尺度参考序列，利用惩罚最大 t 检验 (PMT) 和分位数匹
362 配法 (QM) (显著性水平 95%)，剔除了插补后的保定气象站日最高和最低气温序列中因数据
363 插补、迁站和仪器变更造成的序列非均一性影响，尽可能的保留了该站百年以来真实的气候
364 变化特征。

365 3) 保定气象站百年以来年平均气温距平序列的年代际变化特点与 Berkeley Earth-monthly、
366 CRUTS4.03 和 GHCNV3 参考数据源基本一致，其中，增暖时期主要出现在 20 世纪第二个 10
367 年到 30 年代和 80 年代末以后，而 20 世纪 50 年代到 60 年代为明显的降温时期。从趋势变
368 化来看，年平均最高、最低和平均气温趋势增暖幅度分别为 $0.109 \pm 0.021^\circ\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.224 \pm 0.018^\circ\text{C}$
369 $/10\text{a}$ 和 $0.166 \pm 0.016^\circ\text{C}/10\text{a}$ (95%不确定性水平估计)，与对应 Berkeley Earth-monthly 和
370 CRUTS4.03 基本一致。

371 4) 对于极端温度变化来说，保定地区 1912 年以来年和季节极端温度呈明显的增暖变化，
372 TNn 的增暖趋势显著增加 (95%显著性检验)，特别是秋季趋势幅度达 $0.404^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。并且年和
373 季节日极端事件 (TX10p、TX90p) 的趋势变化幅度均远远小于夜极端事件 (TN10p、TN90p)，
374 导致气温日较差趋势幅度的显著减少，年和秋季趋势变化分别为 $-0.118^\circ\text{C}/10\text{a}$ 、 $-0.215^\circ\text{C}/10\text{a}$ (95%
375 显著性检验)。

376 另外，相比司鹏等 (2017)，本研究对处理的气温要素的时间尺度做了细化，为我国京津
377 冀极端气候变化研究领域提供了新的基础观测数据。与此同时，在司鹏等 (2017) 基础上，
378 尽可能详细地整理了保定气象站近百年有观测记录以来的台站元数据信息，并且改进和完善
379 资料插补和均一化分析中对参考资料源的选取和参考序列的建立方法，为构建的百年逐日气
380 温基础序列的完整性和可靠性提供科学依据。

381

382 参考文献 (References)

- 383 Bai K X, Li K, Wu C B, et al, 2020. A homogenized daily in situ PM2.5 concentration dataset from the national air
384 quality monitoring network in China [J]. *Earth System Science Data*, 12 (4): 3067-3080.
- 385 Dáithí Stone, Maximilian Auffhammer, Mark Carey, et al, 2013. The challenge to detect and attribute effects of
386 climate change on human and natural systems [J]. *Climatic Change*, 121 (2): 381-395.
- 387 Della-Marta P, Wanner H, 2006. A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature
388 measurements [J]. *Journal of Climate*, 19 (17): 4179-4197.
- 389 Harris I, Osborn T J, Jones Phil, et al, 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate
390 climate dataset [J]. *Scientific Data*, 7, 109.
- 391 Hansen J, Ruedy R, Sato Makiko K L, 2010. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 48 (4):
392 RG4004.
- 393 Haimberger L, Tavolato C, Sperka S, 2012. Homogenization of the global radiosonde temperature dataset through
394 combined comparison with reanalysis background series and neighboring stations [J]. *Journal of Climate*, 25
395 (23): 8108-8131.
- 396 Hewarachchi A, Li Yingbo, Lund R, et al, 2017. Homogenization of Daily Temperature Data [J]. *Journal of Climate*,
397 30 (3): 985-999.

398 Jones Philip, Lister D, Osborn T J, et al, 2012. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations:
399 an extensive revision and an update to 2010 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 117, D05127.
400 姜彤, 翟建青, 罗勇, 等, 2022. 气候变化影响适应和脆弱性评估报告进展: IPCC AR5 到 AR6 的新认识[J].
401 *大气科学学报*, 45 (4): 502-511. Jiang T, Zhai J Q, Luo Y, 2022. Understandings of assessment reports on
402 climate change impacts, adaptation and vulnerability: progress from IPCC AR5 to IPCC AR6[J]. *Trans Atmos*
403 *Sci*, 45 (4): 502-511.
404 Lawrimore J H, Menne M J, Gleason B, et al, 2011. An overview of the global historical climatology network
405 monthly mean temperature data set, Version 3[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 116: D19121.
406 Li Yan, Birger Tinz, Hans von Storch, et al, 2018. Construction of a surface air temperature series for Qingdao in
407 China for the period 1899 to 2014 [J]. *Earth System Science Data*, 10, 643-652.
408 Lv Yanmin, Guo Jianping, Yim S H, et al, 2020. Towards understanding multi-model precipitation predictions from
409 CMIP5 based on China hourly merged precipitation analysis data[J]. *Atmospheric Research*, 231 (1): 104671.
410 刘小宁, 张洪政, 李庆祥, 2005. 不同方法计算的气温平均值差异分析[J]. *应用气象学报*, 16 (3): 345-356.
411 Liu Xiaoning, Zhang Hongzheng, Li Qingxiang, 2005. Analyses on average temperature difference resulted from
412 different calculation methods [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 16 (3): 345-356.
413 Masson-Delmotte V, Zhai P M, Pirani A, et al, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* [R].
414 Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
415 Change, Cambridge University Press, in press.
416 Menne Matthew, Durre Imke, Vose Russell, et al, 2012. An overview of the global historical climatology network-
417 daily database [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29 (7): 897-910.
418 Menne M J, Williams C N, Gleason B E, et al, 2018. The global historical climatology network monthly temperature
419 dataset, Version4 [J]. *Journal of Climate*, 31 (24): 9835-9854.
420 Peterson T, Easterling D, Karl T, et al, 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review
421 [J]. *International Journal of Climatology*, 18 (13): 1493-1517. doi: 10.1002/(SICI)1097-
422 0088(19981115)18:133.0.CO;2-T.
423 Peterson T C, Folland C, Gruza G, et al, 2001. Report on the activities of the Working Group on Climate Change
424 detection and related rapporteurs 1998-2001 [R]. ICPO Publication Series No.48.
425 Quayle R G, Easterling D R, Karl T R, et al, 1991. Effects of recent thermometer changes in the cooperative station
426 network [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72 (11): 1718-1723.
427 Rahimzadeh F, Zavareh M N, 2014. Effects of adjustment for non-climatic discontinuities on determination of
428 temperature trends and variability over Iran [J]. *International Journal of Climatology*, 34 (6): 2079-2096.
429 Rohde R, Muller R A, Jacobsen R, et al, 2013a. A new estimate of the average earth surface land temperature
430 spanning 1753 to 2011 [J]. *Geoinformatics & Geostatistics: An overview*, 1(1). doi: 10.4172/2327-4581.1000101.
431 Rohde R, Muller R A, Jacobsen R, et al, 2013b. Berkeley earth temperature averaging process [J]. *Geoinformatics*
432 *& Geostatistics: An overview*, 1 (2) .
433 Stocker Thomas, Qin Dahe, Plattner Gian-Kasper, et al, 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis*,
434 Technical Summary [R]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the
435 Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New
436 York.
437 Sun Xiubao, Ren Guoyu, Xu Wenhui, et al, 2017. Global land-surface air temperature change based on the new
438 CMA GLSAT data set [J]. *Science Bulletin*, 62 (4): 236-238.
439 Si Peng, Luo Chuanjun, Liang Dongpo, 2018. Homogenization of Tianjin monthly near-surface speed wind using
440 RHtestsV4 for 1951-2014[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 132 (3-4) : 1303-1320.
441 Si Peng, Luo Chuanjun, Wang Min, 2019. Homogeneity of Surface Pressure Data in Tianjin, China [J]. *Journal of*

442 Meteorological Research, 33 (6) : 1131-1142.

443 Si Peng, Li Qingxiang, Jones Phil, 2021. Construction of homogenized daily surface air temperature for the city of
444 Tianjin during 1887-2019 [J]. *Earth System Science Data*, 13 (5) : 2211-2226.

445 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*
446 *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
447 long-term temperature time series at Baoding observation station in Hebei Province [J]. *Climate Change Research*,
448 13 (1) : 41-51. doi: 10.12006/j.issn.1673-1719.2016.043.

449 司鹏, 王冀, 李慧君, 等, 2020. 省级地面气象观测资料均一化处理技术与应用[M]. 北京: 气象出版社. Si
450 P, Wang J, Li Huijun, et al, 2020. Homogenization processing technology and application of meteorological
451 observation data at provincial scale [M]. Beijing: China Meteorological Press.

452 司鹏, 梁冬坡, 陈凯华, 等, 2021. 城市化对天津近 60 年平均温度和极端温度事件的增暖影响[J]. *气候与环*
453 *境研究*, 26 (2): 142-154. Si Peng, Liang Dongpo, Chen Kaihua, et al, 2021. Urbanization Effect on Average
454 and Extreme Temperature Warming in Tianjin during the last 60 Years [J]. *Climatic and Environmental Research*,
455 26 (2): 142-154. doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20060.

456 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
457 (1): 136-152. Si P, Guo J, Zhao Y F, et al, 2022. New series of daily maximum and minimum temperature
458 observations for Beijing, China since 1841 [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 80 (1) : 136-152. doi:
459 10.11676/qxxb2022.008.

460 苏布达, 陈梓延, 黄金龙, 等, 2022. 气候变化的影响归因: 来自 IPCC AR6 WG II 的新认知[J]. *大气科学*
461 *学报*, 45 (4): 512-519. Su B D, Chen Z Y, Huang J L, et al., 2022. Impact attribution of climate change: the
462 new cognition from IPCC AR6 WG II [J]. *Trans Atmos Sci*, 45 (4): 512-519.

463 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*
464 *学学报*, 44 (5): 654-657. Sun Y, 2021. Impact of human activities on climate system: an interpretation of Chapter
465 III of WGI report of IPCC AR6 [J]. *Trans Atmos Sci*, 44 (5): 654-657.

466 Trewin B, 2013. A daily homogenized temperature data set for Australia [J]. *International Journal of Climatology*,
467 33 (6): 1510-1529.

468 Vincent L A, Wang Xiaolan, Milewska E J, et al, 2012. A second generation of homogenized Canadian monthly
469 surface air temperature for climate trend analysis [J]. *Journal of Geophysical Research*, 117, D18110.

470 Wang Xiaolan, Wen Qiuzi H, Wu Yuehua, 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change
471 in climate data series [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46 (6) : 916-931.

472 Wang Xiaolan, 2008. Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change [J].
473 *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25 (3): 368-384.

474 Wang Xiaolan, Chen Hanfeng, Wu Yuehua, et al, 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts
475 in daily precipitation data series [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49 (12) : 2416-2436.

476 吴增祥, 2007. 中国近代气象台站[M]. 北京: 气象出版社, 145, 161, 182. Wu Zengxiang, 2007. *China Modern*
477 *Meteorological Station* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 145, 161, 182.

478 Yan Zhongwei, Yang Chi, Jones Phil, 2001. Influence of inhomogeneity on the estimation of mean and extreme
479 temperature trends in Beijing and Shanghai [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18 (3): 309-322.

480 袁宇锋, 翟盘茂. 2022. 全球变暖与城市效应共同作用下的极端天气气候事件变化的最新认知
481 [J]. *大气科学学报*, 45 (2): 161-166. Yuan Y F, Zhai P M, 2022. Latest understanding of extreme weather and
482 climate events under global warming and urbanization influences [J]. *Trans Atmos Sci*, 45 (2): 161-166.

483 Establishment of homogenized daily temperature series for Baoding in

484 **Hebei Province and its climate characteristics over century-long scale**

485 SI Peng^{1,2,3}, HAO Lisheng^{2*}, FU Ning⁴, WANG Min⁵, ZHAO Yufei⁶, LIANG Dongpo²

486 ¹ Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin Meteorological Service, Tianjin 300074, China;

487 ² Tianjin Climate Center, Tianjin Meteorological Service, Tianjin 300074, China;

488 ³ Tianjin Marine Meteorological Key Laboratory, Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China;

489 ⁴ School of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

490 ⁵ Shaoguan Meteorological Service, Guangdong Meteorological Service, Shaoguan 512028, China

491 ⁶ National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 10081, China

492

493 **Abstract:** Based on the daily observations collected by National Meteorological Information Centre
494 since 1919, the homogenized daily maximum and minimum temperature series during the period of
495 1912-2019 were established for Baoding in Hebei Province. Firstly, the error data due to manual
496 observation or recording, instrument malfunctions and digital inputs were removed by quality control.
497 Then, the missing observations were interpolated by standardized series method using the
498 homogenized daily temperature data in Tianjin over century-long scale. Lastly, several significant
499 breakpoints caused by changes in interpolation, station relocation and instrument manufacturers were
500 detected by penalized maximal t test (PMT) with annual and monthly reference series constructed by
501 two means, and adjusted by Quantile Matching (QM) adjustment with daily reference series from
502 Berkeley Earth-daily data. It was found that the characteristics of inter-annual, decadal and trend
503 changes were consistent with those from Berkeley Earth-monthly, CRUTS4.03 and GHCNV3. And
504 the characteristics of warming change induced by the rapid urban development in Baoding region
505 have well been reflected, simultaneously compared with the whole Beijing-Tianjin-Hebei region. In
506 addition, the warming change of annual and seasonal temperature extremes in Baoding have also
507 increased significantly since 1912, the warming trends of annual and autumn lowest minimum
508 temperature (TNn) were 0.340°C/10a and 0.404°C/10a (95% significance level), respectively, and the
509 corresponding diurnal temperature range (DTR) are -0.118°C/10a and -0.215°C/10a (95%
510 significance level).

511

512 **Key words:** Over century-long scale; Daily time series; Extended interpolation; Homogenization;
513 Extreme temperature change