

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.06.001

我国 1961—2009 年气温变化规律分析

郝振纯,孙乐强

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098)

摘要:利用我国 730 个气象站 1961—2009 年逐月平均气温数据,采用 Mann-Kendall 法检验了该时段我国全年和四季气温空间和时间变化规律.结果显示,1961—2009 年我国地面观测温度普遍升高,但四季和全年平均气温变化规律不一致.全国年均气温升高比单季平均气温升高明显,青藏高原和滇西南地区无论四季还是全年均是升高最明显的区域,除滇西南外的西南地区则是升温最不明显的区域.北方地区升温普遍比南方地区显著,东部沿海地区升温比临近的内陆地区显著.20 世纪 80 年代是明显的气温变化转折时期,80 年代之前气温呈波动状态,80 年代之后气温稳定上升.夏季全国曾普遍出现过明显降温过程,其他 3 个季节及全年的降温过程多为局部性,降温幅度也不如夏季大.

关键词:平均气温;气温变化;气候分析;Mann-Kendall 检验

中图分类号: P423.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)06-0595-07

气温变化是气候变化最显著的指标之一,由于气温的变化会直接影响蒸发、径流等一系列水文要素的变化,因而研究气温变化对于掌握区域内水资源变化等问题具有重要意义^[1-3].多年来,围绕气温的时空分布和变化规律,国内外众多学者进行了大量的研究^[4-8].IPCC 第四次报告指出,过去百年来全球地表温度升高了 0.74℃,并且预测未来百年全球气温可能升高 1.1~6.4℃^[9].屠其璞^[10]在 20 世纪 80 年代的研究表明,我国除东北和新疆北部地区以外的大部分地区,气温长期变化趋势的主要特征都与北半球平均气温的趋势相一致,即从 20 世纪初到 1945 年前后和 20 世纪 70 年代以后,是两个明显的增暖时段,它们中间是一个降温时段.余锦华等^[11]后来的研究则表明,我国平均气温上升的变化趋势没有北半球强,我国气温在 20 世纪 40 年代最高,而北半球气温则在 70 年代迅速上升.20 世纪 90 年代,丁一汇等^[12]在研究我国近百年来气温变化规律时也得到了类似的结论,并分析了我国西南地区 20 世纪 50 年代以后的降温趋势和城市化对我国气温观测的影响,而班军梅等^[13]则对西南地区的气温变化做了专门的研究.施能等^[14]研究了我国包括气温和降水在内的气候要素在过去百年中 4 个代际的区域变化特征.陈隆勋等^[15]的研究结果指出我国现代的气温变暖主要发生在 35°N 以北地区,变暖最大区域是新疆和黑龙江北部.与此相反,在 35°N 以南直到 23°N 以及 100°E 以东地区存在一个广阔的变冷区.在区域量化指标上,秦大河等^[16]认为 20 世纪后半叶我国年平均气温升高以北方为主,东北北部、内蒙古及西部盆地升温速率达 0.08℃/a 以上.此外,对于全国其他地区 20 世纪后半叶以来气温变化规律的探讨也有很多.

本文利用我国气象科学数据共享服务网所提供的 1961—2009 年全国 730 个站点逐月平均气温数据,采用 Mann-Kendall 非参数检验方法^[17]分析我国 20 世纪 60 年代以来年平均气温和季节平均气温时空变化规律,以期在最新资料基础上更加全面地研究我国气温变化规律.

1 研究资料与方法

基本数据为我国气象科学数据共享服务网提供的 1961—2009 年全国 730 个站点逐月平均气温数据,对于缺测年份,使用邻近站点资料插值获取.选取插值站点时综合考虑站点海拔和已有记录的相关程度.

收稿日期:2010-11-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2010CB951101);国家自然科学基金(40830639,50879016,40801012);水利部公益性行业科研专项(200801027);河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项(1069-50985512)

作者简介:郝振纯(1958—),男,山西翼城人,教授,博士,主要从事气候变化与水循环研究.E-mail:hzchun@hhu.edu.cn

Mann-Kendall 非参数检验方法是世界气象组织 WMO 推荐的趋势显著性检测方法之一.在 Mann-Kendall 检验中,原假设 H_0 为时间序列数据 $(x_1, \dots, x_n)$ 是 n 个独立的、随机变量同分布的样本;备择假设 H_1 是双边检验.对于所有的 $k \leq n, j \leq n$ 且 $k \neq j, x_j, x_k$ 的分布是不相同的,检验的统计变量 S 计算式^[18]为

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \tag{1}$$

其中

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & x_j - x_k > 0 \\ 0 & x_j - x_k = 0 \\ -1 & x_j - x_k < 0 \end{cases} \tag{2}$$

S 为正态分布,其均值 $E(S) = 0$,方差 $V_{\text{ar}}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$.当 $n > 10$ 时,标准的正态统计变量计算公式为

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V_{\text{ar}}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V_{\text{ar}}(S)}} & S < 0 \end{cases} \tag{3}$$

这样,在双边的趋势检验中,在给定的置信水平 α 上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$,则原假设是不可接受的,即在置信水平 α 上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势.统计变量 $Z > 0$ 时,表示上升趋势; $Z < 0$ 时,则表示下降趋势. $|Z| \geq 1.96$ 时,表示可以通过 95% 的显著性检验.当 Mann-Kendall 检验进一步用于检验序列突变时,检验统计量与上述 Z 有所不同,通过构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_{ij} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \tag{4}$$

其中

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \tag{5}$$

定义统计变量

$$U_{\text{Fk}} = \frac{|S - E(S_k)|}{\sqrt{V_{\text{ar}}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \tag{6}$$

式中: $E(S_k) = k(k+1)/4, V_{\text{ar}}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72, U_{\text{Fk}}$ 为标准正态分布.给定置信水平 α ,若 $|U_{\text{Fk}}| > U_{\alpha}$,则表明序列存在明显的趋势变化.

线性趋势是气象要素变化研究中极其重要的一个方面,Hess 等^[19]曾经对各种线性趋势研究方法做过系统评价,Hirsch 等^[20]在研究 Seasonal Kendall 方法时提出倾向率的概念,用以替代传统的线性回归方法,认为当原始数据的可靠性不足时,这种无偏估计方法较简单线性回归估计的精度要高.考虑到本文所用数据有较多缺失且时间跨度较短,可靠性和代表性可能会不足,因此主要选用 Mann-Kendall 倾向率(以下简称 MK 倾向率)来量化趋势的大小. MK 倾向率的计算公式如下^[21]:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \tag{7}$$

其中 Median 表示取中值, $i < j \leq n, n$ 为序列长度.当 $\beta > 0$ 时表示序列存在速率为 β 的递增趋势,当 $\beta < 0$ 时表示存在速率为 β 的递减趋势^[22].本文 β 的单位为 $^{\circ}\text{C/a}$.

2 实测气温

考虑到季风/非季风区以及青藏高寒区和秦岭淮河界等重要的地理分界线,将全国划分为南方、北方、西北和青藏 4 个地理大区^[23].图 1 为 4 个地理大区 1961—2009 年年均气温变化图,可以看出 4 个地理大区气温呈上升趋势,但平均气温最高的南方地区的上升趋势最不明显.表 1 对 4 个地理大区分年代统计的平均气温及线性趋势方程也表明南方变暖的趋势要弱于其他 3 个区域,尤其是升温最为明显的西北地区.

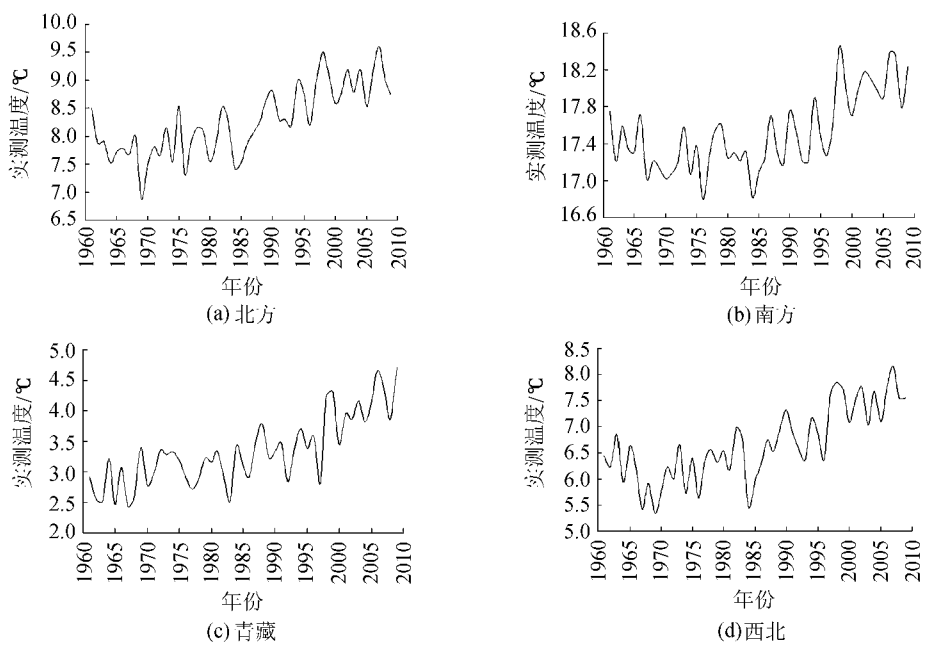


图 1 4 个地理大区 1961—2009 年实测温度

Fig. 1 Observed temperatures in four geographic regions from 1961 to 2009

表 1 各年代平均气温及线性趋势方程

Table 1 Decadal average temperatures and linear regression equations

地区	平均气温/℃					线性趋势方程
	20 世纪 60 年代	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	21 世纪 00 年代	
北方	7.8	7.9	8.0	8.7	9.0	$y = 0.0329x - 57.116$
南方	17.4	17.3	17.2	17.6	18.1	$y = 0.0188x - 19.796$
青藏	2.8	3.1	3.2	3.5	4.1	$y = 0.0317x - 59.516$
西北	6.1	6.2	6.4	7.1	7.5	$y = 0.0375x - 67.835$

3 气温变化明显程度

分别计算所有站点的 1961—2009 年年均和四季平均气温 Mann-Kendall 检测的 Z 值和 U_{FK} 序列,以综合判断各个站点气温变化的明显程度和这种明显变化开始的年份,见图 2。

1961—2009 年春季平均气温增温最显著的区域包括华东大部、华北大部以及西北地区东南部等,而新疆北部、西南地区大部、华南大部地区都无法通过显著水平 $\alpha = 0.05$ 的增温置信检验,表明这些地区 1961 年以来春季的升温并不明显。除这些区域之外全国其他地区春季气温升高都可以通过 $\alpha = 0.05$ 的置信检验。1961—2009 年夏季平均气温增温显著的区域比春季减小,显著增温区域主要集中在黑龙江、吉林、内蒙古的东北部、北京、天津及西北大部、青藏高原、云南西南部和东南沿海地区,而其他地区则均无法通过显著性 $\alpha = 0.05$ 的增温置信检验。其中以豫陕鄂交界地区为中心的大片区域甚至有明显的降温趋势。1961—2009 年全国秋季平均气温增温普遍较为明显,其中最显著的区域为青藏高原东北部,而中南地区局部、西南地区局部在 $\alpha = 0.05$ 下未出现明显增温。1961—2009 年全国冬季平均气温亦普遍明显升高,其中又以环渤海地区和青藏高原以及滇西地区升高最为明显,全国仅有四川、重庆、贵州和广西局部地区升温趋势无法通过 $\alpha = 0.05$ 的增温置信检验。

对于 1961—2009 年年平均气温,亦发现全国普遍明显升温,其中又以青藏高原、西北地区中东部、东北和滇西南地区升温最为明显, $Z > 1.96$ 即可认为在置信水平 0.95 下明显升温,而这些地区的 Z 值普遍大于 5.0。概括看,北方地区升温要比南方地区明显,沿海地区升温要比临近内陆地区明显。虽然同处于长江流域,武汉及其周边地区升温明显,而四川东部以及重庆大部确是全国唯一无法通过 $\alpha = 0.05$ 的增温置信检验的区域。

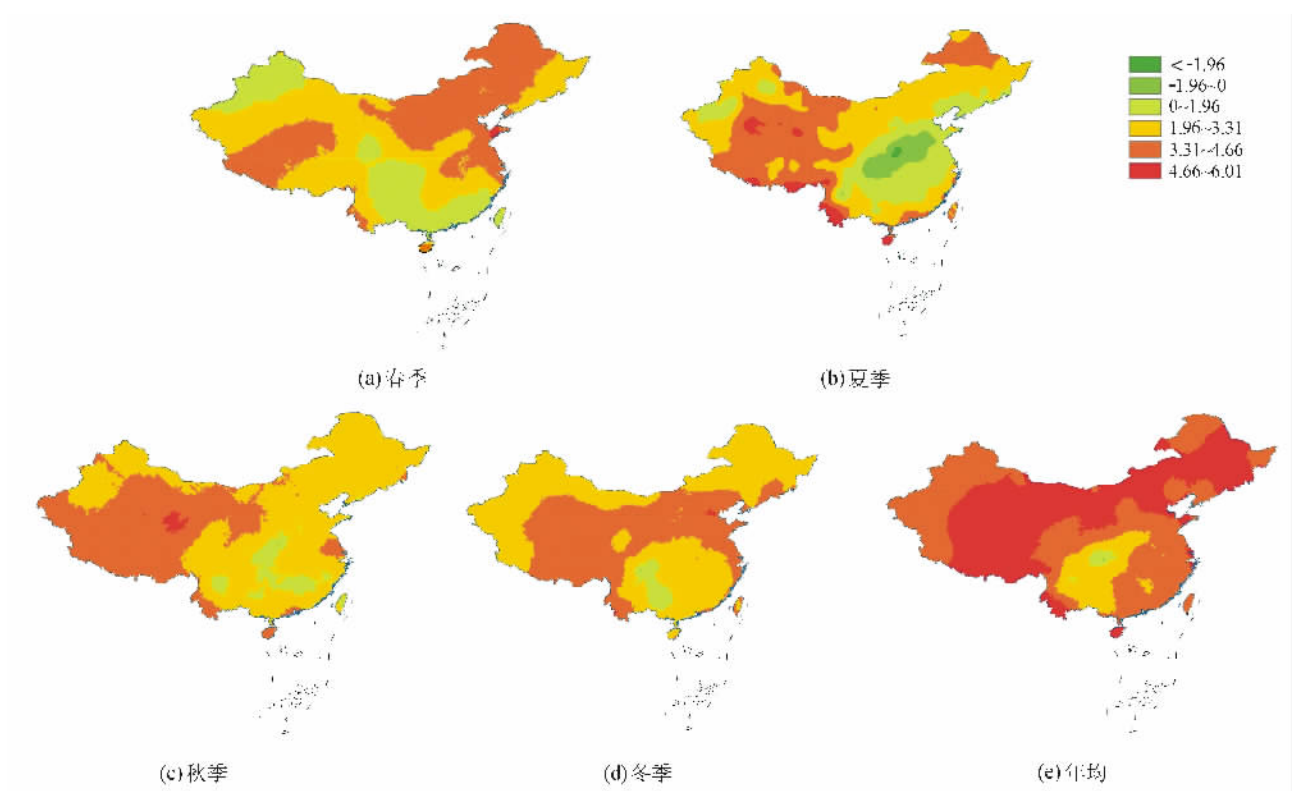


图 2 1961—2009 年年均及四季平均气温 Z 值分布

Fig. 2 Distribution of Z values for annual and seasonal average temperatures from 1961 to 2009

4 气温明显转折年

除了 在 时 间 上 整 体 研 究 全 国 气 温 变 化 规 律 外 , 还 希 望 在 1961—2009 年 之 间 找 到 一 个 年 份 , 以 此 作 为 气 温 变 化 规 律 转 变 最 为 明 显 的 分 界 年 . 为 区 别 于 突 变 年 , 可 以 将 其 命 名 为 明 显 转 折 年 . 对 于 单 站 , 将 U_{Fk} 曲 线 首 次 超 过 置 信 直 线 ($\alpha = 0.05$ 时 其 值 为 ± 1.96) 时 的 年 份 定 为 该 站 气 温 变 化 明 显 转 折 年 .

图 3 (a) 为 全 国 4 个 地 理 大 区 1961—2009 年 年 均 气 温 U_{Fk} 曲 线 , 可 以 看 出 最 重 要 的 明 显 转 折 年 在 1981 年 左 右 , 在 此 之 前 气 温 变 化 大 都 无 法 超 过 置 信 直 线 , 南 方 和 西 北 地 区 短 暂 超 过 负 置 信 直 线 , 但 是 很 快 回 弹 , 同 时 对 全 国 730 个 站 点 明 显 转 折 年 的 统 计 参 数 分 析 也 表 明 , 将 1981 年 定 为 全 国 统 一 明 显 转 折 年 最 为 合 适 .

明 显 转 折 年 在 空 间 上 的 分 布 如 图 3 (b) 所 示 , 可 以 看 出 1981 年 之 前 发 生 的 明 显 转 折 年 和 1981 年 之 后 发

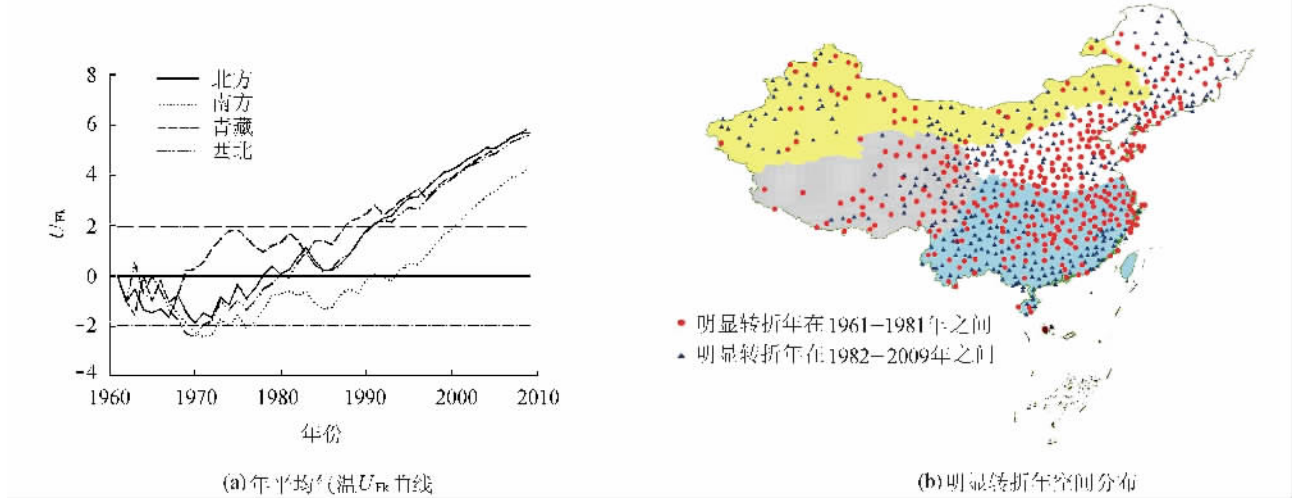


图 3 1961—2009 年年均气温明显转折年计算结果

Fig. 3 Calculation of SY(s) for annual average temperatures from 1961 to 2009

生的明显转折年在空间分布上具有较为明显的聚类特征,南方地区的长江流域和北方地区的黄河流域明显转折年发生的年份大都早于 1981 年,而东北、西北、西南和华南地区的明显转折年则普遍晚于 1981 年。

5 分界年前后气温变化规律

分别计算 1961—2009 年、1961—1981 年和 1982—2009 年这 3 个时段年均和季均 MK 倾向率,以反映其间的温度变化规律。其中年均气温结果如图 4 所示,季平均气温结果图略。

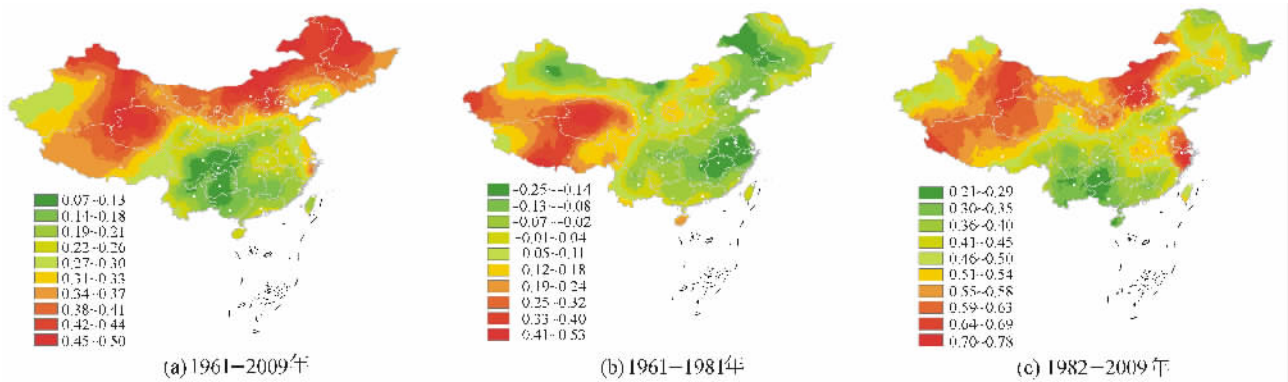


图 4 年均气温 MK 倾向率(单位: °C/a)

Fig. 4 Mann-Kendall tendency rates for annual average temperatures(unit :°C/a)

a. 1961—2009 年年均气温在全国范围内 MK 倾向率均大于 0,其中最大值出现在东北北部、内蒙古中东部、京津地区、青藏高原东北部以及新疆东北部,达 0.040 ~ 0.050 °C/a,说明这些地区升温最为明显。江浙和广东一带沿海升温比临近的安徽、湖南等省显著,华东沿海以及武汉地区升温达 0.026 °C/a 以上。而升温最不明显的地区集中在四川、贵州、广西、重庆等西南地区,温度升高不超过 0.014 °C/a。1981 年之前全国范围内除青藏高原及周边升温外(青藏高原升温最剧烈的地区达 0.041 ~ 0.053 °C/a),大部分处于降温状态,降温最为剧烈的区域主要集中在长江中下游以及东北地区,最大降温幅度在 0.014 ~ 0.025 °C/a 之间。1981 年以后全国基本没有出现降温区域,其中又以江浙地区、华北北部、内蒙古中东部地区升温最为显著,达 0.069 ~ 0.078 °C/a,而升温最不显著的贵州广西部分地区升温幅度也在 0.021 °C/a 以上。

b. 1961—2009 年春季升温最显著的区域为东北大部,且纬度越高温度升高越剧烈,黑龙江北部以及内蒙古中东部升温幅度达 0.049 ~ 0.057 °C/a,其次是华北和华东部分地区以及西北地区东部,升温在 0.038 °C/a 以上。最不明显的地区仍是西南和华南地区,云贵川部分地区升温尚不足 0.010 °C/a。1981 年之前,以北疆为代表的西北地区北部以及长江以南大部等地区出现了降温过程,其中前者降温较为剧烈,北疆地区降温达 0.125 ~ 0.151 °C/a。1981 年后,西北地区东部、华北西部和江浙地区成为最明显的升温区域,达 0.082 ~ 0.096 °C/a,而西南、华南和东北部分地区升温速度最小,但也大于 0.020 °C/a。

c. 1961—2009 年夏季平均气温在豫陕鄂交界一带出现明显的下降,降温区域以此为中心向东北和西南方向延伸,但降幅不大,最大降幅不超过 0.015 °C/a。青藏高原东北部、内蒙古东部、东北北部以及浙江东北部为升温最为显著地区,升温幅度不足 0.049 °C/a,远小于全年以及春季全国最大升温速率。1981 年以前黄淮、江淮、长江中下游、华北、辽宁大部、内蒙古西部地区温度下降,东北北部、南疆西部升温。1981 年之后,西北大部、内蒙、东北大部、长三角地区升温明显,而西南、华南、山东、辽宁等地区则升温极不明显,个别地区还出现降温。

d. 1961—2009 年秋季平均气温普遍上升,但最为明显的是青藏高原、西北地区大部和内蒙古中东部,其次是东北和江淮地区,而除此之外全国其他地区的升温幅度不大,普遍不超过 0.027 °C/a。1981 年之前全国除青藏高原和西北大部、东北东部有升温外,其他地区均降温,其中从江苏南部一直到云南东部的一大片区域温度最大下降幅度达 0.039 ~ 0.060 °C/a,而 1981 年之后全国又普遍升温,尤其以西北、内蒙古中东部、江淮、江南地区升温最为明显,达 0.068 °C/a 以上。

e. 1961—2009 年冬季平均气温全国均呈上升态势,其中北方地区升温要比南方地区显著。北方地区以青海、新疆东部、内蒙中部、华北大部、东北大部升温最显著,达 0.063 °C/a 以上,而南方地区四川、贵州以及

安徽局部地区升温则仅在 $0.014 \sim 0.023 \text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 之间. 1981 年之前青藏高原东北部升温剧烈, 可达 $0.100 \text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 以上, 东北大部(除辽宁外)出现降温, 尤以内蒙古东部最为显著, 下降幅度最高达 $0.058 \text{ }^{\circ}\text{C/a}$. 1981 年之后青藏高原继续出现明显升温过程, 此外, 全国另有两广交界、浙江和华北 3 个升温中心, 升温幅度最高达 $0.070 \text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 以上, 但高纬度地区的东北北部和新疆北部等地区却出现降温, 但下降幅度不大, 幅度不超过 $0.024 \text{ }^{\circ}\text{C/a}$.

6 结 论

a. 1961—2009 年, 我国地面观测温度普遍升高, 但是四季和全年温度变化的规律并不一致. 青藏高原和滇西南地区无论四季还是全年平均气温均是升高最明显的区域, 西南局部地区是全国升温最不明显的区域. 北方地区升温普遍比南方地区显著, 东部沿海地区升温比临近内陆地区升温显著. 南方地区的长江流域和北方地区的黄河流域气温变化明显转折年大都早于 1981 年, 而东北、西北、西南和华南地区的明显转折年则普遍晚于 1981 年.

b. 全国气温除总体呈现升温趋势外, 个别时段个别地区也有降温. 春季气温 1981 年之前, 以北疆为代表的西北地区北部出现降温过程, 夏季 1961—2009 年之间全国普遍出现降温过程, 1981 之前降温更为明显, 降温中心在华中一带. 秋季 1981 年之前同样出现过全国性降温过程, 但不如夏季明显; 冬季 1981 年之前东北大部出现明显降温.

参考文献:

- [1] 郝振纯, 李丽, 王加虎, 等. 气候变化对地表水资源的影响[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2007, 32(3): 425-432. (HAO Zhen-chun, LI Li, WANG Jia-hu, et al. Impact of climate change on surface water resources[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(3): 425-432. (in Chinese))
- [2] 郝振纯, 王加虎, 李丽, 等. 气候变化对黄河源区水资源的影响[J]. 冰川冻土, 2006, 28(1): 1-7. (HAO Zhen-chun, WANG Jia-hu, LI Li, et al. Impact of climate change on runoff in source region of yellow river[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(1): 1-7. (in Chinese))
- [3] 荣艳淑, 罗健. 华北地区 1901—2002 年气候变化强度的演变[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 276-280. (RONG Yan-shu, LUO Jian. Evolution of climate change intensity in North China from 1901 to 2002[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(3): 276-280. (in Chinese))
- [4] ELAGIB N A, MANSELL M G. Recent trends and anomalies in mean seasonal and annual temperatures over Sudar[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 45(3): 263-288.
- [5] FOUNDA D, PAPADOPOULOS K H, PETRAKIS M, et al. Analysis of mean, maximum and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events[J]. Global and Planetary Change, 2004, 44(1/2/3/4): 27-38.
- [6] GADGIL A, DHORDE A. Temperature trends in twentieth century at Pune, India[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(35): 6550-6556.
- [7] XU Z X, TAKEUCHI K, ISHIDAIRA H. Long-term trends of annual temperature and precipitation time series in Japan[J]. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, 2002, 20(2): 11-26.
- [8] 唐志坚, 夏自强, 郭利丹, 等. 中北亚地区气候纬向变化特征[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 271-275. (TANG Zhi-jian, XIA Zi-qiang, GUO Li-dan, et al. Characteristics of latitudinal climate change in Central-North Asia[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(3): 271-275. (in Chinese))
- [9] PARRY M L. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 976.
- [10] 屠其璞. 近百年来我国气温变化的趋势和周期[J]. 南京气象学院学报, 1984, 7(2): 151-162. (TU Qi-pu. Trend and periodicity of temperature change in China during the past hundred years[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1984, 7(2): 151-162. (in Chinese))
- [11] 余锦华, 丁裕国, 江志红. 我国近百年气温变化的奇异谱分析[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(4): 586-593. (YU Jin-hua, DING Yu-guo, JIANG Zhi-hong. Singular spectrum analysis of temperature variations in China during the recent 100 years[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(4): 586-593. (in Chinese))
- [12] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26. (DING Yi-hui, DAI Xiao-su. Temperature variation in China during the Last 100 years[J]. Meteorological Monthly, 1994, 20(12): 19-26. (in Chinese))
- [13] 班军梅, 缪启龙, 李雄. 西南地区近 50 年来气温变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 346-351. (BAN Jun-

- mei MIAO Qi-long ,LI Xiong. Analysis of characteristics of temperature variations in southwest China in recent 50 years[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin 2006 ,15(3) :346-351.(in Chinese))
- [14] 施能 ,陈家其 ,屠其璞.中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报 ,1995 ,53(4) :431-439.(SHI Neng ,CHEN Jia-qi ,TU Qi-pu. 4-Phase climate change features in the last 100 years over China[J]. Acta Meteorologica Sinica ,1995 ,53(4) :431-439. (in Chinese))
- [15] 陈隆勋 ,朱文琴 ,王文 ,等.中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报 ,1998 ,56(3) :2-16.(CHEN Long-xun ,ZHU Wen-qin ,WANG Wen et al. Studies on climate change in China in recent 45 years[J]. Acta Meteorologica Sinica ,1998 ,56(3) :2-16.(in Chinese))
- [16] QIN Da-he ,DING Yi-hui ,SU Ji-lan et al. assessment of climate and environment changes in China :climate and environment changes in China and their projection[J]. Advances in Climate Change Research 2005 ,1(2) :467.
- [17] Analyzing long time series of hydrological data with respect to climate variability[R]. Geneva :World Meteorological Organization ,1988.
- [18] BURN D H. Hydrologic effects of climatic change in west-central Canada[J]. Journal of Hydrology ,1994 ,160(1/2/3/4) :53-70.
- [19] HESS A ,JYER H ,MALM W. Linear trend analysis :a comparison of methods[J]. Atmospheric Environment 2001 ,35(30) :5211-5222.
- [20] HIRSCH R M ,SLACK J R ,SMITH R A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data[J]. Water Resources Research ,1982 ,18(1) :107-121.
- [21] BURN D H ,HAGELNUR M A. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology 2002 ,255(1/2/3/4) :107-122.
- [22] XU Z X ,TAKEUCHI K ,SHIDAIRA H. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation[J]. Journal of Hydrology 2003 ,279(1/2/3/4) :144-150.
- [23] 中国地图出版社信息中心. 浅谈中国地理区域的划分[EB/OL].(2009-09-16). <http://www.chinamap.com/HTML/baodaoshuoming2.aspx>.

Analysis of temperature changes in China from 1961 to 2009

HAO Zhen-chun , SUN Le-qiang

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Based on the monthly average temperature data from 730 meteorological stations in China from 1961 to 2009 , this study tried to explore the spatial and temporal variation of the annual and seasonal temperatures using the Mann-Kendall test method. The results show that the observed temperatures generally rose from 1961 to 2009 and the trends of variation in annual and seasonal temperatures were different. The detailed results are as follows : the annual average temperature rose more significantly than the seasonal average temperature throughout the country ; the Qinghai-Tibet Plateau and Southwest Yunnan were the areas where both the annual and seasonal temperatures rose most significantly , while the southwestern parts , except for Southwest Yunnan , were the areas where the annual and seasonal temperatures rose least significantly ; the temperatures rose more significantly in North China than in South China , and more significantly in the eastern coastal regions than in the neighboring inland regions ; the 1980s was a transitional period for temperature change : the temperature fluctuated before the 1980s and steadily rose after the 1980s ; and there have been significant countrywide temperature declines in summers and less significant regional temperature declines during the other three seasons and over a whole year.

Key words : average temperature ; temperature change ; climate analysis ; Mann-Kendall test