

中国近40年日平均气温的概率分布特征及年代际差异

刘学华¹ 王立静² 吴洪宝³

1 金华市气象台, 金华 321000

2 滨州市气象专业台, 滨州 256612

3 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044

摘要 利用全国129站日平均气温资料, 从偏态系数、峰度系数入手分析了日平均气温的概率分布特征及年代际差异, 结果表明: 近40年中国各季日平均气温的均值分布大致呈南高北低, 夏季日平均气温的日际变化最小, 四季日平均气温不服从正态分布的地理差异明显。1961~1975年时段至1976~2000年时段, 夏季、春季日平均气温不服从正态分布的范围明显加大, 冬季不服从正态分布范围, 北部加大, 南部减小, 秋季与冬季大致相反; 在夏、春、秋季日平均气温方差的变化对日平均气温概率分布的影响是主要的, 均值变化的影响次之, 冬季在黄河中下游和长江下游流域均值的变化对概率分布影响是主要的, 方差变化影响次之, 其他地区相反。

关键词 正态分布 偏态系数 峰度系数 年代际差异

文章编号 1006-9585 (2007) 06-0779-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Probability Distribution of Mean Daily Temperature and Inter-decadal Variation in China in Recent 40 Years

LIU Xue-Hua¹, WANG Li-Jing², and WU Hong-Bao³

1 *Meteorological Observatory of Jinhua, Jinhua 321000*

2 *Meteorological Specialty Observatory of Binzhou, Binzhou 256612*

3 *Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

Abstract Using 129 stations mean daily temperature data, probability distribution of mean daily temperature and inter-decadal variation are analyzed by deflection coefficient and kurtosis coefficient. The result is that: in recent 40 years mean of mean daily temperature of each season approximately assume high in south and low in north, daytime change is the least in summer, geographical diversity of unconformity normal distribution is evident to four seasons. From period 1961—1975 to period of 1976—2000, unconformity areas to normal distribution is increase in summer and spring, unconformity areas to normal distribution in winter increase in north of China and minish in south of China, change of unconformity areas to normal distribution in full approximately reverse to winter. Influence of change of variance to probability distribution of mean daily temperature is primary, influence of change of mean is secondary in summer, spring and autumn. Influence of change of mean to probability distribution of mean daily temperature is primary, influence of change of variance is secondary in middle and underside reaches of Yellow River and underside reaches of Changjiang River in winter, the other area reverse.

Key words normal distribution, deflection coefficient, kurtosis coefficient, inter-decadal variations

收稿日期 2006-08-04 收到, 2007-08-09 收到修定稿

资助项目 “十五”国家重点科技攻关计划 2001BA607B

作者简介 刘学华, 男, 1977年出生, 硕士, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: lxh7343@126.com

1 引言

气候统计是研究天气、气候变化规律的有力工具。目前,依据观测资料所做的气候统计研究中,绝大部分工作是采用线性多元统计方法(相关、回归、主成分分析和典型相关分析等)研究气候平均量的变化趋势、气候变率的时空特征和两个场的相互关系等^[1~4],这些方法的基础都假设原始的随机变量服从正态分布。然而气候统计的基础工作——气候变量的概率分布研究甚少,尤其是对日平均气温的概率分布模式研究。Mearns 等^[5]以 7 月为例研究了平均最高气温的变化对极端高温事件发生概率的影响;Katz 等^[6]则从理论上证明,原始分布的方差变化对极值概率的影响比平均值的影响大得多;吴息等^[7]在研究南京最低气温频率与强度时指出,异常低温事件的发生频次服从泊松分布,而发生日数的分布服从正态分布,事件的强度按指数律递减;刘军臣等^[8]对黄淮地区 14 个国家基本(准)站 40 年月极端气温资料分别进行了正态、Gumel、Weibell 概率分布的拟合试验,通过拟合检验值和误差确定了各站各月极端最高气温和极端最低气温的概率分布模型;丁裕国等^[9]利用全国 203 站 1957~2001 年逐日最低、最高气温资料,引入概率加权法(PWM)采用 Gumel 分布对中国极端气温时空变化特征做“当前”与“未来”气候的模拟试验。

由上述可见,过去的研究只局限于对极端气温或某一区域气温的概率分布,而对整个中国区域范围气温的概率分布研究则较少。在实际资料中,某气候要素绝对服从某种理论分布是不可能的,只是在某种程度上服从,其服从程度则要通过一定的检验标准进行衡量。本文从偏态系数和峰度系数入手,通过一定的检验标准,研究各站日平均气温服从正态分布的程度是否存在地理差异,从而得出中国日平均气温的概率分布规律,为天气预报员及气象研究人员提供信息。

2 资料及方法

2.1 资料

本文资料是由南京信息工程大学南京大气资

料中心提供的由中国气象局整编的 740 站逐日气象要素资料。为保障研究结果可信,本文选取气温资料的原则是:选择 1961~2000 年期间逐日资料无缺测的站,同时保障站点地理分布尽量均匀。经计算及核查,最后取 129 站日平均气温资料,日平均气温以 1 月代表冬季,4 月代表春季,7 月代表夏季,10 月代表秋季(站点地理分布图略)。

2.2 方法

2.2.1 偏态系数与峰度系数

日平均气温的概率分布可用正态分布概率密度函数来描述,但不是绝对服从的,在此将日平均气温的样本频率与正态分布概率密度函数的差异程度定义为正态分布适合度。具体的定量指标采用偏态系数和峰度系数^[10]。

偏态系数和峰度系数是用来衡量随机变量分布密度曲线形状的数字特征,前者描述曲线峰点相对于均值的偏离程度,后者描述曲线渐进于横轴时的陡度。记偏态系数为 g_1 ,峰度系数为 g_2 ,它们与样本中心矩的关系为

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}, \quad (1)$$

$$g_2 = \frac{m_4}{m_2^2} - 3, \quad (2)$$

式中 m_2 、 m_3 和 m_4 分别为二阶、三阶和四阶中心矩, k 阶中心矩表示为

$$m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k, \quad (k=2, 3, 4). \quad (3)$$

偏态系数意义为:样本频率 $f(x_k)$ 与正态分布概率密度函数 $p(x)$ 相比较,当 g_1 为正时,表明 $f(x_k)$ 的顶峰相对于 $p(x)$ 的顶峰偏左,称为正偏度;当 g_1 为负时, $f(x_k)$ 的顶峰相对于 $p(x)$ 顶峰的偏右,称为负偏度;当 g_1 为 0 时, $f(x_k)$ 的顶峰与 $p(x)$ 顶峰重合,图形对称。

峰度系数意义为: $f(x_k)$ 与 $p(x)$ 相比较,当 g_2 为正时,表明 $f(x_k)$ 的坡度相对于 $p(x)$ 坡度偏陡;当 g_2 为负时, $f(x_k)$ 的坡度相对于 $p(x)$ 坡度偏缓,当 g_2 为 0 时, $f(x_k)$ 的坡度与 $p(x)$ 坡度相同。

由上可见,当 g_1 和 g_2 都为 0 时, $f(x_k)$ 与 $p(x)$ 完全重合,用正态分布概率密度函数模拟其分布达最好效果。

n 为样本容量,对某一变量做正态分布适合

度的检验可如下进行：假设要检验的变量遵从正态分布，用一次抽样的样本计算偏态系数及峰度系数，在显著水平 $\alpha=0.05$ 下，若

$$|g_1|>1.96\sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}, \tag{4}$$

$$|g_2|>1.96\sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}, \tag{5}$$

则拒绝原假设，认为在显著性水平 α 下，该随机变量不遵从正态分布，否则就可以认为变量遵从正态分布。

2.2.2 绝对偏差百分率

某要素 x 在两时段的均值分别为 $\overline{m_1}$ 和 $\overline{m_2}$ ，方差分别为 S_1 和 S_2 ，则定义均值或方差绝对偏差百分率为

$$R=\frac{|y_1-y_2|}{|y_1+y_2|/2}\times 100\%, \tag{6}$$

其中， y_1 代表 $\overline{m_1}$ 或 s_1 ， y_2 代表 $\overline{m_2}$ 或 s_2 ，由公式可

见， R 代表均值或方差在两时段变化的幅度。

3 1961~2000 年日平均气温的概率分布特征

3.1 夏季

图 1 给出 1961~2000 年 7 月日平均气温的均值、方差、偏态系数及峰度系数的地理分布。由图可见，均值（图 1a）大致呈南高北低分布，华南中部和新疆南部有高值中心区，青藏高原东部有一低值中心区。方差（图 1b）呈北高南低形式，在江淮流域和新疆西北部各有一高值中心，说明夏季日平均气温的日际变化北方大于南方，在两高值中心区较大。从偏态系数图（图 1c）看，中国中南部和新疆南部在一定显著性水平下夏季日平均气温不服从正态分布，或者相对地说正态分布适合度较差（为简单起见，以下简称不服从

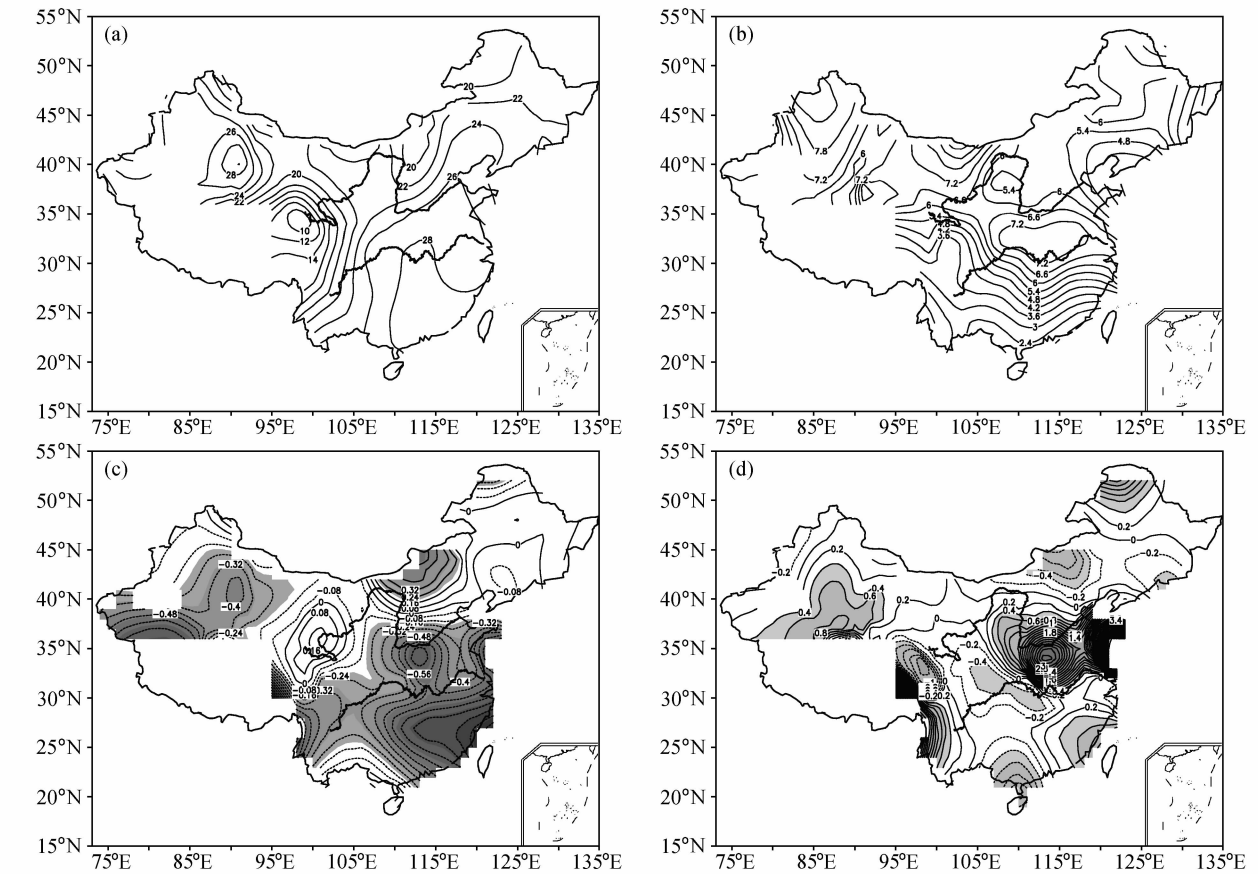


图 1 1961~2000 年 7 月日平均气温的 (a) 均值、(b) 方差、(c) 偏态系数及 (d) 峰度系数地理分布。阴影区通过 α 显著性检验
Fig. 1 Geography distribution of parameters of daily mean temperature of Jul in period of time from 1961 to 2000: (a) mean; (b) variation; (c) deflection coefficient; (d) kurtosis coefficient

正态分布), 其表现为负偏, 即大于平均气温的天数比小于平均气温的天数多; 内蒙古高原不服从正态分布, 表现为正偏, 即小于平均气温的天数比大于平均气温的天数多。从峰度系数图 (图 1d) 看, 内蒙古高原中部及广西南部不服从正态分布, 表现为日平均气温样本频率分布的坡度相对于正态分布概率密度曲线坡度偏缓 (以下简述为坡度偏缓); 东北北部、新疆南部、云南西部、华北平原南部和福建东部不服从正态分布, 表现为日平均气温样本频率分布的坡度相对于正态分布概率密度曲线坡度偏陡 (以下简述为坡度偏陡)。同时可见, 江淮流域、云南西部和新疆东南部正态分布适合度最差, 偏态系数和峰度系数都通过了显著性检验 (下同)。

3.2 冬季

图 2 给出 1961~2000 年 1 月日平均气温的均值、方差、偏态系数及峰度系数的地理分布。由图可见, 均值 (图 2a) 在秦岭淮河以北地区日平

均气温都在 0℃ 以下, 以南地区都在 0℃ 以上, 呈纬向分布形式, 这可能是因为同纬向大部分地区方差相差较小 (见图 2b), 方差也呈北大南小形式, 在四川盆地有一低值中心, 即冬季日平均气温日际变化北部大于南部, 且四川盆地小于周围地区。从偏态系数 (图 2c) 看, 西北地区、云南南部不服从正态分布, 表现为负偏; 东北东北部、华南及云南西南部不服从正态分布, 表现为正偏。从峰度系数 (图 2d) 看, 中国中部、东北中部、新疆南部和青藏高原东部不服从正态分布, 表现为坡度偏陡。同时可见, 新疆中南部正态分布适合度最差。

类似地, 我们也对春、秋季日平均气温的概率分布特征做了分析 (图略)。春季均值呈纬向分布, 南高北低, 在青藏高原东部有一低值中心, 南北温差较大; 方差北大南小, 在北部呈纬向分布, 南部呈经向分布, 在东北中部、新疆南部及华南北部有相对高值中心。新疆北部和华南南部不

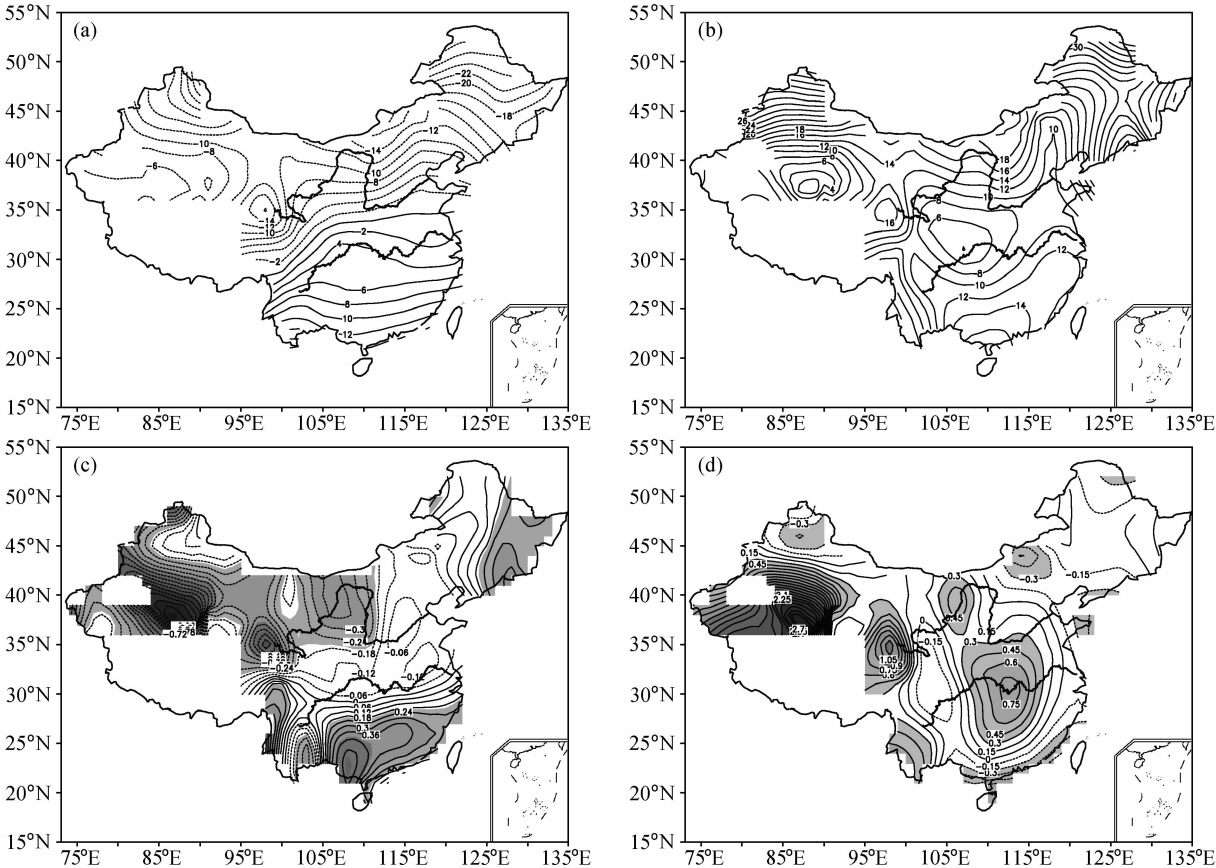


图 2 同图 1, 但为 1961~2000 年 1 月
Fig. 2 The same to as Fig. 1 but for Jan

服从正态分布，表现为负偏；云南南部和东北最北部不服从正态分布，表现为坡度偏陡；华南、辽宁中部及东北东部沿海不服从正态分布，表现为坡度偏缓；云南东部正态分布适合度最差。秋季日平均气温及其日际变化都小于春季。黄河中上游、华南南部、山东及苏北地区不服从正态分布，表现为正偏；长江中游、甘肃和新疆最北部不服从正态分布，表现为坡度偏陡；东北南部、云南南部和新疆南部不服从正态分布，表现为坡度偏缓；甘肃正态分布适合度最差。

4 日平均气温概率分布的年代际差异

1976 年是北半球大气环流和气候年代际变化转折年^[11~13]，为反映各季日平均气温概率分布的年代际差异，再将资料分为 1961~1975 年和 1976~2000 年两个时段进行研究。

4.1 夏季

4.1.1 方差差异的显著性检验

由于对日平均气温的均值变化已有大量研究，在此不再重复。为反映夏季方差在两时段是否发生了显著变化，分别对两时段 7 月方差差异做 F 检验^[14]。由图 3 可见，1961~1975 年和 1976~2000 年方差差异在新疆西部大部分站通过显著性检验（实心圆区域），在中国中部和西南部也有零星几站通过显著性检验，说明新疆西部两时段日平均气温的日际变化差异显著，再由两时段方差地理分布（图略）可见，方差减小，即该地区夏季日平均气温的日际变化变小，其他地区差异不显著。

4.1.2 偏态系数和峰度系数地理差异

图 4a 和 4b 给出 1961~1975 年第一时段 7 月日平均气温的偏态系数及峰度系数的地理分布，图 4c 和 4d 给出 1976~2000 年第二时段相应量的地理分布。由图 4a 和 4c 可见，不服从正态分布范围明显增大，第一至第二时段，中国中东部都变为不服从正态分布区域；新疆南部不服从正态分布区域范围也有所增大，表现为负偏；内蒙古中部变为不服从正态分布区域，表现为正偏，东北地区由原来的负值区变为正值区。由图 4b 和 4d

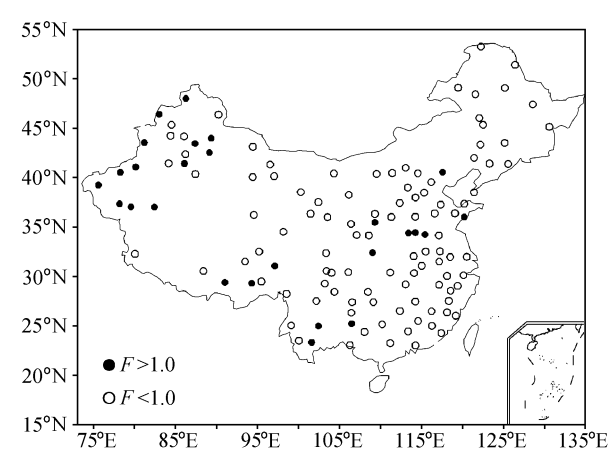


图 3 1961~1975 年与 1976~2000 年 7 月日平均气温方差差异的显著性检验 ($\alpha=0.05$)
Fig. 3 Significance test of variation of daily mean temperature of Jul for period of time from 1961—1975 and period of time 1976—2000 ($\alpha=0.05$)

可见，正值区明显减小，第一至第二时段新疆南部、福建北部和广东北部变为不服从正态分布区域，表现为坡度偏陡；华南南部也变为不服从正态分布区域，表现为坡度偏缓；而内蒙古中部和东北北端不服从正态分布区域消失。同时可见，正态分布适合度最差区域都为江淮流域，但是在第二时段最差中心略有东移。

4.1.3 日平均气温均值和方差变化对概率分布影响的差异

Meehl 等^[15]指出日平均气温的变化一般存在 3 种情况，一是均值的变化，二是方差的变化，三是均值和方差同时变化。此 3 种变化可以使气温的概率分布发生变化，但大部分情况下是在第 3 种情况下的变化，然而在第 3 种情况下，均值和方差变化也有主次之分。

图 5 给出 1961~1975 年和 1976~2000 年两时段夏季日平均气温的均值和方差绝对偏差百分率差异的地理分布。由图可见，129 站中仅有 8 站均值绝对偏差百分率大于方差绝对偏差百分率，即这些站均值变化对日平均气温概率分布影响是主要的，方差变化影响次之，而绝大部分站夏季日平均气温均值绝对偏差百分率小于方差绝对距平百分率。可见就全国而言，方差变化对夏季日平均气温概率分布的影响是主要的，均值变化影响次之。

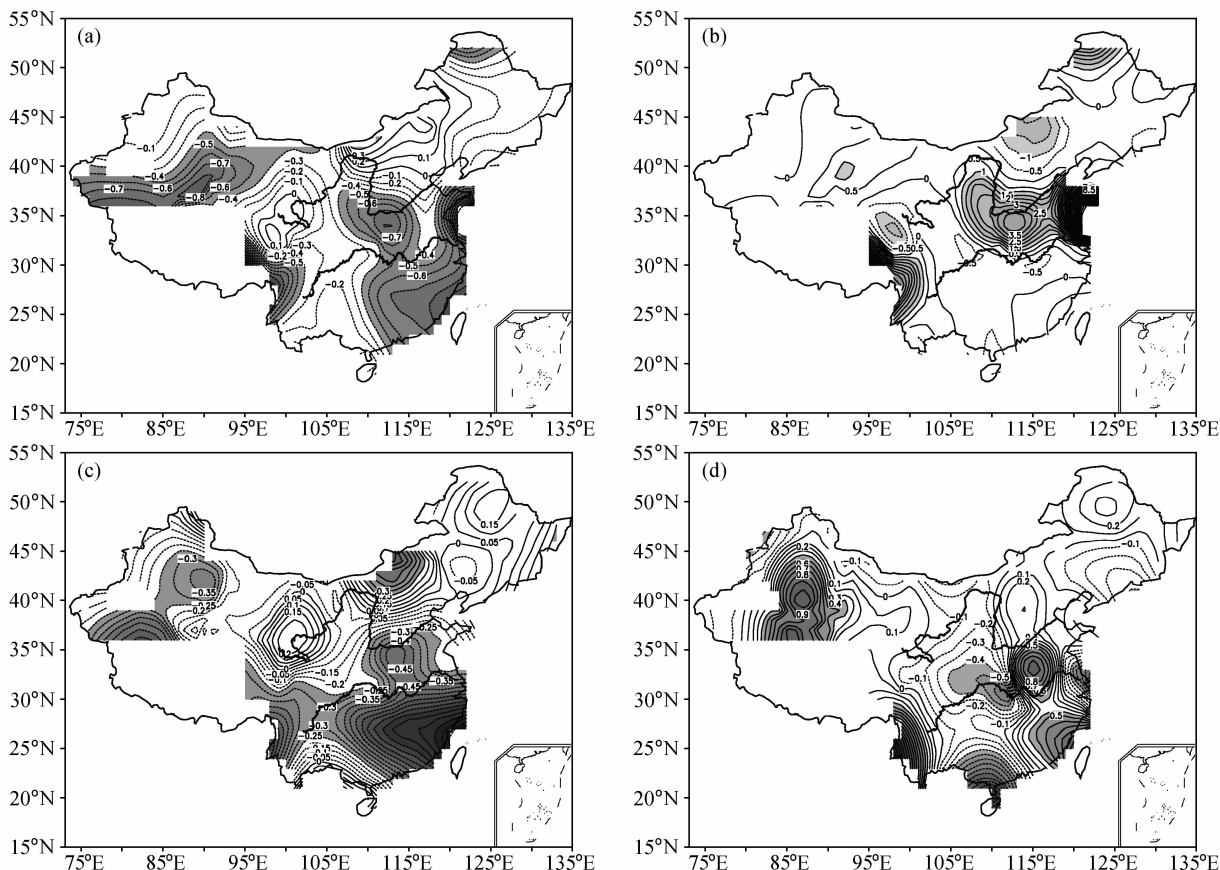


图4 1961~1975 年与 1976~2000 年 7 月日平均气温偏态系数分别为 (a)、(c) 及峰度系数分别为 (b)、(d) 地理分布

Fig. 4 Geography distribution of deflection coefficient and kurtosis coefficient of daily mean temperature of Jul for period of time from 1961–1975 and period of time 1976–2000, (a, c) deflection coefficient, (b, d) kurtosis coefficient

4.2 冬季

4.2.1 日平均气温均值和方差差异的显著性检验

同样，我们也做了 1961~1975 年和 1976~2000 年两时段冬季日平均气温方差差异的显著性检验，见图 6。方差差异在新疆西部和东南沿海地区通过显著性检验，中国中部和东北地区差异不显著（空心圆站点），再由两时段的方差地理分布（图略）可见，新疆西部和东南沿海方差减小，其他地区变化不显著，说明新疆西部和东南沿海地区日平均气温日际变化变小。

4.2.2 偏态系数和峰度系数的地理差异

图 7 a 和 7b 给出 1961~1975 年时段 1 月日平均气温的偏态系数及峰度系数的地理分布，图 7c 和 7d 给出 1976~2000 年时段相应量的地理分布。由图 7a 和 7c 可见，第一至第二时段新疆南部至黄河中上游地区不服从正态分布范围增大，表现为负偏；东北东部不服从正态分布范围增大，表现

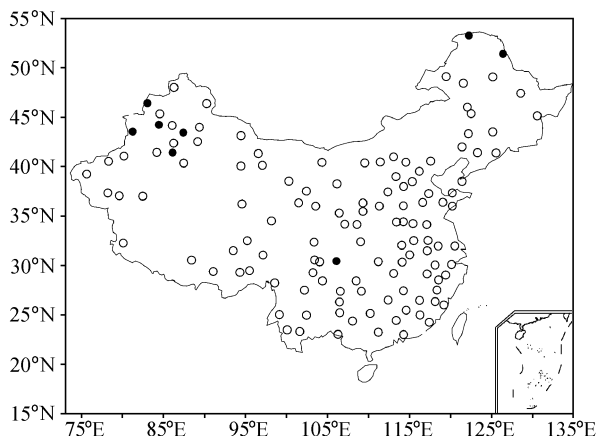


图5 1961~1975 年和 1976~2000 年 7 月日平均气温均值和方差绝对偏差百分率差异地理分布 (○和●分别代表均值绝对偏差百分率小于和大于方差绝对偏差百分率站)

Fig. 5 Geography distribution of difference of absolute error percent between mean and variation of daily mean temperature of Jul (○display absolute error percent of mean less than that of variation, and ●reverse)

为正偏；而华南不服从正态分布区域范围缩小。由图 7b 和 7d 可见，新疆北部和东南沿海地区变为不服从正态分布区域，表现为坡度偏缓；青藏高原东部变为不服从正态分布区域，表现为坡度偏

陡；而中国中部不服从正态分布区域北抬至长江中游北部，且范围减小。同时可见，新疆南部在两时段都为正态分布适合度最差区域，黄河上游在第二时段正态分布达最差，而湖南正态分布适合度最差区域消失。

4. 2. 3 日平均气温均值和方差变化的年代际差异

图 8 给出 1961~1976 年和 1976~2000 年冬季日平均气温均值和绝对方差偏差百分率差异的地理分布。由图可见，在黄河中下游和长江下游流域第一至第二时段冬季日平均气温的均值变化幅度大于方差变化幅度，说明均值变化对冬季日平均气温的概率分布影响是主要的，方差的变化影响次之，其他地区主要表现为均值变化幅度小于方差变化幅度，说明方差变化对冬季日平均气温概率分布影响是主要的，均值变化影响次之。

类似地，我们也研究了春季和秋季 1961~1975 年与 1976~2000 年时段日平均气温概率分布的年代际差异（图略）。春季全国日平均气温的日

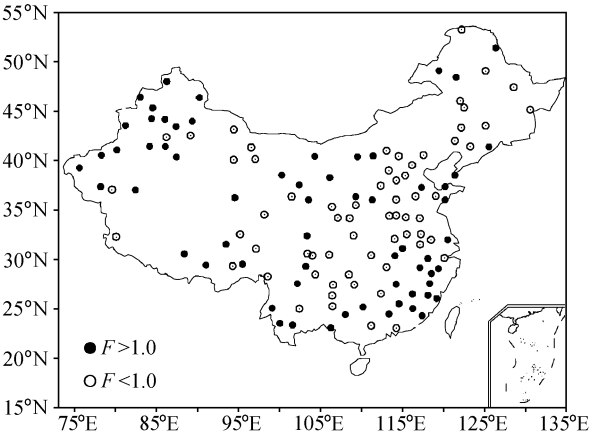


图 6 同图 3，但为 1 月
Fig. 6 The same as Fig. 3 but for Jan

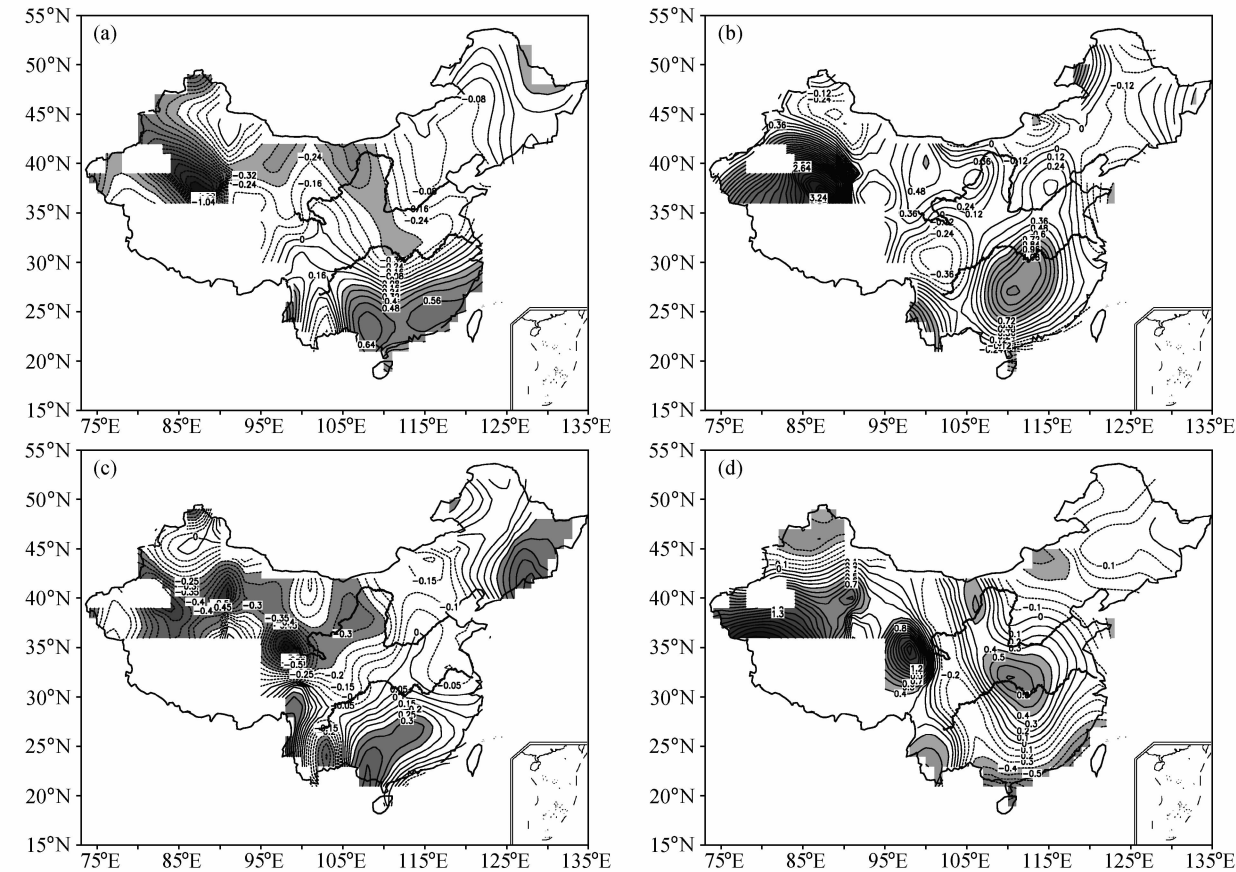


图 7 同图 4，但为 1 月
Fig. 7 The same as Fig. 4 but for Jan

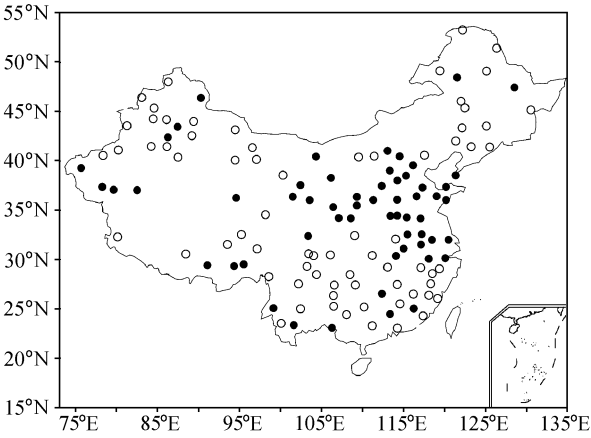


图8 同图5, 但为1月

Fig. 8 The same as Fig. 5 but for Jan

际变化变小显著。由偏态系数分布图看, 新疆东部不服从正态分布区域转移至新疆北部, 表现为负偏, 东北东部和新疆南部变为不服从正态分布区域, 表现为正偏; 由峰度系数图看, 新疆南部不服从正态分布区域消失, 东北南部和华南北部变为不服从正态分布区域, 表现为坡度偏缓。春季日平均气温概率分布的变化主要是由方差变化引起的, 均值变化作用次之。秋季在东南沿海和西藏南部日平均气温日际变化增大显著。由偏度系数图看, 新疆南部、东部以及黄河中下游等不服从正态分布范围收缩于黄土高原, 东北北部、华南南部和云南南部不服从正态分布范围增大, 表现为负偏; 由峰度系数图看, 长江中游不服从正态分布区域消失, 华南东南部变为不服从正态分布区域, 表现为坡度偏陡, 新疆南部和东北南部变为不服从正态分布区域, 表现为坡度偏缓。秋季日平均气温概率分布的变化主要是由方差变化引起的, 均值变化作用次之。

5 结论

(1) 近 40 年中国各季日平均气温均值分布大致都呈南高北低, 方差夏季最小, 其他季节方差都较大, 且相差不大, 说明夏季日平均气温的日际变化最小。四季偏态系数中大部分地区都为负值, 但是显著性区域四季地理差异较大; 峰度系数夏、秋、冬季正值占主导地位, 春季负值占主导地位, 四季显著性区域差异也较大。夏季江淮

流域、长江上游、新疆南部, 冬季新疆中南部, 春季云南东部, 秋季甘肃等上述区域正态分布适合度最差, 偏度系数和峰度系数都通过显著性检验。

(2) 1961~1975 年时段至 1976~2000 年时段, 夏季新疆西部日平均气温的日际变化变小; 冬季新疆西部和东南沿海地区日平均气温日际变化变小; 春季全国大部分地区日平均气温的日际变化变小; 秋季东南沿海、西藏南部日平均气温日际变化增大。

(3) 1961~1975 年时段至 1976~2000 年时段, 各季日平均气温概率分布的年代际差异明显, 夏季日平均气温不服从正态分布范围明显增大, 在第二时段中国东南部都不服从正态分布, 江淮流域在两时段都表现为正态分布适合度最差, 但最差中心随时间略有东移; 冬季不服从正态分布范围北部增大, 南部减小, 新疆南部在两时段都为正态分布适合度最差, 黄河上游在第二时段正态分布适合度达最差, 而湖南正态分布适合度最差区域则在第二时段消失; 春季不服从正态分布范围加大, 华南北部不服从正态分布; 秋季概率分布的年代际差异与冬季大致相反。

(4) 在夏、春、秋季日平均气温方差变化对概率分布影响是主要的, 均值变化的影响次之, 冬季在黄河中下游和长江下游日平均气温均值变化对概率分布影响是主要的, 方差变化的影响次之, 其他地区则相反。

参考文献 (References)

- [1] 刘黎明, 陈创买. 中国南部异常降水型特征及其与赤道太平洋海面温度关系. 热带海洋, 1997, 16 (4): 34~40
Liu Liming, Chen Chuangmai. Character of abnormity precipitation and connection with temperature of equator pacific offing on south of China. *Journal of Tropic Oceanography* (in Chinese), 1997, 16 (4): 34~40
- [2] 孙家民, 黄朝迎. 中国农业气候年景的评估及预测. 应用气象学报, 2005, 16: 111~115
Sun Jiamin, Huang Chaoying. Evaluation and evaluation of agriculture climate of China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2005, 16: 111~115
- [3] 丁裕国, 梁建茵, 刘吉峰. EOF/PCA 诊断气象变量场问题的新探讨. 大气科学, 2005, 29: 307~313
Ding Yuguo, Liang Jianyin, Liu Jifeng. New research on

- diagnoses of meteorological variable fields using EOF/PCA. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29**: 307~313
- [4] 江志红, 丁裕国, 金莲姬. 中国近百年气温场变化成因的统计诊断分析. 应用气象学报, 1997, **8**: 175~185
Jiang Zhihong, Ding Yuguo, Jin Lianji. Statistical-diagnostic analysis of cause for the change of China's temperature field during the last 100 years. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1997, **8**: 175~185
- [5] Mearns L O, Katz R W, Schneider S H. Extreme high temperature events; Changes in their probabilities with changes in mean temperature. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1984, **23**: 1601~1612
- [6] Katz R W, Browns B G. Extreme events in a changing climate; Variability is more impotant than averages. *Climatic Change*, 1992, **21**: 289~302
- [7] 吴息, 丁裕国, 周会平. 极端气温频率与强度的统计模拟检验. 气象科学, 1995, **15**: 281~286
Wu Xi, Ding Yuguo, Zhou Huiping. The statistical model experiment of frequency. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1995, **15**: 281~286
- [8] 刘军臣, 千怀遂. 黄淮地区月极端气温概率模型. 河南大学学报 (自然科学版), 2000, **30**: 84~87
Liu Junchen, Qian Huaisui. Probability model of monthly extreme air temperature in drainage basin of Huanghe and Huaihe River. *Journal of Henan University* (Natural Science) (in Chinese), 2000, **30**: 84~87
- [9] 丁裕国, 刘吉峰, 张耀存. 基于概率加权估计的中国极端气温时空分布模拟试验. 大学科学, 2004, **20**: 771~782
Ding Yuguo, Liu Jifeng, Zhang Yuecun. Simulation tests of temporal-spatial distributions of extreme, temperatures over China based on probability weighted moments estimation. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **20**: 771~782
- [10] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 2000. 18~19
Huang Jiayou. *Weather Statistical Analysis and Forecast Method* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 18~19
- [11] Klein A M G, Konnen G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe. *J. Climate*, 2003, **16**: 3665~3680
- [12] Trenberth E. Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1990, **71**: 988~993
- [13] 吕俊梅, 任菊章, 尉建华. 东亚夏季风的年代际变化对中国降水的影响. 热带气象学报, 2004, **20**: 73~79
Lü Junmei, Ren Juzhang, Ju Jianghua. The interdecadal variability of east Asia, monsoon and its effect on the rainfall over China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, **20**: 73~79
- [14] 穆德, 格雷比尔. 统计学导论. 央定华译. 北京: 科学出版社, 1978. 344~350
Mood A M, Graybill F A. *Statistics Theory* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1978. 344~350
- [15] Meehl G A, Karl T R, Easterlling D R, et al. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, **81**: 413~416