

近 40 年南方高温变化特征 与 2003 年的高温事件

王亚伟^{1,2} 翟盘茂² 田 华³

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 中国气象局预测减灾司;
3. 国家气象中心)

提 要: 利用从全国 743 个站点数据集中挑选出的江南、华南地区的 121 个站点 1961—2004 年逐日日最高气温和日平均气温资料, 分析了近 40 多年来我国南方地区最高气温的变化特征。结果表明: 2003 年夏季江南、华南地区出现大范围异常高温天气。虽然在 1961—2004 年间, 江南、华南地区年平均最高气温和年平均气温均有增加趋势, 但夏季极端高温事件 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数) 并没有显著增加的趋势。分析最高气温的概率分布特征, 得出 2003 年夏季江南、华南地区出现的极端酷热天气, 只是年际变化的表现, 而不是长期变化趋势的反映。

关键词: 南方 极端高温 变化趋势

Extreme High Temperatures in Southern China in 2003 under the Background of Climate Change

Wang Yawei^{1,2} Zhai Panmao² Tian Hua³

(1. Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871;
2. Department of Forecasting and Disaster Mitigation, CMA; 3. National Meteorological Center, CMA)

Abstract: Using the daily maximum and mean air surface temperature data of 121 stations in the area of southern China for the period 1961—2004, the change characteristics of the maximum temperature in the area was analyzed. The result is that severe heatwave with most frequent hot days occurred over southern China during summer 2003. Although there were increase trends for both the mean maximum temperature and mean temperature, it is not quite

ture in the numbers of extreme hot days with daily maximum temperature above 35°C in southern China during 1961—2004. The analysis of the probability of maximum temperature in South China during the summer of 2003 revealed that this event can't be considered as a reflection of long time trends, but rather than an episode under interannual variability.

Key Words: southern China extreme temperature trend variability

引 言

近几十年来,由于人类活动及自然因素等综合影响,大范围气候异常现象不断出现,尤其是极端高温事件频繁发生,给社会、经济和人民生活造成了严重的影响和损失^[1]。为此,近年来许多国内外学者对极端高温事件越来越重视,并取得了许多研究成果。Gruza^[2]发现俄罗斯的极端高温日数在过去几十年里显著增加。Alexander 等^[3]研究各类极端温度指数后得出,近 50 年来全球温度极端事件变化主要表现为增暖,尤其是日最低气温有关的极端温度指数增加得非常显著。丁一汇等^[4]研究指出,中国近 100 年平均地表气温明显增加,近 50 年来极端天气气候事件频率和强度也出现了明显的变化。另外,其他一些研究也都进一步证实了在全球范围内暖夜日数显著增加,霜冻日数显著减少,年内温度极差显著减少等^[5]。

2003 年夏季高温热浪影响着欧洲许多国家,尤其是在 7—8 月间打破了高温的纪录^[6]。世界气象组织(WMO)根据各国提供的观测数据得出,2003 年出现在法国、德国、瑞典、西班牙、意大利北部以及英国的最高气温绝对值超过了 20 世纪 40 年代以来的纪录^[7]。据世界卫生组织(WHO)估计此次高温热浪事件在欧洲至少造成了 1500 人的死亡^[8]。为此,国外许多学者对此次高温热浪展开了大量研究。如 Black 等^[9]从辐射强迫角度解释了欧洲 2003 年夏季高温事件的原因。Fink 等^[10]从天气学角

度指出,反气旋天气形势控制欧洲中部,尤其是在 2003 年春季和夏季,是 2003 年夏季高温干旱的主要原因。Beniston 等^[11]通过对欧洲区域气候模拟指出,在 21 世纪后半叶将会出现越来越多的类似 2003 年夏季这样的高温天气。

2003 年夏季,我国南方地区也遭受大范围热浪袭击,特别是江南、华南出现持续高温天气,历时 1 个多月,局地近 2 个月,其高温范围之广、持续时间之长、温度之高为历史同期罕见。长江中下游至华南北部地区夏季极端最高气温达到 38~40°C,浙江中南部、福建北部、江西中部等地达 40~43°C,浙江、福建、江西大部以及江苏、安徽、广东、广西等地的局部地区极端最高气温超过了历史同期最高纪录^[12]。杨辉等^[13]发现西太平洋副高的极度偏强和西伸是造成此次高温热浪的直接原因,而副高的持续异常又是多系统综合作用的结果。初步分析表明,热带太平洋—印度洋海温、中西太平洋跨赤道气流异常、平流层过程以及全球增暖的背景条件是其重要机制。杨义文等^[14]也得出了类似的结论。但 2003 年夏季我国南方的高温热浪是在什么气候背景条件下产生的?是否与全球变暖有关?是长期变化趋势的结果,还是一个偶然的极端气候事件?这是非常值得研究的问题。针对上述问题,本文分析了我国南方地区高温热浪的长期变化,并深入讨论了 2003 年的高温事件是否与长期趋势有关的问题,还研究了 2003 年高温热浪发生时北半球大气环流的异常特征。

1 资料与方法

1.1 资料

本文使用的日最高、日平均气温资料取自国家气象信息中心的全国 743 站自建站以来的逐日资料数据集, 为了保证有足够长的序列用于研究, 本文筛选出时间长度超过 40 年的 630 个站点, 资料时间跨度为 1961—2004 年。

20 世纪 80 年代后城市热岛效应的影响越来越引起专家的重视 (赵宗慈, 1991)^[15]。为了减少大城市的影响, 尽可能反映气候的自然变化, 本文参考了文献 [16] 的方法, 剔除了 50 万人口以上大城市的观测资料, 最后选出江南、华南地区 121 个站点。

大气环流资料来源于国家气候中心诊断预测室提供的 NCEP 逐日再分析资料。

1.2 分析方法

江南、华南地区平均最高气温、平均气温时间序列的计算是先将站点资料格点化, 然后按面积加权平均的方法计算出每年的江南、华南地区平均最高、平均气温值, 具体算法参考文献 [16]。

另外, 为了反映极端事件的长期变化趋势, 本文还分析了近 40 年来最高气温的概率分布。在总共 m 个站点中, 一定时间范围 (x 天) 内出现某一温度区间 ($T^{\circ}\text{C}$) 的站点共有 n 个。则该时间和空间范围内 $T^{\circ}\text{C}$ 出现的概率 $P = n/(mx)$ 。

趋势计算方法: 用 x_i 表示样本量为 n 的某一个气候变量, 用 t_i 表示 x_i 所对应的时间, 建立 x_i 和 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中 a 为回归常数, b 为回归系数, 即趋势。 a 和 b 可以用最小二乘法进行估计。

2 结果分析

2.1 2003 年夏季高温状况

常年夏季, 南方地区 35°C 以上高温日数一般为 10~20 天, 仅江南中部和南部地区达到 20~30 天。图 1 给出了 2003 年夏季 (6—8 月) 全国高温日数及其距平分布。由图 1 可以看出, 2003 年夏季江南南部到华南中部的广大地区出现了 20~40 天的高温日数, 普遍比常年同期多 5~20 天, 浙江、江西、福建部分地区较常年偏多 20~30 天。就极端最高温度来讲, 不少地方都出现了超过历史最高纪录的温度值, 如浙江丽水达到 43.2°C (历史纪录为 41.0°C), 浙江龙泉达到 41.5°C (历史纪录为 39.9°C), 福建浦城达到 41.7°C (历史纪录为 39.3°C), 江西修

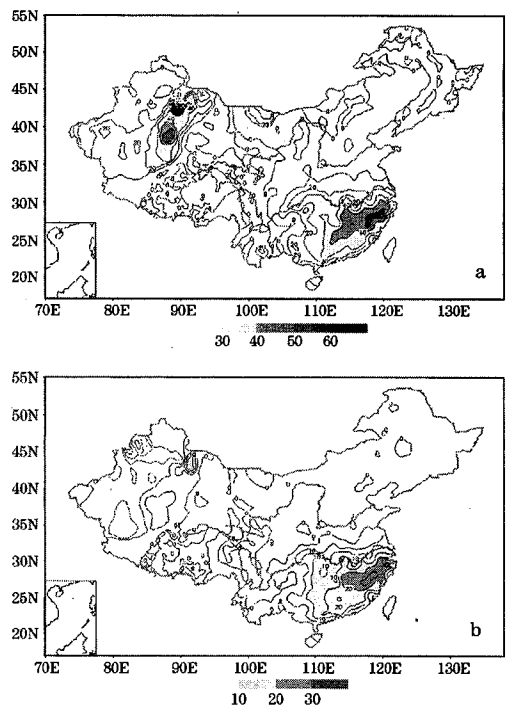


图 1 2003 年夏季 (6—8 月) 全国高温日数 (a) 及其距平 (b) 分布 (单位: 天)

水达到 42.1°C (历史纪录为 40.7°C)，广东连县达到 41.6°C (历史纪录为 39.1°C)。

2.2 江南、华南最高、平均气温的变化

唐红玉等^[17]研究指出，1951—2002 年期间年平均最高气温北方增暖明显，南方变化不明显或呈弱降温趋势，江南地区为主要降温区，年平均最高气温呈现下降趋势。为了深入研究我国江南、华南的平均最高温度变化情况，图 2a 给出了 1961—2004 年我国江南、华南地区年平均最高温度距平的变化曲线。可以看出，在 20 世纪 80 年代中期以前，江南、华南地区年平均最高温度呈现下降趋势，80 年代中期以后年平均最高温度也明显趋于增高，尤其是 1997 年以后持续出现正距平且在 2003 年达到最高值。这与全国的变化趋势是一致的，但南方地区增暖幅度明显低于我国北方地区^[18,19]。

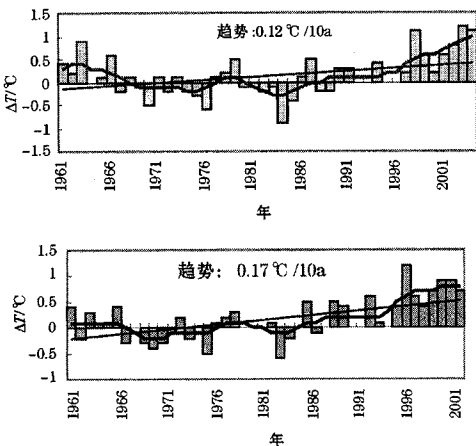


图 2 江南、华南 1961—2004 年年平均最高温度 (a)、年平均温度 (b) 距平图

图 2b 为 1961—2004 年我国江南、华南地区年平均温度变化曲线。从图上可以看出，年平均温度变化同年平均最高气温变化规律基本一致，即在 20 世纪 80 年代中期以前，江南、华南地区年平均温度的变化趋势并不明显，80 年代中期以后才明显趋于增

高，而且 1998 年是年平均气温距平最高的一年。

魏凤英等^[20]研究指出，我国气候增暖始于 20 世纪 80 年代后期，90 年代增暖加速，主要原因是长江流域以南经历了由冷向暖的趋势转变。通过对比分析 1961—2004 年我国江南、华南地区年平均最高温度和年平均温度的变化趋势，我们得出两者都呈逐渐增高趋势，尤其是在 20 世纪 80 年代中后期趋势更加明显。但年平均最高温度的增高趋势明显低于年平均温度的增高趋势。这说明江南、华南地区虽然正经历着气候变暖的影响，但主要原因并不是由于平均最高温度的增高引起的，由此我们可以看出，平均最低温度增高在气候变暖中起到很重要的作用。

2.3 江南、华南极端高温日数

极端高温事件的定义可以采用相对和绝对阈值的方法进行。在我国气象业务应用与服务中，通常把日最高温度在 35°C 以上的日数称为极端高温日数，超过这个温度人类的生产、生活和生态系统会产生不良影响。

图 3 为 1961—2004 年江南、华南地区 6—8 月极端高温日数变化图。从年代际变化来看，江南、华南地区高温日数变化呈波浪式变化，20 世纪 60 年代高温日数偏多，70 年代中期偏少，自 1980 年后，高温日数明显增加，特别是在 1998 年出现平均接近 25 天极端高温日数之后，2003 年高温日数平均高达 27.5 天，比正常情况下的 15 天异常偏多，呈现出明显的“一浪高于一浪”的势态。从 1961—2004 年长期气候变化趋势来看，江南、华南地区极端高温日数近 50 年趋势变化为 0.17 天/10 年，表现出了微弱的增多趋势。

然而，进一步的研究表明，这种微弱的增多趋势很大程度受到了 2003 年出现的极端高值的影响。如果剔除 2003 年极端高温日数的资料，则整个序列反映出在近 50 年

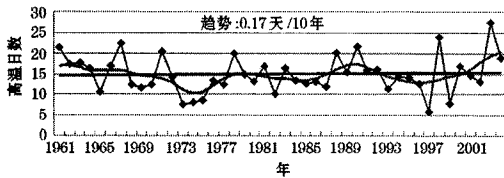


图 3 1961—2004 年夏季江南、华南地区高温日数历年变化图

折线: 高温日数, 直线: 趋势; 粗实线: 11 点平滑曲线

为弱的减少趋势, 变化趋势为 -0.23 天/10 年。通过对 1961—2004 年段和 1961—2002 年段高温日数线性倾向进行显著性检验, 都没有通过 95% 的显著性检验。这也说明了在近 50 年中极端高温日数的变化并没有显著增多或减少趋势。因此, 可以认为, 2003 年高温日数极端增多很可能只是年际变率的表现, 不是长期趋势的必然反映。

2.4 最高温度概率分布变化

为了进一步研究在最近几十年江南、华南地区最高气温的概率有没有发生变化, 2003 年的分布情况又是如何? 本文对 6—8 月期间日最高温度的概率分布进行了分析 (如图 4)。由图可以看出, 前 20 年 (1961—1980 年) 和后 20 年 (1981—2000 年) 的夏季最高气温概率分布变化有显著差异, 后 20 年最高气温概率分布的峰值 (在正态分布下相当于平均最高温度) 较前 20 年升高 1°C , 同时在位置上也有正的平移, 但表现得并不明显, 尤其是在小于 30°C 和大于 35°C 的最高气温日数出现的概率分布上两者几乎完全吻合。也就是说最近 20 年江南和华南地区夏季平均最高温度变化明显增大, 但极端最高温度出现的概率没有显著变化。

2003 年, 江南、华南地区夏季最高温度概率分布的峰值也在 33°C 附近, 但位置上却较前 20 年和后 20 年有明显的右移, 尤其是在 35°C 以上的最高气温的概率显著增加。比较分析各条曲线, 我们可以得出

1961 年以来江南、华南夏季极端最高气温事件并没有显著的变化趋势, 只是在 2003 年出现了极端高温事件明显增加的一个年际变化的异常个例。由此我们可以得出 2003 年夏季江南、华南出现的极端高温事件并不是一个在气候变暖背景下的一种缓慢增加趋势所致, 而是一个极端异常的一个个例事件。

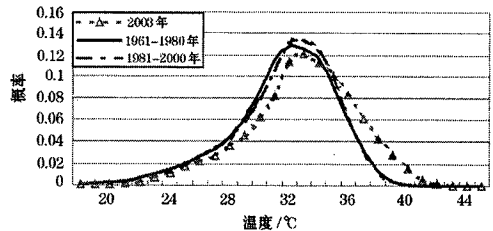


图 4 夏季江南、华南地区各时段最高温度概率分布

2.5 2003 年高温事件出现的可能原因分析

既然 2003 年江南、华南高温事件的突然增多不是长期变化趋势的反映, 那么其可能原因是什么呢?

大气环流是形成和制约区域或局地气候的重要因子。在全球变暖的气候背景下, 大气环流因响应而出现的变异与调整是导致区域气候变化的一个十分重要的原因。我国位于东亚地区, 西风带环流和副热带高压等环流系统与我国的气候变化有十分密切的关系。唐国利、丁一汇^[21]等利用近 40 年的气候观测资料, 分析了南京气温变化特征及其可能原因, 指出大气环流系统的变异和调整是温度显著升高的主要原因。图 5 给出了 2003 年夏季 (6—8 月) 北半球 500hPa 位势高度场和 1971—2000 年副热带高压 (5880gpm 线区域) 的平均场, 由图看出, 2003 年夏季西太平洋副热带高压比常年平均异常强大, 西伸也十分明显, 在 7 月、8 月北半球 500hPa 位势高度距平场 (图略)

还可以看出，在江南到台湾一带还有一个超过 20gpm 的正距平中心，副热带高压长期稳定控制是导致江南、华南 2003 年夏季出现极端高温天气的主要原因之一。我们对江南、华南地区 1961—2004 年夏季高温日数和历年夏季副高西伸点位置、副高强度（根据国家气候中心定义）求相关，得出相关系数分别是 -0.30 和 0.30，并均通过 95% 的显著性检验，由此我们可以看出，夏季江南、华南地区夏季高温日数与副高西伸脊点位置和强度的相关显著，副高位置偏西，强度偏强，该地区就极易产生高温。由图 5 我们也可以看出，2003 年夏季强大副高同样稳定控制了欧洲大陆，该地区可能出现了自 1540 年以来最热的夏季^[22]。深入分析同期的降水变化（图 6），可以看出：1993—2002 年 10 年期间，江南、华南夏季降水量明显持续偏多，但在 2003 年夏季达到了历史最低值。为了进一步说明高温日数和降水的关系，我们对 1961—2004 年夏季江南、华南地区高温日数和降水量相关系数进行计算，相关系数为 -0.47，通过了 95% 的显著性检验。这也说明了江南、华南地区高温日数与降水之间有显著的负相关性，即夏季降水多，则高温日数少。事实上，2003 年浙江、福建、湖南、江西出现了 1971 年以

来最严重的伏旱，其中，浙江东部和南部的旱情已超过 1949 年以来干旱最严重的 1967 年。这说明 2003 年的持续极端高温事件很大程度上可能由于该地区同期的降水异常偏少、持续干旱的原因。最近国外的一些研究也指出，高温常常与干旱相伴随。

虽然在全球气候变暖的趋势下极端高温事件发生的频率会越来越多，但 2003 年我国江南、华南地区出现的持续高温事件不能简单地归结为全球气候变暖长期趋势的结果。

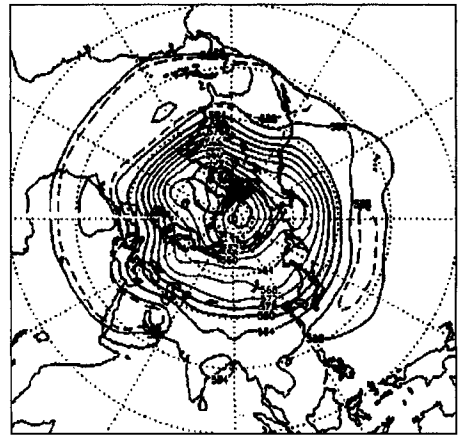


图 5 2003 年夏季（6—8 月）北半球 500hPa 位势高度场
虚线为 1971—2000 年的 500hPa 5880 线平均值

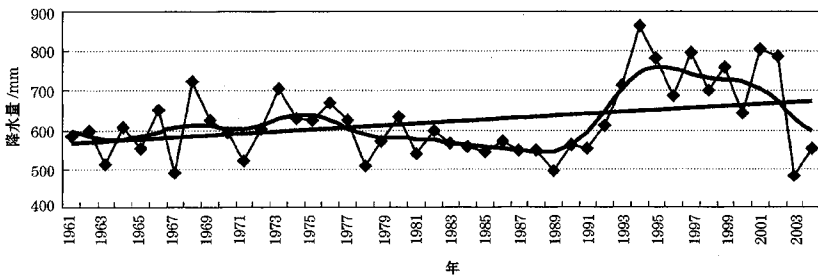


图 6 1961—2004 年夏季江南、华南地区降水量历年变化图
折线：降水量，直线：趋势；粗实线：11 点平滑曲线
趋势：2.56mm · a⁻¹

3 总 结

(1) 2003 年夏季, 我国江南至华南的广大地区出现了创纪录的持续极端高温天气。从气候变化背景上看, 江南、华南地区平均最高温度、平均温度自 20 世纪 80 年代后期以来明显趋于增暖, 2003 年是该地区自 1961 年以来平均最高气温最高的一年, 1998 年是平均气温最高的一年。

(2) 从江南、华南地区夏季高温日数序列和最高气温概率分布都可以看出, 近 40 年来夏季江南、华南地区极端高温日数并没有显著的变化趋势, 2003 年极端高温酷热事件很可能只是年际变化的一部分, 从气候变化角度来看我国南方最高温度变化并没有表现出显著的变化趋势。

(3) 2003 年夏季江南、华南地区极端高温酷热事件一方面是由于该地区长期被西太平洋副高稳定控制的结果; 另一方面也与该地区降水明显偏少, 持续干旱有关。

致谢: 感谢国家气候中心邹旭凯、龚振淞为本文撰写给予帮助和指导。

参考文献

- Karl T R, Easterling D R. Climate Extremes: Selected Review and Future Research Direction [J]. *Climate Change*, 1999, 42 (10): 309-325.
- Gruza G, Rankova, E., Razuvaev et al. Indications of climate change for Russian Federation. *Climate Change* [J]. 1999, 42: 219-242.
- Lisa, Alexander, X. Zhang, T. C. Peterson et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 111, D05109, 2006.
- 丁一汇, 任国玉, 石广玉等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2 (1): 3-8.
- Frich P, Alexander L V, Della-Marta P et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th Century [J]. *Clim. Res*, 2002, 19: 193-212.
- Beniston M. The 2003 heat wave in Europe: a shape of things to come? [J] *Geophys. Res. Lett.*, 2004, 31, L02202, doi: 10. 1029/2003GL018857.
- WMO, The Global Climate System Review 2003 [R], 2005, WMO-No. 984. Geneva, 41-43.
- WHO (2003) Health effects of extreme weather events: WHO's early findings to be presented at the world climate change conference [OL]. Available online from [Http://www.euro.who.int/mediacentre/PR/2003/20030929_1](http://www.euro.who.int/mediacentre/PR/2003/20030929_1).
- Black E., Blackburn M., Harrison G. & Methven J. Factors contributing to the summer 2003. *European heatwave* [J]. *Weather*, 2004, 59: 217-223.
- Andreas H F, Tim B, Andreas K et al. The 2003 European summer heat wave and drought-synoptic diagnosis and impacts [J]. *Weather*, 2004, 59 (8): 209-216.
- Martin Beniston, Diaz H F. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? observations and climate model simulations for Basel Switzerland [J]. *Global and Planetary Change*, 2004, 44: 73-81.
- 国家气候中心, 全国气候影响评价 [R]. 2003, 42-44.
- 杨辉, 李崇银. 2003 年夏季中国江南异常高温的分析研究 [J]. *气候与环境研究*, 2005, 10 (1): 80-85.
- 杨义文, 许力, 龚振淞等. 2003 年北半球大气环流及中国气候异常特征 [J]. *气象*, 2004, 30 (4): 20-25.
- 赵宗慈. 中国的气温变化与城市化影响 [J]. *气象*, 1991, 4: 14-17.
- Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951—1999 in China [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, 30 (17): 1913, doi: 10. 1029/2003GL018004.
- 唐红玉, 翟盘茂. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 2003, 10 (4): 731-735.
- 任福民, 翟盘茂. 1951—1990 年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学*. 1998, 22 (2): 217-227.
- 翟盘茂, 任福民. 中国近 40 年最高最低温度变化 [J]. *气象学报*. 1997, 55 (4): 418-429.
- 魏凤英, 曹鸿兴, 王丽萍. 20 世纪 80—90 年代我国气候增暖进程的统计事实 [J]. *应用气象学报*, 2003, 14 (1): 79-86.
- 唐国利, 丁一汇. 近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析 [J]. *大气科学*, 2006, 30 (1): 57-68.
- Pfister C., Brazdil, R., Glaser, R et al. Documentary evidence on climate in sixteenth-century Europe [J]. *Climate Change*. 1999, 43: 55-110.