

2003年夏季中国江南异常高温的分析研究

杨辉¹ 李崇银^{1,2}

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体动力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘要 2003年夏季在中国江南出现了大范围异常高温天气, 无论其绝对高温值、还是持续时间之长都创下了历史记录, 给工农业生产及人民生活造成巨大损失。作者对异常高温发生的直接原因及其可能机制进行了初步分析, 发现西太平洋副热带高压的极度持续偏强和西伸是直接原因, 而西太平洋副热带高压形势的持续异常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。

关键词 中国江南 异常高温 西太平洋副热带高压 异常机制

文章编号 1006-9585 (2005) 01-080-06 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Diagnostic Study of Serious High Temperature over South China in 2003 Summer

YANG Hui¹, and LI Chong-Yin^{1,2}

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029

2 Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

Abstract Serious high temperature, with the strongest magnitude and longest duration in the historical record, occurred over South China during the summer of 2003. This severe hot climate was directly affected by the extremely intensity and westward extension of subtropical high in the western Pacific, which was associated with the normal sea surface temperature in the Pacific-Indian Ocean, cross-equatorial anomalous northerly over the Pacific, effect of stratosphere, and the background state of global warming.

Key words South China, serious high temperature, subtropical high over the western Pacific, mechanism

1 引言

干旱和洪涝是中国夏季的主要自然灾害, 近些年来国内对它们已有不少研究, 得到不少有意义的结果, 而且发现近10多年来, 干旱主要出现在华北地区, 长江流域则相对偏涝^[1~3]。对于高温酷暑 (往往与干旱相伴发生), 人们对它尚

未给予足够重视, 尽管它同样会带来严重的影响。2003年夏季江南出现少有的持续异常高温 (降水自然也偏少) 实属少见, 给人民的生产和生活均造成严重影响, 乃至人、畜吃水都成问题。分析研究异常高温发生的原因, 进而对其提前做出适当的预测和预报, 无疑是国家建设的需要。

大范围的持续气候异常普遍都同大气环流的

收稿日期 2003-10-29 收到, 2005-01-25 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40233033、40325015 及中国科学院知识创新工程项目 KZCX3-SW-226

作者简介 杨辉, 女, 1962年出生, 副研究员, 主要从事气候变化的研究。E-mail: yanghui@mail.iap.ac.cn

长时间异常有密切关系。已有的研究表明，中国夏季长江流域的旱、涝同西太平洋副热带高压的异常有一定的关系^[4~6]；同时，ENSO 也被视为对我国夏季气候有重要的影响^[7,8]。2003 年夏季，西太平洋副热带高压的确有明显异常，但赤道东太平洋的海温却基本趋于正常，中国江南为什么会持续长时间的异常高温？我们将从大气环流异常等因素的分析，揭示其机理，为这种异常气候的预测提供科学依据。

本文所用的资料主要为美国 NCEP/NCAR 再分析大气环流资料，以及中国气象局 160 个地面站降水月总量和温度月平均资料。

2 2003 年中国江南异常高温概况

一般，中国江南在梅雨期之后会出现一定时间（平均约 7~10 天）的高温晴热天气，气温可高达 35~40℃。但 2003 年夏季中国江南出现了十分异常的高温，不仅极端温度很高，而且高温持续的时间很长，高温的地域非常之广。就极端最高温度来讲，2003 年夏季（6~8 月）中国江南不少地方都出现了超过历史最高记录的温度值，例如浙江丽水达到 43.2℃（历史记录为 41.0℃），浙江龙泉达到 41.5℃（历史记录为 39.9℃），福建浦城达到 42.0℃（历史记录为 39.3℃），福建福州达到 41.7℃（历史记录为 39.9℃），江西修水达到 42.1℃（历史记录为 40.7℃），广东连县达到 41.6℃（历史记录为 39.1℃）。就高温天气持续时间来讲，2003 年夏季也是十分异常的，江南及华南北部气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的日数普遍比常年偏多 10~20 天，浙江、江西和福建的一些地区偏多 20 天左右；不少地方还出现了 10~20 天日最高气温 $\geq 38^\circ\text{C}$ 的酷热天气，浙江丽水仅在 7 月份就出现了 12 天气温高达 40℃ 以上的高温天气。

2003 年夏季江南异常高温天气出现的地域之广也是历史上罕见的，其异常高温遍及浙江、福建、江西、安徽、湖南、江苏、湖北、广东等省，以及上海、重庆两市。从各月平均温度距平（图略）来看，6 月在长江和长江以南以及华南沿海已出现温度正距平，7、8 月整个江南为温度正距平。图 1 是根据中国气象局 160 个测站资料给出的 2003 年 6~8 月平均温度距平分布，其中深阴

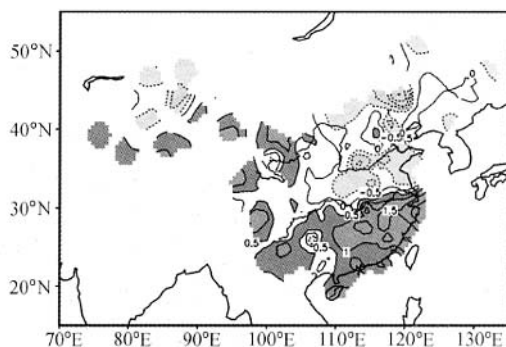


图 1 2003 年夏季（6~8 月）中国月平均温度距平分布。（单位：℃，深阴影区 ≥ 0.5 ，浅阴影区 ≤ -0.5 ）

Fig. 1 Surface air temperature anomaly at 160 stations of China in the summer (JJA) of 2003. Unit: $^\circ\text{C}$. The anomalies greater than -0.5 are in dark shading and those less than -0.5 are in light shading

影区是平均距平超过 0.5℃ 的范围。可见 2003 年夏季中国江南的异常高温不仅数值大而且范围广。

3 异常高温发生的直接原因

已有研究和预报业务实践表明，一般常见的江南夏季高温都是在西太平洋副热带高压控制下的一种天气特征。当西太平洋副热带高压东退到大洋上时，江南地区往往会出现降水过程，高温天气也随之结束；而当西太平洋副热带高压再次加强西伸，副热带高压脊再次控制江南地区时，又会出现另一次高温天气过程。2003 年夏季，西太平洋副热带高压不仅很强，而且西伸十分明显，以至副热带高压长期稳定地控制江南地区，导致了江南大范围的异常高温天气。

从 2003 年 6~8 月平均 500 hPa 高度及其距平的分布可以清楚地看到，西太平洋副热带高压在 2003 年夏季较多年平均强，而且副热带高压脊十分明显地西伸到中国大陆（图略）；而在 7 月和 8 月的高度距平图上，还可以清楚看到在江南到台湾一带有一个强度超过 20 gpm 的正距平中心存在。这样的大气环流特征十分有利于中国江南出现高温天气。图 2 分别给出的是 2003 年 6~8 月 20~35°N 纬度带平均 500 hPa 高度距平的时间-经度剖面，以及 120~150°E 经度带平均 500 hPa 高度距平的时间-纬度剖面，它们十分清楚地表明，

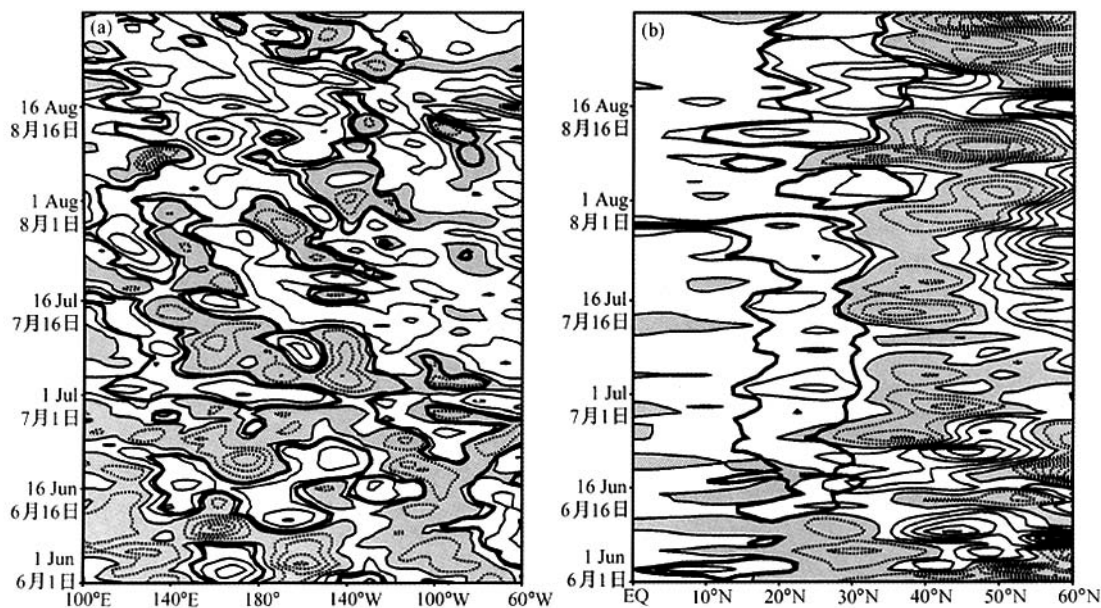


图2 2003年6~8月500 hPa高度距平。(a) 20~35°N纬度带平均的时间-经度剖面；(b) 120~150°E经度带平均的时间-纬度剖面。等值线间隔为20 gpm，阴影区为负距平，粗实线为5880 gpm线。

Fig. 2 Anomalous geopotential height at 500 hPa in the summer of 2003. (a) Time-longitude section averaged from 20°N to 35°N; (b) Time-latitude section averaged from 120°E to 150°E. Contour interval is 20 gpm. Heavy solid lines: 5880 gpm. Shaded areas; negative anomaly values

在6月中旬之后，30°N以南的100~140°E区域，也就是30°N以南的东亚及西北太平洋区域，一直为强的高度正距平所控制。充分表明2003年夏季西太平洋副热带高压异常偏强且西伸明显，这种异常形势的持续时间很长。

西太平洋副热带高压持续偏强和偏西的大气环流异常形势，使中国江南长时间处于副热带高压控制之下。副热带高压控制下的空气下沉增温和晴空条件下的辐射加热，使得气温持续异常偏高，这是2003年夏季中国江南持续高温的直接原因。

4 西太平洋副热带高压持续偏强、偏西的原因

4.1 全球增暖的影响

尽管导致全球温度升高的原因还未完全搞清楚，但近百年来全球持续增暖是无争的事实。而已有研究表明，全球增暖将使得气候灾害的频数增加^[9]。那么，一个十分自然的问题就是2003年夏季中国江南的异常高温是否与全球增暖有关呢？

本文虽然还难于完全回答这个问题，但有两点事实有利于对上面问题的肯定回答。其一是2003年夏季全球大部分地区500 hPa高度距平均为正值，异常具有全球性特征。全球增暖对大气环流的强迫虽然也与一定的环流形势有关，但全球增温总是有利于全球尺度位势高度的异常偏高。而且在西欧地区500 hPa高度正异常更为厉害，这可能正是2003年夏季造成法国和意大利等地异常高温和上万人死亡的原因之一。其二是分析表明2003年夏季在对流层有极为明显的增温（位势高度增加），而在平流层却出现了大范围的降温（位势高度负距平，30 hPa高度负距平中心在亚洲上空）。图3是2003年6~8月在20~30°N纬度带平均温度距平的经度-高度剖面。十分清楚，在几乎整个副热带的对流层都为温度正距平，而在平流层低层（70 hPa）的东亚上空有强负距平中心。有关研究已经指出，全球增暖的重要特征就是对流层增温而平流层降温^[10,11]，2003年的特征与其相一致。这在一定意义上表明，2003年中国江南的异常高温与全球增暖有一定的关系。当然，

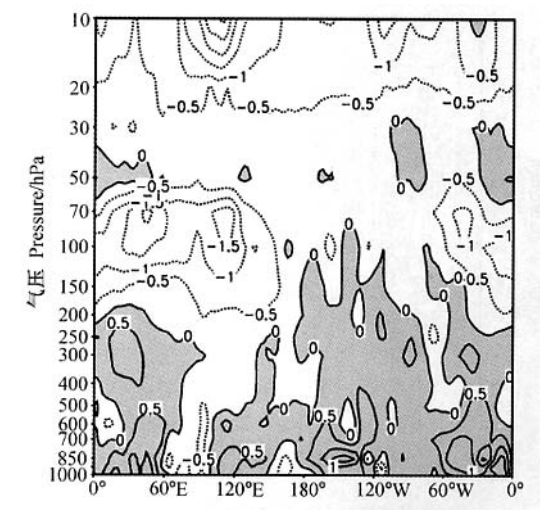


图 3 2003 年 6~8 月 20°N~30°N 纬度带平均温度距平的经度-高度剖面 (单位为 °C, 阴影区为正距平)
Fig. 3 Height-longitude section of anomalous temperature averaged from 20°N to 30°N in the summer of 2003. Unit: °C. Shaded areas are positive anomalous values

全球增暖的具体影响还与大气环流形势有一定关系,并非在全球增暖情况下江南年年都会出现异常高温。

4.2 太平洋跨赤道气流异常的影响

夏季西太平洋副热带高压往往会因为热带气旋或台风的活动而被削弱、东退^[12,13],而热带气旋和台风的产生及活动又都与热带辐合带(ITCZ)关系密切^[14]。但是,2003 年夏季西太平洋 ITCZ 极不明显(图略),台风和热带气旋的数量相对也比较少^[15],其结果是没有足够能削弱副热带高压的热带系统的活动,西太平洋副热带高压也就得以持续偏强、偏西。图 4 是 2003 年夏季 850 hPa 跨赤道经向风距平的时间-经度剖面,可以十分清楚地看到在 140°E~170°W 范围,主要为异常偏北风控制。这样的异常风系必然使中西太平洋地区的 ITCZ 在整个夏季都偏弱,从而不利于西太平洋热带气旋和台风的生成及活动。因此从一定意义上讲,2003 年夏季由于西太平洋副热带高压的持续偏强偏西所导致的中国江南异常高温,也受到中西太平洋跨赤道气流异常的影响。

4.3 太平洋-印度洋海温的共同作用

中国的天气和气候不仅受到太平洋海温的影响,印度洋的海温也有相当的作用^[16~19]。为了综

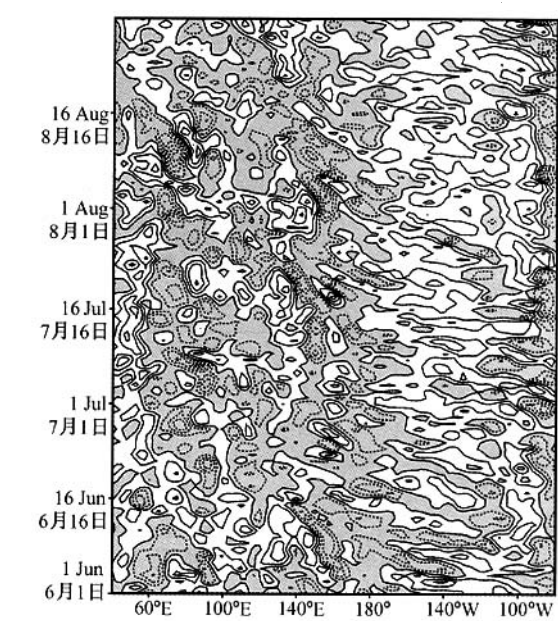


图 4 2003 年夏季 850 hPa 跨赤道经向风距平的时间-经度剖面 (等值线间隔为 2 m·s⁻¹, 阴影区为负距平)
Fig. 4 Time-longitude section of 850 hPa anomalous meridional wind at equator in the summer of 2003. Contour interval is 2 m·s⁻¹. Shaded areas are negative anomaly values

合考虑太平洋和印度洋海温及异常对气候的影响,我们定义了一种太平洋-印度洋海温综合模态,即同时考虑赤道太平洋和赤道印度洋的海温异常。具体计算如下:

$$\nabla T_i = T_1 - T_2, \\ \nabla T_p = T_3 - T_4,$$

其中 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别为区域 (5°S~10°N, 50~65°E)、(10°S~5°N, 85~100°E)、(5°S~5°N, 130~80°W)、(5°S~10°N, 140~160°E) 平均的月平均海表温度距平。而综合模的指数为

$$I_{com} = \nabla T_i + \nabla T_p,$$

式中 ∇T_i 、 ∇T_p 已分别进行了标准化处理。

现主要存在赤道东太平洋和赤道西印度洋同时有海温正(负)距平,而赤道西太平洋和赤道东太平洋有海温负(正)距平,以及赤道太平洋和赤道印度洋海温距平都非常小(即 $I_{com} \rightarrow 0$) 的 3 种基本模态。通过资料分析,清楚地表明,当太平洋和印度洋海温异常都不是十分明显的稳定情况下,对 9 年(1952、1956、1960、1967、1968、1979、1980、1981 和 1990 年)合成的中国夏季温度异常如图 5 所示,其在江南出现明显的大片高

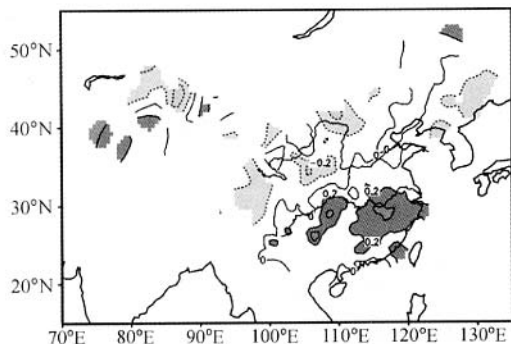


图5 以太平洋-印度洋海温呈准稳定模态的情况下, 9年合成的我国夏季气温距平分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 Surface air temperature anomaly at 160 stations of China in summer (JJA) for the quasi-normal phase of the tropical Pacific-Indian Ocean temperature anomaly mode. Unit: $^{\circ}\text{C}$. The anomalies greater than 0.2 are in dark shading and those less than -0.2 are in light shading

温区, 最大距平中心在江西和安徽南部, 超过 0.4°C ; 而华北、东北和西北东部为温度负距平。很明显, 这里的合成高温区与图1所示的2003年夏季的异常高温区有相当的一致性。也就是说, 一定的太平洋和印度洋的海温形势, 会有利于造成我国夏季出现江南高温而北方温度偏低的天气。2003年夏季太平洋和印度洋的海温距平都不明显 (图略), 与太平洋-印度洋海温呈准稳定模态的形式相近, 即与图5所对应的海温形势类似 (图略)。因此也可以初步认为, 太平洋和印度洋的海温状况也是引起2003年夏季中国江南异常高温的原因之一。

4.4 平流层异常的影响

前面已指出, 2003年夏季中国江南的高温直接与强而西伸的西太平洋副热带高压有关, 而且不仅对流层有异常, 在平流层也有异常。为了揭示对流层和平流层间的关系, 我们特别分析了西太平洋地区 ($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 平均高度距平的高度-时间剖面 (图6)。图中不仅表明在6月中旬之后, 对流层一直持续有正距平, 而在70 hPa以上的平流层主要为负距平; 同时图6还表明两个显著的特征, 其一是最大正距平不在对流层, 而是在150 hPa左右的平流层底层; 其二是高度距平有由上而下的传播特征, 且下传速度极快, 2天左右即可由150 hPa附近传到600 hPa附

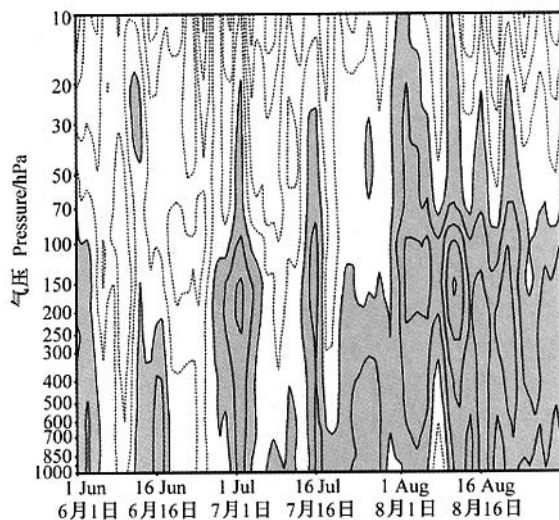


图6 2003年6~8月西太平洋地区 ($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 平均高度距平的高度-时间剖面 (等值线间隔为20 gpm, 阴影区为正距平)

Fig. 6 Time-height section of anomalous geopotential height averaged in the area of ($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$) in the summer of 2003. Contour interval is 20 gpm. Shaded areas are positive anomalous values

近。因此, 可以初步认为, 2003年西太平洋副热带高压的异常与平流层 (尤其是平流层低层) 的过程也有一定关系。平流层过程及影响机制尚待深入研究。

5 结语

资料分析清楚表明, 2003年夏季中国江南广大地区出现了创记录的持续高温天气。而导致这种灾害性异常天气气候的直接原因是西太平洋副热带高压异常偏强, 且持续西伸控制中国江南地区, 副热带高压控制下的空气下沉增温和晴空条件下的辐射加热使得气温持续异常偏高。

西太平洋副热带高压形势的持续异常, 可视为是引起江南异常高温的重要原因, 但这种持续异常的发生, 绝非仅由某个单独因素所造成, 而是多系统综合作用的结果。本文的初步分析表明, 热带太平洋-印度洋海温呈准稳定模态 (海温正常)、中西太平洋跨赤道气流异常偏弱、平流层过程以及全球增暖的背景条件的综合作用 (平流层

低层高度场正距平向对流层传播), 是 2003 年夏季西太平洋副热带高压形势持续异常的重要机制。

参考文献

- [1] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科技出版社, 1996, 387 pp
Ye Duzheng, Huang Ronghui. *Study on the Rule and Cause of Drought and Flood in Changjiang River and Huanghe River valleys* (in Chinese). Jinan: Shangdong Science and Technology Press, 1996, 387 pp
- [2] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18**: 465 ~ 476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 465 ~ 476
- [3] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究. 大气科学, 2003, **27**: 770 ~ 787
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. Studies on the relationship between the severe climate disasters in China and the East Asia climate system. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2003, **27**: 770 ~ 787
- [4] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1961, **32**: 1 ~ 20
Tao Shiyan, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in the Yangtze River and Huaihe River Valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1961, **32**: 1 ~ 20
- [5] 毕慕莹. 夏季西太平洋副热带高压的振荡. 气象学报, 1989, **47**: 467 ~ 474
Bi Muying. The oscillation of the subtropical high over the Western Pacific in the summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1989, **47**: 467 ~ 474
- [6] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002, 314pp
Wu Guoxiong Chou Jifan, Liu Yimin, et al. *Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclones* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2002, 314pp
- [7] 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. 大气科学, 1977, **1**: 1 ~ 12
Chen Lieting. The effect of sea surface temperature in the equatorial eastern Pacific on the atmospheric general circulation in the tropic and summer rainfall in China. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1977, **1**: 1 ~ 12
- [8] 符滨斌, 滕星林. 我国夏季气候异常与厄尔尼诺/南方涛动现象的关系. 大气科学, 1988, **22** (特刊): 133 ~ 141
Fu Congbin, Teng Xinglin. Climate anomalies in China associated with El Niño/Southern Oscillation. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1988, **22** (Special issue): 133 ~ 141
- [9] Houghton, J T, Ding Y H. *Climate Change 2000, The Scientific Basis*. London: Cambridge University Press, 2001, 770pp
- [10] Mitchell J F B, Johns T C, Gregory J M, et al. Climate response to increasing levels of greenhouse gasses and sulphate aerosols. *Nature*, 1995, **376**: 501 ~ 503
- [11] Allen M R, Tett S F B. Checking for model consistency in optimal fingerprinting. *Climate Dyn.*, 1999, **15**: 419 ~ 434
- [12] 黄仕松. 有关副热带高压活动及其预报问题. 大气科学, 1978, **2**: 159 ~ 168
Huang Shisong. Problems on the activity of the subtropical high and its prediction. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1978, **2**: 159 ~ 168
- [13] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. 气象学报, 2001, **59** (6): 747 ~ 758
Tao Shiyan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. An observational study on the behavior of the subtropical high over the western Pacific summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (6): 747 ~ 758
- [14] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979, 488pp
Chen Lianshou, Ding Yihui. *The Introduction to Typhoons over Northwest Pacific* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979, 488pp
- [15] 张庆云, 王会军, 林朝晖, 等. 中国天气气候异常成因研究—2003 年. 北京: 气象出版社, 2004, 170pp
Zhang Qingyun, Wang Huijun, Lin Zhaohui, et al. *Studies on the causes of anomalous weather and climate over China in 2003* (in Chinese). Beijing: Meteorology Press, 2004, 170pp
- [16] 罗绍华, 金祖辉, 陈烈庭. 印度洋和南海海温与长江中下游降水的相关分析. 大所科学, 1985, **9** (3): 336~342
Luo Shaohua, Jin Zuhui, Chen Lieting. Correlation analyses of the SST in the middle-lower reaches of the Yangtze River. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1985, **9** (3): 336~342
- [17] Li Chongyin, Mu Mingquan. Influence of the Indian Ocean dipole on Asian monsoon circulation. *CLIVAR Exchange*, 2001, **6**: 11 ~ 14
- [18] 肖子牛, 孙绩华, 李崇银. El Niño 期间印度洋海温异常对亚洲气候的影响. 大气科学, 2000, **24** (4): 461~469
Xiao Ziniu, Sun Jihua, Li Chongyin. Influence of the Indian Ocean SSTA on Asian climate during an ENSO period. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2000, **24** (4): 461 ~ 469
- [19] 李崇银, 穆明权. 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响. 大气科学, 2001, **25** (4): 433 ~ 443
Li Chongyin, Mu Mingquan. The dipole in the equatorial Indian Ocean and its impacts on climate. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2001, **25** (4): 433~443