

张灵,陈丽娟,周月华,等,2017. 中国夏季气温变化的主模态及环流特征分析[J]. 气象,43(11):1393-1401.

## 中国夏季气温变化的主模态及环流特征分析\*

张 灵<sup>1</sup> 陈丽娟<sup>2,3</sup> 周月华<sup>1</sup> 熊开国<sup>1</sup>

1 武汉区域气候中心,武汉 430074

2 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

3 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044

**提 要:** 根据逐月气温资料、NCEP/NCAR 再分析资料,利用 EOF 分解和合成分析等统计方法,探讨了中国夏季逐月气温持续变化的主要模态及同期的大气环流特征。结果表明中国夏季气温变化可分为三个主要的模态:第一模态为全国一致型(UM),当时间系数为正(负)时,6—8 月气温为全国一致偏高(低),UM 型具有明显的年代际变化特征,20 世纪 90 年代中期以前以一致偏低为主,以后以一致偏高为主;第二模态为南、北与中间反位相的三极子型(TM),当时间系数为正(负)时,6—8 月东北、内蒙古、新疆、河套地区以及江南、华南气温偏高(低),而长江流域、黄淮等地气温偏低(高),其中以 8 月低(高)温范围最大。TM 型同时具有明显的年代际和年际变化特征,在 20 世纪 80 年代以前以负位相为主,以后以正位相为主,但近些年年际信号增强且振荡明显。第三模态为长江以南与以北反位相的偶极型(DM),当时间系数为正(负)时,6 月东北地区、内蒙古及河套北部、新疆北部气温偏低(高),以南的大部地区偏高(低),至 7、8 月偏低(高)气温范围明显南扩,但分界线止于长江沿线。进一步诊断发现,造成中国夏季逐月气温持续性变化的不同模态对应不同的环流特征。UM 型气温模态主要受到东亚上空持续而深厚的高度场距平趋势的控制,大陆高压的强弱起到重要作用;气温 TM 型对应着环流场的三极子型分布,与东亚-太平洋遥相关型波列有关;DM 型气温模态与东北冷涡活动的位置和强度及西太平洋高度场强度有关。

**关键词:** 夏季,气温,一致型,三极子型,偶极型

**中图分类号:** P466,P458

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.11.008

## Dominant Modes of Summer Temperature over China and Its Associated Circulation Anomalies

ZHANG Ling<sup>1</sup> CHEN Lijuan<sup>2,3</sup> ZHOU Yuehua<sup>1</sup> XIONG Kaiguo<sup>1</sup>

1 Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430074

2 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

3 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,  
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract:** Based on the monthly mean temperature data at 284 China stations and NCEP/NCAR reanalysis dataset, the dominant modes of three months' temperature in summer and their associated circulation anomalies are investigated with empirical orthogonal function (EOF), composite analysis and other statistical methods. The three dominant modes can be calculated from EOF. The first mode (EOF1) depicts a uniform mode (UM) from north to south over China. The second mode (EOF2) depicts a tripole mode (TM) between Inner Mongolia, North China, South China and the middle-lower reaches of the Yangtze River. The third mode (EOF3) depicts a dipole mode between the north part and south part to the Yangtze

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306021)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB453203)和国家自然科学基金项目(41275073)共同资助

2016 年 12 月 2 日收稿; 2017 年 7 月 10 日收修定稿

第一作者:张灵,主要从事短期气候预测. Email:zhanglingwh2011@163.com

通信作者:陈丽娟,主要从事气候异常诊断和气候预测方法研究. Email:chenlj@cma.gov.cn

River. The major circulation characteristics related with the three modes are different. UM is attributed to the equivalent barotropic atmosphere feature. The potential height anomaly shows the same tendency from the lower troposphere to the lower stratosphere over East Asia. TM is attributed to the East Asia-Pacific (EAP) teleconnection pattern and the stratosphere height field anomaly in early spring can be used as a precursor for summer TM. The location and intensity of the West Pacific subtropical high and northeast cold vortex are very important to DM.

**Key words:** summer, temperature, uniform mode (UM), tripole mode (TM), dipole mode (DM)

## 引 言

对东亚及中国夏季气候的年际、年代际变化已有大量研究,多是针对降水。对于气温,关注的季节侧重于冬季(孙林海和赵振国,2004;李维京等,2013;王东阡等,2013;2015;伍红雨等,2014;司东等,2014;2016;江琪等,2016),其中李维京等(2013)全面研究了我国冬季气温与北极海冰、冬季风、西伯利亚高压等影响因子的关系,指出其相关关系发生了显著的年代际变化,要在冷、暖期分时段建立冬季气温预测模型。而对于夏季气温,关注重点在于变化趋势、区域气候特征及其影响系统。在全球变暖背景下,中国气候变化存在着明显的季节性和区域性特征,如“冬暖夏凉”和“北暖南凉”等(丁裕国和江志红,1999;秦爱民等,2005;唐国利和丁一汇,2006)。区域气温的重点是东北低温,已有研究探讨了积雪、马斯克林高压等下垫面外强迫信号及大气环流异常对东北夏季气温的影响(孙建奇和王会军,2006;张茜和李栋梁,2012;曾宇星等,2014;韩荣青等,2014;Chen et al,2016)。还有研究对南方地区夏季低温和阶段性高温特征及其成因做出分析(蔡佳熙和管兆勇,2007;唐恬等,2014;崔童等,2015),尤其是夏季变冷趋势最明显的长江流域,从年际、年代际变化角度,解析了长江流域夏季气温变化型,重点研究其与西太平洋副热带高压等环流异常的重要联系(管兆勇等,2010;蔡佳熙等,2011;蔡佳熙和管兆勇,2011)。此外,黄嘉佑(1991)还发现夏季气温与降水场在长江中下游、华南及华北具有较好的反相关,还有研究分别从北半球雪盖(王光宇和曾群柱,1994)、印度洋及中东太平洋海温(杨霞等,2007)、澳大利亚高压(张蓬勃等,2010)等海洋及环流因子出发,探讨与气温、降水的关系及可能联系。实际上,夏季气温和降水关系较复杂,很多年份并没有表现为反相关。例如1998年夏季,我国大部

分地区降水异常偏多,松嫩流域和长江流域发生流域性洪涝,但全国大部气温仍然明显偏高。说明我国夏季气温的变化有其特殊性,值得作为独立的变量深入分析。此外,过去的研究侧重于整个夏季平均或者某月气温的变化特征或者某个区域的变化特征,没有全面考虑我国夏季各月气温距平的持续性空间模态演变特征及其对应的环流型。因此本文试图从我国夏季季内气温变化的主要模态及造成各模态空间分布的环流特征角度,探讨夏季气温型演变和发展的规律,为进一步诊断和预测全国夏季气温异常分布型提供参考。

## 1 资料与方法

本文所用资料有:中国气象局气象信息中心整理的全国284站逐月气温资料;NCEP/NCAR再分析资料(Kalnay et al,1996),包括月平均位势高度场、 $U/V$ 风场,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,场资料的垂直方向分为17层。所用资料时段均为1961年1月至2014年12月共54年;文中气候均值采用1981—2010年共30年平均。

主要采用经验正交函数分解(empirical orthogonal function, EOF)(Ghil et al,2002;魏凤英,2007)、合成分析、相关分析、 $t$ 检验(魏凤英,2007)等方法。其中 $t$ 检验是构造检验两个总体的均值有无显著性差异的统计量,其中 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 代表样本均值, $s_1$ 和 $s_2$ 代表样本标准差, $n_1$ 和 $n_2$ 代表样本量,在确定性水平 $\alpha$ 之后,遵从自由度 $t = n_1 + n_2 - 2$ 的分布。若 $t$ 的绝对值不小于 $t_{\alpha}$ ,则拒绝原假设,认为在 $\alpha$ 这个显著性水平上,两组样本值有显著性差异。

## 2 夏季气温变化的分型及环流特征

选取全国284站作为研究站点,为认识6、7、8月这3个月气温在时间上持续的空间分布特征和时

间演变规律,以全国站点同年 6、7、8 月气温距平场联合扩展成为该年夏季的气温距平场,将 1961—2014 年历年构建的夏季逐月气温距平场进行 EOF 分解,所得到的空间模态即包括 6、7、8 月这 3 个月的空间分布结构。经 North 检验 (North et al, 1982),前 3 个特征值可分离,前 3 个特征模态的方差贡献率分别为 22.0%、9.3% 和 7.0%,同时对前 3 个模态的时间系数进行标准化处理。为客观地判断与各空间模态相似的年份,因此将历年夏季 6、7、8 月气温联合构造的实况距平分布场与 EOF 前 3 个模态分别进行空间相似分析,以相似系数是否超过  $\pm 0.4$  作为是否达到显著性水平检验的标准,同时结合标准化后的时间系数 PC 是否通过  $\pm 1$  个标准差来作为挑选异常年份的标准。

### 2.1 第一模态(UM 型)及其环流特征

第一模态逐月的空间分布(图 1)表现出全国同位相变化特征,简称为 UM 型(uniform mode)。从空间型来看,异常大值主要位于北方,包括西北大部、内蒙古大部、华北及东北大部;从时间来看,全国

一致的异常自 6 月持续至 8 月。UM 模态对应的时间系数为正(负)异常时,我国夏季逐月气温自北向南一致偏高(低),其中北方偏高(低)的变率更为明显。UM 型对应的标准化时间系数序列(PC1)看出,UM 型存在明显的线性趋势,同时具有明显的年代际变化特征(图 2a)。从 20 世纪 60 年代到 21 世纪,PC1 由负转正,其中在 90 年代中期以前 PC1 多为负值,意味着全国为一致偏冷型;而 90 年代中期以后多为正值,为全国一致持续偏高型。该演变与全球变暖的大背景以及 80 年代后期气温突变的特征吻合(向辽元和陈星,2006)。尤其是西北地区东部、内蒙古、华北、东北西南部等地增暖的趋势明显,长江中下游流域在 6、7 月增暖明显,8 月增暖相对较弱。由历年夏季各月气温场与第一模态空间分布场的相关系数(图 2b)可知,近 10 年一致增暖型的特征比较典型。

依据异常年的挑选标准,得到正位相年有 2001、2002、2005、2011 年,负位相年有 1969、1970、1976 及 1979 年,可见这两类异常年处于完全不同的年代际阶段。

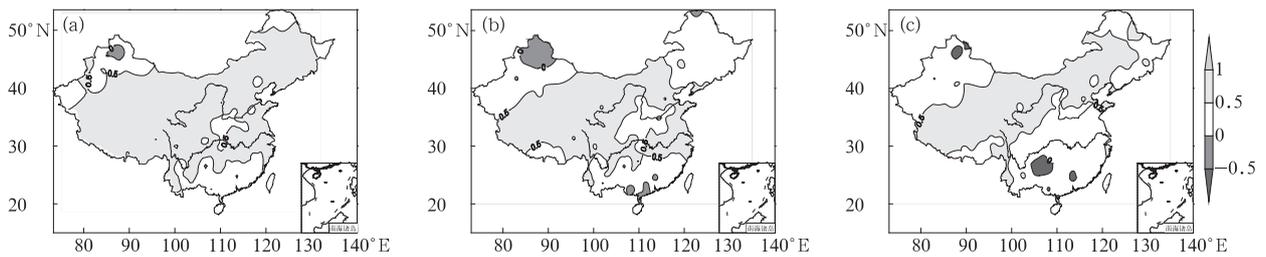


图 1 1961—2014 年我国夏季逐月(a)6 月,(b)7 月,(c)8 月气温的 EOF 分解第一模态(UM 型)空间型

Fig. 1 The first EOF mode (uniform mode) of summer temperature in June (a), July (b), August (c) during 1961 to 2014

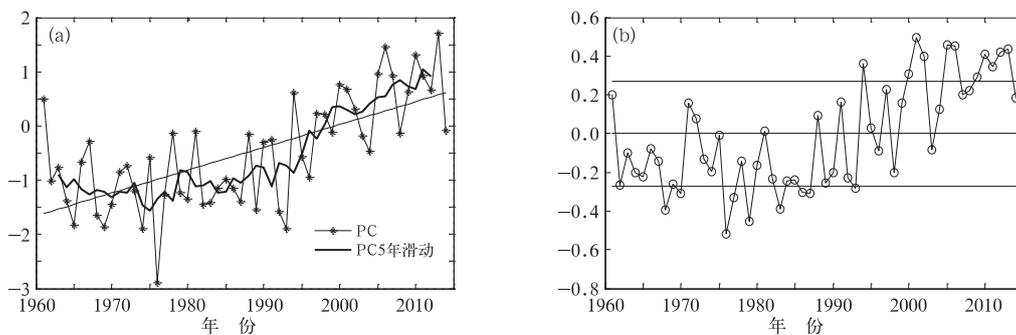


图 2 (a)全国夏季 6、7、8 月气温 EOF 分解第一模态(UM 型)的标准化时间系数序列和 (b)历年夏季各月气温场与第一模态空间分布场的相关系数

Fig. 2 The standardized time series of the first EOF mode (uniform mode) of summer temperature (a) and space similarity coefficient between EOF1 and observation in summer (b)

夏季逐月气温 EOF 分解的不同模态对应着不同的环流形势。图 3 给出了 UM 型对应的时间系数 PC1 回归的 6、7、8 月 500 hPa 高度场。自 6—8 月东亚大部多为正值,其中 6 月东亚通过显著性水平检验的区域主要有贝加尔湖以东至日本群岛、以南至西太平洋的广大区域(图 3a)。7 月显著的区域为贝加尔湖以南至华南的广大地区(图 3b),8 月回归分布与 7 月类似,只是显著区域南扩至南亚和东南亚地区(图 3c)。

以 6、7、8 月都通过显著性水平检验的东亚地区作为重点分析对象,图 4a 为 PC1 回归的 ( $20^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ) 范围内高度距平的气压-时间剖面图。可以看出,UM 型为正位相时,从对流层低层到平流层低层均为正高度距平,并且自 2 月持续到 10 月,在夏季持续的特征尤其显著,表明控制中国大范围的高度场异常为深厚正压系统,大陆高压较为明显,对应的我国大部气温偏高。PC1 回归的 500 hPa 上  $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  平均高度距平的纬度-时间

剖面图(图 4b)及  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$  平均高度距平的时间-经度剖面图(图 4c)显示,从春季到夏季,东亚区域的距平异常存在三个特征,一是由高纬向中纬传播,二是夏季时段内从西向东传播,三是在夏季时段内基本维持正(负)异常不变。

## 2.2 第二模态(TM 型)及其环流特征

图 5 是第二模态的空间分布,从时间上来看,6—8 月都呈现出中部与南、北反相的三极子型分布特征,简称 TM 型(tripole mode)。TM 处于正位相时,对应时间系数为正,长江流域不仅是该型的负异常中心,也是该型异常值最大的区域。8 月异常值最大,且中间负异常范围最广,气温偏低;对应着东北、内蒙古、西北大部以及江南、华南气温为正异常,即气温偏高。TM 型为负位相时则相反。TM 型的时间系数 PC2 变化(图 6a)显示,TM 型同样具有明显的年代际变化特征,PC2 在 20 世纪 80 年代以前多为负值,以后则多为正值。PC2 的 5 年滑动

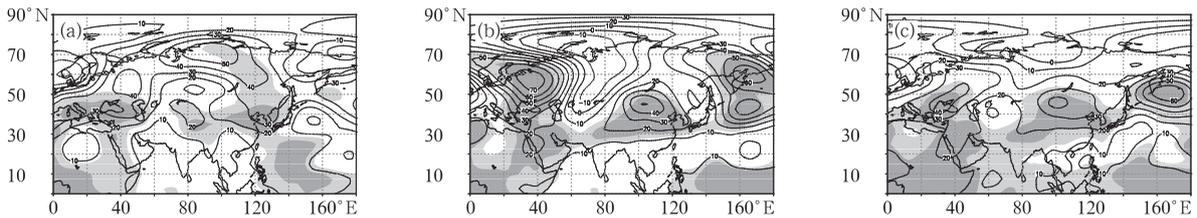


图 3 第一模态 UM 型对应的时间系数 PC1 与(a)6 月、(b)7 月、(c)8 月 500 hPa 高度场的回归图(单位:gpm)  
(浅灰、深灰填色区域分别代表通过 0.05 和 0.02 的显著性水平检验)

Fig. 3 Regression of the 500 hPa anomaly (unit: gpm) in June (a), July (b), August (c) corresponding to the first PC time series of UM  
(Light gray and dark gray shaded areas indicate the parts having passed the 0.05 and 0.02 levels of significant test, respectively)

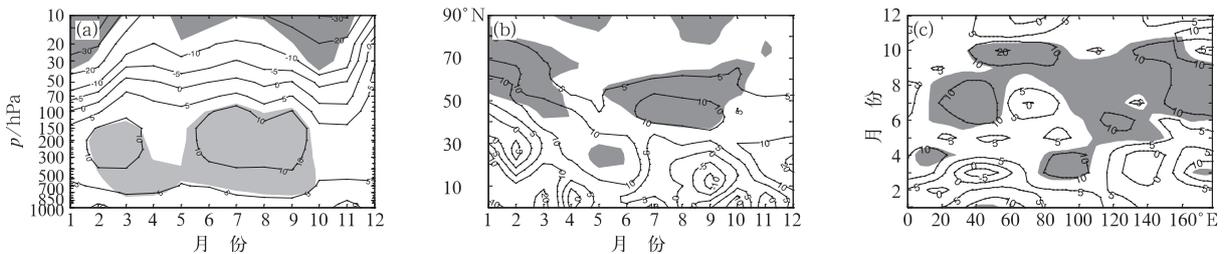


图 4 第一模态 UM 型对应的时间系数 PC1 回归的 500 hPa(a) ( $20^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ) 平均高度距平随高度-时间变化剖面图,(b) 在  $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  内平均高度距平的纬度-时间剖面图,  
(c) 在  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$  内平均高度的时间-经度剖面图  
(填色区代表通过 0.05 的显著性水平检验,单位:gpm)

Fig. 4 Height-time profile over  $20^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  (a), latitude-time profile over  $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  (b), time-meridional profile over  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$  regression of the 500 hPa anomaly (c) corresponding to the first PC time series of UM  
(Shaded areas indicate the part having passed the 0.05 level of significant test, unit: gpm)

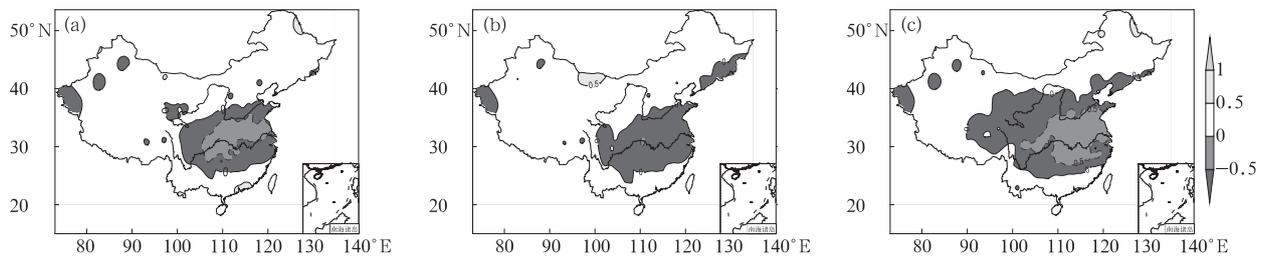


图 5 同图 1, 但为第二模态(TM 型)

Fig. 5 Same as Fig. 1, but for the TM

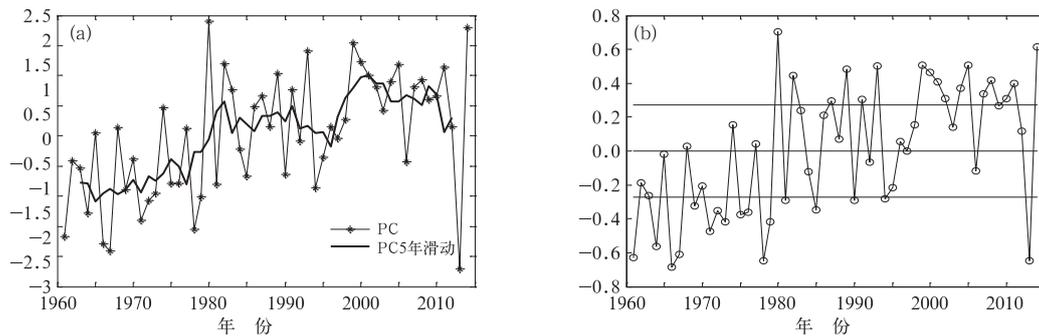


图 6 同图 2, 但为第二模态(TM 型)

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for the TM

平均表现出这种年代际转折的特征,尤其在近几年振幅加大,表明 TM 型年际变化特征在增强。相比图 2b 中 UM 型明显的年代际变化特征, TM 型的相关系数与历年夏季各月气温场的相关表现出很强的年际变化特征(图 6b)。即 80 年代末期以后,虽然全球存在着明显的增暖,但是对中国夏季气温而言,这种增暖更突出的是体现在中国黄河以北地区和华南大部,而以江淮为中心的中部地区自 6—8 月存在持续的变冷现象。

依据异常年挑选标准,得到 TM 正位相年有 1980、1989、1993、1999、2005、2014 年, TM 负位相年有 1964、1966、1967、1973、1978、2013 年。2013

年夏季,长江流域出现持续高温天气;而 2014 年夏季长江流域为凉夏,其中 6 月气温偏低的区域位于长江上游东部、中游及长江下游北部,7 月位于长江中下游,而 8 月低温范围相对 7 月低温区有所扩展,且长江中下游气温偏低程度加强,在流域范围内 110°E 以东的平均气温居于历史倒数第二位。这也说明了在气候变暖背景下,气温的年际变化差异仍然较大,尤其是 TM 型在近些年出现频繁,年际变化明显(图 6b)。

图 7 为 TM 型正/负位相年的 6、7、8 月气温差值  $t$  检验。6 月显著的正差异区域包括新疆西北部、内蒙古大部、西南南部及华南大部,显著的负差

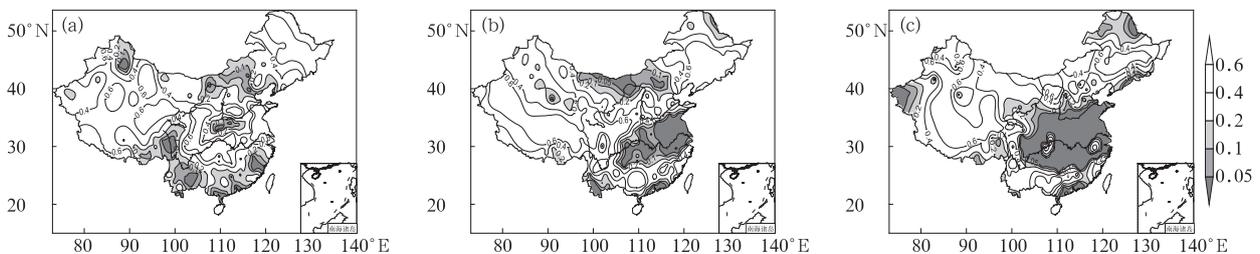


图 7 TM 正/负位相全国(a)6月,(b)7月,(c)8月气温差值  $t$  检验

(数值代表不同显著性水平,阴影区代表通过 0.05 的显著性水平检验)

Fig. 7 The temperature difference field in June (a), July (b), August (c) in positive/negative TM years

(Number represent different levels of significance, shaded areas indicate the part having passed the 0.05 level of significant test)

异区域为江汉地区;7—8月与6月相似,但显著的负差异中心随时间的推移范围明显扩大,7月主要包括长江中下游地区,8月扩至长江上游中东部及黄淮地区。

第二模态 TM 型对应的时间系数 PC2 回归的 500 hPa 高度距平场(图 8)及 TM 正(负)位相年 850 hPa 矢量风距平差值  $t$  检验场(图 9)反映出: TM 正位相的 6 月,副热带地区的高度场整体偏高,在贝加尔湖以南为显著的异常正值中心(图 8a),对应 850 hPa 为反气旋式距平环流(图 9a),长江上中游位于其南侧,受反气旋东侧南下的偏北气流影响,气温易随之下降,内蒙古等北方地区受反气旋环流控制,气温偏高,华南沿海一带位于副热带高压的北侧,受副高南侧偏暖气流影响,气温也容易偏高。

至 7 月,以内蒙古为中心的正异常增强并东扩至鄂霍次克海,北扩至贝加尔湖,中心较 6 月略向东移动(图 8b),低层该反气旋环流控制范围相对 6 月明显扩大、东移,反气旋最东侧延伸至鄂霍次克海,偏东北气流经日本群岛、渤海至黄淮及长江流域,偏北气流控制的位置相对东移,主要影响长江中下游,此外我国东北地区的东南部也受偏北气流影响,气温下降。长江中下游至日本群岛呈现出明显的负高度异常,低层为气旋式异常环流。副热带地区维持

正异常,低层在菲律宾以东为反气旋式异常环流。总体来看,7 月自西太平洋、东亚沿岸、蒙古地区存在“A(反气旋)”—“C(气旋)”—“A”的异常环流(图 9b)波列,这种分布减弱了热带季风槽,导致西太平洋副热带高压偏南,有利于冷空气沿东路南下影响长江流域,造成该地区低温的出现。

至 8 月,中高纬的正异常范围略北缩,长江中下游至日本群岛的负异常增强且范围向南、向北扩展,受此影响,西太平洋副热带高压略有南退(图 8c)。对应的低层气旋式距平环流加强,偏北气流增强,夏季风明显偏弱,使得低温范围相对 7 月扩大,低温程度加深(图 9c)。总体说来,8 月东亚地区的“A”—“C”—“A”异常环流波列仍然存在,且经向度加大。

PC2 回归的 200 hPa 高度场同图 8 中的分布较为一致,但经日本群岛至江淮地区显著的负异常中心范围更广,西扩至新疆和高原北部。鉴于东亚区域的这一负异常(对应着低层的气旋性环流)在东亚地区南北向“A”—“C”—“A”异常环流型中起着重要作用,下面将重点分析该区域的时空演变特征。

从(30°~40°N、110°~140°E)的时间-高度剖面图及在 110°~140°E 上的高度-纬度剖面图(图 10)可以看出,自 3 月开始在平流层中上层已经有高度异常出现,并向对流层下传,至夏季,虽然 6 月的强

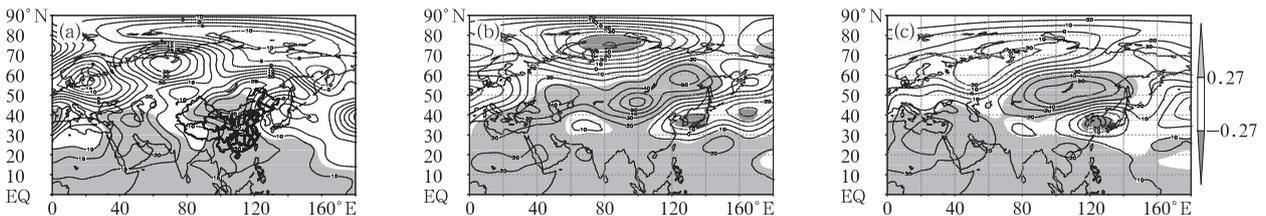


图 8 同图 3, 但为第二模态 TM 型  
Fig. 8 Same as Fig. 3, but for the TM

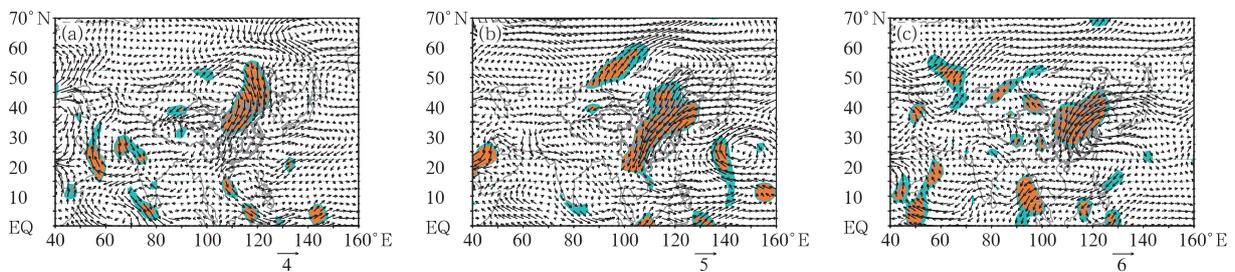


图 9 TM 型正/负位相年的 850 hPa 矢量风差值场(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(a)6 月, (b)7 月, (c)8 月  
(橙色、绿色填色区域分别代表通过 0.05 和 0.02 的显著性水平检验)

Fig. 9 The 850 hPa vector wind difference field from June to August (a—c) in positive/negative TM years  
(Orange and green shaded regions indicate the parts having passed the 0.05 and 0.02 levels of significant test, respectively)

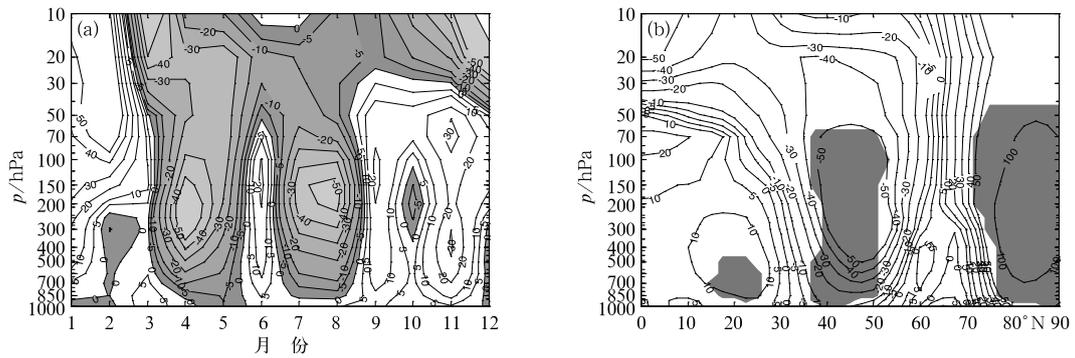


图 10 TM 型正/负位相年(30°~40°N,110°~140°E)高度差值场的时间-高度剖面图(a)以及 7 月 110°~140°E 的高度差值场的高度-纬度剖面图(b)(单位:gpm)  
(阴影区为通过 0.05 的显著性水平检验)

Fig. 10 Time-height profile of regional height difference (30°-40°N, 110°-140°E) (a), and height-latitude profile of height difference of 110°-140°E in positive/negative TM years (b) (unit: gpm)  
(Shaded areas indicate the part having passed the 0.05 level of significant test)

度变化不显著,但 7—8 月的深厚特征非常清晰。6 月高度差值的减弱是因为负差值区在 6 月相对偏北,至 7 月负差值区在热带地区的平流层及 30°~60°N 平流层底层至对流层,通过显著性水平检验的区域主要是位于 80°~90°N 的高纬地区对流层的正异常、30°~60°N 平流层底层至对流层的负异常及 10°~20°N 的对流层中下层的正异常(图 10b),这种自高纬到低纬的“+—+”差值分布与图 8、图 9 的环流型结论较为一致。此外,通过这种高度-时间差值剖面分布图,可知前期(30°~40°N,110°~140°E)区域春季平流层至对流层高层高度场的高低异常可作为后期夏季各月持续南北高(低)、中间低(高)环流模态的前兆因子。

通过以上分析说明中国夏季 6、7、8 月气温的 TM 型对应 500 hPa 高度环流场从南向北也为三极子分布型,即气温 TM 正(负)位相时,东亚上空环流自上至下为深厚的相当正压结构,配合蒙古地区

的阻塞形势、西太平洋的副热带高压强弱一起构成“+—+”(“—+—”)的东亚-太平洋遥相关型波列分布。

### 2.3 第三模态(DM 型)及其环流特征

图 11 是第三模态的空间分布,从 6—8 月较为一致呈现出我国南北地区反位相的偶极型分布,简称 DM 型(tripole mode)。从空间分布来看,DM 为正位相时,在 6 月仅东北和内蒙古、华北北部气温为负异常,其他大部为正异常;至 7 和 8 月,负异常区南扩至长江,以长江为界,南正北负,尤其是在 7 月华南为正异常极大值中心。DM 为负异常时,特征相反。DM 型的时间系数 PC3 变化及 5 年滑动平均(图 12)显示,在 20 世纪 70 年代末以前时间系数为负,80—90 年代转为正值,90 年代至 2000 年转为负值,而在近些年又处于正值,经历了四个阶段的变化(图 12a)。时间系数的变率显示在 70 年代

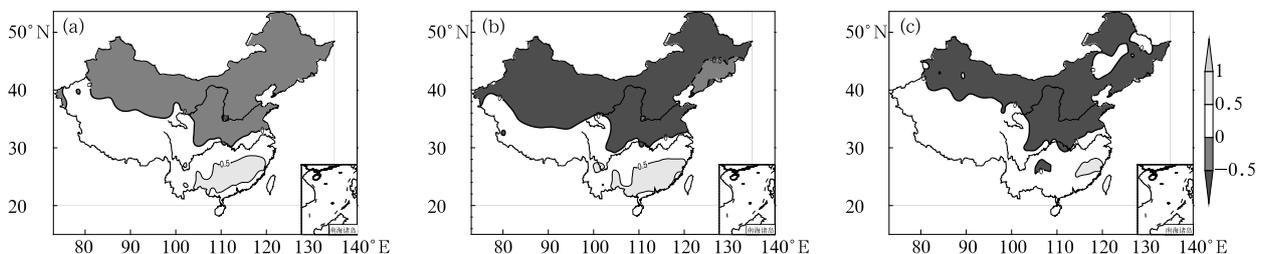


图 11 同图 1,但为第三模态(DM 型)  
Fig. 11 Same as Fig. 1, but for the DM

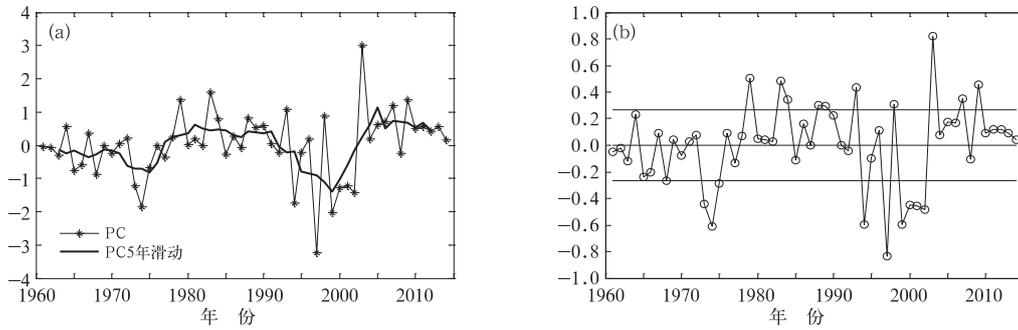


图 12 同图 2, 但为第三模态(DM 型)

Fig. 12 Same as Fig. 2, but for DM

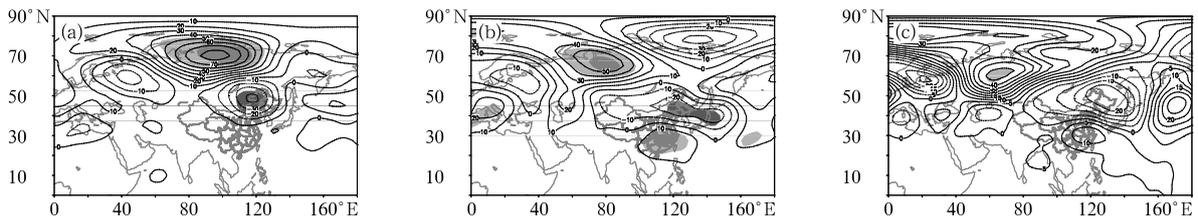


图 13 同图 3, 但为第三模态 DM 型

Fig. 13 Same as Fig. 3, but for DM

以前年际变化小,而在 90 年代至 2010 年期间振荡明显,年际变化大。气温实况场与第三模态空间分布场的场相关系数图(图 12b)显示,通过显著性水平检验的年份多在 20 世纪 80 年代以后。依据异常年挑选标准,得到 DM 正位相年有 1979、1993、2003、2009 年,DM 负位相年有 1974、1994、1997、1999、2000、2001 年。下面分析其对应的环流特征。

从第三模态 DM 型对应的时间系数 PC3 回归的 500 hPa 高度距平场可看出(图 13),6 月,我国东北地区为明显的负高度距平控制,我国除东北以外的其他地区高度场虽不显著但为正值,这种分布下东北冷涡活跃,东北、内蒙古东部容易形成低温而我国其他大部气温偏高;至 7 月,东北地区的负高度异常控制范围略有南移,我国江南至南海的正高度异常开始显著;8 月与 7 月的情况较为类似,但东北负值的显著性程度减弱,中心值略有北移。DM 型正位相对应的东亚地区为北低南高的环流特征,主要的影响系统是东北冷涡的位置和强度以及西北太平洋高度场(副热带高压)的强度。

### 3 结论与讨论

根据逐月气温资料、NCEP/NCAR 再分析资

料,利用 EOF 分解方法、场相关分析、合成分析及回归分析等统计分析方法,将中国夏季气温可分为三个主要的模态:

第一模态为全国一致型(UM),解释方差为约为 22%,UM 正位相,对应时间系数为正,6—8 月全国气温一致偏高,具有明显的线性趋势,与全球变化背景一致,其中以西北地区东部、内蒙古、华北、东北西南部变暖趋势明显,同时还具有显著的年代际变化特征,在 20 世纪 90 年代中期以前位一致偏冷型,90 年代中期以后位一致偏暖型。UM 正位相对应同期环流为大陆高压较强,在东亚大范围地区从对流层低层到平流层低层的高度场均为正异常,呈深厚正压系统,该异常从春季到夏季时段由高纬向中纬传播,并在夏季时段内从西向东传播。该特征可作为一种一致型模态的前期信号。

第二模态为全国南、北与中间反位相的三极子型(TM),解释方差约为 9%,TM 正位相,对应时间系数为正,6—8 月东北、内蒙古、西北大部以及江南、华南气温偏高,而长江流域、黄淮等地气温偏低,其中以 8 月低温范围最大。TM 型具有明显的年代际和年际变化特征,20 世纪 80 年代以后以正位相特征为主,但近些年际信号较强且振荡明显,即全球变暖背景下,中国黄河以北地区和华南大部是增暖

的,但以江淮为中心的中部地区自 6—8 月存在持续的变冷现象。TM 正位相时同期环流特征为西太平洋、东亚沿岸、蒙古地区的“A”—“C”—“A”异常环流波列,并且(30°~40°N、110°~140°E)区域的平流层至对流层高层高度场的异常在初春的平流层中上层已经出现,由春到夏向对流层下传,可作为夏季各月持续南北高(低)、中间低(高)环流模态的前兆因子。

第三模态为我国南北反位相的偶极型(DM),解释方差约为 7%,DM 正位相时,对应时间系数为正,6 月东北地区、内蒙古及华北北部气温偏低,其他大部偏高,至 7、8 月低温范围明显南扩,但以长江为界北低南高。同期环流特征,6 月我国东北大部为明显负高度异常,随时间发展至 7、8 月负异常略有扩展和南移,而江南、华南地区为正高度异常。这种北低南高的环流分布显示东北冷涡活跃、西太平洋副热带高压偏强,东北、内蒙古东部容易形成低温而我国其他大部气温偏高。

本文对夏季季内月气温前 3 个模态及对应的环流特征、前兆信号进行了初步分析,未来还需继续深入研究前兆信号的传播和影响机理及预测方法。

## 参考文献

- 蔡佳熙,管兆勇,2007. 我国南方地区夏季低温变化特征及其成因[J]. 南京气象学院学报,30(6):799-806.
- 蔡佳熙,管兆勇,2011. 长江流域夏季气温变化型及其成因 I: 年际变化与遥相关[J]. 气象学报,69(1):99-111.
- 蔡佳熙,管兆勇,于田田,等,2011. 长江流域夏季气温变化型及其成因 II: 年代际变化[J]. 气象学报,69(1):112-124.
- 崔童,王东阡,李多,等,2015. 2014 年夏季我国气候异常及成因简析[J]. 气象,41(1):121-125.
- 丁裕国,江志红,1999. 中国近 50 年严冬和冷夏演变趋势与区划[J]. 应用气象学报,10(S1):88-96.
- 管兆勇,蔡佳熙,唐卫亚,等,2010. 长江中下游夏季气温变化型与西太平洋副高活动异常的联系[J]. 气象科学,30(5):666-675.
- 韩荣青,高辉,李维京,2014. 旋转经验正交函数分解回归方法在东北夏季气温季节预测和成因诊断中的应用[J]. 气象学报,72(2):291-305.
- 黄嘉佑,1991. 我国夏季气温、降水场的时空特征分析[J]. 大气科学,15(3):124-132.
- 江琪,马学款,王飞,2016. 2016 年 1 月大气环流和天气分析[J]. 气象,42(4):514-520.
- 李维京,李怡,陈丽娟,等,2013. 我国冬季气温与影响因子关系的年代际变化[J]. 应用气象学报,24(4):385-396.
- 秦爱民,钱维宏,蔡亲波,2005. 1960—2000 年中国不同季节的气温分区及趋势[J]. 气象科学,25(4):338-345.
- 司东,李清泉,柳艳菊,等,2014. 2013/2014 年东亚冬季风异常偏弱的可能成因[J]. 气象,40(7):891-897.
- 司东,马丽娟,王朋岭,等,2016. 2015/2016 年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象,42(7):892-897.
- 孙建奇,王会军,2006. 东北夏季气温变异的区域差异及其与大气环流和海表温度的关系[J]. 地球物理学报,49(3):622-671.
- 孙林海,赵振国,2004. 我国暖冬气候及其成因分析[J]. 气象,30(12):57-60.
- 唐国利,丁一汇,2006. 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,30(1):56-68.
- 唐恬,金荣花,彭相瑜,等,2014. 2013 年夏季我国南方区域性高温天气的极端性分析[J]. 气象,40(10):1207-1215.
- 王东阡,崔童,司东,等,2015. 2014/2015 年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析[J]. 气象,41(7):907-914.
- 王东阡,周兵,孙丞虎,等,2013. 2012/2013 年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析[J]. 气象,39(7):930-937.
- 王光宇,曾群柱,1994. 北半球雪盖与我国夏季降水的相关分析[J]. 冰川冻土,16(2):181-184.
- 魏凤英,2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京:气象出版社:11.
- 伍红雨,潘蔚娟,王婷,2014. 华南冬季气温异常与 ENSO 的关系[J]. 气象,40(10):1230-1239.
- 向辽元,陈星,2006. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象,32(6):44-47.
- 杨霞,管兆勇,朱保林,2007. IOD 对 ENSO 影响中国夏季降水和气温的干扰作用[J]. 南京气象学院学报,30(2):170-177.
- 曾宇星,封国林,赵俊虎,等,2014. 春季马斯克林高压对中国东北地区夏季气温的影响[J]. 高原气象,33(5):1374-1382.
- 张蓬勃,管兆勇,蔡佳熙,2010. SVD 分析揭示的澳大利亚高压年际变化对中国夏季气温的可能影响[J]. 大气科学学报,33(1):58-66.
- 张茜,李栋梁,2012. 欧亚和我国东北冬春季积雪对东北夏季气温的影响[J]. 冰川冻土,34(2):284-295.
- Chen Wei, Hong Xiaowei, Lu Riyu, et al, 2016. Variation in summer surface air temperature over Northeast Asia and its associated circulation anomalies[J]. Adv Atmos Sci,33(1):1-9.
- Ghil M, Allen M R, Dettinger M D, et al, 2002. Advanced spectral methods for climatic time series[J]. Rev Geophys,40(1):1-41.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Am Meteor Soc,77(3):437-471.
- North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al, 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions[J]. Mon Wea Rev,110(7):699-706.