

# 全球海温异常年代际分量的方差贡献及其与中国气候异常的相关\*

周晓霞<sup>1)</sup> 王盘兴<sup>1)</sup> 祝昌汉<sup>2)</sup> 覃军<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (南京气象学院大气科学系,南京 210044)

<sup>2)</sup> (国家气候中心,北京 100081)

## 摘要

将全球海洋海表温度异常(SSTA)分解为年代际、年际变化两部分,用方差分析法给出年代际变化分量显著的洋区及其季节变化,用奇异值分解(SVD)方法分析了它与中国冬温(冬季平均气温)、夏雨(夏季总降水量)年代际异常分量的同期和时滞相关联系的时空结构。结果表明,无论冬、夏,SSTA的方差构成中,年代际变化分量方差均较年际变化分量显著;SSTA年代际分量正异常时,中国(以北方和东部为主)易出现一致的冬温正异常,长江流域、华南夏雨易出现正异常,而华北夏雨易出现负异常;反之亦然。

关键词:全球 SSTA 中国冬温/夏雨异常 年代际变化 同期和时滞相关

## 引言

20世纪80年代末以来,在海气系统气候异常的研究中发现,年代际变化是一种普遍存在的现象。Nitta等<sup>[1]</sup>、Trenberth等<sup>[2]</sup>指出,1976年后热带太平洋海表温度(SST)升高,而副热带、中纬太平洋SST降低,并伴随有阿留申低压加深南移。李崇银等<sup>[3]</sup>指出,印度洋赤道地区的SSTA在1962年以前以西低东高为主要特征,而之后则以西高东低形势多见。一些研究<sup>[4~5]</sup>表明,ENSO这种年际气候变化的最强信号也存在显著的年代际振荡特征,20世纪80年代以来的ENSO循环明显强于以往。在我国气候异常的研究中,叶笃正、黄荣辉<sup>[6]</sup>总结了20世纪90年代中期以前中国东部旱涝的发生规律,指出其存在年代际变化。王绍武<sup>[7]</sup>指出,中国的气温在20世纪20~40年代变暖,40~70年代降温剧烈,80年代略有回升。郭其蕴<sup>[8]</sup>的研究表明,20世纪60年代初中期东亚季风最强,我国夏季干旱,而60年代末起夏季风显著减弱,70年代我国夏季气温明显偏低。

在年代际尺度海洋异常与我国气候异常关系的研究上,李峰等<sup>[9]</sup>指出,北太平洋海气系统的年代际变化影响华北夏季旱涝。Li等<sup>[10]</sup>将周期分解用于北太平洋、热带太平洋浅层海洋热状况(海表温度、0~400 m海水热含量)异常与大气状况(海平面气压、1000

\* 本文得到国家自然科学基金重点课题“江淮梅雨的年际和年代际变化规律及其机制研究”(课题号40233037)和科技部社会公益研究专项资金“珠江流域广西境内流域面雨量预报与汛期洪涝监测业务体系研究”(课题号37020)共同资助。

2003-09-02收到,2004-02-05收到修改稿。

hPa 风) 异常分解,证明了北太平洋海气要素的年代际变化显著;基于其上的奇异值分解(SVD)揭示了北太平洋、热带太平洋区域年代际、年际变化相互关系的时空特征,提供了深入分析太平洋热状况异常影响我国气候异常的线索。但这些研究主要着眼于太平洋、印度洋区域,分析使用的资料和方法存在较大差异,难以形成对全球海洋与我国气候异常关系的整体认识。

我们认为,作为年代际尺度上我国气候异常与全球海洋热异常关系的分析基础,必须首先明确在上述异常中年代际变化的重要性。文献[11]已分析了我国冬、夏季气温、降水异常中与年代际、年际变化对应的慢、快变分量的方差贡献,结果表明,冬、夏季气温以及夏季降水异常中的慢变分量较快变分量显著,且夏季两要素慢变分量存在以负相关为主的明显同期相关。考虑冬季温度、夏季降水是相对重要的成灾要素,本文选择我国冬温、夏雨与全球海洋热状况年代际相关联系为研究目标,使用与文献[11]统一的资料及简明的统计方法,在给出全球 SSTA 年代际分量方差贡献的基础上,分析 SSTA 年代际分量与我国冬温、夏雨的相关联系,力求给出具有基本参考价值的统计结果。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

中国 160 站月平均气温( $T$ ,单位:℃)和月平均降水资料( $R$ ,单位:mm),时域为 1951~2002 年 1~12 月,中国气象局整编。

全球逐月海表温度格点资料( $SST$ ,单位:℃),范围为全球海洋部分,格距为  $\Delta\lambda \times \Delta\varphi = 2^\circ \times 2^\circ$ ,时域为 1950~1998 年 1~12 月,英国气象局整编。

分析取季为时域分辨率。为叙述方便,按北半球习惯,称  $t_y$  年 12 月至次年 2 月为  $t_y$  年冬季, $t_y$  年 6~8 月为  $t_y$  年夏季。整理得到中国 160 站冬季气温( $t_y=1954\sim 1997$  年、 $t_y=1955\sim 1998$  年)和夏季降水( $t_y=1955\sim 1998$  年)序列;全球冬季( $t_y=1954\sim 1997$  年)和夏季( $t_y=1955\sim 1998$  年)海表温度序列。这些序列均化作距平(以“'”标记)及标准化距平(以“~'”标记)。

### 1.2 方法

#### (1) 周期分析

按文献[11],将单点距平序列  $z'(s, t_y)$ ,  $t_y=1\sim T_y$  ( $T_y=44$  为序列总长)作周期分析

$$z'(s, t_y) = \sum_{k=1}^{22} (a(s)_k \cos \frac{2\pi kt_y}{T_k} + b(s)_k \sin \frac{2\pi kt_y}{T_k}) \quad (1)$$

其中, $k=1\sim 5$  波(对应周期 44~8.8 年)为慢变波,其全体构成年代际变化,以  $s$  标记; $k=6\sim 22$  波(对应周期 7.3~2 年)为快变波,其全体构成年际变化,以  $f$  标记。由此得到单点距平序列  $z'(s)$  和场序列  $Z'$  的分解式

$$z'(s) = z_s'(s) + z_f'(s) \quad Z' = Z_s' + Z_f' \quad (2)$$

为判断  $z'(s)$ 、 $Z'$  中慢、快变分量的显著性,文献[11]提出了一套方法。当  $T_y=44$  时,距平序列中  $z'(s)$ 、 $z_s'(s)$ 、 $z_f'(s)$  的自由度分别为 43、10、33。对单点序列构造  $F$  统

计量,  $F = (S_s/10)/(S_f/33)$ , 由此得到  $\alpha = 0.05$  时,  $F_\alpha(10, 33) = 2.14$ ; 若某一点  $F \geq 2.14$ , 则该点距平序列中, 年代际变化显著。类似地, 若某点  $F \leq 0.37$ , 则该点距平序列中, 年际变化显著<sup>[11]</sup>。对场序列也作了类似文献[11]的显著性检验。

## (2) 奇异值分解(SVD)方法及显著性检验

根据文献[12], 对标准化距平场时间序列  $SS T' \sim T'$  和  $SS T' \sim R'$  做 SVD 分析。用 Monte Carlo 方法<sup>[13]</sup>对第一模态模方拟合率  $\rho$  进行显著性检验; 检验步骤为: ①产生足够多的随机数, 用以构造随机序列  $z'_s(s)$ 、 $z'_f(s)$ ; ②用它们构造了 100 个慢、快变随机场序列  $Z'_s$ 、 $Z'_f$ , 模拟  $SS T'$  并分别与  $T'$ 、 $R'$  进行 SVD 分析; ③将得到的 100 个  $\rho$  作降序排列, 并将第 6 个大的  $\rho$  作为信度  $\alpha = 0.05$  的临界值  $\rho_c$ 。若实际 SVD 的  $\rho$  大于  $\rho_c$ , 则表示该模态通过了信度  $\alpha = 0.05$  的显著性检验。

## 2 年代际、年际变化的分离和方差分析

### 2.1 方差分析

文献[9]对分解式(2)给出两种参数, 一是  $\rho(\rho)$ , 是  $z'_s(z'_f)$  与  $z'$  的模方比, 它不计自由度; 二是  $\nu = (\rho/10)/(\rho_f/33)$  是按自由度均分的方差比, 即统计量  $F$ 。

由表 1, 冬、夏季  $SST'$  序列中, 全球海洋年代际、年际分量方差比约为  $1 \diamond 2$ , 年际变化占优势; 但按自由度(10, 33)均分的方差, 年代际分量明显占优势。

表 2 给出了通过  $F$  显著性检验场站点数  $N_s$ 、 $N_f$ , 据此从整个场年代际、年际变化是否占优的角度给出了检验; 结果表明, 全球海洋  $SST'$  的年代际变化整体上较年际变化显著。

### 2.2 年代际、年际变化显著区的空间分布

根据单点  $F$  值, 在信度  $\alpha = 0.05$  下, 得到了冬、夏季  $SST'$  年代际、年际变化显著区的地理分布。

由图 1, 全球海洋  $SST'$  中  $SST'_s$  显著区域面积远较  $SST'_f$  大, 主要分布在热带外海洋, 冬半球  $SST'_s$  更显著。 $SST'_f$  显著区常年存在于热带东太平洋, 范围冬季较夏季大; 另外, 冬季在澳洲以西的印度洋和南海及夏季东南太平洋也存在小块  $SST'_f$  显著区。

上述分析表明, 无论冬、夏季, 全球海洋  $SST'$  的年代际变化均较年际变化显著, 这与文献[11]对中国  $T'$ 、 $R'$  的分析结果相似; 故下面选择年代际分量间的相关联系 ( $SST'_s \sim T'_s$ 、 $R'_s$ ) 为研究对象。

表 1  $SST'$  年代际、年际分量的方差贡献 (%) 及其比率

季节	$\rho$	$\rho_f$	$\nu$
冬(12~2月)	32.9	67.1	1.62
夏(6~8月)	67.1	64.5	1.82

表 2  $\alpha = 0.05$  下  $SST'$  年代际、年际分量方差显著的站点数

季节	$N$	$N_s$	$N_f$
冬(12~2月)	3345	1218*	137
夏(6~8月)	3345	1520*	152

注:  $N$  为场总格点数,  $N_s$ 、 $N_f$  为慢、快变方差显著格点数; \* 表示通过二项分布检验, 场的方差显著。

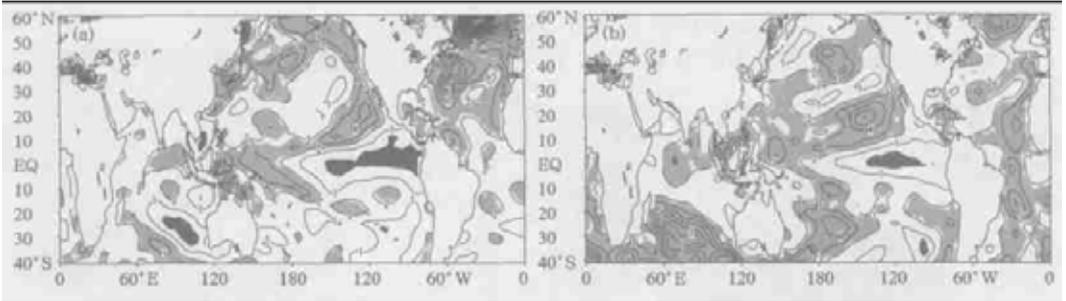


图1 全球海洋 SST'年代际、年际变化显著区的地理分布

(a) 冬季, (b) 夏季 (图中等值线间隔 1; 浅(深) 色阴影区分别为年代际(年际) 变化显著区)

### 3 年代际尺度同期相关分析

用 SVD 方法分析了海洋热异常与中国冬温夏雨的同期相关联系。使用了年代际分量标准化距平场序列  $SS T'$  和  $T'$ 、 $R'$  (下标  $s$  省略), 冬季取 1954~1997 年, 夏季取 1955~1998 年。

#### 3.1 参数分析

由表 3 可见, SVD 第一模态  $\rho$  均通过了信度为 0.05 的显著性检验; 冬季气温(简称冬温) 第一奇异向量对其标准化距平场序列的模方拟合率( $\beta$ ) 很大, 它远大于夏季降水(简称夏雨) 的相应参数, 这主要由气温异常的随机性远大于降水引起。而海洋要素的参数( $\alpha_1$ ) 冬、夏季变化甚小, 这表明  $SS T'$  季节变化甚小且与大气异常间有稳定的相关联系。

表 3  $SS T' \sim T'$ 、 $R'$  年代际分量同期 SVD 第一模态参数表

	$\rho$	$\rho_{\alpha=0.05}$	$\alpha_1$	$\beta$	$\gamma_1$
$SS T' \sim T'$	79.0*	65.5	25.6	62.3	0.84
$SS T' \sim R'$	29.3*	22.2	26.6	13.3	0.94

注: \* 表示  $\rho$  通过信度  $\alpha=0.05$  的 Monte Carlo 显著性检验。

#### 3.2 冬季 $SS T'$ 与 $T'$ 的 SVD 第一模态分析

图 2 为冬季  $SS T'$  和  $T'$  SVD 第一模态。它表明海温场与气温场年代际变化正相关显著, 当印度洋大部、副热带北大西洋海温异常偏高(偏低) 的年代, 中国冬温一致偏高(偏低), 尤以北部、东部明显。

时间系数表明, 近 50 年主要由一个低态(20 世纪 70 年代中期及以前)、一个过渡态(70 年代末到 80 年代中期) 和一个高态(80 年代后期起) 构成, 主要变化发生在 70 年代后期; 目前二者仍处于高态, 即全球  $SS T'$  及中国冬温仍以正异常为主的年代。

#### 3.3 夏季 $SS T'$ 与 $R'$ 的 SVD 第一模态分析

图 3 为夏季  $SS T'$  和  $R'$  SVD 第一模态。它表明在夏季海温偏高为主的年代, 中国降

水场主要特征为长江流域及华南降水偏多,黄河中下游偏少,南北反位相。

对应的时间系数演变特征与冬季  $SS T' \sim T'$  的时间系数演变特征基本相同。

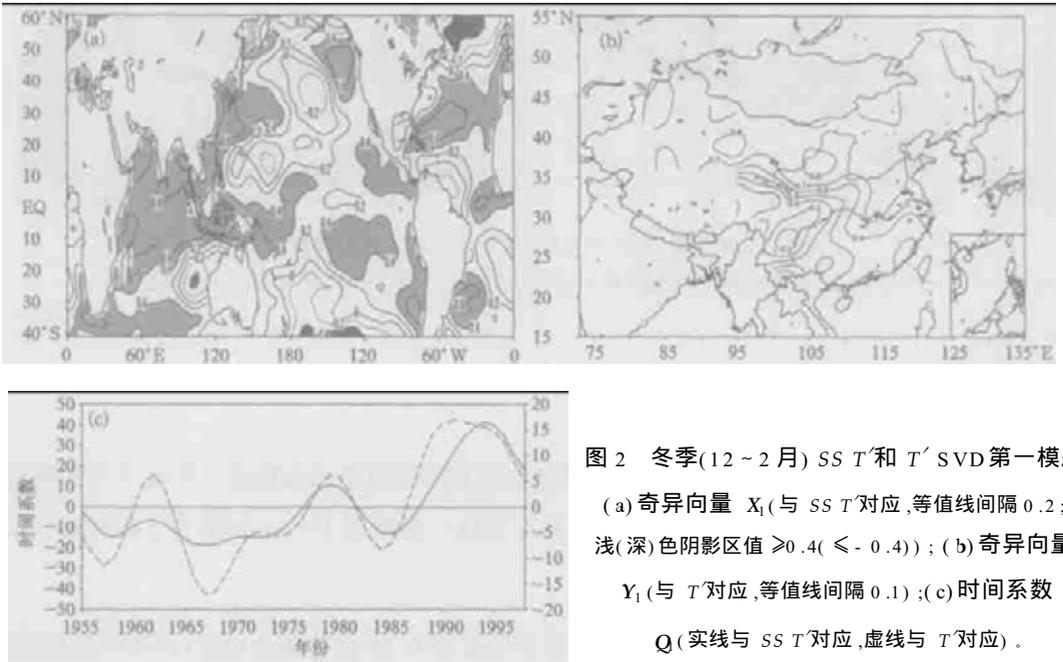


图2 冬季(12~2月)  $SS T'$ 和  $T'$  SVD第一模态  
(a) 奇异向量  $X_1$ (与  $SS T'$ 对应,等值线间隔0.2;浅(深)色阴影区值  $\geq 0.4$  ( $\leq -0.4$ ));(b) 奇异向量  $Y_1$ (与  $T'$ 对应,等值线间隔0.1);(c) 时间系数  $Q$ (实线与  $SS T'$ 对应,虚线与  $T'$ 对应)。

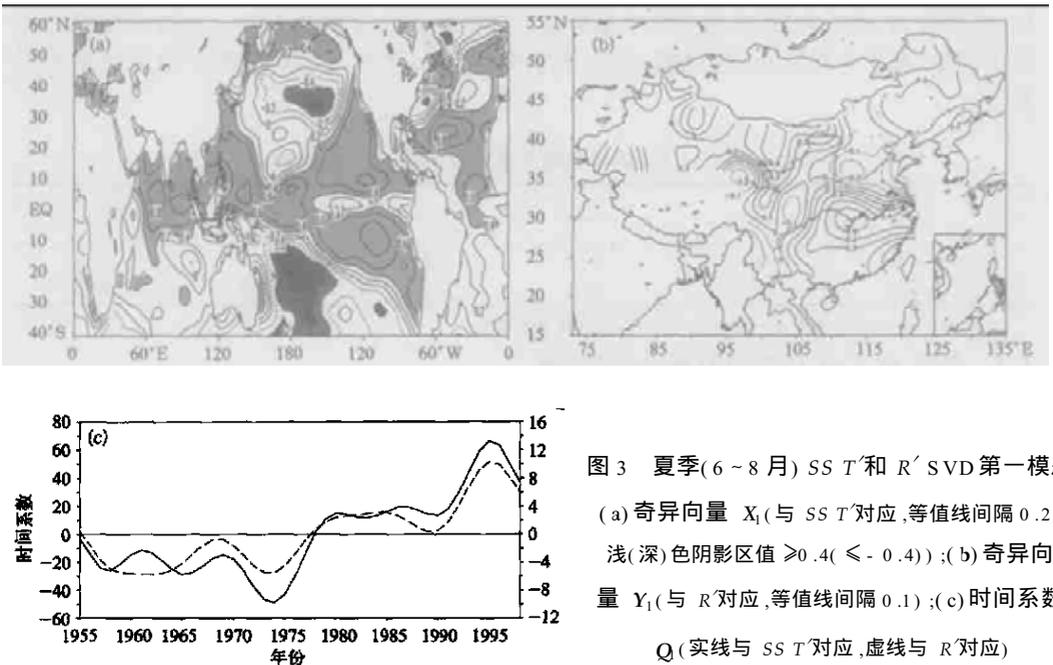


图3 夏季(6~8月)  $SS T'$ 和  $R'$  SVD第一模态  
(a) 奇异向量  $X_1$ (与  $SS T'$ 对应,等值线间隔0.2;浅(深)色阴影区值  $\geq 0.4$  ( $\leq -0.4$ ));(b) 奇异向量  $Y_1$ (与  $R'$ 对应,等值线间隔0.1);(c) 时间系数  $Q$ (实线与  $SS T'$ 对应,虚线与  $R'$ 对应)。

因此,在海表温度偏高的年代(20世纪70年代末以来),以我国北部、东部为主的大部分区域冬温偏高,以我国江淮流域及华南为主的区域夏雨偏多,而华北夏雨偏少。

#### 4 年代际尺度时滞相关分析

用SVD方法分析了海洋热异常与时滞半年的中国冬温夏雨的相关联系,使用了年代际分量标准化距平序列  $SS T'$ 、 $T'$  和  $R'$ (下标  $s$  省略)。要素搭配分别为:1955~1998年夏季  $SS T'$ 与1955~1998年冬季  $T'$ ;1954~1997年冬季  $SS T'$ 与1955~1998年夏季  $R'$ 。

##### 4.1 参数分析

由表4可见,全球  $SS T'$ 与时滞半年的中国冬温( $T'$ )、夏雨( $R'$ )的SVD第一模态  $\rho$  均是显著的。且参数的总体特征与  $SS T' \sim T'$ 、 $R'$ 的同时SVD分解结果(表3)有类似特点;这应与分析对象为慢变(年代际尺度)过程有关,半年时滞不足以引起年代际过程相关性的明显变化。

表4  $SS T' \sim T'$ 、 $R'$ 年代际分量时滞SVD第一模态参数表

	$\rho$	$\rho_c$	$a_1$	$\beta$	$\gamma_1$
$SS T' \sim T'$	82.2*	68.3	25.5	66.0	0.88
$SS T' \sim R'$	30.2*	22.2	28.7	12.7	0.93

注:\*表示  $\rho$  通过信度  $\alpha=0.05$  的 Monte Carlo 显著性检验。

##### 4.2 $SS T'$ 与 $T'$ 的时滞SVD第一模态分析

由图4a、b知,夏季  $SS T'$ 总体偏高的年代,中国冬季气温一致偏高(北方和东部为主)。前期  $SS T'$ 正距平区域包括大西洋大部、印度洋东北部、热带西太平洋和副热带东太平洋,而副热带中太平洋存在  $SS T'$ 负距平区。比较图2、图4,  $T'$ 对应的奇异向量  $\gamma_1$  变化很小,而  $SS T'$ 对应的  $x_1$  变化较大;这与  $SS T'$ 存在明显的季节变化有关。

时滞SVD给出的第一对奇异向量时间系数(图4c)具有与同期SVD相应时间系数(图2c)类似的演变。它们均可大致分为三个阶段:20世纪70年代中期及以前为负值阶段,70年代末至80年代中期为过渡阶段,80年代后期起为正值阶段。由图4a、b,在最后10年阶段,中国出现暖冬(北方和东部为主),这与实况一致。

图4给出的是时滞半年的关系,具有一定预报意义。

##### 4.3 $SS T'$ 与 $R'$ 的时滞SVD第一模态分析

由图5a、b知,它与  $SS T'$ 和  $R'$ 的同期SVD第一奇异向量(图3a、b)十分相似(图3a上赤道中东太平洋狭长带除外)。故冬季  $SS T'$ 总体偏高(热带太平洋、热带印度洋大范围  $SS T'$ 偏高,副热带太平洋、副热带印度洋明显偏低,但范围较小)的年代,降水异常的主要特征为,长江流域及华南降水偏多,华北降水偏少。

时滞SVD给出的第一对奇异向量时间系数(图5c)也具有与同期SVD相应的时间系

数(图 3c)类似的演变。以 20 世纪 70 年代后期为界的前、后两段分属于低、高态,后者有利于长江流域及华南出现洪涝,华北出现干旱。

类似于图 4,图 5 也具有预报意义。

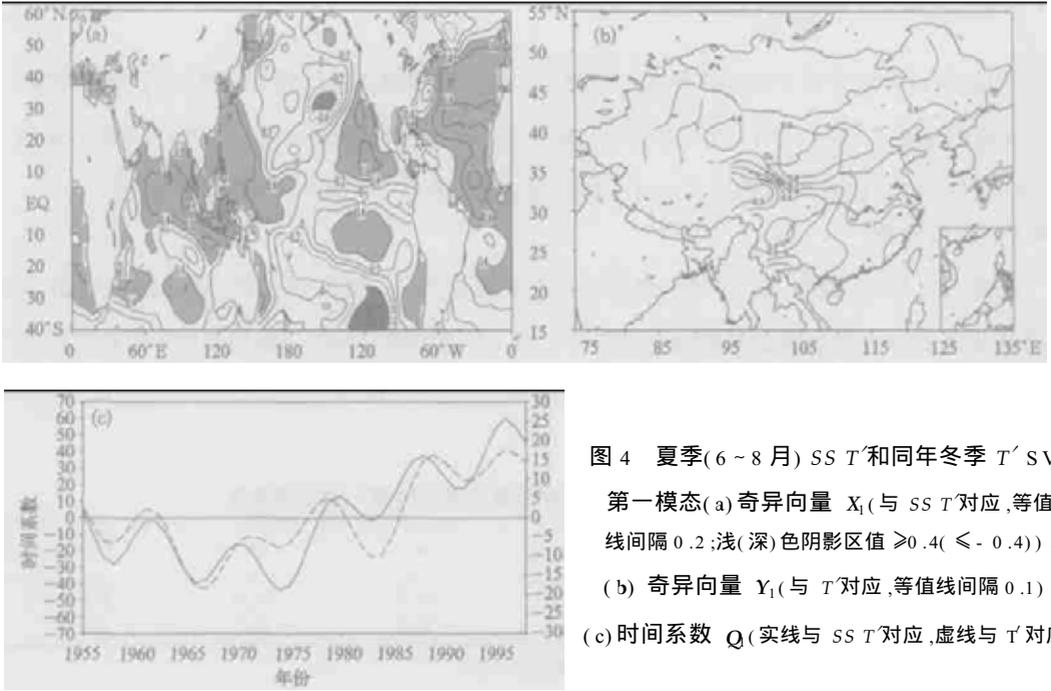


图 4 夏季(6~8月)SS T'和同年冬季 T' SVD 第一模态(a)奇异向量  $X_1$ (与 SS T'对应,等值线间隔 0.2;浅(深)色阴影区值  $\geq 0.4$  ( $\leq -0.4$ )), (b) 奇异向量  $Y_1$ (与 T'对应,等值线间隔 0.1), (c) 时间系数  $Q$ (实线与 SS T'对应,虚线与 T'对应)

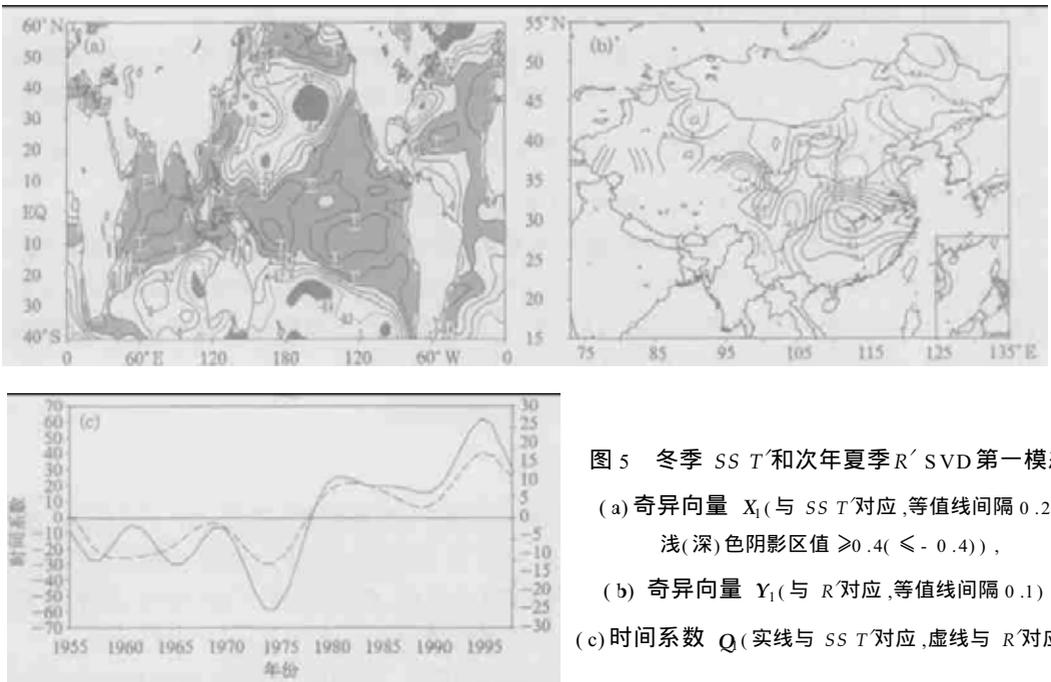


图 5 冬季 SS T'和次年夏季 R' SVD 第一模态 (a) 奇异向量  $X_1$ (与 SS T'对应,等值线间隔 0.2; 浅(深)色阴影区值  $\geq 0.4$  ( $\leq -0.4$ )), (b) 奇异向量  $Y_1$ (与 R'对应,等值线间隔 0.1), (c) 时间系数  $Q$ (实线与 SS T'对应,虚线与 R'对应)。

## 5 结 论

(1) 方差分析表明,无论冬、夏,全球海洋 SSTa 的方差构成中,年代际变化分量方差均较年际变化分量显著。

(2) 年代际 SSTa 与我国冬温、夏雨异常的同期 SVD 分解第一模态均是统计显著的。海洋 SSTa 年代际分量正异常占优势的年代(20 世纪 80 年代后期以来),我国(以北方和东部为主)易出现一致的冬温正异常,长江流域、华南夏雨易出现正异常,而华北夏雨易出现负异常;反之亦然。

(3) 类似于(2)的时滞 SVD 分解也得到了统计显著的、与(2)相似的第一模态,它具有一定的预报我国冬温、夏雨异常的意义。

关于全球 SSTa 与我国冬温、夏雨年际异常分量关系的讨论将涉及 ENSO 对我国气候异常影响的定量估计,结论在另文给出。

## 参 考 文 献

- 1 Nitta T, Yamada S. Recent warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulations. *J Meteor Soc Jap*, 1989, **67**: 75 ~ 383.
- 2 Trenberth K E. Recent observal interdecadal climate change in the Northern Hemisphere. *Bull Am Meteor Soc*, 1990, **71**: 988 ~ 993.
- 3 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.
- 4 Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO-like interdecadal variability: 1900 - 1993. *J Climate*, 1997, **10**(5): 1004 ~ 1020.
- 5 Bin Wang. Interdecadal changes in El Nino onset in the last four decades. *J Climate*, 1995, **8**: 267 ~ 285.
- 6 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝分布和成因研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1992.
- 7 王绍武. 近百年气候变化和变率的诊断研究. *气象学报*, 1994, **52**(3): 261 ~ 273.
- 8 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系. *应用气象学报*, 1994, **5**(2): 218 ~ 225.
- 9 李峰, 何金海. 太平洋区域 SST 跃变及其与东亚夏季风的关系. *气象科学*, 2001, **21**(1): 29 ~ 35.
- 10 Li Liping, Wang Panxing, Li Hong. Interdecadal and interannual variabilities of air and sea and their relations over the Pacific. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, **18**(2): 227 ~ 244.
- 11 周晓霞, 王盘兴, 覃军, 等. 我国季气温降水的相关及其与年代际、年际变化的关系. *气象学报*待发表.
- 12 王盘兴, 周伟灿, 王欣, 等. 赤道太平洋区域风应力与海表温度年际异常的奇异值分解. *应用气象学报*, 1998, **9**(3): 265 ~ 282.
- 13 施能. 气候诊断研究中 SVD 显著性检验的方法. *气象科技*, 1996, **4**: 5 ~ 6.

## VARIANCE OF INTERDECADAL COMPONENT OF GLOBAL SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALY AND THE CORRELATIONS TO THE CLIMATE OF CHINA

Zhou Xiaoxia<sup>1)</sup> Wang Panxing<sup>1)</sup> Zhu Changhan<sup>2)</sup> Qin Jun<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ( *Department of Atmospheric Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044* )

<sup>2)</sup> ( *National Climate Center, Beijing 100081* )

### Abstract

The interdecadal and interannual components of global sea surface temperature anomaly (SSTA) were obtained by periodical analysis, and their significant variations over different areas of global sea and seasonal change were displayed by variance analysis. Then using singular value decomposition (SVD), the simultaneous and time-lag correlations of interdecadal sea surface anomaly and winter temperature/summer rainfall of China were investigated. Results show that the interdecadal SSTA is more evident than the interannual one both in winter and summer, and positive SSTA is usually associated with positive winter temperature anomaly in North China and positive rainfall anomaly in the Changjiang valley and South China, but negative rainfall anomaly in North China, and *vice versa*.

**Key words:** Global sea surface temperature anomaly Anomaly of winter temperature/summer rainfall of China Interdecadal variation Simultaneous and time-lag correlations