

基于2013年8月中国中东部地区持续高温的延伸期稳定分量提取及改进研究

曾宇星 叶天舒 王阔 申茜

Stable components in extended-range forecasting during the continuous high temperature event in August 2013 over the mid-eastern China

Zeng Yu-Xing Ye Tian-Shu Wang Kuo Shen Qian

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 049203 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.049203

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.049203>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I4>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于长程相关性特征的北京气候中心气候系统模式对中国气温的模拟性能评估

Performance evaluation of Chinese air temperature simulated by Beijing Climate Center Climate System Model on the basis of the long-range correlation

物理学报.2014, 63(20): 209201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.209201>

中国东北区域盛夏雨季的客观识别

Objective identification study of midsummer rainy season in the northeast China

物理学报.2014, 63(20): 209202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.209202>

20世纪90年代末东亚夏季降水年代际变化及其成因初探

Interdecadal variation of precipitation pattern and preliminary studies during the summer of late-1990s in East Asia

物理学报.2014, 63(20): 209204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.209204>

2013年长江下游降水低频分量延伸期预报的扩展复数自回归模型

Extended complex autoregressive model of low-frequency rainfalls over the lower reaches of Yangtze river valley for extended range forecast in 2013

物理学报.2014, 63(19): 199202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.199202>

全球风场构建涡度、散度的新方法

A new method for calculating vorticity and Divergence using global wind field

物理学报.2014, 63(17): 179201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.179201>

基于2013年8月中国中东部地区持续高温的 延伸期稳定分量提取及改进研究*

曾宇星[†] 叶天舒 王阔 申茜

(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

(2014年7月11日收到; 2014年9月24日收到修改稿)

基于2013年8月中国中东部地区持续高温及其减弱过程, 利用美国国家环境预报中心/美国国家大气研究中心逐日平均的500 hPa高度场、风场再分析资料和美国国家海洋和大气管理局的海温重建扩展资料进行分析, 通过前期海温强迫相似年的选取方法以及带通滤波和经验正交函数分解等方法提取出10—30 d的稳定分量, 并通过对稳定分量的诊断分析探究了这次持续高温及其减弱过程的维持机制. 研究发现: 通过选取与个例前期海温强迫最相似的30年来代替常规的气候态30年(1981—2010年), 所提取的气候态稳定分量所占的比重变化不大, 稍有减弱, 而异常型稳定分量占的比重显著提高, 且其所刻画的影响异常事件的天气系统强度及稳定性明显提高, 能够更加清晰地显示延伸期天气过程的维持机制. 这表明在提取稳定分量时考虑前期的海温强迫作用是非常有必要的. 同时, 通过对延伸期稳定分量的分析, 表明此次持续高温及减退过程主要受到北极涛动、亚洲大陆中高纬纬向环流形势和西太平洋副热带高压(西太副高)强度、位置的共同影响.

关键词: 海洋强迫, 相似年, 气候态稳定分量, 异常型稳定分量

PACS: 92.60.Wc, 91.30.Pd

DOI: 10.7498/aps.64.049203

1 引言

极端天气和异常气候事件, 比如洪涝、干旱、高温热浪和低温冻雨等, 对社会经济和人们的生产、生活有着重要的影响, 因此公众格外希望获得对它们的准确预报. 而随着经济发展和人们活动范围的扩大, 短期预报已不能满足社会需求, 迫切需要中期、延伸期的极端天气预报^[1].

众所周知, 大气系统是一个非常复杂的强迫耗散的非线性系统, Lorenz^[2–4]最早的相关研究认为逐日天气预报的可预报时限一般不超过两周. 但随着研究的深入, 已有许多的观测与理论研究表明, 大气中还存在10—20 d的准双周振荡以及30—60 d的季节内振荡, 这些都能为延伸期预测提供可用的信息, 并对持续性异常事件的预报有重要

的影响^[5–7]. 丑纪范等^[8–10]指出, 在10—30 d的时间尺度内大气系统仍然存在着可预报分量, 并根据数值模式的模拟结果, 基于同一时段不同气象场的特征具有不同的可预报性, 详细阐述了提取可预报分量的方法和可预报度的定义, 提出在10—30 d延伸期时间尺度内, 将气象场一分为二: 数值模式的状态变量 = 可预报的稳定分量 + 不可预报的混沌分量, 然后针对大气系统的可预报分量和混沌分量采用不同的策略和方法进行延伸期预报. 在相同的初始特征和外源强迫特征条件下, 时空尺度较大的系统具有较大的可预报性. 对于不同时空尺度的大气或气候预测来说, 应针对其稳定分量特别加以研究, 抓住其稳定分量的主要特点可以提高对系统的认识和预测水平. 封国林等^[11]在此基础上, 对2009年2月中东部持续阴雨过程的稳定分量进行提取分析, 发现气候态稳定分量主要解释

* 国家重点基础研究发展计划(批准号: 2013CB430204)、国家自然科学基金(批准号: 41375078)和国家自然科学基金青年科学基金(批准号: 41305100, 41105055)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: z275525111@126.com

气候平均信息对延伸期天气过程的影响,而异常型稳定分量则侧重体现了持续性阴雨过程的“异常”特征.王阔等^[12,13]通过计算贡献率和相似判定方法,进一步合理地划分出气候态稳定分量和异常型稳定分量,还通过比较2010年冬季和2011年冬季实况大气与气候背景场变异系数分布结果,得出了10—30 d延伸期稳定分量提取出的气候背景场比实际大气具有更好的可预报性的结论.王启光等^[14]进一步在此基础上,借鉴了条件非线性最优扰动相关算法,形成了在数值模式中提取可预报分量的实用方法和预报技术,有效提高10—30 d延伸期数值模式大气环流场的预报技巧.

但之前利用历史资料提取稳定分量的方法均以1981—2010年的平均值为气候态背景场,这样做虽然能够大幅减少较短时间尺度自然变率的影响,从而凸显气候态的变化,即所谓气候变化.但近十年来全球气温上升幅度趋缓,赤道中东太平洋地区海温变冷,拉尼娜事件变多,表明在这个气候态内可能发生了年代际转折.所以,为了更加客观地选取气候态,还需要考虑到前期海洋的强迫作用.本文在封国林等^[11]和王阔等^[12]提取10—30 d延伸期稳定分量方法的基础上,针对2013年8月我国中东部地区的持续高温天气的维持和衰减这一个例过程,进一步考虑了前期海洋强迫(针对这一事件的)的影响,寻找对个例事件影响最大的前期关键海区.选取历史上与这次海温强迫最相似的30年来表示气候平均情况,并与没有经过相似年选取的方法检验改进对比,试图更加客观地刻画延伸期稳定分量,寻找在这一时期内稳定存在的超过天气尺度的系统,正确把握此次事件的演变规律,并为延伸期预测提供参考.

2 资料和方法

2.1 资料

本文采用的资料:美国国家环境预报中心/美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)1948年1月1日至2013年9月31日的逐日平均高度场以及风场再分析资料,以及1948—2013年月平均的高度场再分析资料,主要用到的层次是850, 500和200 hPa,分辨率均为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;还有美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的海水表面温度(SST)扩展重建资料(NOAA extended reconstructed SST V3b),水平网格距为 $2.0^\circ \times 2.0^\circ$,选取的时段为1948年1

月到2013年9月.

中国气象局国家气候中心整理的1951年1月—2013年12月的160站月平均气温资料以及国家气象信息中心研制的中国地面气候资料日值数据集(V3.0) 1951年1月1日—2013年9月31日的824站逐日平均气温资料.

2.2 方法

本文主要采用了经验正交函数 EOF 分解的方法^[15],其基本思想是把气象要素场分解为具有典型分布意义的空间特征向量场和对应时间权重系数的线性组合.空间特征向量表征某一气候变量场的变率分布结构,其空间分布形式代表了该变量场的主体分布结构,时间系数反映空间分布形式与某时间点的实际分布形式相似或相反的程度.并用 Butterworth 带通滤波器进行10—60 d带通滤波处理,此外还应用了相关分析、合成分析等气象统计常用的方法对结果进行显著性检验.

穆穆等^[16]已经给出了稳定分量和混沌分量的确切含义.当给定初始场 X_0 和外源强迫 F 的情况下,空间尺度为 D (这里 D 为三维尺度)、时间尺度为 T 的气候可预报性时间 T_p 满足如下函数关系:

$$T_p = T_p(D \times T; X_0, F). \quad (1)$$

在相同初始特征和相同外源强迫特征条件下,对于特定的预报时间 T_p ,对应一个临界尺度 D 满足(1)式.而系统的稳定分量是这样的一些分量,其时空尺度为 $(D_i \times T)$,满足

$$D \leq D_i, \quad T_p \leq T_p(D_i \times T; X_0, F); \quad (2)$$

而系统的混沌分量是尺度为 $(D_i \times T)$ 的那些分量,它们满足

$$D_i \leq D, \quad T_p(D_i \times T; X_0, F) \leq T_p. \quad (3)$$

以上表明,对于特定的预测时间尺度而言,系统的可预报的部分称为稳定分量,而不可预报的部分为混沌分量.对于不同时空尺度的大气或气候预测来说,应针对其稳定分量特别加以研究,抓住其稳定分量的主要特点可以提高对系统的认识和预测水平.

而封国林等^[11]在穆穆给出的稳定分量与混沌分量定义的基础上,对稳定分量做进一步处理:

$$(D_i \times T) = (\overline{D_i \times T}) + (D_i \times T)', \quad (4)$$

其中, $(D_i \times T)$ (时空尺度为 $(D_i \times T)$ 的分量,简记为 $(D_i \times T)$,以下类同)代表10—30 d延伸期的稳

定分量; $(\overline{D_i \times T})$ 代表多年气候平均的稳定分量; $(D_i \times T)'$ 为距平扰动稳定分量. 10—30 d 延伸期的稳定分量可以看作多年气候平均的稳定分量加上一个距平扰动稳定分量构成; $(\overline{D_i \times T})$ 主要体现 10—30 d 延伸期的稳定分量中所包含的气候信息, 利用该部分分量可以解释个例中气候平均的影响; $(D_i \times T)'$ 可以解释持续性异常过程中体现的“异常”稳定分量信息. 故将 $(\overline{D_i \times T})$ 称为 10—30 d 延伸期气候态稳定分量, $(D_i \times T)'$ 称为 10—30 d 延伸期异常型稳定分量.

3 2013 年 8 月我国中东部高温天气过程特征

2013 年 7, 8 月, 我国沪浙赣湘渝黔苏鄂 8 省(市) 平均高温日数较常年同期多出一倍以上, 为 1951 年以来最多. 有 477 站次日最高气温突破历史极值, 为历史同期最多. 同时, 这 8 省(市) 平均降水量仅为 99.2 mm, 较常年同期偏少 55.4%, 为 1951 年以来历史同期最少, 浙江、安徽、湖南和贵州降水量均为 1951 年以来最少. 此次高温天气持续时间极长, 从 7 月一直持续到 8 月下旬, 且在 8 月中上旬到达极盛状态, 之后气温开始回落^[17]. 从图 1 可以明显地看到全国气温一致偏高, 正异常超过 2 °C 的区域集中在我国中东部地区的黄淮与江淮流域. 所以本文主要针对我国中东部地区 8 月的极端高温天气的演变情况, 从 10—30 d 延伸期预报的角度, 通过考虑此次事件前期海洋强迫作用的影响, 提取 10—30 d 延伸期稳定分量来解读此次天气过程.

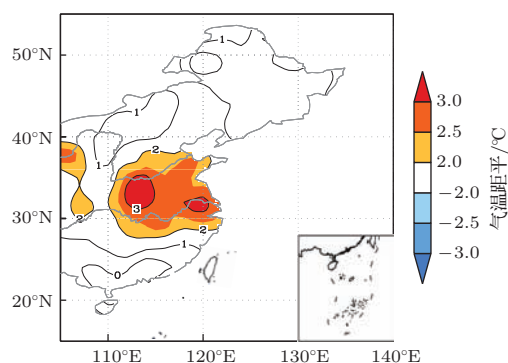


图 1 (网刊彩色) 2013 年 8 月我国东部地区气温距平分布

选取图 1 中气温距平大于 2 °C 的连续区域中的站点为代表站点 (一共 30 个站点) 用于分析此次过程的日变化情况. 由图 2(a) 可见, 我国中东部地区 2013 年 8 月份平均气温较常年偏高 2.5 °C

以上, 为 1951 年以来 8 月平均温度最高的一年^[18]. 图 2(b) 为此次高温天气的发展过程, 进入 8 月后这一地区气温持续攀高, 在 8 月 6 日达到最大值 (高于常年 5 °C 以上) 并维持了 6 d 左右, 之后开始逐步回落, 到了 8 月中旬后高温天气回落速度加快, 于 8 月下旬基本上回到了常年平均水平.

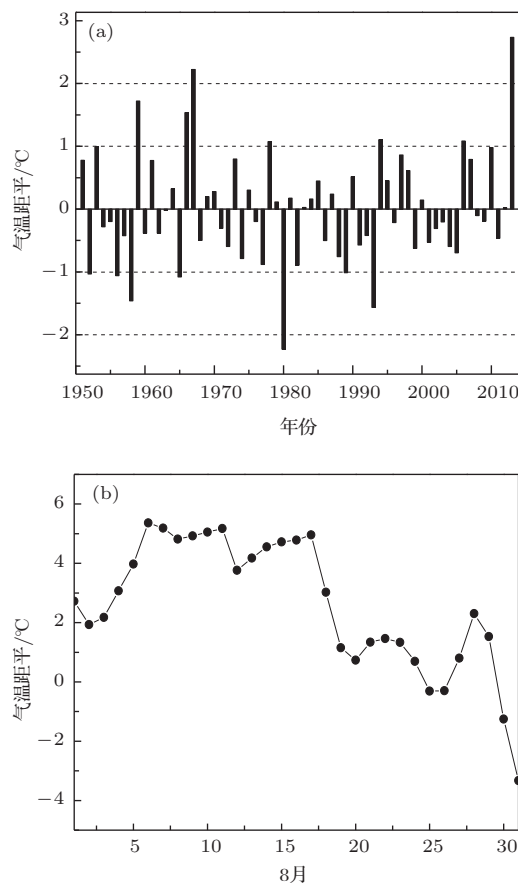


图 2 (a) 1951 年 8 月到 2013 年 8 月我国中东部地区 30 站平均气温距平; (b) 2013 年 8 月逐日气温距平演变

图 3 给出了 2013 年 8 月北半球环流形势. 由图 3 可见, 8 月极地高纬地区高度场为负距平控制, 而中纬度地区基本上为强的正距平所控制, 即北极涛动 (AO) 呈正位相, 中高纬以纬向环流为主, 冷空气不易南下. 西太平洋副热带高压 (5880 实线) 较常年 (5880 虚线, 即 1981—2010 年平均) 偏西偏强, 我国中东部地区受其影响气温明显偏高, 降水偏少. 而 2012/2013 年冬季, 太平洋年代际振荡处于弱的冷相位时期, 中纬度北太平洋区域海温正异常, 而赤道中东太平洋区域为海温负异常 (图 4). 而赤道中东太平洋区域的负异常强度较弱, -0.5 °C 以上的异常趋势仅持续了两个月 (2013 年 1, 2 月), 虽然没有达到一次拉尼娜事件的标准, 但负异常的趋势一直延续到夏季. 而丁一汇^[19]指出, 冷海水会向

西扩散至西太平洋的东部地区,当较冷的海水由东向西流至副高外围时,就会与副高东侧边缘的东北风相遇.由于东风是偏冷且比较干燥的,这样就会使海洋表层海水被大量蒸发,进而使海温下降.当

海温降低后,海洋表层空气难以受热膨胀上升,空气对流受到抑制,这样大气的密度会持续增加,高气压则因此不断增强并在原地维持,不会远离中国大陆向东撤退.

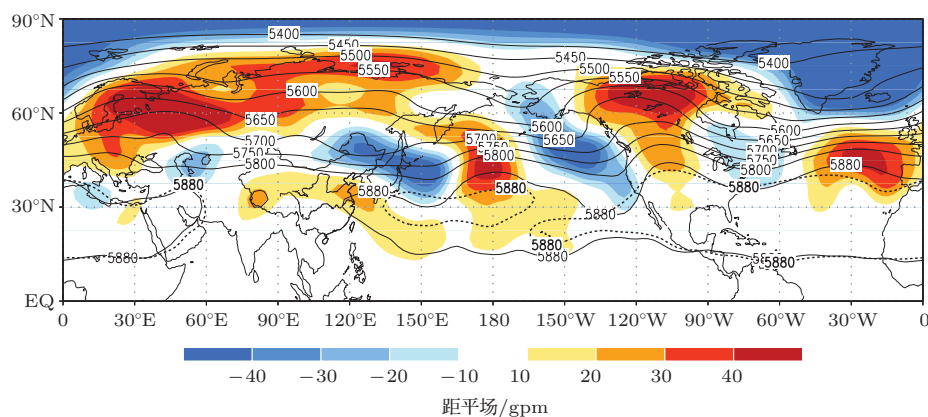


图3 (网刊彩色) 2013年8月北半球500 hPa位势高度(等值线)及其距平场(阴影),虚线为气候态的5880 gpm等值线

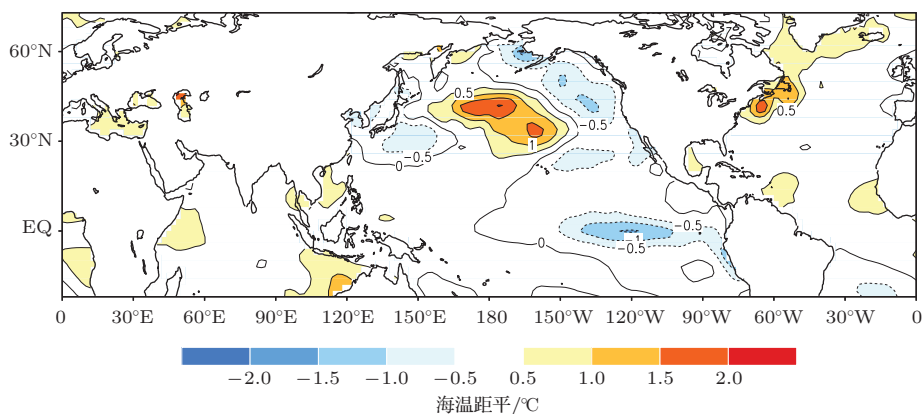


图4 (网刊彩色) 2012/2013年冬季海温距平分布

4 2013年8月环流的10—30 d稳定分量分析

4.1 改进后的500 hPa高度场稳定分量分析

在前人的研究方法^[11-13]的基础上,首先要确定影响此次连续降水事件的前期海洋关键区域.计算所选取的代表站点1951年—2013年8月份的月平均气温与同年8月到前一年9月的全球海温的相关系数,发现虽然在同期8月我国近海海域相关很高但持续性不好,而与前一年9月到12月的赤道中太平洋海域(nino 4区: 5°N—5°S, 160°E—150°W)有着持续性很好的正相关(图5).通过计算63年的

8月平均气温与nino4区海温的滞后相关,发现当我国中东部地区8月平均气温滞后nino4区海温10个月时,相关到达最大值为0.3(图6),且通过了信度为0.05的统计检验.因此选取个例前一年10月的nino4区海温指数为前期海洋强迫关键海区的海温指数.

对比个例前一年即2012年10月的nino4区海温指数与1948年—2011年10月的nino4区海温指数,定义两者之差的绝对值最小的30年为前期海温强迫相似年,之后对这30年中次年8月份30 d逐日的500 hPa高度场资料进行滤波,得到10—30 d时间尺度的分量,再用EOF分解的方法提取出气候态的基底.在此基础上同样将个例2013年8月(仅选取8月份的前30 d,忽略第31 d)的逐日500 hPa高度场资料进行滤波并逐日投影到气候态基底上,

计算各个基底贡献率的大小, 按照从大到小排序, 选取排序在前20位且持续时间大于两周的作为10—30 d稳定分量. 最后通过相似系数判定划分气候态稳定分量与异常型稳定分量. 即首先需要针对某一事件选择影响最显著的外强迫源, 具体流程如图7所示(方法一). 针对此次事件所选取的相似年

分别是: 1951, 1957, 1958, 1963, 1965, 1966, 1968, 1969, 1972, 1976, 1977, 1979, 1980, 1982, 1986, 1987, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1997, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2009和2011年, 可以看到常规气候态30年在所选的年份中只占到了一半的比重.

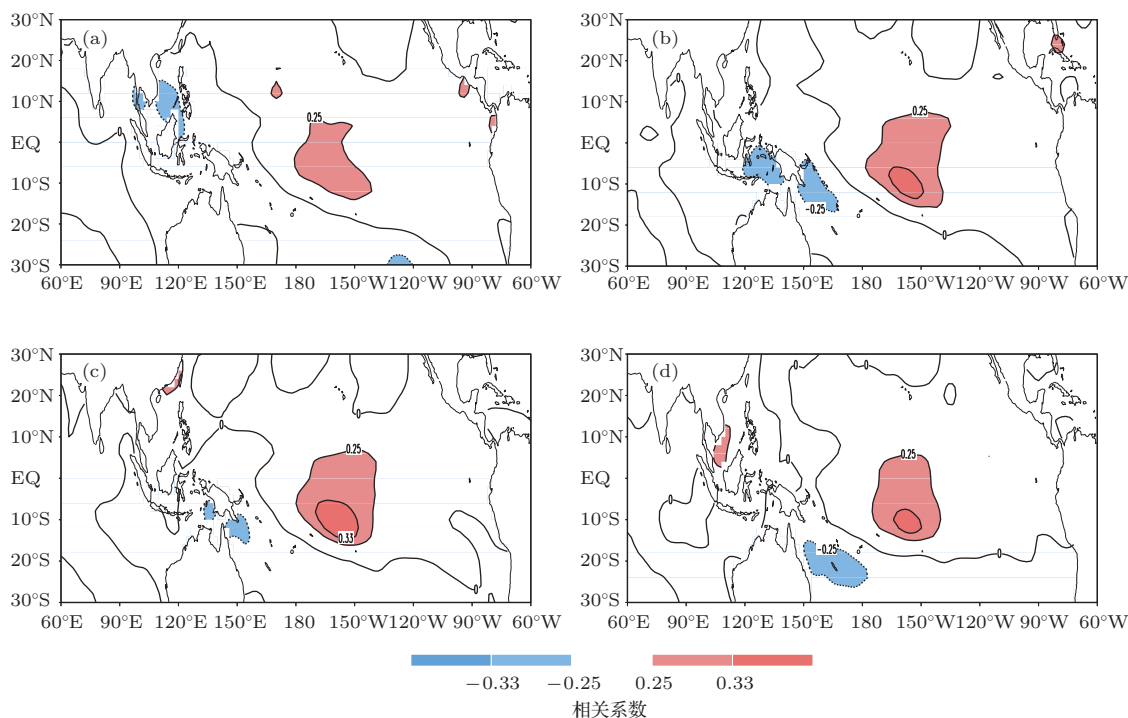


图5 (网刊彩色) 8月份我国中东部地区平均气温与前一年(a) 9月, (b) 10月, (c) 11月以及(d) 12月低纬地区海温场的相关系数分布(相关系数大于0.25时, 通过了信度为0.05的统计检验; 相关系数大于0.33时, 通过了信度为0.01的统计检验)

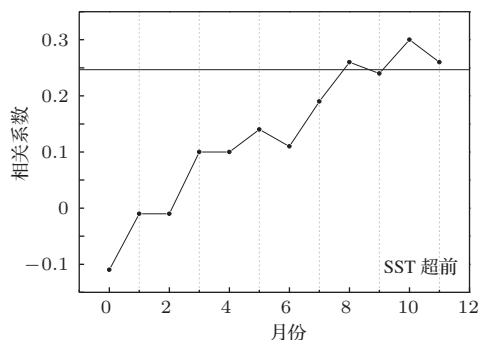


图6 Niño-4区海温超前我国中东部地区8月平均气温0到11个月的相关系数(黑横线: 信度为0.05的统计检验)

因为直接对要素场进行处理的信息主要集中在前面一部分所占比重大空间特征向量基底上, 随着EOF分量序号数的增大, 可预报性依次减小^[20], 所以可以截取前面 p 个向量来近似表征总体场的变化情况. 而稳定分量的选取过程中, 我们选择30 d中平均贡献率排序在前20位且持续时间达到或者超过15 d的分量, 即在这次事件中贡献较

大、持续时间较长的分量定义为10—30 d稳定分量. 选取的稳定分量对应的模态分别为: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 19, 24一共14个.

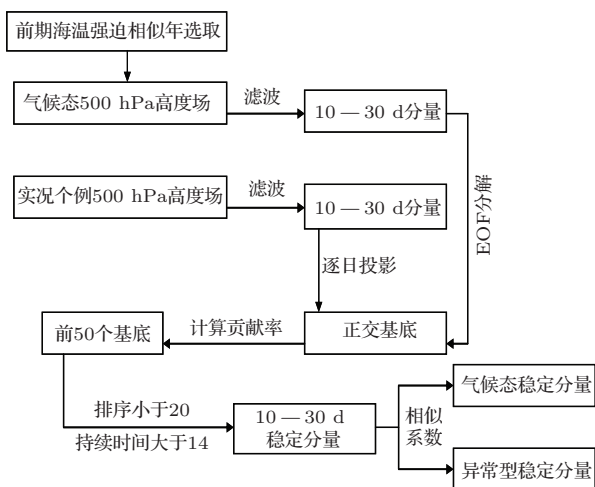


图7 10—30 d延伸期稳定分量提取流程

对于某一个例而言, 10—30 d 稳定分量既有产生和维持的气候态背景, 又有针对异常型产生相对异常的环流形势. 如何区分气候态稳定分量和异常型稳定分量需要引入一个阈值 Y , 当两次 EOF 分解得到的同一序号的基底在气候态和个例中对应的贡献率排序序号相差绝对值小于 Y 的个例中的稳定分量定义为 10—30 d 延伸期气候态稳定分量; EOF 中同一序号的模态在气候态和个例中对应的贡献率排序序号相差绝对值大于或等于 Y 的个例中的稳定分量定义为 10—30 d 延伸期异常型稳定分量. 而对阈值 Y 的选取, 需要用到相似系数^[21], 具体计算公式^[15]如下:

$$\cos \theta = \sum_{i=1}^m x_i y_i / \left(\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2} \right), \quad (5)$$

其中, $\cos \theta$ 是两幅图相似程度的定量指标; m 为格点数; x_i 和 y_i 分别是第 i 个格点在不同分布图中的要素值. 相似系数的取值范围在 -1 到 1 之间, 当相似系数等于 $1(-1)$ 时, 表明两幅图中各站点要素值的分布情况完全相同(相反), 并且正值越接近于 1 , 相似程度越高, 负值越接近 -1 , 则差异性越大; 相似系数等于 0 时表示两幅图完全不相似.

利用得到的个例 30 d 稳定分量与历史平均的 30 d 稳定分量求相似系数 $\text{COR}(Y)$, 具体结果如表 1 所列.

由表 1 可知, 当阈值 $Y = 2$ 时, 相似系数达到最大值, 对应的气候态稳定分量和异常型稳定分量见表 2.

气候态稳定分量虽然仅有 4 个基底对应, 但对总方差的贡献率为 50.83%; 而异常型稳定对应着 10 个基底, 对总方差的贡献率则达到了 31.06%, 还包括第 4、第 5 这两个原始排序靠前但方差贡献较

小的基底, 可见虽然异常型稳定分量对总方差所贡献的比重低于气候态稳定分量, 但此次极端高温天气过程中异常型稳定分量的影响同样重要.

从图 2(b) 可以看出, 此次高温过程在 8 月上旬达到最强, 并在进入中旬后逐步回落, 于下旬末回到常年平均水平. 所以将 8 月的异常型稳定分量分为这三个时间段来分析, 图 8(a)—(f) 分别为 8 月份第一候到第六候的个例过程中北半球 500 hPa 高度场的异常型稳定分量的空间分布图. 由图 8(a), (b) 可见, 8 月上旬在欧亚大陆的中高纬度地区基本上为正的高度距平所控制, 使得高纬地区的冷空气不易南下, 而我国黄淮流域以南的广大地区同样为正的高度距平, 表明西太平洋副热带高压比同期偏强且偏西, 在这种态势共同影响下造成了这一时期我国东部大部分地区气温偏高的情况^[22,23]; 而在 8 月中旬(图 8(c), (d)), 欧亚大陆的中高纬度地区的纬向环流形势减弱, 在第三候乌拉尔山以东以及贝加尔湖以西地区转变为负的高度距平, 在这两个区域之间形成一低槽一直延伸到我国长江流域, 易引导冷空气南下, 气温开始回落, 而到了第四候, 黄河以南的正距平开始向北扩展, 表明西太平洋副热带高压开始减弱并北抬, 这都使得我国中东部大范围的高温天气开始缓解; 而到了 8 月下旬第五候(图 8(e)), 一个正变压中心盘踞在我国北方地区向西一直延伸到里海, 阻止了冷空气的进一步南下, 气温变化趋于平缓; 在第六候(图 8(f)) 这个正变压中心向北发展, 使得气温有所回升, 但我国东北地区为负的高度距平中心, 表明东亚大槽偏强, 而我国东南部以及沿海地区也为负的高度距平, 说明西太平洋副热带高压已经东撤, 基本离开我国陆地, 造成我国中东部地区的气温进一步降低, 达到常年水平.

表 1 取不同阈值 Y 下的相似系数 $\text{COR}(Y)$

	Y							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{COR}(Y)$	0.105	-0.241	-0.235	-0.207	-0.201	-0.146	-0.148	-0.147

表 2 阈值 $Y = 2$ 时稳定分量的类型

	贡献排序										总贡献率%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
气候态	2	1	3	12							50.83
异常型	9	8	5	4	11	7	17	19	24	15	31.06

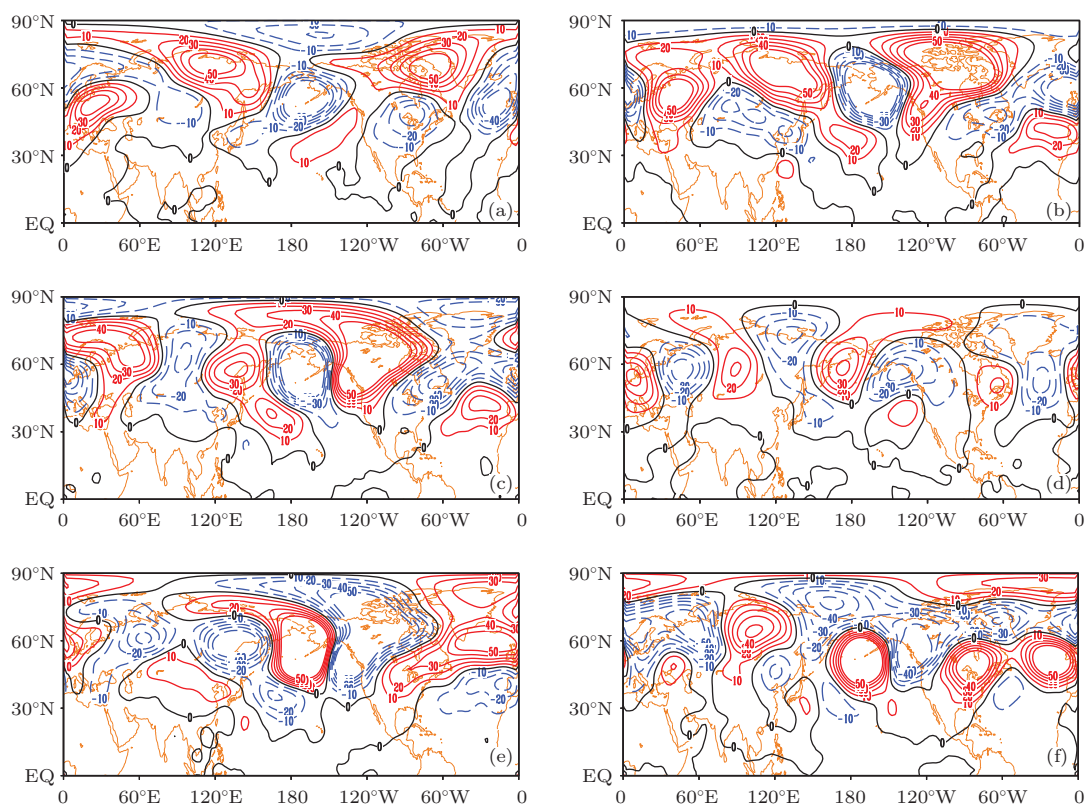


图8 利用方法一得到的8月北半球500 hPa 位势高度场异常型稳定分量的空间分布 (单位: gpm) (a) 第一候; (b) 第二候; (c) 第三候; (d) 第四候; (e) 第五候; (f) 第六候

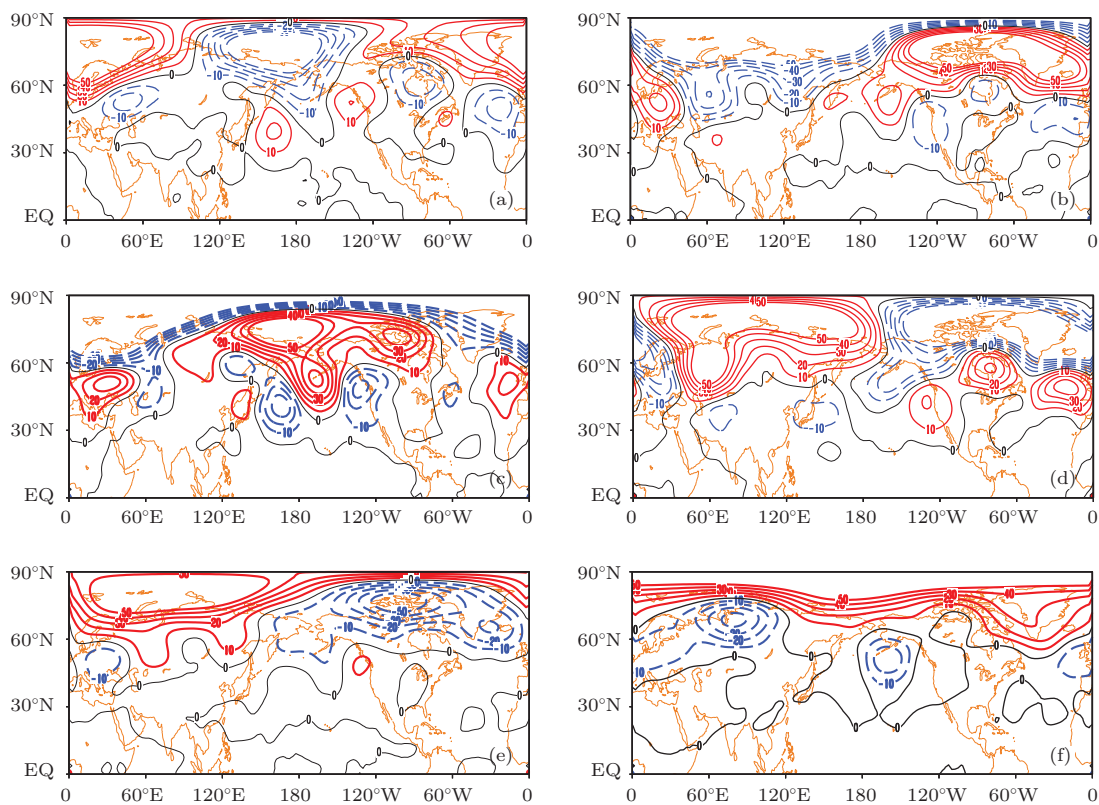


图9 利用方法一得到的8月北半球500 hPa 位势高度场气候态稳定分量的空间分布 (单位: gpm) (a) 第一候; (b) 第二候; (c) 第三候; (d) 第四候; (e) 第五候; (f) 第六候

对 850 和 200 hPa 两个层次重复上述稳定分量的提取操作, 考察稳定分量在垂直方向上空间分布的立体层次特征. 850 hPa 位势高度场异常型稳定分量每候平均的空间分布 (图略) 和对流层中层 (500 hPa) 异常型稳定分量的空间分布较为一致, 8 月上旬中高纬以纬向环流为主, 西太平洋副热带高压偏强偏西, 而 8 月中下旬纬向环流形势逐渐崩溃, 经向环流开始发展, 西太平洋副热带高压也开始减弱北抬并东撤. 200 hPa 位势高度场上也有着类似的空间分布 (图略), 这说明异常型稳定分量有较强的正压结构.

从图 9 气候态稳定分量 8 月份的逐候分布可以看出: 在 8 月中上旬 (图 9(a)–(c)) 北半球中高纬度地区为极强的负距平所控制, AO 呈正相位态势, 而亚洲大陆大部分地区为正距平, 此种纬向分布态势不利于冷空气的南下; 而到了 8 月中下旬 (图 9(d)–(f)), 极地地区转为正距平, AO 表现为负相位, 中纬度地区为大范围的负距平, 环流呈现

径向分布特征, 从而有利于冷空气南下的态势.

4.2 不同变量场稳定分量的配置

以同样的方法对 850 hPa 风场进行稳定分量提取, 以期通过不同要素场的配置进一步解答持续异常的演变. 从图 10 可以看出, 江淮流域与黄淮在 8 月上旬以南风距平 (图 10(a)) 以及西风距平 (图 10(b)) 为主, 中旬之后转为北风距平 (图 10(a)) 和东风距平 (图 10(b)), 冷空气开始南下, 气温下降, 进入下旬后纬向风又转变为西风距平, 但南北风距平都波动很小, 温度稍有变化.

图 11 为 8 月北半球 850 hPa 风场异常型稳定分量逐候的空间分布. 从图 11 可以看到, 在 8 月前两候 (图 11(a), (b)) 我国中东部地区以偏南风为主, 之后逐渐向偏北风转变 (图 11(c)–(f)), 均很好地对应了气温的演变形势, 且这一区域基本上没有冷暖气流交汇, 不利于降水过程的发生.

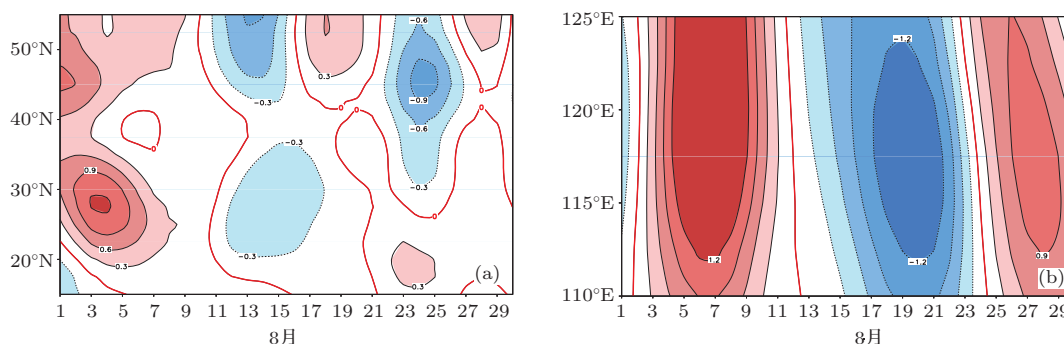


图 10 2013 年 8 月北半球 850 hPa 风场异常型稳定分量 V 分量经向平均与 U 分量纬向平均随时间的变化 (a) V 分量经向平均 (105°E—125°E) 随时间的变化; (b) U 分量纬向平均 (20°N—40°N) 随时间的变化

4.3 改进前的 500 hPa 高度场稳定分量分析

同样按图 7 的流程进行处理, 但不选取海温相似年, 对 1981—2010 年 30 年中 8 月份 30 d 逐日的 500 hPa 高度场资料进行滤波, 得到 10—30 d 时间尺度的分量, 再用 EOF 分解的方法提取出气候态的基底, 其余步骤不做改变 (方法二).

此种方法当阈值为 1 时相似系数达到最大, 对应的气候态稳定分量和异常型稳定分量划分情况见表 3. 得到的气候态稳定分量基底按贡献率从

大到小分别为 1, 2, 3, 5, 12, 对总方差的贡献率为 56.15%, 占到了一半以上; 而异常型稳定分量分别为 6, 13, 14, 10, 20, 8, 21, 18, 15, 7, 对总方差的贡献率为 21.08%. 气候态稳定分量对应的基底序号均在原始排序的前 15 位, 而异常型稳定分量除第 6、第 7 和第 8 三个原始排序靠前但方差贡献较小的基底外原始排序均在 15 位以后. 和方法一相比, 气候态稳定分量所占的比重有所增加, 而异常型稳定分量在此次个例事件中所占的比重减少了三分之一, 且持续性也不如改进之后 (方法一) 的明显.

表 3 方法二中阈值 $Y = 1$ 时稳定分量的类型

	贡献排序										总贡献率%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
气候态	1	2	3	5	12						56.15
异常型	6	13	14	10	20	8	21	18	15	7	21.08

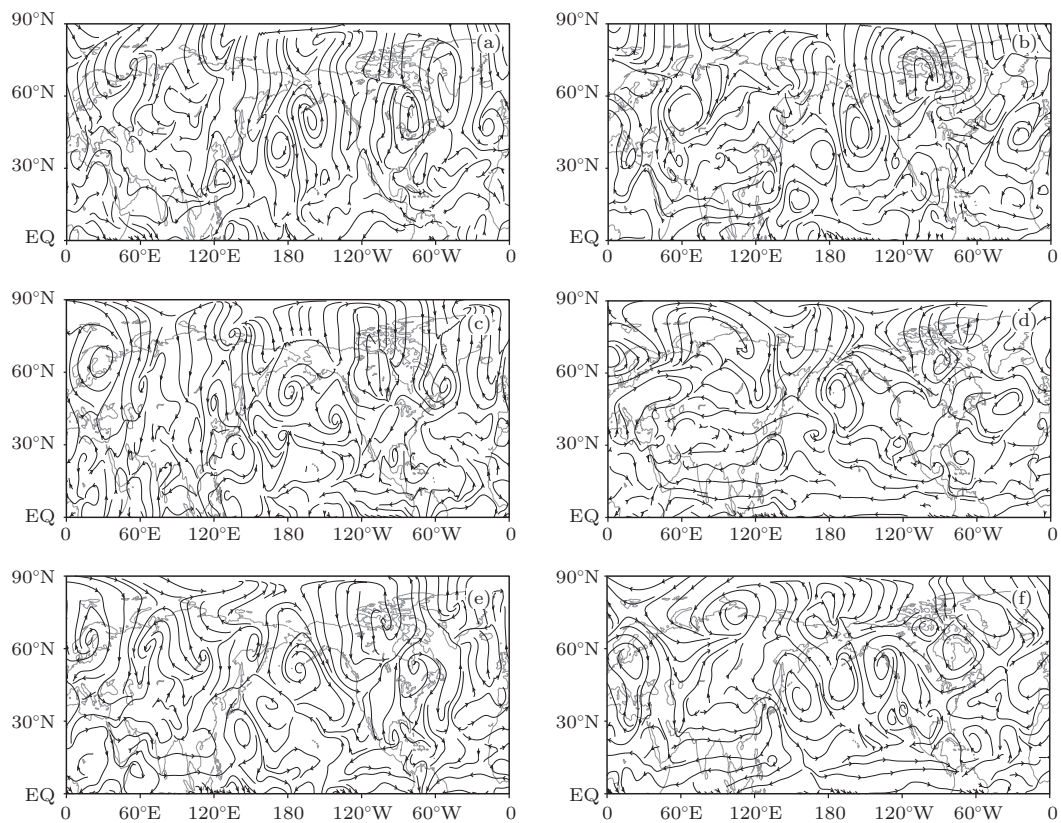


图 11 8 月北半球 850 hPa 风场异常型稳定分量的空间分布 (a) 第一候; (b) 第二候; (c) 第三候; (d) 第四候; (e) 第五候; (f) 第六候

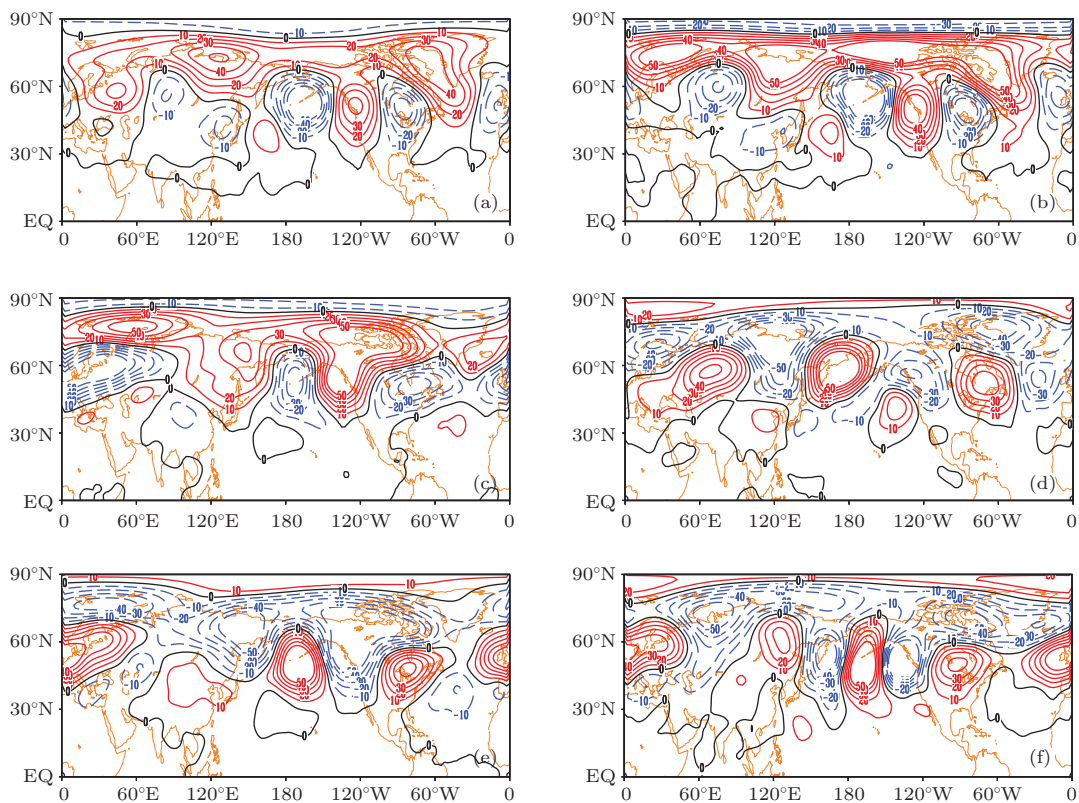


图 12 利用方法二得到的 8 月北半球 500 hPa 位势高度场异常型稳定分量的空间分布 (单位: gpm) (a) 第一候; (b) 第二候; (c) 第三候; (d) 第四候; (e) 第五候; (f) 第六候

图 12(a)–(f) 分别为利用改进前方法(方法二)得到的 8 月份逐候平均的个例过程中北半球 500 hPa 高度场异常型稳定分量空间分布. 可见, 在 8 月上旬(图 12(a), (b)) 欧亚大陆中高纬地区的正高度距平区域偏北, 乌拉尔山到贝加尔湖之间的地区为负高度距平所控制, 纬向环流形势不明显, 我国南方地区的正距平区域明显减小; 而在 8 月中旬(图 12(c), (d)), 西太平洋副热带高压没有表现出减弱的态势, 不能很好地说明我国中东部地区的气温开始回落; 8 月下旬(图 12(d), (f)) 全国绝大部分地区表现为弱的正距平, 不能很好地表现出气温回到常年水平. 850 hPa 与 200 hPa 高度层上表现出同样的特征(图略).

同样地, 采用方法二得到的 850 hPa 风场异常型稳定分量的 U , V 分量也明显比方法一的结果偏弱(图略), 没有在我国中东部显示出南北风向的变化情况. 而改进前的方法(方法二)得到的 500 hPa 高度场气候态稳定分量空间分布与改进后的方法(方法一)得到的结果基本一致(图略), 在 8 月前三候 AO 呈强正相位态势, 之后减弱转为负相位. 所以, 和改进后的方法相比, 其所刻画的气候背景相似, 但主要异常系统的强度与持续时间均有明显的差距, 不能很好地表现出影响此次事件的主导环流系统, 这表明在提取稳定分量时通过考虑前期的海温强迫作用来选取气候背景场是非常有必要的.

5 结 论

本文对延伸期预报提取稳定分量的方法进行了改良, 选取了与个例前期海温强迫强度最相似的 30 年为气候背景场, 通过对个例 2013 年 8 月我国中东部地区的持续高温及其减弱过程的分析, 发现提取的异常型稳定分量可以很好地解释此次持续高温及其减弱过程的维持和转变机制, 且对比改进前的方法更加凸显了异常型稳定分量在此次异常事件中的作用, 具体结论如下.

1) 通过与之之前选取常规气候态 30 年(1981–2010 年)的方法所提取的稳定分量相比, 改进后的方法提取的气候态稳定分量所占的解释方差比重稍有减小, 但变化幅度不明显, 两种方法都显示出 8 月上中旬 AO 偏强的气候背景, 而异常型稳定分量占的比重显著性提高, 其刻画的影响异常事件的天气系统强度显著提高, 能够更加清晰准确地显示延伸期天气过程的维持及其转变机制, 这表

明在提取稳定分量时考虑前期的海温强迫作用是非常有必要的.

2) 个例所提取的异常型稳定分量很好地刻画了此次持续高温及其减弱过程, 主要受亚洲大陆中高纬纬向环流形势和西太平洋副热带高压的共同影响. 8 月上旬在欧亚大陆的中高纬度地区基本上为正的高度距平所控制, 纬向环流形势明显, 且 V 风分量以南风距平为主, 使得高纬地区的冷空气不易南下, 而我国黄河以南的广大地区同样为正的距平, 表明西太平洋副热带高压比同期偏强且偏西, 在这种态势共同影响下造成了这一时期我国中东部大部分地区气温偏高的情况; 在 8 月中旬, 除了鄂霍次克海地区仍是正的高度距平外, 乌拉尔山地区以及贝加尔湖以北地区都转变为负的高度距平, 在这两个区域之间形成一低槽, 易引导冷空气南下, V 风分量转变为北风距平, 同时我国中东部地区的高度场正距平区域有所减小, 且在东部沿海向北扩展, 表明西太平洋副热带高压开始减弱并北抬, 这都使得这一区域大范围的高温天气开始缓解; 到了 8 月下旬, 亚洲东部中高纬沿海地区为负的高度距平中心, 表明东亚大槽偏强, 而我国东南部以及沿海地区也为负的高度距平, 说明西太平洋副热带高压已经东撤, 基本离开我国陆地, 造成气温进一步降低, 达到常年水平.

本文主要将利用已有的历史资料提取延伸期稳定分量的方法做了进一步的改进, 从个例前期的海温强迫出发, 选取与之相似的 30 年来代替通常意义上的气候态背景场, 通过对个例的分析发现此种方法具有一定的改进效果. 但本文仅考虑了对此次个例事件影响最显著的赤道中太平洋 nino4 区的海温指数, 如何结合其他洋区海温强迫或者其他外强迫的影响还有待进一步的研究.

参考文献

- [1] Chou J F 2012 *Chin. J. Geophys.* **55** 1433 (in Chinese) [丑纪范 2012 地球物理学报 **55** 1433]
- [2] Lorenz E N 1965 *Tellus* **17** 321
- [3] Lorenz E N 1969 *J. Atmos. Sci.* **26** 636
- [4] Lorenz E N 1982 *Tellus* **34** 505
- [5] Li C Y 1990 *Chin. J. Atmos. Sci.* **14** 32 (in Chinese) [李崇银 1990 大气科学 **14** 32]
- [6] Zhang Q Y, Tao S Y, Peng J B 2008 *Chin. J. Atmos. Sci.* **32** 815 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言, 彭京备 2008 大气科学 **32** 815]
- [7] Sun G W, Xin F, Chen B M, He J H 2008 *Plateau Meteorol.* **27** 64 (in Chinese) [孙国武, 信飞, 陈伯民, 何金海 2008 高原气象 **27** 64]

- [8] Chou J F, Xu M 2001 *Chin. Sci. Bull.* **46** 890 (in Chinese) [丑纪范, 徐明 2001 科学通报 **46** 890]
- [9] Chou J F 2002 *The Nonlinearity and Complexity in Atmospheric Science* (Beijing: China Meteorological Press) pp149–166 (in Chinese) [丑纪范 2002 大气科学中的非线性与复杂性 (北京: 气象出版社) 第149—166页]
- [10] Chou J F, Zheng Z H, Sun S P 2010 *Sci. Meteorol. Sin.* **30** 569 (in Chinese) [丑纪范, 郑志海, 孙树鹏 2010 气象科学 **30** 569]
- [11] Feng G L, Sun S P, Zhao J H, Zheng Z H 2013 *Sci. China: Earth Sci.* **43** 836 (in Chinese) [封国林, 孙树鹏, 赵俊虎, 郑志海 2013 中国科学: 地球科学 **43** 836]
- [12] Wang K, Feng G L, Sun S P, Zheng Z H 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 109201 (in Chinese) [王阔, 封国林, 孙树鹏, 郑志海 2012 物理学报 **61** 109201]
- [13] Wang K, Feng G L, Zeng Y X, Wang K J 2013 *Chin. Phys. B* **22** 129202
- [14] Wang Q G, Chou J F, Feng G L 2014 *Sci. China: Earth Sci.* **44** 343 (in Chinese) [王启光, 丑纪范, 封国林 2014 中国科学: 地球科学 **44** 343]
- [15] Shi N 2009 *Meteorological Statistical Forecasts* (Beijing: China Meteorological Press) pp128–145 (in Chinese) [施能 2009 气象统计预报 (北京: 气象出版社) 第128—145页]
- [16] Mu M, Li J P, Duan W S, Wang J C, Chou J F 2002 *Clim. Environ. Res.* **7** 227 (in Chinese) [穆穆, 李建平, 段晚锁, 王家城, 丑纪范 2002 气候与环境研究 **7** 227]
- [17] China Weather Network <http://www.weather.com.cn/news/2013/08/1952103.shtml> [2013-8-20] (in Chinese) [中国天气网 <http://www.weather.com.cn/news/2013/08/1952103.shtml> [2013-8-20]]
- [18] Gong Z Q, Wang Y J, Wang Z Y, Ma L J, Sun C H, Zhang S Q 2014 *Meteorol. Monthly* **40** 119 (in Chinese) [龚志强, 王艳娇, 王遵娅, 马丽娟, 孙丞虎, 张思齐 2014 气象 **40** 119]
- [19] Ding Y H [http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/201308/t20130825_224319.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201308/t20130825_224319.html) [2013-08-25] (in Chinese) [丁一汇 http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201308/t20130825_224319.html [2013-08-25]]
- [20] Li Z J, Ji L R 1996 *Chin. J. Atmos. Sci.* **20** 290 (in Chinese) [李志锦, 纪立人 1996 大气科学 **20** 290]
- [21] Wang K, Feng G L, Sun S P, Zheng Z H 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 209201 (in Chinese) [王阔, 封国林, 孙树鹏, 郑志海 2012 物理学报 **61** 209201]
- [22] Lin J, Bi B G, He J H 2005 *Chin. J. Atmos. Sci.* **29** 594 (in Chinese) [林建, 毕宝贵, 何金海 2005 大气科学 **29** 594]
- [23] Guan Z Y, Cai J X, Tang W Y, Bai Y Y 2010 *Sci. Meteorol. Sin.* **30** 666 (in Chinese) [管兆勇, 蔡佳熙, 唐卫亚, 白莹莹 2010 气象科学 **30** 666]

Stable components in extended-range forecasting during the continuous high temperature event in August 2013 over the mid-eastern China^{*}

Zeng Yu-Xing[†] Ye Tian-Shu Wang Kuo Shen Qian

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

(Received 11 July 2014; revised manuscript received 24 September 2014)

Abstract

Based on the continuous high temperature process over the mid-eastern China in August 2013, using the NCEP/NCAR (United States National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) daily average of 500 hPa height field, the wind field reanalysis data, and the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) reconstruction sea surface temperature (SST) data, through the selection method similar to the early adoption of SST forcing, band-pass filtering and empirical orthogonal function decomposition method to extract the 10–30 days of stable components, and through a stable component of diagnostic analysis, we investigate the mechanisms for sustaining and reducing high temperature process. Results show that by selecting and using the case that is the most similar to a pre-SST forcing 30-year climatology instead of the normal 30-year climatology (1981–2010), the steady-state component extracted climate proportion is reduced, and the proportion of anomalously stable components is significantly enhanced and the described influence strength and stability are improved significantly, which can more clearly show the extended maintenance mechanism of weather processes. It suggests that early consideration SST forcing in the extraction component is very necessary. Meanwhile, the analysis of extension of stable components shows that the process of maintaining and reducing high temperature is mainly caused by the combined effect of the Arctic Oscillation, continental high latitudes zonal circulation situation in Asia and the western Pacific subtropical high intensity and location.

Keywords: ocean forced, similar years, climate stable components, abnormal stable components

PACS: 92.60.Wc, 91.30.Pd

DOI: 10.7498/aps.64.049203

^{*} Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2013CB430204), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41375078), and the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41305100, 41105055).

[†] Corresponding author. E-mail: z275525111@126.com