

北半球夏季环流持续性异常 及其发展特征^{*}

李金龙 李志锦 纪立人

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 利用美国国家气象中心(NMC)的1957~1979年夏季500 hPa位势高度场, 分析了热带外地区环流持续性异常。夏季持续性环流相当活跃, 但异常(≥ 40 m)的持续时间小于1个月。不同地区的持续异常极少能同时存在, 主要表现为单独发生。持续异常具有遥相关结构, 它们在相当程度上同冬季遥相关型相似。持续异常建立过程中主要中心强度增长相当快, 振幅加倍时间约为2天。持续异常的建立, 对最优扰动的发展具有重要作用。

关键词 夏季环流 持续异常 发展过程

1 引言

实际天气演变活动充分表明, 我国的夏季异常旱涝总是同一定的环流异常活动相联系。认识夏季环流异常的活动规律和本质特征无疑是弄清夏季旱涝灾害成因和提高夏季旱涝灾害中长期预报能力的关键问题之一。在过去几十年间, 对冬季环流的持续异常已有广泛的观测研究, 比较一致地证实了几类遥相关型^[1~3]和持续异常型的存在^[4]。而我国学者对于夏季环流异常已有较深入的研究, 如黄荣辉等^[5, 6], 从观测、理论到数值模拟证实了“东亚太平洋型”遥相关的存在, 并运用到我国夏季旱涝的预报中。最近李金龙和纪立人^[7]的研究表明, 夏季环流的持续异常活动是相当活跃的。类似于冬季的情形, 持续异常主要发生在固定的地理区域, 包括北太平洋中东部和阿拉斯加南部(NEP), 北大西洋东部到欧洲大陆西岸(EAT), 前苏联的西北部到新地岛附近(WNSU), 加拿大北部的哈得逊湾附近(NCA)和白令海峡以北的北冰洋地区。本文将进一步给出夏季持续异常和遥相关型的结构特征, 尤其是时间演变特征。

对遥相关型和持续异常的形成已提出了不少理论解释。Hoskins等^[8, 9]认为遥相关型是由于局地性的异常外源强迫通过二维球面Rossby波的能量频散过程而建立起来。Simmons等^[10]和Lau等^[11]则认为具有纬向变化的气候流的正压不稳定正规模的发展而建立起来。最近李志锦和纪立人^[12, 13]用有利发展扰动型解释了遥相关型的建立。他们认为遥相关型必然相应于这样的路径, 扰动在传播过程中能最有效地从基本流中获取能量而发展, 从而可以较好地解释遥相关型的地理特征和发展速度。这里我们将从观测角度来考察一下这些理论是否适合于解释夏季环流持续异常。

1996-01-21收到, 1996-08-16收到修改稿

^{*} 本文的研究工作得到国家自然科学基金和中国科学院KY-85项目的联合资助

本文在文献[1]的基础上,对位于 NEP、EAT 和 WNSU 地区的持续异常作深入的分析,前两者是持续异常最活跃的地区,而后者则直接影响我国夏季旱涝天气过程。

2 资料及其持续异常个例概况

本文采用的资料及其有关的处理方法同文献[1]。基本资料是美国国家气象中心(NMC)的 1951~1979 年夏季 500 hPa 位势高度场。夏季定义为 6 月 1 日到 8 月 31 日。资料范围 20~90°N。计算中高度场乘上了纬度标准化因子($\sin 45^\circ / \sin \theta$),其中 θ 表示纬度。标准化后的高度场类似于地转流函数,为简单起见以下仍称之为位势高度。

持续异常的定义采用 Dole^[4]的方法,其中定义异常位势高度超过 40 m 且持续时间超过 10 天为持续正异常;反之,异常位势高度低于-40 m 且持续时间超过 10 天为持续负异常。Dole^[4]对冬季持续异常也定义持续时间为 10 天以上。而我们取持续异常的临界高度为 40 m,主要考虑了夏季大范围异常的代表性。

我们统计了 23 年中环流持续异常次数及其持续时间长度。每个持续过程的开始和终止日期,是由在一定的关键点上采用上述标准决定的。这些关键点是以前(文献[7])所得到的(正和负)持续异常次数取得区域最大的地方。具体而言,NEP 区的关键点为(150°W, 50°N),EAT 为(10°W, 55°N),WNSU 为(50°E, 65°N)。从表 1 给出的统计结果可以看到,夏季持续异常还是相当活跃的,3 个地区持续异常都超过了平均每年 1 次。

分析持续时间长度。从表上可以看到,没有一次过程超过 1 个月。主要的持续时间在 10~19 天之间,3 个地区的情形大致相同。平均持续时间约为 2 周。因此夏季异常持续时间要比冬季短些^[4]。

表 1 不同地区持续异常时间长度

持续时间 / d		10~14	15~19	20~24	25~29	> 29	平均
NEP	正异常	10	3	0	1	0	14.0
	负异常	8	1	0	0	0	12.1
EAT	正异常	11	4	0	0	0	13.1
	负异常	12	2	1	0	0	12.7
WNSU	正异常	6	6	1	1	0	15.4
	负异常	6	3	2	0	0	17.5

不同地区的持续异常是否同时出现是一个受到关注的问题。这里,规定当两个区域的持续异常(同时包括正异常和负异常)共同存在的时间只要超过其中一个区域的持续时间一半时,就认为这两个地区的持续异常同时发生。统计结果表明,NEP 和 EAT 区域异常同时发生为 3 次,NEP 和 WNSU 之间为 2 次,EAT 和 WNSU 之间也为 2 次。这就表明,不同地区的持续异常极少能同时发生。这一事实,无疑提醒我们讨论持续异常,必须关心这种局地特征。在低频变化分析中,利用聚类分析和经验正交函数分解等统计手段得到的主要模态结构多是全球性,包含有多个局地遥相关结构^[14,15]。我们的结果似乎表明了这种全球性结构不是大气的特征结构,而可能是局地结构群体行为的统计表现。

3 持续异常空间结构

我们采用了合成的方法来分析持续异常的结构。对某一地区出现的正(负)异常的所有个例以及每一个个例持续过程中的所有观测时次进行平均, 平均所得的场就表示该地区正(负)异常的合成结构。

图 1a 和 1b 分别给出了 NEP 地区正、负异常的合成结构。对正异常在东北太平洋关键区附近存在一个强的正异常中心, 而这一中心上下游都存在着交替出现的正负距平中心, 随着距离的增加, 距平中心强度减弱。这表明 NEP 区域的持续异常是一种遥相关结构。实际上, 这一遥相关结构在相当程度上类似于冬季观测到的 PNA 遥相关型^[7]。但仔细分析可以看到, 波列的路径同经典的 PNA 型相比要更偏纬向一些。不过这一偏纬向的遥相关型同 Blackmon 等^[2]得到的中间时间尺度(10~30 天)的 PNA 型却较为一致。应该指出, 就夏季而言, 遥相关型偏纬向并不一定是由于对时间尺度的依赖, 更有可能是由于夏季的基本流特征造成的。负异常的合成结构除了各中心极性相反外, 同正异常的结构基本一致。稍有不同的是, 负异常的遥相关路径更偏纬向一些, 紧接着主要负中心的正中心强度相对也要弱些。

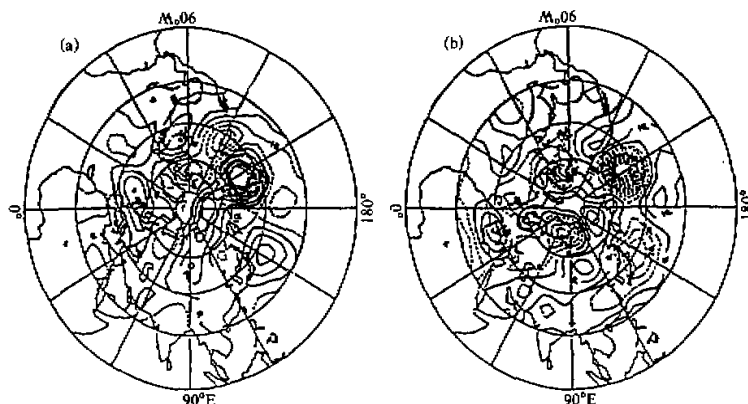


图 1 NEP 地区正(a)和负(b)异常的合成结构

图 2 给出的是 EAT 地区持续异常的合成结构。图 2a 是正持续异常, 可看到在东北大西洋存在一强的正异常中心。在这一中心的南侧略偏西存在一负中心, 但其下游则不存在明显的中心。这一异常型总体上来看可以认为同冬季大西洋东部型(EA)相一致^[1]。负异常的合成图 2b 上, 主要负中心下游的波列结构则要明显一些, 它一直延伸到了东南亚。

图 3 给出的是 WNSU 地区的持续异常结构。图 3a 是正异常, 可以看到 WNSU 地区的主要活动中心。从大西洋西部经过主要中心, 一直到东南亚是一支比较完整的波列。这支波列同冬季观测到的欧亚型(EU)遥相关相一致^[1]。负异常的结构同正异常非常一致。

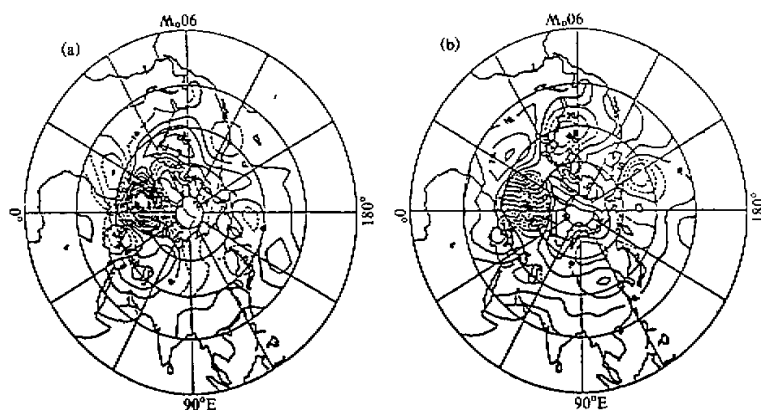


图 2 EAT 地区持续异常的合成结构
(a) 正持续异常; (b) 负异常的合成图

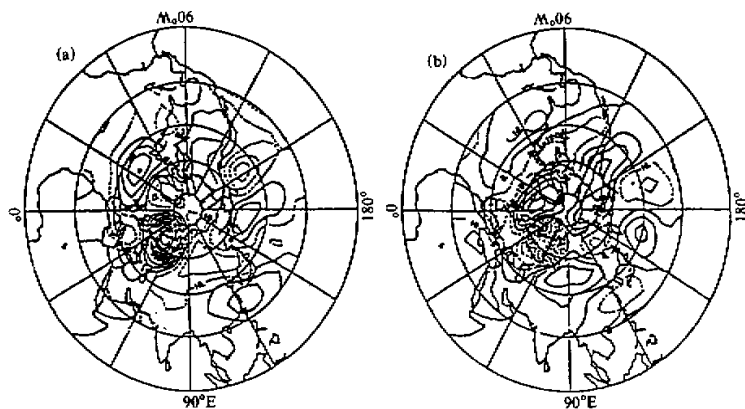


图 3 WNSU 地区持续异常结构
(a) 正异常; (b) 负异常

所以总起来看,夏季持续异常也表现为遥相关结构。这些遥相关结构在很大程度上同冬季的遥相关型相似,但空间尺度小于冬季持续异常,纬向尺度大约为 4~5 波。

4 时间演变

为了能够系统地了解持续异常发展的特点,我们分析了它们的逐日演变。为了使演变过程得到更清晰的描述,我们采用类似于 Dole^[4]的做法,用 Blackmon^[16]的低通滤波器滤掉了 10 天以下的短时间尺度扰动,这一处理不会对结论产生明显影响。这里也采用了合成的方法,规定当异常发生的时刻即异常第一次达到 40 m 时为 0 天,异常发生前为负,发生后为正。我们已经分析了发生前的第 10 天(即-10 天)一直到发生后的

第 15 天 (+15 天) 的逐日演变, 表明在 -4 天一般都出现同持续异常有关的扰动, 到 +4 天持续异常达到成熟。限于篇幅, 以下只给出 -4 天、0 天和 +4 天的演变。但讨论中结合了其它时次的分析。

这里我们回顾一下扰动能量传播路径。局地 Rossby 波频散关系为 (如见文献[8, 17, 18])

$$\tan\theta = \frac{c_{gy}}{c_{gx}} = \frac{m}{k}, \quad (1)$$

其中, x 和 y 分别表示向东和向北方向。 c_{gx} 和 c_{gy} 是 x 和 y 方向的群速度分量, 而 m 和 k 是 x 和 y 方向的波数。由此可知 θ 是能量传播方向同 x 的夹角, 从而不难知道能量传播的方向垂直于扰动轴线。这为我们提供了从扰动结构的变化去分析能量传播方向变化的一个基本工具。

4.1 NEP 持续异常

对于 NEP 正持续异常, 在 -4 天时 (图 4a) 可看到有一支从副热带太平洋中部到东北太平洋的波列, 值得注意的是还有一支沿太平洋西海岸呈南北略偏东方向分布的波列。到 -2 天, 两个波列上的各中心强度变化不大, 但结构发生了显著的变化。在副热带到东北太平洋的波列上, 东北太平洋的主要中心轴线明显变为西北-东南方向, 而位于太平洋西部的波列上位于日本以东约 160°E 的正中心轴线变得比 -4 天时趋于南北向, 其北边的中心略有东移, 而轴线方向变得难以辨认。到了 0 天 (图 4b), 可以看到东北太平洋的主要正异常中心迅速增加, 在 -2 天到 0 天的 2 天时间内强度增加超过了 1 倍, 而位于副热带中太平洋的负中心也显著加强且轴线成为西北-东南方向。在 -4 天, 位于副热带中太平洋和东北太平洋的中心都继续得到加强, 至此一个比较典型的 PNA 结构生成。值得指出的还有几个特征: 位于东北太平洋的主要正异常中心和副热带中太平洋的负异常中心的空间尺度都明显加大; 位于日本以东的正距平中心的轴线在 0 天呈东北-西南方向, 这意味着其能量将向东南方向传播, 有利于位于副热带中太平洋的负中心的加强, 需要强调, 持续异常的发展主要是在 -2 天和 +2 天之间的 4 天时间内完成, 发展时间是相当短的。

对负 NEP 异常, 演变过程同正异常不太一致。在 -4 天 (图 4a') 时, 西太平洋到东北太平洋存在一支波列, 由位于西太平洋和东北太平洋的两个负异常中心和中太平洋的一个正异常中心组成, 其中中太平洋的正距平中心和东北太平洋的负距平中心轴线明显呈西北-东南向。同正 NEP 异常形成对比, NEP 负异常在 -4 天已存在比较完整的波列。有意义的是位于西太平洋的负距平中心比较偏南。在接下去的 4 天中, 位于中太平洋的正中心和东北太平洋的负中心持续增强, 中心轴线变为南北向。位于东北太平洋的主要负中心强度增加尤其迅速, 4 天内增加近 3 倍, 而西太平洋的负中心几乎没有变化。同时, 中太平洋和东北太平洋两中心的空间尺度明显加大, 尤其经向尺度加大更快。仔细分析还可以看到, 东北太平洋中心在发展过程中处于准静止状态, 而位于西太平洋和中太平洋的中心有明显的西退。从 0 天到 +4 天, 位于东北太平洋的主要中心强度一直加大, 但速度的增长逐渐减慢, 中心仍处于准静止状态。与此不同, 西太平洋和中太平洋的中心明显减弱。

应该指出, 我们还无法确认 NEP 的正异常和负异常演变过程的不同是由于样本的原因, 还是由于它们之间的动力学特征的不同。这是一个值得进一步研究的问题。

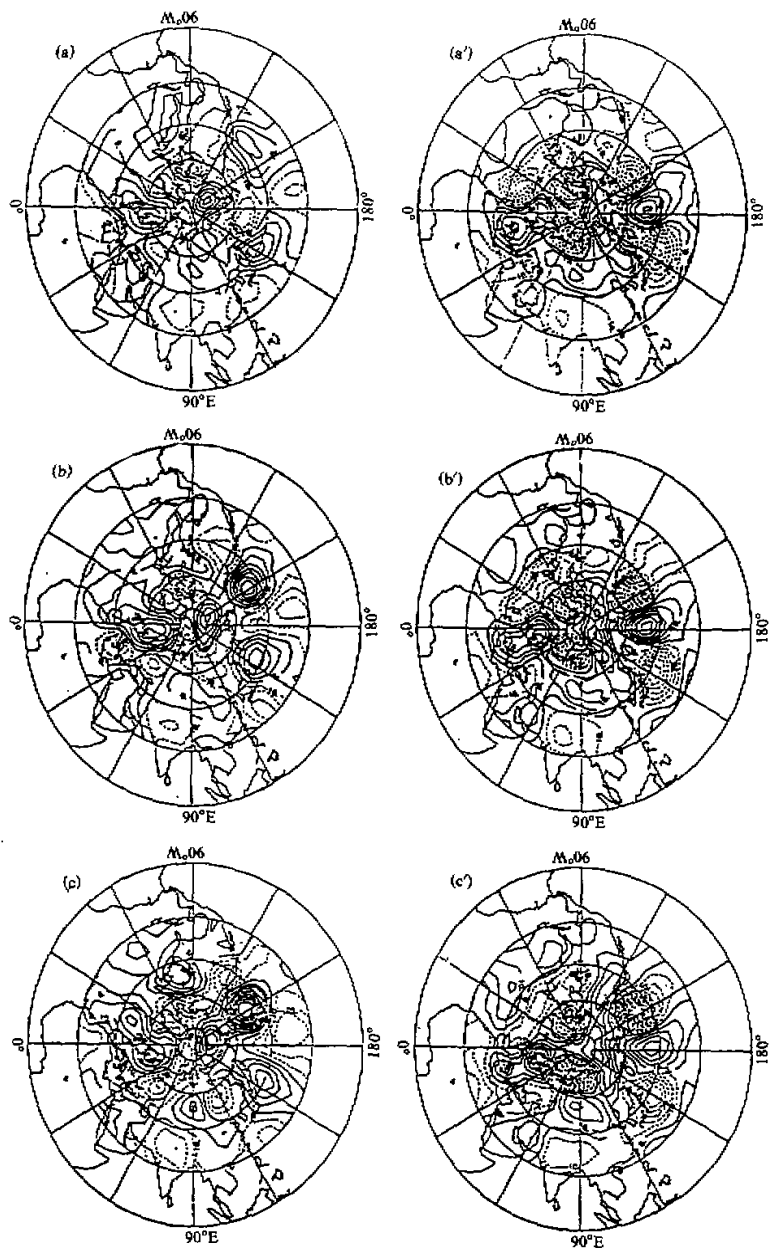


图 4 NEP 持续异常

(a) ~ (c) 为正异常, (a') ~ (c') 为负异常; 自上而下分别为 -4 天、0 天、4 天

4.2 EAT 持续异常

在图 5a~c 中 EAT 是正异常。在-4 天关键点附近已建立起一个相对孤立的正中心。令人注意的是从西太平洋到北美也存在一支波列。到 0 天关键点附近的中心强度已变得很强, 尺度明显加大, 但没有明显移动, 另外在主要中心下游发展出一个负中心, 而西太平洋到北美的那支波列上游两中心已近于消亡, 位于最下游的中心强度没有明显变化。这一衰减中的波列各中心, 尤其最下游的中心轴线呈东北-西南倾斜趋势, 由此可以看出, 其能量频散对主要中心上游负中心的建立起了重要作用。到+4 天, 关键点的主要中心强度更大, 中心仍保持准静止状态, 而上下游的中心强度相应也有增加。而原来衰减中的那支波列, 只有最下游那个中心还存在, 但强度已很弱。EAT 负异常的演变过程同正异常的演变过程基本一致。

值得强调, 无论是正异常还是负异常, 建立前期在西太平洋到北美都存在一支衰亡中的波列, 它可能对 EAT 异常的建立有重要作用。Blackmon 等^[12]分析冬季遥相关型, 发现首先有扰动从中太平洋到大西洋西岸的传播, 然后在大西洋西部有向东北的传播。这同我们的结果很相似。在数值模拟中也发现西太平洋的强迫可以导致东北大西洋持续异常的建立。从我们的结果可以对此给出一个合理的解释, 即西太平洋强迫首先激发从西太平洋到北美的波列, 然后这一波列对东北大西洋的异常产生有利作用, 这一解释不同于 Ferranti^[19, 20]等提出的型 (Regime) 锁定观点。不同之处在于我们的解释强调西太平洋强迫东北大西洋的异常是一个独立过程, 并不是型锁定观点中出现一个全球性的型, 尽管东北大西洋异常是组成这个型的一部分。

4.3 WNSU 异常

图 6 是 WNSU 异常的时间演变。对正异常, 在-4 天 (图 6a) 北大西洋向东偏北到 WNSU 区域已存在一支波列, 其中 WNSU 的正异常中心已经建立。但这一中心比上游两个中心弱。到 0 天, WNSU 的中心加强了, 中心强度已远大于上游的两个中心。其实上游的两个中心的强度已明显减弱。到+4 天, 关键区的正中心变得更强, 而上游的两个中心变得更弱了。伴随正异常的发展, 在西太平洋有正异常发展。这个正异常可能同西太平洋副高加强北跳相联系, 从而影响我国的天气过程, 值得引起我们的重视。

负异常的演变过程同正异常基本一致。

5 理论分析

最近的一些研究越来越表明最优扰动分析 (有利发展扰动) 比传统分析方法 (如正规模分析) 可更好地解释实际大气扰动的发展^[21~23]。这种分析所得的结果同曾庆存发展的波包理论定性一致^[17, 18]。李志锦和纪立人^[12, 13]用最优扰动分析解释实际大气中主要遥相关型的建立, 指出只有那些在传播过程中能从基本流中有效吸取动能的扰动才能发展成同实际一致的遥相关型。即使对外源强迫, 也只有当强迫产生的扰动能有效地从基本流获取动能才能演变成具有实际意义的遥相关型^[24]。他们的理论计算表明, 初始有利发展扰动主要位于东南亚到西太平洋, 北美到西大西洋和非洲北部这些急流中心的南侧, 以及太平洋中部和极地地区。位于东南亚到西太平洋有利发展扰动将沿着亚洲急流

的南侧纬向但稍偏北的方向传播,最后演变成近于 PNA 遥相关型的结构,但遥相关波列比典型 PNA 型偏纬向些。位于南美到大西洋中部的扰动,按扰动结构的不同分别可以产生大西洋西部型、大西洋东部型或欧亚型^[2]。位于中太平洋的扰动则可产生较为

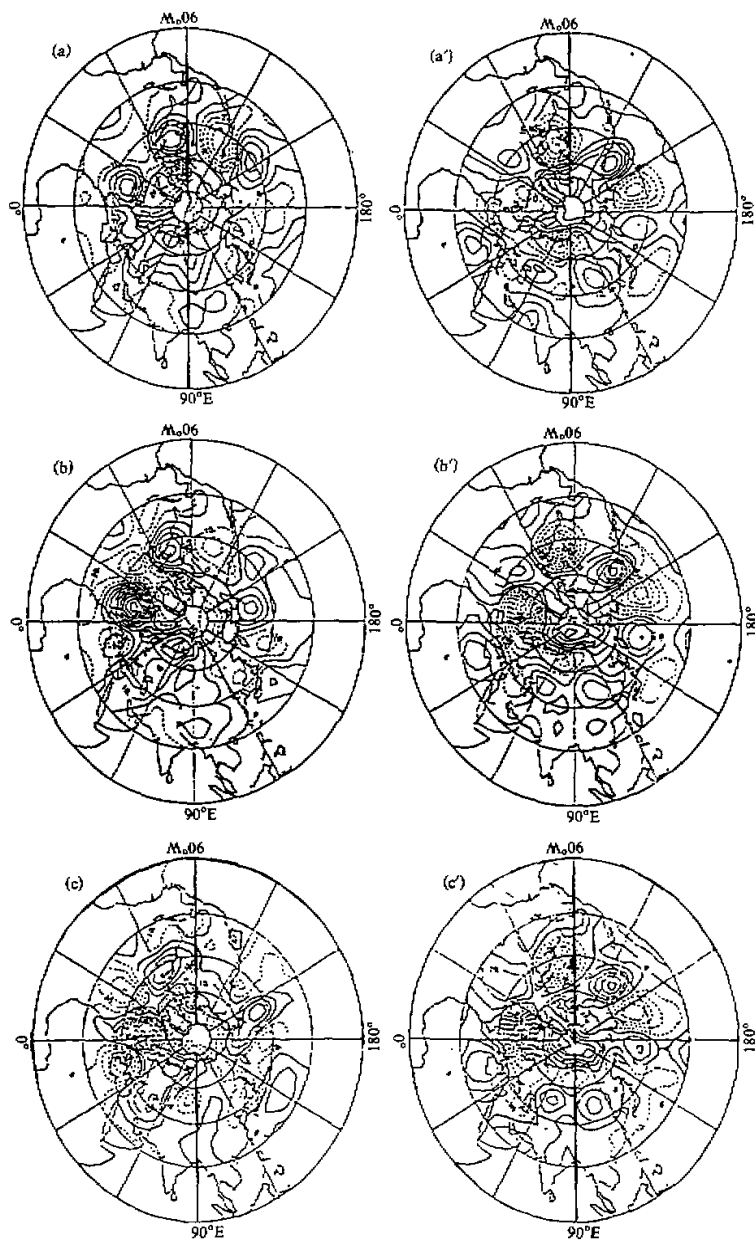


图 5 EAT 持续异常的时间演变, 其余同图 4

典型的 PNA 型^[3]。位于极地的扰动产生的结构同北太平洋和北大西洋涛动有密切的联系。除了极地外, 初始扰动尺度均较小, 一般纬向 6~7 波, 呈所谓“导式”结构, 这是扰动能从基本流获得动能的基本特征。随着扰动不断地从基本流获取动能, 扰动不断加

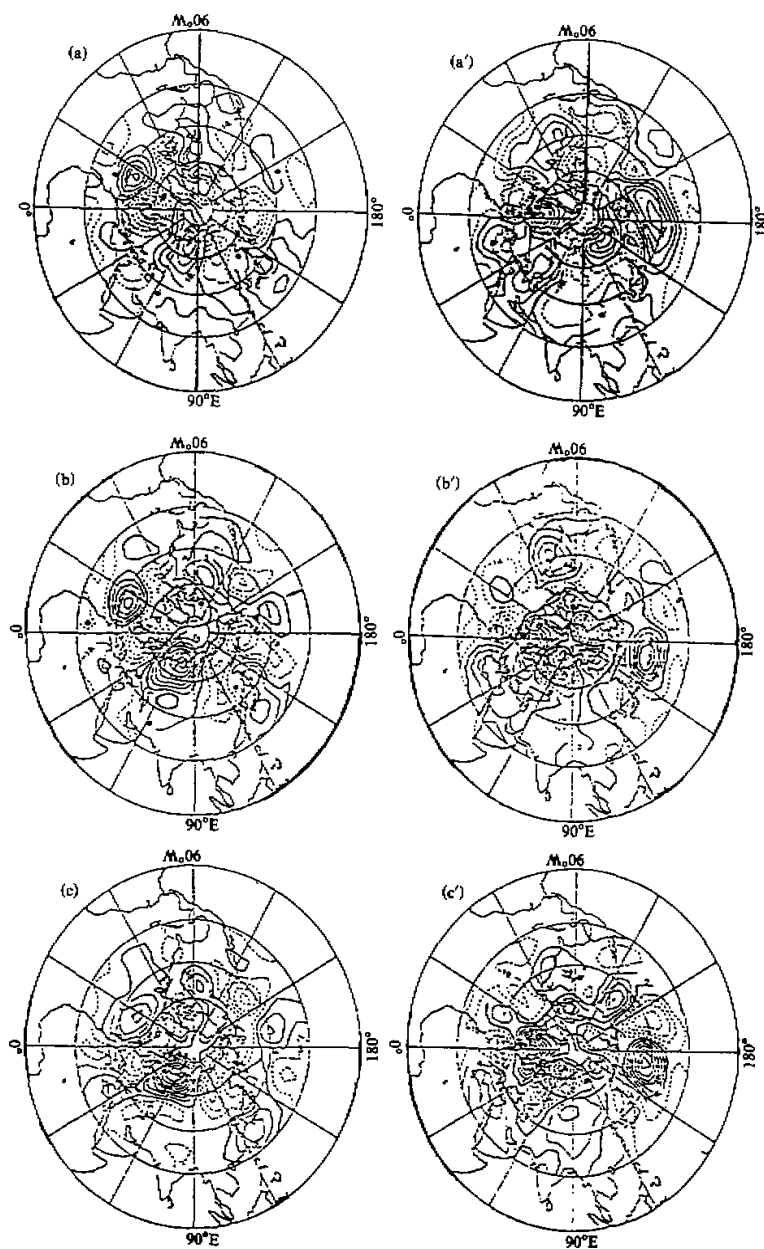


图 6 WNSU 异常的时间演变, 其余同图 4

强,空间尺度也随之加大,同时能量向下游频散,导致下游新中心的建立。有利扰动产生的扰动中心增强很快,尤其在东北太平洋和东北大西洋一旦中心建立,扰动在急流出口处可更有效地从基本流获取动量^[10],强度增加尤为迅速,主要扰动中心的振幅加倍时间不到3天。

从上一节的持续异常时间演变图上,可以看到在成熟之前,扰动都会演变出有利发展扰动结构,这一过程大约在-4天或-2天之前实现。有利发展扰动结构形成之后,扰动就得以迅速发展,主要中心的振幅加倍时间可近于2天。这就使我们相信,有利发展扰动在持续异常建立过程中起到了重要作用。不过比较主要中心的振幅增长率,理论计算结果的加倍时间3天而实际演变的加倍时间只有2天,理论计算的增长率要小些。引起这一差别的一个可能的主要原因是由于理论计算是对夏季气候平均流进行的,而实际的持续异常往往是在更有利的背景环流下形成的。这种有利的背景环流可以比气候流具有更大的有利扰动增长率。

从有利发展扰动的观点,我们可以提出一个夏季持续异常建立的简单物理图像:在扰动与基本流相互作用过程中,逐渐发展出有利发展扰动型,这种有利发展扰动型主要表现为波列结构,它们有效地从基本流获取动能而迅速发展成持续异常型。

在遥相关型的动力学解释中,二维球面 Rossby 波的能量频散被认为是一个重要机制^[8,9]。在夏季持续异常演变过程中,能量频散过程显然是重要的。然而能量频散路径的确定也是一个初值问题,即不只依赖于基本流的特征,还依赖于初始扰动的结构。能量频散理论不能解释实际大气中遥相关型只有几条固定的路径。虽然理论研究也表明波导的存在^[9],即存在 Rossby 波的优势传播路径,但这些波导并没有同所有主要遥相关型相吻合,如 PNA 型就难以同波导相联系。另外能量频散理论也难以解释遥相关型的振幅分布以及振幅的迅速增长。

所以,遥相关型的动力学解释必须考虑扰动与基本流相互作用,这种相互作用不仅控制遥相关型振幅分布,而且直接影响能量频散路径。前面的分析中已指出持续异常迅速建立以前,首先要建立起一支有利发展波列。有利发展扰动形成过程是什么呢?这是扰动同基本流相互作用的必然选择。在扰动与基本流相互作用过程中,不利发展扰动就会消亡,而有利发展扰动通过吸取基本流的动能而发展成为优势结构。这一过程类似于生物进化中的自然选择。而这些具有相对于基本流固有位置和特殊结构的扰动自行决定了能量频散的路径。

Simmons 等^[10]利用正压不稳定机制解释了遥相关型的建立。他们的计算表明冬季 300 hPa 气候流的最不稳定正规模包含有 PNA 型和 EA 型。用建立于正规模分析基础上的正压不稳定解释遥相关型有两个主要困难:一是正规模的不稳定增长率不足以解释遥相关型的发展;二是除了 PNA 型和 EA 型,在不稳定模态中并不包括其它遥相关型。夏季气候流下,即使不考虑耗散的作用,最不稳定模态也接近于边缘稳定,远不能解释持续异常的振幅2天加倍。另外我们也注意到了持续异常的建立过程同激发不稳定正规模的过程是不同的。

需要指出,上述讨论主要关心持续异常的建立过程,并没有试图解释这些异常长期维持的原因。要解释异常的维持,还需要考虑非线性过程,这将使问题变得更复杂,有待进一步研究。

6 结论

本文利用 NMC 的 1957~1979 年夏季 500 hPa 位势高度场分析了热带外地区环流持续异常及其时间演变特征。结果表明:

(1) 环流异常持续时间小于 1 个月, 不同地区的持续异常极少能同时存在, 更多地表现为单独出现;

(2) 持续异常主要表现为遥相关结构, 它们在相当程度上类似于冬季遥相关型, 总的来说, 同冬季相比遥相关路径更偏纬向一些, 扰动中心的空间尺度也小一些;

(3) 持续异常建立过程中, 主要异常中心具有很大增长率, 振幅加倍时间只有 2 天;

(4) 有利发展扰动理论可以较好地解释持续异常过程中结构演变特征以及迅速的振幅增长;

(5) 上游衰减中的波列, 通过能量频散传播到热带和副热带有利发展区域, 从而成为有利发展扰动, 进而导致持续异常的建立。这是夏季持续异常的一条重要途径, 对 EAT 异常尤为明显。

结合观测和理论分析, 我们给出了夏季持续异常型建立的一个简单物理图像。扰动与基本流的相互作用过程中, 逐渐发展出有利发展扰动型, 然后这些有利发展扰动型有效地从基本流获取动能而迅速发展成持续异常型。同时明确指出了仅用正规模正压不稳定或能量频散理论难以解释夏季持续异常的建立。

参 考 文 献

- 1 Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 785~812.
- 2 Blackmon, M. L., Y.-H. Yee and J. M. Wallace, 1984, Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 981~991.
- 3 Hsu, H.-H. S.-H. Lin, 1992, Global teleconnections in the 250 mb streamfunction field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1169~1190.
- 4 Dole, R. M., 1986, The life cycles of persistent anomalies and blocking over the northern Pacific, *Rev. Geophys.*, **29**, 31~69.
- 5 黄荣辉, 1990, 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究, *大气科学*, **14**, 108~117.
- 6 黄荣辉、李维京, 1988, 夏季热带西太平洋上空的热源异常的东亚上空副热带高压的影响物理机制, *大气科学 (特刊)*, 107~116.
- 7 李金龙、纪立人, 1994, 夏季北半球 500 hPa 位势高度持续性异常的地理分布及区域特征, *大气科学*, **18**, 164~172.
- 8 Hoskins, B. J. and D. J. Karoly, 1981, The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179~1196.
- 9 Hoskins, B. J. and T. Ambrizzi, 1993, Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 1661~1676.
- 10 Simmons, A. J., J. M. Wallace and G. W. Branstator, 1983, Barotropic wave propagation, instability and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1263~1392.

- 11 Lau, K.-M. and L. Peng, 1992, Dynamics of atmospheric teleconnections during the northern summer, *J. Climate*, **5**, 142~158.
- 12 李志锦、纪立人, 1995, 正压大气有利发展扰动型与遥相关型建立, *大气科学*, **19**(3), 227~288.
- 13 Li Zhijin and Liren Ji, 1996, Internal dynamics of the generation of atmospheric teleconnection patterns, *Adv. Atmos. Sci.*, **13**, 19~32.
- 14 Mo, K. C. and M. Gill, 1988, Cluster analysis of multiple planetary flow regimes, *J. Geophys. Res.*, **93**, 10927~10952.
- 15 Molteni, F., S. Tibaldi and T. N. Palmer, 1990, Regimes in the wintertime circulation over northern extratropics. I: Observational evidence, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **116**, 31~67.
- 16 Blackmon, M. L., 1976, A climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1607~1623.
- 17 卢佩生、曹庆存, 1981, 正压大气扰动的演变, *大气科学*, **5**, 1~8.
- 18 Zeng Qingcun, 1982, On the evolution and interaction of disturbances and zonal flow in rotation barotropic atmosphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 24~31.
- 19 Ferranti, K. C., F. Molteni and T. N. Palmer, 1994, Impact of localized tropical and extratropical SST anomalies in ensembles of seasonal GCM integrations, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **120**, 1613~1645.
- 20 Ferranti, K. C., T. N. Palmer, F. Molteni and E. Klinker, 1990, Tropical-extratropical interaction associated with the 30-60 day oscillation and its impact on medium and extended range prediction, *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2177~2199.
- 21 Farrel, B. F., 1989, Optimal excitation of baroclinic waves, *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1193~1206.
- 22 Farrel, B. F., 1990, Small error dynamics and the predictability of atmospheric flow, *J. Atmos. Sci.*, **47**, 3279~2416.
- 23 Borger, M. D. and D. L. Hartmann, 1992, Barotropic instability and optimal perturbations of observed nonzonal flow, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 335~354.
- 24 李志锦、纪立人, 1994, 正压大气有利强迫模及其响应与遥相关型, *中国科学 (B辑)*, **25**(5), 532~539.

Persistent Anomalies in the Northern Hemisphere during Summer Time and Characteristics of Their Development

Li Jinlong, Li Zhijin and Ji Liren

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract An analysis of persistent anomalies in the extra-tropical areas is presented based on the data of 500 hPa potential height of 23 years from 1957 to 1979 from American NMC (National Meteorological Center). Persistent anomalies are considerably active in summer, but the lasting time of the anomalies with larger than 40 m is less than one month. Persistent anomalies in different geographical regions are little possible to coexist, and their structures are characterized in teleconnection patterns, which resemble those in winter. In the formation process of persistent anomalies, the intensity of main centers of perturbation increases with large growth rates in which the time of doubling intensity is about 2 days. It is suggested that optimal perturbations play a crucial role in the development of persistent anomalies.

Key words summer time persistent anomaly developing process