

# 气候平均场中的西太平洋副热带高压双脊线特征 及其与季风槽准 10 天振荡的关系

祁莉<sup>1</sup> 管兆勇<sup>1</sup> 张祖强<sup>2</sup> 何金海<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 南京信息工程大学, 江苏省气象灾害重点实验室, 南京 210044

<sup>2</sup> 国家气候中心, 北京 100081

**摘 要** 副热带高压双脊线过程几乎历年均存在, 其“季节锁相”与地域性使得在气候平均场上西太平洋副热带地区也存在明显的双脊线过程。作者利用 43 年 NCEP/NCAR 再分析资料对 5~10 月气候平均场中的西太平洋副热带高压双脊线过程进行了分析。气候平均场上 5~10 月西太平洋副热带高压共出现 6 次双脊线过程, 集中发生在 7 月下旬至 9 月下旬, 表明每年这个时段最易发生双脊线事件。每次双脊线过程均表现为副高南侧新生一脊线, 发展几天后就减弱消失, 北侧脊线(原脊线)继续维持。初步的诊断分析表明, 6 次双脊线过程中南侧脊线的生成与季风槽 8~10 天周期的“间歇性增强东伸”密切相关, 这一准 10 天振荡在 7 月下旬至 9 月下旬的突然增强造就了双脊线的“季节锁相”。进一步分析发现, 季风槽 8~10 天的“间歇性增强东伸”与两支分别来自西太平洋的西传准 10 天振荡和来自赤道的北传准 10 天振荡有关, 这两支振荡同位相, 其有利于位相同时传入南海季风区(10°N~15°N, 110°E~120°E), 共同作用, 引起季风槽的“间歇性增强东伸”。

**关键词** 西太平洋副热带高压双脊线 季风槽 准 10 天振荡

**文章编号** 1006-9895(2008)01-0165-10

**中图分类号** P462

**文献标识码** A

## Climatological View on Double Ridges Process of the Western Pacific Subtropical High and Its Relation to Quasi-10-day Oscillation of Monsoon Trough

QI Li<sup>1</sup>, GUAN Zhao-Yong<sup>1</sup>, ZHANG Zu-Qiang<sup>2</sup>, and HE Jin-Hai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Meteorological Disaster of Jiangsu Province, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

<sup>2</sup> National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract** The subtropical high experiences double ridges process (DRP) nearly every year, of which the phase-locking and geographical preference result in the similar behavior in the western Pacific Subtropical High (WPSH) on a climatological basis. In this study, the 43-year NCEP/NCAR reanalysis datasets are employed to examine the characteristics of WPSH DRP during the period of May to October. Six cases are found to occur during the period of late July to late September, indicating the preference time of the occurrences of WPSH DRP. Unexceptionally, each of them is characterized by a new-born ridge in the south of WPSH which persists for several days before its vanishment and by the maintenance of the original one in the northern portion of WPSH. The onset of new-born ridge for each case is closely associated with the anomalous activities of monsoon trough, e. g., intermittent enhancement and eastward extension with a timescale of 8-10 days. The sudden development of monsoon trough during late July to late September usually leads to the phase-locking of WPSH DRP. Further studies show that the 8-10-day oscilla-

**收稿日期** 2006-05-29, 2006-09-07 收修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40475021、40135020, 国家基础研究发展规划项目 2004CB418303

**作者简介** 祁莉, 女, 1981 年出生, 博士生, 研究方向: 东亚季风。E-mail: qili82@126.com

tion of monsoon trough is due to a westward-propagating quasi-10-day oscillation from the western Pacific and a northward-propagating quasi-10-day oscillation from the equatorial region. The monsoon trough tends to reinforce and extend eastward when those two oscillation disturbances overlap each other in a preferable phase (e. g. , westerly phase) over the South China Sea region ( $10^{\circ}\text{N} - 15^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{E}$ ).

**Key words** double ridges process, the western Pacific subtropical high, monsoon trough, quasi-10-day oscillation

## 1 引言

西太平洋副热带高压(简称西太副高)的变化十分复杂。其脊线的南北进退、东撤西伸影响着其西南侧的东南气流及转向的西南气流的位置和强弱,对东亚夏半年的降水和旱涝有重要影响,特别是与我国的天气气候有最为直接和密切的关系。

从 20 世纪 60 年代至今,气象学家对副高进行了广泛深入的研究,取得了丰硕成果<sup>[1~11]</sup>。但人们关于西太副高的研究大多只停留在单脊线特征上。

事实上,在外部环境和周边环流的特定条件下,在副热带地区同一经度上有时会出现双高压脊线的现象,并且有的双脊线过程能持续数天<sup>[12~14]</sup>。这种现象几乎历年都存在。图 1 中给出了几个典型个例(500 hPa 位势高度的时间-纬度剖面图( $110^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$ ),副高脊线的定义参考文献<sup>[14]</sup>),可见每年双脊线过程发生的时间、表现的特征都不尽相同,有明显的年际变化。我们曾对 1962 年“二度梅”期间和 1998 年梅雨间歇期的双脊线过程进行了诊断分析,得到一些与单脊线副高不同的特

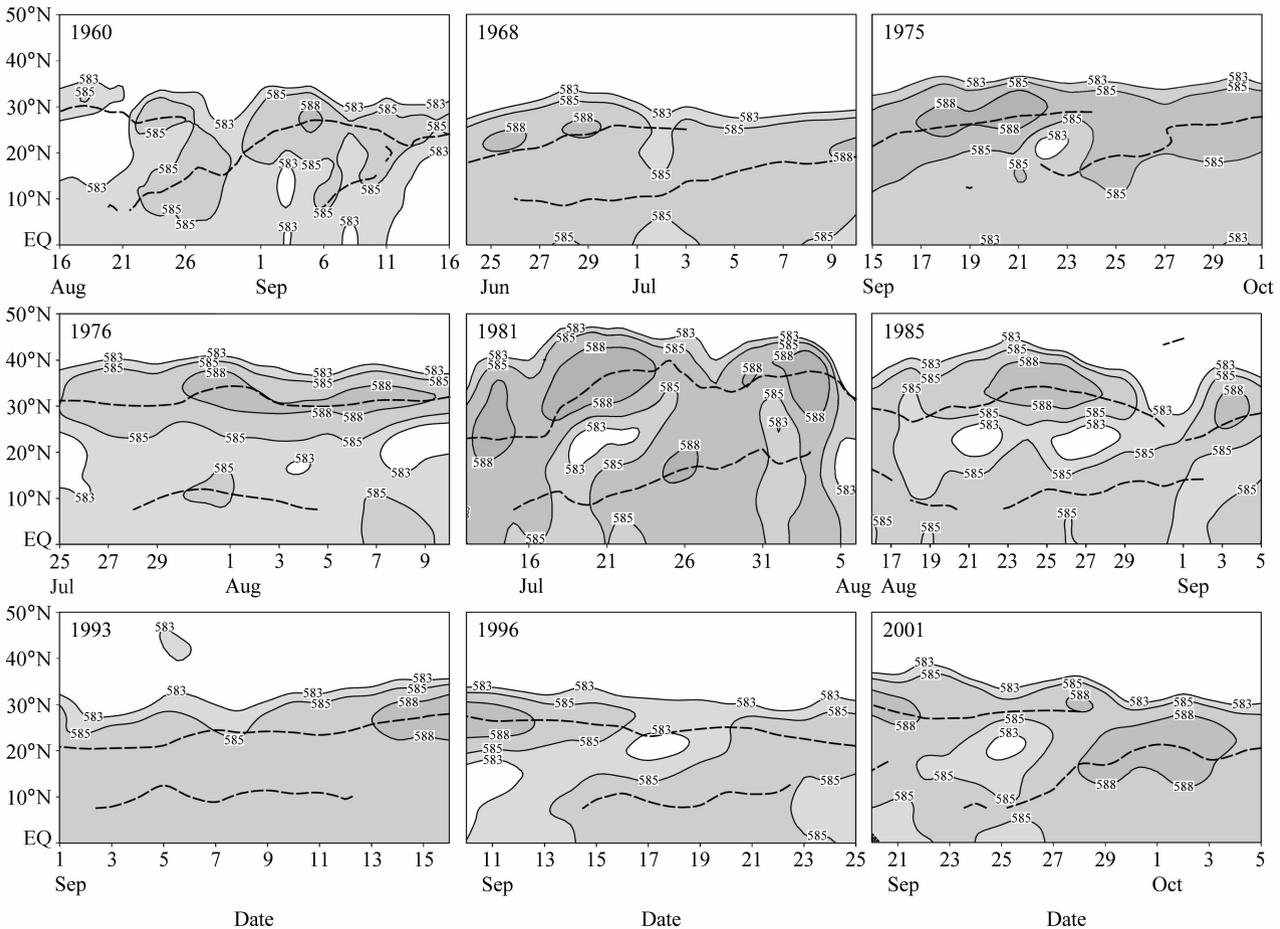


图 1 西太平洋副热带高压双脊线过程的典型个例。细实线:位势等高线(单位: dagpm);粗虚线:副高脊线

Fig. 1 Typical cases for the Double Ridges Process (DRP) of the Western Pacific Subtropical High (WPSH) (Time-latitude cross sections of 500 hPa geopotential height (dagpm) averaged over  $110^{\circ}\text{E} - 130^{\circ}\text{E}$ , thick broken lines indicate the WPSH ridges. The definition of WPSH ridges is quoted from reference [14])

征<sup>[12, 14]</sup>, 发现双脊线过程对副高的南北进退有一定影响。占瑞芬等<sup>[13]</sup>利用 41 年 NCEP/NCAR 再分析资料对北半球副热带高压双脊线进行气候统计后发现, 双脊线的出现具有明显的“季节锁相”和地域性: 7 月中旬到 9 月中旬频繁出现在北印度洋中东部到北太平洋中部一带, 尤其是西太平洋副热带地区。既然如此, 这种“季节锁相”是否使双脊线过程在气候平均场中也有明显的反映? 其形成过程的特征及其机制又如何? 本文将针对这一问题展开讨论。

## 2 资料与方法

本文使用的资料主要为 NCEP/NCAR 再分析数据集: 1960~2002 年 5~10 月逐日标准等压面常规资料, 水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  经纬度, 全球  $144 \times 73$  个网格点, 基本要素为位势高度场 ( $\varphi$ )、三维风场 ( $u$ 、 $v$ 、 $w$ )、温度场 ( $T$ )、相对湿度场 ( $H_R$ ) 和比湿 ( $q$ )。

祁莉等<sup>[14]</sup>提出了如下确定双脊线过程的定量指标:

- (1) 定义  $u=0$ , 且  $\partial u/\partial y > 0$  的线为副高脊线。
- (2) 发生在西太平洋地区 ( $5^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N}$ ,  $100^\circ\text{E} \sim 160^\circ\text{E}$ )。
- (3) 两条脊线位于由某一条特征等高线 (如 585 dagpm 等高线) 界定的西太副高单体内部。
- (4) 双脊线持续维持 3 天以上 (含 3 天)。

因此, 本文先将 5~10 月的气候平均场进行 3 天滑动平均 (要求双脊线过程要持续维持 3 天或 3 天以上), 再根据以上定量指标确定各个过程。

## 3 气候平均场中的双脊线过程

根据确定双脊线过程的定量指标, 我们发现气候平均场中 5~10 月间明显存在 6 次双脊线过程 (Double Ridges Process, DRP)。结合纬度-时间剖面图 (图 2) 及 500 hPa 逐日高度场和流场 (图略), 给出 6 次双脊线过程维持期的时间和基本特征 (表 1), 可见 6 次过程均维持 3 天以上, 最长的达到 10 天。6 次过程南侧脊线均位于菲律宾群岛附近。根据这 6 次过程  $110^\circ\text{E} \sim 130^\circ\text{E}$  平均的 500 hPa 高度场及副高脊线的纬度-时间剖面图 (图 2, 其中 DRP5 由于南侧脊线偏西取  $100^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$  平均)。可见: (1) 6 次双脊线过程集中发生于 7 月下旬至 9

月下旬, 与占瑞芬等<sup>[13]</sup>的气候统计得到的“季节锁相”结果是一致的, 表明每年的这 6 个时段最易发生双脊线现象; (2) 6 次过程均表现为南侧新生一脊线, 发展几天后又减弱消失, 北侧脊线在双脊线过程结束后仍继续维持, 基于这一特征, 本文将重点讨论南侧脊线如何生成、如何消失及其发生发展的机制问题; (3) 新生南侧脊线均位于  $10^\circ\text{N}$  附近, 而北侧脊线位置偏北, 均位于  $25^\circ\text{N}$  以北; (4) 结合逐日 500 hPa 高度场和流场的演变 (图略), 我们发现仅 DRP 1 及 DRP 3 在双脊线过程结束后北侧脊线略有北抬, 其余 4 次过程北侧脊线均有所南退。历年双脊线过程的统计结果<sup>[10]</sup>也表明: 大部分情况下, 双脊线过程的结束使副高南撤, 为什么会有这样的结果? 其中的机制如何? 还有待于进一步的探讨。另外, 图 2 中根据纬向风场  $u=0$  确定的副高脊线与 500 hPa 位势高度场中心略有偏差, 这主要表现在南侧脊线上, 这是由于南侧脊线靠近赤道, 准地转关系还存在一定偏差所造成的。

图 3 给出了 DRP1 (7 月 23 日~8 月 1 日) 西太副高双脊线过程维持期及其 DRP1 前期副高单脊线时期 (7 月 10~20 日) 高低空流场配置 (其他过程图略)。由图 3 可见, DRP1 前期西太平洋上空 500 hPa 存在大型的闭合反气旋性环流, 南北延伸范围广, 585 dagpm 等高线界定的副高单体内部只有一条脊线, 位于  $25^\circ\text{N}$  附近, 向西延伸至  $105^\circ\text{E}$  附近;  $100^\circ\text{E} \sim 110^\circ\text{E}$  附近来自南半球的越赤道气流越过赤道后因为受到西太副高的阻挡而转向, 在南海附近形成季风槽, 槽上有一闭合气旋中心位于  $20^\circ\text{N}$  附近, 此时南海季风区 ( $10^\circ\text{N} \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $110^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$ ) 为东南气流控制, 使得季风槽偏弱, 位置偏西, 仅延伸至  $110^\circ\text{E}$  附近。DRP1 时, 南海季风区转为西南风控制, 季风槽南侧加强的偏西风带领季风槽向东伸展至  $125^\circ\text{E}$  附近, 侵入副高, 585 dagpm 等高线界定的西太副高单体出现明显的严重变形, 与前期相比也有所东撤, 但最明显的是其内部出现两条高压脊线, 偏北的一条与前期相比位置偏北, 位于  $30^\circ\text{N}$  附近, 穿越反气旋主体, 且有闭合中心, 偏南的一条位于季风槽南侧 ( $10^\circ\text{N}$ ,  $115^\circ\text{E} \sim 130^\circ\text{E}$ ), 没有闭合中心与之对应。

与 500 hPa 环流型相比, 上述两个时段对对流层低层 (850 hPa) 西太副高均偏东, 均只有一条脊线存在, 副高外围没有变形, 表明 DRP1 副高南侧脊线系

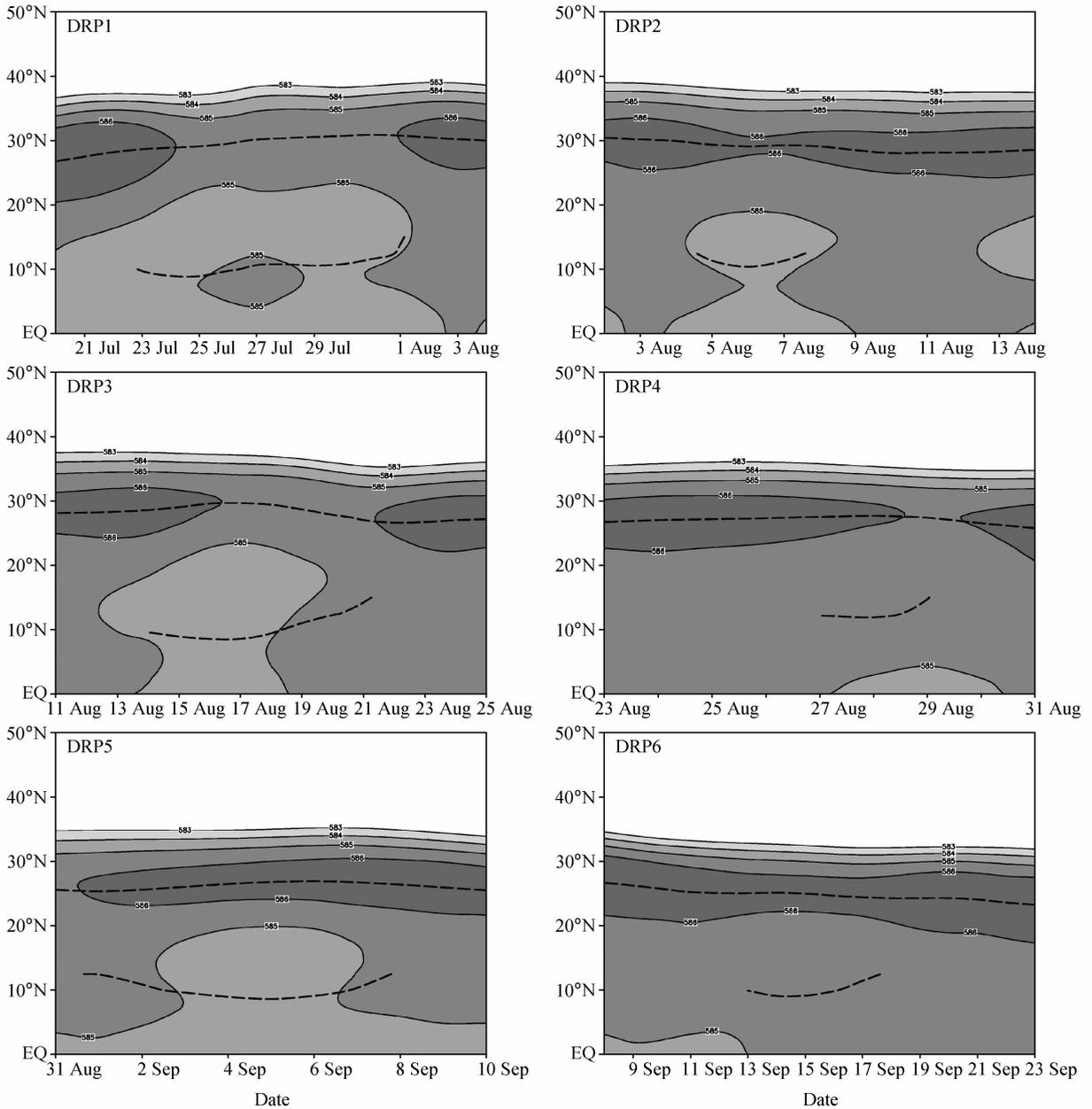


图2 气候平均场上5~10月6次双脊线过程的500 hPa位势高度的纬度-时间剖面图(单位: dagpm)。粗虚线: 副高脊线  
Fig. 2 Time-latitude cross sections of climatological mean daily 500 hPa geopotential height (dagpm) during the six DRPs (110°E~130°E mean for DRP1-4 and DRP6, 100°E~120°E mean for DRP5 due to the relatively westward location of the southern ridge) from May to Oct. Thick broken lines indicate the WPSH ridges

表1 5~10月气候平均场中的6次西太副高双脊线过程维持期特征

Table 1 Climatological characteristics during the six WPSH DPRs from May to Oct

双脊线过程	维持期	维持时间/d	维持期平均南侧脊线位置
DRP1	7月23日~8月1日	10	(7°N~15°N, 115°E~130°E)
DRP2	8月5~10日	6	(5°N~12°N, 115°E~122°E)
DRP3	8月14~22日	9	(5°N~15°N, 115°E~127°E)
DRP4	8月27~29日	3	(5°N~15°N, 107°E~127°E)
DRP5	9月1~7日	7	(5°N~12°N, 105°E~115°E)
DRP6	9月12~21日	10	(5°N~12°N, 105°E~122°E)

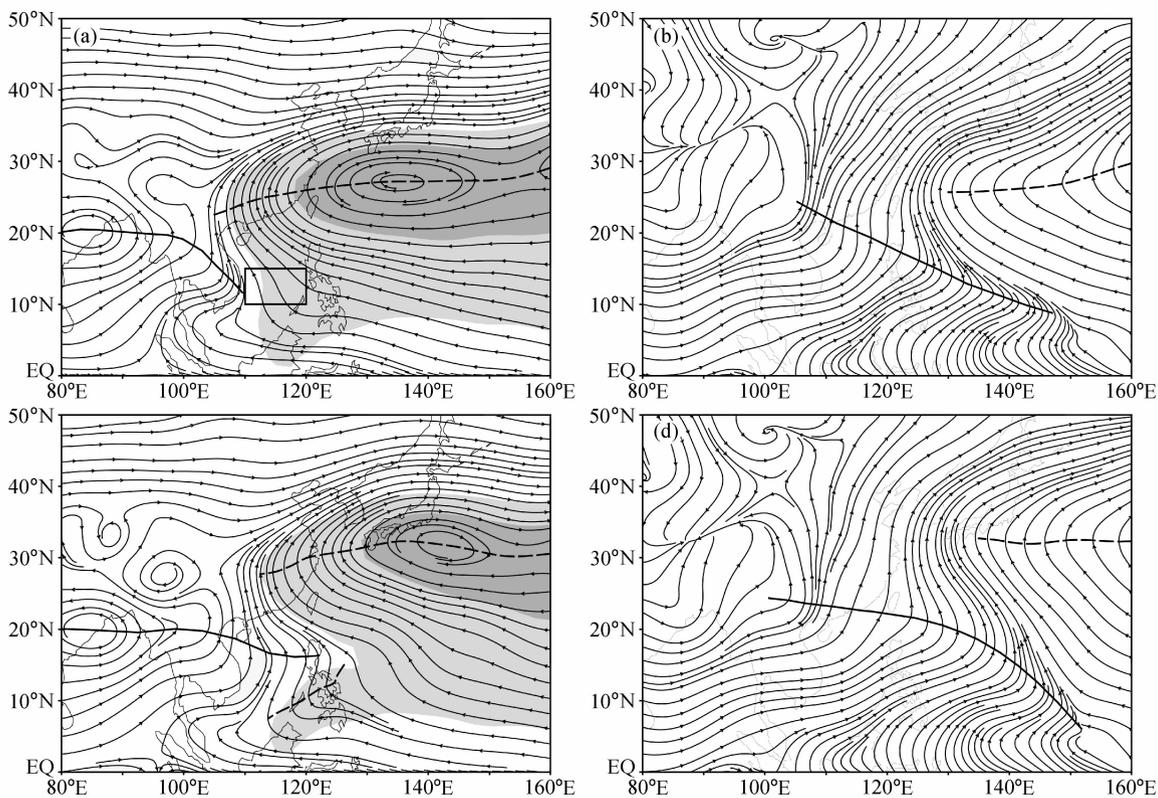


图 3 DRP1 维持期及其前期 (7 月 10~20 日) 平均的高低空流场: (a) 前期 500 hPa (阴影为位势高度 > 585 dagpm, 方框为南海季风区); (b) 前期 850 hPa; (c) DRP1 维持期 500 hPa (阴影为位势高度 > 587 dagpm); (d) DRP1 维持期 850 hPa。虚线: 脊线; 实线: 槽线  
Fig. 3 low and middle troposphere streamline fields during the period of DRP1 and before (10~20 Jul): (a) 500 hPa before DRP1 (shading: 500-hPa geopotential height > 585 dagpm; pane: the South China Sea monsoon region); (b) 850 hPa before DRP1; (c) 500 hPa during DRP1 (shading: 500-hPa geopotential height > 587 dagpm); (d) 850 hPa during DRP1. Dashed and solid lines indicate the ridge and trough, respectively

统主要位于对流层中层, 并不深厚, 不利于其维持; 对流层低层 100°E~150°E 越赤道气流强盛, 季风槽延伸至 150°E, 位于副高南侧, 但 DRP1 期间低层季风槽和副高脊线位置均比前期偏北。可见, 双脊线过程期间西太副高从对流层低层至中层均比前期偏北。那么, 偏北的副高是否有利于南侧脊线的生成?

由于 6 次双脊线过程均表现为南侧新生一脊线, 发展几天后就减弱消失, 北侧脊线继续维持。因此, 本文最关心的问题就是南侧新脊线如何生成? 如何消失? 其发生发展的机制又是什么? 从图 3 可见, DRP1 与前期单脊线时期相比 500 hPa 流场上最突出的特征为南海季风由东南风转为西南风, 季风槽位置偏东, 向东延伸至 120°E 以东, 副高外围变形。另外 5 个过程也具有同样的特征 (图略)。南海季风区对季风槽的东西延伸是敏感的,

当该区域平均纬向风由东风转为西风则表明季风槽东进越过 120°E。从 500 hPa 南海季风区纬向风剖面图 (图 4) 中可清晰地看到, 6 次双脊线过程均对应南海季风的突然加强东伸, 且均延伸 120°E 以东, 最远达到 140°E。这表明 6 次双脊线过程中均伴有季风槽东伸并侵入副高单体内部。祁莉、何金海<sup>[14]</sup>曾提出亚洲季风槽东侵西太副高是 1962 年“二度梅”期间双脊线过程形成的直接原因。因此, 我们有理由相信, 气候平均场上 5~10 月的这 6 次双脊线过程的建立也与季风槽密切相关。下面, 我们将作进一步分析。

#### 4 季风槽的准 10 天振荡

南海季风区对季风槽的东西延伸是敏感的。当该区域平均纬向风由东风转为西风则表明季风槽东进越过 120°E, 因此, 我们以南海季风区 (10°N~

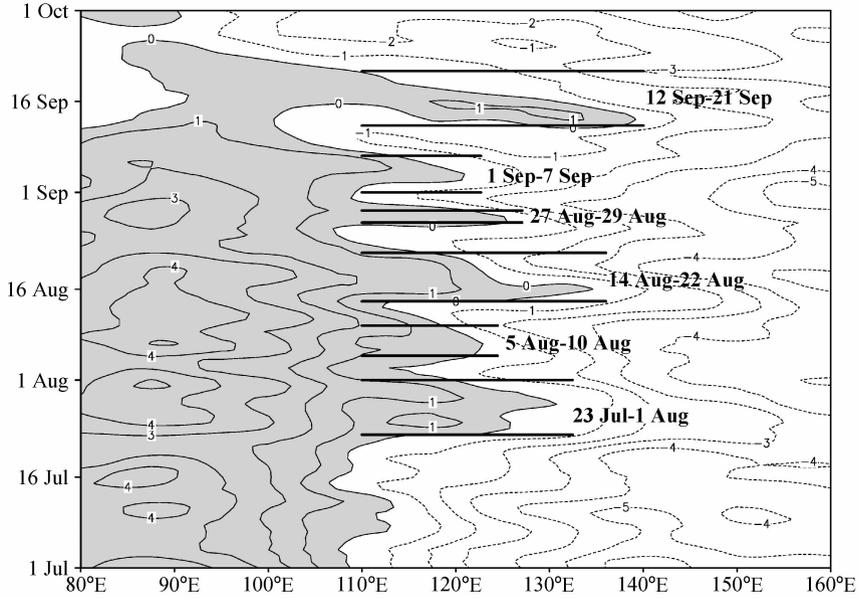


图 4 气候平均场上 500 hPa 南海季风区特征纬度 (12.5°N) 纬向风的经度-时间剖面图 (阴影为西风)

Fig. 4 Longitude-time cross section of climatologically mean 500-hPa zonal wind along specifically latitude (12.5°N) in the South China Sea monsoon region. Westerly is shaded

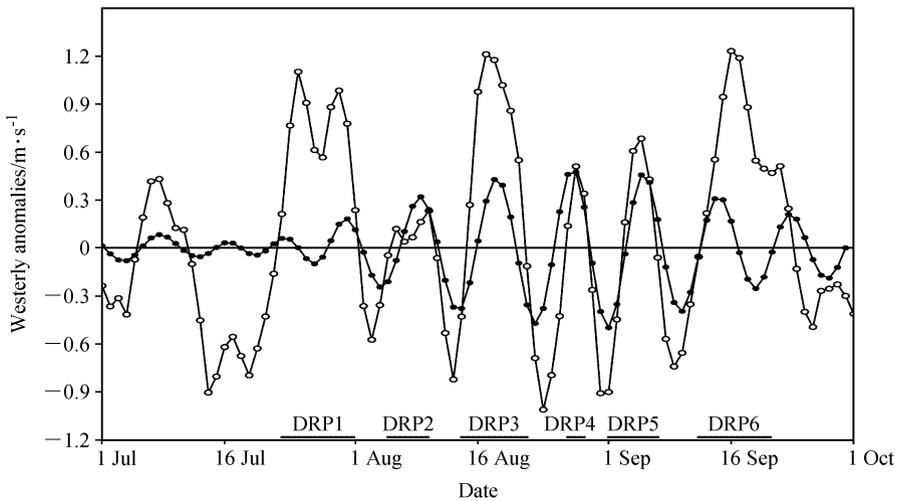


图 5 气候平均场上 500 hPa 南海季风 (10°N~15°N, 110°E~120°E) 异常 (实线) 及其 8~10 天滤波 (虚线) 随时间的演变

Fig. 5 Time evolution of climatologically mean 500-hPa South China Sea monsoon (10°N-15°N, 110°E-120°E) anomaly (solid line) and its 8-10-day band-passed component (broken line)

15°N, 110°E~120°E) 区域平均纬向风来表征季风槽的东伸西撤。图 5 给出了其距平的时间演变, 图中时间坐标标出了 6 次双脊线过程。可见, 6 次双脊线过程均对应南海季风区西风异常的峰值, 进一步证明气候平均场上 6 次双脊线过程的建立与季风槽的东西向运动密切相关。同时, 我们也发现此西风异常有周期振荡特征。小波分析结果 (图 6) 证实其 8~10 天的振荡周期在 7 月下旬至 9 月下旬突

然增强, 因此在图 5 (虚线) 中也给出其 8~10 天滤波后的情况: 5~10 月季风槽 8~10 天振荡的强度不大, 但 7 月下旬至 9 月下旬振幅突然明显增大, 8 月底达到最强, 且波峰与 6 次双脊线过程有很好的对应; 9 月下旬这种振荡逐渐减弱。也就是说, 季风槽的“间歇性增强东伸”具有准 10 天周期的振荡活动, 并呈现显著的“季节锁相”, 正是这一“季节锁相”造就了西太副高双脊线过程的“季节锁

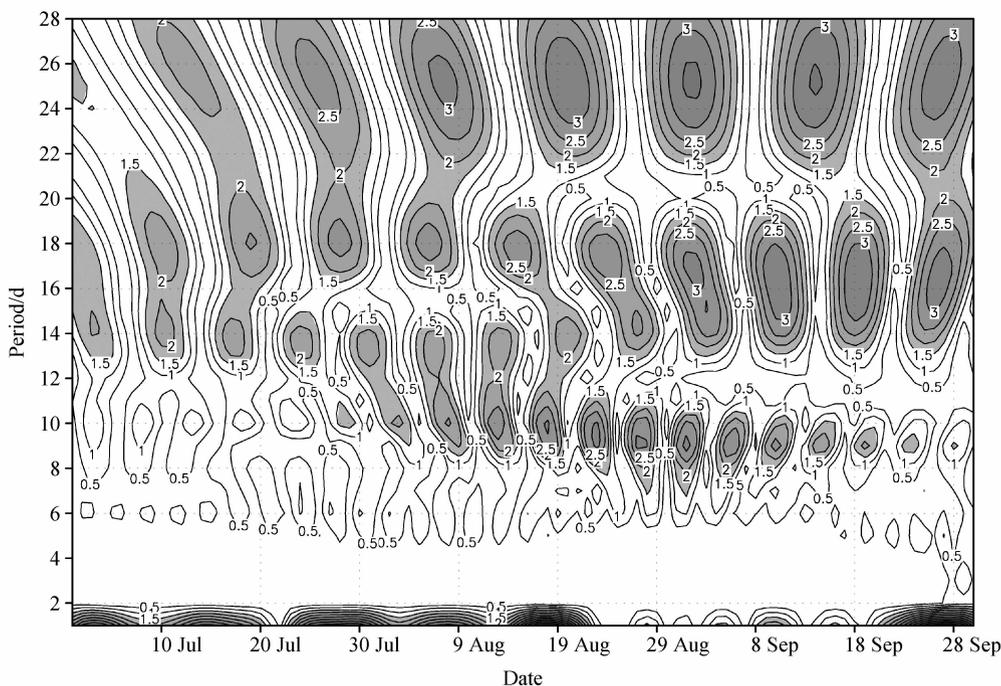


图6 气候平均场上7月1日~9月30日500 hPa南海季风(10°N~15°N, 110°E~120°E)的小波分析

Fig. 6 Wavelet power spectrum of climatologically mean 500-hPa South China Sea monsoon indicated by zonal wind averaged over (10°N-15°N, 110°E-120°E) during 1 Jul-30 Sep

相”。那么,这支突然出现增强的准10天振荡振荡的传播方向如何?突然增强的原因何在?

将500 hPa水平风场进行8~10天的带通滤波,图7a中矢量箭头为10°N~15°N平均风场,等值线为8~10天滤波后的纬向风异常,其中阴影表示大于等于0.1 m/s。可见,8~10天周期的纬向风场有显著的西传特征,西风扰动来自西太平洋140°E~150°E附近,向西传播至90°E~100°E孟加拉湾地区,这与陈隆勋等<sup>[15]</sup>的分析是一致的。在6次双脊线过程中南海季风区为西风位相,与至东向西传来的西风扰动同位相叠加,可激发南海季风增强,季风槽发展东伸。7月15日前和9月21日后也有来自西太平洋的西风扰动西传,但南海季风区维持东风位相,不利于西风加强。同时,115°E~120°E区域平均8~10天周期的纬向风扰动也有显著的北传特征(图7b),该西风扰动来自赤道,6次双脊线过程中均北传至10°N~15°N以北,并达到最强,加强了南海季风。这两支准10天振荡同位相,西传扰动到达120°E与北传扰动到达10°N的时间大致相同,也就是说,这两支准10天振荡的有利位相同时传入南海季风区(10°N~15°N, 110°~120°E),它们在南海季风区共同作用,引起季风

槽的“间歇性增强东伸”。

据此可以认为,气候平均场上的6次双脊线形成的时间由两支8~10天周期的振荡的有利位相分别从东、从南传至南海季风区发生锁相的时间所决定。刘屹岷等<sup>[16, 17]</sup>曾指出凝结潜热是决定东半球夏季副热带高压位置和强度的关键因素,那么,这两支8~10天周期振荡是否通过与其相伴随的对流所带来的凝结潜热释放来影响双脊线形成?其中具体的相互作用过程及动力学机制将另文分析。

## 5 结果与讨论

副高双脊线过程几乎历年均存在,其“季节锁相”与地域性使得在气候平均场上西太平洋副热带地区也存在明显的双脊线过程。气候平均场上5~10月西太副高共出现6次双脊线过程,集中发生在7月下旬至9月下旬,表明每年的这6个时段最易发生双脊线事件。

上述每次双脊线过程均表现为副高南侧新生一脊线,发展几天后就减弱消失,北侧脊线(原脊线)继续维持。因此我们更关注南侧脊线何时生成、何时消失及其中的机制。而通过初步的诊断分析发现,6次双脊线过程中南侧脊线的生成与季风槽

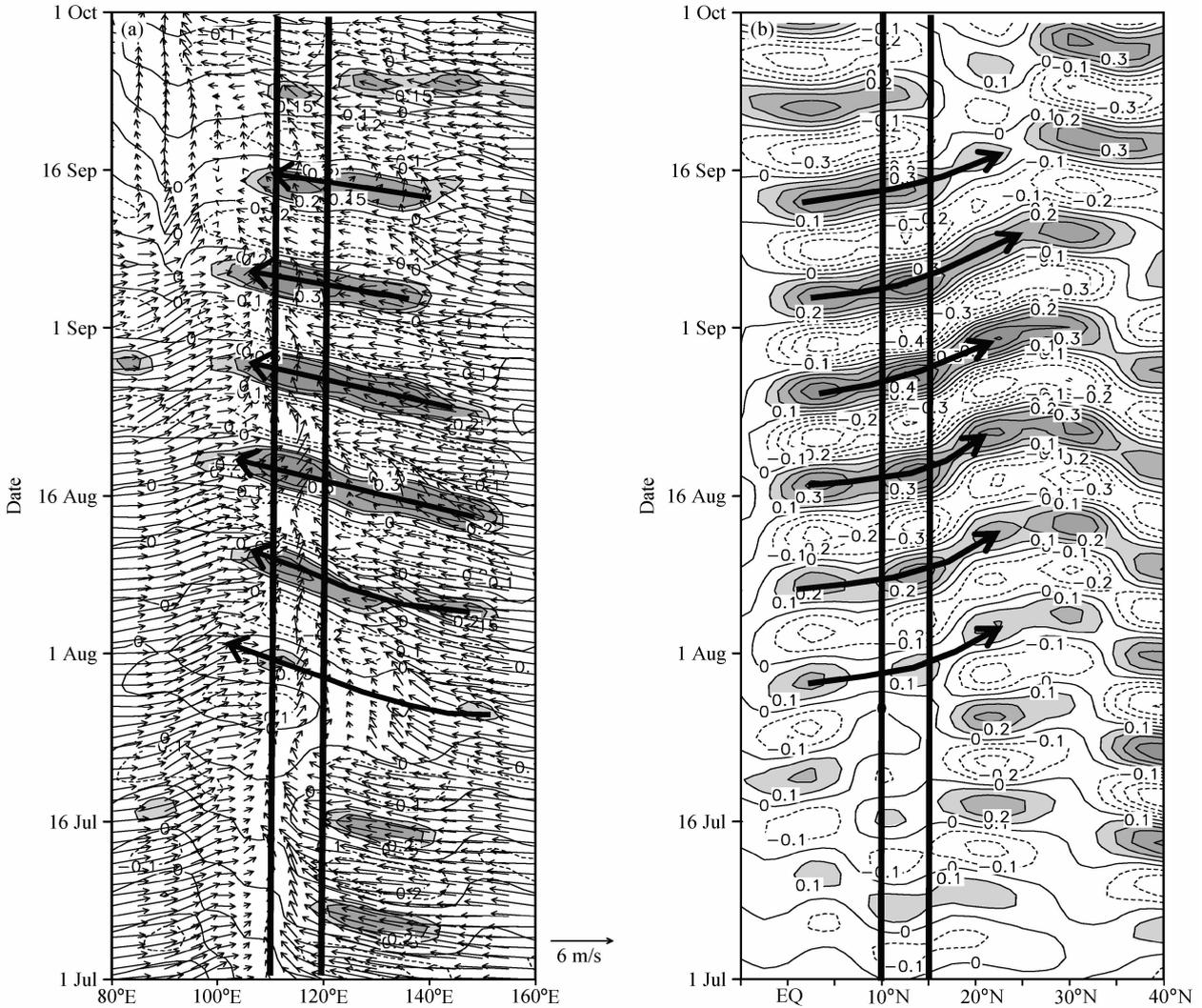


图7 气候平均场上8~10天滤波后的500 hPa纬向风异常:(a)  $10^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 平均(矢量:水平风场);(b)  $115^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均。阴影为异常 $\geq 0.1\text{ m/s}$

Fig. 7 8-10-day band-passed 500-hPa zonal wind anomalies on a climatological basis: (a)  $10^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$  mean (the vector arrow means the total horizontal wind); (b)  $115^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$  mean. The regions with zonal wind anomalies over  $0.1\text{ m/s}$  are shaded

8~10天周期的“间歇性增强东伸”密切相关,也正是这一准10天振荡在7月下旬至9月下旬的突然增强造就了双脊线的“季节锁相”。进一步分析发现,季风槽8~10天的“间歇性增强东伸”与两支分别来自西太平洋的西传准10天振荡和来自赤道的北传准10天振荡有关,这两支振荡同位相,其有利位相同时传入南海季风区( $10^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ),它们在南海季风区共同作用,引起季风槽的“间歇性增强东伸”。

据此可以得到结论,气候平均场上的6次双脊线形成的时间由两支8~10天周期的振荡的有利位相分别从东、从南传播至南海季风区发生锁相的时

间所决定。

图8给出一个8~10天振荡的完整周期(达到波峰为0天的前后4天)中500 hPa流场、季风槽和西太副高脊线的演变状况。我们以8~10天周期的振荡到达波峰日期(第0天)为参照,在第四天时,南海季风处于西风最弱位相,季风槽维持在 $110^{\circ}\text{E}$ 以西,此时西太副高只有一条脊线,外围没有变形;第三天时,季风槽略有东伸,但副高仍然保持单脊线特征;到第二天,季风槽东伸至 $115^{\circ}\text{E}$ ,副高外围出现变形, ( $10^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E}$ ) 出现一条新的脊线,但该脊线较短,系统较弱;第一天,季风槽继续东伸并达到 $120^{\circ}\text{E}$ ,副高南侧脊线有所

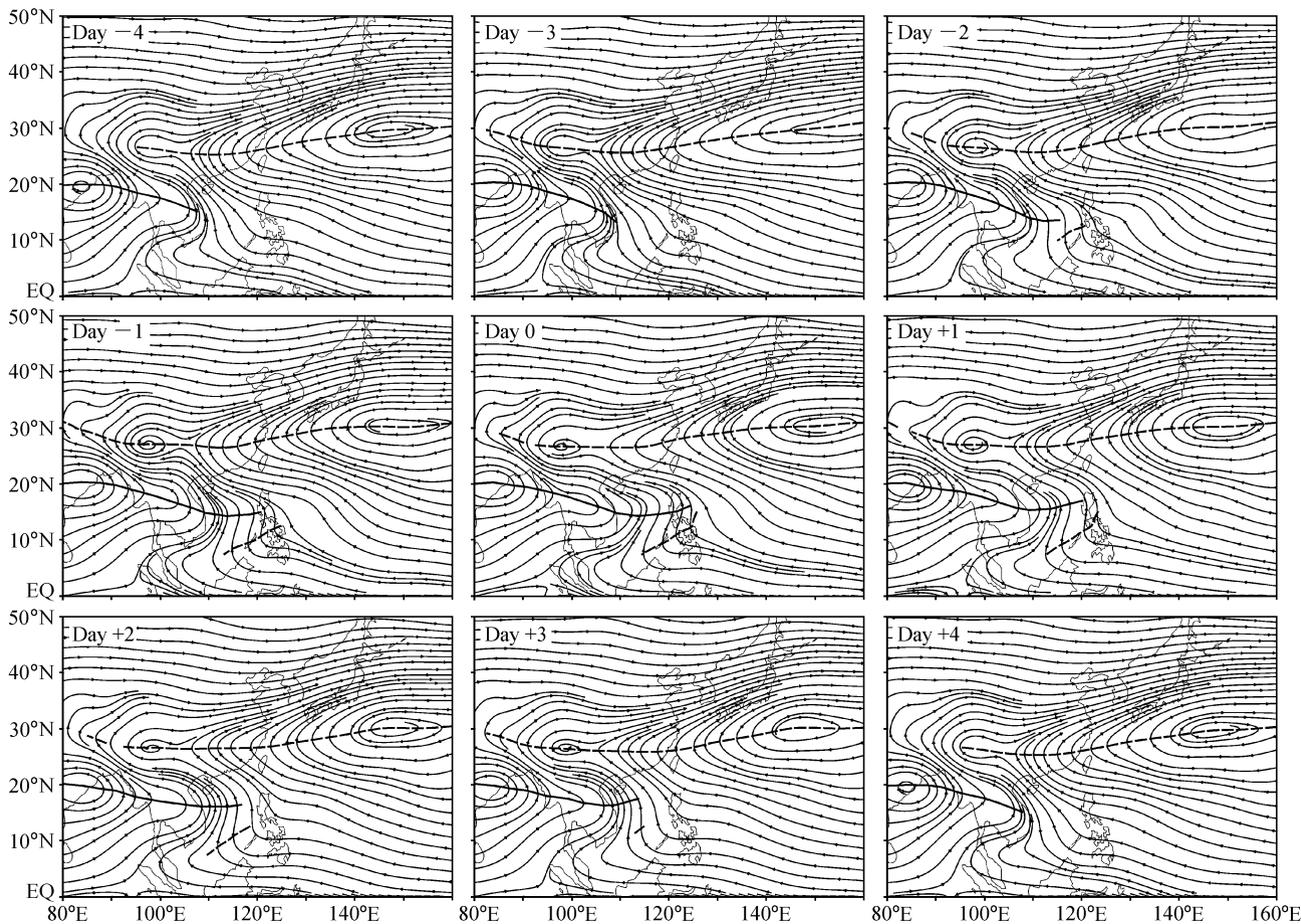


图 8 在南海季风异常 8~10 天振荡的一个周期中气候平均场上 500 hPa 水平流场的逐日合成图。实线: 槽线; 虚线: 脊线  
Fig. 8 Daily composites of climatologically mean streamline fields at 500 hPa during a period of 8-10-day oscillation of anomalous monsoon over the South China Sea. Solid and dashed lines indicate the trough and ridge, respectively

发展, 强度增强, 横跨 15 个经距; 第 0 天, 8~10 天周期的振荡达到波峰, 季风槽东伸至最东端, 达到 125°E 附近。此时, 副高南侧脊线略有东移, 位于 115°E~130°E; 随后季风槽开始西撤, 到第 2 天时已经撤到 118°E, 副高南侧脊线强度显著减弱, 仅维持 10 个经距, 到第 3 天几乎消失。第 4 天该振荡达到负位相最强, 季风槽最弱, 西撤至 110°E 以西, 副高恢复单脊线特征, 双脊线过程结束。

综上所述, 气候平均场上 5~10 月西太副高双脊线过程与季风槽 8~10 天周期的“间歇性增强东伸”密切相关, 而季风槽的上述活动则与两支分别来自西太平洋的西传准 10 天周期振荡和来自赤道的北传准 10 天周期振荡有关。然而, 本文的工作仅仅是初步的诊断分析, 尚未涉及许多动力机制问题, 例如, 西太平洋的 8~10 天周期的西风扰动是如何发展起来的? 来自赤道的北传扰动是否仅是一

种热带现象还是与南半球中纬度的动力过程有关? 张祖强等<sup>[18]</sup>曾提出, 来自南半球的经向气流对 ENSO 前期赤道西太平洋西风异常爆发有很大贡献, 这支气流来自高纬地区, 与中高纬度气压场异常有直接的关系。那么, 本文的北传扰动是否也有类似的结果? 这都需要进行进一步的诊断分析和数值试验的验证。

此外, 不难发现, 气候平均场上的 6 次过程 (图 2) 均表现为南侧新生一脊线, 发展几天后就减弱消失, 北侧脊线继续维持; 而历年的典型个例 (图 1) 中一些双脊线过程 (如 1968 年、1975 年、2001 年等) 的结束却表现为新生南侧脊线加强发展而最终取代北侧脊线。其中的原因尚不清楚, 机制还有待分析, 结果将另文给出。对这两类双脊线过程的分析将有助于我们客观评价双脊线过程对副高南北进退, 进而对长江中下游二度梅的影响和作用。

## 参考文献 (References)

- [1] 陶诗言, 徐淑英, 郭其蕴. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流的特征. 气象学报, 1962, **32** (1): 1~8  
Tao Shiyang, Xu Shuying, Guo Qiyun. Meridional and zonal circulation features over eastern Asian tropical and subtropical regions during summer. *Acta Meteor. Sinica*. (in Chinese), 1962, **32** (1): 1~8
- [2] 黄土松, 汤明敏, 霍义强, 等. 副热带高压位置一年中南北变动的一下特征及其意义. 南京大学学报 (气象学), 1962, (2): 41~56  
Huang Shisong, Tang Mingmin, Huo Yiqiang, et al. Some characteristics and meaning of the progression northward and retrogression southward of the subtropical high. *J. Nanjing University (Meteorology)* (in Chinese), 1962, (2): 41~56
- [3] 黄土松, 余志豪. 副热带高压结构及其同大气环流有关问题的研究. 气象学报, 1962, **31** (4): 339~359  
Huang Shisong, Yu Zhihao. Structures of subtropical high and associated problems of generation circulation. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 1962, **31** (4): 339~359
- [4] 张韧, 史汉生, 喻世华. 西太平洋副热带高压非线性稳定性问题的研究. 大气科学, 1995, **19** (6): 687~700  
Zhang Ren, Shi Hansheng, Yu Shihua. A study of non-linear stability of the western-Pacific subtropical high. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1995, **19** (6): 687~700
- [5] 张琼, 钱永甫, 张学洪. 南亚高压的年际和年代际变化. 大气科学, 2000, **24** (1): 67~78  
Zhang Qiong, Qian Yongfu, Zhang Xuehong. Interannual and interdecadal variations of the South Asia high. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24** (1): 67~78
- [6] 刘屹岷, 吴国雄. 副热带高压研究回顾及对几个基本问题的再认识. 气象学报, 2000, **58** (4): 500~512  
Liu Y M, Wu G X. Reviews on the study of the subtropical anticyclone and new insights on some fundamental problems. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (4): 500~512
- [7] 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. 1~294  
Wu Guoxiong, Chou Jifan, Liu Yimin, et al. *Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclones* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 1~294
- [8] 何金海, 温敏, 施晓晖, 等. 南海夏季风建立期间副高带断裂和东撤及其可能机制. 南京大学学报 (自然科学), 2002, **38** (3): 318~330  
He Jinhai, Wen Min, Shi Xiaohui, et al. Splitting and eastward withdrawal of the subtropical high belt during the onset of the South China Sea summer monsoon and their possible mechanism. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)* (in Chinese), 2002, **38** (3): 318~330
- [9] Lu Riyu. Indices of the summertime western North Pacific subtropical high. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (6): 1004~1028
- [10] Wu G X, Liu Y M. Summertime quadruplet heating pattern in the subtropics and the associated atmospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, **30**: 1201~1204
- [11] Liu Y M, Wu G X, Ren R C. Relation between the subtropical anticyclone and diabatic heating. *J. Climate*, 2004, **17** (4): 327~338
- [12] 占瑞芬, 李建平, 何金海. 西太平洋副热带高压双脊线及其对 1998 年夏季长江流域“二度梅”的影响. 气象学报, 2004, **62** (3): 294~307  
Zhan Ruifen, Li Jianping, He Jinhai. Influence of the double ridges of west Pacific subtropical high of the second Meiyu over the Yangtze River valley during 1998. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (3): 294~307
- [13] 占瑞芬, 李建平, 何金海. 北半球副热带高压双脊线的统计特征. 科学通报, 2005, **50** (18): 2022~2026  
Zhan Ruifen, Li Jianping, He Jinhai. Climatological characteristics of the double ridges of subtropical high in the Northern Hemisphere. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2005, **50** (18): 2022~2026
- [14] 祁莉, 何金海, 占瑞芬, 等. 1962 年西太平洋副热带高压双脊线演变过程的特征分析. 大气科学, 2006, **30** (4): 682~692  
Qi Li, He Jinhai, Zhan Ruifen, et al. Characteristics study of west Pacific subtropical high double ridges process in 1962. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 2006, **30** (4): 682~692
- [15] 陈隆勋, 高辉, 何金海, 等. 夏季东亚和印度热带季风环流系统动能和对流扰动的纬向传播特征. 中国科学 (D 辑), 2004, **34** (2): 171~179  
Chen Longxun, Gao Hui, He Jinhai, et al. Latitudinal propagating characteristics of summer East Asia and India tropical monsoon cycle kinetic energy and convection disturbance. *Science in China (D)* (in Chinese), 2004, **34** (2): 171~179
- [16] 刘屹岷, 吴国雄, 刘辉, 等. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 III. 凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高. 气象学报, 1999, **57** (5): 525~538  
Liu Y M, Wu G X, Liu H, et al. The effect of spatially non-uniform heating on the formation and variation of subtropical high. Part III: Condensation heating and South Asia high and western Pacific subtropical high. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (5): 525~538
- [17] Liu Y M, Wu G X, Liu H, et al. Condensation heating of the Asian summer monsoon and the subtropical anticyclone in the Eastern Hemisphere. *Climate Dyn.*, 2001, **17** (4): 327~338
- [18] 张祖强, 丁一汇, 赵宗慈. ENSO 发生前与发展初期赤道西太平洋西风异常的爆发问题. 气象学报, 2000, **58** (1): 11~25  
Zhang Zuqiang, Ding Yihui, Zhao Zongci. On the westerly wind outbursts in equatorial western Pacific during the onset and development phases of ENSO and before. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (1): 11~25