1962 年西太平洋副热带高压双脊线演变过程的特征分析

祁 莉[1] 何金海[1] 占瑞芬[2] 张祖强[3]

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室，南京 210044
2 中国科学院大气物理研究所，北京 100029
3 国家气候中心，北京 100081

摘 要 利用 NCEP/NCAR 逐日再分析资料，提出确定副高双脊线过程的定量指标，之后重点诊断研究 1962 年“二度梅”期间的双脊线过程。结果表明：1962 年“二度梅”期间，由于季风槽的加强东伸，副高外围变形，在其南侧新生一条脊线，呈现双脊线结构。由此，提出亚洲季风槽的发展东移是副高双脊线形成的重要影响因子。分析表明，1962 年的双脊线过程与 1998 年的双脊线过程相比，有同亦有异：两次双脊线过程与长江流域“二度梅”均有关联，但 1998 年双脊线过程结束后，北侧脊线消失，南侧脊线发展维持，使副高脊线异常偏南，造成“二度梅”的突然出现，而 1962 年双脊线过程结束后却是南侧脊线消失，北侧脊线维持并异常偏北，从而导致“二度梅”结束；在涡度场上，两次双脊线过程均有一高层对低层的“诱导”效应，同时 500 hPa 诱导生成的正涡度与低纬度北移而来的正涡度带打通合并、东伸，进而其两侧的负涡度带增强，形成双脊线。这些结果为西太平洋副热带高压双脊线的演变规律和机制的进一步研究提供了新的线索。

关键词 西太平洋副热带高压 双脊线 二度梅 季风槽
文章编号 1006－9895(2006)04－0682－11 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

Characteristics of the Western Pacific Subtropical High Double Ridges Process in 1962

QI Li[1], HE Jin-Hai[1], ZHAN Rui-Fen[2], and ZHANG Zu-Qiang[3]

1 *Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044
2 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029
3 *National Climate Center, Beijing* 100081

Abstract The NCEP/NCAR reanalysis data are employed to advance quantitative indicators for confirming the double ridges process of the Western Pacific Subtropical High (WPSH). The process during the second Meiyu season in 1962 is diagnosed in this paper. The results suggest that, during the second Meiyu season in 1962, a new ridge is rebuilt in the southern part of WPSH, forming a double ridges process, because of the monsoon trough strengthening and extending eastward, making the WPSH distorting strongly. So the monsoon trough development and movement eastward is regarded as an important factor for the double ridges formation. It is indicated that there are both difference and sameness between the double ridges processes in 1962 and 1998: Both of them have essential role in the second Meiyu season of the Yangtze River valley, but in 1998 the northern (original) ridge gets weak and disappears, the southern ridge, in contrast, becomes strong and persists as a single WPSH ridge, causing the location of the WPSH ridge to be much more southward than its normal and an abrupt commencement of the second Meiyu season; in 1962 the southern ridge weakens and vanishes after several days' development, the northern (o-

收稿日期 2005－04－12，2005－09－07 收修定稿
资助项目 国家自然科学基金资助项目 40475021、40135020、40233037
作者简介 祁莉，女，1981 年出生，博士研究生，主要从事季风及气候变化研究。E-mail：qili82@126.com

riginal) ridge then moves northward leading to an end of the second Meiyu season.

It is indicated that the two processes are different from each other on dynamics and thermodynamics. During the persistence period of the process, in terms of the northern ridge, in 1962 it lies to the south of the warm axis all the time and the corresponding ridge axis in the vertical circulation along 120°E also slopes northward all through, however, it coincides with the warm axis and the ridge axis is nearly in plumb in 1998; as to the southern ridge, in 1962 it is thin and not coherent in dynamics, and its relative humidity exceeds 70%, but in 1998 it is thick existing in the whole lower and middle troposphere, and it crosses through dry centers with ascending movement around. When the relative vorticity is concerned, there is a alike course in the two processes: the positive vorticity band at 500 hPa, which is conducted from upper system, combines with the positive vorticity from the tropics, develops further and extends eastward. So the negative vorticity bands on both sides get strengthened and promote double ridges formation. These results provide a new clue for the study of the mechanism of WPSH double ridges process.

Key words the Western Pacific Subtropical High (WPSH), double ridges, the second Meiyu season, monsoon trough

1 引言

西太平洋副热带高压（简称西太副高）是夏季对流层中、低层中位于西太平洋到我国东部的重要天气、气候系统。西太副高变化多端，天气气候异常频发。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。因此，弄清西太副高的结构、南北进退及东撤西伸的规律和机理，既是进一步认识大气环流及东亚气候变化的关键，也具有重大的科学意义和实际应用价值。

早在 20 世纪 60、70 年代，陶诗言等[1~3]和黄士松等[4, 5]就研究了副高的变化及其对中国天气的影响。He 等[6]指出西太副高的准定常和瞬变部分的环流结构特征有明显区别。随着观测资料的数量和质量的不断提高，人们对影响副高南北移动的因子有了新的认识，发现中高纬度阻高[7]、低层赤道西风二次北跳及赤道对流向北推进[8]、副高周边水汽输送及其对流活动[9]等，对夏季西太副高的北跳、南撤均有显著的影响。此外，研究表明西太副高的季节东移不仅与北半球纬圈环流存在联系，而且与 180°以东的北半球局地 Hadely 环流以及北美大陆的加热也存在密切关系[10]。与此同时，Yang 等[11]将某一区域特定的相对涡度作为指数来研究副高东西方向上的变动，而 Lu[12]则利用特定区域上平均的夏季平均的 850 hPa 位势高度异常，定义了两种指数来描述夏季西北太平洋副高在东西方向和南北方向上的偏差。1999 年，吴国雄等[13]和刘屹岷等[14~16]通过建立“全型涡度方程”，运用资料诊断和模式模拟研究了副高单体的形成机制及其季节和年际变化，得到了新的认识。张培群[17]和宋振鑫等[18]利用东西风交界面来表征副高脊面位置，运用动力模型结合资料分析研究了副高脊面的气候变异特征，他们的工作为副高的研究提供了新的思路。但是纵观前人的研究成果，可以发现，人们对副高的研究大多停留在单脊线特征上。

事实上，副高还存在双脊线结构。最近，占瑞芬等[19, 20]指出在天气尺度环流演变中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，并把这种现象定义为副高双脊线。该现象的出现并非偶然，7 月中旬到 9 月中旬西太平洋及以西地区和中太平洋地区发生频率可达 50%以上。根据对 1998 年梅雨间歇期双脊线过程的分析，他们发现双脊线过程的结束是造成 1998 年副高脊线异常偏南，从而使长江流域突然出现“二度梅”的主要原因之一。而这次双脊线过程是以南侧副高脊线发展维持，而北侧副高脊线减弱消失为主要标志的。

初步证据表明，副高双脊线的出现可能对副高的南北进退（特别是不连续进退），进而对长江流域“二度梅”有重要的作用。然而，如果仅仅根据 1998 年双脊线过程就得出这样的结论，显得证据不够充分，而且副高双脊线过程的确定尚需进一步定量，双脊线过程对副高南北进退的影响的机理还需深入研究。双脊线过程结束后副高脊线是否一定会异常偏南？双脊线过程和长江流域“二度梅”究竟有何内在联系？这些问题并未得到回答。事实

上，研究发现 1962 年“二度梅”期间副高双脊线过程的结束表现为南侧脊线减弱消失，北侧脊线北抬发展，使“二度梅”结束。这与 1998 年双脊线过程相比有明显的不同。那么，1962 年的双脊线过程形成的原因是什么？在动力学及热力学特征上与 1998 年过程相比又有何区别？本文拟在文献[19]的基础上，提出确定副高双脊线过程的定量指标，然后重点对 1962 年“二度梅”期间的双脊线过程进行诊断分析。

2 资料和方法

本文使用的资料主要是南京大气资料服务中心整编提供的 NCEP/NCAR 再分析数据集：1962 年 6、7 月逐日标准等压面常规资料，水平分辨率为 2.5°×2.5°经纬度，全球 144×73 个网格点，基本要素为位势高度场（φ）、三维风场（u，v，w）、温度场（T）、相对湿度场（H_R）和比湿（q）。

资料诊断分析[21]表明，在 5°S～5°N 赤道带外，大尺度大气运动在低纬度也以很高的精度满足经向科里奥利力与经向气压梯度力基本平衡的地转关系（即半地转关系），根据这个关系可以确定在东西风交界面处正好是气压极值所在的地方。因此，可将副热带地区（5°N 以北地区）$u=0$ 且$\partial u/\partial y>0$ 的线定义为副高脊线[19]。然而，文献[19]中对双脊线的定义过于广泛，在确定双脊线过程时缺乏客观性，而且由此确定的双脊线过程在时间上缺乏持续性。

因此，本文提出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°N～40°N，100°E～160°E）。

（3）两条脊线位于由某一条特征等高线（如 582 dagpm 等高线）界定的西太副高单体内部。分析表明，副高单体区域与经向偏差大于零的区域相吻合。此处，经向偏差[22]定义为在某一等压面上，以赤道上位势高度值为基准，求取得到的各个纬度与它的偏差（仿纬向偏差称其为经向偏差）。

（4）双脊线持续维持 3 天以上。

以此确定历年双脊线过程。鉴于 1962 年“二度梅”期间的西太平洋副高双脊线过程的特殊性和重要性，下面将对这次个例进行重点诊断分析，以期能多方位地认识副高双脊线过程和正确评价副高双脊线的作用。

3 1962 年西太副高双脊线过程的确定

1962 年，梅雨开始于 6 月 15 日，6 月 15～25 日脊线基本维持在 18°N～22°N，6 月 26 日出现沿海低槽，西太副高明显南退，长江流域梅雨结束；7 月 1～3 日西太副高恢复性北跳，长江流域重新入梅，长江中、下游地区自西向东出现连续暴雨，“二度梅”于 7 月 9 日结束。研究发现，“二度梅”期间西太副高出现了双脊线现象。图 1 为 1962 年 7 月 7 日的 500 hPa 流场分布，可以看到在东亚-西太平洋副热带地区清楚地呈现出南北两条高压脊线，除了位于 25°N 附近的北侧原脊线外，南侧 5°N～15°N 附近又出现一条新的脊线，呈东东北-西西南走向，副高外围出现严重变形。

图 2 是 1962 年 7 月 110°E～130°E 平均（这是夏季 500 hPa 西太平洋副高对中国最具影响的范围）的 500 hPa 位势高度的时间-纬度剖面。由图 2 可见，7 月 5 日之前，副高脊线维持在 23°N～25°N 附近，随后副高脊线逐渐北抬，副高强度减弱；7 月 9 日，脊线已经北抬至 30°N，长江流域“二度梅”结束。同时，从图 2 上也可以清楚地看到，在副高脊线逐渐北抬的这段时间里，南侧新生了一条脊线，从而副高呈现双脊线结构。事实上，从 1962 年 6、7 月 500 hPa 逐日位势高度场和脊线位置分布（图略）上可以发现，7 月 5 日西太副高除了在 25°N 附近有一条脊线（简称北侧脊线）外，在其南侧 5°N～10°N 之间又出现了一条脊线（简称南侧脊线），从而呈现两条脊线并存的现象，即双脊线现

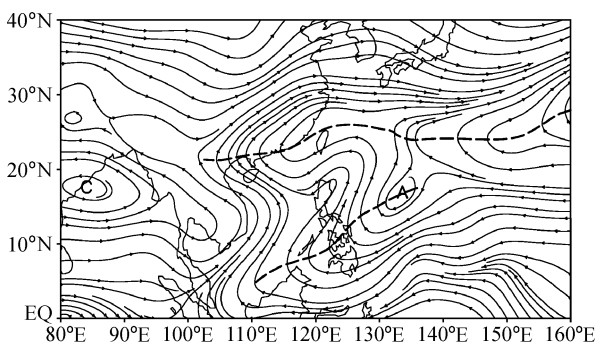

图 1 1962 年 7 月 7 日 500 hPa 流场分布（虚线为副高脊线）

Fig. 1 500 hPa stream field on 7 Jul 1962. The broken lines denote the ridges of the western Pacific subtropical high (WPSH)

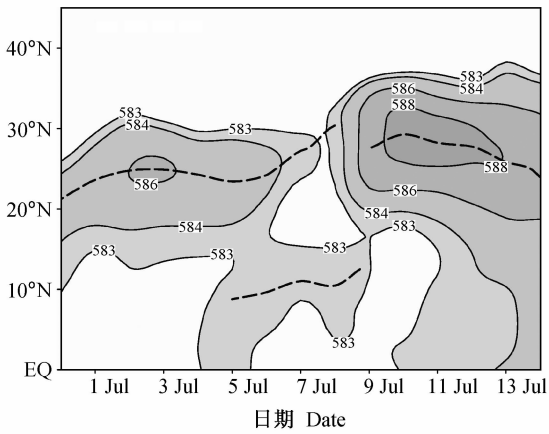

图 2　1962 年 7 月 1～14 日逐日 500 hPa 位势高度（单位：dagpm）的时间-纬度剖面（110°E～130°E）。虚线为副高脊线

Fig. 2　Time－latitude cross section (110°E－130°E) of the daily 500 hPa geopotential height (dagpm) during 1 Jul to 14 Jul 1962. The broken lines stand for the WPSH ridges

象；此后，南侧脊线维持，北侧脊线则逐渐北抬，副高主体逐渐减弱东撤，该双脊线过程维持了数日；至 7 月 9 日，南侧脊线突然消失，北侧脊线北抬至 30°N，副高主体东撤到了 130°E 以东，使北侧脊线在时间-纬度剖面图上出现了中断。

以上分析指出，7 月 5 日副高就出现了双脊线现象，但是由于此时其南侧脊线基本处于副高西南侧，双脊线现象不显著；而 6 日南侧脊线穿越了副高单体内部，且有闭合中心与之对应。因此，根据我们提出的定量指标确定这次副高双脊线主要过程是 7 月 6～9 日。为了清楚地表征此次双脊线过程的基本特征，本文对此时段进行了平均。此外，为了便于比较，还给出了单脊线特征较显著的 6 月 29 日～7 月 4 日（双脊线过程前期）和 7 月 10～14 日（双脊线过程后期）的各场量相应分布图。

4　1962 年“二度梅”期间西太副高双脊线过程的若干特征

4.1　双脊线过程的环流特征

图 3 是 1962 年上述 3 个时段 500 hPa 的平均位势高度场分布，由图可见，双脊线现象十分清晰：双脊线维持阶段（图 3b），西太副高南北延伸范围广，副高主体外围有明显的变形，在 10°N、23°N 上分别存在两条高压脊线，其中偏北的一条穿越西太副高主体，南侧的一条没有相应的闭合中心与之对应。与此相反，双脊线过程前期（图 3a）和后期

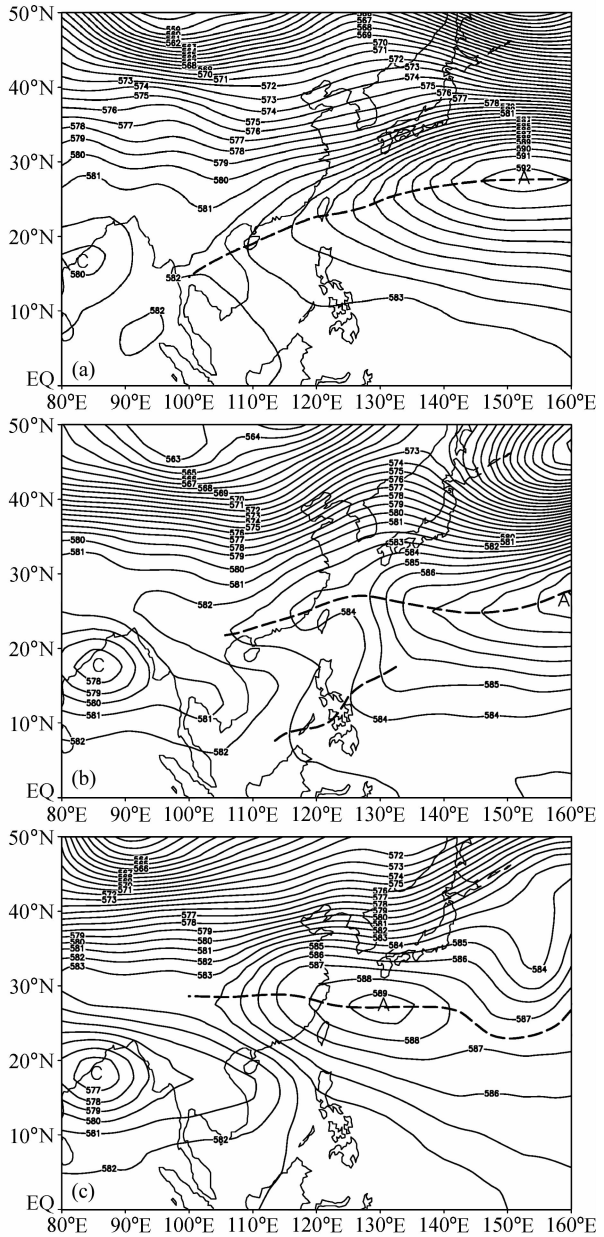

图 3　1962 年 7 月西太副高双脊线过程各典型时段 500 hPa 平均位势高度场分布：(a) 前期 6 月 29～7 月 4 日；(b) 维持期 7 月 6～9 日；(c) 后期 7 月 10～14 日。虚线为副高脊线

Fig. 3　The 500 hPa mean geopotential height (dagpm) fields in the process of the WPSH double ridges in Jul 1962: (a) the previous period, 29 Jun to 4 Jul; (b) the persistence period, 6 Jul to 9 Jul; (c) the posterior period, 10 Jul to 14 Jul. The broken lines represent the WPSH ridges

(图 3c)，副高外围没有明显的变形，突出的特征是只有一条副高脊线存在，且后期西太副高脊线整体偏北，脊线位于 30°N，使长江流域“二度梅”结束，而且与大陆高压打通，形成强大的副高带。

下面，从 120°E 垂直经向剖面图上进一步分析 1962 年西太平洋副高双脊线过程的环流特征（因为夏季西太平洋副热带高压脊面随高度向西向北倾斜，但无论哪个层次上，120°E 附近均是相当活跃的地方）。图 4 为 1962 年 7 月 3 个时段平均的垂直流场经向剖面，从图中看出：在副高双脊线过程前期（图 4a），副高为单脊轴结构，低层（850 hPa 以下）脊线位于 20°N 以南，925 hPa 以上脊线随高度向北倾斜，但倾角较小；脊轴附近 700 hPa 以下为下沉运动，700～200 hPa 则为强上升运动，与刘屹岷和吴国雄[16]气候平均的副高脊线上的垂直运动一致；400 hPa 附近 20°N 上有一个范围广、强度强的闭合逆时针环流圈，位于脊轴南侧。

在副高双脊线过程维持阶段（图 4b），环流特征最显著的不同是存在二条东西风零线。与前期相比，一条偏北，另一条偏南。偏北的脊轴位于 20°N 以北，从 850 hPa 延伸至高层 100 hPa，脊轴附近为强上升运动；偏南的位于 15°N 以南，仅位于 600～300 hPa，10°N 以南处于下沉运动区，以北处于强上升运动区。10°N 附近 400～300 hPa 范围有一个闭合逆时针环流中心。

在副高双脊线过程后期（图 4c），副高脊轴又变成一条，但明显北移至 28°N 以北，且其高层为弱上升运动，中低层则为强下沉运动；30°N、400 hPa 附近有一个闭合逆时针环流中心，脊轴穿过这个中心。上升运动区北移至 35°N 以北。

与 1998 年梅雨间歇期的双脊线过程（图 4d）进行比较，不难看出，两者共同之处在于：南、北两侧脊轴的环流性质均完全不同，一定程度上说明了南、北侧脊轴维持机制的不同。不同之处是：1962 年北侧脊轴处于强上升运动中，而 1998 年为弱下沉运动；1962 年北侧脊线的倾角明显大于 1998 年；1998 年双脊线系统是较深厚的，不仅出现在500 hPa，而且还显著贯穿整个对流层中低层，而 1962 年南侧脊线仅出现在对流层中层（600～300 hPa），系统较为浅薄，为一“无根”脊轴；1998 年中，南侧脊线随高度向极地倾斜，且处于上升运动区，而 1962 年南侧脊线 10°N 以南段为下沉运动，以北段为强上

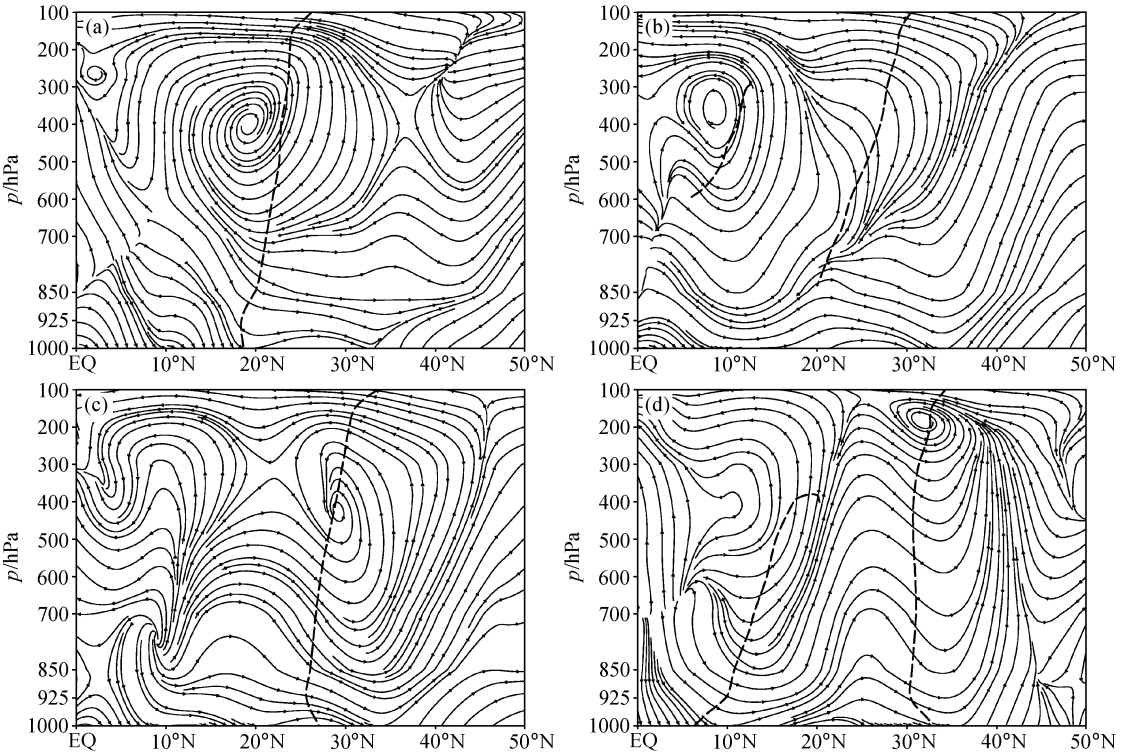

图 4 西太副高双脊线过程各典型时段 120°E 平均垂直流场剖面图：(a) 前期，1962 年 6 月 29 日～7 月 4 日；(b) 维持期，1962 年 7 月 6～9 日；(c) 后期，1962 年 7 月 10～14 日；(d) 维持期，1998 年双脊线过程(引自文献[19])。虚线为脊轴

Fig. 4 The latitude－height cross section of mean vertical circulation (v, $-\omega\times70$) along 120°E in the process of the WPSH double ridges: (a) The previous period, 29 Jun to 4 Jul 1962; (b) the persistence period, 6 Jul to 9 Jul 1962; (c) the posterior period, 10 Jul to 14 Jul 1962; (d) the persistence period in 1998 (from reference [19]). The broken lines represent the WPSH ridge axes

升运动，动力性质不稳定。这在一定程度上说明两个例中南侧脊线维持机制的不同，这也许是 1998 年南侧脊线取代北侧脊线发展维持，而 1962 年南侧脊线发展几天后就减弱消失的原因之一。

4.2　双脊线过程的温湿场特征

1962 年 7 月“二度梅”期间西太平洋副高双脊线过程前期、维持期和后期 500 hPa 平均温度场如图 5 所示。这三个时期青藏高原及其周边地区均为一强大的暖区。前期（图 5a）此暖区有两个暖中心，一个位于青藏高原以北 30°N 地区，另一中心位于 20°N 以南的孟加拉湾地区。并有一暖轴伸向西太平洋地区，与副高脊线相交。在双脊线维持期（图 5b），青藏高原上的北侧暖中心强度和范围均有所减弱；南侧暖中心强度有所增强，但范围减小，且北移至 20°N 以北；但暖区整体面积（以－5℃等温线为界）有所扩大；暖轴位于脊线北侧。在双脊线后期（图 5c），青藏高原上南侧的暖中心消失，北侧暖中心增强北移，中心强度大于＋1℃，暖区整体面积继续扩大，南侧东扩至了 150°E 以东地区。但暖中心和暖轴仍然位于脊线以北。

结合双脊线三个时期沿 120°E 的垂直剖面图，我们发现 1962 年北侧脊线始终位于暖轴以南，垂直剖面图中副高北侧脊轴也始终向北倾斜。而 1998 年双脊线维持期暖轴与副高北侧脊线重合，相应的垂直剖面图上北侧脊轴随高度也近乎垂直。这是 1962 年和 1998 年双脊线过程的一个重要区别。此外，由温度场和脊线（相当于高度场）的这种配置关系表明，1962 年温度因子有利于北侧脊线的发展和维持，但在 1998 年温度因子却不利于北侧脊线的发展，或许这是 1998 年北侧脊线消失，而 1962 年北侧脊线能稳定维持的又一原因。

从相应的相对湿度场分布（图 6）可见：一般而言，500 hPa 大陆上的湿度远远大于海洋，副高主体与干区相对应，脊线穿越干区中心。但是，在双脊线维持期（图 6b），南侧脊线位于相对湿度的大值区，中心强度超过 70%。这与 1998 年双脊线过程是明显不同的：1998 年双脊线维持期相对湿度极大值区位于南北两条脊线之间。这说明 1998

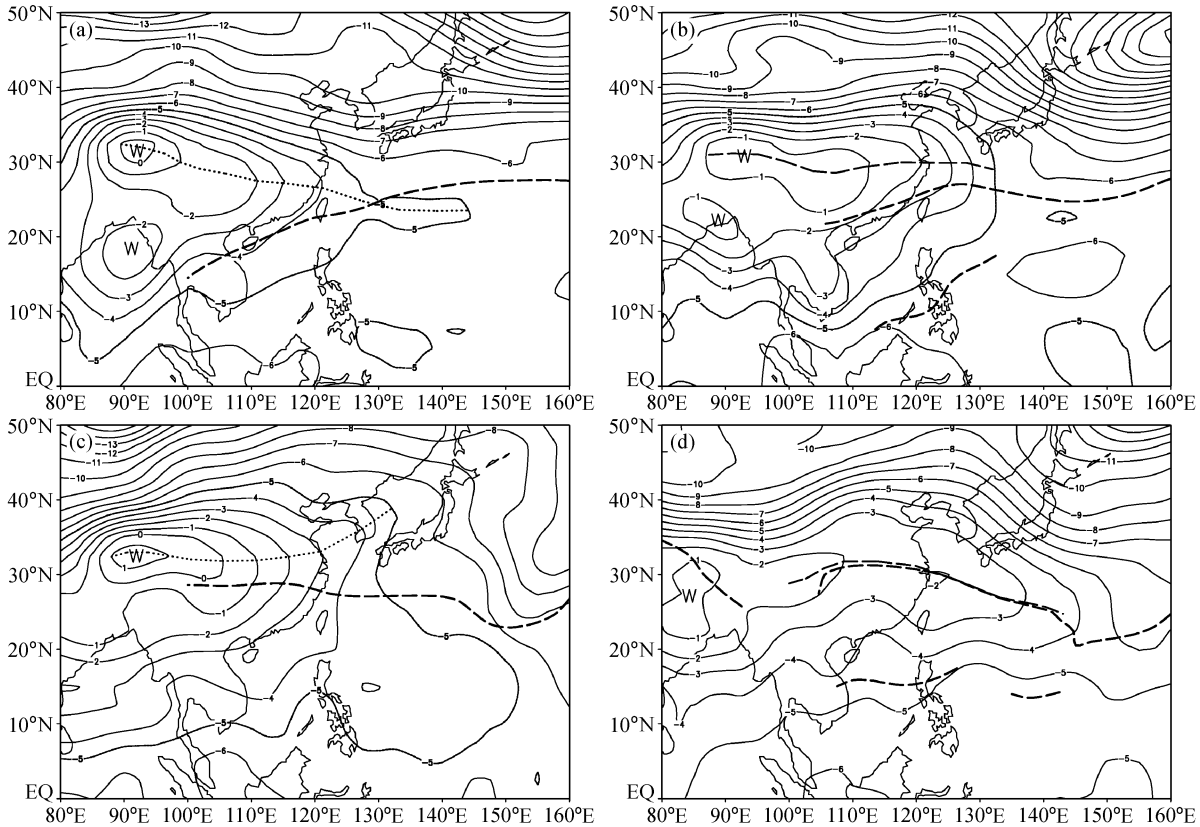

图 5　同图 4，但为 500 hPa 平均温度场（单位：℃）。虚线为副高脊轴，点线为暖轴

Fig. 5　As in Fig. 4, but for the 500 hPa mean temperature (℃) field (The broken and dotted lines represent the ridge axes and the warm axes, respectively)

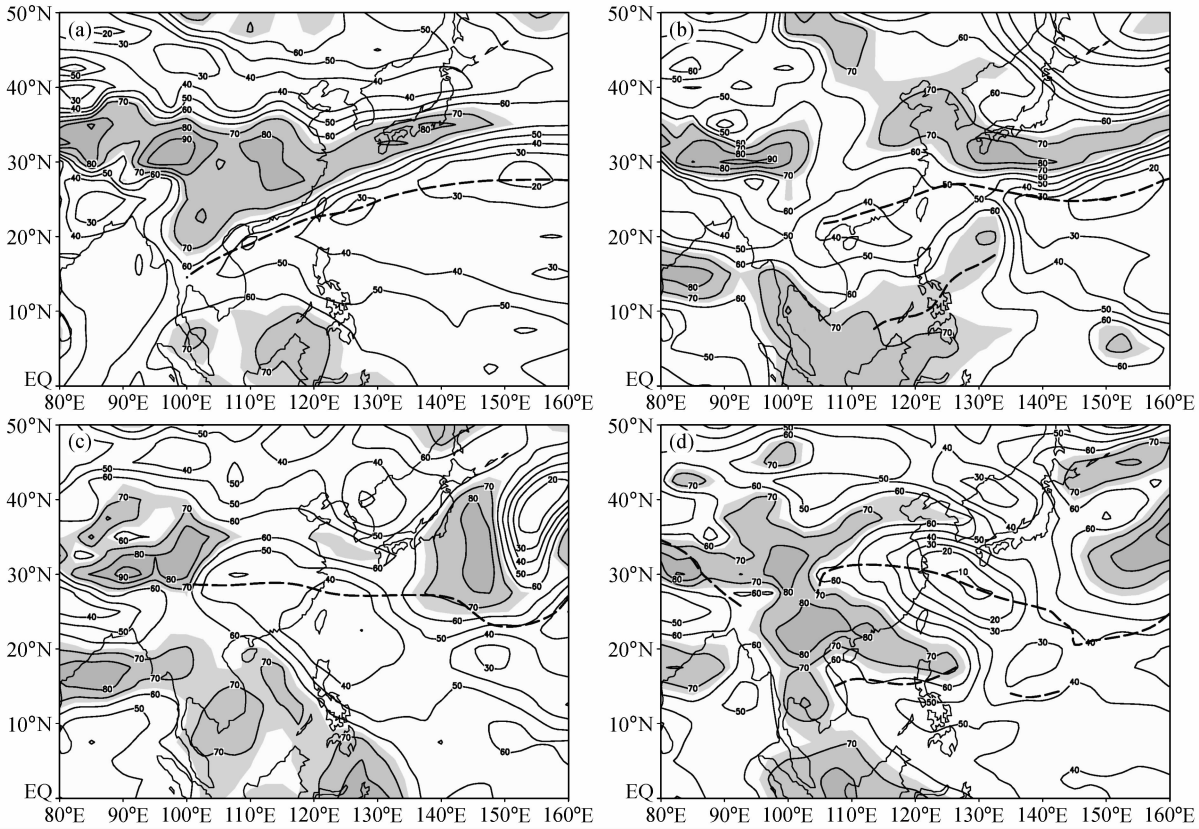

图 6 同图 4，但为 500 hPa 平均相对湿度场（%），阴影区为湿度大于 65%的地区

Fig. 6 As in Fig. 4, except for the 500 hPa mean relative humidity field (%, shading: >65%)

年和 1962 年南侧脊线热力学特征的不同。这或许也是 1962 年双脊线过程南侧脊线发展几天就消失的原因之一。

4.3 双脊线过程的涡度场特征

图 7 给出了 1962 年 6 月底到 7 月中旬以及 1998 年 7 月双脊线过程 500 hPa (110°E～130°E) 相对涡度的时间-纬度演变，由图可见，涡度大致呈－＋－＋的相间结构，南北两条脊线均位于负涡度区内，它们之间都存在一个正涡度带。对于 1962 年双脊线过程（图 7a），6 月 29 日以前 5°N 以南就存在一个正涡度区，7 月 2 日此正涡度区逐渐北移发展。3 日，10°N～15°N 出现一个新的正涡度区，与低纬度北移而来的正涡度区打通合并，随后继续北移，南侧的负涡度带也随之北移。5 日，副高南侧新生一条脊线。7 月 8 日该正涡度带已经到达 20°N，平均移速为每天 2.5 个纬距。那么，3 日 10°N～15°N 附近为什么会新生一正涡度区？根据 (12.5°N，110°E～130°E)范围内平均相对涡度的高度-时间剖面图（图略），发现高层对中低层有正涡度的下传作用。

结合 1998 年双脊线过程（图 7b），发现 1962 年和 1998 年双脊线过程的出现在涡度场上均存在这样的一个演变过程：低纬度有一正涡度区加强北移，同时在其北侧由于高层对中低层的传导效应新生一正涡度区，与其打通合并，并继续加强发展。该正涡度带南侧的负涡度带也随着加强，使得副高南侧新生一条脊线，双脊线过程出现。其原因可能与与正涡度相伴随的海上气旋带来的较强的对流性降水有关[15, 23]。

1962 年和 1998 年双脊线过程中，其涡度场演变的不同之处就发生在双脊线过程结束时。对于 1998 年（图 7b），南北两条脊线之间的正涡度带逐渐减弱，最终完全消失，双脊线过程结束。而在 1962 年南北两条脊线之间的正涡度带并没有消失，而是先突然北跃至 25°N，使北侧脊线北抬至 30°N，长江流域“二度梅”结束；随后，又迅速南压至 20°N，南侧负涡度带也退至 5°N 以南，造成南侧脊线减弱消失，双脊线过程结束。

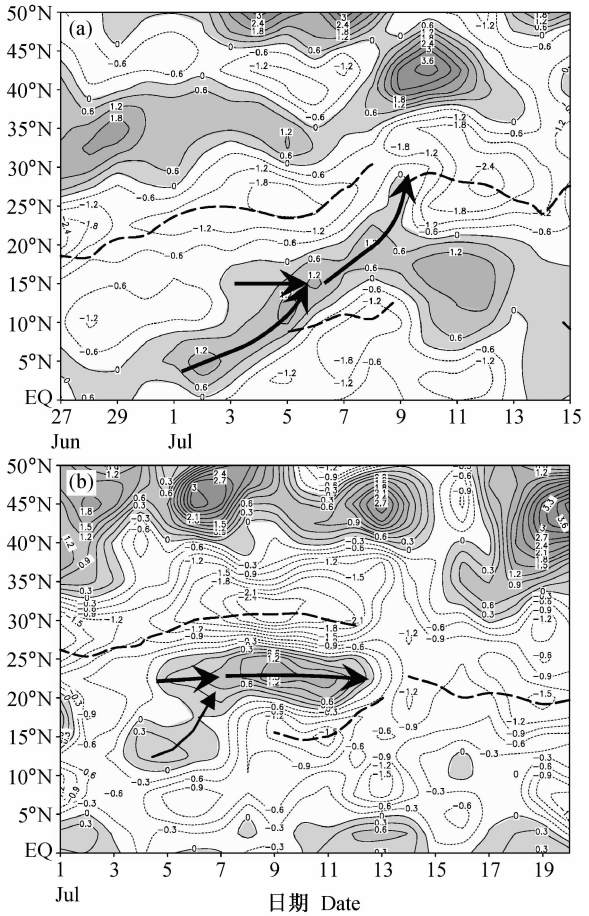

图 7　500 hPa (110°E～130°E) 逐日相对涡度场（单位：10^{-5} s^{-1}）的时间-纬度剖面：(a) 1962 年 6 月 27 日～7 月 15 日；(b) 1998 年 7 月 1～20 日(引自文献[19])。阴影部分为正涡度区，粗虚线为副高脊线

Fig. 7　Time－latitude cross section (110°E－130°E) of the daily relative vorticity ($10^{-5}s^{-1}$, shading: >0) at 500 hPa during (a) 27 Jun－15 Jul 1962 and (b) 1－20 Jul 1998 (from reference [19]). Thick broken lines stand for the WPSH ridges

4.4　双脊线过程的水汽输送通道特征

与 1998 年双脊线过程个例相比，1962 年“二度梅”期间的双脊线过程其南侧脊线是偏南的，以至于其南侧降雨带位于菲律宾以西洋面上。由于海洋上观测站点的不足，以及所得资料的精确性还有待检验，所以无法对其降雨带进行定量的描述。但通过对与雨带分布相关的整层水汽输送通量及水汽通量散度的分析（图 8），可以清楚地看到，与 1998 年双脊线过程相同，双脊线的出现改变了原有的水汽输送通道，使水汽沿两条路径北上，分别在两脊线北侧辐合形成两条雨带，北侧雨带位于 25°N 以北，南侧雨带位于 15°N 以南。只是因为 1962 年双脊线后期南侧脊线比较弱，所以南侧脊线穿越了南侧水汽通道的边缘。

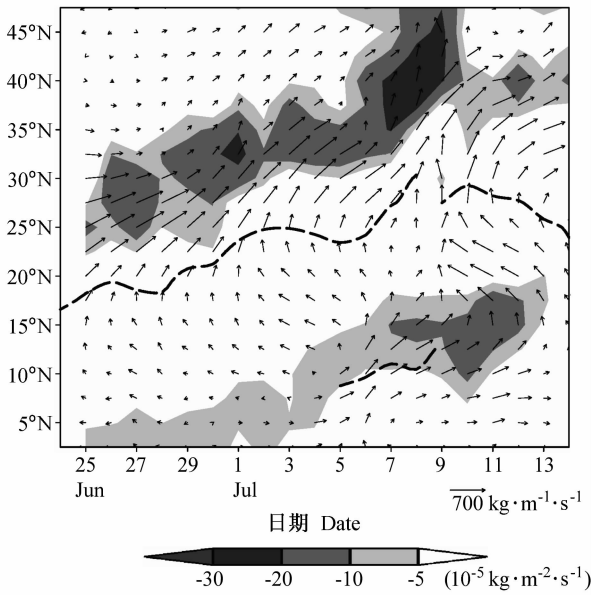

图 8　1962 年大气整层水汽输送通量矢量和水汽通量散度的时间-纬度剖面 (110°E～130°E)。虚线为副高脊线

Fig. 8　Time－latitude cross section (110°E－130°E) of the vapor flux vector and vapor flux divergence integrated from the surface to 300 hPa during Jun to Jul 1962. The broken lines denote the WPSH ridges

因此，结合 1998 年个例情况，我们认为双脊线出现时，有两条雨带与之对应，且分别位于南北脊线的北侧。

5　季风槽与双脊线的形成

图 9 给出了 1962 年 7 月 3～10 日 500 hPa 逐日流场。7 月 3 日（图 9a），强大的反气旋环流位于西太平洋地区，中心在 (26°N, 150°E)；10°N～20°N 之间、90°E 以西存在一个低压槽，属印度季风槽的一部分；105°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，在中南半岛南侧附近形成南海季风槽，呈东南-西北走向，槽上有一闭合的气旋中心位于 10°N 以南。此后，此气旋中心加强北移，南海季风槽也随之加强，向东向北发展，侵入副高主体，且逐渐从东东南-西西北走向转为东-西走向。5 日（图 9b），此气旋中心已与 90°E 以东位于大陆上的气旋打通，印度季风槽与南海季风槽也连成整体，形成显著的亚洲季风槽，其上有两个气旋中心；同时，该季风槽东伸

至 130°E，东段呈东北-西南走向，位于 10°N 以北；副高主体出现明显变形，最明显的特征是副高南侧 10°N 以南出现了一条新的脊线，呈现双脊线状态，但此时南侧脊线仅位于副高西南侧，双脊线过程不显著。6 日（图 9c）季风槽东段明显北抬，100°E 以东位于 10°N～20°N；南侧脊线也随之北抬，达到 8°N～20°N 区域，穿越副高单体内部，且出现了一个闭合反气旋中心与之对应。8 日（图 9d），105°E 越赤道气流减弱消失，季风槽上游的双气旋结构消失，整体北抬至 18°N，且向东延伸到了 130°E 以东地区，严重侵入副高主体；南侧脊线进一步加强，较之 6 日有所西伸，闭合反气旋中心从 135°E 西移至 130°E。9 日（图 9e），季风槽 110°E 以东段突然北跃，副高北侧主体随之北抬东退，北侧脊线西段北抬至 30°N 以北，南侧脊线强度减弱，发生断裂，对应的反气旋中心西移到了 110°E～120°E 区域，且从 10°N 以北南退至了 10°N 以南。10 日（图 9f），季风槽 120°E 以东段迅速消失，季风槽上重新出现双气旋结构；副高最显著的特征是南侧脊线消失，又呈现单脊线结构，北侧脊线维持在 30°N 附近，且副高主体明显西伸。

结合 1962 年副高双脊线过程 500 hPa 相对涡度的演变（图 7a），10 日季风槽东段的消失与南北两条脊线之间的正涡度带的突然南压密切相关。可见南侧脊线的发生发展与季风槽的加强发展、东伸北抬密切相关。由此，提出影响副高双脊线形成的又一因子——季风槽。季风槽的东伸侵入副高是形成西太副高双脊线的一种重要过程。

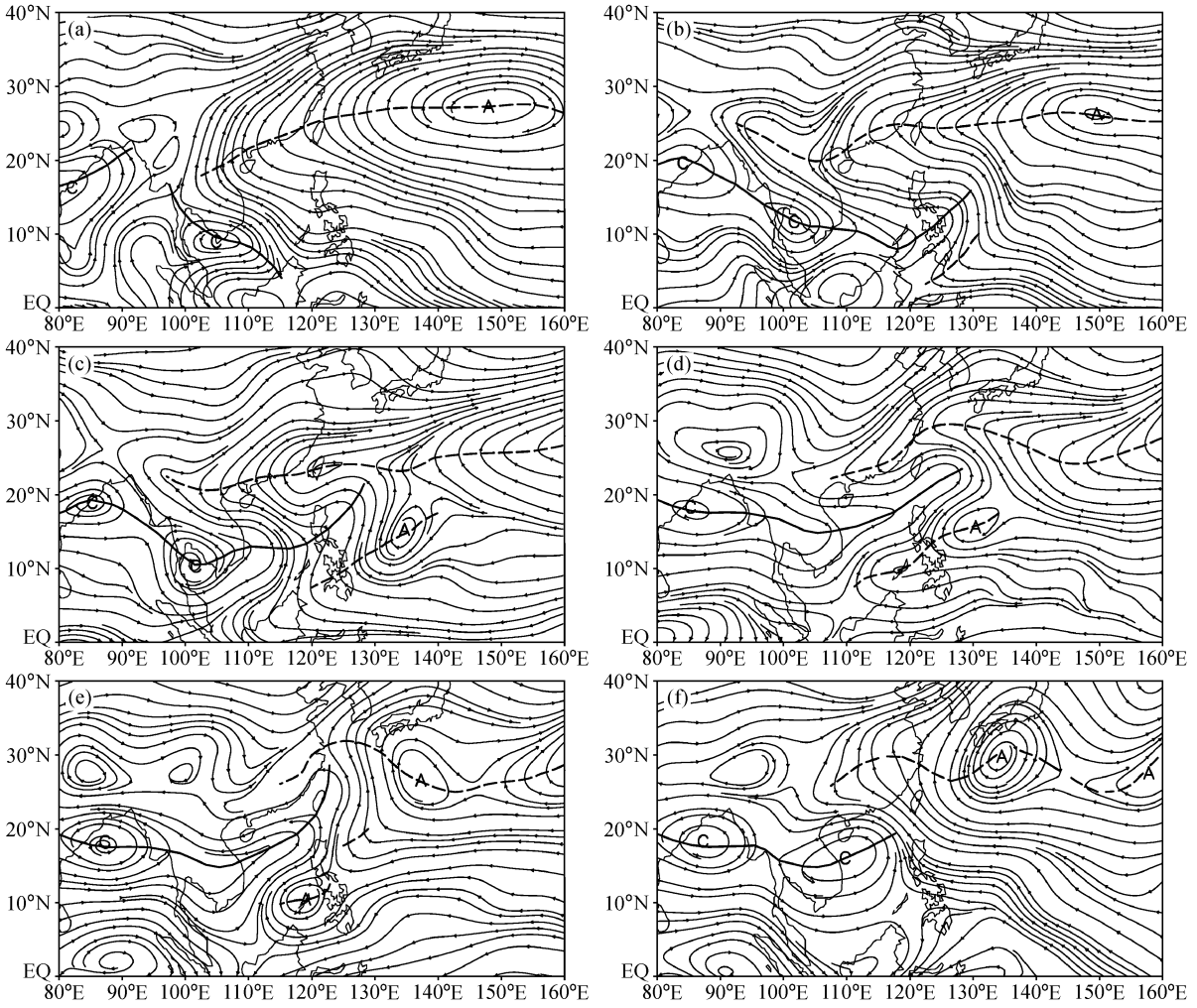

图 9 1962 年 7 月 500 hPa 逐日流场：(a) 3 日；(b) 5 日；(c) 6 日；(d) 8 日；(e) 9 日；(f) 10 日。虚线为副高脊线，粗实线为季风槽

Fig. 9 The 500 hPa daily stream field: (a) 3 Jul; (b) 5 Jul; (c) 6 Jul; (d) 8 Jul; (e) 9 Jul; (f) 10 Jul. The broken lines stand for the WPSH ridges, and the thick solid lines for the monsoon troughs

6 结果和讨论

本文提出了确定双脊线过程的定量指标，对1962 年“二度梅”期间的双脊线过程进行了诊断分析，并与 1998 年梅雨间歇期的双脊线过程进行对比，发现了若干新的事实。

(1) 1962 年“二度梅”期间副高南侧新生了一条脊线，呈现双脊线状态；随后，副高减弱东退，北侧脊线逐渐北抬；至 7 月 9 日，北侧脊线北抬至 30°N，使“二度梅”结束；10 日，南侧脊线消失，北侧脊线发展维持，重新成为单脊线状态，较之双脊线前期，副高整体偏北。

对比 1998 年双脊线过程，可见双脊线过程对副高南北进退的影响是复杂的。而且，为什么 1998 年南侧脊线能够取代北侧脊线，而 1962 年南侧脊线发展几天后就减弱消失了？虽然，根据特征图本文提出了一些推测，但是，还未分析具体的机理，还有待于进一步研究。

(2) 1962 年双脊线过程与 1998 年双脊线过程的共同之处在于：均有高层对中低层正涡度的下传过程，500 hPa 上“诱导”生成的正涡度区与低纬度北移而来的正涡度合并发展、东移，进而形成双脊线，同时，与正涡度带东移相联系的东亚季风槽东伸发展。双脊线的出现也改变了水汽输送带，使水汽沿两条路径北上，分别在南北两脊线以北辐合。

所不同的是，1998 年此正涡度带发展几天就随着双脊线过程的结束减弱消失了，而 1962 年南侧脊线的消失与此正涡度的突然南压密切相关。

(3) 分析表明，1962 年双脊线过程其环流场、温湿场等结构特征不但与单脊线时期明显不同，与 1998 年双脊线过程相比也有不同之处。双脊线维持期，1962 年南侧脊轴为一浅薄系统，仅位于 600～300 hPa，而 1998 年南侧脊轴贯穿对流层中下层，为一深厚系统；1962 年北侧脊线始终位于暖轴以南，其沿 120°E 的垂直剖面图上北侧脊轴也始终向北倾斜，而 1998 年双脊线维持期暖轴与副高北侧脊线重合，相应的垂直剖面图上北侧脊线随高度近乎垂直。双脊线维持期，1962 年南侧脊线处于相对湿度极大值区，而 1998 年南北两条脊线均穿越干区中心，但两者之间存在着一个相对湿度极大值区。

可见，1962 年双脊线过程和 1998 年双脊线过程其南侧脊线的动力学和热力学特征有显著不同。这也许是 1998 年双脊线过程南侧脊线能够取代北侧脊线，而 1962 年过程南侧脊线发展几天就减弱消失的原因之一。

参考文献 (References)

[1] 陶诗言，徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报，1962，**32** (1)：1～8
Dao Shihyen，Hsu Shuying. Circulation features relative to persistent summer floods and droughts over the Yangtze - Huai River reaches. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，1962，**32** (1)：1～8

[2] 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)：91～103
Dao Shihyen，Hsu Shuying，Kuo Chiiyunn. The characteristics of the zonal and meridional circulation over tropical and subtropical regions in the eastern Asia in summer. *Acta Meteorological Sinica* (in Chinese)，**32** (1)：91～103

[3] 陶诗言，王作述，朱福康，等. 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究. 北京：科学出版社，1963. 145pp
Tao Shiyan，Wang Zuoshu，Zhu Fukang，et al. *Some Studies on Subtropical Synoptic Systems over China in Summer* (in Chinese). Beijing：Science Press，1963. 145pp

[4] 黄士松，汤明敏，霍义强，等. 副热带高压位置一年中南北变动的一些特征及其意义. 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 Univ.* (Meteorology) (in Chinese)，1962，(2)：41～56

[5] 黄士松，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，1960，**31** (4)：339～359
Hwang S S，Yue T H. On the structure of sub-tropical highs and some associated aspects of the general circulation of atmosphere. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，1960，**31** (4)：339～359

[6] He Jinhai，Zhou Bing，Wen Min，et al. Vertical circulation variation features and variation mechanism of west Pacific subtropical high. *Adv. Atmos. Sci.*，2001，**18** (4)：497～510

[7] Wang Yafei，Yasushi F，Kuranoshin K. A teleconnection pattern related with the development of the Okhotsk high and the northward progress of the subtropical high in East Asian summer. *Adv. Atmos. Sci.*，2003，**20** (2)：237～244

[8] 张庆云，陶诗言. 夏季西太平洋副热带高压北跳及异常的研究. 气象学报，1999，**57** (5)：539～548
Zhang Qingyun，Tao Shiyan. The study of the sudden northward jump of the subtropical high over the western pacific. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese)，1999，**57** (5)：539～548

[9] Xu Xiangde, Zhou Li, Zhang Shengjun, et al. Characteristics of the correlation between regional water vapor transport along with the convective action and variation of the pacific subtropical high in 1998. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20** (2): 269～283

[10] 祝从文，陈隆勋，何金海. 春夏季节转换中西太平洋副热带高压东移与大尺度环流和温度场变化关系. 热带气象学报，2004，**20** (5)：493～504
Zhu Congwen, Chen Longxun, He Jinhai. The eastward propagating western Pacific subtropical high and its relationships with large-scale circulation and temperature during spring to summer. *J. Tropical Meteor.* (in Chinese), 2004, **20** (5): 493～504

[11] Yang H, Sun S-Q. Longitudinal displacement of the subtropical high in the western Pacific in summer and its influence. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20**: 921～933

[12] Lu Riyu. Indices of the summertime western North Pacific subtropical high. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (6): 1004～1028

[13] 吴国雄，刘屹岷，刘平. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I：尺度分析. 气象学报，1999，**57** (3)：257～263
Wu Guoxiong, Liu Yimin, Liu Ping. The effect of spatially nonuniform heating on the formation and variation of subtropical high I: scale analysis. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (3): 257～263

[14] 刘屹岷，刘辉，刘平，等. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 II：陆面感热与东太平洋副高. 气象学报，1999，**57** (4)：385～396
Liu Yimin, Liu Hui, Liu Ping, et al. The effect of spatially nonuniform heating on the formation and variation of subtropical high II: land surface sensible heating and east Pacific subtropical high. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (4): 385～396

[15] 刘屹岷，吴国雄，刘辉，等. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 III：凝结潜热加热与南亚高压及西太副高. 气象学报，1999，**57** (5)：525～538
Liu Yimin, Wu Guoxiong, Liu Hui, et al. The effect of spatially nonuniform heating on the formation and variation of subtropical high III: condensation heating and South Asia high and western Pacific subtropical high. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (5): 525～538

[16] 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 Yiming, Wu Guoxiong. Reviews on the study of the subtropical anticyclone and new insights on some fundamental problem. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (4): 500～512

[17] 张培群. 副热带高压脊线位置移动的动力学方程及其诊断分析. 兰州大学博士学位论文，1997
Zhang Peiqun. Dynamical equation and diagnosis of subtropical high ridge line movement. Ph. D. dissertation (in Chinese), Lanzhou University, 1997

[18] 宋振鑫，张培群，丑纪范，等. 副热带高压脊线移动的三维结构特征. 气象学报，2001，**59** (4)：472～479
Song Zhenxin, Zhang Peiqun, Chou Jifan, et al. Three-dimensional structural characteristics on the movement of subtropical ridge line. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (4): 472～479

[19] 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 Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (3): 294～307

[20] 占瑞芬，李建平，何金海. 北半球副热带高压双脊线的气候统计特征. 科学通报，2005，**50** (18)：2022～2066
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): 2022～2066

[21] 李建平，丑纪范. 副热带高压带断裂的动力学分析——地转作用. 科学通报，1998，**34** (3)：434～437
Li Jianping, Chou Jifan. Dynamical analysis on splitting of subtropical high-pressure zone—Geostrophic effect. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1998, **34** (3): 434～437

[22] 刘平，吴国雄，李伟平，等. 副热带高压带的三维结构特征. 大气科学，2000，**24** (5)：577～584
Liu Ping, Wu Guoxiong, Li Weiping, et al. The three-dimensional structure of subtropical high belt. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24** (5): 577～584

[23] 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