

西太平洋副热带高压东西位置异常与 华北夏季酷暑*

卫捷 杨辉 孙淑清

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

摘 要

文中研究了副热带高压(副高)东西位置异常与中国东部地区夏季气温的关系。发现两者之间有很高的正相关,当西太平洋副高偏西时,大片的北方地区气温会降低;而当副高偏东时,该地区的气温将偏高。西太平洋副高东西位置的异常对应着亚洲太平洋地区的长波位置和强度的很大变化,从而影响到中国北方地区的气温。更重要的是,副高西端位移所产生的扰动还会以波列的形式向极地和北美方向传播,从而从更大的范围内影响西风带环流。

对 2002 年夏季中国北方出现的持续高温天气进行了分析。该年夏季副高持续偏东。西风带大槽也处于偏东的位置。西部的大陆副高东移扩展,与槽后的高压脊打通,造成该地区的持续高温。副高的东西位置决定了季风气流(也就是水汽的主要通道)的北向转折的路径。当副高偏东时,向北折向的位置随之东移,东亚大陆的水汽供应变为负距平,特别是中国北方地区,变得十分干燥。引起中国北方高温的直接系统是大陆高压中的极强的下沉气流,副高的偏东位置为大陆副高的东进和加强提供了大尺度的背景条件。

关键词: 副高东西位置异常, 夏季持续高温, 水汽通道, 下沉气流。

1 引 言

20 世纪 90 年代以来,华北包括北京地区夏季频繁出现酷暑高温天气,对人们生活造成很大影响,也引起了气象学家的高度重视。分别就它的天气状况、形成原因作过探讨^[1,2]。2002 年夏季,华北大部分地区又出现大面积的持续酷暑现象,因此北方地区的夏季酷暑天气的成因,成了人们十分关注的问题。本研究在关注北方地区夏季酷暑的成因基础上,重点对 2002 年夏季 6~8 月连续 3 次持续高温的过程作了详细的分析,特别要从西太平洋副高的活动异常角度来研究它对华北高温的影响。

夏季西太平洋副高的活动与中国东部天气有十分密切的关系。历来为气象学家所重视,它的南北、东西位置对中国不同区域旱涝及寒暑影响尤其重大。西太平洋副高的北跳或南撤以及它的持续停留,直接决定了中国华南、长江流域及华北地区的雨带长短或旱涝情况。而西太平洋副热带高压的东西位置也关系到东亚季风的建立、长江流域降水的多

寡以及华北的气温与旱涝。如 1998 年,西太平洋副高持续偏西、偏南,至 5 月中旬尚未撤离南海,以后又维持在 30°N 以南,没有北跳,以至使南海季风爆发偏晚,强度偏弱;而长江流域梅雨期偏长,降水明显偏多,成为著名的洪涝年^[3,4]。而西太平洋副高偏东的年份则容易引起长江梅雨的减少甚至干旱。杨辉等^[5]的研究指出:西太平洋副高的西进东退与中国长江流域降水有十分好的关系,当副高偏东时,长江流域降水偏少,而当副高偏西时降水则偏多。但是这种关系在北方地区则不十分清楚,两者的相关没有达到一定的信度。这里从北方地区夏季持续高温现象出发来考察副高东西位置异常对中国东部夏季温度的影响。

用高度场所确立的副高东西向位置指标由于等压面高度在近几年中有逐渐升高的趋势。表现在近 50 a 的时段中,副高存在着逐渐西进的趋势。这可能是由于全球变暖使热带、副热带地区高度场逐渐升高的气候趋势造成的,也可能是资料处理的问题。总之,用高度场描述副高活动的年际变化特别

* 初稿时间: 2003 年 9 月 17 日; 修改稿时间: 2004 年 2 月 11 日。

资助课题: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(ZK CX 2 SW-210) 和国家自然科学基金# 40135020。

是它的东西向位置异常,有明显的局限性。本文在统计分析中所用副高东西位置的定义采用了杨辉等文章中提出的方法,即用副高西部变动频繁的地区(22.5~30°N, 115~140°E)的涡度距平来界定副高是否偏东或是偏西。当该区的负涡度距平为正时,副高(负涡度)偏东;反之则偏西。由于涡度是一个相对值,它能成功地避免上述的高度场逐年抬高的弊病。文献[5]详细地探讨了该定义的可信度及其优点。研究应用了NCEP/NCAR的1950年以后和中国气象局提供的160个测站的温度和降水资料。

2 夏季西太平洋副高的东西向活动与中国东部温度的关系

2.1 副高东西位置异常与中国夏季气温

首先对1951~2000年50 a夏季西太平洋副高

的东西位置指数与中国同期160个站的地面气温求相关(图1)。可以看出,有大片的正相关区分布在中国北方地区。尤其是从长江以北至东北的南部,为高相关区。最大值可达到0.5以上。达到信度的范围西起河套以东,东至东北南部,向南到达山东半岛以南。这说明当西太平洋副高偏东时(指数为正),上述大片的北方地区气温会升高;而当副高偏西(副高指数为负)时,该地区的气温将偏低。也就是说中国北方地区夏季的气温与太平洋副高的东西位置有极好的相关。这种关系清楚地指示了中国北方地区夏季高温的发生在很大程度上是由于副高的东西向位置异常所决定的。此外在长江流域以南特别是华南地区为一大片负相关区。这说明当副高偏东时该地区温度将偏低,而当副高偏西时华南的气温将偏高,与北方地区的情况正好相反。

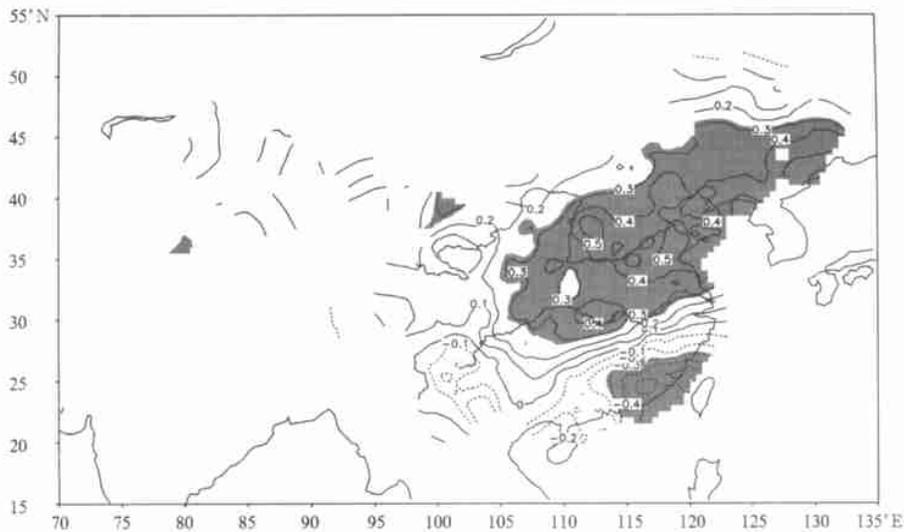


图1 夏季西太平洋副高的东西位置指数与中国地面温度相关
(阴影区代表信度超过0.05,实线为正相关,虚线为负相关区)

Fig. 1 The correlation between the index of longitudinal position of subtropical high in the western Pacific in summer and the surface temperature
(The shaded areas indicate the significant reaches 0.05. Solid lines show the positive correlations and dashed lines, negative correlations)

2.2 西太平洋副高东西位置异常时西风带环流特征

考察西太平洋副高东西位置异常时西风带环流形势的特征,并探讨它在北方地区高温的形成中所起的作用。用副高的东西位置指数与500 hPa高度求相关(图2),可以看出在偏西的副高控制区内为负相关,其北侧大槽区为极强的正相关。表明当副

高偏西时,副高控制区高度将升高,而东亚大槽区的高度将降低,大槽将加深,大槽北侧的极区又转为负相关,说明该处的高度场将抬高。而当副高位置偏东时,长江流域中下游的高度降低,大槽变浅甚至转为高压脊控制。为了考察环流形势场对中国北方地区气温的影响,这里给出当副高偏东时,500 hPa高度场及其距平的合成图(图3,合成个例见文献

[5])。从图 1 已知,副高位置与华北地区的温度为正相关,即当副高偏东时,华北将出现高温。从图 3 可见,在副高所在位置的负距平区的北侧为很强的正距平区。它覆盖了从日本以东至华北的广大地区。这时大槽位于日本岛以东,中国北方处于它后部的脊区,造成了该地区气温升高的有利的大尺度环流形势。这一点在下面对实例的研究中还要进行详细的讨论。

从相关场上特别值得注意的是:在 50°N 以北相关值转为负值,而极区则为正相关。至加拿大的东部为负值区,向南至美洲东部为很强的正相关区。这种正负相间的相关区成一种波列,自副高西沿出发,沿大圆向北经极地向北美地区传播。也就是说当副高在纬圈方向位置发生异常时,它对西风带环流产生的影响是很大的。这种影响将沿着大圆的路径经极地然后向北美方向传播。这种波列与黄荣辉等^[6]提出的东亚太平洋型波列是有区别的。后者波列的基点源自暖池区的异常,波列位置比较偏东;而图 2 所显示的波列则是由于副高西端位置的异常所产生的影响,它的位置比较偏西,在亚洲大陆的东岸。

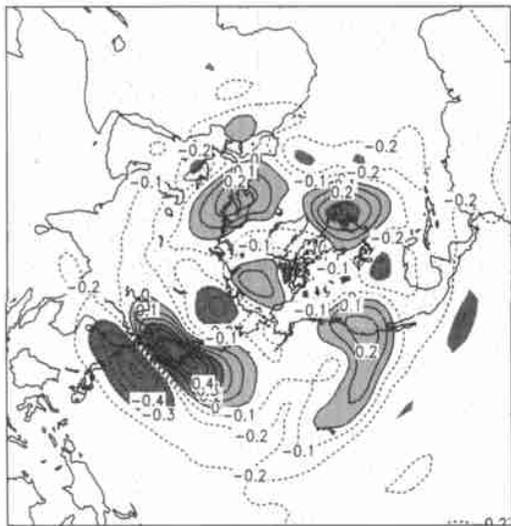


图 2 夏季西太平洋副高东西位置指数与 500 hPa 高度相关
(阴影区代表信度超过 0.05, 实线为正相关, 虚线为负相关区)

Fig. 2 The correlation between the index of longitudinal position of subtropical high in the Western Pacific in summer and 500 hPa height over the Northern Hemisphere (The shaded areas indicate the significant reaches 0.05. Solid lines show the positive correlations and dashed lines, negative correlations)

相关图上这种由副高位置异常所产生的波列在高度距平场的合成图上表现得也很清楚。当副高位置偏东时(图 3),从副高西端的负高度距平区出发,向北有较明显的正负相间的距平中心经极地至北美的东岸;而在副高位置偏西时(图略),该波列的位置不变但符号相反。

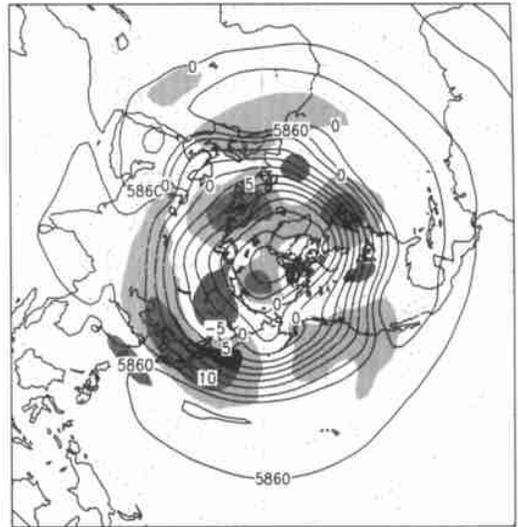


图 3 夏季西太平洋副高位置偏东时高度及其距平场的合成
(深阴影区代表距平绝对值 ≥ 5 的区域, 浅阴影区代表距平值 ≥ 0 的区域)

Fig. 3 The composite chart of anomaly height at 500 hPa when the subtropical high over the western Pacific locates rather to the east
(The areas of absolute anomaly values more than 5 gpm are shaded. The light shados represent positive values. The dark ones, negative)

由此可见,西太平洋副高位置的的东西移动与亚洲太平洋地区的长波位置和强度变化有密切的关系,从而影响了中国北方地区的气温。副高偏东时,西风带大槽位于日本岛以东,这时其后部的脊区控制了中国北方地区至朝鲜半岛,给该地区出现高温造成有利条件。更重要的是,副高西端的这种扰动还会以波列的形式向极地和北美方向传播,从而在更大的范围内影响西风带环流。这种波列与其他人以暖池区或南海地区出发的波列有类似之处,只不过它们的扰动源的位置有差异而已。

3 2002 年夏季中国北方地区持续高温天气分析

2002 年夏季中国北部广大地区出现了持续的

高温天气。6~ 8 月高温出现在 3 个时段, 即 6 月 1~ 8 日, 7 月 11~ 15 日和 7 月 30 日~ 8 月 3 日。其中 7 月中旬的高温强度大, 影响面积也大。北方大部分地区气温持续在 33~ 38 °C, “其中河北、山东、山西南部、北京等地的日最高气温达到了 40~ 43 °C, 北京、石家庄、济南、青岛等地的日最高气温超过了历史同期的最高纪录北京 7 月 14 日最高气温达 41.1 °C, 为 1915 年以来 7 月中旬的最高纪录”^[7]。

3.1 2002 年夏季副高位置的特点

图 4 是 2002 年夏季 500 hPa 高度时间-经度剖面图。黑粗线为 588 dagpm 线。可以看出, 在夏季

3 个月中, 588 线大体上位于 120°E 以东, 对于上述 3 个高温时段, 在 120°E 附近则为 584 dagpm 的低值区。此时 588 dagpm 线都位于 140°E 以东。从高度距平场上看, 该经度以西皆为负距平区。最大的负距平中心值可达 -60 gpm。因此从整个夏季平均而言, 西太平洋副热带高压较平均位置要明显偏东。

由此可见该年夏季的持续高温天气是处在西太平洋副高偏东位置的大背景之下的。下面我们以 7 月中旬的高温过程为例来考察在副高位置偏东时西风带大形势的特点。

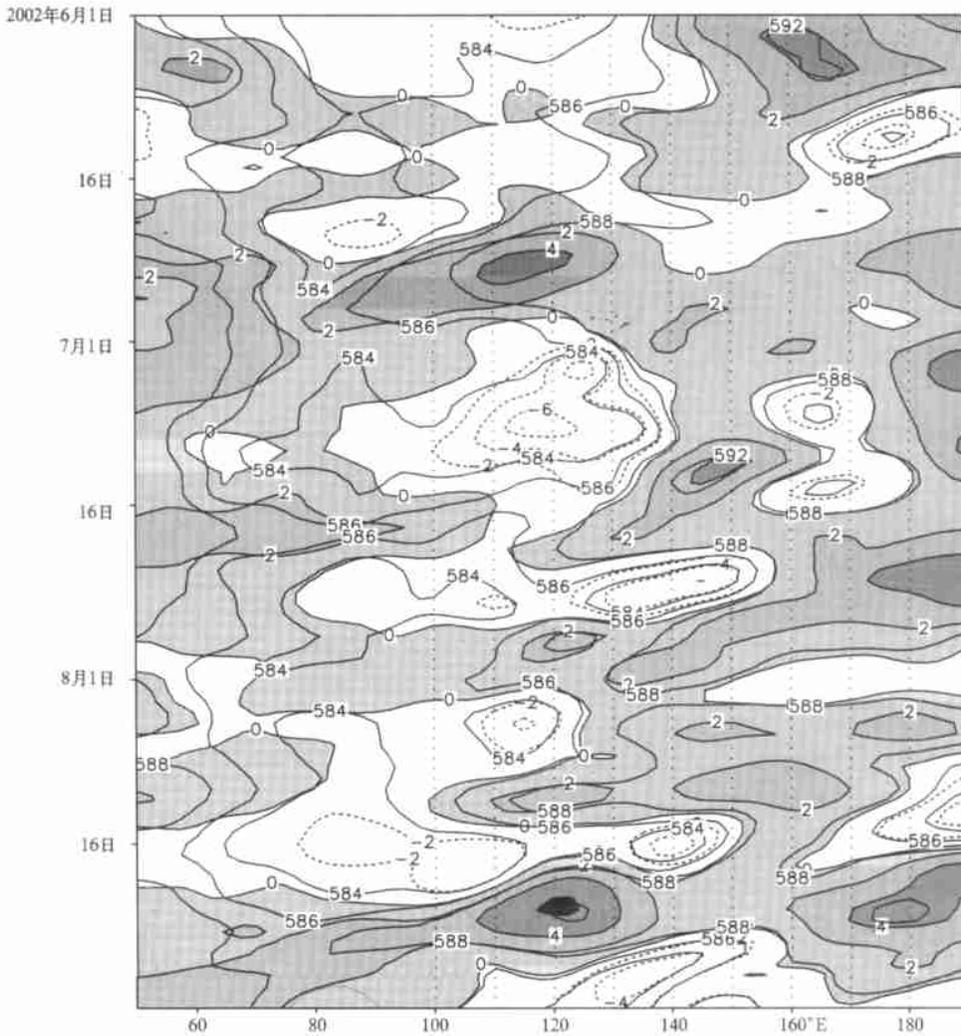


图 4 2002 年夏季沿 22.5~ 27.5°N 500 hPa 高度场与高度距平场时间-经度剖面 (阴影区: 正距平区, 虚线: 负距平区; 实线: 高度线, 粗实线: 588 dagpm)

Fig. 4 Time-longitudinal cross section of 500 hPa height and its anomalies, along the latitudes of 22.5–27.5°N in summer of 2002

(Solid lines: the contours of 500 hPa height. Heavy solid lines: 588 dagpm, Shaded areas: positive anomaly values. Dashed lines: negative anomaly values. Unit: dagpm).

3.2 2002年7月中旬高温过程的分析

如上所述, 2002年7月中旬北方地区的高温天气范围大、强度强, 是一次十分典型的过程。从时间-经度剖面图上已可看到, 该时段的西太平洋副高位置十分偏东, 588 dagpm 线的西端维持在 140°E 经度上。大陆东岸的高度场负距平值在 -60 gpm 以上, 时间持续 1 周以上。

3.2.1 环流形势

图 5a 与 b 分别是 7 月 5~10 日酷暑前一候和 7 月 11~15 日酷暑时段的 500 hPa 高度平均及距平图。从高温时段的高度场看, 西风带长波脊控制东亚大陆, 它的南部与大陆高压相连, 形成了一个高压坝。中国北方地区正处于大陆高压的控制之下。从图 4 也可大致看到, 在 110°E 以西为正距平区, 反映了大陆高压在发展。而更为重要的是: 在该时段内西太平洋副高偏离大陆, 位于日本岛以东。588 dagpm 闭合线位于 $140\sim 160^{\circ}\text{E}$, 在其西侧为西风带的大槽区, 其南面与很强的负值高度距平中心相连。因此西太平洋副高已被大槽所隔开。而西风带南侧的高压环流则是大陆副高, 中心强度达到 586

dagpm 以上。这种大陆高压的性质在谢庄等^[1]对 1999 年华北高温天气的分析的文章中已有讨论, 它是西部阿拉伯, 伊朗高压向东延伸的一部分。该高压与西风带脊相连组成一个高压坝, 阻挡了冷空气的南下, 使北方地区出现持续的高温。从其前 1 候的形势看(图 5a), 副高虽然已经处于比较偏东的位置, 西风带脊区控制了亚洲东岸, 但是这时大陆高压并没有东扩, 更没有与高压脊打通, 因此中国北方地区尚未出现明显的高温天气。由此可见, 北方地区高温的出现是西风带与东扩的大陆副高共同控制该地区的结果, 而西太平洋副高的东移为这种形势的建立提供了十分必要的条件。在这种形势下, 西太平洋副高并不是造成本次北方地区高温酷暑天气的直接的影响系统。

谢义炳等^[8]曾指出, 大陆高压是一种副热带热高压, 它排列在阿拉伯半岛至中国大陆的南疆与华北间, 有时它还会与西风带的脊打通而成为阻塞高压。它的活动会直接影响中国的天气与东部降水。下面的讨论将进一步给出该高压的一些特征及其与华北高温的关系。

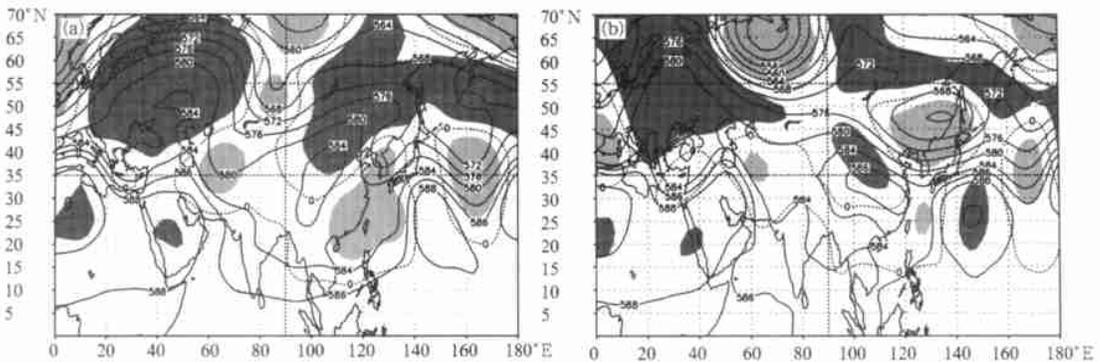


图 5 500 hPa 高度及距平场

(a. 2002 年 7 月 6~10 日, b. 2002 年 7 月 11~15 日; 深色阴影区: 正距平 > 3 区; 浅色阴影区: 负距平 < -3 区;

虚线: 高度距平零线; 实线: 位势高度线, 粗实线: 586 dagpm。单位: dagpm)

Fig. 5 500 hPa height and its anomaly. (a) Average in 6~10, July, 2002. (b) averaged in

11~15, July, 2002. Solid lines; contours of 500 hPa, dark solid lines: contour of 586 dagpm.

Dark shaded area: positive anomaly. light shaded area: negative anomaly.

Dashed line: the zero line of height anomaly. Unit: dagpm

3.2.2 水汽通量及其散度

下面来考察当副高偏东时, 东亚地区特别是中国北方地区的水汽通道及其供应情况。图 6 为 7 月 11~15 日 850 hPa 平均水汽通量及其距平的矢量。从图 6a 看, 水汽从东非沿岸经阿拉伯海至南海这条明显的通道代表了盛夏期间水汽的主要通道。但是

在到达南海以后它并不按照平均情况向北折向, 进入东亚大陆, 而是继续往东经过菲律宾群岛与副高南侧的偏东气流汇合北折, 沿着副高西侧的气流向北。气流向北折的经度在 130°E 以东, 正是副高西端所在的位置。在此经度以西则为很小的偏西风通量, 水汽的主要通道不经过东亚大陆广阔的区域。

从水汽通量的距平看(图 6b), 自中南半岛至菲律宾以东皆为自西向东的距平通量。而在 130°E 以东则为自南向北的距平通量。在广阔的东亚大陆则为自

北向南的距平通量。这说明在平均的东亚季风路径上, 东亚大陆地区水汽通量的距平为负值, 实际通量值要比平均值低得多。

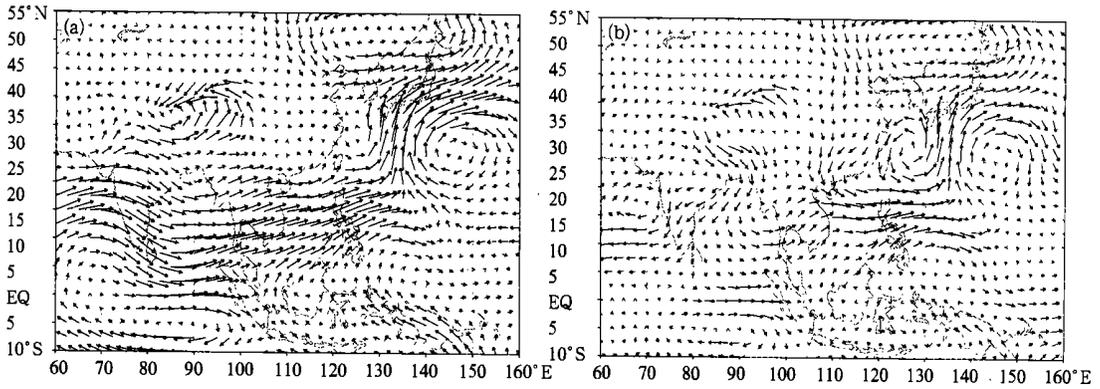


图 6 2002 年 7 月 11~ 15 日 850 hPa 平均水汽通量矢量(a) 及其距平(b)
(单位: $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)

Fig. 6 The vector of moisture flux (a) and its anomaly (b) at 850 hPa averaged in 11~ 15, July, 2002 (Unit: $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)

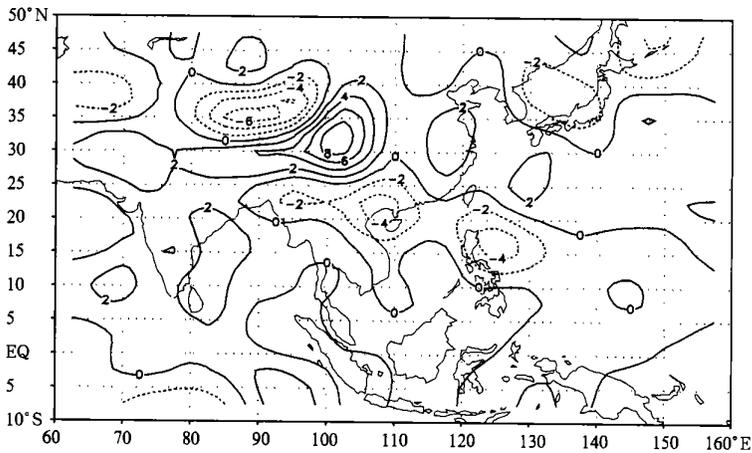


图 7 2002 年 7 月 11~ 15 日 850 hPa 平均水汽通量散度距平
(单位: $\text{kg}/(\text{d} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{hPa} \times 10^8)$)

Fig. 7 The anomaly divergence of moisture flux at 850 hPa averaged in 11~ 15, July, 2002 (Unit: $\text{kg}/(\text{d} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{hPa} \times 10^8)$)

图 7 为 2002 年 7 月 11~ 15 日 850 hPa 平均水汽通量散度距平。从长江以北的广大北方地区水汽通量散度皆为正值, 说明低层的水汽在这个时段是辐散的。这一点在通量的距平图(图 6b)上也看得十分清楚: 在中国北方地区水汽通量的距平矢量是辐散的。由此可见, 当西太平洋副高位置偏东时, 以亚洲季风为背景的水汽通道向东进入南海以后, 并不折向东亚大陆, 而是向东经过菲律宾群岛, 然后与副高西侧的偏南气流汇合, 在海上向北折。副高在

季风气流(也就是水汽的主要通道)的北向转折中起了至关重要的作用。当副高偏西时, 季风气流向北折向进入中国大陆, 使该地区水汽供应充沛; 而当副高偏东时, 向北折向的位置随之东移, 东亚大陆的水汽供应无论是通量或是其散度皆变为负距平, 特别是中国北方地区, 变得十分干燥。因此副高的东西位置异常在很大程度上决定了大陆特别是中国北方地区的水汽供应状态。

3. 2. 3 三维流场的特点

图8是2002年7月11~15日距平气流的时间-经度剖面。图8a,b分别为(37.5~42.5°N)与(27.5~32.5°N)纬度带的平均。前者穿过北方高温区,后者则穿过副高所在的纬度。从图8a可以看出,从90~140°E以东,除了110°E处有一段狭窄的上升气流外,皆为下沉的距平气流。历时5d以上的强烈下沉运动使该地区的气温急剧升高,形成酷暑天气。而这时的副高位置在140°E以东,并不与北方

地区的下沉距平区相对应。从图8b可以看到,140°E以东有极强的下沉距平气流。对照图5即可得出:引起本次中国北方高温的系统是大陆高压中的极强的下沉气流所致,而不是完全西太平洋副高控制的直接结果。副高的偏东位置为大陆副高的东进和加强提供了大尺度的背景条件,这一点在前面几节中已经有较充分的叙述。

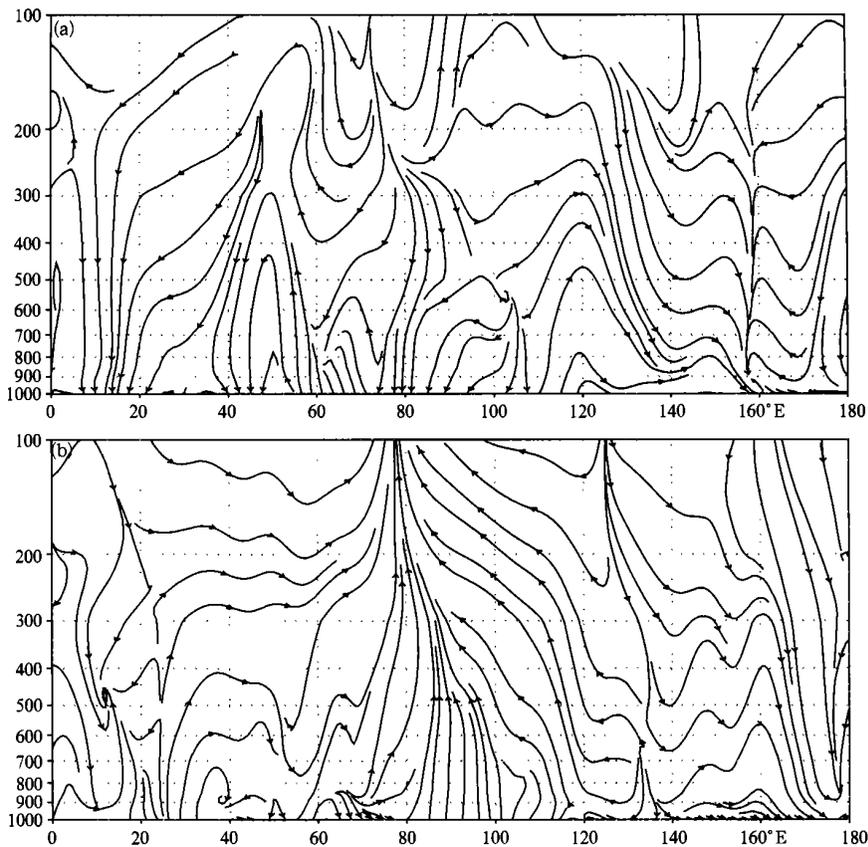


图8 2002年7月11~15日距平气流的气压高度-经度剖面

(a. 37.5~42.5°N, b. 27.5~32.5°N)

Fig. 8 The pressure-longitude cross section of anomaly flow averaged

in 11~15, July, 2002.

(a. 37.5~42.5°N, b. 27.5~32.5°N)

4 小结

(1) 应用新定义的副高东西位置的指标, 对它与中国东部地区夏季气温进行了相关和合成分析。发现两者之间有很高的正相关。即当西太平洋副高偏东时(指数为正), 大片的北方地区气温会升高; 而当副高偏西(副高指数为负)时, 该地区的气温将偏低。这种关系清楚地指示了中国北方地区夏季温度

异常的发生在很大程度上是由于副热带高压的东西向位置异常所决定。

(2) 当副高偏东或偏西时, 500 hPa 西风带流场上出现极为不同的流型。西太平洋副高位置的东移使亚洲太平洋地区的长波位置和强度发生很大的变化, 从而影响了中国北方地区的气温。副高偏东时, 西风带大槽位于日本岛以东, 这时其后部的脊区控制了我国北方地区至朝鲜半岛, 给该地区出现

高温造成有利条件。当副高偏西时,这种形势正好相反。更重要的是,副高西端的这种扰动还会以波列的形式向极地和北美方向传播,从而从更大的范围内影响西风带环流。

(3) 2002 年夏季中国北方广大地区出现了持续的高温天气。该年夏季副高持续偏东。西风带大槽也处于偏东的位置。西部的大陆副高东移扩展,与槽后的高压脊打通,造成该地区的持续高温。西太平洋副高的东移为这种形势的建立提供了十分必要的条件。在这种形势下,西太平洋副高并不是造成北方地区高温酷暑天气的直接影响系统。

(4) 当西太平洋副高位置偏东时,以亚洲季风为背景的水汽通道向东进入南海后,并不折向东亚大陆,而是继续向东经过菲律宾群岛,然后与副高西侧的偏南气流汇合,在海上向北折。副高的存在在

季风气流(也就是水汽的主要通道)的北向转折中起了至关重要的作用。当副高偏西时,季风气流沿捉副高西侧气流向北折向进入中国大陆,使该地区水汽供应充沛;而当副高偏东时,向北折向的位置随之东移,东亚大陆的水汽供应无论是通量或是其散度皆变为负距平,特别是中国北方地区,变得十分干燥。因此副高的东西位置异常在很大程度上决定了大陆特别是中国北方地区的水汽供应状态。

(5) 引起中国北方高温的系统之一是大陆高压中的极强的下沉气流,而不完全是西太平洋副高控制的直接结果。副高的偏东位置为大陆副高的东进和加强提供了大尺度的背景条件。该过程与 1999 年的华北酷暑形势是十分相似的。因此研究北方地区的夏季高温,既要注意太平洋副高的位置,又要关注大陆副高的活动。

参考文献

- 1 谢庄,崔继良,刘海涛等. 华北和北京的酷暑天气 I: 历史概况及个例分析. 气候与环境研究, 1999, 4(4): 323~ 333
- 2 孙建华,陈红,赵思雄等. 华北和北京的酷暑天气 II: 模拟试验和机理分析. 气候与环境研究, 1999, 4(4): 334~ 345
- 3 中国气象局国家气候中心. '98 中国大洪水与气候异常. 北京: 气象出版社, 1998. 139pp
- 4 赵思雄,孙建华,陈红等. 1998 年 7 月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 368~ 381
- 5 Yang Hui, Sun Shuqing. Study on the characteristics of longitudinal movement of subtropical high in the western Pacific in summer and its influence. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(6): 921~ 933
- 6 Huang Ronghui The East Asia/Pacific pattern teleconnection of summer circulation and climate anomaly in East Asia. *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, 6(1): 25~ 36
- 7 刘震坤. 东部高温酷热,南方暴雨频繁- 2002 年 7 月. 气象, 2002, 28(10): 58~ 61
- 8 谢义炳,曾庆存. 盛夏亚洲和西太平洋大型天气和中国降水. 见: 谢义炳著. 谢义炳文集. 北京: 北京大学出版社, 1997. 169~ 188

**RELATIONSHIP BETWEEN THE ANOMALY LONGITUDINAL POSITION OF
SUBTROPICAL HIGH IN THE WESTERN PACIFIC AND
SEVERE HOT WEATHER IN NORTH
CHINA IN SUMMER**

Wei Jie Yang Hui Sun Shuqing

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing 100029)

Abstract

There exists a good relationship between the longitudinal position of the subtropical high in the western Pacific and the temperature in the north China in summertime. A remarkable positive correlation region with a value more than 0.6 at the center indicates that when the subtropical high moves eastward, the temperature in north China would increase and vice versa. The anomalous longitudinal position of the subtropical high is closely associated with the variation of the long wave pattern in the westerlies, hence influences the temperature of north China. Moreover, the perturbation resulting from the change of the longitudinal position of the subtropical high would propagate, as a wave train, northward to the polar region then the North America thus influence the westerlies in a much wider range.

A long spell of hot and dry weather in the year of 2002 summer in north China is analyzed. The position of the subtropical high in that summer consistently locates to the east. The continental subtropical high in the west extends eastward to merge with the ridge in the westerlies and covering north China area, bringing about a high temperature there. The longitudinal position of the subtropical high fixes to the northward turning point and the track of the monsoon current, which would also be the path of the water vapor transfer. A eastward displacement of the subtropical high would lead to the eastward shift of the water vapor channel, away from the eastern Asian continent. Therefore, the supply of water vapor would become very poor there, especially in north China, resulting in a very dry weather. The high temperature in this case is directly caused by the intense descending current in the continental subtropical high.

Key words: Anomalous longitudinal position of subtropical high, Sustained high temperature in summer, Supply of water vapour, Descending current.