

西太平洋副热带高压异常及其与1998年长江流域 洪涝过程关系的研究^①

孙淑清 马淑杰

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

摘 要

文中结合1998年长江流域的洪涝过程研究了太平洋的活动特征,探讨了副热带高压活动与海温的关系,以及视热源、水汽汇的特征与副高活动的关系等。首先描述了1998年太平洋副热带高压的基本特征,给出了它异常的季节位置、强度和形态,及其与长江流域降水异常的关系。

SVD分析表明,1997至1998年的El Niño过程的演变特征所对应的太平洋副热带高压的最佳耦合模态是:主体强而位置偏南,特别是其西部。赤道辐合带也偏弱;1998年夏季副热带高压的基本特征正符合该模态的特征。热带地区东西向的垂直环流明显地出现东太平洋的异常上升气流与西太平洋的下沉距平气流。

视热源、水汽汇的分布能很好地描写副热带高压区的季节位置和强度。副热带高压区为明显的 $Q_1 < 0$ 的辐射冷却区和 $Q_2 < 0$ 的变干区。这种特征也有助于副热带高压区的维持。同样,视热源、水汽汇的分布也能很好地解释副热带高压区的季节内异常活动。在长江流域持续暴雨期和间隙期, Q_1, Q_2 所指示的副热带高压与雨带的相对位置有很大的差异。不同的热力结构能较好地解释副热带高压区的迅速南落,由此造成长江流域的二度梅。

关键词: 副热带高压, 海温异常, 大气热状态。

1 引 言

西太平洋副热带高压的活动关系着亚洲东部尤其是中国环流系统及气候的变化,是东亚大气环流问题的主要研究课题。20世纪50年代以来,中国气象学家们对西太平洋副热带高压(以下简称副高)的活动及对中国天气气候的影响进行了一系列经典性的研究^[1,2],探讨了副高强度、位置异常与夏季降水的关系。近年来,人们从大气环流持续异常的角度,也研究了副热带环流持续异常的特点及其与大尺度环流系统的关系^[3,4]。指出西太平洋副热带环流的持续异常不仅联系着西风带特定区域环流的异常,它还与季风系统及其它热带环流有密切的关系。这样,就把副热带环流的变异与全球大气环流的变化联系

^① 初稿时间: 2000年5月15日; 修改稿时间: 2001年3月20日。

资助课题: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040900)第一部分和中国科学院知识创新项目(ZKCX2-SW-210)。

在一起。

人们在研究 El Niño 现象与大气环流相互作用时也注意到它对西太平洋副热带高压的强度和位置有很大影响。孙淑清等^[5]的研究表明:热带海温与副高强度有很高的相关,不同海域的海温异常对副高的影响也有很大的区别,尤其是赤道东太平洋海温的影响最明显。SVD 的分析给出了海温与副高异常态的最佳耦合模态^[6]。Nitta^[7]、黄荣辉等^[8]的研究表明:西太平洋暖池区海温及对流异常与西太平洋副高位置和强度有很好的对应关系。

经典的理论在解释副热带高压的成因时认为 Hadley 环流的下沉支是形成副高的重要因素。但是 Hadley 环流冬强夏弱的事实是与副高夏强冬弱的特征不一致的。Hoskins^[9]在其一系列研究中,探讨了副高与季风的联系。提出夏季北非副热带高压的维持与强度是其东部陆地上季风潜热释放与西风带共同作用造成强下沉运动的结果。首次提出了亚洲季风对副高的作用。喻世华^[10]也强调了东亚季风雨带的凝结加热支持了一个次级环流,它对西太平洋副高活动起着诱发的作用。这些研究使我们从崭新的角度去考察季风与副高的关系及副高的成因。

1998 年夏,长江流域发生了 20 世纪继 1954 年以来最大的洪涝灾害,给国民经济和人民生命财产造成重大损失。这次过程与该年度西太平洋副热带高压活动的异常有很大的关系。人们很自然地要研究该年度副高异常的特征与原因。文中从本次个例出发,阐述它的异常活动与海温(包括该年度的 El Niño 事件)的关系,以及它的大气热状态特征,从而探讨季节及季节内异常活动的机理。

2 1998 年长江流域洪涝期西太平洋副高异常特征

1998 年夏季太平洋副高强而稳定,它的西侧脊线则十分偏南。图 1 是该年逐月的脊线位置(110~150°E)。可以看出,自 7 月至 9 月西太平洋副高脊线皆较常年偏南,特别是 7 月,较常年偏南达 5° 之多。从逐日脊线位置看,自 7 月中旬至 8 月上旬,副高脊线异常偏南时,最低纬度到 15°N,距正常位置 8 个纬度之多,是历史同期所罕见的。

图 2 是该年 7 月 700 hPa 的平均流场。由图可见,低纬地区的系统十分清晰,在太平洋中部,副热带高压的脊线在 30°N 附近,这是它的平均位置,但在 150°E 以西,脊线位置十分偏南,大约在

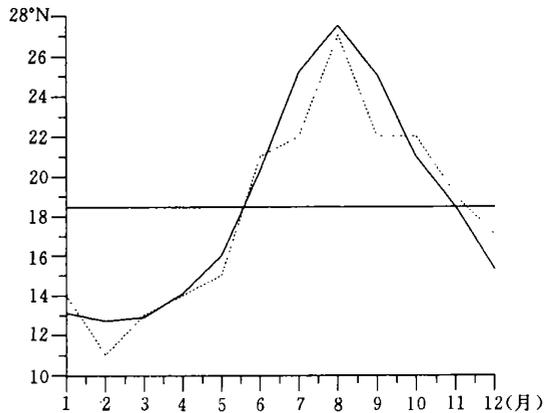


图 1 1998 年西太平洋副高脊线位置(110~150°E)
(实线为多年平均,虚线为 1998 年)

21°N 左右,与 6 月的平均位置几乎相同。因此整个副高轴线呈西南-东北倾斜。同时该月副高也明显西伸,完整的副高控制了台湾海峡至南海北部。

从 OLR 的分布更可以说明副高特征及其与雨带的关系。图 3 是该年夏季 3 个月平均的 OLR 距平图。可以看出,太平洋地区为正距平,表明副高主体较强。南海至菲律宾以东也为极强的正距平,其以北地区则为负距平。这说明副高西端西伸且位置偏南。30°N 附

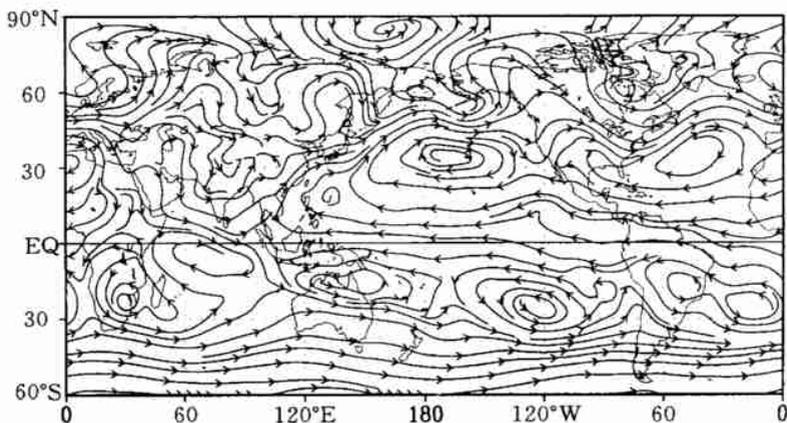


图 2 1998 年 7 月 700 hPa 月平均流场

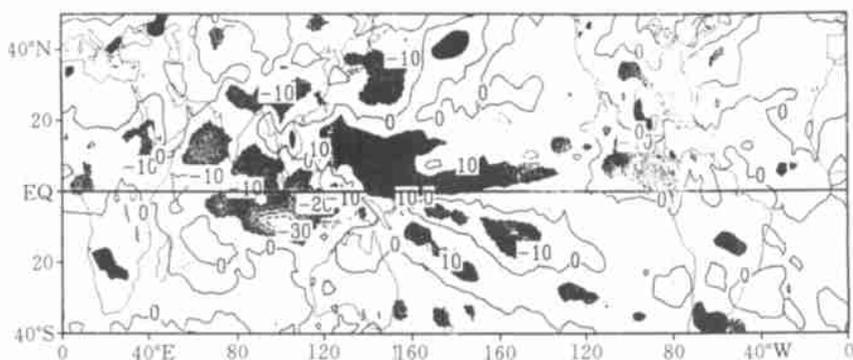


图 3 1998 年夏季平均的 OLR 距平分布(单位: W/m^2)

近中国东部地区的强负距平带表明了洪涝的主要区域。北半球热带太平洋的正距平区表明赤道辐合带极弱, 致使这一年的台风次数特别少^[11]。这些与流场上的表现十分一致。

研究表明^[12], 1998 年长江流域夏季降水可分 4 个阶段: 6 月 12 日至 28 日为长江流域梅雨期; 7 月 1 日至 19 日, 副高北跳, 雨带移至黄淮流域, 为长江流域降水间隙期, 这时淮河流域出现强暴雨(也有的把这个时段定为 6 月 28 日至 7 月 3 日^[13]); 7 月 20 日至 31 日副高南撤西伸, 雨带又南退至长江流域, 形成二度梅; 8 月 1 日以后, 副高再次北跳和西伸, 造成华北和东北地区的降水。其中第三阶段的二度梅对长江流域特大洪涝的形成有重要作用。它使已超过警戒水位的长江再次经受暴雨的袭击, 造成持续的洪涝灾害。由此可以看出, 1998 年度西太平洋副热带高压的异常变化, 特别是它的非季节性南落是造成梅雨过程长, 洪涝严重的主要原因之一。

3 西太平洋副高季节性异常与 El Niño 事件

我们在研究西太平洋副高与赤道海温关系时曾指出, 太平洋副高强度及其形态特征与同期及前期海温异常有很好的关系。用 1980~1996 年逐候的资料和 SVD 的分析得到两者的最佳耦合模态^[6]。在该模态中, 当海温为前期冬、春和 7 月的平方协方差分别为

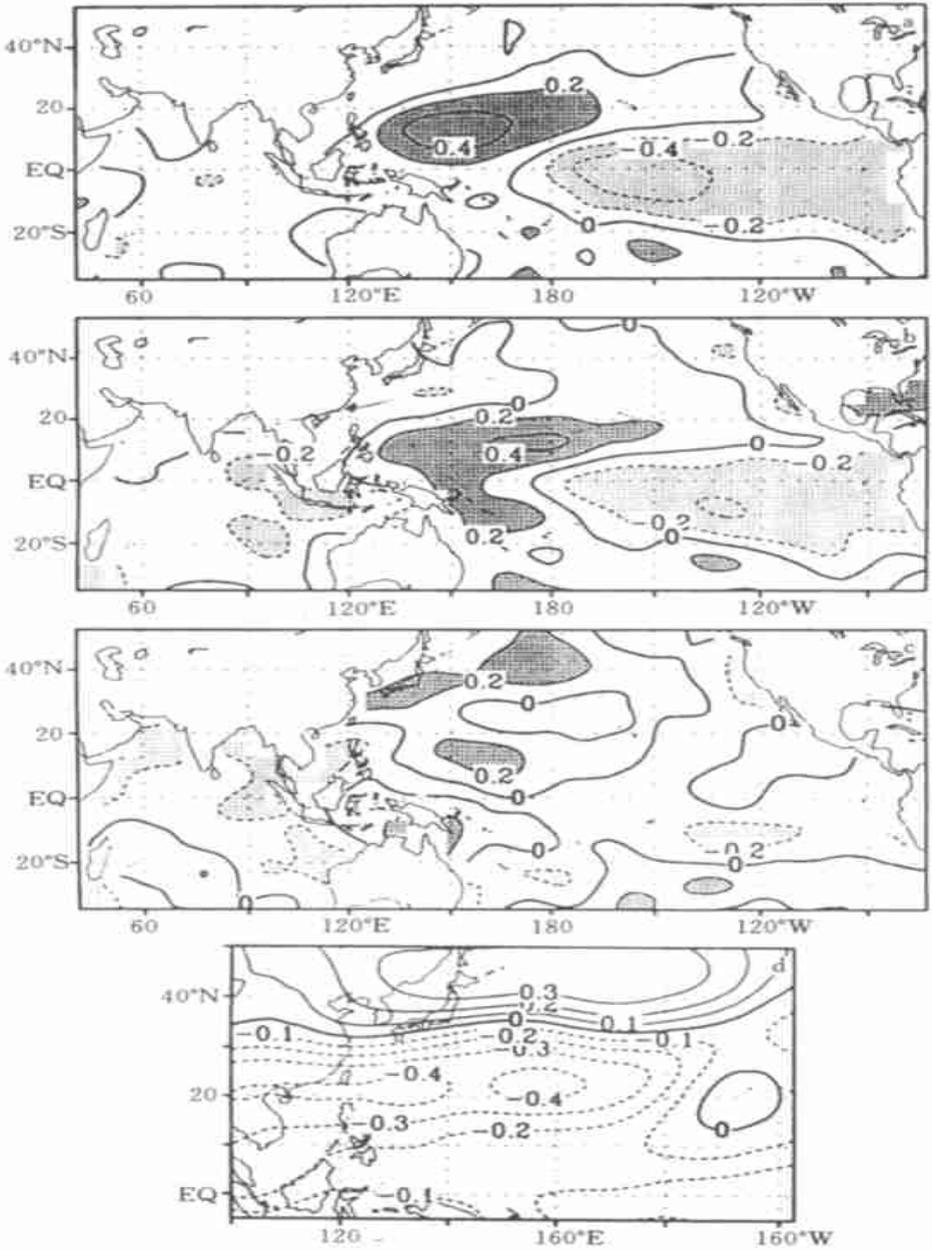


图4 前期海温与副高的最佳耦合模态

(a. 冬季海温, b. 春季海温, c. 7月海温, d. 7月副高距平流函数; 阴影区为信度超过0.05区域^[6])

45.58%, 53.95% 和 69.27%, 相关系数都在 0.70 以上。图 4 所描绘的模式特征是: 当展开系数为正(负)时, 自冬至夏赤道太平洋海温呈 La Nina (El Niño) 型分布, 且其强度逐渐减弱, 甚至变号时, 与之相应的亚洲及太平洋地区流场的最佳耦合模态是: 副高主体位置呈气旋式(反气旋式)距平环流, 强度偏弱(强)。东亚大槽也弱(强), 因而副高西环的位置偏北(南)。在这个模式中, 副高南侧的赤道辐合带地区为气旋式(反气旋式)环流, 因而

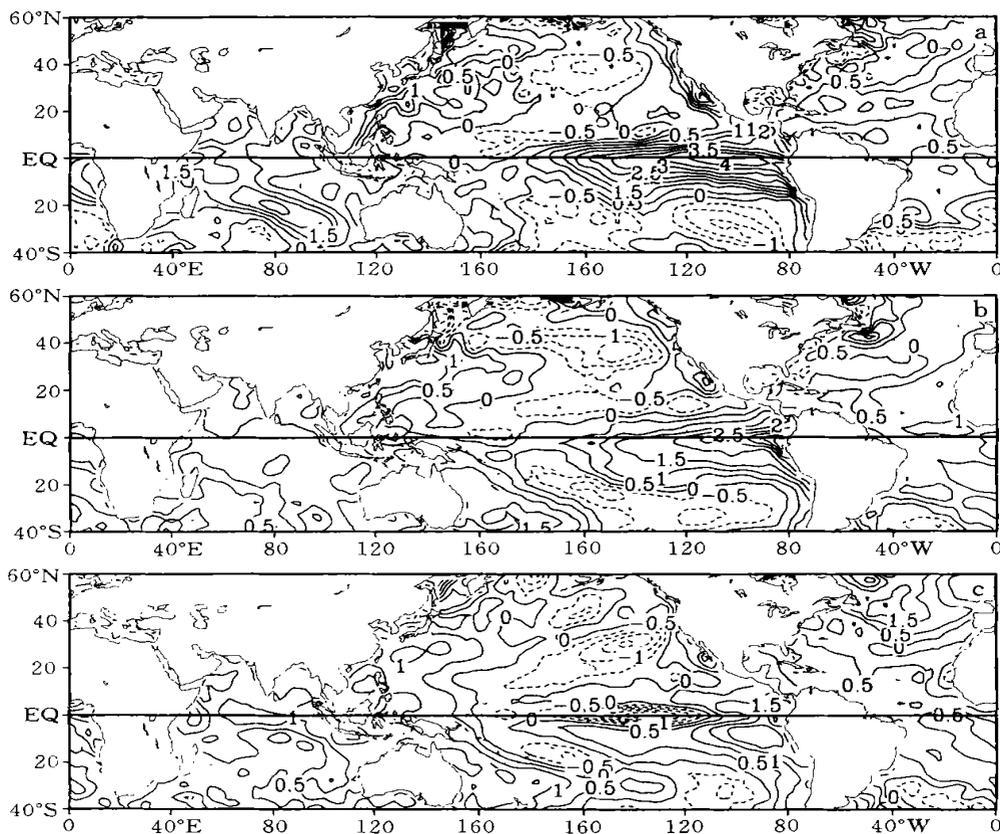


图5 1998年海温距平

(a. 1月, b. 春季, c. 夏季)

偏强(弱)。依此模态来对照1998年长江流域洪涝期前后的海温与流场特征。1997年春季发展起来的El Niño事件,在1997年冬~1998年初达到最强,最大距平值在4以上,Nino3区的平均温度距平也在3.5。但自冬季以后,增温幅度明显减弱,自冬至夏El Niño处于衰退阶段(图5)。在1月(图5a),赤道东太平洋正距平区范围大,强度强;而至春季(图5b),正距平区向东退缩,太平洋中部已为负距平所代替。到了夏季(图5c),大片的负距平区向东扩大,原来的正区退到南半球。El Niño形势向La Nina过度的特征是十分清楚的。对照图4可见,这种海温特征正是展开系数为负的情况,因此相对应的夏季西太平洋副高的最佳耦合模态应为:主体偏强,西端西伸且偏南;副高南侧的赤道辐合带极弱。这正是1998年夏季西太平洋副高及其南侧ITCZ的主要特征。与图2和图3所显示的特征完全一致。由此可见,1997~1998年度的El Niño事件对西太平洋副高强而偏南,ITCZ较弱的特征有十分明显的影响。

为了进一步说明海温的这种影响,我们考察热带地区垂直环流的结构变化。图6给出了5,6,7月沿 $5\sim 20^{\circ}\text{N}$ 的垂直距平环流图。可以看到,热带东太平洋地区为强的距平上升气流,虽然范围比较狭窄,但它显然受到了该地区暖洋面的影响。而在西太平洋,则为下沉距平气流。从多年平均图上看(图略),该处受暖池的影响,整个夏季为上升气流区。1998

年夏季该地区的下沉距平气流显然是受到该地区负的海温距平的影响。图中,南海及西太平洋海区的下沉距平气流说明西太平洋副高位置偏南,导致该年南海季风爆发偏晚。6~7月,110°E以东至中太平洋仍维持下沉距平气流,而使ITCZ持续偏弱。而在30°N附近多年平均的副高脊线位置则为上升距平气流(图略),这说明副高的位置偏南。

以上分析表明,该年异常海温的异常分布,很大程度上决定了副高的位置及强度的季节性异常。

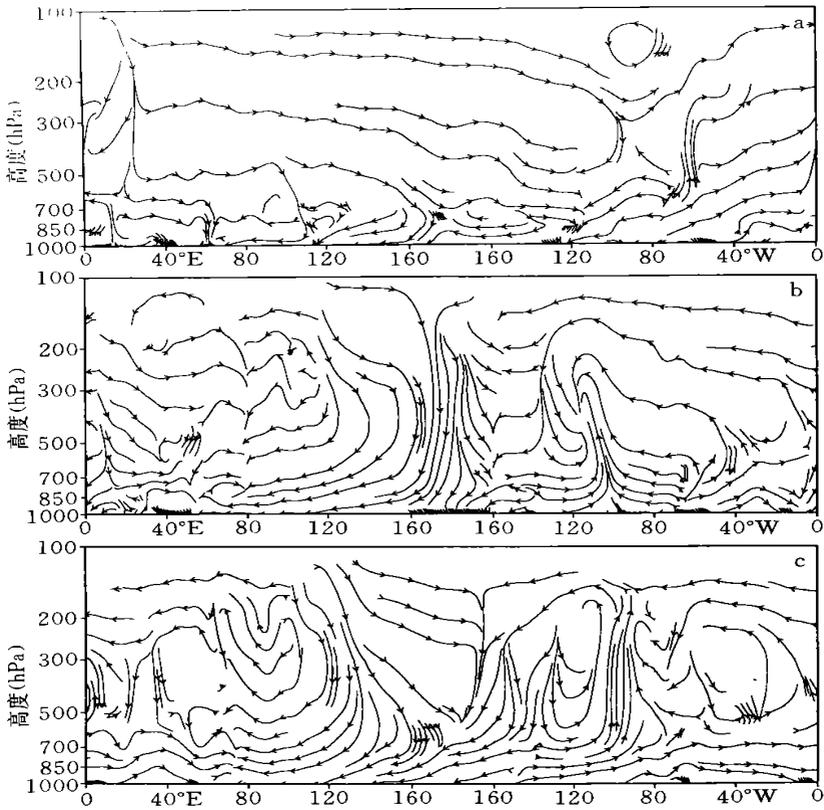


图6 1998年沿5°~20°N的垂直距平环流图

(a. 5月, b. 6月, c. 7月)

4 西太平洋副热带高压季节内异常活动与大气热状态

在研究西太平洋副高时,人们用高度场规定了一些指标以描述它的特征和活动。但这些指标都有一定的局限性。主要是由于副热带地区位势高度变化较小,用变率很小的高度场来描写副高异常活动就会有一定的不确定性。我们尝试从副高的热力状态出发,来考察它的季节及季节内的变化。由于在副高区内为晴空下沉气流,因此它的热力状态应是干燥和辐射冷却区。可用视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 来描述这种状态,并用通常的计算方法^[14]来计算副高平均状态下及1998年夏季长江流域洪涝期各个时段的 Q_1 和 Q_2 。图7为多年平均6,7月整层积分的 Q_1 , Q_2 分布图。由图可见,广阔的太平洋上空, Q_1 , Q_2 皆为负值区。

说明副热带高压及平均脊区大气辐射冷却并失去水分,它很好地指示了副高的位置、强度和形状。而在大陆,尤其是青藏高原上空为强正值区。这是陆地及高原加热造成的空气变暖,和极强的对流活动($Q_2 > 0$)造成的。从 Q_2 图中还可以清晰地识别出主要雨带的位置。在东亚地区,副高西北侧有极强的正值带,它们处于副高西侧的偏南气流中,分别标志着各月主雨带的平均位置,随着副高北推而移动。可见,视热源、水汽汇的分布能很好地指示和描写副高的季节特征、位置和强度。

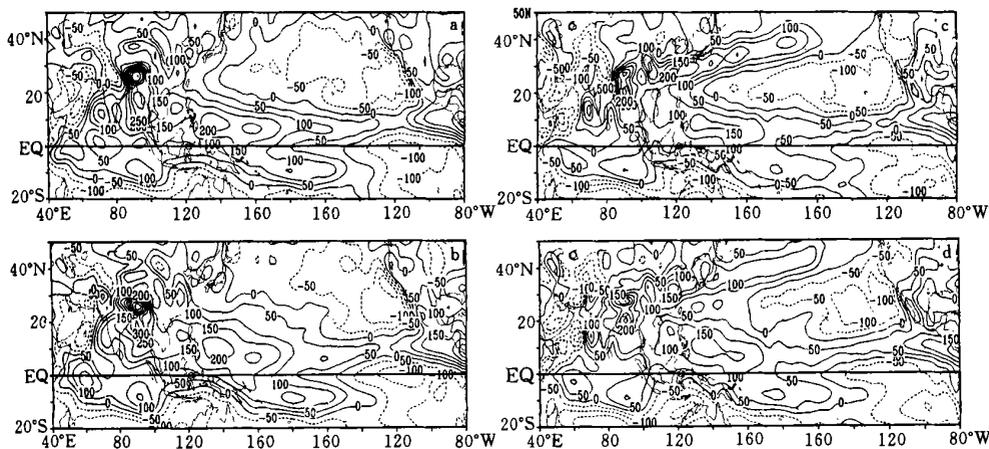


图7 多年平均6、7月 Q_1 、 Q_2 整层积分分布

(a, c 分别为6月的 Q_1 和 Q_2 , b和d分别为7月的 Q_1 和 Q_2 ; 单位: W/m^2)

下面再来研究副高季节内变化的情况。前面已经指出,1998年长江流域特大洪涝与7月下旬的二度梅过程有很大的关系,即在副高北跳,雨带移至北方地区后,它很快南撤,重又使长江流域产生持续降水。为了便于比较,先给出梅雨前后各典型时段500 hPa平均高度图(图8)。5月25日至~6月11日是南海季风爆发至长江流域梅雨开始前的时段,副高已从南海北部东撤(图8a),但印度洋北部至孟加拉湾仍为高压所控制,说明印度季风仍未爆发,长江流域处于南支气流的影响下。至梅雨期(图8b,6月12~28日),太平洋副高西端北移,588 gpm线从台湾岛南端跃至台湾以北。长江流域受南支槽前与副高西侧的西南气流所控制,出现持续降水的有利形势。此时印度西部的南支西风槽强烈南伸,低层季风槽建立,印度季风也开始爆发。7月1日以后(图8c),副高的西端继续北抬,588 gpm线在 $140^\circ E$ 以西向北推了近5个纬距以上,江南沿海在副高控制下,它与西风带高压脊打通,长江流域梅雨中断。与此同时,北印度洋至孟加拉湾的高度明显升高,印度季风也在此时中断。但这种变化并没有持续,7月20日以后(应是华北雨季盛期),副高很快南撤(图8d),华北受西风槽控制,长江流域重新出现持续降水。

西太平洋副高这种异常活动的物理过程可以用 Q_1 、 Q_2 场的变化来进行解释。图9为按照上述的4个阶段所计算的 Q_2 的分布(按照上节所述,此处主要以 Q_2 为代表进行讨论)。从图中看出,太平洋上大片的负值区是大气失去水分的干燥区(Q_1 此处也为负值区,表明大气因下沉,辐射冷却而失去热量),正是副热带高压晴空少云区的位置。而在它的西北侧,为强的正值区,这是主要雨带的位置。这一点与平均场的情形是一致的。

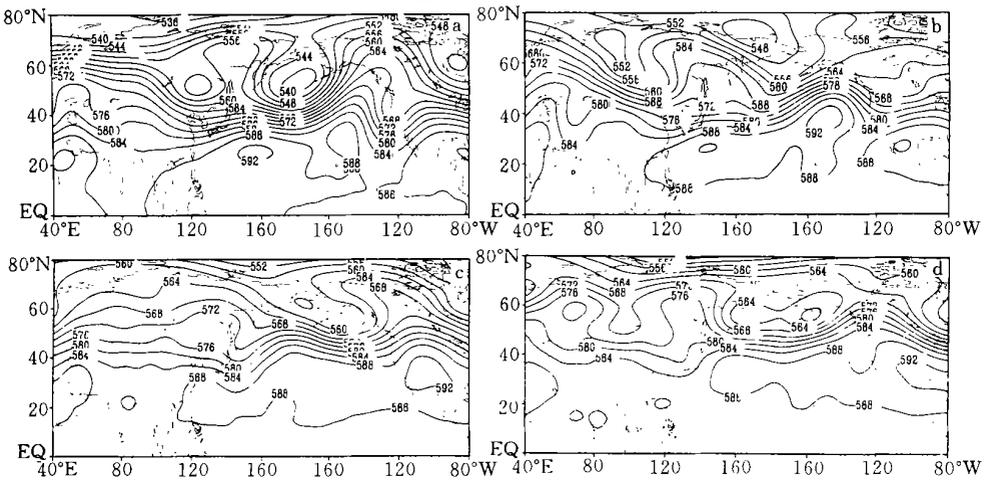


图8 1998年梅雨期前后各典型时段500 hPa平均高度

(a. 5月25日~6月11日, b. 6月12~28日, c. 7月1~19日, d. 7月20~31日; 单位: gpm)

图9a为长江流域梅雨前,南海季风活跃期的情况。可以看到,以 $Q_2 < 0$ 区所代表的西太平洋副高区其最大值(轴线)在 20°N 以南,但中心撤出南海。这时东亚地区雨带从南海向东北延伸。而在印度洋至孟加拉湾地区的 $Q_2 < 0$,说明该地区仍为高压所控制,季风尚未爆发。而到6月12~28日梅雨期(图9b), $Q_2 < 0$ 区向北移,轴线在 20°N 以北。西北侧的雨带(强的 $Q_2 > 0$ 中心)位于长江下游。两者的相对位置与图7的平均情况十分一致。强的 $Q_2 > 0$ 带也表明了长江流域梅雨的开始。从印度洋东部至孟加拉湾, Q_2 由上个阶段的负值变成正值中心,说明大量的持续的降水在该时段内发生,印度季风爆发。图9c则为副高北跳期, $Q_2 > 0$ 的雨区北推至淮河以北至渤海湾。但是从该图看,在中国大陆东部及沿海地区, $Q_2 < 0$ 的分布十分零乱。在东海至日本南部有小片负值区,它被两个大的正值区(降水区)所分割。这时大片的 $Q_2 < 0$ 区及与之相应的雨区东退至 130°E 以东,说明西太平洋副高西端虽然北移,但它脱离了副高的主体。由图7c中平均的 Q_2 的分布可见,表征主雨带的 $Q_2 > 0$ 区与副高紧紧相连,它与图9c中的情形极不一致。综合 Q_1 , Q_2 的分布看,北跳的部分并没有明显的辐射冷却和下沉变干的特征,因此副高失去了赖以维持的物理机制。而在太平洋中部,副高主体并没有明显的北抬。这些都是不利于北跳了的副高在那里维持,从而导致它迅速南落,回到其主体所在的位置上。图9d是副高南落后,长江流域出现二度梅的时段。太平洋副高西侧的 $Q_2 < 0$ 区与主体又连成一片,中国东部雨带正好位于它的西北侧。 Q_2 又回到与平均情况一致的配置,有利于它的稳定。

由此可见,视热源、水汽汇的分布能很好地描写副高的季节特征以及长江流域持续暴雨期与间隙期的热力状态。副高区为明显的 $Q_1 < 0$ 的辐射冷却区和 $Q_2 < 0$ 的干燥区。这种特征反过来又有助于副高的维持。热源分布的变化可以很好地指示副热带高压的位置与强度。但在1998年的7月上旬副高北跳期,这种对应关系很差。这说明它难于在该位置上稳定而将很快南落,由此造成长江流域的二度梅。

为了进一步说明副高异常的季节内变化,我们考察梅雨期前后垂直环流的变化。从梅

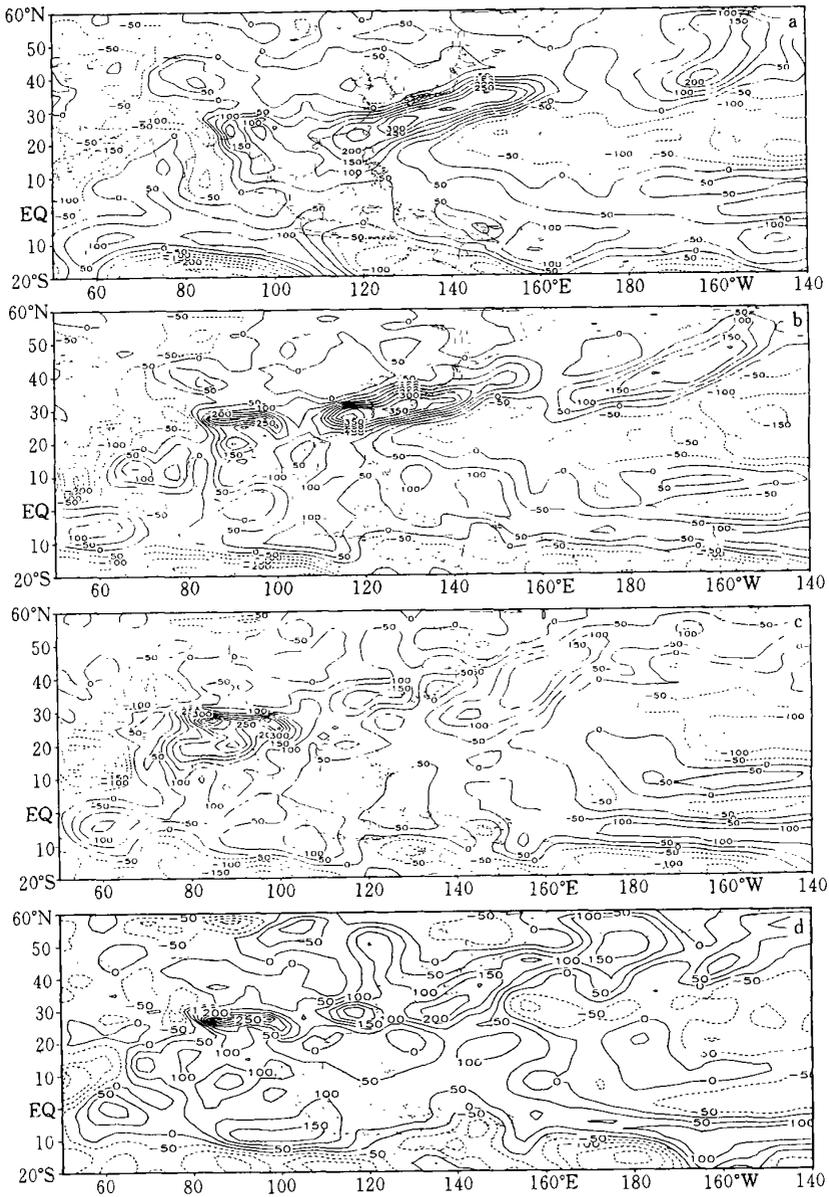


图9 1998年梅雨期前后各典型时段 Q_2 整层积分分布

(a. 5月25日~6月11日, b. 6月12~28日, c. 7月1~19日, d. 7月20~31日; 单位: W/m^2)

雨期, 中断期和二度梅3个时期500 hPa平均垂直速度场(图略)看, 在3个时期中, 大洋中部副高主体位置上为 $\omega > 0$ 下沉区, 而从高原至中国东部的主雨带区则为 $\omega < 0$ 的强烈的上升区。但是比较这3个时段即可发现, 在梅雨期及二度梅期, 表征副高主体的正值区向西伸入 $140^\circ E$ 以东。在6月12日至28日, 还西伸至 $120^\circ E$, 这时上升区正位于它的西北侧。而在副高北跳时, 该下沉区位于 $160^\circ E$ 以东。长江下游只有一个很小的正值中心, 它与副高主体完全脱离。虽然该中心比上一阶段推进了5个经度, 但由于范围小, 强度弱, 它的

北抬并不是整个西太平洋副高的季节性北跳,因此很难在该处维持。这个结果与上面 Q_1 , Q_2 场所表现出的特点是完全一致的。

5 结 语

太平洋副热带高压与中国夏季降水的密切关系已为人们所熟知。副高活动的异常又受多种因子的影响。本文从副高与海温,以及它自身的热状态等方面来探讨 1998 年夏季它的异常活动及与长江流域洪涝的关系。文中描述了它异常的季节位置、强度和形态及其与长江降水异常的关系。在此基础上,探讨 1997 至 1998 年 El Niño 过程对太平洋副热带高压活动的影响,以及视热源、水汽汇的特征与副高季节内活动异常的关系等。

SVD 方法所展示的海温与太平洋副高的主要的耦合模态显示:在前期海温为 El Niño 型分布,且其强度从冬至夏呈减弱趋势时,太平洋副高的主体强而位置偏南,特别是其西部,赤道辐合带也偏弱。1998 年夏季副高的基本特征正符合该模态的形势。即副高强而偏南,赤道辐合带也弱而偏南。热带地区东西向的垂直环流明显地出现东太平洋的异常上升气流与西太平洋的下沉距平气流,进一步证实了海温的影响。

视热源、水汽汇的分布能很好地描写副高的季节特征。副高区为明显的 $Q_1 < 0$ 的辐射冷却区,和 $Q_2 < 0$ 的变干区。这种特征也有助于副高的维持。热源分布的变化可以很好地指示副热带高压的位置与强度。同样,视热源、水汽汇的分布也能很好地解释副高的季节内异常活动。在长江流域持续暴雨期, Q_1 , Q_2 所指示的副热带高压与雨带的相对位置与平均场的基本特征一致。但在 1998 年度 7 月上旬副高北跳期,这种对应关系很差。这样的热力结构使它难于在该位置上稳定而很快南落,回到主体所在的纬带上,由此造成长江流域的二度梅。同时垂直环流的差异也说明了这一点。

致谢: 本文的部分资料由赵声荣博士提供,特此致谢。

参考文献

- 1 黄仕松,余志豪. 副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究. 气象学报, 1961, 31(4): 339 ~ 359
- 2 陶诗言. 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, 146pp
- 3 李金龙, 纪立人. 夏季北半球 500 hPa 位势高度场持续性异常的地理分布及区域特征. 1994: 18, 163 ~ 172
- 4 庄世宇, 纪立人. 夏季副热带西太平洋大气环流持续异常. 科学通报, 1997, 42(20): 2196 ~ 2199
- 5 Sun Shuqing, Ying Ming. Subtropical high anomalies over the west Pacific and its relations to the Asian monsoon and SST anomaly. Advances in Atmospheric Sciences, 1999, 16(4): 559 ~ 568
- 6 应明, 孙淑清. 西太平洋副热带高压对热带海温异常响应的研究. 大气科学, 2000, 24(2): 193 ~ 206
- 7 Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. J Atmos Soc Japan, 1987, 65: 373 ~ 390
- 8 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 1994, 18(4): 456 ~ 464
- 9 Hoskins B J, Rodwell M J. A model of the Asian summer monsoon. Part I: The global scale. J Atmos Sci, 1995, 52: 1329 ~ 1340.
- 10 喻世华, 杨维武. 季节内西太平洋副热带高压异常进退的诊断研究. 热带气象学报, 1995, 11(2): 214 ~ 221
- 11 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
- 12 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄等. 98 夏季中国暴雨的形成、机理和预报研究. 北京: 气象出版社, 2001. 184pp

- 13 丁一汇, 张雁, 马强等. 1998 年夏淮河流域试验加密观测期间主要天气形势特点及其重要观测成果. 见: 赵柏林等主编. 淮河流域能量与水分循环研究. 北京: 气象出版社, 1999. 285pp
- 14 Yanai, M. Seasonal & interannual variability of atmospheric heat source. In: Workshop on El Niño, Southern Oscillation and Monsoon, Italy, SM R/930- 20, 1996, 7: 15 ~ 26

A STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ANOMALY OF SUBTROPICAL HIGH OVER THE WESTERN PACIFIC AND THE HEAVY FLOODING IN YANGTZE RIVER VALLEY IN 1998

Sun Shuqing Ma Shujie

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of sciences, Beijing 100029)

Abstract

The anomalous activity of subtropical high over the western Pacific is studied during the summer of 1998, when the heavy flooding occurred in the Yangtze River region. The paper presents the influence of El Niño event in that period on the subtropical high anomaly and the relationship between the distributions of apparent heat source Q_1 and moist sink Q_2 and the anomalous subtropical high. The main characteristics of subtropical high in that summer are given including its seasonal position, strength and the relation to the precipitation in the Yangtze River Valley. The main coupled mode between SST and subtropical current revealed by SVD analysis shows that if the distribution of SSTA presents an El Niño pattern and its strength decays from preceding winter to summer, the strength of subtropical high in the western Pacific in the summer would be stronger and located at the lower latitudes, especially at its western part. The ITCZ at the southern side would be comparatively weaker. The 1997-1998 El Niño event was decaying from winter to summer, and the features of circulation around the subtropical high are similar to that mode. Therefore the influence of 1997-1998 El Niño on the anomalous subtropical high is very clear. The vertical circulations have shown an anomalous upward flow over the eastern equatorial Pacific, and a downward current over the western Pacific.

The distribution of Q_1 and Q_2 may well describe the position and intraseasonal variation of the subtropical high, therefore explain the second period of Meiyu in the end of July in 1998.

Key words: Subtropical high, SST anomaly, Apparent heat source Q_1 and moist sink Q_2 .