

太平洋海气相互作用的时空变化*

陈 烈 庭

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文根据 1957—1976 年赤道太平洋海温和北太平洋海平面气压的月平均资料, 计算了它们之间全年(1—12 月)逐月的时滞相关, 分析了北太平洋副热带反气旋影响赤道海温和赤道海温对副高反馈的季节变化。发现它们之间的联系不同季节、不同地区有明显差异: 副热带反气旋对赤道海温的影响(负相关)以春季最大, 秋季最小; 赤道海温的反馈, 对副高的不同部分作用不同, 对副高主体的作用(正相关)以冬半年最大、夏半年较小(尤其是盛夏), 对西部副高脊的作用(负相关)相反, 以夏半年最大, 冬半年较小。其过渡期为 5 月和 11 月。同时对其季节变化的可能原因也提出了一些初步看法。其中特别强调了大型环流背景的基本状态(包括平均垂直环流)对海气相互作用过程的重要性。

一、引 言

在北太平洋副热带高压与赤道东部海温多年演变的相互作用的研究^[1]中, 我们曾发现海气之间彼此的响应和反馈, 不仅具有明显的滞后现象, 而且还各有其最敏感的地区。赤道太平洋海温对北太平洋副热带海平面气压场的响应, 以对大洋东部气压的异常最为敏感; 而赤道海温对气压场的反馈, 则主要发生在大洋中部附近地区。这两个高相关区逐月的演变是很有规律的, 前者先出现并在气压超前海温 2 个月时相关达最大, 后者出现约晚半年左右, 且在气压落后海温 4 个月时相关最好。另外, 这两个高相关区所在地区, 前者正是北太平洋地面副热带反气旋的平均位置, 后者恰是对流层副热带高压中心比较集中的区域。这说明海气相互作用的过程与大型环流背景的基本状态可能有密切关系。

平均垂直环流是大气环流的重要组成部分。Bjerknes, J.^[2]曾提出赤道海温通过 Hadley 环流影响北太平洋副高的著名假设。我们的分析也指出^[3], 赤道太平洋地区的平均纬向环流圈和低纬地区的平均经圈环流的相互作用, 是联系东太平洋赤道海温和副高活动, 以及我国江淮流域汛期降水的重要环节。上述北太平洋中部的高相关区也正是 Hadley 环流的最大下沉区, 东部的高相关区对引起赤道海温变化的东北信风有重要作用, 而东北信风也是平均 Hadley 环流的一个组成部分。因此, 实际上, 它也反映了平均

* 本文于 1982 年 2 月 15 日收到, 1982 年 5 月 10 日收到修改稿。

垂直环流的基本状态对海气相互作用过程的影响。

然而，我们知道大气环流的基本状态具有明显的季节变化。特别是东亚和太平洋上空环流型式和平均垂直环流，不同季节、不同地区有很大差异。因此，可以设想，海气之间联系的特征也应该有明显的时空变化。王绍武等^[4]和赵宗慈等^[5]曾讨论过这问题。本文则想在文献[1]的基础上，着重讨论赤道海温与北太平洋副高系统相互作用的时空变化。太平洋副高是热带太平洋上的主要天气系统，它对我国夏季降水有非常重要的影响。相信关于这问题的探讨对我们利用海温作实际长期预报会有帮助。另外，对海气相互作用物理本质的进一步了解也可能有一定意义。

本文所用资料与文献[1]相同，赤道海温取 $5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$ ， $80^{\circ}\text{W}-180^{\circ}$ 范围内各网格点(网距为5个经纬度)海温的平均值作代表，海平面气压网格点读数的纬距为 5° 、经距为 10° 。资料年代从1957—1976年。在计算相关时，为了去掉一些无关的变化的影响，同样对资料进行一些平滑处理。但这里只作3个月的平滑，而不是6个月。

二、副热带反气旋影响赤道海温的季节变化

北太平洋副热带反气旋强度和位置的异常是使赤道海温发生变化的重要因素。文献[1]指出，它们之间具有明显的负相关。当反气旋强度增强时，其南侧的东北信风也加强。它一方面使赤道东部的海水加速向西输送，并引起加利福尼亚冷洋流和秘鲁冷洋流的海水加速向赤道东部平流补充。另一方面也导致赤道海洋低层的冷水上翻，使赤道地区的海温降低。而当反气旋的强度减弱时，东北信风弱，则上述现象也减弱或中断，使赤道地区海温升高。海温的变化平均落后于反气旋的变化约2—3个月时间。南太平洋副热带反气旋的异常变化对赤道海温也具有同样的作用^[6]。且两半球反气旋的变化基本上是一致的，或者同时加强或者同时减弱。

为进一步了解这一影响可能随季节的变化，我们分别计算各月东太平洋的气压场与后期逐月赤道海温的相关(从同期一直到赤道海温落后6个月)。这样，每月的气压场与赤道海温有7张不同时期滞的相关图，一年共有84张。这些图的分析表明，各月在副热带反气旋的平均位置附近几乎都有一个达到信度要求的负相关区，但其相关程度，不同月份和不同时期滞有

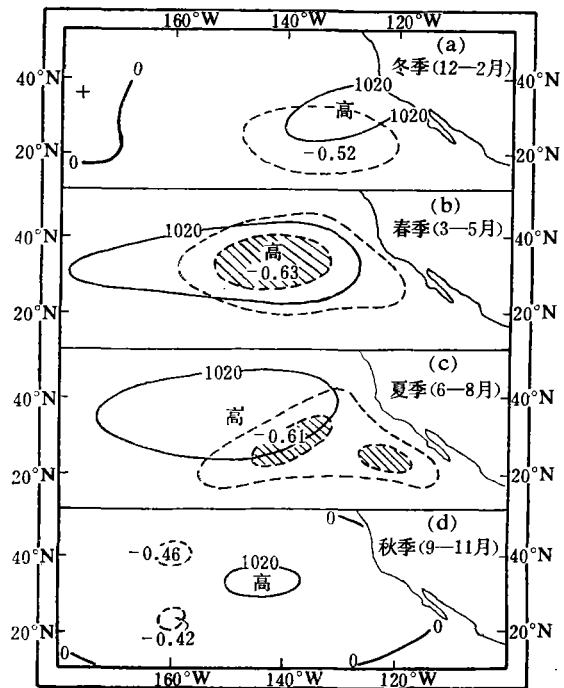


图1 各季东太平洋海平面气压场与其后期(落后4个月)赤道海温的相关分布

很大变化。这就说明北太平洋副热带反气旋对赤道海温几乎全年都有影响,但其作用有明显的季节变化,而且海温向气压场调整的时间也有所不同。下面我们取各月份的气压场分别与其以后第4个月的海温之间的一组相关图作为例子加以说明。

鉴于篇幅的限制,这里我们给出东太平洋气压场与赤道海温的季相关图(见图1)。这是在上述月相关图的基础上,根据相关区的位置和相关的大小的相似性,把相似的各月相关系数取平均,粗略地代表季相关的情况(逐月的相关中心的相关系数见图2曲线(b))。图中粗线为相关零线,虚线和其中的单斜线区分别是相关系数等于 -0.42 和高于 -0.54 的区域,它相当于 0.05 和 0.01 的信度水平。实线为多年平均海平面气压图上 1020 毫巴的等值线,以表示各季副热带反气旋的平均位置和强度。可以看出,在冬季(12—2月)相关达到 0.05 信度的范围相当大,位于副热带反气旋平均位置的南侧,其中心的相关系数为 -0.52 。到春季(3—5月),相关中心向西北移,达到信度的范围达最大,而中心的相关系数亦显著增大,出现了高达 -0.63 的相关;大大超过了 0.01 的信度要求。在夏季(6—8月),高相关的范围稍有缩小,中心的相关系数也有些减弱(-0.61),位于副热

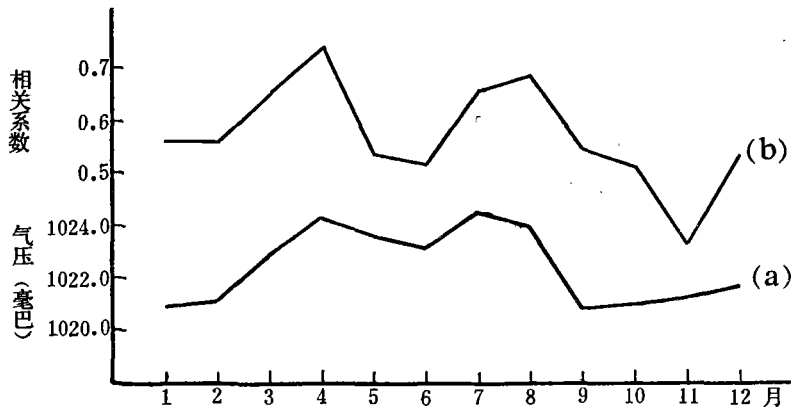


图2 北太平洋副热带反气旋强度(a)及其与赤道海温相关(b)的逐月变化

带反气旋平均位置的东南侧。秋季(9—11月),相关场的形势发生显著变化,季内各月的相关大大减小,中心位置变化也较大,平均只有个别点上的相关系数达到 0.05 的信度水平。

因此,北太平洋副热带反气旋对赤道海温的影响,季节变化是很清楚的。其中以春季最大,夏季次之,冬季更次之,秋季最小。现在问题是为什么会出现这种变化呢?从上述相关场相关中心各月的变化来看(见图2曲线b),3—4月和7—8月各有一个相关极大值,而其间5—6月和10—11月各有一个相关极小值,基本上是二个波的季节变化型式。它与各月北太平洋副热带反气旋中心平均强度的变化非常相像(见曲线a)。这是从逐年逐月的海平面气压图上,在反气旋中心附近取7个网点最高气压值作平均,代表中心强度,然后求出的各月多年平均结果。另外,副热带反气旋具有自冬至夏位置北移、强度增大,自夏至冬位置南撤,强度减小的季节变化特点。从图1来看,高相关区的变化也有类似的基本特征。因此看来,副热带反气旋本身强度和位置的季节变化,是使其与赤道海温

的联系发生变化的一个重要因素。其原因可能是，在春季副热带反气旋的强度已开始明显增强，而且位置又还维持在比较低的纬度，其对赤道海温的影响最大。而秋季，恰相反，不仅副热带反气旋的强度已大为减弱，而且位置也还比较偏北，所以其影响最小。在夏季虽然反气旋的强度达最强，但由于其位置也是一年中之最北，故其影响不一定最大。同样冬季虽然反气旋的强度比较弱，但其位置最南，其影响也不一定最小。

以上也表明大型环流的基本状态对海气相互作用过程有重要作用。当然，这只是根据一些统计现象的推测，其实际联系的物理过程也有待进一步揭露。

三、赤道海温对副高主体影响的季节变化

现在我们来讨论赤道海温对大气的反馈随季节的变化。

图 3 是各月份北太平洋中部的气压场分别与其前期第 3 个月的海温之间的一组相关分布(说明同图 1, 不过这里是正相关。其中双斜线区为相关系数大于 0.65 的区域, 它相当于 0.001 的信度水平)。同样, 为节省篇幅起见, 这里已把相似的相关场进行了合并。可以看出, 12—1 月太平洋中部气压与前期赤道海温的相关, 达到信度的范围非常大, 相关

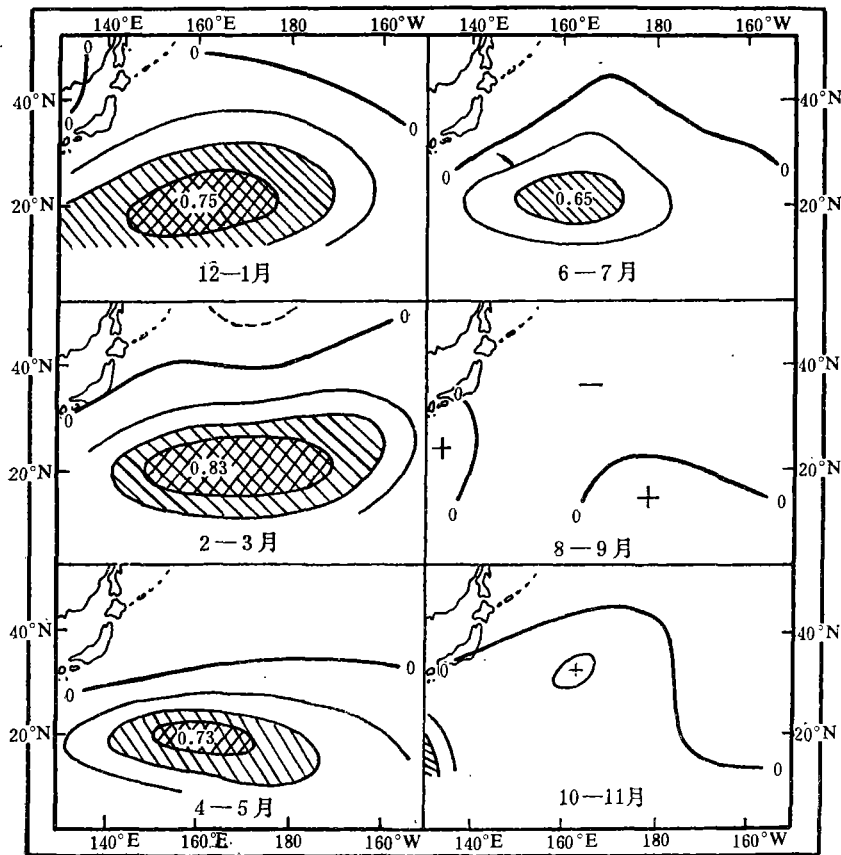


图 3 各月北太平洋中部的气压场落后赤道海温 3 个月的相关分布

中心约在 20°N , 160°E 附近, 中心的相关系数平均达 0.75。2—3 月, 高相关区范围更大, 且中心出现了高达 0.83 的相关。4—5 月开始减小。至 6—7 月虽然范围已大为缩小, 但中心的相关系数仍有 0.65。8—9 月相关场形势发生根本变化, 太平洋中部甚至出现了大片负相关, 然而其相关很小, 没有达到信度要求的区域。10—11 月开始由负相关转为正相关, 但平均只在 30°N 附近个别点上达到信度要求。

因此, 北太平洋副高主体的变化与赤道海温的关系季节变化更是明显。总的来看, 一年中以冬半年相关最好, 夏半年较差, 其间 5 月和 11 月是过渡期, 有较明显的变化。夏半年中, 6—7 月的相关虽然不如冬半年大, 但仍还有一定的显著性。可是 8—10 月基本上没有达到 0.05 信度要求的相关区。所以根据这一相关现象, 可以想像, 利用前期赤道海温预报夏半年太平洋副高各特征指数 (一般它们对西太平洋副高主体的活动有比较好的代表性), 进而预报我国汛期降水的方法, 在初夏显然还是有效的。而在盛夏效果可能不一定好。然而, 应该指出, 这并不就是说赤道海温对我国某些地区盛夏的天气气候就没有影响了。实际上, 它们的关系仍然存在, 下节我们将谈到, 它是通过另外的机制起作用的。

那么, 为什么赤道海温对副高的反馈发生在如图 3 所表示的部分, 而不在别的地方呢? 又为什么它们之间的联系会有冬、夏半年的变化呢? 从“亚洲和太平洋热带地区的对流层平均环流图”^[7] (其中包括梯度风高度, 850 毫巴, 700 毫巴, 500 毫巴, 300 毫巴和 200 毫巴六个层次) 看, 太平洋热带地区流场本身的变化是非常清楚的, 基本上可分为夏季风和冬季风两种型式。从冬季风转换到夏季风和由夏季风转换到冬季风的过渡期也是发生在 5 月和 11 月。冬季, 北太平洋低纬度地区, 低层盛行东北季风, 高层 (见图 4) 中西部副热带高压脊线位于 15°N 附近, 其南侧盛行东南风。因此, 冬季这里 Hadley 环流非常发展, 其中心约在 10°N 左右。赤道附近的上升气流较强, 空气在上升的过程中逐渐转成东南气流, 在高层向西北输送。然后在副热带高压脊北侧与来自中高纬度的空气辐合下

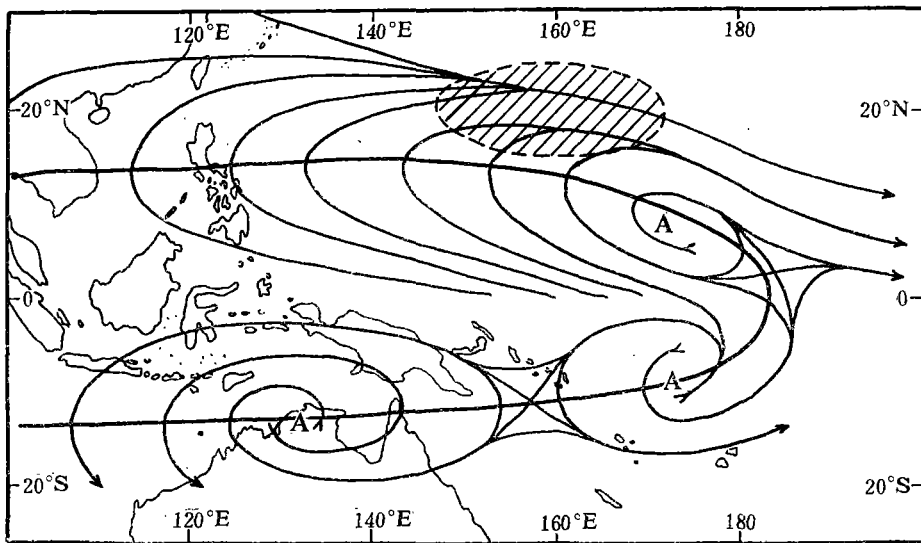


图 4 太平洋热带地区 2 月 200 毫巴平均环流图

沉。可以看出,辐合最强的地区正是上述相关最大的区域(图 4 中划斜线的部分)。夏季,西北太平洋低层副热带高压脊线已北移到 30°N 以北,低纬地区吹的是东南风。高层(图略)副热带高压脊在 30°N 附近,其南面盛行的是东北风。所以,夏季这里盛行与 Hadley 环流相反的所谓季风经圈环流。

为进一步说明这问题,我们在北太平洋中西部低纬地区,取 Koror ($7^{\circ}20'\text{N}, 134^{\circ}29'\text{E}$), Yap ($9^{\circ}29'\text{N}, 138^{\circ}5'\text{E}$), Truk ($7^{\circ}28'\text{N}, 151^{\circ}51'\text{E}$), Ponape ($6^{\circ}58'\text{N}, 158^{\circ}13'\text{E}$), Mazuro ($7^{\circ}5'\text{N}, 171^{\circ}23'\text{E}$) 等五个站 850 毫巴和 200 毫巴的平均 V 分量来表示该区的平均经圈环流。图 5 为其逐月变化的情况。可以看出,在冬半年该区对流层低层盛行北风,高层盛行南风,为经典的 Hadley 环流。其最大分速高、低层都出现在 1—3 月,是 Hadley 环流发展最强的时期。4—5 月明显减弱。夏半年环流方向正好相反,对流层低层为南风,高层为北风,盛行著名的季风经圈环流。其最大分速出现在 8—9 月,是季风经圈环流发展最强的时期。而 5 月和 11 月为二种不同的平均经圈环流相互转换的过渡期。如果把它与上述相关场逐月的变化进行比较,则可看出它们之间有许多共同之

处。特别值得指出的是, Hadley 环流发展最强的月份,正是赤道海温与西太平洋副高主体相关最好的时期。而季风经圈环流充分发展时,则相关最差。另外,二者的转换期也很一致。因此,可以认为这些现象是有其内在联系的。平均经圈环流是制约赤道海温与副高主体这种联系的一个重要环节。当西太平洋 Hadley 环流发展时,其上空向北的经向输送将加强,副高主体与赤道海温的相关增大。反之,当季风经圈环流发展而 Hadley 环流变得很弱时,来自低纬的输送将减弱,副高主体与赤道海温的联系也变小。

叶笃生等^[8]和杨广基等^[9]的分析指出,西太平洋副高的形成和维持,不同季节其主要气流来源有很大不同。冬季以来自低纬的 Hadley 环流的下沉气流作用最大。而夏季起主要作用的是来自中高纬的太平洋中部槽后的下沉气流,来自低纬的气流高度不超过 500 毫巴,只能在西太平洋副高的低层和南部边缘起作用。这些结果与我们上述的分析是一致的。平面垂直环流(包括纬圈和经圈环流)是大气运动能量的主要输送者。因此,随着太平洋热带地区平均垂直环流的季节变化,赤道海温的影响产生相应的转变,这可能是很自然的。

上述事实也进一步表明,海气相互作用的过程与大型环流背景的基本状态特别是平

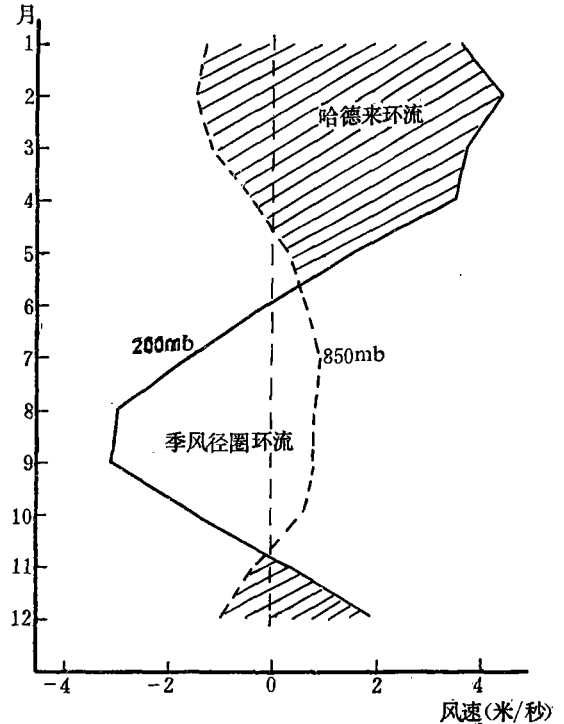


图 5 西太平洋低纬度地区 850 毫巴和 200 毫巴平均 V 分量逐月的变化

均垂直环流的基本状态及其相互作用具有非常密切的关系。因为无论是大气影响海洋或是海洋影响大气,它总脱离不了当时当地背景流场的条件。所以我们在利用海温作长期天气预报时,如果只考虑前期海温,而忽视了当时及其以后实际流场的基本状态,效果将不一定理想。另外,由于大气环流的这些基本状态不光是海洋因子作用的结果,还包括其它一些控制大气环流的基本因子的作用。因此,我们认为,尽管看来海气相互作用是区域性的问题,但其过程实际上具有全球的性质。只有从全球的观点出发,才能对区域的海气相互作用有比较全面的认识。

四、赤道海温对西太平洋副高脊影响的季节变化

章淹等^[10]对初夏西太平洋副高活动气候特征的分析指出,副高的东部与西部分别具有各自明显的特点,两部分之间副高位置距平符号正负相反的情况占一半以上,其过渡带为 140° — 150° E。叶笃正等^[8]的分析也指出,夏季 130° E以西为西南季风区,无论是经向环流或纬向环流,季风区和 160° E以东的东太平洋都有着巨大的不同。我们曾分析过赤道海温对初夏副高活动的作用^[3],西部和东部是相反的。赤道海温高,东部副高主体强,西部副高脊弱。反之则相反。下面我们将进一步分析各季节的情况。

图6是各月西太平洋的气压场落后赤道海温2—3个月的平均相关场(说明同图1,2)。可以看出,这一地区相关场的特征,在冬半年与夏半年同样有明显不同。然而,特别值得注意的是以 140° E为界,西部与东部有显著差异。冬半年西太平洋整个热带地区都是正相关区,即上述太平洋中部的正相关区一直西伸到大陆沿海,东西部差异不是十分明显。但从12月至4月其相关范围变得越来越小。5月以后相关场开始发生根本变化, 140° E以东原来的正相关区趋于消失,以西出现了南正北负的相关形势,相关随时间越来越显著:正相关中心6月在加里曼丹附近,之后稍北移,10月约在南沙群岛,相关系数以9月为最大,达0.70,超过0.001的信度要求;负相关中心初夏约在 30° N,盛夏至秋季约在 40° N或以北,相关系数10月为-0.55,也达到0.01的信度水平。前者与北半球夏季的西太平洋赤道缓冲带反气旋的位置基本一致,后者与西太平洋地面副热带反气旋脊的纬度变化也很吻合。所以,它们实际上反映了赤道海温与西太平洋赤道缓冲带反气旋和副高脊之间的联系。即当赤道海温异常暖时,赤道缓冲带反气旋发展,西太平洋副热带高压脊减弱;当赤道海温异常冷时,赤道缓冲带反气旋减弱,副热带高压脊加强。它们之间存在2—3个月的时间滞后。因此,赤道海温与副高主体的关系同与副高脊的关系是相反的。这一现象主要发生在夏半年。所以虽然上述盛夏赤道海温与副高主体的相关不显著,但与赤道缓冲带反气旋和副高脊的关系密切。赤道海温通过对这些天气系统的作用,仍可对我国的天气气候发生影响。例如:我国东北地区夏季的低温冷害,1957,1969,1972和1976等年是比较典型的冷夏年;1952,1955,1970和1975等年是比较典型的热夏年。前者各年赤道海温明显偏暖,大多数还出现了强烈的“爱奥尼诺”现象;后者各年赤道海温显著偏冷。东北低温科研协作组^[11]的研究表明,冷夏年副高要比热夏年明显偏弱。这与我们上面分析的结果是完全一致的。

关于影响的过程,我们在探讨赤道海温对初夏热带大气环流及我国汛期降水的影响

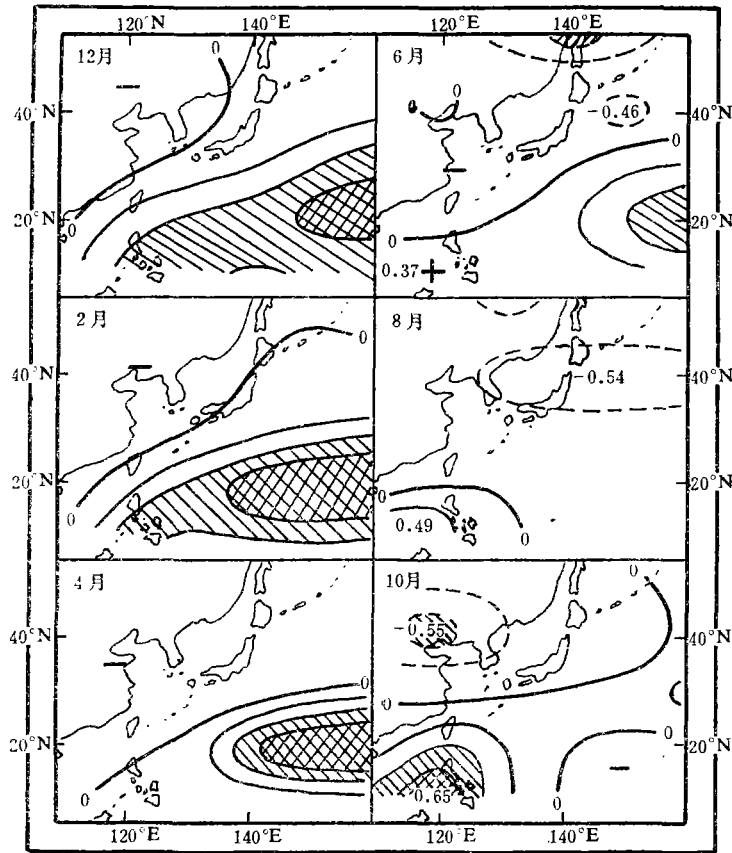


图 6 各月西太平洋气压场落后赤道海温 2—3 个月的相关分布

时^[3]，曾提出了一个联系赤道海温和副高脊以及我国降水的可能机制。指出其主要过程是：当东太平洋赤道海温偏高时，赤道太平洋沃克环流偏东，其西部沃克反环流发展，赤道缓冲带反气旋发展，越过赤道的西南气流强，热带辐合带活跃，140°E以西地区季风经圈环流强，Hadley 环流弱，西太平洋副高脊弱。当东太平洋赤道海温偏低时，情况相反。这是对典型个例分析的结果，现在用 1957—1976 年的资料作检验，情况仍然如此。另外，现在看来，这一过程对整个夏半年都有普遍意义。

参 考 文 献

- [1] 陈烈庭，北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用，大气科学，1982，第二期。
- [2] Bjerknes, J., *Tellus*, 18, No.4, 820—829, 1966.
- [3] 陈烈庭，大气科学，1977，第一期 1—12。
- [4] 王绍武等，海洋学报，2, No.2, 27—40, 1980。
- [5] 赵宗慈等，大气与海洋相互作用的季节变化，全国长期预报讨论会文集，1982。
- [6] 陈烈庭，南方涛动与我国夏季降水，1981 年长江流域长期水文气象预报讨论会材料。
- [7] 中央气象局气象台，亚洲和太平洋热带地区的对流层平均环流图，1976 年。
- [8] 叶笃正等，大气科学，3, No.1, 1—11, 1979。
- [9] 杨广基等，大气科学，3, No.4, 299—305, 1979。

- [10] 章淹等,“1975年长江流域长期水文气象预报讨论会技术交流文集”,209—217,1975。
[11] 东北低温科研协作组,气象学报,37, No.3, 44—58, 1979。

THE TEMPORAL AND SPATIAL VARIATIONS IN AIR-SEA INTERACTION OVER THE PACIFIC OCEAN

Chen Lieting

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Based on the monthly mean data of 1957-1976, the lag correlations between the monthly sea level pressure field over the North Pacific and the sea surface temperature (SST) averaged over the equatorial East Pacific region (5°N - 5°S , 80°W - 180), including the SST time-lagging by 6 months to time-leading by 6 months, are computed. The seasonal variations in the interaction between the subtropical high systems over the North Pacific and the equatorial East Pacific SST are discussed. It is found that the surface subtropical anticyclone over the eastern part of the North Pacific is negatively correlated to the equatorial East Pacific SST which lags behind the former on the average by 2-3 months, and the correlation between them is best in spring and poorest in autumn. The feedback impact of the equatorial East Pacific SST on the subtropical high in the middle troposphere behaves differently in different part of this high. Its effect on the main body of subtropical high that has a positive correlation with the SST with the latter leading on the average by 4 months is largest in winter half year and smaller in summer half year, especially in mid-summer. While the effect on the subtropical ridge over the West Pacific that shows negative correlation with the SST with the latter leading on the average by 2-3 months is largest in summer half year and smaller in winter half year. Their transition periods are May and November. Further, some possible causes of such seasonal variations are suggested, in which we emphasize the significance of seasonal variation in the basic state of the background flow, especially in the mean zonal and meridional circulation and their interaction.