

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

黄荣辉 孙凤英

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文利用 1978—1989 年热带西太平洋暖池的表层与次表层海温、高云量与降水等观测资料分析了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。分析结果表明: 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起着十分重要的作用。当热带西太平洋暖池增暖时, 从菲律宾周围经南海到中印半岛上空的对流活动将增强, 西太平洋副热带高压的位置偏北, 我国江淮流域夏季降水偏少; 反之, 则菲律宾周围的对流活动减弱, 副热带高压偏南, 江淮流域的降水偏多, 黄河流域的降水偏少, 易发生干旱。观测事实还表明, 当热带西太平洋暖池上空的对流增强后, 从东南亚、经东亚到北美西海岸上空大气环流的异常呈现出一个遥相关型—东亚太平洋型。

关键词: 暖池; 对流活动; 遥相关; 副热带高压

一、引 言

许多观测事实表明, 东亚季风不仅受印度西南季风的影响和南半球气流的作用, 而且还受到西太平洋副热带高压的影响^[1]。由于西太平洋副热带高压的年际变化与季节内变化很大, 因此, 东亚季风的变化比较复杂, 不仅年际变化大, 并且季节内变化也很大。由于受东亚夏季风年际变化的影响, 东亚夏季经常发生干旱与洪涝, 特别是近年来长江、黄河流域不断发生严重的干旱与洪涝灾害。这些旱涝灾害都是大气环流发生持续性异常所造成。

关于东亚季风异常的成因, 这一直是我国气象研究的重要课题之一。黄荣辉于 1984 和 1985 年提出了青藏高原夏季热源异常是亚洲夏季风异常的成因之一^[2,3]。然而, 近年来, 许多观测事实表明热带西太平洋是全球海洋温度最高的海域, 全球暖海水大部分集中在这里, 这里又称暖池 (warm pool), 是大气热量主要供应地之一^[4,5]。在暖池上空, 由于海表面附近海—气相互作用相当剧烈, 故它的对流活动强, 并且它处于 Walker 环流上升支, 大尺度的空气与水汽的辐合产生了对流的不断加强和大量降水。Cornejo-Garrido 和 Stone^[6]以及 Hartmann 等^[7]研究表明暖池上空的对流活动对大气的加热维持了 Walker 环流的能量。

1991 年 7 月 8 日收到; 1991 年 9 月 25 日收到修改稿。

暖池的热状况及其上空的对流活动不仅在维持热带纬圈环流起很大作用,而且在经向对北半球夏季大气环流的变化也有很大作用。黄荣辉从观测事实和理论上研究了暖池上空对流活动所形成的热源对北半球大气环流异常的作用^[8]。Nitta 研究了暖池上空的云量变化与热带西太平洋暖池海面温度的关系^[9], Nitta 从卫星所测得的高云量资料研究了热带西太平洋上空对流活动对北半球环流变化的影响^[10]。黄荣辉等进一步从观测资料及大气环流数值模拟来说明热带西太平洋暖池对北半球大气环流异常遥相关的作用^[11-13]。

Kurihara 从观测资料分析了暖池热状态与日本夏季温度的关系,他指出暖池的热状态与日本夏季气温之间有一个很好的正相关^[14]。然而,夏季风不仅仅表现在气温方面,更表现在夏季风降水方面,而降水异常直接引起旱涝气候灾害。夏季旱涝对我国工农业生产有很大影响,它是我国长期预报中最重要的课题。本文利用 1978—1989 年热带太平洋暖池表层与次表层的海温距平,高云量资料与降水观测资料分析了夏季热带西太平洋的海温与上空的对流活动,西太平副热带高压与东亚夏季降水,特别是与我国江淮流域旱涝之间的关系以及由于暖池上空对流活动所引起的北半球夏季大气环流异常的遥相关型。

二、热带西太平洋暖池热状况与东亚夏季降水之间的关系

为了弄清热带西太平洋暖池热状态及其上空的对流活动与东亚夏季降水的关系,我们利用 1978—1989 年热带西太平洋表层与次表层海温、从卫星所测得的高云量、北半球 500hPa 高度场资料以及我国 1951—1988 年夏季降水资料来分析它们之间的关系。

1. 热带西太平洋暖池热状态与东亚夏季降水的关系

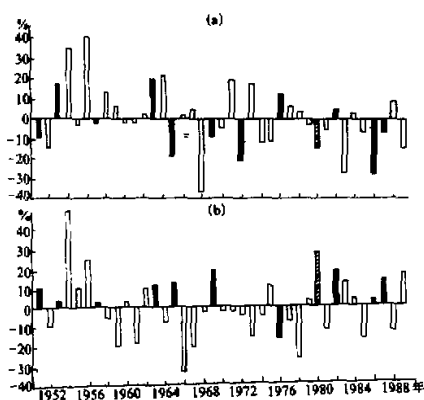


图 1 我国黄河流域与华北地区 (a) 和江淮流域 (b) 夏季 (6—8 月) 降水距平百分率的年际变化

图 1 是利用我国 336 个站夏季降水资料计算得到的黄河流域与华北地区和江淮流域 6—8 月降水距平百分率的年际变化。其中,黄河流域和华北地区包括了 50 个测站,而江淮流域包括了 28 个测站,这些资料经过了校准。从图 1 可看到 1978, 1981, 1985, 1988 年江淮流域的降水偏少,尤其在 1978, 1985, 1988 年夏季江淮流域降水偏少 2—3 成,并发生了干旱。在这些年份的夏季,黄河流域和华北地区的降水正常;相反,在 1980, 1982, 1983, 1987 年夏季江淮流域降水偏多 1—3 成,尤其在 1980 年夏季江淮流域降水偏多近 3 成,造成了洪涝。而在这些年份的夏季,华北与黄河流域的降水偏

少, 特别在 1983, 1986 年夏季, 华北与黄河流域的降水偏少 3 成, 发生干旱。因此, 可以看到, 江淮流域的降水与华北地区, 黄河流域的降水异常有相反的趋势, 若江淮流域的降水多, 则华北、黄河流域的降水偏少, 这往往发生在赤道东太平洋海温处于升高阶段, 即发生在 ENSO 事件的发展位相; 反之, 若江淮流域的降水偏少, 则华北、黄河流域的降水正常或偏多, 这往往发生在赤道东太平洋海温处于下降阶段, 即发生在 ENSO 事件的衰减阶段。

图 2a 与 2b 分别是热带西太平洋暖池与赤道中太平洋区域平均 SST 距平的年际变化。可以看到, 江淮流域降水偏多的夏季, 如 1980, 1982, 1983, 1987 年的夏季, 热带西太平洋暖池表层海温距平为负, 而赤道中太平洋 SST 距平为正。这说明当热带西太平洋暖池温度偏低时, 我国江淮流域降水偏多。因此, 热带西太平洋暖池的 SST 与江淮流域的降水之间存在着反相关。

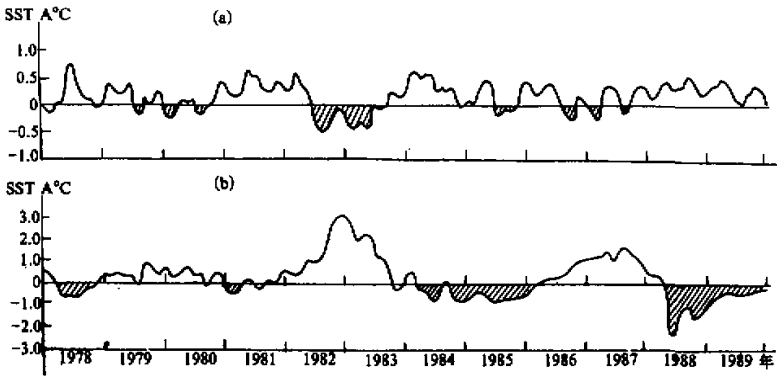


图 2 (a) 热带西太平洋暖池 (125—145°E, 0—15°N) 区域平均 SST 距平的年际变化;
(b) 赤道东太平洋 (150—90°W, 5°N—5°S) 区域平均 SST 距平的年际变化

图 3 是热带西太平洋暖池次表层沿 137°E, 2—10°N 平均的海温距平的时间—深度剖面图。图 3 清楚地表示了, 在江淮流域降水偏多的 1980, 1982, 1986, 1987 年的夏季, 在沿 137°E 热带西太平洋暖池的 50—250m 深的次表层的海温明显为负, 而在江淮流域降水偏少的 1978, 1981, 1984, 1988 年夏季, 沿 137°E 暖池 50—250m 深次表层的海温距平明显为正。这表明暖池次表层的水温与我国夏季降水有一个很好的反相关。它们之间的相关系数可以达到 -0.6, 信度检验在 0.05 以上。从图 3 还可看到暖池次表层的海温变化与异常的距平值要比表层海温异常的距平值大得多。因此, 利用暖池次表层的海温距平作为信号来预测我国夏季旱涝分布要比用暖池表层海温距平作为信号要强得多。

2. 热带西太平洋海面水位与江淮流域降水之间的关系

由于水温高, 水体就会膨胀, 并且水温高, 一般动力高度高, 海洋水温也可以从海面水位反映出来。Yap 岛位于热带西太平洋暖池的北部, 在这个岛所测得的海平面水位距平也可以反映暖池北部的热状态。图 4 是 Yap 岛海平面水位距平的年际变化。显

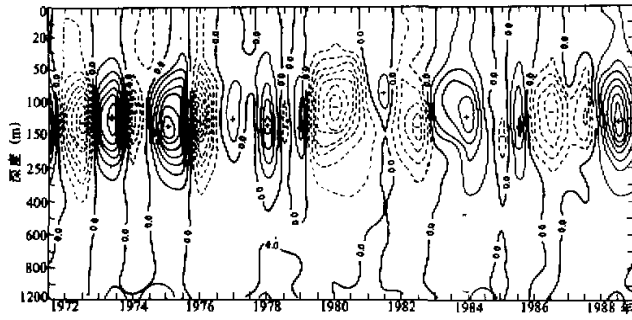


图3 热带西太平洋暖池次表层沿 137°E , $2-10^{\circ}\text{N}$ 平均的海温距平时间-深度剖面图^[15]

单位: $^{\circ}\text{C}$

然,在江淮流域降水偏多的年份,如1980,1982,1983,1987年Yap岛的海面水位距平为负;而在1978,1981,1985,1988年江淮流域降水偏少的年份,Yap岛的水位距平为正。因此,热带西太平洋暖池海面水位与江淮流域降水之间也存在着负相关。

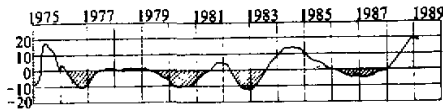


图4 Yap岛 (9°N , 139°E) 12个月滑动平均的海平面水位距平的变化

单位: cm

从上面热带西太平洋暖池的海表温度,次表层海温以及暖池的海面水位与江淮流域降水之间有一个很好的负相关,其相关系数达到-0.6,而与黄河流域降水之间有一正相关,相关系数也达到+0.6,这两区域的相关系数均超过0.05信度检验。为了更清楚表达暖池海温与江淮降水的关系,我们分别求出

1978-1989年江淮流域降水偏多与偏少年份夏季太平洋SST的分布。图5a与5b分别是江淮流域降水偏多与偏少年份,太平洋夏季SST的分布。显然,从图5a可以看到江淮流域夏季降水偏多的年份,热带西太平洋暖池本体的SST偏低,而暖池的暖水向东伸展,在日期变更线附近的赤道中太平洋的SST升高,在这海域也有 29°C 的区域,并且还可以看到,赤道东太平洋的冷水向东收缩,这正是ENSO事件发展的前期。相反,从图5b可以看到,在江淮流域夏季降水偏少的年份,暖水在热带西太平洋堆积,暖池的SST偏高,从菲律宾周围的海域到印度尼西亚附近的西太平洋暖池的SST都在 29°C 以上,赤道东太平洋的冷舌从秘鲁沿岸向赤道中太平洋伸展,这正是ENSO事件处于恢复位相或冷水年的时期。

三、热带西太平洋暖池上空的对流活动与夏季东亚降水之间的关系

热带西太平洋暖池的热状态影响着暖池上空的对流活动,在热带西太平洋暖池增暖

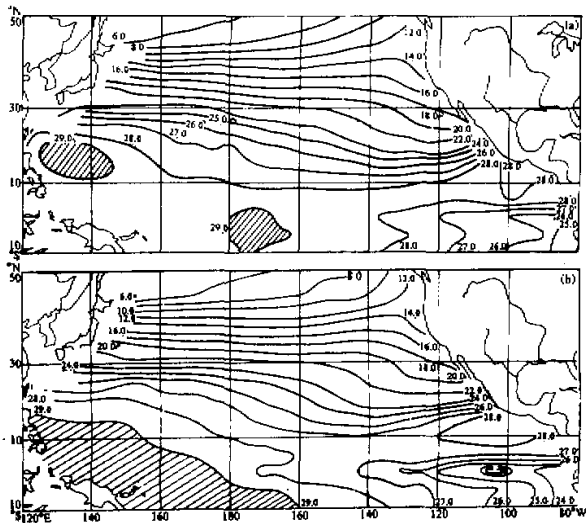


图5 江淮流域夏季降水偏多 (a) 与偏少 (b) 时太平洋 SST 的分布
单位: $^{\circ}\text{C}$

与变冷时期, 对流活动的活跃区域就不一样。

图 6a 与 6b 分别是菲律宾周围 (110°E — 140°E , 10°N — 20°N) 与日期变更线附近 (170°E — 170°W , 5°N — 5°S) 月平均高云量的标准化距平随时间的变化。与图 2、3 比较, 可以看到, 当热带西太平洋暖池温度下降, 暖池的暖水向东传播, 菲律宾周围的对流活动较弱, 而在日期变更线附近的对流活动强, 如 1980, 1982, 1983, 1987 年, 菲律宾周围的高云量标准化距平为负, 而在日期变更线附近的高云量标准化距平为正; 相反, 在 1978, 1981, 1984, 1985, 1988 年, 热带西太平洋的暖水贮积在暖池, 暖池温度上升, 菲律宾周围的对流活动强, 而在日期变更线附近的对流活动较弱, 故在菲律宾周围高云量标准化距平为正, 而日期变更线附近高云量的标准化距平为负。因此, 从上面分析可以看到, 菲律宾周围的对流活动与热带西太平洋暖池热状态之间存在着正相关。

从图 6 与图 1 的比较中可以看到: 在菲律宾周围对流活动弱的年份, 如 1980, 1982, 1983, 1987 年夏季, 我国江淮流域的降水偏多, 有的年份甚至发生洪涝, 而在这些年份的夏季, 华北和黄河流域以及华南的降水偏少, 往往发生干旱; 相反, 在菲律宾周围对流活动强的年份, 如 1978, 1981, 1984, 1985, 1988 年的盛夏, 我国江淮流域

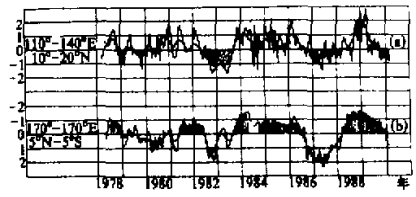


图6 菲律宾周围月平均高云量的标准化距平 (a) 与日期变更线附近赤道中太平洋高云量的标准化距平 (b) 随时间变化

的降水偏少, 往往发生干旱, 而华北、黄河流域的降水可能正常或多雨。

为了进一步搞清热带西太平洋暖池上空的对流活动与我国江淮流域降水之间的关系, 我们分别应用我国降水距平与高云量距平资料计算了菲律宾周围及日期变更线附近的对流活动与我国夏季降水相关系数的分布。

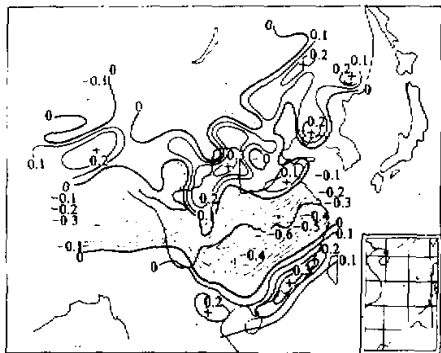


图7 我国夏季降水与菲律宾周围 (12.5—17.5° N, 132.5—137.5° E) 的对流活动相关系数分布图

从图7可以看到, 我国长江和淮河流域夏季降水与菲律宾周围对流活动之间存在着很好的反相关, 最大负相关系数达到-0.6以上, 它位于长江流域的中游, 信度检验超过0.05; 而华北地区、黄河流域夏季降水与菲律宾周围对流活动之间存在着正相关, 同样, 在华南与东南沿海地区夏季降水与菲律宾周围的对流活动之间也存在着正相关。这就是说, 当菲律宾周围对流活动弱, 如1980, 1987等年, 长江、淮河流域夏季降水多; 相反, 如1985, 1988年, 长江、淮河流域夏季降水少。

为了更好地表示我国江淮流域旱涝年夏季热带西太平洋暖池上空的对流活动情况, 我们分别作了江淮流域偏涝 (1980, 1982, 1983, 1987年) 与偏旱 (1978, 1981, 1984, 1985, 1988年) 时夏季热带西太平洋暖池上空高云量的分布 (见图8)。从图8中, 可以看到, 当我国江淮流域降水偏多时, 菲律宾周围的对流活动相对弱, 而在日期变更线附近的对流活动相对强; 相反, 当我国江淮流域降水偏少时, 菲律宾周围经南海到中印半岛对流活动相对强, 最大平均高云量达到56%, 即相当于通常所用的云量观测为5.6, 而在日期变更线附近的高云量偏少, 对流活动弱。

从图8明显看到, 我国江淮流域降水偏多或偏少时, 热带西太平洋暖池上空的对流活动是不一样的。

四、热带西太平洋暖池上空的对流活动 与西太平洋副热带高压的关系

上面的观测事实表明了东亚夏季降水与热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动有很好的关系。这主要是由于暖池上空的对流活动影响着西太平洋副热带高压的位置与强度。西太平洋副热带高压对于我国东部、朝鲜半岛、日本等东亚地区的夏季气候有着重要作用。它的位置与强度的异常直接影响东亚气候的异常, 若在盛夏, 它的位置偏北, 则江淮流域、朝鲜半岛南部及日本本洲出现高温少雨天气; 相反, 若在盛夏, 它的位置偏南, 则在我国的江淮流域和日本本洲出现冷夏多雨的天气。

为了表示夏季热带西太平洋暖池上空对流活动强弱与夏季西太平洋副热带高压位置

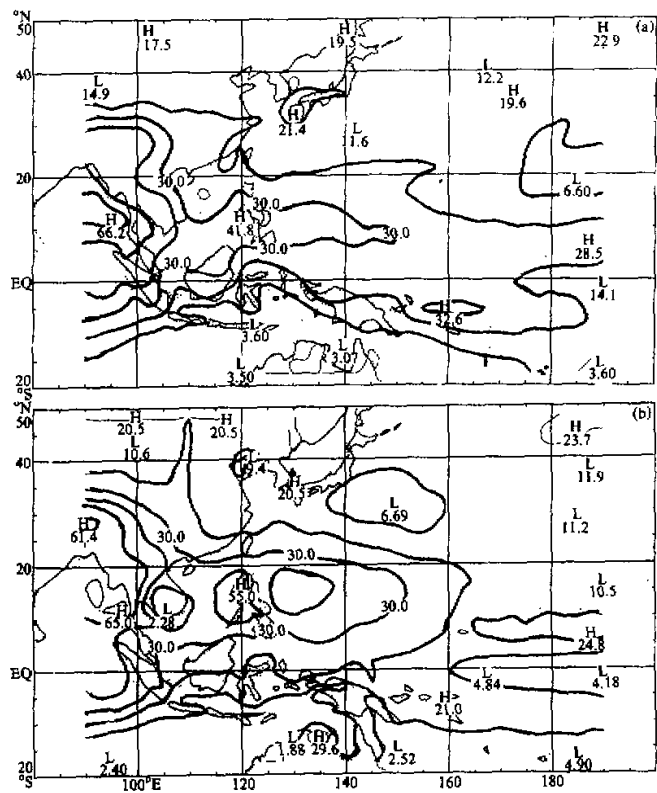


图 8 我国江淮流域夏季降水偏多 (a) 与偏少 (b) 时,
热带西太平洋夏季高云量的分布
单位: %

的关系, 我们分别计算了夏季菲律宾周围对流活动强与弱年份 7、8 月 500hPa 西太平洋的位置与强度。图 9a 与 9b 分别是当菲律宾周围对流活动强和弱夏季 7、8 月东亚 500hPa 低通滤波高度场的分布。比较图 9a 与 9b, 可以看到, 在菲律宾周围对流强的夏季, 西太平洋副热带高压位置偏北, 脊线位于 35°N , 我国江淮流域上空的高度场偏高, 西风带偏北; 相反, 在菲律宾周围对流弱的夏季, 西太平洋副热带高压偏南, 脊线位置位于 30°N 以南, 我国江淮流域和日本本洲上空的高度场偏低, 西风带偏南。

暖池上空对流活动强, 这就使得位于热带西太平洋热源增强, 从而使得 Hadley 环流增强, 并且, 它的下沉区偏北, 从而造成了西太平洋副热带高压偏北。关于热带西太平洋暖池上空热源与西太平洋副热带高压之间关系的物理机制比较复杂, 我们将在另文发表。

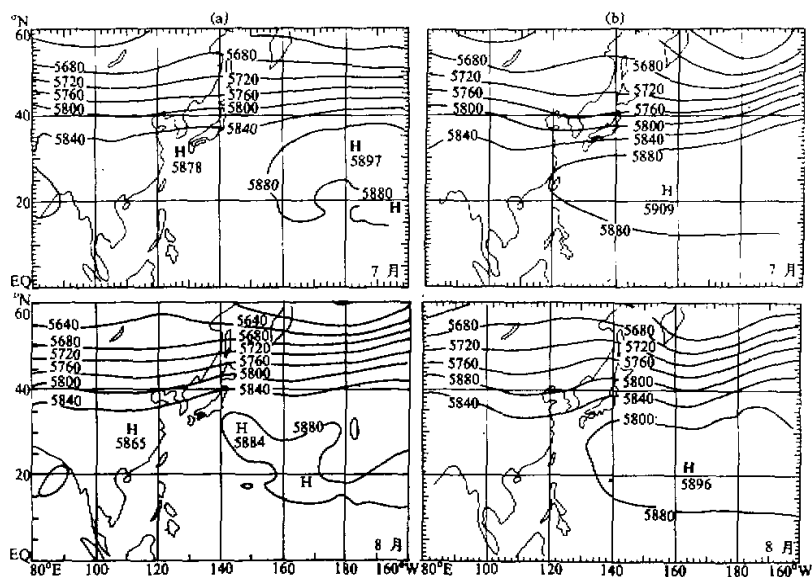


图9 菲律宾周围对流活动强的夏季 (a) 与弱的夏季
(b) 西太平洋副热带高压的位置

单位: GPM

五、热带西太平洋暖池上空的对流活动 对北半球夏季大气环流异常的影响

热带西太平洋暖池上空的对流活动不仅影响东亚夏季大气环流, 而且影响北半球夏季大气环流的异常。

我们利用低通滤波器滤过的 1978—1989 年夏季逐日北半球 500hPa 高度场计算了以 20°N , 120°E 为基点的北半球夏季扰动高度场的点相关图 (见文献[16])。其系数分布明显呈现出一个遥相关型, 但其相关系数不高。为此, 我们分别求出在菲律宾周围对流强的夏季与对流弱的夏季, 以 20°N , 120°E 为基点的北半球夏季 500hPa 扰动高度场的点相关系数分布图。图 10 是当菲律宾周围对流强的夏季, 以 20°N , 120°E 为基点的北半球夏季 500hPa 扰动高度场的点相关系数分布图。从图 10 可以看到, 在菲律宾周围对流强的夏季, 从东南亚经东亚、北太平洋到北美的西海岸明显存在着一个遥相关型。一个正相关区位于菲律宾周围、中印半岛和我国南方; 我国北方有一片负相关区; 西伯利亚东部上空有较弱的正相关区; 从阿拉斯加到阿留申地区的上空有一片正相关区。此外, 在美国的西海岸和墨西哥的西海岸上空分别有一片负相关区和正相关

区。我们把这个遥相关型称为东亚太平洋型。这个遥相关型对东亚与北美夏季气候有很大影响。

因此, 当菲律宾周围对流活动强的年份, 在夏季 500hPa 高度场的异常分布有如下的距平分布: 在菲律宾周围经南海到中印半岛有负距平分布, 在我国江淮流域以北的我国北方与日本有一片正距平分布, 在鄂霍茨克海上空有一片负距平, 在阿拉斯加和阿留申地区有一片正距平。此外, 在北美的北部与美国的西海岸上空有一片负距平, 在墨西哥与美国南部上空有一片正距平。

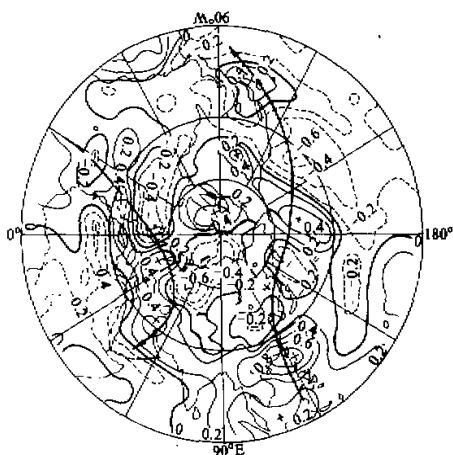


图 10 菲律宾周围对流活动强的夏季, 以 20°N, 120°E 为基点北半球 500 hPa 扰动高度场的点相关系数分布

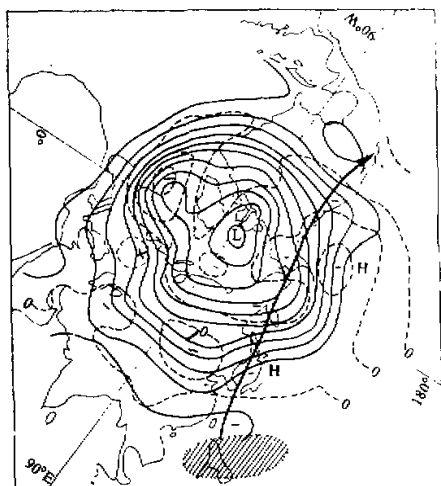


图 11 1985 年 8 月北半球 500 hPa 高度场 (实线) 与距平 (虚线) 的分布
距平的曲线间隔是 50GPM, 斜线阴影表示强对流区域

图 11 是热带西太平洋暖池上空, 特别是菲律宾周围对流活动强的 1985 年夏季 8 月份北半球 500hPa 高度场与距平的分布。显然, 这个距平分布与上述遥相关型相似。

六、结论与讨论

本文利用 1978—1989 年热带西太平洋暖池表层与次表层海温、高云量资料与我国 336 个站的降水资料分析了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。分析结果表明: 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有着十分重要的作用, 如图 12 所示。当热带西太平洋暖池增暖, 从菲律宾周围经南海到中印半岛上空的对流活动增强, 西太平洋副热带高压的位置偏北, 我国江淮流域夏季降水偏少; 相反, 则菲律宾周围的对流活动减弱, 副热带高压偏南, 江

淮流域的降水偏多, 黄河流域的降水偏少, 易发生干旱。

观测事实还表明, 当热带西太平洋暖池上空的对流增强后, 从东南亚经东亚到北美西海岸上空的大气环流异常呈现出一个遥相关型, 这个遥相关型称东亚太平洋型。

上述关系及遥相关可以用来作我国夏季降水距平与旱涝分布的预报, 其预报试验结果表明了利用热带西太平洋暖池热状态及其上空的对流活动情况可以比较有效地预报我国夏季汛期降水距平的分布。

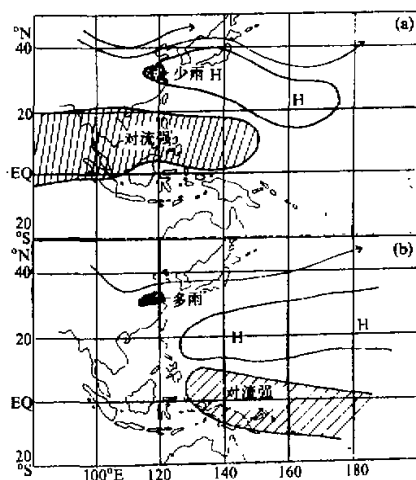


图 12 热带西太平洋暖池温度, 菲律宾周围的对流活动, 西太平洋副热带高压, 江淮流域降水之间关系的示意图

参 考 文 献

- [1] 陶诗言、朱文妹、赵卫, 1988, 论梅雨的年际变异, 大气科学 (特刊), 13—21.
- [2] Huang Ronghui, 1984, The thermal effect of the Tibetan Plateau on the formation and maintenance of stationary planetary-scale circulation in the Northern Hemisphere summer, *Proceedings of International symposium on the Qinhai-Xizang Plateau and Mountain Meteorology*, March 20—24, 1984, China, 270—286.
- [3] Huang Ronghui, 1985, The numerical simulation of the three-dimensional teleconnections in the summer circulation over the Northern Hemisphere, *Adv. Atmos. Sci.*, 2, 81—92.
- [4] 姚兰昌, 陈有虞, 1988, 西太平洋赤道海域的热量平衡, 高原气象, 7, 50—57.
- [5] 姚兰昌, 1990, 1986 年 10—12 月西太平洋热带及其邻近海域的大气加热场分析, 高原分析, 9, 265—276.
- [6] Cornejo-Garrido, A. G. and P. H. Stone, 1977, On the heat balance of the Walker circulation, *J. Atmos. Sci.*, 34, 1155—1162.
- [7] Hartmann, D., H. Hendon and R. A. Houze, 1984, Some implications of the mesoscale circulations in tropical cloud clusters for large-scale dynamics and climate, *J. Atmos. Sci.*, 41, 113—121.
- [8] Huang Ronghui and Li Weijing, 1987, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia, *Proceedings of International Conference on the General Circulation of East Asia*, April 10—15, 1987, China, 40—51.
- [9] Nitta, Ts., 1986, Long-term variation of cloud amount in the western Pacific region, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 1155—1162.

- 373-390.
- [10] Nitta, Ts., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 373-390.
- [11] Huang Ronghui and Wu Yifang, 1987, The influence of the ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, *Japan-U. S. Workshop on the El Nino Southern Oscillation Phenomenon*, November 3-7, 1987, Japan, 125-137.
- [12] Huang Ronghui and Lu Li, 1989, Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, **6**, 202-214.
- [13] Huang Ronghui, 1990, The East Asia / Pacific pattern teleconnection of summer circulation and climate anomaly in East Asia, *Climate Change Dynamics and Modelling*, China Meteorological Press, 127-140.
- [14] Kurihara, K., 1989, A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western northern Pacific, *Geophys. Mag.*, **43**, 45-104.
- [15] Yasunari, T., 1990, Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere / ocean system in the tropical Pacific, *Meteor. Atmos. Phys.*, **44**, 29-41.
- [16] 黄荣辉, 孙凤英, 1992, 北半球夏季大气环流遥相关型的年际变化及其数值模拟, *大气科学*, **16**, 52-61.

Impacts of the Thermal State and the Convective Activities in the Tropical Western Warm Pool on the Summer Climate Anomalies in East Asia

Huang Ronghui and Sun Fengying

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

In this paper, impacts of the thermal state in the western tropical Pacific warm pool and the convective activities over the warm pool on the summer climate anomalies in East Asia are analysed by using the observed data of the sea temperature in surface and subsurface of the western tropical Pacific warm pool, the high cloud amount and precipitation for 1978-1989. The analysed results show that the thermal state in the tropical western Pacific warm pool and the convective activities over the warm pool play an important role in the summer climate anomalies in East Asia. When the western tropical Pacific warm pool is warming, the convective activities are intensified from the area around the Philippines to the Indo-China Peninsula through the South China Sea, the western Pacific subtropical high may shift northward, the summer rainfall may be below normal in the Yangtze River valley and the Huaihe River valley. On the Contrary, the convective activities are weak around the Philippines, the western Pacific subtropical high may shift southward, the summer rainfall may be above normal and it may be below normal in the Yellow River valley, drought summer is frequently caused there.

The observational facts also show that after the enhancement of the convective activities over the western tropical Pacific warm pool, there is a teleconnection pattern in the circulation anomalies over the regions from Southeast Asia to the western Coast of North America through East Asia, i.e., the so-called East Asia / Pacific Pattern.

Key words: warm pool; convective activities; teleconnection; subtropical high.