夏季东亚环流年际和年代际变化 对登陆中国台风的影响^{*}

张庆云 彭京备

(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

摘 要 利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 探讨夏季东亚大气环流、大气视热源和视水汽 汇的年际及年代际变化与登陆中国台风频数的关系。研究表明:夏季 200 hPa 风场上南亚 高压中心位置偏北(南)其形态表现向东北(东南)伸展,西太平洋热带地区上空(200 hPa)的东风急流加强(减弱),中层(500 hPa)西太平洋副热带高压脊线位置偏北 (南),低层(850 hPa)东亚夏季风环流偏强(弱),登陆中国台风数偏多(少)。夏季东 亚一西太平洋热带大气视热源和视水汽汇为正(负)距平,即东亚热带大气出现辐射加热 (冷却)和变湿(变干),登陆中国台风数偏多(少)。20世纪 50~60年代登陆中国台风 频数处于年代际变化相对偏少期,70~90年代中期登陆中国台风频数处于年代际变化相对 偏多期。夏季登陆中国台风频数的年代际变化与西太平洋热带大气视热源、视水汽汇及西 太平洋热带海温的年代际变化一致,西太平洋热带大气视热源、视水汽汇及西太平洋热带 海温处在年代际变化的低(高)值阶段时,夏季登陆中国台风频数也处在年代际变化的偏 少(多)期。

关键词: 东亚; 大气环流; 台风

1 引言

出现在西太平洋热带洋面上并具有暖中心结构的强烈气旋性涡旋称为台风。生成 于西太平洋上的台风并不一定都在中国登陆,登陆中国的台风一般出现在 5~11 月, 平均每年有 6~7 个,最多年有 12 个,最少年 3 个,这表明登陆中国台风频数有显著的 年际变化。台风登陆时总是伴有狂风暴雨,常给受影响地区造成严重灾害,夏季登陆 中国台风多与少,对我国国民经济及工农业生产有重要影响。登陆台风是中国夏半年的 主要灾害之一。

在西太平洋热带洋面上生成的台风是否登陆中国与夏季东亚大气环流状况特别是 东亚热带和副热带地区的季风环流强弱密切相关,影响夏季东亚环流强度的高、中、 低层的主要系统有南亚高压、西太平洋副热带高压、东亚热带辐合带(东亚季风槽) 和副热带辐合带(东亚梅雨锋)及中高纬度环流型,这些环流系统的位置及强度的异 常对登陆中国台风频数有直接影响。迄今为止,我国学者对西太平洋的台风作过大量 研究,如台风形成的原因、内部结构及演变过程等天气动力学问题,都有了一定的认

²⁰⁰¹⁻⁰³⁻²¹ 收到, 2001-08-13 收到再改稿

^{*}中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目 KZCX2-203 资助

识和研究^[1-8],广大天气预报员对它们的活动也积累了不少经验,但在预测中仍碰见 不少困难。本文根据 NCEP/NCAR 再分析资料,探讨夏季东亚环流变化特征与登陆中 国台风频数的关系。由于夏季东亚大气环流最显著的特征——东亚夏季风环流主要发 生在6~8月,故本文重点研究6~8月东亚季风环流、西太平洋副热带高压、南亚高压 及东亚-西太平洋热带大气视热源和视水汽汇的年际、年代际变化特征与夏季登陆中 国台风频数的关系。台风资料由中国气象局国家气候中心提供,高度场和风场资料是 1949~1998年和1948~1998年 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料,1946~1999年海温 是 NASA 2×2 格点资料。

2 东亚夏季风环流与登陆台风

东亚夏季风环流是东亚热带和副热带地区最重要的天气气候系统。东亚夏季风环流的强弱对东亚的天气气候状况有直接影响。为了客观地表征东亚夏季风的强度变化, 气象工作者根据东亚夏季环流特征,利用不同气象要素定义了东亚夏季风指数^[9~11]。 张庆云和陶诗言^[12]在研究东亚夏季风强度与中国东部夏季降水关系时,发现东亚夏季 风系统中的东亚热带辐合带(季风槽)和东亚副热带辐合带(梅雨锋)的强度及其风 距平场呈相反变化趋势,当东亚热带辐合带加强时(出现西风距平),东亚副热带辐合 带减弱(出现东风距平);反之东亚热带辐合带减弱时(出现东风距平),东亚副热带 辐合带加强(出现西风距平)。根据东亚夏季风系统中这二条辐合带纬向风距平值的相 反关系,他们定义这两个区域(100~150°E,10~20°N)和(100~150°E,25~35° N)的纬向风距平差为东亚夏季风强度指数^[13]: $I_{EASM} = U_{850}$ [100~150°E,10~20°N]- U_{850} [100~150°E,25~35°N]。当这个指数为正(负)意味着热带季风槽强(弱)。

图 1a 是 1948~1998 年东亚夏季风强度指数。指数为正(负)表示东亚夏季风环 流偏强(弱)。图 1b 和 c 是 1951~1999 年6~8 月登陆中国台风总数及其距平变化,距 平为正(负)值表示登陆中国台风数偏多(少)。1960、1967、1981 和 1994 年正距平 最大(图 1c),这4年登陆中国的台风数分别达7个以上(图 1b),并且都对应东亚夏 季风环流偏强年(图 1a);1951、1954、1969、1970 和 1983 年的负距平最大(图 1c), 这5年登陆中国的台风数分别在2或2个以下(图 1b),且都对应东亚夏季风环流偏弱 年(图 1a)。这说明东亚夏季风环流强弱为夏季登陆中国台风频数变化提供了气候背景 条件。夏季登陆中国台风频数的变化除了受到气候背景的制约,还与同期东亚高、中、 低层环流系统的位置及强度变化有关。因此我们进一步探讨夏季东亚高、中、低层环 流的变化与登陆中国台风频数的关系。

图 2a、b 分别是 6~8 月登陆台风多、寡年夏季 1000 hPa 高度距平合成图。从合成 图可见,登陆台风偏多与偏少年其亚洲和西太平洋区域从低纬到高纬的位势高度距平 场的变化相反,登陆台风偏多年的亚洲和西太平洋地区位势高度场表现为负距平,西 太平洋热带区域是东半球低纬度带上最大的负距平区(图 2a),这说明夏季亚洲及西太 平洋特别是西太平洋热带区域的位势高度出现较大的负异常,登陆中国台风频数偏多。 登陆台风偏少年的亚洲和西太平洋区域的位势高度场为正距平,西太平洋热带区域是 东半球低纬度带上最大的正距平区(图 2b),这表明夏季亚洲及西太平洋特别是西太



图 1 (a) 1948~1998 年 6~8 月平均的东亚夏季风指数; (b) 1951~1999 年 6~8 月登陆中国台风数; (c) 1951~1999 年 6~8 月登陆中国台风数距平

平洋热带区域的位势高度出现较大的正异常,登陆中国台风偏少。由此可见,夏季西 太平洋热带近地面层(1000 hPa)的位势高度场偏低(高),则登陆中国台风数偏多 (少)。

图 3a、b 分别是 6~8 月登陆台风频数多寡年 850 hPa 矢量风距平合成图。从 850 hPa 矢量风距平合成图可见:登陆中国台风频数多或少年的 850 hPa 风矢量距平场上最大的闭合环流都出现在热带西太平洋区域,但矢量风距平闭合环流特征相反。登陆中国台风数偏多年其西太平洋热带地区为闭合气旋性矢量风距平环流,中心位于(25°N,140°E)(图 3a),这说明夏季西太平洋热带季风低压环流加强年,登陆中国台风偏多。图 3b 是 6~8 月登陆中国台风偏少年 850 hPa 矢量风距平合成图。西太平洋热带地区为闭合反气旋性矢量风距平环流,其中心位于(20°N,130°E),这表明夏季西太平洋热带季风低压环流减弱年,登陆中国台风偏少。可见夏季登陆中国台风数多寡受西太平洋热带季风环流强弱影响。



3.2 6~8 月平均 1000hPa 位势高度距平(甲位: gpm) 合成1
(a) 登陆台风偏多年(1960、1967、1981、1994);
(b) 登陆台风偏少年(1951、1954、1969、1970、1983)

东亚及西太平洋 30~45°N 中 纬区域的位势高度呈现为最大 的正距平:低纬度最大负距平 区出现在西太平洋区域(图 4a)。500 hPa 位势高度距平场 上东亚低纬到高纬呈负、正、 负的距平波列,说明夏季西太 平洋副热带高压位置偏北年, 有利登陆中国台风数偏多。图 4b 是6~8 月登陆台风偏少年 500 hPa 位势高度距平合成图。 500 hPa 位势高度距平场上, 东亚及西太平洋高纬区域的位 势高度呈现为正距平,鄂霍次 克海区域为正距平中心; 东亚 和西太平洋中纬度地区的位势 高度场为负距平区; 30°N 以 南区域的最大正距平出现在西 太平洋地区,正距平中心位于

3 夏季西太平洋副热 带高压与登陆台风

北半球对流层中层的西太 平洋副热带高压是夏季东亚大 气环流系统中的重要成员,夏 季中国和日本的天气、气候受 它控制和影响。夏季西太平洋 副热带高压位置和强度的变化 对登陆中国台风数多寡有何影 响?

图 4a、b 分别是 6~8 月登 陆中国台风多、寡年 500 hPa 位势高度距平合成。登陆中国 台风频数偏多年,500 hPa 位势 高度距平场上东亚及西太平洋 的高纬地区是负距平,最大的 负距平中心位于(55°N,140° E),这表明鄂霍次克海地区位 势高度出现较大的负异常;



(20°N, 110°E) (见图 4b)。 500 hPa 位势高度距平场上东亚 低纬到高纬出现正、负、正距 平波列,这表明夏季西太平洋 副热带高压位置偏南,登陆中 国台风频数偏少。由此可见, 夏季登陆中国台风数的多寡与 西太平洋副热带高压南北位置 有关。

4 夏季南亚高压与登 陆台风

南亚高压是北半球夏季出 现在青藏高原及邻近地区上空 对流层上部最强大、最稳定的 反气旋性环流系统。夏季南亚 高压以高原为中心(中心位于 28°N,90°E),其范围从非洲



图 4 6~8月 500hPa 位势高度距平(单位:gpm)合成
(a)登陆台风偏多年;(b)登陆台风偏少年

一直延伸到西太平洋地区,南亚高压中心南侧是热带东风急流,北侧是副热带西风急



图 5 6~8 月平均 200 hPa 风矢量距平(单位: m s⁻¹)合成图 (a)登陆台风偏多年,(b)登陆台风偏少年

流(图略),南亚高压控制地区 具有潮湿不稳定特征,对流活 动非常活跃,其位置及强弱的 变化对南亚和东亚大范围区域 的天气气候有重要影响。

图 5a 是6~8 月登陆中国台 风偏多年 200 hPa 矢量风距平合 成图。登陆台风偏多年其南亚 高压范围内有两个反气旋性环 流距平中心,一个位于(32°N, 70°E),另一个位于(32°N, 70°E),这表明南亚高压中心 比平均位置偏北,形态呈现向 东北伸展(图 5a);此时西太平 洋热带地区(120~160°E,5~ 15°N)上空(200 hPa)矢量风 距平场出现东风距平,表明西 太平洋热带高空东风急流加强, 当亚洲地区高空(200 hPa)风 场出现这种状态,则登陆我国台风偏多。图 5b 是登陆中国台风偏少年 200 hPa 矢量风 距平合成图。登陆台风偏少年其南亚范围内也有两个反气旋性环流距平中心,一个位 于(28°N,60°E),另一个位于(22°N,100°E),这表明南亚高压中心比平均位置偏 南,形态呈现向东南伸展(图 5b);此时西太平洋热带地区(120~160°E,5~15°N) 上空(200 hPa)矢量风距平场为西风距平,表明夏季西太平洋热带高空东风急流减 弱,当亚洲地区高空(200 hPa)风场出现这种状态,登陆我国台风偏少。

综上所述,夏季200 hPa风场上南亚高压中心位置偏北(南)、形态呈现向东北 (东南)伸展同时西太平洋热带高空东风急流加强(减弱)年,登陆中国台风偏多 (少)。

5 夏季东亚大气视热源和视水汽汇的变化与登陆台风

台风登陆时多伴有狂风暴雨,与台风是高湿、暖心气旋性环流有关。东亚大气热源和水汽状态对登陆台风频数多寡有何影响?为此我们计算了1958~1997年夏季大气视热源和视水汽汇的变化,并探讨东亚大气视热源和视水汽汇的变化与登陆中国台风数的关系。这里的大气视热源 < Q₁ > 和视水汽汇 < Q₂ > 引用 Yanai 等^[14,15]的反算法:

$$Q_1 = c_p \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\kappa} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \theta + \omega \frac{\partial \theta}{\partial p}\right), \tag{1}$$

$$Q_2 = -L \Big[\frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} \Big], \qquad (2)$$

其中, V 为水平风速, θ 为位温, ω 为 p—坐标系的垂直速度, q 为水汽混合比, $\kappa = R/c_p$, $R 和 c_p$ 分别为气体常数和等压比热, L 为凝结潜热系数。从对流层顶 p_1 到地表 p_s 积分上式,得到整层积分的视热源 < Q_1 > 和视水汽汇 < Q_2 >

$$\langle Q_1 \rangle = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p} Q_1 dp = \langle Q_R \rangle + L P + S,$$
 (3)

$$\langle Q_2 \rangle = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p} Q_2 dp = L(P - E),$$
 (4)

其中, < Q_R >为整层辐射, P、S和E分别为降水、地表感热通量和地表蒸发。风温压和湿度等气象要素均为 NCEP 资料。大气视热源 < Q_1 >为正(负),表明大气出现了辐射加热(冷却);视水汽汇 < Q_2 >为正(负),表明大气变湿(干)。

图 6a 和 b 分别是6~8 月登陆中国台风偏多年大气视热源 < Q_1 > 和大气视水汽汇 < Q_2 > 距平合成。登陆中国台风偏多年西太平洋中纬度是负距平区,其中心辐射冷却值达 120 W m⁻²负异常,东亚和西太平洋低纬大气视热源为正距平,最大的正距平出现在南海地区,其辐射加热值达 80 W m⁻²的正异常(图 6a),这说明西太平洋热带大气出现 辐射加热;大气视水汽汇 < Q_2 > 的距平分布表明,东亚及西太平洋热带大气视水汽汇 出现正距平,最大的正中心在南海地区,其中心值达 80 W m⁻²的正异常(图 6b),表明夏季南海地区大气相对较湿。从上可见,夏季东亚及西太平洋热带大气相对暖而湿,则登陆中国台风偏多。

图 7a 和 b 分别是夏季登陆台风偏少年6~8 月平均的大气视热源 < Q1 > 和视水汽汇

< Q₂ > 距平合成图。与偏多 年的情况相反,登陆台风偏 少年其东亚及西太平洋热带 大气视热源和视水汽汇分别 是负距平,最大的负中心出 现在西太平洋热带区域,其 冷却和变干区的中心值分别 达到 – 120 W m⁻² (见图 7a 和 b),这说明东亚及西太平 洋热带大气出现辐射冷却和变 干.夏季登陆中国台风偏少。

6 夏季西太平洋热带 大气视热源和视水 汽汇的年代际变化 与登陆台风

从上述年变化分析可见, 夏季登陆中国台风频数与西



图 6 6~8 月登陆中国台风偏多年大气视热源和视水汽汇距平 (单位: W m⁻²)合成,(a)大气视热源,(b)大气视水汽汇

> 太平洋热带大气状况有关,西 太平洋热带大气相对暖而湿年, 登陆中国台风较多;相对冷而 干年,登陆中国台风较少。

> 我们进一步分析西太平洋 地区热带大气视热源和视水汽 汇的年代际变化。图 8a 和 b 分 别是 1958~1997 年夏季(6~8 月平均)西太平洋热带地区 (5~20°N, 120~160°E)的大 气视热源 < Q_1 > 和视水汽汇 < Q_2 > 逐年的距平变化。从图 8 可见,夏季西太平洋地区热 带大气视热源 < Q_1 > 和视水汽 汇 < Q_2 > 的距平有显著的年代 际变化,20 世纪 70 年代以前 的 < Q_1 > 和 < Q_2 > 以负距平为 主,说明西太平洋地区热带 大气相对冷而干;20世纪70年

图7 6~8月登陆中国台风偏少年大气视热源和视水汽汇距平 (单位: W m⁻²)合成, (a)大气视热源; (b)大气视水汽汇



图 8 夏季东亚地区热带大气视热源和视水汽汇距平(单位: W m⁻²)及西太平洋热带海温距平 (单位: K)年际变化,(a)大气视热源;(b)大气视水汇;(c)西太平洋热带海温距平

代到 90 年代的 < Q₁ > 和 < Q₂ > 的变化以正距平为主,说明西太平洋热带大气相对暖而湿。对登陆中国的台风数进行计算发现:1951~1970 年的 20 年间的 6~8 月登陆中国台风总数为 77 个,1971~1990 年的 20 年间 6~8 月登陆中国的台风总数为 92 个,可见西太平洋地区热带大气相对暖而湿期登陆台风总数比相对冷而干期多 20%。这说明西太平洋地区热带大气处于年代际偏暖、偏湿期时,登陆中国的台风也呈现为年代际变化的偏多期(图 1c)。

为什么在20世纪70年代中期以来西太平洋地区热带大气发生了年代际的偏暖偏湿现象?图 8c是1946~1999年夏季西太平洋热带地区(5~20°N,120~150°E)平均的逐年海温距平变化。从图可见,西太平洋热带海温在20世纪70年代中期以来出现了年代际的变暖现象。20世纪70年代中期前的海温距平变化以负距平为主,即西太平洋热带海温相对偏低;20世纪70年代中期以后的海温距平变化以正距平为主,即西太平洋热带海温相对偏高。夏季东亚地区热带大气视热源<Q1>和视水汽汇<Q2>年代际的距平变化与夏季西太平洋热带地区(5~20°N,120~150°E)10年滑动平均的距平

(图略)变化一致。它们都在20世纪70年代中期开始呈现偏暖现象,这说明夏季东亚 地区热带大气热状况的变化可能受热带西太平洋热容量变化的影响。由于海气相互作 用是较复杂的物理过程,还需做进一步的研究。

7 结论

夏季登陆中国台风数的年变化受夏季东亚地区高、中、低层大气环流及东亚地区 热带大气视热源和视水汽汇的年变化影响。夏季东亚地区热带大气视热源和视水汽汇 的年代际变化与西太平洋热带海温的年代际变化一致。夏季登陆中国台风频数多寡年 环流的主要差别表现为:

(1) 夏季登陆中国的台风数偏多年: 850 hPa 东亚夏季风环流偏强; 500 hPa 位势 高度距平场上 30°N 以南为负距平,西太平洋副热带高压位置偏北; 200 hPa 南亚高压 中心位置偏北其形态向东北方向伸展,西太平洋热带地区(120~160°E, 5~15°N)东 风急流加强;

(2) 夏季登陆中国的台风数偏少年:850 hPa 东亚夏季风环流偏弱;500 hPa 位势 高度距平场上30°N 以南为正距平,西太平洋副热带高压位置偏南;200 hPa 南亚高压 中心位置偏南其形态向东南方向伸展,西太平洋热带地区(120~160°E,5~15°N)东 风急流减弱。

(3)夏季西太平洋地区热带大气视热源呈现增暖现象,大气视水汽汇增多,则登陆中国台风较多;西太平洋地区热带大气视热源出现冷却现象,大气视水汽减少,则登陆中国台风较少。

(4)夏季登陆中国台风数的年代际变化与东亚热带大气视热源和视水汽汇的年代 际变化较一致。西太平洋地区热带大气视热源和视水汽汇在1975年左右出现的年代际 增暖变湿现象与夏季西太平洋地区热带海温的年代际变暖现象有关。

致谢:感谢李崇银院士对本文提出的宝贵意见。

参考文献

- 1 陶诗言、董克勤,西太平洋台风活动频数与大气环流的联系,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,1963,2~19.
- 2 陶诗言、章名立,影响我国沿海岸地区的几类台风路径,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,1963,20~47.
- 3 陈联寿、丁一汇,西太平洋台风概论,北京:科学出版社,1979,488pp.
- 4 梁必骐、邹美恩等,南海台风的结构及其与西太平洋台风的比较,1983年全国台风会议文集,上海:上海科 学技术出版社,1983,39~48.
- 5 陈联寿, 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展, 台风会议文集, 北京: 气象出版社, 1985, 6~30.
- 6 丁一汇、张键等, 1975 年7 号台风结构的进一步分析, 海洋学报, 1986, 8 (1) 21~30.
- 7 罗哲贤,边缘区域扰动演变对台风结构的影响,大气科学,1994,18 (5) 513~519.
- 8 陈联寿、徐祥德等,台风异常运动及其外区热力不稳定非对称结构的影响效应,大气科学,1997,21 (1),

 $83 \sim 90.$

- 9 郭其蕴,东亚夏季风强度指数及其变化的分析,地理学报,1983,38(3),207~216.
- 10 Webster, P. J., and S. Yang, Monsoon and ENSO, selectively interactive systems, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1992, 118, 877 ~ 926.
- 11 Wang Huijun, The interannual variability of East Asian monsoon Circulation and its relationship with SST in a coupled Atmosphere-ocean-land climate model, Adv. Atmos. Sci., 2000, 17, 31 ~ 47.
- 12 张庆云、陶诗言,夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水,应用气象学报,1998,9 (增刊),16~ 23.
- 13 张庆云、陶诗言、陈烈庭,东亚夏季风的年际变化与东亚大气环流,气象学报,(2002,待发表).
- 14 Yanai, M., S. Esbensen, and J. H. Chu, Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. J. Atmos. Sci., 1973, 30, 611 ~ 627.
- 15 Yanai, M., and R. H. Johnson, Impacts of cumulus convection on thermodynamic field, *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models of the Atmosphere*, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., American Meteorological Society, 1993, 39 ~ 62.

The Interannual and Interdecadal Variations of East Asian Summer Circulation and Its Impact on the Landing Typhoon Frequency over China during Summer

Zhang Qingyun and Peng Jingbei

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

Abstract The interannual and interdecadal variations of the landing typhoon frequency over China during summer were associated with the intensity of East Asian summer monsoon circulation, the positions of the subtropical anticyclone over the western pacific, the situation of South Asian Anticyclone at 200 hPa, and the variations of the tropical atmospheric heat (Q_1) and moisture (Q_2) source. The total number of the landing typhoon over China during summer was above (below) normal while the intensity of East Asian summer monsoon circulation strengthened (weakened), the ridge-line of subtropical anticyclone over the western Pacific was northward (southward) than the normal and the easterly wind over the region $(120 \sim 160^{\circ}\text{E}, 5 \sim 15^{\circ}\text{N})$ at 200 hPa became stronger (weaker). The interdecadal variation of the tropical atmospheric heat (Q_1) and moisture (Q_2) source over East Asia in summer occurred around in 1975. It was pointed that the interdecadal variation of tropical atmospheric heat (Q_1) and moisture (Q_2) source over East Asia during summer was associated with the interdecadal variation of tropical atmospheric heat (Q_1) and moisture (Q_2) source over East Asia during summer was associated with the interdecadal variation of SIT at tropic of the western Pacific $(120 \sim 150^{\circ}\text{E}, 5 \sim 20^{\circ}\text{N})$.

Key words East Asia; circulation; typhoon