对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析*

孙秀荣　　端义宏

（上海台风研究所，上海　200030）

摘　要　利用海陆热力差指数（I_{LSTD}）、500 hPa 位势高度场、向外长波辐射（OLR）资料及 NCEP/NCAR 月平均再分析数据集，分析东亚夏季风与西北太平洋地区（包括中国南海）热带气旋频数的关系，结果表明，在强夏季风年西北太平洋地区热带气旋频数偏多，而弱夏季风年同期热带气旋频数异常偏少而后期趋于正常，正常夏季风年热带气旋频数基本正常。并结合热带气旋形成的大尺度环流条件，对其动力机制作了初步探讨。

关键词：热带气旋；东亚；夏季风；海陆热力差指数；年际变异

1　引言

在对热带气旋热带气旋的长期研究过程中，发现热带气旋活动与越赤道气流、热带辐合带、西太平洋副热带高压、热带高空东风急流等东亚夏季风环流系统成员关系密切[1~3]。Lander[4,5]也指出，季风低压或季风涡旋（monsoon gyre）的变化可以导致热带气旋路径的突然转折。许多研究表明，热带气旋的移动路径在夏季风期间在很大程度上受到西太平洋副高的影响[1]。同样，热带气旋的发生发展对季风也会产生影响。研究指出[1),6]，北上热带气旋常切断自南海的西南季风向江淮梅雨锋区的水汽输送，导致出梅，促使季风雨带向北推进。但是，目前把整个东亚夏季风环流系统作为整体，从东亚夏季风环流的年际变化出发，考虑其对西北太平洋热带气旋的影响及其相互作用，并给出两者间关系的较全面认识的研究工作，并不多见。而许多对影响西北太平洋热带气旋形成的大尺度环流条件的分析研究表明，大尺度环流条件可能是影响热带气旋频数变化的重要原因[7~11]。由此，本文将立足于东亚夏季风这一大气环流背景场，用较长时间序列资料讨论两者关系的一个方面，讨论东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数之间的关系，以识别东亚夏季风环流的强弱变化对西北太平洋热带气旋的影响，为短期气候预测提供依据。

2001－02－19 收到，2001－09－07 收到修改稿

＊国家自然科学基金资助项目 49975014 资助

1）陈联寿，1991 年江淮特大暴雨预报评述，国际暴雨洪涝学术讨论会，黄山，10 月 5～9 日，1992，3～4.

2 东亚夏季风的强弱变化与同期和后期西北太平洋热带气旋生成频数的关系

2.1 东亚夏季风强度的表示方法

最近，孙秀荣、陈隆勋等[12]从季风是海陆热力差异的综合产物这一基本成因出发，用东亚季风区（27～35°N，105°E 以东的大陆）范围内的地表温度（T_{EC}）和副热带西北太平洋（15～30°N，120～150°E）的海表温度（T_{STNWP}）之差表示东西向热力差异，用华南地区（27° N 以南，105° E 以东的大陆）的地表温度（T_{SC}）和南海（105～120°E，5～18°N）的海表温度（T_{SCS}）之差表示南北向海陆热力差，定义了一个东亚海陆热力差指数［Index of Land – Sea Thermal Difference，记为 I_{LSTD}，$I_{LSTD} = (T_{EC} - T_{STNWP}) \times \frac{4}{5} + (T_{SC} - T_{SCS}) \times \frac{1}{5}$］，讨论了夏季东亚海陆热力差和东亚夏季风环流的年际变化关系。结果表明，该指数不仅能较好地反映出大尺度夏季风环流特征，指数愈大，夏季风愈强，反之，指数愈小，夏季风愈弱，而且能较好地反映东亚夏季风环流系统各成员在强、弱夏季风年的异常变化特征，以及我国东部季风区夏季降水的异常变化。所以，I_{LSTD}不失为一个较好的夏季风强度指标，可称为东亚夏季风强度指数，强（弱）海陆热力差指数年，可用以表征为强（弱）夏季风年。本文即以该指数作为衡量夏季风强弱变化的指标，讨论夏季风的强弱变化对西北太平洋热带气旋频数的影响。

2.2 东亚夏季风的强弱变化与同期和后期西北太平洋热带气旋生成频数的关系

图 1 给出了 1961～1999 年的夏季海陆热力差指数和同期西北太平洋热带气旋频数的年际变化。由图可见，I_{LSTD}具有明显的年际异常变化特征和年代际变化趋势。根据文献［12］的定义选取 $I_{LSTD} > 0.5$ 为强 I_{LSTD}年，即强夏季风年；$I_{LSTD} < -0.5$ 为弱 I_{LSTD}年，即弱夏季风年，则 1967、1961、1978、1966、1971、1964、1972、1990、1994、1981 年是强夏季风年，而 1980、1993、1987、1989、1999、1982、1983、1998、1991、1995、1996 年是弱夏季风年，其中绝大多数强夏季风年发生在 60、70 年代，而全部的弱夏季风年发生在80、90年代，年际、年代际变化特征明显。由图1可

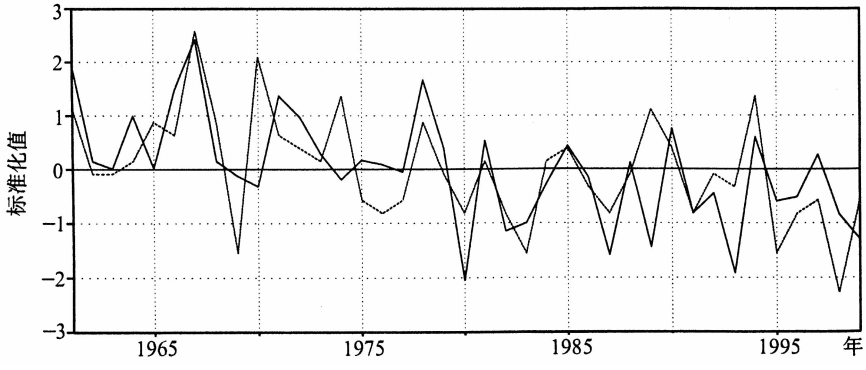

图 1 1961～1999 年夏季 I_{LSTD}（实线）和西北太平洋夏季热带气旋频数（虚线）标准化曲线

见，夏季西北太平洋热带气旋频数与之有着非常一致的变化趋势。对应强指数年，热带气旋频数偏多，对应弱指数年，热带气旋频数偏少。热带气旋频数也同样呈现明显的年代际变化，20 世纪 60、70 年代，热带气旋频数偏多，80、90 年代，热带气旋频数偏少。

对西北太平洋热带气旋频数资料序列分析表明：1961 ~ 1999 年期间，西北太平洋热带气旋生成频数共有 1 358 个，其中夏季和 9 ~ 10 月分别有 600 和 440 个，占了热带气旋总数的 77%。对照分析发现，强夏季风年，同期西北太平洋地区热带气旋频数偏多（10 年中热带气旋频数均为正异常，多数年份热带气旋频数距平大于 +0.5 个均方差），而弱夏季风年，西北太平洋地区热带气旋频数偏少（1989 年除外，大多数年份热带气旋频数距平小于 −0.5 个均方差），夏季风正常年份热带气旋频数距平大都在 ±0.5个均方差之内，基本正常。两者的同期相关系数为 0.56，达到和超过了 0.001 的显著相关信度检验，但是也只能解释 31.4% 的方差，由此可见，夏季风环流背景场是影响西北太平洋热带气旋的一个重要但并非唯一因子，因此，有些异常年份，如 1989 年，仅从夏季风环流的异常变化不能给以很好的解释。所以在做台风生成频数短期预测时，应综合考虑台风生成源地的海温异常和天气尺度扰动等对台风生成频数的异常影响。而强夏季风年后期（9 ~ 10 月），西北太平洋地区热带气旋频数依然偏多；弱夏季风年后期，热带气旋频数基本正常；正常夏季风年后期，热带气旋频数正常偏少。即强夏季风年西北太平洋地区热带气旋频数偏多，而弱夏季风年同期热带气旋频数异常偏少而后期趋于正常，正常夏季风年热带气旋频数基本正常。

3　东亚夏季风的强弱变化对西北太平洋热带气旋频数的影响

上述资料分析表明，东亚夏季风的强弱年际变化与西北太平洋地区热带气旋频数的多寡密切相关，为了解答夏季风的异常变化对西北太平洋热带气旋形成的影响机制问题，有必要分析强、弱夏季风年环流场的异常变化。

图 2 分别给出了强、弱海陆热力差指数年夏季 500 hPa 高度距平合成场。对比图 2a 和 b 可见，高度距平场在强、弱夏季风年位相相反，而且自低纬向高纬总是表现为“ − + − +”的带状波列分布或反相分布形式。强夏季风年，20°N 以南热带西太平洋及我国南海、菲律宾和中南半岛，鄂霍次克海上空分别为负距平，位势偏低，我国江淮、朝鲜半岛、日本及北太平洋上空分别为正距平，位势偏高，这表明南海和西太平洋上空热带辐合带（季风槽）偏强，西太平洋副高位置偏北，西风带偏北，鄂霍次克海高压偏弱，极涡偏在西半球，中高纬盛行纬向环流，夏季风北推，北方冷空气偏北，这种高空大型环流异常有利于西北太平洋热带气旋的形成。而弱夏季风年与之相反，南海和西太平洋上空热带辐合带（季风槽）偏弱，西太平洋副高位置偏南、偏强，西风带偏南，鄂霍次克海高压偏强，极涡偏在东半球，中高纬盛行经向环流，在这种形势下，西风扰动带偏南，中纬度冷空气活动频繁，进而使得台风多发区的垂直切变增大，不利于西北太平洋热带气旋的发生发展[13]。环流系统的这些异常特征与丁一汇等[11]从热带气旋频数形成频繁和稀少时期的环流场分析结果非常一致。

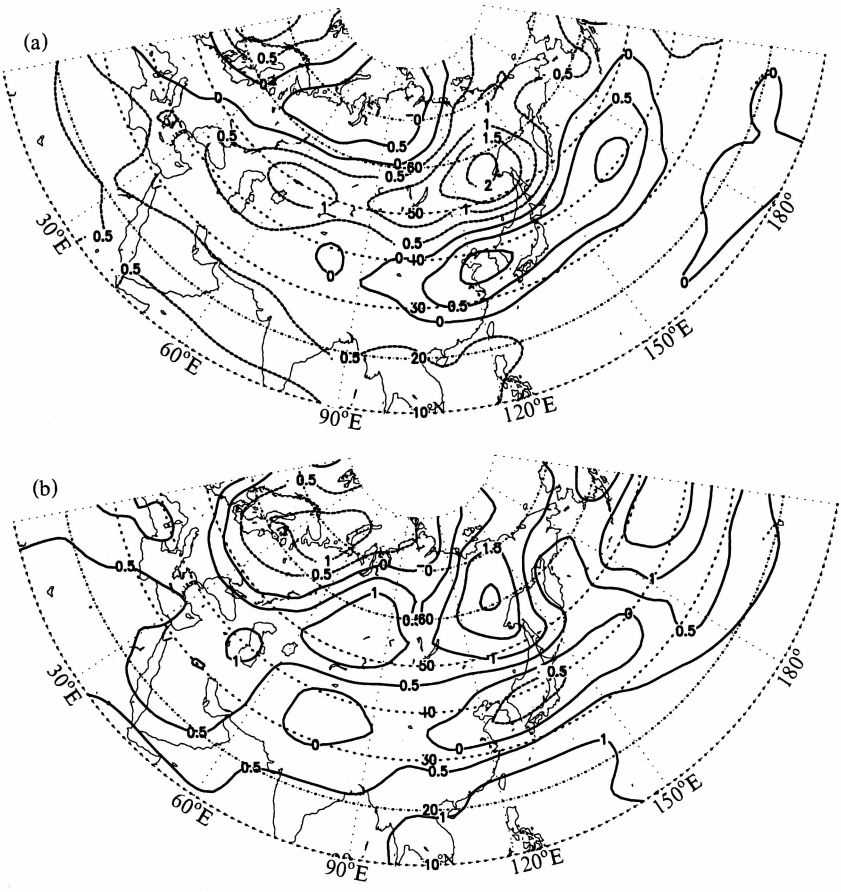

图 2 夏季 500 hPa 高度合成距平场（单位：gpdm）
（a）强 I_{LSTD} 年；（b）弱 I_{LSTD} 年

图 3 是夏季海陆热力差指数异常年向外长波辐射（OLR）距平场。由图可见，OLR 距平场上也有上述特征。强、弱夏季风年两者最大的差异出现在以下地区：（1）我国江淮至日本东南沿海地区：强夏季风年出现大片正距平区，而弱夏季风年为一负距平区控制，说明副高位置在强夏季风年偏北，而在弱夏季风年偏南。（2）南海、西北太平洋热带气旋主要生成区：强夏季风年出现大片强负距平区，几乎覆盖了整个西北太平洋地区，而弱夏季风年与之相反为一近似于东西向的带状正距平区控制，表明该地区对流活动在强夏季风年得到加强而在弱夏季风年受到抑制。（3）赤道中东太平洋地区：强夏季风年是正距平，而弱夏季风年是负距平，这是 El Niño 现象所致，El Niño 年，异常增暖的海水使该地区的对流活动加强，OLR 值降低，La Niña 年反之。而且 El Niño 现象将极明显地影响 Walker 环流，从而在 La Niña 年在西北太平洋热带气旋形成的主要源地产生异常上升运动，有利于西北太平洋热带气旋的形成，而在 El Niño 年产生异常下沉运动，不利于西北太平洋热带气旋的形成，这与已有的认识相符[14]。

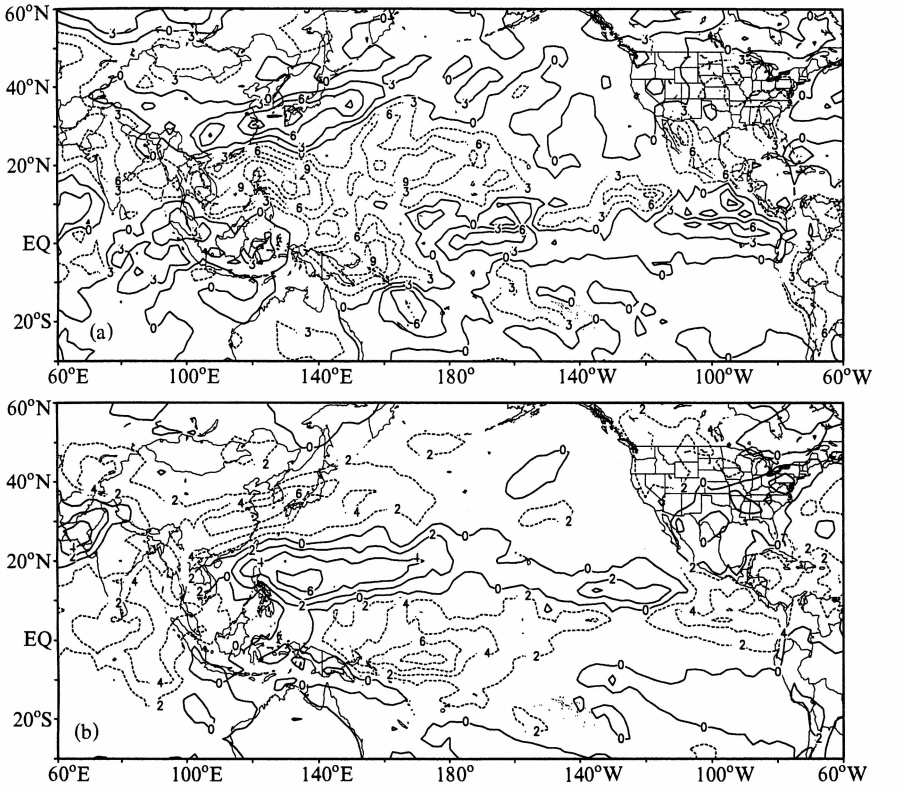

图 3　夏季 I_{LSTD} 异常年的 OLR 合成距平场（单位：W m^{-2}），
（a）强指数年；（b）弱指数年

对流层高、低层散度场的相互配置是低层热带气旋发生、发展的一个重要因素。在此我们计算了强、弱夏季风年夏季高（200 hPa）、低层（1 000 hPa）散度距平场及其差值场。分析发现，强夏季风年，低层 1 000 hPa 上，10 ~ 28°N 的纬带内是辐合，即强夏季风年该区域在平均场上叠加了一个辐合场，而这正是西北太平洋热带气旋的主要源地，其南侧是辐散带；高层 200 hPa 上，西北太平洋热带气旋的主要源地是辐散区，相当于在平均场上叠加了一个辐散场，其南侧是辐合区。这表明强夏季风年西北太平洋热带气旋的主要源地上空低层是强的辐合，而高层是强的辐散，其南侧低层是强的辐散，高层是强的辐合。这种上下叠置作用将导致西北太平洋热带气旋的主要源地有强烈上升运动，南侧是下沉运动，这种北侧上升，南侧下沉的反环流圈，即是热带季风环流圈。由此可知，强夏季风年，异常的季风环流圈是造成这种结构的主要原因，而这种结构非常有利于西北太平洋热带气旋的生成。与此相反，在弱夏季风年，垂直方向上异常的环流圈变成了正环流圈，即哈得来环流圈，其南侧上升，北侧下沉使西北太平洋热带气旋的主要源地上空低层是异常的辐散，高层是异常的辐合，这种结构又是不利于热带气旋的形成和发展。这些特征在强、弱夏季风年夏季高低层散度差值场中清晰可见（图 4）。

由上述分析可见，强（弱）夏季风年东亚大气环流的主要系统有明显差异，而这

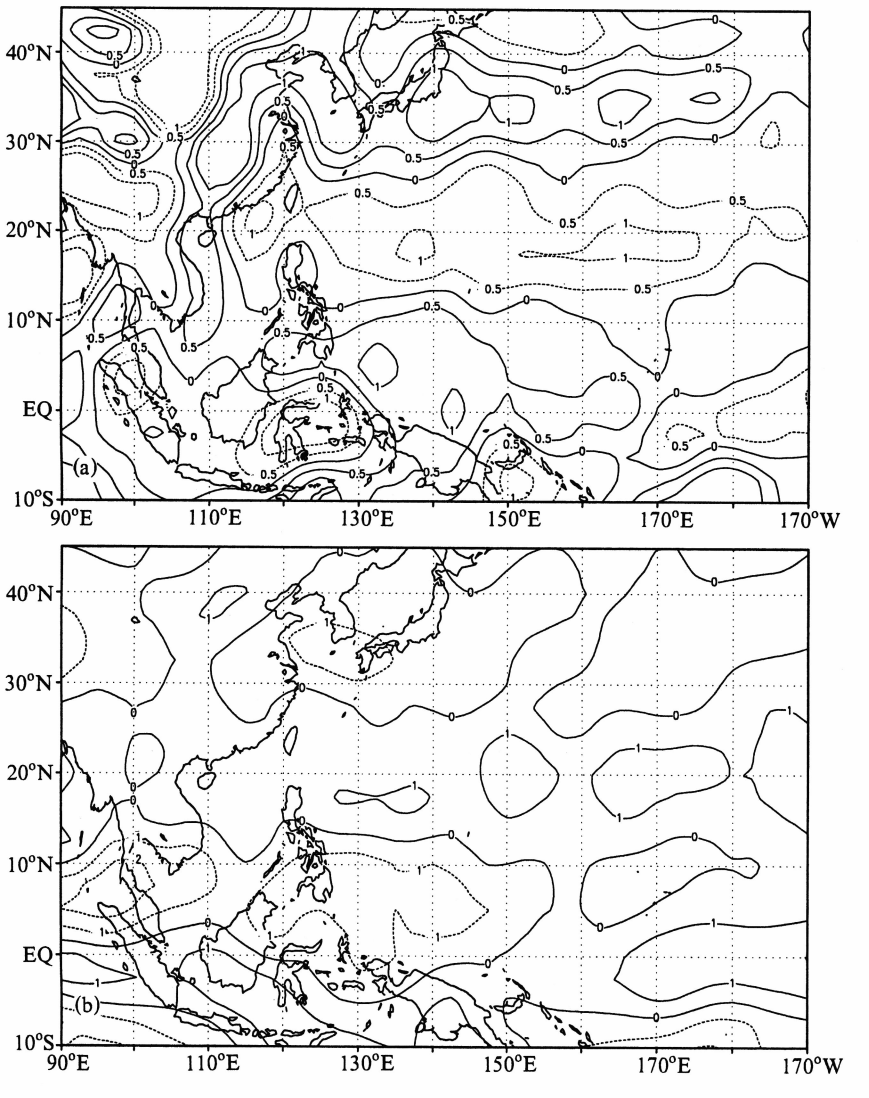

图 4 强，弱夏季高低层散度场差值（单位：10^{-6} s^{-1}）
（a）1 000 hPa；（b）200 hPa

种大气环流背景的异常显著变化有（不）利于西北太平洋热带气旋的生成。为了更好地识别东亚夏季风环流系统主要成员在强（弱）夏季风年的异常变化和配置特征以及对西北太平洋热带气旋生成的影响，我们结合上述分析并结合已有的认识，给出一个简单的示意图（图 5）。

4 讨论与结论

对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋生成频数关系的初步分析表明，东亚夏季风的强弱年际变化与西北太平洋地区热带气旋频数的多寡关系密切。异常夏季风年东亚

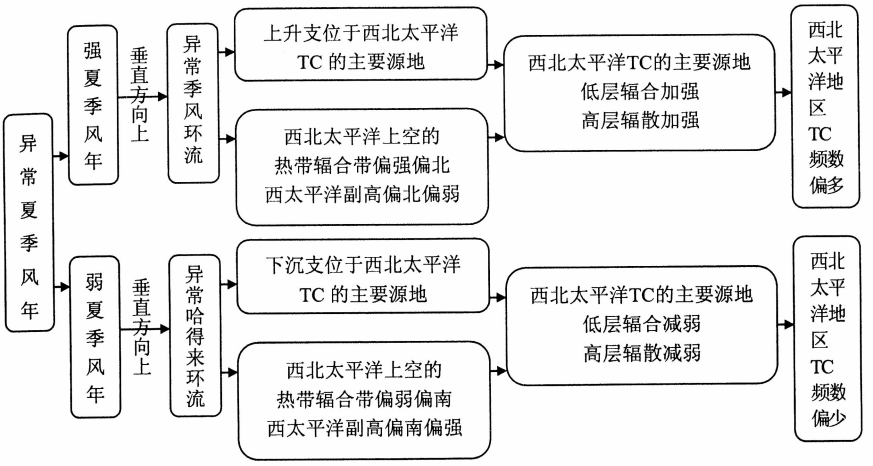

图 5　东亚夏季风的强弱变化与西北太平洋地区热带气旋频数的关系

大气环流的主要系统有明显异常，而正是这种异常变化导致西北太平洋热带气旋频数的异常变化。

强夏季风年，异常偏强的夏季风在垂直方向上形成异常的季风环流，其上升支位于西北太平洋热带气旋的主要源地，同时环流圈低层的南风使南海和西太平洋上空的热带辐合带加强和北移，大大地加强了该地区上空低层的辐合和高层的辐散。此外，中高纬大气环流活动中心位置的北移，极涡偏在西半球，中高纬盛行纬向环流，西风带偏北，西太平洋副高位置偏北偏弱。这些大气环流系统的异常变化都明显有利于西北太平洋热带气旋的形成，使得强夏季风年西北太平洋上热带气旋频数偏多。

而弱夏季风年与之相反，异常偏弱的夏季风在垂直方向上形成的是一个异常的哈得来环流，其下沉支位于西北太平洋热带气旋的主要源地，相应地，东亚环流系统主要成员的位置偏南，低纬南海和西太平洋上空热带辐合带（季风槽）偏南偏弱，西太平洋副高位置偏南偏强，大大地减弱了西北太平洋热带气旋主要源地上空低层的辐合和高层的辐散，不利于西北太平洋热带气旋的形成，使得弱夏季风年西北太平洋上热带气旋频数偏少。

参　考　文　献

1　Gray，W. M.，Global view of the origin of tropical disturbances and storms，*Mon. Wea. Rev.*，1968，**96**，669～700.

2　韦有暹、杨亚正，南海台风发生发展与南半球越赤道气流，台风会议文集，上海：上海科学技术出版社，1981，103～109.

3　肖文俊、谢安，热带高空两支东风急流与台风活动的关系，全国热带夏季风学术会议文集，昆明：云南人民出版社，1982，285～293.

4　Lander.，M. A.，Description of a monsoon gyre and its effects on the tropical cyclones in the western North Pacific during August 1991，*Weather Forecasting*，1994，**9**（4），640～650.

5　Lander.，M. A.，Special tropical cyclone track types and unusual tropical cyclone motions associated with a reverse－o-

riented monsoon trough in the western North Pacific, *Weather Forecasting*, 1996, **11** (2), 170 ~ 186.
6 徐海明等, 9106 号台风的热力作用对出梅影响的数值研究, 热带气象学报, 1994, **10** (3), 231 ~ 237.
7 Namias, J., Secular fluctuations in vulnerability to tropical cyclones in and off New England, *Mon. Wea. Rev.*, 1995, **83** (8), 155 ~ 162.
8 Ballenzweig, E. M., Seasonal Tariations in the Trequency of North Atlantic Tropical Cyclones Related to the general Circulation, National Hurricane Research Project Report No. 9. Preprinted U. S Weather Bureau, 1958, 33.
9 陶诗言、董克勤, 西太平洋台风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, 1965.
10 丁一汇、E. R. 莱特, 影响西太平洋和北大西洋热带气旋发生频数相关的大尺度环流分析, 海洋学报, 1984, **6** (4), 542 ~ 552.
11 丁一汇、E. R. 莱特, 影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件, 海洋学报, 1983, **5** (5), 561 ~ 574.
12 Sun Xiurong, Chen Longxun, and He Jinhai, Interannual variation of index of East Asian land – sea thermal difference and its relation to monsoon circulation and rainfall over China, *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, **15** (1), 71 ~ 85.
13 陈联寿、丁一汇, 西太平洋台风概论, 北京: 科学出版社, 1979.
14 李崇银, 厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究, 气象学报, 1987, **45** (2), 229 ~ 235.

A Study of the Relationships between the East Asian Summer Monsoon and the Tropical Cyclone Frequency in the Northwestern Pacific

Sun Xiurong and Duan Yihong

(*Shanghai Typhoon Institute*, *Shanghai* 200030)

Abstract The relationships between the East Asian summer monsoon and the generating frequency of tropical cyclone in the northwestern Pacific (including the South China Sea) are investigated in the context of the index of land – sea thermal difference (I_{LSTD}), 500 hPa height fields, OLR data, and NCEP/NCAR monthly mean reanalysis data. Results show that the change of intensity of the summer monsoon bears a close relation to the frequency of tropical cyclone in the northwestern Pacific. In strong summer monsoon years, the number of tropical cyclone in the northwestern Pacific is larger than normal while in weak years the contrary is the case in the synchronous season and the number of tropical cyclone is normal in the subsequent season. Furthermore, based on the large – scale conditions of tropical cyclone generating, its dynamic mechanism is discussed.

Key words: tropical cyclone; East Asia; summer monsoon; interannual variation; index of land – sea thermal difference