

西北太平洋变性台风时空分布特征^{* 1}

钟颖旻¹ 徐 明¹ 王 元²

ZHONG Yingmin¹ XU Ming¹ WANG Yuan²

1. 中国气象局上海台风研究所, 中国气象局台风预报技术重点开放实验室, 上海, 200030

2. 南京大学大气科学系, 南京, 210093

1. *Laboratory of Typhoon Forecast Technique, Shanghai Typhoon Institute of CMA, Shanghai 200030, China*

2. *Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*

2006-05-23 收稿, 2007-09-06 改回.

Zhong Yingmin, Xu Ming, Wang Yuan. 2009. Spatio-temporal distributive characteristics of extratropically transitioning tropical cyclones over the Northwest Pacific. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(5):697–707

Abstract The spatio-temporal distributive characteristics of the extratropically transitioning (ET) tropical cyclones (TC) over the Northwest Pacific Ocean are investigated based on the “Typhoon Annuals” 1961–2000 compiled by Shanghai Typhoon Institute and the NCEP/NCAR reanalysis data in the same period. The results show that the annual number of ET TCs over the Northwest Pacific exhibited obvious interdecadal variations. It was high in the 1960s, and then decreased evidently in the 1970s and 1980s, increased appreciably in the first half of 1990s, and was rather low in the second half of 1990s. We also found that the annual number of ET TCs actually showed an interannual decreasing trend, which was consistent with the trend of annual total TC number over the Northwest Pacific Ocean. Most of ET TCs indeed occurred in summer and autumn, especially in the transition period from summer to autumn. The locations of ET distributed over a quite large area in summer and autumn, and the area of ET overall shifted eastwards from summer to autumn. The tracks of ET TCs before and after their extratropical transition were mainly concentrated in the sea area south of Korea peninsular and east of Japan, respectively. The ET TCs often weakened within the first 6-hour after extratropical transition, and continuously weakened in the second 6-hour, except in June and July when the ET TCs after extratropical transition obviously strengthened. Besides, the EOF analysis of the NCEP/NCAR monthly 500 hPa geopotential height reanalysis data from 1961 to 2000 reveals that in summer and autumn the zonal circulation index was remarkably negatively correlated with the number of ET TCs. The positive anomaly area of 500 hPa anomalous height field in mid-high latitudes in the summer half year corresponds to high pressure, and under such a circulation background, the cold air frequently intruded into the ET TCs moving northwards, thus accelerating the extratropical transition of the ET TCs.

Key words Extratropical transition, Tropical cyclone, Northwest Pacific Ocean, Spatio-temporal distributive characteristics

摘 要 利用中国气象局上海台风研究所整编的 1961—2000 年共 40 a 热带气旋年鉴资料, 对发生在西北太平洋上的变性台风的时空分布特征进行了诊断分析和研究。研究发现, 发生于西北太平洋上的变性台风的年频数呈现出明显的年代际变化特征, 主要特征是 20 世纪 60 年代偏多, 70 至 80 年代显著减少, 90 年代初又略有回升, 至 90 年代下半期每年发生变性的台风个数均极少; 年际变化趋势呈现出逐年减少的特征, 与西北太平洋上生成的总台风频数的变化趋势一致; 西北太平洋上的变性台风多发生于夏、秋两季, 特别集中于夏季与秋季的转换时期(变性比例分别达到 40% 及 46%); 秋季较夏季台风发生变性的位置整体偏东; 台风变性前移动路径主要集中于朝鲜半岛以南及日本海附近, 变性后路径多北上偏东; 西北太平洋各月变性台风在变性后 6 小时内平均强度均减弱, 变性后 12 小时内平均强度仍继续减弱, 变性后强度加强的气旋的最低平均气压仅在 6、7 月份较变性前最明显。进一步通过对 NCEP/NCAR 月平均再分析资料的 500 hPa 高度场的 EOF 分析, 发现夏、秋

^{*} 资助课题: 2005 年度博士专项科研基金(20050284035)、上海台风研究基金课题(2006STB06)和国家自然科学基金项目(40333025)。

作者简介: 钟颖旻, 主要从事台风气候研究; Email: zhongym@mail. typhoon. gov. cn

两季, 纬向环流指数与台风变性频数呈显著负相关; 中高纬度 500 hPa 距平高度场在夏半年为正距平区, 对应着高压, 宜于冷空气入侵向高纬地区北上的台风, 促进台风发生变性。

关键词 变性台风, 西北太平洋, 时空分布特征

中图法分类号 P442⁺.3 P458.1⁺24

1 引言

在热带气旋(TC)北上中纬度地区的过程中, 如遇到冷空气的侵入, 则会获得斜压能量, TC 的暖性结构受到破坏, 并可能向半冷半暖的温带气旋转变(陈联寿等, 1979)。TC 在变性过程中, 其结构、移速、路径以及降水分布等都会发生明显变化, 并随之带来强降水、大风、海浪和潮涌等灾害性天气。例如, 9406 号 Tim 台风 7 月 11 日在中国福建晋江登陆后转向北上, 途径浙江、江西、湖北、安徽、山东、天津等地, 13 日在辽宁西部变性为温带气旋, 而后继续北上, 穿过吉林直抵黑龙江东部, 其路径之长十分罕见。9406 号台风给辽宁西部、吉林中部及黑龙江东部大部分地区带来了 2—3 d 的强降水, 造成的降水总量大多超过了 100 mm, 辽宁朝阳等部分地区甚至达到了 200 mm。因此, TC 变性从 20 世纪 50 年代起就成为气象界十分关注的问题, 90 年代后对台风变性过程的研究逐渐增多(谭锐志等, 1990; 徐祥德等, 1998; 孙建华等, 2000)。Harr 等(2000)发现变性 TC 是否加强在很大程度上取决于 TC 移入的中纬度环流形势。西北型中的变性 TC 往往在变性后迅速加强, 并沿着径向方向移向极地一方; 而东北型环流中, TC 变性后的加强较缓慢甚至减弱, 并沿着纬向带状环流向东移去。朱佩君等(2002a, 2002b)通过数值模拟对台风演变为温带气旋的结构变化特征进行了分析, 朱佩君等(2003)还通过对物理量的诊断分析, 发现对流层中高层冷空气的下沉入侵以及对流层低层的暖平流是 TC 变性的原因。李英等(2005)发现 TC 变性后加强主要与高层正位涡扰动下传、低层锋区及 TC 环流之间的相互作用有关。李英等(2006)还发现西风带高空槽越强, 温带气旋发展越快, 台风变性加强越明显。

随着对西北太平洋热带气旋强度变化研究的深入, 台风变性问题的研究日益受到重视(余晖等, 2002; 端义宏等, 2005)。更为重要的是, 近年来, 全球变暖背景下, 热带气旋的数量和造成的灾害是否有明显增加趋势的讨论正在成为国际间台风学界的

研究热点(Webster, et al, 2005; Kevin, 2005; Emanuel, 2005)。上述研究、讨论和争议的焦点都在于不同地区、不同时期和不同级别热带气旋发生频数和相伴随灾害的变化特征。因此有必要基于中国长期积累的台风年鉴资料, 针对变性台风时空分布、强度、路径进行深入研究。

2 资料与分析方法

本文利用 1961—2000 年共 40 年上海台风研究所整编的热带气旋年鉴资料进行统计, 分析了西北太平洋上变性台风气候变化的一些基本规律, 同时利用 NCEP/NCAR 月平均高度场($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)再分析资料, 对变性台风与大尺度平均环流场的相互关系也进行了初步分析。文中讨论的变性台风的时间和强度等资料, 都来自于热带气旋年鉴。年鉴中台风变性的过程主要是依据卫星云图、天气图等, 判定台风在移动过程中, 如有中纬度槽或气旋系统靠近或并入台风系统, 台风和中纬度系统发生相互作用, 云和降水的分布由对称结构转变成非对称结构, 则定义台风发生了变性。

本文纬向平均环流指数的计算方法是根据 Rossby 的定义, 即把 35° — 55° N 平均地转西风定义为西风指数。但在实际工作中, 仅把两个纬度带间的平均位势高度差作为西风指数: $I = \overline{H}_{35^\circ} - \overline{H}_{65^\circ}$ 。西风指数计算采用了 1961—2000 年时间序列内, 90° — 120° E 经向范围间, 35° N 处 500 hPa 高度场平均值与 65° N 处 500 hPa 高度场平均值之差。纬向平均环流指数越大, 说明该时、空范围内纬向西风环流越强, 则经向环流越弱, 表示冷空气南下的强度和频率较弱。

3 变性台风的气候变化特征

3.1 变性台风的年代际和年际变化特征

统计发现, 1961—2000 年, 西北太平洋上发生变性的 TC 共有 329 例, 占 40 a 生成于西北太平洋所有台风总数的 23.1%。1961—2000 年, 变性台风的年频数呈现出明显的年代际变化特征, 基本特点

是:60年代偏多,70至80年代显著减少,90年代初又略有回升,但90年代下半期每年发生变性的台风个数出现均极少的现象;而年际变化趋势则呈现出逐渐减少的特征(图1),同时利用小波分析(Torrence, et al, 1998)的方法,发现变性台风年频数的年际变化还具有一定的波动性,大致表现出时间周期为5—6 a的振荡(图略),振幅逐渐减小,其总变化趋势呈现逐年减少,这一变化规律与生成于西北太平洋上台风总频数的年际变化趋势是一致的(图

1),其二者的相关系数达0.65(在0.001的显著性水平上),因此可以认为1961—2000年,西北太平洋上变性台风数与生成的台风数之间存在着显著的正相关。通过比较分析图1,可以获得的一个重要结论就是变性台风和西北太平洋上所有台风总频数的年代际和年际变化特征是一致的。目前已有的研究结果表明,西北太平洋上台风频数的年际变化与ENSO事件密切相关,即存在2—7 a的周期振荡(Chan, 1985),而变性台风5—6 a的周期振荡似乎

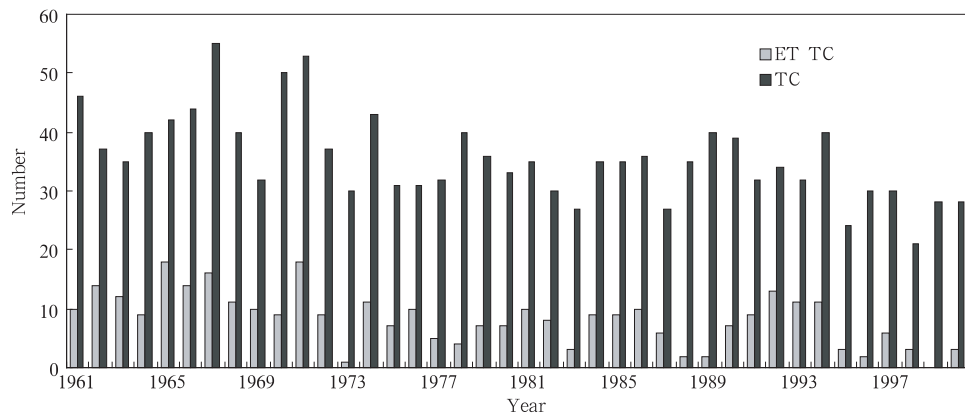


图1 1961—2000年变性台风年频数和总台风年频数

Fig. 1 Yearly ET TC and total TC number in 1961—2000

也印证了这一联系。

3.2 变性台风的累年月际变化特征

经对台风发生变性的累年月频数进行统计,发现其变化呈现出在夏、秋季节转换的8、9、10月份偏多,其中9月最多的特性(图2a)。相对而言,8、9、10月也是累年台风生成数量偏多的月份,二者的变

化趋势基本一致(图2b)。8月,累年生成台风数目最多,达308个,9月次之,达261个,10月居全年第4,是195个,因此,这3个月内台风发生变性的比例也较高,其中9月变性比例为3个月中最高(31%),也是全年第2,而8月的变性比例为3个月中最低(21%),这是因为9月正处于夏、秋季节转换之际,

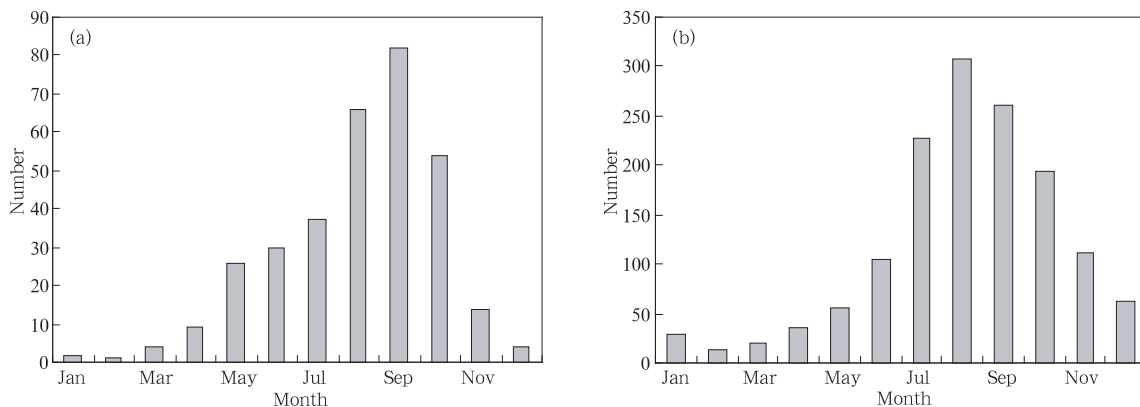


图2 1961—2000年累年(a)变性台风月频数和(b)总台风月频数

Fig. 2 Average monthly (a) ET TC and (b) total TC numbers over 1961—2000

北方冷空气活动增多,台风在北上过程中,遇冷空气入侵,易发生变性,而8月天气形势较稳定,北上台风则不易发生变性。

从全年趋势看,7月虽然生成台风数目较多,达225个,居累年统计第3,但发生变性的比例却不高(16%);5月虽然累年生成的台风数目不多,仅56个,但是发生变性的比例却居各月之首,达46%,即累年该月发生的台风近一半均发生了变性(图略)。由东亚西太平洋地区多年5月500 hPa平均位势高度场(图3a)可以看出,5月东亚大槽相对较深,槽线的平均位置位于 $125^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$,槽底位置大约位于

35°N 日本岛及朝鲜半岛附近。结合1961—2000年5月西北太平洋上总台风的路径频数图(图3b),5月,西北太平洋台风移动路径主要为西北行和东北行,其中东北向路径与东亚大槽槽底平均距离约为10个纬距左右。5月虽然生成的台风总数并不是全年最多,但是北上移动的台风,由于距离东亚大槽槽线及槽底的位置较近,容易遭受南下冷空气的入侵,而朱佩君等(2003)在研究中发现,对流层中高层冷空气的下沉入侵是TC变性的原因,因而,本文中统计发现5月台风发生变性比例较高的事实也较好解释了这一成因。

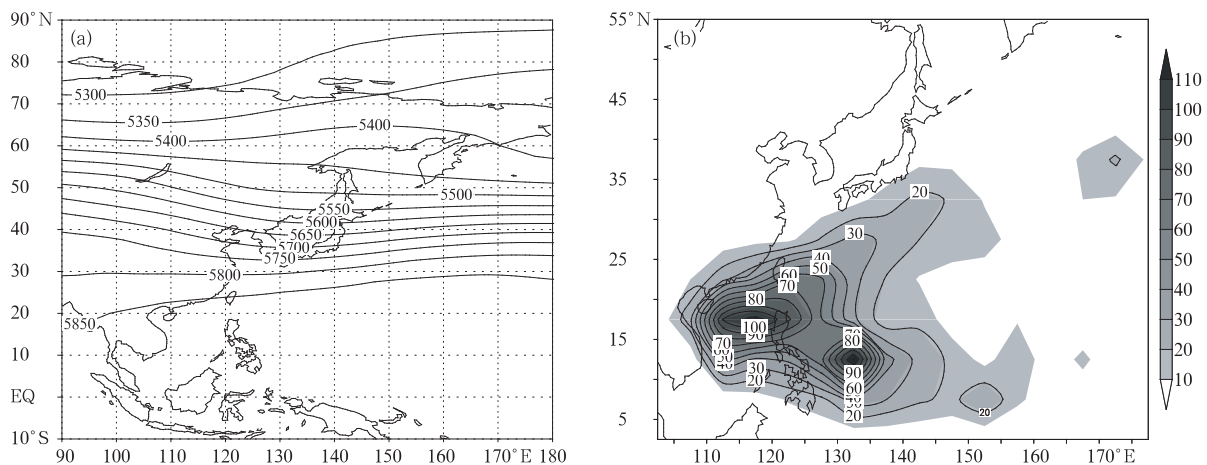


图3 1961—2000年累年(a)5月500 hPa平均位势高度场(单位:gpm)和(b)5月总台风移动路径通过格点频数分布图(图b中数值表示移动经过格距 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 范围内的次数)

Fig. 3 (a) Average May 500 hPa geopotential height (unit:gpm) and (b) May total TC track number passing through $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ grid box over 1961 and 2000

7月,虽然生成的台风总数较多,但是发生的变性比例却相对较低。从多年7月500 hPa平均位势高度场(图略)可以看出,7月的大槽不明显,而槽底位置也已北抬至 40°N 附近。由于受到副热带高压的作用,西北太平洋台风的移动路径主要分为西行、北行和东行3条路径(图略),虽然7月生成的台风数目较多,而且北上移动的台风也不少,但是由于东亚大槽相对极浅,较少有冷空气下沉入侵,使得台风在移动过程中不易发生变性。

3.3 变性台风的变性地点及活动范围

从1961—2000年累年统计资料看出,在40 a变性的329例台风中,夏季和秋季发生变性的台风较多,分别是133例和150例;春季和冬季发生变性的台风较少,特别是冬季,40 a仅有7例变性台风,

春季变性的台风也只有39例。在变性台风多发的秋季和夏季,此时台风发生变性时的地点范围也较广;春季变性台风较少,但范围却较广,冬季变性台风极少,范围也很小。

图4a—4d分别表示了春、夏、秋、冬四季各例变性台风变性地点及变性范围。从图3可看出,台风发生变性时,位置和范围都呈现出鲜明的季节特征。夏季,台风在发生变性时,最北的位置曾到达 49.5°N ,这是1970年8月台风个例Therese在变性时所到达的,也是历年各季台风变性时所到达的最北位置;夏季台风个例中,历年变性时的最西位置为7203号台风Rita所抵达的 109.7°E ;最东的位置越过了 175°E ,是1967年8月台风Hope到达的 175.4°E ,最南变性地点的纬度为 25.4°N ,是1985

年6月一次热带低压发生变性时的纬度。由此,东西最大间距达到65个经度,为各季最大;南北间距也超过了20个纬度,且范围较其他季节明显偏北。

秋季,台风变性范围相对夏季整体偏东,且南北间距加大,东西间距变小,1969年10月台风Helen变性时到达了 180° 线,不仅为该季变性最东点,也是历年各季台风变性时到达的最东位置;向西最远变性地点的经度为6911号台风Elsie曾到达的 117.4°E ;最南位置相对夏季偏低,位于 23.2°N ,是9123号台风Ruth变性时的纬度位置;最北位置伸至 48.8°N ,为9217号台风Ryan变性地点。

春季,发生变性的台风虽然不多,但是台风变性

的分布范围相对却较广,1962年4月台风Georgia曾达到最北 45.0°N ;1980年8001号台风Dom到达的最南纬度为 20.1°N ;最东 174.0°E ,是1963年4月台风Olive变性时达到的经度;6505号台风Babe变性时的最西位置为 119.5°E 。

冬季发生变性的台风极少,40 a仅7例,所以变性的范围也相对小得多,且位置明显偏南偏东,1971年1月台风Sarah在最南处 16.8°N 即发生了变性;1962年12月台风Nadine变性时抵达的 33.5°N 和 171.0°E ,是冬季台风变性时的最北和最东位置;7001号台风Nancy变性时到达的 131.3°E ,是冬季台风变性时伸抵的最西点。

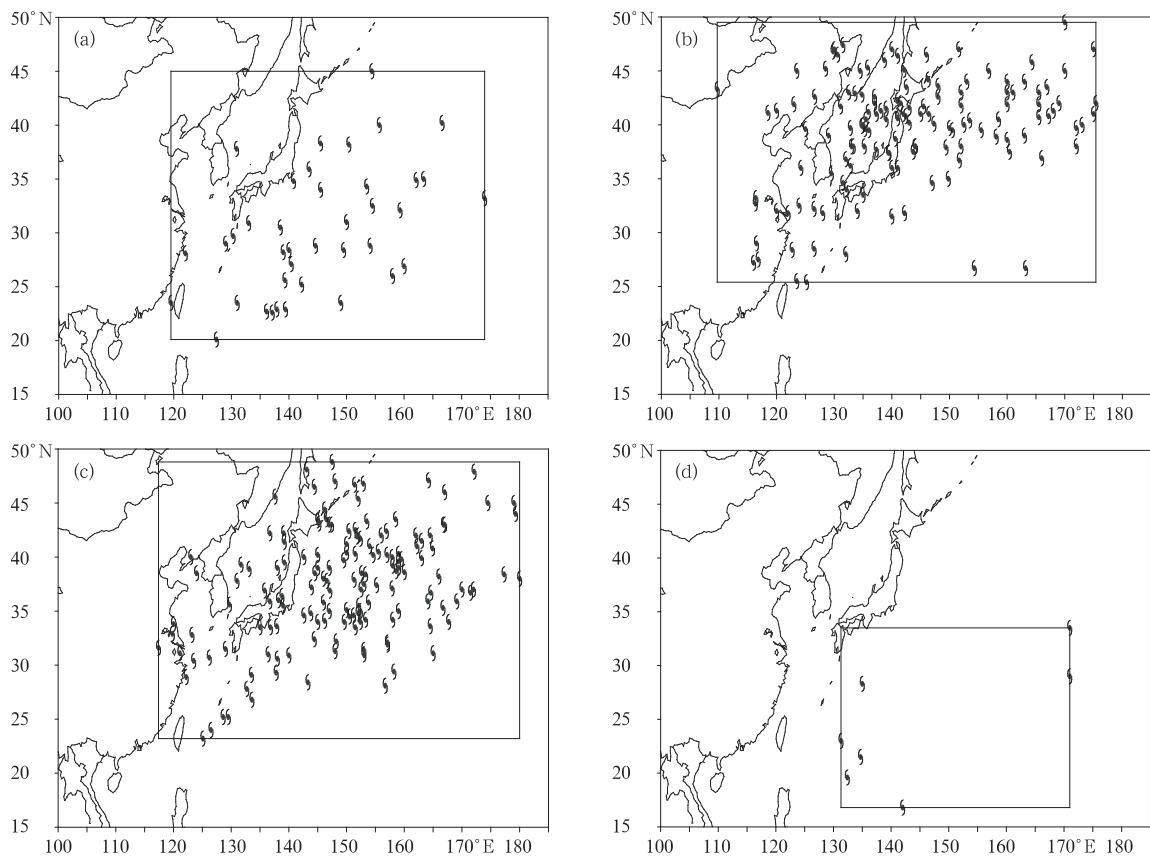


图4 1961—2000年累年各季变性台风的变性地点

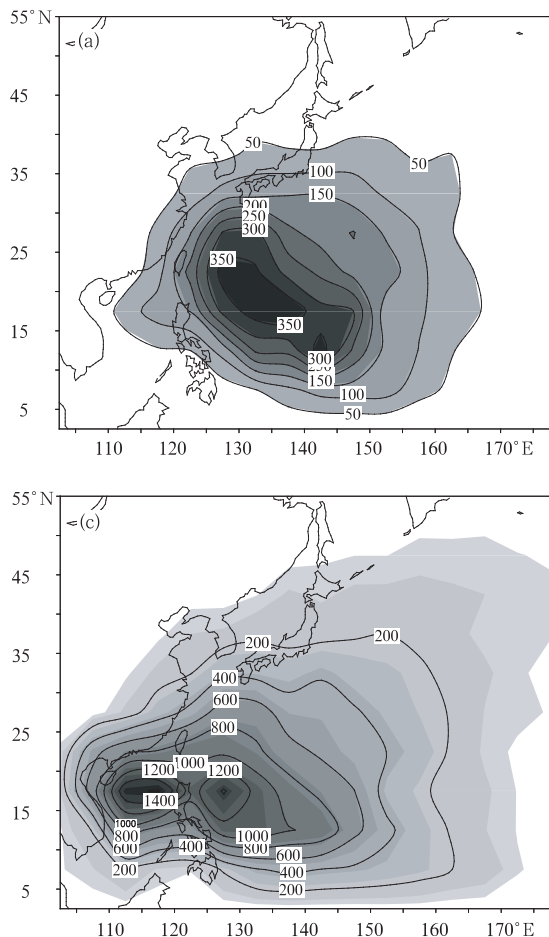
(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季)

Fig. 4 (a) Spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter geographic positions of the extratropical transition of tropical cyclones in 1961—2000

变性台风在变性前及变性后其移动路径都具有一定的特点,对一例台风每6 h经过一格距范围($5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格)进行一次计数,统计40 a内329例变性台风分别在变性前及变性后移动经过各网格的总次

数,可发现,变性台风在变性前移动的路径经过最多的地区范围位于($15^{\circ}-25^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$)(图5a),在该范围内台风移动路径通过格点频数超过了350次,同时最多路径明显具有西北转向趋势。台风在

发生变性后移动路径与变性前相比明显具有偏北转向东的趋势,通过格点频数最多的范围已位于 $(40^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}, 155^{\circ}\text{--}165^{\circ}\text{E})$ 的中高纬地带(图 5b)。整体而言,西北太平洋上变性台风的主要移动路径是西北行路径,在变性前其活动范围大多位于朝鲜半岛以南及日本海附近,在此与南下的冷空气相遇,变性为温带气旋后,继续向日本岛以东即偏东北方向移动。



结合 40 a 总台风移动路径通过格点频数分布图(图 5c),可以看出,西北太平洋上生成台风在移动过程中,路径相对集中经过两个主要区域 $(15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}, 110^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E})$ 和 $(15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E})$ 。同时可以看出,台风移动的路径大致为 3 条,即西行、西北行和东北行。其中台风在经过 $(15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E})$ 区域后,转向西北行的路径则是变性台风通过的最主要路径(图 5a),发生变性的台风大

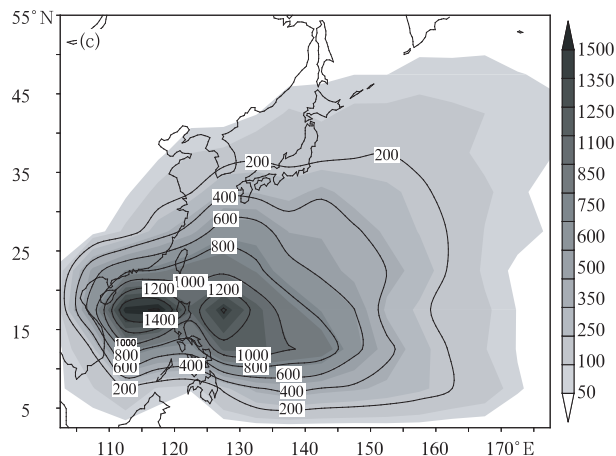
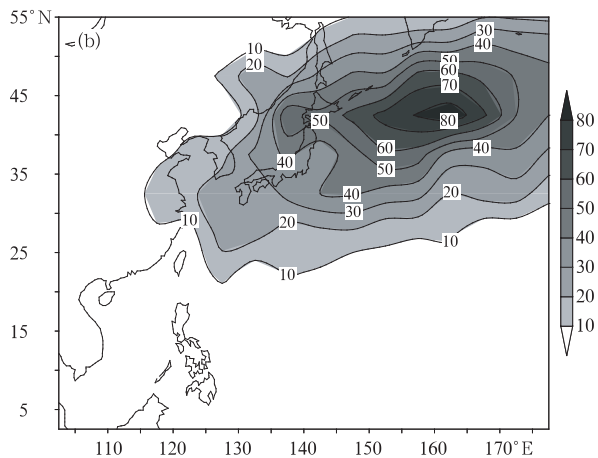


图 5 1961—2000 年台风发生变性前(a),台风发生变性后(b)和总台风(c)移动路径通过格点频数分布图
(图中数值表示移动经过格距 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 范围内的次数)

Fig. 5 Tracks of ET TCs (a) before and (b) after transition, and (c) total TC passing $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ grid box in 1961—2000

多是在这一移动路径上出现的。

事实上西行移动的台风大都在低纬地区活动,东北行移动的台风直接伸向大洋深处,在洋面上活动,二者很难与中高纬内陆地区南下的冷空气相遇导致发生变性。由于台风变性主要发生在夏秋两季,结合累年夏、秋季 500 hPa 平均位势高度场及台风变性前后移动最多路径(图 6),可以较明显地看出,夏、秋季西太平洋副热带高压(副高)较强,而台风在变性前移动最多路径正好位于副高内侧西北边

缘,极易受到副高环流的作用,因此原西北行台风在北上移动过程中,在副高影响下易转向东北向移动,此时受上游中纬度槽系统的作用,较易与高纬内陆南下的冷空气相逢,因冷空气入侵而发生台风变性。在较强的副高外围环流和中纬西风环流的共同作用下,台风变性后大多会继续沿纬向环流向东移动,所以台风变性后移动最多路径就位于副高以北的纬向环流带内。这与 Harr 等(2000)提出的西北太平洋台风发生变性后,两条主要路径之一即是沿着纬向

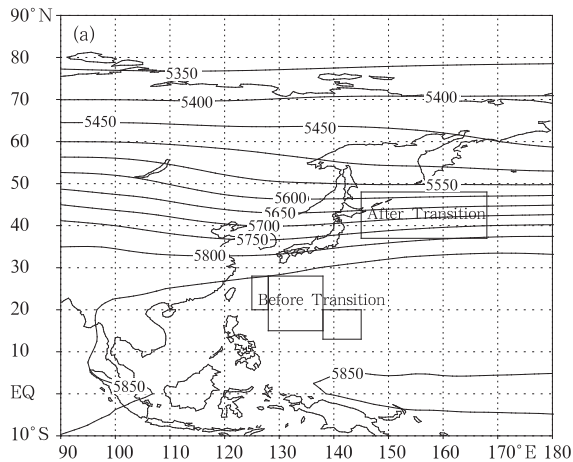


图6 1961—2000年累年夏、秋季(6—11月)
500 hPa 平均位势高度场(gpm)

Fig. 6 Average June–November 500 hPa
geopotential height (gpm) over 1961–2000

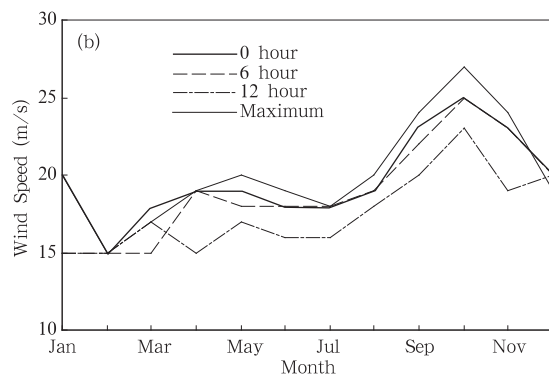
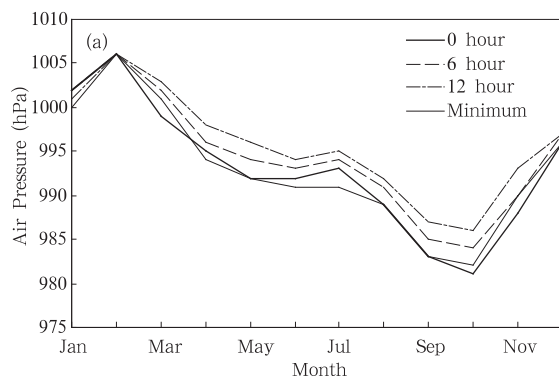


图7 1961—2000年累年各月变性台风不同时段(a)平均最低气压和(b)平均最大风速

Fig. 7 Monthly mean (a) minimum pressure and (b) maximum wind speed of ET TCs
at 0-h, 6-h, 12-h after extratropical transition over 1961–2000

现为变性后平均强度达到最强时仍低于变性前一时次的强度或仅与之相当。但由于风速往往在变性后缺测较多,所以很难由变性前后最大风速的对比看出这一特征。

4.2 历年及累年各月变性加强台风的比率

统计还发现,历年变性台风中,强度在变性后较变性前一时次加强的台风数占当年总变性台风数的比率并不是很高(图8a),各例台风变性后,随着时间由6小时、12小时一直向前推移,最终加强的比例逐渐加大,但历年最终变性加强的台风占当年变性台风总数的比例平均约为25%,基本都不足50%。

累年各月变性加强台风占各月变性台风总数的

环流带向东移动的结果相吻合。

4 变性加强台风的气候变化特征

4.1 累年各月变性台风变性前后强度变化

用台风中心附近最大风速和最低气压表示台风强度,生成于西北太平洋的台风在北上途中,比较变性台风在变性前一时次与变性后不同时段内的平均强度变化(图7a、7b),各月台风在变性后6小时内,强度较变性前均有所减弱,即平均最低气压的升高和平均最大风速的减小。变性后12小时内,强度仍然继续减弱,即平均最低气压继续升高,而平均最大风速继续减小。由40a统计资料比较台风变性前一时次和变性后气旋强度达到最强时的累年平均最低气压,可以看出,在6和7月,台风变性后的平均强度较变性前一时次明显增强,而在其他月份则表

比率也不高(图8b),最终变性加强的比例也只有30%左右,变性后6小时、12小时及最终加强的台风占累年各月变性台风比例的变化趋势较为一致,均在4和7月较多,8和10月较少。

从以上分析看出,和通常概念相反,发现台风变性后的强度平均来说是减弱的,仅在6和7月台风变性后加强的比例较高。根据Harr等(2000)的研究,台风在变性后若沿着纬向带状环流向东移去,则台风变性后强度一般都会逐渐减弱。由于台风发生变性大多在夏、秋季节,由本文3.3节可知,此时台风变性后大多会在副高环流和中纬环流的影响下,最多路径会继续沿纬向带状环流向东移动,较好地解释了台风变性后强度减弱比例高于加强的原因。

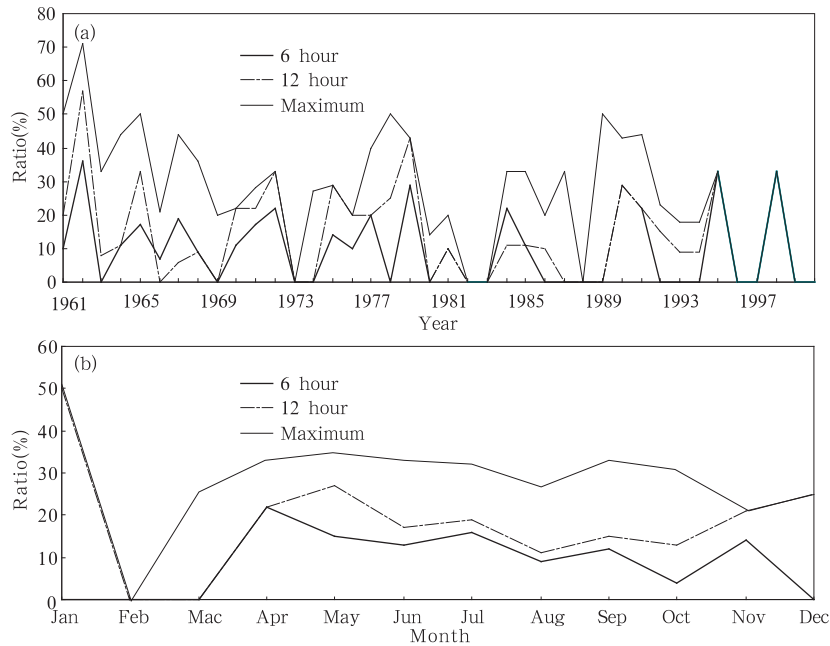


图 8 1961—2000 年(a)历年加强变性台风比率和(b)累年
各月加强变性台风比率

Fig. 8 (a) Yearly and (b) monthly mean ratios of the number of strengthened
ET TCs after transition to the total number of ET TCs during 1961–2000

5 变性台风发生频数与大尺度环流间的关系

如前所述,变性台风多集中发生于各年的夏、秋两季,变性比例分别达到 40% 及 46%。利用 NCEP 提供的 1961—2000 年 500 hPa 月平均高度场再分析资料,计算历年夏季(6—8 月)和秋季(9—11 月) 90°—120°E 范围内 35°N 与 65°N 之间的年纬向平均环流指数。为了便于比较,分别对逐年夏、秋两季纬向平均环流指数及变性台风频数序列进行了 5 a 滑动平均并对序列进行标准化处理。计算表明,

1961—2000 年夏季变性台风频数与夏季纬向平均环流指数两序列的相关系数为 -0.585 (图 9a), 通过了信度为 0.001 的显著性检验。在秋季,变性台风频数与纬向平均环流指数两序列的相关系数为 -0.515 (图 9b), 在 0.001 的显著性水平上,其二者的相关性同样是显著的。由此说明,在夏季和秋季,历年的变性台风频数与 35°N 与 65°N 之间的纬向平均环流指数都存在着显著的负相关性(相关系数分别是 -0.585 及 -0.515), 因此可以认为,若纬向环流减弱,则经向环流会加强,从而带动冷空气的南下活动频繁,台风发生变性的频数就会加大。

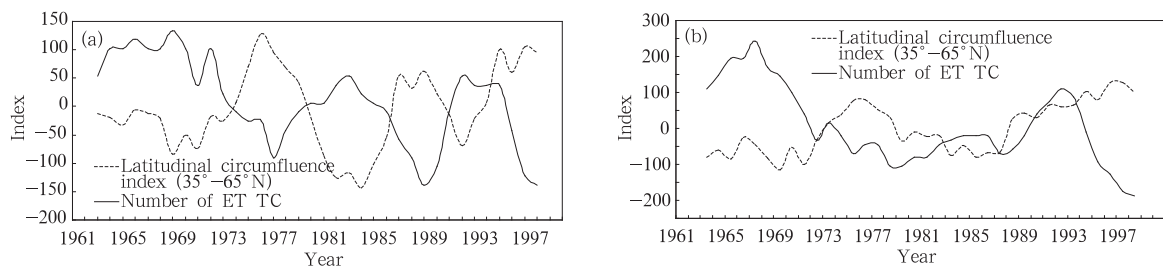


图 9 1961—2000 年夏季(a)和秋季(b)变性台风频数及 500 hPa 高度纬向平均环流指数序列
(为了便于比较,两序列经过了标准化处理)

Fig. 9 Normalized time series of the number of ET TCs and the zonal mean 500 hPa
circumfluence index for (a) summer and (b) autumn during 1961–2000

对 1961—2000 年累计 40 a 各月平均 500 hPa 距平高度场作经验正交函数分解(EOF),图 10a 给出了第一特征向量分布,可以看出,中低纬地区的等值线基本上呈纬向分布,低纬地区、尤其是 20°N 以南等值线较稀疏,值近于零;中纬度地区等值线较稠密,值较大。它基本上反映了 500 hPa 高度场的变化特征,即低纬地区季节变化小,中纬度地区季节变化较大。结合第一特征向量的时间函数图(图 10b)可以看出,在 20°N 以北的地区,冬半年高度场(11—4 月)为负距平,夏半年(5—10 月)则为正距平,极低和极高值分别出现在 1、2 月和 7、8 月,具有十分明显的年周期,与变性台风月频数变化的周期性基本相对应(图 2a)。在 20°N 以南的地区,季节变化相对不是很明显。这些都是 500 hPa 环流最基

本的季节性活动特征。时间函数两次反号分别发生在 4、5 月和 10、11 月,也即夏半年的开始和结束。由文中图 2a、2b 得知,变性台风多发生在夏、秋两季,而此时中、高纬度地区 500 hPa 的高度场表现为正距平,基本对应着高压区,有利于加强南下的经向环流,使得北上的台风在中纬度地区因为冷空气入侵而发生变性。

由图 1a 可知,1971 年是发生台风变性较多的年份,有 18 例,而 1973 年则仅有 1 例变性台风发生。通过分析 1971、1973 年两个不同年份 5—11 月 500 hPa 月平均位势高度场的形势分布,可以看出,在 1971 年台风易发生变性的时期(5—11 月)内,中纬度槽较明显(图 11a),环流形势利于北方冷空气南下;而在 1973 年的同一时期,500 hPa 上空的槽

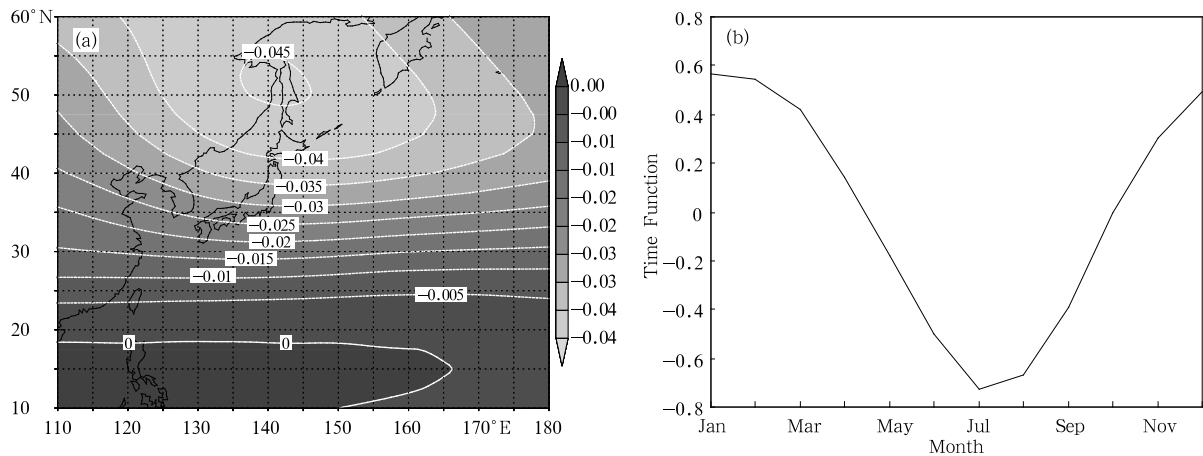


图 10 NCEP/NCAR 1961—2000 年 500 hPa 距平高度场第一特征向量(a)及其距平值时间函数(b)

Fig. 10 (a) First EOF eigenvector of monthly mean 500 hPa geopotential height anomaly in the NCEP/NCAR reanalysis data and (b) its time coefficient in 1961—2000

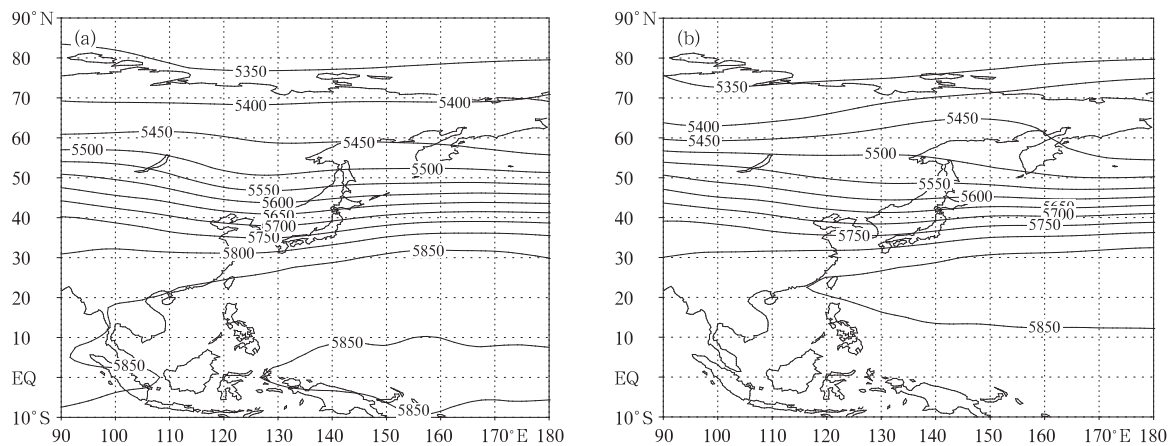


图 11 1971 年(a)和 1973 年(b)5—11 月 500 hPa 月平均位势高度场(单位:gpm)

Fig. 11 Average monthly 500 hPa geopotential height (unit:gpm) over May–November for(a) 1971 and(b) 1973

则极浅(图 11b),基本维持较平直的西风气流,所以不利于北方冷空气的南下。台风在夏、秋季节发生变性的位置,基本处于槽线附近的海、陆交界范围,因此,进一步表明台风在北上过程中,如遇较强的冷空气南下入侵,相对容易发生台风变性。由变性台风多发年(1965 年,18 例)和变性台风少发年(1999 年,0 例)两年 5—11 月 500 hPa 月平均位势高度场分布同样可以发现上述规律(图略)。

6 结 论

(1) 1961—2000 年,西北太平洋范围内共发生变性台风 329 例,占 40 a 生成于西北太平洋所有台风总数的 23.1%。变性台风频数呈逐年下降趋势,与生成台风频数变化趋势一致。西北太平洋变性台风发生频数的月变化呈现出夏、秋转换季节偏多的规律,其中 9 月最多、8 月次之、10 月第 3。7 月台风生成的频数虽多于 10 月,但发生变性的频数却比 10 月少。5 月生成台风的频数虽少,但发生变性的比例居全年各月之首。

(2) 西北太平洋变性台风大多出现于夏、秋两季,春季较少,冬季极少。夏、秋两季台风发生变性时的位置地点分布较广(范围 20° — 50° N, 110° E— 180°),台风变性时的位置,夏季偏北、偏西,秋季则偏南、偏东。西北太平洋变性台风在发生变性前移动路径经过最多的区域为(15° — 25° N, 125° — 140° E),同时路径明显具有转向北上的趋势,活动范围多集中于朝鲜半岛以南及日本海附近。

(3) 西北太平洋各月变性台风在变性后 6 小时内平均强度均减弱,变性后 12 小时内平均强度仍继续减弱。6 和 7 月,台风在变性后最大平均强度明显强于变性前一时次的强度,其他月份变性后强度达到最强时的平均强度仍低于变性前一时刻的平均强度或与之大抵相当。

(4) 发生于西北太平洋上的变性台风在变性后随着时间的推移,历年最终又加强的台风占当年变性台风总频数的比例平均约为 25%,最多不足 50%。变性最初 6 小时、12 小时内强度加强的比例更少。各月最终变性加强的台风比例也只有 30%左右,变性后 6 小时、12 小时加强的比例更少。

(5) 夏、秋季节发生于西北太平洋上变性台风的年频数与 35° N 及 65° N 间 500 hPa 年平均纬向环流指数存在着显著的负相关性。台风变性的频数与

一些大尺度天气系统也存在较明显的相关性,变性台风多发生在夏、秋两季,此时中、高纬度地区 500 hPa 的高度场表现为正距平,基本对应着高压区,有利于加强南下的经向环流,使得北上的台风在中纬度地区因为冷空气入侵而发生变性。在变性台风多发年,500 hPa 高空槽发展较明显,利于北方冷空气南下,导致北上台风发生变性的个例增多。

致谢:衷心感谢《气象学报》编辑部老师给予的大力指导和帮助。

References

- Chen Lianshou, Ding Yihui. 1979. Conspectus of the Typhoon over the Western Pacific Ocean (in Chinese). Beijing: Science Press, 511pp
- Tan Ruizhi, Liang Biqu. 1990. The diagnostic study on the extratropical transition processes of landfalling typhoon. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 14(4): 422-431
- Xu Xiangde, Chen Lianshou, Xie Yiyang, et al. 1998. Typhoon transition and its impact on heavy rain. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 22(5): 744-752
- Sun Jianhua, Zhao Sixiong. 2000. Diagnoses and simulations of typhoon (Tim) landing and producing heavy rainfall in China. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 24(2): 223-237
- Harr P A, Elsberry R L. 2000. Extratropical transition of tropical cyclones over the Western North Pacific. Part I: Evolution of structural characteristics during the transition process. Mon Wea Rev, 128: 2613-2633
- Harr P A, Elsberry R L. 2000. Extratropical transition of tropical cyclones over the Western North Pacific. Part II: The impact of midlatitude circulation characteristics. Mon Wea Rev, 128: 2634-2653
- Zhu Peijun, Chen Min, Tao Zuyu, et al. 2002a. Numerical simulation of Typhoon Winnie (1997) afterlandfall Part I: Model verification and model clouds. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 60(5): 553-559
- Zhu Peijun, Chen Min, Tao Zuyu, et al. 2002b. Numerical simulation of Typhoon Winnie (1997) afterlandfall Part II: Structure evolution analysis. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 60(5): 560-567
- Zhu Peijun, Zheng Yongguang, Tao Zuyu. 2003. Analysis of the extratropical transition of tropical cyclone over mainland of China. J Tropical Meteor (in Chinese), 19(2): 157-162
- Li Ying, Chen Lianshou, Lei Xiaotu. 2005. Moisture potential vorticity analysis on the extratropical transition processes of Winnie (1997) and Bilis (2000). J Tropical Meteor (in Chinese), 21(2): 142-152
- Li Ying, Chen Lianshou, Lei Xiaotu. 2006. Numerical study on impacts of upper-level westerly trough on the extratropical transition process of Typhoon Winnie (1997). Acta Meteor Sinica

(in Chinese), 64(5):552-563

Yu hui, Duan Yihong. 2002. A statistical analysis on intensity change of tropical cyclone over Northwestern Pacific. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 60(6):680-687

Duan Yihong, Yu hui, Wu Rongsheng. 2005. Review of the research in the intensity change of tropical cyclone. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 63(5):636-645

Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. 2005. Changes in tropical cyclone, number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309:1844-1846

Kevin Trenberth. 2005. Uncertainty in hurricanes and global warming. *Science*, 308:1753-1754

Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436:686-688

Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull Amer Meteor Soc*, 79: 61-78

Chan J C L. 1985. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Nino/Southern Oscillation phenomenon. *Mon Wea Rev*, 113: 599-606

附中文参考文献

陈联寿, 丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社,

511pp

谭锐志, 梁必骥. 1990. 登陆台风变性过程的诊断研究. *大气科学*, 14(4):422-431

徐祥德, 陈联寿, 解以扬等. 1998. 环境场大尺度锋面系统与变性台风结构特征及其暴雨的形成. *大气科学*, 22(5):744-752

孙建华, 赵思雄. 2000. 登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究. *大气科学*, 24(2):223-237

朱佩君, 陈敏, 陶祖钰等. 2002a. 登陆台风 Winnie(1997)的数值模拟研究 I: 结果检验和云系的模拟. *气象学报*, 60(5):553-559

朱佩君, 陈敏, 陶祖钰等. 2002b. 登陆台风 Winnie(1997)的数值模拟研究 II: 结构演变特征分析. *气象学报*, 60(5):560-567

朱佩君, 郑永光, 陶祖钰. 2003. 发生在中国大陆的台风变性加强过程分析. *热带气象学报*, 19(2):157-162

李英, 陈联寿, 雷小途. Winnie(1997)和 Bilis(2000)变性过程的湿位涡分析. *热带气象学报*, 2005, 21(2):142-152

李英, 陈联寿, 雷小途. 2006. 高空槽对 9711 号台风变性加强影响的数值研究. *气象学报*, 64(5):552-563

余晖, 端义宏. 2002. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征. *气象学报*, 60(6):680-687

端义宏, 余晖, 伍荣生. 2005. 热带气旋强度变化研究进展. *气象学报*, 63(5):636-645