

文章编号: 1001-8166(2006)06-0610-07

# 西北太平洋热带气旋和台风活动若干气候问题的研究

陈光华, 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080)

**摘要** 热带气旋和台风是严重的突发性自然灾害之一。近 20 年来, 对热带气旋和台风活动的气候学研究成为台风领域的一个重要研究方向, 并取得了显著的研究进展。通过对西北太平洋热带气旋和台风活动的季节、年际和年代际时间尺度变化的研究回顾, 揭示了造成热带气旋和台风活动不同时间尺度变化的主要影响机制, 其中包括低频振荡、季风槽和西传赤道波动、ENSO 和 QBO 现象等。这些系统主要通过改变西北太平洋上空的环流, 而影响到西北太平洋热带气旋活动以及登陆我国台风的季节、年际和年代际时间尺度变化。还在西北太平洋海域热带气旋和台风活动的气候学研究进展和作者最新的研究成果的基础上, 展望了该领域的研究前景, 并提出当前此研究领域一些亟需研究的科学问题, 主要包括了季风槽区能量交换、不同海域动力过程、赤道波动演变, 以及热带气旋的季节和更长时间尺度的预测。

**关键词** 西北太平洋, 热带气旋, 气候学, 研究进展

中图分类号: P44 文献标识码: A

## 1 引言

每年在热带西北太平洋、热带大西洋和孟加拉湾海域发生数十个风速超过  $17.0 \text{ m/s}$  的热带气旋或热带风暴。热带气旋和热带风暴, 由于会带来狂风和暴雨以及风暴潮, 故会给受影响的国家造成巨大的经济损失和人员伤亡, 是全球突发性严重的自然灾害之一。

西北太平洋(WNP)是全球唯一的一年四季都有热带气旋(TC)或热带风暴生成的海域。每年在此海域年平均气旋生成数为 30 个左右, 约占全球热带洋面上热带气旋年生成总数的  $1/3$ 。这其中有 80% 发展成为(最大风速超过  $32 \text{ m/s}$ )热带风暴(台风)。据统计, 在东亚和东南亚一些国家和地区所有突发自然灾害中, TC 所造成的财产损失和人员伤亡最为显著。我国是受台风危害最为严重的国家之一, 不仅登陆我国的台风多, 据统计从 1951 年至今,

每年大概 3~12 个(平均为 7 个)台风登陆我国东南沿海, 而且台风强度大, 造成严重的经济损失和人员伤亡。近几年单纯因 TC 造成的年平均经济损失达 250 亿元以上, 平均每年死亡人数高达 570 人。因此, 关于台风的生成、移动路径、强度和登陆的预报一直是我国与有关国家气象界热点的研究课题之一。

由于热带气旋和台风造成经济损失的严重性, 国际上一直重视关于台风生成、发展和移动路径等科学问题的分析与理论模拟研究。Elsberry<sup>[1]</sup>对 20 世纪 80~90 年代有关台风的观测事实、动力理论、数值模拟和预报研究所取得的进展做了较系统的综述; 王斌等<sup>[2]</sup>对热带气旋动力学的研究进展也作了较全面的回顾。我国由于受台风危害很大, 因此, 国内许多学者很早就对台风路径、生成和发展以及登陆后所带来的剧烈天气作了较系统的研究, 如高由禧等<sup>[3]</sup>在 20 世纪 50 年代就绘制了登陆我国台风的

\* 收稿日期: 2005-11-08, 修回日期: 2006-04-15.

\* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“南水北调背景下华北地区水资源最优调配理论研究”(编号: KZCX3-SW-218), 国家重点基础研究发展计划项目“我国南方致洪暴雨监测与预测理论和方法研究”(编号: 2004CB1803)资助.

作者简介: 陈光华(1978-), 男, 福建福州人, 博士研究生, 主要从事热带气旋研究. E-mail: cgh@mail.iap.ac.cn

主要路径 陈联寿等<sup>[4]</sup>对 WNP 台风的结构、特征以及与环境场相互作用做了较系统的总结。

近年来,对于台风造成的暴雨、环流特征及其数值模拟做了不少研究<sup>[5-12]</sup>。然而,应该指出,过去台风领域的研究较多集中于对 TC 和台风天气学方面的研究,如移动路径、强度、结构特征及其登陆后的天气等方面。相对而言,TC 和台风的气候学研究起步较晚,自 20 世纪 80 年代起才逐渐开展起来。在热带西北太平洋海域,由于 TC 和台风活动在季节、年际和年代际时间尺度和空间分布上存在明显差异,所以了解 TC 在不同气候背景影响下的气候活动规律,揭示热带多尺度系统相互作用中 TC 生成发展的气候差异及其机理,是近年来 TC 和台风气候学研究的主要内容。开展这方面的研究不仅可以为对 WNP 台风生成的短期气候预测乃至对影响我国台风的监测和预报提供科学依据,而且可以更深入地研究 TC 和台风的生成、发展、成熟和消亡过程及其机理,从而提高对这类突发性严重灾害性天气的防御能力,减少灾害所带来的损失。

本文首先综述了近年来 WNP 海域 TC 和台风生成和活动在季节、年际、年代际时间尺度上的变化规律,以及造成这些变化的可能物理机制的研究进展,然后对将来 TC 和台风气候学的研究动态进行展望,并提出对 TC 和台风气候学研究中亟需研究的若干问题。

## 2 TC 和台风活动的季节变化

### 2.1 季节内振荡对 TC 和台风生成的影响

正如 Gray<sup>[12]</sup>所总结,TC 生成的必要条件是有关海域的海表水温(SST)要高于 26.5。就 WNP 而言,大部分 TC 和台风生成于夏季和秋季,这时在此海域 SST 普遍高于 26.5。因此,TC 和台风生成主要受上空大气环流动力条件所约束,这就与热带太平洋上空大气的季节内振荡和季风槽分布密切相关。控制热带大尺度环流的季节内变化主要是 30~60 天振荡(MJO)<sup>[13,14]</sup>。MJO 具有斜压开尔文波和罗斯(Rossby)波结构,和向东传播的全球尺度波数 1 或波数 2 的特征。北半球夏季 MJO 不仅东传信号比较强,而且经向北传的分量可以影响到 WNP 季风槽,并且,季风槽南侧的西风爆发也是和 MJO 有密切的关系。因此, MJO 的正涡度低压区可以使得西风沿着热带西太平洋爆发,并随后触发对流的产生,从而使得涡旋得以发展,这为 TC 的生成,而后台风的发展提供了动力条件。Liebmann<sup>[15]</sup>

在研究了 MJO 对 WNP 热带扰动的影响后指出,当 MJO 处于对流活跃位相时,热带扰动和 TC 数量都将增加;同时他还发现在 MJO 活跃期,台风活动的增加源于热带扰动的增加,而非 TC 在 MJO 对流活跃期更易于发展成为台风。因此,在夏季和初秋季节,热带大气环流的 30~60 低频振荡的对流活动期对于 TC 和台风的生成有着重要影响。

### 2.2 季风槽对 TC 生成的影响

季风槽区是西南季风与东南信风的汇合区,它经常产生在夏季和初秋,具有典型的低层正涡度气旋式环流、高层负涡度反气旋式环流的特征,且垂直风切变的零值区恰好经过季风槽区位置,使得暖湿空气释放的热量容易集中于这一有限区域。这也正是大约有 75% 的 TC 形成于季风槽区域的主要原因<sup>[16]</sup>。

季风槽内部存在着气流的动力不稳定机制,在适当条件下扰动就可以得到发展。Guinn 等<sup>[17]</sup>分析了具有纬向带状涡(PV)分布的季风槽中,易于产生涡旋,季风槽使得 PV 在涡旋中积累且切向拉长,并围绕中心可以产生螺旋状 PV 分布,即 PV 波动;季风槽赤道一侧的 PV 梯度使得 PV 波动相对于西风向西移动,而向极地一侧的 PV 梯度使得 PV 波动相对于东风向东移动,如果两波动相对于地球有相同的位相速度,就会产生位相锁定并通过正压不稳定使得波动增长,从而使 TC 生成。Ferreira 等<sup>[18]</sup>提出一个环境气流不稳定产生 TC 初始扰动的机制,他们认为在赤道辐合带(ITCZ)对流带中连续的潜热释放将会在最大加热下方产生气旋性 PV,而上方则存在反气旋的 PV 带,这样的分布所产生的不稳定使得 ITCZ 破碎并形成多个扰动,并可能发展成为 TC。他们利用非线性浅水正压模式模拟了 ITCZ 的崩溃破碎演变为 PV 带中扰动的过程,这些扰动轴线倾斜,可以通过基流的能量转化使得扰动发展。

由于天气尺度扰动与季风槽变化相联系,因此季风槽经纬向位置变化决定了扰动以及 TC 的活动区域。季风槽东扩使得 TC 形成的经向分布广,而季风槽西撤使得 TC 经向分布收缩。Chang 等<sup>[19]</sup>提供了更多季风槽区扰动和 TC 形成相关的事实。

### 2.3 赤道罗斯贝—重力混合波对 TC 生成的影响

除了季风槽区内部的动力过程可以产生有利于 TC 生成的初始扰动外,还有一部分 TC 的初始扰动来自于季风槽以外的赤道地区。Liebmann 等<sup>[20]</sup>证实了赤道中东太平洋地区存在周期小于 6 天的混合罗斯贝—重力波(MRG)。Lau 等<sup>[21]</sup>发现周期为 3

~6 天的 MRG 波在西传过程中,会逐渐脱离赤道地区,向西北方向传播,并发生波动性质的改变。Takayuba 等<sup>[22]</sup>发现这种西北方向传播且结构性质发生改变的波动具有热带低压(TD)型波动(即东风波动)的特征,这为 TC 生成提供了波动条件。Dickinson 等<sup>[23]</sup>研究了 MRG 波动向 TD 型波动转变的过程与 TC 的生成之间的联系。这些研究都表明了 MGR 波对于热带气旋的生成起到重要作用。

由赤道 MRG 波动向赤道外 TD 型波动的转变主要发生在季风槽东侧<sup>[24]</sup>,因此 TC 的初始扰动可以认为是季风槽区域两类波动转变过程中的产物。Aiyyer 等<sup>[25]</sup>在理想试验中研究了季风槽区 MRG 波动的演变过程,他们指出赤道 MRG 波传至季风槽辐合区将发生尺度收缩现象,并演变成沿季风槽轴线分布的次级波动,即类似与 TD 型的波动。Kuo 等<sup>[26]</sup>在平面正压模式中设计类似季风槽的基本气流,研究了非线性正压过程对赤道波动发展和转变的作用,其结果发现,在东西纬向风辐合的季风槽东端,通过能量的频散可以使得 TC 在 8 天的周期内反复生成。因此,基于以上的观测和模拟研究,季风槽中天气尺度的扰动经常是与赤道捕获的 MRG 波以及东风波动相联系,季风槽中所产生的动力过程使得扰动的振幅得到加强,这有利于扰动发展而形成 TC。

综上所述,夏季和初秋 WNP 海域海表热力状况为 TC 形成提供了有利热力条件,而决定 TC 活动的动力因素主要来自于 WNP 季风槽的贡献,包括季风槽低层的相对涡度、垂直风切变、以及激发 TC 生成的 30~60 天低频振荡和 MRG 波。此外,根据统计<sup>[27]</sup>,登陆我国或对我国有影响的台风也主要集中在夏、秋两季,这也是 WNP 副热带高压南侧偏东气流引导的结果。

### 3 TC 和台风活动的年际变化

TC 活动有非常明显的年际变化,它不仅具有 ENSO 循环的 3~4 年周期变化,而且有准两年周期(即 QBO)的变化。最近利用最新资料分析了 WNP 海域 TC 活动的年际变化和年代际变化。图 1 是 WNP 海域每年 TC 生成个数的年际变化。从图 1 可以看到 TC 生成具有显著的年际变化,最多于 1964 年达 44 个,最少于 1977 年只有 21 个,从气候平均而言,每年在 WNP 海域约有 32 个 TC 生成。

#### 3.1 TC 活动与 ENSO 的关系

Chan<sup>[28]</sup>利用谱方法分析了 WNP 海域中 TC 生

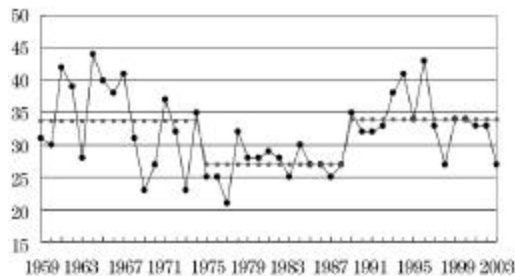


图 1 1959—2003 年西北太平洋 TC 生成个数的年际和年代际变化

Fig.1 Interannual and interdecadal variation of TCs number in WNP from 1959 to 2003

成个数的时间序列,发现年 TC 生成个数存在明显的 3.5 年周期的变化特征,这可能与 El Niño/南方涛动(ENSO)的循环相联系。Lander<sup>[29]</sup>对上述研究得出的结论提出了质疑,他认为观测到的年 TC 生成个数与 ENSO 事件之间没有必然的相关性,在 ENSO 年 TC 生成个数并没有明显的变化,但在生成区域上,El Niño 年 TC 生成位置偏东,而 La Niña 年则正好相反。利用粗分辨率的环流模式,Wu 等<sup>[30]</sup>模拟出与赤道中东太平洋海表温度(SST)相联系的 TC 生成位置偏移。Wang 等<sup>[31]</sup>更细致考察 TC 活动的季节变化后认为,在 ENSO 年 TC 生成总数没有明显的变化,但在 ENSO 年的夏秋季,WNP 东南海域 TC 活动频繁,而 WNP 的西北海域活动减弱,并且在 ENSO 年 TC 向北转向偏多,平均生命史也比 La Niña 年的长。ENSO 循环对 TC 活动的影响是复杂的,TC 活动不仅具有区域差别,而且还和 ENSO 事件所处的发展演变阶段有密切关系。

近年来,许多学者针对上述现象,研究了热带太平洋的 ENSO 循环对 TC 活动影响的机理。Chan<sup>[32]</sup>认为在 El Niño 年 Walker 环流异常上升支移至赤道中太平洋区域,使得这一区域 TC 活动频繁,异常下沉支位于 WNP 西侧,从而抑制这一区域的 TC 活动,而在 La Niña 年的情况正好相反。由于多数 TC 产生于越赤道西风气流与东北信风所形成的气旋切变区,即季风槽区,季风槽两侧气流加强可以增加低层的相对涡度,从而有利于 TC 的生成<sup>[33]</sup>,因此,ENSO 循环中的季风槽加强东伸或是减弱西退影响 TC 的形成位置<sup>[34]</sup>。并且,季风槽又与西太平洋副热带高压(WPSH)的演变紧密相关<sup>[35]</sup>,当 WPSH 从南海撤到菲律宾附近海域时,季风槽南侧西风东进,这有利于 TC 在 WNP 东侧的生成,WPSH 脊线的向

南(北)移动也使得 TC 形成位置偏南(北)<sup>[36]</sup>, WP-SH 还可以通过引导气流的作用影响到 TC 路径的变化<sup>[37]</sup>。这些学者的研究表明了 ENSO 与 TC 活动之间的关系可以用 ENSO 事件所引起的大尺度环流系统的变化来解释,这包括热带太平洋上空的沃克(Walker)环流、东亚季风槽、西太平洋副高(WPSH)、SST 等方面。以前认为 ENSO 循环不同阶段影响 TC 活动是由于局地海域 SST 年际差异所造成<sup>[38]</sup>,但近来研究表明局地 SST 与 TC 形成个数没有明显的相关。在 TC 活跃的夏季季节, WNP 海域的 SST 常年保持在 28 以上,这使得 TC 生成的热力条件在 WNP 基本得到满足,因此, TC 活动年际变化主要还是由于 ENSO 循环不同阶段 WNP 上空环流型不同所造成的。

### 3.2 TC 活动与 QBO 的关系

Gray<sup>[39]</sup>研究了大西洋生成的飓风与 QBO 的联系,认为 QBO 处于西风位相的时候,飓风生成的频率是东风位相时候的 3 倍,他提出的解释是平流层西风位相使得热带对流层上层的垂直风切变减弱,从而有利于 TC 的生成。Zhang<sup>[40]</sup>分析了 1884—1988 年 WNP 海域的 TC 生成个数,发现了平流层低层处于西风位相时, TC 活动增加的现象。Chan<sup>[41]</sup>进一步证实了 30 hPa 和 50 hPa 西风位相与 WNP 海域 TC 活动之间的显著相关,但这种关系在 ENSO 年表现的不明显。这表明大气中存在多种因素影响到 TC 活动的年际变化。

## 4 TC 和台风活动的年代际变化

Zhang<sup>[40]</sup>分析 WNP 海域生成的 TC 时间序列后发现, WNP 海域 TC 和台风活动除了年际变化外还存在长周期的年代际振荡。Yumoto 等<sup>[42]</sup>根据 WNP 海域 TC 的生成可分为活跃期和不活跃期。从图 1 也可以看到 WNP 海域 TC 生成的活跃期是 1959—1974 年和 1989—2003 年年平均 TC 生成个数可达 34 个,而 1975—1988 年为不活跃期,年平均 TC 生成个数只有 26 个。这两类不同时期的个数差别主要表现在 7—10 月份,且活跃期 TC 的生成位置相对于不活跃期偏向 WNP 东侧。在研究两类不同时期 TC 活动气候的背景场差异时, Yumoto 等<sup>[42]</sup>发现只有 150°E 以东的 SST 存在明显的差异,而其它海域的 SST 并没有明显差异。这一结果也表明在 TC 形成的主要区域, SST 不是 TC 活动个数多寡的决定性因素,而 TC 年代际的变化主要是由 WNP 的大气环流的年代际变化所造成的。Chan 等<sup>[43]</sup>的研究表

明,如果滤除赤道中东太平洋 SST 信号的影响后, WNP 海域的 SST 与 TC 活动则不存在显著相关。Matsura<sup>[44]</sup>等通过海气耦合数值模拟发现,增加赤道中东太平洋 SST 可以导致热带西风的增强,使得季风槽东扩,导致菲律宾以东气旋性异常和 TC 数量的增加。Ho 等<sup>[37]</sup>考察了夏季热带西太平洋海域 TC 路径的年代际变化,他指出经过菲律宾海域(135°—155°E, 5°—15°N)的 TC 在 1980—2001 年期间是明显减少的,减少率为每 10 年 9%,并且他将这一区域 TC 活动的减弱归结为 70 年代以后副热带高压面积加大和位置南移,这使得 TC 生成位置和移动路径发生了改变。

## 5 研究展望

近几年在 TC 和台风活动的气候学研究取得很大进展,但存在很多亟需研究的科学问题:

(1) WNP 海域的 SST 异常不是 TC 数量年际变化的主要决定因素,与 WNP 海洋热状态耦合的季风环流差异可以使得 TC 生成的平均位置发生明显的改变。图 2 根据上述的研究给出了对应于 WNP 暖池热状况的季风系统配置示意图。图中显示出在 WNP 暖池处于热状态时季风槽位置偏向于西北侧,因此 TC 的生成位置倾向于较高纬度偏大陆一侧的海域,而当暖池处于冷状态时情况正好相反,季风槽区向 WNP 东南侧伸展,使得 TC 平均生成位置也向东南侧转移。因此海洋下垫面如何通过动量和热量的交换影响到上空环流的变化,从而进一步调制 TC 的平均生成位置是需要进一步探讨的问题。

(2) 初步的研究指出,在 WNP 不同海域 TC 生成个数的多寡年所对应的环流也存在明显的差异,因此也造成形成 TC 主要动力因子的差异。在 WNP 的西南区域,低层纬向风的纬向辐合对 TC 生成数量的年际变化作用明显;纬向风的经向切变对西北和东南区域的 TC 生成数量影响显著;此外,纬向风垂直切变与西南和东南区 TC 数量的年际异常有明显相关。因此,对各个海域生成 TC 的不同动力过程的研究需要进一步的深入。

(3) WNP 海域上空的季风槽区有利于 TC 的初始扰动在这一区域的形成,对于季风区内不稳定扰动增长的机理研究相对较多。但是,对于来自中东太平洋区域热带天气尺度波动西传激发 TC 初始扰动的研究还较为缺乏。此外,不同的季风环流场可以改变赤道波动的传播特性和结构特征。因此基本气流如何影响西传至季风槽区的热带波动,不同波

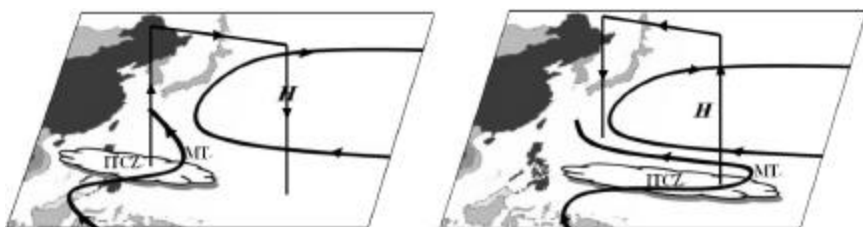


图 2 暖池处于不同热状态时对应的环流变化概念图

Fig. 2 Schematics of circulation variation corresponding to different thermal states of the warm pool

左图:暖池暖状态;右图:暖池冷状态;ITCZ:赤道辐合带;MT:季风槽

Left: warming state; Right: cooling state. ITCZ and MT in the plots are the abbreviation for intertropical convergence zone and monsoon trough respectively

动之间非线性相互作用通过怎样的物理过程可以发展成为 TC, 以及这些波动的年际变化是否对 TC 生成的年际变化产生作用, 这些都需要更多的研究来加以揭示和证实。

(4) 在对 WNP 海域的 TC 活动的气候规律逐渐了解的基础上, 一些研究开始对 TC 生成个数进行季节预报<sup>[45-47]</sup>。季节预报的理论基础是寻找对 TC 生成起主要影响的气候系统, 并将这些系统强度指标进行量化, 通过建立统计回归的预报模型来预报跨季节的 TC 数量。这样纯粹的统计预报模型在实际应用中达到了一定的效果, 但在一些时候还是存在较大的误差。这种误差原因主要在于数量化指标中还缺乏对这些系统环流形态及其位置的刻画, 因此如何在统计模型中对这些预报因子量化, 是提高预报的一个重要环节。

(5) 在全球增暖背景下, 对 TC 活动年际及其年代际变化的预测, 也是将来值得深入研究的热点问题。目前对于 TC 长期变化趋势的研究还存在着许多争议。一些研究通过理论和海气耦合数值模式的模拟认为全球的增暖会伴随着海表温度的增加, 从而导致了 TC 强度的加强<sup>[48-50]</sup>, 但就 TC 生成个数而言并未产生增加的倾向<sup>[51]</sup>, 还有的研究根据模拟的结果, 通过环境引导气流的变化来预测将来几十年 TC 路径的异常变化<sup>[52]</sup>。就目前关于模式对 TC 年代际尺度的模拟水平和年代际变化的机理认识而言, 以上模拟的研究结论还没有得到广泛的认同。

总而言之, TC 和台风活动的气候学相对于台风其它方面的研究而言, 是气旋动力学和气候动力学相互交叉的研究前沿。对 TC 和台风活动气候学的深入研究将有助于揭示这一突发性灾害事件的活动规律, 为其预测提供有利的科学依据, 从而减轻它所

造成的灾害损失。

#### 参考文献(References):

- [1] Elsberry R L. Global perspectives on tropical cyclone[J]. WMO. TD - NO. 693, 1995. Ch. 4, 106-197.
- [2] Wang Bin, Elsberry R L, Wang Yuying, et al. Progress of dynamic of tropical cyclone motion[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1998, 22: 535-547. [王斌, Elsberry R L, 王玉清, 等. 热带气旋运动的动力学研究进展[J]. 大气科学, 1998, 22: 535-547.]
- [3] Gao Youxi, Zeng Youxi. Illustration of Typhoon Tracks[M]. Beijing: Science Press, 1952. [高由禧, 曾佑思. 台风路径图集[M]. 北京: 科学出版社, 1952.]
- [4] Chen Lianshou, Ding Yihui. The Perspective of Typhoon in the Western Pacific[M]. Beijing: Science Press, 1979, 491. [陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979, 491.]
- [5] Chen Lianshou, Xu Xiangde, Xie Yiyang, et al. The effect of tropical cyclone asymmetric thermodynamic structure on its unusual motion[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1997, 21(1): 93-90. [陈联寿, 徐祥德, 解以扬, 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[J]. 大气科学, 1997, 21(1): 93-90.]
- [6] Sun Jianhua, Zhao Sixiong. Diagnoses and simulations of typhoon (Tim) landing and producing heavy rainfall in China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2000, 24: 223-237. [孙建华, 赵思雄. 登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究[J]. 大气科学, 2000, 24: 223-237.]
- [7] Zhang Qingyun, Peng Jingbei. The interannual and interdecadal variations of East Asian summer circulation and its impact on the landing typhoon frequency over China during summer[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2003, 27: 97-106. [张庆云, 彭京备. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响[J]. 大气科学, 2003, 27: 97-106.]
- [8] Li Ying, Chen Lianshou, Zhang Shengjun. Statistical characteristics of tropical cyclone making landfalls on China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2004, 20: 14-22. [李英, 陈联寿, 张胜军. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20:

- 14-22.]
- [9] Li Ying, Chen Lianshou, Wang Jizhi. The diagnostic analysis on the characteristics of large scale circulation corresponding to the sustaining and decaying of tropical cyclone after its landfall [J]. *Acta Meteorologica Sinica* 2004, 61: 167-179. [李英, 陈联寿, 王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. *气象学报*, 2004, 61: 167-179.]
- [10] Xu Yan ei, Wu Rongsheng. The numerical simulation of the genesis of tropical cyclone Billi (2000): The evolution and transformation of asymmetric momentum [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* 2005, 29: 79-89. [徐亚梅, 伍荣生. 热带气旋碧丽斯(2000)发生的数值模拟: 非对称的发展及转换[J]. *大气科学*, 2005, 29: 79-89.]
- [11] Li Ying, Chen Lianshou, Xu Xiangde. Numerical experiments of the impact of moisture transportation on sustaining of the landfalling tropical cyclone and precipitation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* 2005, 29: 91-98. [李英, 陈联寿, 徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值模拟[J]. *大气科学*, 2005, 29: 91-98.]
- [12] Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storm [J]. *Monthly Weather Review* 1968, 96: 669-700.
- [13] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 1971, 28: 702-708.
- [14] Li Chongyin. Actions of summer monsoon troughs (ridges) and tropical cyclones over south Asia and the moving CISK mode [J]. *Science in China* 1985, 28: 197-207.
- [15] Liebmann B, Hendon H H, Glick J D. The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden-Julian oscillation [J]. *Journal of Meteorological Society of Japan* 1994, 72: 401-411.
- [16] McBride J L. Tropical cyclone formation, Chapter 3, *Global Perspectives on Tropical Cyclones* [C]. Elsberry R L, ed. Technology Document WMO/TD No. 693, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1995: 63-105.
- [17] Guinn T A, Schubert W H. Hurricane spiral bands [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 1993, 50: 3380-3408.
- [18] Ferreira R N, Schubert W H. Barotropic aspects of ITCZ breakdown [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 1997, 54: 251-285.
- [19] Chang C P, Chen J M, Harr P A, et al. Northwestward propagating wave patterns over the tropical western North Pacific during summer [J]. *Monthly Weather Review* 1996, 124: 245-266.
- [20] Liebmann B, Hendon H H. Synoptic-scale disturbances near the equator [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 1990, 47: 1463-1479.
- [21] Lau N H, Lau N G. Observed structure and propagation characteristics of tropical summertime synoptic-scale disturbances [J]. *Monthly Weather Review* 1990, 118: 913-913.
- [22] Takayabu Y N, Nitta T. 3-5 day period disturbances coupled with convection over the tropical Pacific Ocean [J]. *Journal of Meteorological Society of Japan* 1993, 71: 221-245.
- [23] Dickinson M, Molinari J. Mixed Rossby-gravity waves and western Pacific tropical cyclogenesis. Part I: Synoptic evolution [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 2002, 59: 183-2196.
- [24] Briegleb L M, Frank W M. Large-scale influences tropical cyclogenesis in the western North Pacific [J]. *Monthly Weather Review*, 1997, 125: 1397-1413.
- [25] Ayyer A, Molinari J. Evolution of mixed Rossby-gravity waves in idealized MJO environment [J]. *Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 60: 2837-2855.
- [26] Kuo H C, Chen J H, Williams R T, et al. Rossby waves in zonally opposing mean flow: Behavior in Northwest Pacific summer monsoon [J]. *Journal of Atmospheric Sciences* 2001, 58: 1036-1050.
- [27] Huang Ronghui, Guo Qiyun, Sun Anjian, et al. Analysis Illustration of Chinese Climatological Disasters [M]. Beijing: Oceanographic Press, 1997. [黄荣辉, 郭其蕴, 孙安健, 等编. 中国气候灾害分析图集[M]. 北京: 海洋出版社, 1997.]
- [28] Chan J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon [J]. *Monthly Weather Review*, 1985, 113: 599-606.
- [29] Lander M A. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO [J]. *Monthly Weather Review* 1994, 122: 636-651.
- [30] Wu G, Lau N C, GCM A. simulation of the relationship between tropical-storm formation and ENSO [J]. *Monthly Weather Review*, 1992, 120: 958-977.
- [31] Wang B, Chan J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific [J]. *Journal of Climate* 2002, 15: 1643-1658.
- [32] Chan J C L. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Niña events [J]. *Journal of Climate* 2000, 13: 960-972.
- [33] Frank W M. Tropical cyclone formation [C]. *A Global View of Tropical Cyclones*. Office of Naval Research 1987: 53-90.
- [34] Chen T C, Wang S P, Yamasaki N, et al. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific [J]. *Monthly Weather Review*, 1998, 126: 1080-1090.
- [35] Wang B, Wu R. Peculiar temporal structure of the South China Sea summer monsoon [J]. *Advances of Atmospheric Sciences* 1997, 14: 177-194.
- [36] Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the northwest Pacific [J]. *Journal of Climate* 2002, 15: 2934-2944.
- [37] Ho C H, J. J. Bak Kim J H, Gong D Y. Interdecadal changes in summertime typhoon tracks [J]. *Journal of Climate*, 2004, 17: 1767-1776.
- [38] Li C. Actions of typhoon over the western Pacific (including the South China Sea) and El Niño [J]. *Advances Atmospheric Sciences*, 1988, 5: 107-115.
- [39] Gray W M. Atlantic seasonal hurricane frequency Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences [J]. *Monthly Weather Review* 1984, 112: 1649-1668.
- [40] Zhang G, Zhang X, Wei F. A study on the variations of annual

- frequency of tropical cyclone in northwest Pacific during the last hundred years[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 1994, 11: 315-323.
- [41] Chan J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the stratospheric quasi-biennial oscillation[J]. *Monthly Weather Review*, 1995, 123: 2567-2571.
- [42] Yumoto M, Matsuura T. Interdecadal variability of tropical cyclone activity in the western North Pacific[J]. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 2001, 79: 23-35.
- [43] Chan J C L, Liu K S. Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective[J]. *Journal of Climate*, 2004, 17: 4590-4602.
- [44] Matsuura T, Yumoto M, Iizuka S. A mechanism of interdecadal variability of tropical cyclone activity over the western North Pacific[J]. *Climate Dynamics*, 2003, 21: 105-117.
- [45] Hess J C, Elsner J B, LaSair N E. Improving seasonal hurricane predictions for the Atlantic basin[J]. *Weather Forecasting*, 1995, 10: 425-432.
- [46] Nicholls N. Recent performance of a method for forecasting Australian seasonal tropical cyclone activity[J]. *Australian Meteorological Magazine*, 1992, 40: 105-110.
- [47] Chan J C L. Seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the western North Pacific and the South China sea[J]. *Weather Forecasting*, 1998, 13: 997-1004.
- [48] Krishnamurti T N, Correa-Torres R, Laif M, et al. The impact of current and possibly future sea surface temperature anomalies on the frequency of Atlantic hurricanes[J]. *Tellus*, 1998, 50: 186-210.
- [49] Knutson T R, Tuleya R E, Shen W, et al. Impact of CO<sub>2</sub> induced warming on hurricane intensities as simulated in a hurricane model with ocean coupling[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14: 2458-2468.
- [50] Emanuel K A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. *Nature*, 2005, 436: 686-689.
- [51] Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. Changes in tropical cyclones number, duration, and intensity in a warming environment[J]. *Science*, 2005, 309: 844-846.
- [52] Wu L, Wang B. Assessing impacts of global warming on tropical cyclone tracks[J]. *Journal of Climate*, 2004, 17: 686-698.

## Research on Climatological Problems of Tropical Cyclone and Typhoon Activity in Western North Pacific

CHEN Guang-hua, HUANG Rong-hui

(Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Tropical Cyclone (TC) and typhoon is one of the severe and abrupt natural disasters. In recent 20 years, the research on TC and typhoon climatology has become one significant aspect of TC field and made great progress. Reviewing the previous studies of the TC variation on time scales longer than season, this paper presents major mechanisms which modify the variation of TC and typhoon activity in the western North Pacific (WNP). These mechanisms involve low frequency oscillation, monsoon trough and west-propagating equatorial waves, ENSO and QBO, which alter the circulation feature and thermal structure in WNP. Based on the latest research progress and authors study results on TC and typhoon climatology, the prospect in this field and some further consideration of the scientific problems, including energy exchange in monsoon trough, dynamics processes in difference area, evolution of equatorial waves and TC prediction on time scales longer than season are proposed.

**Key words:** Western North Pacific; Tropical Cyclone; Climatology; Research progress.