

徐明,余锦华,赖安伟,等.环境风垂直切变与登陆台风强度变化关系的统计分析.暴雨灾害,2009,28(3):339-344.

# 环境风垂直切变与登陆台风强度变化关系的统计分析

徐明<sup>1,2,3</sup>,余锦华<sup>1,2</sup>,赖安伟<sup>1</sup>,彭菊香<sup>1</sup>

(1.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;2.江苏省气象灾害重点实验室,南京 210044;  
3.南京信息工程大学大气科学学院,南京 210044)

**摘要:** 为了了解环境风垂直切变在登陆台风强度突变下所起的作用,利用 1990—2004 年登陆中国的 111 个台风的强度、登陆位置以及 NCEP/NCAR 每日 4 次等压面风场等资料,分析了风速垂直切变对台风登陆过程中强度变化的影响。结果表明,与海盆中相比,环境风垂直切变与登陆台风强度的线性相关性减小,滞后的时间长度减短;环境风垂直切变与滞后 6~18 h 的台风强度有不可忽视的相关性,与滞后 6 h 的台风强度相关最佳,相关系数为 0.215;对于显著增强的登陆台风,其所处的环境风垂直切变不太大,平均在  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下,反之当环境风垂直切变在  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上时,登陆台风的强度也有可能显著减弱;与在华南登陆的台风相比,在华东登陆的台风其减弱型样本相对更多,其强度受风速垂直切变影响衰减得更快。

**关键词:** 风速垂直切变;登陆台风;台风强度变化

中图分类号:P458.1\*24 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)03-0339-06

## 1 引言

由于环境风垂直切变与台风强度有较好的统计关系,在台风强度的预测中常被用作参数<sup>[1]</sup>。如 DeMaria 等人<sup>[2]</sup>建立的统计动力模式 SHIPS(Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme),被美国国家飓风中心应用于大西洋和东太平洋海盆(以下简称海盆)中台风强度的预测。Knaff 等<sup>[3]</sup>在 SHIPS 基础上发展了一个预测西北太平洋台风强度的统计动力模式,即 STIPS(Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme)。考虑登陆台风外部环境的影响,DeMaria 等<sup>[4]</sup>、Knaff 等<sup>[3]</sup>分别用一个经验衰减模式对 SHIPS 和 STIPS 进行修正,以预测登陆台风的强度,但环境风垂直切变这一预测因子仍保留在模式中。实际上,已得到的环境风垂直切变与台风强度变化间的关系主要针对的是海盆中两者的统计分析结果。与在海洋上相比,登陆台风所处的外部环境发生了变化,下垫面由海洋逐渐变为陆地,使来自下垫面进入台风系统的潜热输送逐渐减少,其次是下垫面非对称摩擦和复杂地形的作用,此外进入台风系统的环境水汽也会发生变化,这都会对台风强度产生影响。余晖等<sup>[5]</sup>的统计结果表明,有 17%左右的台风靠近岛屿及大陆沿岸时强度增强。梁必骥等<sup>[6]</sup>经统计分析指出,近海加强的台风约占登陆我国台风的 1/4 左右。Heymsfield 等<sup>[7]</sup>在观测研究中提出,热带风暴 Chantal(2001)在登陆尤卡坦半岛期间,环境风垂直切

变在阻止其增强中起着很重要的作用。Tuleya<sup>[8]</sup>的研究认为,地面摩擦和相对湿度的减少增大了登陆台风强度的衰减。台风强度与地面蒸发和大尺度环境对流潜能有很好相关<sup>[9]</sup>。Kimball<sup>[10]</sup>模拟登陆飓风的结果表明,具有小范围环境水汽的风暴发展为弱的风暴,相反具有大范围环境水汽的风暴可以发展成强的风暴。台风强度预测的改进部分依赖于所能理解的台风对环境风垂直切变响应的程度。台风登陆过程,环境风垂直切变与台风强度是否存在一定的统计联系?与海盆中相比,环境风垂直切变作为登陆台风强度预测因子是否需要作一些修正?针对此类问题,本文利用 1990—2004 年登陆我国大陆的台风资料,分析环境风垂直切变与登陆台风强度间的统计联系,以便为改进登陆台风强度预测、提高登陆台风强度预测水平提供科学依据。

## 2 资料选取与研究方法

### 2.1 环境场资料

本文使用了 1990—2004 年空间分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  的 NCEP/NCAR 平均风场资料,该资料以世界时为标准,每日有 00、06、12、18 时 4 个时次的记录。环境风垂直切变反映的是大尺度环境场水平纬向风和经向风随高度的变化,是大尺度环境场水平风的垂直切变。关于风场垂直切变的求法差异很大。近年来许多学者利用 850 hPa 和 200 hPa 两层区域平均

收稿日期:2009-01-10;定稿日期:2009-08-19

基金项目:国家自然科学基金(40775060)、江苏省高校自然科学基金项目(07KJB170065)、武汉暴雨所开放基金(0810)共同资助

作者简介:徐明,男,1983 年生,助理工程师,主要从事暴雨机理研究。E-mail: iherxum@163.com

的风场矢量差来计算垂直切变值,但在所取的区域范围上又有较大差别。如 Palmer 等<sup>[11]</sup>利用九点平滑的方法,分别计算了 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 、 $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 、 $15^{\circ}\times 15^{\circ}$ 三种网格内的平均风场的垂直切变,从经验来看, $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 网格内的垂直切变值相对较好。本文的环境风垂直切变是指 200 hPa 和 850 hPa 两气压层之间的平均风矢量差。令 $\Delta U=\bar{u}_{200}-\bar{u}_{850}$ 、 $\Delta V=\bar{v}_{200}-\bar{v}_{850}$ ,切变值 $w_s=[(\Delta U)^2+(\Delta V)^2]^{1/2}$ ,单位为 $m\cdot s^{-1}$ 。因此,在具体的计算过程中,以每个时次台风的中心位置为中心点,计算登陆台风中心周围 $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 范围内 200 hPa 和 850 hPa 之间的平均风矢量差。

## 2.2 台风强度样本的选取

找出 1990—2004 年登陆中国大陆的所有台风个例,并针对每一近海台风,选取登陆前任意一个“记录时次”的台风中心与登陆后“第 2 记录时次”的台风中心之间的距离在 500~600 km 范围内所有样本作为登陆台风样本,即本文选用的登陆台风样本着重于台风登陆阶段。另外,由于本文主要研究登陆台风,因此台风强度(以中心最低气压描述)、位置等参数均取自上海台风研究所整编的《热带气旋年鉴》,虽其强度参数(近中心最大风速)与美国台风联合警报中心(JTWC)的最佳路径(best track)给出的不完全相同,个别时次还相差很大<sup>[12]</sup>,但经分析比较发现,两者极大强度的年际变化形态很相似,在选取年份相同时,其系统误差较小,均以 Dvorak 方法估计的强度为基础。其登陆期间,陆地上有现场观测,因此《热带气旋年鉴》中的强度参数用在本文中是可行的。

一般认为,近海台风登陆前,当其中心位置与海岸距离小于其平均半径时,陆地影响开始显现。不同范围、不同强度、不同移速的台风,开始受陆地影响的距离或时间应当是不同的,范围小(大)的台风受影响的距离近(远),移速快(慢)的受陆地影响的时间短(长),等等。经对所选取的近 50 个台风进行距离运算发现,其登陆前 24 h 与海岸最近距离大致在 400~500 km。因此,为方便起见,本文针对 1990—2004 年 15 年中的每一登陆台风,根据其登陆时间,在其登陆前 24 h 开始取样,在海洋中和陆地上分别取 4 个、2 个时次,每个登陆台风选取 6 个样本;共选取台风 111 个(样本 666 个)作为登陆阶段的对象进行统计分析。同时,为了进行比较,本文统计了台风登陆前(海上阶段)的样本和登陆后(陆上阶段)的样本;登陆前阶段的样本取自台风开始编号的时次直到登陆阶段的第一个时次为止,登陆后阶段时次的选取依据登陆阶段的最后一个时次向后推移直到台风结束编号的那个时次。

## 3 环境场水平风垂直切变与登陆台风强度的关系

### 3.1 环境风垂直切变的概率分布

统计结果表明,登陆阶段 666 个样本环境风垂直切变平均值为 $8.07 m\cdot s^{-1}$ ,最小仅 $0.08 m\cdot s^{-1}$ ,最大为 $27.91 m\cdot s^{-1}$ 。按 $1 m\cdot s^{-1}$ 的间隔进行分组,得到图 1 所示环境风垂直切变的概率分布。

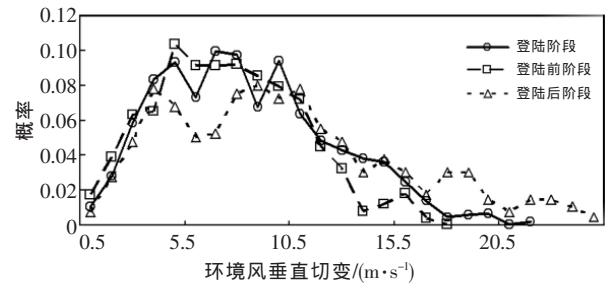


图 1 1990—2004 年登陆中国大陆 111 个台风 666 个样本环境风垂直切变的概率分布

从图 1 中可见,登陆阶段概率比较高的环境风垂直切变值在 $3.5\sim 10.5 m\cdot s^{-1}$ ,占全部样本的 43.11%,概率最高的为 $6.5 m\cdot s^{-1}$ 、 $7.5 m\cdot s^{-1}$ ,约占样本总数的 10%左右;环境风垂直切变分布非正态,而是偏向低值端,高值端出现概率小;登陆前阶段样本的平均环境风垂直切变值为 $7.71 m\cdot s^{-1}$ ,最小 $0.3 m\cdot s^{-1}$ ,最大 $27.98 m\cdot s^{-1}$ 。从中还可看到,登陆前阶段概率比较高的环境风垂直切变值为 $2.5\sim 10.5 m\cdot s^{-1}$ ,约占全部样本的 65%,概率最高的为 $5.5 m\cdot s^{-1}$ ,约占样本总数的 10%左右;登陆后阶段样本的平均环境风垂直切变值达 $9.97 m\cdot s^{-1}$ ,最小 $0.6 m\cdot s^{-1}$ ,最大 $28.7 m\cdot s^{-1}$ ;登陆后阶段概率比较高的环境风垂直切变值为 $2.5\sim 12.5 m\cdot s^{-1}$ ,占全部样本的 70%以上,概率最高的为 $3.5 m\cdot s^{-1}$ 、 $10.5 m\cdot s^{-1}$ ,约占样本总数的 8.5%左右。

### 3.2 与登陆台风强度的关系

本文所选取的登陆阶段的样本中,台风中心气压平均为 979.5 hPa,最高、最低分别为 1 002 hPa 和 930 hPa,其强度相差 72 hPa。环境风垂直切变与登陆台风强度(台风中心气压最低值)是否存在达到一定信度水平的统计关系,是选择环境风垂直切变作为统计预测因子的基础。从环境风垂直切变与登陆阶段台风中心气压的散点图上看到(图 2),两者存在线性正比关系,趋势变化一致,即环境风垂直切变值增大,台风中心气压值上升,台风强度减弱,这与海盆中两者的统计关系是一致的;但滞后 12 h 后,离散度开始增大(图 2c);环境风垂直切变与登陆台风强度的线性相关同期为 0.20,滞后 6 h 的相关系数最大(达 0.215);之后随两者间隔时间延长,相关性降低,24 h 以后两者相关较小,

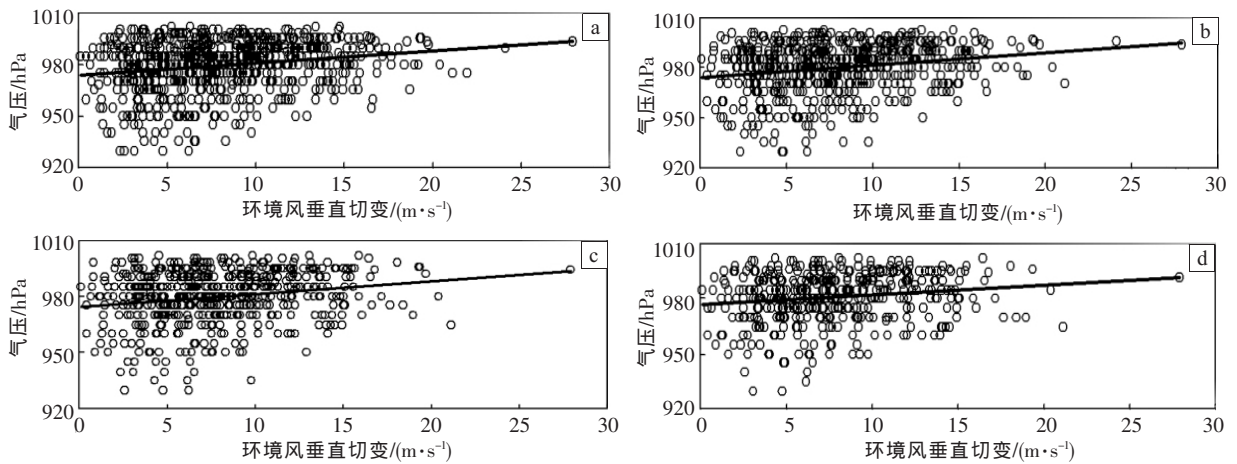


图 2 1990—2004 年登陆中国大陆 111 个台风 666 个样本环境风垂直切变与登陆台风中心气压的关系  
(a) 同期; (b) 气压滞后环境风垂直切变 6 h(下同); (c) 滞后 12 h; (d) 滞后 18 h

30 h 以后更小,且正负号发生改变,由正转负(表 1),环境风垂直切变样本与台风强度变化值样本中除最后一个时段(24 h)外,样本信度均能通过 0.10 以上的统计检验。Paterson<sup>[13]</sup>对澳大利亚海域环境风垂直切变与台风强度关系的分析结果表明,台风强度变化对环境风垂直切变有一个 12~36 h 的滞后响应时间,环境风垂直切变与滞后 36 h 台风强度的相关最大(为 0.40),这与本文统计的登陆前阶段环境风垂直切变与登陆台风强度的线性关系几乎相同(表 1),且在各个时段内信度均通过 0.05 以上的统计检验。

表 1 1990—2004 年台风登陆阶段环境风垂直切变与各时刻台风强度的相关系数

| 相关系数  | 同期    | 滞后    |       |        |        |        |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|       |       | 6 h   | 12 h  | 18 h   | 24 h   | 30 h   |
| 登陆前阶段 | 0.270 | 0.310 | 0.340 | 0.360  | 0.370  | 0.390  |
| 登陆阶段  | 0.200 | 0.215 | 0.198 | 0.163  | 0.097  | -0.008 |
| 登陆后阶段 | 0.096 | 0.043 | 0.012 | -0.007 | -0.003 | -0.001 |

综上可见,环境风垂直切变与登陆台风强度的相关性与海盆中两者的统计关系相比有两点差异:一是总体相关性弱于后者,如 Paterson 的结果是两者的相关系数均在 0.30 以上;二是滞后时间不同,本文滞后 6~12 h 的相关性最好,滞后时间短于海盆,表明台风登陆过程由于诸如地表性质的非均匀性、地形等其它因子的作用,平均纬度偏高,一方面使环境风垂直切变的影响效应减弱,另一方面使环境风垂直切变的影响时间缩短。对登陆台风来说,环境风垂直切变对 24 h 以后的台风强度变化的影响很小,作为台风强度的预测因子,根据不同时段对环境风垂直切变应取不同权重。登陆后阶段由于地形、纬度等因子的影响作用进一步增大,环境风垂直切变与登陆台风强度的线性关系值很小(表 1),样本信度在各个时段内都未通过一定

的统计检验,风切变对登陆台风强度的影响几乎可以忽略。

### 3.3 与登陆阶段台风强度变化的关系

6 h 变压( $\Delta p_6$ )是指相邻定位时次的后一台风中心气压与前一中心气压相减所得的值,其平均值为 1.56 hPa,按 3 hPa 的间隔进行分组,其概率分布见图 3。

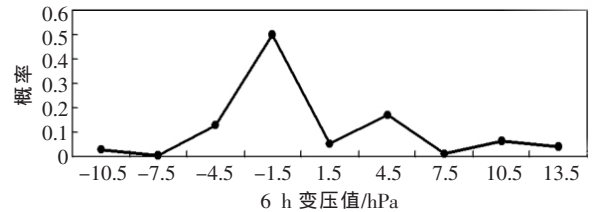


图 3 1990—2004 年登陆中国大陆台风 6 h 变压的概率分布

从图 3 中可见,其分布是非正态的,呈右偏趋向,-1.5 hPa 出现的概率最高(达 50%),表明 6 h 内热带气旋强度增强的概率大于 50%,由于其增强幅度较小、减弱幅度较大,所以平均变压值为正。经统计可知, $\Delta p_6$  小于 -5 hPa 的样本为 98,占总样本的 14.6%,即明显增强的概率约 14.6%; $\Delta p_6$  小于 -10 hPa,表现出登陆台风快速增强的过程,其占总样本的比例为 8.6%;变压大于 5 hPa(台风强度明显减弱)的样本是 186,占总样本的 27.7%,高于台风明显增强的概率,由此而知,台风强度比较稳定的样本出现的概率最高;12 h 变压的平均值为 2.46 hPa,大于 6 h 平均变压,表明登陆台风 12 h 内减弱的幅度平均要大于 6 h。

若按 5 hPa 的间隔进行分组,其概率分布见图 4。从中可见,概率出现最高的在 -2.5 hPa 附近(为 34%左右),小于 6 h 的最高概率,但气压减低 7.5 hPa 以上的概率达 24%,大于 6 h 的;18 h 变压的平均值为 3.22 hPa,大于 12 h 和 6 h 的,表明 18 h 平均台风减弱比 12 h、6 h 的显著,概率出现最高的变压值与 12 h 相同,也是在 -2.5 hPa 附近,其概率为 25%,比 12 h 的

34%小 9%；变压值在-7.5 hPa 附近以及-7.5 hPa 以下的概率为 27.4%，大于 12 h 的。从整个来看，登陆台风强度增大的机率较高，对在登陆过程中快速增强的这些台风应特别关注。

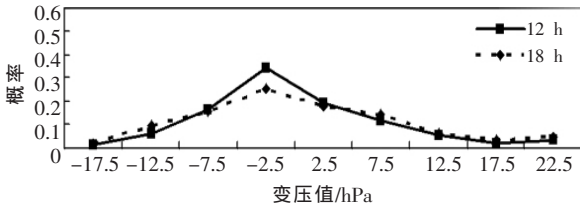


图 4 1990—2004 年登陆中国大陆台风 12 h 及 18 h 变压的概率分布

将垂直切变以间隔  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  进行分组，表 2 列出登陆阶段与各组风切变相对应的 6、12、18、24 h 中心变压均值。

表 2 以  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  为间隔的风切变平均值与对应的 6 h ( $\Delta p_{6h}$ )、12 h ( $\Delta p_{12h}$ )、18 h ( $\Delta p_{18h}$ )、24 h ( $\Delta p_{24h}$ ) 各时段中心变压平均值

| 风切变平均值/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 样本个数 | 风切变间隔/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ | $\Delta p_{6h}/\text{hPa}$ | $\Delta p_{12h}/\text{hPa}$ | $\Delta p_{18h}/\text{hPa}$ | $\Delta p_{24h}/\text{hPa}$ |
|--|------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2.05                                   | 67   | $0 < w_s \leq 6.0$                    | 1.39                       | 2.34                        | 3.36                        | 6.00                        |
| 7.39                                   | 172  | $6.0 < w_s \leq 9.0$                  | 2.02                       | 2.84                        | 4.03                        | 5.98                        |
| 10.26                                  | 140  | $9.0 < w_s \leq 12.0$                 | 2.19                       | 3.80                        | 3.87                        | 6.16                        |
| 13.46                                  | 77   | $12.0 < w_s \leq 15.0$                | 3.23                       | 4.42                        | 7.83                        | 11.77                       |
| 17.48                                  | 41   | $w_s > 15.0$                          | 4.63                       | 5.36                        | 6.31                        | 9.15                        |

由表 2 可见：就所统计的 666 个样本而言，在风切变均值变化过程中，登陆台风的 6~24 h 平均中心变压均为正值(平均中心变压  $\Delta p > 0$ )，由于台风是低压系统， $\Delta p > 0$  时其强度是减弱的，风切变对登陆阶段的台风强度有一定的削弱作用，而这种削弱作用在风切变值( $w_s$ )增大过程中是有变化的， $0 < w_s \leq 6.0$  时，削弱作用较弱， $6.0 < w_s \leq 12.0$  时，削弱作用开始有所增强， $w_s > 12.0$  时削弱作用迅速增强。总体趋势是，1)较弱的环境风垂直切变对登陆台风强度的削弱作用较小，有利于登陆台风强度的维持，而当垂直切变大于  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  后，其对强度的削弱作用明显较强。这些与以往海盆中的研究结果有些差异，如对于西北太平洋，Gallina<sup>[14]</sup>提出台风从增强到减弱的环境风垂直切变阈值为  $9\sim 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而 Zear<sup>[15]</sup>对同样的海域给出的环境风垂直切变阈值为  $12.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，Zhang 等<sup>[16]</sup>给出的环境风垂直切变阈值为  $15\sim 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。2)通过比较同一间隔内的 6、12、18、24 h 的平均变压发现，在 6~24 h 内两者时间间隔越长，环境风垂直切变对台风强度的变化影响越大，环境风垂直切变与登陆台风强度变化存在一定程度的滞后效应。

为了进行比较，图 5 给出登陆前阶段和登陆后阶段一定范围内的垂直切变对各时刻变压均值影响的

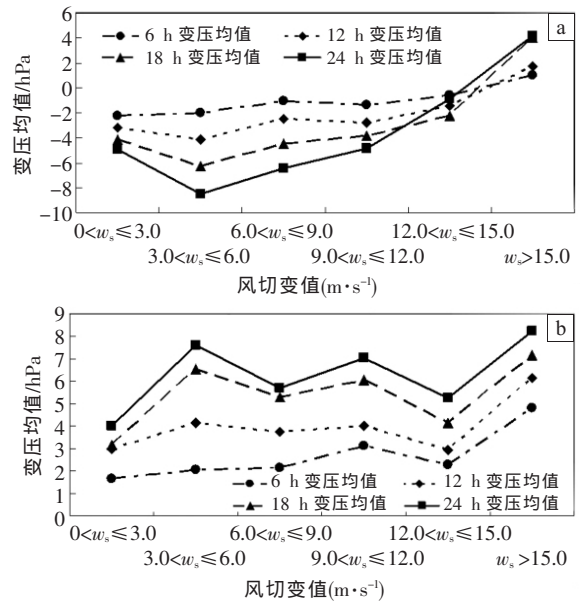


图 5 一定范围内的环境风垂直切变对各时刻变压均值的影响 (a)登陆前阶段；(b)登陆后阶段

折线图。从台风登陆前阶段变压均值随环境风垂直切变值变化的折线图上可见(图 5a)，当环境风垂直切变达到  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，远海区域中登陆台风在开始发展的大约 24 h 内强度都会有所增加，且  $3\sim 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  区间内台风强度明显增加；风切变达到  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以后，台风强度开始减弱，并在  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以后削弱作用达到最强；从 6~24 h 变压均值的折线图看，风切变达到  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  左右时，相对台风强度开始出现时间滞后。从登陆后阶段所有样本各时间间隔的变压均值随环境风垂直切变值变化的折线图上可见(图 5b)，在台风登陆后，6~24 h 平均中心变压均为正值，台风强度减弱较为明显；环境风垂直切变对台风强度的削弱作用有一定的上下振荡，其三个极值分别位于  $3\sim 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $9\sim 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以及大于  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  区间。

另外，以 6 h 变压为基础，统计一定变压范围内风切变的变化，同样可显示变压与环境风垂直切变的统计关系(表 3)。

表 3 6 h 变压均值( $\Delta \bar{p}$ )与环境风垂直切变的关系

| 6 h 平均变压/hPa | 样本数 | 6 h 变压间隔/hPa                   | 风切变平均/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ |
|--------------|-----|--------------------------------|---------------------------------------|
| -10.0        | 18  | $\Delta p_6 \leq -10.0$        | 7.1                                   |
| -5.11        | 79  | $-10.0 < \Delta p_6 \leq -5.0$ | 7.91                                  |
| -0.12        | 341 | $-5.0 < \Delta p_6 \leq 0.0$   | 8.19                                  |
| 4.33         | 147 | $0.0 < \Delta p_6 \leq 5.0$    | 8.41                                  |
| 9.52         | 52  | $5.0 < \Delta p_6 \leq 10.0$   | 7.67                                  |
| 14.70        | 17  | $10.0 < \Delta p_6 \leq 15.0$  | 8.43                                  |
| 24.83        | 12  | $\Delta p_6 > 15.0$            | 5.39                                  |

从表 3 中可见，6 h 变压平均从负值增大到正值，

即登陆台风强度从显著增强到显著减弱,相应的环境风垂直切变数值大体是增大的;变压在 5~10 hPa 内的样本数仅为 52 以及变压值在 15 hPa 以上的小概率事件表明环境风垂直切变的减弱作用可能弱于其它因素的影响。

另从 6 h 变压与环境风垂直切变的散点图上可见(图 6),两者的线性关系不很明显,变压在 0 值附近比较集中,相应的环境风垂直切变变化的范围较大。这表明台风登陆过程,由于有多种因素的影响,使环境风垂直切变与强度变化的关系复杂化。

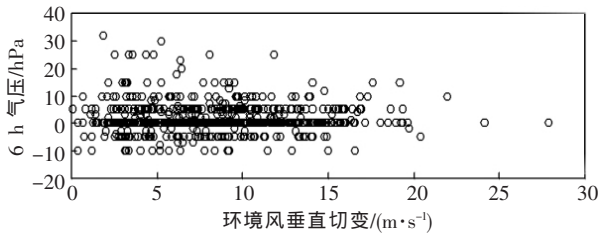


图 6 环境风垂直切变与 6 h 变压的关系

### 3.4 与登陆华南、华东台风强度变化的关系

由于其登陆地点不同,造成了台风登陆时地理特征的差别,且强度受环境风垂直切变影响的差别可能也很大。本文将统计的 111 个台风划分为在华东登陆和在华南登陆,其中华东包括江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东及上海市,华南包括广东、广西及海南省,另将台风样本分为增强样本、稳定样本和减弱样本三类。在华东、华南登陆的各类台风样本及其特征量见表 4。

表 4 1990—2004 年在华东、华南登陆台风强度变化的统计特征量

| 特征量                                | 增强样本  |       | 稳定样本 |      | 减弱样本  |       |
|------------------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
|                                    | 华东    | 华南    | 华东   | 华南   | 华东    | 华南    |
| 台风样本数                              | 8     | 7     | 202  | 217  | 45    | 26    |
| 比例 %                               | 3.1   | 2.8   | 79.3 | 86.8 | 17.6  | 10.4  |
| 变压均值/<br>[hPa·(6h) <sup>-1</sup> ] | -9.38 | -9.57 | 1.28 | 0.07 | 13.58 | 13.88 |

\* 不同区域不同样本指占总样本的比例

在华东登陆的台风样本中,增强型样本[6 h 变压  $\Delta p_6 < 0 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 23, 占总样本数的 9.0%, 平均增强速率为  $-5.78 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 减弱型样本[ $\Delta p_6 > 0 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 117, 占总样本数的 45.9%, 平均减弱速率为  $7.93 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ 。依据文献[5]、[17]中的标准对其进行修正后(表 4), 增强型样本[ $\Delta p_6 \leq -5.78 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 8, 占总样本数的 3.1%, 平均增强速率为  $-9.38 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 减弱型样本[ $\Delta p_6 \geq 7.93 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 45, 占总样本的 17.6%, 平均减弱速率为  $13.58 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 稳定样本数为 202, 占总样本数的 79.3%, 平均变压速率为  $1.28 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ 。

在华南登陆的台风样本中,增强型样本[ $\Delta p_6 < 0 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 50, 占总样本数的 20.0%, 平均增强速率为  $-5.60 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 减弱型样本[ $\Delta p_6 > 0 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 79, 占总样本数的 31.6%, 平均减弱速率为  $7.46 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ 。经过采用上述同样方法修正后(表 4), 增强型样本[ $\Delta p_6 \leq -5.60 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 7, 占总样本数的 2.8%, 平均增强速率为  $-9.57 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 减弱型样本[ $\Delta p_6 \geq 7.46 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ]数为 26, 占总样本数的 10.4%, 平均减弱速率为  $13.88 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ ; 稳定样本数为 217, 占总样本数的 86.8%, 平均变压速率为  $0.07 \text{ hPa} \cdot (6 \text{ h})^{-1}$ 。

综上所述,受环境风垂直切变及其它因子(地形摩擦、海陆差异等)影响,登陆台风在华东和华南增强的个例很少,且两者相差不大;相对于登陆在华南的台风,登陆在华东的台风受环境风垂直切变的影响要大、台风强度减弱要快。

统计结果表明,1990—2004 年的台风样本中登陆在华东、华南台风分别有 56 个和 55 个。由此可知,台风在华东和华南登陆的个数差别很小。计算登陆阶段环境风垂直切变与华南、华东登陆台风强度变化的相关系数,结果发现,环境风垂直切变与华东登陆台风强度变化相关很好,相关系数在 0.20~0.25 之间,其信度均能通过 0.10 以上统计检验,环境风垂直切变对华东登陆台风强度有很强的削弱作用;相比而言,环境风垂直切变与华南登陆台风强度变化的相关很小,且两者样本在各个时段内都未通过信度检验,环境风垂直切变在台风强度变化过程中所起的作用几乎可以忽略。

## 4 结论与讨论

本文从 1990—2004 年近 15 年登陆我国的台风资料中选取了 111 个登陆台风 666 个样本,统计分析了环境风垂直切变与登陆台风强度及强度变化的关系,得到如下结论。

(1)台风登陆过程中环境风的垂直切变对台风强度和强度变化仍起重要作用,与海盆中相比,环境风垂直切变与登陆台风强度的线性相关性减小,滞后的时间长度减短;环境风垂直切变与滞后 6~18 h 的台风强度有不可忽视的相关性,与滞后 6 h 的台风强度相关最佳,相关系数为 0.215,到了 18 h,相关系数减小到 0.163;进行登陆台风强度的统计预测时,环境风垂直切变可以作为一个预测因子,与海盆中相比以及对不同的预测时间,应取不同的权重,综合其它因子进行若干修正。

(2)在台风登陆过程中,由于下垫面性质变化、地形作用和环境大气中水汽变化等,使环境风垂直切变与登陆台风强度变化的关系表现出复杂的特点。对于

显著增强的登陆台风,其所处的环境风垂直切变不会太大,平均在  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下;反之,当环境风垂直切变在  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下时,登陆台风的强度也有可能显著减弱。在其它外部强迫环境条件不同的情况下,环境风垂直切变的影响效应可能不同。

(3)在华东和华南登陆的台风,增强型样本在统计样本中个例不多;在华东登陆的台风,减弱型样本相对更多,其强度受风速垂直切变影响衰减得更快。

本文只就环境风垂直切变与登陆台风强度变化的关系做了一些统计分析工作,但环境风垂直切变与近中心最大风速变化之间的统计关系还需要进一步分析研究。此外,而在台风登陆过程,环境风垂直切变、下垫面性质的变化,地形的作用,环境水汽的改变等对登陆台风强度及其变化影响的相对重要性如何?在什么环境下环境风垂直切变的影响最突出?要探明这类问题,还有待于利用数值模式、通过数值模拟和敏感性试验继续开展相关研究工作。

#### 参考文献:

- [1] DeMaria M, Kaplan J. Statistical hurricane intensity prediction scheme (SHIPS) for the Atlantic basin [J]. *Wea Forecasting*, 1994, 9: 209-220.
- [2] DeMaria M, Kaplan J. An updated statistical hurricane intensity prediction scheme (SHIPS) for the Atlantic and eastern north Pacific basins [J]. *Wea Forecasting*, 1999, 14:326-337.
- [3] Knaff J A, Sampson C R, DeMaria M. An operational statistical typhoon intensity prediction scheme for the Western North Pacific [J]. *Wea Forecasting*, 2005, 20: 688-699.
- [4] DeMaria M, Mainelli M, Shay L K, et al. Further Improvement to the Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS) [J]. *Wea Forecasting*, 2005, 20(4): 531-543.
- [5] 余晖,端义宏.西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征[J]. *气象学报*,2002,60(6):680-687.
- [6] 梁必骥,陈杰.近海加强的登陆台风统计分析[C]//全国热带气旋科学讨论会论文集.北京:气象出版社,2001:180-185.
- [7] Heymsfield G M, Halverson J, Ri E. Structure of highly sheared tropical storm Chantal during CAMEX-4 [J]. *J Atmos Sci*, 2004, 63: 268-287.
- [8] Tuleya R E. Tropical storm development and decay: sensitivity to surface boundary conditions [J]. *Mon Wea Rev*, 1994, 122: 291-304.
- [9] Shen W, Tuleya R E, Ginis I. A Sensitivity study of the thermodynamic environment on GFDL model hurricane intensity: implications for global warming [J]. *J of Cli*, 2000, 13: 109-121.
- [10] Kimball S K. A Modeling Study of Hurricane Landfall in a Dry Environment [J]. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 1901-1918.
- [11] Palmer C K, Barnes G M. The effect of vertical shear as diagnosed by the NCEP/NCAR Reanalysis data on Northeast Pacific hurricane intensity [G]. Preprints, AMS, 25th Hurricane and Tropical Meteorology, San Diego, CA, 2002: 122-123.
- [12] 余晖,胡春梅,蒋乐怡.热带气旋强度资料的差异性分析[J]. *气象学报*, 2006,64(3):357-363.
- [13] Paterson L A, Hanstrum B N, Davidson N E. Influence of environmental vertical wind shear on the intensity of hurricane-strength tropical cyclones in the Australian region [J]. *Mon Wea Rev*, 2005, 133: 3644-3660.
- [14] Gallina G M, Velden C S. Environmental vertical wind shear and tropical cyclone intensity change utilizing enhanced satellite derived wind information [C]// Proceedings of the 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. San Diego, CA. 2002:172-173.
- [15] Zehr R M. Environmental vertical wind shear with Hurricane Bertha (1996) [J]. *Wea Forecasting*, 2003,18: 345-356.
- [16] Zhang D, Chanh L, Kieu Q. Potential vorticity diagnosis of a simulated hurricane (II): Quasi-balanced contributions to forced secondary circulations [J]. *J Atmos Sci*, 2006, 63:2898-2914.
- [17] 阎俊岳,张秀芝,陈乾金,等.热带气旋迅速加强标准的研究[J]. *气象*, 1995,21(5):9-13.

## A Statistical Analysis on the Relations between Effect of Wind Vertical Shear and Landing Typhoons Intensity

XU Ming<sup>1,2,3</sup>, YU Jin-hua<sup>1,2</sup>, LAI An-wei<sup>1</sup>, PENG Ju-xiang<sup>1</sup>

(1. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;

2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NanJing 210044;

3. Institute of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044)

**Abstract:** 111 landing typhoons' data in China in the latest 15-year (1990—2004) included intensity, landing location and NCEP/NCAR four-time/day reanalysis data for wind field are used to study the impact of vertical shear on typhoon intensity change as the typhoons landing. Compared with the open sea, the linear correlation between wind vertical shear and landing typhoons intensity is decreased, the extent of lag time is reduced. The correlation between wind vertical shear and the typhoon intensity changing in the lag of 6~18h should not be neglected. It's the best correlation with the correlation coefficient of 0.215 when the typhoon intensity changes in the lag of 6h. When the landing typhoon intensity increases significantly, the wind vertical shear is not changing greater, it is not more than  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Otherwise, when the wind vertical shear is more than  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , the landing typhoon intensity may increase slowly. Comparing with the typhoon landed in South China, the intensity of the typhoon landed in East China is weakening faster with the effect of vertical shear.

**Key words:** Wind vertical shear; Landing typhoons; Typhoon intensity change