第25卷 第3期 气 象 科 学 Vol. 25, No. 3
2005年6月 SCIENTIA METEOROLOGICA SINICA June, 2005

登陆我国台风研究概述

陈玉林[1] 周 军[2] 马奋华[2]
(1 南京气信息工程大学 物理系,南京 210044)
(2 南京气信息工程大学大气科学系,南京 210044)

摘 要 首先对登陆我国台风活动的气候特征分析指出,登陆我国的台风频数存在明显的月际、年际和年代际差异;登陆台风具有明显的周期特征和时间日变化特征;并指出了登陆我国台风与厄尔尼诺的联系。对中心最大风速≥17.2 m/s的登陆台风移动趋势进行了统计分析,结果表明不同移动趋势的登陆台风频数不仅与季节有关,还与登陆地段有关。其次总结了近几十年有关登陆台风研究的成果。

关键词 登陆台风 气候特征 移动趋势
分类号 P444 **文献标识码** A

引 言

国际热带气旋研究界自90年代以来,把台风登陆从传统的台风路径体系中分离出来,成为国际台风研究的重点,例如世界气象组织(WMO)的全球天气研究计划(WWRP)美国的天气研究计划(USWRP)[1]和澳大利亚的某些研究项目都把台风登陆作为重点课题投入研究。陈联寿在全国第11届热带气旋科学讨论会上,提出了台风登陆的PDP计划①,指出台风登陆阶段是研究台风、海洋、地形(岛屿、海岸、浅海区大陆架)三者相互作用的唯一手段。也是考察预报警报、社会响应和风暴灾害三者相互影响的良机。登陆台风引起的暴雨、台风大风、风暴潮等都有很大的变化。因此,把登陆作为一个独立的问题来研究十分必要。

目前,气象学者对登陆台风进行了不少研究,取得了许多有益成果。本文利用1949～2001年的台风资料,对登陆我国的台风气候特征进行了统计分析,并与其他研究成果进行了对比。并总结了近几十年来有关登陆台风的研究成果。

本文所用资料1989年之前指热带低压(最大风速为10.8～17.1 m/s)、台风(最大风速为17.2～32.6 m/s)和强台风(最大风速>32.6 m/s);1989年以后指热带低压(最大风速为10.8～17.1 m/s)、热带风暴(最大风速为17.2～24.4 m/s)、强热带风暴(最大风速为24.5～32.6 m/s)和台风(最大风速>32.6 m/s)。不论1989年前后资料分类如何,除特别说明外,本文都统称为台风。

收稿日期:2003-12-13;**修改稿日期**:2004-02-28
基金项目:本文由国家发展规划项目(编号:G1998040907-02-01)资助
第一作者简介:陈玉林(1971-),男(汉),江苏南通,工程师,硕士生,现在南京气象学院,主要从事动力学研究
①陈联寿.台风登陆问题研究的进展.全国第十一届热带气旋科学讨论会论文,1999

1 登陆我国台风的气候特征

西北太平洋是全球台风发生频率最高的海域，中国又是世界各国登陆台风最多的国家。因此，加强对登陆台风的研究具有重要的现实意义。

1.1 登陆我国台风的季节变化

对1949～2001年期间登陆我国的台风统计研究表明，近53 a共有488个台风在我国登陆，约占西北太平洋(包括南海)生成的台风总数的26.6%，平均每年登陆9.2个，登陆最多的年份是1952年和1961年，达到15个；1982年最少，仅为4个。登陆我国的达到风暴级强度的台风(指最大风速≥17.2 m/s)，近53 a为419个，平均每年7.9个。从登陆我国台风数的逐月分布(图1)可见，其趋势与西北太平洋台风分布趋势基本一致，说明西北太平洋生成台风越多，登陆我国的台风也越多。从图1还可以看出，每年台风登陆我国的季节是5～11月，4月和12月各有一个登陆记录，分别出现在1991年和1974年，其他月份无台风登陆。7～9月是台风登陆高峰期，占年平均登陆总数的76.4%。8月份台风登陆强盛期，占年平均登陆总数的28.0%。与各月西北太平洋台风的发生频数相比，变化特征基本一致。对达到风暴级强度的登陆台风(最大风速≥17.2 m/s)的统计研究(图略)也表明，其季节变化特征与西北太平洋台风特征也是一致的。

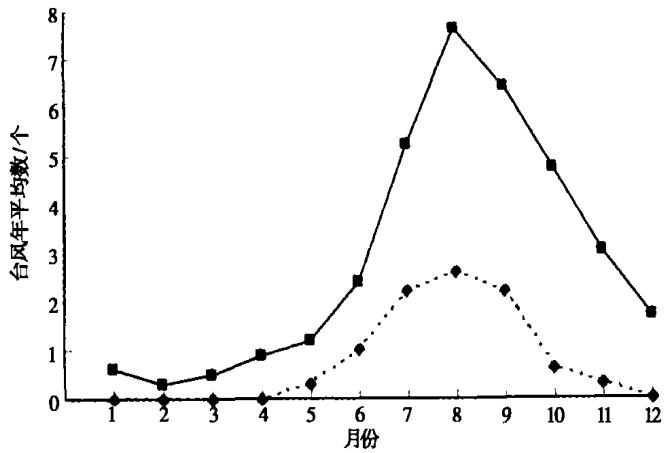

图1 1949～2001年登陆我国台风年平均数与西北太平洋台风年平均发生数的逐月变化
—■—登陆我国台风 —◆— 西北太平洋台风

Fig. 1 The monthly variation of the number of China landing typhoons and typhoons formed in the northwest Pacific from 1949 to 2001

以上结论与文献[2～3]基本一致，稍有出入，与统计时段长短不一有关，但8月登陆台风最多的事实是一致的。

1.2 登陆我国台风的年代际变化

登陆我国的台风数存在明显的年代际差异，50年代、60年代和80年代偏多(年平均数分别为9.7，9.7和9.4个)，70年代和90年代偏少(年平均数分别为8.8和8.6个)，70年代后期到80年代中期有一个较短的偏少期，80年代后期到90年代中期，登陆的台风明显偏多，特别是90年代中后期登陆台风数明显下降，而在最近的几年里登陆台风数明显减少(图2)。

1.3 登陆我国台风的周期特征

对华南沿海登陆台风(25 °N以南沿海登陆的台风)和华东沿海登陆台风(25 °N以北福建、浙江和江苏沿海登陆的台风)周期分析[4]表明，华东沿海登陆台风有较强的短周变化，

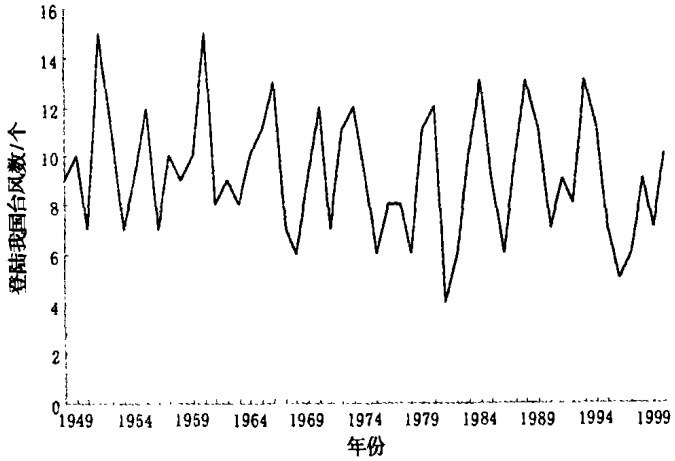

图2 1949～2001年登陆我国台风数的逐年演变

Fig. 2 The annual variation of the number of China landing typhoons from 1949 to 2001

3.75 a和3.33 a的周期都超过0.05显著性水平检验,15 a的周期,仅达到0.10统计显著性水平。华南沿海登陆频数有较明显的长周期变化,30 a和15 a的周期都超过0.05统计显著性水平,而5 a的周期仅达到0.10统计显著性水平。广东省是我国登陆台风最多的省份,对广东登陆台风数的小波分析表明[5],70年代中期是广东登陆台风数的气候跃变期。前期,登陆台风数的变化主要存在准3 a、准7 a和准12 a等三种周期变化;后期,登陆台风数的主要变化周期为准5 a和准8 a。

1.4 我国台风登陆时间日变化特征

对1949～1999年登陆我国台风时间特征分析[6]表明,登陆时间具有一定的日变化特征,登陆时间出现频率在下半夜的2～3时、上午8～12时和上半夜19～23时三个时段较大,半夜24～1时、凌晨4～7时和下午13～18时的出现频率较小。这一出现频率的日变化分布特征在广东表现得最为明显,登陆我国其他地区的时间日变化不明显。分析还表明,较弱台风(指中心气压≥985 hPa的台风)、登陆过程中强度减弱的台风(指登陆过程中0～18 h内中心气压上升、风力减小类台风)的登陆时间具有显著的日变化特征。

1.5 厄尔尼诺现象对登陆我国台风数的影响

对登陆我国台风与厄尔尼诺年、拉尼娜年的关系分析表明,厄尔诺年(指Nino3区(5 °S～5 °N,150 °W～90 °W)的海表温度SST连续6个月以上高于正常0.5 ℃的年份)登陆我国台风数偏少,拉尼娜年(指Nino3区(5 °S～5 °N,150 °W～90 °W)的海表温度SST连续6个月以上低于正常0.5 ℃的年份),登陆我国台风数偏多[4]。

需要指出的是,对于登陆台风的厄尔尼诺事件的统计关系,并不是一一对应关系,因此,结论只是对登陆台风预报提供参考。

2 登陆我国台风的路径

2.1 陆地路径的分类及登陆台风出现频数

70年代,对台风移动问题的研究主要针对台风在海上的路径,台风的陆地路径研究还不够深入。陈联寿[7]指出:陆地路径很重要,台风登陆以后的影响范围和风雨分布均与陆地路径密切相关。为此对1949～1974年登陆台风的陆地路径分为7类。并对7类陆地路径的历史资料普查表明,优势陆地路径因登陆地段而异。

2.1.1 不同地段登陆台风的月际分布

本文将中国沿海分为3个登陆地段：Ⅰ段从广西东兴到广东饶平(包括海南岛)，Ⅱ段从福建诏安到上海市，Ⅲ段为江苏沿海、辽鲁冀沿海及辽宁丹东以北。由此，对1949～2001年在3个登陆地段登陆我国台风(指中心最大风速≥17.2 m/s的台风，下同)的逐月分布(表1)的分析表明：在广西至广东沿海(包括海南岛)登陆的台风频数最高，占全部登陆台风总数的半以上(60.1%)，平均每年4.8个。近53 a中，7，8，9三个月登陆台风频数差不多，分别占该地段登陆台风总数的23.4%，22.2%，24.2%。53年中，4月和12月唯一的两例登陆台风也都在广东沿岸登陆。其次是福建沿海到上海市，占登陆台风总数的36.3%，平均每年2.9个台风登陆。江苏以北登陆台风最少，只有7例台风，且只在7，8月出现，其他月份无台风在此地段登陆。与文献[8]按照不同登陆点的纬度对1949～1996年登陆台风进行分析的结果是一致的，即从冬到夏，台风登陆点的纬度逐渐北移，7，8月达到最北，登陆点的平均纬度在24 °N左右，9月份开始南移。台风登陆我国的地区主要集中在18～26 °N，即从海南到福建的南方各省沿海。其中最多的是20～24 °N的广东、广西和海南。可见从广西到福建沿海各省不论是现在还是将来，做好登陆台风的预报和防灾减灾工作，对减少台风灾害对全国人民财产损失是非常重要的。

表1 1949～2001年不同地段登陆台风的逐月分布

Table 1 The monthly variation of China landing typhoons in different position from 1949 to 2001

登陆地段	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
Ⅰ段	1	9	28	59	56	61	26	11	1	252
Ⅱ段		3	13	41	48	41	3	3		152
Ⅲ段				7	8					15
合计	1	12	41	107	112	102	29	14	1	419

2.1.2 登陆台风移动路径

按照文献[7]对台风陆地路径的分类，与台风登陆前的移向和登陆点位置无关。若是台风登陆前后移向一致，那么对登陆台风的路径预报变的较为简单。但是，有些台风登陆后路径虽然相同，但登陆前移动方向却是不同的。反之，有些台风登陆前移动方向相同，但登陆后移动方向却是不同的。因此，笔者按照台风登陆后相对于登陆前移向的改变，将登陆台风的路径分为6类：第1类，台风登陆后移向基本不变(包括西或西北行登陆后方向不变，东北或偏北行登陆后方向不变)；第2类，台风登陆后移向左折(西北行登陆后偏西行，西或西北行登陆后转向西南，偏北行登陆后西行或西北行)；第3类，台风登陆后移向右折(西北行登陆后偏北后转向西北，偏北行登陆后转向东北，西行登陆后转向西北)；第4类，登陆后12 h消失；第5类，回旋登陆或登陆后回旋；第6类，复杂类路径(没有一定的路径趋向)。

对1949～2001年登陆台风移向的统计分析(表2)表明，第1类路径(移向其本不变类)出现频率最高，占登陆台风总数的39.4%。其次第3类路径(移向右折类)，占登陆台风总数的23.6%。第2类路径出现频率与第3类差不多，占登陆台风总数的21.5%。从表2还可以看出，前3类路径不仅登陆频率高，而且月际差异也比较明显，出现盛期都在7～9月。后3类路径不仅出现频率小，而且除有些月份不出现外，其他月份无明显差异。因此，对这3类登陆台风路径的预报是难点。登陆台风各类路径的出现不仅与季节有关，还因登陆点的不同而有所

差异。从表3可以看出,前3类路径在地段Ⅰ、Ⅱ出现频率都较高。在地段Ⅲ登陆台风中,只出现前3类路径,但第3类路径出现频率很高,为该地段登陆台风总数的80%(12/15)。可见在登陆台风的预报中,影响江苏沿海、辽鲁冀沿海及辽宁丹东以北的台风,登陆前的移向确定后,要考虑其移向右折,使右折台风影响地区作好防灾减灾工作。

从以上分析可知,各类路径中,有的路径在某些登陆地段并不出现,有的出现频率很高,有的在某些月份出现,有的在其他月份根本不出现,从而提供了不同地段登陆台风陆地路径的气候背景。

表2　1949～2001年登陆台风各类路径出现频率的逐月分布

Table 2　The monthly variation of the different motion tracks of China landing typhoons from 1949 to 2001

各类路径	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
第1类		6	14	44	42	42	15	1	1	165
第2类		5	15	23	27	18	6	5		99
第3类	1		5	31	26	22	3	2		90
第4类			4	5	4	7	3	4		27
第5类		1	2	2	9	7	1			22
第6类			1	2	4	6	1	2		16
合计	1	12	41	107	112	102	29	14	1	419

表3　1949～2001年不同地段各类路径登陆台风数

Table 3　The numbers of China landing typhoons with different motion tracks in different landing position from 1949 to 2001

地段	第1类	第2类	第3类	第4类	第5类	第6类	合计
Ⅰ	114	29	66	21	12	10	252
Ⅱ	49	58	23	6	10	6	152
Ⅲ	2	12	1				15
合计	165	90	99	27	22	16	419

2.2　登陆台风的异常路径

台风登陆以后,由于从海洋移入陆地,地貌环境发生改变,并受到大陆上环流系统的影响,将使台风登陆后的路径更加复杂,而登陆台风预报困难往往和这类复杂路径密切联系。因此对台风登陆路径突变(包括方向突然转折、速度的突增和突减)的研究是不可缺少的,且是很重要的。

2.2.1　大尺度环境流场的影响

大尺度环境流场对台风的移动具有引导作用,它对未来台风移动方向有指示意义。但环境流场的急剧调整却是造成台风异常路径的一个重要原因,同样对登陆台风路径突变也有重要影响。主要表现在副热带高压的影响[9];基本气流的影响[10];西风带槽脊系统的影响[11];越赤道气流的影响[12];赤道辐合带(ITCZ)的影响[13];极锋的作用[7]等。

2.2.2　双台风影响

双台风的相互作用也是导致台风异常路径的一个原因。一般情况下,当两个台风之间的

距离足够近时，两个强的低值系统会产生吸咐作用，使得两个台风具有合并的趋势，两个环流系统会合并成一个环流系统，这种现象称为“藤原效应”；当两个台风的距离稍远时，一个台风的外围环流可能会影响到另一个台风的运动，即对另一个台风起着引导和推动作用，使得两台风绕其中心连线上的某一点相互作逆时针方向的回旋运动；当两台风的距离远时，两者可通过环境场的“媒介”作用而相互影响，其机制是一个台风的运动改变另一个台风周围环境场的状况，进而影响其移动。也即双台的相互作用具有临界距离效应。一般认为临界距离为6～7个纬距。只有当双台风在临界距离以内，藤原效应才起作用。当环境风切变大于藤原效应时，双台风可做反气旋式旋转[14]。

2.2.3 地形影响

地形对台风移向、移速和强度变化均有重大影响。尤其是我国台湾岛、海南岛对台风移动的影响，这方面的研究已有不少。

2.2.3.1 地形对台风移速的影响

陈联寿等[7]的统计结果表明，在西太平洋沿岸地区，台风登陆前一般都出现加速现象。张捷迁等[15]在转盘模拟实验中也曾发现，涡旋登陆我国东南沿海时，移速也有增大的现象。Brand和Blelloch[16]研究了台风过台湾岛前后的平均速度变化，发现自穿越台湾岛时开始，较强的台风移速减慢，而较弱的台风却出现加速。董克勤等[17]研究海南岛对台风的影响也发现类似的结论。称地形的这种作用为“陆地效应”。

2.2.3.2 地形对台风的诱生作用

台风登陆以后，受地形因素影响，有时使台风环流分裂诱生出新的中心，新中心在有利的条件下将得到发展加强，而原有中心消失，最后，发展加强后的诱生中心按新的环流条件移动。因此，地形和山脉对路径的影响，会促使台风发生不连续跳跃及移向突变。这方面的研究已有很多。对1949～1992年共43 a经过台湾岛的91个台风的统计分析结果[18]指出：有18个台风产生了诱生低压，生成几率为19.8%(18/91)，与其他4个岛屿海南岛(2/100)、日本岛(5/145)、朝鲜半岛(0/42)和吕宋岛(2/167)相比，台湾岛是产生地形诱生低压最多的岛屿，台湾岛周围是产生诱生低压的高频区，这与文献13的统计结果是一致的。另外，所有产生诱生低压的台风其强度大多在热带风暴强度之上。数值研究[19]表明，当台风接近台湾岛时，在岛屿的另一侧会有诱生涡旋生成。在适当条件下，台风原来的低层中心因地形的阻挡而消失，高层中心移过岛屿，其相应的正涡度中心与低层的诱生涡耦合，使诱生涡旋得以发展加强而代替原来的台风。分析表明，岛屿诱生涡的形成与山脉背风坡降压有密切关系。此外，地形高度、台风强度、登陆点及海峡宽度也会影响诱生涡旋的强度。尤其当原台风上空的流出气流层罩住诱生低压时，其抽吸作用将会使低压得到更大的发展而代替原来的台风，原台风则由于脱离其流出气流而消亡。杨平章等[20]将高分辨率的中尺度数值模式CSU-RAMS(The coloradl State University Regional Atmospheric Modelling System)改为嵌套网格的台风数值模式，成功地模拟出台风Dot在台湾地形影响下产生不连续跳跃的异常路径，指出产生这种异常路径的原因是地形诱生低压发生发展的结果。

2.2.3.3 地形对台风的折向作用

地形对登陆台风的折向作用主要表现为台风经过大型岛屿(台湾岛与海南岛)时，其移向发生左偏与右偏的现象。这已为诸多统计事实、数值试验结果所证实。

统计结果[18]表明，台湾岛附近台风出现路径偏折的几率最大，海南岛发生台风偏折的几

率次之。不同尺度、不同高度、不同山脉走向的海岛地形对不同远近、不同移向的台风的移速移向的影响是有差异的。

已有的研究表明,台湾岛地形对西行的远海台风的移向移速影响很小,随着台风与台湾岛之间的距离的变小,地形对台风移向移速的影响国就越来越大,登陆或穿越台湾队岛时,对台风移向移速的影响方式又与台风位于台湾岛近海时的状况有所不同。研究表明[15,21-23]台湾岛地形对台风移动具有影响力的最大空间范围大约在200~300 km附近,当地形中心与台风中心相距不太远,如小于150 km时,地形会使台风路径向右偏移,当西行台风中心靠近岛屿时,台风移向会出现左折偏南或右折偏北方向两类运动,台风越过台湾岛后又有明显的南折现象。当台风从不同方位移向台湾岛时,地形对台风移动方向的影响也是不同的。模拟试验研究[24]表明,台风由东向西行至台湾岛南部海域,在过台湾岛南端后,有明显的右移现象;台风由东向西经过台湾岛北端海域时,台风中心明显左移;由东向西正面入侵台湾岛方向的台风,会继续西行。还有研究[25]表明,从东北部接近台湾岛的台风会出现加速向西北折向的现象。Tien-Chiang Yeh等[26]通过观测分析和数值试验,对靠近台湾岛的西行台风的路径偏差作了较深入的研究,结果认为,西行台风在台湾东北部有先偏北然后偏南,在台湾东南部有先偏南然后偏北的移向变化,并且这种偏差与风暴的结构(包括尺度和强度)以及台风的移动速度密切相关。

海南岛对台风移动影响也有类似的结论。董克勤等[17]和李曾中[27]在研究海南岛对台风移动的影响时发现,台风过岛前后的移向变化与本身路径有一定联系,除恰好在岛上处于转向的以外,一般登陆后有左偏的现象。当台风由东或东南方接近海南岛时,可能向北转一个弯,然后继续西行,没有观察到向南绕弯的现象。台风接近大陆海岸时,台风中心会突然加快登陆.但是台风无论从哪一个方向接近大陆,其路径总是偏向大陆一侧[24]。

地形的存在而造成的低层环境气流的改变是台风异常路径的主要原因[25]。研究结果表明,山脉地形引起的气流偏转主要局限于低层。低层的基本东风气流受山脉阻挡会出现绕流现象[28]。地形的存在可使最大风速区移向台风中心,从而造成台风尺度减小,是地形引起台风路径偏移的可能原因之一[21~23]。同时台风逼近海岛时与岛屿长轴方向所成的角度也是重要的影响因子[22]。孟智勇等[19]对台风在台湾岛附近折向运动的机制进行了初步分析也表明,台湾岛可以通过改变台风所处的背景场来改变台风的运动,而且其路径的变化随台风靠近台湾岛的方位的不同而不同。该机制能够解释台湾岛以及其他岛屿附近台风的折向运动。并且提出了台湾岛地形的强迫与基本气流的相互作用,可产生一对偶极涡,这对偶极涡附加环流的叠加作用能够显著影响台风的运动,从而导致台风的异常路径。贺海晏等[29]就地形对台风运动的吸引作用和折向作用进行了动力学理论分析。

2.2.3.4 台风在陆上的衰减和维持

台风登陆以后,由于切断了海洋输送的水汽潜热能源并受陆面磨擦耗损,它将逐趋消亡。台风在陆上维持的时间往往相差很大,有的台风登陆6 h就消失,而有的可以在陆上维持3~5 d不消,甚至再度发展。Chen指出[30],除地形外,登陆台风是否维持主要取决于水汽供应、斜压能量的转换和台风变性、风的垂直切变以及台风与高空槽(或急流)的相对位置。

研究表明[31],台风在陆上维持的时间与季节、地形、登陆时的强度有密切关系,盛夏登陆的台风一般维持时间长,一般在两天以上;冬季登陆的台风在陆上维持的时间一般不到两天。平坦地形处登陆的台风一般较高地形处维持时间长。登陆时强度强的台风,登陆后衰减快,但

却维持时间较长。

3 登陆台风的强度变化

地形对台风强度的影响在文献[8,10]中都有研究，结论也基本一致。认为台风登陆后，由于切断了下垫面的水汽供应及边界层磨擦增大，强度一般会减弱，但减弱率因登陆地区地形、登陆前强度不同和环境流场等因素的差别也会有所不同。但也有台风登陆或登陆后强度维持不变甚至加强，其原因是动能和非绝热加热加大，水汽供给充分，水汽输送强盛所致。

3.1 近海台风突然加强

当台风移近海岸时，由于地形影响增强台风内部辐合强对流活动，或与沿海地区另一块对流云团系统合并，其结果将使台风中低层涡度迅速增加，并促使近海台风突然加强。由于弱冷空气作用增强台风内部的位势不稳定，位能释放转变成动能，或台风移入近海的暖洋流区，这些都有利于近海台风的突然加强[31]。“对近台风强度突变研究[32]表明，这类台风集中发生在5～10月，主要出现在浙闽沿海、南海中部、珠江口外西侧以及巴士海峡东侧”。该类台风登陆后多是向偏西或西北方向移动，登陆时几乎都会带来大风和暴雨，其中有相当一部分会带来12级以上大风的特大暴雨，因而造成严重灾害。近海加强台风常在1～2 d，甚至数小时内形成或加强，并迅速登陆，袭击沿海地区[33]。由于这类台风发展快，移动快，有的还是小而强的“微型”台风，是目前台风预报的一个难点。如7314号强台风，登陆我国广东海南岛琼海县。该次强台风虽范围小，但强度大，移动快。在琼海县登陆时，中心气压只有925 hPa，并且登陆前12 h至登陆时，台风中心气压下降达45 hPa，登陆时风速也达到60 m/s，造成了严重的灾害，损毁了100 000间房屋，1 000多人死亡。

3.2 登陆后台风的加强[34]

地形对台风的加强作用随高度的增加向西倾斜，严重破坏了台风原来的对称结构。地形还可引起低层静力能量的增加和中层能量减小，有利于不稳定发展，地形也可引起温度和湿度的增加，利于台风暖湿结构的维持和发展，此外，地形引起的负变高也可加强台风。

4 登陆台风暴雨

登陆台风暴雨常可以造成严重的自然灾害，因此，台风暴雨的研究一直受到重视。不同结构的台风登陆不同地区(地形不同)，其暴雨强度和分布极不相同。由于台风环流与海岸地形辐合，使台风登陆前后暴雨呈不对称分布[31]。例如，登陆华南的台风大范围暴雨往往出现在台风中心及其以东地区(中心以东南风与东西走向海岸和山脉的辐合)；登陆华东的台风大范围暴雨区往往出现在台风中心及其以北地区(中心以北东风与南北走向海岸和山脉的辐合以及台风倒槽的存在，地形辐合对登陆台风暴雨强度和分布关系十分密切。

源源不断的水汽输送，不仅有利于登陆台风的维持，也是形成台风特大暴雨的主要原因之一。一般台风都有两支急流或至少有一支急流，如果中低空主急流带为东南或西南急流带，则水汽条件充沛，有利于登陆台风大暴雨的形成[35]。冷空气对登陆台风降水具有激发作用，使中低空辐合加强，暖湿空气的抬升，位势不稳定能量释放。中低槽与台风环流系统相互作用也是导致登陆台风特大暴雨和暴雨突然增幅的重要原因，在这方面主要是西风带系统与台风的相互作用。

5 台风登陆预测研究

对台风登陆地段的研究主要采用判别分析。这类方法的目的只要得出一个定性的预报结论,如某一次海上台风是否登陆,对某一地区有无大风和暴雨影响等。目前,对登陆台风的应用也比较多。广东应用信息量评分和判别分析方法,预报台风的登陆地段[36],李麦村等[37]应用多级判别分析方法,试作台风是否登陆以及登陆纬度的预报,取得较好的效果。对登陆台风频次的预测也有不少研究工作,1998年冯利华[38]利用p阶自回归分析和马尔可夫链分析研究了登陆台风的活动趋势,结果还是比较理想的。其后发展了基于灰色聚类分析的登陆台风次数预报[39]和基于物元分析的登陆台风次数预报[40],使登陆台风次数计算等级和实际等级的历史拟合率达到最大,预报效果比较好。应用数值模式对登陆台风的研究进展缓慢。

目前,最先进的作法是,在登陆前(Pre-landfall)阶段开始,用全球定位系统(GPS)、先进的WSR—88D多谱勒雷达、风廓线仪(wind profiler)、机载雷达、飞机落仪等先进装备对台风进行高密度的探测,获取详细资料,再用甚高分辨区域海洋模式或海气耦合模式来得到临近登陆的台风的风场结构、眼壁结构和中尺度强对流结构和风暴潮等的短时预报,这样能给出相当精细的狂风暴雨袭击的区域、时间和强度的预报。在台风登陆问题的研究和业务领域,我国目前较大差距。

6 结 语

80年代以来,随着计算机功能的迅猛发展,如今把台风作为一个整体放入高分辨率。详细物理过程的有限区域模式中,来研究其登陆前后的结构变化和影响已成为可能。

但目前登陆台风的研究进展缓慢,主要存在下面两个方面的问题:

(1)台风内部资料稀少。因此,要了解临近登陆的台风的风场结构、眼壁结构和中尺度强对流结构以及路径改变比较困难。

(2)一些基础方面的研究尚无涉足。例如,还不清楚登陆我国台风气柱的边界层结构特征,台风覆盖下的陆面过程。按目前的认识,台风是一个有组织的积云群构成的强对流系统,目前还没有一个公认的性能良好,能正确反映台风中各种物理过程的数值模式。

但是,在2002年7~8月在广东沿海首次实施了代号为"CLATEX"(China landfalling Typhoon Experiment)的"中国登陆台风外场科学试验"。通过CLATEX现场观测试验,获得了一批台风登陆前后风场、湍流等动力、势力特征和大气边界层变化特征的宝贵资料,建立了登陆台风现场观测综合数据库,填补了我国过去从未做过登陆台风边界层系统观测的空白。今后,我国在登陆台风的研究方面将更进一步。

参 考 文 献

1 Frank D. Marks. Landing andfalling tropical cyclone research program. In: WMO Tropcal Meteorology Research Progr amme(TMRP)Report. 1998. 59～60

2 叶英，董波. 登陆我国热带气旋活动的年代际变化分析. 海洋预报，2002，**19**(2)：23～30

3 陈敏，郑永光，陶祖玉. 近50 a(1949～1996)西北太平洋热带气旋气候特征的再分析. 热带气象学报，1999，**15**(1)：10～16

4 乐群，董谢琼，马开玉. 西北太平洋台风活动和中国沿海登陆台风暴雨及大风的气候特征. 南京大学学报(自然科学)，2000，**36**(6)：741～749

5 贺海晏，简茂球，宋丽莉，等. 近50 a广东登陆热带气旋的若干气候特征. 气象科学，2003，**23**(4)：401～409

6 梁建茵. 我国热带气旋登陆时间日变化特征分析. 热带气旋学报，2003，**19**(增刊)：160～165

7 陈联寿，丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京：科学出版社，1979. 325～328

8 陈敏，郑永光，陶祖钰. 近50年(1949～1996)西北太平洋热带气旋气候特征的再分析. 热带气象学报，1999，**15**(1)：10～16

9 杨美川，朱永禔. 热带气旋穿越副热带高压的数值试验研究. 热带气象学报，1998，**14**(1)：85～91

10 朱永禔，程戴晖. 环境基流变化对热带气旋移动的影响. 大气科学研究与应用，1994，**7**：31～36

11 杨美川，朱永禔. 对一个近海突然北折台风的数值模拟. 大气科学研究和应用，1997，**13**：66～71

12 杨美川，朱永禔. 越赤道气流对台风路径影响的数值试验. 南京大学学报，1994(庆祝朱炳海教授从事气象教学科研工作六十年专刊)：286～291

13 周霞琼，葛旭阳，朱永禔. 影响华东地区热带气旋年频数与热带对流场的关系. 气象科学，2002，**22**(1)：9～15

14 陈联寿. 热带气旋科学讨论会技术总结. 见：85～906～07课题组. 台风科学、业务实验和天气动力学理论的研究(第二分册). 北京：气象出版社，1996. 304～308

15 张捷迁，魏鼎文，何阜华. 台风结构和中国东面沿海地形对台风影响的初步实验研究院. 中国科学，1975：302～314

16 Br and S Bleloch J W. Changes in the characterics of typhoon crossing the island of Taiwan. Mon. Wea. Rev.，1974，**102**(10)：708～713

17 董克勤，李曾中. 海南岛地形对过岛台风影响的初步研究. 大气科学，1980，4(3)：288～292

18 孟智勇，徐祥德，陈联寿. 台湾岛地形诱生次级环流对热带气旋异常运动的影响机制. 大气科学，1998，**22**(2)：156～168

19 Meng Zhiyong，Nagata Masashi，Chen Lianshou. A numerical study on the formation and development of island induced cyclone and its impact on typhoon structure change and motion. Acta Meteorologica Sinica，1996，**10**(4)：430～443

20 杨平章，万齐林，杜华武. 台湾地形对Dot台风运动影响的数值研究. 海洋学报，1996，**18**(5)：22～29

21 陈联寿，罗哲贤. 地形对台风移动路径的作用. 见：85～906～07课题组. 台风科学、业务实验和天气动力学理论的研究(第二分册). 北京：气象出版社，1996. 375～379

22 Chang S W. The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. Mon. Wea. Rev.，1982，**110**(9)：1255～1270

23 Luo Z X，Chen L S. Effect of the topography of Taiwan island on typhoon tracks. In：Proceedings of the third technical conference on SPECTRUM. 1993

24 魏鼎文，柳燕. 地形对台风移动路径影响的实验与研究. 见：85～906～07课题组. 台风科学、业务实验和天气动力学理论的研究(第二分册). 北京：气象出版社，1996. 422～429

25 Bennder M. Anumerical study of the dffect of island terrain on tropical cyclones. Mon. Wea. Rev.，1987，**115**(1)：130～155

26 Tien C Y，Russell E. Interaction of yphoons with the Taiwan orography，Partl：Upstream track deflections. Mon. Wea. Rev.，1993，**121**(12)：3 193～3 212

27 李曾中.对海南岛登陆台风的研究.见:1978年台风会议文集.上海:上海科技出版社,1981.110～116
28 Hu Y L,Deng X X. An observational study of the island terrain effect on typhoon motion and its structure during SPECTRUM. In:Proceedings of the semiear on tropical cyclone forecasting and research in Nanjing. 1992. 30～32
29 贺海晏,杨平章.台风移动规律的研究:II小地形与边界层的动力作用.热带气象学报,1995,**11**(2):95～107
30 Chen Lianshou. Tropical Cyclone Decaying after Landfall. In:WMO/TD-NO. 875. 1998. 1～5
31 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等.热带气旋动力学引论.北京:气象出版社,2002.303～304
32 冯锦全,陈多,我国近海热带气旋强度突变的气候特征分析.热带气象学报,1995,**11**(1):35～42
33 Liang Biqi,Liang Jingping,Sun Jihua. Analysis about tropical cyclone disasters in South China. In:James L,Zhang Zhemin,Greg H,et al. Tropical Cyclone Disasters/TCD92. Beijing:Peking University press,1993. 553～556
34 秦曾灏,端义宏.我国热带气旋强度变化的新进展.见:全国热带气旋科学讨论会论文集,2001.25～30
35 金步圣,孙锦汉,吕翠兰.两个相似路径台风天气差异分析.气象科学,1999,**19**(2):196～200
36 广东台风协作研究组.用信息量评分多因子综合比较法作西太平洋台风路径预报.见:1974年台风会议文集.上海:上海科学技术出版社,1974.45～46
37 李麦村,姚棣荣.多级逐步判别分析在台风路径预报中的应用.见:1976年台风会议文集.上海:上海科学技术出版社,1976.55～68
38 冯利华.登陆台风的活动趋势与预测.海洋通报,1998,**17**(5):30～33
39 吴樟荣.基于灰色聚类分析的登陆台风次数预报.山西师范大学学报(自然科学版),2001,**15**(3):71～75
40 冯利华.基于物元分析的登陆台风次数预报.海洋科学,2002,**26**(11):64～67

RECENT PROGRESS OF STUDY ON CHINA LANDFALLING TYPHOONS

Chen Yuling[1] **Zhou Jun**[2] **Ma Fenhua**[2]
(1 *Department of Physical Sciences, NIM, Nanjing* 210044)
(2 *Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing* 210044)

Abstract Climatic characteristics of the landing typhoons are studied by means of statistical method. Results show that the landing typhoons have obvious intermonth, interannual and interdicadal variations, marked periodical character, and daily variation. Furthermore, statistical study on motion tracks of China landing typhoons(velocity is equal to or above 17.2 m/s) is given in this paper. Resulsts show that motion tracks of the landing typhoons is not only related to the season but also to the landing position. Recent progress of study on China landing typhoons in recent years are also summarized in this paper.

Key words The landing typhoon Climatic characteristics Motion tendency