

丛春华, 陈联寿, 雷小途, 等. 台风远距离暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, 2011, 27(1): 264-270.

文章编号: 1004-4965(2011)02-0264-07

台风远距离暴雨的研究进展

丛春华^{1,2,3}, 陈联寿¹, 雷小途⁴, 李英¹

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044;
3. 山东省气象台, 山东 济南 250031; 4. 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)

摘 要: 台风是最强的暴雨天气系统, 针对台风暴雨的研究由来已久, 并把台风暴雨分为台风环流本身的暴雨和台风远距离暴雨。近几十年来, 有关台风远距离暴雨的研究有了一些新的进展和成果。2007年的第十四届全国热带气旋研讨会上还给出了最新的台风远距离暴雨定义。谨从此定义出发, 简要总结国内外在台风远距离暴雨方面的研究成果, 并在分析归纳的基础上提出存在的问题和可能的研究方向。

关 键 词: 天气学; 台风远距离暴雨; 综述

中图分类号: P426.62

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2011.02.016

1 引 言

台风(泛指热带气旋, 包括热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风和强台风)是最强的暴雨天气系统。在中国, 台风是造成特大暴雨的主要灾害系统之一, 很多强烈持续性暴雨都与台风有关^[1-12]。在台风天气中, 由台风直接或间接在陆上造成的特大暴雨是预报员最关心的问题之一。文献[2]指出台风暴雨区大体可分两个区域, 即台风环流本身的暴雨区(包括其眼壁暴雨、内外螺旋雨带降水、台风倒槽内的暴雨、台风内切变暴雨及台前飑线雨)和遥远降雨即台风远距离暴雨区。陈联寿等^[3]给出台风远距离降水的宏观定义: (1) 降水发生在台风范围之外; (2) 这块降雨与台风存在着内在的物理联系。清楚地将台风远距离暴雨与台风本体暴雨区分开。文献[2]指出在中国不少著名的特大暴雨中都有台风的间接作用, 例如1963年8月上旬海河流域特大暴雨, 1975年8月上旬淮河流域特大暴雨, 1958年7月中旬黄河中游特大暴雨等, 都是在台风与北侧副热带高压形成低空偏东气流(或急流)的形势下发生的。大量观察事实和研究结果^[13-29]表明: 台风在有利大气环流背景下与中纬度系统(包括西风槽、东北冷涡、西南涡、弱冷空气和高低空急流)相互作用可使得中纬度地区的暴雨突然增幅, 且影响范围大、持续时间较长, 日

降水量和过程降水量往往不小于台风环流主体所经地区的雨量, 成为中纬度地区夏季暴雨的重要形式之一。台风也可以与副热带高压直接相互作用进而间接影响中纬度地区的降水强度和落区。调查发现^[19-27], 青藏高原东北侧的陕西等地的多数极端暴雨和造成严重洪涝灾害的暴雨基本受台风影响, 如“77.7”延河大暴雨、“02.6”特大暴雨。台风活动不仅直接影响东南沿海省份大降水的强度及分布, 也能直接或间接影响造成我国北方和内陆省份的极端暴雨天气。研究表明^[29], 降水和台风活动统计最密切的区域不仅在我国东南沿海省份, 也与青藏高原东侧附近、华北地区及东北地区密切相关。随着观测事实的增多, 近十多年我国许多气象学者及一线预报员在台风远距离暴雨方面的研究取得了很大的进展。

事实上台风远距离暴雨是中低纬系统相互作用的产物, 由于台风与中纬度系统相互作用的复杂性, 其机理目前尚不是很清楚, 且这种相互作用的界限、标准难以确定, 很难形成统一的概念模型, 缺乏一个统一的科学的台风远距离暴雨的定义, 故在以往的研究中存在概念混乱问题, 有的研究简单地把距台风中心一千公里以外的暴雨区定义为台风远距离暴雨区, 更多的研究把台风倒槽北端的暴雨区称为台风远距离暴雨。文献[3]给出台风远距离暴雨的定义后, 这方面的研究才有了一个宏观标准。本文谨从该

收稿日期: 2009-09-02; 修订日期: 2010-03-24

基金项目: 上海台风研究基金课题(2009ST09); 国家自然科学基金重点项目(40730948); 中国气象局预报员专项(CMATG2008Y05); 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2009CB421504); 山东省气象局重点课题(2009sdqxz02)共同资助

通讯作者: 丛春华, 女, 高级工程师, 主要从事台风暴雨的预报与研究。E-mail: cch513@sina.com

定义出发,概述近十几年来有关远距离台风暴雨的研究进展,并对目前存在的问题进行讨论。

2 台风远距离暴雨的显著特征

在我国东南沿海近海登陆的台风往往给东北、华北、华东及华西等地带来暴雨或大暴雨天气过程。登陆台风在内陆造成的特大暴雨过程中多数存在中低纬系统的相互作用^[1]。大量观测事实和研究结果表明,这种台风远距离暴雨是台风与其相邻的中纬度系统(包括西风槽、东北冷涡、西南涡、弱冷空气、高低空急流及副热带高压等)相互作用的结果。台风远距离暴雨区具有较强的对流不稳定、对称不稳定和斜压不稳定性,易触发强对流天气。张弘等^[25]指出,西安市两次突发暴雨的中尺度对流系统(MCS)的云系是冷锋云系和台风云系之间暖区内的中尺度对流云系,它既不属于冷锋云系也不属于台风云系,有其独特的特征和规律。台风远距离暴雨发生的地区分布广,突发性强、降水强度大,降水时段相对集中。李改琴等^[30]指出,卫星云图上的团状、密实的强中尺度对流系统的形成和维持是造成河南2005年7月22日台风远距离暴雨的直接原因。众多的观察事实和研究^[18, 25, 30-49]表明台风远距离暴雨过程的中尺度系统明显,中尺度特征突出。台风远距离暴雨在卫星云图上的突出特征是对应云图多是 $-\alpha$ 云团、 $-\beta$ 云团等中尺度对流云团,有的甚至可以发展成为中尺度对流复合体(MCC)或MCS。地面多出现中尺度锋区、中尺度辐合线、中尺度气旋和中尺度低压。在垂直方向上则表现为中尺度的垂直环流。

中低纬系统相互作用的过程非常复杂,到目前为止对其机制的认识尚不清楚。在多数台风远距离暴雨个例中,台风东侧或北侧的偏南或偏东的暖湿急流及台风诱发的混合重力波是联系中低纬相互作用的桥梁和纽带。

3 台风与中纬度系统的相互作用及台风远距离暴雨

3.1 台风与西风槽(或冷锋)的相互作用

1980年代^[15-16, 47],我国气象专家注意到中低纬系统相互作用下的台风远距离暴雨,其中加深的中纬度槽扮演非常重要的角色。蒋尚城等^[15-16]在中低纬度系统的相互作用和大范围暴雨的研究中指出西风槽和台风东侧低空急流的作用。陶祖钰等^[49]指出,当台风北侧存在中纬度槽并与台风环流相结合时,台风降水将产生不对称分布。此时台风暴雨有两个中心,一个中心在台风环流内部,另一个中心在中纬度冷槽的槽前或槽区上。而第二个暴雨中心的成因主要是台风东部或北部的环流与副高之间的东南气流将低纬度海洋暖湿空气输送到中纬度槽前的动力辐合所致。影响美国的飓风Camile(1969)使得离飓风登陆点几

百公里的弗吉尼亚某处也产生787.4 mm/(5 h)强度的降水^[50]。孙建华等^[51-52]在对1990年代华北大暴雨的统计研究中发现,台风与西风槽远距离相互作用是华北大暴雨的主要原因之一。侯建中等^[24]在统计中发现,位于青藏高原东北侧的陕西极端暴雨事件87%是西风带冷锋(西风槽)与远距离台风相互作用的结果。张弘等^[25, 53]认为,近海台风北侧偏东气流与高原东侧短波槽共同作用是西安市两次突发暴雨的主要成因。因而台风与西风槽的相互结合和作用产生北方暴雨中心的基本条件。朱洪岩等^[54]数值试验表明,台风与西风槽的强度均对此类台风远距离暴雨的强度产生影响,加强或减弱台风(西风槽)强度,远距离暴雨量也相应地增加或减小。陈久庚等^[48]在初始场人为加深西风槽,可使TC的24小时降水量增加52 mm,增幅为30%。由此可见台风是使得西风槽区获得充沛水汽的输送机构,而东侧低层偏东风与西风槽带来的偏北风之间形成较强的辐合,可以触发和加强暴雨。因此台风与西风槽相互作用形成的远距离暴雨的基础是:低层台风东侧的偏南急流向暴雨区输送水汽,造成中纬度暴雨区的水汽强辐合和不定能量的累积,使得大气层结不稳定增强;而中纬度西风槽则提供有利于台风远距离暴雨发展的大尺度背景,有利于低层辐合的加强和垂直运动的发展和维持,进而触发和加强暴雨的发生和发展。

3.2 台风与东北冷涡的相互作用

丁一汇等^[29]在研究1980年代以前的华北暴雨中指出,华北强烈的暴雨大部分出现在两个或两个以上天气系统的相互作用或相互叠加的情况下,其中高空冷涡与台风相互作用是其中主要的形式之一。孙建华等^[25]发现,台风和低涡是华北暴雨天气的主要影响系统,在31个大暴雨个例中,有10个个例属于台风与东北低涡(低槽)远距离相互作用,约占总个例的32.2%。此类远距离暴雨,台风一般在南海或西太平洋台湾附近地区,也有在广东、广西登陆后西行的,台风的作用主要是为台风东侧东南低空急流提供水汽输送。东北低涡存在与对流层中低层,位于华北或东北,槽线一般在110~120°E。副热带高压一般西伸偏北,暴雨区位于低涡与副高之间。

3.3 台风与西南涡的相互作用

西南涡在影响我国众多重大暴雨洪涝过程中扮演着重要的角色,是我国最强烈的暴雨系统之一,是仅次于台风的暴雨系统。西南涡与其他天气系统的相互作用将影响低涡的发展、结构及天气。最近人们不仅注意到西南涡与周围系统间的相互作用,还注意到其与热带气旋之间的远距离相互作用^[56-59]。陈忠明等^[58]的分析发现活跃于南海的热带气旋,通过其北侧东南低空急流的向北伸展,与活动于四川盆地的西南涡东侧的偏南风贯通,实现两者的直接相互作用。这种相互作用向西南涡输送大量的水汽和热量,并通过改变低涡内的风压场和能量分布及东侧的大气

层结状况,加剧低涡东部大气运动的非平衡强迫,激发低层气流辐合和正涡度的持续增长,促使西南涡的发展和暴雨的发生。周国兵等^[59]就一个台风与西南涡相互作用的个例进行数值模拟和诊断分析发现,西南涡受“桑达”台风的阻挡,移速变慢,强度增大;同时在“桑达”台风西侧吹入内陆的东北气流在西南涡的东南侧转为西南风的过程中出现气流辐合并使得水汽迅速聚积,从而触发了低涡附近的特大暴雨过程。台风与西南涡相互作用产生的远距离暴雨一般落在四川东部及重庆一带。在发生远距离暴雨时台风中心的位置不定。从文献[58-59]的两个研究个例来看,1989年7月10日台风中心位于海南岛东部海面,而2004年9月4日前后台风中心位于台湾附近海面。台风东侧或北侧的低层偏东气流是台风与西南涡发生相互作用产生远距离暴雨的纽带。

3.4 台风与西北涡的相互作用

孙寿全等^[28]在研究1965—1994年期间的热带气旋与河北特大暴雨的关系中发现,在对流层中低层,来自柴达木-青海湖一带的低涡即西北涡(西北涡多生成于青甘川边境地区和柴达木盆地,其定义范围为 $95 \sim 105^{\circ}\text{E}$, $35 \sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间,是下垫面热力作用造成的热低压),与远在华南和华东沿海的热带气旋可以发生相互作用,造成河北省区域性大暴雨过程。并对1972年7月19—20日河北地区的特大暴雨过程进行了详细的分析,结果表明此次大暴雨过程就是热带气旋与河套附近的西北涡发生远距离相互作用的结果,而热带气旋外围的偏东气流是两者发生相互作用的纽带。我们在最近的研究工作中也发现,2003年8月26—27日,发生在陕西、河南及山东的大暴雨过程,也是由于近海的热带气旋与河套地区附近的西北涡发生远距离相互作用造成的,其机理有待于进一步的研究和探讨。

3.5 台风与弱冷空气的相互作用

有时中纬度环流平直,无明显的槽存在,或西风槽位置偏北,与台风环流相距甚远,但若低层有弱的冷空气扩散南下入侵台风倒槽北端时同样可产生暴雨。孙建华等^[60]研究96.8河北大暴雨过程时发现9608号台风登陆后减弱为低压后,与副高西部的流场引导暖湿气流北上,西风槽位于东北地区距台风较远,但低层有弱冷空气从我国东北地区扩散南下,与台风低压东侧的东南风急流在河北南部相遇,暖湿空气在弱冷空气形成的低层冷垫上爬升,加强了上升运动,使得河北省在8月3—5日产生一场特大暴雨过程。李志楠等^[61]则认为在这次台风与弱冷空气的相互作用中,低层台风外围的东南风中的风速脉动,激发出的非地转重力不稳定是启动和组织本次台风远距离暴雨的原始动力机制,冷空气入侵加强了低层的气流辐合。徐国强等^[62]在研究冷空气在96.8河北大暴雨过程的作用中指出,弱冷空气对于河北中南部低层产生的切变线、低层辐合和上升运动都起到了增强的作用,为河北中南部暴雨的生成

提供了触发条件和上升运动条件。低层弱冷空气的侵入加强了水汽在河北中南部的辐合,使偏南及东南低空急流携带的水汽能量在此堆积,有利于对流不稳定产生,并为暴雨生成提供能量。张少林等^[42]研究发现,0418号热带气旋在福建沿海登陆后,西风带弱冷空气侵入台风北伸倒槽后,在黄淮之间有明显的暖锋锋生特征,是触发倒槽区域中尺度对流发展和暴雨产生的重要动力机制特征。

3.6 台风与高、低空急流的相互作用

高、低空急流与暴雨之间的相关性,在以往众多研究与观测事实中得到证实,我国暴雨往往产生在高空急流右后方和低空急流左前方。高、低空急流之间存在正反馈机制。在一系列的高、低空急流的动力和热力作用的研究工作中,比较一致地认为高空辐散引起上下层质量调整,形成变压风叠加在低空气流之上,形成低空急流。

台风东侧低层的偏南或偏东气流向中纬度地区的水汽和能量输送似乎已成了不争的事实。陶诗言^[63]曾研究发现:东南风和西南风低空急流一般对应暴雨的北界和南界,并把低空急流左前方作为暴雨落区的重要判据。通过低层暖湿气流的北伸,大量暖湿空气在暴雨区辐合、累积,一方面为暴雨的发生提供充沛的水汽,另一方面,暴雨区低层增暖增湿使得大气层结向不稳定状态发展,不稳定能量得以组建或重建。一旦动力抬升条件具备,暴雨系统一触即发。也有研究指出,低空东南急流中的风速脉动(热成风不平衡),在水汽充沛、层结不稳定的条件下可激发重力惯性不稳定波进而触发中尺度对流的发生和发展。

蒋尚城等^[15-16]指出在远距离台风影响下西风带特大暴雨过程模式中,台风东侧所伴随的低空急流和西风槽前所伴随的高空急流是中低纬系统相互作用产生暴雨的条件,高空急流加强,一方面增加高空辐散,另一方面把暴雨区上空的凝结潜热迅速带走,使暴雨区不稳定得以重建。据侯建忠等^[23-24]统计陕西极值暴雨的300 hPa环流具有一定规律:即300 hPa上空为反气旋控制,其北侧有一支急流存在,且急流的相对位置与暴雨落区有一定联系。丁洽英等^[41]在不同雨强的诊断对比与数值试验研究中发现,两次台风造成北方强降水的高空急流均为NE-SW走向,即远距离暴雨中高空急流具有非纬向性。并通过统计分析显示^[64],台风远距离暴雨与非纬向高空急流密切相关:暴雨发生时,200 hPa高空一般为西南急流(90%),暴雨区位于高空急流右后方;暴雨增幅时,200 hPa高空急流有一个增强转竖的趋势。显示出非纬向的高空急流在台风远距离暴雨中的重要作用。并认为在高空急流右后侧的次级环流与降水产生的潜热反馈、高空非纬向风场(v 场)增强之间存在一种有利于远距离暴雨增幅的正反馈机制。对9406号台风引发的北方暴雨的诊断分析认为,高空急流入口区的垂直环流对台风远距离暴雨至关重要。

3.7 台风与副热带高压的相互作用

相关统计研究发现台风与青藏高原东侧、华西及华北的降水有密切联系。卓噶等^[29]指出台风活动与青藏高原东南侧及东北侧的正相关最为显著；谢金南等^[65]研究指出1980—1990年西北区东部10次特大暴雨过程中，有7次与东部沿海台风活动有关，且台风活动与中部降水量的相关区随夏季风的进退而进退。建军等^[66]在研究登陆我国台风与华北夏季降水相关的过程中发现，夏季登陆我国台风频数与降水显著的正相关区主要位于华北的中、东部地区；登陆台风影响华北夏季降水的一个可能途径就是通过西太平洋副热带高压产生影响，进而影响华北地区的夏季降水。任素玲等^[67]研究发现，西行台风在其西北方向激发出正变高，使西太平洋副高加强西伸。李春虎等^[68]通过数值模拟发现，台风与副高的相互作用使副高闭合中心的位置西伸，强度增加，这种态势有利于东南季风深入内陆更远的地区，进而影响西北地区东部的降水状况；得出副热带高压可能是联系台风活动和西北旱涝之间的纽带和中介系统。由上可见，副热带高压的位置与强度多受其南侧台风活动的影响，使得副高西伸、北抬或东退、南压或稳定或加强或减弱，向着有利于台风远距离暴雨的大气形势调整。孙健华等^[51-52]则发现伴随洋面未登陆台风的北上，副高往往北抬，形成华北大暴雨的典型环流形势。据研究与统计^[69-75]分析华西或华东秋季连阴雨的典型环流形势之一就是副高强而稳定，其南侧有台风活动。

4 台风在远距离暴雨中的作用

台风来自温暖的洋面本身就是一个热机，其携带大量的扰动能量和暖湿空气，在向极运动的过程中使得周围空气增温增湿、大气层结状态改变。台风作为一个强大的扰动源，在适宜的大气层结状态下对环境场的作用还表现出显著的非线性动力学特征。形成类似二维 Rossby 波频特征的扰动波列，激发中纬度地区的暴雨中尺度对流系统的发展。

4.1 向暴雨区输送能量和水汽

台风本身携带大量的暖湿空气，有台风远距离暴雨发生前，台风与东侧的副高之间常会出现偏南或偏东的低空急流，正是这支低空急流承担起向暴雨区输送能量和水汽，使得来自暖洋面的暖湿空气在暴雨区辐合和累积，致使低层增温增湿，进而使暴雨区大气的层结状态向不稳定层结发展。在大多数台风远距离暴雨的个例中台风东侧的偏南低空急流是中低纬系统相互作用的纽带和桥梁。

4.2 作为强扰动源向中纬度频散能量触发对流

很多观测与研究事实^[75-85]表明重力波在暴雨的发生发展中起着非常重要的作用。李麦村^[80]在研究重力波对特大暴雨的触发作用中指出，重力惯性波在低层物理量场上

的反映为涡度与散度之间有 $\pi/2$ 位相差，辐合中心与垂直上升运动区相配合，并具有波状传播的形式。而台风中重力惯性波的存在也是人们早已观测到的事实^[83-85]。台风作为一个强大的扰动源应可以激发周围流体内部的波动。在离台风中心数千公里外的洋面上可以观测到由台风涡旋激发的波动，称为“长浪”。“长浪”沿台风行进方向浪头最高，台风后方最弱，往往导致台风来临前海岸的突然增水。“长浪”现象的观测事实表明，台风在海洋上可以激发出流体块沿垂直方向强烈振动、波向水平方向远距离传播的波动。李英等^[14]发现2005年“麦莎”台风的降水雨带具有明显的波状分布和远距离传播特征，并从台风扰动激发的大气惯性波与重力内部混合波的远距离传播解释了这种波状雨带的成因，指出只有在适宜的大气层结与合适的重力波垂直波数条件下，台风扰动才能激发此类远距离传播的波动。徐祥德等^[78]从扰动波传播和能量频散的角度探讨了台风对中纬度环流系统产生影响的内在原因及可能途径。丁治英等^[83]在研究台风中 α 尺度重力惯性波的发展与暴雨增幅之间的关系中提出，9216号台风在山东半岛的暴雨增幅过程与台风中 α 尺度重力惯性波的发展、传播，非均匀层结的分布以及积云对流潜热反馈有关。可见台风作为一个“强扰动源”在适宜的大气环流及层结状态下，可以在其周围激发大气波动，并向中纬度地区远距离传播，激发中纬度地区的中尺度对流，特别是登陆后相对停滞的台风，能在中纬度某地区连续激发一些小尺度系统或使得原系统加强，造成暴雨发生或增幅。由于这种远距离台风波动特征在大气中难以直接观测，目前很少在这方面进行研究，对其发生发展的机理知之甚少，预报更无从谈起。

4.3 与周围系统相互作用，调整大气环流

台风可通过与周围大气环流系统相互作用，使大气环流形势向着有利于远距离暴雨的形势调整，并使大气环流形势相对稳定，间接地对远距离暴雨的发生产生影响。

其中比较常见的就是通过与副热带高压相互作用^[67-68]，使得副热带高压发生短期的调整，一般副热带高压南侧有台风活动时，副热带高压常常西伸北抬，使其西侧或西北侧的偏南气流伸入内陆，与中纬度冷空气相遇而产生远距离暴雨。

林毅等^[86]研究福建省台风远距离暴雨两个例时发现，远距离台风通过调整大尺度环流，使得南下冷空气加强，诱发中尺度低压加强低层辐合和气旋性涡度，为暴雨的发生发展提供关键的动力触发机制。台风西侧的下沉气流不但与暴雨区的上升气流构成有利于暴雨发展与维持的次级环流，特别是其低层的向西流出加大了暴雨区低层的流入气流，构成了暴雨区的主要水汽输送带，加强了暴雨区的低层辐合和对流云团的发展。即台风外围的下沉气流在合

适的大气背景下也可激发暴雨中尺度系统,产生台风远距离暴雨。

5 中纬度系统在台风远距离暴雨中的作用

中纬度环流系统主要是提供有利于暴雨产生的大的环流背景场:非纬向性的高空急流入口区的右后方有强的辐散气流,一方面可以将对流释放的潜热迅速带走,有利于大气不稳定层结的维持与重建;另一方面其强的“抽吸作用”可以触发和加强低层上升运动。高空急流入口区右后方的强辐散引发上下层大气的质量调整,进而产生变压风叠加在低层气流之上有利于低空急流的形成和加强,进而加强低层水汽的输送和辐合。

中高层低槽(低涡)前的偏南气流有利于低纬度暖湿空气的北输,使得大气水汽增加,而低槽正涡度平流的动力作用,可以触发和加强低层辐合上升运动;低槽区附近具有强的斜压性,其斜压能的转换和释放可以维持和加强对流发展。

低层代表冷空气的偏北气流与台风东侧的偏南气流汇合,形成中尺度锋区、中尺度辐合线(切变线)、中尺度低压或中尺度气旋,进而加强低层辐合,引起或加强上升运动,触发或加强对流发展。相关研究发现,地面或低层的中尺度系统是对流云团或对流系统的源区,多个中小尺度对流云团可以在一个中尺度辐合区连续产生。

6 存在的问题和讨论

台风远距离暴雨是一个极其复杂的天气过程,涉及到中低纬、多尺度系统相互作用,在以往的研究中存在着概念混乱问题。在2007年的第十四届全国热带气旋科学讨论会上,陈联寿等给出台风远距离降水的宏观定义,将台风远距离暴雨与台风本体暴雨区清楚地区分开。自此台风远距离暴雨的研究有了一个宏观标准。虽然过去的研究已取得很大的进展,但因其过程复杂,对其相互之间的具体过程及各尺度系统所起的作用,研究尚不深入,还有很多问题亟待进一步研究和解决。

6.1 台风远距离暴雨的气候特征

目前关注和研究台风远距离暴雨的气象学者大多是一线预报员。受日常工作关注重点的限制,各省一线预报人员多关注本省个例,除对山东^[8]、陕西^[15]影响本省的台风远距离暴雨的相关统计工作外,其他均属个例的诊断分析或数值模拟,涉及气候特征的研究甚少。而对气候特征的分析有助于从总体上把握相互作用的一般规律:包括地理区域的分布特征,不同地域的台风远距离暴雨不同的流型,不同系统间的影响机理等。在有了台风远距离暴雨的判断标准后,就可以开展相关统计研究工作。

6.2 中低纬系统相互作用机理

台风远距离暴雨涉及到其与多种中纬度系统的相互作用,形势多样、机理复杂,有关的研究尚不深入。如地形在台风远距离暴雨的作用如何?台风远距离暴雨中的触发机制是什么?在不同的台风远距离暴雨过程中台风的作用有何不同?这些问题目前尚找不到满意的答案,台风与中纬度系统相互作用的机理还有待于进一步的探索研究和突破。

6.3 台风远距离暴雨的物理概念模型

由于台风可以与很多的中纬度系统相互作用产生远距离暴雨,且相互作用时的大气环流形势和机理存在明显的不同。单个个例的诊断分析很难给出一个完整的物理概念模型供预报员参考。而一个正确的物理概念模型对一线预报员非常重要。

6.4 可供预报员参考的台风远距离暴雨的预报依据

台风远距离暴雨的预报有很大的难度。首先,并非所有台风均能产生远距离暴雨;其次,台风远距离暴雨的落区范围很大;再者,台风可以与各种形式的中纬度系统相互作用产生远距离暴雨。研究此类暴雨的发生条件和落区,延长预报时效和提高预报准确率仍是业务工作者最关心的问题。周军等^[21]指出,登陆台风远距离暴雨的发生与台风登陆前后大气低层东南气流中是否存在中尺度暖区有关,落区与中尺度暖区在台风、副高系统中的相对位置有关。但目前这方面的研究太少,需要进一步加强。

参 考 文 献:

- [1] 陈联寿. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 8.
- [2] 陈联寿. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 673-681.
- [3] 陈联寿. 登陆热带气旋暴雨的研究和预报[C]//第十四届全国热带气旋科学讨论会论文摘要集. 2007: 3-7.
- [4] 刘还珠. 台风暴雨天气预报的现状和展望[J]. 气象, 1998, 24(7): 5-9.
- [5] DANG R Q. Recent advances in research on the mechanisms and causes of exceptional rainfall associated with tropical cyclones in China[J]. WMO/TD, 1998, 875: 23-26.
- [6] 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 台风暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 152-159.
- [7] 严永和. 9908号台风强降水分析[J]. 广东气象, 2000(3): 31-35.

- [8] 王新敏, 赵培娟, 李保生, 等. 影响河南的登陆台风分析[J]. 河南气象, 2002(2): 14-15.
- [9] 仇永炎. 北方盛夏台风暴雨的天气型及其年际变率[J]. 气象, 1997, 23(7): 3-9.
- [10] 张善君, 朱官忠, 曹钢锋. 华北地区登陆北上热带气旋的暴雨增幅研究[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 455-459.
- [11] 陈久康, 丁治英, 陶祖钰, 等. 中低纬度环流系统相互作用对登陆台风暴雨突然增幅的影响[C]//台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册). 北京: 气象出版社, 1996: 52-54.
- [12] 汪秀清, 姜兴玉. 9711 号台风暴雨及其环流特征分析[J]. 吉林气象, 1998(1): 13-15.
- [13] 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 9406 号台风与中纬度系统相互作用的中尺度特征[J]. 气象学报, 2002, 60(1): 31-38.
- [14] 李英, 王继志, 陈联寿, 等. 台风麦莎(Matsa)的波状降水特征研究[J]. 科学通报, 2007, 52(3): 344-353.
- [15] 蒋尚城, 谢安. 西太平洋台风与北方暴雨[M]//北方灾害性天气文集. 北京: 气象出版社, 1981: 6-10.
- [16] 蒋尚城. 远距离台风影响西风带特大暴雨的过程模式[J]. 气象学报, 1983, 41(2): 147-158.
- [17] 杨晓霞, 陈联寿, 刘诗军, 等. 山东省远距离热带气旋暴雨研究[J]. 气象学报, 2008, 66(2): 236-250.
- [18] 张兴强, 丁治英, 何金海. 非纬向高空急流与远距离台风中尺度暴雨的相关统计特征[J]. 山东气象, 2004, 24(98): 7-9.
- [19] 侯建忠, 孙伟, 杜继稳. 青藏高原东北侧一次 MCC 的环境流场及动力分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 807-810.
- [20] 陈忠明, 黄福均, 何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究 I: 诊断分析[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 352-360.
- [21] 刘子臣, 梁生俊, 张建宏. 登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 402-409.
- [22] 侯建忠, 孙伟, 杜继稳. 青藏高原东北侧突发性暴雨的环流及动力特征分析[J]. 西北大学学报, 2003, 32(增刊): 187-190.
- [23] 侯建忠, 张弘, 杜继稳, 等. 台风与高原东北侧冷锋暴雨的环境场及云图特征[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 41-46.
- [24] 侯建忠, 王川, 鲁渊平, 等. 台风活动与陕西极端暴雨的相关特征分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 203-208.
- [25] 张弘, 梁生俊, 侯建中. 西安市两次突发暴雨成因分析[J]. 气象, 2006, 32(15): 80-86.
- [26] 张弘, 孙伟. 2003 年陕西持续性暴雨成因分析[J]. 灾害学, 2004, 19(3): 55-261.
- [27] 段桂兰, 陶建玲. 对 2000—2003 年陕西三场洪灾暴雨天气的对比分析[J]. 灾害学, 2004, 19(增刊): 24-28.
- [28] 孙寿全, 魏文秀. 热带气旋与河北特大暴雨[J]. 气象, 1995, 21(7): 34-37.
- [29] 卓嘎, 谢金南, 马镜娴. 登陆台风与我国降水的统计关系[J]. 高原气象, 2000, 19(2): 260-264.
- [30] 李改琴, 梁海河, 王树文, 等. 台风海棠远距离暴雨中尺度系统特征[J]. 气象, 2007, 33(8): 17-22.
- [31] 王远超. 一次台风远距离诱发的强对流天气中尺度成因分析[J]. 广西气象, 2005, 26(增刊II): 17-20.
- [32] 杜青文, 任荣彩, 康锡言. “96. 8”河北特大暴雨地面中尺度系统分析[J]. 气象, 1999, 25(7): 25-28; 40.
- [33] 冯伍虎, 程麟生, 程明虎. “96. 8”特大暴雨和中尺度系统发展结构的非静力数值模拟[J]. 气象学报, 2001, 59(3): 294-307.
- [34] 卢家麟, 滕卫平, 杜惠良. 9015 号台风登陆后其周围的若干中尺度特征[J]. 热带气象学报, 1994, 10(2): 115-121.
- [35] 李江南, 王安宇, 侯尔滨. 台风 Fitow 降雨的数值预报试验[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(1): 16-24.
- [36] 金秀兰. 暴雨云团的发展和低空风场的关系[J]. 气象, 1994, 20(7): 3-7.
- [37] 孙淑清. 低空急流的不稳定特性. 华北暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1989: 72-76.
- [38] 党人庆, 江敦春. 台风降水的数值模拟和中尺度结构[C]//台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册). 北京: 气象出版社, 1996: 145-149.
- [39] 江敦春, 党人庆. 台风暴雨中尺度结构的数值研究[C]//台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册). 北京: 气象出版社, 1996: 143-144.
- [40] 孙建华, 赵思雄. 华南“94. 6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 I: 引发暴雨的 β 中尺度对流系统的数值模拟研究[J]. 大气科学, 2002, 26(4): 541-557.
- [41] 丁治英, 陈久康, 吕君宁. 不同雨强台风的诊断对比与数值试验研究[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 234-241.
- [42] 张少林, 龚旬利, 陈晓红, 等. 热带气旋远距离暴雨过程的诊断分析[J]. 气象, 2006, 32(4): 29-33.
- [43] 周军, 陈瑞芬, 李文源. 登陆台风远距离暴雨的观测研究和预报[J]. 南京气象学报, 1995, 18(3): 376-382.
- [44] 江吉喜, 项续康. “96. 8”河北特大暴雨成因初探[J]. 气象, 1997, 23(7): 19-23.
- [45] 杜青文, 任荣彩, 康锡言. “96. 8”河北特大暴雨地面中尺度系统分析[J]. 气象, 1999, 25.
- [46] 冯伍虎, 程麟生, 程明虎. “96. 8”特大暴雨和中尺度系统发展结构的非静力数值模拟[J]. 气象学报, 2001, 59(3): 294-307.
- [47] 蒋尚城, 林楠. 85 年 9 号台风与辽宁特大暴雨的卫星云图分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1988, 24(3): 351-362.
- [48] 陈久康, 丁治英. 高低空急流与台风环流耦合下的中尺度暴雨系统[C]//中尺度天气和动力学研究. 北京: 气象出版社, 1996: 171-179.
- [49] 陶祖钰, 田佰军, 黄伟. 9216 号台风登陆后的不对称结构和暴雨[J]. 热带气象学报, 1994, 10(1): 69-77.
- [50] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究[J]. 气象学报, 2001, 59(5): 602-609.
- [51] 孙建华, 张小玲, 卫捷, 等. 20 世纪 90 年代华北暴雨过程特征的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 492-506.
- [52] 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(2): 223-237.
- [53] 张弘, 陈卫东, 孙伟. 一次台风与河套低涡共同影响的陕北暴雨分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 52-59.
- [54] 朱洪岩, 陈联寿, 徐祥德. 中低纬度环流系统的相互作用及其暴雨特征的模拟研究[J]. 大气科学, 2000, 24(5): 669-675.
- [55] 丁一汇, 李吉顺, 孙淑清, 等. 影响华北夏季暴雨的几类天气尺度系统分析[C]//中国科学院大气物理研究所集刊(第九号), 暴雨及强对流天气的研究. 北京: 科学出版社, 1980: 1-3.
- [56] 陈忠明, 闵文彬, 崔春光. 西南低涡研究的一些新进展[J]. 高原气象, 2004, 23(增刊): 1-5.
- [57] 陈忠明, 闵文彬, 缪强, 等. 高原涡与西南低涡耦合作用的个例诊断[J]. 高原气象, 2004, 23(1): 75-80.

- [58] 陈忠明, 黄福均, 何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 352-360.
- [59] 周国兵, 沈桐立, 韩余. 台风对西南低涡影响的数值模拟与诊断个例分析[J]. 气象科技, 2006, 26(6): 620-626.
- [60] 孙建华, 齐琳琳, 赵思雅. “9608”号台风登陆北上引发北方特大暴雨的中尺度对流系统[J]. 气象学报, 2006, 64(1): 57-71.
- [61] 李志楠, 郑新江, 赵亚民, 等. 9608 号台风低压外围暴雨中尺度云团的发生发展[J]. 热带气象学报, 2000, 16(4): 316-326.
- [62] 徐国强, 胡欣. 弱冷空气对“96.8”暴雨的影响及数值模拟[J]. 气象, 1999, 25(7): 17-20.
- [63] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980, 25-146.
- [64] 丁治英, 张兴强, 何金海, 等. 非纬向高空急流与台风远距离中尺度暴雨的研究[J]. 热带气象学报, 2001, 17(2): 144-154.
- [65] 谢金南, 卓嘎. 台风活动对青藏高原东北侧干旱的影响[J]. 高原气象, 2000, 19(2): 244-252.
- [66] 建军, 余锦华. 登陆我国台风与华北夏季降水的相关[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(6): 819-826.
- [67] 任素玲, 刘岷, 吴国雄. 西太平洋副热带高压和台风相互作用的数值实验研究[J]. 气象学报, 2007, 65(3): 329-340.
- [68] 李春虎, 黄福均, 罗哲贤. 台风活动对副热带高压位置和强度的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(6): 576-582.
- [69] 鲍媛媛, 阿布力米提, 李峰, 等. 2001 年华西秋雨时空分布特点及其成因分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(2): 215-222.
- [70] 郁淑华, 何光碧. 热带气旋对华西秋季暴雨影响的数值试验[C]//第十二届全国热带气旋科学讨论会论文摘要文集. 2002: 299-302.
- [71] 王淑云, 寿绍文, 刘艳钗. 2003 年 10 月河北省沧州秋季暴雨成因分析[J]. 气象, 2005, 31(4): 69-72.
- [72] 郭立平. 一次罕见秋季暴雨天气分析[J]. 河北气象, 2004, 23(2): 18-22.
- [73] 侯建忠, 鲁渊平, 王川, 等. 台风路径及频次与陕西关中秋淋天气相关分析[J]. 气象, 2005, 35(5): 70-74.
- [74] 高由禧. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报, 1958, 29(4): 264-270.
- [75] 徐桂玉, 林育春. 华西秋雨特征及成因探讨[J]. 气象科学, 1994, 12(4): 149-154.
- [76] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤, 等. 热带气旋动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [77] 余志豪. 台风螺旋雨带——涡旋 Rossby 波[J]. 气象学报, 2002, 60(4): 502-507.
- [78] 徐祥德, 张胜君, 陈联寿. 台风涡旋螺旋波及其波列传播动力学特征: 诊断分析[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 33-41.
- [79] 陈秋士. 重力惯性波的不稳定与台风和中纬度次天气尺度系统发生发展关系[M]//天气学新进展. 北京: 气象出版社, 1986: 189-198.
- [80] 李麦村. 重力波对特大暴雨的触发作用[J]. 大气科学, 1978, 2(3): 201-210.
- [81] 骆荣宗. 9012 号台风中尺度螺旋雨带与暴雨的观测分析[J]. 热带气象学报, 1997, 13(2): 173-179.
- [82] 丁治英, 陈久康. 台风中- α 尺度重力惯性波的发展与暴雨增幅[J]. 热带气象学报, 1996, 12(4): 333-340.
- [83] MONTGOMERY M T. A theory for vortex Rossby-wave and it application to spiral bands and intensity changes in hurricanes[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1997, 123: 453-436.
- [84] WANG Y. Vortex Rossby wave in a numerically simulated tropical cyclone Part I [J]. J Atmos Sci, 2002, 59(7): 1 213-1 238.
- [85] WANG Y. Vortex Rossby wave in a numerically simulated tropical cyclone Part II [J]. J Atmos Sci, 2002, 59(7): 1 239-1 262.
- [86] 林毅, 刘铭, 蔡义勇. 福建中南部台风远距离突发性暴雨成因分析[J]. 气象, 2005, 31(10): 68-71.

AN OVERVIEW ON THE STUDY OF TROPICAL CYCLONE REMOTE RAINFALL

CONG Chun-hua^{1,2,3}, CHEN Lian-shou¹, LEI Xiao-tu⁴, LI Ying¹

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

3. Shandong Meteorological Observatory, Ji'nan 250031, China;

4. Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030, China)

Abstract: As a weather system that causes severe rainfall, tropical cyclones (TCs) have been studied for a long time by meteorologists. Besides their own rainfall, remote rainfall is also related to TCs, which is caused by interactions between TCs and mid-latitude weather systems, such as troughs, southwest vortexes, northwest vortexes, and northeast vortexes, etc. Observations and studies show that the interactions played an important role in the occurrence of TC remote rainfall. In those events, TCs-related low-level jet streams transport abundant moisture and energy into mid-latitudes and converge there. Meanwhile, mid-latitude weather systems provide large-scale background for the occurrence of TC remote rainfall.

Key words: synoptic meteorology, tropical cyclone remote rainfall, review