

56.4453
1960

西太平洋台风概论

陈联寿 丁一汇 著

科学出版社

西太平洋台风概论

陈联寿 丁一汇 著

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书对台风研究和预报问题作了比较系统的论述。全书共分十四章,内容包括台风的一般特征、台风的结构和能量、台风发生发展和消亡的理论以及新的研究成果,台风路径及其突变的原因分析,台风路径的诊断和预报方法,台风暴雨的基本物理因子和成因分析并阐述了台风引起的大风、长浪和海潮。书中还介绍了气象卫星和雷达对台风探测的主要结果及其在台风分析和预报上的应用,并对台风研究和预报在当前的现况、水平、存在的问题和进展作了评述。

本书可供从事实际预报工作的气象工作者、有关科研人员和高等院校的师生参考。

西太平洋台风概论

陈联寿 丁一汇 著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年9月第一版 开本:787×1092 1/16

1979年9月第一次印刷 印张:31 1/4

印数: 精 1—2,050 插页:精 2

平 1—1,880 字数:728,000

统一书号:13031·1054

本社书号:1479·13—15

定价: 精装本 5.55 元
平装本 4.75 元

前 言

台风是影响我国的主要灾害性天气系统之一。提高台风的研究和预报水平,对我国经济建设和国防建设具有重要意义。新中国成立以来,在毛主席革命路线指引下,我国的台风研究、预报和警戒手段有了显著发展,在国家的社会主义经济建设、国防建设和保护人民生命财产等方面发挥了积极的作用。最近十多年来,由于大气探测技术的发展和电子计算机在业务天气预报中的应用,使台风的理论研究和业务预报又有新的发展,并取得不少新成果。在这个基础上,作者结合自己的研究和工作经验并考虑了台风对我国影响的具体特点,对台风研究成果和预报技术作了概括和总结,并评述了台风诸问题的现况、水平、存在的问题和进展,以提供从事这方面工作的同志参考。

本书内容以西太平洋台风(包括南海台风)为主,必要时也写入其他海域飓风和热带风暴的研究成果。全书共分十四章,第一章给出了台风的一般特征。第二—六章和第十三章介绍台风结构、能量、发生发展和消亡等问题在当前的主要理论观点、预报方法和新的研究成果。第七—十二章主要讨论台风路径,概括了台风的十种运动,形势调整对路径转折的影响,异常路径的原因分析和陆地路径分析,并介绍了台风路径在业务预报中的诊断分析和客观预报方法。第十四章介绍了影响台风暴雨的物理因子、预报方法、台风特大暴雨的成因分析以及台风大风和台风引起的长浪和海潮。本书在有关章节对气象卫星和气象雷达对台风观测的主要结果及其在台风分析和预报上的应用也作了介绍。

本书部分内容作者在1975—1977年间曾分别在南京大学和杭州大学讲授过,根据教学后的反应,对讲稿作了修改和充实,写成此书。本书在编著过程中得到陶诗言、程纯枢两同志的热情指点和帮助,并对全书作了校阅,作者对此表示衷心感谢。巢纪平同志校阅了本书第一章、第七—十一章和第十四章,陈雄山、史久恩、李麦村三位同志分别校阅了本书的第五章和第十二章,并提出了宝贵意见;陈善敏、范永祥两同志参加了本书的部分工作;石宗祥、张大平、王陵、张清芬、张树荣五位同志完成了本书的绘图工作。对以上同志的热情帮助和精心的工作,作者一并表示深切的谢意。

作者水平有限,不妥之处敬请批评指正。

目 录

绪论 台风研究和预报问题的评述	1
第一章 台风的一般特征	10
§ 1.1 热带气旋发生的频率	10
§ 1.2 台风的源地	13
§ 1.3 台风的起源	15
§ 1.4 台风的尺度和强度	16
§ 1.5 台风眼的形状和尺度	17
§ 1.6 台风在登陆前的强度变化	17
§ 1.7 台风路径频率	20
§ 1.8 西太平洋各国台风登陆的频数和在我国各省区台风登陆或移进的频数	22
§ 1.9 各月登陆我国台风的平均最大风速和平均最低气压	25
§ 1.10 台风在不同登陆地区 and 不同路径上的雨量分布	26
第二章 台风的结构	31
§ 2.1 台风结构的基本特征	31
§ 2.2 气压场和温度场	31
§ 2.3 流入层	39
§ 2.4 流出层	42
§ 2.5 台风眼	45
§ 2.6 台风的云墙区	51
§ 2.7 螺旋雨带	54
§ 2.8 台风的结构模式	58
第三章 台风形成的大尺度环流背景	64
§ 3.1 热带的平均环流	64
§ 3.2 热带云系	70
§ 3.3 副热带高压	74
§ 3.4 热带辐合区和赤道西风	77
§ 3.5 热带波动	82
§ 3.6 北太平洋中部高空槽和高空冷涡	89
§ 3.7 极槽和副热带气旋	92
§ 3.8 近赤道环流系统	96
第四章 台风形成的条件和天气过程	103
§ 4.1 台风形成的基本条件	103

§ 4.2	台风形成条件的分析	105
§ 4.3	热带辐合区中台风形成的一般天气过程	109
§ 4.4	热带辐合区中多台风形成的天气过程	114
§ 4.5	东风波形成台风的天气过程	121
§ 4.6	高空冷涡作用下台风的形成	128
§ 4.7	冷空气对台风发生发展的作用	137
§ 4.8	台风发生发展的预报方法	140
§ 4.9	台风发生的年变化和长期变化	145
第五章	台风能量学	156
§ 5.1	台风的水分收支	156
§ 5.2	有效位能的产生	157
§ 5.3	动能平衡	160
§ 5.4	角动量平衡	162
§ 5.5	总能量收支	167
第六章	台风动力学和台风形成理论的研究	174
§ 6.1	支配台风的基本方程组及其尺度分析	174
§ 6.2	海气能量交换和边界层参数	179
§ 6.3	内部混合作用	181
§ 6.4	积云对流的凝结加热	185
§ 6.5	第二类条件不稳定 (CISK)	191
§ 6.6	台风的数值模拟	192
§ 6.7	台风形成理论的研究	198
第七章	台风的十种基本运动	206
§ 7.1	自转运动	206
§ 7.2	内力运动	207
§ 7.3	牵引运动	211
§ 7.4	惯性运动	213
§ 7.5	陀螺运动	217
§ 7.6	蛇形运动	217
§ 7.7	偏心运动	219
§ 7.8	吸附运动	221
§ 7.9	回旋运动	221
§ 7.10	趋暖运动	223
第八章	大范围环流调整对台风路径的影响	227
§ 8.1	西太平洋台风路径分类	227

§ 8.2	阻塞形势的建立和崩溃	229
§ 8.3	分支点的进退	233
§ 8.4	锋区波动的反相和同相	237
§ 8.5	长波槽的延伸和替换	239
§ 8.6	南支波动的屏障作用和诱发作用	243
§ 8.7	青藏高压的稳定和东进	245
§ 8.8	热带辐合区的延续和断裂	247
§ 8.9	赤道缓冲带的稳定和北进	253
§ 8.10	多台风时期的路径特点	255
§ 8.11	低层引导作用	258
第九章	台风的异常路径	262
§ 9.1	在太平洋上见到的几种异常路径及其频率	263
§ 9.2	中纬度高空切断冷涡对台风路径的影响	264
§ 9.3	黄海台风的西折	269
§ 9.4	孟加拉湾风暴对西太平洋西部台风路径的影响	277
§ 9.5	东风波对台风路径的影响	281
§ 9.6	蛇形路径的环流背景	283
§ 9.7	南海台风的北翘	289
§ 9.8	正面登陆辽鲁的台风	295
§ 9.9	回旋路径的特点分析	298
§ 9.10	台风的突然加速和跳跃	305
§ 9.11	台风的突然减速和停滞	312
§ 9.12	大型岛屿诱生作用对台风路径的影响	318
第十章	台风的陆地路径	325
§ 10.1	陆地路径的分类和频率	325
§ 10.2	登陆台风移向改变的环流特征	328
§ 10.3	山脉对陆地路径的影响	331
§ 10.4	影响不同省市的台风陆地路径	334
§ 10.5	台风在陆地上的停滞和维持条件	341
§ 10.6	登陆台风的人海问题	342
§ 10.7	台风陆地路径的预报	350
第十一章	台风路径的诊断分析和预报	352
§ 11.1	流场诊断	352
§ 11.2	温度场诊断	354
§ 11.3	参数诊断	355
§ 11.4	云图诊断	356

§ 11.5	雷达回波诊断	360
§ 11.6	天电诊断	366
§ 11.7	综合诊断	368
第十二章	台风路径的客观预报方法	370
§ 12.1	概率统计方案概述	370
§ 12.2	多元线性回归	373
§ 12.3	事件概率回归	375
§ 12.4	逐步回归	377
§ 12.5	判别分析	379
§ 12.6	熵和信息	385
§ 12.7	前期路径相似法	388
§ 12.8	第一类动力模型	391
§ 12.9	第二类动力模型	393
§ 12.10	统计-动力方案	396
第十三章	台风的加强和衰亡	399
§ 13.1	台风的强度变化	399
§ 13.2	海面温度对台风强度的影响	403
§ 13.3	高空槽对台风强度的影响	405
§ 13.4	海洋上岛屿对台风强度的影响	410
§ 13.5	大台风和小台风(超级台风和微型台风)	413
§ 13.6	台风的衰亡	420
§ 13.7	台风的再生和变性	423
§ 13.8	卫星云图在分析和预报台风强度变化中的应用	428
§ 13.9	人工影响台风的强度	435
第十四章	台风天气及其预报	440
§ 14.1	台风天气及其灾害	440
§ 14.2	影响台风降雨的物理因子	442
§ 14.3	环境流场对台风降雨的影响	447
§ 14.4	冷空气对台风降雨的作用	454
§ 14.5	地形对台风降雨的影响	456
§ 14.6	孟加拉湾风暴对我国降雨的影响	459
§ 14.7	台风中的中尺度强烈天气	462
§ 14.8	台风特大暴雨成因分析	466
§ 14.9	台风暴雨的诊断和预报	474
§ 14.10	台风中的大风	482
§ 14.11	台风引起的长浪和海潮	488

绪 论 台风研究和预报问题的评述

台风是一种发生在热带海洋上的强烈风暴,这种热带风暴在全球三个海区上影响最大,即西北太平洋(包括南海)、西北大西洋(包括加勒比海和墨西哥湾)和孟加拉湾。当这种风暴移近大陆或登陆后,将给人类带来灾害,严重的可酿成巨灾。例如1970年11月一个孟加拉湾热带风暴引起了汹涌的巨浪和大海潮,吞没岛屿、冲毁陆地,使30万人丧生。1959年9月一个西太平洋台风在日本伊势湾登陆,使10万人无家可归,造成巨灾。1969年8月,出现在美国密西西比河三角洲正东墨西哥湾沿岸的一个飓风(Camille),使美国遭到百年不遇的重灾。

我国是全世界少数几个受台风影响最严重的国家之一。我国从辽宁到广西漫长的沿海地区都可能有台风登陆,台风带来的强风、大暴雨和海潮对我国人民的生命财产是一个严重威胁。例如1922年一个强台风在汕头地区登陆,使6万人死亡。新中国成立以后,党中央和毛主席关怀人民气象事业的发展,使气象工作在防御灾害、保护劳动人民生命财产和为国家社会主义的经济建设和国防建设的服务工作中发挥了积极的作用。例如1969年7月一个强台风登陆汕头地区,这个台风和上述1922年那个登陆汕头的台风比较,台风强度、影响范围和登陆地点均相仿。在这个台风登陆之前两天,国家气象部门就发布了台风警报,周总理还亲自向台风将要登陆和影响的地区发出了防台指示,动员当地沿海广大军民组织起来抗台救灾,从而使当地在台风来到之前做了充分准备,海上船只都回港避风,大大地减轻了损失。

全球大洋沿岸一些国家和地区每年受台风袭击而遭到的人员伤亡和经济损失是可观的,例如美国现在平均每年损失超过8亿美元。近几十年来,由于沿海地区投资增加,因而使这种损失还在上升。我国所遭台风之灾也不轻。最近20年来,尤其对于一些特殊台风,受灾更为明显。例如1959年8月23日登陆厦门的台风和7203, 7416, 7504, 7708等台风,在登陆之前路径突变; 6811, 7301, 7314等台风登陆之前突然加强; 1956年8月1日登陆象山的大台风和6903, 7413, 6207等台风在沿岸引起的大海潮和海水倒灌以及7412, 7503等台风登陆后维持不消而引起了罕见的特大暴雨,这些特殊台风都曾使我国沿海和有关的内陆地区受到危害。从另一方面看,台风也有经济收益的一面,它的降雨可以解除干旱。美国东部沿海各州台风降雨占全年总雨量的1/3,我国东南沿海夏季伏旱期常常依靠台风的降雨来缓和或解除旱象。如果报准台风的影响,事先充分做好防风、排涝或蓄水保墒等工作,就可防害收利。因此,加强对台风的研究和做好台风预报服务工作,对保护人民生命财产、国家经济建设和国防建设有很重大的意义。

最近十多年来,在台风研究和预报上取得了明显的进展。通过各种资料的综合分析和理论研究,目前对台风形成原因、演变过程和内部结构等认识得更为清楚。提出了台风发展的第二类条件不稳定理论,并推动了台风数值模拟的发展,概括出了更符合实际的台风发展和结构模式。台风预报,尤其是路径预报向客观和定量的方向有了显著发展,预报水平在逐步提高。另外,在人工影响台风方面也取得初步结果。

所以能取得上述一些重要的进展主要由三方面原因造成：一是观测网的增密和新的观测工具的应用。最近二十年来，增设了不少新的测站，全球的地面和高空观测网有很大的改善，特别是在热带海洋上，观测站数目也比以前增加。例如在西北太平洋上，目前共有 20 多个高空站进行一天两次观测，平均一千公里有一个高空站。此外飞机报告也大量增加，尤其是在北太平洋地区每天可收到许多飞机报告，它们已成为该地区高空资料的一个重要来源。飞机主要在急流高度（300—200 毫巴）飞行，因而所得到的资料（如风的资料）对热带天气分析很有用处，根据这个层次上环流的分析可以揭示台风及其它热带天气系统高层环流的特征。除了这种民用飞机报告外，专门的台风探测飞机还提供了许多台风内部情况的资料，这对研究台风的结构很有用处。此外船舶报告也日益增多，现在在热带地区（30°N—30°S）每天至少可以收到 1000 个以上的船舶报告。所有这些观测资料综合在一起，可大大改进热带天气分析。在新的观测工具的应用上，气象卫星对于监视和研究台风起着重大的作用。根据卫星拍摄的云图及由云运动推算出的热带风场的研究，人们揭示出许多新的事实和现象。尤其地球同步卫星目前已成为热带海洋上连续监视台风的一种主要工具。气象雷达现在已普遍采用，不少国家都设有专门监视台风的雷达警戒网。我国沿海地区也建立了测台雷达网。雷达现已成为近海地区监视台风的一种重要工具。雷达观测在台风结构和发生发展等方面揭示出许多重要的事实。

二是有重点地制定和组织了一些专门的台风研究计划和试验，从而能够集中力量，重点突破一些重要问题。例如美国从 1956 年开始的台风研究计划（National Hurricane Reserch Project），人工影响台风的“狂飚”计划（Stormfury Project）以及一系列的热带大气和海洋的试验计划，也推动了台风研究在许多方面的进展。在台风路径的预报上，由于电子计算机的应用，使得多因子逐步筛选的统计学方法和多层次细网格的动力学方法以及动力和统计相结合的方法在业务预报中得以实现，通过多年来对各种预报方案的反复试验和比较，逐步了解了各种预报方法的性能，从而使目前台风路径的客观预报方法水平有了一定提高。

我国的台风研究在毛主席无产阶级革命科研路线的指引下，近十几年取得了显著的成果，在台风影响的地区和省份，广泛展开了专业队伍与广大群众相结合的科研工作，分工协作进行了有组织的研究活动。无论在台风形成和发展，台风路径预报和台风天气等方面都作出了可喜的成绩。

三是采用数值模拟方法广泛地研究台风的形成、结构和能量等各方面的问題，从而对台风形成和维持的物理过程及其与其它尺度系统的相互关系有了较深入的认识。从六十年代以后，台风的数值模拟已成为研究台风的重要手段之一。

下面我们对台风研究和预报的现况、水平和存在的问题作一个简要介绍。

1. 台风的形成问题

最近十几年来，由于观测资料的日益增多，尤其是依靠气象卫星观测，对台风发生的源地和频率认识得更清楚了。例如在东太平洋，观测表明，每年发生十几个风暴强度以上的热带气旋，这大大超过以前人们所作的推测或统计。据 1960—1965 年 6 年统计，每年平均发生 8 个热带风暴和飓风，而据 1966—1971 年统计，每年平均发生 16 个热带风暴和飓风，增加了一倍。台风的源地也比原来认为的更远。例如西太平洋上的台风其源地有

些可以追溯到中太平洋,甚至东太平洋;大西洋上的飓风不少可以追溯到非洲大陆。

台风的形成包括台风的发生和台风的发展或加强。台风发生是指一个弱的未闭合的扰动(涡度为 $10-15 \times 10^{-6}$ /秒),如何发展成一个闭合的较深厚的热带气旋(涡度为 $50-100 \times 10^{-6}$ /秒);而台风的发展是指后者如何增强成台风。关于台风形成主要有两方面的问题:一是台风形成的条件;一是台风形成的物理过程。对这两个问题虽然研究得很多,但至今并没有一致的认识,有不少问题还不完全清楚。台风从本质上看,是出现在热带海洋上一种天气尺度的有组织的对流系统。要使得对流活动或积雨云不断发生,低层要有暖湿的空气、位势不稳定的层结和低空辐合或上升运动,因而台风只能形成在暖的洋面及低层正涡度区或辐合区。在热带辐合区附近这些条件常可以满足。这也说明为什么台风最易发生在热带辐合区附近。台风是暖心气旋性环流,高空暖心的建立是台风生成的主要标志之一,而要形成暖心则需要有凝结潜热加热,并能在高空一个小范围地区集中和积累,这要求风的垂直切变小。因而从目前来看,暖的洋面、低层辐合区、垂直切变小和有一定的地转偏向力是台风生成的四个必要条件。虽然有人还提出其它一些有关的条件,例如高空辐散及中空湿度条件等,但这不一定是独立的必要条件。

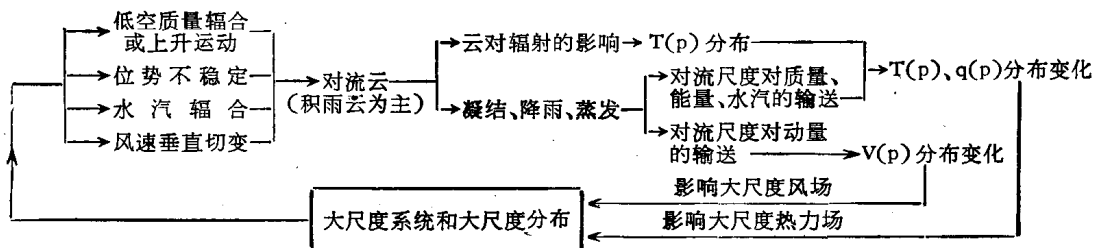
根据上述一些条件还不能完全准确地预报台风的发生。因为满足上面的条件,台风并不一定发生,而有的台风并不完全出现在上述条件下。这表明至今人们对台风形成条件的确切作用还不充分了解。这是因为上述条件只是必要条件,而不是充分条件。近年来人们根据个例分析和综合方法对发展成台风的云团(扰动)与不发展成台风的云团的结构和环境条件作了对比分析,对台风发生的条件有了一些新的认识。对比分析后发现,发展成台风的扰动平均低层相对涡度较大,为非发展扰动的二倍,并且垂直速度大了 25%。两种扰动在 500—200 毫巴都是暖心,在对流层顶和近地面 100 毫巴层中是冷心,而在 500—800 毫巴,在发展扰动中是暖心结构,而非发展的是冷心结构,这是发展和不发展扰动在热力结构上最基本的差别。如果这种分析有代表性,看来判断一个初生的扰动是否能生成台风,关键不在于高空冷心如何转变成暖心(因为无论是发展的和不发展的高空都是暖心),而在于 800—500 毫巴冷心是否消失或一开始在该层就具有暖心结构。以后当然还有高空暖心进一步集中和增强的问题。台风内切向风及相对涡度的分布也证实了上述温度分布的差异确实是存在的,在发展的扰动中,在边界层正上方有一涡度最大值,而非发展扰动中此最大值是位于对流层中部。发展的扰动所处的环境一般平均纬向风垂直切变比非发展的要小,这样对发展的扰动,整个对流层的通风作用较小,这可使感热和潜热积累,是台风形成的有利条件。在发展的扰动中,在 150—250 毫巴层中,反气旋流出比非发展的更为明显。上述一些差别在判断一个初生扰动能否进一步发展是有用的。

要了解台风形成的物理过程,一般认为关键是要解释高空暖心是如何形成和增强的,这主要通过凝结潜热的释放。但是在台风中,潜热的释放不是随机的,而是受天气尺度制约的。这涉及到台风中不同尺度系统的相互作用问题,要了解台风的形成过程必须从各种尺度相互作用的观点进行考察。在热带地区主要有四种尺度(见表 1),这四种尺度间有明显的相互作用。一般说来,大尺度系统制约着较小尺度系统的发生发展;另一方

表 1 热带天气系统的尺度

尺度种类	范围(公里)	时间尺度
A: 波动尺度	10^3-10^4	几天
B: 云团尺度	10^2-10^3	十几小时
C: 中尺度	$10-10^2$	几小时
D: 积云尺度	$1-10$	几十分钟

面,较小尺度系统的输送过程对大尺度产生反馈作用。为了说明这个问题,下面以 B, D 尺度相互作用的过程说明如下:



实际上尺度相互作用的过程比较复杂。在某一种尺度天气系统发展过程中常常会涉及到几种尺度的相互作用过程。台风本身是天气尺度的系统(B尺度),但它包含有更小尺度的系统(C、D尺度),例如深厚的积雨云是积云尺度(D尺度),螺旋云带及其间的下沉区、眼区是中尺度(C尺度)。这几种尺度系统之间具有明显的特征,但它们又高度有机地相互作用着。目前了解较多的是B尺度和D尺度之间的关系及B尺度与C尺度之间的关系,台风的形成基本上是上两种尺度相互作用造成不稳定性的结果(即第二类条件不稳定, CISK),这是一种正反馈过程。目前对于台风内三种尺度相互之间的联系了解得还不很清楚,例如台风中螺旋雨带和眼区的结构具有高度的组织性,这种中尺度结构特征是怎样在大尺度系统中发生的,又如何在与大尺度系统相互作用中发展的;另一方面它们与积雨云的关系又是怎样?如何表示小尺度系统对大尺度系统的反馈作用也是一个重要问题,这涉及到积云参数化问题。目前虽然有不同方案,例如湿对流调整方案,边界层辐合方案,整个气柱水汽辐合方案等,但其中还有不少问题值得研究和改进。有些方案过于简化。并且主要是考虑B, D尺度的相互作用。这个问题的解决与边界层问题有密切关系。

根据尺度相互作用得到的第二类条件不稳定目前认为是描述台风发展的一种重要机制。这是通过边界层辐合或水汽向上输送的作用使扰动增幅的理论:水汽凝结使潜热释放,高空增暖和质量流出,地面气压下降,地面辐合增强,如此循环。这个理论能较好的解释发展的热带低压继续增长的问题,但不能说明这种初始具有一定强度的低压涡旋是通过什么过程发展而来的。另外在原来的 CISK 机制中还存在一个问题,即当扰动的尺度为零时,增长率为最大值。对此不少人进行了研究,提出了一些新的 CISK 模式和机制。

根据 CISK 机制用数值模拟方法在模拟台风的发展或增长方面得到了明显的成功。这些模式在不同程度上描述了各种尺度之间的相互作用,尤其是积云对流与大尺度之间的作用。模式热带气旋的发展过程和特征与实际情况十分相似。试验不仅模拟出了台风的一些主要大尺度特征,而且还模拟出台风的一些中尺度特征,如台风眼、眼壁、螺旋云带等。但是目前台风数值模拟中所取的初始涡旋的强度和垂直伸展厚度都比较强,例如在200—300公里半径内,其涡度比一般发展成台风的前期扰动的涡度大一个量级,因而数值试验所模拟的实际上是一个初始气旋性涡旋的增长或发展过程。实际观测表明,一般达到上述强度的初始低涡,有2/3可发展成台风,因而如何模拟台风的发展问题还值得进一步研究。另外,还应考虑台风与环境场之间的关系或相互作用,初始资料的输入等问题。

台风发生发展问题虽然研究得很多,但在预报上还没有什么好方法。目前主要是根据一些天气学条件和卫星云图的特征来预报台风的形成和加强过程。将来随着对台风形成本质的进一步认识,在概括出更符合实际的台风形成的物理数学模式基础上,可望提出客观而有效的预报方法。

2. 台风的结构和能量问题

台风在低层主要是流向低压的流入气流。由于角动量平衡,在内区可产生很强的风速,在高层是反气旋的流出气流。上下层环流之间通过强上升运动联系起来,这是台风环流的主要特征。近年来,人们根据西太平洋和大西洋上台风和飓风的资料,对台风结构进行了不少的研究,例如对大西洋上不同强度的飓风进行了详细的结构分析,又利用综合方法对西太平洋的平均台风结构作了研究,发现台风结构并不象上面所说的那么简单。例如1964年的 Gladys 飓风和1969年的 Debbie 飓风的研究表明,除了一般的大尺度结构外,还有一些明显的中尺度结构,如联系高低环流的深厚的中尺度积雨云团(称为圆形抽气云(CEC))等,根据平均台风的研究,人们也发现不少重要事实。例如在台风内区(400公里到风速最大值之间地区),流入几乎完全处于最低层(900毫巴以下),在台风中心区附近(眼区),是流出气流。在台风外区(4° 纬距半径以外),并不完全是这种情况,深厚的层次中(从边界层到300毫巴)都有流入。这种中层流入对台风整个湿静力能量的收支有重要影响,但它的起因并不清楚。它在许多数值模式中是没有考虑的。一般模式主要是依靠边界层的摩擦辐合来推动径向环流的运转。存在中层流入的事实表明,CISK 机制可能不是推动台风环流运动的唯一强迫机制。

台风中最暖的温度是由下沉运动造成的,它正出现在眼壁内边缘以内,这里有最强的下沉运动。在台风低层最大风速半径处,辐合最强,最大风速值半径的大小随高度变化甚小,并位于眼壁之中。另外台风结构的不对称性也是近年来人们注意的特点,分析表明,无论是在台风内区和外区都有明显的不对称性,这种不对称性对于台风发展和动量及动能的输送等有重要作用。在现在采用的许多台风数值模式中,是假定轴对称的,这与实际情况有一定差异,尤其是在外区,因而有人开始采用三维的不对称模式,得到了许多更接近实际的结果(如螺旋雨带等)。

通过实际台风和数值模拟中模式台风能量收支的计算,目前基本上已得到台风各种能量和总能量收支的图象,这对于了解台风的发展和维持很重要,同时对于研究台风与大气环流的相互关系也很重要。天气尺度的台风是大气中很强的动能源,在台风 $0^\circ-10^\circ$ 纬距半径区内,动能的输送平均为4.8瓦/平方米,因而从能量上台风对大气环流的变化和维持应有重要影响,这个问题已引起了人们的注意。在能量问题上近年来有人还指出,角动量的水平涡旋输送在台风外区很重要;另外,在外区动量的产生和输送也很重要,它们在台风能量收支中不应加以忽略,这些都与台风的不对称性有关。

3. 台风的移动及其预报问题

台风的移动与许多因子有关,包括大范围流场(如副热带高压、西风槽等)、海面和大气温度、地形、以及台风本身的结构和强度等。其中经常起主要作用的是台风的环境流场。本书将西太平洋上常见的台风路径分为七类,但实际上有些台风的路径比这要复杂

得多。由于环境流场或台风本身条件的突变、以及受到其它复杂因素的影响,台风路径会发生急剧折向、跳跃、停滞、打转和摆动。对于这类异常路径,目前各种客观的或经验、诊断等预报方法经常报错,对这类路径的预报问题近年来已引起国内外的很大重视。

台风路径的预报方法,概括起来可分为六类:(1)天气图和预报员的经验预报,(2)诊断分析方法,(3)数理统计方法,(4)动力学方法,(5)统计和动力相结合的方法,(6)气候和外推方法。这六种方法各有所长,但这些方法大多根据牵引原理做预报。目前大多数采用低层或中层的气流(地面到500毫巴,一般用700毫巴)作为引导气流。当引导气流很弱或台风环流对环境基本气流有较强的反作用以及其他非引导因子对台风移动起主导作用时,根据引导原理设计出来的各种预报方法一般都将失效。但预报员从天气图上归纳出来的实际经验或抓住了当时支配台风移动的主要原因的某种诊断结果倒偶有一定成效。

数理统计方法目前多采用多变量筛选以建立台风环境流场特征、气候因子以及惯性因子等与台风中心未来位置之间的某种相关方程,我国预报台风的很多气象台站都建立了这种方法,通常用逐步回归或逐步判别来实现这种预报。有的台站还采用相似法,即按一定的相似标准选中相似的历史路径样本,据此来作出台风中心未来位置的预报。美国最早在业务中使用一个比较有效的统计方法是NHC-64,以后Miller等人修改为NHC-67。该方法使用了1000,700和500毫巴面上的预告因子,得出72小时之内每隔12小时的中心位置。目前使用的NHC-72也是用统计筛选法求取台风四周环流特征与未来12—72小时台风中心运动的相关关系。美国用于业务的相似方法称为HURRAN,这个方法用前12小时的移向移速,按相似标准选取历史相似路径,根据这些相似路径算出72小时之内的最大可能路径并算出一族概率椭圆,以表示相应于不同时效台风中心有50%可能性落在椭圆之内。近年来,他们还设计了一个仅取气候规律和过去移动特征的持续性作为预告因子的方法(Clipper)。试用结果表明,如将HURRAN和Clipper结合起来使用,效果很好。但目前各种依靠历史样本做预报的统计方法,对异常路径一般都报不出来。

动力学方法目前可分为两类,第一类把台风当作点涡,用数值模式预报台风四周大范围基本流场,再用这个流场牵引点涡运动。这种方法一般还附加一定统计的或经验的订正参数,最后作出点涡未来不同时效的位置。例如美国一种叫Mohatt的方法,采用了地转风对热带气旋中心的引导,并加上由引导气流预报所得第一个12小时的结果来确定统计订正值。我国台风业务预报中也设计并试用过类似的方法。第二类动力模式中考虑了真实台风旋涡环流系统的存在,体现出台风环流与四周基本气流之间相互作用。目前国内外已经发表了一批有价值的第二类动力模式的试验研究。例如我国一种内含台风的正压原始方程模式已作了多年试报,结果表明对个别台风路径的突变在预报路径上也有所反应,对异常路径的预报能力看来比其他方法要更有潜力。美国设计的一个水平细网格(75和150公里)多层有限区域原始方程模式,并考虑了积云对流参数化。试验表明,这个方法对预报24—36小时之内热带气旋的发展和移动方面有一定成效。

台风的动力学预报方法还有待于进一步发展,要使这种方法完善起来尚需考虑下列问题:(1)要扩大使用资料的范围,卫星是一种可以连续而有效地监视台风活动的工具,但目前可以输入到数值模式中去的资料还不多,如能实现这一点,模式的性能是大可改善的。(2)对行星边界层(包括海气相互作用)以及积云对流和大尺度环境流场的相互作用

要有更好的物理表达。(3) 初值问题, 国内外对统计预告的误差分析后指出, 最重要的误差来源是台风初始位置的定位误差。在动力预报中, 资料的初值化同样将成为一个问题。一些台风模式中资料要求的研究表明, 观测记录在台风中心附近和最低层最为有用, 温度和风的记录大体上是同等重要的。但是, 在台风与环境之间相互作用的基本物理过程被揭示之前, 动力学方法的预报能力要有显著提高是有困难的。

统计和动力相结合的预报方法是现代台风预报中出现的一个发展趋势。我国预报员曾设计出一套动力和统计结合的数值模型, 即在动力方程中用随机过程来描述动力过程中难以确定的量(如所有的外力和内力), 从而对单纯的动力模型和单纯的统计模型进行了改进。试报结果表明, 预报性能比单纯的统计模型有了提高, 但对于统计预报的缺点仍有保留, 因此对异常路径的预报能力仍旧是较低的。

国外统计动力相结合的模式一般采用 MOS 方法, 这种方法将数值预报的产品(例如形势预报场)作为因子输入到统计模型中去, 从而来提高统计预报方程中因子和预报量之间的相关性。试验结果表明, MOS 方法比用初始场因子做预报有了明显改善。

用气候因子和持续性因子(即外推)相结合的方法做预报, 对预报一般常见路径的台风效果较好, 对预报异常路径常常失败。

从六十年代以来, 对于用卫星云图和雷达回波总结所得的指标来预报台风路径的方法也有明显发展。例如根据卫星云图上台风的云型特征、转动角度以及台风云团与环境云带或云团的不同状态和演变与台风未来的移动均有一定关系。雷达回波中出现的外辐合带(即台风前飑线)、螺旋辐合带等的平移、转动和曲率以及高亮度点位置、条状回波走向、眼壁回波形状、强雷雨回波的位置、超折射效应对台风未来移向均有一定指示作用。这些在台风业务预报中不失为一个有效的辅助工具。

非气象因素对台风路径也存在着明显的影响。例如在引导气流微弱时, 台风经常沿着海温暖舌轴线移动, 而避开冷海温区。近年来一些统计研究指出, 台风的冷尾迹将对另一个尾随台风的移动产生排斥作用, 并将使穿过冷尾迹或在冷尾迹上移动的尾随台风强度减弱。岛屿和陆地也影响着台风的移动。例如当一个台风靠近岛屿时, 就可能在岛屿的背风侧诱生出一个新的气旋性环流, 以后, 低层台风可能消失, 而高层的辐散结构与新生的低压环流结合, 使新的低压得到发展, 并加强为台风, 看起来原来的台风象是“跳”过了岛屿。岛屿使台风路径出现跳跃现象在我国台湾省最为明显的表现出来, 另外在菲律宾的吕宋岛和日本诸岛亦偶有发现。岛屿诱生的低压环流有时对台风还产生一种“吸引”作用。在引导条件不变时, 岛屿和大陆对靠近海岸的台风还产生加速现象, 这种现象在我国所做的模拟试验中也得到了证实。经验表明, 这种非气象因素经常是造成台风异常路径的原因之一, 而在业务预报中经常受到忽视。

目前使预报员最感困难的是异常路径, 这类路径不是和引导气流的偏离很大, 便是出现的概率很小。由于这两个特点, 因此使以引导原理为基础的动力学方法和以历史样本为根据的统计学方法在预报这种路径时失效。异常路径的形成经常和短期天气过程中的突然事件有关, 例如在我国东部沿海北上台风的突然西折登陆是一种异常路径, 这种路径已经多次使得我们因防备不足而受到损失。个例分析表明, 这类西折路径的一个主要成因是与中纬度一个切断冷涡的吸引有密切关系, 这种冷涡的切断是短期天气过程中的突然事件。“切断”与“西折”之间的时距往往十分接近, 以致在各种数值模式或预报员的经

验预报中无法利用这一个重要的信息。这是异常路径预报中的又一个难以克服的困难。

当前各国对台风路径的预报水平是这样的,对一般常见路径,各种统计的或动力的预报方法以及预报员的经验预报都能报得较好;但对于异常路径,各种预报方法的结果都互相分歧,一般均告失败。对异常路径预报问题的研究是当务之急,我们认为除了开展有关台风形成和运动的数值试验,进行台风机制理论的研究并设计出能描述台风涡旋与环境流场相互作用的物理模式外,发展探测技术、引进新的装备、扩充资料来源、从时间和空间上加密实时资料以及加强预报员的经验总结都是必不可少的措施。

4. 台风的天气

台风是一种灾害性天气,台风的灾害由三方面原因造成:(1)大风,袭击沿海的台风风速经常有40—60米/秒以上。有些台风的风速可达100米/秒左右。(2)暴雨,一般一个台风经过时可造成150—300毫米的降雨。个别台风在有利条件下可造成特大暴雨。如1969年8月的Camille飓风在美国弗吉尼亚州等地造成了686毫米/日的倾盆大雨,带来了爆发性洪水。据美国统计,自1886年以来美国有63次洪水是由飓风暴雨造成,平均15年1次。在我国,台风是造成特大暴雨的主要灾害性系统之一,很多强烈的持续性暴雨都与台风有关。最近十几年来,造成1000多毫米的台风暴雨有好几次,其中以7503号台风在河南造成的暴雨最强。(3)风暴潮,当台风移向陆地时,由于很低的气压和强风的作用可使沿岸海水暴涨,这种现象叫风暴潮。强台风的风暴潮可使沿岸海水上涌5—6米。另外在深海,台风可以掀起巨浪,浪高可达十几米。

在台风天气中,由台风直接或间接在陆地上造成的特大暴雨是预报员最关心的问题之一。根据国内外暴雨的分析和研究,最强的暴雨常常是由台风或与台风有关的天气系统造成的。台风登陆以后,如果维持不消,并在适当条件配合下(如有充沛的水汽,适量的冷空气,有利的地形等)可以造成持续性的特大暴雨,尤其是停滞或移动缓慢的台风,或与中纬度系统相结合的台风造成的暴雨更强。台风除了直接造成暴雨外(即由台风环流本身或台风倒槽),对暴雨的产生还有间接影响,即在一定环流形势配合下台风与副热带高压之间形成的强偏东或强偏南气流对暴雨区的水汽输送及辐合有重要作用。在我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发生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。近年来这问题已引起很大的注意。

地形对台风暴雨的增强有明显的作用。在大范围雨区中强暴雨中心都常常与地形有关。如1975年8月上旬河南特大暴雨出现在板桥水库附近与台风东南气流正交的喇叭口山区。根据影响日本的台风暴雨分析,在山区的降水强度应等于没有地形时的降水率与地形增幅因子的乘积。所计算出的地形增幅因子分布十分类似于地形等高线的分布,最大增幅因子可达4,即由于山地的增幅作用,山区降雨强度可为平原上的4倍(假定影响系统的强度没有变化)。据目前的研究,山区对地形的增强机制可能有几种情况:(1)迎风面气流强迫抬升,或地形对气流的辐合作用(如喇叭口地形);(2)在山区由于低空辐合等作用常形成低云(如层状云),如果有积雨云移到山前受阻,则与层状云结合,使积雨云变质,这种两层云的结合能形成很有效的造雨机制,使雨量明显加大。另外地形的增幅可以由云中小雨滴浓度增加造成,当降水质点下落时,可以捕获许多低层小水滴,使雨量加

大;(3) 积雨云在山区有利的辐合条件下强烈发展,或由于移速减慢、停滞而使一些积雨云聚集,结合成积雨云群,最后变成稳态的生命期较长的强烈对流风暴,从而使暴雨增强;(4) 与中层水滴或冰晶对低层云的播撒或冲刷作用有关。根据这种看法,地形雨的形成需有两个条件:一是低层有云存在,二是中层要有播撒粒子,两者缺一都有碍产生地形雨。在具备播撒粒子的条件下,地形雨则决定于低空云中的液态水含量,而云中液态水含量又与受山脉抬升前空气的相对湿度有关,为了使强地形雨持续发生,液态水含量必须不断补充(由于高空雨滴冲刷作用液态水含量不断减少),这要在低空有一支低空急流存在,它不断地把大量水汽输向山区。这样中层的播撒粒子落入到低层云中时,由于播撒作用在山区造成强暴雨。播撒粒子可被高空风带到山脊或山后,所以地形雨不限于出现在山前。目前地形对暴雨的影响虽然提出了上述几种看法,但缺乏定量的计算,看来在不同条件下地形雨的形成原因是不相同的,其具体过程也比较复杂。

台风暴雨主要由台风中的中小尺度系统造成(如切变线、辐合线或中高压、中低压等),台风中强烈的天气(飑线、龙卷)也常与这种系统有关。由于资料限制,这方面研究很不够。利用雷达资料和卫星资料可以观测这些系统的生消和移动,应该总结出台风暴雨中小系统活动规律的特点及其与大尺度环流关系的模式。

台风的研究和预报在过去十几年虽然取得了明显的进展,但还有许多问题没有解决,尤其是台风的突然发展或减弱,异常路径和台风特大暴雨。为此今后应加强下面几个方面的工作:(1) 新的台风探测工具和技术的研究,以此可以得到新的更详细的台风资料,从而揭示出台风的新事实;(2) 加强台风数值模拟,实验模拟和机制理论的研究,包括台风发生发展的理论模式,制约台风的移动物理因子,暴雨形成机制等,这些问题的解决将把人们对台风问题的认识提高到一个新的阶段,并使得最终在台风研究和预报的一些重要问题上有所突破;(3) 台风预报方法的研究,这将大大促进业务预报水平的提高;(4) 需要加强预报员实际经验的总结和台风个例分析的工作;(5) 台风的人工影响也应当予以重视。虽然目前对于台风人工影响的效果看法还不一致,但在这方面过去十几年中所进行的工作(野外作业和理论研究)表明,人工影响台风的前景是有希望的。

可以相信,今后通过大量的工作,不断总结经验,深入分析研究,一定会在台风预报和研究上取得更大的进展。