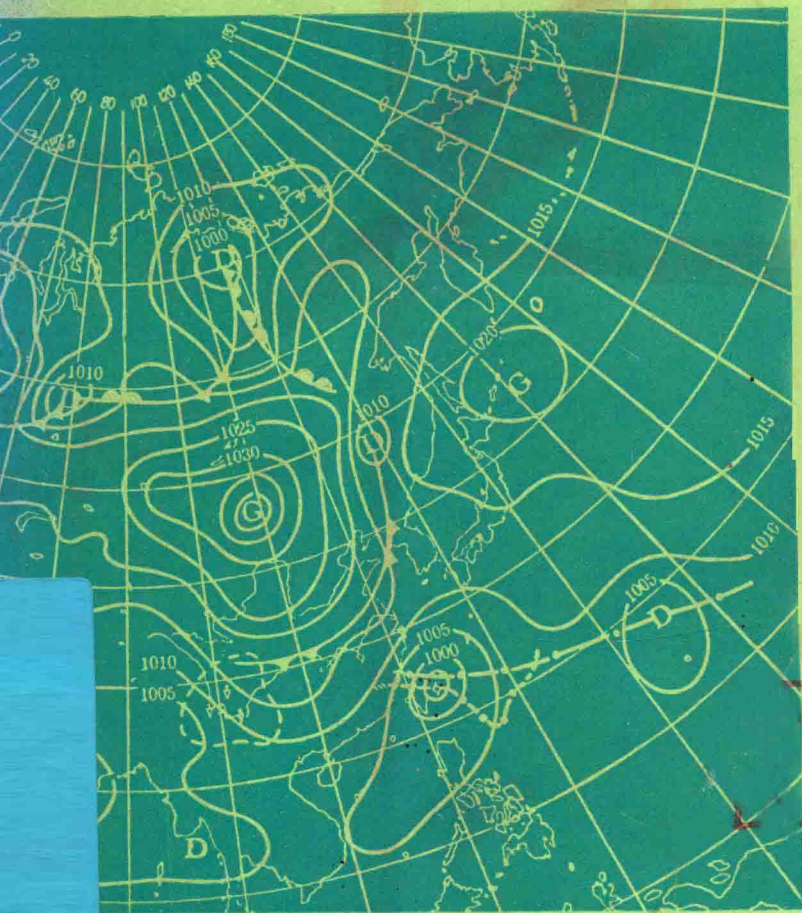


台風会議文集

1981



台 风 会 议 文 集

(1981)

上海科学技术出版社

台风会议文集
(1981)

上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23.25 插页 1 字数 558,000

1983 年 10 月第 1 版 1983 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—1,560

统一书号: 13119·1091 定价: (科五) 3.20 元

前 言

一九八一年五月十三日至十八日，在南京召开了全国台风科研协作经验交流会。会议的主要任务有两个：一是对一九七二年以来的全国台风科研协作的进展情况进行一次回顾和总结，二是交流一九七八年上海闵行台风会议以来台风协作研究所取得的成果。同时，结合传达一九八〇年上海国际台风学术会议，介绍了当前国际上热带气旋研究的基本动态。会上还邀请了南京大学黄士松教授和吴伯雄教授分别作了专题报告。会议共收到论文 112 篇，综合评述 8 篇，会上交流了论文 87 篇，最后选择了五十余篇汇编成这本文集。

从一九七二年国家气象局组织全国台风科研协作到这次会议，已经有十个年头了。回顾过去，我国台风科研协作取得了很大进展，由于一批客观预报方法投入业务使用，使我国台风业务预报（主要在路径预报方面）的面貌有了明显的改观。这次会上，我们对台风的发生发展、路径的客观预报方法，疑难台风路径的天气动力学诊断分析、低纬环流和台风路径的关系、台风天气、数值预报和基础理论以及卫星云图的应用等各个方面的研究进展，作了一次比较系统的回顾和评述。

纵观十年来我国台风科研的情况，可以看到：我国台风路径预报方法的研究，由七十年代快速发展时期，现在已进入稳定提高的阶段。这符合一般的规律。由于起步高了，今后预报精度和预报性能的每一步提高，都要做更加深入细致的工作，付出更艰巨的劳动。当前的主要问题仍然是一些为数不多，但成因复杂、类型纷繁的疑难台风。这些问题的解决，需要从加强观测、探测，充分利用卫星、雷达信息，揭示台风结构，深入进行天气动力学分析，开展数值模拟和实验室模拟等各方面的综合研究。

这几年来台风发生发展的研究又取得不少进展，其中主要是对近海台风形成的天气事实和天气过程较以前有更多的了解。但由于受资料限制，对台风发生发展的机理研究还不多，而一个比较好的台风发生发展模式的建立，正要求我们在这方面做大量的工作。

我国气象工作者对台风暴雨的研究付出了艰辛的劳动，初步建立了若干个地方性的预报模式和天气学预报方法。理论分析工作也比较重视。大范围台风暴雨预报问题的解决，除继续进行有关天气过程和参数的研究外，和多层数值预报湿模式的建立与完善有很大关系。我们殷切地希望在不长的时间内，在这方面的的工作取得较大的进展。

当前我们面临的问题是困难的，任务艰巨。但只要广大台风科研人员和气象业务工作者一起进行坚持不懈的努力，认真总结经验，可以预见我国的台风科研工作，一定能取得更大的成就。我们这本文集，作为台风科研历史发展进程中的一个记载，也就不失其意义了。

全国台风科研协作技术组

一九八二年九月

目 录

我国台风研究的十年进展	束家鑫	王志烈(1)		
我国台风路径客观预报方法和数值模拟的十年进展	祝启桓	倪允琪(15)		
十年来我国对台风发生发展问题的研究	王作述	(26)		
用多层引导气流预报台风路径的试验	阎书源	(39)		
多因子综合树枝分类与逐步数量化方法预报台风登陆点(纬度)	林叔荣	陈如能(48)		
第二警戒区台风路径的气候学持续性(Oliper)预报方法				
.....	金一鸣	蔡金祥	刘宁生(55)	
中纬度高层切断冷涡与台风路径的关系	费亮	徐静远(61)		
北上西折和西行北折台风诊断预报的初步研究		钮学新(72)		
双台风的某些气候特征	陈企岗	束家鑫	王志烈(79)	
南海台风西折路径的初步分析	陈德霖	李延香(88)		
关于台风转向过程的移动速度问题		王志烈(94)		
南海台风发生发展与南半球越赤道气流	韦有暹	杨亚正(103)		
南海台风形成的初步研究	贺忠	王作述	霍志聪(110)	
南海台风与低纬大气环流(I)——多与少南海台风月环流的对比				
.....	杨亚正	韦有暹(119)		
南海热带气旋强度变化的定量预报	谢玲娟	李振华(128)		
台风生命史与切变线	吴伯雄	陈士仁(135)		
热带气旋形成理论中的几个基本问题——流体动力学模拟实验研究				
.....	魏鼎文	王允宽(141)		
十公分雷达所探测到的台风回波特征	周笃诚	刘同达(153)		
热带气旋多尺度扰动相互作用的一种简单动力学数值模拟	胡广兴	吴中海(163)		
台风环流中气象要素场的相似解	杨大升	刘式适(172)		
台风中的重力惯性波		刘式适(180)		
纬向环流下东北区南部暴雨水汽收支状况及台风水汽通道的作用	刘世惠等	(190)		
登陆台风结构及其所处环境流场对台风降水的影响	沈如金	张宝严(199)		
利用卫星云图分析台风暴雨		李玉兰(212)		
华南地形对台风暴雨的增幅作用	陈世训	林应河	冯志强	柯史钊(220)
台风倒槽内诱生低压暴雨的诊断分析	唐章敏	赵少云(228)		

短 文

台风与高空冷涡的相互作用	陈联寿	(238)			
台风路径统计预报七九年改进方案	金一鸣	蔡金祥	刘宁生	周洪祥	赵丽仙(243)
运用 GMS 云图及 200 毫巴图作台风活动期内副高预报的定性模式					

.....	唐新章 姚祖庆(248)
GMS 卫星云图在台风路径预报中的应用	姚祖庆 唐新章(254)
台风北翘路径的环流特征分析	薛鸿宽(259)
西北太平洋副热带高压的短期振荡对近海区台风路径的影响
.....	陈瑞闪 杨书郎 陈谋瑞(264)
500 毫巴变能场和台风移行	陈士仁 吴伯雄(268)
7910 号台风转向过程的分析.....	郑和文(275)
南海海区北上台风西折的探讨	吴兴国(281)
台风路径[80]统计预报模式	丁长根 沈玉清 栾宝储(285)
一个改进的台风路径业务预报模式	郭永润(289)
试用 500 毫巴涡度和涡度平流场作台风短期路径预报	朱汉苏 卞光辉(293)
一种台风路径趋势的天气学预报方法	栾宝储(297)
低纬度环流的短期变化对台风路径的影响——对 7910 号台风路径的个例分析.....
.....	张则恒 周钦华 张学圣 刘小根 王忠法(304)
西北太平洋台风频数与海表面温度场间的统计关系	王景毅(310)
8011 号台风发生发展问题的分析.....	李建山(314)
北上台风异常路径数值试验的初步探讨	王达文(317)
冷空气对台风影响的流体动力学模拟实验研究	姚增权 魏鼎文(321)
登陆台风维持的时间和影响因子	梁志和(323)
西风带高空冷涡迭加使台风减弱的物理过程分析	唐章敏(327)
广西台风大暴雨的诊断分析	吕兆骥(334)
台风外围螺旋云带产生的暴雨——惠东特大暴雨分析	范惠君 李修芳(339)
台风暴雨的中尺度分析	林锦瑞(345)
台风环流区辐合线的暴雨	李叔廷 陆亚龙(351)
地形对台风降水的影响	张延亭(356)
湿斜压大气在台风暴雨预报中的初步分析	山东省台风暴雨会战小组(360)

我国台风研究的十年进展

束家鑫 王志烈

上海台风研究所

我国是世界上多台风国家之一。从1949~1980年的资料统计看,平均每年有8个台风在我国登陆。台风是夏秋季节东南沿海最重要的灾害性天气系统,影响所及,几达大半个中国。新中国成立后,对台风科研和业务工作十分重视,通过三十年来的努力,已经形成了一支具有一定数量、质量专业和群众性的台风科研和预报业务队伍,开展了大量的台风总结研究工作。

我国台风科研开展全国性的大协作,是从1972年开始的,至今已达十年之久。这十年中经历了两个阶段,第一阶段是1972~1975年,主要目标是研究台风路径的短期预报方法,尤其是客观预报方法,改变过去台风路径预报几乎全靠天气学分析的经验判断局面。经过三——四年的努力,取得了一批成果。国家气象局选择了几种性能较好的客观方法,从1976年起投入业务预报中使用。1976~1980年是第二阶段。这一时期研究的主要课题是某些不规则路径和环流形势急剧调整时出现的台风运动规律。因为几种预报模式的独立样本试验和业务预报结果表明,路径预报出现大的误差,几乎总是由少数很难预报的台风造成的,研究它们的运动规律,必然涉及到大气环流调整,台风的结构、机制和台风能量及其作用力等一系列基本问题,这是一个长时期的研究任务。从1976年起,我们把台风暴雨也作为重点研究课题之一。在这些重点课题的带动之下,我国的台风研究工作,在各方面都有了明显的进展。本文是对我国近十年台风研究工作作一简要的回顾和评述。

一、路径客观预报方法

六十年代初,王志烈和栾宝储^[1]提出了选取与台风路径相关性较高的天气学因子,设计出一个半客观的台风路径中期预报方法,这个方法把预报员们的实践经验,通过一套列线图形式的工作程序确定下来。只要读取的因子数据相同,根据这套程序,便可得到相同的结论。这是选用天气经验因子预报台风路径客观方法的开端。此后,许多气象台用类似的方法设计了预报台风路径和台风暴雨的程序^{[2]~[5]}。

七十年代,天气学方法和统计数学模式相结合,在我国台风路径客观方法的研究中起了一定的推动作用。虽然台风路径的统计预报方法,早在六十年代中期上海中心气象台已有研究,但未应用于日常业务。这方面工作的大规模开展,还是在1972年以后。根据应用的方法和预报模式,我国台风客观预报方法大体可分以下几种:

1. 逐步回归分析

这是目前使用最多,也是比较重要的方法。从中央台到各级地方气象台,从预报整个西北太平洋到一个省区,甚至到一个县都有应用^{[6]~[10]}。在应用本方法建立方程过程中,无论

是数学模型、预报因子、资料分类处理等方面,都作了不少研究和不断改进。可是在预报精度的提高上看来任务还相当艰巨,至今尚未见有本质的突破。

2. 相似法

中央气象台根据 HURRAN^[11] 原理,对具体条件作适当修改后建立的相似法^[12],在业务预报中使用已有多年。与逐步回归的统计模式相比,各有成败,但平均误差比后者稍大些。施勤炼^[13]取环流特征及天气因子等多个条件作为相似因子,计算出相似率,从而挑选历史上相似个例,能作出一个台风全路径的定性趋势预报,对某些不规则的台风路径,一定程度上也能描绘出基本特征,但在定量上往往误差较大。

3. 判别预报

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等。这样的预报对某种特定的服务和特定的地区来说,已经能够满足需要,所以应用较广。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^{[14], [15]};广西也做了类似工作^[16]。李麦村和姚棣荣^[17]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。

4. 统计-动力预报

我国台风路径的统计-动力相结合的方法有多种形式,而且可以预期,随着动力学方法的进一步开展,统计-动力学方法必将得到更大的发展。董克勤等^[18]的两层订正引导模式是结合的一种形式,订正量很大程度上由预报员的经验统计得出的。做到了人机结合,当有经验的人使用时,结果往往是令人满意的。上海台风研究协作组^[19]的统计——动力模式是另一种结合方法。这个模式中由于把动力方程中的主要项,即气压梯度力项作为随机过程处理,因此统计概率是主要部分,基本上保留一般统计模式的优缺点,本法操作简便,计算时间短,在业务预报中使用已达六年,效果尚好,问题是对初始定位十分敏感。MOS方法在上海也进行了数年的试验研究,倪允琪等^[20]用的是正压原始方程的预报因子。杨美川等^[21]又利用三层模式的预告场,结合其它因子进行统计作县站台风预报。在天气因子的处理方法上也作了一定的改进,预先对因子进行两两组合,然后输入机器供筛选。

5. 数值预报

我国的台风数值预报,是在1965年前后在北京和上海差不多同时开始研究的。七十年代初期,上海台风研究协作组^[22],用正压原始方程,以内含台风环流的方法预报台风路径。起初,对西行台风报得比较成功,转向台风效果差一些。后来经过改进,这种现象得到了克服^[23]。最近,郭永润^[24]又在原来的基础上试验了引用气压梯度平均技术的总能量守恒方案,时间步长可延长到24分钟。结果表明,预报精度可得到一定的提高。王达文^[25]等的模式特点是用样条函数的计算方案,对北上西折的台风路径趋势能预报出来,表明这个模式对东亚西风带环流,西风带高脊与副高的共同作用建立起来的东北反气旋的预报是成功的。最近上海、辽宁又都分别进行了嵌套模式和移动型套网格方法预报台风的试验研究^{[26], [27]},并已开始投入了业务试报,取得了初步成果。另一类型是引导方法,开始,国家气象局研究院董克勤等用一层引导气流作台风预报,后来发展为500毫巴和850毫巴两层订正引导方案^[28]。实践表明,台风的移动路径除受大尺度流场的操纵外,和中低纬度不同尺度系统的相互作用以及台风本身的强度变化也有关系。因此更精确和更客观地使台风的结构在模式中有所反映,似乎是进一步改进台风路径数值预报的有效途径,这就需要更合理地解决台

风构造的参数化问题。

十年来我国台风路径客观预报方法取得了显著进展。表 1 是几种有代表性的模式业务预报误差统计,而相应的公开发布的经验预报(参考了客观预报结果),24 小时误差为 111 海涅和 26.7 度,48 小时为 230 海涅和 27.0 度,总观起来,差别不大。

表 1 几种主要模式多年业务预报的误差比较*^[30]

方 法	二 层 引 导		相 似		统 计		数 值		统 计 动 力	
	距 离	方 向	距 离	方 向	距 离	方 向	距 离	方 向	距 离	方 向
24 时	114	19.8	120	17.8	104	1	117	19.5	116	18.7
48 时	228	25.3	246	22.6	238	1	217	27.0	245	23.6

* 单位: 距离为海涅,方向为度。

事实上,一个预报方法形成的预报误差,是由定位引起的误差(E_F)和模式引起的误差(E_M)两部分组成的,即

$$E = E_F + E_M$$

统计表明,目前业务定位误差平均为 40 公里^[30],这个数值本身对 24 小时的预报位置就会产生 80 公里的误差^[31],这样剩下大体相同或稍大一些的误差是由预报模式引起的(参见表 1)。改进预报模式可以从数学模型、预报因子、合理分类和几种方法相结合等几个方面着手^[32]。预报因子质量对客观预报方法的效果有重大影响,这点已为人们所公认。在统计和统计动力预报方程中,天气经验因子占很大比重。这是我国客观预报方案研制中的一个特点,也是一个优点。今后,应首先对台风活动的天气过程进行深入细致的分析,才有希望对现有预报模式作较大幅度的改进。具体地说,包括两个方面,一是根据不同性质,不同发展过程的台风进行合理分类,对不同类型的台风分别建立预报方程,这样可以缩小样本的离散度,实践证明这是有效途径之一。金一鸣^[33]引进了聚类分析法使预报误差缩小是一个较好的尝试。第二是提高预报因子的质量。统计模式中的预报对象与预报因子间的线性关系这个特点,并不能全面地反映真实大气过程。因此一定程度上它限制了预报精度的进一步提高。要认真研究几个因子的非线性组合和非线性因子转化为线性表示的方法。我国目前业务台风预报模式主要还是单一的预报方法,事实上不同预报模式对不同时效和地区的性能是不一样的。即使相同的预报时段也没有一个恒定的最佳预报方案。综合几种较好的子方法^{[34],[35]},得出一个集成的预报模式看来是值得重视的一个方向。

二、疑难台风的诊断分析

疑难台风中包括两种类型,一类是路径异常、变化复杂、出现的概率很小。另一类移动轨迹虽然正常,可是由于大型环流发生突变,致使台风移动方向与“最佳引导气流”之间出现很大交角^[36]。鉴于以往所使用的一些名称,均未能正确地概括这两种特殊情况,为此,我们建议今后对这两类台风统称“疑难台风”比较确切。由于疑难台风出现概率小,影响系统复杂,环流变化剧烈,目前所使用的预报模式,尤其是以概率预报为基础的统计学方法很难奏效,而天气学的诊断分析却可能是目前改进疑难台风预报的一个比较现实的途径。

近十年内,我们对各种类型的疑难台风进行大量的研究工作,揭露了许多新的天气事实,提出了不少新的观点,总结出若干掌握这类台风的诊断条件,使我们对台风的运动规律

的认识深化了一步。路径发生突然折向是对我国影响最大的一种疑难台风,其中台风中心移达黄海这样较高纬度,移向突然左折,入侵华北和东北的台风普遍受到人们的重视。陈联寿^[37]首先注意到西风带冷涡对台风的吸引是引起风暴西折的重要原因。以后随着这个问题的研究逐步深入,对引起台风西折的原因和冷涡对台风路径的作用也日益明确,即当台风北上时,适逢东北上空西风带里的暖高压脊迅速发展,并与朝鲜一带的副高结合成为一个强大的高压脊,台风在新建高压西侧的强劲的东南气流引导下折向西北移动。当台风在这样有利的流场作用下移近西面的冷涡时,冷涡对台风的吸引作用又发挥出来^{[88]~[40]}。在东海上,也有已向东北移动突然西折登陆我国的类似情况^{[41], [42]}。王志烈^[43]指出副热带高压存在着12~16天有规律的周期性振荡,而副高的周期性加强则是引起东海台风西折的强大动力。在环流调整过程中,尽管冷涡对台风路径西折的作用,与高压加强引起基本气流改变相比是第二位的,但从西风槽中切断下来的高空冷涡,仍不失为指示大型环流正发生急剧变化和台风路径将要西折的表征。钮学新还根据多年资料总结并提出了北上急剧西折和西行突然北上台风的诊断预报方程^[44]。

南海上空的基本气流较弱,台风的平均移速比在其它海区慢,这里疑难台风出现的机率较高,表现型式多样。其中以西行北翘与向偏北方向移动,当接近华南沿海时突然西折的台风,影响尤为突出,因此研究也较多。对于前者,陈联寿等^[36]和薛鸿宽^[45]都注意到必须考虑中纬度低槽和低纬热带环流的共同作用,而且情况相当复杂,即使同一类路径也会有多种制约的天气过程。而后面一类路径的成因比较明确,主要是副高加强和低层冷空气偏东南下所造成^[46]。

疑难台风很多与双台风形势有关。当双台风出现时,除存在互旋互吸的所谓“藤原效应”的直接作用外,还有通过环境系统而影响另一个台风路径的间接作用。通过几年的研究,对西北太平洋双台风的许多特征又增加了认识。陈企岗等^[47]统计分析了双台风的气候特征,从而对双台风发生的季节和地区分布频率,互旋方式和双台风合并的机率以及合并后的中心强度变化等等有了一个清晰的概念。关于双台风的合并问题,出现了有意义的讨论,吴中海^[48]的理论推导得出的结论是两个台风中心不可能合并,而魏鼎文^[49]等的实验室模拟试验,则明确显示出双台风的合并过程,他们的实验还取得了双台风相互作用距离,旋转速率和两个台风在接近过程中的移动轨迹等一系列有用的数据。王作述等^[50]通过92对双台风的资料分析,指出西台风开始打转是在东台风移到西台风南2个纬度至北4个纬度的时候。一般说来开始打转越早,打转时间越长,并得出双台风发生互旋的最大距离大约为10~12个纬距。可是董克勤^[51]却指出一般观测到的双台风互旋现象,很多是由于有利逆时针方向转动的基本气流的作用,实际的“藤原效应”要小得多。并举出一对双台风中心相距仅2.6个纬距,由于各自受环境引导气流影响却互相作顺时针方向转动。

台风移动速度突然减慢甚至停滞少动和突然加速现象都是预报中遇到的另一类困难问题。这种情况一旦出现,或者因台风警报发布过于严重而造成防台工作中人力物力的大量浪费;或者因预防不及而引起严重损失。现在对快速台风的突然减慢已开始研究,并取得了初步结果^[52]。

用引导气流预报台风移动,至今是台风路径预报的一个最基本的原理和方法,大量资料分析得出,西太平洋台风移向和移速分别和500毫巴和700毫巴层气流的相关最好^[53]。但一些台风的移动与上述“最佳引导气流”间往往有很大偏差,于是构成另一类疑难台风路径。

由于环境气压系统结构复杂,对流层上下部的气流方向有显著差别,有时台风主要受高层气流引导,有时则主要由对流层低层气流操纵。费亮等^[54]所分析的副热带高层冷涡影响副高强度减弱,同时在300~200毫巴上空出现强劲的偏南风,引导台风穿越副高北上,就是受高层气流引导的一个典型例子。850毫巴低层偏东气流很强时,台风路径会不顾500毫巴或其它层次的气流方向而明显西折,这种情况大多出现在秋冬季,盛夏季节只有当北方冷空气南下很强时才偶有发生。台风受低层气流引导问题近年来越来越引起人们的注意。

地形作用是使台风偏离正常引导气流移动的另一个重要因素。一个台风穿越台湾,海南等大型岛屿前后,无论移向、移速、中心强度及天气等各方面都会出现显著的变化。魏鼎文等的模拟实验^{[55], [56]}和董克勤、李曾中等^{[57], [58]}的研究中所揭露的规律,对业务预报都很有参考价值。

通过近几年对疑难台风的分析和诊断研究,已经在实际业务预报中收到了效果,但除了上面所述的几种以外,还有蛇形路径,各种不规则的回旋,多台风形势下的活动规律和单台风打转等等许多类型,至今我们还未很好研究。今后对疑难台风的天气动力学分析,应该深入地坚持下去,不放弃一些特殊个例的研究,当资料比较充分时才能较满意地从中归结出某类台风的预报判据。

三、台风的形成与发展

自六十年代以来,气象卫星的问世以及大气探测手段有了飞跃发展,使我国在台风形成和发展方面也揭露了不少新事实和取得一系列的进展。

1. 台风究竟发生在怎样的环流背景之下,其形成的“胚胎”是什么?大家知道,由无数大小不同云团组成的热带辐合带是形成台风和发生多台风的重要环流背景,它是热带地区的行星尺度系统。卫星分析和探测表明,形成西北太平洋(包括南海)台风的初始扰动可分为季风辐合带中的扰动、信风扰动、斜压扰动和低纬高空冷涡在低层诱生的低压、西南季风扰动等5种。其中季风辐合带扰动和信风扰动各占45%,东风波也包括在信风扰动中,但这些年来极少纯粹由东风波发展成台风的例子。斜压扰动和低纬高空冷涡各占3%,西南季风扰动约占3%^[60]。南海上发生的台风扰动源地有西北太平洋移入和附近大陆或就地生成的两大类。前者约占47.7%,后者约占52.3%^[59]。从台风发生的环流系统和性质区分,又可区别为正压性的热带气旋和斜压性的半热带气旋两类。据王作述等的统计,过渡季节在南海地区斜压性的半热带气旋多达35%左右^[61],少数发生在30°N以北的风暴,则更是典型的半热带性质了^[42]。

2. 台风形成的条件和天气过程

在台风发生发展的研究中,关于台风形成的条件和天气过程的分析作了大量工作,结论也比较明确。一个低纬扰动的发展,其中重要条件之一是扰动辐合带上低空切变的加强和气旋性涡度得到加强^[62]。张婉佩^[63]和贺忠等^[59]对比了发展与不发展两类扰动云团的热力和动力参数,发现两者之间存在着明显的差别。发展扰动的低层辐合、相对涡度为不发展扰动的1.5~10倍。董克勤等^[64]强调了中低空急流对台风发生的重要性,它可以加强基本气流气旋性切变和辐合的增大,特别是西南急流是对流不稳定的,在其影响下,云团随之发展,导致台风形成。研究表明,高于27°C的暖海洋面对热带气旋的发生是必要的,但这仅仅是

重要条件之一。统计分析指出,一个已经形成的台风继续加强,与更高的海面温度间并没有正比关系,主要还取决于周围大尺度环境流场是否有利^[65]。

高层辐散尽管还不能确定是否为一必要条件,但许多研究指出^{[66], [42]},扰动上空强烈的质量辐散能引起风暴的突然发展。无论是热带辐合带上低空水平切变和气旋性涡度的加强,高层辐散的增大,还是东风波与辐合带中扰动的迭加,都是由周围大型环流背景决定的。事实上辐合带两侧偏东风和偏西风任何一方,或者两者同时加强,都对台风形成有利。我国气象学者一向很注意适量和一定强度冷空气对台风发生发展的激发作用。台风形成以前北半球的冷空气活动过程是这样的:一般有两次冷空气南下,第一次路径偏西,南下后逐渐变性减弱;第二次偏东,在辐合带北面盛行东北风。冷空气的强度必须适中,方有利于台风的发生,过弱与过强都对台风形成不利^[62]。对于热带辐合带南侧的西南季风的加强问题,韦有暹等^[67]、丁一汇等^[68]通过卫星云图和天气学的分析,都进一步肯定了西北太平洋或南海台风的形成与南半球冷空气爆发后的跨赤道气流有密切关系。这股来自南半球的跨赤道的西南气流通过几个通道以中低空急流形式进入北半球,同时有一次赤道高压加强或建立过程,这就为台风形成提供了重要环流背景。

许多研究还注意了一些虽不常见,但无论对实际预报和丰富天气学知识均有现实意义的台风特殊发展过程。包澄澜^[70]分析了一个由中国大陆上空低涡移入南海后发展成台风的例子。王志烈^[42]则认为通常所指的7416号台风,其实是一个由日本海西移的东风扰动,当它移到黄海时,正处在中国大陆上空深厚西风槽前的高层强烈辐散气流下方,从而促使它发展为半热带气旋。符淙斌、范惠君等^{[71], [72]}研究了海洋向大气感热和潜热的输送,发现对台风发生确是有积极贡献的。

有关台风协作研究组和研究工作者均十分重视台风发生发展的业务预报。目前已初步总结出近海台风发生发展的预报程序和诊断方法^{[73]~[75]}。这些工作,不仅有利于检验影响台风发生的具体条件,而且能促进这项研究工作进一步发展。

我国的台风发生发展的研究,长期来受到海洋上和低纬度资料的限制,对北半球的环流特征及天气过程研究得比较清楚,但对低纬度环流及南半球环流的相互作用研究较少,特别是海洋对台风发生以及海气交换的机理还知之不多。因此要努力从事基本资料,尤其是低纬海洋上资料的收集工作,进一步搞清南北半球环流之间和海气之间的相互作用。我们对于大尺度天气过程和具体条件,究竟是通过怎样的机制使一个热带扰动的动量得到加大,气压下降,眼壁和暖心结构形成等问题,几乎还没有涉及。看来,我国台风形成和发展科研工作,除了做大量天气学或天气动力学分析外,也十分必要注意台风形成的实验研究工作。同时还应重视台风形成理论问题的研究,只有这样,才能使我国的台风发生发展研究工作提高到一个新的水平。

四、台风天气

(一)台风暴雨

台风带来的暴雨是我国最重要的一种降水过程^{[76], [77]}。一年中约有三分之二时间(5~12月)受到台风影响而产生暴雨。我国30个省市除新疆外,均直接或间接受台风暴雨的灾害。从近海15个省(市)最大雨量记录与相应的影响系统来看,其中11个省(市)最高雨量

记录的影响系统是台风。全国7次日降水量超过1千毫米的特大暴雨,其中6次都是由台风引起的。7503号台风在河南境内造成的特大暴雨,最大中心为1小时235毫米,24小时1060毫米,三天总量达1631毫米。

1. 台风暴雨机制

低纬热带广大洋面上盛行着潮湿空气的垂直对流和湍流输送,是一个气流辐合和上升运动广泛盛行的地区,所以把它看成是饱和潮湿空气的运动^[78]。谢义炳等^{[79],[80]}研究指出,由于其比湿的水平分布不均,反映湿焔的水平分布不均匀,引起了饱和湿空气的斜压性。在湿斜压过程中,湿空气在湿不稳定大气中绝热上升。这个过程所形成的超地转的湿急流,启示水汽在大气运动中的主动作用^[80]。根据上述湿斜压不稳定理论,王晓林等^[81]应用五层原始方程模式进行个例计算的结果表明,考虑大范围凝结和对流参数化的湿模式,可得到在凝结区南侧低层风速显著增大的结果。在湿斜压过程中,考虑引进潜热的影响以缩短最大不稳定波的波长(L_m)与层结因子的平方根成正比,在饱和湿空气中为

$$L_m \propto (\sigma_m)^{1/2} \propto \left(-\frac{\alpha}{\theta_{se}} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial P} \right)$$

因为饱和湿空气的静力稳定度比干空气小一个量级,故其最大稳定波长将不到干空气的一半^[79],实际上有时 $\left(-\frac{1}{\theta_{se}} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial P} \right)$ 可以接近于零,此时 L_m 将会更小。天气分析实践表明,约在1000公里左右。这可能揭示导致台风这样的天气系统产生暴雨的发生机制。此外,再通过对台风区降水进行较细致的分析,利用我国现有的稠密观测网,有可能建立台风暴雨次天气尺度模式,这将有助于解决台风暴雨预报问题。

2. 台风暴雨的形成

(1) 台风环流本身的暴雨: 台风暴雨集中在台风中心周围云壁内,由卫星云图分析得知,暴雨区一般位于台风中心密蔽云区螺旋云带中最明亮的部分,其强弱变化常反映雨区形成及暴雨强度。

a. 湿斜压锋区作用 台风倒槽暴雨是中低纬系统相互作用下的产物。因为台风北上时,伴随一支强低空急流,大量暖湿空气向北输送,与向南扩散的干冷空气相遇,形成斜压性弱而水汽对比明显的湿斜压锋区^[79],即半热带锋区。它是中间尺度的天气系统,垂直运动主要由强对流不稳定能及潜热能供给,它带来的暴雨,比一般锋面暴雨剧烈得多。在伴随倒槽的台风,由于环流内部已出现弱的斜压性特征,属于一种“半热带气旋”^[82]。

b. 增幅作用 有不同性质气流相互作用和地形影响等形起增幅作用。比如夏秋间弱冷空气南下(24小时降温 $1\sim 4^\circ\text{C}$)与台风倒槽结合,在台风北侧和倒槽附近形成大暴雨。卫星云图上表现为层状云系和台风环流伴随的积状云系^[80],二者迭加后则高耸的积云中水滴落在其下的层状云内,促使降雨量激增。

c. 低空急流作用 登陆北上的台风与副高之间常伴随一支东南-西北走向的湿低空急流^[80],它不仅是作为从低纬向台风输送水汽和能量的通道,也起到中低纬间的枢纽作用。在低空急流轴上风速变化不均而存在一种周期短而振幅大的波动,即风的脉动(1小时偏南风速变化 >2 米秒⁻¹定为一次脉动)。偏南风急流通过脉动方式向北输送能量、动量;低空急流又促成能量锋生和维持位势不稳定。当南风脉动传到能量锋区上时,在有利的大尺度环境条件下,比如台风北上时,一面与东南急流相逼近,一面又与北方弱冷空气相遇,在台风内部

形成一个新辐合中心。由于脉动的辐合冲击作用,促成不稳定能量释放和垂直运动的发展,并通过凝结加热的反馈作用,触发中尺度扰动的发生发展。暴雨本质上是中尺度现象,每次雨峰对应一次中尺度雨团。急流轴上的风速脉动触发了中尺度雨团的发生,这反映了低空急流对暴雨的一种动力作用。

d. 涡度场的作用 台风低层由于边界层气流辐合,台风处于西风槽前,由于正涡度的平流输送,高空槽前又有明显的负涡度配置,增大了降水强度。

e. 位势不稳定作用 台风低层东南侧充满潮湿空气,倒槽西北侧有干冷空气流入,造成强位势不稳定。如不稳定能获得持续释放就导致暴雨。

f. 斜压能量作用 台风发展是以潜热释放为主要能源,当移达中纬度后,冷空气侵入台风环流西部,其东部有暖空气向北推进,使台风形成半冷半暖结构。这种变性过程使台风获得新能源,即水平力管斜压位能的释放,于是台风重新增强而导致台风大暴雨。

(2) 台风后部的大暴雨:当台风中心进入内陆地区,除了中心周围云壁内仍有暴雨外,在远离台风中心后部的地方,由于台风外围环境流场的影响,也会出现台风暴雨。这种台风后部的大暴雨,据统计,1960~1974年共有21个^{[90], [91]}。其中台风后部出现100毫米以上大暴雨的共14次,全部伴有华南沿海出现低层18~20米/秒以上的西南风急流。而台风后部无大暴雨的共14次,其中13次未出现低层急流。可见,台风后部的大暴雨与华南沿海低层西南风急流密切相关,机率高达20/21。

3. 台风暴雨预报

我国目前的台风暴雨预报水平不高,大体有下述几种方法:

(1) 天气学方法:天气学分析仍是我国广大台站最常用的方法,当前主要借助天气动力学规律,如中央气象台等^[92]根据不同的台风路径,分析台风周围不同尺度的天气系统与台风降水的关系,针对台风与环境流场的配置归纳诊断台风暴雨的模式。现在已不局限于一般气压场分析,而是扩大到风场分析,在图上分析低空急流、水汽通量、非地转运动、冷暖平流及气流的辐散辐合等等。近年来天气实践经验指出^[93],海拔500米(950毫巴)上的辐合线、锋区、湿舌、及在偏南气流影响下,层结易转为位势不稳定,对暴雨形成有密切关系。基于这些原因,所以应用500米流场分析这一工具来诊断台风暴雨。

常规资料结合卫星云图和雷达回波分析,可揭示台风暴雨中小尺度特征。通过天气图加密等值线和稠密观测网的资料分析,揭示出同台风暴雨有关的中小系统及雨团等某些活动规律,用以作短时台风暴雨预报。

暴雨是台风能量的一种外在表现。暴雨前,一般有一次能量积累过程,所以能量分析可作为台风暴雨预报的一种工具。比如从逐日各地 $\Delta\theta_{800}$ 或 ΔT_{24} 的时间或空间垂直剖面图分析,若从地面到高空出现一个深厚能量激增层^[94],常预示未来有一次台风暴雨过程。

通过天气动力学分析,可以计算台风区的气流升速,水汽通量及台风环流内的散度、涡度、大气层结等对台风暴雨的贡献。如凝结量函数法,即计算凝结量与上述诸因子的函数关系,从而算出台风暴雨量。但动力学分析必须建立在扎实天气分析的基础上,使天气和动力分析紧密结合起来。

(2) 统计方法:结合有天气意义的物理因子的统计分析,是台风暴雨预报的有效方法之一。比如选取 θ_{800} 、 ω 、低空急流、涡度、散度、位势不稳定、水汽通量、 K 指数($T-T_d$)、 ΔT_{24} 等因子采用逐步回归作台风暴雨预报。

(3) 落区法: 华东台风暴雨预报方法^[95]是从暴雨天气型出发, 应用 θ_{so} 、 K 指数、 T_d 、 $T-T_d$ 等物理量反映水汽、上升运动和位势性不稳定, 把天气学和大气热力学结合起来, 预报大范围的台风暴雨, 效果尚好。

(4) 台风暴雨的单站预报: 台风暴雨预报中的难点——地形作用和中尺度系统, 它们在单站资料和天象、物象上常有明确的征兆反映。沿海有关县站常以本站气象要素值变化与暴雨的关系, 找出诊断条件。近年来有些气象站在气象要素分析上配合天气环流形势和单站大气热力学因子及动力学因子的计算, 综合作出暴雨预报, 在一定条件下常取得较好的预报效果。

台风暴雨预报方法, 由于有强烈的地方性, 所以局限性很大, 且还很不成熟, 在业务预报中, 应加强雷达, 卫星资料的分析, 并在深入综合分析的基础上, 向客观定量方面发展。

(二) 台风暴潮

风暴潮一般指强烈的大气风暴所引起的强风和气压骤变, 从而引起海面的水位异常涌升现象。我国有广阔的大陆架浅海区和漫长的海岸线, 这非常有利于台风暴潮的发展。最近十几年来, 我国对风暴潮的研究, 取得了一定的进展^[96]。目前对风暴潮的预报主要有统计的和动力的两种方法。前者是将影响因素和量值与所研究的台风增水值进行对比, 确定台风增水和影响因素变化的关系, 并运用数理统计方法计算这种关系的可靠程度和相关程度。后者从流体力学方法出发, 导出台风中心到达海岸时, 风、气压在沿岸引起的台风暴潮分布的动力学模式。

近年来, 动力-数值预报方法也正在发展。比如从二维全流方程出发, 采用交错网格, 半隐的差分格式和根据台风气压场模式的风场计算方法, 对福建沿海的台风暴潮进行了数值计算。取得了一定的效果。

(三) 台风大风

台风区的大风可分台风环流内及台风外围两部分^{[97], [98]}。前者用迈耶公式和藤田方法进行计算。实践表明, 以采用藤田公式结合梯度风方程较易取得好的效果。后者应用天气学经验, 气压廓线模式, 结合地转方程计算较为有效。计算结果虽然有时偏大偏小, 但仍有一定参考价值。

五、台风理论

有关台风结构的天气学研究, 我国从六十年代已经开始。最近几年魏鼎文、张捷迁等进行了流体实验研究^[99~102], 结果表明, 台风下部的气旋性辐合流入层, 上部中心附近的气旋性弯曲气流和外围转为反气旋辐散的流出层、眼壁积云对流、眼区和台风外围的下沉气流均可模拟出来。热带风暴的发展, 常以螺旋云带为其主要特征。实验表明, 温度场、流场、螺旋云带的分布并围绕风暴眼旋转以及波动的分布等都是不对称的, 即使是眼区, 结构也是不对称的。

模拟实验还表明, 台风受到不同程度冷空气影响, 其强度也随之有不同变化^[103]。这和天气学实践得到的结论是一致的。

数值模拟方面, 胡广兴等设计了一种简单动力学模型^[103]。通过数值计算结果表明, 大

尺度涡旋的控制和组织很重要,受其控制下的小尺度扰动,在相互作用下,其轨迹呈气旋性汇入,启示我们积云(或云团)群的聚集可能是热带气旋形成的一种重要途径。

北京大学和总参气象局协作的:“在热带辐合带中台风 Ora(7504)形成的数值模拟工作”^[104],利用5层原始方程模式,考虑水汽输送,大尺度和对流凝结潜热等物理过程,模拟了由一个比较弱的热带辐合带中的低涡发展成一个台风。我国的台风数值模拟和数值试验工作开展得很迟,与国外差距较大,但只要我们的踏踏实实加强这方面的工作,还是有条件做好的。

在台风结构方面,通过实际观测和卫星云图的分析得知,台风边缘的螺旋状结构,它表现为螺旋云带和相应的螺旋雨带。这种螺旋结构的形成是台风中的惯性内波,特别是重力内波的作用所致。北半球台风螺旋结构是曳式。它环绕台风眼逆时针且向外运动,倾角小于 45° ,且由中心向外倾角减小^[105]。重力惯性内波是台风中起主要作用的波动,具有频散性质。刘式适等^[106]指出,重力惯性内波不稳定的先决条件是层结不稳定,它说明台风中水汽及相应的潜热释放对台风的发展是很重要的。这与台风的天气学实践是相一致的。

关于台风内力在台风移动中的贡献,近几年来董克勤^[107]、韦有暹^[108]等作了一些动力学分析,表明:台风内力在台风移动中不起主要作用。贺海晏^[109]根据台风移动的基本方程,对台风移动规律进行数值分析。结果表明,台风中心的移动对于地转引导气流的偏离是不能忽视的。这种偏离主要不是台风内力的影响,而台风主要是沿着所谓“广义引导气流”的方向移动(它由气压场所决定的地转引导和其它综合因素所决定的非地转引导两部分构成),再加上一个惯性摆动^[109]。另外,潜热作用也可能是造成台风偏离地转引导的一个重要因子。

结 语

五十年代,我国台风研究除为数极少的基础理论外,大量工作是以天气过程为基础的经验总结,包括台风发生、发展、路径、风、雨等内容。方法有气候统计、天气学分析、环流模式和预报条件等定性判据。六十年代,天气动力学方法日渐开展。七十年代,随着电子计算机的广泛应用,开始着手台风路径客观预报方法的研究,例如台风数值预报、台风统计预报、动力统计预报等。台风模拟实验也已展开。此外,比较广泛的进行了天气学和动力学相结合的台风研究工作。台风天气的诊断分析研究工作也在不断深入发展之中。最近十余年来,通过气象卫星等探测手段,使我们得以揭露有关台风方面的一些新的事实。几年来我们发表了一大批科研专著。仅从1970到1978年就出了四本台风文集,收集论文计108篇,内容很广泛,使我们大大加深了对台风物理过程的认识。

目前对正常台风预报结果有一定的准确性,但对路径突变,大形势调整,台风在近海突然加强,登陆后下罕见的特大暴雨等,还无法报出来。要解决这些问题,可考虑加强以下几方面的研究。

1. 加密在台风活动期间的气象观测网,设计和布设新的探测工具及手段,开发新的资料来源。例如遥感、遥测技术、海洋船舶站、海洋漂浮站的设置和研究,并充分利用雷达、卫星信息来揭示台风区的详细结构。

2. 深入开展台风试验(包括野外试验、实验室实验和数值模拟实验),以便达到下述目的:(1)发现新事实;(2)验证理论;(3)进行单因子的、条件可控制、可重复的实验和理论研究;(4)解释和验证出现的台风天气学事实。

3. 衡量一个客观预报方法的优劣,要有一个科学而严格的检验标准,我们认为极需搞出一个有代表性的 CLIPER 方法,作为检验各种客观方法的基础。把已有的客观预报方法在严格检验的基础上形成规格化,综合各种模式的优点,尽快形成我国有代表性的综合预报模式。

4. 十年来我国研制了有一定预报能力的正压原始方程模式和嵌套模式,有其自己的特点。但用一层模式作台风路径预报是不够的,要积极开展多层原始方程细网格台风数值预报和多层可移动的嵌套网格模式的研制。

5. 继续深入开展疑难台风的研究。疑难台风的情况千差万别,目前各种预报模式,对它们几乎没有什么预报能力。今后还应加强对各种类型的疑难台风进行深入的天气动力学分析,探讨其形成原因,提高疑难台风的诊断能力。

6. 台风暴雨是一种中尺度天气系统,是不同尺度天气系统相互作用和中低纬度相互影响的结果。目前的预报水平不高,应集中部分技术力量尽快搞出热力和动力相结合的客观预报方法投入业务使用。另外,天气学或天气动力学的诊断分析,也需要进一步开展,特别要深入地结合卫星、雷达资料的综合分析,以提高台风暴雨的预报能力。

7. 台风风暴潮是台风天气的重要组成部分,今后在方法上应更紧密地结合气象因子和天气形势来探讨台风风暴潮的规律,搞出不同海区有代表性的台风风暴潮客观预报方法。

8. 基础理论和模拟试验

国外三十年来的台风动力学的理论研究进展很快,而我们的台风基础理论研究和模拟试验和国外差距很大,国外借助于数值模拟研究了台风一系列理论问题,我们也要加强这方面的研究,弄清台风结构、形成、发展的机制以及台风与周围环境场的相互作用。

9. 过去几年未曾重视雷达探测资料的应用和组织雷达业务人员在科研中发挥作用。今后应加强雷达回波分析在台风科研上的应用,密切与卫星分析相配合,以便揭露新的台风天气学事实。

参 考 文 献

- [1] 王志烈、栾宝储,西太平洋台风路径中期预报程序,气象通讯,1964年第6期。
- [2] 上海中心气象台,西太平洋台风路径中期预报程序,1972年台风会议文集,上海人民出版社。
- [3] 浙江省气象台,台风路径多因子点聚图预报法,同上。
- [4] 国家海洋局水文气象预报总台,西太平洋台风西行进入南海后路径明显北折的分析和预报,1974年台风会议文集,上海人民出版社。
- [5] 江苏省气象局气象台,台风登陆后的预报工具,同上。
- [6] 刘韵清、姚棣荣、祝启桓、金一鸣,应用逐步回归作西北太平洋台风路径预报的一个改进方案,数值预报和数理统计预报会议论文集,科学出版社,1974年。
- [7] 上海台风协作研究组,台风路径的分型统计预报方法,大气科学,第1卷,第3期,1977年。
- [8] 杨书郎、陈谋瑞、陈瑞闪,关于台风路径预报的一种统计方案,1978年台风会议文集,上海科学技术出版社。
- [9] 邓之瀛、杨美川,盛夏到秋季过渡季节一种台风的统计预报方法,同[8]。
- [10] 金一鸣,聚类分析和数量化方法在路径预报中的应用,同[8]。
- [11] Hope, J. R., and C. J. Neumann, An operational technique for relating the movement of existing tropical