

# 我国台风科研和业务预报的回顾及现状

费亮

(上海台风研究所)

## 提要

本文回顾了中华人民共和国成立以来，我国台风科研和业务预报发展的过程，介绍了现在的情况。并在此基础上，提出了为提高热带气旋路径预报精度，应该进行的工作。

### 一、前言

台风是夏秋季节影响我国东南沿海最重要的灾害性天气系统。中华人民共和国成立以后，十分重视台风的科研和业务预报工作。40年来，在台风路径、结构、发生发展以及暴雨、风暴潮等方面取得一系列重要科研成果。先后出版的7本台风会议文集（收集论文251篇），以及《西太平洋台风概论》和《台风预报手册》两本专著的发表，反映了我国40年来台风科研的成果，对提高我国的台风业务预报起到了积极的促进作用。

用。

### 二、台风科研

回顾建国40年来台风科研历程，大致经历了三个阶段。1972年以前为第一阶段。当时大量研究工作以分析天气过程为基础的经验总结、气候统计、环流形势分型加预报指标等定性判据为主。随着气象卫星的问世和测风雷达的建立，开始利用云图和雷达回波资料作台风移动和降水的预报研究。台风路径的统计预报方法在60年代开始研制，并投入使用。

1972—1984年为第二阶段。其特点是开展了全国性的科研大协作。计算机的广泛应用，使得有条件研制一批性能较好的台风路径客观预报方法，在台风季节的业务预报中使用。从而改变了过去几乎全靠天气学分析的经验预报局面，这是我国台风路径预报的重大转折。1972年3号台风进入黄海后的突然西折侵袭华北地区，引起气象工作者的震惊和关注。王志烈调查了西北太平洋几个国家和我国几种主要预报方法对移向、移速突变和打转路径的预报情况。结果表明无论是经验诊断分析还是客观预报方法，对此类台风基本上都缺乏预报能力。因而加强对异常路径台风的研究成为该阶段的重点之一。陈联寿首先提出了西风带切断冷涡对突然西折路径的影响。为了搞清高层切断冷涡对台风路径西折究竟有多大程度的作用，曾进行了专题研究。王达文对黄海台风西折的数值试验，刘景秀、钮学新、费亮等就切断冷涡对台风西折的影响程度的讨论都揭露了不少新的天气事实。南海上空较弱的平均基本气流，使这一海区的异常路径有较大几率。陈联寿和薛鸿宽分别研究了南海台风北翘和西折类路径的成因。双台风是构成台风异常路径的主要系统。董克勤、王作述、吴中海、陈企岗、阮均石等从理论研究到天气分析作了大量工作，魏鼎文等通过实验室模拟试验取得了理想情况下双台风开始互旋的距离和旋转角的速度。以上这些研究使对双台风的互旋、合并、打转等物理机制及预报有了进一步的认识。通过对异常路径的研究，为业务预报提供了一些诊断预报依据。但是由于资料不足，尤其是低纬度洋面资料的稀少，对进一步深入物理机制研究以及对突变运动的数值试验有一定困难。因而对揭示突变运动的本质还有相当大的距离。

关于热带气旋发生发展的研究，从起源、环流条件、与海水温度的关系、南北半球相互作用到中低纬度的相互作用等方面，

取得一系列有意义的成果。韦有道、丁一汇等提出的越赤道气流和赤道高压所构成的形成热带气旋的背景流场有重要的参考意义。陈联寿根据FGGE期间较好的流场和卫星云图资料，归纳出热带气旋加强的高层外流通道模式及热带气旋减弱的高层外流变化，并给出6种热带气旋与其环境流场相互作用的模型，为预报热带气旋的发展提供了有价值的模型。王继志通过自动图像显示系统的诊断分析，得出热带气旋高低频活动时期热带环流场的特点和差异。刘式适研究了流场的惯性稳定度和位温场的层结稳定度对热带气旋发展和衰减的影响。林有任通过实例计算证实了高度场热成风场的适应过程对热带气旋发展的重要作用，并以热带气旋及其邻域内的热成风湿度平衡值分布预示未来24小时内热带气旋的发展趋势。近海热带气旋的发生发展也引起了重视。彭金泉、梁力和吴志伟分别从湿度平衡、角动量收支和气候背景、环境场特征等方面研究了东海和南海的近海发展热带气旋。

这一阶段的数值模拟工作虽然开展较迟，还是取得了一些有意义的成果。陈秋士研制的轴对称静力热带气旋模式，讨论了非热成风启动条件和不稳定重力惯性波对热带气旋生成的作用。李崇银通过数值模拟，指出积云动量输送和Ekman抽吸通过CISK机制对热带风暴的发生发展起着重要的作用。李天明构造了一种积云对流凝结加热方案，模拟了热带气旋的发展过程。

热带气旋带来的暴雨是造成灾害的重要天气。对暴雨机制、成因及预报进行了广泛的探讨。谢义炳、陶祖钰等从湿斜压不稳定理论和湿急流结构和形成过程研究了暴雨的发生机制。蒋尚诚分析了登陆北上的热带气旋所造成的特大暴雨成因，强调东南风低空急流与向南扩散的低层冷空气所构成的湿斜压锋区是激发大暴雨的主要原因。唐章敏探讨了中空强风轴和热带气旋倒槽内诱生低压

的关系以及所造成暴雨的诊断条件。能量场对台风暴雨的作用也引起了普遍的关注。台风暴雨的预报方法有统计方法、落区法及以天气学分析为基础结合卫星云图和雷达回波资料的诊断方法。由于台风暴雨是几种不同尺度系统相互作用的产物，成因复杂，地形影响显著，因而预报方法的水平并不高。到目前为止，预报员的经验仍起着重要作用。

我国具有广阔的大陆架浅海区和漫长的海岸线，为风暴潮的发展提供了非常有利的条件。有关方面的研究着重在台风引起的增水及台风中心到达海岸时造成的风暴潮分布，在动力学模式和数理统计两方面，都取得一定的成果。

1985年到现在为第三阶段。研究重点是路径突变、强度突变及热带气旋登陆后引起的暴雨突然加强。1988年还开始了我国热带气旋警报系统效益分析和灾情评价的研究。4年来由于计算机能力的不断提高、卫星接收设备的引进和分析技术的改进、资料处理和流程客观化和自动化方面的逐步完善，使科研工作在揭示物理机制、动力学分析和数值模拟等方面有比较深入的进展。

经10余年来业务预报的检验，热带气旋路径客观预报方法在业务预报中的作用是很明显的。但是至今还没有一个对异常路径有较好预报能力的模式。热带气旋业务数值预报模式的能力也不高。为此，某些客观方法如浙江省气科所的热带气旋路径统计预报79年改进方案、上海台风所的统计动力方案和广东热带所的相似加权方案在扩大历史样本、改进和充实预报因子和采用自动化操作流程方面作了改进。上海的五层原始方程模式移动型双向套网格的业务数值预报方案已移植到VAX II/780机上进行试报，争取早日投入业务运行。李天明提出一个非线性动力学热带气旋路径业务预报模式(ND-88)。它的特点是对异常路径有一定预报能力。虽经1988年试报比较成功，但还有待于今后进

一步检验。上海台风所和浙江省气科所集合多种客观预报模式，分别研制了一个客观预报综合模式。根据各模式性能，给出一条综合预报路径，目前正在接受业务预报的实际检验。

随着人工智能理论的发展，广州、浙江、上海和江苏等省市气象台和科研所，先后建立了热带气旋路径预报专家系统。这种系统能按专家经验规则作推理预报，结合客观预报模式得出一条综合路径预报。由于考虑了预报员的诊断分析结果，因而对部份异常路径具有一定预报能力。该系统还有贮存大量历史资料供检索调用，并具有人机对话和彩色图像显示等多项功能。目前已在当地的业务预报中应用。

热带气旋路径突变的研究，较多地讨论了风暴的非对称结构、基本气流垂直切变作用及环境场和 $\beta$ 效应对热带气旋移动的影响。蒋群、董克勤指出平均基本气流的引导、以 Rossby 波方式西传的 $\beta$ 效应及环境场垂直切变效应三者的线性组合决定了热带气旋的移动。李天明、朱永禔模拟和分析了热带气旋的非对称结构、 $\beta$ 效应和环境场作用。指出在特定条件下，热带气旋的非轴对称结构可导致热带气旋的蛇形或打转运动。当三者的互相作用达到临界状态时，热带气旋的移向移速将发生突变。

厄尔尼诺对热带气旋活动的影响在这一阶段中引起广泛的注意。董克勤就厄尔尼诺与热带气旋形成频数进行了研究，指出赤道东太平洋海温与160°E以西的热带气旋频数之间有显著相关。澄清了国外认为厄尔尼诺对西北太平洋热带气旋效应不明显的看法。李崇银和韦有湜分别研究了东太平洋海温异常影响西太平洋热带气旋活动的物理过程，认为是赤道东太平洋上借助于纬圈环流进行的同纬度海气相互作用所致。胡坚等指出厄尔尼诺年使北半球 Hadley 环流加强，导致西风带向南发展，迫使副高在较低纬度上滞

留，造成热带地区盛行东风，从而抑制了热带气旋的活动。

热带气旋的强度变化从理论分析和数值模拟方面做了比较深入的研究。王玉清通过对流层内各种不同层结对CISK过程的影响及CISK对大气层结的反馈作用，得出一个热带气旋尺度扰动发生发展的概念模式。何财富、梁必琪采用位涡拟能变化表征热带气旋的强度变化，通过位涡拟能收支方程的计算，指出非绝热加热随高度变化的分布及大小是影响热带气旋强度变化的主要因子。肖文俊研究了在热带气旋演变的不同阶段，向外长波辐射场的特征和流场的联系，试图为预报热带气旋的发生发展提供新的途径。钮学新提出不稳定状态下，由大气中存在的深厚潮湿层和水汽凝结加热所发展起来的惯性重力波对热带气旋的发生发展有重要影响。

近海热带气旋的发生发展继续受到重视。林有任和容广埙分别用天气动力学诊断分析，讨论了东海北部和南海的热带气旋发展的物理过程，得到了有意义的结论。

热带气旋暴雨研究着重在成因分析。江吉喜利用卫星云图、雷达回波等资料揭示了暴雨强度变化中的中尺度振荡。励申申计算了暴雨过程中次天气尺度扰动动能收支情况，认为扰动动能的水平输送是热带气旋外围暴雨区的主要能汇。李玉兰应用滤波分析讨论了热带气旋外围云带和倒槽云系中的 $\alpha$ 中尺度或 $\beta$ 中尺度云团造成的强降水及其中尺度环流特征。

热带气旋暴雨预报方法基本仍停留在物理量计算、卫星云图资料及天气分析等多种手段的综合分析。暴雨预报的专家系统也已经在一些气象台研制成功并在业务预报中使用。风暴潮的研究，在数值模拟方面做了一定的工作。秦曾灏等利用二维风暴潮动力学模式及藤田气压场模式和宫崎风场模式对上海吴淞地区5次影响较大的热带气旋风暴潮作

数值模拟，研究上海及其邻近地区热带气旋风暴潮的预报。指出热带气旋最大风速半径和梯度风系数对确定增水具有重要影响。认为确定最大风速半径及预报它随时间的变化是预报台风风暴潮的重要因子。刘秦玉等采用了数值预报模式图方法，预报热带气旋登陆前24—48小时内的增水峰值、出现时间及登陆前30小时内的增水过程曲线。王以农等用非线性气流方程数值模式，模拟了12次上海地区较大的风暴潮，比较满意地得到了最高水位和次最高水位。

### 三、业务预报和定位

#### 1. 热带气旋业务预报

我国热带气旋路径预报，在60年代以前主要依赖于天气学分析的经验预报。70年代涌现出多种大范围和区域性的客观预报模式后，预报员开始有可能在经验预报基础上，参考各种客观方法的定量预报。在1979年上海召开的国际台风学术讨论会上，束家鑫同志介绍了我国1976—1979年的热带气旋路径业务预报水平，指出当年以中央气象台为代表的官方预报水平略高于各类客观预报模式（表1）。在路径比较稳定的情况下，客观方法具有一定的预报能力，但一些小概率异常路径，使以引导气流为根据的动力预报和以历史样本为基础的统计预报失败。

80年代微机的普及，许多省市气象台建立了热带气旋业务预报系统。大量计算方法及历史资料检索都能在微机上进行。所提供的结果图文并茂，方便及时，深受预报员欢迎。

1985年起，国家气象局专业司委托上海台风研究所对我国热带气旋业务预报水平进行评定。除了计算每种预报方法的距离误差外，还计算技巧水平这一代表某种方法技能的指标。规定当某一客观方法连续两年出现负的技巧水平时，该方法将被取消发布业务预报的资格。在连续4年的评定中，经全国台

表 1 各类方法预报误差的比较(单位: km)

方法 时间	相似		统计		数值*		统计-动力		二层引导**		中央台	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h						
1976—1979	222.0	455.1	216.3	440.3	216.5	401.5	214.6	453.3	211.1	422.3	205.6	426.9
1985—1988	184.4	403.8	165.6	394.9	313.0	603.7	153.6	407.4	131.6	424.4	210.2	430.8

\* 数值方法是1985—1987年平均

\*\* 二层引导是1987—1988年平均

风业务技术组会议的审定，已有两种客观方法暂停了业务预报。当前我国热带气旋的业务预报水平有以下特点：

(1) 以中央气象台为代表的我国官方预报精度与1976—1979年相比，无明显提高

(表1)。24小时的平均误差在2个纬距左右，48小时在4个纬距左右。表2列出了我国与国外热带气旋业务预报的误差。尽管这一度量标准有不足之处，但作为了解当前国内外官方预报水平，仍有一定参考意义。

表 2 1985—1988年我国和国外业务预报平均误差(单位: km)

方 法	1985年		1986年		1987年		1988年		平 均	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
中央台	239.0 (124)	499.8 (87)	231.5 (152)	438.4 (106)	174.8 (161)	375.8 (135)	200.6 (118)	438.5 (79)	210.2 (555)	430.8 (407)
香港	170.3 (111)	309.7 (65)	221.5 (165)	439.1 (123)	168.2 (57)	336.1 (32)	240.2 (15)	378.1 (6)	197.2 (348)	385.7 (226)
关岛	209.6 (317)	414.3 (244)	221.5 (201)	480.6 (157)	168.3 (109)	356.4 (85)	198.9 (115)	389.1 (80)	205.1 (742)	420.4 (566)
日本	219.4 (214)		258.2 (216)		249.3 (213)		181.3 (129)		231.7 (799)	
菲律宾	232.9 (92)		202.3 (125)		226.3 (84)		244.3 (18)		219.8 (319)	

\* 括号内为预报次数

(2) 我国目前对热带气旋登陆点的18—24小时预报误差一般都在1.5个纬距左右。即使是误差最小的中央台相似法和浙江气科所的统计预报79年改进方案，也还有1.1个纬距的误差。由此可见，要在24小时以前较正确地预报热带气旋登陆点尚有一定难度。这也可能是紧急警报的发布时效往往不足24小时的原因之一。

(3) 1985—1988年我国客观预报方法的平均距离误差，除数值预报模式以外，已普遍低于中央台的官方预报(表2)。就客观方

法自身而言，也有不同程度的提高。经技巧水平检验后，具有技巧水平的客观方法占多数。相比之下，浙江省气科所的统计预报79年改进方案、上海台风所的统计-动力方案(SD-75)和福建省气象台的Fj统计预报方案在当前的热带气旋业务预报中有比较好的预报能力。

(4) 近年来客观方法的预报精度有比较明显提高的一个重要因素，是中央台热带气旋定位精度的提高。众所周知这是一个非常敏感的因素。据统计，1976—1979年中央台

定位的平均误差是46.9km。而1985—1988年的误差降低到23.7km。1987年中央台对438次热带气旋定位的平均误差只有16.5km。也正是这一年，我国的各种预报方法为4年中精度最高的一年。

客观方法精度提高的另一原因是有不少方法在发布预报时，引用了后6小时的实时警报位置。这样的处理显然比主观预报占了一定的便宜。

(5) 应该看到我国的客观预报方法还在一定的缺点。费亮在评价我国热带气旋业务预报现状时曾指出，预报员有时迫切需要客观预报方法帮助作出预报决策时，看到的结果往往不太一致。这些客观模式除对异常路径仍缺乏预报能力外，对12小时内右折35度以上的转向点及转向后的加速现象还有较大的预报误差。除了进一步改进客观预报模式外，期望尽快有一个客观预报集成方法投入业务应用。

(6) 我国的业务数值预报能力不高，预报结果不理想。但是有一个值得注意的现象是随着预报时效的延长，尽管距离误差偏大，与Cliper方法相比，却有一定的技巧水平。这表明数值预报模式在延伸预报中，具有较大潜力。这一现象已引起有关方面重视。

## 2. 热带气旋定位

70年代末，王志烈曾对1977—1979年的飞机探测、日本和我国沿海雷达回波定位及卫星云图的定位精度进行过分析。指出飞机探测是当时所有定位工具中精度最高的一种方法，平均误差是17.8km。其次是日本的雷达，误差为26.6km。这3年的我国卫星云图定位误差最大，平均误差为99km。不但精度较差而且分布分散。中央台的定位误差是40km，如果在定位时能及时参考到飞机探测报告，其定位误差还可减小9km。80年代，随着通讯设备的改进，沿海测台雷达定位研究的加强，更重要的是卫星接收设

备和分析技术的提高，我国定位精度明显改进(表3)。由于1987年起美国停止了飞机探测，卫星云图成为主要定位手段。对那些没有台风眼或螺旋线结构不清楚的热带风暴，定位相当困难。1986年11号热带气旋，由于台风眼不清楚，本应定在密蔽云团外积云线汇合点的中心位置却被定在密蔽云团之内，从而使8月1日的定位误差高达383.3km，由这个初始位置计算的所有客观和主观预报误差均超过400km(24小时)。由此可见，

表3 1977—1979年和1985—1988年热带气旋业务定位误差比较\*(单位：km)

	中央台	北京卫星中心	国内雷达	日本雷达
1977—1979	40 (999)	99 (39)	43 (290)	27 (293)
1985—1988	23.7(1503)	41.8(346)	25.1(196)	25.7(268)
提高百分比	40.8%	57.8%	41.6%	0.5%

\* 括号内为定位次数

加强对卫星云图定位的研究，是提高路径预报正确率的一项重要措施。

## 3. 热带气旋中心强度的确定和预报

早在60年代及其以前，确定热带气旋强度主要依靠飞机探测、雷达回波和天气图等资料。1965年气象卫星的问世，各国开始利用卫星云图来分析强度。中央气象台等在实践和研究基础上建成一套确定热带气旋强度的简易方法在业务中应用。1987年开始，卫星云图已成为监测热带气旋强度的主要工具。由于用卫星云图确定近中心最大风速尚处于一种半经验的定性分析状态，其结果并不稳定。各国采用的平均最大风速的时间尺度也不一致，有10分钟平均，也有1分钟平均。因此目前测定的热带气旋最大风速不一定很真实。尤其是近海迅速发展的热带风暴，会因强度和中心位置测定的困难，而造成预报服务的失误。1988年7号台风就是一个例子。因此利用卫星和沿海雷达资料建立一套完整的热带气旋监测系统已到了非常迫切的地步。

对热带气旋强度的业务预报开始于80年代。采用方法是上海台风所的SQ-81统计方案。这方法最早使用在TOPEX试验期间。自1985年开始对此方法进行了预报误差的评定。4年的24小时平均误差为 $5.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 48小时误差是 $7.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

#### 四、小结

对热带气旋运动的研究及其业务预报是一个重要而又迫切的问题。长期以来热带气旋路径预报精度提高不快。为了在这方面有所突破，需要加强以下四方面的工作

1. 解决资料不足的问题，尤其是低纬

度洋面资料的缺乏。增加和改善卫星推导风和海温资料。充实和完善热带气旋数据库。

2. 加强对热带气旋尤其是近海迅速加强的热带气旋的监测。充分利用卫星云图和雷达设备等条件，建立一套完整的监测系统。

3. 加强对热带气旋运动的理论研究。重点是对路径突变、强度突变及暴雨突然加强的研究，逐步弄清这些突变过程的物理机制。

4. 在对客观模式预报的决策基础上，建立一个综合客观预报模式。发展新的模式加强对异常路径的预报。

(参考文献略)