



上海国际台风学术讨论会

译文集

上海台风研究所

1987

56.1114

目 录

一九八〇年上海国际台风学术讨论会论文报告综合评述·····	1
中国台风研研和业务预报的评述·····	11
全球热带气旋发生的气候分析·····	20
澳大利亚地区热带气旋生成的气候特征·····	29
应用卫星资料作热带气旋强度分析和预报的方法·····	40
关于热带气旋发生的观测事实和理论问题·····	53
日本中尺度观测网的应用·····	63
热带气旋发展与西风带变化的关系·····	74
用卫星推导的风分析热带气旋的发生·····	82
关于热带气旋预报的检验·····	89
热带气旋移动及其预报的几个问题·····	99
热带气旋移动与地转引导气流之间的偏离·····	104
业务客观路径预报模式的评价·····	109
积云动量输送和热带气旋的加强·····	120
日本气象厅应用移动多重套网格三维模式作台风路径预报的初步结果·····	130
台风业务试验 (TOPEX) 核心试验期间使用的分析和预报程序·····	138
中国之台风暴雨·····	146
预报孟加拉湾风暴潮的数值模式·····	159
孟加拉湾风暴潮·····	168
飓风动力模式中影响路径预报精度的几个主要因子·····	177

一九八〇年上海国际台风学术讨论会

论文报告综合评述

束家鑫 陈联寿 王志烈

一、引言

一九八〇年十月,世界气象组织和亚太经社理事会首次在我国上海召开了台风学术讨论会。各国有关气象学家在会上宣读了论文 35 篇(中国 8 篇),其中特邀论文 21 篇(中国 2 篇)。共分十个议题进行报告讨论,论文涉及到热带气旋发生发展和结构的观测事实和理论;热带气旋运动的预报模式,误差分析和性能的检验;卫星云图数字化和增强显示以及通过卫星云图推导的风场在台风强度和发生研究中的应用;台风的模拟研究;台风中尺度强天气系统的监视和分析技术;热带气旋风暴潮预报模式;台风引起特大暴雨和台风业务试验(TOPEX)计划等。

论文报告表明,热带气旋的路径预报,通过对各类预报模式的性能进行客观的检定,这对改进业务预报甚为重要。综合应用各种非常规资料包括自动气象站,海洋漂浮站和高密度雷达网的观测,对台风的监视,揭露新的事实和提出发生学的新观点起了促进作用。报告还表明,气象卫星所提供的各类资料和图象对台风的业务预报和研究具有广阔的前景。另外还可看出,热带大气和热带气旋国际合作的科学试验和业务试验,将有助于这一领域业务能力和研究工作的发展。

论文的内容相当广泛,不少问题引起与会者的注目和很大兴趣。如强调大形势环境流场的变化是热带气旋发生发展的决定因素,利用卫星云图诊断台风发生发展,强度及路径变化的重要性,路径客观预报方法的检验及其评价,对改善预报效果起到的作用,多层和多重移动嵌套模式作台风路径预报方法的好处等等。会上对这些问题的讨论也很热烈。

为了使国内广大气象工作者对这次会议的内容有所了解,我们组织了一些同志对这次会上宣读的 29 篇论文全文进行翻译出版,为便于广大读者了解这次会议的主要精神,我们写了这一篇综合评述,以供阅读译文集时参考。评述的内容是国外的主要论文,有关我国的部份将在另一篇专题评述中^[1]介绍。

二、热带气旋的发生

1. 发生的全球观

台风是大气环流特别是热带大气环流的重要成员之一。台风气候是台风活动的重要背

景。通过全球热带气旋发生的气候学研究^[2]，不仅可以弄清世界各大洋区热带气旋活动的气候特征，而且还有利于研究发生发展物理条件在一个热带气旋形成过程中的地位和作用。目前 Gray 研究小组的工作在这方面居于领先地位。他的研究特点是整编全球范围有关热带气旋大量的常规和非常规资料，并用综合分析法对资料进行天气气候与动力学相结合的研究。提出一系列有关发生学的观点。

全球热带气旋发生的统计研究表明，集中八大洋区，即西北太平洋、孟加拉湾、东北太平洋、西北大西洋、阿拉伯海、南印度洋、南太平洋和澳大利亚西北海域。其中 90°E ， 140°E 和 105°W 为中心的附近海域特别有利于热带气旋的发生。西北太平洋是全球热带气旋发生数最高的海区，占全球总数的 $1/3$ ，是西北大西洋和孟加拉湾的 3 倍，阿拉伯海的 10 倍。在赤道两侧 4° — 5° 个纬度范围内没有热带气旋发生，东南太平洋和南大西洋也没有热带气旋发生。80—85% 的热带气旋发生于 ITCZ，15% 发生于信风带；故南北半球 5° — 10° 纬度带内最有利于形成，北半球可以一直向北延伸到 36°N ，而南半球 22°S 以外就很少形成了。

全球平均每年约有 80 个热带气旋产生，其中约一半到 $2/3$ 达台风或飓风强度。其中 55 个发生于北半球，25 个发生在南半球。北半球的发生数是在南半球发生数的 1.5—4.0 倍，平均为 2.3 倍。各年发生数与 20 年平均发生数的偏差，变化于 -13%—23% 之间，平均偏差为 $\pm 8\%$ 。全球 8、9 两月发生数为 4、5 两月的 3.5 倍。

2. 发生物理因子的气候检定

热带气旋发生的条件可用下述 6 个物理参数来表示^[3]；

对流层低层的相对涡度 $= (\zeta_r + 5)$ ， ζ_r 的单位为 10^{-6}S^{-1} ；

柯氏参数 $= f = 2\omega \sin \varphi$ ；

风的垂直切变 $= 1/(S_r + 3)$ ， $S_r = \left| \frac{\partial V}{\partial P} \right|$ ，单位为 $\text{ms}^{-1}/750\text{mb}$ ；

海洋能量 $= E$ ，从海表到水深 60 米的温度高于 26°C 的含热量，单位为 $10^{-8}\text{cal cm}^{-2}$ （或 0.42Jm^{-2} ），

湿空气稳定度 $= \frac{\partial \theta_s}{\partial P} + 5$ ， $\frac{\partial \theta_s}{\partial P}$ 的单位为 $^{\circ}\text{K}/500\text{bm}$ ，

中层湿度 $= (\overline{RH} - 40)/30$ ， $\overline{RH}$ 是中层（500 和 700mb 之间）的平均相对湿度，按此定义得： $\overline{RH} \leq 40$ ，其值为 0； ≥ 70 ，其值为 1。

前三个参数的乘积为动力潜势，单位为 $10^{-11}\text{S}^{-2}((\text{ms}^{-1})/(750\text{mb}))$ 。后三个参数的乘积为热力潜势，单位为 $10^{-8}\text{Cal cm}^{-2}(500\text{mb})^{-1}$ 。可以看成是积云对流的潜在能量。因此可以定义一个季节发生参数 $S.g.P.$ 令

$S.g.P. = (\text{涡度})(\text{科氏力})(\text{垂直切度})(\text{海洋能量})(\text{湿空气稳定度})(\text{中层湿度})$ 。
 $S.g.P.$ 值的单位是 $1.5 \times 10^{-8}\text{Cal}^{\circ}\text{KS}^{-1}\text{cm}^{-3}$ 其大小表明了热带气旋发生条件的优劣。计算表明 $S.g.P.$ 的分布与热带气旋的发生数非常一致。

Gray 对太平洋上加强性的热带气旋，算得 $S.g.P.$ 近似值为 83（单位： $10^{-8}\text{Cal}^{\circ}\text{KS}^{-1}\text{cm}^{-3}$ ）。印度气象局的 Mandal^[5] 在 1979 年 6 月 16 日—19 日 MONEX 期间对一个阿拉伯海的热带气旋用研究飞机收集的资料进行计算，得到 $S.g.P. = 91$ 和 76（17 和 18 日），这与太平洋上的估计值甚为一致。

3. 发生问题的天气学研究

近年来对热带气旋的起源曾引起广泛的兴趣。全球约有 3—5% 的热带气旋起源于半热带气旋（或中性气旋），付热带纬度静止锋上的扰动，西风带东移高空槽中的斜压区扰动和高空冷涡。甚至还曾发现过我国华南沿海的一个台风是由西南涡演变而来的事实。上述小概率起源的热带气旋，一般多见于西北大西洋和西北太平洋^[6]。

澳大利亚附近海面的热带气旋几乎都发生在季风切变线上，其中相当部分是起源于大陆上空的季风低压。另外，热带气旋的再生过程也受到了重视。当热带气旋在澳洲东海岸登陆在陆上保持其原有的暖中心，又复重新在西海岸出海再次加强^[7]。一部分的大西洋飓风由西非大陆入海的低压演变而成，部分孟加拉湾风暴则来自中印半岛陆地。

科罗拉多大学还通过上百个发展(D)与不发展(N)热带云团的结构进行对比分析。结果表明^[3]，对这两类云团的温度场、湿度场和云场并没有显著的不同，而环境风场存在着明显差别。

太平洋上对流层下部云团中心 2—8° 半径之间，如是发展的其正切向风速值比不发展的明显偏大；而发展云团的对流层上部有明显偏大的负的切向风速。这一特点大西洋上的发展和不发展云团也同样存在。

至于云团发展成热带气旋还要求对流层里存在着弱的风速垂直切变，这样才能通风小，水汽和热量易于集中而损耗小，云团得以保持高的水汽含量和热量。在发展系统的近中心处，总存在一个东西风分量的垂直切变零值区，在它的两侧外围有一个符号相反的风速强垂直切变区。这样在风的垂直切变场中便存在一个很强的南北水平梯度。

由此进一步得出关于发展扰动，其低层涡度约为不发展扰动的两倍，高空负涡度和流出气流也明显偏大。而流出气流一般具有两个通道（向西南和东北方向）。不发展云团多数是单通道的。

50 年代台风发展问题的研究，侧重于大尺度环境因子的作用，这一论点迄今仍受到足够的重视。R. Simpson^[8] 曾提出大西洋对流层上层风切变对热带气旋质量环流的激发和抑制作用。以后，J. Sadler^[9] 强调了太平洋热带对流层高层槽（以下简称 TUTT）机制。TUTT 南侧的赤道高压脊（往往位于云团上空）对减少扰动区域的风速垂直切变和加强辐散有利，而 TUTT 东侧的辐散气流加强了云团高层的抽气作用，并建立了一条通向大尺度西风带的流出通道，是对发展极为有利的大尺度环境流场。同样，McBride^[7] 提出了南半球中纬度 200 毫巴的低压槽使周围的反气旋增强，形成了有利于台风发生的天气学条件。V. Dvorak^[10] 分析了大量卫星云图的个例后提出，当在扰动以西 25 个经度，以北 25 个纬度的扇形范围内出现向扰动弯曲的大尺度云带时，将抑制扰动的发展。以上这些结果对业务工作中判断一个扰动是否发展是有参考价值的。

自 60 年代 Charney 等提出台风发生的 CISK 理论以来，一直被认为是描述台风发展的一种重要机制。就是说，天气尺度扰动产生的水汽辐合，把积云组织起来并维持其不断的增长和发展，扰动中积云对流所释放的潜热能供给天气尺度扰动运动的能量，积云和天气尺度扰动的相互作用产生的不稳定性，即称为第二类条件性不稳定（CISK）。

可是，关于怎样由热带扰动发展成为热带气旋的问题，Gray 等^[18] 提出了一个新的观点，即积云对流不仅有潜热释放，而且能引起垂直方向水平动量再分配的一种反馈作用。而摩擦加速度分量是扰动发展为热带气旋过程中使气压和风速发展的重要组成部分。理解其作用是我们理解热带气旋产生和强度变化的一个基本问题。

我们知道,从观测资料表明,几乎所有的热带云团系统都在 500—200 毫巴间产生正温度距平,而在 900—500 毫巴和 200—100 毫巴间产生小的负距平,这是积云对流引起的。这样的温度层结,一方面会使扰动内部静力稳定度加大,抑制对流的发展;另一方面也会导致中层动量积累,风速加大,和使低层风速减小,不利于热带气旋的发展。因此,这里必然存在另一种物理过程,即能抵消对流引起的温度变化和温度异常的垂直分布的机制,而 Gray 认为,正是由积云对流及其与云相联系的质量交换所造成的垂直方向上水平动量的调整,是抵消积云加热,并使其垂直再分配,使对流层下半部产生正温度距平的机制,而这种机制又是与热带扰动外部半径 2° — 6° 内,风的垂直切变大小成正比地产生的。所以扰动外围强的垂直风切变是整个对流引起的动量在垂直方向上重新调整这个反馈机制的纽带。

具体地说,积云对流引起空气质量垂直交换,导致水平动量的上下调整,Gray 认为是内摩擦在发挥作用。认识它们的作用是理解热带气旋发生发展的基础。Gray 分别从内摩擦的切向分量和径向分量两方面进行了讨论。内摩擦的切向分量对热带气旋的发展有密切关系,而它又可分解成边界层内摩擦和积云的内摩擦两部分。计算结果表明,几乎所有资料,后者对切向风速的作用都是地面到 850 毫巴和 100—300 毫巴间为正值,对流层中部的 850—300 毫巴间是负值。说明正好对积云对流凝结的结果起到抵消调整的作用。内摩擦的径向分量对常定状态的热带扰动和气旋,无论是风还是气压变化都是有重要作用的。因为在这样的系统里,实际风和梯度风之间相差可达 ± 25 — 50% ,分析径向分量随高度分布,也表明对风速变化的贡献在 900—500 毫巴和 200—100 毫巴层内是正的,而在 500—200 毫巴层次内为负值。由此得出径向分量同样对积云对流产生的结果起到抵消和调整作用。

此外,这里还有一个重要的动力学问题,即在热带地区 10—15 个纬距这样的尺度内,对流循环引起的对流层下半部垂直风切变的加大,不是通过风场去适应气压场的变化,而正好相反,是气压场适应风场的变化。换言之,正是在上述的摩擦使扰动低层风速逐渐增大的情况下,造成热带气旋加强所具备的低空暖中心,于是气压也一步步的加深,随着台风发展起来。

关于积云动量输送对热带气旋的加强作用问题,Pearce 进行了数值试验研究工作。因为要模拟一个热带扰动的加强和热带气旋的产生关键是暖心结构的形成,具体办法是设计通过扰动的三支互相分离的气流,一支从低层流入在云中上升,然后在高层径向外流;二是留下的中层的空气,一般来说是下沉的;三是平流层低层的空气,一直伸展到地面中心区域,它具有使对流层对流活动的重力波传播作用,一直达到离中心很远的距离上。试验结果表明,积云动量输送是一个关键过程,而与重力波传播相联系绝热增温,随着眼的形成风暴也得到加强。

通过径向气流和垂直运动的分析,表明气流从低层流入和高层流出起到角动量的源和能量的汇的作用;另一方面,表面传播过程则起到的是动量汇和能量源的作用。由此知道深对流是使轴对称系统得以维持的结论。试验结果还证明,对流活动能带走中层空气。而表面湿空气流是以补偿和径向气流相联系的湿静力能的损失,使角动量在低层集中起来而导致扰动的加强。

三、热带气旋路径的预报

1. 模式分类

目前各国在业务中试用热带气旋预报模式有 30 多个,可概括为以下三类六种

- 统计模式占80% { 1. 相似法—由相似历史样本决定预报
2. 气候惯性法—不包含天气学资料的回归方程模式
3. 统计天气模式—含有天气学资料、气候资料及惯性因子的回归方程
- 数值模式占10% { 1. 正压(一层)
2. 斜压(多层)

统计—动力模式占10%：由数值预报导出因子，用于统计模式中。

美国国家飓风中心对不同海区的热带气旋目前在业务中使用的共有10个模式。各模式的主要特点如下^[11]：

相似模式：如天气形势重复出现，台风路径也大致按历史上出现的路径移动。其优点是在给出预报路径的同时有一组概率椭圆可以作为预报可能性的参考。但对形势突变和疑难台风没有预报能力。

CLIPER 模式：相似样本不足时可用此模式，它比相似法简单，相似法每次执行程序时必需扫描历史风暴的储存资料，而CLIPER 和一般统计模式一样，只需在最初建立回归方程时对历史台风资料使用一次，且效果优于相似法。本法应用的国家较多，在日本有 PC 模式。

统计天气模式(NHC-67, NHC-72)：本法与 CLIPER 法的差别在于以加了天气学资料。即增加了当时和前24小时的1000、700、500毫巴的位势高度作为预报因子。NHC-67与NHC-72的差别在于资料、区域、时间和因子组合等不同。本法对预报疑难台风的能力甚低。

统计动力模式：统计动力预报体现了 CLIPER 预报和数值引导预报的结合。目前有完全预报法和模式输出法两种，它对疑难台风的预报比统计方法稍有改进。

1000—100毫巴多层 u, v 的加权平均风作的正压模式(SANBAR)：这是一种内含模式并考虑引导气流。用正压涡度方程以30分钟步长来进行计算，流函数最小值和涡度最大值确定为预报的风暴中心所在。本模式的精度取决于初始场的分析。

斜压模式(MFM)：美国十层原始方程模式于1976年正式投入预报业务，目前全球只有少数几个国家在使用。网格是随风暴移动的精细套网格。水平方向和垂直方向均有较高的分辨率。格距是可变的，水平最小网格距为60公里。本模式需要经验公式构造一个人造涡旋，将其纳入初始引导气流形成一个平衡稳态的初始场，以便作为数值积分的初始条件。

日本(JMA)在业务预报中使用一个移动多重套网格三层 σ 坐标系的原始方程模式^[12]。人工规定一个圆对称加热场向热带气旋提供热能，代表积云对流加热的总影响。台风环流用圆对称涡旋来表达，并将热带气旋的中心放在最细网格的中央。但本模式未能考虑海气相互作用，地形影响和水份循环。

预报结果表明，对所有的例子，当引进初始6小时的位置后，预报效果明显改进。大的误差常由引导气流报错造成。对打转，方向突变和与西风带相互作用的台风，预报效果都不好。

我国台风业务预报模式使用正压原始方程，并把台风环流嵌入大尺度气流中，部分地考虑了台风环流对大尺度气流的反馈作用。

2. 误差与性能

沿大圆的预报误差(111公里为单位)可写成^[13]：

$$FE = 111.2 \cos^{-1} [\sin y_0 \sin y_f + \cos y_0 \cos y_f \cos(x_0 - x_f)] \text{ 或近似为:}$$

$$FE = 111.2 \{ [y_0 - y_f]^2 + [(x_0 - x_f)] \cos(0.5y_0 + 0.5y_f) \}^{\frac{1}{2}}$$

其中 (x_0, y_0) 、 (x_f, y_f) 分别为最佳路径和预报位置的经纬度。

这一误差计算是预报和实际位置之差,但这不能表明预报性能的好坏。在不同海区,不同源地热带气旋的条件有很大差别。例如,低纬东风带里的热带气旋,一般移动较慢(12KTS)而稳定,预报难度就要小些。中纬度热带气旋往往处于弱而变化较多的引导气流中,路径变化不定;高纬度的热带气旋在西风气流引导下,方向虽较稳定但有很大的移速误差。这两种预报难度就要大些。用 FE 来比较两个不同海区不同预报方法的结果并无多大意义,也不能说明其性能优劣。

用上述误差公式计算多年的预报误差可以发现,各年预报误差的浮动是没有规律的。这是由预报难度,台风初始位置平均纬度等许多复杂的因素所决定,故比较不同年份的预报误差也并无多大意义。

对于估计一个模式的性能(或预报能力),美国气象学会的政策声明中指出,如果一个模式的预报精度不能胜过基本方法(气候和持续性)所能达到的水平,那末就谈不上有什么预报能力。J.Neumann 把气候一持续性预报作为标准来计算各个模式预报的精度的百分数:

$$P = [100(E_c - E_m)/E_c]\%$$

其中 E_c 是 CLIPER 预报误差, E_m 是模式预报误差。 P 是正值表示超过 CLIPER。负值表示不如 CLIPER。从目前美国国家飓风中心几个主要模式的性能比较看来,各模式一般都超过 CLIPER。多种类似的比较表明, NHC-73 是美国目前的最佳方案,而 HURRAN 为最差。对十层斜压模式(MFM),它在 48 小时以后的后期预报优于所有其他模式;中期(24—48 时)与其它方法相仿,而初期(12—24 时)预报竟远不如其他模式的平均性能。这可能是涡旋与周围风的初值化资料不适当所造成。故初值化过程的改进将有助于提高 MFM 的性能。

必需指出很关键的一点,就是目前所有的模式对疑难台风的预报几乎都没有什么能力。对于有规律的路径,各种方法都不错;对于疑难台风,往往都同时失败。个例分析表明,动力斜压模式对疑难台风的预报一般优于其他模式。但由于使用时费用昂贵,不便推广。NHC 的 MFM 十层模式,也只在估计台风要威胁人口稠密地区时才使用。

3. 评价和改进的线索

目前一些动力模式对热带气旋的移动预报往往根据引导气流。但实际位移与引导气流的偏差都是不可忽视的^[14]。从运动方程

$$\frac{dU_0}{dt} - fV_0 = -g \frac{\partial z}{\partial x} + I_x, \quad \frac{dV_0}{dt} + fU_0 = -g \frac{\partial z}{\partial y} + I_y$$

或可写成:

$$V_0 = \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{f} \frac{dU_0}{dt} - \frac{1}{f} I_x, \quad U_0 = -\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{1}{f} \frac{dV_0}{dt} + \frac{1}{f} I_y$$

(A)
(B)
(C)
(D)
(E)
(F)
(G)
(H)

出发,来讨论这种偏差($\sqrt{(A-B)^2 + (E-F)^2}$)。

香港天文台用地面 700、500、300 mb 4 层计算出空间平均图,并用最佳台风路径实况,可计算出方程中的各项(见下表)。结果表明,平均向量偏差竟达 4.62m/s。如单纯用地转

纬向方程			径向方程			对地转引导的偏差			剩余力		项
V_0	$\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x}$	$\frac{1}{f} \frac{dU_0}{dt}$	U_0	$-\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial y}$	$-\frac{1}{f} \frac{dV_0}{dt}$	向北分量	向东分量	偏差	$-\frac{1}{f} I_x$	$-\frac{1}{f} I_y$	合成
(A)	(B)	(C)	(E)	(F)	(G)	(A)-(B)	(E)-(F)	$\sqrt{(\quad)^2 + (\quad)^2}$	(D)	(H)	$\sqrt{D^2 + H^2}$
2.66	1.74	0.24	-1.04	2.37	-0.04	0.92	-3.41	4.62	0.68	-3.36	4.75

引导气流作预报, 24 小时误差可达到 400 km。另外, 剩余力项远比加速项大, 与柯氏力项 ($A \cdot E$) 和气压梯度力项 ($B \cdot F$) 相仿。因此 I_x 、 I_y 在预报路径时不可忽视。但 I_x 、 I_y 与热带气旋的不对称结构, β 效应、尺度和强度有关、这需要详尽了解热带气旋的三维结构, 目前还不能获得风场解析的实时信息。因此改进模式需要依赖于观测技术的发展。

各种客观模式的预报误差都与初始定位有十分密切的关系。台风中心 40 km 的定位误差可造成 24 小时 80 km 的预报误差^[16]。提高初始位置的定位精度是减小预报误差的重要方面。

近年来在模式设计方面虽然尽了很大努力, 但一些重要的缺陷至今影响着预报能力。例如模式如何来描述涡旋对大尺度基本气流的作用, 积云对流活动引起辐散辐合增强并如何影响到涡旋的运动, 海洋大气相互作用, 地形影响和水份循环, 改进涡旋和它周围风场的初值化方案, 以及非常规资料的同化等等。

是否可以在评价现有模式性能的基础上, 来归纳各模式的优点, 组成一个“全能”模式? 用以预报不同源地的各种风暴呢? 看来是不容易做到的。因此要求预报员要掌握各种模式的特点及其预报能力, 才能在台风业务预报中有效地发挥模式的作用。

四、卫星资料的诊断分析技术

1. 红外增强显示

用卫星云图确定风暴强度, 最早自 1963 年开始, 每天仅一张云图, 根据云团尺度, 云带和台风眼形状等特征来确定。由于云团特征随时都有强弱变化, 足以掩盖对风暴强度的分析。1972 年以后发展了一种 T 指数方法, 用一系列可见光云图的特征来估计每一天的风暴强度。参考前期演变, 确定当前云型, 求得 T 指数和相对应的中心最大风速。对于不同的云型, 使用不同的演变模式, 根据云团的中心特征和带状特征, 求出 T 指数。

最新进展是用红外增强显示云图和数字化云图来确定强度^[16]。这一技术是用红外线温度图显示并增强了与风暴强度有关的云型, 并可加以度量。强度是由包围中心的色带温度或眼区温度来计算的, 或用度量围绕中心螺旋云带的弧距加以确定。

近年来, 这种方法已用计算机数字打印的方式加以显示。在数字云图上套一透明板, 置于风暴中心, 读出眼中心的最高温度和半径为 30 海里圆内的最高温度。由这两个数值查表即可得出强度的估计值。其结果与探空资料相比较非常符合。

风暴强度分析技术概括表明 (可适用于可见光和增强显示), 可分两部分进行, 即云型特征的度量和云型与模式的比较。当云型模糊难以度量时, 就用模式比较, 但主观性较大。

2. 卫星推导的风场

日本气象卫星中心 (MSC) 利用 GMS 提供间隔为 30 分钟连续四张卫星云图^[17], 每天两次计算卷云高度 (200 毫巴) 和积云高度 (850 毫巴) 的风矢场。计算是跟踪示踪物 (卷云和积云) 后由计算机系统进行的。结果在 $0-22.5^\circ N$, $127.5^\circ-177.5^\circ E$ 的范围内 50 个风矢量, 可以在高层和低层每 5 度网格内计算出 u 、 v 分量, 风速、涡度和散度及其月平均值。以便研究热带气旋形成地区内月平均风场的特点和扰动的发展条件。

用这份资料对 1978 年 7—10 月的热带气旋进行研究, 统计结果表明, 热道辐合带以北和附近发生的热带气旋远比以南 ($2^\circ-6^\circ$) 发生的为多。尤其 9—10 月, ITCZ 南侧 2° 之外没有热带气旋发生。在热带气旋的发生区, 高层的负涡度, 正散度以及低层的正涡度远比全区

域为大。

对 1978 年 8 月 3 个发展云团和 3 个不发展云团进行风场参数个例的计算表明,发展前一天的云团处在较弱的高层风场中,高层的负涡度和散度均需超过一定的临界值。判别标准如下(高层):

$$|-\xi| > 1-9 \times 10^{-6} S^{-1}$$

$$D > 7 \times 6^{-6} S^{-1}$$

$$-8 < u < 13 m/s, \quad -17 < V < 1 \quad \text{单位: KTS}$$

从这一研究看来个例太少并不成熟。但卫星导出的风场无疑将存在很大的业务潜力。另外,通过卫星资料与模式结合,将可改进预报效果。香港天文台^[18]把从 TIROS—N 卫星探测的 1000 毫巴到各标准等压面间的厚度资料输入到一定的预报方法(结合常规资料)与不用这份资料(仅含常规资料)的结果进行比较,发现使用这一卫星资料后的预报结果有明显改进。但这方面的研究目前还做得很不够。

五、TOPEX 计 划

1. 总体计划

TOPEX^[19]是从台风委员会成员国利益出发组织的一次台风业务试验。为期三年(1981—1983)试验期间将取得实时加密观测资料,加强对台风的监视和跟踪,改进分析预报和警报工作。另外要对洪水预报和警报系统进行试验,并加强防灾救灾能力。总体计划分成气象、水文、警报发布和情报交换等三大部分。

气象部分可分核心试验和次试验。核心试验将对试验台风进行加密观测,观测网是以 WWW—(全球气象观测 GOS)体系为基础,增加观测次数,并充分应用卫星观测资料。试验目的在于提高和改进成员国台风分析、预报、警报等业务工作。次试验的目的拟在获得台风三维结构的详细资料和研究台风形成、发展、衰减机制所需求的资料,以改进台风路径、强度等预报技术。对出现在 1 区的台风研究其发展和运动,出现在 2 区的研究其形成。但次试验尚未进行组织。

TOPEX 从 1981—1983 年实行。81 年以三周时间为预备试验,试验一个台风,82—83 年为正式试验。每次试验 2 个加密观测台风,2—3 个台风不进行加密观测。

试验国际中心(IEC)设在东京,各成员国设立分中心(ESC)。IEC 由各国派专家组成,其职责为选择试验台风,发布加密观测的开始和终止指令,从 ESC 发送资料情报以及综合评价试验的结果。ESC 提出试验台风的建议,向加密观测现场和分析预报系统发布起始和终止指令,向 IEC 报告试验结果和评价试验结果。

2. 业务程序

试验期间共同执行一套业务程序,分为规定业务(最低要求)和建议业务(最高要求)。

规定业务:定位、强度确定、路径预报、雨量预报;

建议业务:定位、强度确定、路径预报、雨量预报、发生发展判断、消亡预报、大风预报、风暴潮预报。对于每一项规定业务排出操作流程(图略)。有关 TOPEX 的作用和效果,尚待于最终评价。

与热带气旋有关的还有两个问题也受到普遍重视。热带气旋引起的强烈天气往往由中尺度系统引起。日本^[20]目前用三套系统对中尺度系统进行监视和探测。(1)气象雷达网:由20个雷达组成,分辨率为2公里。(2)AMEDAS:共1313个自动雨量站,平均间距17公里,840个地面风,温度和日照观测站,平均间距为21公里。(3)GMS:可见光通道分辨率为2公里,红外通道分辨率为7公里。用这三套系统结合起来可以对强中尺度系统进行有效的监视。并在一定程度上,用外推法可对中尺度系统作出超短期预报。由于这套系统的资料容量很大,目前都由电子计算机进行处理。雷达资料经过处理后可以将降水回波和地物干扰区分开来,并对降水回波资料作适当的细网格(5公里)数字化处理。从雷达观测时间到作出超短期预报间隔为15—30分钟,而GMS要在观测之后40分钟收到,故雷达网和AMEDAS是作超短期预报的主要工具。

台风风暴潮是台风天气现象之一,影响风暴潮有三个重要因素即1.和天文大潮相结合,台风本身引起的海潮较高,形成潮位暴涨;2.海岸地形,如喇叭状港湾,有利潮位抬高;3.造成持续而强烈的迎岸大风的天气形势。

北美的墨西哥湾,印度次大陆的孟加拉湾,大西洋北海沿岸的英国与荷兰以及日本南部都是世界上风暴潮著名的地区。我国大陆位于太平洋西岸,台风季长,受台风侵袭的次数多,强度和影响范围也大。我国也是世界上多风暴潮的国家之一。

台风风暴潮的预报问题,自Jelesniamski(1972)的模式创立以来取得显著进展。孟加拉湾是全球风暴潮最为严重的地区之一。1970年11月12日,一个热带风暴引起的大潮曾使这一地区数十万人丧生。从这以后,这一地区风暴潮的研究和预报取得不少进展。印度Das^[21]用浅水方程对一次风暴潮进行数值模拟,计算值的周期和振幅与观测值十分一致。

研究表明,强南风对孟加拉湾风暴潮有较大贡献。岛屿地形有明显的增幅作用^[22]。更为重要的是风暴潮与天文潮之间的相互作用,这两种潮位的迭加往往引起严重后果。另外,当风暴路径突变时对风暴潮位的影响也至关重要。

参 考 文 献

- [1] 束家鑫,王志烈,十年来我国台风研究的进展,《1981年台风会议文集》,上海科学技术出版社。
- [2] W. M. Gray, Global climatological aspects of tropical cyclone occurrence, Pre-Prints and Abstracts of Papers, Symposium on Typhoons, Shanghai, China, 6-11, October, 1980.
- [3] W. M. Gray, Observational and theoretical aspects of tropical cyclone genesis, 同[2].
- [4] R. Pearce, Cumulus momentum transport and tropical cyclone intensification, 同[2].
- [5] G. S. Mandal, Cyclone characteristics derived from the monsoon experiment (MONEX), 同[2].
- [6] Chen Lianshou and Shu Jiabin, A review of typhoon research and operational prediction in China, 同[2].
- [7] J. L. McBride and T. D. Keenan, Climatology of tropical cyclone genesis

in the Australian region 同 [2].

- [8] R. H. Simpson, A reassessment of the hurricane prediction problem, ESSA Technical Memorandum, WBTM-SR50, 1970.
- [9] J. C. Sadler, A role of the tropical upper tropospheric trough in early season typhoon development, Mon. Wea. Rev., 104 No. 10, 1976.
- [10] V. F. Dvorak, Tropical cyclone development as related to changes in the Westerlies, 同 [2].
- [11] C. J. Neumann, An evaluation of operational objective track prediction models, 同 [2].
- [12] T. Nitta, Preliminary results of track prediction by a JMA three-dimensional model with use of the moving multinested grid, 同 [2].
- [13] C. J. Neumann, On the verification of the tropical cyclone forecasts, 同 (2).
- [14] G. J. Bell, and C. Y. Lam, Departures of tropical cyclone movement from geostrophic steering, 同 (2).
- [15] G. J. Bell, Some aspects of tropical cyclone movement and forecasting, 同 [2].
- [16] V. F. Dvorak, Methods for tropical cyclone intensity analysis and forecasting using satellite data, 同 [2].
- [17] R. Tatehira, Y. Watanabe and S. Osana, A satellite-derived wind analysis of tropical cyclone genesis, 同 [2].
- [18] M. K. S. Tsui, Impact of SATEM data on tropical cyclone forecasting. 同 [2].
- [19] T. Nitta, Analysis and forecast procedures to be used during the operational phase of the preexperiment of TOPEX, 同 [2].
- [20] R. Tatehira, and Y. Makino, Use of mesoscale observation network in Japan, 同 [2].
- [21] P. K. Das, Storm surges in the Bay of Bengal, 同 [2].
- [22] A. Ali, Some experiments with a numerical model developed for the prediction of storm surges in the Bay of Bengal 同 [2].

中国台风研究和业务预报的评述

束家鑫 陈联寿

摘 要

本文对中国邻近海域台风活动、新的观测事实、台风发展和移动等方面的主要研究作了介绍;并对台风路径业务预报的方法、效果和误差作了讨论。文中对台风研究和业务预报的现状、存在的问题和发展作了评述和展望。

一、引 言

中国南部和东部面临广阔的海洋,是全球受热带风暴影响最为严重的国家之一。31年的资料(1949—1979)表明,中国海岸全线及其附近海区都有台风活动。中国内陆除西北地区外,也都在热带风暴袭击范围之内。每年平均有20.2个台风进入附近海区,频率最高的是南海,占总数60.4%(表1)。中国每年平均有7.4个台风登陆,而华南沿海居首位(58.1%),其次为华东沿海(37.5%)(表2)。登陆台风出现在5—12月,其中7—9月占全年登陆台风总数的76.4%(图1)。因此,7—9月是台风袭击中国的高频季节。

1949—1979年4个海区台风活动逐月平均次数

表 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	%
1	0.03			0.10	0.45	1.22	2.35	2.35	3.09	1.74	0.77	0.10	12.20	60.4
2				0.03	0.16	0.65	1.68	2.16	1.74	0.16	0.19	0.03	6.70	33.2
3						0.03	0.48	0.42	0.16				1.09	5.4
4								0.13	0.06				0.19	1.0

1949—1979年4个沿海地区台风逐月平均登陆次数

表 2

	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	%
1	0.16	0.42	0.90	0.90	1.16	0.55	0.16	0.03	4.28	58.1
2	0.06	0.19	0.68	0.90	0.84	0.03	0.06		2.76	37.5
3			0.16	0.10					0.26	3.5
4			0.03	0.03					0.06	0.09

台风每年给中国带来严重的经济损失和生命伤亡。台风登陆时的最大风力往往达到50—80米/秒,所经之处可以摧毁巨轮,拔树倒屋。台风暴雨带来的灾害往往更为严重,有的台风登陆后维持不消^[1],日降雨量可达500—800毫米以上,引起河道满溢、山泥倾泻、水库崩溃。台风带来的海潮往往引起巨灾。中国沿海有广阔的大陆架浅海区,对风暴潮的发展十分有利。

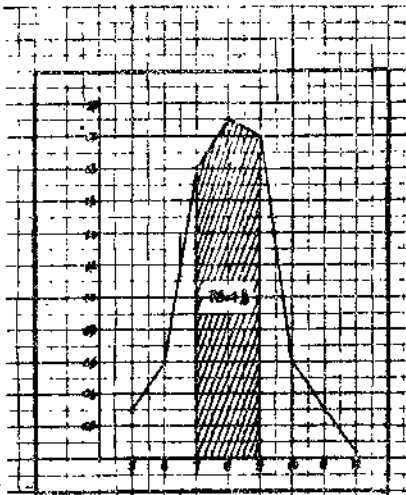
尤其当台风增水与天文大潮重合时，可使局部海面抬高4—6米，掀起巨浪10米。向岸狂风可将海潮和巨轮推入内陆，冲毁海堤。

但有时台风也使经济受益，我国南方一些省区往往依靠台风雨水解除夏季严重的干旱，这对农业和水力发电十分有利。

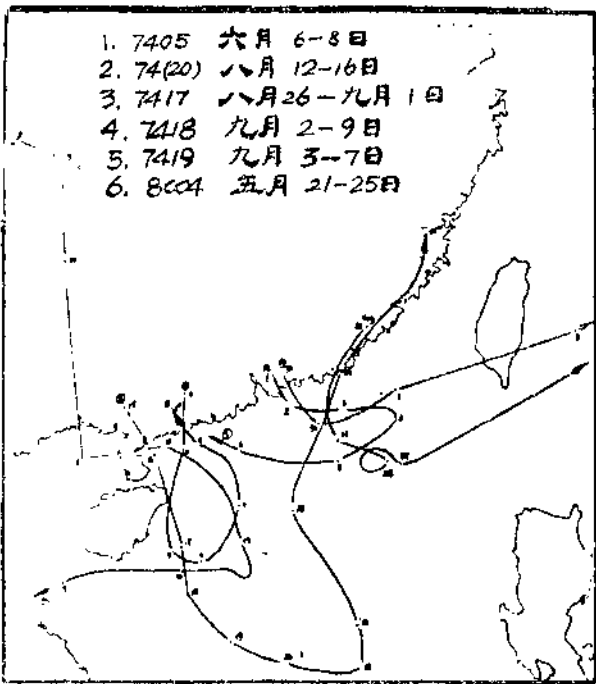
二、若干新的观测事实

最近十年来，发现一些中国沿海台风很有趣的事实。

1. 起源问题：过去认为南海台风除在南海形成以外，都来自太平洋。新近发现，少数南海台风的早期扰动来自中国大陆（图2）。这些大陆扰动移入南海后经过1—2天的变性，形成台风。这种台风只出现在7—8月，这和这一季节南海海温较高和对流层低层存在辐合区的环流条件有关。



（图1）中国登陆台风逐月平均分布



（图2）6个来自大陆的南海台风路径图

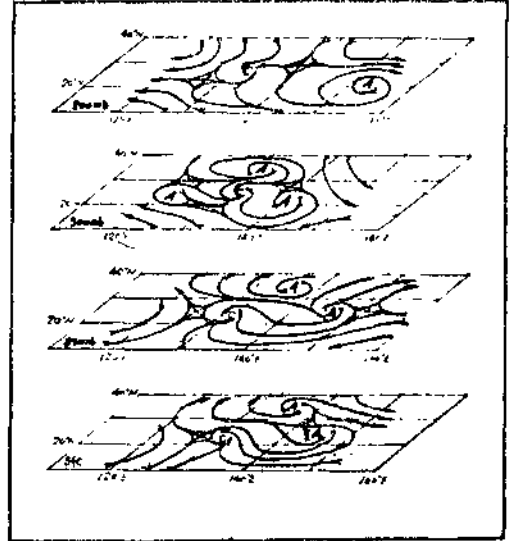
过去认为中国沿海台风都起源于热带扰动，但近年来发现^[2]，少数沿海台风是由中纬度斜压扰动演变而成的。这种扰动一般出现在中纬度冷槽南端的切断部分或对流层低层切变线的端点，是一个冷心系统。以后被东北信风推移到热带洋面，发生变性过程，使斜压能源转变为潜热能源。结果使冷心结构转变为暖心结构，变性增暖将使300毫巴中心比四周暖5℃

左右,并形成明显的螺旋结构。1974年8月12—13日一个南海台风是由中国大陆上的西南涡移入南海北部发展而成的。这种现象十分罕见。

少数沿海台风还起源于高空冷涡。这种冷涡位于对流层上层(200毫巴附近),涡旋环流往往下传,诱生低层扰动。例如7705号台风^[3],高空冷涡最初于7月22日出现在100—200毫巴,26日下传到海面,形成对流层深厚的环流系统(图3),低层冷心扰动经过两天变性增暖,于28日在中国台湾省东部海面发展为台风。

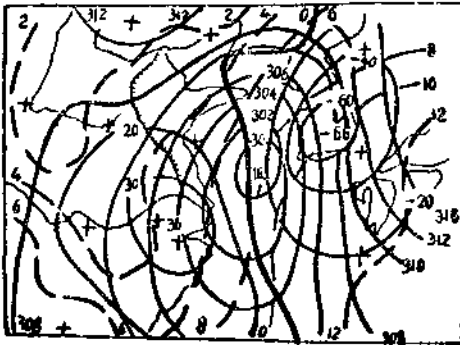
2. 变性结构:当沿海台风与来自大陆的冷空气相互作用时,将使其结构和强度发生变化。

盛夏沿中国东海岸向偏北移动的台风,当与冷空气相遇时,首先使台风有明显减弱。当冷空气进入台风环流后,台风环流的温度场将变成半冷半暖结构,南北向的高空锋区穿过原来的台风环流,使台风变性为气旋结构。变性系统的冷侧有下沉气流,暖侧有上升气流



(图3) 1977年7月26日00Z高空冷涡下传的各层流线图

(图4)。这种经向垂直环流使水平力管场斜压位能释放,转变为动能。用扰动位能和扰动动能的能量转换项 $-\frac{R}{g} \int_A \int_P \overline{T' \omega'} \frac{dP}{P} dA$ 按图4对7416号台风动能的增加进行估算,结果相当于12小时内扰动风速平均约增加8.5米/秒^[4],结果与实况相符。这使一个减弱的热带扰动,突然发展为一个强大的温带气旋,从而导致中国北方海面的风灾。

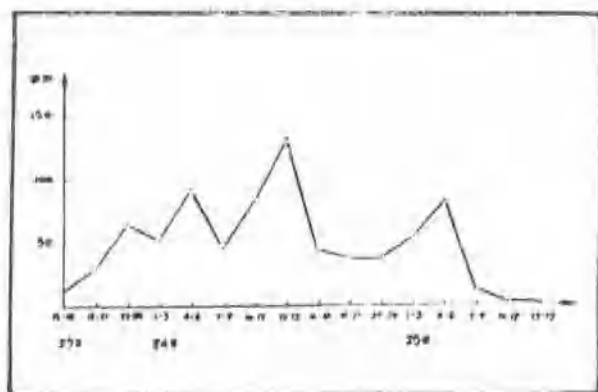


(图4) 7416号台风的半冷半暖结构

深秋季节南海台风的北侧常与跨越中国大陆的冷空气相遇,其结果使台风北侧气压梯度加强,大风区迅速向北扩展并加强,形成不对称的大风区。当干冷空气卷入台风内部时,使台风眼和晴空区放大,破坏暖心结构并使台风减弱。这种台风外围的风速往往显著超过中心风速,称为空心台风。

3. 台风中的中尺度结构:沿海或登陆台风往往具有显著的中尺度结构特征^[5]。台风中存在若干直径为100—200公里的中尺度“雨团”,按螺旋线围绕眼区旋转。每一块“雨团”都和一场严重的暴雨对应。7913号台风9月23日夜登陆广东中部,登陆后24小时的雨量中心达到547.3毫米,它由4场雨量峰值组成(图5),其中24日13—15时小时雨量达到130毫米,这场雨和台风中心东部的一块雨团对应,卷入云带的尾部还拖有一系列雨团(图6)。它的形成和南海西南季风和偏北风在低空的辐合加强有关。

雷达和其他加密资料的分析还发现,在台风中心的右前方或台风前侧线中有时出现龙卷^[6]。例如,7503号台风曾在中国河南南部下过特大暴雨,在它的右侧就曾出现过11个龙



(图5) 1979.9.23—25日惠东3小时雨量曲线



(图6) 1979.9.24日8时GMS云图照片

磁。这些中小尺度系统对台风的维持和加强有重要的作用；而台风又为这些系统的产生和加强提供了环境条件。然而，这种不同运动尺度之间彼此的联系和相互作用迄今仍是一个有待解决的基本科学问题。

三、台风路径的业务预报

中国从60年代开始，设计了台风路径的客观预报方法。从1975年开始，将各种客观预报的结果，用电码进行广播。投入业务的预报的方法有以下几种。

1. 引导气流法：60年代曾采用正压模式

$$(\nabla^2 - \mu^2) \frac{\partial \psi}{\partial t} = f(\nabla^2 \psi + f, \psi)$$

其中流函数 $\psi = \frac{g}{f_0} z$ ，作500毫巴形势预告。于是得到一层的预告引导气流，然后将第一步的移速误差矢订正到以后各步，得到台风中心的预报位置。

70年代以来改用两层引导^[8]。用地转近似分别计算500毫巴和850毫巴两层的地转引导气流。然后用初始时刻前后6小时的台风实际位移对地转引导气流进行订正，得到这两层的订正引导气流。根据上下两层地转引导气流和订正引导气流与台风移动的统计关系，最后计算出72小时的台风路径。本方法并不包含形势预报，故当形势急变时，预报效果较差。

2. 相似法：以台风中心位置、移向、移速和季节作为4个标准，用计算机挑选历史相似路径。按相似台风的平均位移和实际台风初速的惯性因子，来计算台风未来72小时的预报路径。设想惯性作用是随时间减少的，惯性加权采用每6小时惯性作用减少1/6，36小时之后惯性作用为0，预报路径完全由选中样本的平均位置决定。当选中不中相似样本时，就不采用这种方法。

3. 统计筛选法：用大量历史路径样本，对因子进行逐步筛选，建立不同时效预报因子与台风位移之间最佳的线性回归方程，计算未来72小时的预报路径。

预报因子是本方法的关键。目前从环境流场、台风环流和惯性作用等方面选取因子。使

用结果表明,台风中心的定位误差可以引起明显的预报误差。另外,本方法对台风的小概率路径预报效果较差。

4. 数值预报方法:用正压原始方程一层模式^[7],将内含台风的高度场直接进行数值计算,得到预报的高度场。台风环流的极值点即为预报的中心位置。模式中利用逆平滑算子提高了计算精度,并应用最小二乘方原理引进初始时刻后六小时的台风位置,从而改进了预报结果。本方案的优点是内含台风环流系统,因此在一定程度上能反应出台风环流对大尺度环流的反馈作用。

本模式的缺点是作了常定边界的假定,即 $\phi|_r=C$ 、 $V|_r=C$ 。对此,目前正在用嵌套网格模式来改进,外层用有限区域三层原始方程模式^[9](格点 28×40 ,格距 300 km),从而为内层(格点 27×31 ,格距 150 km)提供了合理的边界条件。

5. 统计—动力方法:将水平运动方程沿台风涡旋范围积分,则可得到如下方程:

$$\frac{dU}{dt} - fV = F_1 \quad \frac{dV}{dt} + fU = F_2$$

U 、 V 是台风中心的移速分量, F_1 、 F_2 是作用于台风的外力分量。外力是难以确定的,故将 F_1 、 F_2 分别用 3 个参数来表达,并用逐步回归求出这些参数,代入上述微分方程的解案表达式,就可算出台风中心未来 60 小时内的位移^[9]。本方法比纯统计方法有了改进,但对小概率路径的预报能力有限。

另外, MOS 方案目前也正在试验。它利用数值预报的输出——台风中心北侧 27 个点的高度值和台风初始运动的惯性项组成预报因子,建立回归预报方程。

总的来说,客观预报方法多年的平均误差较主观经验预报略大(表 3)。但各种客观预

预报误差单位(海里和度)多年平均值 表 3

方 法	引 导		相 似		统 计		数 法		统计-动力		主 观	
	方向	角度	方向	度角	方向	角度	方向	角度	方向	角度	方向	角度
24h	114	19.8	120	17.8	104	—	117	19.5	116	18.7	111	26.7
48h	228	25.3	246	22.6	238	—	217	27.0	245	23.6	230	27.0

逐年台风定位误差平均值 表 4

1975	1976	1977	1978	1979	
27.1	27.4	24.5	24.7	22.9	25.3

报方法的预报精度普遍受到定位误差的影响。中国台风定位误差平均为 25.3 海里(表 4)。因此,在提高客观方法预报能力的各种考虑中,减小定位误差是不容忽视的。

这里给出两个实例说明我国客观预报方法的目前水平。1979 年 7 月 31 日的预报(图 7)结果甚好。这是台风的一般路径。对于一般的路径,各种预报都较好。1977 年 9 月 9 的预报(图 8),结果不好。台风突然出现转折时,各种预报结果往往相互分歧,并与实况差距较大。当路径突变成异常路径时,这种路径与初始场引导气流有较大偏角,并有小概率特征。因而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效。

中国邻近海区台风的异常路径可以分为十类^[10]。尤以东部海面台风突然西折和南部海面