

台风及其预报

科学出版社

内 容 简 介

本书是一本译文集，共有二十四篇译文，选译自美国、日本等国出版的有关刊物，按内容可分成四个部分。第一部分是台风和热带气象学近年来发展所作的两篇综合性评述；第二部分重点介绍最近几年探测到的有关台风的一些新资料和台风起源、结构和生消等方面若干新的观点；第三部分介绍台风路径和天气预报的一些具体客观方法；第四部分是关于飞机、卫星、雷达和自动气象站在台风探测方面的应用。附录中介绍了美国两个主要台风业务单位的工作情况。

本文集主要供从事实际预报工作的同志参考；对于一般气象工作者和有关科研、教学人员也有一定参考价值。

台 风 及 其 预 报

中央气象台编译

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

1975 年 5 月 第 一 版 开本：787×1092 1/16

1975 年 5 月 第一次印刷 印张：17 1/2

印数：0001—6,900 字数：405,000

统一书号：13031·284

本社书号：446·13—15

定价：1.85 元

编译者的话

台风是影响我国的主要灾害性天气系统之一,直接关系到我国的经济建设、国防建设和人民生命财产的安全。为了从多方面促进我国台风预报水平的提高,遵照毛主席关于“洋为中用”的教导,我们编译了这本材料,供我国气象部门的有关人员参考。

本书取材于美国和日本等国最近几年出版的气象刊物,由一些单篇论文翻译汇集而成。其中包括了台风发生发展、路径预报和探测等方面,希望尽可能反映出国外在这些方面的现况、进展和存在的问题。

近几年由于探测能力的不断发展,特别是气象卫星的出现,国外一些气象工作者对原来因记录稀少而了解不够的台风和其他热带天气系统提供了一些新的天气资料,对这些系统的起源、结构、发展等问题作了一些理论上的说明,提出了一些新的观点。这无疑使人们加深了对台风的认识。从长远看,将有利于台风预报质量的提高。但到目前为止,上述进展对实际台风业务预报水平的提高尚不十分显著。另外,在台风的业务预报上,近年来客观定量的方法在国外也取得一定进展,有的已成为发布预报的重要依据。尽管他们对这些研究成果和某些预报方法评价较高,但实际是否那样有效、是否适用于我国的具体情况还有待于我们自己的实践和验证。特别对西太平洋台风的预报,我国预报员应根据我国特点和需要,总结国内外经验,创造出一些行之有效的预报方法。

书中用了一些不同的词汇,如“台风”、“飓风”、“风暴”等,这是因地区不同、强度不同而形成的不同名称。又如“赤道辐合带”、“热带辐合区”等,不同的人有不同的习惯用法。我们都没有勉强把它们统一起来,基本上是照原文翻译的,请读者稍加注意。

本书除注明编译或节译者外,其余各篇均按原文全译。全书主要由中央气象台的一些同志翻译和校对;中央气象局气象科学研究所和中国科学院大气物理研究所的几位同志也参加了这一工作。由于译者水平有限,译文中不妥之处请读者批评指正。

目 录

编译者的话

一 般 评 述

飓风预报问题的评述·····	1
飓风和热带气象学的评论·····	11

台风的发生、发展和衰减

全球热带扰动和风暴起源问题的研究·····	37
近五年来卫星观测大西洋和东太平洋飓风的结果·····	71
太阴潮汐周期与飓风和热带风暴发生的关系·····	95
长期环流距平与台风生成的关系·····	108
关于台风衰减的机制·····	116
关于台风变性为温带气旋时在卫星云图上的云型特征·····	129
热带分析模式和热带云团·····	138

台风的移动和预报

飓风路径的一个相似预报方法——HURRAN 方法·····	142
飓风相似预报方法(HURRAN)的性能分析·····	154
预报飓风移动的统计学方法·····	170
一个改进的预报飓风移动的统计学方法·····	183
应用 700 毫巴天气图预报台风移动的新方法·····	197
1—3 天台风移动预报的天气学统计方法·····	210
西北太平洋双热带气旋的相互作用·····	216
台风的雨量预报·····	226

台 风 的 探 测

台风的飞机探测·····	232
根据卫星照片估计飓风风速·····	238
用雷达飓风降水型式作为追踪飓风的指标·····	241
海洋自动气象观测站·····	245
改进的浮标遥测站 2 号及其资料分析·····	248

附 录

美国国家飓风中心的热带分析程序·····	257
联合台风警报中心的业务·····	266

一般评述

飓风预报问题的评述

R. H. 辛普森

(美国国家飓风中心)

前言

本文对飓风预报问题作了一个评述,以期飓风预报员能以发现飓风预报症结的所在,并寻求更多的预报飓风的客观方法。

飓风预报员在制作通常每天四次的预报时,需要给出一些与热带气旋的发展、移动以及飓风海潮(增水)有关的数字。从物理上说,这些数量是连续而互相关联的,然而,当前的知识水平却必须把它们当作分别的预报问题来处理,这包括预报程序和被大为“简化”了的预报模式。在许多情况下,预报员不得不退缩到依赖诊断工具,并且外推瞬时的趋势。为什么预报模式在反映飓风特征的变化上如此的困难和局限,我们可以列举几个理由:

1. 热带大气是一个两层的环流系统,每一层的结构和活动好象彼此无关;
2. 发展和加强的问题,看来与天气尺度以及对流尺度运动间微妙的相互作用有关;
3. 用于作预报的机器所作的环流分析,在热带易于发生误差。因为热带梯度小,观测点稀疏,涡度主要反映水平切变,由风速梯度反映出来的散度与汇合所反映的散度一样常见。

只有在分析上能得到改进以后,才能有效地解决前两个问题。

倘若边界距飓风系统足够远的话,两层大气,经过适当的分析,不难提出一个说得过去的数值预报模式。如果边界距离不够远,则对流层低层和高层所用的侧向边界条件有所区别。

企图找到一种能直接观测大尺度和对流尺度运动间相互作用的方法可能是无望的。然而,用卫星云图使对流运动尺度参数化,则很可能触及这个问题。

这些问题至今一个也没有得到明确的解答,如果希望在不久的将来能得到真正的进步,还必须给以相当大的投资。

飓风潮水

最先进的预报程序可能就是飓风海潮(增水)的预报或飓风对潮汐的总的影响的预报。如果海岸剖面订正值已知,且飓风强度及登陆地点预报得好,那么,利用 Jelesnianski 模式可以很快得出潮水的高度。当前在预报飓风潮水问题上,最大的缺陷是飓风强度和

登陆地点预报不准。

发 展

数值预报模式,包括大山(Ooyama)和郭晓岚的模式,清楚地表明,用比较精巧的计算海空热量输送的参数化方法,在一个典型的热带大气中飓风必然有规律地发展。问题是为什么真正发展成飓风的却很少,十个中间只有一个低压发展到风暴或飓风强度。真正的难点在于找出抑制发展的原因。同样有趣而重要的是,为什么那么多的飓风很快的越过了热带风暴的阶段而达到了完全的飓风强度,如同飓风 Camille 那样。而另外许多飓风,如 1969 年的 Anna, Inga 和 Kara 等却在热带风暴阶段停留了好几天。最后,就是飓风在暖的洋面上消失的问题。每年总有一个或几个成熟的飓风,从粗略的分析看来在明显有利于维持其飓风强度的环境中消失。某些热带气旋减弱成一开口的波动,后来完全消失。而另一些随后又重新发生。这些变化可能是由以下几个原因造成的:

1. 由于侧向平流或海洋一大气间的交换,使系统所得能量发生了变化;

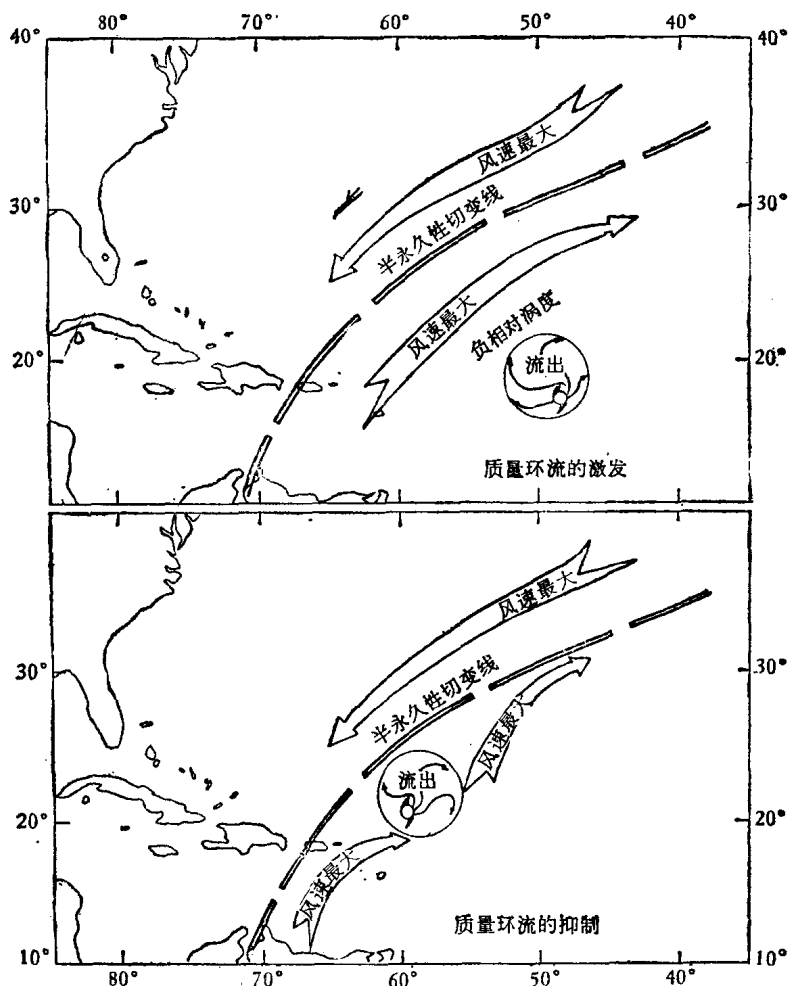


图 1 大西洋对流层上层切变线对热带气旋质量环流的激发和抑制作用
(当气旋趋近切变线以南的极大风速时,气旋中的质量环流受到激发;当气旋进入切变线南北两个极大风速之间的地区,质量环流受到抑制)

2. 流入层或流出层的质量输送受到限制;

3. 风暴周围涡度的大规模变化。

对几次在暖海洋面上消失的例子进行不完全的考察表明,这可能是由于流出层质量环流收缩的结果。在图1中给出了当飓风系统趋近对流层上部切变线的时候所发生的情况。这种切变线在夏季大西洋中部是个半永久性系统。当飓风开始靠近切变线以南极大风速轴时,与水平切变相关的涡度平流使质量环流加速,这时系统可能开始加强。然而,当飓风超越了极大风速轴,相反的作用发生并持续,限制了辐散场并使质量环流受到抑制。在此种情况下,飓风可能很快减弱。图2给出了一个今年9月16日至18日飓风Holly发展的这种例子。

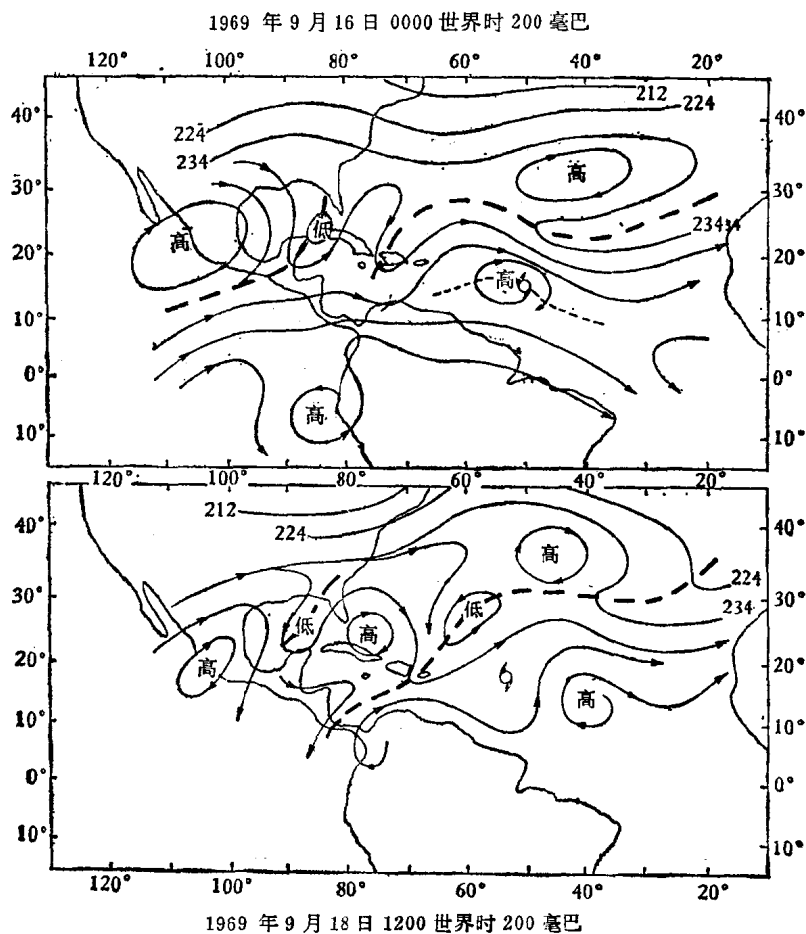


图2 对流层上层切变线对于飓风Holly发展的影响(当Holly开始趋近切变线时,迅速加强至飓风强度,此时,切变线给气旋的流出提供了一个反气旋切变的环流,尔后,当气旋向西移至某一点,切变线为流出提供一个气旋性环流时,气旋迅速失去其强度)

发展的条件

迄今还没有人举出热带气旋发展环流背景的充分条件。帕尔门(Palmen)、里尔(Riehl)、达恩(Dunn)、杰·辛普森(J. Simpson)、罗·辛普森(R. Simpson)以及其它一些人曾注意流出层或流入层的特性、海温、海洋一大气热通量以及初生涡旋的活动等适用于

个别情况的各种“必要”条件。从试用这些研究成果的经验出发，国家飓风中心在可能有热带气旋发展时，查寻是否具备以下条件：

a. 在一个已有的低压中心附近至少半径为 400 英里的范围内，从地面直到对流层中部具有深厚的潮湿东风气流；

b. 在同一地区海面水温一般高于摄氏 27 度；

c. 在对流层低层有一个反气旋或高压脊存在，成为使空气朝低中心的一个大于 90 度的扇形区输入的机制，在此扇形区内气旋性相对涡度向外伸展至少 300 英里；

d. 在对流层上层，有一个不大的暖性反气旋，与周围的高速斜压环流相连使空气流入较冷的环境中；

e. 在低压中心周围半径为 400 英里的范围内，对流层低层平均风和高层平均风的切变不大于 15 哩/小时；

f. 在中心四周半径为 400 英里的范围内，500 及 200 毫巴的温度为正距平。

显然，这些并非飓风发展的充分条件。因此，我们只好相信，使飓风发展条件完备的那些特点包含于：(1) 天气尺度和对流尺度运动的相互作用，或 (2) 初始天气尺度或半天气尺度环流的某些非对称性，或 (3) 独特的 S_2 波（太阳-月亮潮汐）的重合，或三者的结合。

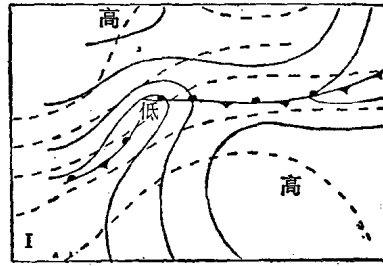
斜压运动场中热带气旋的发生

近年来，飓风预报员不得不承认斜压运动场使许多初生的热带气旋有可能发展到完全的飓风强度。在过去廿年中，在大西洋上每五个热带气旋就有一个，其起始的系统产生在斜压环流场中，在温带发展并度过其生命史。在这些例子中，发展的初始特点在于气压的下降，或者在于由斜压能量释放所产生和维持的涡度场。在某些例子中，系统持续强风，尔后，当其环境逐渐更具有斜压特性时，其发展则取决于潜热能源。这种发展有时就是指一些作者，包括本文作者及 J. 辛普森和拉梅奇 (Ramage) 等曾讨论过的副热带气旋的发展。

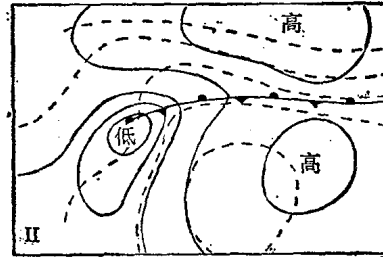
这对预报员来说是一个重要而有兴趣的问题，因为它常使他们感到一个潜在的飓风发展的危险，即出现一个事先未加预报而即将威胁美国海岸某些地区的飓风。这类例子有 1967 年的 Doria、1963 年的 Dora 和 1969 年的 Eve 等几个飓风。其环流演变概要地示于图 3。可以这么说，现时对飓风发展的实时预告，与其用预报工具，不如用基于诊断工具的逐次近似的方法。

移 动

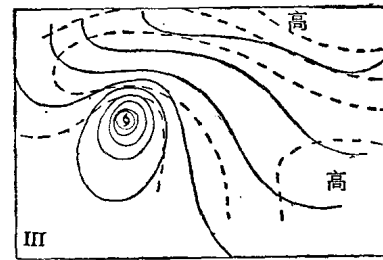
飓风预报中最关键的问题就是预报飓风路径方位角的变化。虽然有少数个例，像转向以后急速移近新英格兰或长岛海岸的飓风，其抵达时间的预报很困难，但是可以说，决定预报成败的，还是移行方向。通常，风暴移近海岸的速度是每小时 15 哩，如方向与海岸成正交，而方向误差为 10 度，那么，24 小时预报登陆地点的误差可达 75 哩。如果飓风以与海岸成 30 度的角度移近海岸，那么，误差可达 120 哩。一个强飓风可能在其中中心右侧



在副热带纬度形成了一个锋面波动. 低层有暖湿空气从热带进入系统, 而在其北有一个移动性的高压东移



当斜压性减弱时, 形成的波动消失, 气压下降主要是由于潜热的释放. 与这种释放相关联的是低压系统北面 500 毫巴面的升高



斜压环境已经减弱至近于正压的状态, 当一个具有热带气旋性质的圆形风暴出现时, 由于潜热引起的气压下降持续

图 3 从初始斜压环境中演变成的一个热带气旋(实线是地面等压线, 虚线是 500 毫巴高度)

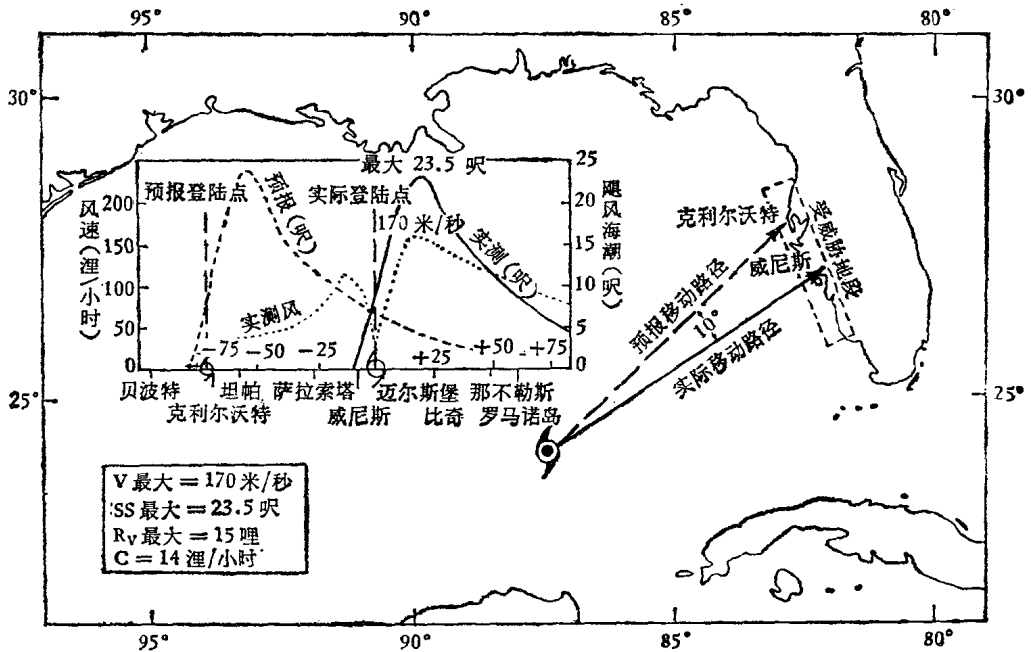


图 4 预报飓风路径 10 度误差的后果(如果已经明确的预报了登陆地点, 那么根据风和飓风潮水发布的警报对于沿海居民将造成严重后果. 在一种情况下, 保护性措施和撤退是不必要的, 而在将要遭到灾祸和需要警报又需要撤退的邻近海岸地区的居民, 还不了解他们所面临危险的全部严重程度)

海岸一定范围内带来 180 公里/小时的大风和 22 呎的海潮。以这样一个风暴移近墨西哥湾的坦帕 (Tampa) 湾地区为例 (图 4)。如果预报飓风中心在克利尔沃特 (Clearwater) 附近海岸登陆, 在萨腊索塔 (Sarasota) 以南, 较大的坦帕湾地区的人需要撤至内陆的高地, 所有建筑物应采取最安全的措施。假如预报方向误差 10 度, 而中心偏于南面登陆, 那么, 在坦帕湾地区的最大平均风速将达不到飓风的程度, 潮水也将低于正常值。倘若预报与实际登陆位置相反, 那么可能无法及时完成足够的准备措施。从图 5 可以看出, 今年对飓风 Camille 的逐次预报与实况相比都有一定的偏差, 这种偏差就目前预报水平来说是允许的, 但从服务上看是交待不过去的。

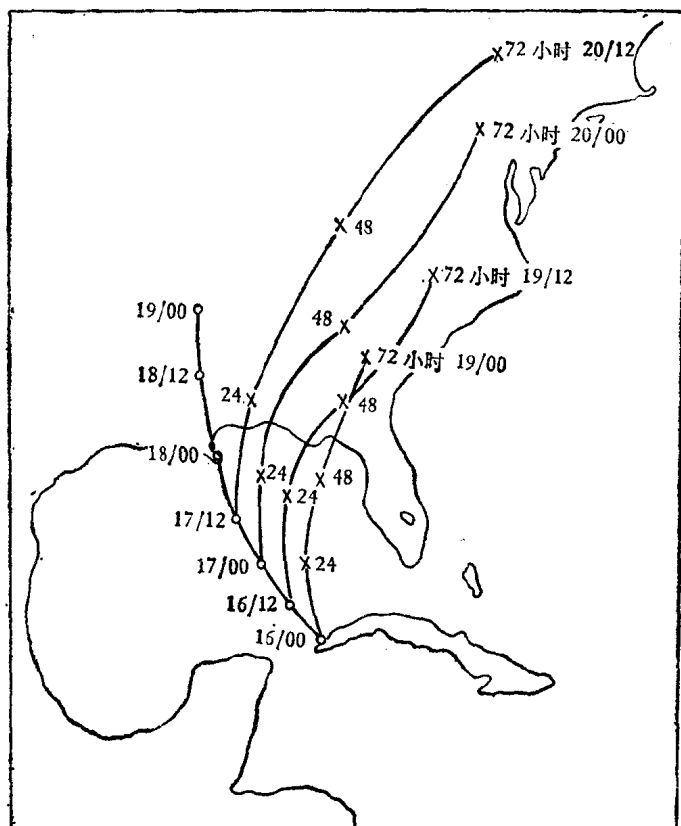


图 5 飓风 Camille 移动预报的评定 (沿空心圈的路线是飓风 Camille 的实际路径; 偏于这条路径右面的各条路径是国家飓风中心业务客观预报方法在不同时间所预报的 24, 48, 72 小时的预报路径)

引导机制

引起飓风中心移动的气压变化机制, 如同发展问题一样, 迷惑而微妙。至今还没有一个预报飓风及其周围环流的物理数值模式能成功地预报飓风的运动和发展而成为实际业务预报中一个有用的方法。然而, 移动和发展是如此的密切相关, 试图在一个纯物理预报中, 只考虑其中之一, 而不考虑另一方面, 那就会在发生最为重要的变化的时刻给预报准确率带来严重的局限。

由于认识上的局限, 部分由于计算上的限制, 所有用于业务的数值模式不得不把移动

和发展作为分别的模式问题来考虑。

到目前,大多数预报移动的模式最多输入两层资料,而多数不是把飓风涡旋平滑掉,就是忽略飓风涡旋与其周围环境的相互作用。

自从预报员从对流层上层找出了这个幻魔般的引导层,从而给出了一个瞬时和短时移行方向最好的指示以来,我们已走过一段很长的路程。里尔-哈格德 (Riehl-Haggard) 方法计算 500 毫巴上作用于涡旋的力,给出了一个比较能言之成理的统计筛选方法,这最终发展成了班纳-米勒 (Banner-Miller) 的方法,即大家知道的 NHC-67。米勒 (Miller)、希尔 (Hill) 和蔡斯 (Chase) 的方法是当前美国国家飓风中心用以预报飓风移动的主要客观工具。它凭大范围的梯度场和瞬时趋势场预报 12 小时直至 72 小时的位移,而不用预报图。其缺点,首先是对分析误差有很大的敏感性;其次,它包含了如此大量的预报因子,使预报员难以说出其误差可能的根源。

最近由雷纳 (Renard) 提出的方法,是在半球环流中消除涡旋分量和扰动分量,以所余的大尺度环流来推算涡旋点的移动。对 1000, 700, 500 和 300 毫巴分别加以计算,预报员自己设法选择引导层。除了这一主观性外,这个被称为 HATRACK 的方法,还有赖于用前 12 小时飓风移动预报和实况的差所作的向量订正。

桑德斯-伯比 (Sanders-Burpee) 的正压预报模式,如他们在最近一篇文章中所描述的,从概念上向动力学预报方向迈出了一大步。主要因为他们把深厚对流层中加权平均的风作为一个简单正压预报模式的基本因素。不论从经验中另外还知道些什么,反正一个深厚大气层的平均气流对飓风涡旋的移动是有影响的,其中任一层的变化都对涡旋位移的变化起作用。这个方法的缺点,依我看,首先对弱的或中等强度的风暴给于高层次的动量的权重太大;其次,是对初始的分析极度敏感,而在边界问题上发生困难。国家飓风中心正在用班纳-米勒的方法发展一个模式,这个模式把平均气流的厚度变为一个中心气压的函数。

业务上的决定

除了国家气象中心的 500 毫巴预报图外,预报员通常可以得到实时的 NHC-67 计算值、桑德斯-伯比和 HATRACK 方法所作的预报以作指导。当外推和气候方法给出了合理的解答时,以上那些方法的预报通常是很一致的和准确的。但当处于几种可能之间而需要作出抉择,而且环流距平很大的时候,这些计算常常得出十分矛盾的结论,并且很可能产生十分严重的误差。图 6 的例子可以多少表示出预报员在这种计算“指导”下的处境。

当这种情况发生时,预报员就需要大大依靠诊断工具以及主观个人经验。国家中心正以极大的注意与努力致力于发展诊断工具,以便在预报工具遇到易于产生误差的情况时,减少作出预报的主观性。

诊断工具

图 7 示出了国家飓风中心当前所用的主要诊断工具,这包括一张深厚气层 1000—400

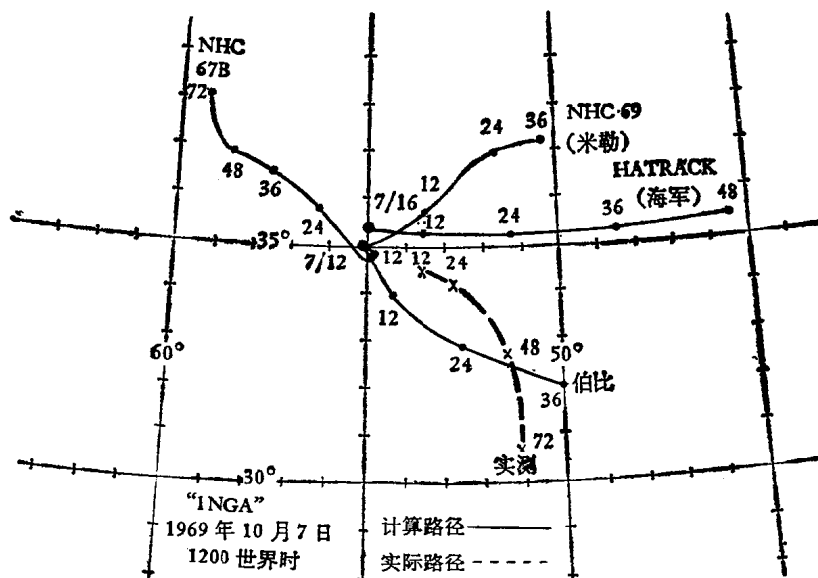
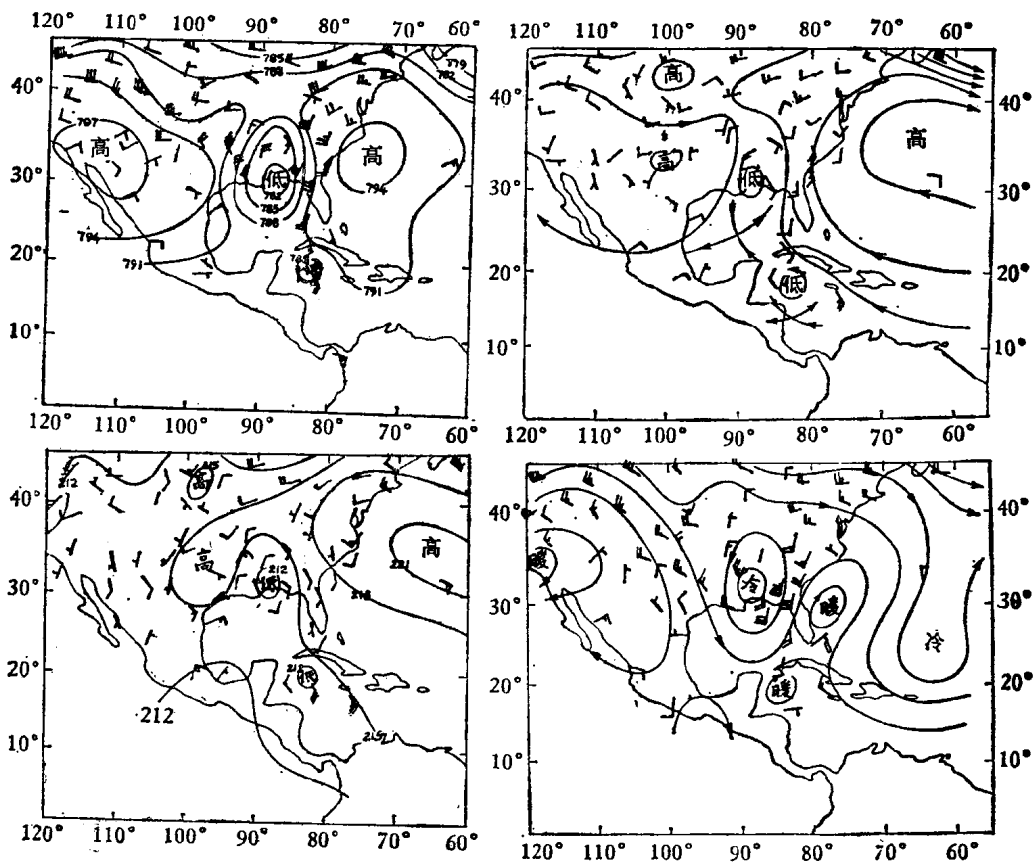


图 6 1969 年 10 月 7 日用不同的客观方法预报飓风 INGA 移动的结果 (所有计算都是用 1200 世界时的资料。这是预报员在试用两种或两种以上客观预报方法时,对飓风移动可能得出的不同推断的极端例子)



左上图为对流层高层平均环流 600—200 毫巴层 1969 年 8 月 15 日
左下图为对流层低层平均环流 1000—600 毫巴层 1969 年 8 月 15 日
右上图为瞬时引导气流初生气旋 1000—400 毫巴
右下图为对流层平均温度(切变) 600—200 毫巴层减 1000—600 毫巴层 1969 年 8 月 15 日

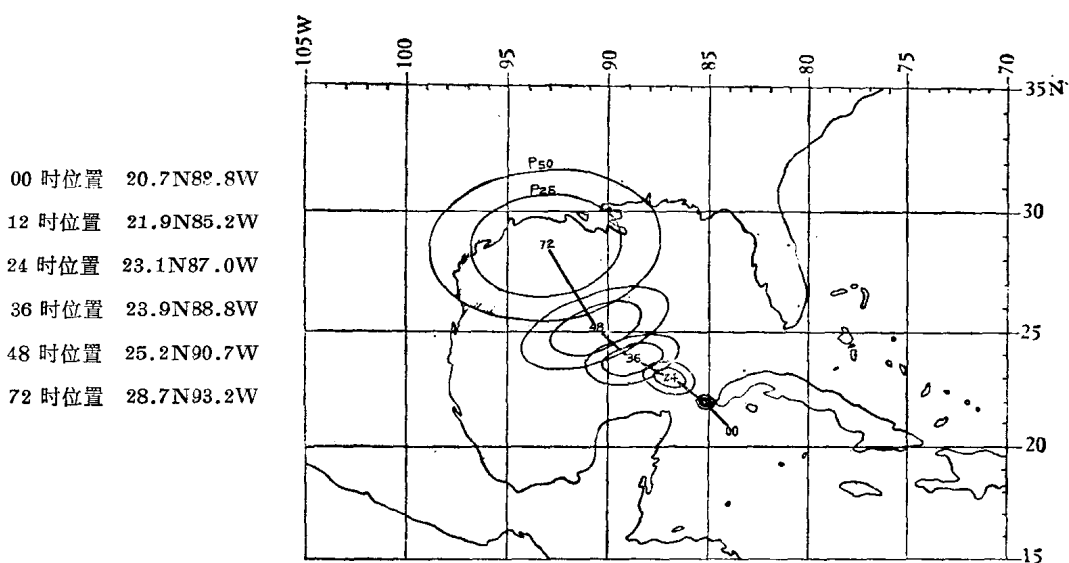
图 7 国家飓风中心所作的诊断分析,用以判定涡旋的路径,并预报热带气旋的瞬时移动和可能的发展

毫巴(在更为强的气旋时,扩展至 1000—200 毫巴)的平均图,用以估计瞬时的引导作用,伴随当时飓风移动一起出现的位势力,以及可能引起引导作用改变的瞬时趋势。

具有同等权重的两层,1000—600 毫巴和 600—200 毫巴,分别在流入层和流出层上用以考察飓风周围变化着的涡度分布型式。这给质量环流和热机的效力提供了一个指标。

以高层的平均风减去低层的平均风来了解一下平均的垂直风速切变和对流层平均温度场。从这些图所取得的经验表明,在飓风周围(半径为 400 哩)风速切变超过 15 哩/小时时不会有飓风发展。

最后,一个新的统计相似(图 8),被称为 NHG-HURRAN,霍普和纽曼(Hope, Neumann)方法,正被用来确定飓风最可能的路径。只要说明这一点就够了,这个方法在今年的试用中,给出了令人难忘的结果,明年它将成为沿海发布飓风预报时作出客观决定的基础。



飓风 Camille 的气候机率椭圆

佛罗里达迈阿密国家飓风中心开始时间 1969 年 8 月 15 日 1200 世界时

图 8 国家飓风中心所用的 HURRAN 方法,用以确定最可能的飓风路径(本例是一个预报飓风 Camille 未来 72 小时移动的方案,沿路径环绕每个点的椭圆族表示在飓风最可能位置周围 25% 和 50% 的机率区)

国家气象中心 500 毫巴原始方程预报模式对推断飓风的移动仍然是一个很可信的工具,特别是对北纬 30 度以北地区的转向运动。然而,在 30 度以南,所做的预报有 70% 在这些地区,预报结果却常常不那么有用。这主要有两个原因:第一,误差场在低纬度是不保守的;第二,预报出的趋势易于使环流指数偏低,从而夸大了飓风移动的经向分量。尽管如此,倘若对于中心移动的前 24 至 36 小时预报已经报得较好的话,则对于 48—72 小时的移动,一般地说,它仍是最好的办法。

总结与评论

飓风引起的潮水(最为致命的威胁)的预报,用一个固定于飓风系统的移行平面座标

来处理,是预报员的任务中困难最小的一个。然而,飓风前准备的有效性,却完全依赖于飓风登陆预报的准确与否。这是一个最为重要和困难的任务,但也是最容易出错的问题。

现时飓风动力学的知识以及在实际业务中观测和描述飓风的有限能力,使应用和发展物理数值模式来预报飓风的加强和移动受到了限制。已有的用来单独预报移动或加强的预报技术,在需要作出断然决定的时刻常常易于发生错误。因而,预报员现时在需要对他的最重要的预报作出决定的时候,还必须大量依靠诊断工具。

发展一个更为成熟的预报模式将要求相当多的新的投资,当其完成之后提高使用时还需要更多的费用,这不仅是由于计算的经费,而且也由于要对飓风及其环境进行更完善的监视(可能是空中的)和描述作为预报计算起点的缘故。

(骆继宾译自 Paper Presented at the AMS Technical Conference, 1969 年 12 月,
张驯良校)

飓风和热带气象学的评论*

M. 加斯頓

(弗吉尼亚大学环境科学系)

一、引言

1947年洛杉矶加利福尼亚大学地球物理研究所为了想估价热带气象学当时的水平,曾经发了大量的调查信给那些在第二次世界大战中曾从事太平洋地区观测和研究的气象工作者们。所有的回答可按答复者所用的方法明显的分为三类。帕尔默(Palmer, 1951, 1952)把这些现在已成为经典的区分归纳为气候学法、气团法和扰动法。他指出,虽然每个学派对热带气象学都作出了公认的贡献,然而每个学派中都有一些人把某些想象和热带缺乏资料这一情况混杂在一起,这就很容易使他们的成就湮没于过分的概括和误解之中。目前热带气象学还没有完全从这样一些束缚中解脱出来,而且也不是没有这类谬误。

这三个学派为我们展望未来廿年的热带气象学的发展给出了一个轮廓。拉塞尔(Laseur, 1959)以此为基础评述了非洲的热带气象学,但他强调了另一个重要的问题:不同尺度间的相互作用。马尔库斯(Malkus, 1962)在所谓气象卫星时代前的热带气象学著作中,就曾经强调了热带大气环流中不同尺度的相互作用问题。或许,在过去十年里盛行于气象学中的这个原则,首先是由马尔库斯在他的论著中清楚阐明了的,热带海洋已经密不可分的和大气联系在一起了,因而“要研究行星环流的能量,就很自然的要从热带海洋表面的交换开始……”(马尔库斯, 1962)。这种能量一定是首先输送到云底,这些中尺度或大气尺度系统的云最终把能量带到了相当的高层,使其成为大气环流动力的“燃料”。

与此同时,大气环流的模拟者们一步步的从计算的束缚中解放出来,转向大尺度海空相互作用问题,并且对能量的源和汇给予了明确的考虑。这两个问题把模式创作者和理论家们的兴趣引向了热带,并且迫使他们去考虑不同尺度间的相互作用,包括海面的湍流运动直到行星尺度的过程。由于物理过程的复杂性,加上实际问题处理上的考虑,因而试图用较大尺度来表现小尺度运动相互作用的结果就成为必要。根据这一要求,注意力便从单体对流云与云底间的联系转向了对流云组合与地面以及较大尺度运动间的关系问题上。参数化已经成为这个专业习用,甚至滥用了的字眼。

以上的考虑必须首先加上轨道气象卫星,然后是同步卫星出现这一因素。气象工作者在历史上第一次看到广大热带和大陆上云场的综合(空间上和时间上)全景。甚至在技术上提高和改进之前,在早期卫星图片上就已经清楚地看出,热带对流的相当大的部分是属于次天气尺度的(最大范围<500公里,持续时间<两天)。卫星观测使人们对“云团”

* 本篇译文略有删节——译者注

引起了注意,然而这决不是忽视了天气尺度系统的重要性。当然,也不是所有的明显的天气尺度系统都与风场中相对稳定的扰动紧密的联系在一起的。齐甫基 (Zipser, 1970) 在进行了深入的探究之后,提出了一个重要的问题:是否“对流通通过其中尺度的组织能对某些热带扰动的结构产生如此决定性的影响,以至于不从扰动与较小尺度的相互作用的方面来讨论扰动,那就没有什么意义了”。如果把这个问题从逻辑上加以推论,就必然会问:如果不明确考虑热带天气尺度的过程,大尺度行星运动能否得到正确的了解?许多热带气象学家认为,起码以上两个问题至今仍然没有解决。

不同尺度的相互作用,大气环流模式和卫星气象学三者已经共同的迫使气象工作者对热带重新引起了注意。在 1960—1971 年,也就是本文所集中注意的时期,许多过去很少关心热带大气的研究者们被引到科学的这一分支上来了。特别是一些理论工作者,过去很少关注热带或次天气尺度过程的细节,现在把大量的精力用来了解热带天气。或许,在最后分析的时候,还要加大智力这一因素,这是十年来热带大气知识增长的一个最为重要的因素。

为了方便起见,可以把 1960—1971 年期间热带气象学的进展划分为不同的尺度来论述,然而必须承认,这种划分在论及不同尺度的相互作用时就会有些重叠。在以后的章节里一般避免直接引用参考资料,而是把它们按每一节的标题内容附于文后。

二、行星尺度的运动

上面已经强调过,“天气系统在空间和时间上的范围(谱)是很广的,而且运动的频数和能量既不是均匀分布,也不是在整个范围内毫无规律,而是易于发生在一个或另一个相对小的特征空间范围内,且此种特征空间范围又是与一定的特征时段密切关联着的”(拉塞尔,1959)。拉塞尔进一步指出,我们常常不能理解,为什么平均图上出现的平均型式,例如天气图或卫星云图上的特征,与中位的或众位的型式并不相同。气候学由于受到热带地区观测在空间和时间上的限制,易于描述那样一些尺度的运动,它们是观测资料的空间间隔所能表达的,而且是易于保持近乎稳定状态的。那种认为平均运动包含了一种可能的稳定状态,而此种状态满足原始运动方程的想法给热带气象学增加了误解。这决不是过去的“罪恶”,至今,气候学仍然常常被误解为“大气环流”。

过去十年来,对许多气象变量进行行星尺度范围的描述^[1]已大为改善。并不是所有这些改进都是由于气象卫星出现的缘故。仅从空中照相所得的太平洋大尺度云场,就能得出这样的结论:对于热带云和降雨的了解及其预报,在很大程度上取决于对对流层上层流型及其涡度变化和引起大尺度动力稳定度变化因子的认识。这一研究曾为与热带云场相应的大气结构和环流的微妙变化提供了证据。这种微妙的变化可能是由于人的活动引起的,也可能是由于地球以外的影响(日-月潮汐)所引起的,这一点已为人们所公认。一些主要的行星系统(如大洋中部的槽)可能起的作用还没有给予明确的讨论。但是有证据说明,这种槽是一种主要的大气系统,不仅在北大西洋和北太平洋,就是在南太平洋也是如此。以前认为,这种槽可能是由于北半球海陆分布所造成的,现在看来,这种看法应该修改。还不清楚的是,究竟这种槽在南大西洋热带地区是否也存在。这种大洋中部的槽及与其相应的、偏于赤道一侧的高层反气旋代表了重要的行星特征,而这种特征很

少被大气环流模拟者们注意到。

其它一些重大的观测研究涉及整个南北半球。这些研究表明,有强得惊人的角动量越过赤道输入夏半球。

热带大陆在过去十年中已经得到了长期以来所期望的注意。有两本论著全部或大部是关于亚洲和非洲的;还有一本是关于阿拉伯季风的专论。关于印度洋和南美大陆一些主要领域里的研究已经开始进行。一个最为重要的关于南美风的结构和巴西降水的研究已经完成。其它一些关于北非和西非的研究有的已经完成,有的正在进行。季风已经被剥去了气候学的外衣,这一外衣长期以来掩盖了混杂在大尺度海陆作用力之中的并与其交错在一起的物理过程。这些过程现在已被揭示出来,是一种从海洋影响、海空交换到低纬与高纬的联系等因素相互作用的综合。介于一些极端的情况,已经对个别云、云群、对流层气旋以及类似哈德利(Hadley)环流圈之间的相互作用提出了证据。在很大程度上来说,定量描述的工作仅仅搭起了一个架子。虽然对季风已经作了数值模拟的尝试,但是,似乎只有在系统的观测对已经暴露的难题开始进行细节的揭示以后,才会有成功的模式出现。第一个对于南美的综合研究已经取得了有趣的结果。多年来,热带气象学者对巴西东北部天气和气候的变迁得不到解释。试图用赤道辐合带、冷锋、信风暴发等来作解释,但很少得到成功。现在有人根据一些象煞有依的依据对此提出了一系列的异议。本文所引用的一些文章提出巴西东北部和亚马孙河流域的季节性降水可能与以下因素有关:(1)玻利维亚高层“季风趋势”的强度,这种趋势产生了一个反气旋和与之相联系的槽;(2)北半球亚洲季风的强度和(3)被认为存在于南大西洋的“沃尔克”(东西向)环流的强度。

气象工作者第一次从各个气象卫星上的照片集成了一个全球热带云盖的图象。在第一节中引述了一系列主要的工作^[1]。在图片的整理和拼镶程序改进和自动化后,图片的作用已经得到发挥,当这种改进的方法能以普遍实行时,云图照片的作用还将进一步增长,但是,只有在对用以进行对比的观测资料得到最大限度的利用以后,云图照片才能发挥其全部潜力。这种要求在云图分辨率提高以后,可能会逐步降低,但是除非经过精心研究在卫星观测和气象变量之间建立起能以说明问题的关系,这种要求是不会完全没有的。由于对卫星所能看到的和实际上正在发生的事实缺乏完备的知识,因此就出现了一系列有争议的问题。例如在参考资料中对于大洋中部的槽在引起热带气旋作用上就有不同的看法,更大的分歧还集中在对大西洋和太平洋东端卫星所示云区的看法上。有证据说明在云量最大区向极地一侧生成的热带气旋(涡)有相当大的百分比是由风场的水平风向切变所引起的。这说明热带气旋既不是在云量最大区中生成,也不是沿云量最大区移行。持续的东西向云带,据认为较多的是发生在切变线向赤道一侧的西风气流中。云区内的主要变化就是云的就地生消。一个行星尺度云图照片的三个组成部分是:

- (1) 在低层东西风气旋性切变的赤道低压槽向极地一侧形成的热带气旋。
- (2) 在切变线向赤道一侧西风气流中存在的持续性的云区。
- (3) 在(1)和(2)之间的低压槽。

最后,从大尺度的卫星云场还可以看出,某些时间和某些地区会有两条东西向云带。在一段时间内,一条云带在生长而另一条在衰减。如果这种云带就是所认为的赤道辐合带的话,那么此种过程的时间尺度可达几个星期,赤道辐合带并不移动,只是就地生消。照此情况来看,从任何简单的意义上来说,赤道辐合带都是由于摩擦而形成的经向辐合所