

国外台风研究的现状和进展

最近10年来，国外对台风的研究取得了一定的进展，台风预报的实际业务也有了一些改善。虽然台风和热带气象学在探测和理论分析上的进展，目前还没有能够显著地提高预报准确率，但从长远来看，将会逐步促进台风预报业务水平的提高。根据毛主席“洋为中用”的教导，我们编译这个材料，供台风研究和预报工作中参考。

一、卫星观测台风的结果和应用

1960年以后，气象卫星在发现和监视台风中起着愈来愈重要的作用。尤其是1966年业务卫星和地球同步卫星出现以后，发生在全世界热带海洋上任何地点的热带风暴没有一个漏掉。

根据气象卫星观测，对热带风暴发生的源地有了新的认识。例如在大西洋上，以前认为风暴的源地在大洋中部，而现在由卫星确定每年约有三分之二的风暴都是起源于非洲大陆。这些从非洲移出的扰动，一般表现为倒V型或涡旋状云型。它们沿东风气流西移，到大洋西部或加勒比海地区时往往发展成飓风。有些甚至可以进入东太平洋，发展成飓风。在太平洋和南海地区台风扰动的源地也比原来偏东得多。对于风暴发生频数，现在也有了纠正，过去认为东太平洋地区每年风暴发生数很少，但现在卫星观测证明，这一地区风暴发生数不少，平均每年有15—16个。比大西洋上还要多5个，占世界第二。对于风暴生成的方式，60年代以前，大多数人认为台风是东风波发展起来的，但目前这个观点由于事实的增多在发生着变化。例如1951—1959年，在北大西洋每年发展的热带风暴和飓风中，其初期扰动有一半以上被认为是由东风波发展起来的；1960—1964年总结中，在43个风暴或飓风中只有6个（占14%）被认为是由东风波发展起来的；1965—1969年的风暴根据卫星观测和较多的高空观测资料证明，没有一个是与东风波相联系的；即使用更一般的热带波来代替东风波进行统计，从1967—1969年28个风暴中也仅有4个是由热带波发展起来的。这表明台风主要是由东风波发展起来的观点已与事实愈来愈不相符。在太平洋上情况更明显，这里发展的台风主要是赤道辐合区中涡旋造成，而与东风波关系不大。

对于风暴发生与赤道辐合区的关系，利用卫星云图进行广泛研究后发现，大多数热带风暴既不是形成在云量最稠密地区，也不是沿该区移动，而是发生在无风带辐合区（西南季风与偏东风汇合区）北侧偏东气流中，在辐合线以北2—4个纬度水平气旋性切变最大值所在处发生最多。而持续的东西向云带主要位于辐合区南侧西南气流中。赤道辐合区正好位于云区与热带扰动发生区之间。除了热带辐合区以外，卫星还经常观测到在北纬20—25度地区还有一条辐合对流云带，每年有15%的风暴就发生在这里。

卫星观测还揭示出热带存在着一种称做中性气旋或混血种风暴的热带气旋（这是新发现

的一种系统，将在第三节中提到)。在过去20年中大西洋上每五个热带气旋中就有一个由中性气旋发生。近几年资料表明，这个比例还在增加，在1971年就有50%低压、40%风暴都是由这种中性气旋发展而成。另外在热带还经常观测到以前由于测站网不密而观测不到的中小尺度热带气旋，他们具备风暴应有的完整结构。因而用卫星可以观测小到十几公里大到上千公里各种尺度的热带风暴。

卫星云图还用来分析台风发生发展的低空环流情况。例如根据同步卫星测得的云运动算出的低空风速场，人们发现北半球的风暴发生与南半球大尺度跨赤道气流的推动有关。另外，分析风暴高空辐散卷云的变化有时可以揭示出风暴发生发展的某些特征。

在台风的分析预报中，根据卫星云图上台风云型的特征可以确定台风中心位置，这种方法已成为没有直接台风探测地区定位的主要方法。即使在有专门探测台风飞机的地区，由卫星照片上显示出的扰动位置对于飞机侦察也是很好的指导。现在根据云图多年应用经验已总结出一套台风发展模式。根据这套模式可以估计出台风中心最大风速。并且还可以根据每个阶段卫星照片上出现的云系结构和组织程度、眼区位置、密蔽云区大小来判断那些是发展的台风，那些是趋于消亡的台风。这种方法在不少国家热带风暴预报中得到应用，并且取得了明显效果。^{*}另外根据卫星云图上云型分布还可确定台风天气区分布情况（降水、大风区），如果结合雷达资料一起使用，效果将更好。所有这些，使得有关台风发展、路径及强度的预报时效大为提前，并且更加可靠。

地球同步卫星在台风研究和业务预报中的作用就更加明显。位于太平洋中部和大西洋上空的两个地球同步卫星每隔20分钟左右拍摄一张照片，可以连续地监视风暴发生发展和移动。另外由地球同步卫星拍摄的电影可以生动地再现热带风暴发展的实际情况，这无论对实际业务预报和研究都具有价值。

二、台风发生发展的理论

根据气象卫星的观测，在热带洋面上，每年夏季有几百个热带扰动发生，但后来发展成台风的只占其中一小部份。据统计，十个热带低压中只有一个可以发展成台风。形成台风之后，发展的情况也很不相同，有一些台风初生以后强烈发展，很快达到台风强度；有一些台风在热带洋面上强度少变；也有一些台风在热带洋面几次经历减弱又重新加强起来。所有这些，都涉及到台风发生发展问题。

很久以来，对于台风发生发展问题进行了不少研究。得到了一些关于台风发生发展的条件和物理判据，提出了一些理论模式。但是至今对这个问题并没有很好的解决，有些看法也不太一致。里尔把台风形成过程看作是信风中扰动或东风波逐渐加强的过程。这种向西移动的波动当遇到有利的对流层上部环境时，就可以发展成台风。他第一次指出扰动加强需要上下对流层流型迭加。以后，柳井、裴特等人基本上同意里尔的观点。里尔的观点是根据加勒比海的个例分析得到的。但是有些人在研究了太平洋上台风的发展后，提出了不大相同的观

^{*} 美国大气海洋局，环境卫星局每天通过一般电线路向各国发送用卫星资料分析的热带风暴的结果。包括风暴位置，发展阶段中心最大风速与赤道辐合区关系，云系特征等项，地区有大西洋、太平洋（东、西两部）、印度洋等海区。一天一次。

点。如萨德勒观测到风暴的加强可由地面赤道槽中的涡旋发展而成，或者由对流层上部高空槽向下加强伸展所致。拉梅奇则强调海洋中部对流层上部高空槽的能量辐散作用，它可在初生扰动上空产生高空辐散促使扰动发展起来。加毕兹认为东风波对西南太平洋热带风暴的发展所起的作用并不大。由上所述，在不同地区对台风发生发展条件和过程的想法是不完全相同的，其中差别最大的是台风发生发展时的天气形势。所以会造成看法上的分歧，是因为上述不少看法都是在 50 年代中期以前提出的，当时由于观测资料不足对风暴发展的物理过程并没有很深入的认识。不少所谓一般性结论只是从某些地区的个例分析得到的，其中不少缺乏代表性。

关于台风发生发展的条件，现有的研究成果只找到它发生发展的必要条件，并没有找到充分条件。目前主要是根据一些必要条件，针对台风的具体情况来判断台风是否会发生或加强。早在 20 多年前，帕尔门就已指出台风形成需要有三个基本条件：（1）要有足够广阔的洋面，海水温度要很高（ $>26^{\circ}\text{C}$ 或 27°C ）；（2）台风只能形成在离赤道 5—8 度以外的地区；（3）基本气流的风速垂直切变要小。后来帕尔门和里尔除开上面三个条件外还强调了另外两个条件，即原先要有一个低空扰动和在地面扰动上空有辐散场或有向四周流走的气流。对于存在有一个热带扰动的条件根据观测（尤其是卫星观测）得到了证实。对于高空辐散场的条件，最近格雷提出了不同看法。他认为高空辐散是由于行星边界层内摩擦产生的低空辐合的结果，并特别强调了风速垂直切变要小这个条件对台风发生发展的重要作用。他指出一旦低空产生辐合，决定扰动以后是否增强的主要因子将不是它是否处于上部对流层辐散条件之下，而是看在扰动区上空产生的热量是否能够集中，而不被较强的风速垂直切变所带走。如果一旦对流层产生加热，则在对流层上部可自动产生辐散，无需专门规定一个高空辐散机制。

最近辛普森在考虑一个热带风暴是否会加强时提出了七个条件。主要包括三个方面的条件：第一，是在低空要有大量湿空气从外面流入到低压中或从海面输入大气的热通量要强；第二、要考虑“流入层”和“流出层”的风场条件；第三、要考虑低压周围大尺度变流场上涡度变化的情况，例如在大西洋上，当热带风暴移近 200 毫巴上半永久性切变线西南风急流轴以南时，由于高空反气旋流场得到激发，而使风暴发展。当到达急流轴下方或以北时，风暴高空辐散场受到抑制而减弱。在上面说明的一些台风发生发展的必要条件中，至少有四个，大家的看法是一致的。这些条件是低空原先要有一个扰动存在；暖的洋面；生成位置在离赤道 5 度以外；这个对流层风速垂直切变要小。这些条件就构成了台风发生发展的最基本的前提。

关于台风发生发展理论的研究最近 10 多年也取得了一定成果，但大多数理论模式是关于东风波扰动发展成台风的情况。1954 年里尔提出了东风波发展成台风的物理模式。他把台风比做一部热机，热源是水汽及凝结时释放出的潜热。冷却机制是高空的西风急流，它不断地把剩余热量带走。启动机制是高空的反气旋，当它迭加在低空扰动上时，就可启动这部热机运转起来，从而使台风发展。里尔的模式比起以前的各种假说（对流假说，锋面假说等）是一个进步。用这个模型不但说明了台风只发生在一定地区、一定季节，而且也说明了台风垂直环流与水平环流的产生与维持机制。但是里尔的理论模型并不能说明台风暖心的形成和维持问题。而台风暖心结构的形成是台风发生发展的关键。1961 年柳井重点解决了这个问题，他根据对 1958 年西太平洋道丽斯台风的分析，提出了一个台风形成理论。他把台风的发展分成三

个阶段：1.波动阶段，在这个阶段扰动是冷心的，波动消耗的动能由基本气流供给；2.增暖阶段，在这个阶段由于积云释放出的凝结潜热对台风系统的作用，在整个台风中出现增暖，依靠“热塔”效应，增暖先在300—400毫巴层中开始，并且是缓慢的，以后向下扩展；3.发展阶段，在这个阶段暖心完全形成，从而加速环流，形成台风。柳井的这个理论模型对于台风暖心的形成作了说明，由于抓住了问题的实质，所得到的结果与实际情况较为一致。后来在1962年的飓风阿尔马和1964年飓风希尔达的形成过程分析中都观测到这种增暖过程。

查尼和伊莱亚森提出了第二类条件不稳定机制来说明热带低压的发展。他们强调了低层（摩擦层中）的摩擦辐合作用和积云对流尺度的运动与大尺度运动之间的相互作用。根据他们的理论，整个热带低压的发展过程如下：在热带扰动中，积雨云单体区通过凝结潜热使大气略有增暖，这种加热使地面气压略有降低，从而增强低空气旋性环流，由于边界层内摩擦作用使风有向中心的分量，并增强低层辐合，辐合引起更多的积雨云，释放更多的潜热，从而使地面气压继续下降，如此循环下去，直到发展成台风。

根据上面的观点，热带对流和能量释放不是随机的，是受中尺度、天气尺度运动制约的。而初生的风暴实际上是一种在有组织的积云对流中释放的热量推动的强迫环流，而不是由不平衡浮力造成的自由环流。从柳井、查尼与伊莱亚森的理论，有两个明显的共同点，一是他们都把从冷中心向暖中心的转变作为重点分析；二是他们都认识到扰动中积云尺度的运动与天气尺度运动相互作用的重要性。并且都是把由积云造成的凝结加热统计效应用参数化方法进行处理。后来格雷根据查尼和伊莱亚森的思想，在综合分析了热带扰动和风暴发生或加强条件的基础上，进一步讨论了第二类条件不稳定在风暴发展中的作用，并且给出了一个发生或加强过程的理想化的物理图象。

三、台风结构和天气

台风三维空间结构的主要特点，是它的风场存在着流入层和流出层，两层之间为大规模的积云对流，其厚度可伸达对流层顶（12—16公里）。流入层主要在3公里以下的对流层下部，尤其在1公里以下的行星边界层，环流有明显的向心分量。3公里到7公里为中层，这一层环流主要是切向风，径向的成份很小，而垂直对流旺盛。从7公里以上到台风顶部的对流层为流出层所在，气流主要向外辐散。一个发展的台风要求流入层有较大的辐合。最近一些研究表明，风暴发展的先决条件之一，便是行星边界层中大尺度的埃克曼偏转，这种摩擦的辐合偏转效应将引起正涡度集中和最初对流的发生。也是风暴获得第二类条件不稳定的前提。在发展的台风中，流入层辐合可引起强大的积云对流，对流最强的地区出现在靠近中心周围的眼壁区，它将释放大量潜热、增暖台风的对流层上部空气，形成台风的暖心。为达到质量和能量平衡，在对流层上部将出现反气旋性的辐散结构，即流出层所在。流出气流将质量和剩余能量向外部输送，构成台风外围和眼内的下沉气流。成熟台风在对流层上部的这种通风作用将保证低层辐合和积云对流的强烈发展。

风场的低空水平结构也可分为三部分。从台风外围向内到最大风速区外缘称为外圈，在这个区域内风速向里增强。这个区域的大小不同，台风可以有很大差别。其风速分布在各个象限一般是不对称的。据观测，在台风范围内，有时还包含有一些反气旋和气旋的小涡，这些涡旋所引起的角动量输送还可以影响台风环流。中圈便是最大风速区，围绕眼区分布着一

条最大风速带，平均宽度为 5—10 哩，眼的云墙区也在这个带上，台风中最强烈的对流、最严重的降水和最大的水平风速都重合在这个带上，因此是台风破坏力的集中所在。从很多个例分析证明，最大风速的分布在各象限是不对称的，并经常集中于台风前进方向的右前方。最大风速随高度有变化，据观测，从海面到 6 公里左右垂直切变较小，但从陆面到 1 公里风速随高度急增，这认为是摩擦随高度迅速减小的结果，因此海面风速随高度变化将小得多。内圈是指眼区，眼的大小由眼壁云墙的直径决定，最小的小于 10 哩，最大的达 40 哩。风速向中心非常迅速的减小。

台风暖心中心是它温度结构最重要的特点，暖心中心是积云对流释放的潜热使对流层上部出现增暖的结果。这种潜热增暖是很强的，在 1958 年的飓风克兰奥的上层，观测到有 10°C — 11°C 的正距平。增暖主要发生在眼区四周的云墙和螺旋状云带上，那里积云对流强烈。最大的水平温度梯度一般出现在对流层中层云墙内外两侧的地区，其温度梯度比冬季中纬度地区强斜压区还要大。眼区内特别在低空，水平温度梯度很小，低空云墙外有温度的负距平。

暖心结构是台风维持和发展的重要因素，台风移到西风急流的南缘，由于高空辐合吸入了冷空气，或当台风移入冷海面或陆地，断绝了热源，都将导致暖心破坏而使台风衰减。

台风的风场结构和温度结构之间有密切的关系，从根本上说，台风风场环流的维持和发展，能量取自于海面暖湿空气所释放的潜热，因此可以看成是暖心的直接环流系统，表现为暖心温度结构所建立的径向温度梯度和力管场所产生的垂直环流，它使热能转变为位能，再由位能转变为台风所要求的动能。暖心的结构按照热成风规则，使风随高度逐渐转变成反气旋成份，因而维持和发展了对流层的通风条件。从另一方面看，作为台风形成的先决条件之一，要求台风地区的流场环境要有小的风速垂直切变，其作用主要是保证增暖的高度集中。而暖心导致的积云对流使动量的垂直输送起了减小垂直切变的作用。

雷达和卫星对台风的总体进行侧视和俯视图的探测，这对台风云系结构有较完整的认识。台风的云结构，可以理解成是台风内部不同尺度运动相互作用的综合产物。因此分析云的结构事实，在一定程度上有助于对台风内部物理过程的推理和了解。

雷达和卫星探测都指出这样一个事实，即台风主要的对流云系都具有螺旋带状结构，台风中主要的对流活动集中在这些地区。平面的螺旋带状结构最显著的是在眼区周围，称为内辐合带，它的一部分在风场结构中和中圈相对应。外辐合带位于风场结构的外圈，其回波亮度相对要弱些。另外还经常出现飚线和雨盾等云结构。最近 10 年中雷达回波研究表明：不同云结构的亮度、形状和位置变化与台风强度、天气和移动存在着很有兴趣的统计关系。甚至可把回波特征进行参量化处理来作定量讨论。

螺旋云带结构在垂直方向发展的高度和台风强度有关，在眼壁四周高耸的积雨云塔经常可以伸过热带对流层顶。台风的外辐合带或更外围的云区一般不能达到这样的高度。从很多个例的回波研究表明，云盖面积的比例随高度迅速减少。所以在 10 公里以上以台风眼为中心的 200 哩内，云复盖面积通常小于 5 %。

卫星探测使人类第一次从外部空间俯视了台风，从而揭露出台风高层结构的事实。在发展台风的卫星云图上可以看到台风的高空云结构——卷云罩。这是对对流层上部流出层辐散流场所反应出来的云结构，卷云线向四周辐散。根据它的分布和变化以及同步卫星连续提供的卷云罩面积的变化可以推算出台风上部的环流和演变，以及高空辐射的强度，这对判断台风

的发展有一定的参考价值。

当卷云罩被高空急流破坏时，台风低空的云结构便暴露出来。低空云结构主要是积雨云云墙所围成的台风眼和积雨云的螺旋辐合带。强烈发展的台风，眼区和螺旋云带很清楚，一般可作为判别台风强度和天气的指标。但由于强台风其高空辐散也很强，卷云罩经常遮住了低层云结构而看不到眼，有时卷云罩被高空急流或台风内部强烈的对流所驱走而暴露出眼区，但由于高空通风条件破坏，台风反而趋于减弱。故单纯根据云图上是否看到眼结构来判别台风强度是不够的，应当和雷达等低空探测资料结合使用，才能作出比较正确的判断。

台风云系结构对台风天气有较好的指示性。个例分析表明，在台风右侧如存在一条自南向北伸展的积雨云带卷入台风旋涡时，则预示台风将要加强，降雨也很强。如右侧为东西向的积雨云带卷入，则台风不会明显加强，降雨较弱。有人认为南北向卷入的这条积雨云带是强台风能量输入的主要渠道，来自很低纬度的大量暖、湿空气就是在这条云带内向台风中心辐合的。1969年8月18—22日袭击美国东部的百年未遇的强飓风卡米尔就具备这种结构。飓风的右侧，在云图上以可看到有一条南北走向的积雨云带卷入旋涡，以后这个飓风在美国东部登陆后造成了罕见的特大暴雨。19—20日，在弗吉尼亚州5小时内降雨量达787.4毫米，造成很大破坏。分析表明，其它的强台风也具有这种南北向的卷入云带。另外，如果这条积雨云带自东向西卷入台风旋涡时，一般都没有什么发展，降雨量也不大。

卫星还探测到台风相对称结构的重要事实，1968年10月17日，由卫星、阿波罗7号、飞机、雷达对大西洋飓风格拉迪斯进行了综合探测。这时台风正处在发展阶段，发现在眼壁外左前方存在一块面积较大的圆形密蔽云区，直径达50—120公里，色调极亮。根据阿波罗7号雷达回波云顶高度在10公里以上，因而是一片深厚的对流区。这种中尺度积雨云称为环状抽气云，它以每4小时100度的角速度围绕中心旋转。这种云系的演变过程开始是由孤立的小块云区发展汇合而成。它的出现是风暴发展中最引人注目的特征之一，它表示风暴内小尺度对流与中尺度对流之间的关系，是台风结构非对称性的一个证明，也是台风高低空环流的一种基本联系。目前有人认为，这种云是台风能量的集中点，找出这个集中点，并使它降温，台风就可得到衰减，因此对人工影响台风的播撒技术有指导意义。

费特对1967年台风比莉进行飞机探测的分析。费特亲自乘飞机穿入这个台风。在眼区外测量到有70—80哩/时的风速，但他没有观测到明显的云墙。这个台风云的顶部很低，不超过4,000—5,000呎，台风北面的云很少，而南面和西南面的汇合线上有大量积雨云。这种结构对台风发生理论的热塔效应提出了疑问，为什么没有云墙而台风能产生较低的气压和较强的风速？另外，这种典型的不对称结构对过去把台风当作轴对称体处理也提出问题。大量卫星资料表明，台风在发展初期不对称是经常的，环流中心通常位于螺旋云系的边沿，以后才逐渐移到中间，还有一些台风在成熟以后仍保留着不对称性。台风的不对称结构对台风的动量平衡起了很重要的作用。目前国外正在研究更接近实际台风的三维不对称性结构。

卫星云图结合其他资料还在大西洋上测到一种新的气旋结构，称为中性结构。它不同于任何热带气旋、温带气旋和副热带气旋，而是介于热带和温带之间的一种气旋，可称为混合型气旋。这种气旋一般在北纬20—25度之间，在均匀的经过变性的极地海洋气团中形成。开始，它表现为副热带地区静止锋上的波动，没有积云对流所形成的暖心，其发展能量一部分

取自凝结潜热，一部分取自斜压能量，即冷暖气团迭置所释放的动能，这和热带气旋有显著差别。以后在热带海洋上，迅速地变态，才能变成以潜热释放为主的暖中心气旋。另外，它的气旋性环流随高度有明显的减弱，在对流层高层变为反气旋环流，最大风速出现在中心附近，这和温带气旋也显著不同。它是温带锋面波动经过变性发展，最后变态为飓风的。

总之，搞清台风的结构很重要，关系到台风发生、发展、移动、天气的理论研究和业务预报的发展和提高。目前国外一些飓风气象中心，根据台风结构的重要特征，设计出很多用以描写台风环境的图表，他们叫做诊断工具，以判别台风的发展前途。如有一种叫分层平均气流图，和对流层平均垂直切变图，把大气分为1000—600毫巴和600—200毫巴两层，来反映流入层和流出层的条件，把这两层平均风速相减得出平均垂直切变。据统计，在这种切变值大于12哩/时处，就不致有台风发展。卫星云图也可用来作为诊断工具，如卷云羽朝一个方向流出，这是垂直切变大的征象，不利于台风发展。另外可以用特殊的电子计算机装置把卫星云图上的亮度放大，使得积雨云透过卷云罩反映出来，通过强亮度区的识别来确定主要降水带。将来装在卫星上的超高分辨率红外感应装置也可提供风暴中对流活动的细节，这些对台风天气强度的了解和预报都很有帮助。

四、台风路径预报

由于计算机功率的加大，高速加工资料使模拟复杂过程的数值试验和采用多变量相关的统计分析成为可能。这是近代客观预报方法得到发展的基本原因之一。

目前用于台风路径预报的动力学方法基本上有两类，一类是根据引导气流原理，将台风看作一个点旋涡，被经过平滑处理的基本气流所牵引。这种模式主要预报大尺度气流场的演变。这个思路的基本缺点在于忽视了台风和周围流场的相互作用。尤其否定了不同强度不同结构的台风对路径的不同影响。由于移动和发展的关系十分密切，将它们孤立地分别开来处理，在环流急剧变化时经常导致预报失败。另一类模式即包括大尺度气流，又包括飓风尺度气流，考虑它们之间的相互作用，但成效尚不显著。因此至今还没有一个动力数值模式能成功地预报台风移动。但动力数值模式具有广阔的前途，这是因为下面三个条件正在逐渐具备：

(1) 越来越多的探测手段将为这种模式获取大量优质的输入数据；(2) 尺度相互作用的机制研究和合理的参量化方案正在逐渐取得进展；(3) 高功率的计算机正在广泛地用于业务预报。基于这些条件，把移动和发展包括在一个统一数值模型中的动力学方法正在进行设计，这种模型既考虑台风和周围环境的相互作用，又使得它的预报结果包括了未来的位置和发展。

在动力模型足够完善之前，将路径作为随机过程的数理统计方案，在国外相当盛行。目前所设计的一些统计模型，采用了多变量区分分析。一般将各层天气图的位势高度、厚度、风、地面气压选作统计方程中的预报因子，还可以引用其他参数，如把台风过去路径作为持续因子输入方程。

目前已经设计了大量的客观模型用于业务预报，并逐年进行改进，成为业务预报的重要基础。下面介绍几种美国迈阿密国家飓风中心在60年代末70年代初用以预报台风移动的主要客观模型。

(1) 美国国家飓风中心-67型方法：这是根据里耳—哈格德方法计算500毫巴上作用

于台风的力进行统计筛选来设计的,模式中用大范围梯度场和瞬时趋势场预报 12—72 小时的台风位置,据称效果较好。

(2) 哈屈拉克方法:这个方法在流场中消除台风旋涡场,用消除后所剩余的基本气流来引导点涡旋的移动,对 1000、700、500、300 毫巴分别加以计算,预报员根据具体情况来选择引导层,并用前 12 小时预报的矢量误差进行订正。

(3) 桑德斯-帕比正压模式:模式中把深厚对流层中加权平均的风作为正压预报模式的基本因子,因深厚大气层的平均气流对台风涡旋的移动有影响,其中任一层的变化都对涡旋移动起作用。这个模式在思路向上向动力学预报方向迈出了一大步。

(4) 飓风相似路径方法:其主要特点是用台风历史路径资料中的相似个例,点绘出 72 小时内各预报时段的位置分布,由分布所产生的概率椭圆质量中心的连线表示出台风未来移动最可能的路径,并可客观地确定出台风的警戒区域。这个方法在 1969 年进行了系统试验,1970 年投入正规业务应用。效果很好,国外给以较高的评价。

所有这类统计数值模型都存在一些共同的缺点,首先是对输入的数据反应很灵敏,因此在记录稀少地区由于分析上的误差常常对预报结果造成很大影响。其次,这种方法选用大量预报因子,使预报员难以找出其误差的根源。另外,误差的边界效应至今还无法克服。

目前进行试验的各种客观方法都有它本身的特点,很难说那一个方法最好,那一个方法最有发展前途。试验表明,这些方法有一个共同的特点,在路径移动比较规律时,预报的误差较小,当路径本身有急剧变化时,则误差很大。因此预报员不能完全依靠客观方法来预报。有时还必须依赖于诊断工具,在作出预报结论时需加以参考。

近年来诊断工具有很大发展,如美国迈阿密飓风中心设计了适用于不同预报目的的诊断工具。用以预报台风移动的有一种对流层平均流场图,其厚度根据台风的阶段来选择,一般情况用 1000—400 毫巴;风暴中心气压低于 1000 毫巴时,用 1000—300 毫巴;低于 990 毫巴时,用 1000—200 毫巴;低于 980 毫巴时,用 1000—100 毫巴。因为中心气压降低,表明风暴有发展,旋涡与周围空气的相互作用就要扩大到更高的层次。这种包括天气尺度系统在内的大尺度平均流场,给出了风暴外部牵引力的条件,以帮助确定风暴的移动。

诊断工具在实际工作中常常很起作用,例如百年不遇的大台风卡米尔袭击美国,由于这个台风路径异常,各种客观方法都比实况偏东,没有一个是成功的,在关键时刻,对流层平均流场图和飓风相似路径方法起到了一定作用,相对来说,位置比较接近实况。

预报员在实践中总结出来的经验仍然是很重要的,尤其当各种客观预报方法的预报结论互相矛盾时,除了要掌握客观方法的性能和在具体实例中的可信程度来分析矛盾,还要求预报员具备丰富的实践经验对预报结论作出决断。

尽管这样,目前台风路径的预报水平仍然不很高,下面这张表给出了 24 小时预报逐年的平均误差(引自加斯頓“飓风和热带气象的评述”)。从这个表可以看出,误差年际变化很大,在这 9 年里,误差缩小并不显著,就全部预报位置的平均误差来说还不能看出有实质性的改

年	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
海里	140	90	86	113	107	96	97	117	89

进。对于 48 小时和 72 小时的误差则更大，据统计平均误差和预报时效之间存在线性关系。这里不必一一列举了。平均误差的统计分析表明：误差和纬度、台风移速、移向等因素有关。转向点附近和转向点以北比转向前误差大，据 1954—1966 年北大西洋飓风的统计，要大 40% 左右。台风向偏东移动时的预报误差要比向偏西移动时大。对不同情况的误差分析，有助于改进预报方法。

五、台风的人工影响试验

人工影响台风的物理基础，就是在眼壁上或螺旋云带上有目标地播撒能吸收大量热量的化学剂，来暂时破坏台风内部力的平衡。计算表明，经过播撒后，眼壁将向外扩张，可引起最强径向气压梯度减小 15%—20%，按角动量守恒原理，台风风速就要减小，从而来削弱台风的破坏力。

人工影响台风的播撒试验是在 60 年代初开始的，至今已对 4 个大西洋飓风进行了人工影响，这 4 个飓风是 1961 年的埃丝特、1963 年的比尤拉、1969 年的黛比和 1971 年的金格尔。催化作业主要是在飞机上播撒碘化银，然后对催化进行多种测量和观测，后面两个飓风还由静止卫星对其云系变化进行连续性的观测。

由于对前两个飓风埃丝特和比尤拉只进行一次播撒作业，播撒后产生的变化不大，虽表现出一定的减弱趋势，但幅度和台风强度的自然变化相当，故无法确定其效果。

对第 4 个飓风金格尔的人工影响也不太成功，主要因为没有找到眼壁和能量集中点，虽然倒下了 250 桶碘化银进行漫撒，但未能奏效。

迄今为止人工影响台风最成功的一次是对 1969 年飓风黛比的催化作业。飓风黛比具有明显的能量集中情形的非对称结构，因此，对所找到的能量集中点进行了 5 次连续性播撒，据报导效果较明显。第一天最大风速由 98 降到 68（哩/时），减小了 31%；第二天最大风速由 99 降到 84（哩/时），减小了 15%。这个变化比起风速的自然摆动显著要大。从静止卫星拍摄的电影上可以清楚地看到云型变化，在催化后第二天，出现了双环的眼壁，并有扩张。经事后分析，有人认为在播撒之前，台风已有减弱，因此对播撒效果尚有一定怀疑。这些试验具有深远意义，表明人类对台风是可能加以影响和改变的。

据称今后进行眼壁播撒应该结合其他途径，例如可在风暴外辐合带云系中进行播撒以激起云系增长来改变风暴的结构，使新生一个比原来半径大的眼壁，这样风速就可以减低下来。

人工影响台风和单体积云播撒试验关系很密切，关键在于云块的合并。在积云播撒中认为积云生命期和它的成长（大小）密切相关，而积云的成长主要取决于浮力，其次才是云内部的微物理过程。这种思路成功地指导了播撒试验，美国佛罗里达州的试验表明，单体云降雨的动力播撒效果是很肯定的，而且具有统计上的显著性。在云的合并体或云团里进行播撒，其结果比单体云更显著。在过去几年内，很多地方已经开展了对热带积状云的动力播撒，这对揭露热带对流活动和弄清云团形成、结构及其在较大尺度环流中的作用很有帮助，并且也将提高人工影响台风的效果。

台风问题的研究在近 10 年中取得了明显的进展。但就目前我们的认识水平看，对台风还

没有很深入的了解，有许多问题有待今后研究。可以预料，随着各种探测工具和其它有关技术的进一步改进，今后10年间台风问题的研究将会得到更快的发展。

尤其是1975—1976年前后全球将有4—5个地球同步卫星进行观测，在西太平洋地区也将有地球同步卫星观测，并且从卫星上探测到的温度资料、水汽资料以及超高分辨率云层照片（分辨率为1公里）将开始广泛地用于日常热带分析中。据称到1980年，热带气象学的领域将呈现出崭新的面貌。

（陈联寿、丁一汇 编译）