

# 回顾我国台风动力学的研究\*

金汉良\*\*

(南京大学气象系)

## 提 要

本文系统地小结了三十五年来我国台风动力学研究的进展。内容包括：(1) 热带扰动的不稳定性理论与台风成因；(2) 大气涡旋动力学与台风移行；(3) 台风的诊断分析及其结构的动力学解释；(4) 台风的数值模拟；(5) 台风的流体模拟实验。

## 一、引 言

我国气象事业在党的领导下三十余年来取得了蓬勃的发展。我国气象科学的创始人竺可桢先生则为之倾注了毕生的精力。1959年赵九章先生<sup>[1]</sup>在总结十年进展时写道：“解放前，中国气象工作者在竺可桢先生领导下，惨淡经营，多方提倡，经二十多年的努力，逐渐建立了一点微小的阵地。”竺老在旧中国为了气象事业所作的艰苦卓绝的努力，令吾等气象后辈感佩不已。解放后，中国气象科学开始了崭新的阶段，竺老又为发展我国地学科学作出了很大的贡献。令人痛亟的是，十年前竺老离开了我们，使我们失去了一位事业上的长者和导师。拨乱反正以后，气象事业又有猛进，遗憾的是竺老再也听不到这新的进军声了。值此十周年之际，谨以本文敬悼竺老！

建国以来，台风课题的研究有过多总结<sup>[2,3]</sup>和评述<sup>[4,5]</sup>。有关台风动力学的成果在大气动力学研究总结中曾有提及<sup>[4,5]</sup>。近年来，我国台风动力学的研究渐趋活跃，很值得作一专题回顾。

## 二、热带扰动的不稳定性理论与台风成因

关于台风生成的理论，最早作过系统研究的当推李宪之。他提出的综合学说<sup>[6,7]</sup>着重强调在具备其它必要条件的地方，北半球入侵的罕见的强冷空气是使热带湿不稳定空气大量释放潜能从而形成热带气旋的主因。鉴于当时水平，这一成就是值得称道的。进入六十年代以后，用热带或低纬度扰动的动力不稳定理论来解释台风成因的论文时有发表。谢义炳、陈受钧等(1963)<sup>[8]</sup>指出北半球夏季西太平洋极大多数台风生成在赤道辐合带的东端，并可把台风看成是辐合带上的涡旋。随后，谢义炳和黄寅亮(1964)<sup>[9]</sup>利用简单的流体力学方法对热带辐合带上扰动的切变不稳定作了理论分析，给出与东、西风基本气流大小、所在纬度和扰动波长有关的不稳定判据，还用简单模式讨论了两支基本气流的平

\* 本文于1984年1月12日收到，1984年6月6日收到修改稿。

\*\* 1985年7月已去上海台内研究所工作。

均动能转变为扰动动能的可能性和条件。陈秋士几乎和谢义炳等同时,讨论了低纬条件不稳定状态下所发生的热成风适应过程<sup>[10,11]</sup>。提出起始时若有非热成风存在,则在随后的适应过程中通过惯性波的对流不稳定可以迅速导致和台风结构相似的涡旋的形成。接着,他和桑建国(1965)<sup>[12]</sup>又用不同类型的台风个例证实高空大范围流场的显著变化可以提供这种触发台风形成的非热成风机制。最近,林有任和王道钰(1983)<sup>[13]</sup>也证实热成风不平衡可以影响我国近海台风的发生发展。值得指出的是,六十年代初期,国际上台风成因的动力学研究正展开热烈的讨论,因为理论和初步的数值模拟表明,凝结加热只对积云尺度运动的增长有利<sup>[14-16]</sup>。到了六十年代中期,著名的第二类条件不稳定机制和各种积云对流参数化问世<sup>[17-19]</sup>。不难看出,那时我国台风动力学的研究水平与国际上还是相距不远的。

经过一段间歇以后,李麦村和姚棣荣(1979)<sup>[20]</sup>用概量分析方法证明热带湿大气运动的位势部分相当重要。低纬风压场关系中应当反映这种强位势运动的特点并保留垂直输送项。杨大升和刘式适(1979)<sup>[21]</sup>在无辐散假定下研究了风速不连续面上的正压不稳定性。他们指出,谢义炳等1964年的结果是就有限空间范围的扰动得出的;如考虑无穷平面,那么切变线上的扰动总是不稳定的。计算结果表明,仅由于界面上的正压不稳定性即可导致台风的生成。但实况并不一定都能发展成台风,故正压不稳定性只可能是热带扰动的一种触发机制,扰动的发展以及台风的生成必定还决定于其它物理过程。稍后,刘式适(1981)<sup>[22]</sup>进而研究表征台风发展的具有频散性质的重力惯性内波的不稳定性。最近他又根据台风内部的空气层结(基本位温场)和旋转角速度(基本流场)讨论了台风发展的条件<sup>[23]</sup>,指出惯性稳定度和层结稳定度同时影响着台风的兴衰。另外,肖永生(1982)<sup>[24]</sup>将中高纬和低纬的重力惯性波的特征作了比较,证实在增加考虑地球自转角速度水平分量的影响后所求得的重力惯性波的结构更接近于实测的一些中尺度系统的结构。

台风中的对流凝结加热对其发展极为重要,大尺度加热场又怎样呢?吕克利(1982)<sup>[25]</sup>作了大范围总体加热场对东、西风带正压不稳定扰动影响的研究。结论是要视加热场和流场的水平配置而定,且仅当加热范围大于某一临界尺度时才能激发出局限于加热区附近的定常扰动。看来,大范围不均匀水平加热场对低纬扰动的增长没有什么明显的重要的影响。李崇银(1983)<sup>[26]</sup>则研究了对流凝结加热的垂直分布对常定型和振荡型不稳定波动的影响。他指出,最强加热层所在的位置越高,则气旋式环流达到的高度越高,暖心控制层越厚,扰动有效位能转换成扰动动能的效率也较高,扰动得以迅速发展而成台风;反之,扰动就得不到充分发展。热带海洋上大部分扰动只发展成低压而达不到台风强度,重要原因之一极可能是凝结加热垂直分布所致。

### 三、大气涡旋动力学与台风移行

这方面的研究工作主要有两部分:引导与摆动以及涡旋的互旋。陈联寿和丁一汇(1979)<sup>[27]</sup>把实际工作中遇到的台风运动方式概括成十种基本运动并对成因分别作了简单讨论,这里不再赘述。

早在1950年叶笃正<sup>[28]</sup>对热带气旋的运行规律作了理论研究。一个被视作兰金涡旋的热带气旋在平直东风引导气流中移行时,除了向西传播外还有摆动。摆动的振幅与周

期决定于引导气流和气旋的大小与路径。几例计算结果显示了涡旋的移动在转向前减速,转向后加速,与实况一致。继后,谢义炳和陈秋士(1956)<sup>[29]</sup>得到斜压大气中涡旋加速运动的六个因子。他们指出,斜压大气中涡旋将沿着地面等压线和涡旋所在厚度内等温线的合成方向移动;正压大气中则按所在厚度内各层大型流场的平均移向移速运行。这一结论比 Sanders 等(1968)<sup>[30]</sup>用十层平均风作台风路径正压预报的理论依据要早十余年。谢义炳等还说明了非对称涡旋强度变化对涡旋移行的影响并讨论了涡旋内部流场在地转偏向力作用下所产生的内力。强调气旋式流场的内力除造成涡旋的摆动外,不可能对涡旋的南北移动有所贡献,后者是由内部辐合上升所致。在台风路径的业务预报工作中,董克勤等(1965,1976)<sup>[31,32]</sup>已根据引导气流的概念设计了两层订正引导台风路径的短期预报方案。最近,钮学新<sup>[33]</sup>根据台风内部相对于台风移动的流场、垂直运动和加速度定义了台风的内力。这时的移动轨迹是迭加有由内力所引起的正弦波的惯性振荡。此外,他还研讨了在赤道高压和副热带高压引导下台风的移动<sup>[34]</sup>。

上述讨论一个涡旋体所受的作用力和运动的方法可以推广到两个或多个圆对称涡旋或对流气柱的情形。吴中海(1978)<sup>[35]</sup>讨论了两个以上圆对称环流的相对运动,试图解释赤道辐合带上一列受扰后呈波状排列的对流云团脱离源地,在其它条件满足的情况下,逐步发展并被组织成热带气旋的现象。之后,胡广兴和吴中海(1981)<sup>[36]</sup>设计了一个简单的多尺度相互作用模型并作了初步的数值模拟分析。结果表明,大尺度涡旋的控制和组织作用殊为重要,受大尺度涡旋控制的小尺度扰动其轨迹呈气旋性汇入。很可能,积云群在多尺度相互作用下的聚集形成了热带气旋的暖中心。同时,吴中海(1981)<sup>[37]</sup>又用类似的方法分析了造成两个涡旋相对运动的原因和讨论了单纯相互作用下双台风相对运动的轨迹。在均压场的背景下两涡旋相互靠近并作逆钟向加速旋转;当两涡旋的间距减小到一定程度时即相斥而行,互旋速度随之减慢。换言之,双台风不可能发生中心重合的现象。董克勤(1981)<sup>[38]</sup>和包澄澜(1981)<sup>[39]</sup>均举出实例证实通常所说的“合并”只是外围流场的合并,其中一个台风在这过程中逐渐填塞。最近,王作述和傅秀琴(1983)<sup>[40]</sup>研究了1956—1975年西北太平洋92对双台风互旋互靠的现象,得出两个台风中心气压的平均值太高或太低时互旋都趋减慢的结论。总之,对两个或多个涡旋的相互作用和不同尺度涡旋间的相互作用等问题作进一步的深入探讨仍是很有理论意义和实用价值的。

#### 四、台风的诊断分析及其结构的动力学解释

台风内部结构的研究直接依赖于观测资料的积累。解放前的一些台风记实<sup>[41,42]</sup>终究是管窥蠡测,得到的只是点滴。刘匡南和董克勤(1958)<sup>[43]</sup>根据解放后较完善的地面气象资料首次总结了登陆我国台风的表面结构。之后,许多气象工作者利用各种探测资料逐步揭示了不少台风内部要素分布的事实。这些都不在本文总结范围内,这里仅就台风的诊断分析和一些结构的动力学解释作一回顾性总结。

地理研究所海洋气候组(1974)<sup>[44]</sup>计算了台风形成期间海气间潜热和感热的交换。在形成过程中,台风中心附近空气自海面攫取的累积总热量约为3000卡/厘米<sup>2</sup>。若设这些热量全部用于上空单位气柱的加热,则每克空气可获得2.9卡左右的热量,接近于把平均热带大气变为台风内域大气所需补充之热量。山东海洋学院海洋气象专业(1974)<sup>[45]</sup>计

算了 7209 号台风登陆前后的动能消耗率和热量收支。结论是海面热通量的减少以致断绝是该台风迅速衰亡的主因,与已有的一些结论一致。谢安、肖文俊和陈受钧(1982)<sup>[46]</sup>对 7613 登陆台风作了较全面的能量学分析。他们指出,在台风登陆后的减弱过程中与环境大气的动能交换较小,但有大量有效位能输送给外界环境。对于刚登陆的台风,强对流仍是主要的动能源,对流圈上层大尺度流场所产生的动能汇是台风减弱的主要原因。当冷锋侵入台风环流后,气压场做功是主要的动能源,摩擦消耗是主要的动能汇。雷雨顺(1982)<sup>[47]</sup>对 7503 台风作了等熵面气流分析,发现湿空气沿着铅直贯通整个对流圈的等熵管的主干管壁螺旋式地辐合上升,并把潜热能转换为位能,再在高层辐散输送到环境大气中去。沈如金和张宝严(1982)<sup>[48]</sup>分析了大尺度降水和积云对流降水所产生的潜热加热对 7504 登陆台风降水强度和分布的影响。结果表明,大尺度降水的加热作用以及由它引起的垂直运动对台风降水起着主要作用,即使在暴雨区大尺度降水也和积云对流降水差不多大小。刘月贞、丁一汇和张键(1983)<sup>[49]</sup>计算了 7507 台风在发展过程中的两种加热场。证实形成高层的强加热中心对台风的迅速发展非常重要。大尺度和对流凝结加热对该中心的形成的贡献都很显著。另外值得提及的是梁必骥(1983)<sup>[50]</sup>用合成法得到了我国南海台风的三维平均结构模式。初步看来,南海台风的结构与西太平洋台风的结构不完全类同。

自从 1977 年巢纪平和叶笃正<sup>[51]</sup>首先把星系螺旋结构理论应用于地球大气以来,很快也被用于解释台风螺旋云带的形成。黄瑞新和巢纪平(1980)<sup>[52]</sup>指出,随着热带低压的加强,任一随机扰动均可从旋转气流中吸取能量发展成曳式螺旋波。能量主要来自风速的垂直切变和较差转动。稳定层结大气中曳式螺旋重力波向外向上传输能量,故螺旋云带也出现径向和铅直向的发展。刘式适和杨大升(1980)<sup>[53]</sup>解释了台风中的螺旋线呈曳式的原因并指出这是一类重力惯性内波。计算得到的螺旋线倾角和螺旋臂间距均与实况相符。由北半球台风螺旋线呈曳式的现象可推论这种重力惯性内波必定是逆时针向外运动的。说明曳式螺旋波能量是向外输送的,但输送速度小于螺旋波的径向相速。张可苏(1981)<sup>[54]</sup>则在简化条件下分析了绕心涡旋中重力惯性波螺旋结构的形成。指出非静力平衡的对流性扰动较之准静力平衡的重力惯性波更易于形成螺旋结构。层结越不稳定,相对和绝对角速度越小,越有利于螺旋结构的形成。螺旋波生成在涡旋中心外一定距离处,距离越远,旋臂数越多。旋臂的型式一般为阿基米德螺线。上述这些研究工作相辅相成,有助于台风螺旋云带成因的了解,但未能完善地解释实际的螺旋云带。例如,李玉兰(1982)<sup>[55]</sup>分析了 7909 台风云带的形成和演变。指出在台风成熟阶段内外云带的传播方向是不一致的。外云带沿径向缓慢向外或近于准静止,内云带则向台风中心旋进。对于这类现象尚未得到说明。

可以看出,台风诊断分析的研究工作开展较少,对象大多限于登陆台风。台风结构的动力学研究只在近几年才开始起步,像台风眼的结构和形成的动力理论至今尚属空白。

## 五、台风的数值模拟

数值模拟对于研究台风的结构、形成、发展和移行等都是一种有力的工具,但起步最晚,内容寥寥可数,急待组织队伍迅速赶上。

郑良杰、陈受钧和张玉玲(1981)<sup>[56]</sup>使用一个五层原始方程模式模拟了热带辐合带上7504台风的发展。虽然初始给出的是较粗略的大尺度形势,仍成功地模拟出在辐合带上发展出一个较强的台风。因分辨率不高(格距125公里),没有得出台风眼的结构和螺旋云带。若减弱辐合带两侧的东西风速反而有利于该台风的发展,说明正压切变不稳定理论的应用有其局限性。李崇银(1983)<sup>[57]</sup>用一立足于第二类条件不稳定机制的数值模式研究了环境流场对台风发生发展的影响。只有中等强度的冷空气活动可使台风外围低层对流圈风速的气旋性切变加大,从而加强Ekman抽吸作用有利于台风发展。热带低压南侧赤道西风或西南季风的加强和对流圈上层反气旋性切变的基本气流均有利于台风发展,但高空环境流场的影响远小于低空。他在另一个工作<sup>[58]</sup>中利用一个五层轴对称模式研究了积云动量输送和Ekman抽吸的共同作用。试验表明,同时引入上两种物理过程所得到的台风比只考虑任一种所得到的更逼近于真实,特别是垂直结构。其中,积云动量输送起着更为重要的作用。张铭和曾庆存(1983)<sup>[59]</sup>将水汽累积效应参数化,然后用一静力平衡五层轴对称模式来模拟热带低压的发展。积分29小时后模式台风突然加深,41小时后渐趋减弱。模拟物的急剧发展与低层流入高层流出关系极为密切。他们又用一静力平衡五层准谱模式模拟了台风螺旋云带(以铅直速度的非对称部分表示之)<sup>[60]</sup>。螺旋带上的扰动与典型的重力惯性波有差别,认为是涡旋和波动相互作用的产物。陈秋士等(1983)<sup>[61]</sup>设计了一个比较完整和复杂的模式,试图详细说明重力惯性波不稳定在台风形成中的作用。初步试验证实以非热成风为启动条件可以把积云对流组织起来,形成热带气旋并发展成台风。

令人很感兴趣的是,杨大升和刘式适(1981)<sup>[62]</sup>尝试了不做模式,无需大量计算,直接求出台风运动方程组的相似解。根据压、温、风场的表达式即可得到台风域内的要素分布。诚然,这种相似解是台风环流的近似,受到预先给定的一些假定的限制。

## 六、台风的流体模拟实验

大约十年前大气物理研究所建立了一套以气体为介质以红外加热系统为热源的实验装备,台风的模拟实验得以实行。下面介绍的均为他们所取得的成果。

张捷迁、魏鼎文和何阜华(1975)<sup>[63]</sup>报告了实验研究的初步结果,模拟台风的水平和铅直流场的结构与实况相似。模拟实验组(1978)<sup>[64]</sup>总结了转盘内产生的惯性对流现象。这是一种在旋转不稳定层结流体中发生的具有准惯性周期的对流。由此推论台风的形成除受热力条件和大尺度环流影响外,还受到台风形成地点惯性周期的影响,不可能在短于该惯性周期的时限内在同一区域再度发生台风那样的大型对流。魏鼎文(1978)<sup>[65]</sup>简要介绍了模拟风暴的结构和螺旋云带的形成,以及两个风暴相互作用和地形影响的模拟结果。魏鼎文和张捷迁(1978)<sup>[66]</sup>指出北半球台风移动路径右偏,南半球左偏的现象,并分析了侧偏的原因。同时报告说,当台风从东或东南方移向海南岛时,登陆点附近台风有明显北绕现象。绕过该地区后继续偏西行进。董克勤、李曾中(1980)<sup>[67]</sup>统计分析了40例过海南岛的台风后指出,除登陆前后转向的台风外,其它都在登陆后有南偏的现象。魏鼎文(1979)<sup>[68]</sup>根据实验结果发现,当模拟台风从偏东或偏南方移近台湾达一定距离时,在台湾海峡一侧会产生新的低压扰动吸引或诱导台风折向西行。此结果与实况很符合。陈

联寿<sup>[27]</sup>对这种诱生作用作了初步解释。魏鼎文、叶笃正(1979)<sup>[69]</sup>报告了热带气旋模拟物的详细结构,非对称的温度和风速分布;漏斗状云墙,眼壁坡度与实际甚为一致;模拟风暴的上层为重力内波性质的波动,下层则为缓慢内传的波动,曳式螺旋云带很清楚。魏鼎文、王允宽(1981)<sup>[70]</sup>实验研究了中尺度对流云塔在形成热带气旋中的作用。结果表明,当多个云塔接近到一定程度时就有可能形成单一的暖中心并迅速发展为热带气旋。姚增权和魏鼎文(1981)<sup>[71]</sup>模拟了不同强度冷空气侵入风暴时的演变情况。不过,作者个人认为,在地球上进行台风的流体模拟实验难以做到各种作用力的真正相似,从而影响所得的结论。将来人们在太空实验室里进行这类实验预期会取得更好的效果。

综上所述,我国台风动力学的时间不过二、三十年,取得的成果确是令人鼓舞。瞻望再一个十年,吾等气象界的后辈定当努力奋进,争取并齐世界先进,告慰先师!

### 参 考 文 献

- [1] 赵九章,十年来中国气象学研究的进展,气象学报,30,3,206—211,1959。
- [2] 陈联寿,台风研究和预报问题的评述,大气科学,1977,第2期,138—148。
- [3] 末家鑫、陈联寿,中国台风研究和业务预报的评述,1980上海国际台风学术讨论会译文集,11—18,1981。
- [4] 徐尔灏,十年来我国对动力气象的研究,气象学报,30,3,243—250,1959。
- [5] 曾庆存,我国大气动力学和数值天气预报研究工作的进展,大气科学,3,3,256—269,1979。
- [6] 李宪之,Untersuchungen über Taifune,Veröff. d. Met. Inst. d. Univ. Berlin, Bd. I, H. 5 or Collected Scientific Papers, Meteorology, 中国科学院,1954,109—125。
- [7] 李宪之,台风生成的综合学说,气象学报,27,2,87—100,1956。
- [8] 谢义炳、陈受钧等,东南亚基本气流与台风发生的一些事实的统计与分析,气象学报,33,2,206—217,1963。
- [9] 谢义炳、黄寅亮,赤道辐合带上扰动不稳定性简单理论分析,气象学报,34,2,198—210,1964。
- [10] 陈秋士,简单斜压大气中热成风的建立和破坏(二),气象学报,33,2,153—162,1963。
- [11] 陈秋士,惯性波的对流不稳定和台风形成初期阶段的物理分析,气象学报,34,4,433—442,1964。
- [12] 陈秋士、桑建国,大尺度运动对台风形成影响的天气分析,气象学报,34,4,486—497,1964。
- [13] 林有任、王道钰,热成风平衡与近海台风的发生发展,1983全国台风会议文摘(预印本),16—17,1983。
- [14] Lilly, D. K., On the theory of disturbances in a conditionally unstable atmosphere, *Mon. Wea. Rev.* 88, 1—17, 1960。
- [15] Kuo, H. L., Convection in conditionally unstable atmosphere, *Tellus*, 13, 441—459, 1961。
- [16] Kasahara, A., A numerical experiment on the development of a tropical cyclone, *J. Meteor.*, 18, 259—282, 1961。
- [17] Ooyama, K., A dynamical model for the study of tropical cyclone development, *Geofis. Int.*, 4, 187—198, 1964。
- [18] Charney, J., and A. Eliassen, On the growth of the hurricane depression, *J. Atmos. Sci.*, 21, 68—75, 1964。
- [19] Kuo, H. L., On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection, *J. Atmos. Sci.*, 22, 40—63, 1965。
- [20] 李麦村、姚栋梁,热带和副热带温大气的大尺度运动,气象学报,37,1,28—35,1979。
- [21] 杨大升、刘式适,热带东、西风界面附近的扰动流场,气象学报,37,3,1—12,1979。
- [22] 刘式适,台风中的重力惯性波,1981台风会议文集,180—189,1981。
- [23] 刘式适、倪秉健,惯性稳定度、层结稳定度对台风发展的影响,1983全国台风会议文摘(预印本),7—8,1983。
- [24] 肖永生,中高纬地区与低纬地区重力惯性波特征的比较分析,气象学报,40,4,417—429,1982。
- [25] 吕克利,大尺度加热与东西风带中不稳定扰动的激发,气象学报,40,2,149—157,1982。
- [26] 李崇银,对流凝结加热与不稳定波,大气科学,7,3,260—268,1983。
- [27] 陈联寿、丁一汇,西太平洋台风概论,科学出版社,1979。
- [28] Yeh, T. C., The motion of tropical storms under the influence of a superimposed southerly current, *J. Meteor.*, 7, 108—113, 1950。
- [29] 谢义炳、陈秋士,斜压大气中涡旋运动方程及其在天气预报中的应用,气象学报,27,4,283—305,1956。
- [30] Sanders, F., and R. W. Burpee, Experiments in barotropic hurricane track forecasting, *J. Appl. Meteor.*, 7, 313—323, 1968。

- [31] 董克勤、刘治军, 台风路径与各等压面上基本气流的关系, 气象学报, 35, 2, 132—137, 1965。
- [32] 中央气象局研究所二室台风组, 两层订正引导台风路径短期预报方案及其应用情况, 1976 年台风会议文集, 1—11, 1976。
- [33] 钮学新, 台风的内力, 大气科学, 7, 1, 41—49, 1983。
- [34] 钮学新, 赤道高压和  $f$  效应对台风移动的作用, 1983 全国台风会议文摘(预印本), 114—115, 1983。
- [35] 吴中海, 台风的中小尺度动力结构, 1978 年台风会议文集, 223—230, 1978。
- [36] 胡广兴、吴中海, 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, 1981 年台风会议文集, 163—171, 1981。
- [37] 吴中海, 双台风相互作用的一种分析, 大气科学, 5, 1, 32—42, 1981。
- [38] 董克勤, 6413 和 6414 号双台风互旋和“合并”的分析, 气象学报, 39, 3, 361—370, 1981。
- [39] 包澄澜, 一次双台风路径特征分析, 气象学报, 39, 3, 378—384, 1981。
- [40] 王作述、傅秀琴, 双台风相互作用及对它们移动的影响, 大气科学, 7, 3, 269—276, 1983。
- [41] 蒋丙然, 十三年七月十三日山东半岛飓风记, 中国气象学会会刊, 第 1 期, 9—25, 1925。
- [42] 卢 益, 去年七月登陆之台风, 中国气象学会十周年纪念号, 1—7, 1935。
- [43] 刘匡南、董克勤, 东海登陆台风的地面结构及降水分析, 气象学报, 29, 2, 104—117, 1958。
- [44] 中国科学院地理研究所气候室海洋气候组, 台风形成过程中海洋和大气之间的热量交换, 1974 年台风会议文集, 117—133, 1974。
- [45] 山东海洋学院海洋气象专业, 7209 号台风登陆后迅速衰亡原因的探讨, 1974 年台风会议文集, 177—183, 1974。
- [46] 谢安、肖文俊、陈受钧, 登陆台风的能量学分析, 气象学报, 40, 3, 289—299, 1982。
- [47] 雷雨顺, 一个登陆台风的等能管结构, 气象学报, 40, 3, 300—309, 1982。
- [48] 沈如金、张宝严, 凝结潜热加热对台风降水分布的影响, 大气科学, 6, 3, 249—257, 1982。
- [49] 刘月贞、丁一汇、张健, 凝结加热场与台风发展的关系, 1983 年全国台风会议文摘(预印本), 8—9, 1983。
- [50] 梁必骥、李少群, 南海台风的合成结构, 1983 全国台风会议文摘(预印本), 27—28, 1983。
- [51] 巢纪平、叶笃正, 正压大气中的螺旋行星波, 大气科学, 1977, 第 1 期, 81—88。
- [52] 黄瑞新、巢纪平, 台风中螺旋云带的线性理论, 大气科学, 4, 2, 148—158, 1980。
- [53] 刘式适、杨大升, 台风的螺旋结构, 气象学报, 38, 3, 193—204, 1980。
- [54] 张可苏, 重力惯性波的螺旋结构, 大气科学, 5, 3, 292—299, 1981。
- [55] 李玉兰, 7909 号台风螺旋云带的分析, 大气科学, 6, 4, 460—465, 1982。
- [56] 郑良杰、陈受钧、张玉玲, 热带辐合带上台风发展的数值模拟, 气象学报, 39, 4, 394—407, 1981。
- [57] 李崇银, 环境流场对台风发生发展的影响, 气象学报, 41, 3, 275—283, 1983。
- [58] 李崇银, 台风生成的数值模拟研究(3)——积云动量输送和 Ekman 抽吸的共同作用, 1983 全国台风会议文摘(预印本), 58—59, 1983。
- [59] 张铭、曾庆存, 爆发性台风的数值模拟, 1983 全国台风会议文摘(预印本), 61—63, 1983。
- [60] 张铭、曾庆存, 台风中螺旋云带数值模拟, 1983 全国台风会议文摘(预印本), 59—61, 1983。
- [61] 陈秋士等, 重力惯性波的不稳定性与台风发生发展的数值试验, 1983 年全国台风会议文摘(预印本), 56—57, 1983。
- [62] 杨大升、刘式适, 台风环流中气象要素场的相似解, 1981 年台风会议文集, 172—179, 1981。
- [63] 张捷迁、魏鼎文、何阜华, 台风结构和中国东南沿海地形对台风影响的初步实验研究, 中国科学, 1975, 第 3 期, 302—314。
- [64] 大气物理研究所模拟实验组, 非静力平衡层结大气中的重力惯性波和惯性对流, 大气科学, 2, 1, 15—27, 1978。
- [65] 魏鼎文, 热带风暴的模拟实验研究, 1978 年台风会议文集, 218—222, 1978。
- [66] 魏鼎文、张捷迁, 台风路径的某些模拟实验研究, 大气科学, 2, 4, 290—296, 1978。
- [67] 董克勤、李曾中, 海南岛地形对过岛台风影响的初步研究, 大气科学, 4, 3, 288—292, 1980。
- [68] 魏鼎文, 由模拟实验研究提供的几点台风预报意见, 大气科学, 3, 4, 326—333, 1979。
- [69] 魏鼎文、叶笃正, 热带风暴的结构及其螺旋云带的形成——模拟实验研究, 气象学报, 37, 2, 16—28, 1979。
- [70] 魏鼎文、王允宽, 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, 1981 年台风会议文集, 141—152, 1981。
- [71] 姚增权、魏鼎文, 冷空气对台风影响的流体动力学模拟实验研究, 1981 年台风会议文集, 321—322, 1981。

## REVIEW OF THE STUDY ON TYPHOON DYNAMICS IN CHINA

Jin Hanliang

*(Dept. of Meteorology, Nanjing Univ.)*

### Abstract

A brief summary of the achievements in the last years, of typhoon dynamics in China is reported. It consists of: (1) the instability theories of tropical disturbances and the causes of typhoon; (2) the dynamics of atmospheric vortexes and the motions of typhoon; (3) the diagnostic analyses of typhoon and the dynamical explanations of its structure; (4) the numerical simulations of typhoon; and (5) the laboratory simulations of typhoon in a rotating vessel.