

# 近十年来台风暴雨研究的若干进展与讨论

李江南<sup>1</sup>, 龚志鹏<sup>2</sup>, 王安宇<sup>1</sup>, 李国丽<sup>1</sup>, 古志明<sup>3</sup>

(1. 中山大学 大气科学系, 广东 广州 510275; 2. 珠海市气象局, 广东 珠海 519075; 3. 澳门地球物理暨气象局, 澳门)

**摘 要:** 对近 10 年来国内外台风暴雨研究的进展简要归纳如下: 高低空急流、西风槽等对远距离台风暴雨有重要影响; 涡旋 Rossby 波说和重力惯性波说仍然是螺旋雨带形成理论的两种不同观点; 地形、海岸线等不同的下垫面特征对台风暴雨有不同的作用; 暴雨的异常分布; 台风系统可以触发中纬度地区降水, 也可以中断梅雨。同时对台风暴雨中尺度系统的源和汇、螺旋雨带的形成理论、台风暴雨异常分布的机理和暴雨的定量预报等问题进行了讨论。

**关键词:** 台风; 暴雨

**中图分类号:** P457.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-5221(2004)02-0113-05

台风是最强的暴雨天气系统, 国内外不少极端暴雨记录都与台风活动有关<sup>[1]</sup>。台风暴雨会造成洪涝爆发、农田受淹、耕地流失、城市内涝和路毁车阻等灾害。为了减轻灾害, 过去十几年国内外连续不断地开展了台风的研究工作。通过这些研究, 在台风运动突变、结构和强度突变、台风暴雨的突然增幅和台风路径预报的方法等方面都取得了许多新的成果<sup>[2]</sup>。本文专门对近十几年有关台风暴雨的研究进展作一综述, 并对存在的科学问题进行讨论, 以推动对台风暴雨的进一步研究。

## 1 远距离台风暴雨

在浙闽登陆的台风往往会给华北以至东北带来 100mm 以上的特大暴雨<sup>[3]</sup>, 这种远距离的台风暴雨常和高空急流, 台风登陆后强度维持不衰<sup>[4]</sup>, 西风槽, 台风中有倒槽向北伸展<sup>[5,6]</sup>, 以及北方有冷空气南下<sup>[7]</sup>等许多因素有关。中低纬度环流系统的相互作用对登陆台风暴雨的突然增幅也有重要作用<sup>[8,9]</sup>。

### 1.1 高空急流

丁治英等<sup>[10]</sup>在不同雨强诊断对比与数值实验研究中发现, 两次台风造成北部强降水的高空急流均为 NE-SW 向, 而当高空为平直西风急流时, 即使台风较强, 造成的降水大部分在 25°N 以南, 且强度明显偏弱。并通过相关统计分析显示, 远距离台风暴雨与非纬向高空急流密切相关。暴雨发生时, 200hPa 高空一般为西南急流, 暴雨区位于高空急流

右后方。暴雨增幅时, 200hPa 高空急流多有一个增强转竖即非纬向性增强的趋势。这显示高空急流的非纬向性在远距离台风暴雨中起比较关键的作用。台风个例(9711 号)的数值研究<sup>[11]</sup>进一步表明, 远距离台风暴雨的加强与台风倒槽的形成、非纬向高空急流有明显的联系。这是因为导致台风倒槽生成与远距离台风暴雨的高空辐散低层辐合场主要是由非纬向风场形成的。非纬向风的辐散可使低层减压, 产生气旋式变风场, 导致台风倒槽的生成和降水的加大。其下传使低层南风分量加大, 促进了向降水区的水汽动量的输送。南风风量的加大可引起急流右后侧产生一支中尺度经向环流圈。该环流圈南侧上升支与暴雨区的上升支相结合, 而暴雨区上空的潜热释放又加强了南风分量, 形成正反馈, 导致降水增幅。陶祖玉等<sup>[4]</sup>诊断分析表明, 9216 号台风登陆后其强度能维持并造成大范围暴雨, 是由于它位于高空急流入口区右侧的强辐散流场的下方。孙建华和赵思雄<sup>[12]</sup>对 9406 号台风天气的暴雨过程诊断研究后认为, 高空急流入口区的垂直环流对华北、东北的降水起了重要的作用。

### 1.2 西风槽

台风与西风槽相互作用可导致远距离台风暴雨的发生。数值研究<sup>[13]</sup>表明, 台风可通过水汽和能量输送直接影响台风远距离降水的分布。西风槽可为远距离降水提供低层辐合、高层辐散, 以及槽前正涡度平流的大尺度背景, 有利于垂直运动的发展和降雨的维持。台风东侧的水汽向中纬度槽前输送可直

收稿日期: 2003-05-22; 修订日期: 2003-10-30

基金项目: 科技部社会公益研究专项资金重点项目(2001DIA20026)

作者简介: 李江南(1968-), 男, 湖南新宁人, 博士生, 主要从事数值预报和热带气候研究。

接影响槽前降水的强度。

不少情况下,台风有一向北伸展的倒槽伴随<sup>[5,6]</sup>,当西风槽带来的冷空气侵入该倒槽时,形成南北向倒槽配合东西向脊的鞍形场,在台风倒槽中能观测到一系列的暴雨中心,其最大暴雨中心常出现在鞍形场的中心附近。尾随台风的对流云团,在中纬度西风槽的作用下,常在离台风中心较远的西风槽前产生强降水。

西风槽强度变化可影响台风暴雨。对 9012 号台风的数值试验结果<sup>[14]</sup>表明,在初始场上人为加深中纬度的西风槽,可使 24h 降水量增幅达 30%。

诊断分析<sup>[12]</sup>也发现,9406 台风登陆引发的降水过程,除华南的降水主要由台风造成外,华北和东北的强降水是由台风倒槽与西风槽相互作用造成的。

### 1.3 冷空气

有时台风与西风带系统结合并不明显,但若有小股冷空气配合同样可以产生暴雨,如 9711 号台风暴雨<sup>[15]</sup>。冷空气对台风暴雨的产生主要起到以下 3 方面的作用<sup>[16]</sup>:一是造成暴雨初始上升运动;二是造成边界层内的水汽集中并向上输送,形成大暴雨;三是对于辐合线上的中尺度扰动及其所伴随的强降雨团也起到了触发作用。

### 1.4 西南涡

陈忠明等<sup>[17]</sup>通过个例诊断分析指出,台风与西南低涡的相互作用通过向低涡区输送大量的水汽和热量,为涡区内特大暴雨天气的发生提供水热条件。相互作用对低涡结构的改变,促进低涡东部大气非平衡运动加剧,其动力强迫激发的辐合和正涡度持续增长,为涡区特大暴雨的发生提供了动力条件。

### 1.5 不对称结构

远距离台风暴雨和台风流场、热力场的不对称结构也有密切的关系<sup>[4]</sup>。对 9216 号台风分析表明,台风环流内地面涡度、散度、风场、850hPa 流场和温度场均为不对称分布,特别是温度场表现出明显的西冷东暖的特征。正是这种非对称结构极大地加强了高层的热成风,加大了低层的辐合,是上升运动加强和产生暴雨的根本原因之一。暴雨位于台风倒槽的强辐合区和台风北侧的暖平流区。

## 2 螺旋雨带

丁治英和陈久康<sup>[18]</sup>的研究指出,9216 号台风暴雨的增幅过程与台风中-尺度重力惯性波的发展、传播有关。大尺度非线性平流项的作用激发出

大尺度重力惯性波,积云对流潜热加热作用导致非地转风场扰动大大加强,从而使重力惯性波波幅加大,上升运动增强,暴雨加大。但是,对于台风螺旋雨带形成、维持的理论解释仍有很多争论。Anthes<sup>[19]</sup>和 Elsberry<sup>[20]</sup>的著作中较全面地提出了螺旋雨带的几种可能解释,主要包括涡旋 Rossby 波说和重力惯性波说,两位专家与许多气象学者都倾向于用重力惯性波说来解释,但是重力惯性波的相速理论值为 10m/s,它比螺旋云雨带实测移速只有 10m/s 几乎大一个量级。于是前几年开始,Montgomery<sup>[21,22]</sup>等气象学者又回到 30 年前 MacDonald<sup>[23]</sup>提出的类-Rossby 波说那里去寻找合理的解释,并提出了涡旋 Rossby 波的概念。Liu<sup>[24,25]</sup>和 Zhang<sup>[26,27]</sup>等人通过 MM5 模式对台风 Andrew (1992) 演变过程、内部结构、路径、眼区、云墙、最大风圈和最大风速位置的成功模拟指出,台风内区的不对称结构与台风重力惯性内波有密切关系,而 Wang<sup>[28-30]</sup>通过理想数值试验又较详细地讨论并强调了台风螺旋雨带中涡旋 Rossby 波的作用。台风螺旋雨带的涡旋 Rossby 波说似乎也较合理,已日渐被人接受。余志豪对涡旋 Rossby 波的成波机理做了动力学的分析<sup>[31]</sup>。他认为,简单基本的 Rossby 波是旋转流体中的波动,在绝对涡度(或位涡)守恒原理支配下,它的成波机理是由环境涡度变化造成的。当圆对称涡旋基本气流的涡度具有  $d/dr < 0$  分布时,则在涡旋基本气流上可出现  $f$  平面的涡旋 Rossby 波。

## 3 下垫面环境对台风暴雨的作用

数值研究<sup>[32]</sup>表明,当台风中心移过台湾时,台湾山区地形对台风中心东南方气旋式环流的辐合抬升是形成台湾大暴雨的重要因子,它对暴雨的增幅达 6 倍之多。Wu 等<sup>[33]</sup>通过数值研究认为,台湾地形对台风路径的偏折影响较少,但对降水有明显影响,模式分辨率和地形高度分辨率的提高都有利于改善对台风降雨定量的预报。Lin<sup>[34]</sup>等通过数值试验和诊断分析指出,地形引起的垂直水汽通量对台风降水预报有很好的指示作用。骆荣宗<sup>[35]</sup>对 9012 号台风降水进行了诊断分析,并指出了两种地形对降水的作用,一是半环形地形和狭谷地带对边界层气流有明显的辐合抬升作用,降水系统可以在这里发生、发展、停滞直到进入狭谷地带再度加强;二是气流碰到高山产生分支和汇合现象,在汇合地区派生出地形性准定常的中小尺度天气系统。这两种地

形对降水的增幅可达 1~3 倍。加密观测分析<sup>[36]</sup>也表明,台风周围中尺度涡旋和中尺度辅合线的形成与地形有密切关系。李江南等<sup>[37]</sup>通过数值预报试验表明,华南地形主要是南岭山脉对台风暴雨有明显的增幅作用,24h 累计降雨量增加 30% 左右。林运源等<sup>[38]</sup>在定性分析强热带风暴“玛莉亚”(2000 年)对韶关大暴雨过程的影响时,不仅强调了南岭山脉的作用,同时认为江河水库对暴雨也有一定的增幅作用。

海岸线对台风暴雨也有影响。郑庆林等<sup>[39,40]</sup>研究了 9216 号台风移过台湾后在福建省登陆后受海岸地形影响引起的雨量变化,从中发现,当海岸线扩展后,台风登陆提前,降水提前发生在“虚假”陆地上,即海岸线附近的摩擦辐合和地形抬升是台风降水形成的重要原因,暴雨落区随海岸线扩展而移动。海岸线扩展引起的沿岸地形坡度变缓,对台风暴雨幅度有一定的削弱,即地形坡度的陡峭有利于台风暴雨增幅。海岸线扩展造成的较低地形变化对台风本身路径影响极弱,但对其强度及中低空偏东急流有一定的影响,从而可能影响到台风的暴雨强度。

一些较小的地形同样对台风降水起到一定的增幅作用<sup>[41]</sup>。9908 号台风在陆上的移动路径是取平坦的珠江下游,无明显的山地影响,但在白云山(主峰海拔仅 383m)以南的降水强度明显大于山北,24h 降水量相差 120mm,主要原因在于白云山南侧有地形切变线生成。

## 4 暴雨分布

观测记录显示,当台风出现在洋面上时,受中纬度及地形影响较少,台风环流本身产生的降水分布并没有明显不对称性,而当台风已经登陆或将要登陆时,在台风右前方向岸风的地形抬升比较显著,最大雨量出现在台风右前象限或前半部<sup>[1,42]</sup>。此外,常有龙卷或飏线在台风移动方向的前方约 400~500km 处产生,飏线长可达 200~300km,宽 20~50km。尽管这类系统的生命史短,降水也只能维持 10~30 分钟,但其降水量也可达 30~70mm。约 2/3 的台风暴雨发生在移动方向的前半部,其中大多与中纬度系统的相互作用有关。发生在后半部的暴雨则常常是由低空西南急流的影响引起的,其最大降水通常出现在压能场中梯度大的区域附近<sup>[20]</sup>。也有研究<sup>[43]</sup>表明,台风暴雨增幅前 12h,其东侧常伴有地面中尺度辐合区或出现中尺度气旋性涡旋,并有水汽通量的辐合,台风暴雨区即位于它们的重叠

处或紧邻处。数值研究和诊断分析<sup>[44]</sup>表明,这种中尺度环流系统的产生与台风和大尺度环境场的非线性相互作用有关。观测研究<sup>[45]</sup>发现,这类中小尺度系统往往出现在台风前进方向的右侧;部分南海台风则出现在前进方向的左侧。

## 5 台风系统对中纬度地区降水的影响

### 5.1 触发降水

台风低压系统环流往往在低空形成一条宽广的偏东南风急流带,并成为暴雨区的主要水汽通道和能量通道。这条急流带可在中纬度产生深厚的湿层和强水汽辐合,并导致不稳定性增强和不稳定能量的积蓄和释放。前面所述的远距离台风暴雨大多是中纬度冷槽遇北上台风携带的暖湿空气,使不稳定性增大、对流增强所致。台风东部或北部的东南气流与西风槽带来的偏北风强烈辐合则是槽前和槽区暴雨的触发机制<sup>[13]</sup>。

### 5.2 中断梅雨

台风与东亚梅雨锋的活动有密切的关系,梅雨锋维持时期很少有台风生成,而一旦有强台风活动时,梅雨往往减弱或消退<sup>[46]</sup>。对 E-P 通量和瞬变波活跃通量的诊断分析<sup>[47]</sup>表明,台风可通过对西风急流和副高的强迫来影响梅雨系统。一方面,台风的生成可以作为 ITCZ 活跃的象征,ITCZ 的加强可通过二维 Rossby 波的经向传播,造成副高的加强北移;另一方面,台风本身携带大量的低纬扰动能量,可以看作是一个从热带向中纬度能量频散的强瞬变扰源。它不仅可以对时间平均西风气流产生净局地强迫,造成急流北跳,又可以利用瞬变波与缓变波的相互作用强迫副高北抬东退,进而改变原有静止少变的梅雨锋结构,促使梅雨中断或结束。数值研究结果<sup>[48]</sup>发现,9106 号台风的扰动在对流层低层激发出的水平流场,减弱了西南季风,因而减弱了其向江淮地区的水汽输送,减小了江淮地区的水汽通量的辐合。同时,该台风还通过影响副热带高压的位置对梅雨结束产生间接作用。统计观测表明,梅雨期长江中下游的降水量与盛夏西北太平洋(包括南海)的台风频数呈反相关关系。95% 的南海台风对梅雨有显著影响,其中约 86% 的台风会导致梅雨的减弱、中断或结束<sup>[49]</sup>。

## 6 讨论

综上所述,过去十几年中,在远距离台风暴雨、螺旋雨带的形成理论、台风系统对中纬度地区降水

的影响、暴雨分布、下垫面特征对暴雨的影响和暴雨的突然增幅等方面都取得了新的进展。但上述的工作大多是针对台风个例而言,通过个例研究得到的观点还需要大量的工作去证实。目前对台风暴雨的研究在以下几个方面仍有待进一步深入。

(1) 台风系统与环境场及周围中、小尺度系统如何相互作用?这种相互作用对暴雨的发生发展有何影响?

(2) 实测的台风暴雨可以出现在任何象限。那么,登陆台风暴雨的分布类型和异常分布的机制是什么?台风暴雨中尺度系统的源和汇在哪?从动力学角度来看,强对流云群体在何时何处得以发生发展及其机制是什么?对流翻转、自由和强迫的中尺度运动、中尺度地形的动力作用、中尺度适应等一些基本的问题需深入的研究。

(3) 台风移动速度的快慢与台风暴雨的强度和分布有什么内在联系?台风自转运动对降水有何影响?台风的不稳定性、台风结构的演变与台风暴雨的关系如何?这些关系的动力机制还不是很清楚。

(4) 对台风螺旋雨带的形成、维持及传播的理论解释是否可以作到涡旋 Rossby 波说和重力惯性波说的统一?

(5) 不同海域生成的台风有不同的降水特征,如南海台风的降水与华东近海台风降水有较大的差异,造成这种差异的机理是什么?

目前在日常业务中,暴雨预报方法大致分为4方面<sup>[50]</sup>:一是天气概念模型;二是数值预报产品动力释用;三是相似预报方法;四是利用卫星、雷达等非常规观测资料的预报方法。对台风暴雨的预报主要是运用上述的第四和第二类方法。但对台风暴雨预报尤其是台风登陆区暴雨强度及分布的预报仍很困难,从数值预报来说,一是模式的分辨率难以达到要求,Molinari 指出台风数值模式的水平分辨率应小于5km,可目前在业务上和科研中都很难达到<sup>[49]</sup>。二是任何模式的物理过程很难对各种不同尺度的运动同时作到精确的描述。同时,将卫星、雷达等各种新的探测技术获取的信息应用于科研和业务中也是一个比较薄弱的方面。因此,对台风暴雨的研究还需要进行长期的艰苦工作。

## 参考文献

[1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980. 225.  
[2] 陈联寿,孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25:420 - 432.

[3] 张喜君,朱官忠,曹钢锋. 华北地区登陆北上热带气旋的暴雨增幅研究[J]. 南京气象学院学报,1995,18:197 - 200.  
[4] 陶祖玉,田佰军,黄伟. 9216号台风登陆后的不对称结构和暴雨[J]. 热带气象学报,1994,10(1):69 - 77.  
[5] 杨金锡,洪吉. 能量锋生与台风倒槽暴雨[J]. 南京气象学院学报,1986,9:47 - 54.  
[6] 蒋尚城,林楠. 85年9号台风与辽宁特大暴雨的卫星云图分析[J]. 北京大学学报,1988,24:351 - 361.  
[7] 钱自强,张德. 上海地区台风倒槽暴雨分析[J]. 大气科学,1985, 9:400 - 405.  
[8] Dang R Q. Recent advances in research on the mechanisms and causes of exceptional rainfall associated with tropical cyclones in China[J]. WMO/ TD,1998,875:23 - 26.  
[9] 陈久康,丁治英,陶祖玉,等. 中低纬度环流系统相互作用对登陆台风暴雨突然增幅的影响[A]. 85 - 906项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册)[C]. 北京:气象出版社,1996. 52 - 54.  
[10] 丁治英,陈久康,吕君宁. 不同雨强台风的诊断对比与数值试验研究[J]. 南京气象学院学报,1995,18:234 - 241.  
[11] 丁治英,张兴强,何金海,等. 非纬向高空急流与台风远距离中尺度暴雨的研究[J]. 热带气象学报,2001,17(2):144 - 154.  
[12] 孙建华,赵思雄. 登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究[J]. 大气科学,2000,24(2):223 - 237.  
[13] 朱洪岩,陈联寿,徐祥德. 中低纬度环流系统的相互作用及其暴雨特征的模拟研究[J]. 大气科学,2000, 24:669 - 675.  
[14] 刘铭,陈久康. 9012号台风暴雨的数值试验[A]. 85 - 906项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册)[C]. 北京:气象出版社,1996. 97 - 100.  
[15] 汪秀清,姜兴玉. 9711号台风暴雨及其环流特征分析[J]. 吉林气象,1998,(1):13 - 15.  
[16] 张经珍,侯淑梅,张洪卫,等. 中低纬度系统相互作用对山东“99.8”大暴雨的影响[J]. 气象,2000, 26(5):36 - 39.  
[17] 陈忠明,黄福均,何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究:诊断分析[J]. 大气科学,2002,26:352 - 360.  
[18] 丁治英,陈久康. 台风中 - 尺度重力惯性波的发展与暴雨增幅[J]. 热带气象学报,1996, 12:333 - 340.  
[19] 安赛斯. 热带气旋的发展、结构和影响[M]. 北京:气象出版社, 1982. 46 - 47.  
[20] Elsbery R L. 热带气旋全球观[M]. 北京:气象出版社,1994. 72 - 129.  
[21] Montgomery M T. A theory for vortex Rossby - wave and its application to spiral bands and intensity changes in hurricanes[J]. Quart J Roy Meteor Soc,1997,123:453 - 436.  
[22] Montgomery M T. Tropical cyclone via convectively forced Vortex Rossby - wave in a three - dimensional quasi - geostrophic model[J]. J Atmos Sci, 1998,55:3176 - 3207.  
[23] MacDanald N J. The evidence for existence of Rossby - like waves in the hurricane vortex[J]. Tellus, 1968,20:138 - 150.  
[24] Liu Y, Zhang D - L, Yau M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part I [J], Mon. Wea. Rev., 1999, 125:3073 - 3093.  
[25] Liu Y, Zhang D - L, Yau M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part II [J], Mon. Wea. Rev., 1999,

- 127:2597 - 2616.
- [26] Zhang D - L , Liu Y , Yau M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part [J], Mon. Wea. Rev. ,2000 , 128:3772 - 3788.
- [27] Zhang D - L , Liu Y , Yau M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part [J], Mon. Wea. Rev. ,2001 , 129:93 - 107.
- [28] Wang Y. An explicit simulation of tropical cyclones with a triply nest movable mesh primitive equation model - TCM3. Part [J]. Mon. Wea. Rev. ,2001 ,129:1370 - 1394.
- [29] Wang Y. Vortex Rossby wave in a numerically simulated tropical cyclone. Part [J]. J. Atmos. Sci. , 2002 ,59:1213 - 1238.
- [30] Wang Y. Vortex Rossby wave in a numerically simulated tropical cyclone. Part [J]. J. Atmos. Sci. ,2002 ,59:1239 - 1262.
- [31] 余志豪. 台风螺旋雨带——涡旋 Rossby 波[J]. 气象学报,2002 , 60:502 - 507.
- [32] 王鹏云. 台湾岛地形对台风暴雨影响的数值研究[J]. 气候与环境,1998 ,3:235 - 246.
- [33] Wu C - C , Yen T - H , Kuo Y - H. Rainfall simulation associated with typhoon Herb(1996) near Taiwan. Part [J]. Wea. Forecasting , 2002 ,17:1001 - 1015.
- [34] Lin Y - L , Chinao S , Wang T - A. Some common ingredients for heavy orographic rainfall[J]. Wea. Forecasting , 2001 ,16:633 - 660.
- [35] 骆荣宗. 9012 号台风中尺度螺旋雨带与暴雨的观测分析[J]. 热带气象学报,1997 ,13:173 - 179.
- [36] 卢家麟,滕卫平,杜惠良. 9015 号台风登陆后其周围的若干中尺度特征[J]. 热带气象学报,1994 ,10:115 - 121.
- [37] 李江南,王安宇,侯尔滨. 台风 Fitow 降雨的数值预报试验[J]. 热带海洋学报,2004 ,23(1) :16 - 24.
- [38] 林运源,刘艳群,张录青. 强热带风暴“玛莉亚”对韶关大暴雨过程影响的分析[J]. 广东气象,2001 ,(3) :5 - 7.
- [39] 郑庆林,吴军,蒋平. 地形对 9216 号台风暴雨增幅影响的数值研究[J]. 南京气象学院学报,1996 ,19:8 - 17.
- [40] 郑庆林,吴军,蒋平. 我国东南海岸线分布对 9216 号台风暴雨增幅影响的数值研究[J]. 热带气象学报,1996 ,12:304 - 313.
- [41] 严永和. 9908 号台风强降水分析[J]. 广东气象,2000 ,(3) :31 - 35.
- [42] 斯可望. 暴雨和强对流环流系统[M]. 北京:气象出版社,1990 , 128.
- [43] 党人庆,江敦春. 台风降水的数值模拟和中尺度结构[A]. 85 - 906 项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册)[C],北京:气象出版社,1996. 145 - 149.
- [44] 江敦春,党人庆. 台风暴雨中尺度结构的数值研究[A]. 85 - 906 项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第四分册)[C],北京:气象出版社,1996,143 - 144.
- [45] 沈树勤. 台风前部的龙卷[A]. 台风委员会. 热带气旋科学讨论会文集[C],北京:气象出版社,1999. 109 - 111.
- [46] 范永祥. 台风现场科学业务试验综述[A]. 85 - 906 项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(一)[C]. 北京:气象出版社,1996,1 - 4.
- [47] Cheng Zhaohui , Kang Di , Chen Lianshou , et al. Interaction between tropical cyclone and Meiyu front [J]. Acta Meteorologica Sinica , 1999 ,13:35 - 46.
- [48] 徐海明. 9106 号台风的热力作用对出梅影响的数值研究[J]. 热带气象学报,1994 ,10:231 - 237.
- [49] 雷小途,陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究[J]. 气象学报,2001 ,59:602 - 609.
- [50] 刘还珠. 台风暴雨天气预报的现状和展望[J]. 气象,1998 ,24 (7) :5 - 9.

## PROGRESS IN THE STUDY OF TYPHOON RAINSTORM IN RECENT TEN YEARS

LI Jiang-nan<sup>1</sup> , GONG Zhi-peng<sup>2</sup> , WANG An-yu<sup>1</sup> , KU Chi-meng<sup>3</sup>

(1. Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Zhuhai Meteorological Bureau, Zhuhai 519075, China; 3. Macao Geophysical and Meteorological Bureau, Macao, China)

**Abstract :** A series of studies on typhoon were carried out at home and abroad in recent ten years. A brief description is made on major progress in typhoon rainstorm research: higher and lower troposphere jets have a strong impact on long-range typhoon rainstorm; Vortex Rossby waves theory and inertia-gravity waves theory are the two main different viewpoints about the formation of spiral rain bands; Different surface characters such as terrain and coastline have different actions on typhoon rainstorm; Abnormity distribution of typhoon rainstorm may occur; Typhoon system may trigger rainfall at mid-latitude areas but may also intermit mei-yu. Some questions which exist at present are discussed, for instance, source and sink in mesoscale typhoon rainstorm system, formation theory of spiral bands, abnormity distribution mechanism of typhoon rainstorm and quantitative forecast of typhoon rainfall, etc. .

**Key words :** Typhoon; Rainstorm