文章编号: 1004-4965(2009)01-0022-07

台风"艾利"降水的非对称结构分析

吕梅¹, 邹力¹, 姚鸣明², 王学忠¹, 黄小刚¹

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

摘 要:利用 NASA 提供的热带测雨卫星 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)的高分辨率资料分析了 2004 年台风"艾利"降水的结构特征,发现在不同发展阶段其特征存在着很大的不同。为了分析产生降水非对称的原因,又利用 NCEP(the National Centers for Environmental Prediction)再分析资料计算了垂直积分的水汽通量矢量。结果表明,本次过程由于伴随着双台风特有的环流形势,其北侧的偏东气流和南侧的西南气流对水汽输送的作用,在台风"艾利"发展的不同时期存在很大的不同,形成了这次台风过程特有的水汽来源特点。台风对流强降水区、水汽通量最大区和强上升运动区三者的分布在台风不同发展阶段存在着较大的差异,正是水汽通量和垂直运动的非均匀分布才造成这次台风降水的非对称分布。

关 键 词:台风降水; TRMM; 水汽通量矢量; 非对称结构 中图分类号: P444 **文献标识码**: A

1 引 言

台风是破坏性极强的天气系统,伴随台风而来 的常常是强烈的天气变化,如狂风、暴雨、巨浪、 风暴潮和龙卷风等等。因此台风是主要的灾害性天 气系统之一。但在另一方面,其带来的雨水对久旱、 酷热地区无疑也有缓解旱情和暑热的作用。

过去十几年中,在台风暴雨、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^[1]。关于台风非对称结构研 究方面,利用准地转正压模式讨论了中小尺度涡旋 与台风的相互作用,β效应可造成热带气旋的非对 称结构^[2];台风非对称结构与台风移动路径之间的 关系^[3];环境流场和温度场的不对称分布与台风暴 雨的关系^[4]。

但是,由于海上观测资料的缺乏,以及降水时 空分布的不连续性,降水资料成为最难获取的资料 之一^[5],所以定量分析台风的结构以及发生发展机 制的研究还很不成熟。为解决这一问题,近年来卫 星遥感资料和雷达资料得到广泛的研究和应用。热 带降雨测量卫星(TRMM)是由美国 NASA 和日本宇 宙开发事业团在 1995 年联合研制成功,1997 年 11 月发射的,第一次用于量化测量热带降雨的空间卫 星计划,目的是更多地了解热带降雨对全球气候系 统的影响^[6]。TRMM 卫星资料在热带降水的测量、 降水预报准确率的提高、暴雨研究、预报模式的数 据同化、热带海面温度反演、热带气旋的观测等方 面均有较好应用^[7-11]。其中 TRMM PR(降雨雷达 Precipitation Radar)以其能观测三维降雨信息的能 力,在各种星载传感器中成为获取降雨资料的首选 ^[12],最近有学者采用 TRMM 资料讨论垂直风切变 和风暴运动对热带气旋降水非对称结构的影响^[13]。

本文拟采用TRMM高分辨率观测资料分析研究 2004年台风"艾利"(AERE)的演变过程,特别是台 风降水的非对称结构。为了进一步了解产生台风降 水非对称结构的原因,利用NCEP再分析资料,计 算垂直积分的水汽通量矢量,从水汽输送和垂直速 度两方面进行深入分析。

收稿日期: 2007-09-09;修订日期: 2008-08-08

通讯作者: 吕梅, 女, 江苏省人, 副教授, 主要从事中尺度系统的分析研究。E-mail: lumeicn@126.com

2 资料介绍和计算方法

TRMM 卫星上的微波成像 TMI(TRMM Microwave Image)的观测目的是海上降雨强度,它 扫描宽度为 760 km,有 5 个观测频率,其中频率为 85.5 GHz 的水平分辨率为 4.4 km,它是专门为探 测中小尺度的对流性降雨而设计的。由云雾物理理 论^[14]可知,中小尺度强对流系统中较强的上升气流 使其上部的冰晶层随着雨强的增加而变得深厚,所 以 85.5 GHz 微波遥感的最大优点是可以测量对流 云产生的强降水,但对上部无冰晶层的连续性降水 不敏感。PR 是气象卫星上第一个主动遥感仪, TRMM PR 的扫描宽度为 220 km,其星下点的水平 分辨率为 4.3 km、垂直分辨率为 250 m,垂直探测 高度自地表至 20 km高,它对降水的探测能力优于 以往的卫星被动遥感方法^[15]。

本文使用 TRMM 标准资料有 2A25、1B11、2A12 资料,分别来自 TRMM PR、TMI 的探测和反演。 2A25 是逐条轨道上的降水率(单位: mm/h),还提供 了降水类型的信息。1B11 是经过标定后的各通道亮 温数据,2A12 是由 1B11 资料根据 TMI 廓线算法 (2A12 算法)得到的垂直方向上水汽凝结物数量、地 表雨强。

本文还使用了NCEP的GRIB格式再分析资料, 水平格距为1°×1°, 垂直方向为26层(1000、975、 950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、 500、450、400、350、300、250、200、150、100、70、 50、30、20、10 hPa)。一天 4 个时次(00时、06时、12 时、18时)。

垂直积分的水汽通量矢量的计算公式,

$$Q = Q_{\lambda} \vec{i} + Q_{\phi} \vec{j} ,$$

$$Q_{I} = 1/g \int_{P_{a}}^{300} gu \, dp ,$$

$$Q_{f} = 1/g \int_{q}^{300} qv \, dp ,$$

其中 λ 是经度, φ 是纬度, P_s 是地面气压, u、v 分别是纬向风和经向风, q 为比湿。

3 台风"艾利"过程概况

2004 年台风"艾利"生成在关岛以西洋面,8 月 20 日发展为热带风暴,22 日加强为台风,最强 时中心最低气压为 960 hPa,中心最大风速为 40 m/s(13 级风)。25 日 08 时 30 分 UTC,台风"艾利" 在福建省福清市高山镇登陆,登陆时风速 36 m/s, 风力 12 级以上。25 日 13 时 30 分 UTC"艾利"在 福建省石狮市再次登陆,穿过厦门、漳州后逐渐减 弱为热带风暴。25 日 18 时 30 分 UTC"艾利"在龙 海市港尾镇第三次登陆,随后往西向广东方向移动 (图 1),并减弱为热带低压(表 1)。



图1 "艾利"(AERE, 西侧)和"佳芭"(CHABA, 东侧)路径 数字为日和时(世界时),圆点为中心位置,相邻圆点时间间隔6h,深色黑点为数字对应时刻的中心位置,浅色圆点为其他时刻中心位置,线条表示台风路径。小图中字母分别表示:FQ福清,SS石狮,XM厦门,ZZ漳州,LH龙海,TR拓荣,FD福鼎。大图中字母表示:WK威克岛。

表1 台风"艾利"的生命史

时间/UTC	海平面中心	最大风速	纬度	经度	tele tre
	气压/ hPa	/(m/s)	/ °N	/ °E	等级
20日00时	996	18	13.6	135.1	热带风暴
21日00时	985	25	17.5	134.0	热带风暴
22日00时	980	33	20.2	129.8	台风
23日00时	975	35	22.9	126.2	台风
24日00时	960	40	24.9	123.9	台风
25日00时	960	40	25.4	121.5	台风
26日00时	985	20	23.8	117.2	热带风暴
26日18时	995	15	23.4	114.4	热带低压

这次台风还带来高强度的降雨,福建沿海各市 县普降暴雨到大暴雨,局部地区降特大暴雨。福鼎 市降雨量达568 mm,柘荣县青岚水库日降雨量达 504 mm。由此可见,虽然这次台风只是中等强度, 且登陆后迅速减弱,但却带来了暴雨并造成灾害, 从下面的分析中可以看到,这与丰沛的水汽输送及 台风的结构有关。

台风"艾利"的生成、发展过程中,由于受到 台风"佳芭"(CHABA)的影响,形成双台风态势, 图1为"艾利"和"佳芭"移动路径。"佳芭"2004 年8月19日在威克岛西南方海面上生成,台风盛期的 中心气压为912 hPa,中心最大风速为55 m/s(16级 风),8月31日减弱为热带低压。

4 台风"艾利"降水结构特征的分析

4.1 降水特征的水平分布

图2是利用TRMM资料TMI 2A12所获得的6个时次的地表降水率分布。分析台风系统中的中小尺度结构及降水的细致特征,须有高分辨率的资料。由于TMI比PR的扫描宽度要大得多,它的扫描宽度能包含台风的范围,所以我们使用TMI降水资料。

图 2a 所示"艾利" 2004 年 8 月 20 日 10:34 UTC 地表雨强分布,此时"艾利"处于初始阶段,中心 气压为 992 hPa,最大风速为 18 m/s,属于热带风暴。 图中可见降水呈分散、零星状态,强度弱,螺旋雨 带不清楚。图 2b 是 22 日 02:08 UTC,此时"艾利" 处于发展阶段,中心气压为 980 hPa,最大风速为 33 m/s, 已加强为台风, 逆时针的螺旋雨带只在台风 的南部发展旺盛,雨带呈现非对称特征。图 2c 是 23 日 09:23 UTC 的地表雨强分布,此时"艾利"的 中心气压为 975 hPa, 最大风速为 35 m/s, 降水范围 比起前一时次明显扩大,图中显现出整个强降水区 的非均匀分布和强度对比,螺旋雨带清晰可见。图 2d和 2e是 24日的两个时次,此时"艾利"发展到 极盛期,中心气压为 960 hPa,最大风速为 40 m/s, 成熟期的螺旋雨带结构紧密,近似成圆弧形,降水 结构的非对称性程度降低。图 2f 为 26 日 08:12 UTC 的地表雨强分布,"艾利"的中心气压为 985 hPa, 最大风速为 20 m/s,已减弱为热带风暴,地表雨强 大幅减少,台风降水特征已不明显。

在围绕眼区云墙处的降水强度在台风发展的不同阶段存在很大的差异。当"艾利"未达台风强度时(图 2a),台风眼区和云墙结构不清晰;在台风发展初期(图 2b),出现台风眼区结构,云墙处的降水率较小;台风发展盛期(图 2c、2d、2e),沿着云墙出现强降水分布,图中红(深)色为降水率大值区,30 mm/h的强降水沿着云墙,呈现非对称特征,即对流发展的程度沿着云墙是不均匀分布的。

雨强的大小与亮温呈明显的负相关,特别是当 雨强达到或超过 7 mm/h 时相关程度非常显著^[16]。 从云雾物理的角度,层状云降水的雨强一般很少有 可能达到 7 mm/h 以上, 7 mm/h 以上的降水基本上 代表了对流性强降水。图 3 是 TRMM/TMI-85.5 GHz 微波图像,能很好地表示对流云产生的强降水特征。 在图 3a 中,虽然此时从流场上看(图略)"艾利"已 加强为台风,但亮温图上眼部(亮温高值区)及云墙 (亮温低值区)的特征不明显,亮温低值区出现在台 风南部的螺旋雨带中,与图 2b 降水率大值区相对 应,表明此处的降水主要是对流性降水。从图 3b 中可见,沿着云墙的位置是亮温低值区,表明云墙 中强对流降水十分明显,而且东部云墙处的对流降 水更强。与台风的螺旋雨带对应的是一条条亮温低 值带,结构清晰、细致,台风眼区呈现圆形(与亮温 高值区对应)。

4.2 降水的三维结构分析

利用TRMM卫星/PR提供的降水资料,可以精确 了解台风暴雨的三维结构及暴雨的分布形式。但由 于PR扫描宽度只有220 km远小于TMI的扫描宽度 780 km,所以只能看到位于TMI轨道中间部分的降 水情况。

图 4 是台风暴雨的三维结构,图 4a 为 2004 年 8 月 20 日 10:34 UTC,与图 2a 对应,此时的阈值取 为 6.0 mm/h,表明降水基本上是层状云降水,对流 没有得到发展。

在"艾利"加强为台风的初期(图 4b, 阈值为 10.0 mm/h),所有的降水塔密集且旺盛,连成一片, 分布在台风西南方的台风螺旋雨带(由于扫描范围 有限,只能见到一部分),沿着云墙的降水塔未有出 现,与图 2b 对应较好。在台风发展盛期(图 4c,阈 值为10.0 mm/h), 台风眼区是晴空, 没有对流单体。 云墙区是发展旺盛的暴雨单体,顶部为一个个小的 塔状结构,眼区的东部,对流发展强烈,它们紧密 地连成一片、高度基本一致;眼区的西部,暴雨单 体之间充满间隙,雨带的螺旋结构十分清楚。随着 阈值的加大(图略),东部对流单体仍旧连成一体; 西部则更加分散、孤立,间隙加大。螺旋雨带区降 水带由多个降水塔组成,这些降水塔虽然底部连在 一起,但在顶部却是分开的,螺旋云带区是台风热 量的垂直输送区及位能转换为动能的重要地区,即 它是台风发展所需热量、动能的供给区,此处的对 流带发展也很旺盛,由于 PR 的扫描宽度有限,我 们不能看到所有对流带的全貌。

随着"艾利"的减弱(图4d,阈值取为6.0 mm/h), 降水性质又变为以层状云降水为主。



图 2 地表雨强(降水率)分布图1)

a. 2004 年 8 月 20 日 10:34 UTC Orbit Number : 38552 Area: 10.2 ~ 24.6 °N 128.0 ~ 140.9 °E; b. 2004 年 8 月 22 日 02:08 UTC Orbit Number : 38578 Area: 14.7 ~ 26.9 °N 122.8 ~ 136.8 °E; c. 2004 年 8 月 23 日 09:23 UTC Orbit Number : 38598 Area: 16.6 ~ 28.6 °N 119.5 ~ 130.3 °E; d. 2004 年 8 月 24 日 01:54 UTC Orbit Number : 38609 Area: 18.9 ~ 30.3 °N 118.5 ~ 129.6 °E; e. 2004 年 8 月 24 日 08:27 UTC Orbit Number : 38613 Area: 19.9 ~ 30.5 °N 118.1 ~ 129.0 °E; f. 2004 年 8 月 26 日 08:12 UTC Orbit Number : 38644 Area: 16.1 ~ 28.8 °N 110.6 ~ 125.3 °E。



图 3 TRMM/TMI-85.5 GHz 微波图像

a. 2004 年 8 月 22 日 02:08 UTC; b. 2004 年 8 月 24 日 08:27 UTC。



¹⁾ 图 2、图 3 和图 4 均采用 TSDIS Orbit Viewer 绘图软件绘制。

5 台风降水非对称原因的初步分析

水汽是形成降水的最基本的条件之一,台风暴 雨的维持,必须有水汽的明显集中以提供源源不断 的水汽供应,而水汽的输送和降水的产生又离不开 流场的作用。下面从水汽输送和垂直速度两方面进 行分析,探讨产生台风降水非对称结构的原因。

图 5 所示台风区域水汽通量矢量,在"艾利" 处于热带风暴期(20 日 00 UTC,图 5a),水汽输送 的大值区在"艾利"的南部及东南部,1100 kg/(m·s) 大值中心在其东南部,水汽输送主要是由来自"艾 利"的南部的西南气流,其北侧有一个相对大值中 心,从前面分析也看到此阶段"艾利"的降水不大(图 2a)。在"艾利"加强为台风初期(22 日 06 UTC, 图 5b), 水汽输送仍来自于南海的西南气流; 其北侧有 一个大值中心,与双台风形势有关,双台风北侧的 东偏南气流的输送起了作用。此阶段"艾利"的降 水开始加大,主要出现在其南部(图 2b),需要指出 的是此时水汽通量最大区与强对流降水区并不吻 合。同时也看到台风"佳芭"水汽输送来源于其南 部的偏南气流和东部的偏东气流。在"艾利"达到 极盛时期(24 日 06 UTC,图 5c),此时水汽输送的 强度明显加大,来自于南海的西南气流对水汽的输 送十分明显,台风降水也十分强劲(图 2e)。围绕台 风中心是 2 100~2 400 kg/(m·s)的大值带,其分布同 图 3b 中的围绕台风眼的亮温低值带、图 4c 中云墙 区的带状降水塔及图 2d 及图 2e 中围绕眼部降水率 的大值带相一致,即水汽通量最大区与强对流降水 区吻合。此时"佳芭"在发展中,西南气流对水汽 的输送仍起到很重要的作用。由于地面摩擦等作用, "艾利"在登陆后减弱为热带风暴,由于来自偏西 气流的水汽输送仍然很强(图 5d), 使"艾利"本身 蕴藏着丰沛的水汽,加之其沿着海岸线移动,以致 "艾利"登陆后仍能产生较大的暴雨和洪涝。此时

"佳芭"的水汽主要来源于南海的西南气流,强度 进一步加强。26日12 UTC 以后,"艾利"进一步 减弱为热带低压,水汽通量降到 600 kg/(m·s)以下 (图略)。"艾利"东部的"佳芭"已发展壮大。

总而言之,在"艾利"发展的不同阶段,产生 台风降水的水汽来源不同。在"艾利"处于热带风 暴时期,水汽主要来源于其南部热带地区的西南气 流;在加强为台风的初期,水汽主要来源于其北部 的东南气流,南海地区的偏西气流对水汽的输送也 有一定的作用,水汽通量最大区与强对流降水区并 不吻合;极盛时期的"艾利",水汽主要来源于南 海地区的偏西气流中,水汽通量最大区与强对流降 水区吻合;在"艾利"登陆后南海地区的偏西气流 对水汽的输送仍然十分明显。

需要指出的是,这是一次双台风过程,但由于 两台风中心之间的距离超过1200 km(图1),"藤原 效应"并不是十分显著,没有造成台风路径明显的 改变。但是对"艾利"的降水结构还是产生了一定 影响,如"艾利"北部水汽大值区的存在与一般单 个台风系统的水汽输送分布不同,由于双台风态势 形成了其北侧的强劲的偏东南气流的输送作用。北 侧偏东南气流的作用在下面垂直速度分布图中也可 得到验证。

图 6 所示 500 hPa 高度上垂直速度分布,在"艾 利"加强为台风的初期(图 6a),强上升运动区位于 "艾利"中心的西南部,对应于较强的对流降水区 (图 2b、4b),没有形成完整的眼部和云墙。强盛时 的"艾利"(图 6b),与眼区对应的是微弱的下沉运 动, 围绕眼区的是上升运动的大值区, 垂直速度明 显加大, 且上升运动的分布是非对称的, 此时上升 运动的大值带位于台风中心的东南、东及北部,与 水汽通量矢量的分布完全一致, 台风眼及云墙结构 十分清晰(图略)。到了 24 日 06 UTC(图 6c),随着双 台风北侧偏东气流辐合的进一步加大, -1.2 Pa/s 的 大值中心位于台风中心的北部,整个上升运动大值 带的分布与水汽通量大值区和强对流降水区吻合 (图 4c、5c)。25 日 00 UTC, "艾利"的垂直运动开 始减弱,与眼部对应的晴空或弱下沉气流已不存在 (图略)。当"艾利"减弱为热带风暴以后(图 6d), 与台风系统对应的是一个-0.4 Pa/s 的上升运动区, 强度和范围明显减小。由此可见, 台风系统中的垂 直运动与其降水有着很好的对应关系,其非对称的 特征同样在台风发展的不同阶段表现的不一样。

通过以上分析可知,可能是由于"艾利"不同 发展阶段水汽来源的不同和双台风效应,造成了"艾 利"降水这种特有的非对称结构,至于具体的机理 还有待于作进一步的研究。



6 结 语

本文利用 NASA 提供的热带测雨卫星(TRMM) 的高分辨率资料和 NCEP 再分析资料分析了 2004

年台风"艾利"降水的结构特征,发现在不同发展 阶段其特征存在着很大的不同。

(1) TRMM 的 TMI 2A12 地表降水率和 TMI-85.5 GHz 微波图像的分析结果表明:对于台风 系统来说,用高分辨率的资料,能很好地分析其降 水的细致特征,强降水的分布在"艾利"的发展过 程中呈现出非对称特征;亮温图上可见到清晰的台 风眼和云墙处对流的发展强度,据此可以判断台风 发展程度。

(2)利用 TRMM 卫星/PR2A25 提供的高水平和 垂直分辨率的降水资料,精确得到在不同发展阶段 台风暴雨的三维结构。

(3)本次过程由于伴随着双台风特有的环流形势,其北侧的偏东气流和南侧的西南气流对水汽输

参考文献:

- [1] 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(3): 420-432.
- [2] LUO Zhexian. Effect of smaller vortices in the pheripheral region on typhoon structure[J]. Adva Atmos Sci, 2001, 18(2): 299-306.
- [3] 袁金南, 万齐林. 台风玛姬(9903)数值模拟试验[J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 317-322.
- [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] 丁伟钰,陈子通.利用TRMM资料分析2002年登陆广东的热带气旋降水分布特征[J].应用气象学报,2004,15(4):436-444.
- [6] KUMMEROW C, BARNES W, KOZU T. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package[J]. J Atmos Oceanic Tech, 1998, 15: 809-817.
- [7] CHIUL S, LIU Z, VONGSAARD J, et al. Comparison of TRMM and water district rain rates over New Mexico[J]. Adva Atmos Sci, 2006, 23(1): 1-13.
- [8] 牛晓蕾,李万彪,朱元竞.TRMM资料分析热带气旋的降水与水汽、潜热的关系[J]. 热带气象学报,2006,22(3):229-236.
- [9] KUMMEROW C, SIMPSON J, THIELE O, et al. The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit[J]. J Appl Meteor, 2000, 39(12): 1 965-1 982.
- [10] VICENTE G A, ANDERSON J R. A new rain retrieval technique that combines geosynchronous IR and MW polar orbit data for hourly rainfall estimates. Case Study: Kwajalein and TOGA-COARE[C]. Prepr 7th Conf Satellite Meteorology and Oceanography, AMS, 1994: 34-37.
- [11] BARROS A P, JOSHI M, PUTKONEN J, et al. A study of the 1999 monsoon rainfall in a mountainous region in central Nepal Using TRMM products and rain gauge observations[J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27(22): 3 683-3 686.
- [12] SHIN D B, CHIU L S, KAFATOS M. Comparison of the monthly precipitation derived from the TRMM satellite[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(5): 791-798.
- [13] SHUYI S CHEN, JOHN A KNAFF, FRANK D MARKS Jr. Effects of vertical wind shear and storm motion on tropical cyclone rainfall asymmetries deduced from TRMM[J]. Mon Wea Rev, 2006, 134(11): 3 190-3 208.
- [14] 梅森 B J. 云物理学[M]. 中国科学院大气物理研究所译. 北京:科学出版社, 1978: 325-341.
- [15] AWAKA J, IGUCHI T, OKAMOTO K. Early results on rain type classification by tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation radar[J]. Pro.8th U RSI commission F Open Symp, Averior, Portugal, 1998: 134-146.
- [16] 吕艳彬,顾雷,李亚萍,等.用华南暴雨试验雨量资料对TRMM/TMI-85.5 GHz测雨能力的考察[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 251-257.

ANALYSIS OF ASYMMETRICAL STRUCTURE OF PRECIPITATION IN TYPHOON AERES

LV Mei¹, ZOU Li¹, YAO Ming-ming², WANG Xue-zhong¹, HUANG Xiao-gang¹

(1. PLAUST, Meteorology Institute, Nanjing 211101, China; 2. National Meteorology Centre, Beijing 100081, China)

Abstract: In this paper, high-resolution data of TRMM are used, which are provided by NASA, and the structural characteristics of precipitation of typhoon AERE(2004) is analyzed, which shows that its characteristics are very different at various phases. In order to analyze the asymmetrical causation of precipitation distribution, NCEP reanalysis data are used to calculate water vapor flux vector of the vertical integration. Results show that, in this process, there is a specific circulating current accompanying with twin typhoons, the easterly air current north of them and southwesterly air current south of them are transporting water vapor, its transport effects are very different at vary evolution stages of AERE, to contribute to the peculiarity of water source for this process of typhoon. The distribution of a strong convective precipitation area different development stages and it is the non-uniform distribution of water vapor flux and vertical motion that brings about unsymmetrical distribution of typhoon precipitation.

Key words: typhoon precipitation; TRMM; water vapor flux vector; asymmetrical structure

送的作用,在"艾利"发展的不同时期存在很大不同,形成了这次台风过程特有的水汽来源特点。

(4) 研究还发现,对流强降水区、水汽通量最 大区和强上升运动区三者的分布在台风不同发展阶 段存在着较大的差异。在"艾利"加强为台风的初 期,对流强降水区位于"艾利"中心的西南部,与 强上升运动区吻合,但与水汽通量最大区并不吻合; 在"艾利"发展到盛期以后,对流强降水区位于"艾 利"中心的东部和北部,三者吻合。