

文章编号: 1004-4965(2010)01-0013-09

利用 GPS Dropsonde 资料研究 “龙王”台风的结构特征

彭犁然, 舒守娟

(南京大学大气科学学院/中尺度灾害性天气教育部重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘 要:“龙王”台风是2005年登陆中国的典型强台风。在海上观测资料较为稀缺的情况下,应用DOTSTAR (Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region)对“龙王”不同发展时段的两次GPS Dropsonde 观测资料,对其动力、热力及非对称结构的变化情况进行分析。结果表明,第二次观测到的“龙王”无论在动力结构还是在热力结构上都较第一次观测有所发展,显示“龙王”强度压缩增强。进一步研究表明,环境垂直风切变是造成台风结构不对称分布的主要原因,较大的垂直风切变不但导致台风产生明显的非对称性结构,而且不利于台风的进一步增强。

关 键 词: 台风; 结构特征; 观测分析; 下投式探空仪

中图分类号: P444

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.01.003

1 引 言

长期以来,人们对于台风结构或强度的研究一直受限于观测资料的匮乏。由于台风生命史的大部分时间在海上,在卫星观测技术发展之前,对于台风的记载只能停留在台风登陆以及登陆后的发展过程。近年对热带气旋强度和结构的研究主要集中在大西洋和东北太平洋。相比之下,对于强度最强、发生频率最多的西北太平洋^[1]台风的观测研究工作则极为缺乏。

Marks等^[2]以及Elsberry等^[3]指出,能否对台风降雨做出预警取决于能否对台风的强度进行精确的预报。美国国家飓风中心对于强度增长较为缓慢的飓风有较好的预报水平^[4],然而对于强度突变的飓风强度预报还存在很大问题,对强度变化过程中的飓风结构的演变也缺乏足够的了解^[5]。早在1977年, Frank^[6]利用10年的无线电探空测风仪资料,描述出西北太平洋台风的典型结构特征——成熟台风在高层具有暖心结构,在对流层中低层存在气旋式环流,在对流层高层为反气旋式环流等。Kepert^[7]对热

带气旋Georges(1998)的边界层风特性进行研究,发现Georges边界层的动力结构存在明显的不对称,其结构在热带气旋发展的不同阶段具有不同的特征。Dodge等^[8]通过比较两个强飓风最强盛时期的垂直结构,发现它们结构上的异同可表征其后发展状况的不同。在西北太平洋上,徐燚等^[9]利用卫星资料及高分辨率数值模拟方法研究了南海台风“尤特”的螺旋结构特征;何洁琳等^[10]利用NCEP再分析资料初步研究了冬季台风“南玛都”的结构特征;其他学者^[11-14]研究了台风登陆后的不对称结构与暴雨或移动的关系,然而由于缺乏实际观测资料,对西北太平洋台风结构的揭示仍然不够充分。

目前,人们对于影响台风强度或结构变化的环境因素已有一定的认识。环境垂直风切变过大被认为是阻止台风增强的重要因素^[15],而当其他高空系统与台风相互作用时,垂直风切的影响变得很复杂^[16]。Frank等^[17-18]通过数值模拟发现,环境垂直风切变能通过激发垂直运动的一波不对称导致TC结构发生不对称,其他学者也有类似的结果^[19]。然而至今为止,这些理论和数值模拟结果还缺乏实际观

收稿日期: 2008-10-20; 修订日期: 2009-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40830958); 国家重点基础研究发展规划项目(973)课题(2009CB421502); 江苏省自然科学基金(BK2008278); 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开放课题(2007LASW02); 上海台风研究基金课题(2008ST05)共同资助

通讯作者: 舒守娟,女,新疆区人,讲师,博士,主要从事中尺度动力学的研究。E-mail: sjshu@nju.edu.cn

测资料的充分验证和支持。

“侵台台风之飞机侦察及下投式探空仪观测试验”(Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region: DOTSTAR)^[20]是近年来西北太平洋最重要的台风下投式探空仪观测。该试验收集的 GPS (global positioning system) Dropsonde 资料为西北太平洋增补了大量的海上探空资料,该资料具有相当好的垂直解析度和精确度,为西北太平洋台风的观测研究及理论验证工作提供了良好的契机。因此,本文充分利用 DOTSTAR 收集的 GPS Dropsonde 资料,对 2005 年登陆中国的强台风“龙王”的动力及热力结构进行分析,为台风进一步的理论研究和数值模拟奠定观测基础。

2 资料介绍和个案简介

2.1 资料介绍

1970—1987 年,美国空军关岛基地的 C-130 飞机负责对西北太平洋台风进行观测。自 1987 年起,美国观测的重点开始转移到东太平洋以及北大西洋。我国台湾地区处于西北太平洋台风的主要移动

路径上,每年台风的侵袭常给我国东南沿海及台湾地区造成巨大破坏^[20]。自 2003 年起, DOTSTAR 观测试验在西北太平洋展开。该试验的主要目的是通过获得台风观测资料,增强对台风动力结构和登陆时中尺度环流的了解。针对即将影响我国的台风,侦察飞机以每架次约 5 小时直接飞到台风外围距台风中心约 250~300 km、高度约 200 hPa (距海表面约 12~13 km) 投掷 GPS Dropsonde。GPS Dropsonde 具有良好的垂直解析度,在掉落过程中每隔 0.5 秒测量一次大气环境的压力、温度、湿度,每个探空仪的观测过程历时约 15~20 分钟。由于携带新型的气压、温度、湿度传感部件, GPS Dropsonde 的探测精度达到较高水平, Hock 等^[21]的研究表明, GPS Dropsonde 的观测准确度远优于其它传统探空仪器。本文所使用的主要数据集正是 DOTSTAR 针对 2005 年第 19 号台风“龙王”观测的 GPS Dropsonde 资料。在“龙王”强度达较强和最强的两次观测时段里, DOTSTAR 分别在台风周围投掷了 13 和 10 枚探空仪,各探空仪的水平分布如图 1 所示。

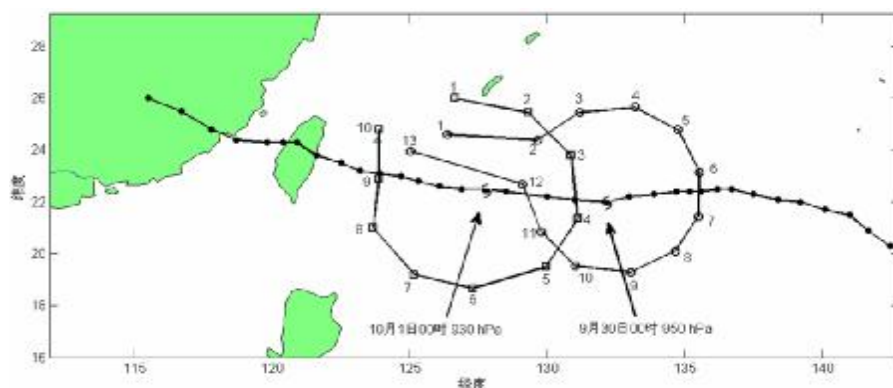


图 1 “龙王”的移动路径和探空仪的水平分布 带实心圆点的实线为每隔 6 h 的台风实际路径,各实心圆点为台风中心位置。飞行观测路线以带空心标志的实线表示(空心圆圈和空心方块实线分别表示第一次和第二次飞行观测),阿拉伯数字代表依次投掷的探空仪编号;●表示观测期间台风中心位置。

本文采用另一个数据集即台风每 6 小时的实际观测(包括中心位置和强度)资料来自于日本气象厅的最佳路径资料。

2.2 “龙王”台风简介

“龙王”台风是 2005 年登陆我国的三个强台风之一。9 月 26 日 08 时(世界时,下同),该台风形成于关岛北方海面。之后基本保持缓慢的西北向移动(图 1),中心气压迅速从 9 月 26 日 12 时的 992 hPa 降至 28 日 06 时的 940 hPa,并维持该气压至 29 日 18 时。30 日 00—08 时,“龙王”中心气压略有上

升,随后再次下降,到 10 月 1 日 00 时其中心气压下降至最低值 930 hPa,并维持到 1 日 15 时。2 日 05 时 15 分,“龙王”在花莲丰滨登陆,当日 20 时台风到达金门以东海面,中心气压增至 999 hPa。

本文用到两次观测时段的 GPS Dropsonde 观测数据。日本气象厅最佳路径资料表明,在第一次观测时段里,“龙王”的中心气压为 950 hPa,处于增强阶段;在第二次观测时段里,“龙王”达到最强,中心气压为 930 hPa,即第二次观测时段的台风强度明显强于第一次观测。

3 “龙王”台风动力及热力结构特征

探空仪在下落过程中被台风风场平移的距离是首先要关心的,因为这直接关系到用探空仪数据观察台风垂直结构的准确程度。图 2 是第二次观测时段内每个探空仪下落过程中相对于台风中心的距离变化,横轴表示东西方向,正值表示东、负值表示西;纵轴表示南北方向,正值为北、负值为南。由图 2 可知,探空仪在南北方向和东西方向上平移的最大距离分别为 13 和 11 km。可见即使“龙王”已达到其生命史中的鼎盛强度,但探空仪在下落过程中的水平平移距离与台风尺度相比仍旧非常微小,而在第一次观测时段,探空仪的水平平移距离更小(图略),因此可视各个探空仪在下落过程中基本维持在一个定点。

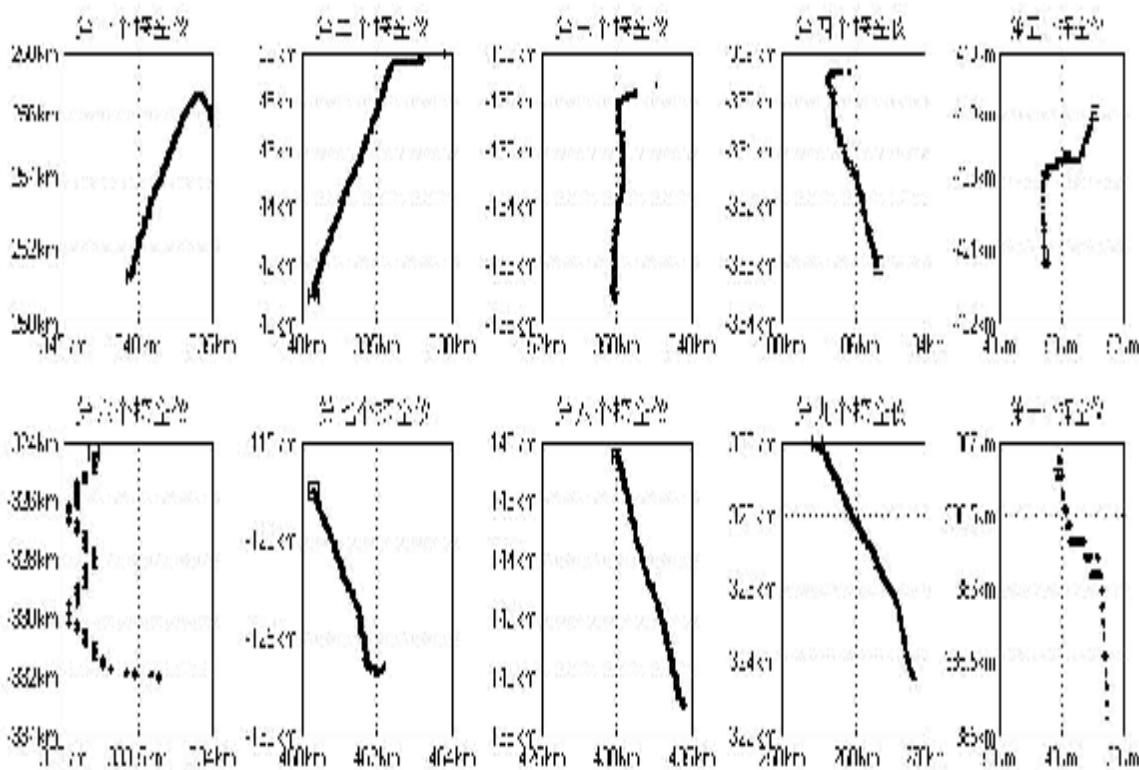


图 2 下投式探空仪掉落过程中相对于台风中心的距离变化

空心方块表示投掷探空仪的起始位置;横坐标的正负分别表示偏东和偏西,纵坐标的正负分别表示偏北和偏南。

由图 3a 可见,“龙王”主要存在两个径向风负极值区(入流中心),分别位于 900~1 000 hPa 和 350~500 hPa,除顶部以外,台风 600 km 之内的整层基本都是入流区。出流区域主要集中在台风近中心的顶部以及台风中下层 600 km 之外的区域。由

3.1 “龙王”两次观测的风场垂直结构比较

鉴于 Dropsonde 资料垂直方向的高分辨率特性,本文以各探空仪距台风中心的距离(km)为横坐标,垂直方向的各气压层(hPa)为纵坐标,将探空仪观测到的分布在各水平格点(x, y)的纬向风和经向风转换到柱坐标中(r, θ)的径向风和切向风,其垂直剖面见图 3。两次观测期间台风的行进速度基本保持不变,所以本文忽略台风行进速度对水平风的影响。由于第一次观测共用到 13 枚探空仪,观测范围为距台风中心 285~806 km 的范围,第二次观测共用到 10 枚探空仪,观测范围为距台风中心 334~485 km 的范围,所以在图 3 所示的切向风和径向风垂直分布中的横坐标(即距离台风中心的距离)并不统一。为了便于对比两次观测的结果,图 3c、3d 采用与第二次观测相同的坐标范围(334~485 km)。

“龙王”第一次观测的切向风垂直分布(图 3b)可见,300 hPa 之上为反气旋式环流,300 hPa 以下为气旋式环流,较强气旋式环流主要分布在 450 km 之内 300 hPa 以下。综合图 3a、3b 可以看出,在距“龙王”台风中心 600 km 内 300 hPa 以下的区域,基本

上都是气旋式入流, 而 300 hPa 以上的顶层则主要是反气旋式流出区域。另外一个明显的流出区集中

在台风中下层 600 km 之外 600 ~ 900 hPa 之间。

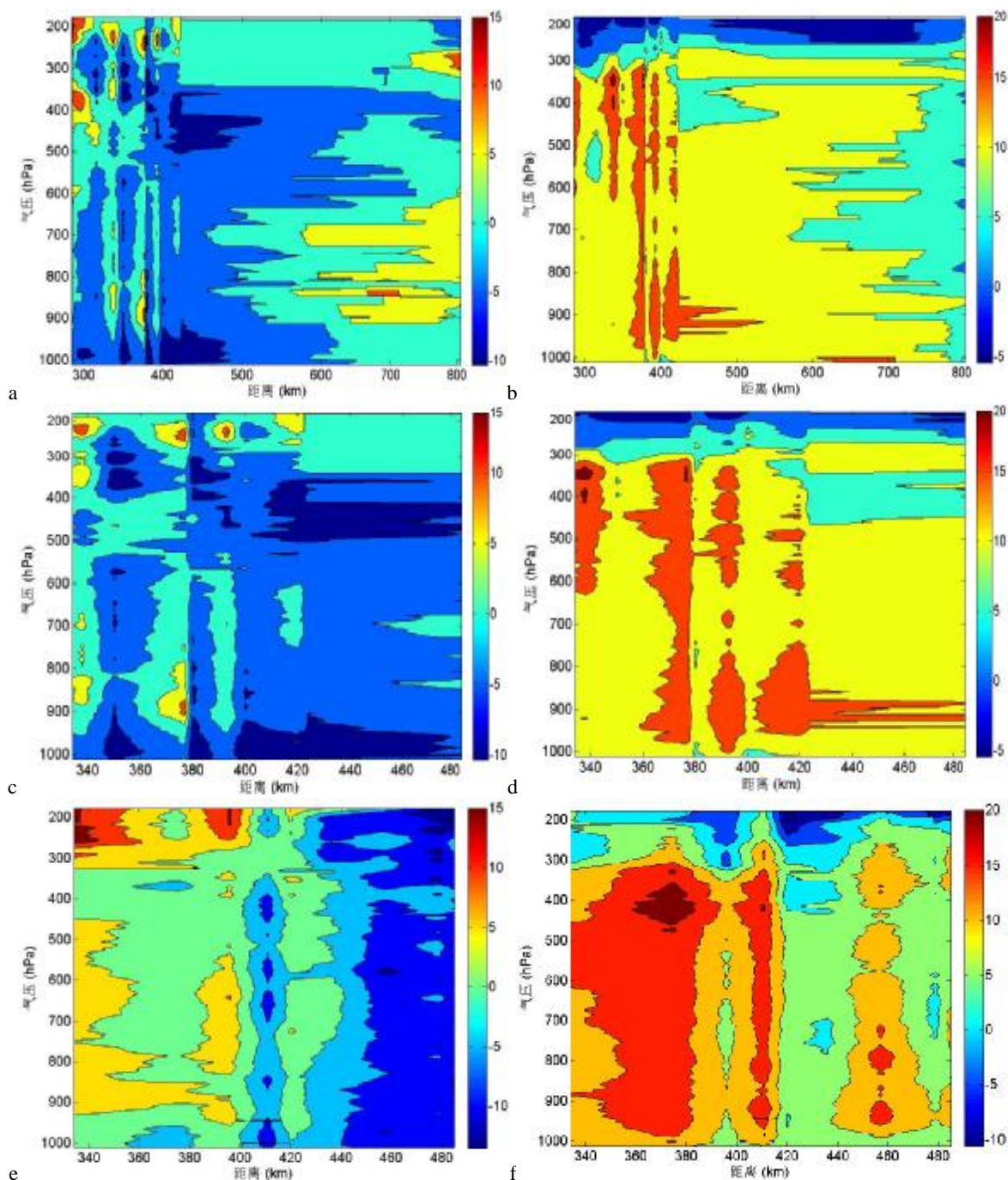


图3 “龙王”台风切向风和径向风垂直剖面 a. 第一次观测径向风 (285 ~ 806 km); b. 第一次观测切向风 (285 ~ 806 km); c. 第一次观测径向风 (334 ~ 485 km); d. 第一次观测切向风 (334 ~ 485 km); e. 第二次观测径向风 (334 ~ 485 km); f. 第二次观测切向风 (334 ~ 485 km)。切向风为正表示气旋式环流, 为负表示反气旋式环流; 径向风为正表示流出, 为负表示入流(下同)。

在对“龙王”台风的第二次观测中可以发现, 相对第一次观测(图3c), “龙王”300 hPa 以上径向风速大值区的水平及垂直伸展范围明显扩大(图3e)。气旋式环流的平均强度和水平范围也较前次观测(图3d)有明显的增强和扩大, 气旋环流

在垂直方向上进一步发展到 200 hPa 高度(图3f)。同时, 高层的反气旋出流的强度也明显增强。由于资料所限无法看到更高层的情况, 估计最强反气旋中心可能会上抬到更高层。

两次观测的结果对比总结见表 1。可见, 在第

二次观测中，“龙王”台风动力场在强度及范围上都有进一步发展，此时“龙王”的动力结构更加接近于西北太平洋成熟台风的经典结构特征^[6]，如底层气旋式入流强度和范围的进一步发展，400 km 之外 200 hPa 以上的顶层形成了较强的反气旋式出流等，该结构变化特征预示着“龙王”将进一步增强。

“龙王”的基本动力结构与西北太平洋成熟台风的结构特征基本一致，除此之外，本文所用的垂直高解析度资料还揭示出台风垂直结构的非对称中

尺度精细结构特征，如在第二次观测中，距“龙王”中心约 410 和 460 km 处均观测到发展较旺盛的中尺度气旋式入流（图 3e、3f），台风的这种精细结构特征是以往粗分辨率资料或合成分析无法揭示的。为了进一步揭示“龙王”台风流场的这种非对称结构特征及其成因，下文重点以第二次观测为主，从东西及南北剖面上分析“龙王”动力结构的垂直分布特征。

表 1 两次观测的台风动力特征比较

观测次数	气旋式环流		反气旋式环流		出流		入流	
	强度/(m/s)	最大水平/垂直范围	强度/(m/s)	最大水平/垂直范围	强度/(m/s)	最大水平/垂直范围	强度/(m/s)	最大水平/垂直范围
第一次	20	340 km 300 hPa	5	400 km 200 hPa	10	340 km 220 hPa 以下	10	< 480 km 300 hPa
第二次	20	385 km 200 hPa	10	> 480 km 200 hPa	15	365 km 200 hPa 以上	15	> 480 km 200 hPa 以上

3.2 “龙王”台风动力非对称结构分析

如上文所述，在“龙王”达到最强时(即第二次观测阶段)，“龙王”内部观测到显著的、发展旺盛的中尺度系统。为了进一步确定这些系统在台风的

何部位发展，下文将各探空仪相对于台风中心的位置分别沿东西和南北方向展开，得到东西及南北方向上要素场相对于台风中心的分布情况(图 4)。

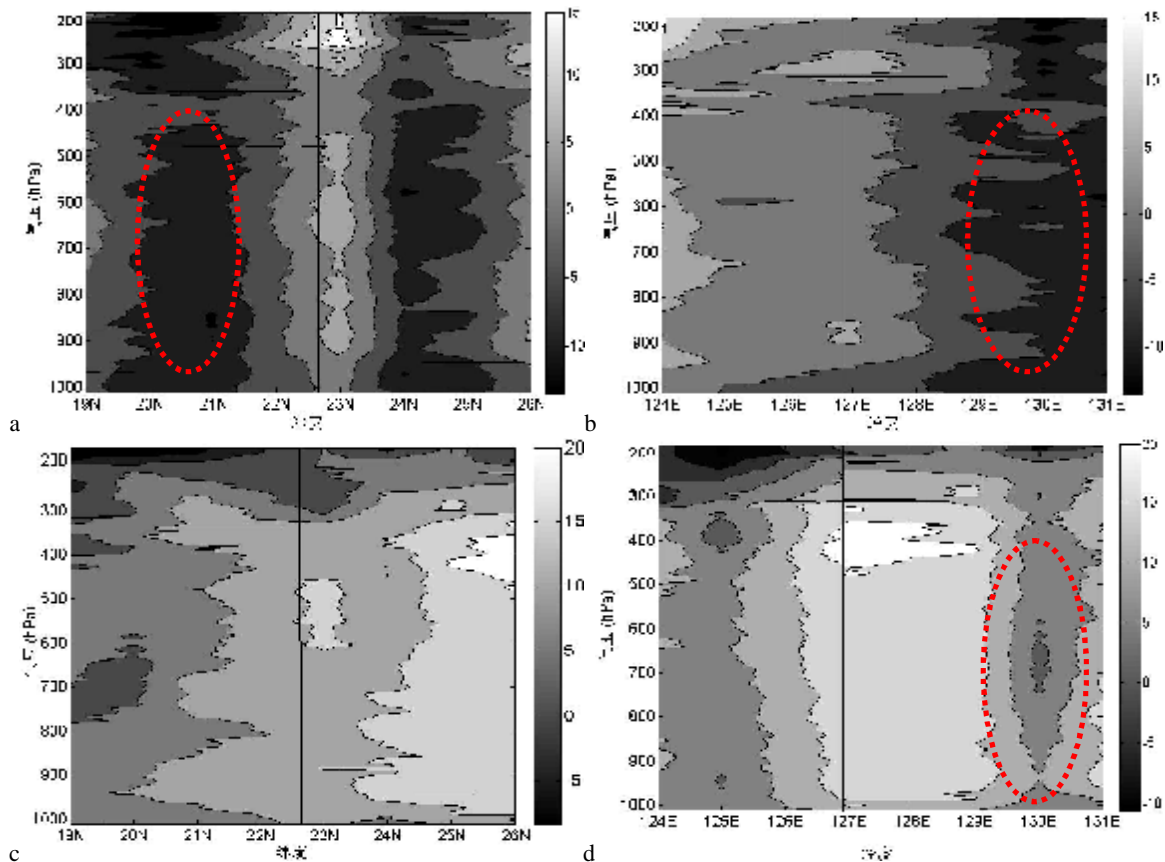


图 4 “龙王”最强时的动力结构的径向风的南北(a)和东西(b)以及切向风的南北(c)和东西(d)分布
黑色直线表示台风中心所在的位置。

第二次观测时,“龙王”台风中心位于 22.6°N , 126.9°E 。由于该次在较小水平范围内投掷了较多探空仪,所以能看到台风内部较为细致的结构。从图 4a、4b 可以看出,台风中心的静风特征比较明显,即 0 m/s 的径向风速区穿过台风中心。另外,除了台风中心的顶层有较强的出流以外,其他部位基本都是入流。较强的大范围入流主要分布在台风中心以南(图 4a);径向风的東西分布也存在明显的不对称特征,较强的入流明显分布在台风中心以东部位(图 4b)。综合图 4a、4b,“龙王”内部较强的入流主要分布在相对于台风中心的东南部位。与第一次观测的径向风(图 5a)相比,此次观测到的同一位置的入流强度和范围大大增强。

“龙王”切向风的南北分布(图 4c)相对于台风中心较为对称,但其东西分布却存在明显的不对称分布特征。从图 4d 东西分布上可以看出,“龙王”气旋式环流占据了 300 hPa 以下的整个区域,较强

的气旋式环流主要分布在台风中心以东($127\sim 129^{\circ}\text{E}$),且与较强入流相对应的 130°E 处,存在一个垂直方向发展良好的次气旋环流中心。综合图 4 可以发现,较强的气旋式入流主要分布在相对于“龙王”台风中心的东南部位(如图中虚圆所标识的区域)。

第一次观测时台风中心位于 22.0°N , 132.1°E 。由图 5a 可看出台风中心以南 $19\sim 23^{\circ}\text{N}$ 范围为主要入流区域。其中,在 $950\sim 1000\text{ hPa}$ 高度上存在入流的极值。出流区域主要集中在 $23\sim 26^{\circ}\text{N}$ 区域内。径向风的東西分布(图略)与切向风的東西分布类似(图 5b),较强的气旋式环流主要分布在台风中心以西。“龙王”第一次观测的综合结果表明,其较强气旋式入流主要分布在台风中心的西南部位(如图中虚圆所标识的区域),而出流主要集中在台风的北侧。

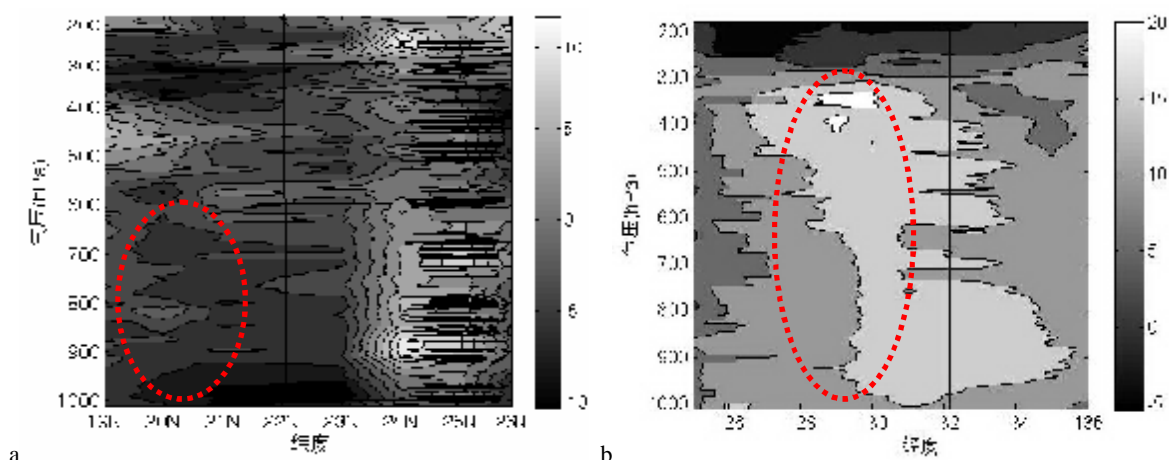


图5 “龙王”台风第一次观测动力结构的径向风的南北(a)及切向风的東西(b)分布 说明同图4。

3.3 “龙王”的热力结构特征及其不对称分布

成熟台风在对流层高层存在一个暖心结构^[6]。图 6 为“龙王”的二维温度距平,温度距平的计算采用各点实测温度值减去第一次观测之该层的平均温度。从图 6a 可以看出,在 $250\sim 300\text{ hPa}$ 之间温度的正距平基本在 $+2^{\circ}\text{C}$,距离台风中心 420 km 内的区域。而图 6b 则揭示,在整个 480 km 内 300 hPa 高度上下出现大范围的正温度距平区,正距平的强度($+3^{\circ}\text{C}$)和范围(水平和垂直)较第一次观测增大许多。与之前“龙王”动力结构的进一步发展相对应,“龙王”对流层高层暖心结构的进一步发展预示了“龙王”强度的进一步增强。

从“龙王”台风第一次观测的相对湿度剖面上(图略)来看,台风底层(850 hPa 以下)为较湿润区域,相对湿度大于 80% ,由于这一层离海平面较近,有充足的水汽供应,成为台风高层水汽的主要来源。往上的相对湿度减小, 400 hPa 以上基本为干燥区,相对湿度小于 30% ,总体上相对湿度的水平扩展范围有随高度逐渐缩小的趋势,该特征维持到第二次观测时,但此时台风底层的相对湿度大值区进一步扩大,台风底层更加湿润,且向上发展到更高的高度。此外,两次观测结果都显示出,台风内部存在着中尺度性质的相对湿度较大区,因此,如前文类似做法,“龙王”两次观测的湿度不对称分

布特征见图 7。从图 7a、7b 可看出，在对“龙王”台风第一次观测时，从台风底层发展起来一个相对湿度较大的中尺度区域，它位于台风中心的西南部，与台风内部强气旋式入流所在区域正好吻合；同样

的，图 7c、7d 的“龙王”第二次观测结果显示，台风内部相对湿度较大区位于台风中心的东南方，这也与之前讨论的较强气旋式入流所在区域及位置也正好吻合（图中虚圆所标识区域）。

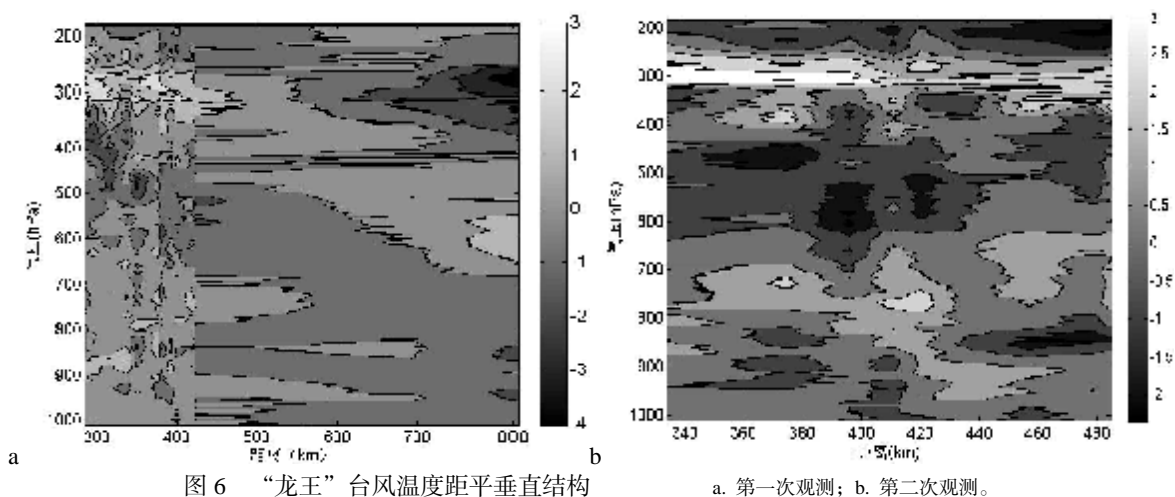


图 6 “龙王”台风温度距平垂直结构 a. 第一次观测；b. 第二次观测。

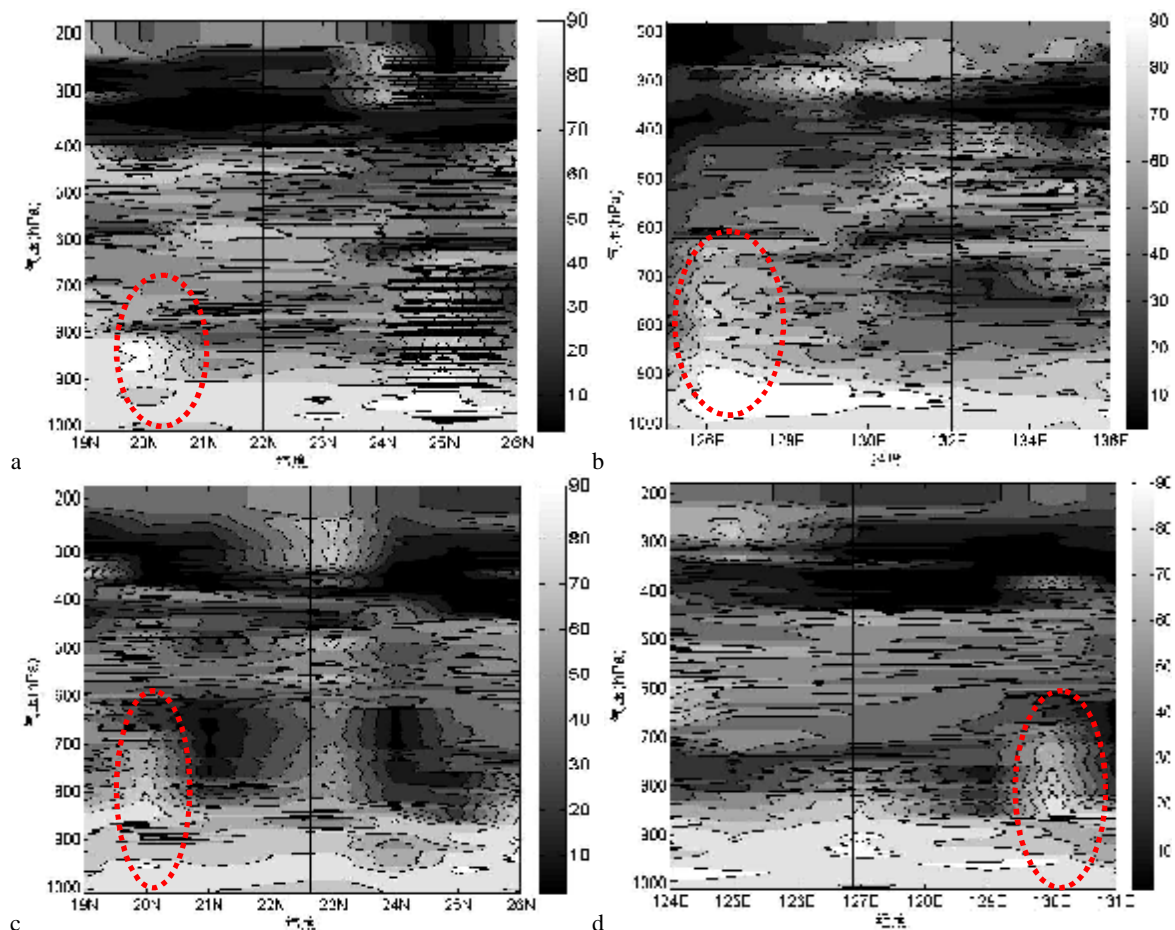


图 7 “龙王”台风相对湿度的第一、二次观测的南北(a、c)和东西(b、d)分布 说明同图 4。

3.4 “龙王”的环境垂直风切变分析
环境水平风速的垂直切变过大被认为是阻止台

风增强的因素^[15]，本文分别计算了 Dropsonde 观测的 500 km 范围内两次观测的环境垂直风切变（以

200 hPa 和 850 hPa 高度上的风速差), 在没有实际探空资料观测处则以 NCEP $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析格点资料代替。结果表明, 第一次观测时的环境垂直风切变指向西略偏北, 切变值为 10.4 m/s。第二次观测时的环境垂直风切变指向东南方向, 切变值为 2.2 m/s。对照 3.2 和 3.3 节中台风结构的非对称分析结果可以发现, 两次环境风垂直切变的方向与台风非对称结构之间有一定的联系。

众多中尺度数值模拟结果表明, 垂直风切变的存在会激发垂直速度场的一波不对称结构, 通常在垂直下风切 (downshear) 的左侧激发出上升运动增强对流, 而在垂直上风切 (upshear) 的右侧激发出下沉气流抑制对流。Wang 等^[19]研究指出, 垂直风切引发的不对称对流分布会影响风暴的运动和结构。Frank 等^[17-18]的数值模拟结果进一步表明, 强的垂直风切使得热带气旋底部下垂直风切方向上产生辐合。从实际观测来看, 第一次观测到的“龙王”环境风垂直切变指向西略偏北, 同时, 非对称分析表明在该方向的左侧即台风中心的西南部位观测到强气旋式入流区域, 相对湿度的不对称分析结果也进一步证实该部位是“龙王”内部相对湿度较大区, 显然, 该部位发展较为旺盛的强螺旋上升气流造成了部分降水, 使得台风中心的西南部形成一个较深厚的相对湿度极大区, 同时潜热释放的作用也加强了那里的高层暖心 (图略); 第二次观测分析结果类似, 指向东南方向的环境垂直风切变的左侧, 强烈发展的气旋式入流的上升运动通过降水过程造成了台风中心东南部的湿润区。这样的观测分析结果印证了以往的理论及数值模拟成果, 即环境垂直风切变和气旋的相互作用使得垂直风切下风方向的左侧激发出上升运动而增强对流, 形成那里的湿润区。可见, 较强环境垂直风切变不但会影响台风的非对称结构, 而且还会影响到台风的强度, 这从“龙王”达最强时所对应的较弱垂直风切变 (2.2 m/s) 得到部分印证, 而弱的环境垂直风切变一方面有利于台风的进一步增强, 另一方面也影响到台风的非对称结构特征 (如上面对“龙王”第二次观测结果的分

析)。

4 总 结

本文利用高精确度的 GPS Dropsonde 观测资料, 分析了“龙王”台风在两个不同发展时段的动力及热力结构差异。同时, 用该高垂直解析度探空资料揭示了以往研究所无法揭示的台风精细非对称结构特征, 并验证了以往的理论 and 数值模拟结果。

(1) 第二次观测 (即“龙王”强度鼎盛时期) 时, “龙王”在气旋式入流的强度和范围、高层暖心的强度和范围、相对湿度的范围等方面均较第一次观测 (“龙王”未达最强时) 明显增强和扩大, 并且台风环流顶层的反气旋出流也进一步增强和伸展。这种底层逐渐增强的气旋式入流和高层逐渐发展的反气旋出流的配置, 及与之相应的进一步发展的暖心结构更加接近于经典的西北太平洋成熟热带气旋的典型结构特征, “龙王”这种动力和热力结构的进一步发展预示着它的进一步增强。

(2) 第二次观测的垂直风切变小于第一次观测, 垂直风切变减小有利于“龙王”在第二时段中的进一步增强。另一方面, 研究表明环境垂直风切变是造成“龙王”显著动力及热力不对称结构的重要原因。垂直风切变通过诱发垂直下风切左侧的强上升运动而导致那里形成高层暖心和底层高湿区, 即使是弱的垂直风切 (第二次观测时) 也能造成台风显著的非对称结构。本文从观测分析的角度验证了以往的理论 and 数值模拟结果, 但该理论和数值模拟成果还需要更多的个例进一步验证。

本文只对“龙王”台风一个个例进行分析, 其他台风是否同样具有上述特征还需进一步验证; 至于造成不同阶段台风结构和强度差异的物理机制也需要未来更深入地研究。

致 谢: 台湾大学大气科学系的周仲岛教授、吴俊杰教授为本文提供了 GPS Dropsonde 原始观测资料, 在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] TONKIN H, HOLLAND G J, HOLBROOK N, et al. An evaluation of thermodynamic estimates of climatological maximum potential tropical cyclones intensity[J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128(3): 746-762.
- [2] MARKS F D, SHAY L K. Landfalling tropical cyclones: Forecast problems and associated research opportunities[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1998, 79(2): 305-323.
- [3] ELSBERRY R L, MARKS JR F D. Hurricane Landfall Workshop report[R/OL]. <http://box.mmm.cuar.edu/uswrp>. [1998-05-01], Tech Note 442, National Center for Atmospheric Research, 1998: 40.
- [4] DEMARIA M, HUBER M. The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity changes: An historical perspective[C]/Preprints Symp On Tropical Cyclone Intensity Change. Phoenix: Amer Meteor Soc, 1998: 22-29.
- [5] HALVERSON J B, SIMPSON J, HEYMSFIELD G, et al. Warm core structure of Hurricane Erin Diagnosed from high altitude dropsondes during CAMEX-4[J]. *J Atmos Sci*, 2006, 63(1): 309-324.
- [6] FRANK W M. The structure and energetics of the tropical cyclone I: Storm structure[J]. *Mon Wea Rev*, 1977, 105(9): 1 119-1 135.
- [7] KEPERT J D. Observed boundary layer wind structure and balance in the hurricane core Part I: Hurricane Georges[J]. *J Atmos Sci*, 2006, 63(9): 2 169-2 193.
- [8] DODGE P, BURPEE R W, MARKS F D Jr. The kinematic structure of a hurricane with sea level pressure less than 900 mb[J]. *Mon Wea Rev*, 1999, 127(6): 987-1 004.
- [9] 徐燧, 闫敬华, 王谦谦. 南海台风“尤特”螺旋结构的综合分析[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(4): 365-375.
- [10] 何洁琳, 管兆勇, 农孟松. 冬季台风“南玛都”结构性质的初步研究[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(1): 51-58.
- [11] 江敦春, 党人庆, 朱志宏. 台风暴雨中尺度系统与结构的数值研究[J]. *热带气象学报*, 1997, 13(2): 168-172.
- [12] 陶祖钰, 田伯军, 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.
- [13] 陈联寿, 罗哲贤. 不同尺度涡旋相互作用对台风的结构和移动的影响[J]. *热带气象学报*, 1995, 11(1): 10-17.
- [14] 李小凡. 台风涡旋的结构及其与台风运动的关系[J]. *热带气象学报*, 1996, 12(4): 314-323.
- [15] DAVID W T, ELSBERRY R L. Large intensity changes in tropical cyclones: A case study of super typhoon Flo during TCM-90[J]. *Mon Wea Rev*, 1998, 128(10): 3 356-3 573.
- [16] MOLINARI J. Hurricane-trough interactions: How do they work?[C]/Preprints Symp On Tropical Cyclone Intensity Change. Phoenix: Amer Meteor Soc, 1998: 169-170.
- [17] FRANK W M, RITCHIE E A. Effects of vertical wind shear on the intensity and structure of numerically simulated hurricanes[J]. *Mon Wea Rev*, 2001, 129(9): 2 249-2 269.
- [18] FRANK W M, RITCHIE E A. Effects on environmental flow upon tropical cyclone structure[J]. *Mon Wea Rev*, 1999, 127(9): 2 044-2 069.
- [19] WANG Y, HOLLAND G J. The beta drift of baroclinic vortices Part II: Diabatic vortices[J]. *J Atmos Sci*, 1996, 53(24): 3 737-3 756.
- [20] WU C C, KUO Y H. Typhoons affecting Taiwan: Current understanding and future challenges[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80(1): 67-80.
- [21] HOCK T F, FRANKLIN J L. The NCAR GPS dropwindsonde[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80(3): 407-420.

ANALYSIS ON STRUCTURE OF TYPHOON LONGWANG BASED ON GPS DROPSONDE DATA

PENG Li-ran, SHU Shou-juan

(Key Laboratory of Mesoscale Severe Weather of Ministry of Education, School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: As one of the most severe typhoons making landfall in China in the year 2005, Longwang is chosen here for case study. Being different from previous studies, global positioning system(GPS) Dropsonde data collected during the Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR) were chosen to study the thermal and dynamic structure for its two typical periods of life. Two surveillance flights were carried out throughout its lifetime. The result shows that both dynamic and thermal structures of Longwang are more robust in the second observation than in the first, which are manifested by stronger and larger circulation and the presence of a warm core. Further research shows that the environmental vertical wind shear mainly contributes to the asymmetric structure of the typhoon. Large vertical wind shear not only results in a significantly asymmetric structure, but also restrains the development of the typhoon.

Key words: typhoon; structure characteristics; observational analysis; dropwindsonde