

文章编号: 1004-4965(2010)03-0264-09

台风“罗莎”低空流场与降水中尺度结构的观测资料分析

刘淑媛¹, 付凯², 李环宗¹

(1. 空军气象中心, 北京 100843; 2. 中国人民解放军 94816 部队, 福建 福州 350002)

摘 要: 为了进一步了解台风的水平风场结构和降水雨带的分布特征与台风强度变化的关系, 利用观测资料和多普勒天气雷达探测资料对 0716 号台风“罗莎”的降水云系、反演的水平风场和雷达回波进行分析, 结果显示: (1) 在台风减弱为强热带风暴以前, 低空卷入台风中心的强回波带开始出现分裂; 减弱为热带风暴时, 低空的强回波带出现明显的分离和断裂。雷达探测的向台风中心卷入的低空强回波带的分离和断裂, 可以为台风减弱预报提供参考。(2) 多普勒雷达探测资料反演的低空水平风场分析显示, 虽然所处的环境风场截然相反, 我国和美国两地区的热带气旋在低空存在相似的中尺度流场结构。我国东南沿海即将登陆的台风的西南侧外围与环境风场的交汇处, 存在一处气流汇合带和气流辐散带, 气流汇合带对应台风南侧的强降水中心。(3) 通过多普勒雷达反演的低空水平风场与强度回波的叠加分析显示: 台风的螺旋雨带与反演的低空水平风场的中尺度风切变线对应。这种中尺度切变在常规观测中难以发现。

关 键 词: 应用气象学; 台风风场; 多普勒天气雷达; 环境气流; 强回波带

中图分类号: P444

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.03.002

1 引 言

热带气旋作为一种灾害性天气, 对人类的生命财产安全有着严重的影响。为了更好地预防台风造成的灾害, 对热带气旋海上和登陆后移动路径、登陆强度的预报的准确性要求越来越高, 这要求对热带气旋风场、降水、热力学等各方面的结构有更详细的了解。热带气旋的结构及其变化是热带气旋研究的最基本的领域, 而水汽输送是使其维持的重要条件。目前, 人类对热带气旋内部大尺度的结构已经有了初步了解^[1-4]。如 Willoughby 等^[3]根据两架飞机携带的雷达等仪器探测的组合资料, 分析了台风的螺旋雨带和水平流场和涡度场。Willoughby 将螺旋雨带分为主带、副带和连接带。主带通常有对流核沿轴线分布, 内侧有狭窄的无回波带, 主带外侧有环型的层状降水。对于强飓风, 主带并不直接与眼墙相连, 而是由连接带将主带与眼墙连接在一起。副带位于主带与眼墙之间, 回波比主带弱一些, 也

为螺旋结构。另外, 通过对水平流场和涡度场等的分析还发现, 低空东风环境气流与热带气旋的低空风场之间存在交汇处, 并给出了流线结构示意图。

Frank 等^[4]根据双机载多普勒雷达探测的资料反演的 3 km 高度的水平风场同样得到了类似的风场结构。由于登陆热带气旋内部风场和降水结构的不对称性, 需要进一步分析热带气旋的中尺度结构。Holland^[5]与陈联寿等^[6]指出热带气旋结构的中尺度变化有 4 个重要的量度参数需要考虑, 即台风眼结构、台风的尺度、积云对流强度分布和台风内核区辐合强度分布。而台风内核区辐合强度可以通过低空热带气旋结构的中尺度风场结构进行分析。由于缺乏关键性的高分辨率的观测资料, 目前更多地采用卫星和数值模拟的手段进行研究^[7-11]。由于卫星观测资料的分辨率不能满足对天气系统进行中尺度结构分析的要求, 高分辨率的数值模拟结果也需要高分辨率的观测资料进行检验, 多普勒天气雷达等具有高时空分辨率的探测仪器成为人们进行中小尺度天气系统分析研究的重要手段。美国是受热带气

收稿日期: 2008-12-30; 修订日期: 2009-05-28

通讯作者: 刘淑媛, 女, 天津市人, 高级工程师, 博士, 研究方向: 雷达气象和中尺度气象。E-mail: lsy.shuyuan@gmail.com

旋影响较多的国家, 而且其多普勒天气雷达安装布网较早, 因此更早地开展了对热带气旋的雷达资料的观测研究^[12-13]。1990 年代起, 随着多普勒雷达观测资料的积累, 国内利用多普勒天气雷达进行台风风场结构的研究也迅速展开^[14-15]。

2007 年 10 月“罗莎”台风在台湾两次登陆后, 于 10 月 7 日 15 时 30 分在福鼎和苍南交界处第三次登陆, 登陆时中心最大风速 33 m/s; 17 时减弱为强热带风暴。6—9 日浙江东部和北部地区及福建东北部雨量超过 200 mm, 8 日杭州日降水量 191.3 mm, 舟山 233.8 mm, 均破历史最大雨量记录。位于福州的多普勒天气雷达较好地探测到从“罗莎”台风即将登陆到登陆后减弱为热带风暴并向东北移动的过程。本文利用常规资料、卫星资料, 并主要利用福州的多普勒天气雷达资料等对 0716 号“罗莎”台风的风场和水汽结构进行分析, 分析台风低空水汽供应带和强降水位置以及低空水平风场的结构特点和风速风向等的辐合特征, 期望所得的结果对台风预报有一定帮助。

2 天气形势概述

2007 年 10 月 4 日“罗莎”台风在 17.1°N, 130.9°E 生成, 当时副高强盛, 控制整个西太平洋地区, 台风以西行为主; 10 月 5 日副高在 130°E 附近断裂, 5 日 18 时台风开始从副高断裂处沿副高外围西北偏北方向转向; 6 日副高退到海上, 陆地上的高压面积进一步缩小。7 日(图 1a)与台风同纬度位置的副高西部边缘(以 588 线为基准)已经东退到 125°E 附近, 基本呈南北走向。

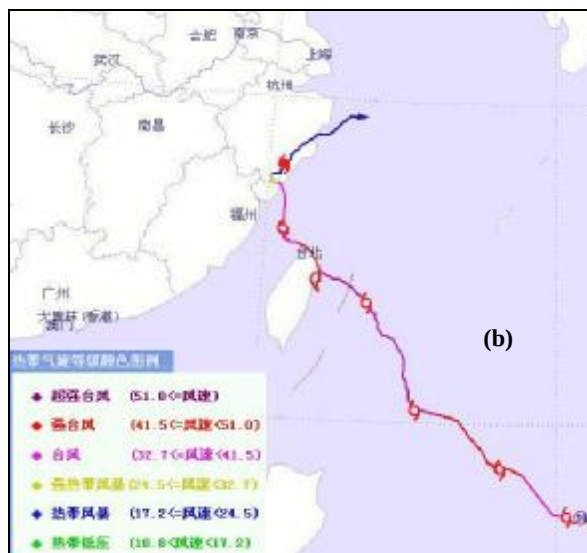
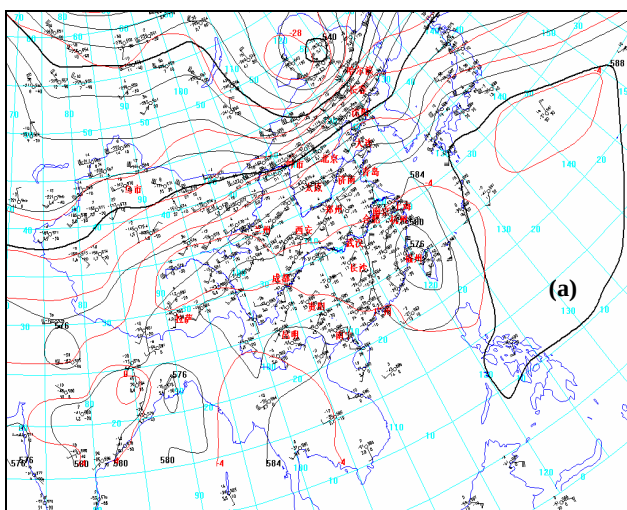


图 1 2007 年 10 月 7 日 08 时 500 hPa 位势高度场和温度场(a)和“罗莎”台风路径(b)

10 月 7 日影响我国北方地区的高空槽位置较偏北, 大陆高压也较弱, 中高纬没有较深厚的大槽影响。从台风“罗莎”生成后的路径(图 1b)和副高变化来看, 影响其移动路径的主要系统是副热带高压。“罗莎”主要在副高西部外围气流引导下移动, 同时北方地区的高空槽底部的西南气流对其移动路径也有影响。从对其移动路径的影响系统看, 形势较为明朗。

3 降水与水汽分析

3.1 降水云系分析

美国早年的研究表明, 当台风出现在洋面上时, 一般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^[1], 最大雨量出现在台风右前象限或前半部。而我国东部海岸登陆的台风一般自西向东移动, 地形的影响主要在台风的左前象限。10 月 7 日 12 时(图 2a)台风“罗莎”即将登陆, 最强的云系位于台风的西北和南侧, 西北的云系已经位于陆地上空, 其移动方向登陆后一直是向西北方向移动(图 3)。因此台风西北侧的强对流云应受地形抬升的影响。而台风眼的南侧是正涡度区, 也是西南气流的水汽输送区, 因此南部也存在强的对流。而在台风登陆以后, 7 日 18 时(图 2b), 台风中心完全位于陆地, 整体开始向偏东移动, 此时主要的云系位于台风的东

北部和东南部。可见我国东部沿海登陆的台风最大雨量的位置与美国的台风略有不同。

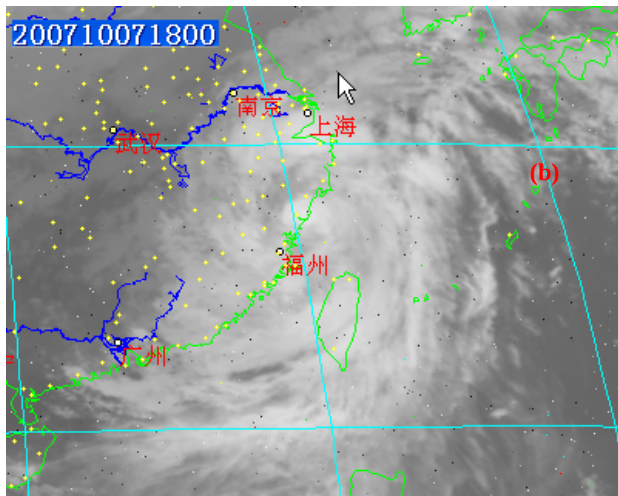
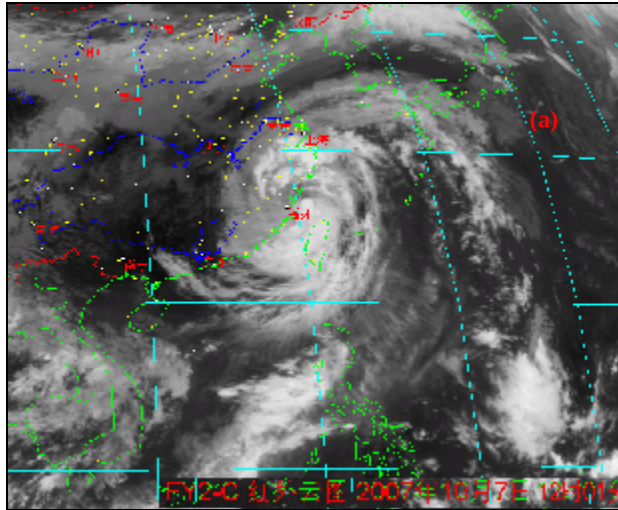


图2 2007年10月7日12时(a)、18时(b)红外卫星云图

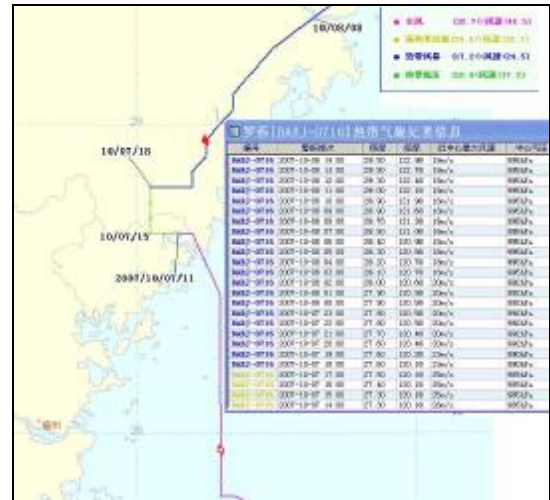
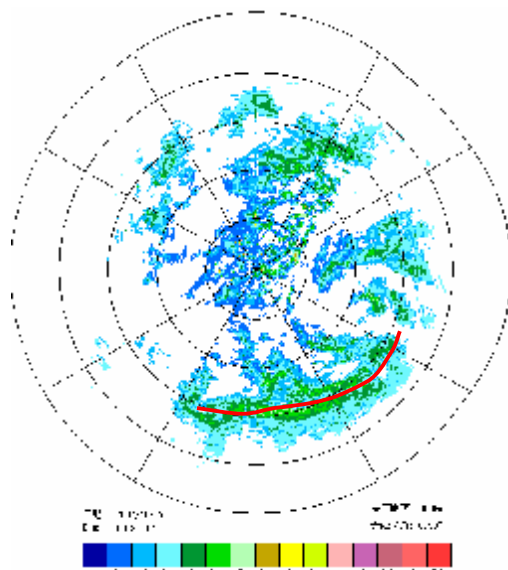


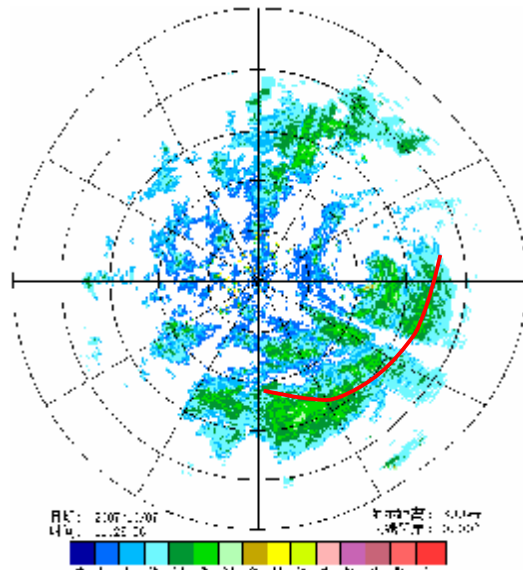
图3 放大的“罗莎”路径

3.2 雷达回波分析

台风登陆以后，在路面摩擦、能量耗散的作用下，最终必然消亡或再次入海。但台风登陆后有的维持3~5天，甚至突然加强，有的几小时就迅速减弱。其维持的机制一直是对登陆台风研究的重点。目前的研究表明，水汽对台风的维持非常关键，热带气旋维持的一个必要条件是埃克曼层存在充沛的水汽供应。文献[2]对1997年Winne台风水汽输送的数值模拟研究显示，对台风的水汽输送切断后，24小时后台风环流就不存在了。目前的这种结论基本来于常规探测、卫星水汽分析和数值模拟的研究。而雷达观测的强度回波可以很好地反映空中水汽情况，且具有比卫星和常规观测更高的时空分辨率。因此本文利用连续的雷达回波配合气旋的强度变化来分析气旋的水汽供应与强度变化之间的关系。



(a)



(b)

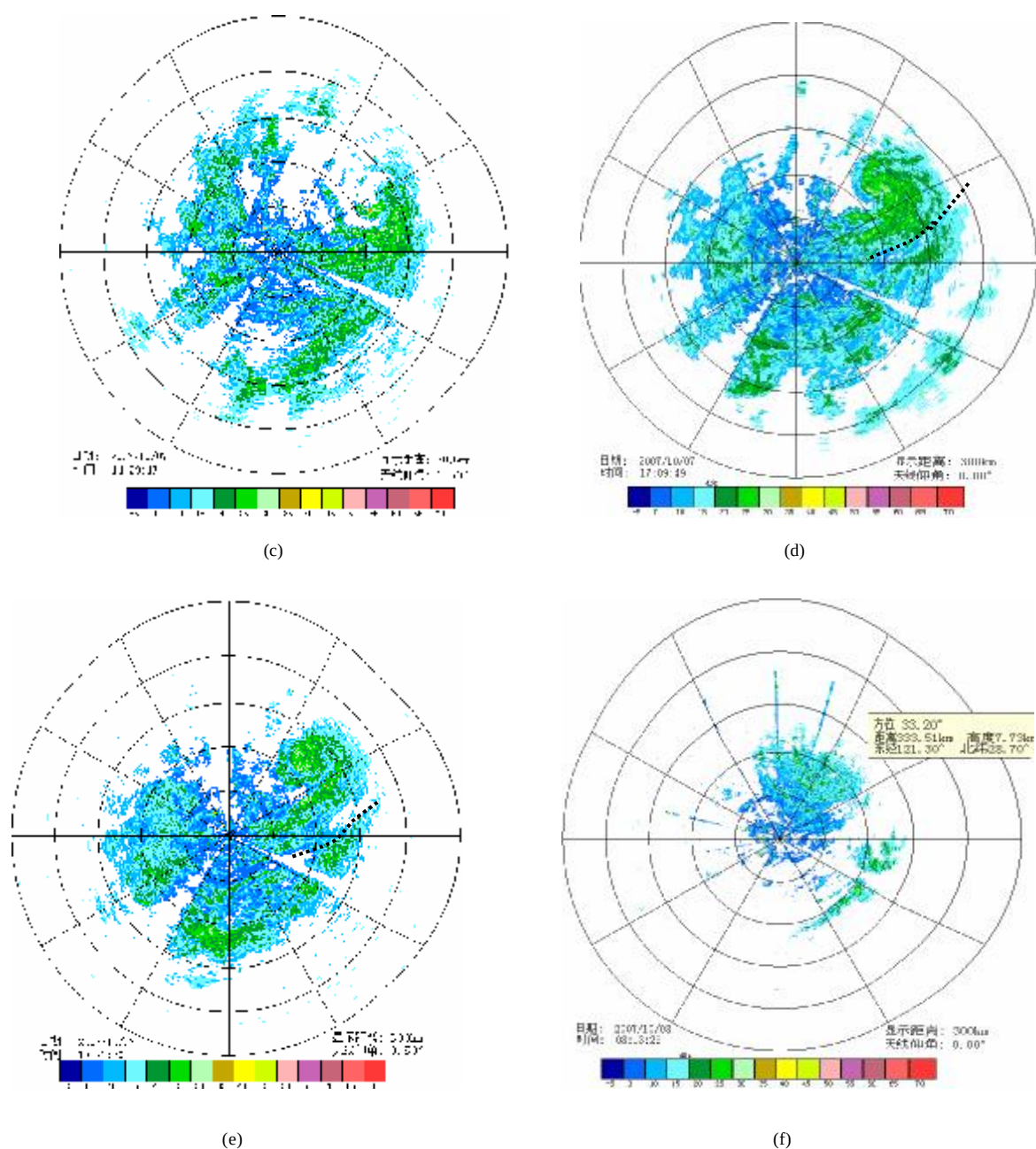


图4 2007年10月雷达回波图 a. 7日08时27分; b. 7日11时27分; c. 7日14时30分; d. 7日17时10分; e. 7日18时30分; f. 8日08时13分。a、b中红色实线标出台风东南较完整的回波带; d、e中点线标出回波带断裂位置。

从连续的雷达回波看(图4), 台风中最强烈的远距离的对流降水也出现在台风西南侧的正涡度区。台风在海上(7日08时27分, 图4a)时, 东南存在一条完整的水汽带(图4a、4b中红色实线标出)。可以分辨出台风眼墙的降水回波环状结构。

在11时30分台风即将登陆。台风眼墙只有东南部的强降水回波带, 西北的回波明显减弱。强回波主要位于台风的西北与东南侧, 这与12时云图观测结果相吻合。

登陆后减弱为强热带风暴时(7日14时, 图4c),

依然可以看到在台风的东部和东南低空存在连续的很强的水汽供应, 充沛的水汽随着气流卷入气旋内部。最强的降水回波主要位于台风的东南侧。

17时10分(图4d), 最强的降水回波主要位于台风的东半侧。回波分布显示强热带风暴低空的强的水汽带开始出现分离(图4d中虚线所示), 但还是一个整体。动画显示(图略)气旋东南侧的强回波一部分卷入气旋, 而外侧部分的已经没有明显的卷入。而水汽对台风的维持非常关键, 由此是否可以推论台风即将减弱? 事实表明, 18时强热带风暴减弱为

热带风暴。可见, 雷达观测的强回波带的断裂和分离可以作为气旋减弱预报的参考。

18 时 30 分的雷达回波显示低空的强水汽带开始出现明显的分离和断裂(图 4e 中点线所示)。在 18 时的卫星云图(图 2b)上, 能看到云顶较高的云带出现了断裂, 但不能像雷达回波表现得那么清楚。在“罗莎”东移转向后系统逐渐减弱并与西南的水汽供应带逐渐分离, 在 8 日 08 时(图 4f, 气旋中心位于 121.3°E , 28.7°N), 气旋中心已经不在雷达监测范围内, 但雷达回波图上仍可以看到气旋西南部的情况, 图中可见此时低空已经没有连贯的水汽输送带, 这表明气旋与西南低空的水汽供应彻底分离, 此时的“罗莎”中心最大风速只有 18 m/s 。

可见环境场低层对台风水汽输送带的断裂与台风减弱是相关的。且在台风减弱为强热带风暴时, 低空存在连续的很强的水汽供应; 减弱为热带风暴前 1 小时左右, 在雷达强度回波中强的水汽带开始出现分裂, 但还是一个整体。减弱为热带风暴后半小时左右, 可以看到低空的强度回波带开始出现明显的分离和断裂, 而卫星云图中这种表现不明显, 之后热带风暴的强度持续减弱, 并逐渐与南部的水汽供应完全分离。

以上分析显示: (1) 雷达探测回波可以比卫星云图更好地监测台风水汽供应和降水区域的情况。云图和雷达探测回波共同分析, 显示“罗莎”台风在即将登陆时的最大降水区域主要位于台风的东南侧西南气流所在区域和台风前进方向即将登陆的一侧——西北侧。而登陆后最大降水区域主要位于右半部。(2) 雷达观测的强回波带向台风中心卷入的低空强的水汽带与气旋中心的分离和断裂, 可以为台风强度的估计和减弱预报提供参考。

4 反演风场的检验与分析

4.1 探测资料的质量控制

本文使用的雷达资料是福州市气象台的多普勒天气雷达探测资料。雷达海拔高度为 700 m , 使用资料仰角为 0.17° 左右。由于原始径向速度场质量不太理想(图 5a), 原始径向速度中的噪音和速度模糊会影响反演风场的质量, 因此在进行风场反演前必须进行资料的质量控制, 包括噪音消除和模糊消除。从图 5b 可见经过质量控制后的风场资料得到了很好的改善。

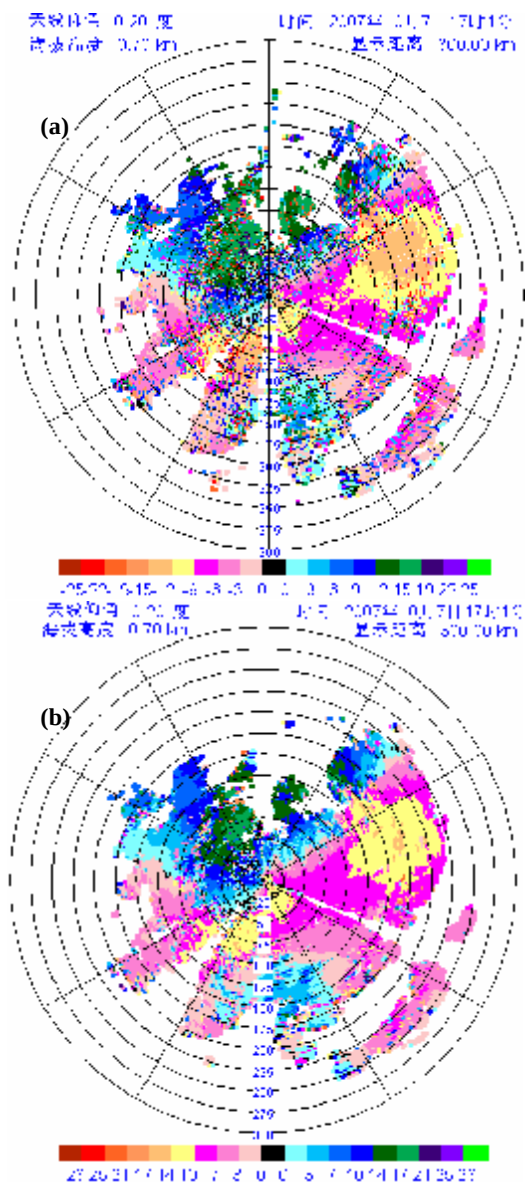


图 5 2007 年 10 月 7 日 17 时 1 分原始径向速度场 (a) 和经过质量控制后径向速度场 (b)
速度趋近为负, 远离为正。

4.2 反演风场的检验

使用 VAP (Velocity Azimuth Processing) 方法^[16-17]从雷达探测的径向速度反演水平风场。反演风场的网格距为 2.5 km , 方位角分辨率为 1° , 速度径向分辨率为 0.45 km 。在径向, 反演风场的分辨率是雷达的探测资料的径向分辨率, 因此 VAP 方法反演风场的径向的分辨率绝对满足区别 β 中尺度 ($20\sim 200\text{ km}$) 的分辨率需求。在切向, 水平分辨率随距离的增加而降低, 在半径 125 km 以内 VAP 方法反演的水平风场的分辨率值小于 9 km ; 在半径 $125\sim 150\text{ km}$ 以内小于 10 km ; 在半径 $150\sim 200\text{ km}$

以内小于 13 km。因此反演风场的分辨率基本满足较大的 β 中尺度系统分析的要求。

从反演的 08 时低层水平风场(图 6a)看, 低层台风中心附近为较强的气旋性风场, 在台风的西北侧风力最大, 而台风前进的方向为北方, 这与目前已经得到的在台风前进的左前方风力最大的观点吻合。在台风中心 30 km 距离内风速很小或静风(反演风速均小于 4 m/s), 这与台风眼附近为静风一致。距离台风中心 50 km 以外风速增大, 反演的最大风速为 15 m/s(经过滤波的结果)。

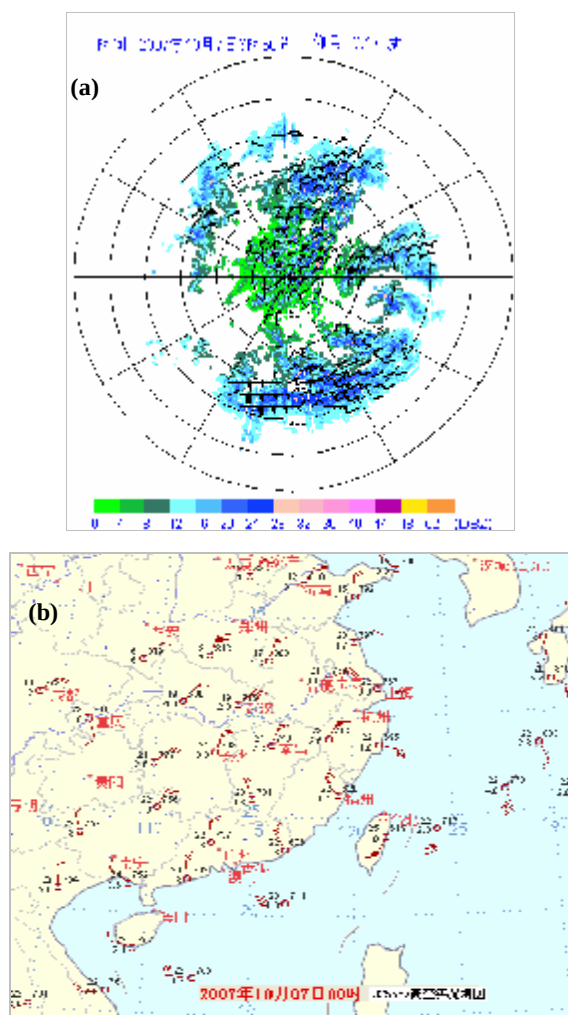


图 6 2007 年 10 月 7 日 08 时 30 分反演的水平风场(a)和 925 hPa 高空风(b)

从 7 日 08 时的高空观测实况看(图 6b), 在台风中心西北侧福州 800 ~ 1 500 m 左右为西北到北风的转换, 风速约 16 ~ 20 m/s; 台风中心东南侧台湾地区低层为西南风, 风速约 16 ~ 20 m/s; 反演风场的分布与实际 925 hPa 高度风分布基本一致。反演的最大风速较实况略偏小。

另外, 反演的台风西南部 150 km 以外出现了东北风。文献[2]对 1997 年 Winne 台风的水汽输送的控制实验的数值模拟研究中, 其模拟结果也显示台风流场存在这样的出流(图 7), 从图中可以看到这种出流结构也是位于 Winne 台风的西南侧大约 200 km 左右的位置。1997 年 LI 等^[8]对我国东南沿海登陆的台风进行观测资料分析和数值模拟研究时, 再分析的风场也有类似结构。这也间接证明反演的东北风是正确的。

以上分析显示, 反演风场的环流结构可以进行进一步分析。

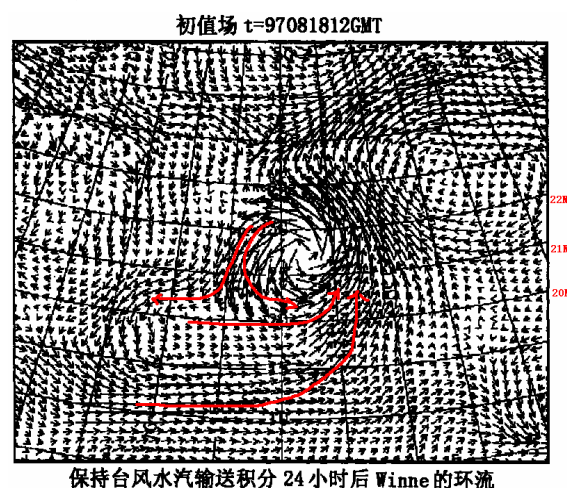


图 7 MM5 模拟的 1997 年 Winne 台风对水汽输送的环流^[8] 红色带箭头的实线标出台风流场的流线结构。

4.3 反演风场的分析

图 8 给出“罗莎”从台风减弱为强热带风暴(11 时), 再减弱为热带风暴(18 时)时的 1 度以下仰角的多普勒速度资料反演的低空风场与强度回波叠加图。

在 08 时(图 8a)台风强度较强, 台风中心眼部结构清晰(图中红色圆圈标注)。台风中心附近为较强的气旋性风场, 中心附近风力较小, 在台风的西北侧风力最大。台风中心南部有明显的气旋性切变(图中红色箭头所示)。在台风西南侧的强回波区可以看到北风和西南风的辐合。在台风的西南侧外围与环境风场的交汇处存在一处气流汇合区域和气流辐散区域(图中红色箭头所示)。

在 11 时(图 8b)台风已经减弱为强热带风暴。雷达回波强度显示其眼区范围明显减小。在气旋东部伴随强回波区的分布存在明显的风场的波动, 即风向的切变(图中红色折线所示)。台风眼区东部对应强的降水中心出现风速很强的明显的流出气流, 与眼区的下沉气流配合。

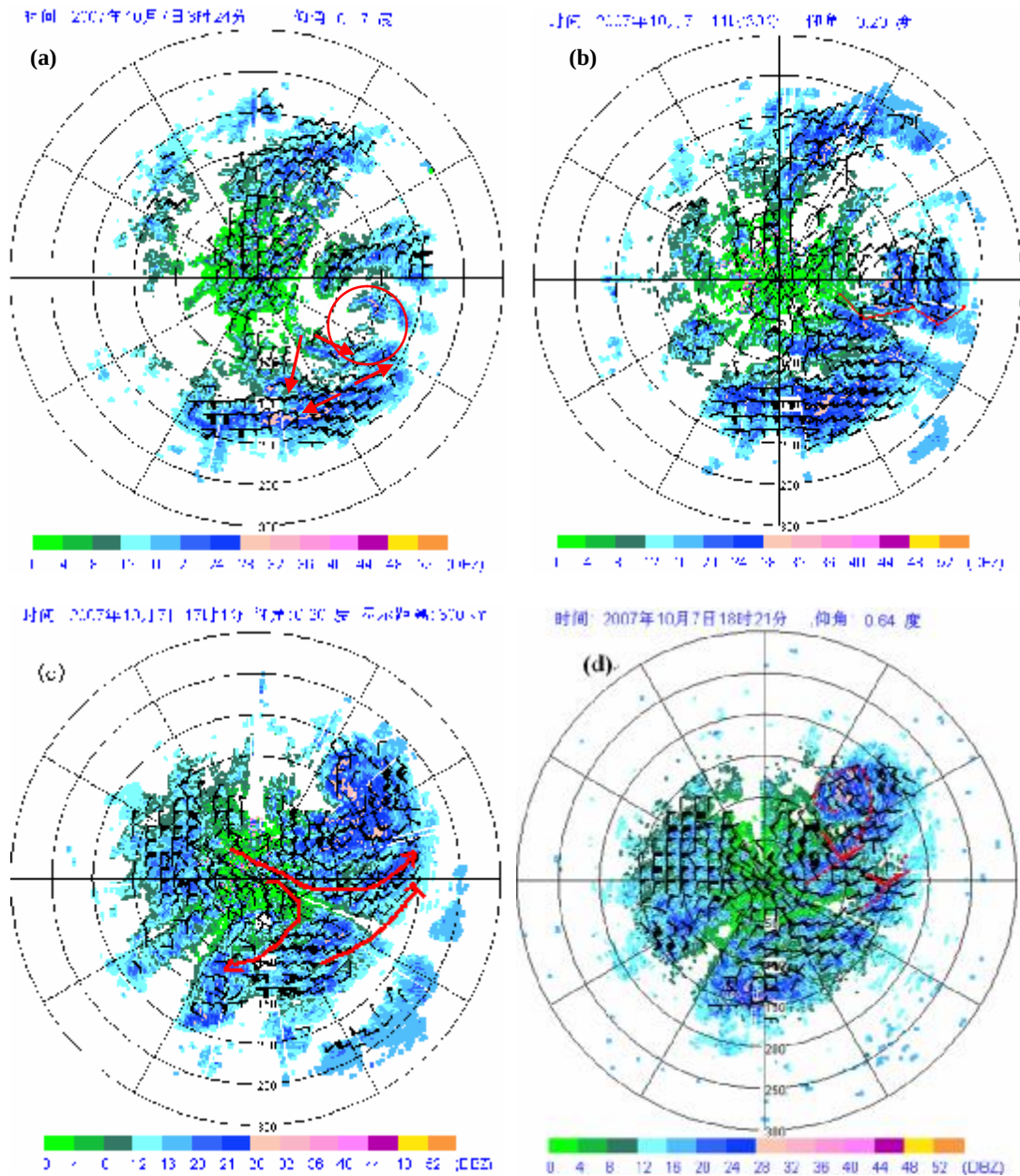


图8 2007年10月7日反演的水平风场 a. 08时24分; b. 11时30分; c. 17时01分; d. 18时21分。a中红色圆圈标注台风中心眼部位置, 箭头为此区域风向; c中红色矢量线为流线; d中点线标出台风中心风场的气旋结构, 折线为此区域风向的切变。

在17时(图8c)台风继续减弱, 在台风的西南侧外围与环境风场的交汇处存在一处气流汇合带和气流辐散带, 因接近雷达观测点而更加明显(图中红色矢量线所示)。

在18时(图8d)“罗莎”已经减弱为热带风暴, 强度回波显示的中心眼部结构不明显, 但仍可以看到中心附近气旋性的风场结构(图8d中点线所示)、中心南部的明显的气旋性风切变带(图中红色折线所示)。而且与11时和17时相同, 螺旋雨带对应着风场的波动(图中红色线所示)。这种切变在大尺度

的常规观测中是难以发现的。这也充分显示出多普勒雷达观测资料对中尺度系统分析的优越性。

在台风的西南侧外围与环境风场的交汇处存在的西北气流与西南气流的汇合带和西北气流向东南和西南辐散的结构, 在几个时次的反演风中都能看到。其流场结构与 Willoughby 等^[3]给出的气旋与低空环境气流间的结构相类似(图9)。Frank 等^[4]对1991年雷达反演的低空气旋的水平风场结构也显示在气旋的东南侧的确存在这样的结构(图10)。与“罗莎”台风不同的是, 这两个台风所处的环境气

流为东南风(图 10)。两个地区的气旋所处的环境风场截然相反, 但从低层的雷达资料反演的低层水平风场看, 仍存在相似的结构, 只是气流方向因环境气流不同而不同。观测的结果表明在我国东南沿海西南气流的环境场中热带气旋低空外围的水平流场与美国观测的相对东风环境下的流场结构相似。

文献[2]对 1997 年 Winne 台风数值模拟研究中模拟的水汽输送的环流结构(图 7)与“罗莎”台风反演的低空气旋的水平风场结构也很相似, 两个台风所处的大环境也是同为副高西侧。雷达观测的“罗莎”台风低空流场的结构结果验证了的文献[2]的模拟结果。

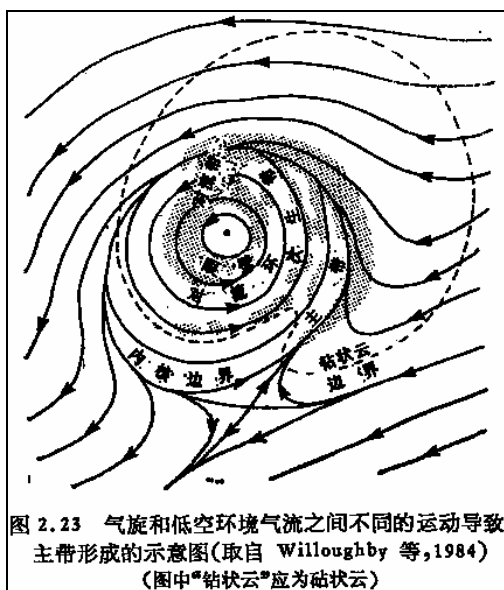


图 9 Willoughby 等 1984 年给出的气旋与反演的低空气旋的水平风场结构^[3]

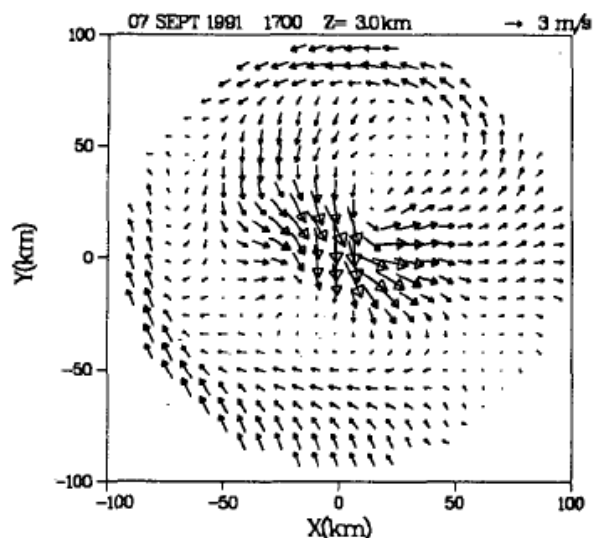


图 10 Frank 等对 1991 年雷达低空环境气流间的结构^[4]

当台风中存在中小尺度气旋结构时, 低层流场和雷达回波结构示意图(图 9)更清晰地展示了这种结构。综合风场结构和雷达强度回波结构, 也显示台风南部的台风系统的西北气流与西南气流的汇合带对应着强降水中心(图 11)。这种低空辐合流场的结构是这个强降水带形成的重要因素。

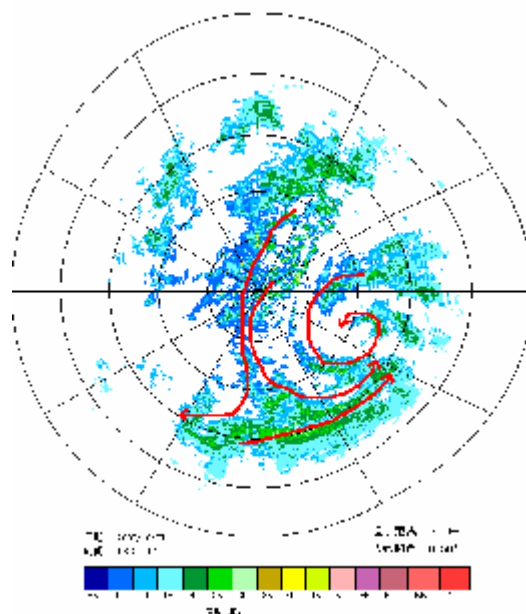


图 11 2007 年 10 月 7 日 08 时 30 分反演的水平风场流场(红色实线)与回波结构示意图

5 结 论

本文利用常规资料、卫星资料和福州的多普勒雷达资料等, 对主要在副高西部外围气流引导下移动的 0716 号台风“罗莎”的雨带和风场结构进行分析。

(1) 雷达强度回波的分析显示: 由于具有更高的时空分辨率, 雷达探测回波可以比卫星云图更好地监测台风水汽供应和降水区域的情况。雷达观测的强回波带的断裂与台风减弱是相关的。台风减弱为强热带风暴以前低空的雷达强度回波中强的水汽带开始出现分裂。减弱为热带风暴时, 低空的强回波带开始出现明显的分离和断裂。雷达观测带向台风中心卷入的低空强的水汽带与气旋中心的分离和断裂, 可以为台风强度的估计和减弱预报提供参考。

(2) 多普勒雷达反演低空水平风场分析显示: 我国东南沿海即将登陆的气旋和美国观测的相对东风环境下的气旋所处的环境风场截然相反, 两个不同地区的热带气旋却在低空存在相似的流场结构,

但气流方向因环境气流不同而有差别。我国东南沿海在即将登陆的台风的西南侧外围与环境风场的交汇处存在一处气流汇合带和气流辐散带,气流汇合带对应强降水中心。

(3) 通过多普勒雷达反演的低空水平风场与强度回波的叠加分析显示:台风的螺旋雨带与反演的低空水平风场的中尺度风切变线对应。这种中尺度切变在大尺度的常规观测中是难以发现的。

参 考 文 献:

- [1] 陈联寿. 热带气旋全球观[M]. 北京: 气象出版社出版. 1991.
- [2] 陈联寿. 热带气旋动力学引论[M]. 北京: 气象出版社出版. 2002.
- [3] WILLOUGHBY H E J, CLOS J A, Shoreibah M G. Stationary and moving convective bands in hurricanes[J]. J of Atmos Sci, 1984, 41(22): 3 189-3 210.
- [4] FRANK Roux, NICOLAS Viltard. Structure and Evolution of hurricane Claudette on 7 Sept. 1991 from Airborne Doppler Radar Observations. Part I: Kinematics[J]. Mon Wea Rev, 1995, 123: 2 611-2 639.
- [5] 吕梅, 邹力, 姚鸣明, 等. 台风“艾利”降水的非对称结构分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1): 22-28.
- [6] LI Jianjun, NOEL E Davidson, DALE HESS G, et al. A high-resolution prediction study of two typhoons at landfall[J]. Mon Wea Rev, 1997, 125 (11): 2 856-2 878.
- [7] 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.
- [8] HOLLAND G J. Tropical cyclone motion environmental interaction plus a beta effect[J]. J of Atmos Sci, 1983, 40(1): 230-255.
- [9] 陈联寿, 李斌. 台风强度突变的诊断分析研究. 台风会议文集[C]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [10] 杨祖芳, 李伟华. 一种运用云顶量温确定热带气旋海面大风区的方法[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 71-75.
- [11] CHEN Lianshou, LOU Zhenxian. Numerical Study on founction affecting tropical cyclone structure and motion[J]. Acta Meteo Sinica, 1998, 12(4): 504-512.
- [12] LEE Wen-chau, BEN J D Jou, CHANG Pao-liang. Tropical Cyclone Kinematic Structure Retrieved from Single-Doppler Radar Observations. Part III: Evolution and Structures of Typhoon Alex (1987)[J]. Mon Wea Rev, 2000, 128(12): 3 982-4 001.
- [13] JOU B J D, CHANG P L, LEE C S. Dual-Doppler analysis of a landfall typhoon rainband. Preprints[C], 22d Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Fort Collins, CO, Amer Meteor Soc, 1997: 677-678.
- [14] 刘淑媛, 闫丽风, 孙健. 登陆台风的多普勒雷达资料质量控制和水平风场反演[J]. 热带气象学报, 2008, 24(2): 105-110.
- [15] 魏应植, 汤达章, 许建民, 等. 多普勒雷达探测“艾利”台风风场不对称结构[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3): 285-294.
- [16] 陶祖钜. 从单 Doppler 雷达速度场反演风矢量场的 VAP 方法[J]. 气象学报, 1992, 50(1): 81-90.
- [17] 刘淑媛, 刘黎平, 郑永光, 等. 单多普勒雷达 VAP 方法反演水平风场的检验[J]. 北京大学学报, 2005, 41(2): 163-171.

ANALYSIS ON MESO-SCALE STRUCTURE OF LOW-LEVEL HORIZONTAL WIND AND PRECIPITATION OF TYPHOON KROSA

LIU Shu-yuan¹, FU Kai², LI Huan-zong¹

(1. Air Force Meteorological Center, Beijing 100843, China;

2. 94816 units of the Chinese People's Liberation Army, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To further understand the relationships between the structure of the horizontal wind field and the distribution characteristics of rain bands of tropical cyclones, Krosa (0716) was analyzed in terms of the raining cloud systems, retrieved horizontal wind fields and radar echoes using Doppler velocity and other observed data. The results reveal as follows. (1) The analysis on reflectivity shows that a strong reflectivity belt entered the low level of the tropical cyclone from outside and began to break up before the typhoon weakened to become a strong tropical storm, and this kind of split became clearer when the cyclone further weakened to be a tropical storm. This phenomenon could be used to indicate the weakening process of the tropical cyclone. (2) There were a convergent and a divergent region of air streams to the southwest of the typhoon where it met with the environmental southwest flow. This kind of meso-scale structure was very similar to that of tropical cyclones near the North America continent, although they were located in different environment. (3) It was found that the rain belt fluctuated corresponding to the low-level wind. This kind of mesoscale convergence is hard to be discovered in routine observations.

Key words: applied meteorology; typhoon wind field; Doppler weather radar; environmental air flow; strong reflectivity belt