

台风海棠远距离暴雨中尺度系统特征

李改琴^{1,2} 梁海河³ 王树文² 王运行² 张春云¹ 钟天华²

(1. 兰州大学大气科学系, 730000; 2. 河南省濮阳市气象局; 3. 中国气象局大气探测中心)

提 要: 利用常规探空、加密地面资料、卫星云图和新一代天气雷达产品资料, 对 2005 年 7 月 22 日台风海棠倒槽形成的大暴雨天气进行诊断分析。结果表明: (1) 台风北伸倒槽与西风带弱冷空气结合造成了这次大暴雨过程, 是典型的中低纬系统相互作用过程。(2) 倒槽东侧东南低空急流从低纬海上为大暴雨区输送了丰富的热量和水汽, 同时, 在它的左前方成为强中尺度对流系统发生的源地。(3) 高层反气旋的增强, 加强了高空的抽气效应, 使辐合上升加强, 暴雨增幅。(4) 卫星云图上, 团状的、密实的强中 β 尺度对流系统的形成和维持是造成短时强暴雨的直接原因。(5) 多普勒雷达反射率因子场上, 多条中尺度回波带的汇合使回波增强, 暴雨增幅。(6) 暴雨发生期间, 多普勒雷达径向速度场表现明显的水平风场的非均匀性, 表现为中低层大范围强辐合风场; 风向的垂直方向不连续性, 主要表现在风的垂直切变大, 风的垂直切变可以为对流云的发展提供动能, 有利于大雷暴云的发展和暴雨的形成; 逆风区多次出现在风速较大的入流区中并做气旋性旋转北上与正速度区合并, 逆风区附近及所经途中出现强回波, 暴雨增幅。

关键词: 暴雨 台风倒槽 低空急流 中 β 尺度对流复合系统 多普勒雷达产品

The Mesoscale System Character Analysis of Far Distance Typhoon Haitang Rainstorm

Li Gaiqin^{1,2} Liang Haihe³ Wang Shuwen² Wang Yunxing²
Zhang Chunyun³ Zhong Tianhua²

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 730000;

2. Puyang Meteorological Office, Henan Province;

3. Atmosphere Observation Technology Center, CMA, Beijing)

Abstract: By means of routine sounding and intensive surface observation data, satellite cloud pictures and new generation weather radar products, a diagnosis is performed to the heavy rainstorm process induced by typhoon Haitang inverted trough on July 22, 2005. The results suggest that:

1) This process is generated because northward inverted trough of typhoon Haitang combines with weak cold air in westerly belt, which is a classical reciprocity process between mid and low latitude weather systems. 2) Abundant heat and vapor are transported from low latitude sea by the low-level jet in the east of inverted trough, and the left to inverted trough becomes the headspring of mesoscale system. 3) The intensifying high-level anticyclone enhances the pumping effect, which strengthens convergence of air and rainstorm. 4) In the satellite cloud pictures, it is seen that the direct cause of the heavy rainstorm is the genesis and evolution of conglomeration and close-grained intensive meso- β convective system. 5) In Doppler radar reflectivity field a lot of mesoscale echo belts converge, which induces the echo and rainfall increasing. 6) During rainstorm, it is obvious non-uniform in horizontal wind according to the Doppler radar radial velocity field, there is large scales intensive convergence in mid and low levels, and wind direction are discontinuous in vertical. The vertical wind shear can provide kinetic energy for the development of convective cloud, which is advantageous to large thunderstorm cloud evolution and rainstorm occurrence. The reversed wind appears in the inflow area many times, rotates northwards in the form of cyclonic rotation and merges with the positive speed area. The strong echo and rainstorm appear in the area and passing way of reversed wind.

Key Words: rainstorm typhoon invert trough low-level jet intensive meso- β convective complex Doppler radar products

引 言

台风是我国产生暴雨的重要天气系统。多年来,气象专家对台风暴雨的形成机理和落区进行了多方面的研究并取得了许多可喜的研究成果,陈联寿等^[1]指出:热带气旋灾害的主要部分往往是由它引发的暴雨洪涝灾害;程正泉等^[2]总结了近 10 年中国台风暴雨研究进展,指出当台风外围环流或倒槽遇上急流、中纬度西风槽时往往能产生远距离暴雨;仇永炎^[3]统计了 1949—1996 年中国北方地区 10 次过程雨量最大值大于 400mm 的台风暴雨实例发现,一半的降水个例是台风与中纬度冷空气的相互作用产生的;孙建华等^[4]利用中尺度数值模式 MM5 对 9608 号台风登陆北上引发北方特大暴雨过程进行了研究;李英等^[5]用诊断分析和数值实验结果表明,登陆台风在北上靠近中纬度斜压锋区过程中变性

加强,在从中高层环境中获得能量的同时,与低空急流水汽通道连接使得台风能够长久维持。随着我国 FY-2C 气象卫星、新一代雷达产品的投入使用,为台风暴雨的研究和预报提供了从大尺度到中小尺度的高时空分辨率的探测产品,国内许多专家应用这方面资料对台风暴雨进行了从大尺度到中小尺度诊断分析^[6-9]。由于台风暴雨形成的复杂性,预报难度很大,研究工作仍非常必要。

2005 年 7 月 22 日受登陆台风海棠倒槽和弱冷空气的共同影响,河南东北部的濮阳地区遭受了大暴雨袭击,时间集中在 22 日 18 时至 23 日 03 时 9 个小时,过程雨量濮阳 182.5mm、南乐 212.6mm、清丰 191.8mm、内黄 111.0mm,据河南省濮阳市乡镇自动雨量站点显示:柳屯、六塔 2 个乡镇雨量达 400mm 以上、5 个站达 300mm、27 个站达 200mm、51 个站达 100mm 以上,是河南省东北部当年最强的降水过程,造成了当地严重

的洪涝灾害。本文综合运用卫星云图、新一代天气雷达和加密气象资料,重点诊断分析造成这次强降水过程中的中小尺度系统发生、发展特征,探讨台风倒槽远距离大暴雨的成因。

1 大尺度环流特征

1.1 低空急流为暴雨区提供了热力和动力条件

暴雨开始前,22日08时,台风海棠低压位于 30°N 、 113°E 岳阳附近,低压外围的倒槽异常强大,在中低层控制了江淮及华北中南部,倒槽东侧和副热带高压西侧700 hPa上有一支大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南风急流(图1a),从西太平洋把热量和水汽源源不断地向中纬度输送,致使暴雨区具备丰富的不稳定能量。用代表大气温湿状况的假相当位温 θ_{se} 表示,濮阳地区处于高能舌北侧能量锋区,1000hPa近地面层能量最大, θ_{se} 大于 80°C ,向上到700hPa逐渐递减到 70°C ,说明中低层气层处于对流不稳定状态,有利于对流的发生发展。由于冷空气对倒槽外围的不断侵袭,倒槽东移南压,低空急流东退,20时,濮阳地区正处于急流左前方、倒槽顶部的较强辐合区(图1b),有利于中尺度对流系统的产生,为暴雨的形成提供了动力条件。以上分析表明:这次台风倒槽大暴雨的形成原因之一是倒槽外围低空急流的存在为暴雨区提供了热力和动力条件。

1.2 高低空气压场的合理配置加强低层辐合高层辐散

这次大暴雨过程中,暴雨区存在着明显的低层强辐合,高空强辐散。

从08时到20时,200hPa上西南—东北向的高空急流风速增大并发生逆转,右侧反气旋增强,20时,在鲁西南与河南东北部上

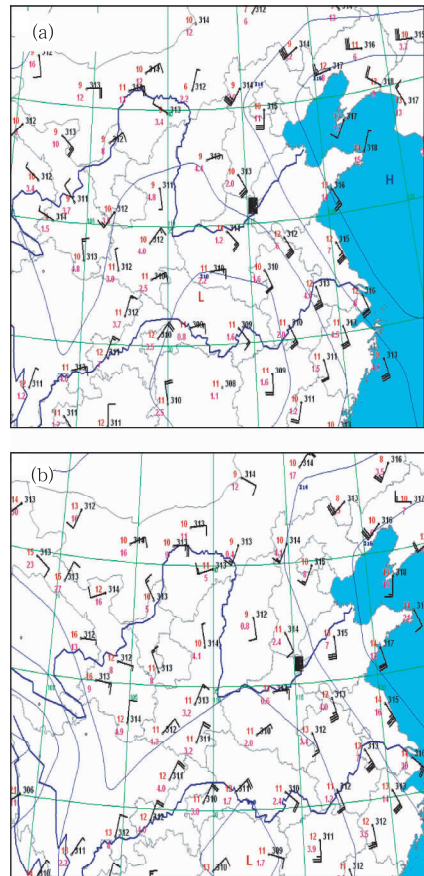


图1 2005年7月22日08时(a)和20时(b)700hPa高空图
黑色矩形区为大暴雨区

空形成中 β 尺度反气旋环流,同时500hPa上副高加强西进,增强了高层的抽气效应;中低层暴雨区处于强大倒槽顶部、低空急流左前方,有利于气流的辐合上升。20时,在河南东北部1000hPa高度上散度值达 $-10\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,200hPa上的散度值达最大 $16\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,低层强的辐合、高空强辐散,且辐散中心与辐合中心并不重合,表现为后倾,为对流的持续发展提供了动力条件,造成暴雨区暖湿气流的持续强烈上升,大量水汽凝结。另外地面图上濮阳地区有一条中尺度辐合线,使辐合加强,对流增幅。非纬向强副高对强降水系统东移的阻挡作用很大,使得强降水在本地持续了9个小时,造成了鲁西南和

河南东北部濮阳地区的大暴雨天气。

2 利用卫星云图跟踪中尺度暴雨云团的形成和发展

暴雨是各种尺度天气系统相互作用的产物,其中中尺度天气系统是直接造成暴雨的天气系统^[10]。从卫星云图上分析:这次台风倒槽大暴雨过程主要是由于发生在倒槽辐合线上的强中 β 尺度对流复合系统造成的。

22日07—11时,西风槽东移与倒槽辐合线同位相叠加,形成南北辐合线,为中尺度对流系统的发生提供了大尺度的背景场,位于郑州附近趋于减弱的对流云团重新发展向北伸展,并且在此对流单体后侧不断有新单体生成沿辐合线向北移动,到15时形成了南北向中 α 尺度带状对流系统(图2a,见彩页)。

17时,濮阳地区正处于台风倒槽西北部冷暖空气的交汇处,中 α 尺度带状对流系统随着中低层冷空气的东南压并缓慢东移,其中一段与濮阳地区发展的对流单体合并、加强,到19时在河南东北部形成了团状的、密实的、直径约200km的强中 β 尺度对流复合系统(图2b,见彩页),较低的云顶亮温值在 $-60\sim-70^{\circ}\text{C}$ 之间,边界光滑,小于 -32°C 的冷云罩面积约 $5\times 10^4\text{km}^2$,类似MCC,比Maddox^[11]定义的MCC红外温度(-32°C)及以下云罩面积 10^5km^2 小约2倍左右,然而此系统还是非常强大的,维持时间达9个小时左右,强中心位于河南省东北部的濮阳市境内,并长时间滞留,造成了濮阳地区4个县两个区的大暴雨天气。具体地说:此强中 β 尺度对流复合系统并不是孤立存在,从17时到20时经3小时的发展、成熟,到21时稍有减弱,23时随着此系统东南新生单体北移合并,又重新发展加强起来(图2c,见彩页),一直持续到23日03时,系统开始减弱东移。

分析可知,此强中 β 尺度对流复合系统

东南部正处于中低层台风倒槽顶端和东南低空急流的左前方,从前面第二部分的分析可知,此处正是高不稳定能量区和强辐合上升区,有利于对流的发展和新生单体的产生,新生单体沿副高边缘较强的东南气流西北上与老对流系统合并,使对流系统不断加强并维持较长时间,使暴雨增幅。说明台风倒槽产生远距离大暴雨的直接原因是较强的中 β 尺度对流复合系统的产生和较长时间维持。

3 中尺度对流系统的多普勒雷达图特征分析

3.1 中尺度系统的回波演变特征与强降水的关系

造成这次大暴雨过程的中 β 尺度对流复合系统,即暴雨云团,从濮阳新一代雷达的降水回波特征看,整体上属积状云和层状云组成的混合性螺旋状降水回波,回波强度大于35dBz,最强达58dBz,这种回波降水能力很强。

从回波的演变特征看,强降水过程可分为2个阶段:第1阶段为22日17时到21时。17时23分,暴雨云团形成的初期,倒槽辐合线上中 α 尺度带状对流系统东移,其中移向濮阳的一段与濮阳当地发展的对流云团合并。表现在雷达上是:位于雷达站西南方有一中 β 尺度“人”字形的降水回波带北抬(图3a,见彩页),强度大于35dBz,在“人”字形回波的顶端,即冷暖气流交汇处出现大于45dBz的较强回波带,长约50km,带上分布了多处50~55dBz的强回波点,证明此回波带上对流发展旺盛;另一处中 γ 尺度强回波区位于雷达站东南10km左右,最大回波强度达55dBz,旋转西北移,当它与北移的“人”字形的降水回波在雷达站附近相遇时,从18:01的雷达图(图略)可以看出,在雷达站25km范围内形成了团状较强混合降水回波

并缓慢旋转北移,与云图上的中 β 尺度暴雨云团相对应,到 21 时,雷达站周围的自动雨量站 3 小时雨量最大达 100mm 以上。第 2 阶段为 22 日 22 时到 23 日 03 时。21 时 51 分(图 3b,见彩页),从雷达站东南有 3 处中 γ 尺度较强回波单体合并、发展形成东北-西南向中 β 尺度短带回波西北移,并逐渐与已经减弱北移的主体回波相连,使回波重新得到发展加强。22 日 23 时到 23 日 03 时,在雷达站东侧 40km 左右形成一条中 β 尺度带状强回波,南北长 80km,对应地面图为一中 β 尺度南北辐合线,强回波主要影响濮阳市东部县市,并造成了强降水。

由分析可知,在有利的倒槽辐合线大尺度背景条件下,多条中尺度回波带的汇合使回波增强,暴雨增幅,是造成强降水的原因之一;强回波发生在汇合区,风暴移动方向的前方,速度快于整个风暴移动速度。

3.2 中尺度系统的多普勒速度场特征

多普勒速度场主要体现风场的结构特征并能预示系统的发展趋势,在这次台风倒槽远距离大暴雨过程中,中尺度暴雨云团的风场特征主要表现为:水平风场的不均匀性,即暴雨过程中,低层整体风场为风速辐合风场和暖平流加辐合的复合风场、中层弱冷平流加辐合的风场;风向的垂直方向不连续性,主要表现在风向的突变上,零速度线随高度的增加突然发生大角度偏转,风的垂直切变可以为对流云的发展提供动能,有利于大雷暴云的发展和暴雨的形成。逆风区、大风区与暴雨的落区有很好的对应关系^[12],过程中多次出现逆风区和大风区,且在逆风区附近及所经途中出现了强降水。

18 时 14 分降水开始的径向速度图特征为(图 4a,见彩页):50km 范围内径向入流面积远大于出流面积,且入流区速度大值区明显大于出流面积中的大值区,说明此速度场

中低层为一辐合场。从图中还可以看出零速度线呈曲线折角弯曲,测站以南 20km 以内的低层零速度线呈南北直线,说明低层吹偏东风,在 20km 处零速度线突然呈直角顺转弯向正速度区,风向由偏东风突变 90°转成偏南风,站北侧 10km 处零速度线突然呈约 135°逆转弯向正速度区,风向由偏东风突变 135°转成西北风。低层两段零速度线成了两条中尺度辐合线,这种风向垂直方向不连续的速度特征进一步说明大范围风场中存在中小尺度的强辐合上升系统,有利于中尺度强暴雨天气的形成。

20 时 03 分风场为暖平流加辐合的复合风场,30km 范围内零速度线弯向正速度区的顺转程度大于弯向负速度区的顺转程度;负速度区域的大值区面积比相应的正速度区域的大值区面积大,且负速度区域中心值大于正速度区域中心值,呈风速性辐合。23 日 01 时 35 分,仰角 1.5°的多普勒速度图特征(图 4b,见彩页)为:低层 20km 范围内为 S 型暖平流加辐合风场。零速度线弯向正速度区的顺转程度大于弯向负速度区的顺转程度;负速度区域的大值区面积比相应的正速度区域的大值区面积大,且负速度区域中心值大于正速度区域中心值,呈风速性辐合。20~40km 范围内零速度线逆转弯向正速度区,说明中低层有冷平流的侵袭。且低层为东北风,中低层为西南风,风向突变 180°,风的垂直切变大,有利于动能的垂直输送,有利于水汽的大量凝结,形成暴雨。在站 50~60km 处负速度区向正速度区伸展,形成一条风向辐合线,在本地造成了强降水。

18 时 20,在测站东侧 10km 处出现的逆风区沿径圈逆时针向西北移动,范围逐渐扩大,逆风区本身一侧为气旋性辐合,一侧为反气旋性辐散的风场特征决定了当地中小尺度系统的较强的发展,逆风区附近和途经之地出现强回波,强降水发生。此逆风区从发生、

发展到最后与正速度区合并消失,经历 3 个小时左右,在逆风区附近和途经之地 3 小时雨量大于 100mm。逆风区的出现比强回波的出现早 20 分钟左右(图 5,见彩页),这也说明了逆风区对暴雨有临近预报作用。

4 结 语

通过以上分析,可以得到以下几点结论:

(1) 台风海棠北伸倒槽与西风带弱冷空气结合造成了这次大暴雨过程,强烈发展的中小尺度系统是暴雨产生的直接原因。东南低空急流的存在成为这次大暴雨不可缺少的暖湿输送带和对流触发机制。

(2) 低层台风倒槽上空的高层反气旋的增强,加强了高空的抽气效应,使辐合上升加强,暴雨增幅。

(3) 从卫星云图上看,此大暴雨过程是由台风倒槽中尺度辐合线上形成的一个准静止、强大的中 β 尺度对流复合系统造成的。

(4) 强中 β 尺度对流系统表现在雷达图上为人字型强回波带和多条回波带汇合成混合性降水回波,它是造成强降水的主要原因。

(5) 径向速度图上水平风场的不均匀性是由于中小尺度对流系统(中尺度辐合区、逆风区、大风区)的存在造成的,强降水的持续离不开气流的辐合和暖湿平流向暴雨区的不断输送。风向的垂直方向不连续性主要表现在风向随高度的突变上,径向速度图上表现为零速度线随高度的增加突然发生大角度偏转,风的垂直切变可以为对流的云的发展提供动能,有利于大雷暴云的发展和暴雨的形成。

(6) 通过追踪多普勒径向速度场上逆风区运动路径和大风区、辐合区的位置,可以大致确定强降水的落区;结合本地自动雨量站雨量,有利于强降水的定时、定点、定量预报,以及暴雨预警的发布,为防洪排涝提供决策服务依据。

致谢: 本文得到了胡志群的大力帮助,在此表示非常感谢。

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] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等.近 10 年中国台风暴雨研究进展[J].气象,2005,31(12):3-9.
- [3] 仇永炎.北方盛夏台风暴雨的天气型及其年际变率[J].气象,1997,23(7):3-9.
- [4] 孙建华,齐玉林,赵思雄.“9608”号台风登陆北上引发北方特大暴雨的中尺度对流系统研究[J].气象学报,2006,64(1):57-70.
- [5] 李英,陈联寿,王纪志.登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度特征[J].气象学报,2004,62(2):167-169.
- [6] 赵放,冀春晓,钟建锋. CINRAD-SA 雷达在正面登陆台风预警中的应用[J].气象,2006,32(2):46-51.
- [7] 张少林,龚佃利,陈晓红,等.热带气旋远距离暴雨过程的诊断分析[J].气象,2006,32(4):29-33.
- [8] 林毅,刘铭,刘爱鸣,等.台风龙王中尺度暴雨成因分析[J].气象,2007,33(2):22-28.
- [9] 张弘,梁生俊,侯建忠.西安市两次突发暴雨成因分析[J].气象,2006,32(5):80-86.
- [10] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:25-32.
- [11] Maddox R A. Mesoscale Convective Complexes[J]. Bull Amer. soc,1980,6(11):9-17.
- [12] 张沛源,陈荣林.多普勒速度图上的暴雨判据研究[J].应用气象学报,1995,6(3):373-378.

李改琴等：台风海棠远距离暴雨中尺度系统特征

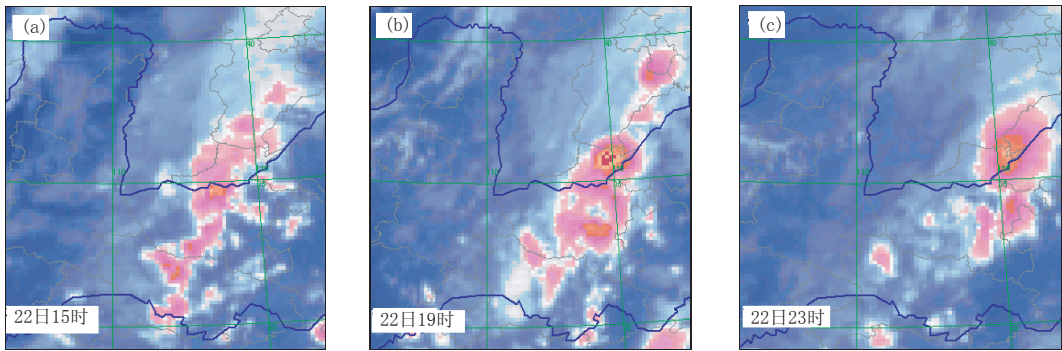


图2 2005年7月22日15时(a)、19时(b)、23时(c)中尺度对流复合系统的形成及变化特征图

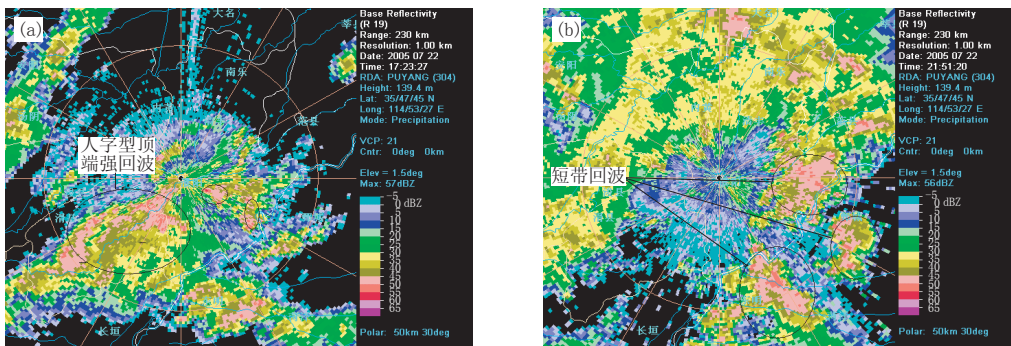


图3 2005年7月22日17时(a)和21时51分(b)回波特征图(椭圆区域为强回波区)

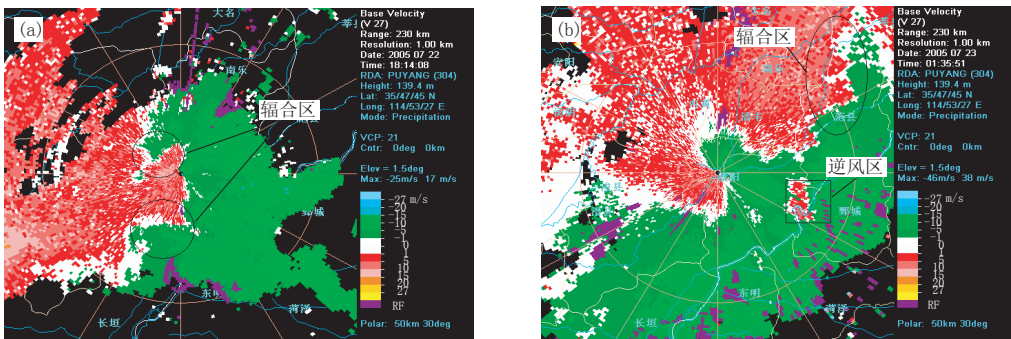


图4 2005年7月22日18:14(a)和23日01:35(b)多普勒雷达径向速度风场特征图

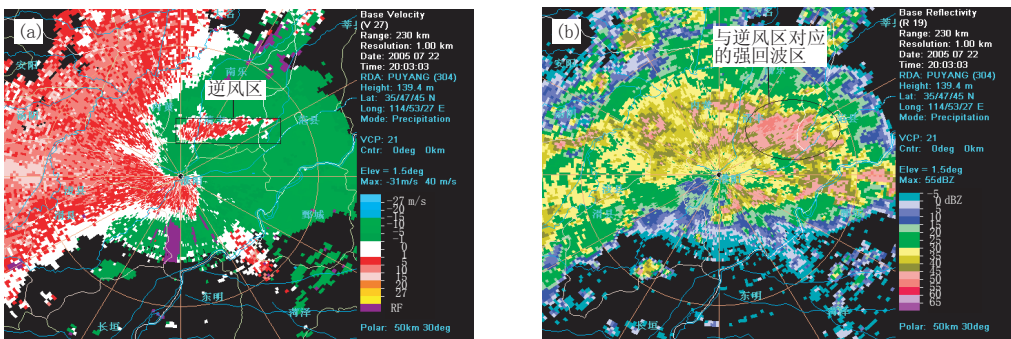


图5 2005年7月22日20时03分径向速度图(a)与回波强度图(b)