

用雷达风廓线产品分析一次暴雨 与高低空急流的关系

张京英¹ 漆梁波² 王庆华¹

(1. 山东临沂气象局, 276004; 2. 上海中心气象台)

提 要

利用2004年7月16日临沂市暴雨过程的新一代天气雷达风廓线资料和每小时的雨量资料,对比分析发现:暴雨过程具有明显的中小尺度系统影响特征,雷达风廓线资料可以很直观地显示西南气流风场的垂直结构和持久存在;高、低空急流及其向下的脉动与降水强度的增强有着紧密的联系;由低空急流向下脉动和加强引起的降水加强幅度要比单纯的高空急流向下脉动和加强引起的降水加强大得多,暴雨的产生主要由低空急流的下传和加强引起的;并利用表征高、低空急流下传程度的指数清楚地表示出降水强度与高、低空急流之间存在的密切关系。

关键词: 高空急流 低空急流 暴雨 雷达风廓线

引 言

随着我国新一代天气雷达网的逐渐建成完善,对雷达资料及其处理产品的开发研究也越来越受到重视。本文主要利用新一代天气雷达风廓线产品(VWP)来分析暴雨过程,发现高时空分辨率的新一代天气雷达资料可以揭示出尺度小、生命史短的中小尺度系统连续的变化过程,为研究中小尺度系统与暴雨的关系提供有力的工具。

陶诗言^[1]对暴雨的研究揭示出高低空急流特别是低空急流的加强与暴雨的密切关系;朱乾根等^[2]对不同高度急流对暴雨生成的作用研究表明:超低空、低空和高空急流对暴雨产生的作用主要表现为提供水汽、利于不稳定层结建立和维持,并且触发对流不稳定能量的释放,使中尺度上升运动加强。寿绍文^[3]研究指出:急流与天气系统的发展相联系,高低空急流耦合加强了大气潜在不稳定,这种耦合有利于强对流风暴的发生发展。刘淑媛等^[4]利用风廓线雷达资料研究了华南暴雨和南海季风科学实验期间暴雨过程中低空急流与暴雨的关系,指出低空急流的脉动对影响地区的强天气和强降水有一定的指示

意义。本文在利用新一代天气雷达风廓线资料(VWP)分析低空急流与暴雨关系的同时探讨了高空急流与暴雨之间的联系,并对两者作了一定比较,得出了一些有意义的结论,为新一代天气雷达产品在天气分析和预报中的应用积累了经验。

1 暴雨过程逐小时降水变化分析

2004年7月16日临沂市24小时暴雨过程总量为84.0mm,最大1小时降水量23.0mm;从逐小时降水量变化图(图1)看出,整个降水时段中降水量出现三次明显波动,降水高峰主要出现在2~4时、8~10时和18~19时,强降水持续时间为2小时,具

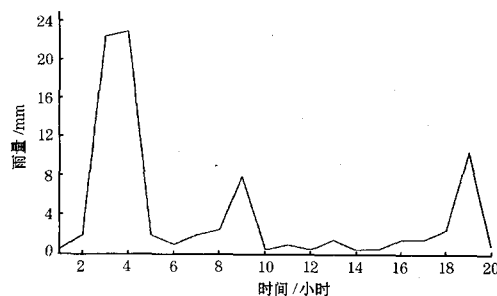


图1 2004年7月16日0~20时逐小时降水量

有明显的中小尺度系统影响时间特征,第一次波动对应的降水量要比第二次和第三次波动对应的降水量大的多,从后面的分析可知道第一次波动是高空急流下传通过耦合作用使低空急流下传和加强的结果,而后二次波动则对应着单纯的高空急流的下传和加强;高、低空急流的向下脉动都可能包含了动量和能量的向下传递,利于强降水的发生。

2 暴雨过程分析

2.1 天气形势分析

在中高层天气图上(图略),四川盆地有西南低涡,副热带高压处在西进加强阶段,副高西侧与西南低涡对应的南支槽前建立起强盛的西南气流区,并形成来自孟加拉湾的低空急流,不断向东北方向输送暖湿空气和能量;在低层,本站处在暖切变的北部,并处在地面静止锋对应的雨带中,高低空有利的天气形势是本次暴雨过程产生的基础。

2.2 新一代天气雷达风廓线资料(VWP)分析

新一代天气雷达速度方位显示风廓线产品(VWP)是平均水平风随高度变化的图形显示产品。它的算法是使用当前体扫模式的每个仰角的全方位扫描录取的速度资料,计算半径为30km的水平区域中总共30个由用户定义的高度上的二维平均水平风^[5],从

而得到平均风向风速随高度变化的垂直廓线,新一代天气雷达完成一次体积扫描需要5~10分钟,因此每隔5~10分钟便有一张测站上空的风廓线图产生,中小尺度系统引起的风场变化被充分显示;而且通过验证^[6],风廓线产品与探空测风所得的结果一致性相当好,因此分析风廓线资料可以一定程度上揭示暴雨过程中垂直风场的相对真实结构。

2.2.1 低空急流与降水关系分析

根据要求的一小时时间隔重新处理雷达原始资料可以得到逐小时的雷达风廓线资料。图2为7月16日0~20时逐小时雷达风廓线资料,从图2(a)看出,本站上空11km以下均为西南气流区,风速从低层到高层逐渐增大,而且维持较长的时间,说明了本次暴雨过程中深厚的西南气流风场的存在,这种风场为暴雨的产生提供了充足的水汽和能量。0~2时2km以下超低空西南风速较小,最大 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风位于2km接近3km的高度;在2~4时大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低空急流明显下传到1km高度,这段时间产生了2~4时的强降水,最大1小时降水强度 $23.0\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图1)。4时以后低空急流缓慢向上收缩,低层西南风减弱,到5~6时大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 低空西南风有一个明显减弱向上收缩的过程,到6时大于 12

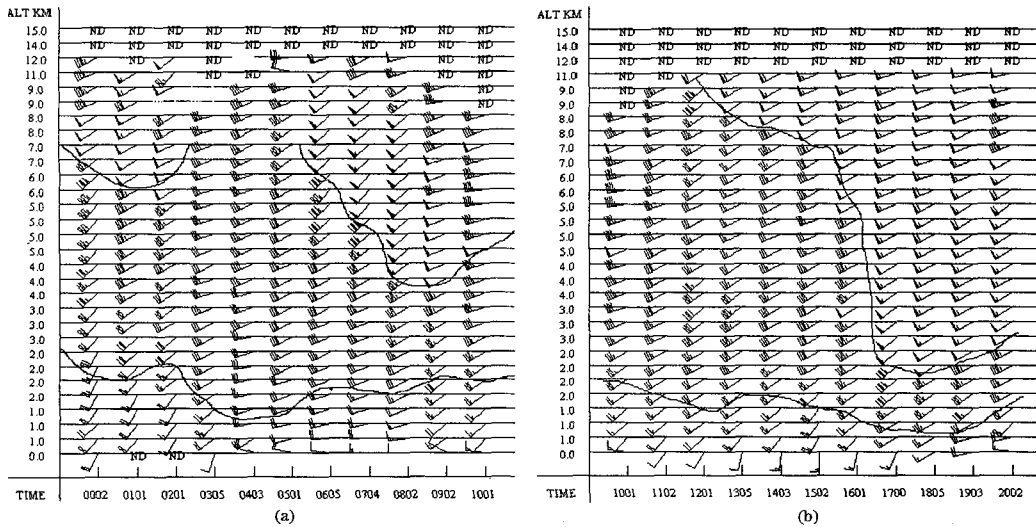


图2 2004年7月16日0~10时(a)和10~20时(b)雷达风廓线图
(图中曲线表示高低空 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速所在最低高度变化线)

$m \cdot s^{-1}$ 的西南急流已回到2km高度,而此时降水也明显处于减弱阶段。从以上分析看出低空西南气流向下传递造成第一次强降水的产生,而大于 $12m \cdot s^{-1}$ 的低空急流下传也意味着低层西南风加强,表明暖湿气流的输送加强,因此低空急流的下传加强与降水增大有密切关系。从低空急流下传加强前后对应时段的雷达回波强度演变图(图3)上看出:02:02雷达站上游有一条西北—东南向的回波带,强回波区中心位于雷达站西南方向约22km处,对应的径向速度图(图略)上存在明显的西南风速辐合,此时随着低空急流的下传加强,低空风速加大,02:47强回波区已控制本站,并且回波强度和强回波区范围都明显增大,与降水强度的增大时段配合密切;强度演变图在04:02低空急流减弱向上收缩时,04:03强回波区也已移出本站。

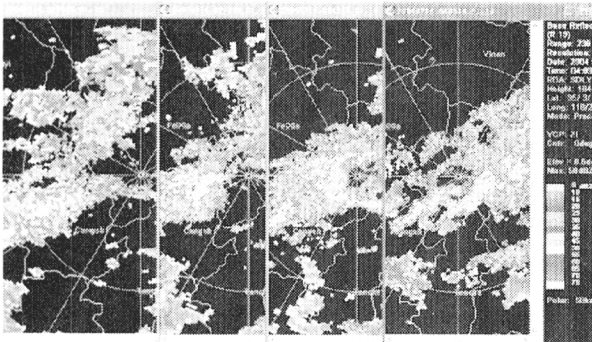


图3 2004年7月16日低空急流下传前后对应雷达回波

2.2.2 高空急流与降水关系的分析

与观测资料配合将本次暴雨过程中高空风速 $20m \cdot s^{-1}$ 暂定义为高空急流的指标,用它来描述暴雨过程中高空风的变化特点。从图2中可看出,0~2时高空急流从7km下传到6km,而此后低空急流开始加强下传,说明高空急流下传明显先于低空急流的下传,而且高低空风向平行,存在一种耦合作用,高空动量的下传可能通过耦合作用使低空急流得到加强并下传,低层进一步辐合,使雨强明显增大。在6时低空急流减弱向上收缩到2km高度时,大于 $20m \cdot s^{-1}$ 的高空急流从7km高度又开始下传,到8~9时高空急流已经到达4km高度,这个过程产生了8~9时的第二次降水高峰,强度为 $8mm \cdot h^{-1}$,而

大于 $12m \cdot s^{-1}$ 低空西南风向、风速及所在高度在6~8时基本没有变化,因此8~9时的降水小幅加强应该主要由高空急流的下传加强引起的;图2(b)中15~16时高空急流明显大幅度下传也没有引起低空急流的明显下传,降水有增幅但同第二次波动一样增幅明显小于第一次波动(18~19时降水量为10.5mm)。可看出高空急流的向下传递如果没有引起低空急流的下传加强,雨强的增大就不明显。为了更明显看到这两个过程,提高风廓线资料的时间分辨率,图4给出了0~10时每半小时的风廓线资料(垂直分辨率相同),图上低空急流的明显下传加强发生在02:01~04:03这段时间内,产生第一次降水高峰;从04:03开始低空急流向上收缩减弱,降水即处在减弱阶段(图4a);而大于 $20m \cdot s^{-1}$ 的高空急流明显下传发生在05:30~09:00,这段时间内降水开始缓慢加强产生第二次降水高峰,期间低空急流基本稳定维持在2km高度(图4b);图4中表征高、低空急流的动态变化曲线可以明显展示上述变化。

2.3 高、低空急流指数分析

为了更清楚地显示降水强度的变化趋势与高、低空急流的关系。定义本文高低空急流指数:

低空急流指数

$$I = 12/D \quad (1)$$

高空急流指数

$$T = 20/H \quad (2)$$

其中, D 为某小时 $12m \cdot s^{-1}$ 的风速在该小时中的最低位置; H 为某小时 $20m \cdot s^{-1}$ 的风速在该小时中的最低位置;利用公式(1)和公式(2)定义的指数 T 和 I 可以定量地表示高、低空 $20m \cdot s^{-1}$ 和 $12m \cdot s^{-1}$ 西南风急流向下扩展的程度,因此指数 T 和 I 越大说明 $20m \cdot s^{-1}$ 和 $12m \cdot s^{-1}$ 的西南风急流所在的高度越低,对降水也就越有利;下面主要分析了0~10时它们与降水强度变化趋势的关系。图5为本次过程逐小时雨量变化和高、低空急流指数的综合图。从图5中看出高低空急流指数和降水一样也呈波动变化,低空急流指数 I 在2~4时有明显的增强,4~6

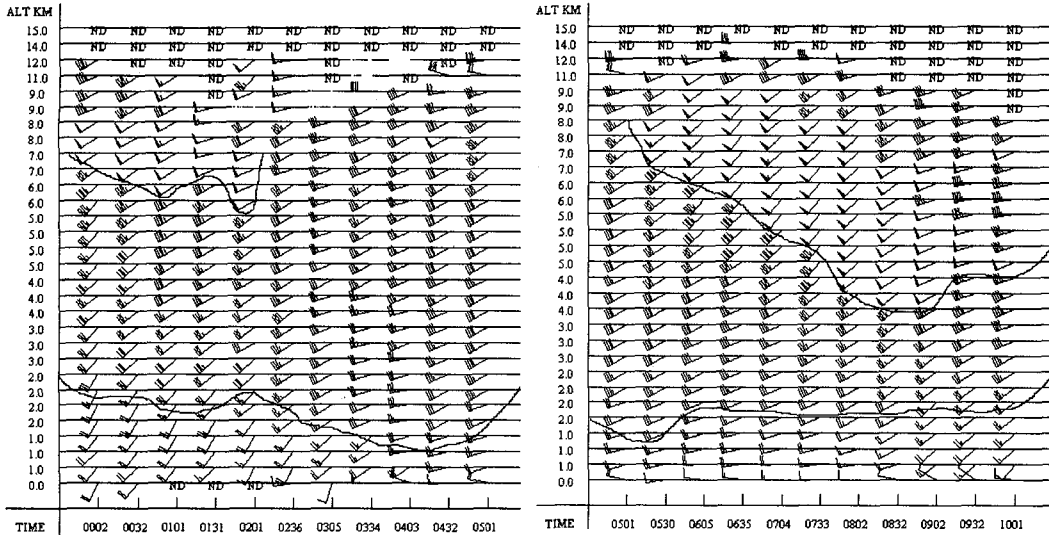


图4 2004年7月16日0~5时(a)和5~10时(b)雷达风廓线
(图中曲线说明同图2)

时不断减小,6~8时相对稳定,16~17时小幅增加,上述变化特点和雨强变化基本相配合。由于2~6时高空风速小于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,因此图5只在6~20时体现出本文所定义的高空急流指数的变化,很明显,8~10时和18~19时雨量的小幅增大应该是由高空急流指数的增大引起的。图5中,高低空急流指数和雨量的变化趋势存在正相关;另外从图中也看出低空急流指数值最大的时段并没有对应最大的降水量;一方面由于影响强降水产生的因素较多,另外可能的原因是地面雨量的观测是点观测,而雷达测风是一定面积上的平均结果,二者之间存在匹配上的偏差。

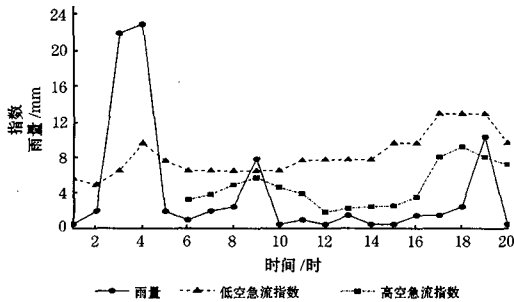


图5 雨量与高、低空急流指数综合图

4 结论

(1) 新一代天气雷达风廓线资料可以清楚地展示为暴雨过程提供充足水汽和能量的

风场的垂直结构及其变化特点,直观地反映出降水过程中的风场变化特征。

(2) 高空急流的加强下传通过高低空耦合作用引起低空急流的向下传递及其加强,低空急流的下传和加强在暴雨过程中起着重要作用,可以引起雨强的大幅增大;而单纯的高空急流的向下传递和加强如果没有低空急流的下传加强相配合,引起的雨强增大幅度相对较小。

(3) 通过设计的高、低空急流指数可以表明高、低空急流向下扩展的程度与降水强度的变化密切相关;低空急流指数增大比高空急流指数增大对雨强增大的贡献要明显。

(4) 新一代天气雷达高时空分辨率资料可以弥补常规资料分辨率不高的缺点,为能准确预报降水的变化提供可靠的资料依据。

参考文献

- 1 陶诗言. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980:29~33.
- 2 朱乾根,林锦瑞,寿绍文等. 天气学原理与方法(第三版). 北京:气象出版社,2000:396~399.
- 3 寿绍文. 中尺度天气动力学. 北京:气象出版社,1993:226~231.
- 4 刘淑媛,郑永光,陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系. 热带气象学报,2003,19(3).
- 5 刘志澄,李柏,翟武全. 新一代天气雷达系统环境及运行管理. 北京:气象出版社,2002:100~101.
- 6 胡明宝,高太长,汤达章. 多普勒天气资料分析与应用. 北京:解放军出版社,2000:165~169,54~55.

Analysis of Relationship between Heavy Rain and Jetstream with Radar VWP Product

Zhang Jingying¹ Qi Liangbo² Wang Qinghua¹

(1. Linyi Meteorological Office, Shandong Province 276004; 2. Shanghai Meteorological Center)

Abstract

An analysis of a heavy rainfall event on 16, July 2004 in Linyi, Shandong is made with radar's VWP product and hourly rainfall data, it shows that the event is characterized with apparent meso-scale features, the vertical structure and maintaining of southwest-moist-jet can be clearly revealed by VWP product, high and low level jet, both with their downward perturbation relate closely with enhancement of rainfall. Extent of rainfall enhancement caused by low level jet's intensification and its downward perturbation is much greater than that of high level jet, and heavy rainfall is mainly induced by low level jet's intensification and perturbation. A jet perturbation index is developed and applied to verify this viewpoint.

Key Words: high level jet low level jet heavy rainfall radar VWP