

一次大暴雨过程中低空急流演变 与强降水的关系

金 巍^{1,3} 曲 岩¹ 姚秀萍² 黄素文¹

(1. 南京大学大气科学系, 210093;
2. 中国气象局培训中心; 3. 辽宁省营口市气象局)

提 要: 利用营口新一代天气雷达提供的每 6 分钟一次的风廓线资料, 详细分析了 2006 年 6 月 29 日辽宁省西部大暴雨过程中强降雨时段的低空风场结构。得出: 此次强降雨天气的发生与低空急流的迅速加强和向下扩展相对应, 短时大暴雨发生前低空西南急流提前 2 小时左右开始有动量快速下传, 当 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流中心下传到 $\leq 1\text{km}$ 超低空, $1.2 \sim 2.1\text{km}$ 低空出现 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 东南急流, 有利于产生短时大暴雨; 说明低空脉动及向地面扩展程度与短时强降水之间关系密切。低空急流到达测站上空不一定立即产生强降水, 有时会滞后 $1 \sim 2$ 个小时, 强降水或强烈天气的发生都存在着一定的动量下传, 引起低空扰动加强, 同时低空急流的强度和伸展高度, 以及动量下传的能量大小, 都直接制约着强降水的强弱。低空急流指数增大的程度和降水量的强度呈正比关系, 低空急流指数不仅可以说明低空急流的脉动以及向地面扩展程度与中小尺度的强降水存在密切的关系, 同时对强降水的出现以及雨强的大小有一定的预示作用。

关键词: 大暴雨 风廓线 低空急流

Mesoscale Structure and Evolution of the Low-level Jet and Its Relationship with the Heavy Rainfall During a Torrential Rain Process

Jin Wei^{1,3} Qu Yan¹ Yao Xiuping² Huang Suwen¹

(1. Atmospheric Sciences Department, Nanjing University, 210093;
2. Training Center, CMA; 3. Yingkou Meteorological Office, Liaoning Province)

Abstract: Using the data of the wind profile delivered every six minutes by the new generation of weather radar of Yingkou, the detailed analysis is made for the low-level wind field structure during

基金项目: “中国气象局气象新技术推广项目‘强灾害性天气预警技术的研究及其推广应用’的研究。课题编号: CMATG2007M10”

收稿日期: 2007 年 5 月 17 日; 修定稿日期: 2007 年 8 月 16 日

the heavy rain periods of torrential rains on 29 June 2006 in the west of Liaoning Province. The conclusion is as follows: The incidence of the heavy rain is corresponding to the rapid strengthening of low-level jet and its downward expansion. The southwest low-level jet in advance of two hours before the short-term heavy rain starts to move downward rapidly. The fluctuation in the low level and its degree of expansion towards the ground has a close relation to the strong short-term rainfall. The low-level jet will not certainly immediately cause a strong rainfall when it arrives at the station, sometimes this process will be delayed one or two hours. The emergence of the strong rainfall or the strong weather has definite momentum transmission. It strengthens the low-level disturbance and the strength of low-level jet. The extended height and the magnitude of the momentum transmission restrict directly the strength of the strong rainfall. The degree of increase in the low-level jet index (I) and the intensity of rainfall has a direct proportional relationship. Index (I) not only indicates that the fluctuation of low-level jet and the intensity of ground expansion have a close relationship with the strong rainfall of meso scale, but also indicates the occurrence of strong rainfall and the magnitude of rainfall intensity.

Key Words: heavy rain wind profile low-level jet

引 言

目前低空急流被认为是对暴雨和强对流天气提供热力和动力条件的重要天气系统^[1-2],低空急流对于暴雨的形成,一方面起着输送水汽和能量的作用,另一方面又有助于维持必要的动力学条件,研究指出^[3-4],低空急流附近存在许多中小尺度的物理量特征,它们与未来暴雨天气的关系比大尺度特征更为密切。人们对短时中小尺度天气系统的发生、发展的机理了解不多,只能依靠加强雷达监测来研究它。低空急流是产生暴雨的一个决定性因素,它是向暴雨区输送水汽、热量和不稳定能量的快速输送带,所以它是暴雨落区预报中是一个重要因子^[5-6]。陆汉城对暴雨的研究表明^[7],华南大暴雨发生时常伴有低空急流的加强,而低空急流轴上的中小尺度脉动与强降水过程又有着密切的关系。由于常规观测手段难以得到非常详细的空间和时间资料,所以以前对中小尺度低空急流脉动认识不够。现在利用多普勒雷达连

续测得分辨率比较高的风廓线资料^[8],为研究低空急流的中小尺度脉动与降水的关系提供了可能。刘淑媛等利用香港暴雨过程与低空急流脉动的关系,指出风廓线的变化对强降水的出现有一定的预示性^[9-11]。文中利用营口新一代 SA 型多普勒雷达资料详细分析了辽宁西部大暴雨的强降雨时段与低空急流脉动关系。

1 暴雨过程简介

雨情资料来源于辽宁省区域气象中心,雷达资料来源于营口市 SA 型新一代多普勒雷达的风廓线资料,时间分辨率为 6 分钟,空间分辨率为 300m,垂直方向有 30 层,最高达到 15.2km。由于文中主要阐述的是低空和超低空急流中小尺度脉动,所以使用资料的最大高度取为 9km。文中所使用的时间均为北京时。

1.1 雨情概况

2006 年 6 月 29 日辽宁省西部地区出现

大暴雨过程,辽宁西部的兴城和葫芦岛 29 日 3—21 时 19 个小时降水量分别达到 230 和 193mm。这次降水特点是雨强大,时段集中,而且这次降水持续时间较长,3 次比较明显的降水波动分别是 5—6 时、11—12 时、15—20 时,降水高峰 16—18 时连续 3 小时兴城和葫芦岛降水量分别达到 124 和 85mm,自动站观测到的最大雨强达到 $47\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$,本次辽西大暴雨过程给当地造成比较大的灾情。

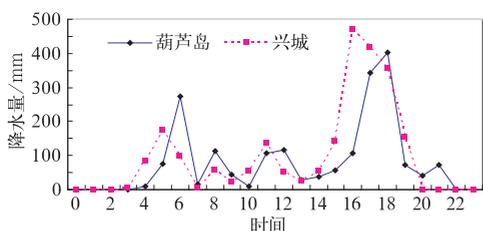


图 1 2006 年 6 月 29 日葫芦岛、兴城雨情

1.2 背景分析

暴雨的形成,总是在有利的大尺度环流背景下出现,因为有利的环流形势为强降水提供了必要的水汽条件和垂直运动条件。在

中高层天气图上(图略),2006 年 6 月 29 日辽西的大暴雨天气过程,高空 500hPa 受河北省西北边界以西的内蒙古中部冷涡前西南急流影响,低空 850hPa 华北低涡北抬东移入海加强,其顶部的东南急流从渤海向辽西输送水汽,地面受华北东移倒槽影响,这样的高低空和地面有利的天气形势是本次大暴雨过程产生的基础。

2 垂直风廓线的结构分析和演变特征及其与降水的关系

从 2006 年 6 月 28 日 23 时至 30 日 00 时营口多普勒雷达风廓线的时间—高度剖面图(图 2),可见,2006 年 6 月 28 日 23 时开始低空弱的西南气流被来自渤海的东南气流所替代,0.3~0.9km 高度上东南气流逐渐加强并向上扩展。29 日 02 时之前整层大气没有明显的水汽输送,02 时之后 7.9~9.1km 高度上西北气流与 6.7~7.6km 高度上逐渐加强的西南气流逐渐合并为偏西气流。05 时转为西南急流,同时急流中心不断向上

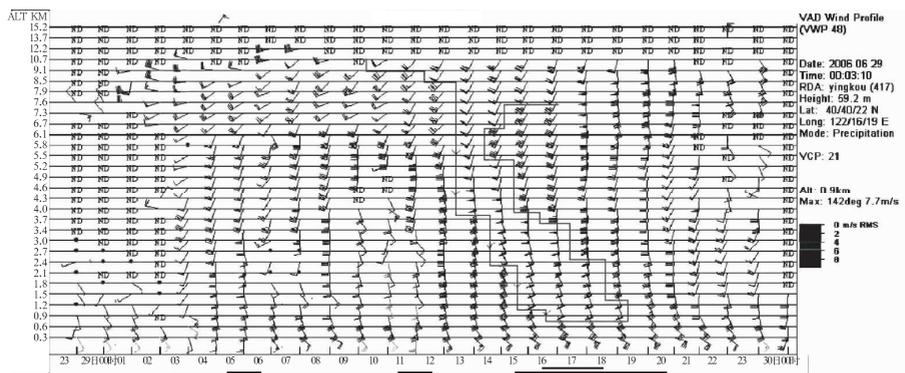


图 2 2006 年 6 月 28 日 23 时到 30 日 00 时的风廓线及对应雨情分布

低端线为降水过程,图中箭头连线表示 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 急流中心动量下传过程伸展加强。12 时开始 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 急流中心动量迅速下传,低空急流不断加强,超低空东南急流、低空偏南急流和高空西南急流相配合,形成比较深厚的水汽输送带。充沛的暖湿空

气向辽西输送水汽,为此次大暴雨过程的发生提供了充足的水汽条件;同时,急流动量快速下传过程中,携带着冷空气不断向地面扩展,为此次大暴雨过程的发生提供了很好的

动力条件。

3 低空急流演变与降水强度的关系

3.1 超低空急流

利用每隔 6 分钟一次的风廓线图,详细分析 29 日 1km 高度以下的超低空东南急流与强降水的关系。

29 日 00 时到 1 时 33 分整个超低空风场在 0.9km 高度有弱东南气流,风速由 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 逐渐增强到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明此时低空东南气流提供的水汽和能量还不充分,但是趋势是逐渐增强的(图略)。

分析 29 日 0.3km 超低空急流风速与降水量分布图(图 3a),可见,在 0.3m 超低空,随着东南急流加强,降水强度也随着增加。 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流出现预示着未来有强降水产生,强降水时段 11—12 时出现 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,15—20 时强降水时段出现 $12\sim 14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,16—18 时短时大暴雨时段出现 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流。

分析 29 日 0.6km 超低空急流风速与降水量分布图(图 3b)可见:在 0.6km 超低空, $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流与降水几乎同时出现。5—6 时出现 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,11—12 时出现 $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,15—20 时出现

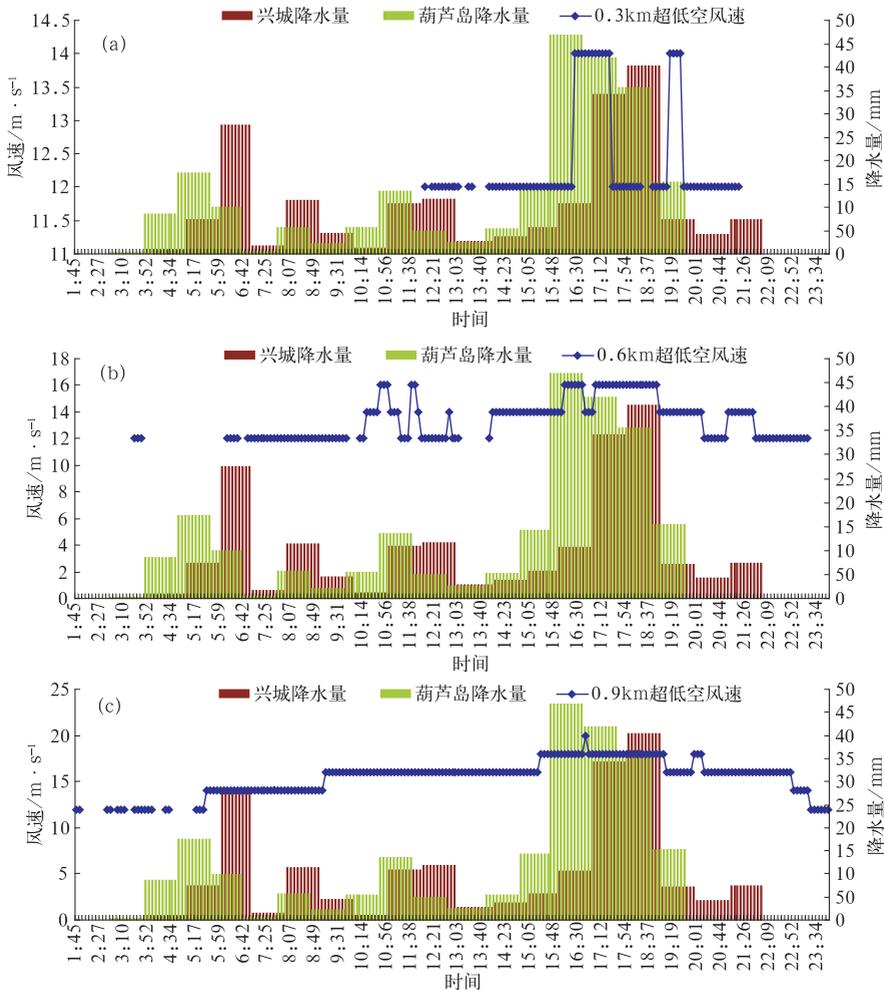


图 3 0.3~0.9m 超低空急流风速及对应降水量分布

$\geq 14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,16—18时短时大暴雨时段出现 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流。持续的 $14\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流伴有比较强的降水, $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流持续出现对短时大暴雨的产生有一定的指示意义。

分析 29 日 0.9km 高度超低空东南急流风速与降水量分布图(图 3c)可见:在 0.9m 超低空,1 时 45 分开始出现 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流,2 小时后产生降水。5—6 时、11—12 时强降水发生,同时及 1—2 小时前分别出现 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流;15—20 时强降水时段出现 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流;16—18 时短时大暴雨时段出现 $\geq 18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流;17 时 42 分出现 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流与雨强最强的时段 17—18 时相对应,17—18 时的小时降水量都达到 $34\sim 42\text{mm}$ 。 $18\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流对短时大暴雨产生有着一定的预示作用。

综上所述,随着超低空的东南急流垂直伸展,动量下传,降水强度也随着增加。超低空急流强度的大小也制约着降水强度。随着高度降低强降水发生所需的急流强度也随之减弱,在 0.3、0.6、0.9km 高度分别出现 14 、 16 、 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流对短时大暴雨的产生有着一定的预示作用。

3.2 低空急流

选取 1~6km 高度的风廓线资料,对 6 月 29 日辽西大暴雨天气过程的低空急流进行分析。

29 日 00:00—2:27 低空风速先由静风转为 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的南风,然后逐渐加强到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明低空偏南气流提供的水汽和能量还不充分,但趋势也是增强的。

分析 29 日 1.2km 高度低空急流风速与降水量分布图(图 4a)可见,强降水时段 11—12 时出现 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,15—20 时出现 $\geq 18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的东南急流,短时大暴雨时段

16—18 时出现 $20\sim 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强东南急流。可见,在 1.2km 高度,东南急流越强,产生强降水的可能性越大, $20\sim 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强东南急流对短时大暴雨的产生有一定的预示作用。

分析 29 日 1.5km 高度低空急流风速与降水量分布图(图 4b)可见,强降水时段 11—12 时和 15—20 时分别出现 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $20\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流,16—18 时短时大暴雨发生时出现 $22\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强偏南急流。

分析 29 日 1.8km 高度低空急流风速与降水量分布图(图 4c)可见,11—12 时、15—20 时强降水发生时出现 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流,16—18 时短时暴雨强降水发生时出现 $20\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强偏南急流, $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低空急流要比强降水提前 2 小时左右, $22\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低空急流可能引导短时大暴雨的发生。

分析 29 日 2.1km 高度低空急流风速与降水量分布图(图 4d)可见,11—12 时强降水时段出现 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流,15—20 时强降水发生时出现 $\geq 22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流,16—18 时短时大暴雨发生时出现 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强偏南急流, $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 低空急流比强降水提前 3 小时出现, $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强偏南急流,对短时大暴雨临近预报有很好的指示作用。

综上所述:在 1.2~2.1m 的低空,随着偏南急流加强向下伸展,降水强度也随着增加,低空急流强度的大小影响强降水的强弱;16—18 时短时大暴雨出现前有偏南急流动量快速下传,由高到低先后出现 $\geq 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏南急流。由此得出,在 1.2~2.1km 低空, $22\sim 24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流快速下传,对短时大暴雨的产生有着一定的预示作用。

在 2~6km 高空,29 日 2 时 09 分开始 4km 高度有弱的西南气流生成,并逐渐垂直伸展,到 3 时 22 分西南气流从 2.1km 垂直延伸到 6.0km,2:52—3:40 在 3.4~4km 高

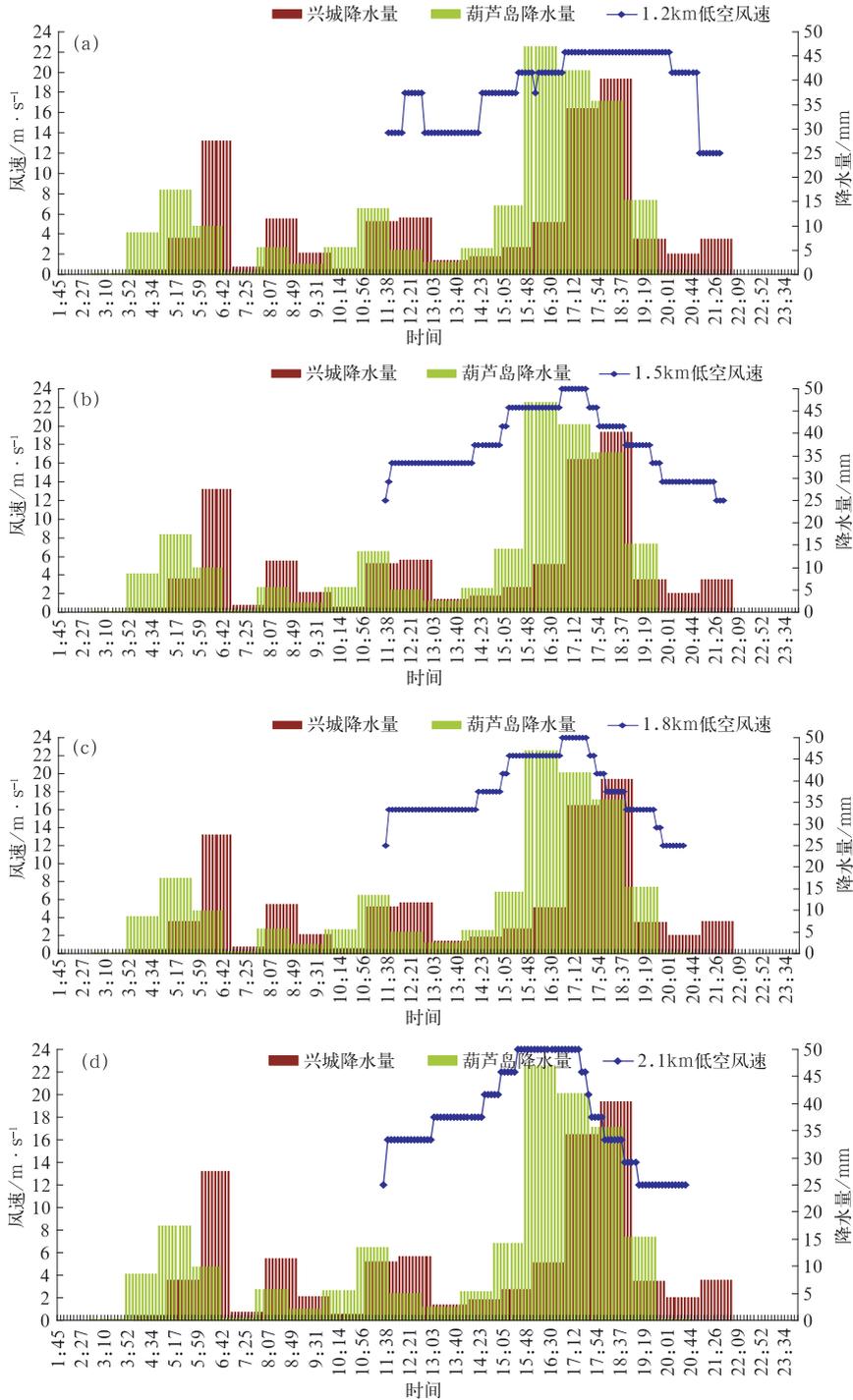


图 4 1.2~2.1m 低空急流风速及对应降水量分布图

度有 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南急流中心,随着动量快速下传,4:10—4:16 在 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南急流

中心下落到 2.7—3.7km 高空,而后西南急流中心逐渐减弱向上收缩到 3.7km,6 时 05

分西南急流减弱为 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南气流。6 时 23 分开始在 3.4km 高度又有 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流生成,7:12—9:01 偏南急流向上伸展加强,在 $3.4\sim 6.1\text{km}$ 高空形成一个 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流中心,9:07—10:32 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流中心逐渐减弱北抬收缩在 $5.2\sim 6.1\text{km}$,随后风场动量再次快速下传形成一个较为深厚的西南急流,12 时 33 分在 6.1km 高度有 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流生成并且急流中心快速南落加强;15 时 13 分在 $2.4\sim 2.7\text{km}$ 高度形成 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流,急流动量不断下传,17 时 27 分 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流下传到 $1.5\sim 2.1\text{km}$ 的高度,17 时 42 分 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏南急流向下伸展到 0.9m 的超低空。

由此得出,短时大暴雨发生前低空 $2\sim 6\text{km}$ 偏南急流提前 2 小时左右出现风速加强、动量迅速下传,当 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流中心下传到超低空,为此次短时大暴雨提供了充沛的水汽条件,对短时强降水发生有很好的预示作用。

4 低空急流演变与降水强度关系的机制分析

为了更清楚地显示降水强度的变化趋势与低空急流的关系。我们以 2km 以下边界层急流中心的最大风速 V 和 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速在该小时中的最低位置 D 的比值定义了一个低空急流指数 $I=V/D$,用它定量地表示低空急流向下扩展程度和风速脉动的强度,并考察它与雨强之间的关系。29 日低空急流指数的变化及相应的逐时雨量直方图中(图 5),强降水出现对应的 I 值也非常大, I 值迅速加大后,雨强也迅速加大,特别是对短时强降水发生时, I 值达到最大。可以看出,低空急流指数 I 增大的程度和降水量的强度成呈正比关系。通过分析表明,低空急流指数 I 不仅可以说明低空急流的脉动以及地面扩展程度与中小尺度的强降水存在密切的关系,同时对强降水的出现以及雨强的大小有一定的预示作用。

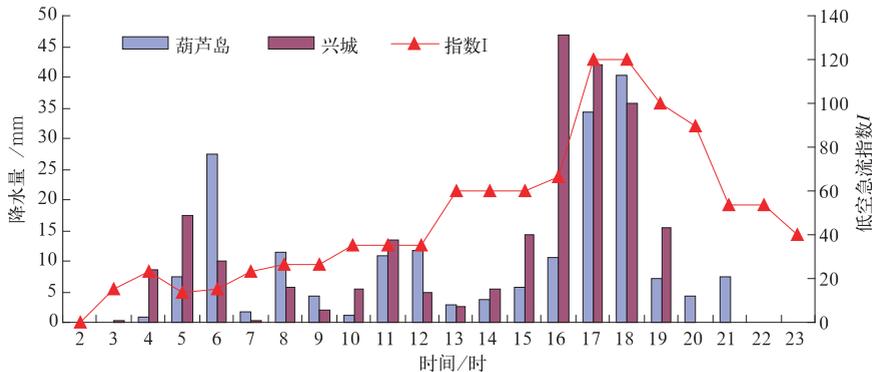


图 5 2006 年 6 月 29 日 02—23 时低空急流指数 I 及葫芦岛、兴城每小时雨量图

5 结 论

用营口雷达每 6 分钟的风廓线资料可以很清楚地揭示对流层存在的中小尺度现象与低空急流的脉动与强降水发生过程时间上的

配合。

在低空急流起着决定作用的辽西大暴雨中,单站低空急流的中小尺度脉动对周边地区的强烈天气和强降水有一定的指示意义。低空东南急流、低空偏南急流和高空西南急流相配合,有充沛的暖湿空气向辽西输送水

汽,为此次大暴雨过程的发生提供充足的水汽条件;同时在急流动量快速下传过程中,携带着冷空气不断向地面扩展,为此次大暴雨过程的发生提供了很好的动力条件。

超低空急流强度的大小也制约着强降水的产生,当超低空的东南急流向下伸展,动量下传,降水强度也会随之增加,随着高度降低,强降水发生所需的急流强度也随之减弱,在 0.3、0.6、0.9km 高度分别出现 14 、 16 、 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流,有利于短时大暴雨的产生。在 $1.2\sim 2.1\text{m}$ 的低空,随着偏南急流动量下传,降水强度也随之增加,低空急流强度的大小影响强降水的强弱;16—18 时短时大暴雨发生前有偏南急流动量快速下传,低空出现 $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 东南急流对短时大暴雨的产生有着一定的预示作用。在 $2\sim 6\text{km}$ 低空,短时大暴雨发生前低空偏南急流提前 2 小时左右开始有动量迅速下传, $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流中心下传到超低空,为产生短时大暴雨提供了充沛的水汽条件,对强降水发生有很好的指示作用。

低空脉动及向地面扩展程度与短时强降水之间关系密切,低空急流到达测站上空不一定立即产生强降水,有时会滞后 $1\sim 2$ 个小时。强降水或强烈天气的发生都存在着一定的动量下传,引起低空扰动加强,同时低空急流的强度和伸展高度,以及动量下传的能量大小,都直接制约着强降水发生。低空急流指数 I 增大的程度和降水量的强度呈正比。

低空急流指数 I 不仅可以说明低空急流的脉动以及地面扩展程度与中小尺度的强降水存在密切的关系,同时对强降水的出现以及雨强的大小有一定的预示作用。

参考文献

- [1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,1991.
- [2] 朱乾根. 低空急流与暴雨[J]. 气象科技,1975,8:12-18.
- [3] 丁一汇. 中尺度天气和动力学研究[M]. 北京:气象出版社,1996.
- [4] 孙淑清,瞿国庆. 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用[J]. 大气科学,1987,11(4):327-337.
- [5] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1998:29-33.
- [6] 周秀骥,薛纪善,陶祖钰. 华南科学试验研究[M]. 北京:气象出版社,2003:9-10.
- [7] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京:气象出版社,2000:251-281.
- [8] 张霁琛. 现代气象观测[M]. 北京:北京大学出版社,2000:289-298.
- [9] 刘淑媛,郑永光,陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空急流脉动与暴雨的关系[J]. 热带气象学报,2003,19(3):285-290.
- [10] 张京英,漆梁波,王庆华. 用雷达风廓线产品分析一次暴雨与高低空急流的关系[J]. 气象,2005,31(12):41-45.
- [11] 曹春燕,江崑,孙向明. 一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水关系分析[J]. 气象,2006,32(6):102-106.
- [12] 段旭,许美玲,孙绩华,等. 一次滇西南秋季暴雨的中尺度分析与诊断[J]. 高原气象,2003,22(6):597-601.