

文章编号: 2096-1618(2016)增-0064-05

边界层风廓线雷达在短时大风过程中的特征分析

王一文^{1,2}, 朱克云¹, 张杰³, 蒋大凯², 程攀², 才奎志²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 辽宁省气象灾害监测预警中心, 辽宁 沈阳 110000; 3. 成都军区空军气象中心, 四川 成都 610041)

摘要:利用风廓线雷达结合多普勒天气雷达, 加密自动站资料对 2015 年 6 月 16 日一次短时大风过程进行分析, 结果表明: (1) 此次过程是由阵风锋过境后的下沉气流造成的短时大风过程。 (2) 风廓线雷达对雷达站附近的风场变化十分敏感, 可以反映环境风场的细微结构, 判断环境大气中是否有对流系统进入以及大气湍流情况。 (3) 风廓线雷达探测的是雷达站附近的风场变化, 相较于多普勒雷达的 VWP 产品更加连续。

关键词:风廓线雷达; 短时大风; 阵风锋

0 引言

风廓线雷达(WPR)是一种新型的探测设备, 可以 24 小时无人值守的监测风场变化, 除水平风风向风速外, 还可提供垂直速度、信噪比、大气折射率结构常数等多种产品, 能够有效捕捉到大气风场的细微结构^[1], 对于移动快、生命史短的中小尺度天气具有更好

的监测效果。2013 年沈阳市气象台为保障全运会气象服务工作引进一台边界层风廓线雷达, 将分析其在 2015 年 6 月 16 日一次雷雨大风中的特征变化。

此次雷雨大风过程(图 1)主要出现在沈阳市南部地区, 降水较弱, 但风速较大, 最大风速为 14.7 m/s, 持续时间为 30 min 左右, 造成树木折断、广告牌掉落, 在沈阳市十分罕见。

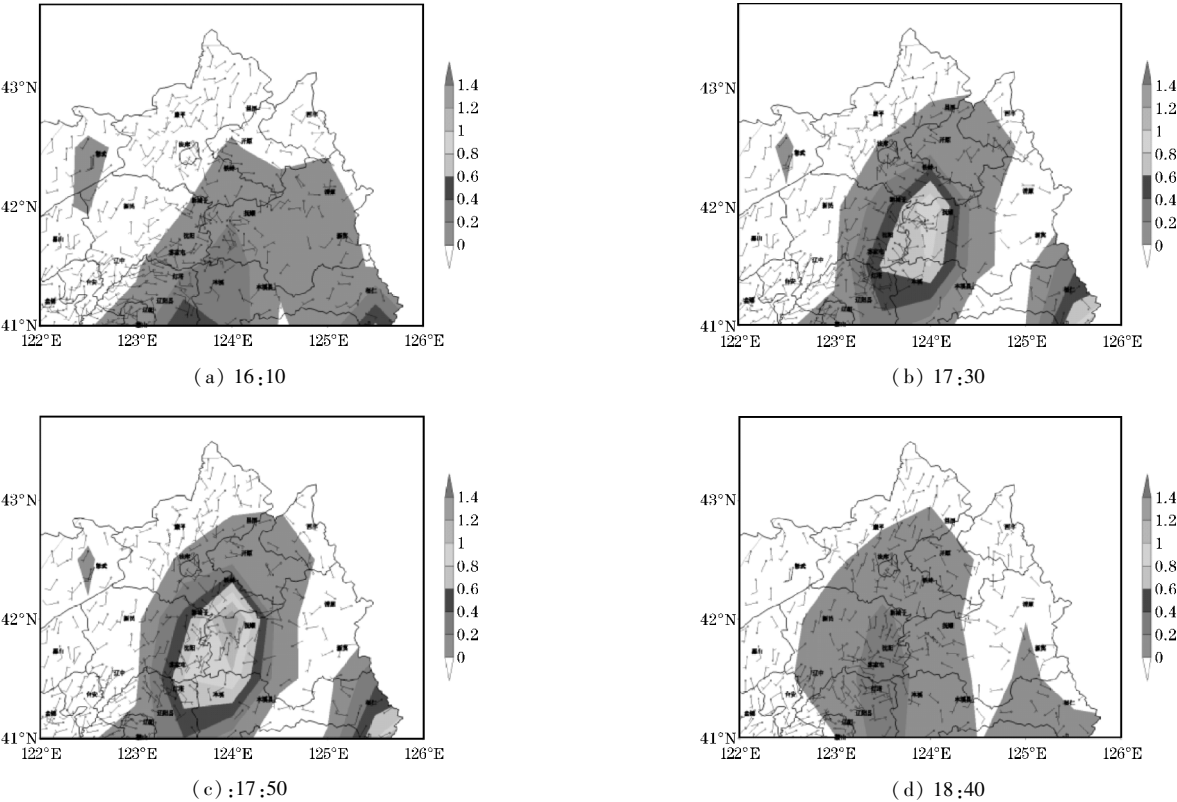
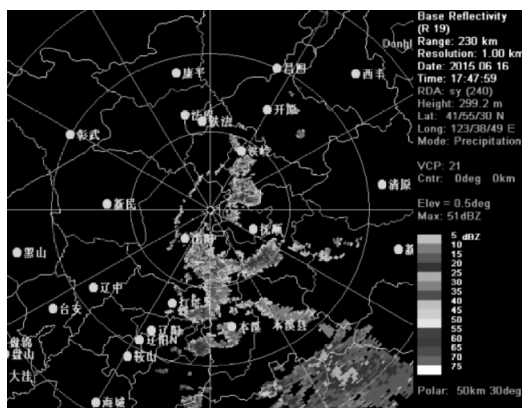


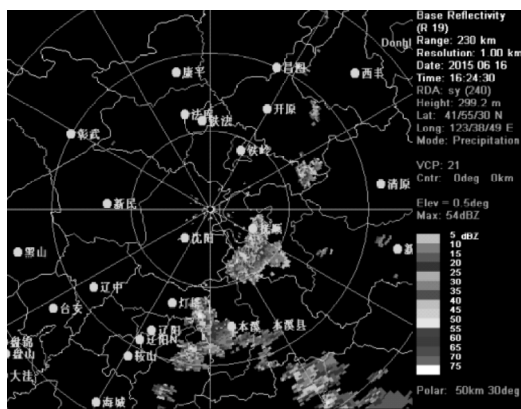
图 1 2015 年 6 月 16 日沈阳 10 min 加密自动站气象要素图(阴影为降水量, 单位 mm)

1 多普勒雷达的特征分析

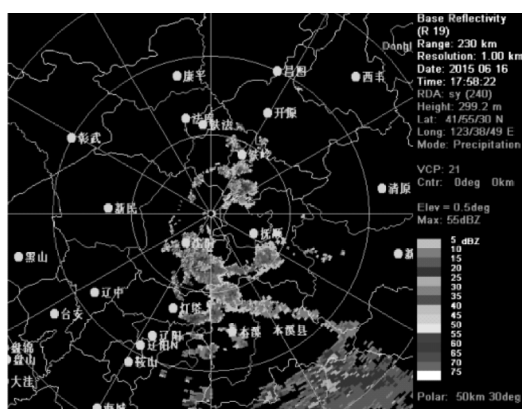
多普勒雷达是目前应用较为成熟的设备,而风廓线雷达是沈阳市气象台新引进的设备,许多方面还不够成熟,并且由于目前沈阳市仅有一部风廓线雷达,无法形成布网,对经过雷达站上空或附近的系统更加敏感,仅能反映单点风场的垂直结构和变化特征,具有局限性。而多普勒可以宏观的监测系统的移动趋势、强弱变化,可以提供时间分辨率为6 min,空间分辨率为300 m风廓线产品(VWP产品),对于描述系统的发生发展,并说明风廓线雷达优劣都具有重要意义。



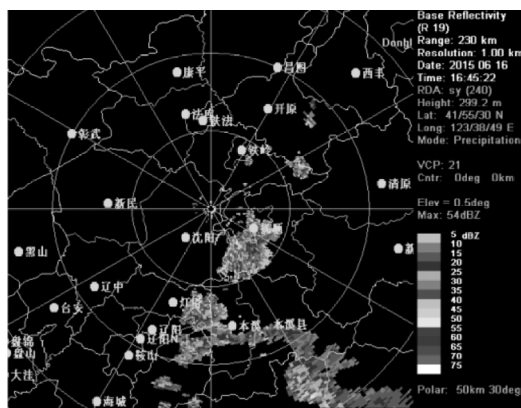
(d) 17:47



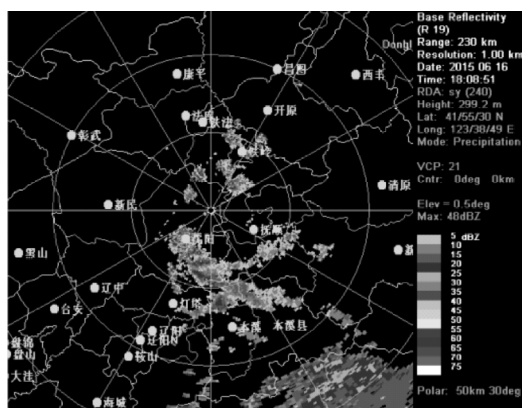
(a) 16:24



(e) 17:58



(b) 16:45

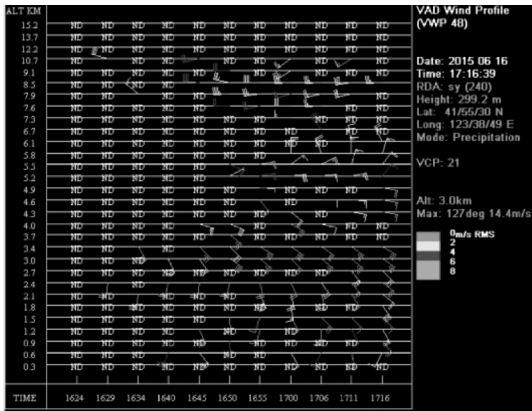


(f) 18:08

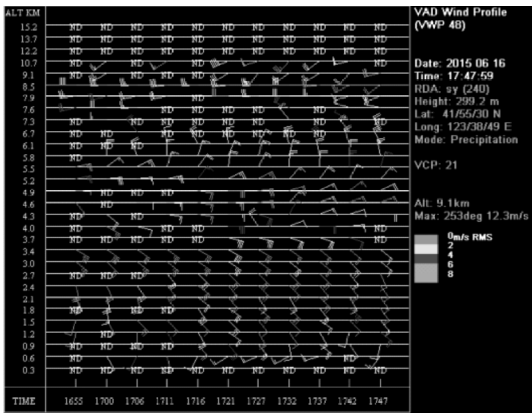
图2 2015年6月16日多普勒雷达回波图
(坐标:123.38°E,41.55°N,距离每圈50 km,观测仰角1.5°)

由图2可以发现,此次对流系统是由东南向西北方向移动,在系统移入沈阳前,对流系统强度为35~40 dBz,强度较弱。16:45有一条不连续的弱窄带回波在对流主体前部生成(图2b),并随系统移动逐渐向风廓线雷达站(123.51°E,41.72°N)推进,此时抚顺市和沈阳交界处开始出现降水(图1),说明系统开始进入沈阳。17:16回波主体前部的窄带回波呈弧状,强度为5~10 dBz,距离母体10~15 km,表现出阵风锋的

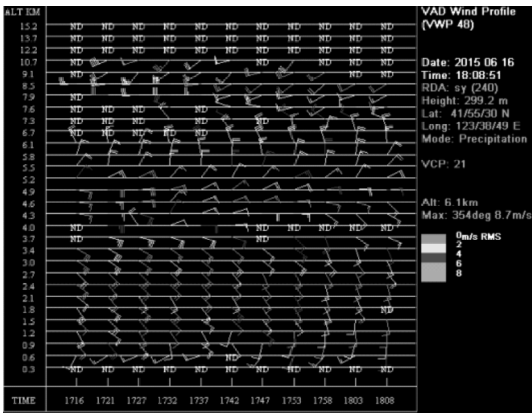
特征,此时系统开始接近风廓线雷达站。17:47窄带回波已经移至风廓线雷达站西部,距离对流系统母体15~20 km,曲线弯曲度有所减小,但强度变化不明显,其后部对应的为下沉大风区,沈阳自动站探测到8 m/s的大风(图2d)。17:58分母体前部的窄带回波开始分裂消散,降水落区逐渐向西移动(图1),短时大风过程基本结束。



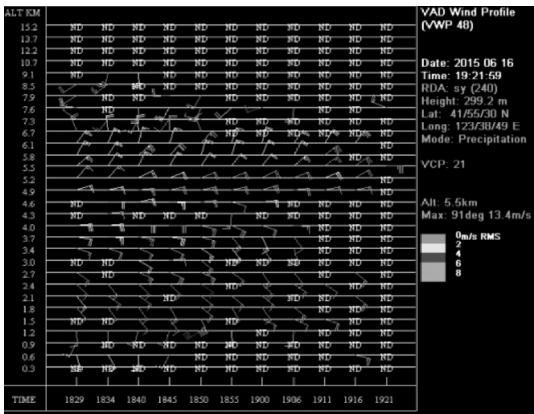
(a)17:16 时



(b)17:47 时



(c)18:00 时



(d)19:21 时

图3 2015年6月16日沈阳多普勒雷达风廓线雷达产品

分析多普勒雷达风场产品(图3),16时大气以干区为主,多个高层显示为“ND”。17时后多普勒雷达开始探测到风场,低层为东南风,风速较小,高层为西南风,风速较大。17:16~17:47多普勒雷达VWP产品在5.8 km以下探测到风速。此段时间内,沈阳处于阵风锋后部,对应大风速区,图3(b)中最大风速为12.3 m/s,小于实况监测。19时之后,短时大风和降水过程相继结束,图3(d)中又再次在多个高度上出现“ND”。

2 风廓线雷达特征分析

风廓线雷达的时空分辨率较高,时间分辨率最小为5 min,低层垂直分辨率仅为120 m,十分适合分析中小尺度天气系统。下面利用风廓线雷达探测的风场数据分析此次过程的风场结构特征,为进一步开发应用风廓线雷达做准备。

对时间分辨率为30 min的风场(图4a)进行分析可以看到,16日09~17时近地面层以西南风为主,为沈阳地区带来暖湿气流,17~19时近地面风场转为东南风,风速可达到20 m/s,说明此时有系统移入沈阳,使得风廓线雷达站附近风场发生风向转向。19时后低层风场逐渐转为西南风,说明新进入的系统已经移出沈阳南部,这种风场的变化与实况的探测结果基本一致。

根据上节的分析可知,此次短时大风过程与系统移动过程中形成的阵风锋关系密切。阵风锋是强风暴系统的出流气体与周围空气交汇的界面^[2],可以触发对流性天气^[3],是一种生命史较短的中小尺度天气现象,多位学者也对其做了细致的分析^[4-8]。阵风锋具有生命尺度较短,空间尺度较小的特征,为进一步分析风场在阵风锋过境时的结构特征,文中还将使用分辨率为5 min的水平风场做更加精细的研究。

图 4(b)为时间分辨率5 min的风场图。17 时前的东南风主要出现在2000 m以上,17 时后近地面层风场逐渐转为东南风,风场结构紧凑,说明有系统正逐渐移入雷达站附近。17:30各高度风场风速均较前一时刻有所增强,近地面有20 m/s的东南大风,持续时间为30 min,较实况(图 1)结果有所偏大,这可能是由于风廓线雷达受降水粒子的干扰导致探测结果出现偏差,但风场转向时间与实况基本一致。对比多普勒雷达 VWP 产品(图 3)可发现,多普勒雷达受降水粒子影响使得探测结果不连续且小于实况,而风廓线雷达可以实时提供风场数据,在监测风场的连续变化和外推系统上更加有利。

另外,加密自动站气象要素图(图 1)中,雨区有西移的特点,说明系统是在偏东引导气流影响下移入沈阳,而风廓线雷达在系统进入探测到东南风,说明探测的风向具有可信性。

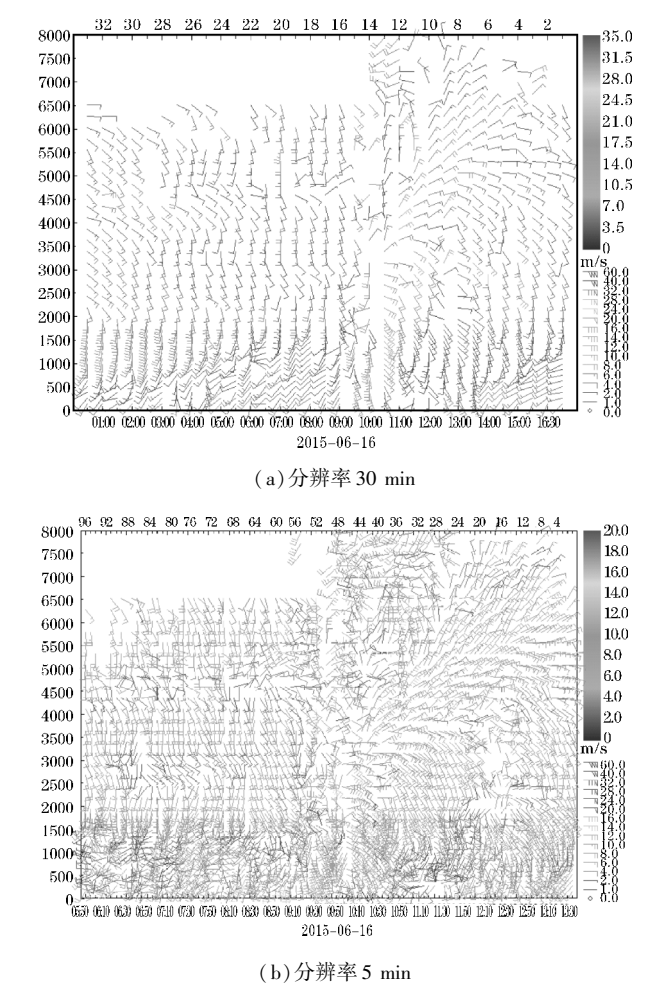


图 4 2015 年 6 月 16 日水平风场时间演变图
(时间分辨率:5 min,横坐标为世界时)

结合垂直速度图分析,图 5 中垂直速度由负值转为正值,最大可达到6 m/s以上,此时大气中有强烈的下沉气流,这种强下沉气流会在地面造成辐散。根据

阵风锋的结构特征,当下沉风强度越强,在地面造成的辐散也越强,阵风锋也越强,而4 m/s以上的下沉气流主要出现在2 km以下,说明出流的位置在此高度以下。实况表现为风速迅速增大(图 1)。18 时后近地面基本受10 m/s以下的东南风控制(图 5b),20 m/s的大风抬升至1500 m以上,近地面风场转为西南风,风向随高度逆转,结构由紧凑变为松散,根据阵风锋的结构分析,沈阳风廓线雷达站明显由雷暴前部处于雷暴后部。同时,垂直速度由6 m/s逐渐减弱为0 m/s,下沉气流基本消失,说明系统已经过境,阵风锋有所消散,短时大风过程基本结束。

对垂直速度分别选取过程前、过程中和过程后的风速做垂直高度图(图 6)可发现,垂直风强度在此次过程中有一个明显的加强又减弱的变化趋势。当阵风锋经过风廓线雷达站时,低层风速明显大于高层,垂直速度曲线波动幅度剧烈,这种曲线的变化说明当对流系统与环境大气交汇时,大气气体速度具有分布不均匀的特征。

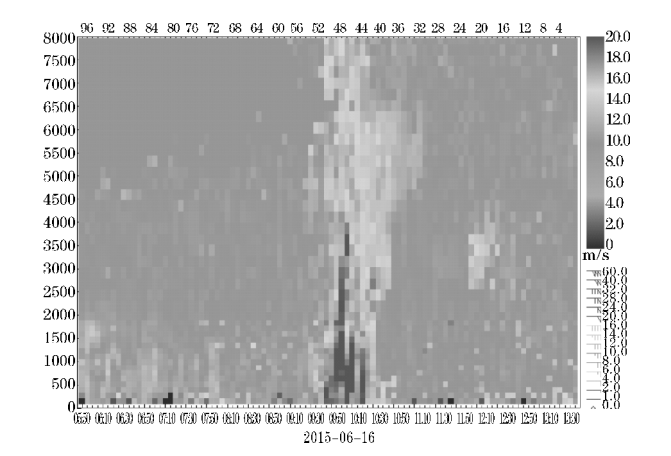


图 5 2015 年 6 月 16 日垂直风场时间演变图
(时间分辨率:5 min,横坐标为世界时)

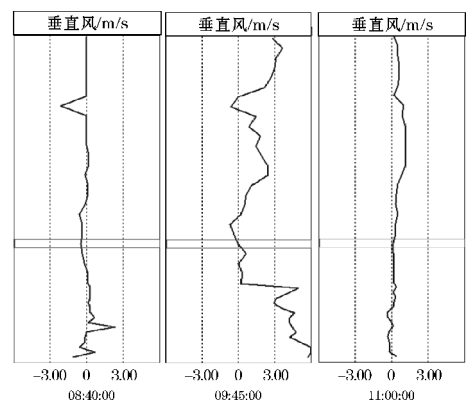


图 6 2015 年 6 月 16 日垂直风的垂直高度图
(时间分辨率:5 min,横坐标为世界时)

大气折射率结构常数(C^2_n)可以反映大气不均匀性造成的折射率不均匀,代表大气湍流运动的剧烈程

度,受到大气中温压湿的影响。图7中 C^2n 在17:20~18:40出现明显增强,这种大值区十分有规律的分布在整层大气,但底层的强度高于中高层,并且数值相近,可达到-100 dB。这种特征说明在17:20~18:40大气湍流运动剧烈,大气折射率不均匀性显著增加,底层的大气运动要比中高层剧烈。

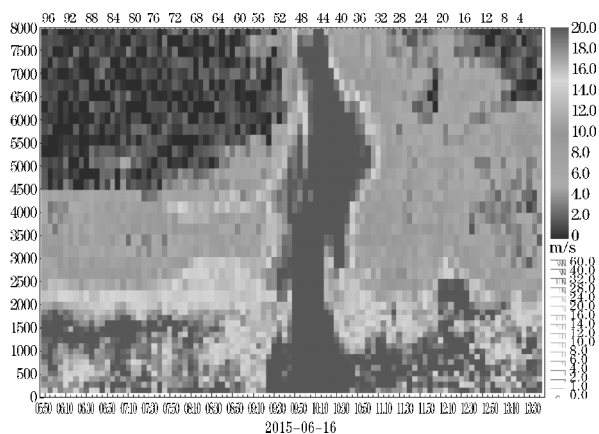


图7 沈阳风廓线雷达探测的 C^2n 的时间-高度图
(分辨率:5 min,横坐标为世界时)

3 结束语

对2015年6月16日一次短时大风过程进行分析,结合风廓线雷达资料、多普勒雷达资料和10 min加密自动站资料得到以下结论:

(1)雷雨大风是由阵风锋过境引起,阵风锋从初生到消散约为40 min,在沈阳南部造成了15~30 min的大风天气。

(2)当对流系统经过风廓线雷达站时,水平风出现连续性的风向转向,风场结构紧凑,垂直速度由负值转为正值,底层风速大于高层,垂直速度的垂直高度曲线波动剧烈,大气折射率结构常数 C^2n 明显增强,将各参数进行综合分析可以判断环境大气中是否有对流系统进入以及雷达站附近的大气湍流情况。

(3)对风廓线雷达和多普勒风廓线雷达产品的对比分析表明,风廓线雷达可以连续的探测系统经过前后的风场变化,对大风出现的时间十分敏感,受降水粒子的影响,风廓线雷达得到的风速值会大于实况风场。多普勒雷达探测结果小于实况风场,但相较于前者,VWP产品更缺乏连续性。

(4)风廓线雷达对雷达站附近的风场变化十分敏感,可以反映环境风场的细微结构,而多普勒雷达则可以清晰地反映对流系统的移动方向和强弱变化,二者应相互结合互相补充使用。

参考文献:

- [1] 王令,王国荣,古月,等. 风廓线雷达垂2007 直径向速度应用初探[J]. 气象,2014,40(3):290-296.
- [2] Diana L K, Smith Da R, Wolfson M M. Gust Front Characteristics as Detected by Doppler Radar[J]. Mon Wea Rev, 1987, 115: 905-918.
- [3] Fujita T. Analytical mesometeorology: A review Severe Local Storms [J]. Meteor, Monogr., Amer. Meteor. Soc., 1963, 27: 77-125.
- [4] 刘勇,王楠,刘黎平. 陕西两次阵风锋的多普勒雷达和自动气象站资料分析[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 380-387.
- [5] 胡文东,陶林科,杨侃,等. 西北干旱区一次阵风锋天气过程分析. 中国沙漠[J]. 2008, 28(2): 349-356.
- [6] 吴芳芳,王慧,韦莹莹,等. 一次强雷暴阵风锋和下击暴流的多普勒雷达特征[J]. 气象, 2009, 35(1): 55-64.
- [7] 毕旭,刘慧敏,赵榆飞. 陕北系列阵风锋天气过程分析[J]. 陕西气象, 2008, (2): 23-26.
- [8] 袁子鹏,王瀛,崔胜权,等. 一次中纬度爬线的阵风锋发展特征分析[J]. 气象, 2011, 37(7): 814-820.