

柯莉萍,张玉逵,邹书平,等. 风廓线雷达产品在冰雹天气过程中的应用[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(4): 36 - 40.

风廓线雷达产品在冰雹天气过程中的应用

柯莉萍¹, 张玉逵¹, 邹书平², 蔡彤¹, 张艳¹, 吕静¹

(1. 贵州省威宁彝族回族苗族自治县气象局, 贵州 威宁 553100; 2. 贵州省人工影响天气办公室, 贵州 贵阳 550081)

摘 要:该文利用威宁县 2022 年 6 月 2 日一次冰雹天气过程风廓线雷达资料和威宁国家基准气候站降水资料, 采用数理统计等方法对此次天气过程的风廓线雷达特征进行分析。结果表明: 冰雹、短时强降水开始前, 低空急流的建立和垂直风切变的加强, 急流造成的辐合加上近地层风向的切变作用, 为冰雹和强降水的产生提供了很好的动力条件; 冰雹和短时强降水开始发生时, 2000 m 高度以上有很大的正速度, 可以作为一个指标判断对流发展的强弱情况; 冰雹发生时折射结构常数(C_n^2)值在 $-128 \sim -110$ dB 之间, 也能很好地反映冰雹等强对流天气的开始、增强和结束过程。

关键词:强对流; 冰雹; 短时强降水; 低空急流; 风廓线雷达

中图分类号:P458.1⁺21.2 **文献标识码:**A

Application of Wind Profile Radar Products in Hail Weather Process

KE Liping¹, ZHANG Yukui¹, ZOU Shuping², CAI Tong¹, ZHANG Yan¹, LYU Jing¹

(1. Weining Yi Hui Miao County Meteorological Bureau of Guizhou Province, Weining 553100, China;
2. Guizhou Weather Modification Office, Guiyang 550081, China)

Abstract: The wind profile radar data of a hail weather process in Weining County on June 2, 2022 and the precipitation data of Weining National Benchmark Climatic Station are used to analyze the wind profile radar characteristics of this weather process by using mathematical statistics and other methods. The results show that before the beginning of hail and short-term heavy precipitation, the establishment of low-level jet and the enhancement of vertical wind shear, the convergence caused by jet stream and the shear effect of wind direction in the near surface layer provide a good dynamic condition for the generation of hail and heavy rainfall; when hail and short-term heavy rainfall begin to occur, there is a large positive velocity above the height of 2000 meters, which can be used as an indicator to judge the strength of convection development; when hail occurs, the refractive structure constant (C_n^2) is $-128 \sim -110$ dB, which can also well reflect the beginning, enhancement and end of severe convective weather such as hail.

Key words: strong convection; hail; short term heavy rainfall; low level jet; wind profile radar

0 引言

风廓线雷达的基本原理是采用多普勒频移原理, 利用大气湍流运动来进行测风, 其跟踪的目标物是湍流气团。和探空等其它常规探测设备相比

较而言, 风廓线雷达有分辨率高、连续性和实时性好等主要优点。其与传统测风的不同在于能够连续不间断地探测大气水平、垂直风场以及大气折射率结构常数等要素, 为实时监测中小尺度天气系统、分析灾害性天气系统的发生、发展提供了可能,

收稿日期: 2022 - 12 - 07

第一作者简介: 柯莉萍(1974—), 女, 副高, 主要从事大气探测研究, E-mail: 536482839@qq.com。

通讯作者简介: 蔡彤(1998—), 女, 助工, 主要从事气象服务工作, E-mail: 854263462@qq.com。

资助项目: 贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2022]07-02号); 威宁人工防雹作业效果物理检验方法。

为强降水、冰雹、雷雨大风等强对流天气的短时临近预报预警提供了强有力的技术支撑^[1-3]。近年来风廓线雷达因其全天候监测大气风场的优点,在灾害性天气预测预报预警业务上得到了广泛应用。刘淑媛等^[4]分析风廓线雷达与降水实况资料发现,低空急流与降水强度及出现时间之间关系紧密。张京英等^[5]通过对风廓线资料和每小时的降水实况资料分析发现:降水强度的增强与高、低空急流及其向下的脉动有着紧密的联系,低空急流的下传和加强引起暴雨的产生。周芯玉等^[6]利用风廓线雷达资料分析了广州2次暴雨过程,发现暴雨的发生受动量下传的影响较大,同时强降水的发生与低空急流指数的脉动有很大关系。刁家敏等^[7]研究表明强降水发生时段内,风廓线垂直速度在0~5 km显著增大,最大值可达 $9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。强对流发生时,0~5 km层有较深的垂直风切变存在。杨引明等^[8]研究结果表明:风廓线雷达的信噪比在约大于40 dB的开始和结束能够很好地反映降水的开始和结束时间。在中小尺度天气监测上,风廓线雷达产品在对流性天气时体现出回波谱宽加大强度和垂直速度发生较大的变化^[9-10],张小雯等^[11]研究表明风廓线雷达在晴空时垂直速度 $>0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,降雪时为 $0.5\sim2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,稳定降水时为 $3\sim5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,对流性降水时通常 $>12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。天气系统临近时,风廓线雷达的最大探测高度和增幅与强降水的强度之间呈正相关^[12]。杨哲等^[13]研究表明威宁风廓线雷达资料数据真实可靠,与探空资料对比有很好的 consistency。本文利用贵州省威宁站 CFL-03

边界层风廓线雷达资料,对2022年6月2日发生在威宁县城的一次冰雹、短时强降水天气过程进行分析,探究本次冰雹、短时强降水降水过程发生、发展和消亡期间风廓线雷达探测要素的变化特征,为冰雹等强对流灾害性天气预测预报预警积累经验。

1 天气实况

贵州省威宁县城2022年6月2日出现了一次冰雹、短时强降水天气过程,15时46—48分、16时07—13分出现了最大直径为5 mm的冰雹,15时59分—16时52分不到1 h时间内降水量达到31.6 mm,属于短时强降水。此次降水天气过程造成威宁县城内多个低洼地段出现城市内涝。

2 环流形势分析

图1是6月2日08时中尺度系统配置分析图。从图示分析看,500 hPa槽位于重庆西南部,威宁处于高空槽南端的前部,高空槽移动过程中,携带干冷空气南下,700 hPa低涡位于四川,威宁受低涡切变前端的暖湿西南气流影响。850 hPa低涡在重庆东南部,向东沿着贵州北部边缘伸出一条冷切,冷切横贯威宁中北部。地面上贵州西北部边缘的辐合线南压,极易触发威宁对流发生。500 hPa比湿 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,高层存在干区,700 hPa比湿 $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,850 hPa附近测站比湿 $16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (威宁本站气压约780 hPa),低层存在显著湿区,上干下湿的特征较为明显,表现为层结不稳定。另外,700 hPa与500 hPa温度差为 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,利于对流发生。

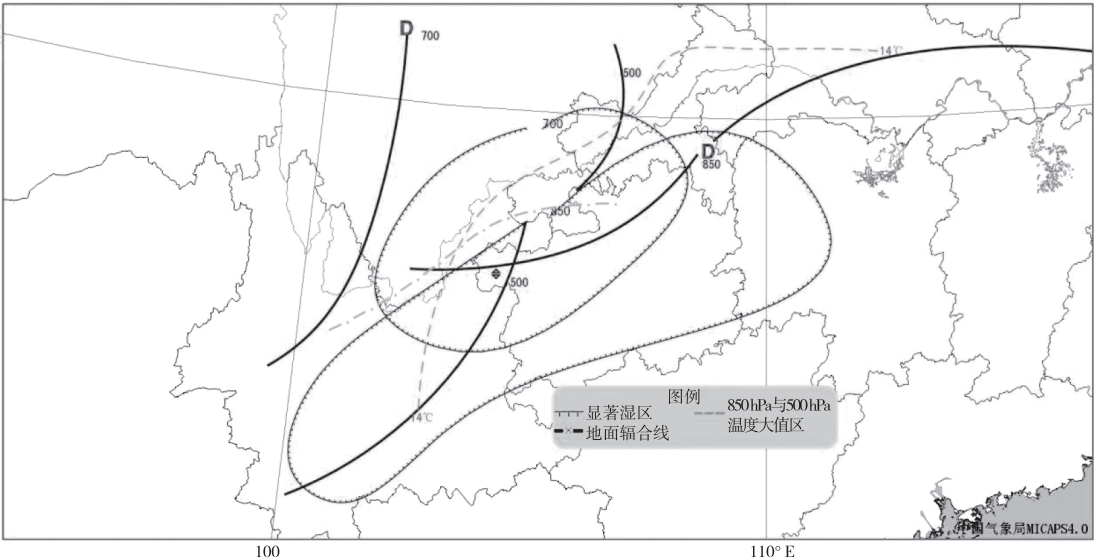


图1 2022年6月2日08时中尺度系统配置分析

Fig.1 Analysis of mesoscale system configuration at 08:00 on June 2, 2022

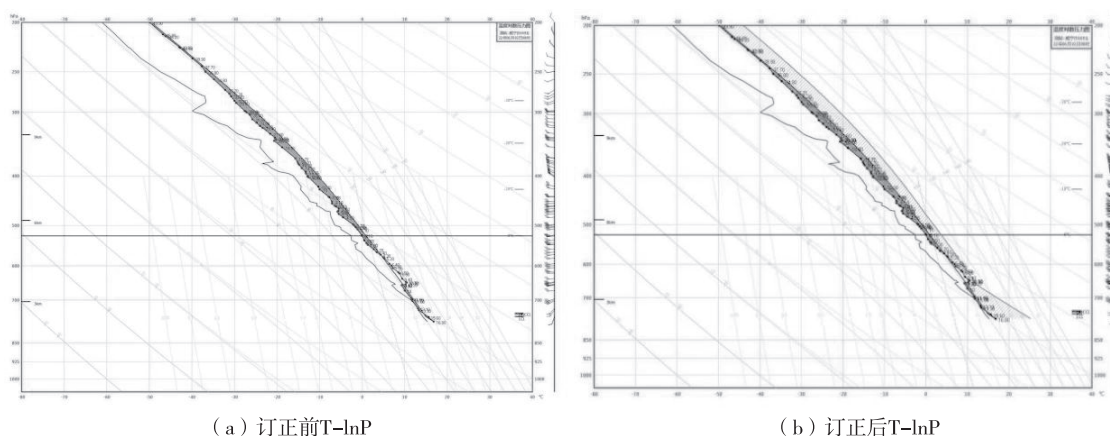


图 2 6 月 2 日 08 时 T - lnP

Fig. 2 T - lnP at 08:00 on June 2

图 2 为 6 月 2 日 08 时 T - lnP。从图示分析看,近地面到 500 hPa 的风速切变极大,对流有效位能 (CAPE) 值为 $466.5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,有一定的对流潜势。用 14 时的温度和露点温度对探空 T - lnP 图进行订正,发现 CAPE 值增加到了 $2208.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,对流抑制能量大,一旦受到环境条件触发,就可能产生强烈的强对流天气。地形抬升也是 6 月 2 日威宁午后强对流天气发生的重要影响因素之一。威宁地处云贵高原北部边缘,北方南下的冷空气受到横断山脉和巫山的阻挡,容易在四川盆地与云贵高原接壤的威宁堆积,导致冷暖空气在当地发生激烈的对流活动。威宁的地理环境主要体现地势较高,地形复杂,地形抬升也容易引导对流的发展。

3 威宁县冰雹的分布特征

威宁县 3—10 月都会出现冰雹,主要出现在 4—8 月。据不完全统计,威宁冰雹日数年平均 15.3 d,冰雹易发多发。春季少,夏季多,7 月最多,4 月最少;冰雹可发生在 13—23 时,其中 15—19 时发生冰雹频率最高。发生冰雹的 0°C 层高度为 3700 ~ 5900 m, -20°C 层高度为 6800 ~ 9200 m; SI 指数在 $-3 \sim 3$ 之间^[14]。通过统计发现,威宁县冰雹灾与天气系统有着密切的关系,冰雹主要系统特征分为两大类:一是冷锋切变大范围系统性造成的降雹;二是暖气团内局地热雷雨造成的降雹,此类降雹的灾害占到了约 65%。4—5 月威宁县冰雹主要出现在县的东南部,东部、南部一线。6—8 月受西南季风气流影响,冰雹主要出现在县的北部、西北部、中部、西南部。

4 风廓线雷达特征分析

4.1 水平风场特征

威宁站的 CFL - 03 风廓线雷达为边界层固定

式雷达,其探测高度能够达到 5 km。探测要素产品主要有水平风向、风速、垂直气流、温度廓线等资料。图 3 为威宁站 2022 年 6 月 2 日逐 6 min 水平风场。从图可以看出(图中时间为世界时),15 时 06 分 2900 m 高度以上开始出现 $> 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风,风速最大为 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且风向以西风为主。15 时 24 分开始 500 m 以下低空出现了风向切变,地面为偏北风,15 时 30 分 15 000 m 高空风速逐步增大,1500 m 以下威宁站上空风向为偏南—西南风,1500 m 以上风向逐渐从西南转为偏西风,风是随着高度顺转一种态势,低层输送的暖平流,属于不稳定层结。15 时 42 分 2000 m 以上出现 $> 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流,15 时 48 分 1000 m 以上出现 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的偏北大风,高低空垂直风切变加强,近地面同时以弱西南偏西风为主,较大的垂直风切变利于中层干空气的吸入及加强,为对流的发展提供了有利条件。15 时 48 分—16 时 54 分威宁上空以西南风为主的低空急流向下传播,风速大小出现明显变化,风向在近地层从西南风转为西北风,由此表明威宁上空存在利于对流发展的中小尺度系统,县城本站周边开始出现冰雹和降水,急流造成的辐合加上近地层风向的切变作用对冰雹和降水有明显的作用。15 时 59 分—16 时 52 分不到 1 h 时间内降雨量达到了 31.6 mm,17 时前后底层也转为偏北风,此次天气系统基本过境,与观测到的实况具有很好的一致性。

刘淑媛等^[4]研究表明:强对流天气的出现会伴有西南急流的脉动加强和动量下传。威宁站此次冰雹天气过程的风场特征能够很好地反映雷达对水平风场的垂直结构的探测效果,清楚展现了高低空急流的建立和维持的情况,由此说明风廓线雷达连续探测到的风场特征资料,为提前做好强对流天气的预测预报预警提供了很好的依据。

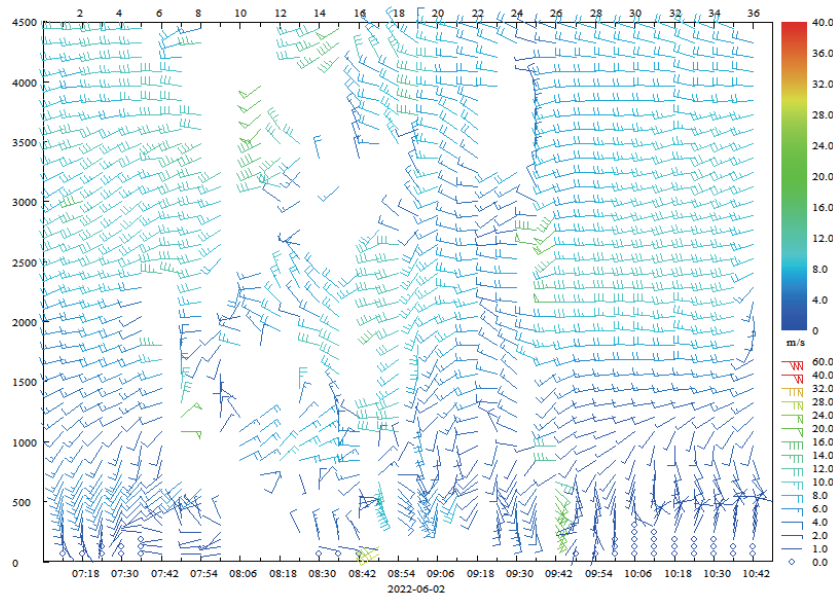


图3 15时12分—18时42分威宁风廓线雷达逐6 min 水平风向、风速时间—高度分布
Fig. 3 Time height distribution of horizontal wind direction and wind speed
at 15:12—18:42 by 6 minutes for Weining wind profile radar

4.2 风廓线雷达垂直风场特征

图4为风廓线雷达逐半小时垂直速度随时间图(图中时间为世界时)。从图示可以看出,在15时30分之前,垂直速度主要为负速度且值比较小,并且随高度变化较小。从15时30分开始,2000 m以上垂直速度发生了变化,变为正速度,16时在1080 m左右高度上,垂直速度迅速增大到 $7.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,较强的垂直速度逐步向低层延伸到近地200 m左右,保持着 $>5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强度到21时前后,垂直

速度形成大值区,由此可以看出大气在垂直方向上存在较不稳定层结。15时46—48分、16时07—13分威宁本站开始观测到直径为5 mm的冰雹,15时59分—16时52分小时降水量为31.6 mm,为一次典型的雷暴冰雹短时强降水天气过程。上述分析表明风廓线雷达的垂直速度随高度的波动、发展能很好地反映大气垂直热交换的程度,为强对流的发展程度分析提供一定的依据。

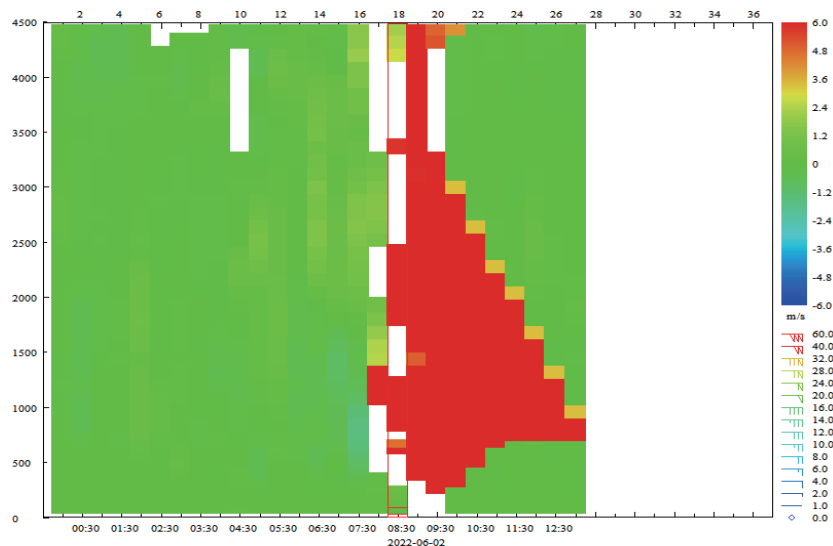


图4 威宁风廓线雷达逐0.5 h垂直速度的时间—高度分布
Fig. 4 Time height distribution of vertical velocity of Weining wind profile radar by half an hour

4.3 风廓线雷达折射结构系数(C_n^2)特征

折射结构系数(C_n^2)是大气折射指数湍流结构常数,与雷达信噪比成正比。研究表明,大气中有雨滴、冰晶、云滴存在时与晴空时相比较而言,前者雷达信噪比高于后者,由此表明折射结构系数也会增强^[8]。由图 5 可以看出(图中时间为世界时),14

时 30 分以前折射结构系数的大值区高度在 2000 m 以下,15 时 46 分降雹开始时 C_n^2 值延伸到 3000 m 以上,其值稳定在 $-128 \sim -110$ dB 之间, C_n^2 值 < -136 dB,探测高度 < 2000 m 时,降水停止。由此可见 C_n^2 能够反映降水的强弱。

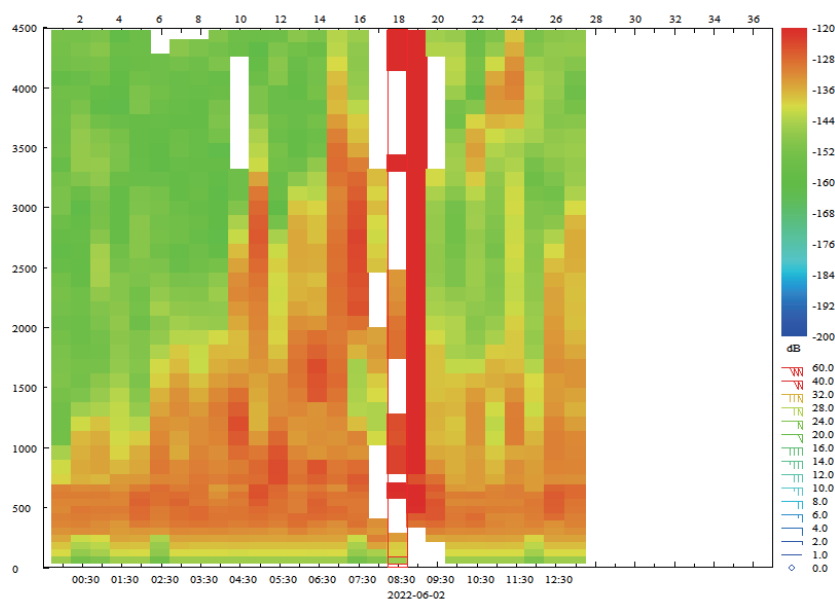


图 5 威宁风廓线雷达逐半小时 C_n^2 的时间—高度分布

Fig. 5 Time height distribution of C_n^2 by half an hour for Weining wind profile radar

5 结论与讨论

(1)风廓线雷达的水平风场资料能够很好地反映冰雹天气过程的风场垂直结构及其随时间的变化。

(2)风廓线雷达的垂直速度、折射结构常数等在一定程度上能够很好地反映冰雹等强对流天气的开始、增强和结束的演变过程。降雹时 C_n^2 值在 $-128 \sim -110$ dB 之间。

(3)风廓线雷达的高时空分辨率可弥补探空资料时空分辨率不足,为冰雹等强对流天气的预测预报预警提供了依据。但威宁站风廓线雷达建成的时间不长,资料的质控、分析应用经验不足,还需进一步总结研究,发挥风廓线雷达资料在冰雹等强对流天气预报中的作用。

参考文献

[1] 孙旭映,李耀辉,段海霞,等.玛曲一次强降水过程的风廓线演变特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(12):186-192.
[2] 董保举,付志嘉,李明,等.风廓线雷达资料在暴雨天气过程特征分析中的应用[J].气象科技,2012,40(1):74-78.
[3] 刘贞,郭鸿鸣,李飏,等.秦皇岛一次飑线冰雹天气分析[J].气象与环境科学,2017,40(4):100-108.

[4] 刘淑媛,郑永光,陶祖铎.利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系[J].热带气象学报,2003,19(3):285-290.
[5] 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.
[6] 周芯玉,廖菲,孙广凤.广州两次暴雨期间风廓线雷达观测的低空风场特征[J].高原气象,2015,34(2):526-533.
[7] 刁家敏,熊宇,钱绮雯.风廓线雷达资料在强对流天气预报中的应用[J].现代农业科技,2023(1):140-144.
[8] 杨引明,陶祖铎.上海 LAP-3000 边界层风廓线雷达在强对流天气预报中的应用初探[J].成都信息工程学院学报,2003(2):155-160.
[9] LARSEN M F,ROLLGER J. Observations of thunderstorm reflectivities and Doppler velocities measured at VHF and UHF [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 1987,4(1):151-159.
[10] RAIPH F M,NEIMAN P J,RUFEUX D. Precipitation identification from radar wind proter spectra moment data Veical velocity histograms. velocity variance, and signal powe Atmospheric and Oceanic Technology. 1996,13(3):545-559.
[11] 张小雯,郑永光,吴蕾,等.风廓线雷达资料在天气业务中的应用现状与展望[J].气象科技,2017,45(2):285-297.
[12] 陈红玉,高月忠,尹丽云,等.强降水过程风廓线雷达资料的极值特征[J].气象科技,2016,44(1):87-94.
[13] 杨哲,李源,张玉逵,等.威宁边界层风廓线雷达与探空系统的风向风速一致性初探[J].中低纬山地气象,2022,46(6):29-33.
[14] 柯莉萍,刘佳,谢明,等.威宁县冰雹天气预报指标研究[J].贵州气象,2016,40(5):14-19.