

许晶,孔文甲,刘诗韵,等.和林短时强降水雷达客观识别方法研究[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(2):114-119.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



和林短时强降水雷达客观识别方法研究

许晶¹,孔文甲^{2*},刘诗韵²,全宇¹,赵斐²,张连霞¹,刘明月¹,李林惠²,项飞录¹

(1.鄂尔多斯市气象局,内蒙古鄂尔多斯017010;2.内蒙古气象局,内蒙古呼和浩特010051)

摘要:分析了2004—2021年6—8月和林地区31次短时强降水雷达回波特征,结果表明:雷达回波中普通单体型3次,多单体型15次,线性风暴(飑线)型5次,超级单体型8次,多单体型最多,48.4%。在雷达回波强度廓线中, Z (近地面1 km回波强度)分布比较均匀,以中位数为中心,均匀向两端分布, $Z_{\max}$ 、 ET 、 TOP 、 VIL 、 $VILD$ 分布较不均匀,均呈右偏,其中 VIL 、 $VILD$ 分布右偏严重; Z 、 TOP 、 VIL 、 $VILD$ 分布呈单峰状, $Z_{\max}$ 分布呈双峰状, ET 分布呈多峰状。在雷达回波强度廓线特征量小提琴图形分析基础上,采用25%分位数作为雷达识别短时强降水参数阈值,选出阈值为: $Z_{\max}>25.4$ dBZ, $Z>22$ dBZ, $ET>5$ km, $TOP>3.8$ km, $VIL>0.2$ kg·m⁻², $VILD>0.05$ g·m⁻³,阈值总体上低于我国中东部地区。应用2009年和2017年6—8月样本进行检验,和林地区小时雨强 $R\geq 10$ mm/h及 4.9 mm/h $\leq R<10$ mm/h预报命中率、空报率明显高于一般性降水(1 mm/h $\leq R<4.9$ mm/h),漏报率明显低于一般性降水,2009和2017年短时强降水逐小时TS评分为0.02和0.04,一般性降水逐小时TS评分为0.24和0.31。

关键词:短时强降水;客观方法;识别阈值

中图分类号:P458.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)02-0114-06

短时强降水是指发生时间短、降水效率高的对流性降雨,具有突发性强、局地性强、持续时间短、雨强大等特点。易引发山洪、滑坡、泥石流等次生地质灾害,是内蒙古地区主要的灾害性天气之一^[1]。众多学者对短时强降水的分布特征和环境条件进行了研究^[2-5],结果表明:短时强降水最强回波所在高度一般很低,最强回波中心(45~55 dBZ)高度在6 km以下。段鹤等^[6]对短时强降水进行了分型研究,分析了低质心弱辐合型短时强降水、低质心辐合型短时强

降水和高质心短时强降水3种短时强降水特征。吴杞平等^[7]研究造成短时强降水的对流云团尺度,指出大连地区短时暴雨是突发于混合性云团中的中- β 尺度回波。辛玮琦等^[8]从回波演变特征分析了宜丰4次暴雨和大暴雨过程中的短时强降水。彭双姿等^[9]提出气旋性(反气旋)流场、负变压中心与强降水落区或移向有较好的对应关系,对短时强降水的落区、预警有较好的指示意义。

随着多普勒天气雷达的广泛应用,短时强降水的分析研究和预报预警能力得到了大幅度的提高。学者们根据雷达回波平均反射率、回波形状、回波速度等要素特征总结短时强降水预警指标^[10]。使用雷达回波三维信息(反射率因子的水平梯度、垂直递减率、垂直廓线变化特征以及回波顶高等)自动识别短时强降水^[11]。利用雷达回波形态特征建立了适合本地的暴雨雷达回波概念模型^[12]。通过雷达回波分析指出短时强降水对应2种回波结构:低质心和高质心;速度场上表现出的中小尺度辐合、低空急流加

收稿日期:2022-05-23;修回日期:2022-10-05

基金项目:国家自然科学基金重点项目(42030604);鄂尔多斯市科技重大专项(2022EEDSKJZDZX016);内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxjcx202201、nmqxjcx202210);内蒙古自治区自然科学基金项目(2022MS04021);内蒙古自治区气象局引导性创新基金项目(nmqxydcx202213)

作者简介:许晶(1979—),女,高级工程师,主要从事强对流预报预警研究。E-mail:522177566@qq.com

通信作者:孔文甲(1973—),男,高级工程师,主要从事短临技术、雷达产品开发研究。E-mail:635065635@qq.com

强等也可作为短时强降水预警的重要指标^[13]。

众多学者同时也在探索短时强降水预警方法。赵文等^[14]探讨 *VIL* (垂直累积液态含水量) 滑动平均值以及 *VIL* 的移动与陇东南地区不同类型强降水之间的定量关系。张之贤等^[15]研究陇东南地区短时强降水的雷达回波特征, 用整体和分型 *Z-I* 关系法定量估测降水。李德俊等^[16]找出了适合恩施山区短时强降水天气的雷达临近预警指标。张卫国等^[17]采用 *SCE-UA* 算法对雷达回波强度与降雨强度的关系式进行参数估算, 从而达到预报短时强降水的目的。这些研究成果为识别和预警短时强降水天气做出了贡献。

由于短时强降水突发性强、成因复杂, 在实际气象业务工作中存在预警和预报的困难。唐文苑等^[18]研究指出, 2010—2015 年 4—9 月天气落区主观分类预报中, 6~24 h 时效逐 6 h 预报短时强降水的 *TS* 评分为 0.18~0.24, 空报率为 55%~74%, 漏报率为 62%~71%。因此加强短时强降水的研究与检验工作仍任重道远。本文基于呼和浩特市 C 波段雷达回波, 运用小提琴图进行统计分析, 选出雷达识别短时强降水参数阈值, 并对 2009 和 2017 年测试样本进行检验评估。

1 资料与方法

1.1 短时强降水标准

中国气象局《短时临近天气预报业务规定》^[19]中短时强降水定义为小时降水量 ≥ 20.0 mm, 新疆、西藏、青海、甘肃、宁夏、内蒙古 6 省(区)气象局可自行定义短时强降水标准。内蒙古地处我国北部, 尤其中西部地区年均降雨量 < 400 mm, 2004—2021 年呼和浩特市和林格尔气象站小时雨量 ≥ 20 mm/h 的短时强降水记录仅有 8 条, 结合内蒙古预报业务规定, 故定义 ≥ 10 mm/h 作为短时强降水的标准。

呼和浩特市和林格尔气象站简称和林(111.15°E, 40.68°N), 海拔为 1 160 m, 距离呼和浩特市新一代天气雷达站 67.19 km, 2004—2021 年地面观测数据小时雨强 ≥ 10 mm/h 的降水记录共有 55 条(图 1)。

1.2 降水资料分类

本文小时降雨量数据由内蒙古气象信息中心提供, 该数据入库前经质量控制, 一直作为内蒙古雨情实况数据来源, 质量可靠。

利用 55 条小时雨强 ≥ 10 mm/h 的降雨记录检索雷达文件, 其中有 3 条雨时记录没有雷达数据对应, 因此对 52 条小时雨强 ≥ 10 mm/h 的降雨记录雷

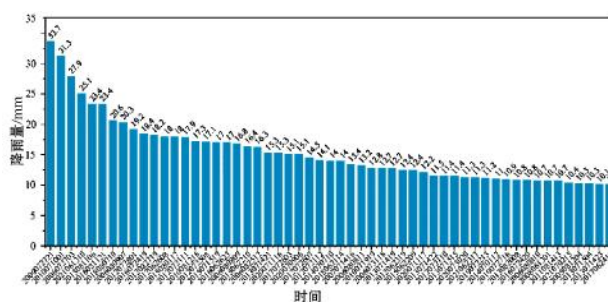


图 1 2004—2021 年和林 ≥ 10 mm/h 的降水分布

达图像分析, 积云层状云混合降水有 21 次, 占 40.4%, 21 次个例中, 连续小时雨量 > 10 mm/h 的是 2012 年 7 月 21 日 10、11 和 12 时, 分别为 11.4、17.9 和 14.1 mm/h, 2013 年 7 月 14 日 19、21、22 和 23 时降雨量分别为 12.7、15.3、11.5 和 10.1 mm/h。由于积云层状云混合降水与短时强降水机理不同, 本文重点研究短时强降水, 故积云层状云混合降水样本不予分析。

短时强降水共有 31 次, 占比 59.6%, 其中普通单体型 3 次, 多单体型 15 次, 线性风暴(飑线)型 5 次, 超级单体型 8 次。普通单体型占比最少, 占 9.6%, 多单体风暴次数最多, 占 48.4%。

1.3 雷达资料与处理方法

雷达资料为呼和浩特市新一代天气雷达观测基数据, 新一代天气雷达有强大的地物对消能力, 业务工作中采用 2 号滤波器, 经 2 号滤波器处理后, 残留地物回波分布范围在以雷达站中心为半径的 10 km 内, 最大地物回波 < 20 dBZ, 和林气象站距雷达站 67.19 km, 不受地物回波干扰。呼和浩特市新一代天气雷达性能可靠, 运行稳定, 观测数据真实可信, 文中时次均为北京时。

雷达观测基数据存储方式为球坐标, 采用坐标转换和插值方法^[20]转化为三维直角坐标, 生成水平分辨率 1 km、垂直分辨率 0.25 km 的三维雷达数据。应用地理坐标^[21]按照和林经度和纬度提取出和林上空从地面到高空 15 km 的雷达回波强度数据、回波顶高等参数信息。

按时间匹配 31 条短时强降水记录检索到 318 个雷达体扫文件, 每条雨时记录平均对应 10.26 个雷达体扫文件。318 条回波强度廓线数据中有 69 条廓线的最大强度 < 18 dBZ, 18 dBZ 是雷达产品回波顶高阈值^[22], 即该条回波强度廓线回波顶高为 0, 原因是短时强降水时空变率大, 小时雨量 > 10 mm, 但短时强降水可能只发生在几个体扫探测时段内, 其余时间回波变小, 甚至为 0 dBZ, 故舍弃廓线的最大强

度<18 dBZ的廓线记录^[22],余249条进行分析。

大量研究^[23-26]表明,发生短时强降水时,组合反射率因子、回波顶高、风暴顶高、垂直液态水含量等雷达产品均可提供定量化判据。本文选取用于鉴别回波强度廓线数据的参数共6个(表1)。回波强度廓线数据中的底层回波强度 $Z(1\text{ km})$ 高度处回波强度)是短时强降水发生时雷达回波识别关键区的回波强度;回波强度最大值 $Z_{\max}$ 是回波强度廓线数据中统计出的回波强度最大值;回波顶高 ET 是指回波强度廓线数据中最高处第一个>18 dBZ的反射率因子的回波高度;风暴顶高 TOP 与 ET 类似,但是>30 dBZ的最大高度,反映风暴体的强回波顶的高度^[27];垂直累积液态水含量 VIL 表示将回波强度廓线反射率因子数据转换成等价的液态水值;垂直累积液态水含量密度 $VILD$ 是 VIL 与其对应的回波厚度之比^[28]。

表1 短时强降水回波强度廓线统计表

参数	最大值	上四分位数	中位数	下四分位数	最小值
底层回波强度/dBZ	56.7	35.2	28.4	22.0	0
最大回波强度/dBZ	56.7	38.2	32.3	25.4	8.4
回波顶高/km	16	8.5	6.5	5.0	2.75
风暴顶高/km	13.3	6.8	4.3	3.8	2.8
垂直累积液态水含量/(kg/m ²)	20.7	1.2	0.4	0.2	0.01
垂直累积液态水密度/(g/m ³)	2.1	0.2	0.1	0.05	0.01

2 雷达特征量小提琴图形分析

为找到雷达回波特征,使用小提琴图分析数据分布情况。小提琴图为箱线图与核密度图的结合,可以显示数据的分布情况与概率密度,横轴表示回波强度廓线特征值的数据分布情况,竖轴表示特征值大小。在小提琴图中,白点是中位数,黑色箱子是25%分位数和75%分位数之间的范围,细黑线为须线,外部形状为核密度百分比。小提琴图中如果细黑线不以中位数对称时,数据分布是呈现偏态的,其中右偏(正偏)分布指中位数更靠近下四分位数,左偏(负偏)分布指中位数更靠近上四分位数。

2.1 最大回波强度

在区域内最大回波强度分布较不均匀,最大回波强度分布为右偏分布,呈双峰状,主峰值为34 dBZ,次峰值为26 dBZ(图2a)。中位数为32.3 dBZ,25%~75%四分位值为25.4~38.2 dBZ,最小值到最大值为8.4~56.7 dBZ,最大回波强度阈值粗选>25.4 dBZ,这

与滇西高原短时强降水类似^[29]但低于我国中东部的其他地区^[30-32]。

2.2 底层回波强度

底层回波强度分布较均匀,以中位数为中心,均匀向两端分布(图2b)。数据分布呈单峰状,峰值为28.4 dBZ,底层回波强度峰值小于最大回波强度主峰值,中位数为28.4 dBZ,25%~75%四分位值为22~35.2 dBZ,最小值到最大值范围为0~56.7 dBZ,底层回波强度阈值粗选>22 dBZ。

2.3 回波顶高

回波顶高分布呈现多峰态(图2c),有3个峰值,主峰值是5 km,次峰值是7.7 km,第3个峰值超过10 km,经个例分析判断为伴有冰雹的短时强降水。回波顶高为右偏分布,中位数为6.5 km,25%~75%四分位值为5.0~8.5 km,最小值到最大值范围为2.75~16 km,回波顶高阈值粗选>5.0 km。小于新疆短时强降水天气雷达回波特征阈值^[33]。

2.4 风暴顶高

风暴顶高分布较不均匀(图2d),风暴顶高为右偏分布,数据分布呈单峰状,风暴顶高峰值为4 km,发生短时强降水时中位数为4.3 km,25%~75%四分位值为3.8~6.8 km,最小值到最大值范围为2.8~13.3 km,风暴顶高阈值粗选>3.8 km。超过新疆短时强降水天气雷达回波特征类似阈值^[33]。

2.5 垂直累积液态水含量

垂直累积液态水含量数据集中,较其他参数离散度最小,分布较不均匀,存在右偏(图2e),上尾巴过长(即分布右偏严重),说明可能存在垂直液态水含量显著高于其余个例的过程,分布偏离了整体,数据分布呈单峰状,峰顶尖,峰值为0.4 kg·m⁻²,发生短时强降水时中位数为0.4 kg·m⁻²,25%~75%四分位值为0.2~1.2 kg·m⁻²,最小值到最大值范围为0.01~20.7 kg·m⁻², VIL 阈值粗选>0.2 kg·m⁻²。小于滇西高原阈值^[29]。

2.6 垂直累积液态水含量密度

垂直液态水含量密度分布较不均匀,存在右偏,上尾巴过长,且有较明显的小凸块,数据分布呈单峰状(图2f),峰顶尖,峰值为0.1 g·m⁻³。中位数为0.1 g·m⁻³,25%~75%四分位值为0.05~0.2 g·m⁻³,最小值到最大值范围为0.01~2.1 g·m⁻³, $VILD$ 阈值粗选>0.05 g·m⁻³。

3 阈值检验指标

按照国家气象局降水评分标准,计算逐小时降

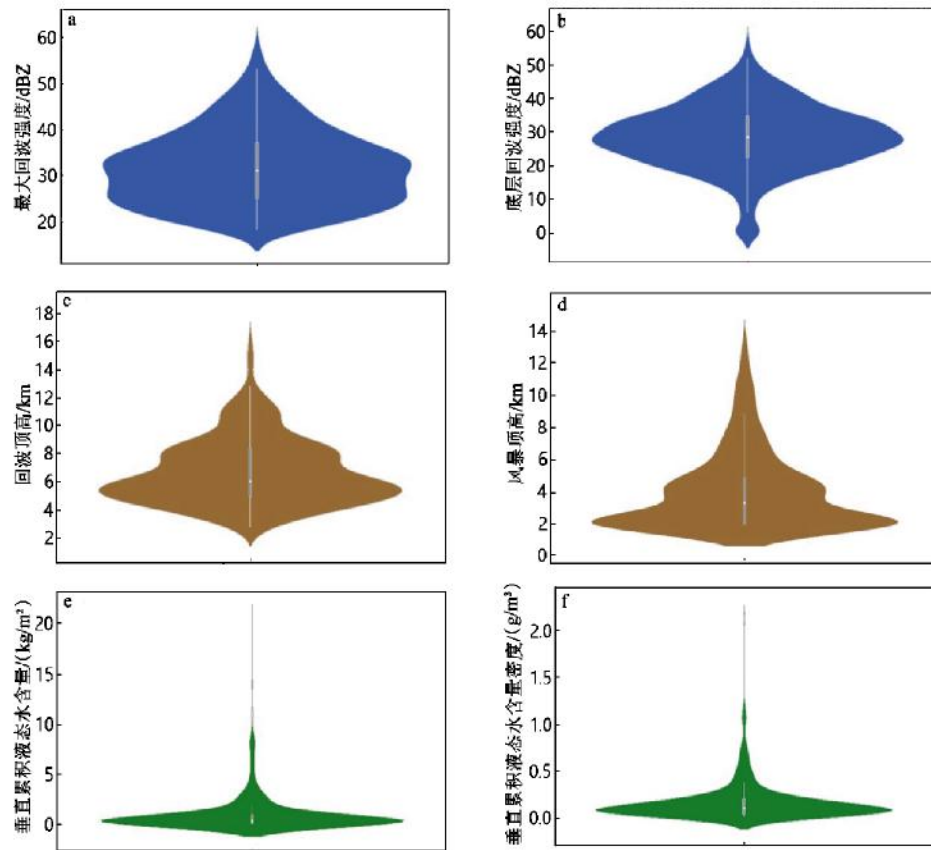


图 2 2004—2021 年和林短时强降水过程小提琴图

(a 为最大回波强度, b 为底层回波强度, c 为回波顶高, d 为风暴顶高, e 为垂直累积液态水含量, f 为垂直累积液态水含量密度)

水的 T_s 评分、空报率 F_{ARk} 、漏报率 P_{Ok} 和命中率 P_{ODk} , 计算方法如下:

$$T_{Sk} = \frac{N_{Ak}}{N_{Ak} + N_{Bk} + N_{Ck}} \times 100\%, \quad (1)$$

$$F_{ARk} = \frac{N_{Bk}}{N_{Ak} + N_{Bk}} \times 100\%, \quad (2)$$

$$P_{Ok} = \frac{N_{Ck}}{N_{Ak} + N_{Ck}} \times 100\%, \quad (3)$$

$$P_{ODk} = \frac{N_{Ak}}{N_{Ak} + N_{Ck}} \times 100\%. \quad (4)$$

式中, N_{Ak} 为预报正确次数, N_{Bk} 为空报次数, N_{Ck} 为漏报次数。

采用 25% 分位数作为雷达强度廓线阈值识别短时强降水, 从 2009 年 6—8 月筛选出 152 条记录, 按照雷达观测时间归并, 最后进入检验的样本数有 51 条廓线记录。从 2017 年 6—8 月筛选出 118 条记录, 按照雷达观测时间归并, 最后进入检验的样本数有 49 条廓线记录。小时雨强简记为 R , 小时雨强 $R \geq 10 \text{ mm/h}$ 及 $4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 命中率明显高于一般性降水 ($1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$), 粗选阈值判别短时强降水的命中率较高。由于短时强降水局地性和不确定性强, 小时雨强 $R \geq 10 \text{ mm/h}$ 及 $4.9 \text{ mm/h} \leq$

$R < 10 \text{ mm/h}$ 空报率明显高于一般性降水 ($1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$), 而空报率和漏报率本身存在一定的矛盾, 空报率增大使漏报率减小, 所以小时雨强 $R \geq 10 \text{ mm/h}$ 及 $4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 漏报率明显低于一般性降水 $1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$ 。2017 年小时雨强 $R \geq 10 \text{ mm/h}$ 逐小时 TS 评分较 2009 年提高, 空报率降低; 2017 年 $4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 逐小时 TS 评分、命中率较 2009 年低, 空报率升高; 2017 年 $1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$ 逐小时 TS 评分较 2009 年提高, 命中率、空报率明显降低; 2009 和 2017 年短时强降水逐小时 TS 评分为 0.02 和 0.04, 一般性降水逐小时 TS 评分为 0.24 和 0.31 (表 2、表 3)。

4 结论与讨论

对 2004—2021 年 6—8 月和林地区短时强降水进行分析, 得到如下结论:

(1) 短时强降水共有 31 次, 占 59.6%。其中普通单体型 3 次, 多单体型 15 次, 线性风暴(飑线)型 5 次, 超级单体型 8 次。普通单体型最少, 仅占 9.6%, 多单体风暴次数最多, 占 48.4%。

(2) 从小提琴图分析可知, 底层回波强度 Z 分

表2 2009年6—8月和林短时强降水
预报效果检验

小时雨强	样本数 /个	命中率 /%	空报率 /%	漏报率 /%	TS 评分
$R \geq 10 \text{ mm/h}$	2	100	98	0	0.02
$4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$	8	87.5	86	12.5	0.14
$1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$	23	52.2	76.5	47.8	0.24

表3 2017年6—8月和林短时强降水
预报效果检验

小时雨强	样本数 /个	命中率 /%	空报率 /%	漏报率 /%	TS 评分
$R \geq 10 \text{ mm/h}$	2	100	95.9	0	0.04
$4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$	6	83.3	87.8	16.7	0.10
$1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$	39	38.5	40	61.5	0.31

布较均匀,以中位数为中心,均匀向两端分布。 $Z_{\max}$ 、 ET 、 TOP 、 VIL 、 $VILD$ 分布较不均匀,均呈右偏,其中 VIL 、 $VILD$ 分布右偏严重,说明可能存在 VIL 、 $VILD$ 参数显著高于其余个例的过程,分布偏离了整体。 Z 、 TOP 、 VIL 、 $VILD$ 分布呈单峰状, $Z_{\max}$ 分布呈双峰状, ET 分布呈多峰状。

(3)通过短时强降水发生时段雷达强度廓线小提琴图分析,得到6类参数阈值: $Z_{\max} > 25.4 \text{ dBZ}$, $Z > 2 \text{ dBZ}$, $ET > 5 \text{ km}$, $TOP > 3.8 \text{ km}$, $VIL > 0.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, $VILD > 0.05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(4)采用25%分位数作为雷达强度廓线阈值识别短时强降水,2009和2017年6—8月小时雨强 $R \geq 10 \text{ mm/h}$ 及 $4.9 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 命中率、空报率明显高于一般性降水($1 \text{ mm/h} \leq R < 4.9 \text{ mm/h}$),漏报率明显低于一般性降水。2009和2017年短时强降水逐小时TS评分为0.02和0.04,一般性降水逐小时TS评分为0.24和0.31。

短时强降水识别、预报是难点,影响短时强降水发生的因素有很多,本文着眼于短时强降水发生时的雷达强度廓线分析并得出客观识别阈值指标,但短时强降水识别、预报还需要综合研判,才能提高预报准确率。

参考文献:

- [1] 赵斐,樊斌,马学峰,等.内蒙古气象灾害时空分布特征[J].内蒙古科技与经济,2016,42(23):45-48.
- [2] 薛啟,唐亚平,王丽娜,等.2015—2019年甘肃平凉地区夏季短时强降水时空分布及天气形势特征[J].气象与环境学报,2022,38(1):57-64.
- [3] 苏军锋,张锋,黄玉霞,等.甘肃陇南市短时强降水时空分布特征及中尺度分析[J].干旱气象,2021,39(6):966-973.
- [4] 肖蕾,杜小玲,武正敏,等.贵州省短时强降水时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2021,40(4):383-392.
- [5] 孙继松.从天气动力学角度看云物理过程在降水预报中的作用[J].气象,2014,40(1):1-6.
- [6] 段鹤,夏文梅,苏晓力,等.短时强降水特征统计及临近预警[J].气象,2014,40(10):1194-1206.
- [7] 吴纪平,王树雄,李燕,等.2004—2009年大连地区短时暴雨分析预报[J].气象与环境学报,2012,28(2):71-76.
- [8] 辛玮琦,马中元,谌云,等.宜丰短时强降水雷达回波特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):70-80.
- [9] 彭双姿,姚蓉,刘从省,等.“2010·05”湘中突发性强降水过程雷达回波特征分析[J].暴雨灾害,2010,29(4):363-369.
- [10] 谢玉华,蔡菁,赖巧珍.龙岩地区不同类型短时暴雨雷达特征研究[J].气象研究与应用,2018,39(1):59-62,152-155.
- [11] 张乐坚,储凌,叶芳,等.使用雷达回波三维信息自动识别降水类型的方法[J].大气科学学报,2012,35(1):95-102.
- [12] 孙莹,王艳兰,唐熠,等.短时暴雨天气雷达回波概念模型的建立[J].高原气象,2011,30(1):235-244.
- [13] 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等.短时强降水的多尺度分析及临近预警[J].气象,2012,38(8):903-912.
- [14] 赵文,张强,赵建华.陇东南地区强降水过程与雷达VIL产品的定量关系研究[J].高原气象,2016,35(2):528-537.
- [15] 张之贤,张强,赵庆云,等.陇东南地区短时强降水的雷达回波特征及其降水反演[J].高原气象,2014,33(2):530-538.
- [16] 李德俊,唐仁茂,熊守权,等.强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J].气象,2011,37(4):474-480.
- [17] 张卫国,范仲丽,钟伟,等.雷达回波外推方法在临近降雨预报中的应用[J].中国农村水利水电,2018(9):69-73,120.
- [18] 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等.国家级强对流天气分类预报检验分析[J].气象,2017,43(1):67-76.
- [19] 中国气象局.短时临近天气预报业务规定[Z].2017-12-4.
- [20] 黄兴有.雷达气象学[M].南京:南京信息工程大学,2007:256-259.
- [21] 李书严,李伟,王京丽.网上雷达回波经纬度定位系统的设计与建立[J].气象科技,2006(4):509-512.
- [22] 俞小鼎.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006.
- [23] 刘新伟,蒋盈沙.基于雷达产品和随机森林算法的冰雹

- 天气分类识别及预报[J].高原气象,2021,40(4):898–908.
- [24] 张俊兰,李伟,郑育琳.昆仑山北坡短时强降水天气分型及雷达回波特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(1):1–9.
- [25] 吴涛,万玉发,王珊珊.多雷达反演参量联合的短时强降水识别方法研究[J].高原气象,2012,31(5):1393–1406.
- [26] 杨涛,杨莲梅,张云惠,等.新疆短时强降水天气系统环流配置及雷达回波特征[J].干旱气象,2021,39(4):631–640.
- [27] 孙继松,戴建华,何立富,等.中国强对流天气预报手册[M].北京:气象出版社,2014:4.
- [28] AMBURN S, WOLF P. *VIL* density as a hail indicator [J]. *WeaForecasting*, 1997, 12:473–478.
- [29] 张崇莉,向明堃,赖云华,等.滇西北高原冰雹、短时强降水的多普勒雷达回波特征比较[J].暴雨灾害,2011,30(1):64–69.
- [30] 苏俐敏,夏文梅,马中元,等.2012年江西宜春四类短时强降水特征分析[J].气象科学,2014,34(6):700–708.
- [31] 吴杞平,王树雄,李燕,等.2004—2009年大连地区短时暴雨分析预报[J].气象与环境学报,2012,28(2):71–76.
- [32] 彭九慧,易永力.河北省承德市短时强降水的多普勒雷达特征分析[J].干旱气象,2010,28(2):184–189.
- [33] 庄晓翠,张云惠,周雪英,等.新疆短时强降水天气雷达回波特征[J].气象,2021,47(11):1402–1414.

Research on Objective Identification Method of Short-term Heavy Precipitation Based on Radar in Horinger

XU Jing¹, KONG Wenjia², LIU Shiyun², QUAN YU¹, ZHAO Fei², ZHANG Lianxia¹,
LIU Mingyue¹, LI Linhui², XIANG Feilu¹

(1. Ordos Meteorological Bureau, Ordos 017010, China;

2. Inner Mongolia Meteorological Bureau, Hohhot 010051, China)

Abstract This paper statistically analyzes the characteristics of 31 short-term heavy precipitation radar echo images in Horinger area from June to August during 2004–2021. It shows that: (1) There are 3 normal cell, 15 multi-cell, 5 linear storm (squall line) and 8 super cell in the radar echoes. The multi-cell type has the relatively highest occurrence frequency, accounting for 48.4%. (2) Echo intensity distribution near the ground 1 km is relatively uniform, and evenly distributes to both ends with the median as the center $Z_{\max}$, ET , TOP , VIL and $VILD$ are unevenly distributed, which are right biased. The distribution of VIL and $VILD$ is seriously right biased. The distribution of Z , TOP , VIL and $VILD$ is unimodal, the distribution of $Z_{\max}$ is bimodal, and the distribution of ET is multimodal. (3) On the basis of the violin graph analysis of the characteristics of the radar echo intensity profile, the 25% quantile is used as the threshold for the radar identification of short-term heavy precipitation parameters, and the selected thresholds are as follows: $Z_{\max} > 25.4$ dBZ, $Z > 22$ dBZ, $ET > 5$ km, $TOP > 3.8$ km, $VIL > 0.2$ kg·m⁻², $VILD > 0.05$ g·m⁻³. The thresholds are generally lower than that in the central and eastern China. (4) Testing the samples from June to August in 2009 and 2017, forecast hit rate and air alarm rate of the hourly rainfall intensity ($R \geq 10$ mm/h and 4.9 mm/h $\leq R < 10$ mm/h) are significantly higher than that of general precipitation (1 mm/h $\leq R < 4.9$ mm/h) in Helin, and the omission rate is significantly lower than that of general precipitation. In 2009 and 2017, hourly TS of short-term heavy precipitation were 0.02 and 0.04, and hourly TS scores of general precipitation were 0.24 and 0.31 respectively.

Key words short-term heavy precipitation; objective method; identification threshold