

阮悦,黄铃光,陈齐川,等.基于卫星雷达等多源资料的短时暴雨预警[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):20-25.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于卫星雷达等多源资料的短时暴雨预警

阮悦^{1,2},黄铃光²,陈齐川²,陈秋萍²

(1.福建省灾害天气重点实验室,福建 福州 350001;2.福建省气象台,福建 福州 350001)

摘要:利用2017—2018年葵花卫星(Himawari)TBB亮温资料,计算最低亮温、亮温梯度、红外与水汽亮温差和低亮温区面积及其随时间变化率等特征参量,确定短时暴雨的卫星参数阈值,并融合了雷达参数阈值及过去1 h地面加密降水实况资料,采用指标叠加法判定监测区域内某一云团未来2 h能否产生区域性短时暴雨天气,并采用交叉相关法外推云团的移动,进而对强降水云团进行预警。对2019年几次暴雨过程预报检验结果是:预警命中率(POD)为80.6%~97.1%,平均为91.0%,临界成功指数(CSI)为77.2%~79.2%,平均为77.9%,所预警的云团未来2 h影响区域出现 ≥ 30 mm/h短时暴雨站数占全省短时暴雨站数的76.4%~96.2%,平均为85.2%,整体预警效果较好。

关键词:TBB亮温;雷达;阈值;指标叠加法;短时暴雨;预警

中图分类号:P414.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)02-0020-06

暴雨是福建3—9月最主要的灾害性天气之一,常常造成山洪、泥石流、城乡积涝等严重灾害。由于暴雨往往是由中小尺度天气系统造成,常规气象观测网很难捕捉到,数值预报模式对暴雨常常不能很好地预报,而业务雷达多是捕捉到大的水滴(降雨)回波,这时候降水已经发生^[1]。静止气象卫星能够提供某一地区连续的云的信息,使得卫星成为监测暴雨的主要手段之一^[2]。近年来,国内外有不少卫星资料应用于暴雨的研究^[3-12]。卢乃锰等^[3]对GMS-4红外数字云图资料的分析发现云顶温度、云团的膨胀、穿透性云顶的存在等特征与云的降水强度有着明显的对应关系;兰红平等^[4]通过分析小区域红外云图对流云云顶亮温与降水强度的统计关系,建立了一个利用红外云图云顶亮温,结合空气水汽含量,云顶亮

温的变化进行自动短时降水估测、预测;一些研究利用卫星资料进行暴雨的个例和统计分析^[5-11]或暴雨云团的预报方法研究^[12-16];也有尝试通过机器学习,标识出有监测预警意义的云团和强降水中心,识别率达80%左右^[17]。但这些研究所用卫星资料时间空间分辨率低,且多数研究所选取参数比较单一。为了研制适用于福建省的短时强降水临近预报方法,提高对常规气象观测网难以捕捉到的和数值模式预报效果较差的中小尺度天气系统的预报能力,本文利用2017—2018年3—9月福建省短时暴雨天气过程葵花卫星(空间分辨率为 $0.02^\circ \times 0.02^\circ$,时间分辨率为10 min)的红外、水汽通道资料,计算最低亮温、亮温梯度、红外与水汽亮温差和低亮温区所围面积及其随时间变化率等参量,提取产生强降水的卫星参数特征阈值,同时融合了强降水雷达参数阈值及过去1 h地面加密降水实况,采用指标叠加法判定监测区域内某一云团未来2 h能否产生区域性短时暴雨天气,进而对区域性短时暴雨云团进行预警。

收稿日期:2020-03-01;修回日期:2020-05-28

基金项目:福建省气象局开放式基金项目“基于高分辨率卫星、雷达的短时暴雨预警”(2017K03);福建省科技厅自然科学基金“基于三维闪电、双偏振多普勒雷达的分类强对流预报方法研究”(2018J01060)

作者简介:阮悦(1991—),女,工程师,主要从事大气探测、短时天气预报业务和科研工作。E-mail:546442507@qq.com

通信作者:陈秋萍(1962—),女,正高级工程师,主要从事大气探测、短时天气预报业务和科研工作。E-mail:chenqiuPing1962@163.com

1 卫星数据和方法

1.1 资料说明

使用目前中国气象局下发的葵花卫星(Himawari)红外通道 IR1(中心波长 10.4 μm,下同)、水汽通道 IR3(中心波长 6.2 μm,下同)亮温资料,监测范围为 115°~121°E、22°~29°N,福建省及浙南、赣东、粤东北处于此区域内,资料空间分辨为 0.02°×0.02°(约 2 km×2 km),时间分辨率为 10 min。雨量是区域加密降水资料(全省 2 270 站),时间分辨率 5 min。根据福建省短时临近预报业务规定和地方政府防汛服务需求,本文定义区域性短时暴雨为相邻时间、相邻 3 个区域观测站(分布在相邻的 2 个县市)出现 1 h≥30 mm 或 2 h≥50 mm 强降水的天气,其余为无区域性短时暴雨天气。

1.2 指标叠加法

首先,利用 IR1 通道的亮温值,初步剔除暖云,对于 IR1 通道亮温值>280 K 予以剔除。其次,对时间间隔为 10 min 的前后两幅图像进行窗口大小为 5×5 像素(即 10 km×10 km)的云像素均值滤波。将天气分为两类:一类是区域性短时暴雨天气;另一类是无区域性短时暴雨天气。根据暴雨云团在发生发展阶段特点和观测事实及 2 a 暴雨云团个例统计,选取了 6 个通过相关性检验的 TBB 亮温因子,分别是最低亮温值(T_{min})、-47 °C(3 月由于早春暖湿空气偏弱,对流发展高度较低,云团最低亮温值较高为 -37 °C)^[9]亮温所围面积(S)、某一亮温值所围面积随时间变化率(dS/dt)、亮温梯度(P)、红外与水汽差值(ΔT)、红外与水汽差值随时间变化率(dT/dt),统计未来 2 h 内有无出现区域性短时暴雨云团这些参量的月特征值。

对流云的卫星识别方法主要采用阈值法^[9],国家气象中心业务上监测深对流云 TBB 阈值的下限为 -32 °C^[9],本文采用亮温阈值和面积法检测对流核,先用亮温≤-32 °C 阈值识别对流核,滤去面积小于 100 km² 的云团,再采用交叉相关法追踪前后时次(间隔为 10 min)对流核,进行最低亮温、亮温梯度、红外与水汽亮温差、红外与水汽亮温差随时间变化率、某亮温值所围面积、云团面积随时间变化率等特征参量的计算。根据各因子特征阈值,进行 0、1 化处理(各因子满足阈值时为 1,不满足时为 0),然后求和,则短时暴雨卫星预警指标为:

$$Y=X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6 \quad (1)$$

其中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别是最低亮温值(T_{min})、-47 °C(3 月为 -37 °C)亮温所围面积(S)、某一亮温值所围面积随时间变化率(dS/dt)、亮温梯度(P)、红外与水汽亮温差值(ΔT)、红外与水汽差值

随时间变化率(dT/dt)6 个因子 0、1 化后的判别值。

1.2.1 最低亮温

分别统计有、无短时暴雨时云团最低亮温值,发现暴雨云团的 T_{min} 值比较小。 T_{min} 在小于表 1 中阈值条件时, X_1 记为 1;大于表 1 中无短时暴雨阈值时, X_1 记为 -1;处于两者之间时, X_1 记为 0。

表 1 最低亮温(T_{min})阈值 °C

月	3 月	4 月	5 月	6 月	7—9 月
短时暴雨	-35.0	-49	-62	-68	-68
无短时暴雨	-23.0	-27.0	-30.0	-32.0	-33.0

1.2.2 低亮温值所围面积

分别统计短时暴雨和非短时暴雨云团各亮温值所围面积,发现暴雨与 -47 °C(3 月为 -37 °C)亮温值所围面积大小关系密切,该亮温值所围面积大小(0.02°为格距的网格数)在大于表 2 中短时暴雨阈值条件时, X_2 记为 1;小于表 2 中无短时暴雨阈值时, X_2 记为 -1;处于两者之间时, X_2 记为 0。

表 2 -47 °C(3 月为 -37 °C)亮温值所围面积

月	3 月	4 月	5 月	6 月	7—9 月
短时暴雨	2 013	3 505	4 050	5 068	4 100
无短时暴雨	63	69	302	456	402

1.2.3 低亮温面积随时间变化率

某一亮温值所围面积随时间变化率为:

$$dS/dt=(S_{t2}-S_{t1})/\Delta t \quad (2)$$

该项是将云团某个亮温所围面积当前时次面积减去前一时次面积,它考虑了云团面积的变化速度,判断条件如下:

(1)当 $T_{min} \leq -47$ °C,则计算 TBB 为 -47 °C 所围的面积,若满足 $dS/dt \geq 330$ 格/10 min, X_3 记为 1;若满足 $dS/dt \leq -330$ 格/10 min,则 X_3 记为 -1;处于两者之间时, X_3 记为 0。

(2)当 -47 °C< $T_{min} \leq -37$ °C,则计算 TBB 为 -37 °C 所围的面积,若满足 $dS/dt \geq 900$ 格/10 min, X_3 记为 1;若满足 $dS/dt \leq -900$ 格/10 min,则 X_3 记为 -1;处于两者之间时, X_3 记为 0。

(3)当 $T_{min} > -37$ °C, $X_3=0$ 。

1.2.4 亮温梯度

亮温梯度公式:

$$P(i,j)=[\{T(i+1,j)-T(i-1,j)\}^2+\{T(i,j+1)-T(i,j-1)\}^2]^{1/2} \quad (3)$$

式中, $T(i,j)$ 是(i,j)网格点的亮温值, $P(i,j)$ 是(i,j)

网格点的亮温梯度。将亮温梯度计算结果进行 5×5 网格(即 10 km×10 km)平滑,提取云团中亮温梯度最大区域的值。暴雨常常出现于亮温梯度大的区域附近^[20]。若亮温梯度大于表 3 中阈值,则 $X_4=1$,否则 $X_4=0$ 。

表 3 强降水云团卫星参数阈值

	$d(T_{IR}-T_{WV})/dt$ /($^{\circ}C/10\ min$)	$T_{IR}-T_{WV}/^{\circ}C$	$P/^{\circ}C$	$T_{min}/^{\circ}C$	S
3月	-1	2	17	-35	2 013
4月	-1	1.5	17	-49	3 505
5月	-1	-2.0	20	-62	4 050
6月	-0.3	-2.5	20	-68	5 068
7—9月	-0.3	-2.5	28	-68	4 100

1.2.5 红外与水汽亮温差

红外与水汽亮温差为:

$$\Delta T(i,j)=T_{IR}(i,j)-T_{WV}(i,j)。(4)$$

水汽通道亮温值反映了对流层中上层水汽的分布情况,红外通道与水汽通道亮温差能够反映出云团发展的强弱^[21-22]。全球对流诊断产品^[7]核心就是以卫星 6.7 μm 水汽和 11 μm 红外通道亮温差确定深对流,用于对流天气预警。统计发现 3、4 月对流发展高度较低,该值较大,5 月后随着对流发展增高,该值变小(表 3)。若 $\Delta T(i,j)$ 小于表 3 中阈值,则 $X_5=1$,否则 $X_5=0$ 。

1.2.6 红外与水汽亮温差值随时间变化率

红外与水汽亮温差随时间变化率为:

$$dT(i,j)/dt = [T_{IR}(i,j)-T_{WV}(i,j)]/dt。(5)$$

统计发现暴雨云团的红外与水汽亮温差大多数为 -0.3~-1.0 $^{\circ}C/10\ min$ 。若 $dT(i,j)/dt$ 小于表 3 中阈值,则 $X_6=1$,否则 $X_6=0$ 。

2 雷达回波参数特征

短时暴雨一般来说是由较高的降水率或相对较长的降水持续时间造成的^[23],较强的降水能否持续影响同一地区,这和降水系统的大小、移速、强度等相关。将区域性短时暴雨发生期间新一代天气雷达 SWAN (Severe Weather Automatic Nowcast System) 系统识别出的并产生强降水的风暴单体作为样本,统计了 2016—2017 年 3—9 月福建省暴雨过程期间,全省 8 部新一代天气雷达组网拼图风暴识别追踪分析临近预报 (TITAN) 产品识别出的 6 528 个(3—6 月 4 122 个、7—9 月 2 406 个)强降水风暴单

体,统计最强回波强度、35 dBZ 以上强度回波的面积 (S_{35})、风暴移动速度、反射率因子强中心高度 (H_{zm} , 雷达多个扫描仰角采集的该风暴单体回波强度最强时所处高度) 等参数,并分别去掉 5% 的最大、最小参数值区间的样本,由此得到强降水风暴单体的参数值(表 4)。结果表明,强降水的发生与最强回波强度 (Z_m)、35 dBZ 强度的回波面积 (S_{35})、风暴移速关系最密切,发生强降水时移速慢、中等强度回波面积大、回波强度高。

表 4 雷达回波参数统计

	回波面积 / km^2	移速 /(km/h)	最强强度 /dBZ	反射率因子 强中心高 度/ km
平均	140	16.4	44.6	3.2
3—6 月 最大	1078	63.8	55	4.6
最小	16.1	0	37.5	1.7
70 百分位	>79.8	<24.8	>42.3	<3.3
平均	104.6	10.8	47.8	3.3
7—9 月 最大	774	44.6	57.5	4.7
最小	13	0	38.5	2.0
70 百分位	>61.4	<12.5	>45.8	<3.9

雷达回波资料分析表明,3—6 月主要是对流与稳定性混合回波造成的强降水,表现为强回波主要集中在低层,降水雨滴密度大,质心位置较低(图 1),大多达不到 0 $^{\circ}C$ 层高度,主要是暖云产生高效率的短时强降水,降水回波一般呈带状或絮状,3、4 月份出现频次明显少于 5、6 月。统计结果表明,70% 以上的混合性降水最大反射率因子强度 Z_m 在 42 dBZ 以上,反射率因子强中心高度 H_{zm} 低于 3.3 km, S_{35} 为 80 km^2 以上,移动速度 <25 km/h 。

7—9 月主要是对流性强降水,对流发展高度高,强度更强,降水粒子数密度相对较稀,对流单体以局地发展为主,中等强度回波尺度小于 3—6 月的,移速也较慢。统计结果表明,70% 以上的对流性降水最大反射率因子强度 Z_m 在 45 dBZ 以上,反射率因子强中心高度 H_{zm} 在 3.9 km 附近, S_{35} 为 60 km^2 以上,移动速度 <13 km/h ,比冰雹或雷暴移速明显慢。

3 卫星、雷达及加密雨量综合预警短时暴雨

考虑到天气雷达能观测到降水系统的低层,但是对浅对流降水卫星最低亮温等参数与降水对应不是很好,同时考虑到地面雨量数据的实时性,将卫星监测结果与雷达、地面加密雨量数据融合,建立区域

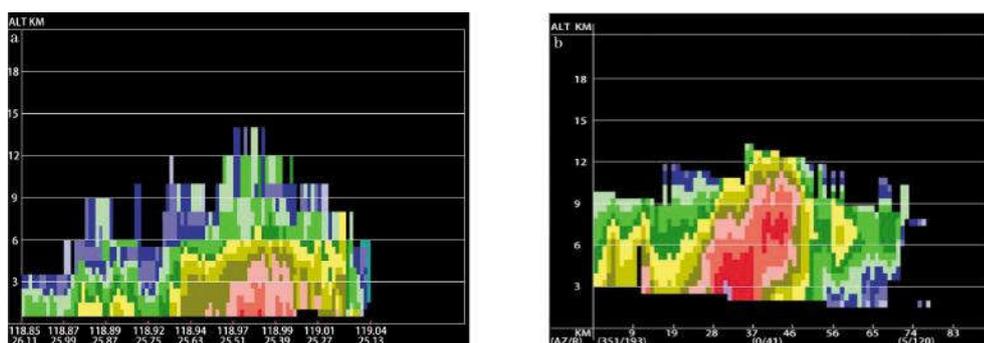


图 1 降水单体垂直结构

(a 为稳定性,b 为对流性)

性短时暴雨预警指标:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \quad (6)$$

其中, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ 分别是最低亮温、某亮温所围面积、某亮温面积随时间变化率、亮温梯度、红外与水汽差值、红外与水汽差值随时间变化率、雷达产品 TITAN 的判识条件、前 1 h 降水量 8 个因子 0、1 化后的判别值(满足阈值时为 1, 不满足时为 0)。

读取检测出的各个云团所包围区域(亮温 $\leq -32^\circ\text{C}$) 中新一代天气雷达 SWAN 产品(TITAN)识别出的风暴的中等强度回波面积(S_{35})、移动速度(V)、回波强度(Z_m)的参数值, 分别对这些雷达参数进行判识是否满足: ①3—6 月, $S_{35} \geq 80 \text{ km}^2, V < 25 \text{ km/h}, Z_m \geq 42 \text{ dBZ}$; ②7—9 月, $S_{35} \geq 60 \text{ km}^2, V < 12 \text{ km/h}, Z_m \geq 45 \text{ dBZ}$ 。若满足以上条件, 则 $X_7=1$; 不满足, 则 $X_7=0$ 。

系统检测云团所包围区域中地面加密自动雨量数据, 前 1 h 是否出现相邻 3 站以上 $\geq 20 \text{ mm/h}$ 强降水, 若有, 则 $X_8=1$; 否则 $X_8=0$ 。

最后将 8 个因子相加, 得到预警指标 Y 。根据历史样本统计云团未来 2 h 产生区域性短时暴雨的预警指标 Y 值有 80% 以上达到 4 以上, 因此取 $Y=4$ 为阈值, 若 $Y \geq 4$, 则预报该云团未来 2 h 将出现区域性短时暴雨天气。目前在卫星云图上对对流云团的追踪主要借助类似于雷达的回波追踪方法^[24-25]。本文也采用交叉相关法, 通过 TREC 矢量得到移动方

向和速度, 将云团亮温 $\leq -32^\circ\text{C}$ 的区域进行线性外推, 最后系统输出该云团现在及未来 2 h 内最大可能出现区域性短时暴雨的区域。

4 卫星、雷达短时暴雨预报结果检验

为了检验卫星、雷达 0~2 h 强降水预测能力, 引用命中率 (POD)、空报率 (FAR)、临界成功指数 (CSI), 这些指标可以定量评价预测结果。计算公式如下:

$$POD = X / (X + Y), \quad (7)$$

$$FAR = Z / (X + Z), \quad (8)$$

$$CSI = X / (X + Y + Z). \quad (9)$$

其中, POD 为命中率、 FAR 为空报率、 CSI 为临界成功指数, X, Y, Z 分别为报准数、漏报数、空报数。

统计某时段每间隔 10 min 观测所有被识别出的对流云团, 对预报有区域性短时暴雨的云团, 若未来 2 h 内该云团所预警范围内有区域性短时暴雨发生, 则正确, 若无则空报。对预报无区域性短时暴雨的云团, 若该云团所预警范围内无区域性短时暴雨发生, 则正确, 若有则漏报。若预警云团内、外均出现区域短时暴雨, 则算一次正确和一次漏报。据此规定统计了 2019 年 3 次暴雨过程识别的 274 个云团, 分别计算云团和强降水站数的命中率、空报率、临界成功指数(表 5)。评估结果命中率为 80.6%~97.1%, 平均为 91.0%, 空报率平均为 14.7%, 临界成功指数为

表 5 卫星强降水预测结果检验

	云团数 /个	报对云团 数/个	命中率 /%	云团空报 数/个	空报率 /%	云团预报临界 成功指数/%	全省强降水 站数个	云团内强 降水站数/个	占全省强降水 站数比例/%
5 月 16 日 05—20 时	75	71	80.6	4	5.3	77.2	2 284	1 901	83.2
6 月 6 日 16 时—7 日 16 时	125	99	97.1	26	20.8	77.3	1 414	1 360	96.2
6 月 9 日 08—21 时	74	61	95.3	13	17.6	79.2	823	629	76.4
平均			91.0		14.7	77.9			85.2

77.2%~79.2%,平均为 77.9%,所预警的云团未来 2 h 影响区域出现 ≥ 30 mm/h 强降水站数占全省强降水站数的 76.4%~96.2%,平均为 85.2%,整体预警效果较好。

图 2 是 2019 年 5 月 16 日 08:00(世界时)卫星预警区域及未来 2 h 出现 ≥ 30 mm/h 降水站点图,全省共 35 站出现强降水,其中 31 个站点出现在预警区域内,准确率为 88.6%。

图 3 是 2019 年 6 月 7 日 02:00(世界时)卫星监测未来 2 h ≥ 30 mm/h 强降水预警,全省共 40 站出现强降水,40 个站点全部出现在卫星预警区域内,准确率为 100%。

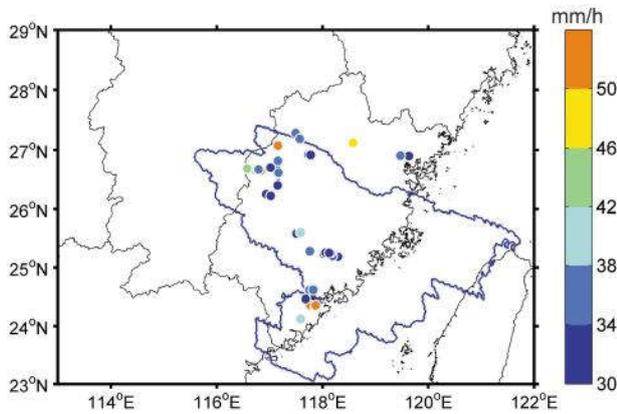


图 2 2019 年 5 月 16 日 08:00 卫星预警区域与降水 (蓝色廓线是预警系统识别的强降水区域,圆点是出现 ≥ 30 mm/h 的雨量站点,色标是雨量值,下同)

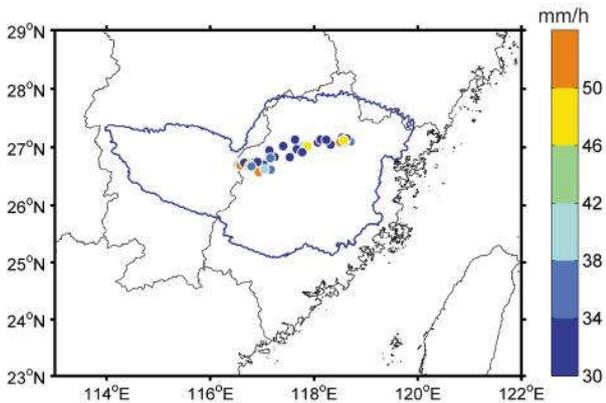


图 3 2019 年 6 月 7 日 02:00 卫星预警区域与降水

5 结论

通过葵花卫星最低亮温、亮温梯度、红外与水汽亮温差及其随时间变化率等特征参量阈值的计算、提炼,并融合了雷达参数阈值及过去 1 h 地面加密降水实况资料,采用指标叠加法和交叉相关法外推云团的移动进行短时暴雨预警,得到如下结论:

(1)短时暴雨常发生于最低亮温值小、亮温梯度值大、红外与水汽亮温差 < 0 °C、红外与水汽亮温差随时间变化率为 -20 °C 以上、 -47 °C(3 月为 -37 °C)亮温值所围面积大的云团里。

(2) 短时暴雨的发生与回波强度、35 dBZ 以上强度的回波面积、移速关系最密切,发生强降水时移速慢、中等强度回波面积大,强度强。

(3)2019 年几次暴雨过程预报检验结果命中率(POD)为 80.6%~97.1%,平均为 91.0%,临界成功指数(CSI)为 77.2%~79.2%,平均为 77.9%,所预警的云团未来 2 h 影响区域出现 ≥ 30 mm/h 短时暴雨站数占全省短时暴雨站数的 76.4%~96.2%,平均为 85.2%,整体预警效果较好。

(4)虽然基于高分辨率卫星,并融合了雷达、加密降水资料的预警系统可以对区域性短时暴雨进行较好的预报,但也存在一定的空报、漏报,分析误差原因主要是两个方面:一是卫星参量与强降水的关系还需进一步研究;二是云团的增长、消亡造成的误差,且这种误差随着预报时效的增长而增大。

参考文献:

- [1] 方宗义,覃丹宇.暴雨云团的卫星监测和研究进展[J].应用气象学报,2006,17(5):583-593.
- [2] 王立志,李俊,周凤仙.GMS-5 四通道云图的自动分类及其在定量估算降水中的应用[J].大气科学,1998,26(4):371-378.
- [3] 卢乃锰,吴蓉璋.强对流降水云团的云图特征分析[J].应用气象学报,1997,8(3):269-275.
- [4] 兰红平,张儒林,江圭.用红外云图估测小区域雨强及其在短时预报中的应用[J].热带气象学报,2000,16(4):366-373.
- [5] 李红莉,崔春光,徐祥德.风云静止卫星资料在一次暴雨云分析中的应用[J].热带气象学报,2016,32(1):51-62.
- [6] 高梦醒,肖天贵.基于卫星云图对四川盆地东北部“9·13”暴雨特征分析[J].成都信息工程大学学报,2016,31(1):102-109.
- [7] 苏军锋,吴文辉,魏清霞,等.甘肃东南部两次极端致灾暴雨对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(5):26-33.
- [8] 梅婵娟,张灿,李宏江.2011 年“7·25”山东乳山特大暴雨成因分析[J].气象与环境科学,2016,39(3):82-89.
- [9] 闵爱荣,杨洪平,石燕.利用卫星和雷达估计大暴雨[J].气象科技,2007,35(2):209-212.
- [10] 郑永光,陈炯,陈明轩,等.北京及周边地区 5~8 月红外云图亮温的统计学特征及其天气学意义[J].科学通报,2007,52(14):1700-1706.
- [11] 傅云飞,宇如聪,崔春光,等.基于热带测雨卫星探测的东亚降水云结构特征的研究[J].暴雨灾害,2007,26(1):9-20.

- [12] 张爱民,郑媛媛,郑兰芝,等.基于 CINRAD 和卫星的淮河流域致洪暴雨综合定量估测及预警研究[J].热带气象学报,2006,22(1):96-100.
- [13] 郑永光,林隐静,朱文剑,等.强对流天气综合监测业务系统建设[J].气象,2013,39(2):234-240.
- [14] 陈小华,段旭.基于卫星和雷达资料估测滇中地区降水量方法研究[J].气象,2013,39(2):203-209.
- [15] BESSHO K, DATE K, HAYASHI M, et al. An introduction to Himawari -8/9: Japan's new -generation geostationary meteorological satellites [J]. J Meteor Soc Japan Ser II, 2016, 94(2): 151-183.
- [16] GRAVELLE C M, MECIKALSKI J R, LINE W E, et al. Demonstration of a GOES-R satellite convective toolkit to "bridge the gap" between severe weather watches and warnings: An example from the 20 May 2013 Moore, Oklahoma, tornado outbreak [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2016, 97(1): 69-84.
- [17] 吴晓京,朱小祥,毛紫阳.风云二号气象卫星红外观测在云团降水监测中的应用[J].海洋气象学报,2019,39(3):1-10.
- [18] 林长城,张长安,林忠敏等.前汛期福建地区 GMS-5 红外云图的亮温度与地面雨强的关系研究[J].热带气象学报,2003,19(1):67-72.
- [19] 张夕迪,孙军.葵花 8 号卫星在暴雨对流云团监测中的应用分析[J].气象,2018,44(10):1245-1254.
- [20] 胡波,杜惠良,肖云.用云团强中心附近最大亮温梯度区判别强降水[J].气象科技,2005,33(5):401-403.
- [21] 黄勇.江淮流域 FY2C 多通道信息与地面降水关系分析[C]//中国气象局.全国卫星应用技术交流会.北京:气象出版社,2010:87-94.
- [22] MOSHER F R. Detection of deep convection around the globe [C]. 10th Conf. on Aviation, range, and Aerospace Meteorology, Oregon State, 2002.
- [23] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:170-171.
- [24] 王改利,刘黎平.暴雨云团的多尺度识别方法及其在临近预报中的应用[J].大气科学,2007,31(3):400-409.
- [25] WU R Z, James A W. Determination of Rainfall Rates from GOES Satellite Images by a Pattern Recognition Technique [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1985, 2: 314-330.

Short-term Rainstorm Warning Based on Satellite, Radar and Other Multi-source Data

RUAN Yue^{1,2}, HUANG Linguang², CHEN Qichuan², CHEN Qiuping²

(1. Fujian Key Laboratory of Severe Weather, Fuzhou 350001, China;

2. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China)

Abstract Based on the data of cloud top brightness temperature (TBB) of Himawari satellite during 2017 -2018, the characteristic parameters such as minimum brightness temperature, brightness temperature gradient, difference between brightness temperatures in infrared window and water vapor window and its rate of change with time, the area of low brightness temperature and its rate of change with time were calculated, and the satellite parameter threshold of short-term rainstorm was determined. At the same time, this method combines the radar parameter threshold and the actual ground encrypted precipitation data in the past one hour. We adopted the indices superposition to determined whether a cloud cluster in the monitoring area could generate regional short-term rainstorm in the next two hours, and the cross correlation method was used to extrapolate the movement of the clouds, and then pre-warning to the strong falling water cloud cluster. Several experiments in 2019 forecast heavy rain process verification results showed that: the pre-warning forecast accuracy is 80.6% - 97.1%, with an average of 91.0%, the critical success index ranges from 77.2% to 79.2%, and with an average of 77.9%. The number of short-term rainstorm stations ≥ 30 mm/h in the area affected by the cloud cluster in the next two hours accounts for 76.4% - 96.2%, and with an average of 85.2% of the total number of short-term rainstorm stations in the province. This method used for short-term rainstorm forecast showed a good performance.

Key words TBB; radar; threshold; the index stack; short-term rainstorm; prediction