

王小龙,王彤,李映春,等.基于“葵花8号”气象卫星的陇东南地区强对流识别跟踪技术研究[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):56-61.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.05.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于“葵花8号”气象卫星的陇东南地区 强对流识别跟踪技术研究

王小龙¹,王彤^{1*},李映春¹,李娟¹,邓卓雅¹,王秀花¹,谢蕊¹,安斌²

(1.天水市气象局,甘肃 天水 741000;2.麦积区气象局,甘肃 天水 741020)

摘要:利用常规观测资料、区域自动站资料和“葵花8号”气象卫星资料,对2016年4—9月甘肃省陇东南地区出现的43次强对流天气过程进行分析,确立了强对流云团识别指标、追踪方法及预报指标,并对2018年部分个例进行效果检验。结果表明:(1)利用卫星B13通道(10.4 μm)亮温值 $TBB \leq 238 \text{ K}$ 或B08通道(6.2 μm)与B13通道亮温差 $\Delta TBB < 0 \text{ K}$ 双阈值作为强对流云团识别指标,可以准确识别出陇东南地区的强对流天气云团;(2)利用“逆向搜索法”、“面积重叠法”及对云团重心的计算,可以对强对流云团进行准确定位、追踪及移动路径外推预报;(3)建立的强对流天气落区判别指标对该地区短时强降水及冰雹落区具有一定的预报能力。

关键词:葵花8号;强对流云团识别;强对流云团追踪;短时强降水

中图分类号:P457.6

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)05-0056-06

强对流天气是导致气象灾害的重要天气类型^[1]。近年来,全球变暖,天气气候异常,强对流天气频发,经常造成重大财产损失和人员伤亡^[2]。例如,2010年8月8日,由强降水引发的舟曲特大山洪泥石流地质灾害,导致1478人遇难,287人失踪;2007年,甘肃省86个县(区)中,有38个县(区)的230个乡镇出现了冰雹灾害,发生冰雹灾害共计85次,农作物受灾面积累积超过14万 hm^2 。随着我国经济的快速发展,强对流天气造成的危害和损失在不断增加,研究强对流天气的监测、预报预警技术,对于防灾减灾工作意义重大。

国内外学者对强对流天气进行了大量的研究,在强对流天气特征、形成机制以及可预报性等方面取得了许多成果^[3-4]。我国学者对中国强对流的生成

环境、组织形态、多普勒天气雷达回波特征以及临近预报、预警技术进行了研究,强对流天气业务预报能力得到显著提升,但仍需在分类强对流天气预报、预警技术方面更加深入细致的研究^[1]。利用卫星遥感技术对强对流天气进行监测预警是目前国内外常用的技术手段之一^[5-9]。费增坪等^[10-14]在利用卫星云图资料对强对流天气进行识别追踪方面进行了一系列研究,取得了一定成果,但上述研究大多都是基于上一代气象卫星资料,时空分辨率较低,实用性有限。“葵花8号”是日本气象厅2014年底发射的新一代气象卫星,具有观测频次高、空间分辨率高、观测通道多、卫星辐射计性能先进等特点。周鉴本等^[15-16]率先在国内对其展开了大气向量研究及冰雪侦测试验,也有学者将其应用于暴雨、气溶胶及雾霾等方面的研究^[17-19],然而利用该卫星对强对流天气进行识别及追踪的相关研究较少。

因此,本文利用2016年陇东南地区出现的43次强对流天气过程和“葵花8号”气象卫星资料,对强对流天气的识别、动态跟踪及预报方法展开研究,以期对甘肃省强对流天气监测预报预警提供技术参考。

收稿日期:2021-03-12;修回日期:2021-08-30

基金项目:甘肃省气象局面上项目(GSMAMS2018-08)

作者简介:王小龙(1986—),男,工程师,主要从事中短期天气预报及相关研究工作。E-mail:qxtwxl@126.com

通信作者:王彤(1968—),男,工程师,主要从事中短期天气预报及相关研究工作。E-mail:gstswt@163.com

1 资料和处理

选取甘肃省兰州、临夏、定西、庆阳及天水 2016 年 4—9 月强对流天气实况资料, 建立个例样本 43 个, 统计出强对流云团 64 个, 强对流点 200 个, 其中包含短时强降水点(1 h 降水量 ≥ 20 mm)142 个, 一般性冰雹点(冰雹直径 < 2 cm)50 个, 强降水点(冰雹直径 ≥ 2 cm)8 个。利用“葵花 8 号”气象卫星资料, 选择对应时次 B08 通道(中心波长 6.2 μm)、B13 通道(中心波长 10.4 μm)、B16 通道(中心波长 13.3 μm)观测数据(选取资料范围为 32.5°~37.5°N, 102.0°~109.0°E)进行样本分析。

2 强对流云团的识别

2.1 云顶亮温

由于发展旺盛的强对流云团具有更高的上升高度和更低的云顶亮温(TBB)。统计样本中强对流天气发生区域的 TBB 值特征, 建立强对流识别指标, 再对其进行回代检验, 可以初步建立识别阈值并过滤掉非强对流云团。通过计算发现, 在 10.4 μm 通道, 陇东南出现短时强降水的强对流云团云顶 TBB 平均值为 222 K, 当 TBB 阈值 ≤ 238 K 时, 可有效识别出样本中 80.3% 的强对流云团(表 1)。冰雹发生区域云顶 TBB 平均值为 228 K, 当 TBB 阈值 ≤ 238 K 时, 可有效识别出 44.8% 的冰雹云云团(表 2)。

表 1 2016 年 4—9 月陇东南短时强降水云团

TBB 阈值识别

云顶亮温识别标准/K	$TBB \leq 222$	$TBB \leq 228$	$TBB \leq 238$
参与计算的强对流点/个	142	142	142
识别出的个例(点)数/个	83	98	114
识别率/%	58.5	69.0	80.3
漏报率/%	41.5	31.0	19.7
空报率/%	0	0	0

表 2 2016 年 4—9 月陇东南冰雹云团 TBB

阈值识别

云顶亮温识别标准/K	$TBB \leq 222$	$TBB \leq 228$	$TBB \leq 238$
参与计算的强对流点/个	58	58	58
识别出的个例(点)数/个	11	19	26
识别率/%	18.9	32.8	44.8
漏报率/%	81.1	67.2	55.2
空报率/%	0	0	0

2.2 多通道差

卫星 6.2~10.4 μm 通道亮温差可以指示已经穿透对流层顶的对流云顶, 其亮温差负值区对应云顶超过对流层顶的云团区域, 统计分析个例云团中多通道差分布, 可以有效识别对流云^[20]。

选取不同通道的亮温差对样本云团进行回代识别检验, 当识别指标分别为 $\Delta TBB < 0$ K、 $\Delta TBB \leq -5$ K、 $\Delta TBB \leq -10$ K、 $\Delta TBB \leq -15$ K 时, 对短时强降水云团的识别率依次为 65.5%、29.6%、21.1%、16.2%(表 3), 对冰雹抗云团的识别率依次为 86.2%、60.3%、48.3%、44.8%(表 4)。

表 3 2016 年 4—9 月陇东南短时强降水云团

6.2~10.4 μm 亮温差阈值识别

6.2~10.4 μm 亮温差/K	$\Delta TBB < 0$	$\Delta TBB \leq -5$	$\Delta TBB \leq -10$	$\Delta TBB \leq -15$
参与计算的强对流点/个	142	142	142	142
识别出的个例(点)数/个	93	42	30	23
识别率/%	65.5	29.6	21.1	16.2
漏报率/%	34.5	70.4	78.9	83.8
空报率/%	0	0	0	0

表 4 2016 年 4—9 月陇东南冰雹云团 6.2~10.4 μm

亮温差阈值识别

6.2~10.4 μm 亮温差/K	$\Delta TBB < 0$	$\Delta TBB \leq -5$	$\Delta TBB \leq -10$	$\Delta TBB \leq -15$
参与计算的强对流点/个	58	58	58	58
识别出的个例(点)数/个	50	35	28	26
识别率/%	86.2	60.3	48.3	44.8
漏报率/%	13.8	39.7	51.7	55.2
空报率/%	0	0	0	0

2.3 双阈值检测

双阈值识别法具有很好的互补性, 可以有效识别单一阈值不能识别出的强对流云团, 提高识别率。

采用 B13 通道(10.4 μm) $TBB \leq 238$ K 或 6.2~10.4 μm 亮温差 $\Delta TBB < 0$ K 双阈值作为“葵花 8 号”卫星资料的强对流云团识别指标, 可以识别出样本中全部的强对流天气云团(表 5)。

表 5 2016 年 4—9 月陇东南短时强降水云团

双阈值识别

双阈值识别标准/K	$TBB \leq 238$ 或 $\Delta TBB < 0$	$TBB \leq 238$ 或 $\Delta TBB \leq -5$	$TBB \leq 238$ 或 $\Delta TBB \leq -10$	$TBB \leq 238$ 或 $\Delta TBB \leq -15$
参与计算的强对流点/个	142	142	142	142
识别出的个例数/个	142	142	141	137
双阈值识别率/%	100	100	99.3	96.5
双阈值漏报率/%	0	0	0.7	3.5
双阈值空报率/%	0	0	0	0

3 强对流云团边界的提取

使用双阈值法可有效识别出强对流云团,但要确定强对流云团的大小、范围及其位置,还需要对强对流云团边界使用技术手段进行提取。本文借鉴较为成熟的“逆向搜索法”^[21-23]对强对流云团边界进行识别。根据识别阈值,从左下角第一个边界点开始,定义初始的搜索方向为沿右上方,如果右上方的点是强对流云团点,则为边界点,否则搜索方向顺时针旋转 45°,直到找到第一个强对流云团点为止。然后以这个点为新的边界点,在当前搜索方向的基础上逆时针旋转 90°,继续用同样的方法搜索下一个云团点,直到返回最初的边界点。

在云图数据处理过程中,由于实际的红外云图的云顶并非理想的等值面,在云图边界点搜索过程中不可避免的出现断点。因此,本文对云图进行两次平滑滤波处理(九点平滑)。

对提取到的边界点进行处理,连接符合阈值的点,完成云团边界提取。通过边缘提取,使强对流云团边缘光滑,同时可以过滤掉微小云块的影响,便于跟踪计算(图1)。

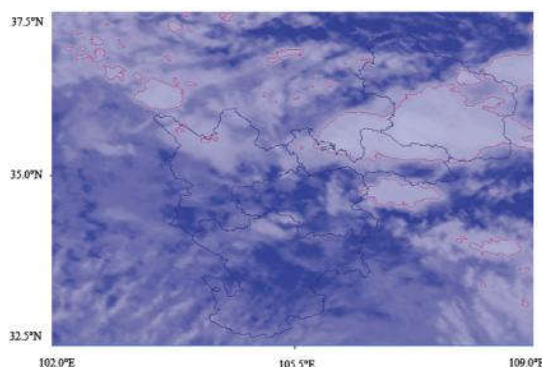


图1 使用“逆向搜索法”提取的陇东南地区强对流云团边界(2018年6月9日16:30)

4 强对流云团的自动追踪

云团的发展过程经常会发生合并、分裂现象,在不同时次的云图上云团的匹配不具有唯一性。云团位置的跟踪首先要判断不同时次的两块云团是否为同一云团。本项目沿用目前国内云图追踪常用的“面积重叠法”^[24-25]对不同时次的同一云团进行匹配跟踪,即相邻时次的两块云团的重叠度越大,则它们为同一云团的可能性越大。云团重叠度又和卫星扫描时间间隔密切相关,葵花8号扫描时间间隔缩短到10 min,重叠度较以往风云卫星有明显提高。

设 $N(t)$ 、 $M(t+1)$ 分别表示 t 、 $t+1$ 时刻的云团范围,则2个时刻同一云团重叠率 R 可以表达为:

$$R = \frac{N(t) \cap M(t+1)}{M(t+1)} \quad (1)$$

识别强对流云团是为了对其未来发展作出预测,根据对某一云团多个时次移动规律的跟踪,推演下一时刻该云团所处位置,从而确定强对流天气发生的区域。

使用面积重叠法匹配出强对流云团位置变化后,用强对流云团内所含像素点的总数表征其面积,运用以下公式对云团重心^[21]进行计算:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x(i) \cdot G(i)}{\sum_{i=1}^n G(i)} \quad (2)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y(i) \cdot G(i)}{\sum_{i=1}^n G(i)} \quad (3)$$

其中 $x(i)$ 、 $y(i)$ 为像素点的云图网格坐标, $G(i)$ 为该像素点的灰度值。采用灰度值的优点为:发展更高的云顶具有更大的灰度值,越大的灰度值在云团重心计算中占据更大的比重^[22]。

根据同一个强对流云团重心的变化,可以计算其移动的方位和单位时间移动量,从而实现下一时刻强对流云团位置的外推预报(图2)。

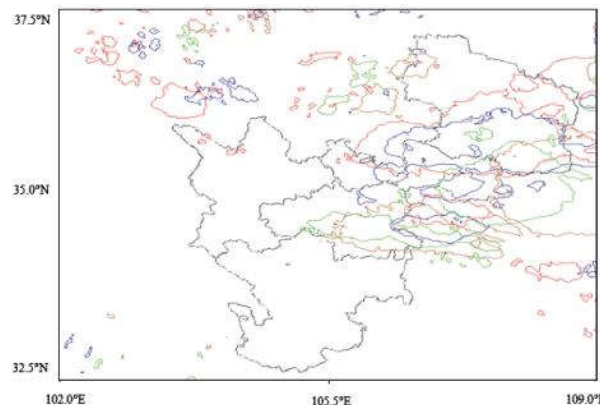


图2 2016年6月9日16:30—19:30逐小时强对流云团移动路径

(红线为16:30强对流云团位置,蓝线为17:30强对流云团位置,绿线为18:30强对流云团位置,橙线为19:30强对流云团位置)

5 强对流天气落区的判定

5.1 短时强降水落区的判定

借鉴 Mecikalski J R 等^[26]有关利用卫星数据对强对流云团进行计算的思路,建立陇东南地区短时强降水落区判定指标。统计分析样本中出现短时强

降水位置的云顶特征因子、云状因子及趋势因子等,建立阈值(表 6),采用等权重投票法进行短时强降水落区判定,即:当投票数(P_i) ≥ 6 时(共 7 项),判断该点为短时强降水发生位置。

表 6 陇东南地区短时强降水预报模型中的各因子及指标

因子	指标名称	权重	修订后的阈值/K
I1	6.2~10.4 μm 亮温差	1	≤ 2.1
I2	13.3~10.4 μm 亮温差	1	≤ 2.1
I3	10.4 μm 亮温值	1	≤ 294
I4	10.4 μm 亮温趋势(10 min)	1	≤ -3
I5	10.4 μm 亮温趋势(20 min)	1	≤ -4
I6	6.2 μm 与 10.4 μm 亮温差时间趋势(10 min)	1	> 0
I7	13.3 μm 与 10.4 μm 亮温差时间趋势(10 min)	1	> 0

5.2 冰雹落区的判定

冰雹云团较强降水云团具有更高的高度和更深的纹理,对样本中冰雹落区云图特征进行统计分析,发现可以将亮温梯度作为区分强降水云团和冰雹云团的物理量。采用 3×3 像素宽度计算云顶亮温梯度 G ,其表达式为:

$$G = \{ [T_{i+1,j} - T_{i-1,j}]^2 + [T_{i,j+1} - T_{i,j-1}]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

其中, T 为云顶亮温, i,j 为像素坐标。

陇东南地区 10.4 μm 通道亮温梯度 $G > 5$ 且 6.2~10.4 μm 亮温差 < 0 K 的区域为冰雹易发点。

6 个例检验

6.1 个例检验 1

以 2018 年 6 月 10 日 19—21 时天水强对流天气为例,对强对流云团进行识别、边界提取、路径跟踪、移动路径外推以及强对流天气落区预报检验,见图 3~5。

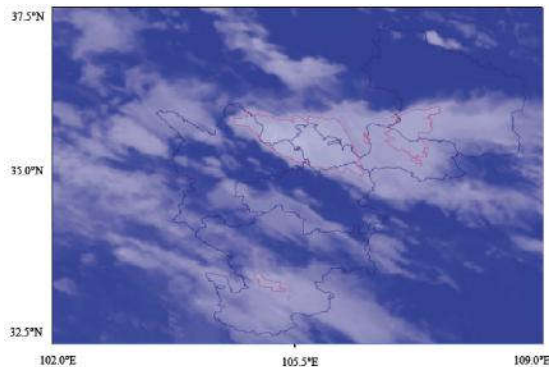


图 3 2018 年 6 月 10 日 19:00 强对流云团识别及边界提取

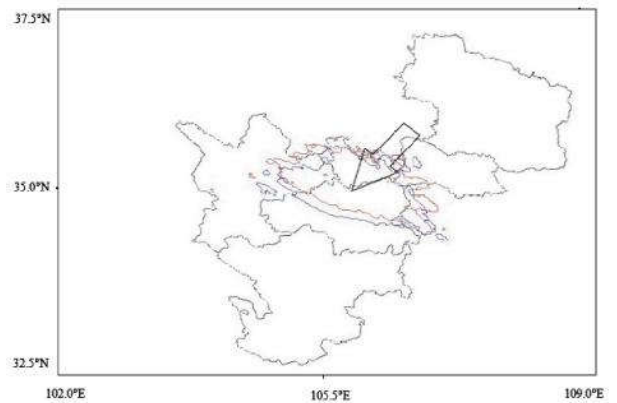


图 4 2018 年 6 月 10 日 19:00 和 19:40 强对流云团位置跟踪

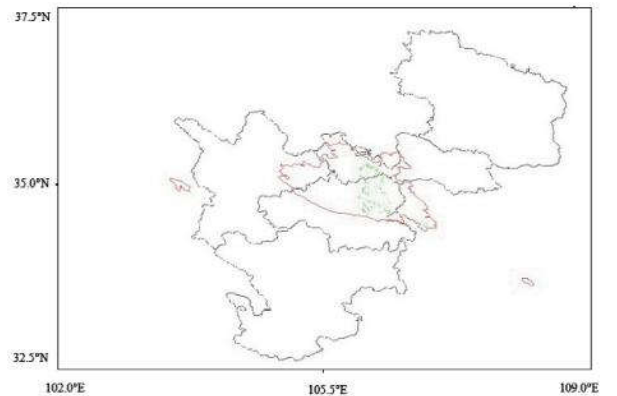


图 5 2018 年 6 月 10 日 19:40 外推未来 20 min (20:00) 强对流云团位置及强对流天气落区

2018 年 6 月 10 日 19—21 时,天水市自北向南出现强对流天气,秦安县、甘谷县、武山县、麦积区、张家川县等乡镇相继出现冰雹天气。19 时秦安县王铺、郭嘉、魏店最大冰雹直径约 8 mm,持续时间约 20 min;20 时甘谷县八里湾、礼辛、金山最大冰雹直径 7~8 mm,持续时间约 4 min;20 时 40 分武山县洛门镇、温泉镇、咀头镇最大冰雹直径约 15 mm,持续时间约 10 min。甘谷县、麦积区、秦州区部分乡镇出现短时强降水,最大小时雨量为麦积区肖王的 30.4 mm。

利用双阈值法成功识别出强对流云团,利用“逆向搜索法”提取的强对流云团边界清晰可靠,路径跟踪准确,利用“面积重叠法”和云团重心计算的强对流云团移动方位准确;冰雹天气落区判别模型成功识别出秦安县、甘谷县、张家川县一带冰雹,但对武山县、麦积区一带冰雹空报,同时,冰雹实际出现时间也与识别到的时间存在偏差;短时强降水落区判别模型成功识别出秦州、甘谷、麦积一带短时强降水,但对秦安、张家川、清水一带空报,短时强降水实际发生时间也与识别出的时间存在一定偏差。

6.2 个例检验 2

对 2018 年 7 月 10 日 14—20 时陇东南地区发生的一次区域性短时强降水过程进行强对流云团识别及位置追踪检验,发现建立的双阈值指标和追踪方法并不能有效对其进行识别和位置追踪。经过对云图资料研判分析后发现,此次强对流过程为暖云性降水,云顶温度较高,同时强对流云团发展高度相对较低,导致建立的统计指标不能对其有效识别。由此可见,本文建立的双阈值指标并不能有效识别和追踪云顶温度较高且垂直发展高度不高的强对流云团。

“双阈值法”能够成功识别出陇东南地区绝大多数的强对流云团,但对少数一些云顶温度较高且垂直发展高度不高的对流云团存在无法识别的情况;利用“逆向搜索法”可以对强对流云团边界轮廓进行准确定位,利用“面积重叠法”和对云团重心的计算可以对强对流云团进行动态追踪及移动路径外推预报,但也存在对少数一些尺寸较小的强对流云团无法匹配和跟踪的情况。另外,建立的强天气落区判别模型对该地区强对流云团中短时强降水、冰雹天气易发点具有一定的判断能力,但是空报率偏高,强天气实际出现时间与预报时间也存在一定偏差。

7 结论和讨论

(1)利用卫星 B13 通道(中心波长 $10.4\ \mu\text{m}$)云顶亮温 $TBB \leq 238\ \text{K}$ 或 B08 通道(中心波长 $6.2\ \mu\text{m}$)与 B13 通道云顶亮温差 $\Delta TBB < 0\ \text{K}$ 双阈值指标,可以准确识别出陇东南地区的强对流云团。

(2)利用“逆向搜索法”可以准确获取强对流云团的边界轮廓;利用“面积重叠法”和对云团重心的计算可实现强对流云团位置的动态追踪及移动路径外推预报。

(3)强对流云团识别指标及追踪方法,对一些云顶温度较高且垂直发展高度不高的暖性强对流云团存在无法识别和追踪的情况,同时,对一些尺寸较小的强对流云团也无法匹配跟踪。

(4)强天气落区判别指标充分考虑了对流云顶发展高度、云顶发展趋势、对流云主体位置、云顶纹理等方面的特性,对陇东南地区强对流天气落区具有一定的预报能力,但空报率偏高,同时存在一定的时间偏差。

本文没有考虑高空风对强对流天气落区的影响,在之后的研究中需要对这部分内容展开详细分析;同时,由于发展旺盛的强对流云团尺度较大且云顶特征均匀,卫星投影角度造成的落区偏差相对较

小,忽略了这部分的影响。

参考文献:

- [1] 俞小鼎,郑永光.中国当代强对流天气研究与业务进展[J].气象学报,2020,78(3):391–418.
- [2] 闵锦忠,吴乃庚.近二十年来暴雨和强对流可预报性研究进展[J].大气科学,2020,44(5):1039–1056.
- [3] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎.强对流天气预报的一些基本问题[J].气象,2017,43(6):641–652.
- [4] 周庆亮.美国强对流预报主观产品现状分析[J].气象,2010,36(11):95–99.
- [5] JOHN R H, DOSWELL C A. Severe local storms forecasting[J]. Wea Forecasting, 1992, 7: 588–612.
- [6] LI Z J. Estimation of cloud motion using cross-correlation[J]. Atmospheric Science, 1998, 15(2): 277–282.
- [7] 刘科峰,张韧,李文才,等.奇异值分解与神经网络网络结合的卫星云图云团移动预测[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2008,9(3):298–301.
- [8] 张春桂,周乐照,林柄青,等.基于卫星和雷达资料的强对流云团识别跟踪[J].气象科技,2017,45(3):485–491.
- [9] 刘健,蒋建莹. FY-2C 高时间分辨率扫描数据在强对流云团监测中的应用研究[J]. 大气科学, 2013, 37(4): 873–880.
- [10] 费增坪,王洪庆,张炎,等.基于静止卫星红外云图的 MCS 自动识别与追踪[J].应用气象学报,2011,22(1):115–122.
- [11] 廖伟,原湘华,于广俊,等.基于卫星云图亮温分析的中尺度对流云团的识别技术研究[J].空军装备研究,2008,2(1):17–32.
- [12] 李汇军,孔玉寿.应用连续小波变换提取对流云团[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2005,6(2):181–184.
- [13] 刘科峰,张韧,孙照渤.基于交叉相关法的卫星云图中云团移动的短时预测[J].中国图像图形学报,2006,11(4):586–591.
- [14] 方兆宝,林晖,吴立新,等.流形群速度目标自动识别与跟踪技术研究[J].遥感学报,2004,8(1):14–22.
- [15] 周鉴本.地球同步卫星葵花 8 号多频道大气运动向量[J].地球科学前沿,2017,7(4):586–597.
- [16] 周鉴本.以葵花 8 号卫星观测探测冰雪的初步试验[J].地球科学前沿,2016,7(5):432–442.
- [17] 杨磊,才奎志,孙丽,等.基于葵花 8 号卫星资料的沈阳两次暴雨过程中对流云特征对比分析[J].暴雨灾害,2020,39(2):125–135.
- [18] 牛晓君,唐家奎,张自力,等.基于葵花 8 号卫星数据的气溶胶反演算法及其在雾霾过程监测中的应用[J].中国科学院大学学报,2019,36(5):671–681.
- [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] 刘京华,王彬,韩雷,等.津京地区一次强对流天气的初

- 生预警技术研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, 48(1):42-46.
- [21] 胡渝宁, 李森. 基于 FY2D 静止气象卫星云图中的雷暴云团的识别[J]. 灾害天气研究与预报, 2012(2):1286-1305.
- [22] 白洁, 王洪庆, 陶祖钰, 等. GMS 卫星红外云图强对流云团识别与追踪[J]. 热带气象学报, 1997, 13(2):158-167.
- [23] 李森, 刘建文, 刘玉玲, 等. 基于 FY2D 静止卫星云图的强对流云团识别[J]. 气象水文海洋仪器, 2010(2):72-78.
- [24] 刘年庆, 郑媛媛, 蒋建莹, 等. 基于动态特征的强对流云团追踪[J]. 高原气象, 2013, 3(2):556-563.
- [25] 周鑫. 基于 FY-2F 卫星数据研究对流初生的云顶物理量特征[D]. 南京信息工程大学, 2018.
- [26] MECIKALSKI J R, BEDKA K M. Forecasting convective initiation by monitoring the evolution of moving cumulus in daytime GOES imagery [J]. Mon Wea Rev, 2006, 134: 49-78.

Research on Identification and Tracking Technology of Severe Convection in Southeast Gansu Based on Himawari-8 Meteorological Satellite

WANG Xiaolong¹, WANG Tong¹, LI Yingchun¹, LI Juan¹, DENG Zhuoya¹, WANG Xiuhua¹,
XIE Rui¹, AN Bin²

(1. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui 741000, China;

2. Maiji Meteorological Bureau, Tianshui 741020, China)

Abstract Based on the data of routine observations, regional automatic stations and Himawari-8 meteorological satellite, the 43 severe convection weather processes that occurred in southeast Gansu between April and September 2016 were analyzed. The indicator of severe convective cloud recognition, tracking method and forecast indicator were established, and some individual cases of 2018 were tested to validate the effectiveness. The results showed that: (1) Using double threshold values of $TBB \leq 238$ K of the B13 channel ($10.4 \mu\text{m}$) or the TBB difference $\Delta TBB < 0$ K of the B08 channel ($6.2 \mu\text{m}$) and the B13 channel as the indicator of severe convective cloud recognition can accurately identify severe convection weather clouds in southeast Gansu. (2) Approaches like “reverse searching” and “area overlap” could be used to calculate the center of gravity of clouds, thereby accurately locating and tracking severe convective clouds and extrapolatively forecasting their paths of movement. (3) The indicator to discriminate the fallout zone of convective weather has a certain forecast capacity for the fallout zones of short-time strong rainfall and hail within the region.

Key words Himawari-8 meteorological satellite; identification of severe convective clouds; tracing of severe convective clouds; short-time strong rainfall