

文章编号: 1672-8785(2022)06-0042-07

FY4A 对流初生产品在上海地区强对流天气 监测预报预警中的应用效果分析

郭 巍 顾 问 崔林丽

(上海市卫星气象遥感应用中心, 上海 200030)

摘 要: 综合利用 FY4A 卫星强对流监测产品、中尺度数值预报以及地面常规观测资料, 对 2018~2019 年汛期上海地区的强对流天气过程的对流初生、对流落区、对流监测进行了综合研判, 并分析了不同卫星产品在短时强对流天气预警中的作用。结果表明: (1) FY4A 卫星的对流初生产品与高灵敏度雷达监测局地对流的水平不相上下。个别天气过程中对流预报的时效性可高于雷达探测结果, 且对流初生的预报位置与对流发生的实际位置在空间分布和形态上都比较接近。基于云顶变温, 对流初生产品还可以预判对流发展和减弱趋势。(2) FY4A 闪电事件产品与对流初生产品在时间和落区上有很好的 consistency。FY4A 闪电事件观测主要集中在对流初生和对流增强的阶段, 对对流预报有一定的指示意义。(3) 基于 FY4A 卫星的相关产品, 结合中尺度数值预报以及地面常规观测资料来进行短临天气的智能分析, 可以有效弥补常规观测资料的缺失, 并在对流初生、对流落区、对流监测中有很好的指示作用, 从而提高短临强对流天气的预警效率。

关键词: FY4A; 对流初生; 闪电

中图分类号: P405 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2022.06.006

Analysis of The Application Effect of FY4A Convective Initiation Product on Monitoring and Forecasting Strong Convective Weather in Shanghai

GUO Wei, GU Wen, CUI Lin-li

(Shanghai Ecological Forecasting and Remote Sensing Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: The convective initiation, convective flow area, and convective monitoring of the strong convective weather process in Shanghai during the flood season of 2018–2019 are comprehensively analyzed based on strong convective monitoring products, mesoscale numerical forecasts and conventional ground-based observations on the FY4A satellite. The effects of different satellite products in the severe convective weather warnings are also analyzed. The results show that: (1) the convective incipient product of the FY4A satellite is

收稿日期: 2021-12-17

基金项目: 上海市科委科研项目(19dz1200103); 上海市气象局面上项目(MS202002)

作者简介: 郭巍(1987-), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 主要从事气象卫星遥感应用研究。

E-mail: guowei_0425@163.com

comparable to high-sensitivity radar in the monitoring of local convection. In some weather processes, the timeliness of convective prediction is higher than that of radar detection, and the predicted location of convective initiation is close to the actual location of convective initiation in spatial distribution and morphology. Based on the cloud top temperature change, convection incipient products can also predict the development and weakening trend of convection. (2) The FY4A lightning product and the convection incipient product have a good consistency in both time and fall area. FY4A lightning observation mainly focuses on the convective initiation and convective intensification, which has certain indicative significance for convective prediction. (3) The combination of relevant products on FY4A satellite, mesoscale numerical forecasts and ground routine observation data can be used for the intelligent analysis of short-term weather, and effectively make up for the lack of routine observation data. It also acts as a good indicator in the initial convection, convection area and convection monitoring so as to improve the efficiency of short strong convective weather warning.

Key words: FY4A; convective initiation; lightning

0 引言

近年来短时强对流天气发生的次数和强度都在逐年上升, 长三角地区表现得尤为明显^[1-2]。目前, 短临预报主要依赖地面降水和雷达资料。但由于雷达观测到的是降水粒子, 因此时效性较对流云开始形成的时刻有所下降^[3]。高时空分辨率静止气象卫星资料可以有效弥补常规观测资料在短时对流监测中的不足。中尺度对流复合体(Mesoscale Convective Complex, MCC)的生命史一般可以划分为生成、发展、成熟和消亡阶段^[4]。但是, 由于对流生成的机理复杂性以及卫星遥感载荷技术的局限性^[5-7], 基于卫星的对流监测往往集中于对流的发展和成熟阶段。对流检测主要采用红外亮温和面积阈值的方法^[8-15]。其中, Maddox R A 最早提出 MCC 的亮温和面积阈值标准^[16]。此后的研究表明, 在不同的季节和地区, 阈值的标准也会有所差别^[17-24]。此外, 传统的对流判识方法主要监测的是已发展(成熟)的对流, 而无法监测到尺度小、时间间隔短的初生对流, 所以往往会出现卫星监测到对流时降水已经发生的情况。

中国的新一代气象卫星 FY4A 于 2018 年初正式向用户下发资料。FY4A 卫星资料的时空分辨率和精度较以往大幅提高, 并搭载了多项世界领先的探测仪器(如干涉式大气垂直探测仪、闪电成像仪)。该资料的时间分辨率最多可达到 5 min 左右, 同时提供了多种有利于

监测对流活动的天气产品^[24]。本文将 FY4A 的对流初生、闪电事件等产品加入强对流天气的短时临近预报系统中, 并检验这些产品在强对流天气活动的发生发展中的指示意义, 从而评估其上海地区短临天气监测中的应用效果。

1 资料和方法

本文使用的 FY4A 对流初生产品采用 nc 数据格式, 主要包括对流初生判识的二维矩阵、对流云顶降温率强度等级(RDC_Rank)以及相关的地理信息数据集。根据 FY4A 卫星对流初生产品采用的 CGMS LRIT/HRIT 全球规范定义的静止轨道标称投影, 进行了研究区域的几何重采样。基于对流初生产品行列号所对应的经纬度, 采用最邻近插值的方法将其输出为 0.04°分辨率的等经纬度投影的格点数据, 并最终将其输出为 MICAPS 系统可直接调取的第四类格点数据资料。具体处理流程如图 1 所示。

2 结果分析

2.1 对流初生产品的时效性分析

本文统计了 2018~2019 年发生在上海市本地的 12 次局地初生对流。考虑到 FY4A 轨道在 104.7°E, 对上海(121.0°E)上空对流云团的定位略有偏移, 且局地的强对流系统在中- γ 到中- β 尺度, 实际统计时若对流初生判识结果的位置与雷达判识对流的位置距离不超过 3

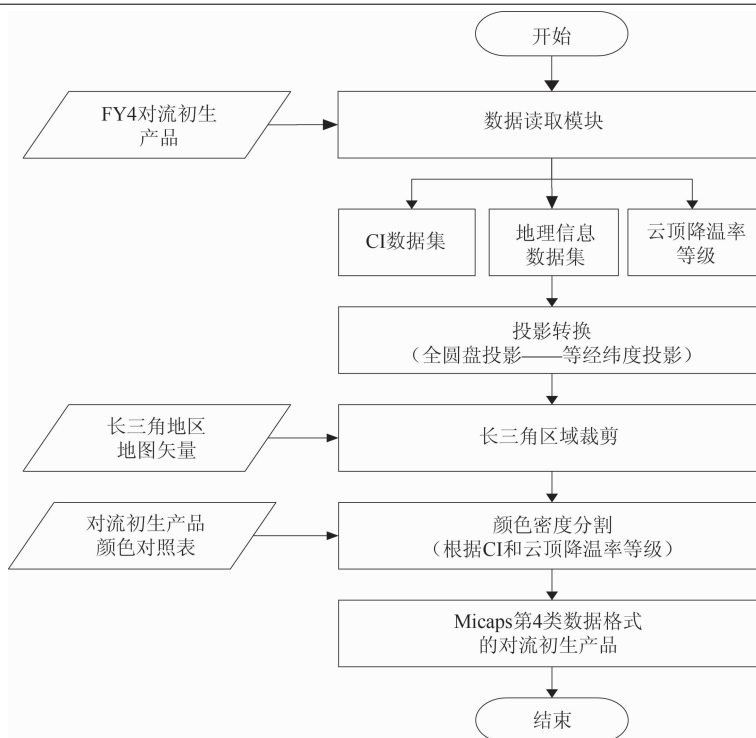


图1 FY4A 对流初生产品的处理流程

表1 2018~2019年上海本地强对流天气的对流初生判识结果

雷达监测时间(UTC)	卫星预报时间(UTC)	预报提前时间/min
2018/07/24 03:20	2018/07/24 04:15	-55
2018/07/25 03:28	2018/07/25 04:19	-49
2018/07/26 02:07	2018/07/26 02:19	-12
2018/07/27 02:16	2018/07/27 01:53	23
2018/07/28 03:36	2018/07/28 03:49	-14
2018/07/29 02:50	2018/07/29 02:30	20
2019/07/24 01:27	2019/07/24 02:19	-52
2019/07/25 03:02	2019/07/25 03:30	-28
2019/07/26 03:39	2019/07/26 03:38	1
2019/08/17 11:00	2019/08/17 10:53	7
2019/08/18 05:33	漏报	-
2019/08/19 04:56	2019/08/19 05:15	-19

个像元(6 km), 则认为对流初生判识结果正确, 并记录对流初生判识正确的时刻。表1列出了2018~2019年上海本地强对流天气的对流初生判识结果。

统计结果显示, 在12次局地对流过程中, 对流初生产品有2次先于雷达(大于20 min)监测到了对流的发生, 有5次几乎和雷达同时(± 19 min)监测到了对流的发生, 有4次在对流发生以后1 h左右(小于-20 min)才监测到

了对流的发生, 同时有1次对流初生的漏报。这表明FY4A卫星的对流初生产品与高灵敏度雷达监测局地对流的水平不相上下, 且个别天气过程中对流预报的时效性可高于雷达探测结果。基于云顶变温, 对流初生产品还可以预判对流发展和减弱趋势。表2列出了对流初生指数所对应的对流发展趋势。此外, 对流初生的预报位置与对流实际发生的位置在空间分布和形态上都比较接近(见图2)。

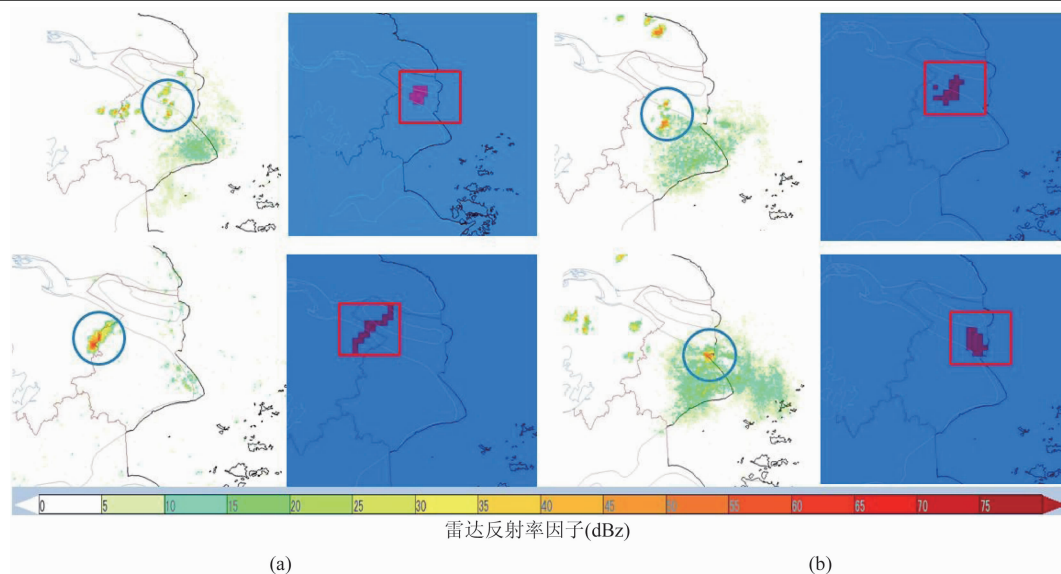


图 2 2019 年汛期上海地区的对流初生个例: (a)雷达实况; (b)卫星监测结果

2.2 基于对流初生产品的对流过程分析

除了对流初生的预报外, 对流初生产品还提供了云顶变温这一变量。根据该变量可以对对流云团的增强和减弱趋势进行预判, 在实际对流发生和发展过程中具有很好的指示作用。表 2 列出了对流初生产品中不同数值代表的对流监测意义。其中, -2 和 -1 表示对流初生的预报, 0 表示无对流云团, 1 和 6 分别表示对流云团处于消亡和疑似消亡阶段, 2 表示对流强度处于维持阶段, $3 \sim 5$ 表示对流云团处于发展阶段。

表 2 对流初生产品指数对应的对流发展趋势

对流初生指数	云顶变温/K	对流发展趋势
-2	—	疑似初生
-1	—	初生对流
0	—	填充
1	>0	消亡对流
2	$-2 \sim 0$	强度维持
3	$-4 \sim -2$	强烈发
4	$-6 \sim -4$	展中的
5	< -6	深对流
6	—	疑似消亡

2018 年 7 月 26 日, 上海及周边地区发生了一次强对流天气过程。在对流发生初期, 对流为孤立的雷暴, 尺度非常小。对流初生指数在 02 时 19 分监测到了上海北部的孤立雷暴,

仅落后天气雷达 12 min, 但早于上海中心气象台发布雷电黄色预警(03 时 16 分)将近 1 h。03 时 38 分~04 时 19 分的对流初生指数显示, 该对流始终处于强烈发展阶段(见图 3(b)和图 3(d))。实况中该孤立雷暴在初生后的 2 h 内迅速加强, 并在 04 时 25 分达到最强(见图 3(c)), 由孤立单体转变为多单体雷暴, 还产生了雷电大风、短时强降水和局地暴雨等强对流灾害。上海中心气象台在 04 时 09 分将预警信号更新到了雷电大风级别, 而对流初生指数对弱对流强烈发展的预判比预警信号提前了 31 min。在强对流减弱阶段, 对流初生指数维持在 1 意味着对流消亡与实况也较为一致(见图 3(e)和图 3(f))。

2.3 对流云团发展与闪电事件统计分析

根据对流初生产品的定义, 统计了 2019 年几次对流天气中长三角地区闪电事件与对流(初生)云团的关系, 即分析了闪电事件发生处对流云团的发展阶段(见表 3)。由于闪电产品的时间分辨率可以达到 10 min, 而对流初生产品的时间分辨率不固定, 因此需要进行时间的匹配, 即查找闪电产品时次最近的对流初生产品(时间差在 5 min 以内)来进行时间上的匹配, 并完成统计分析, 从而判断卫星闪电监测时间处于对流发生的什么阶段。由于在 8 月 18 日的对流过程中, 卫星没有监测到对流初生现象, 因此统计了 5 次对流过程。

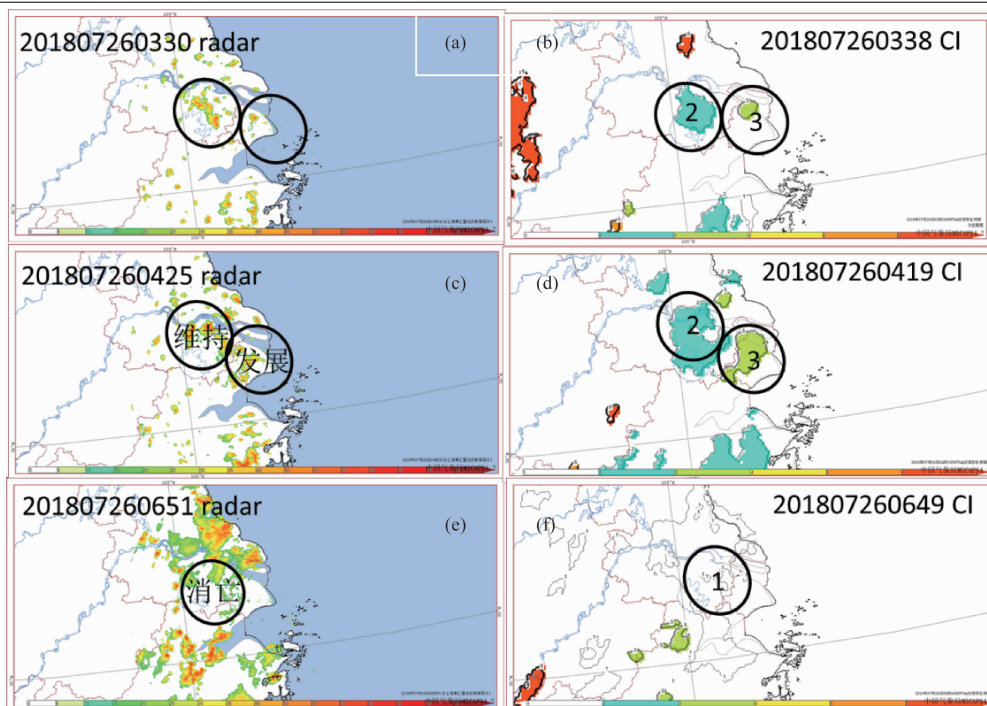


图3 对流初生产品对2018年7月26日上海及周边地区一次强对流过程的释用: 雷达组合反射率因子(左); 对流初生指数(右)

表3 2019年上海本地对流与闪电的卫星观测统计

对流个例	对流初生阶段	对流增强阶段	对流稳定阶段	对流减弱阶段
2019/07/24	×	×	×	×
2019/07/25	√	√	×	×
2019/07/26	√	√	×	×
2019/08/17	√	√	√	×
2019/08/19	√	×	×	×

由表3可见,在5次对流过程中,有4次在对流初生阶段就有闪电事件发生,但是发生的位置与对流初生云团的位置有一定偏移(见图4)。考虑到两种传感器观测的方式及时间的不同,这种差异也是可以理解的。此外,有3次在对流强度增长的阶段观测到了闪电现象,1次在对流强度维持阶段观测到了闪电现象,而在对流减弱阶段则没有发生闪电事件。图4所示为2019年上海4次对流初生事件中初生云团与闪电事件观测的叠加显示数据。其中,红色十字表示该时刻FY4A闪电成像仪观测的闪电事件位置,深红色表示观测到的对流初生云团。从图4中可以看出,闪电观测时间和位置与对流初生云团有较好的一致性,表明FY4A卫星闪电监测产品对对流云团的初生有一定的指示意义。

3 结论

(1) 本文利用新一代国产静止气象卫星FY4A的对流初生监测产品分析了2018~2019年上海市本地的12次局地对流过程。结果表明, FY4A对流初生产品在上海市地区对流预报的时效性接近(部分时次高于)雷达探测结果。

(2) FY4A卫星的闪电成像仪是亚太地区第一台由静止卫星搭载的闪电观测仪器,其观测到的闪电事件对对流的发生和发展有很好的指示意义。

(3) 在本文研究的基础上,以后将分析地面、高空以及卫星的多源气象探测资料,并结合中尺度数值预报的结果来提取上海市对流初生预报的关键因子,从而建立基于多源资料的对流初生预报模型。

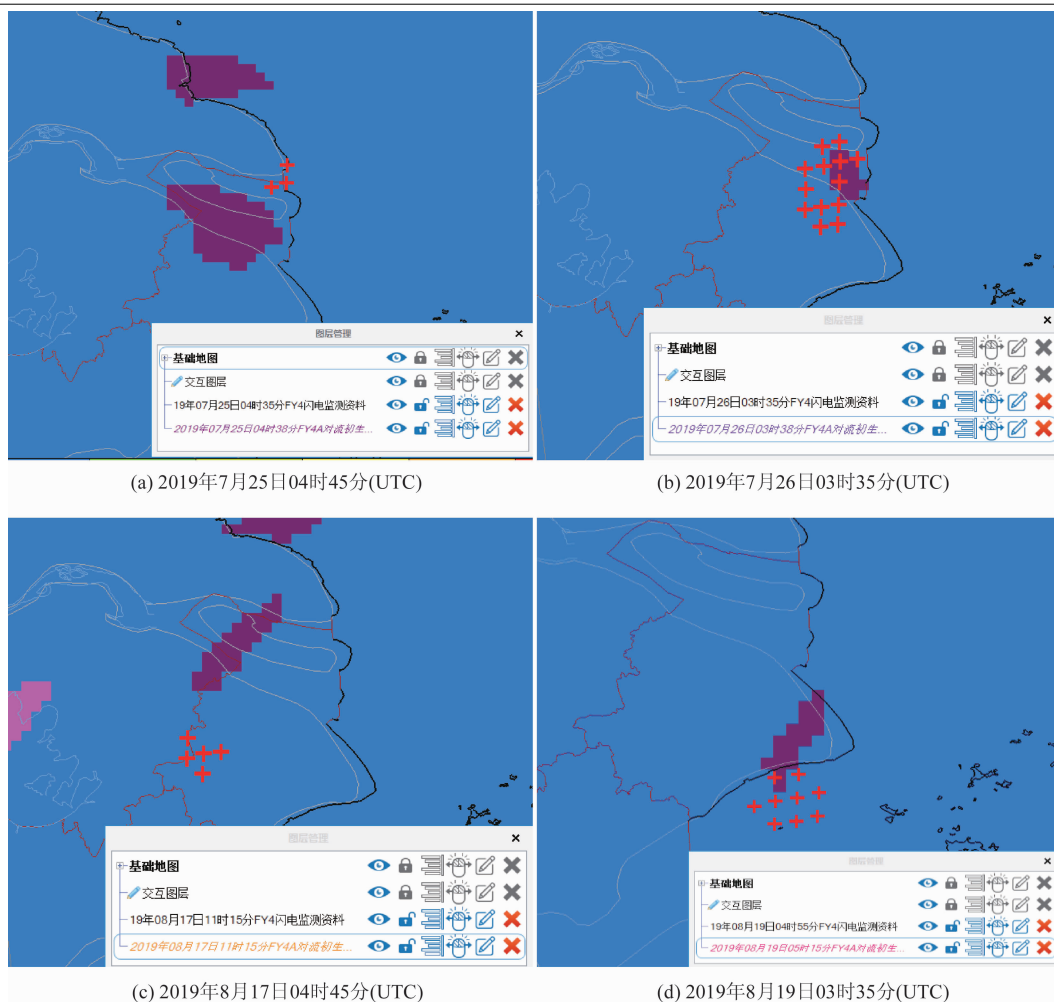


图 4 2019 年上海本地对流初生云团和闪电事件的叠加显示(加号表示闪电事件监测位置)

参考文献

- [1] 顾问, 谈建国, 常远勇. 1981-2013 年上海地区强降水事件特征分析 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31(6): 107-114.
- [2] 尹红萍, 曹晓岗. 盛夏上海地区副热带高压型强对流特点分析 [J]. 气象, 2010, 36(8): 19-25.
- [3] 王改利, 刘黎平. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用 [J]. 气象, 2005, 31(10): 12-15.
- [4] 孙继松, 陶祖钰. 强对流天气分析与预报中的若干基本问题 [J]. 气象, 2012, 38(2): 164-173.
- [5] 郑媛媛, 姚晨, 郝莹, 等. 不同类型大尺度环流背景下强对流天气的短时临近预报预警研究 [J]. 气象, 2011, 37(7): 795-801.
- [6] 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.
- [7] 茅懋, 戴建华, 李佰平, 等. 不同类型强对流预报产品的目标对象检验与分析评价 [J]. 气象, 2016, 42(4): 389-397.
- [8] 白洁, 王洪庆, 陶祖钰. GMS 卫星红外云图强对流云团的识别与追踪 [J]. 热带气象学报, 1997, 13(2): 159-166.
- [9] 束宇, 潘益农. 红外云图上中尺度对流系统的自动识别 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 337-348.
- [10] 刘延安, 魏鸣, 高炜, 等. FY2 红外云图中强对流云团的短时自动预报算法 [J]. 遥感学报, 2012, 16(1): 79-92.
- [11] 覃丹宇, 方宗义. 利用静止气象卫星监测初生对流的研究进展 [J]. 气象, 2014, 40(1): 7-17.
- [12] 刘京华, 王彬, 韩雷, 等. 京津地区一次强对流

- 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.
- [13] 刘健, 蒋建莹. FY-2C 高时间分辨率扫描数据在强对流云团检测中的应用研究 [J]. *大气科学*, 2013, **37**(4): 873-880.
- [14] 李五生, 王洪庆, 王玉, 等. 基于卫星资料的对流初生预报及效果评价 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2014, **50**(5): 819-824.
- [15] 徐慧. 基于 FY2C 数据的平均 box 方法预报对流初生 [J]. *电子设计工程*, 2012, **20**(21): 40-42.
- [16] Maddox R A. The structure and life-cycle of mid-latitude mesoscale convective complexes [D]. Denver: Colorado State University, 1981.
- [17] Machado L A T, Rossow W B, Guedes R L, et al. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas [J]. *Monthly Weather Review*, 1997, **126**(6): 1630-1654.
- [18] Roberts R D, Rutledge S. Nowcasting storm initiation and growth using GOES-8 and WSR-88D Data [J]. *Weather and Forecasting*, 2003, **18**(4): 562-584.
- [19] Mecikalski J R, Bedka K M. Forecasting convective initiation by monitoring the evolution of moving cumulus in daytime goes imagery [J]. *Monthly Weather Review*, 2006, **134**(1): 49-78.
- [20] Mecikalski J R, Mackenzie W M, Koenig M, et al. Cloud-Top Properties of Growing Cumulus prior to Convective Initiation as Measured by Meteosat Second Generation. Part I: Infrared Fields [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2010, **49**(12): 521-534.
- [21] Mecikalski J R, Mackenzie W M, Koenig M, et al. Cloud-Top Properties of Growing Cumulus prior to Convective Initiation as Measured by Meteosat Second Generation. Part II: Use of Visible Reflectance [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2010, **49**(12): 2544-2558.
- [22] Sieglaff J M, Counce L M, Feltz W F, et al. Nowcasting convective storm initiation using satellite-based box averaged cloud-top cooling and cloud-type trends [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2011, **50**(1): 110-126.
- [23] Morel C, Senesi S, Autones F. Building upon Saf-Nwc Products: Use of the rapid developing thunderstorms (RDT) product in Meteo-France Nowcasting Tools [C]. Dublin: Meteorological Satellite Data Users' Conference, 2002.
- [24] 张鹏, 郭强, 陈博洋, 等. 我国风云四号气象卫星与日本 Himawari-8/9 卫星比较分析 [J]. *气象科技进展*, 2016, **6**(1): 72-75.