

利用葵花 8 气象卫星监测上冲云顶的方法及检验

段 炼, 郭鹏宇, 张 杨

(中国民用航空飞行学院 空中交通管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要:上冲云顶是卷云砧上的穹顶状突起,往往伴有强烈的天气变化,给航空运行安全带来影响。利用天气雷达来探测强对流虽然灵敏度高,但探测范围有限。卫星可以大范围长时间不受地形的限制探测强对流。利用葵花 8 静止气象卫星通过水汽通道和红外通道双通道差值法、IRW-texture 法以及局部最小值法这 3 种方法来识别上冲云顶。实验结果表明局部最小值法相较于其他两种方法能够更加准确客观地识别上冲云顶。

关键词:强对流天气;葵花 8;上冲云顶

中图分类号:P405 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0384-05

中国是一个强对流灾害天气多发国家,强对流天气预报难度较大,上冲云顶等中小尺度强对流天气预报难度很大。目前强对流的监测主要是利用天气雷达和气象卫星这两类遥感资料。天气雷达灵敏度高,对流回波有明显的特征,但探测范围有限,一般有效探测距离是 200~300 km,且容易受测站周围障碍物、大气层结和天气类型的影响,不能宏观探测对流系统;气象卫星探测范围大,时空分辨率高,探测对流天气具有直观、形象和不受地形影响等优点,再加上气象卫星技术的发展,卫星在时间分辨率和空间分辨率上都得到了显著提高^[1],由于上冲云顶生命周期短,相较于雷达,气象卫星探测面积大且可以全天候进行检测的特点可以很好地检测和识别上冲云顶。

美国气象学会对上冲云顶的定义为:“卷云砧上的穹顶状突起,上升气流通过它侵入平流层”。上冲云顶比周围砧云高出 2 km 左右,在可见光通道观测形状如同花椰菜,在红外光云图上表现为低亮温的成簇图像。通常直径小于 15 km,当上冲云顶上升至较低平流层时,以 7~9 K/km 的速率持续降温,使它们明显比周围云砧温度更低^[2-3];且有明显突起的纹理。上冲云顶生命期短,有强烈的对流现象出现,通常发生在热带陆地和海洋地区上空的强对流风暴中,伴随灾害性天气发生,如强降水、灾害性大风、大冰雹和龙卷等,是强雷暴天气的重要指示者,影响飞机的飞行安全^[4]。因此对于上冲云

顶的研究具有十分重要的意义。

1 数据

1.1 葵花 8 气象卫星介绍

数据来自日本气象厅的 Himawari-8(葵花 8)对地静止气象卫星。葵花 8 气象卫星搭载的葵花成像仪(Advanced Image, AHI)可以提供高时间频次的区域和全盘扫描功能,并且单次扫描时间很短,有利于对上冲云顶等中小尺度强对流天气的观测与监控。FY-2 系列卫星红外通道的空间分辨率为 5 km,完成一次全圆盘数据扫描需要 30 min,相对而言,葵花 8 号气象卫星在时间分辨率和空间分辨率都有显著的优势,完成一次全圆盘数据扫描仅需要 10 min,其中红外通道空间分辨率为 2 km,而可见光通道的空间分辨率为 0.5 km,因此,利用葵花 8 号气象卫星可以对上冲云顶进行更好的识别。

1.2 数据处理

Himawari-8 静止卫星使用的数据存储格式是 HDF5,Python 具有功能强大、简单易学、运用灵活等特点,只需要几个函数命令就可以读取数据,同时 Python 有丰富而强大的库,利用 h5py,即可实现卫星数据的读取。Matplotlib 是 Python 的绘图库,利用此库可以将卫星数据可视化,利用 cmeps 可以对不同数据进行不同颜色的一个映射,可以利用颜色上的不同区分识别物体。本文采用 Himawari-8 静止卫星的 VIS 通道、IR3 通道、IR8 通道对上冲云顶进行识别,同时利用 ERA-5 中的逐小时降雨数据

收稿日期:2021-09-16

基金项目:民航飞行技术与飞行安全重点实验室自主研究项目(FZ2020ZZ03)。

作者简介:段炼(1968—),男,四川蓬安人,中国民航飞行学院空中交通管理学院,副教授,计算机科学与技术硕士,研究方向为航空气象。

验证上冲云顶的影响。

2 识别方法

最初对于上冲云顶的识别,由 Berendes 等^[5]提出,利用可见光通道和红外通道对云纹理进行分析,从而探测深对流和上冲云顶。虽然该方法在白天能够很好地执行,但是在夜晚或能见度低的条件下则并不能有效地执行。此后又有学者提出下列方法。

2.1 水汽通道和红外通道的双通道差值法

在平流层,温度随高度的增高而增高,水汽随着上冲云顶的上升将气流带到高于云顶的位置,所以水汽通道接收到的水汽温度高于红外通道的云顶温度,如果发生上冲现象,则差值应为正数,Martin 等^[6]用此来探测上冲云顶的存在。但是这个方法可能会受到水汽水平对流的影响使水汽发生水平移动使识别出来的上冲云顶不一定在实际位置的正上方,并且十分依赖卫星的性能,当卫星性能过低时不能有效识别出来同时非常冷的卷云砧边缘可能被错误地分类为上冲云顶。

2.2 IRW-texture 法

Kristopher 等^[7]利用过冲云顶与砧状云平均亮度温度差值判断上冲云顶的条件,提出的 IRW-texture(通过小群的红外窗非常冷亮温区域的存在推测上冲云顶)法。由统计 1979—2003 年美国的平均对流层顶温度^[7],使用 $-58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或当地对流层顶温度两者较小值作为基准点。亮温低于 $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或者当地对流层顶温度加 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 两者较小值作为上冲云顶的候补区域,计算候补像元的平均亮温值,根据上冲云顶的直径小于 15 km ,若最冷点低于 $-58\text{ }^{\circ}\text{C}$,直径小于 15 km ,且低于候补区域的平均亮温值 $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 则为识别出来的真上冲云顶。但是该阈值的选取并不一定适用于所有情况,此外有的上冲云顶会出现漏判的现象。

2.3 局部最小值法

本文选取局部最小值法^[8],结合上文的 IRW-texture 法和水汽通道和红外通道的双通道差值法,以 $11.2\text{ }\mu\text{m}$ 通道识别的亮温值划分成小块区域,以测算到最小值为上冲云顶的参考而不是以对流云顶温度,这样可以根据具体情况来选取阈值。方法如下:将 $11.2\text{ }\mu\text{m}$ 通道利用 Python 画出红外通道卫星云图,将图像划分为若干个小区域,计算出每一个小区域的最小亮温值,如果一个像元它的 $11.2\text{ }\mu\text{m}$ 亮温小于亮温最小值加 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,及 $11.2\text{ }\mu\text{m}$ 亮温小于 $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$,则被划分为候补区域,最后利用水汽通道和红外通道的双通道差值法进行筛选,当

差值大于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且直径小于 15 km 的区域则被认为是真上冲云顶。

3 案例分析

受切变云系影响,2019 年 6 月 21 日,湖北、安徽、重庆等地出现强对流天气,08:00 时,低涡切变线云系呈东西带状分布,其中湖北东部、安徽南部、重庆东南部有强对流云团发展,云顶亮温较低,最低亮温达到 $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,上冲云顶明显,对流发展较强。图 1 的高层散度图显示,从西南地区东部至江汉、江淮、江苏北部等地维持一个高层辐散区,有利于上述地区出现上升运动。该对流过程给湖北、安徽、重庆、浙江等地带来降雨。

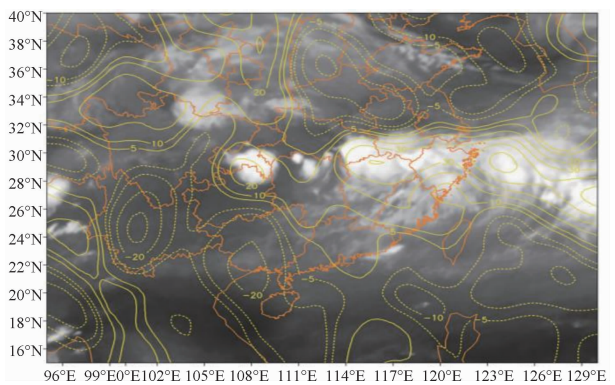


图 1 高层散度图

本文利用 Python 将 Himawari-8 静止气象卫星数据可视化后,利用上文所介绍的水汽通道和红外通道双通道差值法、IRW-texture 法、局部最小值法对上冲云顶进行识别。图 2(a)~图 2(f)分别为 7:10—8:00 可见光云图,右边图例为图像反射率。在图中可以看见,在重庆中部以及湖北的中东部存在若干个浓白色成簇的云团同时伴有阴影,相较于周围云团亮度更高,反射率更大,是上冲云顶因为高于云团在可见光照射下所存在的特征。

首先运用双通道插值法将 $\text{IR}3(6.9\text{ }\mu\text{m})$ 通道减去 $\text{IR}8(11.2\text{ }\mu\text{m})$ 通道,当差值大于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时候就是需要识别的上冲云顶位置。图 3 中,红点为识别出的上冲云顶,但是黑色箭头所指位置,在可见光云图上并没有上冲云顶突起的特征,因此该方法将很多温度较低云砧识别为上冲云顶。

利用 IRW-texture 法,根据郭佳宾等^[9]统计的中国地区对流层顶参数变化,本文选取的目标区域 30°N 附近对流层顶温度为 $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$,如图 4 所示,其中黄色区域为候选区域,红点为识别的上冲云顶,我们能看到在可见光云图的许多有上冲云顶特征的突起并成功识别,如图 4 中黑色箭头所指,存在很多漏判的现象。

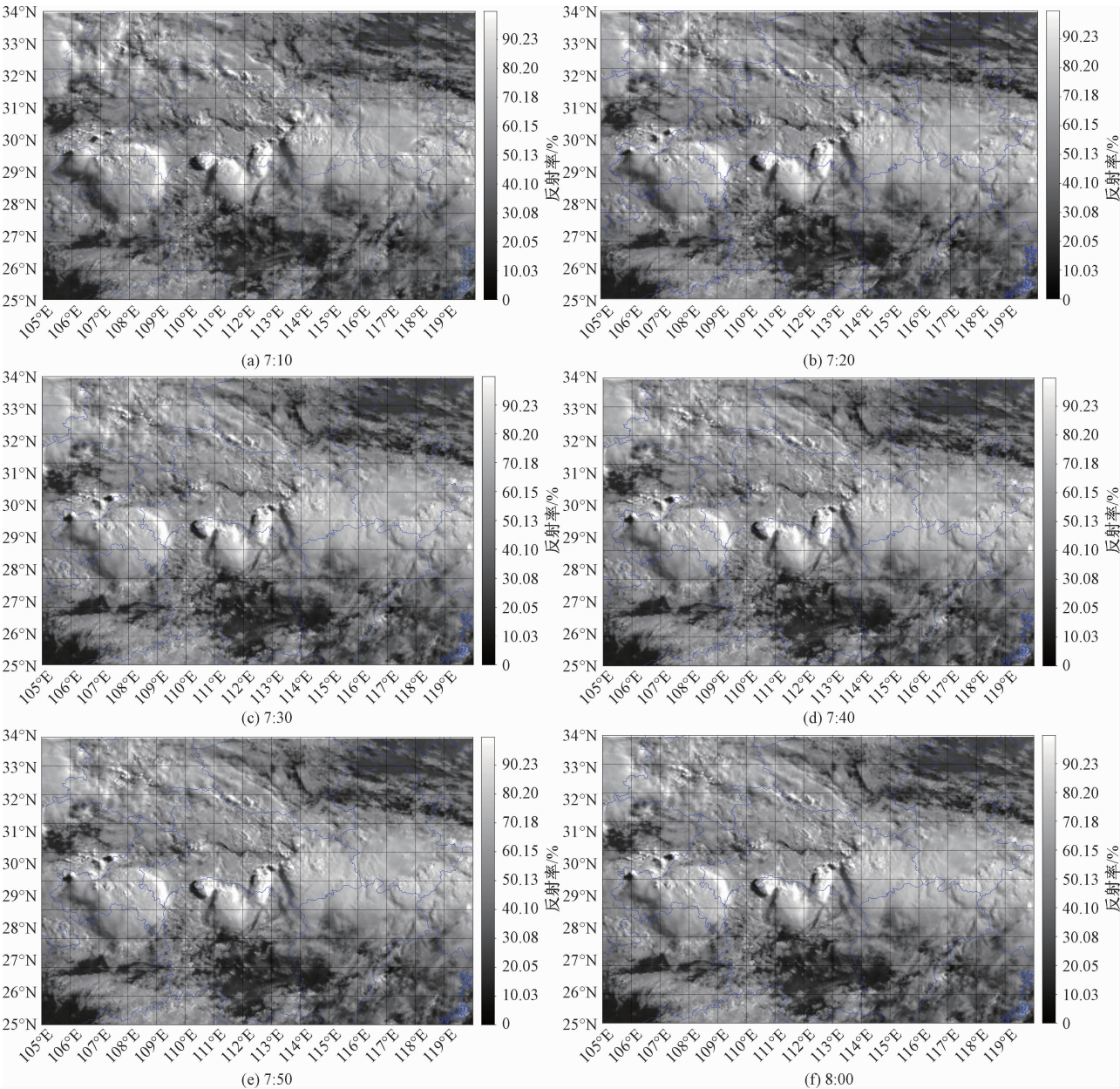


图 2 7:10—8:00 每 10 min 可见光云图

最后利用局部最小值法,将图像划分为若干份小区域,首先图 5 中蓝点为识别出的局部亮温最低点,以此为基准点,黄色区域为筛选出来的候选区域,最后利用双通道差值,用 IR3($6.9\ \mu\text{m}$)通道减去 IR8($11.2\ \mu\text{m}$)通道,以 $1\ ^\circ\text{C}$ 为阈值进行筛选,落在筛选区域内的则被判定为真上冲云顶区域。

对比 3 种方法发现,水汽通道和红外通道差值法识别的上冲云顶最多,IRW-texture 法较少,局地最小法介于中间,三者识别的位置,基本上而言是一致的,识别的位置落于对流较强的云系中,根据 ERA5 数据得到 7:00—8:00 一小时降雨量(图 6)可以看到,在上冲云顶出现的位置大都出现了较强的降雨。可见光云图上较白且红外线云图上亮温

较低的地方,使用水汽通道减去红外通道差值法和 IRW-texture 法会出现误判,IRW-texture 法会将一些上冲云顶漏判,这可能是由于阈值以及对流层顶温度的选取有关。而水汽通道减去红外通道差值法识别位置比较零乱,且会将一些中尺度的对流系统以及比较冷的云砧误判成上冲云顶,造成的原因可能是对流持续的时间比较长,从而造成大多数水汽被带到对流层之上。局部最小值法可以将两者进行结合,既利用 IRW-texture 法上冲云顶高于对流层顶的特点,同时由结合上冲云顶将水汽带到更高处的情况,以局部温度最小值作为判定依据,通过最小值来确定阈值避免了认为选定阈值所带来的误差,有效地识别上冲云顶。

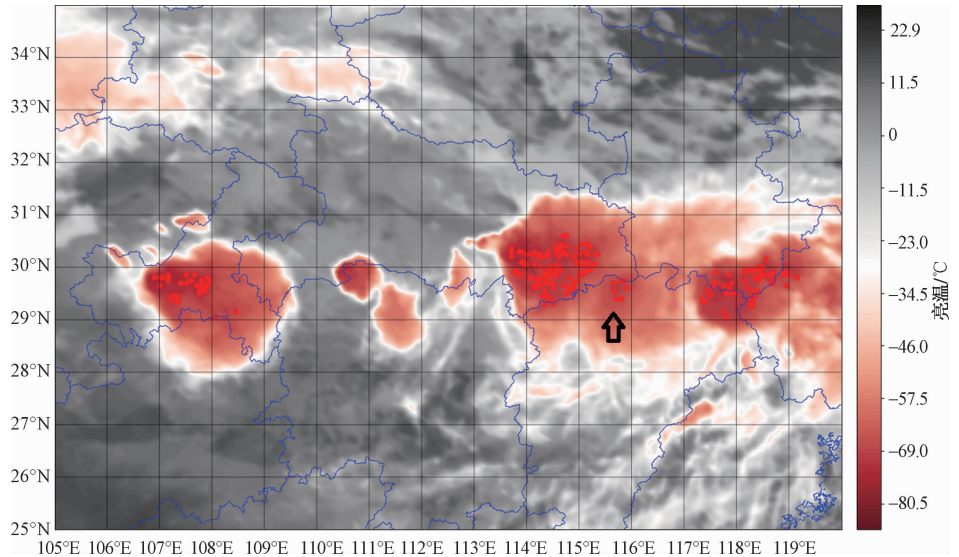


图 3 IR3-IR8 双通道差值法

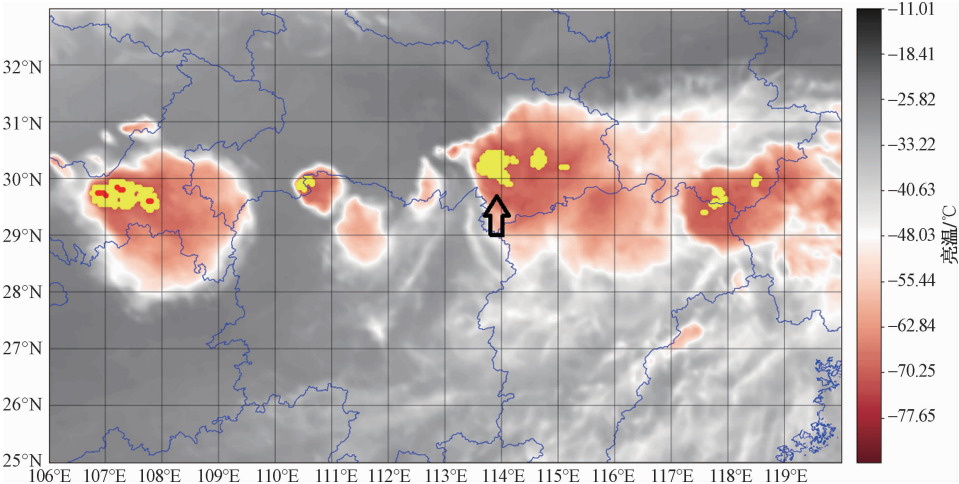


图 4 IRW-texture 法

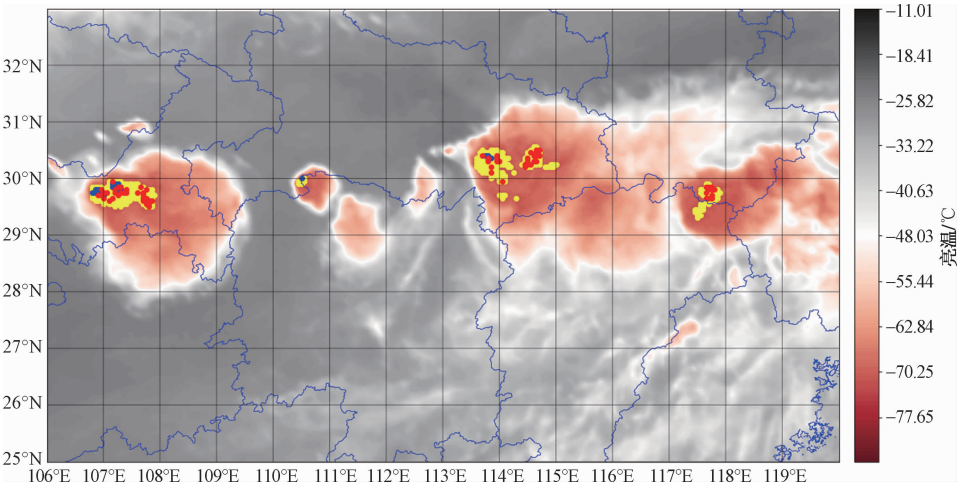


图 5 局部最小值法

4 结语

利用水汽通道和红外通道差值法、IRW-texture 法、局地最小法来识别上冲云顶,这 3 种方法所使用

的程序应用灵活方便,运算时间较短,能够显示出上冲云顶与对流之间的关系。其中局部最小值法相较于其他两种方法能够更准确地识别上冲云顶。

在未来的工作中将收集足够的上冲云顶案例,对 3 种方法进行统计分析,得到三者侦测的准确率、虚报率及漏报率,找到缺陷,提高方法的可靠性,能更好地对上冲云顶等强对流天气进行监测。

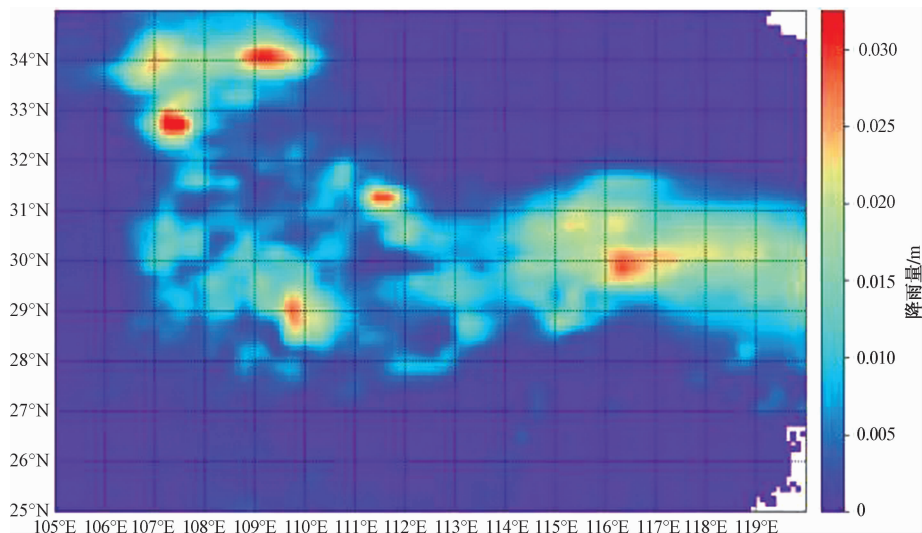


图 6 7:00—8:00 一小时降雨量

参考文献

[1]

汪柏阳. 南京理工大学硕士学位论文[D]. 南京:南京理工大学, 2015.

[2]

NEGRI A J. Cloud-top structure of tornadic storms on 10 april 1979 from rapid scan and stereo satellite observations [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1982, 63(10):1151-1859.

[3]

ADLER R F, MARKUS M J, FENN D D, et al. Thunderstorm top structure observed by aircraft overflights with an infrared radiometer[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1983, 22(4):579-593.

[4]

王雪芹, 黄勇, 官莉. 基于卫星红外窗亮温探测上冲云顶[J]. 气象科学, 2013, 33(1):71-76.

[5]

BERENDES T A, MECIKALSKI J R, MACKENZIE W M, et al. Convective cloud identification and classification in daytime satellite imagery using standard deviation limit-

ed adaptive clustering [J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113: D20207, doi: 10.1029/2008JD010287.

[6]

MARTIN D W, KOHRS R A, MOSHER F R, et al. Over-ocean validation of the global convective diagnostic[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2008, 47(2):525-543.

[7]

KRISTOPHER B, BRUNNER J, DWORAK R, et al. Objective satellite-based detection of overshooting tops using infrared window channel brightness temperature gradients [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49(2):181-202.

[8]

周鉴本. 以向日葵 8 号观测侦测过冲云的方法与实验[J]. 地球科学前沿, 2016, 6(3):190-200.

[9]

郭佳宾, 金双根. 利用 FY-3C 卫星 GNSS 掩星数据分析中国区域对流层顶参数变化[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(1):21-26.

The Use of Meteorological Satellite to Identify Uprush Cloud Top

DUAN Lian, GUO Pengyu, ZHANG Yang

(Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China)

Abstract: The uprush cloud top is a dome like protuberance on the rolling stock, which often has strong weather changes, and affects the aviation operation safety. Although the sensitivity of detecting strong convection by weather radar is high, the detection range is limited, and the satellite can detect strong convection in a large range for a long time without the limitation of terrain. Himawari-8 geostationary meteorological satellite can identify the uprush cloud top by the method of water vapor channel and infrared channel difference method, IRW-texture method and local minimum method. The experimental results show that the local minimum method can identify the upthrust cloud top more accurately and objectively than the other two methods.

Keywords: severe convective weather; Himawari-8; uprush cloud top