

苏传程,师春香,谷军霞,等.地闪资料在 LAPS 云分析中的应用研究[J].气象研究与应用,2020,41(1):54-60.

Su Chuancheng, Shi Chunxiang, Gu Junxia et al. The application of Lightning location data in LAPS cloud analysis [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(1): 54-60.

地闪资料在 LAPS 云分析中的应用研究

苏传程¹, 师春香², 谷军霞², 毛文书³, 朱智², 刘军建⁴, 孙帅²

(1.广西区气象信息中心, 南宁 530022; 2.国家气象信息中心, 北京 100081;

3.成都信息工程大学, 成都 610225; 4.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘要:为进一步研究闪电活动特征,利用 ADTD 闪电定位资料、静止气象卫星葵花八号等气象资料,对 2016 年 7 月 20 日一次强对流天气过程中的闪电活动进行分析,探讨闪电活动与 LAPS 云分析场的关系,探索地闪资料在 LAPS 云分析中的应用。结果表明,地闪活动集中区域对应着强降水区,降水峰值与闪电活动峰值为重合的现象;大部分闪电发生处于对流云系影响范围之内且对应了中高层次的云顶性质;在 LAPS 云分析场中地闪活动频繁的区域,云柱更为厚实且出现了更为强烈的上升运动,水汽也更为充沛,闪电活动与积雨云的对应关系不仅可以反向验证卫星反演的云产品分类产品,也可以对 LAPS 三维云场进行订正和调整,并作为多源数据融合云分析的补充资料。

关键词: LAPS; 葵花八号气象卫星; ADTD 闪电定位观测资料; 多源数据融合云分析

中图分类号: P49

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.1.11

引言

随着我国气象事业的蓬勃发展,伴随着大气探测设备的不断优化改进,为我们提供了数量更多、质量更优的气象观测数据。诸如闪电定位、多普勒雷达、气象卫星等非常规资料的应用,不仅弥补了传统气象观测手段的不足,而且在对于时间尺度仅为几小时到十几小时的中尺度天气系统的研究中也发挥了重要作用。近年来,融合多种气象探测资料的中尺度分析场,在研究中尺度系统中比单一的探测资料更为真实,其在天气形势分析、物理量诊断、数值模拟等方面展现出越来越多的优势。

长期以来,气象从业者与研究人员都在致力于处理与应用多源、多时相、多尺度的气象观测数据,这亦是气象学研究的一个热点、难点。上世纪 90 年代,美国国家海洋大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)下属的 ESRL (Earth System Research Laboratory) 实验室研发了

具有变分(VAR)同化功能的局地气象数据融合系统 LAPS(Local Analysis and Prediction System)^[1-2]。自 LAPS 系统引入以来,我国的气象工作者进行了大量试验,通过将 LAPS 系统局地化并融合了中国地面气象站观测资料、中国风云系列静止卫星资料、中国多普勒雷达资料等多源气象探测资料,为中国区域的多源数据融合的研究打下坚实的基础^[3-5]。

闪电是一种伴随着云的发生发展而产生的自然现象,随着资料同化技术的发展和数值模式算法的改进,不少学者将闪电资料和降水率、云凝结物、水汽等物理量联系起来,建立了一些经验公式或统计关系,推动了闪电资料在资料同化、数据融合方面的应用发展。

为进一步研究闪电资料在多源数据融合以及 LAPS 云分析中的应用,本文通过 ADTD 闪电定位资料、静止气象卫星葵花八号(Himawari-08,以下简称 H08)等气象资料对强对流天气过程中的闪电活动特征进行进一步的研究,并探讨闪电活动与 LAPS

收稿日期: 2020-01-02

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1506604)

作者简介: 苏传程(1990-),男,助理工程师,主要从事多源数据融合研究工作。

云分析场的关系。

1 资料简介

所用地闪资料取自国家气象信息中心制作的 ADTD 雷电系统定位数据要素集, 包括我国范围内的闪电发生时间、观测时间、定位误差、定位方式等信息, 并对资料进行质控, 剔除了存在定位误差的记录; 所用的 H08 卫星资料取自国家气象卫星中心制作的全圆盘观测产品, 其中 L1 级产品共有 6 个可见光通道的反射率数据和 10 个红外通道的亮温数据; L2 级产品共有气溶胶、云、辐射、地表、降水 5 大类产品。H08 最大的特点即是装载了目前国际上最为先进的静止轨道卫星成像仪 AHI (Advanced Himawari Imager), 它与美国新一代静止气象卫星 GOES-R 上装载的先进基线成像仪 ABI 同为 ITT EXELIS 公司研制, 二者仅在个别波段上的性能指标有差别^[6], H08 资料的时间分辨率为 10min, 空间分辨率为 5km; 还使用了国家气象信息中心的国家级自动站和区域自动站逐小时降水 (共约 3 万站)、地面及探空观测、FNL 分析以及 GFS 分析等资料。

2 闪电活动特征分析

2.1 研究个例简介

5 月, 随着副热带高压的西伸和北移, 我国进入

长达数月的汛期, 汛期出现的持续性暴雨灾害对我国社会生产、人民群众财产和生命安全都有重大的威胁, 文中选取了我国 2016 年 7 月 20 日一次暴雨过程, 对强降雨个例中的闪电活动进行时空分布特征分析以及基于卫星产品的统计分析。

图 1a、1b 是由 FNL1°×1° 分析资料得到的 7 月 19 日 14 时和 7 月 20 日 08 时的 500hPa 环流形势图。19 日 14 时在陕西、山西地区有一冷性涡旋, 我国华北至西南地区是深厚的低槽, 北方冷空气与槽前西南气流共同影响华中地区, 槽后脊前有冷平流, 利于槽的发展, 此时副高位于海上; 20 日 08 时, 副高西伸登陆控制我国东南沿海, 同时冷涡加深发展并随低槽东移, 其东部和东南部出现强烈的上升气流, 在副高西北侧和槽前西南气流的共同作用下, 形成了自华北而至华中的狭长的雨带。本次过程的降水空间范围较大 (图 1c), 华中地区出现了一个强而窄的降水带, 从闪电的空间分布图上来看 (图 1d), 总地闪落区集中在华中地区且出现了较为分散、较多数量的正闪 (占总地闪 9.78%, 总地闪频数为 18165 次), 而京津冀地区虽然累积降水量较大, 但几乎没有出现地闪活动。

2.2 地闪活动特征分析

本次过程的降水集中在鄂、皖、豫三个地区, 为研究地闪随降水的时间演变特征, 分析了逐小时降

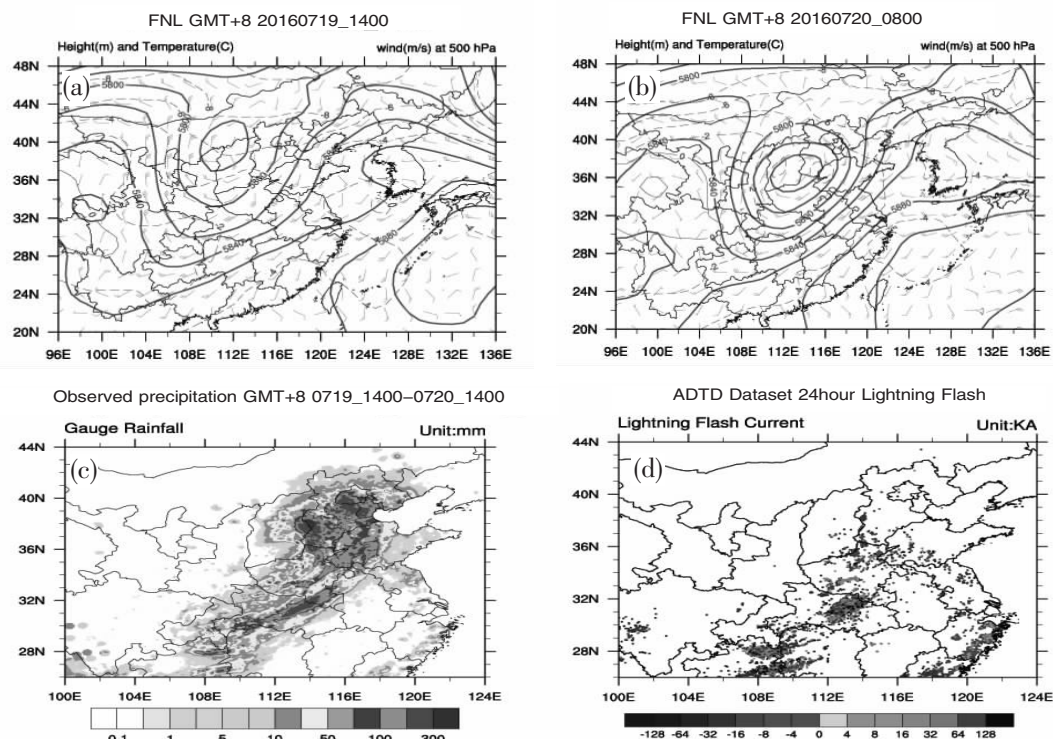


图 1 2016 年 7 月 20 日华北、华中暴雨个例

水资料的空间分布以及逐小时闪电定位的空间分布,选定了以下 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的关键区(图 2a),通过结合关键区内的逐小时平均降水量及地闪资料统计得到的时间序列,用以分析地闪活动的时间演变特征。

图 2b 为 B3 区的逐小时降水与逐小时闪电活动的时间序列图,黑色曲线表示降水量的时间序列,其值对应右坐标轴;柱状图表示闪电频次的时间序列,其中红色为负地闪,蓝色为正地闪,黑色为总地闪,其值对应左坐标轴;结果表明,包括但不限于 B3 区域内的地闪活动与降水具有一定的正相关关系,不同的天气过程中闪电活动的峰值出现的时间与对流降水区的降水峰值出现时间可能有超前、重合、落后的情况^[7-10],B3 区域的闪电活动峰值则对应关键区内逐小时平均降水的峰值;地闪活动过后降水仍

然持续,同时第一个降水峰值还出现了第二个降水峰值,这是因为 MCS 等中尺度对流系统在发展过程中会由高耸的积雨云向层云、卷云转变,减弱汇合的云团也能产生较强的累积降水,尽管此时地闪活动已经减弱;首次降水峰值与闪电频数峰值的对应较好,地闪频数与降水量级存在正相关的关系,出现了占比较多的正地闪活动,有强对流天气雷暴云的特征,地闪的极性分布能一定程度上预示着强降水区的位置,强雷暴对流降水区中,云中其上升气流内、外的基本电荷结构包括了数个极性交错、垂直排列的电荷区^[11],从动力条件来说,闪电活动与上升气流速度之间有很强的相关性,雷暴产生的正闪有可能是由于上升速度的增强而引起的,因此正闪的分布与对流云的发生发展也有一定的联系。

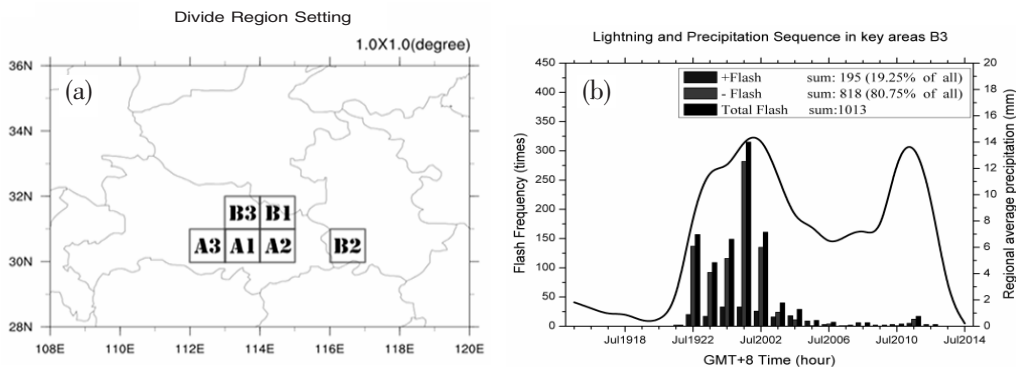


图 2 研究区域设置(a)及降水与闪电活动的时间序列(B3)(b)

本研究搭建了 H08L1/H08L2 产品与 ADTD 定位数据要素集统计匹配系统(系统流程图略),该系统通过 MUSIC 气象数据统一服务接口,基于国省统一的数据环境(CMISS 气象数据库)来提取 ADTD 数据要素集,而 H08L1/H08L2 全圆盘数据产品目前通过国家气象信息中心的 H08 产品服务器直接调用;对关键区域(图 3a)内的 24h 地闪资料以及 144 个时次的 H08 卫星资料(仅红外通道)进行匹配统计(图 3b),3c、3d 中黑色柱体表示分段阈值内的地闪总频数,红色柱体表示阈值内的匹配的格点数(下同);研究结果表明,以 220K 等温线为界可以划定 MCS 中尺度对流单体或者对流云系的区域,地闪活动与降水、云顶亮温也有较好的对应关系,闪电发生密集区在对流活动旺盛的区域即 MCS 云团的中前部^[12-13]。如上述结果所示,地闪活动对应的中红外通道的亮温统计样本绝大部分处于小于 220K 的范围

内,由于所用卫星资料较风云系列卫星在时、空精度上的提高,地闪资料与卫星资料的对应关系表现得更为清晰,进一步地印证了地闪活动与云系活动的对应关系。

H08L1 的可见光通道资料主要用于云、气溶胶、短波辐射、冰雪等要素的反演,其红外通道资料主要用于反演云顶高度、长波辐射、地表和海表温度等产品。云顶性质算法所需的三个红外通道的中心波长分别为 $11.2\mu\text{m}$, $12.3\mu\text{m}$, $13.3\mu\text{m}$, 其中 $11.2\mu\text{m}$, $12.3\mu\text{m}$ 的频段是针对云的图像的观测,而中心波长为 $13.3\mu\text{m}$ 频段位于 CO_2 吸收带边缘,配合 H08 卫星其他通道可以根据云顶高度算法,较为精确地反演得到云顶高度、云顶气压、云顶温度三类云产品。

在 H08L2 三类云顶性质反演产品的对比匹配中,统计样本表现出一定的集中性:云顶高度的样本

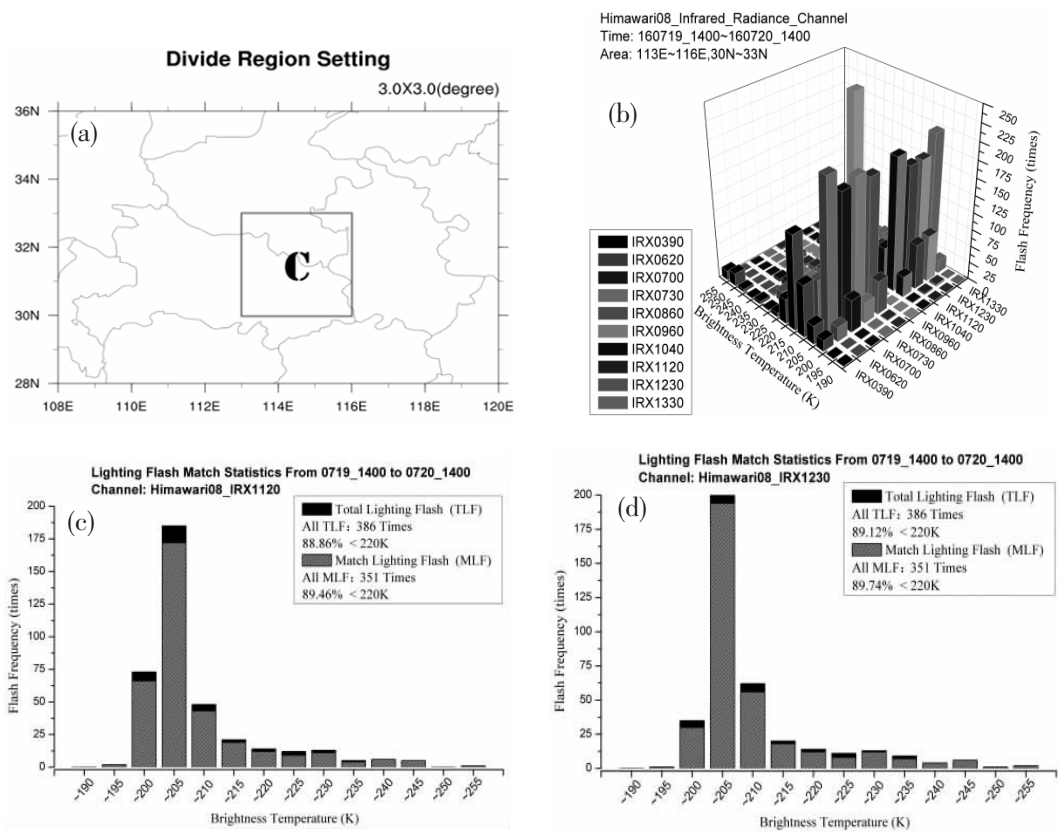


图 3 研究区域设置及 H08L1 产品与地闪资料匹配结果

集中在 16~17km 之间、云顶温度的样本集中在 205K~210K 之间、云顶气压的样本集中在 135hPa~120hPa 之间,上述结果表明,地闪的发生处对应的是云顶高度较高、云顶温度较低的云,即主要对应的云类别为高云或积雨云;H08L2 云类型 II 产品的统计表明,地闪活跃处对应着三类云,即 Ci(卷云)、Cb(积雨云)、Ci,As/Ac(卷云、高层云、高积云混合云),本次过程的地闪集中在狭长的上升气流带,对流一直维持并持续向下游发展而并未停留,另由于云类型反演产品有时效的限制(需要可见光通道的资料),综合来说统计样本数量较少(有效样本占总样本的 12.44%),上述统计结果可能仅仅对应的对流云系的某一阶段(发展、成熟或消亡);在计算中为少量(小于总闪的 5%)落区处于晴空区(Land)的样本设置了一个相邻格距(2km)的搜寻范围,以逆时针方向逐步扩大搜寻半径去匹配卫星云类型 II 的数据值,直至匹配到最近格点的云类型 II 产品,增加了有效样本的数量,上述统计结果检验了地闪发生处对应的积雨云,结合该区域的降水时间序列来看,地闪活动与积雨云存在一定的对应关系。

2.3 地闪资料与 LAPS 云分析场对比

LAPS 云分析场能为预报员提供总云量的覆盖范围以及三维云量分布,为了获得与实际大气中云的分布,需要运用尽可能多的气象观测资料来构造三维云场^[14],目前 LAPS 系统云分析模块中的输入数据主要有以下几类:模式背景场、常规观测资料,卫星 3.9 μ m、11 μ m 红外通道资料,卫星可见光通道资料、三维雷达反射率以及由 LAPS 温度分析模块得到的三维高度场、三维温度场。

本节设置了两套数据融合分析方案(表 1),以水平分辨率为 0.5°x0.5°的 GFS 分析资料作为 LAPS 系统的背景场,分析时间设置为 2016 年 7 月 19 日 14 时至 2016 年 7 月 20 日 14 时,时间步长设置为 1

表 1 LAPS 数据融合方案设计

	方案 1	方案 2
模式中心	112° E, 35° N	112° E, 35° N
分辨率	10km	10km
格点数	240x200	240x200
起始时间	2016-07-19 14: 00	2016-07-19 14: 00
结束时间	2016-07-20 14: 00	2016-07-20 14: 00
分析间隔	3600s	3600s
所选资料	GFS 预报场作为背景场	融合地面、探空资料

小时,中心经纬度为 112°E 、 35°N ,格点数为 240×200 ,垂直层次为 42 层,层顶气压 50hPa 。

图 4 为云分析产品结果对比,图 4a 为方案 1 得到的 20 日 01 时总云量,图 4b 为方案 2 得到的 20 日 01 时总云量,两套方案得到的华中、华北地区总云量相当,方案 2 融合了两类观测资料,得到的云分析场具备更多的细节,各层云量、云底高度等要素也有差别,由于常规观测资料在云分析中可以对云底高度进行订正,因此两套方案得到的云分析场在云系主体外围的云底高度有不同的结果,但两套方案得到的云顶高度均不超过 10km (图 4c),这是由于没有融合雷达及卫星资料,其柱云量、云顶的订正还未完善;结合图 4d、4e、4f 三类卫星产品可以看出,在累积降水较强的区域,E 区域有频繁的地闪活动,

该区域的云顶高度、云顶温度、云顶气压等云顶性质均不同于 D 区域,与上节的统计结果对应。

图 4 还展示了云分析场(方案 2)的 D 区域(40°N)及 E 区域(31°N)的纬向剖面,两个区域的云顶高度均限制了在 10km ,两区域在 500hPa 以上的层次都为 100% 的云量,区别在于 E 区域为底层至高层的深厚云体,综合来看可以确定此处深厚云体对应着积雨云的发展,而 D 区域分布着同样能产生较强累积降水的层云、高层云;从二者的比湿垂直剖面来看,E 区域的水汽梯度较大,其垂直速度(wind omega)剖面表明在对流层中层有一个强烈的辐合区,而高层有辐散区(副热带高压)与之叠置,两侧有较强的下沉气流,在此强动力作用下,利于强雷暴的发生、发展。

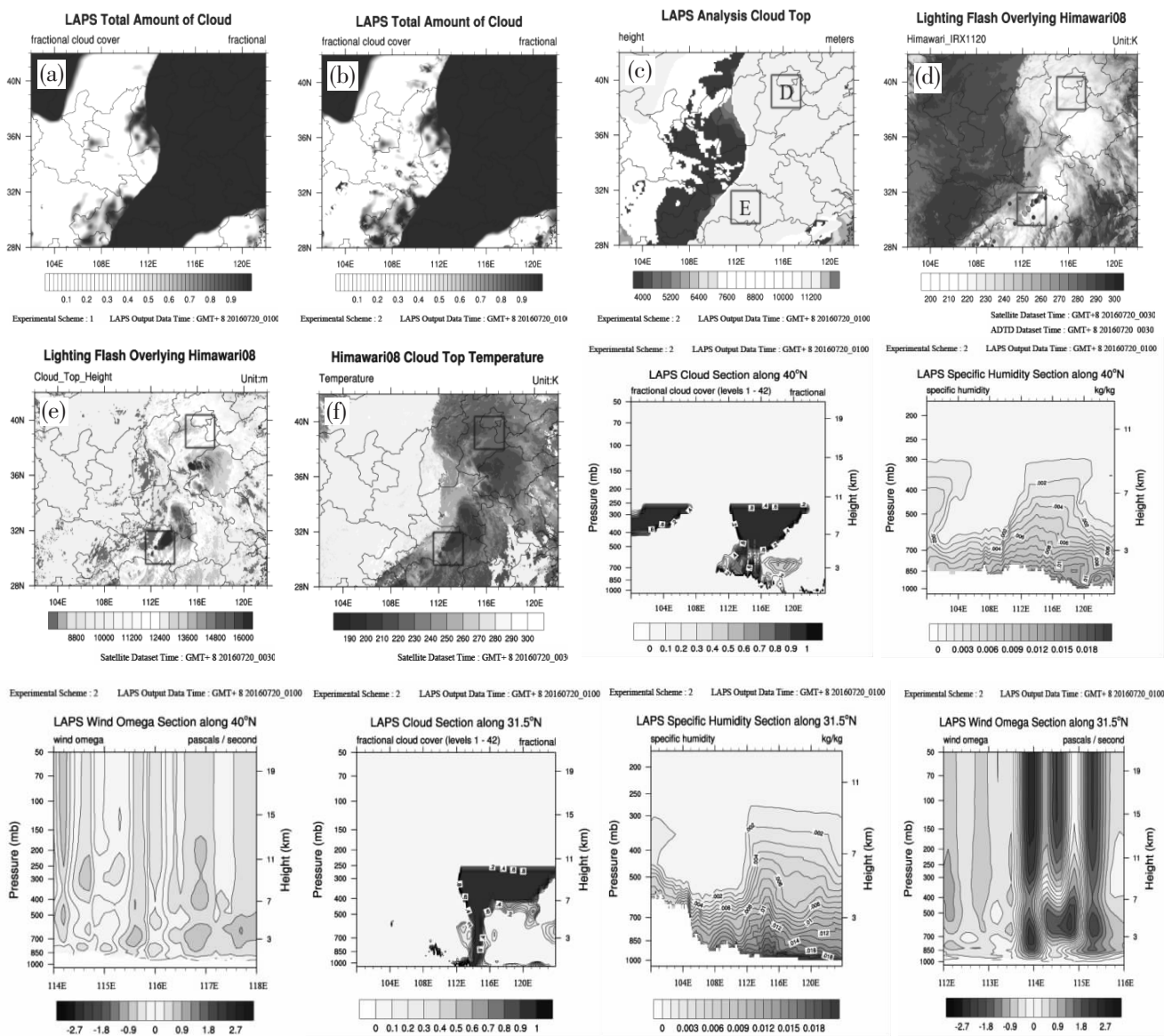


图 4 部分云分析产品及 H08L2 产品结果对比及云分析场垂直云量、垂直比湿、垂直速度对比

3 结论

通过 ADTD 闪电定位资料、静止气象卫星葵花八号等气象资料,对 2016 年 7 月 20 日一次强对流天气过程中的闪电活动进行了特征分析,并验证了闪电活动与 LAPS 云分析场的关系,主要得到以下结论:

(1) 在天气尺度环流背景下,2016 年 7 月的一次暴雨个例中出现较频繁的地闪活动,闪电集中区域对应着累积降水的大值区域,对比了降水关键区域的逐小时平均降水量与逐小时的地闪资料的时间序列,在所选区域内的闪电活动与降水的对应关系清晰,闪电活动对持续降水具有较好的指示作用,降水峰值与闪电活动峰值为重合的现象。

(2) 通过将地闪资料与 H08L1/H08L2 产品进行了匹配统计,几类统计结果表明大部分闪电发生处于对流云系影响范围之内且对应了中高层次(卷云、积雨云、高层云、高积云等)的云顶性质,与云类型反演产品的对比中验证了闪电活动处会有积雨云的发生、发展过程。

(3) LAPS 云分析场能较好地估算总云量的分布,通过融合常规观测资料其云量的空间分布、云顶和云底的高度展现了更多的细节;在闪电活动频繁的区域,云柱更为厚实且出现了更为强烈的上升运动,水汽也更为充沛;闪电活动的特性不仅能反向验证云的分类,还可能对 LAPS 三维云分析场进行订正和调整;闪电资料有高时空精度的特性并与对流云活动相关,其可以作为云分析中的一类补充资料,其效果需要在以后的研究中验证。

参考文献:

- [1] Albers S C. The LAPS wind analysis [J]. Weather and Forecasting, 1995, 10(2): 342-352.
- [2] Snook J S, Stamus P A, Edwards J, et al. Local-domain mesoscale analysis and forecast model support for the 1996

Centennial Olympic Games [J]. Weather and Forecasting, 1998, 13(1): 138-150.

- [3] 崔春光,李红莉,彭菊香,等. LAPS 资料在一次鄂东初夏暴雨分析中的应用 [J]. 暴雨灾害, 2008, 27(4): 307-312.
- [4] 李红莉,崔春光,王志斌. LAPS 的设计原理,模块功能与产品应用 [J]. 暴雨灾害, 2009, 28(1): 64-70.
- [5] 张涛,苗春生,王新. LAPS 与 STMAS 地面气温融合效果对比试验 [J]. 高原气象, 2014, 33(3): 743-752.
- [6] 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(1): 72-75.
- [7] 郑栋. 闪电活动与降水的相关关系研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.
- [8] 袁铁,郗秀书. 卫星观测到的我国闪电活动的时空分布特征 [J]. 高原气象, 2004, 23(4): 488-494.
- [9] 刘平英,周清倩,胡颖,等. 近 12 年云南省云地闪活动变化及雷电灾害时空分布特征 [J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 86-91.
- [10] 陈锐,刘洲荣. 柳州市强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性研究 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37(2): 38-41.
- [11] Stolzenburg M, Rust W D, Marshall T C. Electrical structure in thunderstorm convective regions: 3. Synthesis [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1998, 103(D12): 14097-14108.
- [12] 柳臣中,周筠珩,张凌,等. 成都地区一次强对流天气中地闪产生的天气动力学条件分析 [J]. 成都信息工程学院学报, 2015, 30(5): 512-520.
- [13] Correoso J F, Hernández E, García-Herrera R, et al. A 3-year study of cloud-to-ground lightning flash characteristics of Mesoscale convective systems over the Western Mediterranean Sea [J]. Atmospheric research, 2006, 79(2): 89-107.
- [14] 刘瑞霞,陈洪滨,师春香,等. 多源观测数据在 LAPS 三维云量场分析中的应用 [J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 123-128.

The application of Lightning location data in LAPS cloud analysis

Su Chuancheng¹, Shi Chunxiang², Gu Junxia², Mao Wenshu³, Zhu Zhi², Liu Junjian⁴, Sun Shuai²

(1. Guangxi Meteorological Information Center, Nanning, Guangxi, 530022;

2. National Meteorological Information Center, Beijing, 100081;

3. Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Sichuan 610225;

4. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China)

Abstract: For a further study on the properties of Lightning activity and to explore the usage of lightning data in LAPS cloud analysis, this thesis analyzes the lightning activity of a strong weather process on 20 July 2016 by applying the ADTD lightning location data and the Himawari-08 meteorological satellite data, and the relationship between lightning activity and the LAPS cloud analysis field. The Major conclusions are as below: the lightning concentrated areas parallel to the large value area of accumulated precipitation, the rainfall peak values are coincident with lightning peak values; The cloud inversion products statistical results showed that the lightning indicates that the occurrence and development of cumulonimbus and the higher Cloud-top property; in the frequent lightning area, clouds are thicker and the vertical distribution of water vapor and the vertical velocity shows that the region has a strong upward motion, lightning activity parallels with cumulonimbus, not only can it verify cloud classification inversion products but also revise and adjust 3D cloud field from LAPS cloud analysis, and the lightning data could be a supplementary of LAPS multi-source fusion.

Key word: LAPS, Himawari-08 meteorological satellite, ADTD Lightning location observation data, Multi-source data fusion cloud analysis