

风云四号闪电数据和湖南地区ADTD数据对比分析

黄浩^{1,2}, 周明薇^{1,2}, 侯阳笛^{2,3}, 聂新宇^{1,2}

¹湖南省气象灾害防御技术中心, 湖南 长沙

²气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南 长沙

³湖南省气象局机关服务中心, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年10月6日; 录用日期: 2023年11月7日; 发布日期: 2023年11月14日

摘要

为了比较LMI和ADTD闪电资料之间的相关性和差异, 文章基于湖南省2022年ADTD数据和LMI湖南地区2022年闪电数据, 对卫星和地基两套探测系统的闪电数据进行对应分析。结果表明: 两者数据的匹配比例在月变化曲线上呈现双峰值特征, 两者监测到的高频率闪电活动月份基本一致, 匹配比例较为稳定的是春季, 夏季的匹配度普遍高于春季; 两者数据在日变化特征上保持了较好的一致性, 呈现出单峰值分布的规律; 湖南省云地闪比率值随纬度的变化不明显, 平均值为1.96, 星地探测数据得出的云地闪比率值与ADTD实测数据计算出的云地闪比率值基本吻合。

关键词

卫星LMI闪电探测系统, ADTD闪电定位系统, 星地闪电探测数据, 云地闪比率特征

Comparative Analysis of FY-4 Lightning Data and ADTD Data in Hunan Province

Hao Huang^{1,2}, Mingwei Zhou^{1,2}, Yangdi Hou^{2,3}, Xinyu Nie^{1,2}

¹Hunan Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Changsha Hunan

²Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in Hunan Province, Changsha Hunan

³Hunan Meteorological Bureau Office Service Center, Changsha Hunan

Received: Oct. 6th, 2023; accepted: Nov. 7th, 2023; published: Nov. 14th, 2023

Abstract

To compare the correlation and differences between LMI and ADTD lightning data, based on the

文章引用: 黄浩, 周明薇, 侯阳笛, 聂新宇. 风云四号闪电数据和湖南地区 ADTD 数据对比分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(6): 1141-1146. DOI: 10.12677/ccrl.2023.126117

ADTD data of Hunan Province in 2022 and the lightning data of Hunan Province, the article correspondently analyzes lightning data from satellite and ground-based detection systems. The results indicate that: the matching ratio of the two data shows a bimodal feature on the monthly variation curve, the months of high-frequency lightning activity monitored by both are basically the same, the most stable matching ratio is in spring, the matching degree in summer is generally higher than that in spring; the two data maintain good consistency in daily variation characteristics, showing a pattern of single peak distribution; the variation of cloud to ground flash ratio values with latitude in Hunan Province is not significant, the average value is 1.96, the cloud to ground lightning ratio value obtained from satellite to ground exploration data is basically consistent with the cloud to ground lightning ratio value calculated from ADTD measured data.

Keywords

Satellite LMI Lightning Detection System, ADTD Lightning Location System, Satellite Ground Lightning Detection Data, Characteristics of Cloud to Ground Flash Ratio

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

风云四号卫星(FY4A) LMI 和地基国家雷电监测网 ADTD 系统, 是我国气象部门目前两种国家级获取大范围闪电数据信息的主要手段。卫星 LMI 闪电探测, 是利用闪电光辐射特点, 通过区分闪电信号与噪声, 进而完成对闪电的捕捉和定位; 地基 ADTD 闪电探测, 通过分析闪电辐射的电磁信号, 来实现对闪电的监测。相比传统的地基闪电探测, 卫星闪电探测因其独特的平台优势, 成为各国竞相发展的新技术。随着人们对闪电的认识不断增加, 传统地基探测已经不能满足需求, 搭载于风云四号 A 星上的闪电成像仪 LMI, 是我国首次星载的闪电光学探测载荷, 能够对大视场范围内的闪电活动, 进行实时、动态监测, 它填补了我国在卫星闪电探测领域的空白。

目前, 国内对地基闪电探测的研究已取得一定成果, 但是在卫星闪电探测方面研究相对较少。崔逊等[1]利用 WWLLN 与江苏省闪电定位 ADTD 系统对 2006 年~2009 年闪电数据进行分析, 发现 WWLLN 探测的闪电时空分布趋势与 ADTD 保持较好的一致性; 朱杰[2]开展 LMI 和地基闪电探测数据长时间统计特征比对, 发现 LMI 和 ADTD 探测到的中国陆地闪电数据年代间变化趋势呈现良好的一致性, 且随着技术的进步, 星地观测得到的闪电数据匹配比例呈稳步上升趋势; 邓雨荣等[3]基于 2005~2010 年间 OTD/LIS 闪电探测数据, 对全球和三大闪电高发区(非洲、南北美洲和东南亚地区)的变化趋势进行了讨论; 惠雯等[4]利用 OTD/LIS 系统和全国闪电定位系统的资料, 对 2008~2013 年间我国西南地区闪电时空分布特征差异进行了分析研究; 姚尧等[5]利用鄂西三峡一带 LIS 探测数据与相应的地基电网雷电探测系统进行对比分析, 发现两者在研究区间内数据一致性良好。文刚[6]利用 LMI 闪电探测数据得出云顶亮温与雷电发生区域存在着相关性。LMI 和 ADTD 这两种闪电探测系统, 在理论上、技术上、方法上都不一样, 对闪电的探测类型、探测效能以及定位精度也都存在着一定的差异, 本文希望通过分析两者数据的匹配特征, 开展应用研究取长补短, 以弥补单一系统信息源带来的数据不完整性、不确定性。由于数据来源受限, 从天擎上获得卫星闪电的完整年的数据仅有 2022 年, 因此在接下来的研究中针对 2022 年的卫星 LMI 闪电数据与 ADTD 数据进行对比分析, 其结果可以为雷电监测预警和防雷减灾工作提供更为科学的指导。

2. 数据来源和方法

研究表明, 闪电组(Group)数据, 在时空特性上与地基地闪回击(stroke)数据相似[7], 本文选取 LMI 湖南地区 2022 年闪电组(Group)数据和湖南省 2022 年 ADTD 地闪(stroke)数据进行对应分析, 运用数理统计等方法分析其匹配比例在季节、时段等方面的特征差异, 同时对湖南省的云地闪比率特征及变化规律进行研究。

3. 结果与分析

3.1. 闪电数据匹配比例的季节变化对比

图 1 显示的是 2022 年卫星 LMI 闪电探测和地基国家雷电监测网 ADTD 在湖南省范围内闪电数据匹配比例的月平均变化规律。由图可以看到, LMI 和 ADTD 数据匹配比例逐月平均变化曲线呈现双峰值特征, 其中 6 月匹配度最高, 在监测到的高频率闪电活动月份上, 两者表现出来是基本一致的。匹配比例较为稳定的是春季(3~5 月), 且呈现逐步上升趋势, 同时, 两者在夏季(6~8 月)的匹配度明显高于春季。根据 LMI 的设计要求, 每年的春分和秋分, 卫星 LMI 会进行调头, 探测视角覆盖区域会出现翻转。即每年春分到秋分期间, LMI 进行闪电监测活动的区域主要为我国陆地和周边临近洋面, 这使得 LMI 与 ADTD 数据能进行有效协同分析的时间仅约为 185 天; 而从秋分开始到第二年的春分, 卫星 LMI 探测视场发生变化, 闪电活动主要监测区域变为南半球澳大利亚地区西部和印度洋海域, LMI 在这个时间段无法获取湖南地区的闪电观测数据, 也使得 ADTD 系统的数据与之匹配比例为 0。我省闪电活动频发期为每年的 4~9 月, 这段时间探测到的闪电数据几乎占到全年闪电探测数量的 90%, 也是湖南省的汛期。春季和夏季的对流活动是一年之中最为旺盛的, 随着闪电活动逐渐频繁, 探测到的闪电数量在夏季达到全年的峰值。诸多相关研究表明, 强对流过程中雷暴产生的强降水的发展趋势与闪电活动的频率在时空上具有某种对应关系。闪电活动对于强对流过程的指导性有着十分重要的参考意义, 它可以很好的弥补常规观测手段所带来的不足, 为决策强天气监测预警与预报提供重要的依据。

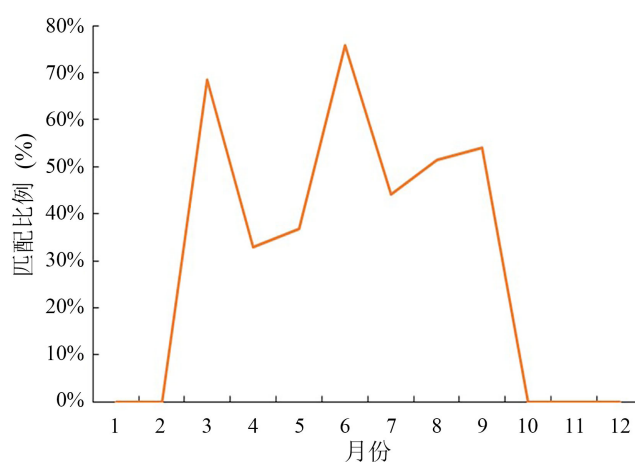


Figure 1. Monthly average variation characteristics of matching ratio between LMI and ADTD satellite ground lightning detection data

图 1. LMI 与 ADTD 星地闪电探测数据匹配比例月际平均变化特征

3.2. 闪电探测数量逐时分布特征

图 2 显示的是 2022 年这个区间内平均每日逐时段, LMI 和 ADTD 探测到的闪电数量变化情况。通

过星地闪电探测数据可以看到湖南省闪电活动有着较为明显的日变化特征, 呈现出单峰值分布的规律。每日的下午和傍晚(13 时~18 时)是闪电高发期, 这段时间的闪电数量约占全天闪电数量的 50%。平均来看, 闪电活动稀疏的时间段在清晨和上午(3 时~11 时), 午后(约 13 时以后)开始逐渐频繁, 探测到的闪电数量明显增多, 并于 15 时~17 时左右, 闪电探测数量达到全天的极大值, 此时的闪电探测数量为最小值的 8 倍多。而当夜幕降临后, 闪电活动的频率出现一定起伏, 凌晨以后明显减少, 然后进入清晨及上午那段闪电活动相对稀疏的阶段, 并于 7 时、8 时左右达到全天闪电活动的极小值。这一特征与我国陆地深对流过程的日变化规律相似, 即清晨和上午, 闪电活动相对较少, 强度不大, 对流活动频率较低, 从午后开始对流活动缓慢增强, 闪电活动也随之增多, 并于傍晚的时候达到极大值, 凌晨则再次减弱。由此看出, 卫星 LMI 与地基 ADTD 两套探测系统, 虽然在探测原理、闪电类型、闪电数量上存在诸多不同, 但是两者探测所得到的闪电活动日变化规律保持了较好的一致性。这也再次验证了, 闪电活动与深对流活动存在密切的联系, 在今后强对流天气的雷电监测和预警中, 星地探测的闪电数据可以发挥其无可比拟的作用。

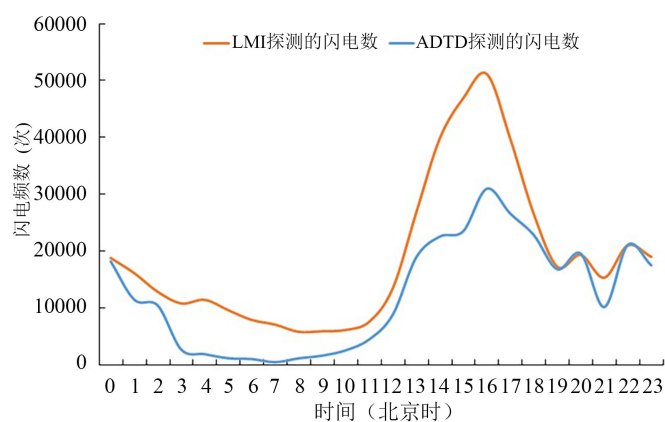


Figure 2. The average daily time period variation characteristics of the number of lightning detected by LMI and ADTD

图 2. LMI 和 ADTD 探测到的闪电数量平均每日逐时段变化特征

3.3. 湖南地区云地闪比率分布及变化规律

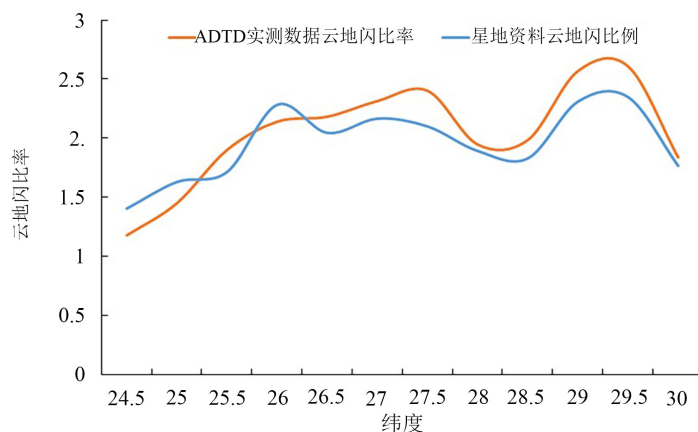


Figure 3. Distribution characteristics of cloud to ground flash ratio in Hunan region

图 3. 湖南地区云地闪比率分布特征

关于闪电的研究,在雷电灾害调查以及监测预警这些领域中,云闪和地闪的比率有着十分重要的参考意义,其数值会随着时间、空间的变化而变化。Boccippio 等[8]曾经在 2001 年研究了美国境内陆地上发生的云地闪比率及相关特征,他们将四年的星载闪电光学瞬态探测器 OTD 资料和美国国家雷电监测网 NLDN 资料进行分析和研究,注意到陆地上的云地闪比率值在 2.64~2.94 之间变化,该值的变化与纬度的变化没有明显相关性,本文通过 2022 年的 LMI 数据和 ADTD 数据,研究湖南地区(24.5N~30N)云地闪比率特点和纬度变化的相关性,结果如图 3 所示,湖南地区云地闪比率值的变化和纬度变化的相关性不大,这与 Boccippio 研究内容相似;平均云地闪比率为 1.96,这与 Boccippio 研究内容有差异。同时还发现,星地探测数据得出的云地闪比率值与 ADTD 实测数据计算出的云地闪比率值基本吻合,随纬度变化的相关性基本一致,也从另一方说明了 LMI 数据和 ADTD 数据在研究云地闪比率特征方面具有一定的可实施性。

4. 总结与讨论

利用湖南省 2022 年 ADTD 数据和 LMI 湖南地区 2022 年闪电数据,对两者资料融合开展综合应用研究,分析两者的匹配特征,将两者探测的闪电数据在季节、时段等方面进行统计特征比对,同时研究了我省云地闪比率分布特征及变化规律,得到的研究结论主要有:

1) LMI 与 ADTD 资料的有效协同分析时间仅约为 185 天,主要在春夏两季;星地闪电探测数据匹配比例的月变化曲线呈现双峰值特征,其中,6 月星地数据匹配比例达到峰值;两者监测到的高频闪电活动月份基本一致;该比例在春季较为稳定,且出现逐渐上升趋势;夏季的匹配度普遍高于春季;

2) 卫星和地基两者探测所得到的闪电活动日变化规律保持了较好的一致性,闪电高发期相对集中在每日的下午和傍晚,平均于 15~17 时左右达到全天的极大值,而当夜幕降临后,闪电活动的频率出现一定起伏,凌晨以后明显减少,然后进入清晨及上午那段闪电活动相对较弱的阶段,并于 7 时、8 时左右达到全天闪电活动的极小值;

3) 湖南省云地闪比率值的变化随纬度的变化不明显,平均值为 1.96,这些结果与美国的同类研究有一定的异同。

由于星地闪电探测能力、探测闪电类型等方面的差异、数据来源的限制以及数据质量的把控不到位,使得统计结果与实际情况难免出现误差,希望后续开展相关研究工作的時候,能尽可能准确地保留真实的闪电数据,对掌握的数据能进行更加深入的分析,更全面地认识我省雷电活动的时空分布规律及特征,更好地服务于雷电监测与预报预警。

基金项目

湖南省气象局 2023 年创新发展专项(青年专项)(CXFZ2022-QNZX23)。

参考文献

- [1] 崔逊. 全球闪电定位系统(WWLLN)探测效率和探测精度评估[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [2] 朱杰. 风云四号卫星闪电数据质量控制与闪电特征分析[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2020.
- [3] 邓雨荣, 李涵, 朱时阳, 等. 基于卫星资料的全球闪电定位系统探测效率评估[J]. 气象科学, 2015, 35(5): 599-604.
- [4] 惠雯, 黄富祥, 郭强. 卫星与地基闪电探测资料在闪电活动研究中的综合应用[J]. 光学精密工程, 2018, 26(1): 218-229.
- [5] 姚尧, 阮羚, 周世平, 等. 鄂西三峡地区雷电定位系统与卫星闪电观测数据的比较分析[J]. 高电压技术, 2011, 37(12): 2990-2996.

- [6] 文刚, 周仿容, 等. 基于风云四号闪电成像仪的高原闪电探测分析[J]. 云南电力技术, 2021, 49(1): 7-9.
- [7] Rudlosky, S.D., Goodman, S.J., Virts, K.S., *et al.* (2019) Initial Geostationary Lightning Mapper Observations. *Geophysical Research Letters*, **46**, 1097-1104. <https://doi.org/10.1029/2018GL081052>
- [8] Boccippio, D.J., Cummins, K.L., Christian, H.J. and Goodman, S.J. (2000) Combined Satellite- and Surface-Based Estimation of the Intracloud-Cloud-to-Ground Lightning Ratio over the Continental United States. *Monthly Weather Review*, **129**, 108-122. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0108:CSASBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0108:CSASBE>2.0.CO;2)