

卢炳夫,植耀玲,陈丹,等.广西 VLF/LF 和 ADTD 闪电定位系统对比分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):39-44.

Lu Bingfu, Zhi Yaoling, Chen Dan, et al. Comparative analysis of VLF/LF and ADTD lightning positioning system in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(2): 39-44.

广西 VLF/LF 和 ADTD 闪电定位系统对比分析

卢炳夫¹, 植耀玲¹, 陈丹², 陈小艳¹, 吴哲¹

(1 广西壮族自治区防雷中心, 南宁 530022; 2 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要: 利用广西 2016–2019 年 VLF/LF 和 ADTD 两套闪电定位系统的地闪资料进行对比分析, 并利用典型雷灾事故数据进行评估。结果表明, 两套系统的监测结果均以负地闪为主, VLF/LF 探测效率约是 ADTD 的 2.6 倍, 尤其是正地闪以及弱地闪探测效率明显提高, VLF/LF 地闪平均雷电流幅值较 ADTD 偏小且两者差异较大; 在地闪频次及雷电流幅值的年变化和日变化上, 两套系统的监测结果较为一致, 月变化差异较大; 在空间分布上, 两套系统的地闪密度分布较为一致, 雷电流幅值分布差异较大; 雷灾事故评估表明 VLF/LF 定位的准确性和可靠性优于 ADTD。

关键词: 三维闪电定位系统; ADTD 闪电定位系统; 地闪监测评估

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.2.08

OSID:



引言

雷电灾害^[1]是联合国公布的十种最严重的自然灾害之一。鉴于雷电灾害的严重性, 许多国家和地区同时布设有两套以上的闪电定位系统对雷电活动开展监测研究工作。但是不同系统的探测原理、仪器误差以及安装环境不同, 探测效率及精度也存在较大差距。因此, 对比分析不同系统的探测结果, 了解和掌握其探测的可靠性和准确性, 对区域防雷减灾、雷电天气和气候研究具有重要意义。

当前, 国内外许多学者纷纷对不同闪电定位系统的监测结果开展了一系列对比分析及评估工作, 如 Drüe et al^[2]研究指出, 德国东部地区 SAFIR 闪电定位系统云闪探测效率要优于 BLIDS 系统; 孙明^[3]发现江苏省 ADTD 闪电定位系统和 VLF/LF 三维闪电定位系统监测结果差异较大; 刘岩等^[4]对比分析认为安徽地区 ADTD 型闪电定位系统探测精度要优于 LD-II 型。近两年, 北京、浙江、贵州以及新疆等地区学者^[5-8]也都先后开展类似的研究。受探测手段的限制, 广西以往的雷电活动研究^[9-12]多基于单一的监

测结果开展, 两种及其以上的闪电定位资料的对比分析或综合评估一直缺乏。2006 年广西建成 ADTD 闪电定位系统^[13], 2016 年建成 VLF/LF 三维闪电定位系统^[14], 这为研究和评估两套系统探测的可靠性和准确性提供了数据基础。利用近 4a 广西 ADTD 闪电定位系统和 VLF/LF 三维闪电定位系统的监测数据进行对比分析, 结果可以为今后雷电预警和防雷减灾工作提供更为科学的指导。

1 资料与方法

广西 ADTD 闪电定位系统由南宁数据中心处理站和 11 个探测子站组成, 采用磁定向(MDF)和时差(TOA)联合法(IMPACT)对地闪进行联合定位; 广西 VLF/LF 三维闪电定位系统由南宁数据中心处理站和 20 个探测子站组成, 采用空间时差定位算法(3D-TOA)进行闪电定位, 实现了雷暴云地闪(CG)和云间闪(IC)高精度三维探测。两套系统均能给出闪电发生的时间、位置(经纬度)、雷电流幅值、陡度以及定位方式等参数。

研究表明^[15], 当仅有两个探测站点参与闪电定

收稿日期: 2020-03-11

基金项目: 广西极端短时强降水类型及对流系统发展模态研究(2016GXNSFAA380184)、广西大气电场监测系统预警效果验证及预警算法优化(桂气科 2019M04)、基于 GIS 的广西闪电活动规律分析(桂气科 2017M12)

作者简介: 卢炳夫(1985-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事雷电监测预警研究。E-mail: 410505251@qq.com

位计算时,其定位结果平均误差超过 6km,远大于多站(>3)定位结果的误差,电力行业标准与电力部门实测^[16]结果表明,超过 300kA 雷电流的直击雷发生概率较小。因此,在对比分析时,分别剔除两套系统的两站定位及雷电流幅值大于 300kA 的闪电数据,另外,ADTD 闪电定位系统仅能监测云地闪,在对比分析时不考虑 VLF/LF 三维闪电定位系统的云闪资料。

2 结果与分析

2.1 时间分布特征

从年变化(图 1a)上看,两套系统变化趋势较为一致,2019 年全区闪电活动最活跃,2017 和 2018 年相对较弱。VLF/LF 年平均地闪频次约是 ADTD 的 2.6 倍,其中,正地闪约为 9.5 倍,负地闪约为 2.4 倍,孙明^[3]、丁旻^[7]等研究发现江苏和贵州地区的 VLF/LF 总闪(包括云闪和地闪)分别是 ADTD 的 3.15 倍

和 1.9 倍;正地闪比 VLF/LF 平均约为 14%左右,而 ADTD 仅为 4%,VLF/LF 约是 ADTD 的 3.59 倍,王延慧等^[8]对比新疆两套系统的探测结果也发现类似结论。

从月变化上看(图 1b),VLF/LF 在 6 月和 8 月表现为双峰分布,与覃卫坚^[17]利用多年雷电活动的研究结果较为一致;而 ADTD 则是单峰分布,峰值出现在 6 月。从 3 月到 9 月,VLF/LF 正地闪比在 14%~15%左右,而 ADTD 则在 3 月由最高的 20%迅速下降,在 6 月之后降至 3%左右相对平稳,前者与后者的比值也由 3 月份最低的 0.77 跃升至 7 月份最高的 5.34。

从日变化上看(图 1c),两套系统均表现出午后傍晚~凌晨的双峰分布型,闪电活动在午后~傍晚最为活跃,其次在凌晨还有一个较弱的峰值,两条正地闪比值曲线数量级差异明显,但是趋势较为一致。

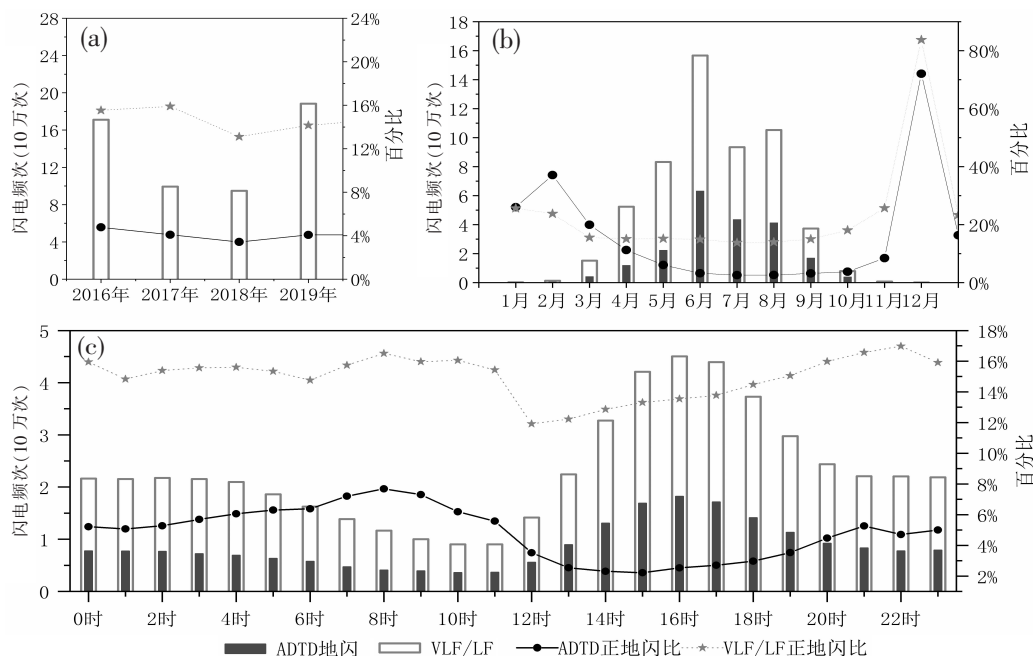


图 1 2016–2019 年广西 ADTD 和 VLF/LF 闪电时间分布图

(a)年变化;(b)月变化;(c)日变化

2.2 空间分布特征

统计广西 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 网格(约为 1km^2)地闪频次(图 2)发现,两套系统地闪密度大值区域较为一致,整体表现为桂东南、桂南、桂西北和桂东北四个密度高值区,而传统雷暴日研究^[18]仅仅认为桂南–桂东南是广西雷电高发区。VLF/LF(图 2b)大部地

闪密度值较 ADTD(图 2a)偏大 2 倍以上,特别是桂东南玉林的东北部、桂南的防城港东南部–钦州西部、桂西北的百色右江区、桂东北的融水–灵川等区域,VLF/LF 地闪密度高达 $8 \text{次} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 以上,局部甚至超过 $16 \text{次} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 。

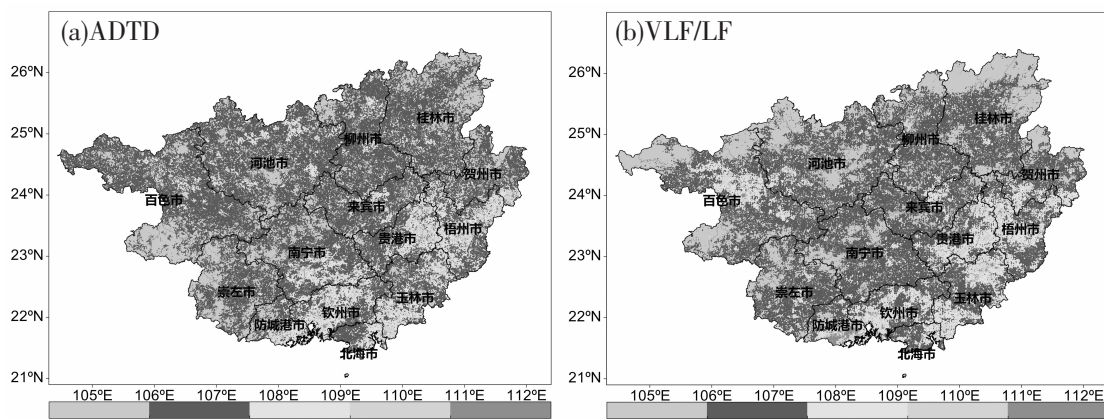


图 2 2016–2019 年广西 ADTD(a)和 VLF/LF(b)地闪密度 (单位: 次·(km²·a)⁻¹)

3 雷电流幅值对比分析

3.1 雷电流幅值频次分布特征

从正闪电雷电流幅值逐 kA 地闪频次变化曲线 (图 3a) 上看, ADTD 雷电流幅值主要集中在 18~84kA 之间, 约占正地闪的 82.6%, 峰值出现在 33kA 左右, 平均雷电流幅值约为 58.94kA; VLF/LF 则是集中在 6~40kA 之间, 峰值出现在 10kA 左右, 约为 ADTD 峰值的 33.6 倍, 平均雷电流幅值约为 23.92kA。

从负闪电雷电流幅值逐 kA 地闪频次变化曲线 (图 3b) 上看, 在 31~200kA 之间, ADTD 和 VLF/LF 频次曲线几乎是重合的, 在 6~31kA 之间两者差异明显。其中, ADTD 雷电流幅值主要集中在 18~56kA

之间, 约占负地闪的 82.78%, 峰值出现在 31kA 左右, 平均雷电流幅值约为 43.19kA; VLF/LF 则是集中在 6~56kA 之间, 约占负地闪的 92.08%, 峰值出现在 16kA 左右, 约为 ADTD 的 2.38 倍, 平均雷电流幅值约为 26.44kA。

综合上述, VLF/LF 及 ADTD 探测到的逐 kA 雷电流幅值闪电频次差异明显, 对于雷电流幅值较弱的闪电, VLF/LF 探测效率较 ADTD 明显偏高, 尤其是 16kA 左右的负地闪及 10kA 左右的正地闪, 无论是正地闪或是负地闪, ADTD 平均雷电流幅值较 VLF/LF 明显偏大。

3.2 雷电流幅值时间变化特征

从月变化上看, ADTD (图 4a) 正闪平均幅值较负闪偏大, VLF/LF (图 4c) 则是负闪较正闪偏大, 无论是正闪还是负闪, ADTD 较 VLF/LF 均明显偏大, 这与孙明^[3]的研究结论较为一致。1–12 月, ADTD 正闪平均幅值呈逐步下降趋势, 负闪则是逐渐上升, 两者呈反位相关系; VLF/LF 在 2–5 月呈类似的反位相关系, 但是在 6 月之后, 两种极性的地闪幅值变化趋于一致。

从日变化上看, ADTD (图 4b) 和 VLF/LF (图 4d) 正闪及负闪平均幅值均呈多波动特征。ADTD 正闪平均幅值在 7 时–9 时较大, VLF/LF 则是在 9 时–10 时左右, 两者峰值时间虽然接近, 但是整体差异较大; ADTD 负闪在 1 时、7 时以及 18 时有 3 个明显峰值, VLF/LF 则是在 23 时、6 时、10 时以及 17 时–18 时相对较大, 除了上午 10 时之外, 两者峰值较为一致。

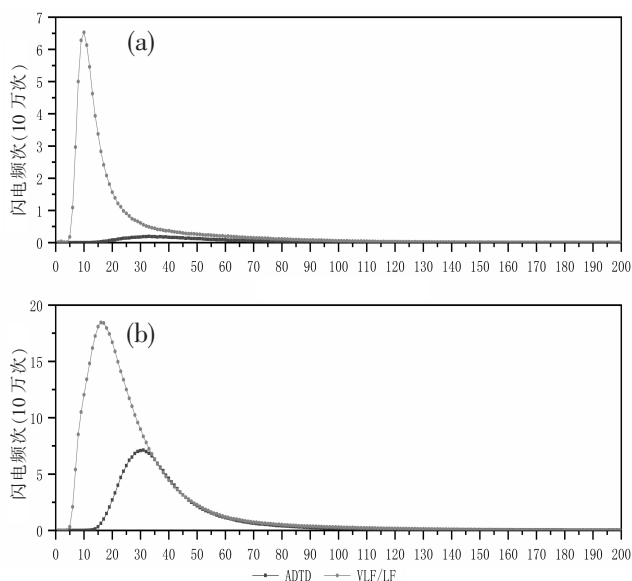


图 3 2016–2019 年广西 ADTD 和 VLF/LF 雷电流幅值逐 kA 闪电频次对比分布图

(a) 正闪电雷电流幅值; (b) 负闪电雷电流幅值

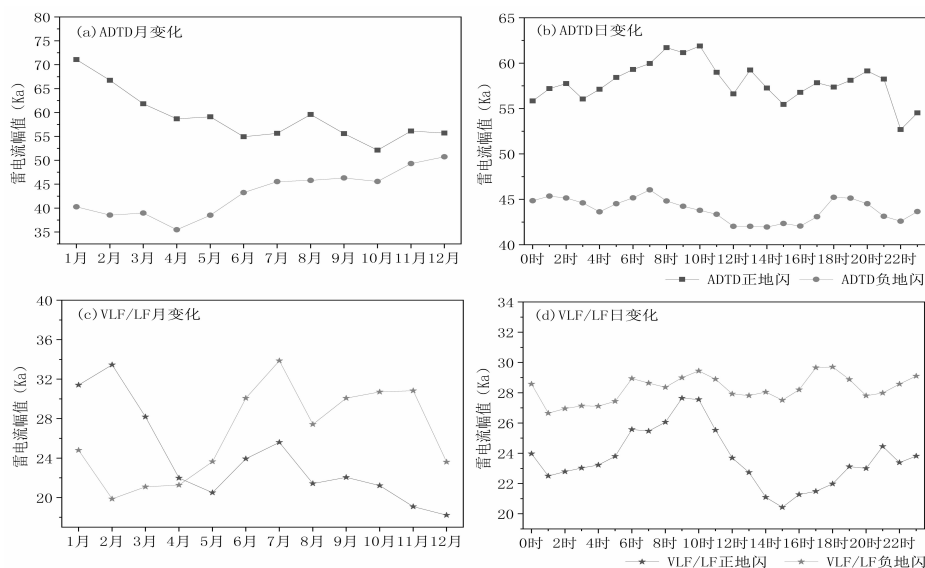


图4 2016–2019年广西ADTD和VLF/LF雷电流幅值逐月(a、c)、逐日(b、d)变化对比分布图

3.3 雷电流幅值空间分布特征

统计广西 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 网格地闪平均雷电流幅值发现,ADTD(图 5a)较 VLF/LF(图 5b)明显偏强,ADTD 高值区域主要分布在桂东北及桂西南-桂南地区,强度值达 $50\text{kA} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 以上,此外,在南宁北部、贺州北部、贵港西部-玉林中部以及桂西北还

有较为分散的高值区域;而 VLF/LF 高值中心更为集中在桂西南-桂南一带,强度值达 $35\text{kA} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 以上。整体上,两套系统在桂西南-桂南地区的强中心较为一致,但是其它地区差异较大,尤其是在桂东北地区。

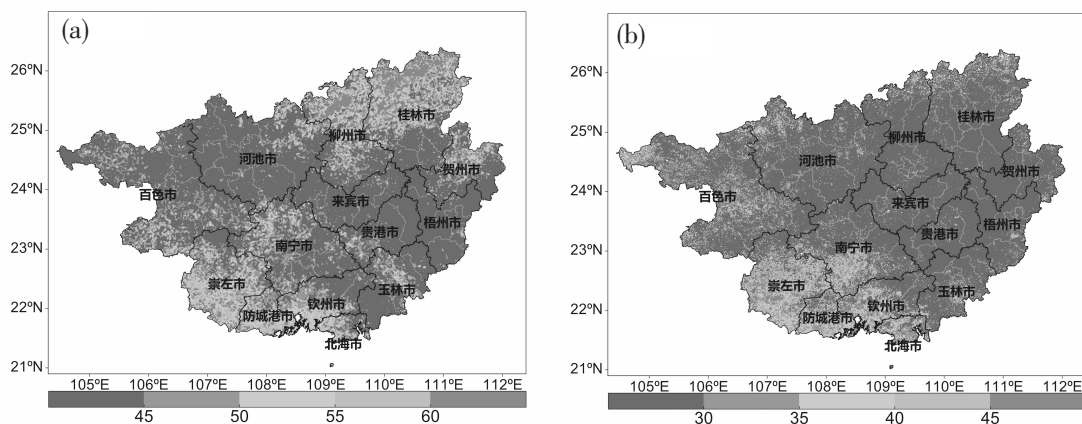


图5 2016–2019年广西ADTD(a)和VLF/LF(b)地闪雷电流幅值空间对比分布图(单位: $\text{kA} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$)

4 雷击案例分析

利用雷击案例评估闪电定位系统的可靠性和准确性无疑是当前最直接有效的手段。筛选广西雷灾数据库近4a具有现场定位和精确发生时间(时间精确至10min左右)的18起雷灾案例,分别统计两套系统在雷击发生前后30min事故点3km(一般认为距离雷击事故点3km半径以外的闪电导致雷击事故

发生概率极小)和1km半径内的三站以上地闪定位数据,以有无闪电发生、最近距离和时间是否一致为衡量指标对监测结果进行评估,统计结果如表1所示。

由表1可知,在雷击事故点3km半径范围内,18起案例中VLF/LF均监测到有地闪发生,闪电探测效率达到了100%,而ADTD漏掉了其中3起,探测效率为83%;在1km半径范围内,VLF/LF探测到

表 1 2016–2019 年典型雷灾案例雷击事故点附近 VLF/LF 及 ADTD 闪电定位监测统计表

雷灾 编号	ADTD 地闪			VLF/LF 地闪			时间是否 一致
	3km 半径 闪电频次 (单位: 次)	1km 半径 闪电频次 (单位: 次)	最近距离 (单位: km)	3km 半径 闪电频次 (单位: 次)	1km 半径 闪电频次 (单位: 次)	最近距离 (单位: km)	
1	6	0	1.65	3	2	0.59	是
2	/	/	/	38	5	0.23	/
3	33	4	0.60	105	16	0.07	是
4	/	/	/	1	0	2.65	/
5	2	0	1.93	6	0	2.13	是
6	3	0	1.18	7	2	0.80	是
7	34	5	0.31	65	21	0.15	是
8	3	0	1.23	14	4	0.88	是
9	82	23	0.05	17	3	0.23	否
10	79	16	0.28	15	5	0.42	是
11	7	3	0.19	2	0	1.20	是
12	1	1	0.42	1	1	0.51	是
13	8	3	0.63	39	9	0.49	是
14	52	17	0.11	119	29	0.05	否
15	29	10	0.19	29	5	0.48	否
16	4	0	1.08	1	0	2.60	是
17	2	1	0.98	2	2	0.44	是
18	/	/	/	3	0	2.20	/

注: /表示无监测数据或无法判断

13 起有闪电发生, 探测效率为 72%,ADTD 则是 10 起,探测效率为 55%。在两套系统同时监测到闪电发生的 15 起案例中,事故点最近闪电距离 VLF/LF 和 ADTD 分别有 10 起和 8 起优于对方,VLF/LF 略占优势;在平均最近距离上,ADTD 和 VLF/LF 分别为 0.72km 和 0.74km,两者表现相当;另外其中 3 起闪电发生的时间不一致,误差分别为 7min、12min 及 14min,经与雷灾记录校核,认为 VLF/LF 监测结果与事故发生时间较为一致。可见,在雷击事故点 3km 半径范围内,VLF/LF 系统定位的可靠性和准确性明显优于 ADTD 系统,在 1km 半径范围内,VLF/LF 系统略优于 ADTD 系统。

5 结论

(1)VLF/LF 闪电定位系统地闪探测效率约是 ADTD 的 2.6 倍,尤其是正地闪以及雷电流幅值为 16kA 左右的负地闪及 10kA 左右的正地闪探测效率较 ADTD 显著提高,两者监测结果均以负地闪为主,VLF/LF 地闪雷电流幅值较 ADTD 偏小且两者

差异较大,VLF/LF 雷电流幅值绝对值较集中在 6~56kA 之间,ADTD 则是在 18~56kA 之间。

(2)在地闪频次的年变化、日变化上,两套系统的监测结果较为一致,月变化差异较大,其中,VLF/LF 的监测结果与多年人工雷电观测较为一致;在地闪雷电流幅值日变化上,两者峰值较为接近,月变化差异较大;在空间分布上,VLF/LF 和 ADTD 地闪密度大值中心较为一致,分别在桂南、桂东南、桂东北以及桂西北均表现出明显的高值中心;雷电流幅值在桂西南-桂南高值中心较为一致,桂东北地区差异较大。

(3)雷击事故案例对比评估结果表明,在雷击事故点 3km 半径范围内,VLF/LF 系统定位的可靠性和准确性要明显优于 ADTD 系统,在 1km 半径范围内,VLF/LF 系统略优于 ADTD 系统。

参考文献:
[1] 许小峰.雷电灾害与监测预报[J].气象,2004(12):17–21.

- [2] C. Drüe, Hauf T, Finke U, et al. Comparison of a SAFIR lightning detection network in northern Germany to the operational BLIDS network [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2007, 112(D18).
- [3] 孙明, 杨仲江, 钟颖颖等. 两种闪电资料的对比分析[J]. *电瓷避雷器*, 2014(6): 109–114.
- [4] 刘岩, 李征, 程向阳, 等. LD-II 和 ADTD 型闪电定位资料的对比分析[J]. *南京信息工程大学学报(自然科学版)*, 2015, 7(4): 380–384.
- [5] 李京校, 郭凤霞, 扈海波, 等. 北京及其周边地区 SAFIR 和 ADTD 闪电定位资料对比分析[J]. *高原气象*, 2017, 36(4): 1115–1126.
- [6] 石湘波. 两套 ADTD 闪电定位系统探测效率对比分析[J]. *气象水文海洋仪器*, 2016, 33(3): 6–12.
- [7] 丁旻, 吴安坤, 刘芸. 两种闪电定位资料的对比分析[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(27): 47–54.
- [8] 王延慧, 刘忠全, 叶文军, 等. 新疆两种闪电定位系统探测资料的对比分析[J]. *电瓷避雷器*, 2019(4): 35–43.
- [9] 刘任业. 广西雷电活动的方向性变化及其应用[J]. *广西气象*, 2001, (2): 37–39.
- [10] 王义耕, 韦卓运, 黄文高, 等. 2006~2010 年广西雷电灾害特征[J]. *气象研究与应用*, 2011, 32(4): 77–79.
- [11] 黎梓华. 影响广西的强雷电天气启动机制对比研究[J]. *气象研究与应用*, 2012, 33(1): 83–86+111.
- [12] 韦增岸, 何飞, 邹光源, 等. 广西冰雹云闪电变化特征分析及其防雷应用[J]. *气象研究与应用*, 2015, 36(4): 38–44.
- [13] 薛根元, 冯国标, 何凤翩, 等. 闪电监测定位系统及其应用[J]. *气象科技*, 2004(4): 274–277.
- [14] 田彩霞, 马启明, 周晓, 等. 江苏省三维闪电定位系统算法仿真[J]. *武汉大学学报(理学版)*, 2014, 60(2): 115–121.
- [15] 陈绿文, 张义军, 吕伟涛, 等. 闪电定位资料与人工引雷观测结果的对比分析[J]. *高电压技术*, 2009, 35(8): 1896–1902.
- [16] 包炳生. 闪电定位系统监测的雷电流幅值佐证技术探讨[C]. 第 26 届中国气象学会年会第三届气象综合探测技术研讨会分会场论文集, 中国气象学会, 2009: 1007–1012.
- [17] 覃卫坚. 广西雷电活动时间分布规律[J]. *广西气象*, 2000, 21(4): 32–35.
- [18] 吴恒强. 广西雷暴活动特点分析[J]. *热带地理*, 2004(2): 123–126+154.

Comparative analysis of VLF/LF and ADTD lightning positioning system in Guangxi

Lu Bingfu¹, Zhi Yaoling¹, Chen Dan², Chen Xiaoyan¹, Wu Zhe¹

(1. Guangxi Lightning Protection Center, Nanning 530022)

(2. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022)

Abstract: The ground flash data of the two sets of lightning positioning systems VLF/LF and ADTD in Guangxi from 2016 to 2019 were used for comparative analysis, and the typical lightning disaster accident data was used for evaluation. The monitoring results of the two systems were mainly negative ground flash, and the detection efficiency of VLF/LF was about 2.6 times that of ADTD, especially the detection efficiency of positive ground flash and weak ground flash was significantly improved. The average lightning current amplitude of VLF / LF was smaller than ADTD, and the difference between them was larger. In terms of annual and daily changes of lightning frequency and lightning current amplitude, the monitoring results of the two systems were relatively consistent, while the monthly changes were quite different; in terms of spatial distribution, the lightning density distribution of the two systems was relatively consistent, and the lightning current amplitude distribution was different. The assessment of lightning disaster accidents showed that the accuracy and reliability of VLF/LF positioning was better than ADTD.

Key words: 3D lightning positioning system; ADTD lightning positioning system; ground lightning monitoring and evaluation