

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.06.019

# 基于半径的雷电资料选用分析

覃彬全<sup>1</sup>, 林巧<sup>1</sup>, 骆方<sup>2</sup>

1. 重庆市气象安全技术中心, 重庆 401147; 2. 重庆市渝北区气象局, 重庆 400017

**摘要:** 为更好地选择使用雷电资料, 依据重庆市 12 个国家基准气候站雷暴人工观测资料和闪电定位系统(LLS)的监测资料, 采用数理统计方法对两者进行了统计比较分析, 发现行政区域面积与雷电日和雷暴日的比值具有强相关性, 距观测站 11~13 km 范围内雷电日、雷暴日数据无显著差异, 总体上雷暴日反映了距观测站点 10~15 km 范围内的雷电活动情况, 据此提出了评估雷电活动的雷电资料选择方法。

**关键词:** 半径; 雷电资料; 选用

**中图分类号:** P416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2021)06-0147-06

雷电活动规律是地物设施采取防雷措施的重要依据, 目前反映雷电活动情况的资料来源主要有气象站人工观测资料和闪电定位系统(LLS)监测资料, 雷暴日与雷电日资料各有优势, 雷暴日资料积累时间较长, 除基本站外, 其他站点并非 24 小时观测, 存在遗漏, 受人工耳听目测距离限制以及观测环境影响, 也有可能漏测。此外, 气象观测环境也对人工观测雷暴造成较大影响, 导致雷暴人工观测记录存在误差; 雷电日资料来源于 LLS 实时监测, LLS 具有范围广、记录连续性高等特点, 目前已基本实现全覆盖, 但系统建成时间较短, 定位精度和探测效率存在一定误差。

国内外学者对这两种雷电资料进行了一些比对研究, Richard 等对美国国家闪电监测网 NLDN 的闪电密度与雷暴日计算出的闪电密度进行了对比, 发现通过人工观测数据计算的闪电密度偏高, 在热带地区雷暴日数的统计不是可靠信息<sup>[1-2]</sup>。在国内也有相应的研究, 陈家宏等<sup>[3-4]</sup>用网格法对福建省的气象雷电资料与雷电自动监测数据资料进行对比, 认为雷电日与雷暴日有可比性, 并取得了一些福建省区域雷电日网格化尺度的参考值; 栾健等<sup>[5]</sup>对重庆地区的人工观测雷暴日和闪电定位系统监测雷电日进行了比对, 发现在重庆地区两者之间存在明显的差异; 张义军等<sup>[6-12]</sup>同样用网格法对中国闪电密度进行了大区域分析; 李家启等<sup>[13]</sup>对重庆地区闪电密度进行了分析, 均发现闪电密度时空分布不均匀性的特征。由于这两种雷电资料在相当长的一段时间内还要同时应用于防雷工作, 为更好地利用这两种雷电资料, 本文以重庆地区为例, 对雷暴日、雷电日资料进行深入比较分析, 以便在雷电风险评估、防雷设计等工作中更合理地选择使用雷电资料。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 雷暴人工观测资料

按照地面气象观测规范的要求, 某气象站在一天内只听到一声雷响、看见一次闪电或者数次雷暴均

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范一般项目(cstc2018jsex-msybX0137); 重庆市气象部门智慧气象技术创新团队项目(ZHCXTD-202020)。

作者简介: 覃彬全, 硕士, 高级工程师, 主要从事雷电防护技术开发与应用研究。

记为一个雷暴日数,以每日 20:00 为界,昨日 20:00 后至当日 20:00 为一个自然日,若某一次雷暴跨越 20:00,则按两个雷暴日数计算.为此,收集了重庆地区 12 个国家基准气象站 1971—2010 年的人工观测雷暴日数资料,这些台站观测原始记录是 24h 连续观测,出现漏记、错记的可能性较小,与闪电定位系统监测资料的比较更有意义.

### 1.2 闪电定位系统监测资料

雷电日资料来源于 2007—2016 年 ADTD 闪电定位系统的监测,所涉及的记录均为三站定位以上的云地闪,未包含云闪.鉴于雷暴日观测记录以 20:00 为界,为便于比较,雷电日定义为一日内 LLS 有闪电数据则记为一个雷电日,其统计时间也以 20:00 为界,即昨日 20:00 至当日 20:00 为一个自然日,统计数据时,按照两个原则对闪电定位系统监测资料中的异常数据进行剔除,一是当日有单个记录,经查询当日天气记录后,属于典型干扰导致的误记录;二是幅值大于 200 kA 或小于 5 kA 的记录.

### 1.3 其他资料

各行政区域面积资料来源于统计年鉴.

### 1.4 研究方法

数据统计方面主要采用数理统计的方法,长时间序列的雷暴资料与闪电定位系统资料的对比主要采用双样本方差分析、多因素方差分析及  $F$  检验、 $T$  检验、插值法、相关分析等方法.

## 2 雷暴气候稳定性分析

根据世界气象组织的有关规定,反映当前气候基本特征的气象整编资料时间长度一般为 30 年.为此,将 1971—2010 年的雷暴日数分成 1971—2000 年和 1981—2010 年两段整编资料,通过对两段资料进行方差分析(表 1), $F$  为 1.58 小于显著性水平为 0.05 的  $F_{\alpha}$  值 1.88;同时利用 DPS 7.05 数据处理系统,取得其  $P$ -value 为 0.242,  $F$ -crit 为 2.99,这表明两段资料的差异性不显著,即这 40 年雷暴气候的变化不大.因此,采用 2007—2016 年 LLS 监测资料与雷暴资料进行比较,也有其价值.

表 1 1971—2000 年和 1981—2010 整编资料方差分析表

时间段	平均	方差	观测值	$df$	$F$	$P$ -value	$F$ -crit
1971—2000 年	39.4	16.5	30	29			
1981—2010 年	35.8	10.5	30	29			
$F$ 检验	—	—	—	—	1.58	0.242	2.99

两段资料中年平均雷暴日前者比后者多 3.6 天,其实质是 1971—1981 年时间段的年平均雷暴日比 2000—2010 年的多,这可能与观测环境受到影响有关.

## 3 雷暴日数和雷电日数资料统计

由于观测员受现场观测环境、耳听目测距离等因素影响,所记录雷暴发生的起止时间和方位并不能完全真实反映该行政区域的雷暴日数,存在一定的误差,该误差主要与雷电发生位置与观测员之间的距离有关.闪电定位系统主要通过监测雷电发生时的脉冲信号定位雷电发生的时间、地点、强度、陡度等参数,监测原理主要有磁方向法和时差法,如各监测站点环境理想,可以准确监测雷电是否发生.

表 2 给出了 12 个站点的雷暴日及其所在行政区的雷电日.

为客观分析雷暴日和雷电日之间的差异,利用闪电定位系统监测资料结合 GIS 信息,以观测站点为中心,周围 1~15 逐公里及 20,25,30 km 为半径统计各基准气候站所在行政区的雷电日数,结果如表 2 所示.

表2 不同站点不同半径年均雷电日数

半径/km	沙坪坝	大足	长寿	梁平	綦江	合川	黔江	丰都	江津	万州	奉节	酉阳
1	23.34	7.34	4.50	5.00	7.84	6.34	4.67	6.00	8.50	5.67	2.00	3.67
2	33.84	12.50	11.50	13.00	12.84	11.50	10.67	12.50	13.84	13.84	5.50	15.17
3	40.84	17.67	17.34	18.00	17.50	16.17	14.67	18.84	18.84	19.84	11.34	21.67
4	46.00	22.17	21.17	22.00	22.50	20.00	19.00	23.84	24.84	23.50	16.34	24.50
5	50.50	26.50	26.34	24.67	25.67	25.17	21.84	26.84	29.00	26.67	20.67	28.50
6	54.00	29.67	30.17	26.34	28.67	29.67	25.34	30.34	32.17	30.17	23.50	33.34
7	57.17	32.17	32.67	30.34	31.84	33.67	29.34	33.34	36.67	34.17	26.34	36.84
8	60.00	34.00	34.78	34.50	34.50	36.17	31.67	37.00	38.00	36.17	28.84	40.17
9	62.50	35.89	36.25	38.00	37.17	37.50	36.17	39.00	40.50	38.84	31.17	42.00
10	63.34	37.27	38.00	40.67	39.50	39.14	37.34	40.50	41.67	39.21	31.84	44.50
11	64.34	38.50	39.34	41.67	40.84	40.20	38.84	41.84	42.50	39.92	33.84	46.84
12	65.17	40.17	40.67	43.00	41.35	41.17	39.67	44.17	45.84	41.17	34.67	47.34
13	66.17	42.67	44.17	44.67	43.17	42.17	42.84	45.67	48.00	43.17	37.84	49.17
14	68.00	44.34	47.17	46.67	44.67	44.84	45.34	47.67	50.67	46.84	40.67	52.17
15	74.50	49.84	53.84	54.17	54.17	53.00	53.50	58.17	59.17	56.17	48.84	60.34
20	86.17	59.17	65.00	63.17	67.67	60.50	61.84	70.00	72.84	69.00	58.00	70.34
25	92.84	67.84	73.84	70.84	78.34	66.84	72.00	78.34	82.50	78.00	66.17	78.34
30	119.12	74.67	81.67	80.34	89.67	74.34	80.50	88.50	93.00	86.50	73.17	86.17
年均雷暴日	37.1	39.3	39.6	43.4	40.9	41.8	40.9	40.6	39.4	46.0	44.2	52.1
年均雷电日	58.33	51.22	61.22	77.67	72.33	73.92	79.25	86.67	84.23	121.30	115.60	142.20
面积/km <sup>2</sup>	396	1 434	1 421	1 888	2 747	2 343	2 390	2 899	3 216	3 453	4 098	5 168

## 4 结果分析

### 4.1 雷电日数和雷暴日数的差异性分析

1~15 逐公里和 20,25,30 km 的雷电日数与年均雷暴日数的多因素方差分析表明,雷暴日数的方差为 14.5,  $F$  值介于 0.249~3.10 之间(表 3),除半径 30 km 外,  $F$  检验的  $F$  值均小于  $F_{0.05}(2.69)$ ,可见在显著水平  $\alpha=0.05$  下,1~15,20,25 km 雷电日数与年均雷暴日没有显著性差异,具有可比性。

表3 不同取值半径方差分析表

半径/km	雷电日数方差	$F$ 值	半径/km	雷电日数方差	$F$ 值
1	3.63	0.249	10	12.61	0.866
2	6.35	0.436	11	10.84	0.745
3	7.44	0.511	12	11.57	0.795
4	6.55	0.450	13	9.18	0.630
5	6.35	0.436	14	9.76	0.670
6	8.51	0.585	15	12.96	0.890
7	9.45	0.649	20	25.41	1.75
8	10.67	0.733	25	30.92	1.12
9	11.01	0.757	30	45.13	3.10

通过狄克逊(Dixon)检验法对统计的雷电日数据进行分析,发现以沙坪坝为中心的逐公里雷电日数据在给定检出水平  $\alpha=0.01$  时,除 15,20,25 km 几组数据外,其余各公里统计量  $r_{21}$  均超过限值  $DP(12)=$

0.642. 为排除沙坪坝逐公里雷电日取值受到系统误差的干扰, 则该站点数据不参与分析. 统计 1~15 逐公里和 20, 25 km 雷电日数与雷暴日数的差值, 利用 SPSS 对差值进行单样本  $K-s$  检验, 得到  $Sig. > 0.05$ , 因此各公里雷电日数与雷暴日数差值服从正态分布. 因此, 对各公里雷电日数与雷暴日数差值做配对  $T$  检验, 结果见表 4. 可见当半径在 11~13 km 范围内,  $|t|$  值小于显著水平  $\alpha=0.05$  的限值  $t_{\alpha}(2.228)$ , 则该范围内雷暴日和雷电日两组数据没有显著差异.

表 4 不同取值半径雷电日数与雷暴日数配对  $T$  检验

半径/km	平均差值	差值标准差	$t$ 值	半径/km	平均差值	差值标准差	$t$ 值
1	36.970	5.111	23.992	10	3.551	4.031	2.884
2	30.485	4.087	24.740	11	2.186	3.766	1.911
3	25.120	3.823	21.792	12	0.802	4.334	0.625
4	20.758	4.262	16.154	13	-1.379	4.222	-1.096
5	16.939	4.333	12.965	14	-3.940	3.998	-3.232
6	13.529	4.321	10.385	15	-12.092	4.174	-9.608
7	10.07	4.323	7.727	20	-22.666	5.648	-13.311
8	7.491	4.012	6.193	25	-31.350	6.340	-16.401
9	5.110	3.892	4.316				

#### 4.2 雷电日、雷暴日与面积关系分析

从表 2 可看出, 12 个站点所在行政区面积相差较大, 最大为酉阳 5 168 km<sup>2</sup>, 最小为沙坪坝 396 km<sup>2</sup>, 对应的年均雷电日、雷暴日分别为 142.2, 52.1 d/a 和 58.33, 37.1 d/a, 显然, 雷电日明显大于雷暴日, 酉阳雷电日是雷暴日的 2.73 倍, 沙坪坝为 1.57 倍. 为进一步分析雷电日、雷暴日与行政区域面积的关系, 对雷电日与雷暴日的比值和行政区域面积进行相关性分析, 见图 1.

由图 1 可知, 行政区域面积和雷电日与雷

暴日的比值具有强相关性,  $R=0.9006$ , 这说明行政区域面积越大, 雷暴日与雷电日的差距越大. 根据 LLS 的监测原理, 剔除异常数据后, 虽然定位精度和探测效率存在一定误差, 但对于是否发生了闪电还是可信的, 即雷电日数据可信时, 随行政区域面积增大, 利用雷暴日表征雷电活动规律的误差也越大, 其原因可能在于观测人员耳听目测的距离限制, 这需要进一步分析.

#### 4.3 雷电日相似半径分析

行政区域面积可通过半径体现, 同时观测人员耳听目测的距离也是一个以观测人员为原点的半径值. 为此, 特提出雷电日数相似半径的概念(以下简称相似半径): 以观测站点为中心, 与平均雷暴日数最接近的雷电日数相对应的半径, 为该站的雷电日相似半径, 经采用插值法, 各站的相似半径如表 5. 同时, 为表征观测点的位置, 设定观测点距该行政区域边界的最大直线距离为  $L_{\max}$ , 最小直线距离为  $L_{\min}$ , 各站点的  $L_{\max}$  和  $L_{\min}$  见表 5.

除异常数据后, 雷电日数据可信, 故根据相似半径定义, 观测人员通过耳听目测观测雷暴的有效距离可近似为相似半径, 即雷暴日表征距离观测场相似半径范围内的雷电活动情况. 通过对比表 5, 雷暴日大于相似半径范围内逐公里的雷电日, 小于相似半径范围外逐公里的雷电日. 根据雷暴日的人工观测实际与相似半径定义, 因沙坪坝站  $L_{\min}$  仅为 0.7 km, 观测站点靠近行政区域边界, 同时该站点处于闹市区, 人工观测受外界环境影响也较大, 故该站点的相似半径及雷暴日误差均较大, 分析时应剔除.

从表 5 可知, 除沙坪坝站点外, 最大相似半径为奉节的 14.43 km, 最小为江津的 7.82 km, 次最小为

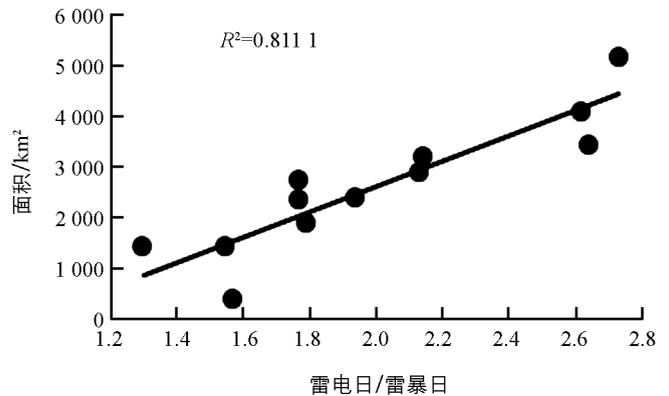


图 1 雷电日与雷暴日比值和行政区域面积关系

丰都 9.65 km, 其余站点均超过 10 km, 总体上, 各站点相似半径在 10~15 km 范围内, 这与雷电日、雷暴日差值的配对  $T$  检验结果基本一致.

表 5 重庆 12 个国家基准气候观测站相似半径

站名	沙坪坝	大足	长寿	梁平	綦江	合川	黔江	丰都	江津	万州	奉节	酉阳
雷暴日	37.1	39.3	39.6	43.4	40.9	41.8	40.9	40.6	39.4	46.0	44.2	52.1
雷电日	58.33	51.22	61.22	77.67	72.33	73.92	79.25	86.67	84.23	121.30	115.60	142.25
相似半径/km	2.47	10.28	11.20	12.65	12.33	12.65	12.41	9.65	7.82	13.79	14.43	13.98
$L_{\max}$ /km	27.6	41.3	55.1	47.6	72.2	63.0	60.8	58.4	97.7	66.4	75.2	79.6
$L_{\min}$ /km	0.7	12.3	9.7	14.1	5.4	7.5	12.6	12.4	3.4	14.4	13	29

## 5 雷电资料的选用

评估行政区或者园区的雷电活动情况以及考虑横跨多个行政区域的长距离线路、管道、轨道交通和建(构)筑物、设施设备防雷措施时, 需要使用雷电资料进行雷电活动规律评价, 此时雷电资料的选择对评价结果影响较大. 雷电是造成雷电灾害的风险源, 如选择的雷电资料不能真实反映该区域的雷电活动规律, 则可能影响防御雷电灾害的科学决策, 因此在雷电活动规律评价时, 对雷电资料的选择非常重要.

目前, 可用的雷电资料主要有 LLS 监测的雷电日资料和人工观测的雷暴日资料, 根据雷暴日和雷电日资料的结果分析, 主要与观测站点所处的位置有关. 当观测站点位于行政区中部、或者行政区绝大部分区域的  $L_{\max}$  小于 15 km、或者园区距离观测站点小于 15 km 时, 因区域处于观测人员耳听目测的距离范围内, 雷暴日资料时间序列长, 统计意义上更能真实反映该区域的雷电活动情况, 故应选择雷暴日资料, 否则应选择雷电日资料. 对于横跨多个行政区的长距离线路、管道、轨道交通等建设项目, 应根据各行政区中项目所在地与观测站点的距离分别考虑, 如在行政区的长距离线路、管道、轨道交通与该行政区观测站点距离小于 15 km, 则选择该观测站点的雷暴日资料, 否则应选择雷电日资料. 对于单点的建(构)筑物、设施设备等项目, 应考虑项目所在地与最近观测站点的距离, 如小于 15 km, 则应选用该观测站点的雷暴日资料, 否则应选用雷电日资料.

## 6 结 论

通过对重庆地区 12 个国家基准气候站 40 年人工观测的雷暴日资料和 10 年的 LLS 监测的雷电日资料进行对比研究, 得到以下结论:

1) 行政区域面积越大, 雷暴日与雷电日的差距越大, 行政区域面积和雷电日与雷暴日的比值具有强相关性, 11~13 km 范围内雷电日、雷暴日数据无显著差异.

2) 雷暴日总体上反映了距观测站点 10~15 km 范围内的雷电活动情况, 雷电资料的选择与观测站点所处的位置有关, 具体为:

——评估行政区或者园区的雷电活动情况时, 观测站点位于行政区中部、行政区绝大部分区域的  $L_{\max}$  小于 15 km、园区距离观测站点小于 15 km, 应选择雷暴日资料, 否则选择雷电日资料.

——评估横跨多个行政区的长距离线路、管道、轨道交通等项目的雷电活动情况时, 如项目各段所在地与观测站点的距离小于 15 km, 应选用雷暴日资料, 否则应选用雷电日资料.

——评估单点的建(构)筑物、设施设备等项目的雷电活动情况时, 如项目所在地与最近观测站点的距离小于 15 km, 应选用雷暴日资料, 否则应选用雷电日资料.

### 参考文献:

- [1] RICHARD E O. Lightning Ground Flash Density in the Contiguous United States-1989 [J]. Monthly Weather Review, 1991, 119(2): 573-577.
- [2] 许小峰, 郭 虎, 廖晓农, 等. 国外雷电监测和预报技术研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.

- [3] 陈家宏, 冯万兴, 王海涛, 等. 雷电参数统计方法 [J]. 高电压技术, 2007, 33(10): 6-10.
- [4] 陈家宏, 郑家松, 冯万兴, 等. 雷电日统计方法 [J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 115-118.
- [5] 栾 健, 李家启, 林中冠, 等. 基于闪电定位系统和人工观测的雷电关注度对比分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(9): 163-168.
- [6] 张义军, 孟 青, 马 明, 等. 闪电探测技术发展和资料应用 [J]. 应用气象学报, 2006, 17(5): 611-620.
- [7] 张义军, 陶善昌, 马 明, 等. 雷电灾害 [M]. 北京: 气象出版社, 2009: 85-93.
- [8] 张义军, 马 明, 吕伟涛, 等. 闪电活动的气候学特征研究进展 [J]. 气象学报, 2008, 66(6): 906-915.
- [9] 李照荣, 陈添宇, 康凤琴, 等. 兰州周边地闪分布特征 [J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 45-51.
- [10] 高 磊, 潘解祥. 城区与郊区不同地形地貌下云地闪分布规律初步研究 [J]. 气象科技, 2009, 37(6): 729-733.
- [11] 刘 岩, 王振会, 张慧良. 2007 年浙江地区梅雨期闪电特征的分析 [J]. 气象科学, 2009, 29(2): 225-229.
- [12] 马 明, 吕伟涛, 张义军, 等. 中国雷电活动特征分析 [J]. 气象科技, 2007, 35(增刊 1): 1-7.
- [13] 李家启, 吉 莉, 李 强, 等. 基于闪电定位系统的重庆地区地闪日分布特征分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(11): 109-115.

## Selection of Lightning Data Based on Radius

QIN Bin-quan<sup>1</sup>, LIN Qiao<sup>1</sup>, LUO Fang<sup>2</sup>

1. Chongqing Meteorological Safety Technology Center, Chongqing 401147, China;

2. Yubei Meteorological Bureau, Chongqing 400017, China

**Abstract:** In order to select lightning data more objectively and make a better use of them, statistical comparison analysis between the manual observation data and LLS (lightning location system) monitoring data recorded at 12 national reference climatological stations in Chongqing Regionis implemented. The results show that the area of administrative regions is strongly related to the ratio of lightning days and thunderstorm days. There are no obvious differences in data related to lightning days and thunderstorm days within a scope of 11—13 km. In general, thunderstorm days reflect the condition of lightning activities within 10—15 km away from the observation site. Based on these finding, this paper puts forward the method of selecting lightning data to evaluate lightning activities.

**Key words:** radius; lightning data; selection

责任编辑 汤振全