

王学良,张科杰,黄小彦,等. 湖北省雷暴日数与云地闪电密度关系研究[J]. 气象,2012,38(6):728-732.

湖北省雷暴日数与云地闪电密度关系研究^{*}

王学良¹ 张科杰¹ 黄小彦² 刘学春¹

1 湖北省防雷中心,武汉 430074

2 武汉中心气象台,武汉 430074

提 要: 为了研究年雷暴日数与雷击大地年平均密度关系,以满足雷电防护工程设计、雷击风险评估和雷电灾害防御工作需要,采用湖北省 ADTD 雷电监测定位系统探测的 2007—2010 年云地闪电资料和雷电监测理论探测效率在 95% 以上的 28 个气象站的年雷暴日数,对台站周围不同半径距离范围内年平均云地闪电次数与年平均雷暴日数进行统计分析。结果表明:在台站周围 18~20 km 范围内,相关系数明显增大,其中 18 km 范围内相关系数最大为 0.8521。由此可以认为,观测人员一般只能听到观测站点周围 18~20 km 左右的雷声。经统计计算,拟合年平均雷暴日数与雷击大地年平均密度关系式为: $N_G = 0.029 T_d^{1.5}$ 。通过 2011 年检验表明,采用拟合方程: $N_G = 0.029 T_d^{1.5}$ 计算各台站雷击大地年平均密度明显优于规范方程: $N_g = 0.024 T_d^{1.3}$ 计算的效果。

关键词: 雷暴, 雷暴日数, 云地闪电密度, 人工观测, 最远距离

Study on the Relation of Thunderstorm Days and Lightning Density in Hubei Province

WANG Xueliang¹ ZHANG Kejie¹ HUANG Xiaoyan² LIU Xuechun¹

1 Hubei Province Lightning Protection Centre, Wuhan 430074

2 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074

Abstract: The relation of annual thunderstorm days and annual mean lightning density is researched by statistical analysis in different radius areas from the meteorological stations, based on the cloud-ground lightning data detected by the Hubei ADTD lightning position determination and monitoring system from 2007 to 2010 and the thunderstorm days of the 28 meteorological stations where lightning monitoring detection efficiency is above 95%. The results have indicated that, in the 18—20 km radius region, the correlation coefficient is obviously increased. When the radius is 18 km, the correlation coefficient reaches a maximum value of 0.8521. Thus we can consider that generally observers only can hear thunderclap in the 18—20 km radius region. The relations of annual thunderstorm days and annual mean lightning density is formulated by statistical fitting: $N_G = 0.029 T_d^{1.5}$, and this equation even surpasses the standard equation ($N_g = 0.024 T_d^{1.3}$) obviously through the verification of the data in 2011.

Key words: thunderstorm, thunderstorm days, cloud-ground lightning density, manual observation, farthest distance

* 湖北省气象局科技发展基金项目(2009Y04)资助

2011 年 4 月 6 日收稿; 2012 年 3 月 7 日收修定稿

第一作者: 王学良,主要从事雷电防护技术和方法研究. Email: wxlwh@tom.com

引言

随着经济社会的发展,雷电所造成的损失日趋严重,从建筑物、油库、供电系统、通信系统、计算机信息系统,直至家用电器都可能受雷电灾害严重威胁。为此,雷电灾害已被联合国有关部门列为“最严重的十种自然灾害之一”^[1]。据有关统计,全球每年因雷电造成的人员伤亡超过1万人,所造成的经济损失在10亿美元以上^[2]。严格执行相关雷电防护技术标准是减少雷电灾害损失的重要措施。雷暴日数和云地闪电密度是防雷技术标准中防雷分类和防雷工程设计的重要依据之一,如建筑物防雷设计规范中,采用公式 $N_g = 0.024 T_d^{1.3}$ (N_g :建筑物所处地区雷击大地年平均密度, T_d :年平均雷暴日数)来计算雷击大地的年平均密度,并根据年预计雷击次数进行防雷等级的划分^[3]。雷暴日定义为:在一天内只要测站听到雷声则为一个雷暴日,不论该天雷暴发生的次数和持续时间,因此,在雷电灾害防御工作中使用有较大的局限性^[4]。随着地闪监测系统的建立和地闪数据的积累,国内外很多气象工作者对地闪活动进行了研究^[5]。通过雷电监测定位系统可以较为精确地计算出一年单位面积的云地闪电次数,即闪电密度(次·km⁻²·a⁻¹),但是由于雷电监测定位系统建成时间较短,监测得到的闪电密度不能准确地反映某地的气候平均值。雷击风险评估、雷电防护工程设计所用到的云地闪电(雷击大地)年平均密度资料,要求反映历史上的气候平均状况,需要10年以上甚至更长时间的监测资料进行平均。为此,马金福等^[6]根据美国卫星观测得到的我国各省区年平均总闪电资料计算出各省区的年平均地闪密度;张日高等^[7]利用2004—2007年江西省雷电监测定位系统探测数据获取的雷电数据资料,分析了以实测数据计算的雷击大地的年平均密度与以雷暴日计算的雷击大地的年平均密度的差别及其原因;刘园园等^[8]利用2006—2008年湖北省雷电监测定位网的定位资料,指出雷电定位的雷暴日数普遍高于人工观测记录;王学良等^[9]利用湖北省雷电监测定位系统2006年3月至2009年2月云地闪电资料,统计分析了湖北地区云地闪电时空分布特征。

从上述文献报道来看,绝大多数文献只是探讨了根据雷暴日数计算的雷击大地密度与雷电监测定位系统探测雷击大地密度的差异,并分析其差异的

原因。本文采用2007—2010年湖北省雷电监测定位系统监测资料和相对应的气象台站人工观测雷暴日数进行对比分析,探讨了以观测台站为圆点,观测人员所能听到最远半径的雷暴声,建立了雷暴日数与云地闪电密度关系式,从而可采用历史雷暴日数计算出某地区云地闪电密度气候平均值,为雷电防护工程设计、雷击风险评估和雷电灾害防御工作提供科学依据。

1 资料来源与统计方法

1.1 资料来源

本文采用资料年限为2007—2010年,云地闪电资料来源于的湖北省ADTA雷电监测定位系统监测资料,雷暴日数资料来源于湖北省各气象台站地面观测资料,上述资料均由湖北省气象信息与技术保障中心提供。

1.2 统计方法

选取湖北省28个气象台站,并要求该站雷电监测定位系统理论探测效率在95%以上(图1所示)。统计各站年雷暴日数和年平均雷暴日数,以上述各站的经纬度为圆点,分别统计以5、8、10、12、15、18、20、23、27、30、32、35、38和40 km为半径范围的年云地闪电次数和年平均云地闪电次数,各半径范围内的年平均云地闪电密度(次·km⁻²·a⁻¹),由其年平均云地闪电次数与其对应面积之比求出。

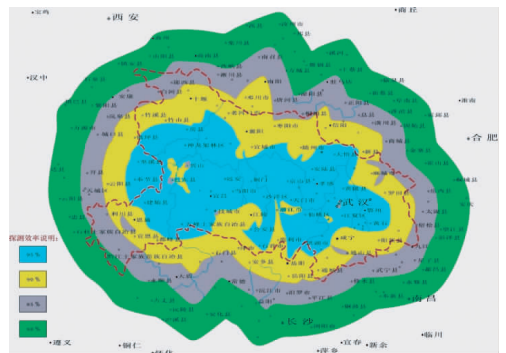


图1 湖北地区闪电理论探测效率示意图

Fig. 1 Schematic diagram of theoretical lightning detection efficiency in Hubei Province

2 结果与分析

2.1 人工观测雷暴最远距离

为了研究雷暴日数与云地闪电密度关系,首先必须探讨观测人员所能听到观测站点周围多少距离之内的雷声。据文献[10]报道,观测人员能听到的雷声,一般只能听到其周围 15 km 左右,更远的雷声一般就听不到了;而文献[11]报道,观测人员能听到周围最远距离为 20~30 km,两者差距较大。为探讨观测人员能听到周围最远距离的雷声,根据公式^[12]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

采用各气象台站观测的年平均雷暴日数与其对应的不同半径范围内年平均云地闪电次数进行相关性分析,结果表明,5~40 km 范围内,相关系数在 0.7513~0.8521 之间,均达到 0.001 的显著性水平,说明在一定范围内雷暴日数与单位面积的云地闪电次数密切相关。图 2 可以看出 5 km 的相关系数最小为 0.7513,峰值出现在 18~20 km,最大值为 18 km 时,其相关系数为 0.8521,40 km 的相关系数为 0.7986。造成上述原因是当统计范围为 5 km 时,观测人员能听到的雷暴数远大于 5 km 范围之内实际发生的雷暴数,因此,5 km 范围内的雷暴日数与云地闪电次数相关系数相对较小,并且在 5~18 km 范围内,随着统计范围的增加,观测人员所听到的雷暴数越来越接近统计范围内实际发生的雷暴数。因此,雷暴日数与云地闪电次数的相关系数随着统计范围的增大而增大。当统计范围为 18 km 时,观测人员能听到的雷暴数与 18 km 范围内实际发生的雷暴数基本一致,所以,18 km 范围内的雷暴日数与云地闪电次数相关系数最大。相反,在 18~40 km 范围内,随着统计范围的增加,观测人员能听到的雷暴数越来越小于统计范围内实际发生的雷暴数,因此,雷暴日数与云地闪电次数的相关系数随着统计范围的增大而减小。在 20~40 km 范围内,尽管相关系数基本上呈直线下降趋势,但年平均云地闪电次数与雷暴日数相关系数仍达到显著水平,其

原因可能是当有雷暴天气发生时,在一天时间内雷暴云团可能会移动到观测台站能听到雷暴声的距离范围内,因此,雷暴日数与单位面积的云地闪电次数相关性较高。图 2 中的曲线在 18~20 km 处出现峰值,相关系数明显增大,也就是说观测台站周围 18~20 km 范围内的年平均云地闪电次数与年平均雷暴日数相关性最好。因此,一般情况下,可以认为观测人员只能听到观测站点周围 18~20 km 左右的雷声,在此距离以外的雷声就很难听到了。

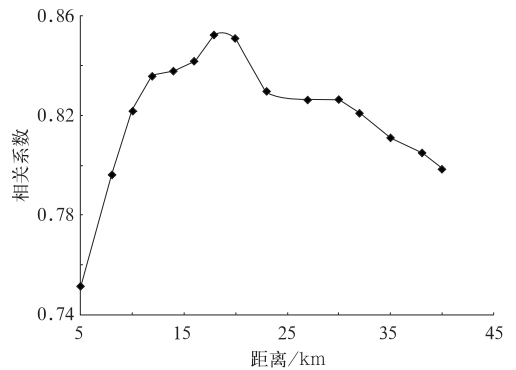


图 2 雷暴日数与观测站点周围不同距离相关系数的分布

Fig. 2 Relations between thunderstorm days and the distance to observation stations

2.2 雷暴日数与云地闪电密度关系

通过上述研究表明,在观测站点周围 18 km 范围内的年平均云地闪电次数与年平均雷暴日数相关性最好,相关系数为 0.8521,因此,在研究雷暴日数与云地闪电密度关系时,采用观测站点周围 18 km 范围内的年平均雷击大地次数,并求出该范围内的雷击大地年平均密度值。选取雷电监测定位系统理

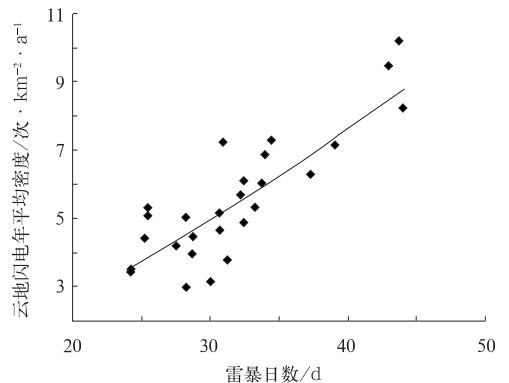


图 3 雷暴日数与云地闪电密度关系

Fig. 3 Relations of thunderstorm day and lightning density

论探测效率在 95% 以上的 28 个气象站的年平均雷暴日数和台站周围 18 km 范围内的雷击大地年平均密度值绘制图 3, 经统计计算, 拟合了幂函数曲线(图 3 所示), 其表达式为:

$$N_G = 0.029T_d^{1.5} \quad (2)$$

式(2)(简称拟合方程)中, N_G 为雷击大地的年平均密度, T_d 为年平均雷暴日数。相关系数 $R=0.7998$, 经拟合效果检验, $F=46.16$, 查 F 检验临界值表 $F_{0.01}=7.72$, $F>F_{0.01}$, 说明拟合的雷击大地年平均密度幂函数方程, 通过 $F_{0.01}$ 显著性水平检验。因此, 在雷电防护工程设计和雷击风险评估以及雷电灾害防御工作中, 可根据各地多年平均雷暴日数, 由式(2)计算出某一地区雷击大地年平均密度气候平均值。

2.3 雷击大地年平均密度对比分析

表 1 给出了有关气象台站 2007—2010 年平均

年雷暴日数和 2011 年年雷暴日数及其台站周围 18 km 范围内雷电监测网监测到的雷击大地年平均密度, 根据建筑物防雷设计规范 GB50057-94 给出的雷击大地年平均密度公式: $N_g = 0.024T_d^{1.3}$ (简称规范方程) 和拟合方程分别计算各相关台站雷击大地年平均密度及其相对误差。从表 1 可以看出, 各台站的拟合方程误差有大有小, 尤其是少数台站误差较大, 其原因是云地闪时空分布特征不仅受大气环流背景与天气系统的影响, 同时也与局地地形、水系分布和对流系统的不同发展阶段等因素密切相关^[13]。表 1 中 2007—2010 年平均相对误差数据说明, 用规范方程计算的雷击大地年平均密度相对误差平均高达 59.03%; 而用拟合方程计算的雷击大地年平均密度相对误差平均仅有 14.04%, 因此, 在计算某地雷击大地年平均密度时, 采用本文的拟合方程计算效果明显优于规范方程计算的效果。

表 1 2007—2010 年及 2011 年各台站雷击大地年平均密度对比

Table 1 Annual mean lightning density data from 2007 to 2010 versus the data in 2011 among all stations

台站	年雷暴日数/d		监测密度/次·km ⁻² ·a ⁻¹		拟合方程相对误差/%		规范方程相对误差/%	
	2007—2010 年	2011 年	2007—2010 年	2011 年	2007—2010 年	2011 年	2007—2010 年	2011 年
安陆	31	16	3.79	1.26	33.77	47.18	44.33	30.04
保康	28	23	2.96	2.40	46.96	33.56	37.50	40.96
长阳	39	22	7.16	3.11	1.40	3.78	60.75	57.09
大悟	30	16	3.14	1.44	51.91	29.34	36.31	38.52
当阳	34	20	6.87	2.87	16.30	9.72	65.79	58.96
鄂州	43	24	9.44	3.04	13.35	12.20	66.21	50.82
广水	29	18	3.95	0.72	13.16	207.16	52.15	42.60
汉川	25	12	4.43	3.34	16.93	63.85	63.88	81.80
洪湖	29	19	4.72	1.61	2.75	49.18	59.11	31.49
黄陂	33	19	5.34	4.76	4.12	49.53	57.30	76.82
黄石	44	30	10.21	5.58	17.83	14.63	68.07	64.22
嘉鱼	37	25	6.29	1.65	4.77	119.56	57.87	4.55
江夏	34	22	6.00	3.36	5.17	10.86	61.17	60.24
京山	28	13	5.02	3.82	13.35	64.44	63.15	82.38
南漳	24	16	3.42	2.12	1.17	12.41	55.85	58.37
潜江	24	11	3.50	4.79	1.14	77.93	56.86	88.69
天门	26	15	5.30	2.64	29.62	36.21	69.43	69.28
武汉	29	16	4.48	3.59	0.22	48.24	57.81	75.40
孝感	33	18	4.87	2.57	10.27	13.73	54.41	59.95
新洲	33	19	6.07	2.99	11.53	19.59	63.43	63.07
宜昌	44	25	8.21	5.45	3.05	33.43	59.93	71.06
远安	31	20	7.23	2.81	30.71	7.59	71.23	57.99
云梦	28	11	4.23	1.55	1.18	31.70	57.92	65.01
枝城	35	15	7.30	4.30	19.45	60.82	67.12	81.13
枝江	32	15	5.67	3.50	6.35	51.81	61.38	76.80
钟祥	31	15	5.16	1.32	4.26	28.12	60.08	38.31
仙桃	26	13	5.06	1.77	26.28	23.33	67.98	62.01
应城	31	14	4.65	1.28	6.24	18.50	55.70	42.15
平均	32	18	5.52	2.84	14.04	42.09	59.03	58.20

2.4 雷击大地年平均密度拟合方程检验

为检验拟合方程的实际应用效果,采用2011年各站年雷暴日数和雷电监测网监测到的雷击大地年平均密度,根据拟合方程和规范方程分别计算其雷击大地年平均密度,并计算拟合方程和规范方程的相对误差(见表1)。表1可知,采用拟合方程计算2011年的雷击大地年平均密度相对误差为42.09%,而采用规范方程计算的相对误差为58.20%,因此,经检验拟合方程计算效果明显优于规范方程计算的效果。从表1还可看出,拟合方程相对误差除广水、嘉鱼两站异常偏大外,其他各站相对误差一般比规范误差要小,若去掉两个异常站,拟合方程和规范方程相对误差分别为32.8%和60.9%。造成拟合方程相对误差较大,除局地地质条件影响外,主要原因是2011年是湖北地区近51年(1961—2011年)来,年平均雷暴日数最少的一年,湖北全省71个台站年平均雷暴日数为20天,比近51年的平均36天少44%以上。

3 结论与讨论

(1) 研究表明,在观测台站周围5~40 km范围内,年雷暴日数与雷击大地年平均密度密切相关,相关系数在0.7513~0.8521之间,通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验,峰值出现在台站周围18~20 km范围内,其中18 km范围内相关系数最大为0.8521;5 km范围内,相关系数最小为0.7513。

(2) 在观测台站周围18~20 km范围内,雷暴日数与雷击大地年平均密度相关系数最大,因此,可以认为观测人员只能听到观测站点周围18~20 km左右的雷声,在此距离范围以外的雷声就很难听到了。

(3) 经统计分析,平均年雷暴日数与雷击大地年平均密度关系式为: $N_G = 0.029T_d^{1.5}$,通过 $F_{0.01}$ 检验。通过对比分析表明,采用本文给出的和规范方程分别计算各站雷击大地年平均密度,前者的相

对误差为14.04%,而后者高达59.03%。通过2011年检验,拟合方程计算的雷击大地年平均密度相对误差明显小于规范方程计算的相对误差。说明采用本文拟合方程计算效果明显优于与规范方程计算效果。因此,在雷电防护工程设计和雷击风险评估以及雷电灾害防御工作中,可根据该关系式计算出某一地区雷击大地年平均密度气候平均值。

本文采用资料来源于湖北省境内,资料年限也只有4年,因此,本文的结论和雷击大地年平均密度方程是否具有代表性和广泛的使用性,需进一步探讨;另一方面,由于山区与平原地区下垫面差异显著,雷击大地有一定的选择性,因此,雷击大地年平均密度方程在山区与平原地区使用效果是否有一定差异,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 陈翔,彭丽霞,高文亮,等.洪泽湖地区强雷暴天气气候特征与雷达回波分析[J].气象,2011,37(9):1118-1125.
- [2] 林建,曲晓波.中国雷电事件的时空分布特征[J].气象,2008,34(11):22-30.
- [3] GB50057-94.建筑物防雷设计规范(2000年版)[M].北京:中国计划出版社,2001.
- [4] 梅卫群,江燕如.建筑防雷工程与设计(第二版)[M].北京:气象出版社,2006:104-105.
- [5] 张一平,王新敏,牛淑贞,等.河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析[J].气象,2010,36(2):54-61.
- [6] 马金福,冯志伟.雷击地闪密度与雷暴日数的关系分析[J].气象科学,2009,29(5):674-678.
- [7] 张日高,张良春,余建华.利用监测与人工观测数据计算的雷击大地密度比较[J].气象与减灾研究,2010,33(3):66-68.
- [8] 刘园园,庞文静,陈瑶.武汉市雷电分布特征及雷暴日资料的对比分析[J].气象水文海洋仪器,2010,27(1):43-46.
- [9] 王学良,刘学春,黄小彦,等.湖北地区云地闪电时空分布特征分析[J].气象,2010,36(10):91-96.
- [10] 苏帮礼,崔秉球,吴望平,等.雷电与避雷工程[M].广州:中山大学出版社,1996:23-24.
- [11] 陈渭民.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2003:273-274.
- [12] 丁士晟.多元分析方法及其应用[M].长春:吉林人民出版社,1981.
- [13] 王颖,郑永光,寿绍文.2007年夏季长江流域及周边地区地闪时空分布及其天气学意义[J].气象,2009,35(10):58-70.