

吴量,向清才,陆华静. 基于闪电数据的雷击建筑物物理损害概率研究[J]. 陕西气象,2019(1):37-40.
文章编号:1006-4354(2019)01-0037-04

基于闪电数据的雷击建筑物物理损害概率研究

吴 量¹,向清才²,陆华静¹

(1. 河池市气象局,广西河池 547000;2. 都安县气象局,广西都安 530700)

摘 要:采用 IEEE(institute of electrical and electronics engineers,美国电气和电子工程师协会)提供的公式对河池市 2010 年 1 月—2017 年 12 月的闪电数据进行雷电流累积频率拟合,结合电气-几何模型(EGM)建立了与建筑物、接闪器特性参数有关的雷击建筑物物理损害概率(P_B)计算公式,将此公式用于计算建筑物 P_B 值,结果比国际电工委员会提出的评估标准 IEC 62305 推荐的参考值更具准确性。利用该方法对河池市 P_B 进行了区划,为防雷技术评价提供了可靠参考。

关键词:雷击;建筑物;累积频率;电气-几何模型;物理损害概率;风险区划

中图分类号:P483 **文献标识码:**A

当雷电击中建筑物时,强大的电流、炙热的高温会导致建筑的物理性损害,为有效地防御和减轻灾害的发生,已有一些学者根据各地雷电活动情况开展了雷击建筑物物理损害概率研究,彭国平等^[1]利用建筑物附近一定范围内的雷电监测网资料,基于统计得到雷电流概率分布函数,计算得到雷击建筑物物理损害概率(P_B)。李家启^[2]基于重庆地区的闪电定位系统监测地闪资料,采

用 IEEE 工作组推荐的雷电流幅值累积概率公式实现对该地区的雷击建筑物绕击率区划。当前开展的研究虽然已经考虑雷击电流特性对 P_B 的影响^[3-4],但是未将建筑物、接闪器的特性纳入计算中,鉴于之前研究工作的局限性,基于河池市 2010 年 1 月—2017 年 12 月闪电监测数据,利用雷电击中建筑物的 EGM 模型^[5-6],计算得到适合当地的针对不同接闪器、建筑物的 P_B 值,以期有所

收稿日期:2018-05-18
作者简介:吴量(1983—),女,仫佬族,广西宜州人,硕士,工程师,从事雷电防护技术服务研究。
基金项目:河池市气象局课题项目(河池市雷电灾害风险区划 201701)

[5] 封志明,唐焰,杨艳昭,等. 基于 GIS 的中国人居住环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报,2008,63(12):1327-1336.

[6] 徐军昶,王永丽,王菁,等. 陕西人居环境气候适宜度评价及人口分布[J]. 陕西气象,2009(1):9-13.

[7] 郝慧梅,任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性测评[J]. 地理学报,2009,64(6):498-506.

[8] 陈雪,孙小明,赵昕奕,等. 近三十年北京地区人居环境舒适度变化研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,22(1):71-76.

[9] 曹伟宏,王淑新. 京津冀地区城市人居环境气候舒适性评价[J]. 冰川冻土,2017,39(2):435-442.

[10] OLIVER J E. Climate and Man's Environment:an introduction to applied climatology [M]. New York:John Wiley & Sons Inc, 1973:195-206.

[11] 马丽君,孙根年,谢越法,等. 50 年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析[J]. 资源科学,2010,32(10):1963-1970.

[12] 冯粉粉,温家洪,王慧敏. 基于 GIS 的华东地区旅游气候舒适度分析[J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2012,41(2):196-202.

[13] 徐大海,朱蓉. 人对温度、湿度、风速的感觉与着衣指数的分析研究[J]. 应用气象学报,2000,11(4):430-439.

[14] 黄海智,黄萍. 三亚市旅游气候舒适度评价[J]. 气象研究与应用,2010,31(4):70-78.

辖区域的雷电防护业务提供参考。

1 雷电击中建筑物的 EGM 模型

EGM 模型是根据击距法进行计算的。所谓击距,就是雷云对地面上的建筑物发生雷击之前,由雷云向地面发展的雷电流先导头至建筑物雷击点之间的距离。图 1 中, H 为被保护建筑物高度, H_2 为安装在建筑物上的接闪器高度, d 为接闪装置与建筑物需保护范围边缘的距离, CE 弧、 EF 弧为分别以 B 、 A 为圆心,击距 R 为半径的圆弧。 CD 为离地面高度为 H 的直线,当雷电流先导沿路径①侵入圆弧 EF 时,闪电将击中接闪器 A ;当雷电流先导沿路径②侵入圆弧 CE 时,闪电将击中建筑物;当雷电流先导沿路径③侵入圆弧 CD 时,闪电将击中地面或地面物体。当击距 R 增大, EF 弧将变大, CD 位置越来越高, CE 弧将变小。当 R 增大到某个临界值 R_m 时(图 2), CE 弧将变为一个点 K ,此时 E 点、 C 点和 K 点重合。

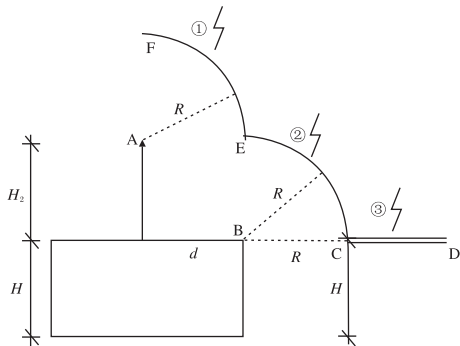


图 1 EGM 模型

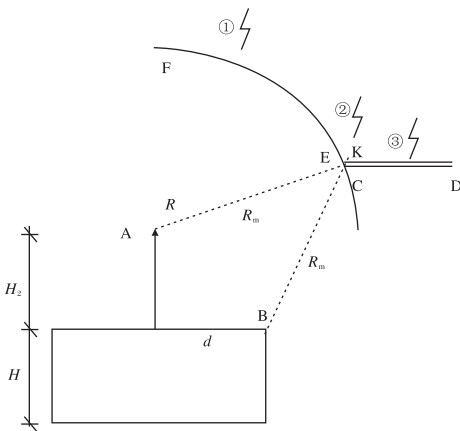


图 2 极端情况下的 EGM 模型

由图 2 中的几何关系可以得到^[1]

$$R_m = \frac{(2H + H_2) + 2\sqrt{H^2 + HH_2} \sin[\arctg(d/H_2)]}{2\cos^2[\arctg(d/H_2)]} \quad (1)$$

将得到极端情况下的 R_m 表达式(1) 带入到击距与雷电流幅值的关系公式^[2] 中

$$R = 10I^{0.65}, \quad (2)$$

R 为击距(m), I 为雷电流幅值(kA)。得到有可能击中建筑物的雷电流 I_m 与建筑物、接闪器特性参数 H 、 H_2 、 d 的关系为

$$I_m = \left[\frac{(2H + H_2) + 2\sqrt{H^2 + HH_2} \sin[\arctg(d/H_2)]}{20\cos^2[\arctg(d/H_2)]} \right]^{1.54} \quad (3)$$

2 雷电流幅值累积概率分布

国内外使用的雷电流幅值累积概率分布表达式不同^[7], 其中美国电气与电子工程师协会(Institute of electrical and electronics engineers, IEEE)1243 号标准(1997 年)^[8] 推荐的雷电流累积频率分布计算式应用较为广泛,即

$$P = \frac{1}{1 + (\frac{I}{a})^b} \quad (4)$$

式中, $I \in (2, 200)$ kA, P 为大于某一雷电流幅值的累积频率(%), a 为中值电流,即雷电流幅值大于 a 的频率为 50%; $b(b > 1)$ 为雷电流幅值累积频率曲线拟合指数,体现曲线变化程度,相当于曲线斜率的绝对值, b 值越大表示幅值频率曲线下下降程度越快、电流幅值集中性越强^[7]。

采用 IEEE 推荐的公式对河池市地闪监测资料的雷电流幅值 $I \in (2, 200)$ kA 进行拟合,得到雷电流幅值累积概率表达式

$$P = \frac{1}{1 + (\frac{I}{39.495})^{4.899}}, \quad (5)$$

拟合相似度为 0.998。

3 P_B 计算

将 I_m 表达式代入公式(5) 中,即可得到雷电流 $I > I_m$ 的发生概率

$$P_m = \frac{1}{1 + \left[\frac{(2H + H_2) + 2\sqrt{H^2 + HH_2} \sin[\arctg(d/H_2)]}{217.64 \cos^2[\arctg(d/H_2)]} \right]^{7.544}}$$

(6)

根据 EGM 理论,小于 I_m 的雷电流有可能绕过防雷装置击中建筑物。 P_m 为雷电流大于 I_m 的概率,则 $1 - P_m$ 为雷电流小于 I_m 的概率 P_B 。根据以上分析,得到雷击建筑物物理损害概率与建筑物、接闪器特性参数 H 、 H_2 、 d 的关系

$$P_B = 1 - P_m = 1 - \frac{1}{1 + \left[\frac{(2H + H_2) + 2\sqrt{H^2 + HH_2} \sin[\arctg(d/H_2)]}{217.64 \cos^2[\arctg(d/H_2)]} \right]^{7.544}}$$

(7)

假设接闪装置与建筑物需保护范围边缘距离 d 为 5 m。根据以上公式,绘制雷击建筑物物理损害概率 P_B 与建筑物、接闪器特性参数 H 、 H_2 、 d 的关系如图 3 所示。由图 3 可知,在 d 为某一固定值时, P_B 是随 H 和 H_2 呈非线性变化的;当 d 、 H_2 为某一固定值时, P_B 随 H 增加而明显增大;当 d 、 H 为某一固定值时, P_B 随 H_2 增加并没有明显变化。

将 P_B 计算公式应用到河池市一些新建建筑物的雷击风险参数评估中(表 1)发现,EGM 算法

的 P_B 值与国际电工委员会提出的评估标准 IEC 62305 推荐的参考值并不相同。究其原因,EGM 算法的 P_B 结果是根据建筑物、接闪器的特性计算接闪装置能够保护的最小雷电流幅值,然后由实测的闪电数据拟合得到雷电流幅值累积概率分布,最后计算小于最小雷电流幅值的雷电流概率值。而 IEC 标准对最小雷电流幅值的取值是依据建筑物的雷电防护等级 LPL(分为 I、II、III、IV 四个等级),雷电流幅值累积概率是根据 CIGRE(国际大电网会议)报告获得的雷电流参数值计算得到^[9],因此 IEC 62305 推荐的 P_B 是按照建筑物的雷电防护等级而取值,两种方法相比较使用 EGM 算法计算得到的 P_B 更具有准确性。

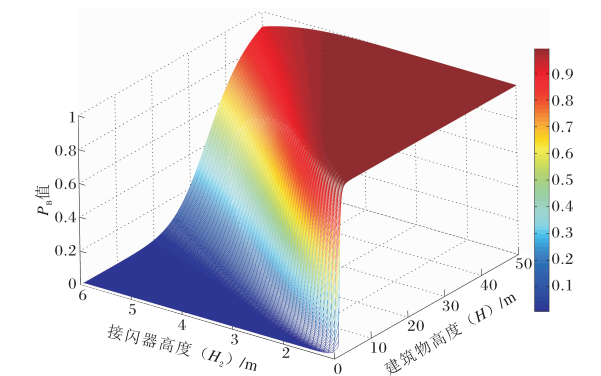


图 3 P_B 值与建筑物、接闪器高度关系($d = 5\text{ m}$)

表 1 河池市新建建筑物使用 EGM 算法得到 P_B 与 IEC 62305 推荐 P_B 比较						
建筑物	防雷装置保护 级别(LPL)	建筑物高度 H/m	接闪器高度 H_2/m	接闪装置与建筑 物需保护范围边 缘距离 d/m	P_B (EGM)	P_B (IEC 62305)
幸福嘉园 2# 楼	II	103.8	2.05	1.0	0.983	0.05
幸福嘉园 5# 楼	II	78.0	2.05	1.0	0.874	0.05
中国联通河池通信生产楼	III	23.1	2.05	1.0	0.001	0.10
公安局业务技术用房	III	37.2	2.05	1.0	0.028	0.10

注:接闪器高度为屋面女儿墙高度(1.5 m)、接闪杆长度(0.4 m)及支撑架高度(0.15 m)之和

4 基于 EGM 模型的雷击建筑物物理损害概率区划

由以上分析可知,在建筑物、接闪器特性参数相同情况下,雷电流幅值累积概率分布是影响参数 P_B 准确性的重要因素。将河池市按 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 间隔分成 29×23 个网格进行雷电流幅值累积概率分析,将建筑物、接闪器特性参数 H 、 H_2 、 d 带

入 P_B 计算公式,基于 GIS 软件的克里金插值方法^[10]得到 P_B 区划结果(图 4)。从图 4 可以看出,河池市雷击建筑物物理损害概率总体呈现东南向西北逐渐减小的趋势,其中罗城、宜州、都安和大化 4 县大部分的 $P_B > 0.891$,该区域内涉及建筑物的防雷设计、施工均应注意提高防护措施。此

外,在环江、金城江、凤山等县的部分地区 P_B 也为高值区,也应提高相应的防护技术措施,保障建筑防雷安全。

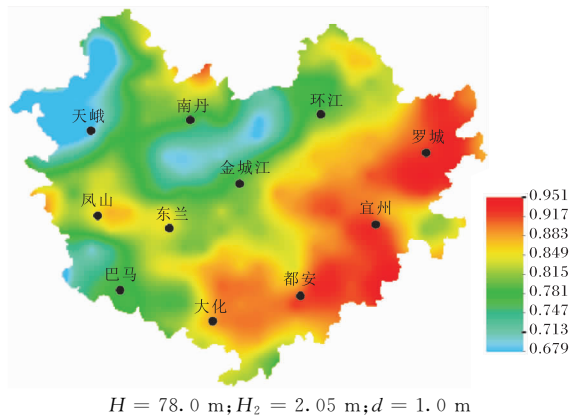


图4 河池市雷击建筑物物理损害概率区划

为了进一步探究在建筑物、接闪器特性参数相同情况下,雷电流幅值对 P_B 分布的影响,对河池市 29×23 个格点中的雷电流幅值按每隔 10 kA 统计该幅值区间的闪电频次占总闪频次的比值,结果得到 10 ~ 40 kA 强度闪电频次分布与 P_B 分布呈明显正相关(图 5),相关系数为 0.96,即由于 10 ~ 40 kA 强度闪电多发生在罗城、宜州、都安和大化,以及环江、金城江、凤山等县的部分地区,因此造成该地区的 P_B 为高值。

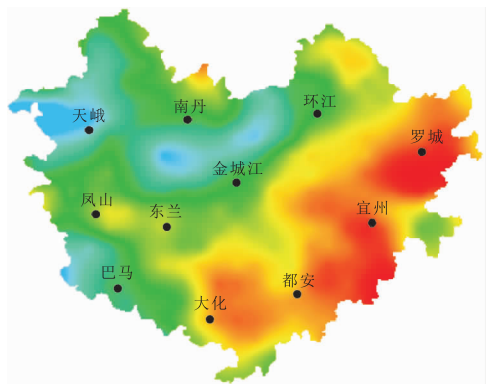


图5 河池市 10 ~ 40 kA 强度闪电
占总闪频次比值分布

5 结论

基于河池市闪电定位资料,利用雷电击中建筑物的 EGM 模型,对雷击建筑物物理损害概率 (P_B) 与建筑物、接闪器特性关系进行分析,得到如下结论。

(1) 当接闪装置与建筑物需保护范围边缘距

离为某一固定值时, P_B 随建筑物高度和接闪器高度变化呈非线性变化;当接闪装置与建筑物需保护范围边缘距离、接闪器高度为某一固定值时, P_B 随建筑物高度增加而明显增大;当接闪装置与建筑物需保护范围边缘距离、建筑物高度为某一固定值时, P_B 随接闪器高度增加并没有明显变化。因此,基于 EGM 模型计算得到的 P_B 更具有科学、准确性,能够更严格的估计雷电灾害的危险程度。

(2) 在建筑物、接闪器特性参数相同的情况下,河池市雷击建筑物物理损害概率呈现东南向西北逐渐减小的趋势,这与 10 ~ 40 kA 强度闪电多发生在东南部有关, P_B 大值区域应提高相应的防雷技术措施。

参考文献:

- [1] 彭国平,黄克俭,胡双伟,等. 雷击风险评估中损害概率 P_B 和 PSPD 参数的计算分析[J]. 气象科技, 2015,43(5):964-968.
- [2] 李家启. 基于闪电定位系统的雷击建筑物绕击率分析与区划[J]. 气象科技,2013,41(2):412-416.
- [3] 吴清,张丹丹,梁亚峰,等. 海南省雷电流幅值概率分布研究[J]. 陕西气象,2015(4):24-27.
- [4] 吴量,陈洁,陆庆. 基于河池市闪电数据幅值的质量控制及累积频率公式分析[J]. 陕西气象,2016(3):17-22.
- [5] 黄文武,江健武,钟建灵,等. 几种避雷线屏蔽性能分析模型的计算探讨[J]. 高电压技术,2006,32(11):119-122.
- [6] 杨天琦,张欣,韩照全,等. 基于电气-几何理论的建筑物受雷击致物理损害概率计算[J]. 气象科技, 2015,43(4):759-763.
- [7] 陈家宏,童雪芳,谷山强,等. 雷电定位系统测量的雷电流幅值分布特征[J]. 高电压技术,2008,34(9):1893-1897.
- [8] IEEE Std 1243—1997. IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines[S].
- [9] 冯鹤. 雷电灾害风险评估中 P_B 因子选取方法的分析及改进[J]. 中国农学通报,2015,31(23):189-193.
- [10] 刘三梅,吕海勇,陈绍东,等. 广东省雷电风险区划研究[J]. 资源科学,2014,36(11):2337-2344.