

文章编号:1673-8411 (2018) 02-0117-05

肇庆市伴月湖社区体育公园雷击风险的分析与计算

麦冠华, 陈 强
(广东省肇庆市气象局, 广东 肇庆 526060)

摘 要:根据雷暴数据统计资料和雷电风险评价闪电定位资料,采用统计分析和相关雷电防护标准,对肇庆市伴月湖社区体育公园雷击风险进行了定性分析与定量计算。结果表明:伴月湖社区体育公园区域 7 月雷电闪击的概率最多,19:00 出现的闪电频数最高,雷电流最大值为 117.5kA,3km 范围内地闪密度值 Ng 为 14.84 次/(km²·a)。人员处于无雷电防御设施的封闭建筑物、敞开构筑物内,风险分量总和低于风险容许值 1×10⁻⁵;大树底下、露天场所风险分量总值高于风险容许值 1×10⁻⁵,是公园雷击人身伤亡的主要区域。按照相应类别采取防雷措施后,封闭建筑物区和敞开构筑物区风险分量 R_A 各降低了 99%。人员及时进入防雷设施合格的建筑物内,风险分量可降为 0。
关键词:雷电防御;雷击风险;城市公园;肇庆
中图分类号:P446 **文献标识码:**A

Analysis and calculation of lightning risk in Zhaoqing
Banyue Lake Community Sports Park
Mai Guanhua, Chen Qiang
(Zhaoqing Meteorological Bureau, Zhaoqing Guangdong 526060)

Abstract: Based on the statistical data of thunderstorm and lightning location data of lightning risk assessment, this paper used statistical analysis and related lightning protection standards to make a qualitative analysis and quantitative calculation on the lightning strike risk of the Banyue Lake Community Sports Park in Zhaoqing. The results showed that the probability of lightning flashing in July was the most,the lightning frequency at 7 pm was the highest,the maximum value of lightning current was 117.5 kA, and the value of flash density in the 3 km range (Ng) was 14.84 time / (km² ·year) . In the closed buildings and open structures without lightning protection facilities, the total risk components were lower than the risk allowable values of 1 × 10⁻⁵, the risk components under trees and open air places were higher than the risk admissible values of 1 × 10⁻⁵, which were the main areas for personal injury in the park.After taking lightning protection measures according to the corresponding categories, the risk component (R_A) of enclosed building areas and open structures decreased by 99%. What is more, when a person enters a building qualified for lightning protection in time, the risk component can be reduced to 0.
Keywords: lightning protection; lightning risk; urban community sports park; Zhaoqing

1 引言

随着城市化发展进程加快,人口高度密集,城市追求的生态、景观、艺术、功能的品质和城市居民的生活质量都越来越高,城市体育公园的出现,是城市居民追求更高层次的生活质量的必然趋势。城市体

育公园可实现生态、景观、游憩、文化、运动 5 大功能。肇庆市伴月湖社区体育公园作为肇庆市新建的社区体育公园,集丰富的自然景观、体育活动和生态健身为一体的主题公园,既突出体育公园的特色,又将运动休闲融于独特的环境景观之中^[1]。然而,该公园位于空旷、山水相接地带,很容易受到雷电的侵

收稿日期:2017-10-15
作者简介:麦冠华(1976-),男,工程师,主要从事防雷执法、人事管理等工作。

害^[2,3],直接危害游人的人身安全。美国国家气候数据中心“雷暴资料”统计了 1959—1996 年美国不同场所的雷击受伤和死亡人数,其中旷野、棒球场、公园受伤和死亡人数各占 28%;大树底下受伤和死亡人数分别占 13%和 18%;划船、钓鱼、水域等场合受伤和死亡人数分别占 5%和 12%^[4]。以上统计数据表明城市公园雷击人身伤亡风险防护的重要性和迫切性。

2 肇庆市伴月湖社区体育公园雷击风险的分析与计算

2.1 资料与方法

伴月湖社区体育公园位处肇庆市区中心,占地面积 42hm²,其湖水面积 4hm²,园内山水相依、林泉交错,自然环境优越。本文选取伴月湖社区公园所在区域(23°19'4"N,112°23'53"E),利用肇庆市 1957~2008 年雷暴数据统计资料、2001~2011 年广东省雷电风险评价闪电定位资料,分析该区域雷暴强度、雷电密度、雷电闪击频数等雷暴特征参数。通过现场勘测土壤特性参数、建筑物参数,结合雷电灾害风险评估方程式 $R_x = N_x \times P_x \times L_x$ ^[5], R_x 为雷击风险, N_x 为雷击次数, P_x 为雷击概率, L_x 为雷击损失。计算未采取雷电防御措施和采取防雷措施后雷击对人员可能造成的人身伤亡风险,进而提出相关防雷措施。

2.2 伴月湖社区体育公园雷电活动特征

本项目中雷电资料取自广东省雷电监测网,以伴月湖社区体育公园的地理参数为基准点,以 3km 为半径,提取近 10 年地闪资料,进行统计分析得出如下结论,作为雷电灾害风险评估的基础参数之一。下面对广东省雷电监测网监测到的伴月湖社区体育公园所在区域(3km 范围内)地闪活动近 10a 数据进行分析^[1,2]。

2.2.1 地闪密度

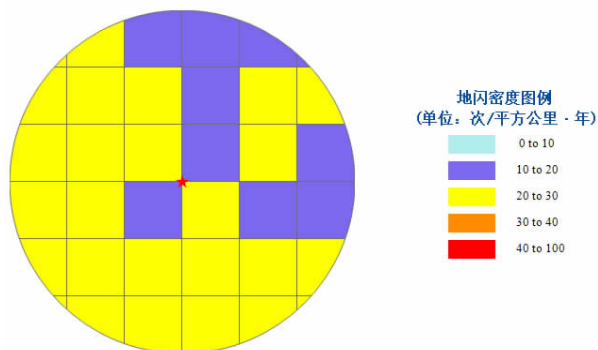


图 1 伴月湖社区体育公园(3km)区域地闪密度分布图

根据图 1 得出伴月湖社区体育公园所在点及其周围 10 个格点的近 10a 平均地闪密度,乘以校正系数后的平均值为 14.84 次/a/km²,作为本评估项目所采用的地闪密度。

2.2.2 项目区域雷电流幅值累计概率分布图(10a 资料)及分析

根据伴月湖社区体育公园工程中心位置地理参数,以该点为圆心,以 3km 为半径作圆,统计广东省雷电监测网近 10a 地闪数据,分别计算出雷击电流平均值和最大值,以及 99%、98%、95%、90%雷电流累积概率分布情况。可以得出伴月湖社区体育公园(3km 半径)区域范围内近 10a 雷电流幅值^[1,2]:

1%→117.5kA;2%→89.1kA;5%→63.2kA;10%→46.8kA

99%→117.5kA,即雷电流幅值大于 117.5kA 的地闪概率为 1%;

98%→89.1kA,即雷电流幅值大于 80kA 的地闪概率为 2%;

95%→63.2kA,即雷电流幅值大于 62.5kA 的地闪概率为 5%;

90%→49.4kA,即雷电流幅值大于 49.2kA 的地闪概率为 10%。

1%:≥117.5kA,

雷电流幅值的平均值:21.4kA。

从统计结果可以看出,大部分雷电流幅值都在 117.5kA 以下,只有极少数的雷电流幅值超过 117.5kA,且概率极低。对于伴月湖社区体育公园防雷保护而言,从经济合理且方便选择参数的角度考虑,选择最大雷电流幅值为 117.5kA 是可行的。

综合以上气象雷暴数据分析结果,对于伴月湖社区体育公园雷电灾害风险评估和防雷保护而言,取以下气象雷暴参数值是科学合理的:

$N_g = 14.84$ 次/a/km²; 最大雷电流幅值 $I_0 = 117.5kA$ 。

2.2.3 伴月湖社区体育公园(3KM 半径)区域地闪月均分布规律

图 2 是根据伴月湖社区体育公园所在区域 3km 半径范围内近 10a 地闪雷电数据绘制的月均分布图,依据该图得出地闪月均活动规律:该区域 7 月份雷电活动最为强烈,10 月份至次年 3 月份基本上没有地闪发生;4 月份开始进入雷暴期,5 月份雷电活动明显加强,进入 9 月份雷电活动明显减弱^[1,2]。

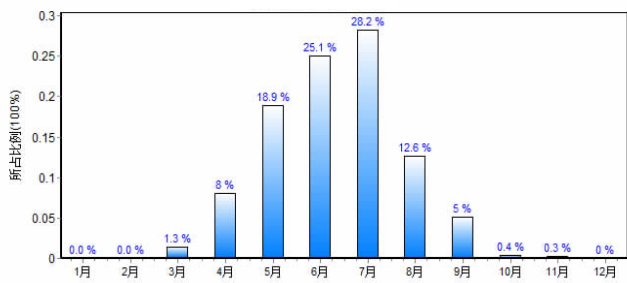


图2 伴月湖社区体育公园工程(3km 半径)区域地闪活动月均分布图

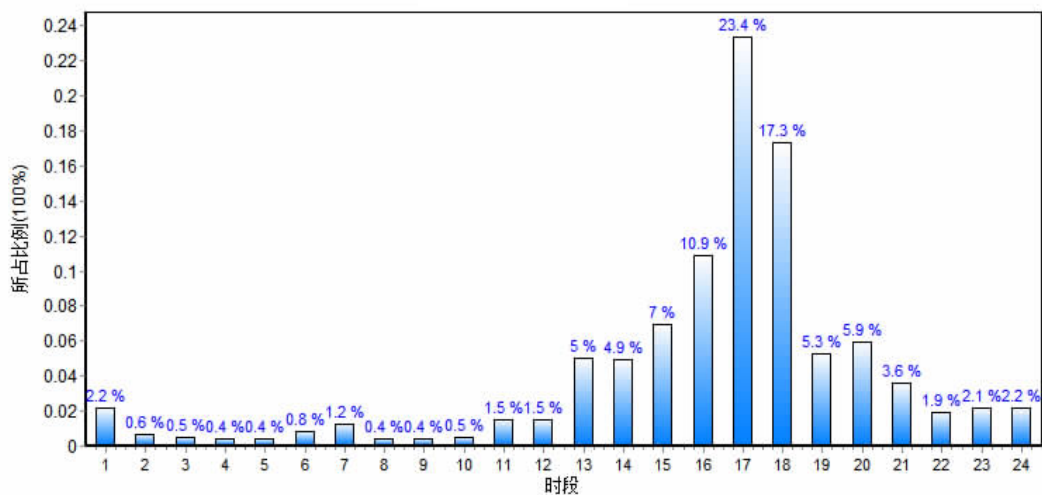


图3 伴月湖社区体育公园工程(3km 半径)区域地闪活动时段分布图

2.3 伴月湖社区公园雷击风险分析

雷电致公园内人身伤亡的发生主要由以下4方面引起^[4]:

(1) 游人对雷电防护知识的缺乏或不及时关注天气预警信息, 雷雨天气时仍在公园内停留遭受直接雷击, 或者防护方法不正确, 受到接触电压、跨步电压、旁侧闪络的危害;

(2) 公园面积大, 进行综合防雷设计和施工的成本较大, 因此极少对整个园区进行综合防雷考虑;

(3) 公园选址时, 重点考虑的是自然环境、人口密度因素及城市规划需求, 强调拥山滨水, 为此, 从规划设计开始就是跟高概率的雷击挂上了钩;

(4) 公园属于松散型管理模式, 没有对雷电等自然灾害预警信息及时接收和传递的系统, 也缺乏雷雨来临之际提前对人员疏散、临时封闭、呼吁进入雷电避灾场所等应急措施。

直接雷击包括雷电直击公园内建(构)筑物、大树和人体。该公园位于空旷地带, 人员多为邻里型休憩活动的居民, 第1个游人高峰期为06:00左右,

2.2.4 区域地闪时段分布

伴月湖社区体育公园(3km 半径)区域地闪时段分布规律地闪数据绘制的时分布图(图3), 依据该图得出地闪日均活动规律: 该地域地闪主要活跃在14时-24时, 80%以上的地闪发生在这个时段; 午后15时-20时为地闪高发时段, 70%以上的地闪发生在这个时段, 其中19时段雷电活动最为强烈; 凌晨1时-次日13时段地闪相对较少, 约15%的地闪发生在这个时段^[1,2]。

第2个高峰期为19:30以后^[4], 而肇庆市各个时段都有雷暴发生^[5]。当雷电来临时, 因公园内无建筑物或建筑物较少, 人员无法在较短时间内到达安全的场所, 从而引发直接雷击人身伤亡事故。雷电直击建(构)筑物主要由接触电压、跨步电压引起的人身伤亡。旁侧闪络是指雷电直接击中公园内的大树, 大树带高电位, 从而向它附近的人闪击放电, 造成人身伤亡, 当人在距被雷击中的大树很近时, 闪电击穿空气间隙对人体进行放电, 假设雷电先导对大树的分布电容 $C1 = 0.15F$, 大树对地的分布电容 $C2 = 1.5F$, 雷电先导对地电压 $U1 = 1000KV$, 利用公式 $U2 = U1 \cdot C1 / (C1 + C2)$ 计算旁侧闪络电压 $U2 = 90KV$ 。

接触电压是指雷电直接击中公园内的大树, 人员会由于接触大树而受到接触雷击。假设人手扶树干在大树下避雨, 雷电击中大树, 雷电流 $i = 40KA$, 人手接触点离地高度 $h = 1.5m$, 树干电阻 $R = 500\Omega$, 单位长度电感 $L0 = 2\mu H/m$, 利用公式 $U = UR + UL = iR + L0 \cdot h \cdot di/dt$ 计算人手接触树干后可能的接触电压为20012KV。

跨步电压是指雷电直接击中公园内的大树,由于土壤散流电阻的存在,雷电流将在周围土壤中产生压降,如果人站在这块具有不均匀电位分布的地面上,则在人的两脚之间就存在着一定的电位差,这个电位差称为跨步电压。当跨步电压大到超过人体的承受能力时,便足以使人受到电击甚至死亡。假设雷电流幅值 $i=40\text{KA}$,土壤电阻率 $\rho=150\Omega\text{m}$,跨步长度 $s=0.8\text{m}$,雷击点与靠近一脚的距离 $d=2\text{m}$,利用公式 $u=i\rho/2\pi\times s/d(d+s)$ 计算出来的跨步电压为 $133.7\text{kV}^{[6,7]}$ 。

2.4 伴月湖社区体育公园雷击风险计算

把伴月湖社区公园分为 4 个区,分别为 Z1 区(封闭建筑物)、Z2 区(敞开构筑物)、Z3 区(大树底下)和 Z4 区(露天场所)。采用雷电灾害风险评估方程式 $R_x=N_x\times P_x\times L_x^{[3]}$,选取好相关的参数,如 N_x 、 P_x 、 L_x 和 C_d , (见表 1、表 2、表 3、表 4)计算各区域未采取雷电防御措施的风险分量(如表 5),再计算采取防御措施后的风险分量(如表 6),并对前后风险分量进行比较分析^[8-10]。

2.4.1 未采取雷电防御措施产生的风险分量

Z₁ 区主要考虑的风险分量为雷电直击建筑物通过接触电压、跨步电压产生的风险分量 R_A 。公园内有一封闭建筑物长 33 m、宽 13 m、高 15.6m,实测土壤电阻率 $\rho=120\Omega\text{m}$,3 km 范围内地闪密度值 $N_g=14.84\text{次}/(\text{km}^2\cdot\text{年})$, $A_d=LW+6H(L+W)+9\pi(H)^2=$

11093.1m^2 , $C_d=1$ 得出危险事件次数 $N_D=N_gA_dC_d10^{-6}=0.16\text{次}/\text{年}$, $P_A=1$, $L_A=r_a\times L_t=10^{-2}\times 10^{-4}=10^{-6}$, $R_A=N_D\times P_A\times L_A=0.016\times 10^{-5}$ 。经计算,该建筑物为三类防雷建筑物^[6,7]。

Z₂ 区位于 LPZ0_B 区,主要考虑的风险分量为雷电直击构筑物通过接触电压、跨步电压产生的风险分量 R_A 、人员可能遭到小于滚球半径所对应的雷电流的直接雷击产生的风险分量 R_D , 概率为 11.23%。公园内有一敞开构筑物长 5m、宽 5m、高 4.3m,构筑物危险事件次数 $N_D=0.01\text{次}/\text{年}$ 。 $P_A=1$, $L_A=10^{-6}$, $R_A=0.001\times 10^{-5}$; $P_D=1$, $L_D=10^{-4}$, $R_D=0.1\times 10^{-5}\times 11.23\%=0.011\times 10^{-5}$ 。经计算,该建筑物为三类防雷建筑物。

Z₃ 区主要考虑的风险分量为雷电直击大树通过接触电压、跨步电压引起的风险分量 R_A 、因旁侧闪络引起的风险分量 $R_B^{[9]}$ 。公园内一大树长 10m、宽 10 m、高 15 m,危险事件次数 $N_D=0.12\text{次}/\text{a}$ 。 $P_A=1$, $L_A=10^{-4}$, $R_A=1.2\times 10^{-5}$; $P_B=1$, $L_B=10^{-5}$, $R_B=0.12\times 10^{-5}$ 。

Z₄ 区主要考虑的风险分量为直接雷击人体引起的风险分量 R_D 。该公园占地面积为 $4.2\times 10^5\text{m}^2$,可能受到危害的人员数量为 100 人,正常情况下暴露人口数为 10000 人,可能受害人员每年处于危险场所的时间为 6120 h。 $L_t=n_p/n_t\times t_p/8760=(100/10000)\times (6120/8760)=0.007$, $N_g=14.84\text{次}/(\text{km}^2\cdot\text{年})$, $A_d=4.2\times 10^5\text{m}^2$, $C_d=0.5$,危险事件次数 $N_D=N_gA_dC_d10^{-6}=3.12\text{次}/\text{年}$ 。 $P_D=1$, $L_D=r_a\times L_t=0.007\times 10^{-2}$, $R_D=21.8\times 10^{-5}$ 。

表 1 雷击产生的接触和跨步电压导致生物触电的根率 P_A 的数值

保护措施	P_A
无保护措施	1
暴露引下线和电气绝缘(例如,最少3mm厚的交联聚乙烯)	10^{-2}
有效的大地等电位连接	10^{-2}
警示牌	10^{-1}

表 2 取决于减少物理损害的保护措施的 P_B 的数值

建筑物特性	LPS 的类别	P_B
没有 LPS 保护的建筑物	—	1
	Ⅳ	2×10^{-1}
受到 LPS 保护的建筑物	Ⅲ	10^{-1}
	Ⅱ	5×10^{-2}
	Ⅰ	2×10^{-2}
具有符合 LPS Ⅰ 要求的接闪器以及作为自然引下线的连续金属框架或钢筋混凝土框架的建筑物		10^{-2}
具有金属屋顶或可能包含自然部件的接闪器,所有的屋面装置都有完善的直击雷防护和具有作为自然引下线的连续金属框架或钢筋混凝土框架的建筑物		10^{-3}

表 3 L_t, L_f 和 L_o 的典型平均值

建筑物的类型	L_t
人员处于建筑物内	10^{-4}
人员处于建筑物外	10^{-2}

表 4 土壤或地板表面类型与缩减因子 r_a 和 r_u 的数值关系

表面类型	接触电阻 ($k\Omega$) ^①	r_a 和 r_u
土地, 混凝土	≤ 1	10^{-2}
大理石, 陶瓷	1-10	10^{-3}
沙砾, 毛毯, 地毯	10-100	10^{-4}
沥青, 油毡, 木头	≥ 100	10^{-5}

注:1)是指和 400cm² 电极在加 500N 压力时与无穷远点之间测量到的数值

表 5 未采取雷电防御措施各区域风险值 $\times 10^{-5}$

区域	直接 击人	直接击建(构)筑物、大树			合计
		接触电压	跨步电压	旁侧闪络	
Z1	—	0.016	0.016	—	0.032
Z2	0.011	0.001	0.001	—	0.013
Z3	—	1.200	1.200	0.120	2.520
Z4	21.800	—	—	—	21.800

从表 5 可知, 人员处于无雷电防御设施的封闭建筑物、敞开构筑物内, 风险分量总和低于风险容许值 1×10^{-5} ; 大树底下、露天场所风险分量总值高于风险容许值 1×10^{-5} , 是公园雷击人身伤亡的主要区域。

2.4.2 采取雷电防御措施后产生的风险分量

Z_1 区按照第 3 类防雷建筑物采取防雷措施, P_A 值由 1 减小为 10^{-2} , $R_A = 0.00111\times 10^{-5}$; Z_2 区按照第 3 类防雷建筑物采取防雷措施, P_A 值由 1 减小为 10^{-2} , $R_A = 0.00002\times 10^{-5}$; 人员及时进入防雷设施合格的建筑物内, P_D 值由 1 减小为 0, $R_D = 0$ 。 Z_3 、 Z_4 区, 雷电来临时, 公园内人员如果能及时进入防雷设施合格的建筑物, 受到雷电直击、旁侧闪络、跨步电压、接触电压的可能性可降为 0。

由表 2 可知, Z_1 区按照第 3 类防雷建筑物采取防雷措施, 风险分量 R_A 降低了 99%。 Z_2 区按照第 3

表 6 采取雷电防御措施后各区域风险值 $\times 10^{-5}$

区域	直接 击人	直接击建(构)筑物、大树			合计
		接触电压	跨步电压	旁侧闪络	
Z1	—	0.00016	0.00016	—	0.00022
Z2	0	0.00001	0.00001	—	0.00002
Z3	—	0	0	0	0
Z4	0	—	—	—	0

类防雷建筑物采取防雷措施, 风险分量 R_A 降低了 99%; 人员及时进入防雷设施合格的建筑物内, 风险分量 R_D 可降为 0。 Z_3 、 Z_4 区, 人员及时进入防雷设施合格的建筑物内, 风险分量 R_A 、 R_B 、 R_D 可降为 0。

3 结论

(1) 伴月湖社区公园区域雷暴的发生主要集中在 4~9 月, 7 月雷电闪击的概率最多, 达到 28.2%。闪电活动主要集中在 14:00—24:00, 其中 19:00 出现的频数最高。雷电流最大值为 117.5KA, 平均值为 21.4KA。3km 范围内地闪密度值 N_g 为 14.84 次/($km^2\cdot a$)。

(2) 人员处于无雷电防御设施的封闭建筑物、敞开构筑物内, 风险分量总和低于风险容许值 1×10^{-5} ; 大树底下、露天场所风险分量总值高于风险容许值 1×10^{-5} , 是公园雷击人身伤亡的主要区域, 为此雷电来临时应远离大树和不要在露天场所停留。

(3) 按照相应类别采取防雷措施后, 封闭建筑物区和敞开构筑物区风险分量 R_A 各降低了 99%, 人员及时进入防雷设施合格的建筑物内, 风险分量可降为 0。

参考文献:

[1] 张军民. 现代城市广场规划与设计 [D]. 天津: 天津大学, 2005.

[2] 刘谦, 郭媚媚, 翁佳烽, 等. 肇庆雷暴天气特征及分型[J]. 广东气象, 2015, 37(2): 5-8.

[3] 毛慧琴, 宋丽莉, 刘爱君, 等. 广东省雷暴天气气候特征分析[J]. 广东气象, 2005, 27(2): 7-9.

[4] 刘三梅, 胡锐俊, 曾阳斌, 等. 2012 年广东省雷电活动特征与雷电灾害损失浅析[J]. 广东气象, 2013, 35(5): 46-48.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会. GB/T21714.2-2008/IEC62305-2: 2006 雷电防护第 2 部分: 风险管理[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[6] 苏邦礼, 崔秉球, 苏宇燕, 等. 雷电与避雷工程[M]. 广州: 中山大学出版社, 1996: 29-474.

[7] 建筑物防雷设计规范 GB50057-2010.[S]. 北京: 中国计划出版社. 2011: 10-55.

[8] 杨仲江. 雷电灾害风险评估与管理基础[M]. 北京: 气象出版社, 2009.

[9] 林卓宏, 梁敏妍, 卢炳源. 气象防灾减灾项目可行性评价[J]. 广东气象, 2008, 30(2): 40-42.

[10] 江银燕, 杨仲江, 郭凤霞, Martin A. Uman. 防雷技术与科学[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 78.