

文章编号:1673-8411(2017)04-0082-03

# 矩形高层建构侧击雷击次数计算模型研究

孙蔡亮<sup>1</sup>, 张雷<sup>2</sup>, 周志忠<sup>1</sup>

(1 福建省莆田市气象局,莆田 351100;2 福建省政和县气象局,南平 353600)

**摘要:**基于引雷空间理论,以矩形高层建构物为对象建立侧击雷击分析模型。通过将建构物尺寸、闪电先导取向角概率分布函数、所在地区雷电流极性与幅值分布特征等参数引入模型,提出量化与本地化程度较高的侧击雷击次数精确算法,并给出将本模型变换为计算其它形状建构物侧击通用模型的方法。

**关键词:**引雷空间理论(CVM);侧击雷击次数;算法;模型

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

## Calculation model research on sideswipe lightning frequency of rectangular high-rise buildings

Sun Cailiang<sup>1</sup>, Zhang Lei<sup>2</sup>, Zhou Zhizhong<sup>1</sup>

(1 Putian Meteorological Bureau, Putian Fujian 351100; 2 Zhenghe County Meteorological Bureau, Nanping Fujian 353600)

**Abstract:** Based on Collection Volume Method (CVM), the paper establishes a sideswipe lightning analysis model of high-rise buildings. The exact algorithm for the number of sideswipe lightning which has more quantification and localization is obtained by introducing the parameters such as the building size, the probability distribution function of lightning leader orientation angle, and the local distribution characteristics of lightning current polarity and amplitude. Additionally, the transformation method for sideswipe general model of structures in other shapes is introduced.

**Key words:** Collection Volume Method (CVM); sideswipe lightning times; algorithm; model

### 1 引雷空间模型

引雷空间概念由匈牙利人 T. Horvath 于 1971 年首次提出,之后南非人又提出改进的 EGM 方法(collection volume method,简称 CVM)。其原理是雷电先导接近地面时先导头部与地面目标间的间距以雷击距为发生击穿放电临界距离,此时雷电先导到达的这一点开始击向建筑物或者地面,所有满足上述条件的点成为定向点,定向点集合构成引雷空间,计算引雷空间内所有位置作为定向点的概率,

可求得受雷击物体最终雷击率,步骤如下:

雷电先导从引雷空间体积元内定向点击向地面微分面积单元  $dx dy$  时发生概率为:

$$dp(r)=q(r)dr \quad (1)$$

可以得出该面积元的年雷击率为:

$$dn=N_g dx dy q(r)dr=N_g q(r)dV \quad (2)$$

其中  $dV=dx dy dr$ ,  $N_g$  为地闪密度(次/ $km^2 \cdot$ 年),  $q(r)$  为雷击距累积概率密度函数<sup>[5]</sup>,  $P_l(r)$  为小于雷击距  $r$  的累积概率函数。

在物体的整个引雷空间域内进行积分,可得其

雷击率为:

$$n = \int_V N_g q(r) dV \quad (3)$$

从量纲上看, 上式中空间域具有面积单元, 因此定义将其定义为等效受雷面积, 其表达式为:

$$A_e = \int_V q(r) dV \quad (4)$$

综合式(5)、(6)可以得到, 雷击率的表达式为:

$$n = N_g A_e$$

公式(1)中  $P_l(r)$  计算步骤如下: ①确定雷电流幅值累积概率计算公式  $P_s(I)$ , 即雷电流超过幅值  $I$  的概率, 可参照规程法或利用闪电监测数据对 IEEE 及 CIGER 公式拟合得到, 再利用公式(5)计算出雷电流小于幅值  $I$  的概率  $P_l(I)$ ; ②选择雷击距修正公式, 此处选用 Petrov<sup>[9]</sup> 雷击距修正公式, 即公式(6)。将公式(6)代入  $P_l(I)$  表达式, 得到  $P_l(r)$ 。

$$P_l(I) = 1 - P_s(I) \quad (5)$$

$$I = \left( \frac{r}{kf(h)} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

式(6)中  $k$  为常数系数,  $f(h)$  为高度函数, “+、-”下标分别为正、负极性雷电流对应参数  $k_+ = 1.08$ ,

$$k_- = 0.8, f_+(h) = \ln \left( \frac{h}{15} + 10 \right), f_-(h) = (h + 15)^{\frac{2}{3}}。$$

由公式(1)可得雷击距累积概率密度函数表达式:

$$q(r) = dP_l(r)/dr \quad (7)$$

考虑地区雷电流正负极性占比不同, 用加权方法处理, 可得高层建构筑物侧击年雷击次数最终计算公式:

$$N = N_g (\mu_+ A_{e+} + \mu_- A_{e-}) \quad (8)$$

式(8)中“+、-”下标分别为正、负极性雷电流对应参数。

## 2 矩形高层建构筑物侧击模型

矩形高层建构筑物侧击引雷空间, 是将建构筑物侧立面上点作为受雷击目标, 在引雷空间内根据雷击距可作出关于等雷击距的定向点曲面(图1), 根据其空间形状特征, 将其分为两部分分别计算侧击雷击次数。第一部分为建构筑物四角处形成的四个 1/4 圆柱体引雷空间, 将其合并后可构成完整的柱面空间(图2); 第二部分则是由建构筑物四边向外延展的四个矩形面, 将其合并后具有与建构筑物本身同样的尺寸(图3)。

由于建构筑物侧面为垂直面, 因此应考虑闪电先导入射角及其概率问题, 引入闪电先导在接近地面或地面上建构筑物时入射角  $\alpha$  概率分布公式<sup>[11]</sup>, 如下:

$$g(\alpha) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \cos^2 \alpha, & -\pi/2 < \alpha < \pi/2 \\ 0, & |\alpha| > \pi/2 \end{cases}$$

对于第一部分圆柱面, 建立圆柱坐标系(图2), 圆柱面上任一曲面元  $dS$ , 其外法线与下行先导夹角为  $\beta$ , 面积元  $dS_1$  在与先导垂直的方向上的投影面积为:

$$dS_{v1} = \cos \beta dS = r \cos \beta d\theta dz$$

面积元  $dS_1$  在与地面平行的水平面上投影面积为:

$$dS_{l2} = dS_{v2} / \cos \alpha = \tan \alpha dx dz$$

可得到与雷击距  $r$  对应的圆柱面接闪曲面在水平方向上的等效面积为:

$$S_{l(r)} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left( \int_0^{H-r} \int_0^{2\pi} r \tan \alpha d\theta dz \right) \frac{2}{\pi} \cos^2 \alpha d\alpha = 2r(H-r)$$

对于第二部分矩形柱面, 建立直角坐标系, 各面积元计算结果如下:

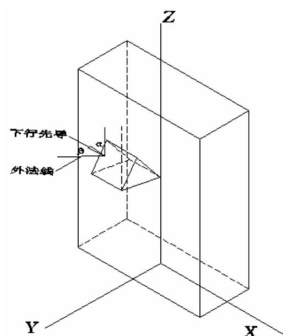
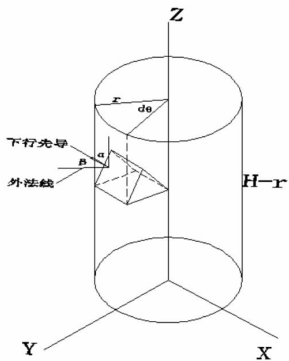
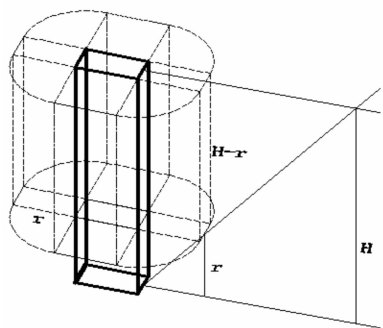


图1 矩形高层建构筑物侧击引雷空间(滚球半径为  $r$ )

图2 四角圆弧组成的柱面空间

图3 矩形面组成的矩形空间

$$dS_{l2} = \frac{dS_{v2}}{\cos\alpha} = \tan\alpha dx dz$$

$$S_{2(r)} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[ \int_0^{H-r} \left( \int_0^{2(L+W)} \tan\alpha dx \right) dz \right] \frac{2}{\pi} \cos^2 \alpha d\alpha$$

$$= \frac{2}{\pi} (H-r)(L+W)$$

由此可得,高层矩形建构筑物与雷击距  $r$  对应的接闪曲面在水平方向上的等效面积为:

$$S_{(r)} = S_{l(r)} + S_{2(r)} = (H-r) \left[ 2r + \frac{2}{\pi} (L+W) \right] \quad (9)$$

那么在雷击距  $r$  的变化范围内对  $S(r)$  与雷击概率密度函数  $q(r)$  的乘积进行积分即可得到建构筑物侧击在水平方向上的等效受雷面积为:

$$A_e = \int_0^H S_{(r)} q_{(r)} dr \quad (10)$$

由此可得到高层建构筑物侧击年雷击次数可按下式计算得到:

$$N = N_g A_e = N_g \int_0^H S_{(r)} q_{(r)} dr \quad (11)$$

### 3 计算实例

以福建省莆田市某高层矩形建筑为例,该建构筑物长  $L=50\text{m}$ ,宽  $W=25\text{m}$ ,高  $h=100\text{m}$ ,得到:

$$f_+(100)=2.81$$

$$f_-(100)=23.65$$

$$S_{(r)} = (100-r)[2r+150/\pi]$$

利用闪电定位监测数据拟合得到莆田市雷电压值概率函数<sup>[12]</sup>,取:

$$P_{s+}(I) = 1/[1+(I/49.5)^{2.842}]$$

$$P_{s-}(I) = 1/[1+(I/34.64)^{3.297}]$$

按文中公式(5)~(8)、(11)可求得正、负极性雷击及各项参数的最终结果(表1)。

表1 侧击雷击次数及各项参数计算结果

正极性雷击参数	数值	负极性雷击参数	数值
$A_e+$ ( $\text{m}^2$ )	$7.405 \times 10^{-3}$	$A_e-$	99.2166
$\mu_+$	3.59%	$\mu_-$	96.41%
$N_g$ (次/ $\text{km}^2 \cdot \text{年}$ )			5.989 <sup>①</sup>
$N$ (次/年)			$5.73 \times 10^{-4}$

注:①莆田市地闪密度  $N_g$  数据源自《2014 年福建省雷电监测公报》。

### 4 结论与讨论

(1)提出一种计算矩形高层建构筑物侧击雷击次数的计算模型,该模型同时引入建构筑物尺寸、闪电先导取向角概率分布、所在地区雷电流极性与幅值分布特征等参数,具有较高的量化和本地化程度。

(2)本文以矩形建筑为例建立侧击模型,从模型原理可见建筑侧击引雷空间平面图可参照文献[1]附录 A.0.3 中等效面积中的扩展部分。该模型亦用于非规则建构筑物,扩展宽度及角落处的圆弧半径即滚球半径  $r$ ,与矩形建构筑物不同之处在于表达式  $S_1(r)$  中对  $\theta$  的积分上限由  $2\pi$  变为建构筑物各角(外角)圆弧角度之和,表达式  $S_2(r)$  中对  $x$  的积分上限由  $2(L+W)$  变为建构筑物边长之和。

#### 参考文献:

- [1] 林卓宏,田军利.高层智能大厦雷击机理及防雷设计[J].气象研究与应用,2008,29(1):69-71.
- [2] 谭惠冰,杜建德,梁伟汉,等.电涌保护器(SPD)在低压电气系统中的设计[J].气象研究与应用,2013,34(4):92-97.
- [3] 林政,黎梓华,唐雷.浅谈如何利用法拉第笼原理防护雷电电磁脉冲[J].气象研究与应用,2009,30(1):83-84.
- [4] 林维勇.高层建筑防雷[J].建筑电气,1997,16(4):10-17.
- [5] 康春华,张小青,陈校.基于引雷空间理论的水平接闪器年雷击率预测方法[J].广东电力,2006,19(5):15-17.
- [6] GB/T50064-2014.交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [7] 姚家钊,陈华宣.基层气象台防雷问题浅析及解决方法[J].气象研究与应用,2009,30(1):78-81.
- [8] 黄仁立,罗晓军,周开春.防城港天气雷达楼雷击防护等级及防护设计[J].气象研究与应用,2014,35(4):111-114.
- [9] 黎锦雷,韦菊,杨玉静.新型自动气象站故障分析与排除[J].气象研究与应用,2015,36(4):102-104.
- [10] 傅俊霖,黄君健,何肖珍.防雷装置接地电阻的认识和探讨[J].气象研究与应用,2008,29(2):68-69.
- [11] 杨仲江,卢燕,曹书华.用于防雷工程的电涌保护器的测试研究[J].气象研究与应用,2007,28(4):54-57.
- [12] 潘军,钟一帆,蒙剑.雷电技术在现代建筑中的应用[J].气象研究与应用,2008,29(3):49-54.
- [13] 邹兴奋,刘志辉,李可娟.建筑物防雷接地装置结构探析[J].气象研究与应用,2010,(S2).
- [14] 黄剑钊.新型国家自动站现场总线 CAN 的研究及维护方法[J].气象研究与应用,2016,37(2):87-89.
- [15] 张娟,林卓宏,陈巧淑,等.自动气象站观测场防雷接地制式的技术分析[J].气象研究与应用,2012,33(4):69-71.