

郭秀峰, 谭涌波, 郭凤霞, 等. 建筑物尖端对大气电场畸变影响的数值计算. 应用气象学报, 2013, 24(2): 189-196.

建筑物尖端对大气电场畸变影响的数值计算

郭秀峰¹⁾²⁾ 谭涌波¹⁾²⁾ 郭凤霞^{1)2)*} 师正¹⁾²⁾ 王宁宁¹⁾²⁾

¹⁾(南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044)

²⁾(南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044)

摘 要

建筑物尖端周围大气电场畸变特征研究是大气电学的重要分支之一。假定建筑物为理想导体并与地面充分连接, 通过有限差分法计算二维泊松方程, 得出建筑物周围的电位空间分布。讨论建筑物尖端的高度、宽度以及相对位置对大气电场畸变的影响, 结果表明: 最大电场畸变系数 λ_1 随高度呈线性增加, 且线性方程斜率随宽度增加而减小; λ_2 随尖端位置沿建筑屋顶的中心线向两边呈对称递增趋势, 此趋势随建筑物高度增加更为显著; λ_3 随尖端宽度呈指数递减关系, 且宽度对畸变系数的影响随高度增加变得尤为显著。

关键词: 大气电场畸变; 尖端特性; 高大建筑物; 数值计算

引 言

近地面大气电场是大气电学研究的重要组成部分^[1-3], 研究建筑物尖端对大气电场的畸变作用具有实际意义。首先, 电晕放电是由建筑物尖端电场畸变产生, 其产生的电晕离子可形成厚度达百米的空间电荷层^[4-5], 从而屏蔽了空间电荷对地面的作用, 使地面电场测量结果无法真实反映雷暴电荷本身在地面所产生的电场, 这对雷电预警以及人工引雷触发时机的选择及触发的成功率均将产生很大影响^[6-7]。其次, 从自然界闪电的观测试验中^[8-12]发现, 下行闪电的连接先导和上行闪电均多发生于高大建筑物的尖端拐角部分, 且发现建筑物高度大于 100 m 时有上行闪电(即起始于高大建筑物尖端的地闪)发生, 当高度大于 500 m 时, 所观测到的闪电皆为上行闪电^[13]。这能否说明建筑物尖端随高度的增加对大气电场的畸变作用越强, 还有待进一步考证。此外, 对于雷电防护机理的研究, 也必须考虑建筑物尖端对大气电场的畸变作用。由于以上原因, 对于建筑物及其尖端对周围大气电场的畸变影响受到了国内外较多学者的关注^[14-16], 目前研究主

要是实地观测与理论计算两种方式。

通过在高层建筑物上放置大气电场仪进行实地观测^[17-20]发现, 不同大气背景下, 大气电场畸变程度均随高度的增加而增加。由于观测模型数量不足, 其观测结果仅能表明畸变随高度的变化趋势, 对于具体量化关系以及建筑物宽度等要素的影响尚不明确, 又由于目前观测手段对建筑物尖端顶部以及建筑物侧面电场无法进行有效测量, 所以需要进行一定的理论计算。通过对建筑物周围大气电场分布情况的模拟研究^[21-25]发现, 建筑物对周围大气电场的畸变与建筑物的形状尺寸等关系密切。但这些研究工作主要是针对低矮建筑, 且不考虑尖端或突出物对电场畸变的影响。观测发现上行闪电的起始点以及下行闪电的落雷点多为高大建筑物顶的尖端等突出部分, 需考虑尖端对周围大气电场的影响。

D'Alessandro^[15]利用有限元法在三维模式下, 分析立方体、球体和椎体模型建筑物及其尖端周围大气电场的畸变情况, 通过多次回归以及非线性回归拟合方法分析了畸变系数 K_i (观测点畸变后与畸变前的电场强度比) 和建筑物几何特性之间的关系, 但未明确给出具体的关系方程, 且尚未考虑尖端宽度变化对电场畸变的影响。

2012-05-24 收到, 2013-01-10 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41175003, 41075003), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806014, GYHY201006005)

* 通信作者, email: aguo_fx@yahoo.com.cn

本文以高大建筑物及其尖端为研究对象,利用二维五点有限差分法,研究建筑物及其尖端的几何特性对大气电场畸变的影响,给出具有广泛意义的尖端高度和尖端位置与最大电场畸变系数 λ_i (畸变后建筑物尖端处最大电场强度 E 与背景电场 E_0 的比值)之间关系的拟合公式。此外,本文将重点研究尖端宽度变化对尖端畸变作用的影响,并给出表明尖端宽度和最大电场畸变系数的拟合方程,以及3个拟合方程中各变量系数与建筑物及其尖端几何特性的关系。

1 计算方法及模型

1.1 计算方法

对于解决大气静电学问题通常使用求解满足边界条件的泊松方程的方法^[26],当无自由电荷存在时,泊松方程可转化为拉普拉斯方程^[27],本文求解拉普拉斯方程采用二维五点有限差分法。有限差分法是将偏微分方程中的偏导函数用差商形式来表示,将所求电磁场区域中,计算无数多个点的函数值,变为计算有限多个点的函数(这一过程称为离散化),求出数值解的方法^[28]。求解五点有限差分方程,本文采用超松弛迭代法^[29],为了保证迭代过程的收敛,必须满足 $0 < \omega < 2$,超松弛法取 $1 < \omega < 2$ ^[30]。但是在1和2之间仍然有很多的取值,如何取值没有统一规定。本文采用折半查找法^[31],找出不超过指定发散的迭代次数的 ω 值,算法简单,但 ω 可能不是最优值。

求得每个格点上的电位值,每个格点上的电场强度 E 等于电势 φ 的负梯度^[27]。

1.2 模型设置方案

对于建立研究建筑物尖端对大气电场的畸变作用的模型,常将其等效为对导体尖端在静电场下对其附近电场畸变作用的研究^[32]。在静电场中,导体表面电场强度的大小与该导体表面电荷面密度成正比,导体表面电荷分布与导体形状以及周围环境有关。在导体的带电量及其周围环境相同情况下,导体尖端越尖,曲率越小,面电荷密度越高,其附近场强越强,畸变作用越大^[33]。这些性质同样适用于建筑物尖端对大气电场的畸变研究。

本文设定的区域为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的小区域,分辨率为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。由于本文主要针对的是尖端电场畸变问题,背景电场不是讨论重点,因此将背景电

场做简单的均匀假定,大小为 130 V/m ,方向垂直向下,并认为此区域无自由电荷存在,即自由电荷密度 $\rho=0$ 。此外,认定建筑物和地面充分接触形成统一的电势为零等势面。关于边界条件^[34],本文所设定地面、建筑物以及尖端组成的等势面为第一类边界条件(即狄里赫利边界条件),其使用条件是物理量在此边界上的值为常数,认定此边界为良导体,此界面上的电势为0。对于建筑物周围的大气边界所采取的是第二类边界条件(即诺伊曼边界条件),其使用条件是物理量的法向导数在边界上值为常数。

本文采用的建筑物模型为一个高为 H ,宽为 W 的建筑物,并在建筑物的顶端有一个高为 h ,宽为 w 的突出部分,距离建筑左边界的水平距离为 s (如图1所示),其中建筑物的左边界位于计算域的中部,即图2、图4和图7中500 m的位置处。

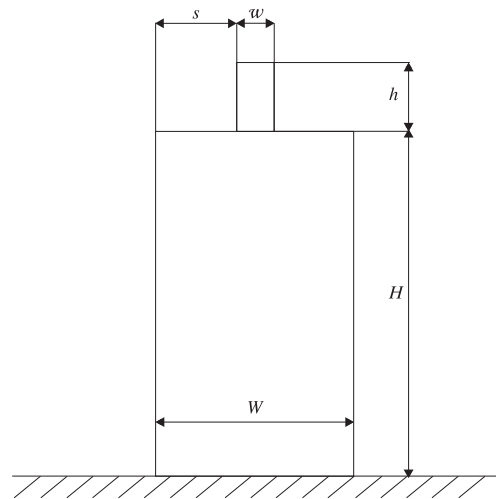


图1 建筑物模型
Fig. 1 Building model

2 数值计算结果

2.1 高大建筑物高度对尖端大气电场畸变的影响

本文通过不改变建筑物的宽度 W (分别取 $W=100\text{ m}, 50\text{ m}, 30\text{ m}$)和建筑物尖端的尺寸(即保持 $h=30\text{ m}, w=10\text{ m}$ 不变),仅仅改变建筑物的高度 H (取值范围为 $20 \sim 600\text{ m}$,每个宽度取19个不同的高度)来改变尖端的总高度 H_T ($H_T = H + h$),从而分析畸变系数 λ_i 和尖端高度 H_T 的关系。尖端位于建筑物的最左边($s=0$)。由图2可知,高度为 530 m 的建筑物尖端周围的电位等值线较 230 m 高度的等值线密集。等势线越密集说明电位梯度越大,

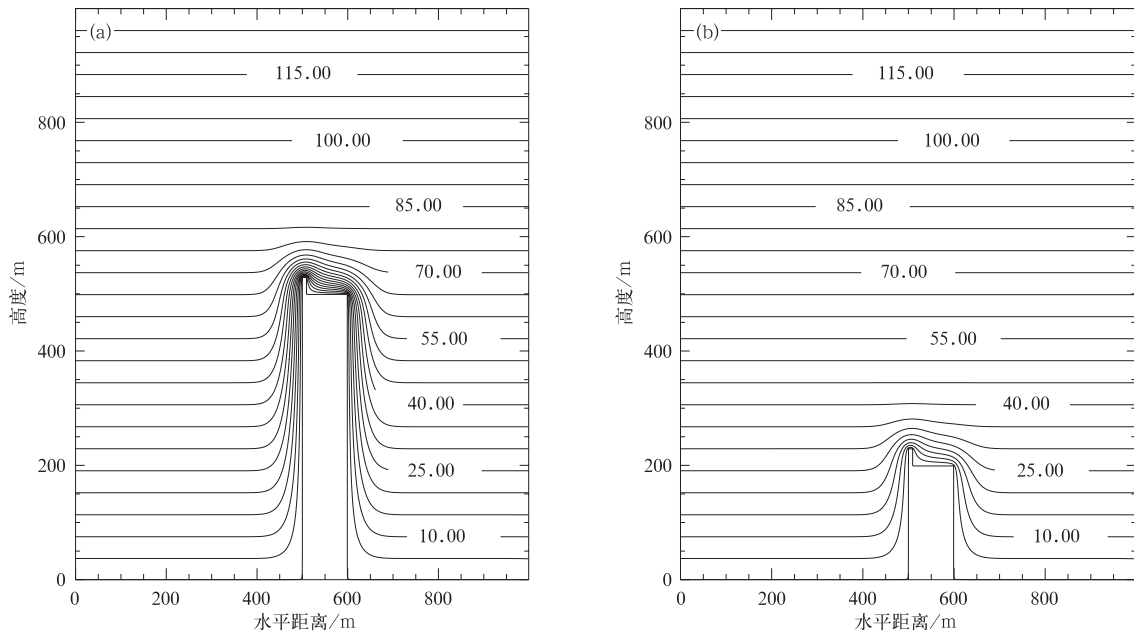


图 2 不同尖端高度周围大气电场的电位等值线分布(单位:kV)
(a)尖端高度为 530 m, (b)尖端高度为 230 m

Fig. 2 Plot of equipotentials around building and tip in different heights under the atmospheric electric field(unit:kV) (a)the height of tip is 530 m, (b)the height of tip is 230 m

由于电场强度 E 为电势的负梯度,即电势梯度越大的地方电场强度越大。所以,530 m 的尖端处畸变后的大气电场值较 230 m 畸变电场值大得多。为了进一步研究建筑物尖端高度及其所能畸变的最大大气电场值(通过本文计算结果可知,最大电场值出现在尖端顶部靠近建筑物边缘的拐角处,其电场强度垂直分量方向向下,水平分量指向尖端拐角外侧,且垂直分量要大于水平分量 1 个量级)的相互关系,并希望寻找一个解析方程,本文取不同建筑物高度 H 进行分析。

通过对数据进行处理分析和线性拟合,图 3 为两者关系的拟合曲线。由图 3 可知,建筑物尖端的高度 H_T 和最大电场畸变系数 λ_i 具有很好的线性增加关系。

拟合方程为

$$\lambda_i = a + bH_T. \quad (1)$$

式(1)中, $\lambda_i = E/E_0$, 常量 $a > 0, b > 0$ (如表 1 所示)。在 0.05 显著性水平情况下,3 组拟合的 R^2 (R^2 为决定系数, R 是相关系数,其值在 0~1 变化。若 R^2 接近 1 时表明拟合效果好)皆为 1,畸变系数与尖端高度满足线性相关。但对于不同宽度的建筑物,此线性变化的斜率和截距则不一样,宽度越宽拟合方程的斜率越小,截距越大,即畸变系数随高度增长的越慢。

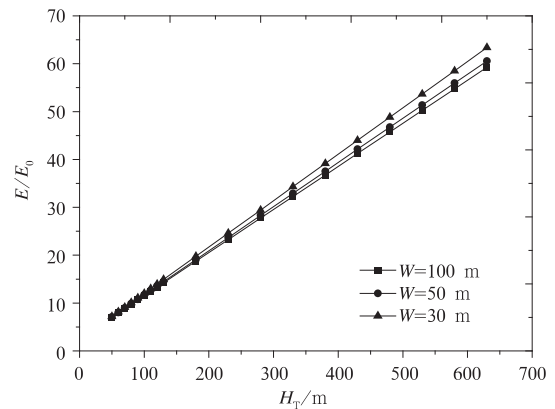


图 3 不同建筑物宽度条件下最大电场畸变系数(E/E_0)随尖端高度(H_T)变化的关系曲线

Fig. 3 Variation of E/E_0 with H_T when the structure width are fixed at 100 m, 50 m and 30 m, respectively

表 1 不同宽度建筑物 λ_i 与 H_T 的拟合方程中常量的取值

Table 1 The constant values of fitting equation of λ_i and H_T by buildings with different widths

W/m	a	b
30	2.3574	0.097
50	2.4849	0.092
100	2.5462	0.090

2.2 高大建筑物尖端宽度对大气电场畸变的影响

图 4a,4b 是高度为 530 m,宽度分别为 1 m 和 30 m 的尖端或突出物对大气电场畸变的影响。从图形上无法精确判断两者的差别,但是通过对畸变

后的最大电场强度值比较可以发现,两者差距较大,前者电场强度值约为 1.0×10^4 V/m,后者约为 6.0×10^3 V/m。

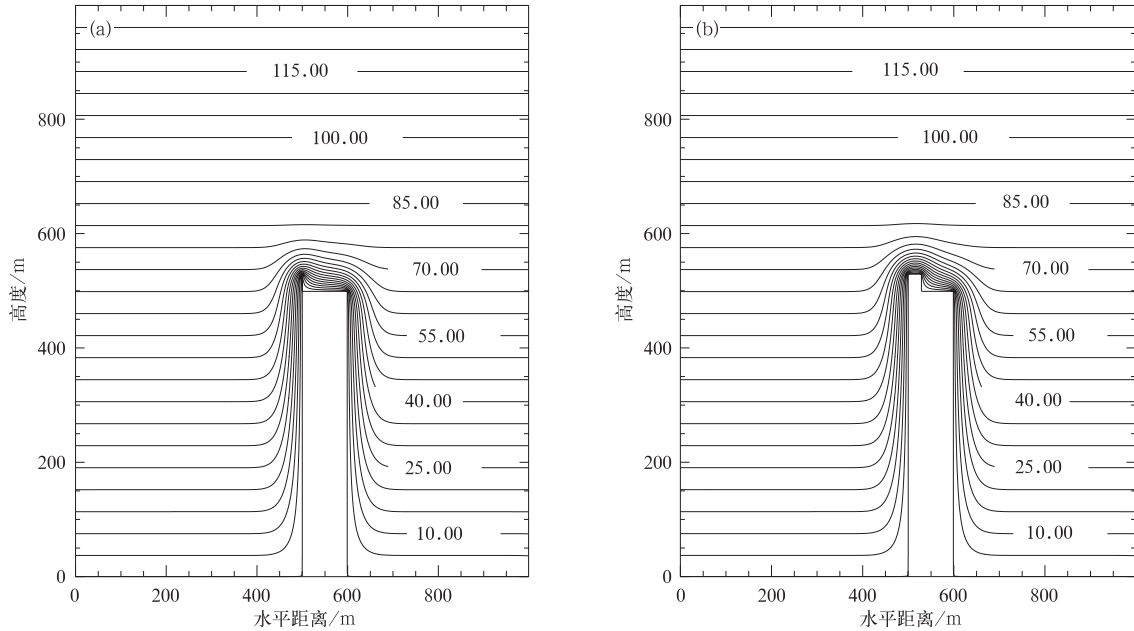


图 4 不同尖端宽度周围大气电场的电位等值线分布(单位:kV)
(a)尖端宽度为 1 m, (b)尖端宽度为 30 m

Fig. 4 Plot of equipotentials around building and tip in different widths under the atmospheric electric field(unit:kV) (a)the width of tip is 1 m, (b)the width of tip is 30 m

为进一步研究建筑物尖端宽度对畸变作用的影响,本文对放置在地面以及在高度分别为 100 m, 300 m, 500 m 的建筑物上的尖端各进行 19 组模拟,尖端或突出物宽度 1~100 m 不等。研究发现,当放置在地面上的尖端或突出物宽度大于 25 m 时,其宽度的变化对畸变作用的影响非常微弱,这与 D' Alessandro^[15] 三维模式的研究结果一致。但是当突出物的宽度小于 25 m 时,其对大气电场的畸变作用开始加强,当宽度小于 10 m 时,畸变作用明显加强。当宽度小于 5 m 时,尖端所带来的影响强烈,当宽度从 2 m 变化为 1 m 的时候,畸变的电场强度值从 9.2×10^3 V/m 直接增加至 1.0×10^4 V/m 以上,此变化 D' Alessandro^[15] 则未提及。由此可见,当突出物变化成尖端时,其宽度的变化对畸变作用的影响尤为显著。

通过对尖端放置在地面上的模拟结果统计分析(如图 5 所示),黑色小方块为模拟结果,经过指数拟合得出畸变后的最大电场强度随建筑物尖端或突出物的宽度的变化关系。

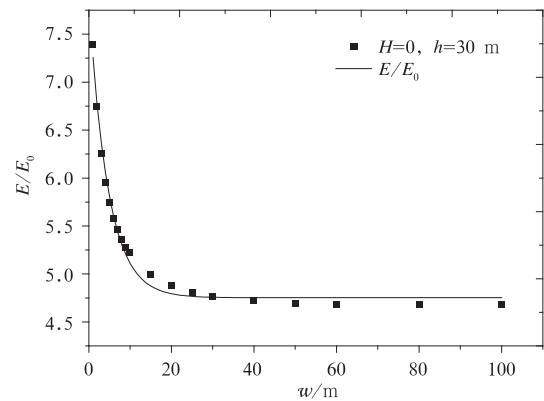


图 5 地面上 ($H_T=30$ m) 最大电场畸变系数 E/E_0 随尖端宽度 w 变化的关系曲线

Fig. 5 Variation of E/E_0 with w when tip on the ground ($H_T=30$ m)

当尖端置于建筑物顶时,其畸变系数的变化情况如图 6 所示。其变化曲线与放置在地面的尖端畸变系数变化类似,但是当尖端拐角距离建筑物右边界很近时,则出现轻微增加的趋势,在此则假设其受到建筑物拐角对大气电场畸变的影响,此畸变系数

的增加为尖端畸变和建筑物拐角畸变的叠加作用。

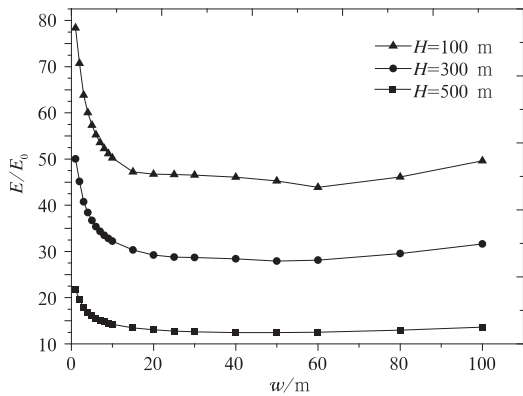


图 6 不同高度建筑物条件下最大电场畸变系数 E/E_0 随尖端宽度 w 变化的关系曲线
Fig. 6 Variation of E/E_0 with w by buildings with different heights

通过对上述 4 种情况计算得到的 λ_i 进行拟合, 对于放置在建筑物顶的尖端取 $w \leq 50$ m 的部分进行拟合, 得出如下指数形式的拟合方程

$$\lambda_i = ae^{w/t} + b. \quad (2)$$

式(2)中, $\lambda_i = E/E_0$, 常量 $a > 0, t > 0, b > 0$ (如表 2 所示)。由表 2 可见, a, b 随高度的增加而增加, t 则随高度的增加而减小, 即建筑物越高其畸变系数随

表 2 不同高度建筑物 λ_i 与 w 的拟合方程中常量的取值

Table 2 The constant values of fitting equation of λ_i and w by buildings with different heights

H/m	a	t	b	R^2
0	3.10802	4.62834	4.75243	0.988
100	10.63255	4.54626	12.74505	0.989
300	25.55048	4.46437	28.78252	0.990
500	40.37338	3.89759	46.42381	0.995

宽度变化越快。4 个拟合方程的 R^2 皆大于 0.98, 说明相关程度高(达到 0.05 显著性水平)。

上述模拟研究以及数据分析表明, 尖端宽度对畸变作用的影响在宽度较小的情况下表现突出。尖端越细, 其对大气电场的畸变作用越强; 尤其是建筑物越高, 畸变系数受到尖端宽度的影响越大。所以务必考虑建筑物尖端宽度对畸变作用的影响, 以更为精细的分辨率来讨论实际的尖端效应。

2.3 高大建筑物尖端位置对大气电场畸变的影响

下面分析建筑物高宽比分别为 5:1 和 3:1 (其中宽度为 100 m) 时, 在建筑物的顶部设置一个高为 30 m, 宽度为 1 m 的尖端, 其最大电场畸变系数随尖端位置的变化情况。

通过模拟计算, 得出不同尖端位置周围的大气电场等势线的分布情况(图 7)。通过对计算结果的统计分析发现, 建筑物尖端位置和最大电场畸变系

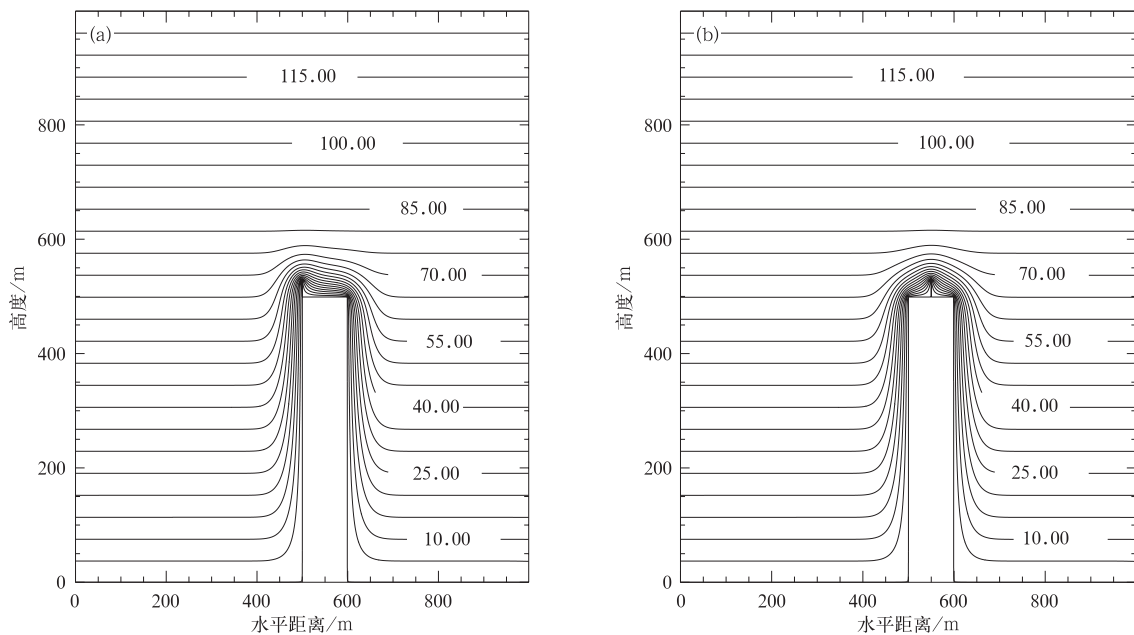


图 7 不同尖端位置周围大气电场的电位等值线分布(单位: kV)

(a)尖端设置于顶面的左边界上, (b)尖端设置与顶面的中间部分

Fig. 7 Plot of equipotentials around building and tip in different tip locations under the atmospheric electric field(unit: kV)
(a) the tip locates at the left edge of the roof, (b) the tip locates at the center of the roof

数呈一个开口向上的抛物线形势(图8)。由此可见,建筑物尖端在建筑物边缘处畸变作用最强,在中心点畸变作用最小。

通过多项式拟合分析,得出二次函数形式的拟合方程

$$\lambda_i = as^2 + bs + c. \quad (3)$$

式(3)中, $\lambda_i = E/E_0$,常量 a, b, c 的取值如表3所示。由表3可见, $a > 0, c > 0$,且随高度的增加而增加; $b < 0$,且随高度的增加而减小。两个拟合方程的 R^2 皆大于0.98,达到0.05的显著性水平。由二次函数性质可知, a 越大图形开口越小,说明高度越高,畸变系数从边缘到中间减小的越快。

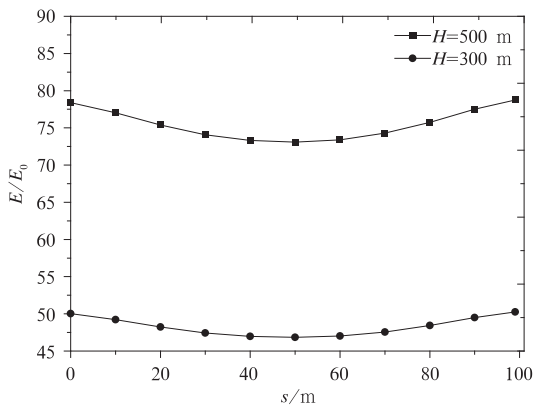


图8 不同高度建筑物条件下最大电场畸变系数 E/E_0 随尖端位置 s 变化的关系曲线

Fig. 8 Variation of E/E_0 with tip location by buildings with different heights of the structure

表3 不同高度建筑物下 λ_i 与 s 拟合方程中常量取值
Table 3 The constant values of fitting equation of λ_i and s by buildings with different heights

H/m	a	b	c	R^2
500	0.00228	-0.22207	78.69342	0.983
300	0.00137	-0.13339	50.20669	0.982

综上所述,尖端的畸变作用,在建筑物的边缘或拐角表现得更加明显,在建筑物顶的中心位置畸变作用最小。对于具体的畸变程度,需要对不同的建筑物进行不同分析。建筑物越高,最大电场畸变系数数值越大,此畸变系数随尖端位置从建筑物顶边缘到中间减小的速度越快。

3 结论与讨论

综上所述,建筑物的形状、高度、尖端的位置对

于大气电场的畸变作用都有一定的影响,对其进行定性和定量分析得得尖端几何特性与电场畸变系数之间关系的拟合方程。对于最大电场畸变系数来说,得到以下结论:

1) 尖端顶部的最大电场畸变系数与尖端高度呈线性增加关系。但不同宽度的建筑物,此线性变化的斜率和截距则不一样,且宽度越宽,变化斜率越小,截距越大,表明畸变系数增长越慢。

2) 尖端顶部的最大电场畸变系数和尖端位置呈二次多项式的变化关系。建筑物或者建筑尖端的畸变作用,从中间至两边对称增加。建筑物越高其畸变系数越大,且畸变系数随位置的不同变化也越明显,从建筑物顶边缘到中间其减小速度越快。

3) 尖端顶部的最大电场畸变系数和尖端宽度呈指数递减关系,在建筑物尖端或突出物宽度大于25 m的时候,其宽度的变化对畸变作用的影响较弱,当小于5 m时,尖端所带来的影响强烈。所以尖端宽度越小畸变作用越明显,且建筑物越高,其畸变系数受宽度变化的影响越大。

通过3个拟合方程可以发现,建筑物高度越高、宽度越小对电场的畸变作用越强。导致此变化特征的物理原因可以概括为在均匀电场里,由于建筑物的介入,使原本平整的零位势面随着建筑物表面发生形变(地面以及与地面接触的建筑物为等势体,其表面位势始终为零),而零等势面的形变导致其他值的等势面随之变化:尖端越高越细,等势面的形变越尖锐,尖端附近等势面也越密集,所对应的电位梯度越大,从而导致其尖端处的电场畸变越显著。在建筑物顶端没有明显尖端的情况下,其畸变作用主要是受建筑物高度的影响比较显著;对于安装了避雷针或者建筑屋顶具有较为明显的突出尖端时,则需要综合考虑建筑物的高度,尖端的宽度以及位置所能带来的畸变对大气电场的影响。从对尖端宽度研究不难发现,尖端越细,其对大气电场的畸变作用越强,考虑建筑物尖端宽度对畸变作用的影响,以更为精细的分辨率来讨论实际的尖端效应,也是下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 张义军,周秀骥. 雷电研究的回顾和进展. 应用气象学报, 2006, 17(6): 829-834.
- [2] 吴亭,吕伟涛,刘晓阳,等. 北京地区不同天气条件下近地面大气电场特征. 应用气象学报, 2009, 20(4): 394-401.
- [3] 张义军,孟青,马明,等. 闪电探测技术发展和资料应用. 应用

- 气象学报,2006,17(5):611-620.
- [4] Soula S, Chauzy S. Multilevel measurement of the electric field underneath a thundercloud: Dynamical evolution of a ground space charge layer. *J Geophys Res*, 1991, 96(D12): 22327-22336.
- [5] Standler R B, Winn W P. Effects of coroneae on electric fields beneath thunderstorms. *Meteorol Soc*, 1979, 105: 258-302.
- [6] Hubert P, Laroche P, Eybert-Berart A, et al. Triggered lightning in New Mexico. *J Geophys Res*, 1984, 89: 2511-2521.
- [7] Liu X, Wang C, Zhang Y, et al. Experiment of artificial triggering lightning in China. *J Geophys Res*, 1994, 99: 10727-10731.
- [8] McEachron K B. Lightning to the Empire State Building. *J Franklin Inst*, 1939, 227: 149-217.
- [9] Eriksson A J. Lightning and tall structures. *Trans S Afr IEE*, 1978, 69: 238-252.
- [10] Berger K, Vogelsanger E. New Results of Lightning Observations// *Planetary Electrodynamics*, 1969: 498-510.
- [11] Miki M, Rakov V A, Shindo T, et al. Initial stage in lightning initiated from tall objects and in rocket triggered lightning. *J Geophys Res*, 2005, 110 (D02): 109, doi: 10. 1029/2003JD4474.
- [12] Wang D, Takagi N, Watanabe T, et al. Observed characteristics of upward leaders that are initiated from a windmill and its lightning protection tower. *J Geophys Res*, 2008, 35, L02803, doi: 10. 1029/2007 GL 032136.
- [13] Rakov V A, Uman M A. *Lightning: Physics and Effects*. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [14] Don W C, Heinz W K. Triggered Lightning. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 1982, 24: 112-122.
- [15] D'Alessandro F. The use of "Field Intensification Factors" in calculations for lightning protection of structures. *Journal of Electrostatics*, 2003, 58: 17-43.
- [16] D'Alessandro F. Striking distance factors and practical lightning rod installations: A quantitative study. *Journal of Electrostatics*, 2003, 59: 25-41.
- [17] Bermudez J L, Rachidi F, Rubinstein M, et al. Far-field-current relationship based on the TL model for lightning return strokes to elevated strike objects. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 2005, 47(1): 146-159.
- [18] 杨波, 周璧华, 高太长. 泰山和西双版纳两地雷暴电场特征分析. *解放军理工大学学报: 自然科学版*, 2008, 9(3): 302-306.
- [19] 杨仲江, 朱浩, 唐宏科, 等. 地面电场仪测量数据的误差来源及分析处理. *大气科学学报*, 2010, 33(6): 751-756.
- [20] 周骏驰. 大气电场仪观测结果的修订及应用. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [21] Yoshihiro B, Vladimir A R. Electromagnetic field at the top of a tall building associated with nearby lightning return strokes. *IEEE Trans Electromagn Compat*, 2007, 49(3): 632-643.
- [22] 任晓毓, 张义军, 吕伟涛, 等. 雷击建筑物的先导连接过程模拟. *应用气象学报*, 2010, 21(4): 450-457.
- [23] 周璧华, 姜慧, 杨波, 等. 地物环境对地面大气电场测量的影响. *电波科学学报*, 2010, 25(5): 839-844.
- [24] 耿雪莹, 张其林, 刘明远, 等. 地面建筑物(群)对雷暴云大气电场影响的模拟研究. *气象科技*, 2012, 40(5): 827-833.
- [25] 任晓毓, 张义军, 吕伟涛, 等. 闪电先导随机模式的建立与应用. *应用气象学报*, 2011, 22(2): 194-202.
- [26] 吕英华. *计算电磁学的数值方法*. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [27] 郭硕鸿. *电动力学*. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [28] Kanai Yasushi. Automatic mesh generation for 3D electro-magnetic field analysis by FD-TD method. *IEEE Trans Magnetics*, 1998, 34(5): 3383-3386.
- [29] 廖臣, 祝大军, 刘盛纲. 五点差分格式求解泊松方程并行算法的研究. *电子科技大学学报*, 2008, 37(1): 81-83.
- [30] 马东升. *数值计算方法*. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [31] 胡枫, 于福溪. 超松弛迭代法中松弛因子 ω 的选取方法. *青海师范大学学报: 自然科学版*, 2006(1): 42-45.
- [32] Becerra M, Cooray V, Hartono Z A. Identification of lightning vulnerability points on complex grounded structures. *Journal of Electrostatics*, 2007, 65: 562-570.
- [33] 刘克哲, 张承璐. *物理学*. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [34] 郭立新, 李江挺, 韩旭彪. *计算物理学*. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.

Numerical Simulation of Effects of Building Tip on Atmospheric Electric Field Distortion

Guo Xiufeng¹⁾²⁾ Tan Yongbo¹⁾²⁾ Guo Fengxia¹⁾²⁾ Shi Zheng¹⁾²⁾ Wang Ningning¹⁾²⁾

¹⁾ (Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

²⁾ (School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract

The effects of building tip on atmospheric electric field distortion are an important part of atmospheric electricity, especially in the research of corona layer above the inhomogeneous underlying surface, upward lightning leader and even upward lightning initiated from tall building, and also an influencing factor in lightning protection. For the account that the existing measurements are ineffectual in measuring the electric intensity above the tip, numerical simulation becomes very helpful.

Assuming the building to be an ideal conductor and fully connected with earth and the potential is 0, which satisfies the Dirichlet boundary condition; three other air boundaries all satisfying Neumann boundary condition and the electric potential gradient on these boundaries are constants. A two-dimensional finite difference method of calculation is used to obtain the potential distribution around the building and electric intensity near the tip in further. What's more, the two-dimensional finite difference equation is solved by successive over-relaxation method.

The effects on the atmospheric electric field distortion by the height, width and location of building's tip are discussed, respectively. The result shows that λ_i (maximum distort coefficient of electric field) is linearly increasing with height and the slope of linear equation is decreasing with width. λ_i shows symmetrical increasing trend when the tip is located from the center to the each edge on the roof of a structure. It grows evidently with the increasing height of structure. Furthermore, λ_i is declined exponentially with the tip width, particularly when less than five meters, λ_i has a sensitive response to width, and the effect on λ_i by width is more obviously presented with the increasing height. Taking no account of the extinction effect of corona layer, electric field intensification shows much greater on the top when the structure is taller and thinner. In actual problems, the effects on electric field distortion mainly depend on the structure height when the top is flat. But when there is an obvious tip such as lightning conductor and so on, the height, width and location of tip should be taken into consideration.

Key words: distortion of atmospheric electric field; characteristics of tip; tall building; numerical simulation