

吴姗姗, 吕伟涛, 齐奇, 等. 基于光学资料的广州塔附近下行地闪特征. 应用气象学报, 2019, 30(2): 203-210.
DOI: 10.11898/1001-7313.20190207

基于光学资料的广州塔附近下行地闪特征

吴姗姗¹⁾ 吕伟涛^{1)*} 齐奇¹⁾ 武斌¹⁾ 陈绿文²⁾
宿志国¹⁾ 姜睿娇¹⁾ 张长秀¹⁾³⁾

¹⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室/雷电物理和防护工程实验室, 北京 100081)

²⁾(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)

³⁾(中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院, 青岛 266071)

摘 要

利用 2009—2014 年广州高建筑物雷电观测站的光学观测资料, 结合雷声和电磁场变化波形, 对广州塔(高度为 600 m)西北部 60°扇形区域 3 km 范围内的 119 次下行地闪分布特征进行统计分析, 结果表明: 43.7%(52/119)的地闪发生在区域内 4 个最高的建筑物上; 除了直接击中广州塔的 20 次地闪(16.8%), 距离广州塔附近 0~1 km 的区域未观测到地闪, 观测到的距广州塔最近的地闪离广州塔约 1.2 km; 距广州塔 1~2 km 的区域共观测到 35 次地闪(29.4%), 其中每个高度低于 300 m 的建筑物被击中的次数不超过 1 次; 距离广州塔 2~3 km 区域共观测到 64 次地闪(53.8%), 其中有些高度低于 300 m 的建筑物被地闪击中 1 次以上, 最长达 5 次。广州塔对附近区域下行地闪的吸引作用使其附近 1 km 左右范围内未观测到地闪, 且 1~3 km 范围内随距离增加下行地闪密度(扣除击中其他高度不低于 300 m 的建筑物的地闪)有逐渐增加趋势, 说明高建筑物对下行地闪的吸引作用随着距离的增加而逐渐减弱。

关键词: 下行地闪; 高建筑物; 相对地闪密度

引 言

地闪是发生在云体与地面之间的大气放电现象^[1]。与地面或普通低矮建筑物相比, 高建筑物更易遭受雷击^[2-4], 因此, 高建筑物雷电成为雷电研究领域重要的研究对象。20 世纪 30 年代以来, 美国、俄罗斯、加拿大、德国等国家科研人员相继开展了高建筑物上闪电的观测与研究^[5-6], 并在闪电先导、连接和回击过程通道发展特征以及高建筑物雷电流和电磁场特征的观测、分析和模拟^[7-12]方面取得了许多进展, 但在高建筑物对其附近区域的保护作用方面研究报道相对较少。Hussein 等^[13]研究了加拿大国家电视塔对附近区域的保护作用, 他们认为电视

塔会将周围的地闪吸引到塔上, 从而导致附近区域的地闪密度降低。Ngqungqa^[14]利用 2001—2003 年地闪定位资料对南非的两个铁塔周围的地闪活动进行分析, 结果表明: 铁塔近距离 2.5 km 范围内的地闪密度明显高于距离铁塔 2.5~10 km 的圆环区域内的地闪密度, 他们认为高塔的触发作用导致这个差异。Diendorfer 等^[15]认为奥地利 Gaisberg 塔对附近的地闪密度没有产生显著影响, 这个结果与 Hussein 等^[13]和 Ngqungqa^[14]研究有差异, 可能与 Gaisberg 塔位于海拔 1287 m 的山顶有很大关系。

广州珠江新城区域高建筑物密集, 其中 600 m 高的广州塔是这一区域最高的建筑物。Zhang 等^[16]基于广东电网地闪定位资料研究了广州塔附近地闪的分布情况, 发现广州塔建成后其 1 km 范围

2018-07-23 收到, 2018-10-31 收到再改稿。

资助项目: 国家重点研究发展计划(2017YFC1501504), 国家自然科学基金项目(41775010, 41475003), 中国气象科学研究院基本科研业务费(2017Y009)

* 通信作者, 邮箱: lyuwt@foxmail.com

内的地闪密度和回击密度增加显著,1~4 km 圆环区域内的地闪密度和回击密度明显减小。虽然根据地闪定位资料的统计分析能够在总体上获得高建筑物对区域地闪活动特征影响的认识,但地闪定位系统不能区分上行和下行地闪,无法研究广州塔对附近下行地闪的影响,且地闪定位资料存在一定的误差(平均约几百米^[17],针对具体的个例可能达数千米),无法确切分析高建筑物影响作用。除了地闪定位系统,直观的光学观测也可被用于区域地闪特征研究^[18-21],如 Winn 等^[22]和 Brantley 等^[23]使用录像带资料分析了地闪特征。地闪电磁场观测不受云层遮挡或降雨影响,能提供回击发生的准确时间、强度信息,但无法提供回击的准确位置、会漏测比较弱的回击等不足;光学观测能准确给出地闪的位置信息,高速光学观测可以记录到所有回击事件,但易受云层遮挡或降雨影响,且时间分辨率上较电磁场观测偏低。结合电磁场和光学观测优势,能够综合确定地闪发生的准确时间、准确位置、回击次数等信息^[24-25]。

本文采用 2009—2014 年在广州获取到的地闪光学资料,结合雷声和电磁场变化波形,详细分析广州塔附近地闪分布特征,为高建筑物及其附近区域雷电防护设计改进提供参考。

1 观测设备和方法

中国气象科学研究院从 2009 年起就开始在广州城区针对珠江新城区域的高建筑物雷电开展了观

测,并在广东省气象局建立了广州高建筑物雷电观测站(Tall-Object Lightning Observatory in Guangzhou, TOLOG)。该观测站位于广州塔西北方向,距广州塔约 3.3 km。TOLOG 的观测设备包括闪电连接过程光学观测系统(Lightning Attachment Process Observation System, LAPOS)^[26-27]、高速摄像机、快慢电场变化仪以及高精度 GPS 时钟等。试验中架设的高速摄像机均采用连续循环采集的工作模式,将图像连续采集到高速缓冲存储器中,触发时才将图像存储到计算机硬盘上。闪电电场变化资料由快、慢天线采集,时间常数分别为 2 ms 和 6 s,带宽分别为 5 MHz 和 2 MHz。将数字示波器记录 LAPOS 的一路通道信号作为上述设备的触发源,每个触发事件由高精度 GPS 时钟授时,时间精度为 30 ns。此外,TOLOG 还架设有麦克风雷声探测阵列,麦克风选用响应频率为 15~20 kHz 的电容式麦克风,基线长度为 1 m,采样频率设定为 100 kS·s⁻¹,记录的数据长度为 35 s^[28-29]。

图 1 为截至 2014 年底 TOLOG 光学观测系统视野范围内高度不低于 300 m 的高建筑物的高度与形状示意图,广州塔、东塔、西塔和广晟大厦是其中最高的 4 个建筑物,高度分别为 600 m, 530 m, 440 m 和 360 m;另外视野中还有 4 个高度不低于 300 m 的已封顶建筑物——珠江城、利通大厦、越秀金融大厦和富力盈凯大厦。

图 2 为 TOLOG 与视野中高度不低于 300 m 的建筑物相对位置示意图。因广州塔与观测站相距约 3.3 km,且广州塔附近 3 km 是高建筑物最为密集

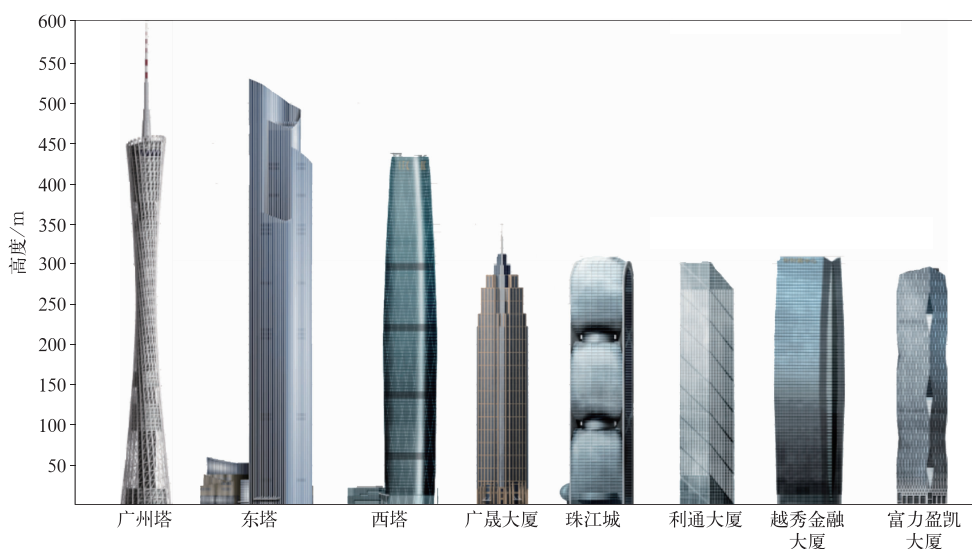


图 1 截至 2014 年底 TOLOG 光学观测系统视野范围内的高建筑物
Fig. 1 High buildings within the view of TOLOG by the end of 2014

区域(包含珠江新城大部分 300 m 以上的建筑物),同时受限于光学系统的视野范围,本研究选取广州塔 3 km 范围内的北偏西 50°和北偏东 10°之间的 60°扇形作为研究区域(图 2 中扇形区域)。与广州塔北部的高建筑物对比明显的是广晟大厦北部、广州塔北偏西 45°至北偏西 50°区域中大部分高度低于 100 m 的低矮建筑物,这是研究区域内建筑物平均高度最低的两处。本文利用光学观测图像资料并

结合雷声资料确定下行地闪的接地点位置,如果接地点位置未被前方建筑物或云层遮挡,可以直接通过高速摄像记录确认接地点位置,另外也可基于雷声光到达差原理分析地闪与观测站之间的距离。综合地闪光学资料和同步的电场变化波形统计下行地闪的回击次数。为避免多接地地闪对统计结果的影响,本文的统计结果中多接地的地闪均只选取了 1 个接地点。

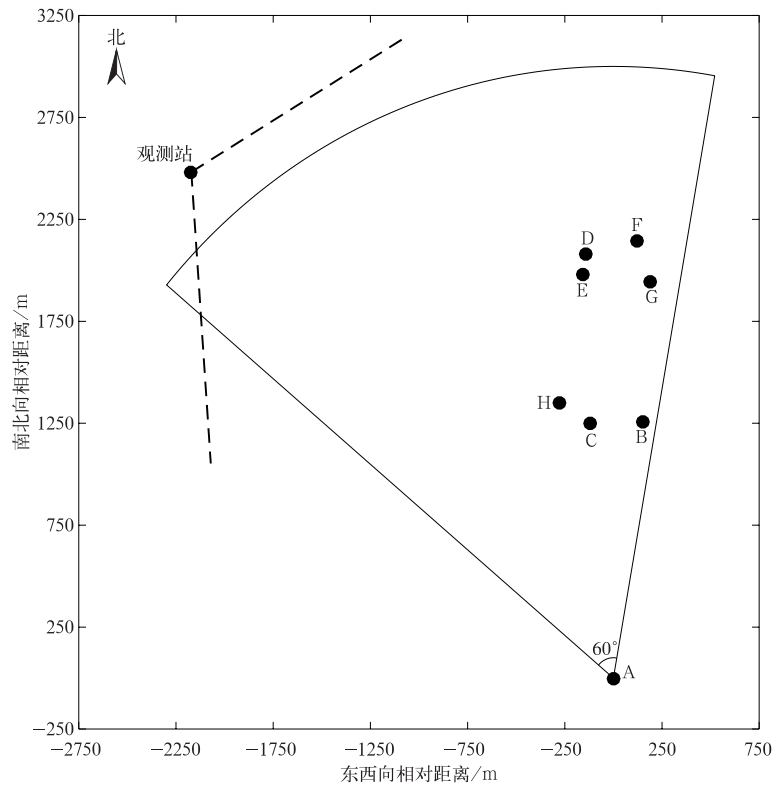


图 2 TOLOG 观测站和高度不低于 300 m 的建筑物相对位置
 (广州塔(A)为原点,B:东塔,C:西塔,D:广晟大厦,E:珠江城,F:利通大厦,
 G:越秀金融大厦,H:富力盈凯大厦;虚线指示 TOLOG 光学观测系统视野范围)
 Fig. 2 The relative position of TOLOG observatory and buildings with
 a height no less than 300 m
 (using Guangzhou Tower(A) as the origin, B:Canton East Tower,
 C:Canton West Tower, D:Guangsheng Building, E:Pearl River Tower,
 F:Leatop Plaza, G:Yuexiu Financial Building, H:R&F Yingkai Building;
 dashed lines denote the view of TOLOG)

2 结果分析

2.1 接地点位置分布

2009—2014 年研究区域内可以确定接地点的下行地闪共 119 次(其中有 9 次为多接地地闪),分别击

中了 48 个建筑物。图 3 是 48 个建筑物平面位置分布图以及对应建筑物上发生下行地闪次数。表 1 是下行地闪发生次数不低于 10 次的建筑物基本信息以及地闪回击信息。以下用 r 表示建筑物与广州塔之间的距离。广州塔西北方向 2~3 km 的区域(图 3 实线方框区域)也存在一些被击中多次的建筑物。

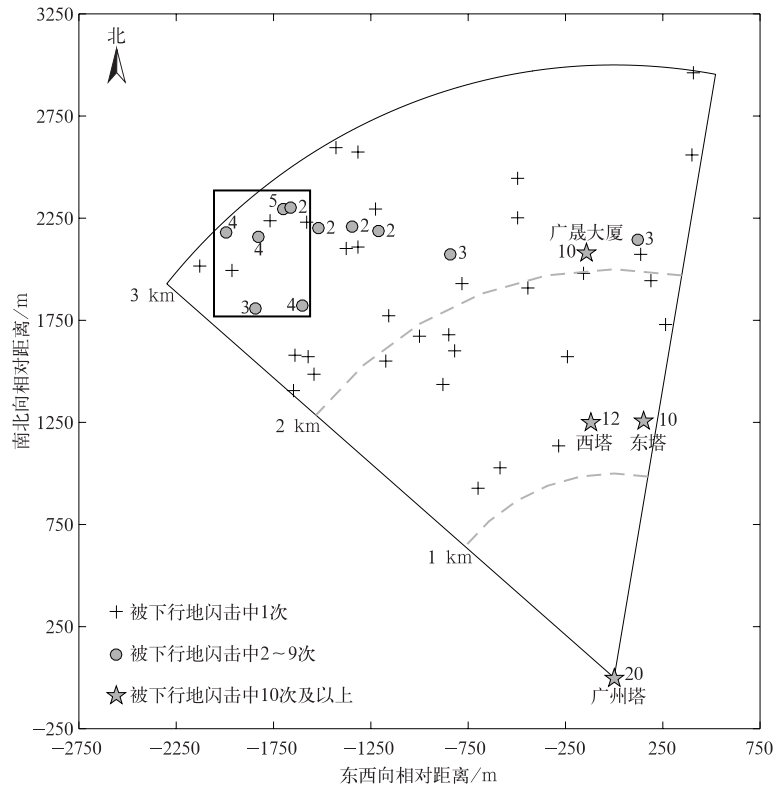


图3 119次下行地闪击中48个建筑物平面分布(数字为大于1次的击中次数)

Fig. 3 Distribution of 48 structures hit by 119 downward lightning flashes
(numbers denote being hit more than 1 times)

表1 发生下行地闪次数不低于10次的建筑物基本信息

Table 1 The information of buildings with the number of downward cloud-to-ground lightning flashes no less than 10 times

名称	建成年份	高度/m	r/km	地闪次数	回击次数	最大回击次数	平均回击次数
广州塔	2009	600	0	20	54	15	2.7
西塔	2009	440	1.25	12	48	9	4.0
东塔	2014	530	1.26	10	23	6	2.3
广晟大厦	2011	360	2.08	10	29	17	2.9

2.2 地闪次数与建筑物高度

广州塔、东塔、西塔和广晟大厦是研究区域内高度最高的4个建筑物,这4个建筑物被下行地闪共击中52次,占总数的43.7%。广州塔作为研究区域中最高的建筑物,被下行地闪击中次数最多,共20次,占总次数的16.8%。东塔和西塔分别被击中10次和12次。东塔高度高于西塔而发生下行地闪的次数小于西塔的原因是由于东塔于2014年10月28日才封顶。TOLOG观测到的最早击中东塔的下行地闪发生在2014年5月17日,2014年全年共有10次下行地闪击中东塔,仅有2次下行地闪击中西塔。图2中H代表的高度300m的富力盈凯大厦靠近东塔和西塔,距离西塔约190m,距离东塔约

440m。虽然富力盈凯大厦较高,但受到西塔和东塔影响未遭受雷击。广晟大厦共被击中10次,虽然其周围还有3座高度超过300m的高建筑物,但广晟大厦高度最高,且其顶部呈尖形,与利通大厦和越秀金融大厦的矩形顶部和珠江城的圆形顶部相比更易被击中^[30]。

2.3 地闪次数与距离

图4是48个建筑物上发生的地闪次数与建筑物和广州塔的距离关系散点图。除去区域内4个最高的高建筑物上发生的下行地闪次数之后,随着与广州塔距离的不同,下行地闪击中建筑物的次数规律如下:除了直接击中广州塔的20次(占比为16.8%)下行地闪,距离广州塔附近0~1km的区

域内未观测到下行地闪,观测到的距广州塔最近的下行地闪接地点距离广州塔约 1.2 km;距离广州塔 1~2 km 的区域内共观测到地闪 35 次(次数占比为 29.4%),其中每个高度低于 300 m 的建筑物被击中的次数不超过 1 次;距离广州塔 2~3 km 的区域内共观测到地闪 64 次(次数占比为 53.8%),其中有些高度低于 300 m 的建筑物被下行地闪击中 1 次

以上,最多达 5 次。由于广州塔对周围大气电场的畸变作用,易激发上行先导并吸引下行地闪,所以分析区域内广州塔上的地闪次数最多,这会导致广州塔周围的建筑物或地面所受雷击的概率降低。郭秀峰等^[30]模拟研究表明建筑物高度越高对周围大气电场的畸变作用越强。

距离广州塔 0~2 km 区域低于 300 m 的建

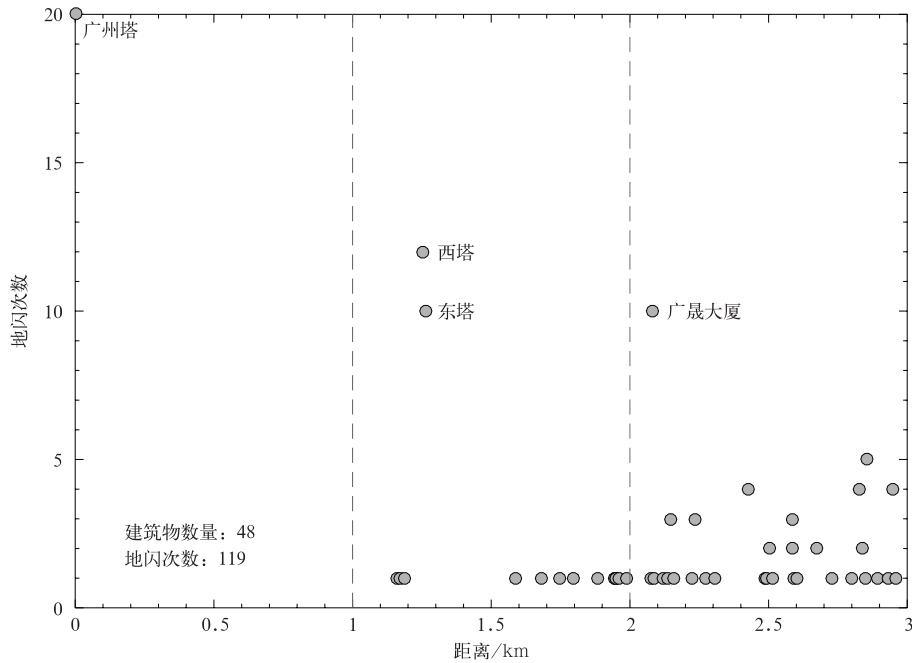


图 4 建筑物到广州塔的距离与地闪次数的关系

Fig. 4 Relationship between the distance from buildings to Canton Tower and number of flash

物被击中的次数不超过 1 次,与广州塔附近 0~2 km 区域相比,广州塔对其 2~3 km 区域的影响有所降低。图 3 中实线方框区域下行地闪分布密集,距离广州塔 2 km 之外,被下行地闪击中次数较多的建筑物高度均略大于 100 m,其中 145 m 高的东山领汇广场吸引下行地闪次数最多共 5 次,地闪发生次数甚至高于许多广州塔周围 0~2 km 高度超过 300 m 的建筑物。分析其原因,一方面由于远离 300 m 以上高建筑群,另一方面该区域内大多是高度较矮的建筑物,其中几个高度为 100~150 m 的建筑物也相对比较孤立,导致该区域内发生的地闪多集中在这些高建筑物上。

2.4 相对地闪密度

地闪密度表示每年每平方千米面积上所发生的地闪次数,用来表征一个地区地闪活动的频繁程度,

是描述地闪活动的重要参量。在 TOLOG 的观测中,一次触发事件后示波器以及各套数字化高速摄像系统需要一段时间来存储,当地闪发生频次较密时,可能某次地闪发生的时候记录设备正处于存储资料的工作状态,从而造成地闪的漏测,因此,TOLOG 的地闪光学观测资料与地闪定位资料相比存在数量上的差异。为避免混淆,本文采用相对地闪密度表示基于地闪光学资料计算得到的广州塔西北部 60°不同距离范围内每年每平方千米面积上所发生的地闪次数。

图 5 是研究区域内广州塔不同距离处的相对地闪密度(r 的取值间隔为 0.25 km)柱状图。浅色与深色的柱分别表示击中不低于 300 m 和 300 m 以下高建筑物的下行地闪的贡献。研究区域的平均相对地闪密度为 $3.6 \text{ km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。距离广州塔 0~

0.25 km, 1.25~1.5 km, 2~2.25 km 是相对地闪密度最大的3个区域,这与研究区中4个最高的建筑物的分布对应,其中广州塔所在的0~0.25 km区域内的相对地闪密度最大,为 $17.0 \text{ km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,完全由击中广州塔的下行地闪贡献。最靠近广州塔的区域存在相对地闪密度极小值。击中低于300 m的建筑物的相对地闪密度随着远离广州塔有逐渐增大的趋势。Zhang等^[16]利用广东省地闪定位系统

得到2010—2015年期间广州塔附近10 km范围内的平均地闪密度约为 $20 \text{ km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,1 km范围内的平均地闪密度约为 $30 \text{ km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,虽然在数值上明显高于用光学资料得到的相对地闪密度(主要受限于光学观测系统的探测效率),但本文统计分析得到的下行地闪密度随距离变化的特征与Zhang等^[16]得到的研究结果基本一致。

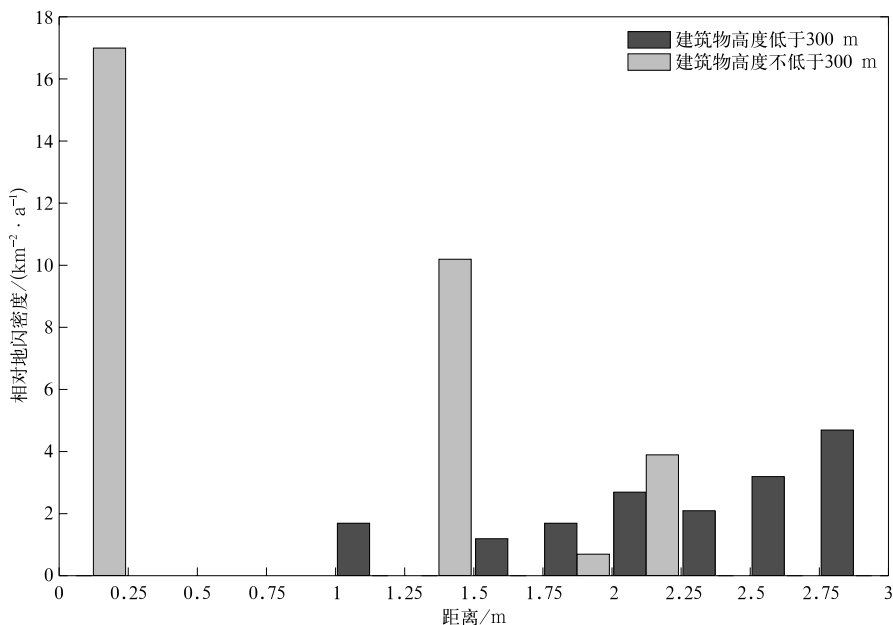


图5 广州塔附近相对地闪密度随距离变化

Fig. 5 The variation of relative flash density near Canton Tower with distance

3 结论和讨论

本文利用2009—2014年广州高建筑物雷电观测站的光学观测资料,结合雷声和电磁场变化波形,对广州塔西北部 60° 扇形区域3 km范围内的119次下行地闪分布特征进行统计,结果表明:

1) 区域内43.7%(52/119)的下行地闪发生在区域内的4个最高的建筑物,广州塔、西塔、东塔和广晟大厦分别被击中20次、12次、10次和10次。

2) 除直接击中广州塔的20次下行地闪,距离广州塔0~1 km的区域内未观测到下行地闪,距广州塔最近的接地点离广州塔约1.2 km;距离广州塔1~2 km的区域内观测到35次地闪,其中高度低于300 m的建筑物被击中的次数不超过1次;距离广州塔2~3 km的区域内观测到64次地闪,有些高

度低于300 m的建筑物被地闪击中1次以上,最多可以达到5次。

3) 距离广州塔0~0.25 km, 1.25~1.5 km, 2~2.25 km是相对地闪密度最大的3个区域,这3个区域内均有高度超过300 m的高建筑物。距离广州塔1~3 km范围内随着距离的增加下行地闪(扣除击中其他高度不低于300 m建筑物的地闪)的密度有逐渐增加的趋势,说明高建筑物对下行地闪的吸引作用随着距离增加而逐渐减弱。

需要强调的是,本文基于地闪光学观测资料分析地闪特征,受限于2014年之前TOLOG光学观测系统的捕获效率,这里给出的相对地闪密度本身会低估实际地闪密度,但本文给出的广州塔附近区域下行地闪分布特征能够很好地体现高建筑物对附近区域地闪活动的影响规律。下一步工作中,将改进TOLOG光学观测方案,提升对地闪的捕获效率,更

准确地获得高建筑物附近区域地闪活动特征。另外,分析区域内下行地闪的活动特征受多个高建筑物的综合影响,难以提取单独的建筑物进行分析,有待结合数值模拟进一步探讨不同高度的高建筑物对附近区域地闪活动特征的影响规律及其机理。

参考文献

- [1] 郗秀书,张其林,袁铁. 雷电物理学. 北京:科学出版社,2013.
- [2] Rakov V A, Uman M A. Lightning: Physics and Effects. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [3] 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.
- [4] 廖义慧,吕伟涛,齐奇,等. 基于闪电先导随机模式对不同连接形态的模拟. 应用气象学报, 2016, 27(3): 361-369.
- [5] McEachron K B. Lightning to the empire state building. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 1941, 60(9): 885-890.
- [6] Gorin B N, Levitov V I, Shkilev A V. Lightning strikes to the Ostankino tower (in Russian). *Elektrich*, 1977, 8: 19-23.
- [7] Warner T A. Upward Leader Development from Tall Towers in Response to Downward Stepped Leaders // Lightning Protection (ICLP), 2010 30th International Conference on IEEE, 2010: 1-4.
- [8] Hussein A M, Janischewskij W, Chang J S, et al. Simultaneous measurement of lightning parameters for strokes to the Toronto Canadian National Tower. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1995, 100(D5): 8853-8861.
- [9] 王智敏,吕伟涛,陈绿文,等. 2011—2012年广州高建筑物雷电电磁场特征统计. 应用气象学报, 2015, 26(1): 87-94.
- [10] 陈绿文,吕伟涛,张义军,等. 不同高度建筑物上的下行地闪回击特征. 应用气象学报, 2015, 26(3): 311-318.
- [11] 谭涌波,张鑫,向春燕,等. 建筑物上侧击雷电的三维数值模拟. 应用气象学报, 2017, 28(2): 227-236.
- [12] 李俊,张义军,吕伟涛,等. 一次多回击自然闪电的高速摄像观测. 应用气象学报, 2008, 19(4): 401-411.
- [13] Hussein A M, Jan S, Todorovski V, et al. Influence of the CN Tower on the Lightning Environment in Its Vicinity // Proceedings of the International Lightning Detection Conference (ILDC), 2010: 1-19.
- [14] Ngqungqa S H. A Critical Evaluation and Analysis of Methods of Determining the Number of Times that Lightning will Strike a Structure. Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2005.
- [15] Diendorfer G, Schulz W, Umprecht H, et al. Effect of Tower Initiated Lightning on the Ground Stroke Density in the Vicinity of the Tower // International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2010.
- [16] Zhang C, Lu W, Chen L, et al. Influence of the Canton Tower on the cloud-to-ground lightning in its vicinity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, 122(11): 5943-5954.
- [17] 陈绿文,张义军,吕伟涛,等. 闪电定位资料与人工引雷观测结果的对比分析. 高电压技术, 2009, 35(8): 1896-1902.
- [18] Valine W C, Krider E P. Statistics and characteristics of cloud-to-ground lightning with multiple ground contacts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2002, 107(D20): AAC-1-AAC 8-11, DOI: 10. 1029/2001JD001360.
- [19] Saba M M F, Ballarotti M G, Pinto Jr O. Negative cloud-to-ground lightning properties from high-speed video observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, 111, D03101, DOI: 10. 1029/2005JD006415.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Winn W P, Aldridge T V, Moore C B. Video tape recordings of lightning flashes. *J Geophys Res*, 1973, 78(21): 4515-4519.
- [23] Brantley R D, Tiller J A, Uman M A. Lightning properties in Florida thunderstorms from video tape records. *J Geophys Res*, 1975, 80(24): 3402-3406.
- [24] Parker N G, Krider E P. A portable, PC-based system for making optical and electromagnetic measurements of lightning. *J Appl Meteor*, 2003, 42(6): 739-751.
- [25] De Miranda F J, Pinto Jr O, Saba M M F. A study of the time interval between return strokes and K-changes of negative cloud-to-ground lightning flashes in Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 2003, 65(3): 293-297.
- [26] Lu W, Chen L, Zhang Y, et al. Characteristics of unconnected upward leaders initiated from tall structures observed in Guangzhou. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012, 117, D19211, DOI: 10. 1029/2012JD018035.
- [27] Wang D, Watanabe T, Takagi N. A High Speed Optical Imaging System for Studying Lightning Attachment Process // Lightning (APL), 7th Asia-Pacific International Conference on IEEE, 2011: 937-940.
- [28] 杨了,吕伟涛,张阳,等. 改进的互功率谱相位法在雷声声源定位中的应用. 应用气象学报, 2014, 25(2): 193-201.
- [29] 章涵,王道洪,吕伟涛,等. 基于雷声到达时间差的单站闪电通道三维定位系统. 高原气象, 2012, 31(1): 209-217.
- [30] 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.

Characteristics of Downward Cloud-to-ground Lightning Flashes Around Canton Tower Based on Optical Observations

Wu Shanshan¹⁾ Lü Weitao¹⁾ Qi Qi¹⁾ Wu Bin¹⁾ Chen Lüwen²⁾
Su Zhiguo¹⁾ Jiang Ruijiao¹⁾ Zhang Changxiu¹⁾³⁾

¹⁾ (Laboratory of Lightning Physics and Protection Engineering/State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080)

³⁾ (Sinopec Research Institute of Safety Engineering, Qingdao 266071)

Abstract

With the progress on the research of lightning hitting high buildings, influences of high buildings on characteristics of cloud-to-ground lightning flashes in the nearby area still need further research. At present, this kind of research are mainly based on data obtained by lightning location system, while optical observations are more visible and should be better considered. Results of optical observations can deepen our understanding of high-building impacts on characteristics of downward cloud-to-ground lightning flashes activity in nearby areas and provide basic data for lightning protection design of high buildings and nearby areas.

Based on optical data of Tall-Object Lightning Observatory in Guangzhou (TOLOG) from 2009 to 2014, combined with the lightning acoustics and electromagnetic field variation waveform data, distribution characteristics of 119 downward cloud-to-ground lightning flashes in the northwest of Canton Tower within 3 km in 60° sector region are analyzed statistically. Results show that 43.7% (52/119) of downward cloud-to-ground lightning flashes occurs on four tallest buildings in the area. Lightnings hit Canton Tower, Canton West Tower, Canton East Tower and Guangsheng Building for 20, 12, 10 and 10 times, respectively. Besides 20 (16.8%) flashes directly hit Canton Tower, no downward lightning is observed within 1 km distance from Canton Tower (11.1% of total area). The closest stroke point to Canton Tower is about 1.2 km away. 35 (29.4%) lightning flashes are observed in the area of 1–2 km away from Canton Tower (33.3% of total area). Building lower than 300 m is hit no more than once in the area each. 64 (53.8%) lightning flashes are observed in 2–3 km away from Canton Tower (55.6% of total area). Some buildings with a height below 300 m are hit more than once, up to 5 times. The attraction of Canton Tower to downward cloud-to-ground lightning flashes makes no downward cloud-to-ground flashes observed in the vicinity of 1 km or so. The relative density of the flash (excluding flashes hitting buildings with a height of more than 300 m) increases gradually with the increase of distance. Results indicate that the attraction of high buildings to the downward cloud-to-ground lightning flashes gradually weakens with the increase of distance.

Key words: downward cloud-to-ground lightning flash; tall building; relative flash density