

李京校¹ 齐飞² 张宇龙¹ 李如箭¹ 丁国强¹ 倪斌²

故宫博物院雷电灾害及雷电活动特征分析

摘要

统计分析故宫自建成 594 年 (1420—2014 年) 以来的雷电灾害事故资料及 2005—2014 年故宫及周边区域内闪电定位资料, 结果显示: 有记录的雷击灾害次数 51 起, 雷电灾害都发生在 5—9 月, 主要在 6—8 月, 其中 8 月最多; 雷电灾害发生在故宫南部建筑的次数多于北部, 中轴线上的多于两侧, 太和殿被雷击次数最多; 遭雷击次数最多的部位是古建顶部的吻兽; 雷击损害以直接雷击最多. 故宫及周边 1 km 区域内的雷电主要发生在 4—10 月, 主要分布在 6—8 月, 其中 8 月最多; 雷电发生的日变化明显, 主要在下午和前半夜, 占全天的 63.95%; 雷电流强度 30~40 kA 的闪电占总闪电数 23.26%, 比例最大, 总体呈正态分布. 雷电活动和雷电灾害在时间分布上整体较为一致.

关键词

故宫博物院; 雷电灾害; 雷电活动; 时空特征

中图分类号 P446

文献标志码 A

收稿日期 2015-04-09

资助项目 北京市自然科学基金(8164072); 北京市气象局科技研发专项(2013BMBKYZX17)

作者简介

李京校, 男, 硕士, 工程师, 主要从事雷电防护和雷灾评估研究. ljxzzu@126.com

1 北京市避雷装置安全检测中心, 北京, 100089

2 故宫博物院古建部, 北京, 100009

0 引言

北京故宫博物院(旧称紫禁城, 以下简称故宫)为第一批全国重点文物保护单位, 占地面积 72 万 m² 以上, 建筑面积超过 14 万 m², 房屋约 9 000 间. 主体建筑体积大而高耸突出, 骨架以木构为主, 是世界现存最大、保存最完整的古建筑群, 被誉为世界五大宫之一, 并被联合国教科文组织列为“世界文化遗产”. 因此, 故宫的安全保护显得尤为重要, 其中防雷保护就是其中之一^[1-2]. 故宫建成之初, 就有雷害相伴, 此后不断出现雷击起火、损毁建筑物的事故发生^[3], 解放后唯一的一次火灾也是因雷击引起的(1987 年 8 月 24 日夜故宫景阳宫起火), 最近在 2011 年和 2012 年又发生三起雷灾事故. 目前已有不少关于故宫防雷技术的探索^[4-6], 但关于故宫长时间雷电灾害统计分析未见报道.

在雷电灾害分析方面, 国内外不少人分析过不同时间段某一范围(全国或某省市)雷电灾害特征^[7-9], 或某一行业的雷灾特征^[10-11], 而对某一重大场所长时间序列的雷击事故分析还较少. 在故宫近 600 年的历史长河中, 多次遭雷击破坏甚至焚毁后原址重建, 到了近现代增加了一些电子信息设备和服务设施, 但雷击因素中的地理位置、土壤属性、建筑自身结构基本未发生变化, 所以统计分析故宫长时间序列雷击事故具有现实意义. 本文利用故宫自建成 594 年(1420—2014 年)以来长时间序列雷电灾害事故资料及 2005—2014 年故宫及周边区域内闪电定位资料, 分析故宫雷击事故的时间、空间分布、雷击类型、雷击位置等特征, 以及故宫及其周边区域雷电时间、空间、电流强度分布等特征, 并探讨其原因, 为故宫的防雷和管理提供参考.

1 资料和方法

1) 利用故宫 1420—2014 年记录的所有雷电灾害资料(来自故宫古建部和文献^[3, 6, 12], 以及北京市避雷装置安全检测中心进行的雷灾调查资料), 统计故宫雷灾事故的年、月、空间(场)分布和雷击类型、雷击位置等特征. 资料中解放前记录的雷击灾害的时间为农历, 统一换算为公历. 雷击损害类型的划分标准参考《雷电灾情统计规范》(QX/T 191—2013).

2) 采用北京市 2005—2007 年的 SAFIR3000 闪电定位数据和 2008—2014 年 ADTD 闪电定位数据进行统计. 研究表明, 雷电放电可

以对距离雷击点 1 km 范围内的电子信息设备产生电磁感应作用,影响系统运行或造成破坏^[13],所以筛选了故宫周围四个方向 1 km 范围内 10 年的闪电定位数据.

故宫南北长 960 m,东西宽 750 m,扩展后长为 2 960 m,宽为 2 750 m,面积约为 8.14 km².对所选范围内的闪电定位数据进行统一格式的处理(其中 SAFIR3000 闪电定位资料为世界时,先转换为北京时间即世界时加上 8),然后分析雷电的日、月、空间位置、电流强度分布特征.

2 故宫雷灾事故时空分布特征及损害特征

2.1 雷击次数及时间分布特征

故宫从 1406 年开始营建,明朝永乐十八年(1420 年)建成用作皇宫,1911 年清朝溥仪皇帝退位搬出,1925 年作为博物院对外开放,到 2014 年共 594 年历史.在此期间,统计有记录的雷击事故共 51 起(一起雷击事故可能有多个对象遭雷击),以 100 年为一个时间段划分,不同时间段雷击次数的分布如图 1a 所示.可以看到,故宫每百年至少发生 2 起雷电灾害事故,其中在 1420—1500 年、1500—1600 年、1900—2000 年雷灾事故较多,最多的是 1900—2000 年(23 起,含 4 起是避雷针接闪).故宫作为明朝皇宫时间为 225 年(1420—1644 年),发生雷灾事故 18 起;作为清朝皇宫时间为 268 年(1644—1911 年),发生雷灾事故 4 起;解放后发生雷灾事故 29 起.

1900—2000 年雷灾事故较多,且多数是在 1949 年以后,究其原因,一是随着社会的发展,故宫内加装了不少照明、电话、防盗系统、暖通、广播、消防自动报警、消防喷淋等线路或设施,一定程度上增加了雷击风险,导致雷灾事故增多;二是该时间段较近,近年来人们对雷击灾害的重视和监测手段的增加,雷灾事故的记录可能更为完善.1949 年以后故宫每 10 年为时间段的雷灾事故的统计如图 1b 所示,在 1990—2000 年发生雷灾最多,为 9 起,多为雷电感应雷击灾害,其次是 1950—1960 年发生 6 起雷灾.

故宫雷电灾害时间的月分布如图 2(其中有 4 起雷灾事故无月份记录,统计时未包含)所示,雷电灾害发生在 5—9 月,主要在 6—8 月,合计占 87.23%,其中以 8 月最多,占 34.04%,5 月最少,占 4.26%,其他月份无雷电灾害记录.故宫发生的雷电灾害最早的时间为 5 月 9 日,最晚为 9 月 27 日.

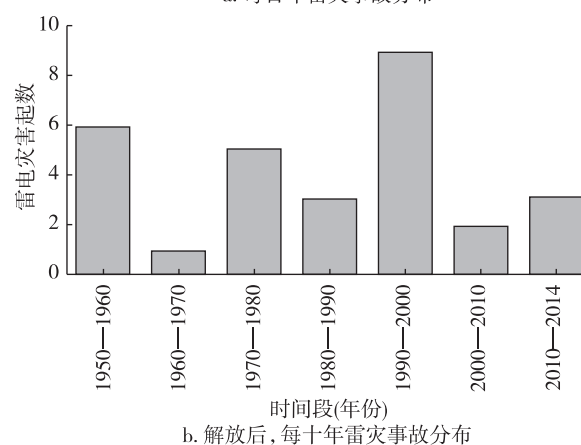
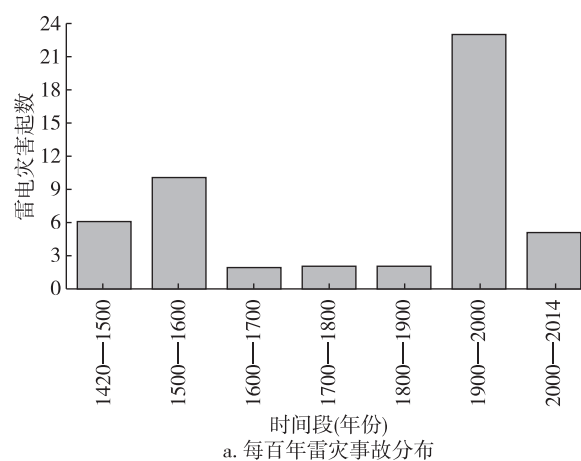


图 1 故宫雷电灾害事故年分布
Fig. 1 Annual distribution of lightning disaster at the Palace Museum

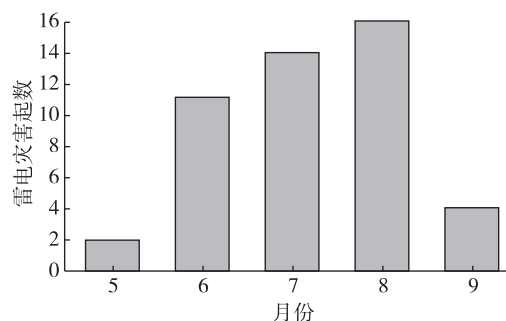


图 2 故宫雷电灾害事故月分布
Fig. 2 Monthly distribution of lightning disaster at the Palace Museum

2.2 雷击事故的空间分布特征

故宫以乾清门为界线,全部建筑由“前朝”与“内廷”两部分组成(即“工作区”和“生活区”).故宫四角有角楼,四周有城墙围绕,城墙外面由筒子河(护城河)环抱.四面各有一门,正南是午门,为故宫的正门.统计故宫不同建筑的雷击次数,得到故宫雷

击事故空间分布(图3),超过2次(含2次)的雷击场所如表1所示.从图3可以看到,总体上南部宫殿、城门遭雷击次数要比北部多,这可能与南部高大建筑物较多以及南部有内金水河穿过,土壤电阻率更低有一定的关系.

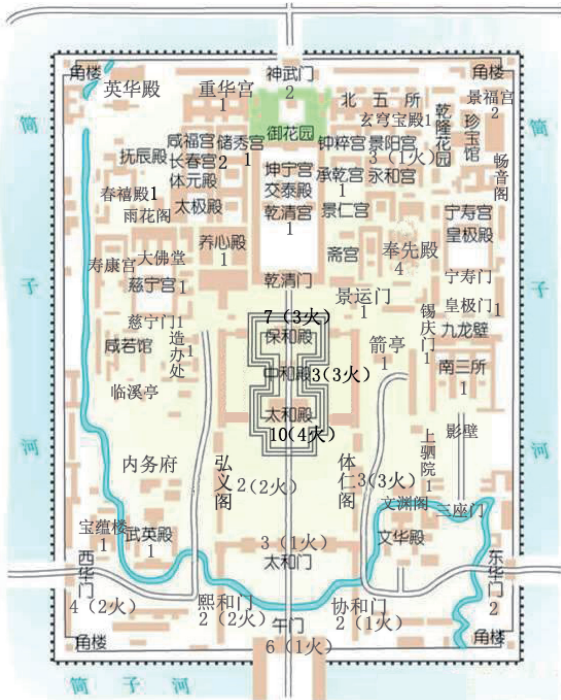


图3 故宫雷击场所空间分布(括号内数字为着火次数)

Fig.3 Spatial distribution of lightning disaster at the Palace Museum

此外,故宫中轴线上及其两侧的古建筑雷击次数较多,其中太和殿遭雷击次数最多,为10次(含2次为太和殿维修时杉槁、脚手架分别遭雷击),其次为保和殿7次,再次为午门6次,原因亦可能是中轴线及其两侧的建筑多数较高,易遭雷击.

由雷击事故的历史记录还发现,故宫较矮的建筑也会遭受雷击,如箭亭、承乾宫、景阳宫、慈宁门、养心殿西配殿(高仅4.5 m)均曾遭到直接雷击,较矮建筑同样也应安装防雷装置.

表1给出了不同宫殿、城门安装防雷装置的时间^[6]和最后一次遭雷击时间.从表1可看到,安装防雷装置后(主要是外部防雷装置),除了午门西南角亭斜脊上走兽遭到一次雷击外,其他建筑都未遭受雷击破坏;另外发现安装的避雷针有接闪(如东华门、长春宫等),未造成古建破坏,说明安装防雷装置对直击雷的防护起到了很好的作用.但是由于缺少防感应雷击装置,还会遭受雷电破坏,如1993年保和殿东庑、1994年宁寿宫、1995年永寿宫,虽然在遭雷击之前都安装了避雷针,但报警系统分别都遭雷电感应袭击而失灵.

故宫雷击事故次数较多,首先是该地方发生的自然闪电较多.故宫有内金水河,河内一般都有水,外围是50 m宽的护城河,其西北部、西部不远处均有较大面积的水域(分别为北海、中南海),故宫位于古河道上,交错的水道和宽阔的水域,使故宫下垫面

表1 故宫雷击次数较多场所及防雷装置安装时间和最后一次雷击时间

Table 1 Statistics of lightning disaster at vulnerable places of the Palace Museum, including total number of lightning disaster, time of latest lightning stroke, and lightning protection device

场所名称	雷击灾害次数	安装防雷装置时间	最后一次雷击时间
太和殿	10(4次着火)	1957年安装,2006年大修时重做	2006年(施工的脚手架)
保和殿	7(3次着火)	1957年	1993年(报警系统失灵)
午门	6(1次着火)	1957年	1970年(西南角亭斜脊上走兽)
奉先殿	4	1957年安装,1992年防雷改造	1643年(吻兽、隔扇、铜环)
西华门	4(2次着火)	1957年	1862年(吻兽)
景阳宫	3(1次着火)	1993年	1987年(雷击起火)
中和殿	3(3次着火)	1960年	1597年(着火)
太和门	3(1次着火)	1960年安装,2006年大修时重做	1862年(吻兽)
体仁阁	3(3次着火)	1957年	1783年(雷击起火)
弘义阁	2(2次着火)	1957年	1597年(着火)
协和门	2(1次着火)	2009年	1597年(雷击起火)
东华门	2	1957年安装,2013年大修时重做	1957年(避雷针接闪)
长春宫	2	1993年	1996年(避雷针接闪)
景福宫区	2	未安装	1995年(报警系统失灵)
熙和门	2(2次着火)	2009	1758年(着火)

土壤电阻率很低,成为北京地区的活动雷电通道.北京市气象台统计分析表明,北京地区雷暴系统主要移动路径为西山→八里庄→故宫→朝阳门→十八里店→宋家庄→百子湾→通州^[14],从西北到东南,恰巧经过故宫;其次,故宫高大恢弘的建筑,飞檐翘角的林立,部分建筑防雷装置不完善(1957年前基本无防雷装置)是故宫易遭雷击破坏的直接原因.

2.3 故宫雷击损害类型

统计故宫的雷击类型如图4所示,直接雷击破坏所占比例最高,为总雷击次数的75.51%,同时发生直击雷和雷电感应破坏为12.24%,单一雷电感应破坏比例为8.16%,其他形式雷击破坏比例为4.08%.故宫雷击损害类型分为建筑物物理损坏的D2型及电涌导致的电气电子系统功能损坏的D3型;损失类型包括故宫内配电、安防、通信等系统的损失L2(主要在解放后),还包括了文化遗产损失L3和由此带来的经济损失L4.

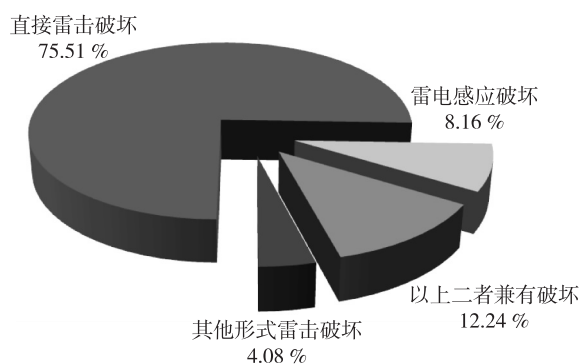


图4 故宫雷击损害类型分布

Fig. 4 Distribution of damage types from lightning stroke at the Palace Museum

没有安装防雷装置以前,直接雷击破坏次数较多.1957年以后,开始在故宫逐步安装防雷装置,直接雷击破坏次数相对减少.雷电感应破坏主要发生在电子信息设备或金属线缆增多以后的现代,单一的和同时发生雷电感应破坏事故合计占20.40%.解放前故宫雷电感应破坏仅出现一次(《明史》卷二八描述:奉先殿明崇祯十六年(1643年)六月丙戌,雷震奉先殿鸱吻,隔扇皆裂,铜环尽毁),雷电在铜环内产生感应电流,致使其发热烧毁.

故宫多为砖木结构,不同于现代建筑钢筋网格结构,对雷电无屏蔽作用,对雷电电磁脉冲(LEMP)比较敏感.故宫内的配电、安防、通信等线缆由于文物建筑保护的要求制约多数顺外墙体敷设,地面很

难挖沟埋地敷设,且线缆电磁屏蔽措施一般不完善.该区域发生闪电时,会在一定范围内出现雷电电磁脉冲,如果附近的线缆或电子信息设备未屏蔽,会出现感应雷击破坏.雷电感应破坏会引起防火、防盗报警系统失灵,报警系统一旦失灵,将增大故宫自身安全隐患.

2.4 故宫雷击建筑物位置统计分析

统计故宫宫殿场所不同部位遭雷击次数如图5所示.雷击吻兽(正脊两端吻兽)次数23次(含4次为击中吻兽旁的避雷针),雷击电子信息设备11次,这与张华明等^[11]统计的80起古建雷击事故得到的结果基本一致.

依据古建的构造,吻兽是最突出的部位,有的吻兽前后有很粗的拉固铁链,有的古建还有金属体宝顶,这些金属物体的存在容易使附近大气电场发生畸变^[6],从而使闪电先导易于在此处发生雷击,所以该部位的雷击率最高.电子信息设备雷击及原因见2.3节分析.

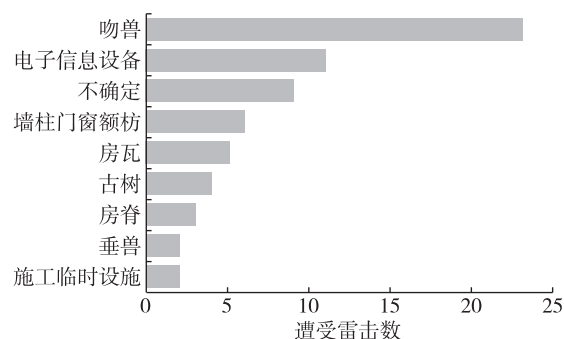


图5 故宫不同部位遭雷击次数分布

Fig. 5 Lightning stroke frequency distribution at different parts of the Palace Museum

不确定部位次数主要指雷击起火次数,因为对于故宫这种木结构为主的古建筑,一般雷电击中古建筑某部位时,闪电火花直接引燃木材或者闪电电流产生的高温引燃木材^[15],因雷击起火造成的损失一般都很严重,很难确定雷击部位.

明朝时期故宫雷击起火为5次,清朝为3次,解放后为1次.故宫三大殿(太和殿、中和殿、保和殿)自建成后共5次被焚毁,其中3次都是雷击起火三大殿同时被毁(分别是1421年即建成后的第二年、1557年、1597年).同一起雷击起火事故超过3个宫殿被全部烧毁的共有4次,超过3个宫殿同时遭破坏的共有7次,其中最严重的一起是明嘉靖三十六年(1557年)故宫三大殿及午门外左右廊因雷击起

火而焚毁,5年后重建工程才完成。

墙柱门窗额枋类遭受雷击的事故主要发生在解放前,解放后仅有一次(2003年击中南三所正门的东山墙、山花、吻兽、正脊),此类雷击多是侧击雷引起的,即雷电未击在古建最高位置,击在侧面某部位。

故宫内古树曾4次遭雷击(2012年两次,分别为国槐和柳树,1992年、1970年各一次,均为松树),古树遭雷击后可能树皮被剥掉、树枝折断或树干劈裂引起古树死亡。古树腐朽时更易于遭受雷击,在古树上拴铁丝或搭铁架也会增加古树遭雷击的概率。

故宫太和殿两次维修过程中临时装置(脚手架、临时杉槁)遭雷击,说明维修施工过程中也要防雷,特别是较高的脚手架等要做好防雷措施。此外,1980年8月,正在施工的养心殿院内西配殿正脊南端的吻被雷击掉,上午安装的正吻,午后即遭雷击,建议防雷和古建施工最好同步进行。

3 故宫及周围区域雷电活动分布特征

统计故宫及其周边1 km范围内的SAFIR3000和ADTD闪电定位资料,得到2005—2014年该区域共发生闪电172次,其中正闪28次,负闪144次。最早闪电出现在4月18日,最晚闪电出现在10月2日。

图6为故宫及其周围闪电日分布特征。闪电日分布呈现出3个高峰,分别在2:00、15:00和21:00,其中15:00为最高峰。午夜前后2 h分别有次高峰。总体来说,午后(2:00—18:00)多,占全天34.3%,前半夜(18:00—24:00)占29.65%,后半夜(00:00—6:00),占26.16%,上午(6:00—12:00)闪电最少,仅占9.88%。

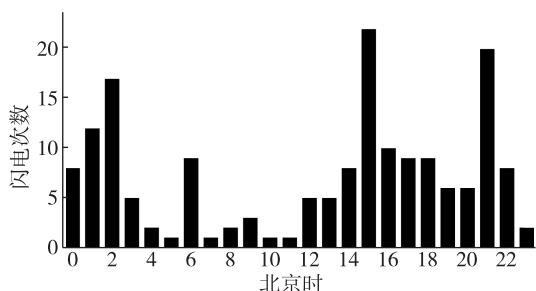


图6 故宫及周围区域闪电日分布

Fig. 6 Diurnal distribution of lightning activity at the Palace Museum and its surrounding area

图7为该区域闪电月分布,可看出4—10月均

有闪电发生,主要发生在6—8月,占91.86%,其中8月闪电最多,占45.93%,1—3月和11—12月无闪电发生。与图2雷击事故月分布对比,总体上较为一致。值得注意的是,7月虽然雷击事故较多,但闪电次数却相对不多,可能是该月闪电次数虽然不多,但是雷电流强度比较大,易造成破坏。

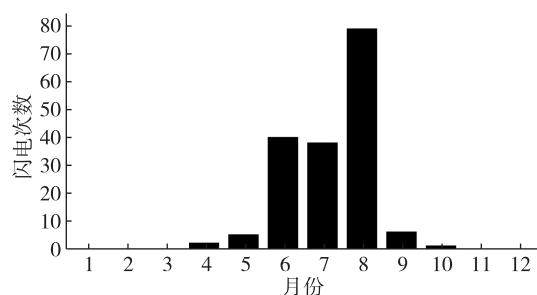


图7 故宫及周围区域闪电月分布

Fig. 7 Monthly distribution of lightning activity at the Palace Museum and its surrounding area

统计该区域雷电电流强度分布(其中负闪电流数值取绝对值,正闪电流数值不变),得到图8。从图8中可看到,雷电流大小在30~40 kA分布的最多,所占比例为23.26%。雷电流大小总体呈正态分布,即中间所占比例大,两端所占比例小。其中最大雷电流为237.9 kA,大于150 kA的闪电为4次,雷电流强度大多数在100 kA以下。另外,依据GB 50057—2010,故宫属于二类防雷建筑物,当雷电流小于10.1 kA时会发生绕击,小于该强度的雷电流所占比例为8.72%,可以认为发生雷电绕击的概率为8.72%。

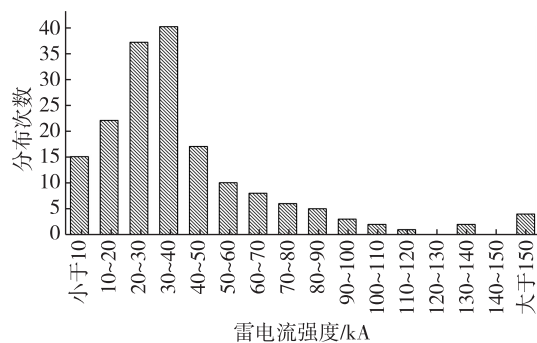


图8 故宫及周围区域闪电电流强度分布

Fig. 8 Lightning intensity distribution at the Palace Museum and its surrounding region within 1 km

从该区域闪电空间分布(图9)可以看到,2005—2014年在故宫院内至少发生18次闪电,共造成4起雷电灾害事故。此外,故宫附近1 km范围内的闪电产生的雷电电磁脉冲、雷电波入侵也有可能导

致故宫内电子信息设备遭受破坏或误动作.由于该区域闪电资料积累时间较短,空间分布上并无明显规律,有待于积累更长时间闪电资料进行统计分析.

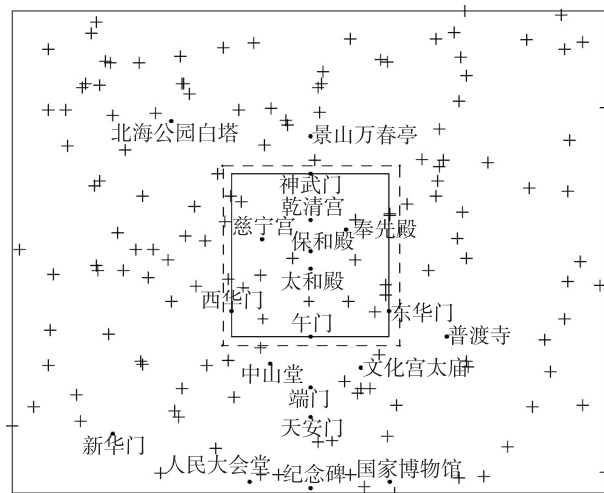


图9 故宫及周围1 km区域闪电空间分布图
(实线代表故宫城墙,虚线代表护城河外边界)

Fig. 8 Spatial distribution of lightning activity in the Palace Museum and the surrounding region of 1 km

一般来说,雷灾频次与致灾因子(雷电活动)一般呈正相关,与承载体(人类、建筑和电子信息设备)的脆弱程度也相关,其中雷电活动又和孕灾环境(气候、地理等)有关^[16].致灾因子和孕灾环境人类难以改变,可以改变的是增强承载体的抵抗性,如在故宫安装完善的防雷装置,采取有效的防雷措施和对策,可以尽最大可能减少或避免故宫发生雷击事故.

4 结论

1) 统计1420—2014年故宫有记录的雷电灾害次数共为51起,分布较多的时间段为1420—1500年、1500—1600年、1900—2000年;雷电灾害分布在5—9月,主要分布在6—8月,合计占87.23%,其中以8月最多,占34.04%.空间分布上故宫南部的建筑遭雷击次数要比北部的多,中心轴线上的比两侧的多,其中太和殿雷击次数最多,遭雷击起火的次数也最多.遭雷击最多的部位为吻兽,其次是电子信息设备.雷击类型为直击雷最多,近些年感应雷击的次数在增加.

2) 统计2005—2014年故宫及周边1 km范围闪电定位资料,得到该区域雷电日分布主要在下午和前半夜,占总数的63.95%,其中15:00最多;月分布为4—10月,主要分布在6—8月,合计占91.86%,

其中8月最多,占45.93%.雷电流在30~40 kA分布的最多,占总数的23.26%,总体呈正态分布.整体而言,雷电灾害和雷电活动在时间分布上较为一致.

参考文献

References

- [1] 李京校,宋平健,甘璐,等.故宫博物院“6.23”雷击事件分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(4):326-335
LI Jingxiao, SONG Pingjian, GAN Lu, et al. Analysis of lightning disaster event on June 23, 2011 in the Palace Museum[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology(Natural Science Edition), 2014, 6(4): 326-335
- [2] 马宏达.故宫防雷调查兼论中国古建防雷的特点[C]//中国科学院电工研究所论文报告集,1989,18:118-122
MA Hongda. An investigation on the lightning protection for the Forbidden City also as an essay about the specialty of the lightning protection for the ancient Chinese building[C]// Bulletin of Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, 1989, 18: 118-122
- [3] 白丽娟.故宫博物院古建筑防雷保护工作的回顾[J].故宫博物院院刊,2005(5):344-367
BAI Lijuan. The practice of the lightning protection of ancient buildings in the Palace Museum[J]. Palace Museum Journal, 2005(5): 344-367
- [4] 黄燕虹,齐飞.对故宫古建筑预防雷电的保护与思考[C]//中国文物保护技术协会第七次学术年会论文集.北京:科学出版社,2012:379-386
HUANG Yanhong, QI Fei. The protection and reflection about lightning prevention of ancient buildings in the Palace Museum[C]// 7th Symposium of Chinese Cultural Relics Protection Association. Beijing: Science Press, 2012: 379-386
- [5] 安卫华,魏乃永,张萌.故宫博物院太和殿等古建筑的防雷改造设计体会[J].电气应用,2011,30(22):50-53
AN Weihua, WEI Naiyong, ZHANG Meng. Renovation design of lightning protection in Taihe Hall of the Palace Museum and other ancient buildings[J]. Electrotechnical Application, 2011, 30(22): 50-53
- [6] 王时煦,于倬云,白丽娟.故宫博物院的防雷历史与经验总结[C]//中国紫禁城学会论文集第三辑.北京:紫禁城出版社,2000:390-399
WANG Shixu, YU Zhuoyun, BAI Lijuan. The history of lightning protection and experience summary in the Palace Museum[C]// Proceedings of the Forbidden City Society, the 3rd Series. Beijing: Forbidden City Publishing House, 2000: 390-399
- [7] Dlamini W M. Lightning fatalities in Swaziland: 2000-2007[J]. Natural Hazards, 2008, 50(1): 179-191
- [8] 程琳,周俊驰,许蓓,等.2011年度江苏省雷电活动及雷击灾害特征[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2013,5(2):139-142

- CHENG Lin, ZHOU Junchi, XU Bei, et al. Analysis on characteristics of lightning activities and lightning disasters in Jiangsu Province in 2011[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2013, 5(2): 139-142
- [9] 高燧,周方聪,劳小青.1999—2011年海南岛雷电灾害特征分析[J].自然灾害学报,2014,23(5):253-262
GAO Yi, ZHOU Fangcong, LAO Xiaoqing. Characteristics analysis of lightning disaster in Hainan island from 1999 to 2011[J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(5): 253-262
- [10] 甘璐,李津,邓长菊,等.北京市电网雷害分布规律及风险评估[J].应用气象学报,2014,25(4):499-504
GAN Lu, LI Jin, DENG Changju, et al. Risk assessment and temporal-spatial distribution of power grid lightning disasters in Beijing[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2014, 25(4): 499-504
- [11] 张华明,杨世刚,张义军,等.古建筑物雷击灾害特征[J].气象科技,2013,41(4):758-763
ZHANG Huaming, YANG Shigang, ZHANG Yijun, et al. Characteristics of ancient building lightning disasters[J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(4): 758-763
- [12] 李采芹,王铭珍.中国古建筑与消防[M].2版.上海:上海科学技术出版社,2009:148-159
LI Caiqing, WANG Mingzhen. Chinese ancient buildings and their fire control[M]. 2nd Ed. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2009: 148-159
- [13] 张小青.建筑物内电子设备的防雷保护[M].北京:电子工业出版社,2000:16-18
ZHANG Xiaoqing. Lightning protection of electronic equipment in the buildings[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2000: 16-18
- [14] 王时煦.再论古建筑物与故宫博物院的防雷[C]//中国紫禁城学会论文集.北京:紫禁城出版社,1996:340-348
WANG Shixu. Second discussion on lightning protection of ancient buildings and the Palace Museum[C]. Proceedings of the Forbidden City Society. Beijing: Forbidden City Publishing House, 1996: 340-348
- [15] 李京校,宋平健,李如箭,等.文物古建直击雷火灾成因分析及对策[J].西南师范大学学报:自然科学版(录用待刊)
LI Jingxiao, SONG Pingjian, LI Rujian, et al. Analysis and preventive measures on fire disaster from direct lightning stroke at the ancient timber buildings[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition(Accepted)
- [16] 马明,吕伟涛,张义军,等.我国雷电灾害及相关因素分析[J].地球科学进展,2008,23(8):856-865
MA Ming, LÜ Weitao, ZHANG Yijun, et al. Analysis of lightning disasters in China and their correlative factors[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(8): 856-865

Characteristic analysis of lightning disasters and lightning activities at the Palace Museum

LI Jingxiao¹ QI Fei² ZHANG Yulong¹ LI Rujian¹ DING Guoqiang¹ NI Bin²

¹ Beijing Lightning Devices Security Test Center, Beijing 100089

² Ancient Building Department of the Palace Museum, Beijing 100009

Abstract The 594 years lightning disaster records span from 1420 to 2014 for the Palace Museum and the lightning location data over the Palace Museum and its surrounding region from 2005 to 2014 were counted and analyzed. The results show that a total of 51 lightning disasters were recorded for the Palace Museum, mainly occurred during May to September, especially from June to August, and August is the month which has most lightning disasters. The southern buildings and the buildings located at the central axis are more prone to lightning compared with the northern buildings and the buildings located at east or west wing of the Palace Museum, and the Supreme Harmony Palace has the most lightning disasters. The ridge animal statues, which are at the top of the ancient building, are most vulnerable to lightning strokes. In addition, the direct lightning strokes caused most lightning disaster losses. The lightning location data show that the lightning activities mainly occur during April to October, especially from June to August, and August is the month which has most lightning activities. A distinctive diurnal variation exists in lightning activities over the Palace Museum and the surrounding region within 1km range, and afternoon till midnight is the most vulnerable period with 63.95% of lightning occurrence. Generally, the lightning currents distributed normally with 30-40 kA as center, which accounted for 23.26%. The lightning activities and lightning disasters are roughly consistent in temporal distribution.

Key words the Palace Museum; lightning disaster; lightning activities; temporal and spatial characteristics