

对故宫古建筑预防雷电的保护与思考

黄燕虹 齐 飞

(故宫博物院, 北京 100009)

摘要: 故宫博物院是世界上现存规模最大、保存最完整的古代建筑群, 且属雷电活动较频繁易受雷害的地区, 据明清两代文献记载, 故宫发生的较大雷击事故有29起; 新中国成立以来, 故宫发生的较大雷击事故也有十余起, 因此防雷工作极为重要。我院防雷装置实行定期检测制度, 在每年雨季来临之前同相关部门合作, 对防雷装置进行检查, 排除安全隐患。做好防雷装置的日常维护工作, 并指定专人负责, 发现问题及时维修或者上报院有关部门。对全院职工进行防雷指导教育, 提高安全意识, 避免误操作。平常做好防雷的宣传工作, 对我院设施的改进加强监护管理, 保护好故宫这座古老的建筑是我们文物保护工作中一项紧迫而艰巨的重要任务。

关键词: 故宫 防雷特点 避雷装置 电磁脉冲 雷击带 雷暴日

故宫博物院(以下简称为故宫)是世界上享有盛誉的, 最著名的历史文化遗产之一。它是世界上现存规模最大、保存最完整的古代建筑群, 是历史留给我们最宝贵的财富。国务院于1961年3月4日宣布故宫为第一批“全国重点文物保护单位”, 1987年故宫被联合国教科文组织列为“世界文化遗产”。故宫全院共计有大小房屋号称九千九百九十九间半, 实际现存为八千七百余间, 均为木制结构, 在其建筑内还存有大量的稀世珍宝。由于木构架建筑体系是故宫古建筑的主体, 木材的特性决定了防雷保护的重要性, 因此一旦遭受雷击, 极易造成建筑物的击坏击伤, 甚至会引起火灾, 造成无法估量的损失。因此, 故宫博物院的防雷工作显得尤为重要, 我们更加需要加强防雷安全管理及技术上的保护。

1. 我国古建筑物的防雷特点

1.1 概述

人类对雷电采取的防护措施, 最早可追溯到12世纪。中国湖南现存的、约在公元1100年重建的岳慈氏塔, 自塔顶有6条铁链沿6个角垂至地面上一定高度, 用来防止雷击损坏, 就是现代防雷方法的雏形。可以说, 人类对雷电采取的防护措施是从古建筑物的防雷开始的。但绝大多数古建筑物并未采取符合避雷规范的措施, 而是从迷信意图出发, 在屋顶正脊中心部位脊瓦下埋入一个内装“避邪”物体的宝盒来进行防雷。由于宝盒是金属物体, 也确有不少雷击宝盒的情况发生。

时过境迁, 如今已是21世纪。随着人类与雷电的斗争经验日益丰富, 社会的发展及科学技

术的进步,人类对雷电的认识在不断地深入,防雷措施也在日趋完善,新型的防雷设备和装置层出不穷。在我国古建筑物雷击事故特点以及如何进行古建筑物的防雷保护问题上的意见也逐渐统一。

1.2 历史上故宫古建筑遭雷击破坏情况简述

据明清两代文献记载,故宫发生的较大雷击事故有29起;而新中国成立以来,故宫发生的较大雷击事故也有十余起。总结一下历年来故宫遭受的主要雷害事故如下^[1]。

1.2.1 明清两代故宫主要雷击火灾事故

(1) 永乐十九年(1421年)四月的一天夜里,奉天(今太和殿)、华盖(今中和殿)、谨身(今保和殿)三殿因遭雷击发生大火,毁于火中。

(2) 明嘉靖十年(1531年)六月,雷电击中午门角楼垂脊和西华门城楼西北角柱。

(3) 明嘉靖三十六年(1557年)四月十三日雷雨大作,戌刻火光骤起,由奉天殿(今太和殿),延烧谨身(今中和殿)、华盖(今保和殿)、文楼(今体仁阁)、武楼(今弘义阁)、奉天门(今太和门)、右顺门(今熙和门)、左顺门(今协和门)及午门等共三殿二楼十五门全部毁于火中;

(4) 明万历二十二年(1594年)六月,雷雨大作,西华门城楼发生火灾;

(5) 明万历二十五年(1597年)六月,雷击火灾。火起归极门(今协和门)延至皇极殿(今太和殿)、文昭(体仁阁)、武成(弘义阁),周围廊一时俱尽。

1.2.2 新中国成立以来,故宫发生的较大雷击事故

(1) 1954年7月,慈宁门西北角垂兽被雷击,被击碎的琉璃块约重5kg。

(2) 1955年8月14日,午门东北角楼额枋有闪电烧焦痕迹。

(3) 1957年7月12日,东华门避雷针鍍金有电伤痕迹。

(4) 1957年7月31日,太和殿门前石台阶上临时杉槁被雷击裂。

(5) 1957年8月27日,保和殿东侧避雷针接闪,太和殿西北角额枋灼黑。

(6) 1970年6月,慈宁宫东侧头所殿后殿的东吻兽上半部分被雷击掉。

(7) 1970年6月,午门西南角亭东南斜脊上,一排走兽被雷击倒5个。

(8) 1973年8月,重华宫厨房檐头被雷击。

(9) 1978年7月,景运门正脊北部吻兽上半部分被雷击掉,并击穿次间垫板。

(10) 1980年8月,养心殿西配殿南部吻兽被雷击掉。

(11) 1984年6月2日,承乾宫因雷击起火,正脊宝盒被击,盖瓦被雷击坏。

(12) 1987年8月24日23时,景阳宫西部兽头被雷击掉,摔成3块,景阳宫因雷击起火,31辆消防车赶到现场,到25日4时大火被灭,计烧毁屋顶80多平方米。

(13) 1991年8月14日,寿安宫西配殿(现图书馆)西坡瓦顶被雷击。

(14) 1992年8月2日,玄穹宝殿南群房夹道松树落雷,扒掉树皮,电话线击穿。

上述史料记载同样可以证明故宫属雷电活动较频繁且易受雷害的地区。

1.3 我国古建筑物雷击事故的特点^[2]

(1) 由于我国古建筑物多为砖木结构, 而砖木结构的建筑物遭受雷击损坏的情况多是此种情况: 砖瓦装饰物被击毁, 木结构被劈裂, 甚至引起燃烧。

(2) 我国古建筑物的雷击部位有较明显的规律, 如房角兽头、屋脊和檐角等突出部位雷击事故最多, 称为雷公柱的房角立柱遭受雷击劈毁的事故也多。建筑易受雷击的部位和建筑物屋面坡度的关系见表1。

表1 筑易受雷击的部位和建筑物屋面坡度的关系

建筑物的屋面坡度	易受雷击部位
平面	檐角、女儿墙、屋檐
$\leq 1/10$	檐角、女儿墙、屋檐
$1/10 < 1/2$	檐角、屋角、屋檐、屋脊
$< 1/2$	檐角、屋角、屋檐

注: 屋面坡度 A/B , 其中, A 为屋脊高出屋檐距(米), B 为屋面宽度(米)。

(3) 雷击闪电发生会产生雷击电磁脉冲(LEMP), 这样的电磁脉冲不仅会作用在被直接击中的建筑物上, 还可以影响到几公里外的电器设备和电子设备。随着开放区域的扩大, 更多的古建筑房屋被用做展厅, 其内为满足展览需要, 特别增加了相应的照明设施、恒温恒湿设备、空调等动力设备、电子安全防范系统和通信系统。其中, 这些电子设备的耐电压能力很低, 对电磁脉冲很敏感, 一旦遭到雷击电磁脉冲的侵害, 轻则工作失灵, 重则造成设备报废、系统瘫痪。例如, 1957年闪电击中劳动人民文化宫的一棵树, 闪电的电磁脉冲波经输电线传到中山公园音乐堂剧场的配电室, 引起火灾使该剧场焚毁。因此对于此等设备的防护也是至关重要的。

1.4 古建筑物上安装避雷装置的要害

我国防雷界的泰斗王时煦先生根据其四十余年设计、调查、研究和检查防雷装置的经验, 经分析总结归纳出古建筑物上安装避雷装置的七条要点^[1]。

(1) 在古建区、群或院内设计安装避雷装置之前, 首先要有一个总体规划, 并要综合考虑设计防雷的六项重要因素, 即接闪功能、分流影响、屏蔽作用、均衡电位、接地效果和合理布线, 针对这些采取具体的防雷措施。

(2) 建筑外部的防雷装置, 一定要结合古建筑的建筑艺术和区域景观。宫殿式建筑宜采用避雷带和避雷网方式。尖塔式及亭阁式建筑, 如颐和园排云殿、天坛祈年殿、景山万春亭、故宫角楼、北京火车站、民族宫等, 可利用其上部的宝顶或尖顶安装避雷针。建筑物附近如有高大树木, 可利用树干, 在其上安装避雷针和引下线做松聚卡箍; 除此之外不宜采用独立避雷杆塔。

(3) 建筑内部的防雷装置, 纯为原来的古殿堂, 内部没有增加其他大型金属设备和管线, 宜采用安全距离法; 若古建筑作为其他用途, 增加了金属吊顶或各种管线, 宜采用等电位连接法。若建筑物体量较大, 应适当增多防雷引下线或在建筑物的中上部做一圈均压环, 或在二层挑檐上增加一圈避雷带, 以减小引下线的电感和降低反击距离, 起到防侧击和抗击的作用。

(4) 重要的古建筑, 不论安全距离法或等电位连接方法, 都应考虑防球雷措施, 即在门、窗上安装金属框和金属网, 统一接到接地系统。

(5) 古建筑的接地装置,一般以采用几组独立接地极为宜,但一定要靠近建筑物,不要引出去太远,并以钻孔埋深的做法为宜。从长远规划上考虑,要为将来全区域或全院做综合联合接地创造条件。

(6) 不论任何时候,都应避免向建筑物内引进电源、电话、广播和电视等的架空线路;全院室外也不可乱拉架空线路,均应做地下电缆。

(7) 从开始安装避雷装置,就需做隐蔽工程的验收记录,包括焊接点和接地装置的回填土记录和接地电阻的遥测记录,建立完整的避雷系统技术档案。并注意日常的检查维修,建筑物局部有损坏或漏雨必须及时修理,这是引起闪电扩大事故的原因之一。

王时煦先生于十多年前提出的上述古建筑安装避雷装置的要点与现代防雷的理论、观点和技术措施相比,除少了利用先进的防雷设备进行雷电防护(如安装现代化电子设备和各种管线,如消防系统、防盗系统、计算机系统等必须进行分区、分级的电涌保护器)外,是我们进行古建筑防雷的纲要性意见。

2. 故宫古建筑防雷工作概况

北京地区的年平均雷暴日有30多天,而且多集中于每年的4~5月,属于雷电活动较频繁的地区。北京城区总的落雷趋势^[1]是西山—八里庄—故宫—朝阳门—十八里店—宋家庄—百子湾—通县,也就是地面分与气流线,地下古河道和水位高的水线所在的区域为北京城区雷击带,而故宫正好处于雷击带的范围之内。故宫有内金水河,且古树居多,院落的格局使得空气流通较差,因此增大了空气湿度,加大了建筑物遭受雷击的概率。作为世界文化遗产及国家重点文物保护单位,如何保护好故宫这座古老的建筑群,是我们需要加强研究并采取科学手段加以遏制雷击发生的重要任务,并为当务之急。

2.1 新中国成立后的防雷工作简况

自20世纪50年代起,故宫就聘请防雷专家设计方案并组织施工,经过多年的努力,已在故宫主要高大建筑的屋脊上架设避雷针或敷设避雷带、网,并制作了相应的引下和接地系统。这些防雷装置只在一定程度上起到了保护作用,而未做到万无一失。1985年,我院同相关科学研究部门合作进行研究与探索,对故宫的建筑防雷现状及存在的问题进行了全面调查。此项工作是由中国科学院电工所马宏达和黄玉茹同志负责,故宫古建部白丽娟、江帆和秦正彪同志协作,北京市建筑设计院王时熙高级工程师给予帮助指导完成的。他们在对故宫建筑物防雷调研的基础上,提交了《故宫博物院防雷调查报告》,并针对调查中所发现的问题提出了应急的改进措施,并根据当时防雷装置的情况,总结出“不能以建筑物的高度作为装设防雷措施的唯一标准”,指出低矮的建筑物也有可能遭到雷击。受当时科技手段的制约,故宫的防雷措施是不完善的,需要加强整改。

为了更加适应故宫古建筑群防雷的特殊要求,我们采用了高效避雷针。1989年由古建部王懋兴同志主持完成避雷装置的安全检测,测试结果安全系数全部在范围值之内,未发现问题,证明高效避雷针具有一定的先进性能。1990年在故宫召开的专家评议会上高效避雷针得到认可,并决定在奉先殿首先实施并逐步推广。

1991年我院又制定了《北京故宫博物院建筑物防雷规程》,在此规程中按照故宫防火设防等级与防雷要求,制订了故宫建筑物防雷的总体规划、防雷设计守则及维护管理办法,先后完成了皇极殿建筑群和奉先殿的防雷改造工程,太和殿、保和殿的接地改造,东西六宫的防雷工程以及乾清

宫、保和西庑的防雷工程等。1993年6月，在故宫召开的東西六宮防雷工程验收大会上，作了《故宫防雷工程设计总结》的报告。

2.2 近年来古建筑防雷工作新进展

我院防雷装置实行定期检测制度（1993年国家文物局避雷装置安全检测站设立在故宫古建筑部），在每年雨季来临之前同相关部门合作，对防雷装置进行检查，排除安全隐患。

经过几代故宫人的不懈努力，至2000年，故宫大部分建筑都安装了防雷装置，这些装置经过时间的考验及定期观察运行情况，证明了防雷装置的保护效果良好，起到了防雷作用，达到了预期效果。

3. 故宫古建筑防雷设施的具体实施情况

进入21世纪，气象法、北京市政府令及相关的法律、法规的不断完善，防雷技术不断发展及各项防雷措施的不断出台，对我院的防雷工作又提出了新的要求。

3.1 故宫的年雷击次数预计

北京地区的年平均雷暴日近40d/a，而故宫正好处于雷电活动的中心。依据国标GB50057—94《建筑物防雷设计规范》（2000年版）附录一“建筑物年预计雷击次数”中提供的公式，可对故宫的预计年雷击次数（ N ）进行计算，如下：

$$N=KN_gA_e \quad (1)$$

式中， N 为建筑物年预计雷击次数； K 为校正系数，按故宫处于故河道上此处取1.5； N_g 为建筑物所处地区雷击大地的年平均密度[次/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ）]； A_e 为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积（ km^2 ）。

雷击大地的年平均密度 N_g 由下式算出：

$$\begin{aligned} N_g &= 0.024T_d^{1.3} \\ &= 0.024 \times 36.7^{1.3} \\ &\approx 2.6 \end{aligned} \quad (2)$$

式中， T_d 为年平均雷暴日（d/a），此处取36.7 d/a。

与建筑物截收相同雷击次数的等效面积 A_e 按下式确定：

$$\begin{aligned} A_e &= [LW + 2(L+W) \cdot \sqrt{H} (200-H) + \Pi H (200-H)] \cdot 10^{-6} \\ &= [940 \times 740 + 2 \times (940+740) \cdot \Pi \times \sqrt{10} \times (200-10) + \Pi \times 10 \times (200-10)] \times 10^{-6} \\ &\approx 0.85 \end{aligned} \quad (3)$$

式中， L 、 W 、 H 分别为故宫的长、宽和故宫紫禁城城墙的高度值，分别取值940m、740m和10m。

故宫的年雷击次数计算：

将式（2）、式（3）的计算结果代入式（1）中，得

$$N=KN_gA_e=1.5 \times 2.6 \times 0.85 \approx 3.32 \quad (\text{次/a})$$

计算表明，故宫地区约每年遭受3~4次雷击，属雷电活动较频繁的地区。

3.2 故宫博物院一期修缮工程防雷体系现场勘察报告

（1）2002年3月开始，对故宫院内32处接地极电阻值不达标的装置进行了整改。常规的接地极

方案在故宫内极端特殊土质情况下很难达到规范要求，在实测出敷设接地体处的土壤电阻率后，再试装增加缓释降阻剂的接地极，达到了规范要求。随即将院内32处电阻值居高不下或不稳定的接地极，进行了改造并达到了防雷规范的要求。

(2) 自2002年起，故宫开始对其古建筑展开了全面修缮工作，并计划在修缮的同时进行相应的防雷体系改造。为确保人身和文物建筑安全，搞好故宫的防雷体系整改工作，故宫特别邀请了具有甲级设计及施工资质的单位会同住建部有关人员，对故宫修缮工程内的古建筑防雷接地系统进行了系统地现场勘察。面对故宫占地广阔、房屋众多的复杂情况，进行了防雷体系的完善设计(图1、图2)。现有的直击雷防护系统符合2004年前的规范要求，但现有部分情况却达不到新规范的要求。



图1 端门前坡避雷带



图2 接地极安装

随着大修的开展，我院依据最新的建筑防雷规范，对英华殿、慈宁宫、寿康宫等区域的防雷装置进行了整体改造。(原规范间距18m设接地极)同时，对院内接地电阻较高部分的防雷接地系统也进行了相应的改造。经过两年多的考验，改造的防雷接地系统情况良好，其接地电阻稳中有降，解决了困扰故宫多年的部分防雷接地系统接地电阻居高不下的难题。

3.3 2009年度强弱电防雷检测工作概况

近年来，故宫古建筑中又陆续的大量引入了照明、通信、报警、监控以及计算机网络系统。2009年，我们邀请了北京市避雷装置安全检测中心，依据《建筑物防雷设计规范》GB50057—94(2000年版)、《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB50343—2004、《安全防范系统雷电浪涌防护技术要求》GA/T670—2006、《建筑物防雷装置检测技术规范》GB/T21431—2008等要求，检测了院内防雷装置现状，并针对全院各种需要安装防雷设施的建筑物、变配电系统、配电箱(柜)、照明系统、防火系统、地库系统、电子信息系统等400余点进行了全面调查。经过检测证实我院防雷设施总体运行良好，对防止雷击灾害起到了很好的防护作用，但个别地方仍然存在问题。

通过这次防雷装置安全检测工作，发现的主要问题有如下5点。

- (1) 部分低矮建筑物没有直击雷防护装置。
- (2) 相当数量的区域配电箱(柜)未安装适配的电源电涌保护器，有一些区域配电箱(柜)虽安装了电源电涌保护器，但并没有正确使用。
- (3) 相当数量的设备、空调机壳、控制机柜、金属构件未接地或接地不良。
- (4) 部分机房内等电位连接不良。

(5) 部分弱电系统未安装适配的信号电涌保护器。

随着《建筑物防雷设计规范》、《建筑物电子信息系统防雷技术规范》、《安全防范系统雷电浪涌防护技术要求》等新规范的出台，一些旧有的防雷装置已不能满足新规范的要求，需要对现有防雷设施进行整改。

3.4 防雷设施整改方案

按国标GB50057-94《建筑物防雷设计规范》(2000年版)第2.0.3条的有关规定，故宫的古建筑划分为第二类防雷建筑物，应具有完善的直击雷防护措施。对于目前没有直击雷防护装置的部分建筑物，应按第二类防雷建筑物的要求考虑安装直击雷防护措施。故宫面积大、建筑物多且为木结构，电源线路长，有部分电缆沿墙明敷设，若有雷电发生，沿电源线路引入的雷电过电压会冲击到配电设备、电气设备、电子设备的绝缘，造成设备损坏、甚至引起火灾，因此，配电箱(柜)内应按相关防雷规范要求，安装适配的电涌保护器。另外，部分已安装的电涌保护器参数不适配，应加装型号适配的电涌保护器，且其过电流保护装置应保持接通状态。此外，配电箱(柜)、室外各电子设备、电气设备及其他金属体应就近接地；机房应建立合适的等电位连接网络及工作接地；各电

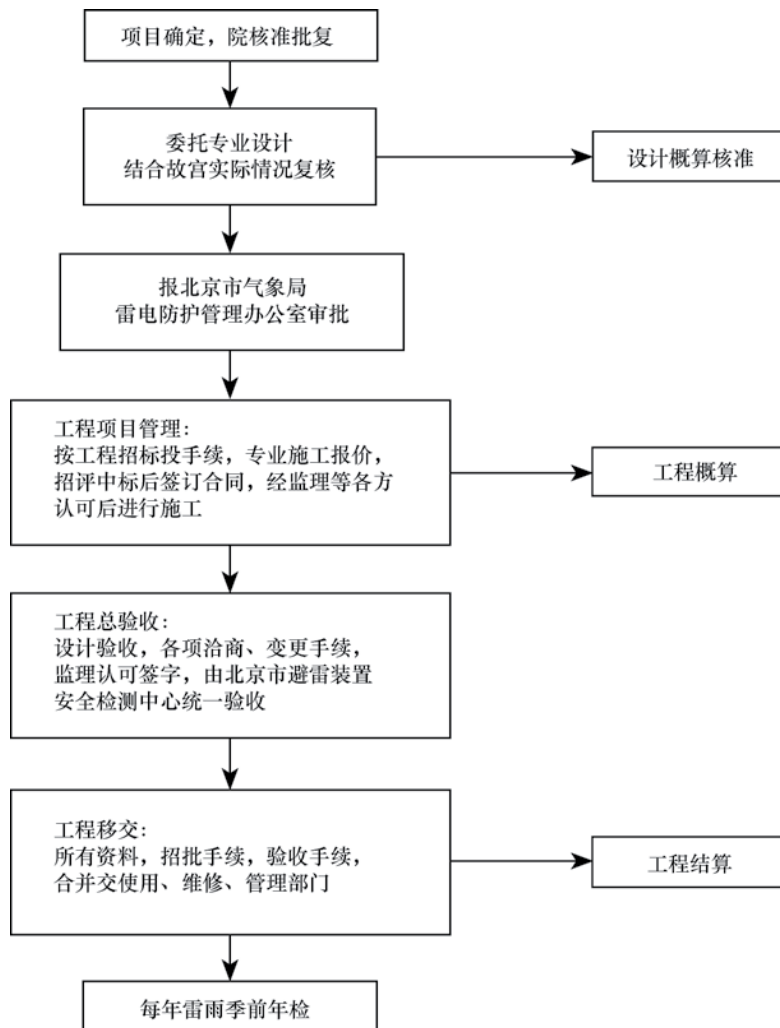


图3 防雷项目的工作流程

子设备、电气设备及其他金属体应实施等电位连接；光缆的金属加强筋，应在入户处直接接地。

根据上述所做工作，我们总结出了规范防雷项目的工作流程（标准），如图3所示。

4. 加强管理，提高职工防范意识

虽然我们加大了对故宫古建筑群安全防范设施投入的力度，并把古建筑群的安全视为文物工作的生命线，但是，我们还需要加强文物保护行业的准入管理，有计划地对从业人员实行职业资格认定，建立持证上岗制度，从源头上强化故宫管理队伍，使管理逐步纳入法制的轨道。我们要大力推广和实施风险等级达标制度，实施一批安全技术防范工程，引导各地加强安全防范基础设施的建设。

故宫的建设与发展进入了新的阶段，在存储文物数量大发展的基础上，我们更应该深入加强安全意识，为故宫的可持续发展，做出我们的努力。目前，我们要做好防雷装置的日常维护工作，并指定专人负责，发现问题及时维修或者上报院有关部门。对全院职工，尤其是各部门负责用电安全的人员进行防雷指导教育，提高安全意识，避免误操作。平常做好防雷的宣传工作，对我院设施的改进加强监护管理，保护好故宫这座古老的建筑是我们文物保护工作中一项紧迫而艰巨的重要任务。我们一定不负历史使命，使故宫这座古老的建筑更加辉煌。

参考文献

- [1] 王时煦. 再论古建筑与故宫博物院的防雷. 中国紫禁城学会论文集. 北京: 紫禁城出版社.
- [2] 马宏达. 北京故宫与古建筑物的防雷. 中国紫禁城学会论文集. 北京: 紫禁城出版社.