

文章编号:1673-8411 (2014) 02-0098-05

强雷区高层建筑雷电风险评估技术探讨

侯安校

(海南省防雷中心, 海南 海口 570203)

摘 要:通过对某高层建筑物的雷电风险评估,雷电风险评估方法和从雷电环境特点、风险分量和损失类型、风险评估计算等方面对某高层建筑物的雷电风险评估,得到评估建筑物的雷电风险评估综合结论,并提出了具体的防护建议。

关键词:强雷区;高层建筑;雷电灾害;风险评估

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

Analysis of Lightning Risk Assessment Technique in High-rising Buildings for in Zone Strong Thunderstorm

Hou An-Xiao

(Hainan Province Lightning Protection Center, Haikou Hainan 570203)

Abstract: Based on lightning environment characteristics of types, risk assessment, risk weight and loss calculation, lightning risk assessment of a high-rise building was made to get a comprehensive assessment and puts forward some concrete Suggestions on protection.

Key Words: strong thunderstorm zone; high-rising buildings; lightning disaster; Risk Assessment

本文以国家标准 GB/T21714.2-2008/IEC62305-2:2006 为依据,对位于位于海南省海口市滨海大道高二十三层的某大厦(以下简称大厦)进行雷电风险评估,以探讨强雷区高层建筑雷电风险评估的技术。

1 雷电风险评估方法和雷电环境特点

1.1 雷电风险评估方法

雷电风险 R 是指由雷电导致的建(构)筑物及公共设施的可能平均年度损失,不同类型损失对应的风险 R 是不同风险分量 R_x 的总和,即 $R=R_x$, $R_x=N_x \times P_x \times L_x$, 式中 N_x 为每年影响建筑物及公共设施的雷电次数(单位:次/a), N 与雷电对地闪击的密度、被保护物体特征、周围环境和土壤特征有关。 P 为一次雷电造成建筑物的损害概率,与被保护物的特征和防护措施有关。 L 为一次雷电产生的损失平均数

量,与被保护物体的用途、人员在场情况、公共服务设施的类型、受损的货物价值和采取减少损失的措施有关。

1.2 项目雷电环境特点

大厦项目位于海南省海口市滨海大道,总建筑面积 23211.2 m²,最高建筑高度 69m。大厦由两栋塔式建筑组成,设地下室,一层、二层为商铺,三层至顶层为住宅楼,是人员相对密集的场所。大厦内部安装有各类现代化的变配电、消防、电话、宽带等强、弱电系统,各种共计家用电器也较为集中。项目所在区域-0.50m~-7.5m 土壤层的平均土壤电阻率 ρ 约为 66.61 $\Omega \cdot m$, 57 年平均雷暴日达到 100.2 天,最高年份可达 134 天(1965 年),雷电集中发生在 4~9 月份,其中 5~8 月份为雷电高发期,其中 6 月最强,最多时达 29 天。根据海南省闪电定位监测网资料统计,项目所在地发生的雷电 95%为负地闪,平均电

收稿日期:2013-08-25

作者简介:侯安校(1964-),男,广东徐闻人,助工,主要从事防雷技术服务工作。

流幅值为 15.7KA,平均地闪密度约为 18.3 次/(km²·a)。

2 雷电对大厦可能造成的风险分量和损失类型

大厦遭受雷电造成的损失主要是生命损失(L1 型)和经济损失(L4 型),而向公众服务的损失(L2 型)可忽略不计,社会文化遗产的损失(L3 型)则不存在。

(1)直接雷电大厦引起的风险分量。分量 R_A:在大厦外距离建筑物 3m 范围内,因接触和跨步电压造成人员伤亡,为 L1 型损失;分量 R_B:大厦内因危险火花放电触发火灾或爆炸引起物理损害,损害可能危害到周围环境,可产生 L1、L4 型损失;分量 R_C:因 LEMP 造成大厦内部系统故障,为 L4 型损失。

(2)雷电大厦附近引起的风险分量 R_M。雷电电磁脉冲感应过电压引起内部电气和电子装置失效,产生 L4 型损失。

(3)雷电大厦入户线路引起的风险分量。分量 R_U:雷电流击中入户线路时,由入户线路引入雷电流产生的接触电压造成人身伤害,产生 L1 型损失;分量 R_V:因雷电流击中入户线路时产生的物理损害造成的风险分量,可产生 L1、L4 型损失;分量 R_W:入户线路上感应的过电压传入大厦,引起大厦内部系统故障的风险分量,为 L4 型损失。

(4)雷电大厦入户线路附近引起的风险分量 R_Z。因入户线路上感应出的并传入大厦内的过电压引起内部系统故障,会产生 L4 型损失。

因此,针对损失类型为生命损失(R₁)及经济损失(R₄)的风险评估,根据本项目的性质和特点确定为, R₁=R_A+R_B+R_U+R_V, R₄=R_B+R_C+R_M+R_V+R_W。

3 风险评估计算

3.1 建筑物及入户服务设施的截收面积计算

入户服务设施主要指 10kv 高压电缆、有线电视、电话线路、宽带线路等,由于数据宽带由光纤引入,一般情况下不受雷电影响,因此入户线路的年平均雷电次数的估算只限于高压电缆和有线电视、电话等通信线。因 10kv 高压电缆、电视电话信号线路均埋地引入大楼地下室有效线路长度未知,取 L_c=1000m, H 取 69 米。

(1)采用作图法得到大厦的雷电截收面积为 A_d=1174294.4265 m²,大厦周围附近地面的截收闪击

面积为 A_m=230007.4893 m²。

(2)雷电入户高压电力线的截收面积为: A_l(电力线)=(L_c-3H)√ρ ≈ 6361.8853221m₂。

(3)雷电入户通信线的截收面积为: A_l(通信线)=(L_c-3H)√ρ ≈ 6361.8853221m²

(4)雷电入户高压电力线附近地面的截收面积: A_i(电力线)=25L_c√ρ ≈ 204037.374m²

(5)雷电入户通信线附近大地的截收面积: A_i(通信线)=25L_c√ρ ≈ 204037.374m²

3.2 年预计雷电次数计算

(1)建筑物闪击次数 N_D=N_g×A_d×C_d×10⁻⁶ ≈ 1.594794002(次/年)

其中, N_g 为地闪密度, 根据海南省雷电监测网数据资料统计得到其值为 18.3 次/km²·a。 C_d 为建筑物的位置因子, 取 0.5。

(2)建筑物附近闪击次数 N_M=N_g×(A_M-A_d×C_d)×10⁻⁶ ≈ 2.614343052(次/年)

(3)入户电力线闪击次数 N_l(电力线)=N_g×A_l(电力线)×C_d×C_i×10⁻⁶ ≈ 0.005821125(次/年)。其中, C_d 为电力线场地因子(取 0.25), C_i 为入户电力线修正因子, C_i=0.2。

(4)入户通信线闪击次数 N_l(通信线)=N_g×A_l(通信线)×C_d×10⁻⁶ ≈ 0.029105625(次/年), 式中, C_d 为通信线线场地因子(取 0.25)。

(5)入户电力线附近地面闪击次数 N_i(电力线)=N_g×A_i(电力线)×C_e×C_i×10⁻⁶ ≈ 0.373388394(次/年), 式中, C_e(次/年), 为服务设施的环境因子, 本项目中, C_e 取 0.5。

(6)入户通信线附近地面闪击次数 N_i(通信线)=N_g×A_i(通信线)×C_e×10⁻⁶ ≈ 1.866941972, C_e 为通信线的环境因子, C_e 取 0.5

3.3 大厦分区和特性及参数选取

根据大厦内、外地表或地板、空间屏蔽效能、各功能区损失率 L_x、防火分区、消防设施配备以及损害成因的差异不同, 大厦分为 Z₁(户外)、Z₂(地下室)、Z₃(商铺及 1 层)、Z₄(住宅层和 2~23 层)等四个区域。各区的特性如下:

(1)Z₁区的特性参数

本区域地表主要为混凝土。本项目采用建筑物柱内主筋做引下线, 引下线外覆混凝土做绝缘, 人员类型为住户及商铺顾客。Z₁区的特性参数表略。

(2)Z₂区的特性参数

Z₂ 区设有人防工程、停车场、设备机房,有配电系统、火灾自动报警及联动系统等。地面为混凝土,固定配置火灾自动报警装置、自动灭火装置;人员类型主要为住户和管理人员;如发生火灾危险,会产生低度恐慌。相关参数表略。

(3)Z₃ 区的特性

商铺层包括 1~2 层,内部系统包括电源、有线电视、数据宽带、电话等系统。地面为大理石、瓷砖,固定配置人工报警装置和人工灭火装置;人员类型主要为顾客和销售人员。如有特殊危险时,会出现中等程度的惊慌。相关参数值表略。

(4)Z₄ 区的特性

住宅层包括 3~23 层,内部系统包括电源系统、监控系统、火灾报警及联动系统、有线电视及数据宽带系统等。地面为大理石、瓷砖,固定配置人工报警装置和人工灭火装置;人员类型主要为住户。如有特殊危险时,会出现中度的惊慌。相关参数值表略。

3.4 人身伤亡雷电风险评估计算

3.4.1 Z₁~Z₄ 区人身伤亡雷电风险评估计算

(1)Z₁ 区人身伤亡雷电风险

直接雷电建筑物,在建筑物外距离建筑物 3m 范围内,因接触和跨步电压造成人畜伤害的风险,由于 $P_A=0$,所以风险分量 $R_A=N_D \times P_A \times L_A=0$

(2)Z₂ 区人身伤亡雷电风险

雷电建筑物时,建筑物中物理损害的损失率:
 $L_B=r_p \times h_z \times r_f \times L_f=4 \times 10^{-4}$

雷电入户设施,建筑物内物理损害的损失率:
 $L_V=L_B=4 \times 10^{-4}$

雷电入户设施,造成建筑物内人畜伤害的损失率:
 $L_U=r_u \times L_f=1 \times 10^{-6}$

各相关风险分量值估算如下:

$$R_B=N_D \times P_B \times L_B=6.317918 \times 10^{-5}$$

$$R_U(\text{电力线})=N_L(\text{电力线}) \times P_U(\text{电力线}) \times L_U=2.67127 \times 10^{-7}$$

$$R_U(\text{通信线})=N_L(\text{通信线}) \times P_U(\text{通信线}) \times L_U=2.67825 \times 10^{-7}$$

$$R_V(\text{电力线})=N_L(\text{电力线}) \times P_V(\text{电力线}) \times L_V=1.06851 \times 10^{-4}$$

$$R_V(\text{通信线})=N_L(\text{通信线}) \times P_V(\text{通信线}) \times L_V=1.0713 \times 10^{-4}$$

(3)Z₃ 区人身伤亡雷电风险

同理可得, $R_B=7.97397 \times 10^{-5}$ 、 $R_U(\text{电力线})=2.67127 \times 10^{-8}$ 、 $R_U(\text{通信线})=2.67825 \times 10^{-8}$ 、 $R_V(\text{电力$

线) $=1.33563 \times 10^{-4}$ 、 $R_V(\text{通信线})=1.33913 \times 10^{-4}$ 。

(5)Z₄ 区人身伤亡雷电风险

同理可得, $R_B=3.98699 \times 10^{-4}$ 、 $R_U(\text{电力线})=2.67127 \times 10^{-8}$ 、 $R_U(\text{通信线})=2.67825 \times 10^{-8}$ 、 $R_V(\text{电力线})=6.67817 \times 10^{-4}$ 、 $R_V(\text{通信线})=6.69563 \times 10^{-4}$ 。

3.4.2 雷电人身伤亡损失风险评估分量

通过计算数据得出大厦由雷电闪击而造成人身伤亡损失风险为:

$$R_I=R_A+R_B+R_U(\text{电力线})+R_V(\text{电力线})+R_U(\text{通信线})+R_V(\text{通信线})=236.1709 \times 10^{-5}$$

按照国家标准 GB/T21714.2-2008/IEC62305-2:2006 的规定:雷电造成人身伤亡风险的最大容许值 $R_T=10^{-5}$,由于 $R_I > R_T$,因此,大厦必须对现有防雷措施通过修改防雷设计等加以完善,以降低人身伤亡风险。

3.4.3 降低人身伤亡雷电风险措施

从上述计算结果可知,大厦人身伤亡风险 R_I 主要是雷击建筑物时产生的雷电波沿电源、新号线路侵入本建筑物导致物力损害在 Z₂、Z₃、Z₄ 区产生的风险 $R_V(\text{电力线})$ 、 $R_V(\text{通信线})$ 和直接雷击本建筑物导致物力损害在 Z₂、Z₃、Z₄ 区产生的风险 R_B ,因此,可以通过以下三种措施减小风险分量 R_B 和风险 $R_V(\text{电力线})$ 、 $R_V(\text{通信线})$:

(1)提高防雷保护级别,即按 IEC LPL-I 级设计安装防雷装置,使其 $P_B=0.001$ 。

(2)降低 Z₃、Z₄ 的消防负荷和火灾风险。不在这两个区域中存放易燃性物质,建筑装修材料和设备管线等应全部选用阻燃材质,使得两区消防负荷分别小于 400MJ/m²,火灾危险程度降为低,使其 $r_f=10^{-3}$ 。

采取上述措施后,人身伤亡风险降为 $R_I \approx 0.1912 \times 10^{-5}$,低于可接受的容许值 $R_{TI}=10^{-5}$ 。

(3)在大厦的电源和信号线路的输入端按照 IEC LPL-I 级要求设计匹配的电涌保护器,使其 $P_{SPD}=0.01$ 。

3.5 经济损失雷电风险评估计算

3.5.1 各区经济损失雷电风险评估计算

(1)Z₁ 区设备损失风险

Z₁ 区不存在电气电子设备,因此无需估算设备损失风险。

(2)Z₂ 区设备损失风险

雷电建筑物时,建筑物中物理损害的损失率:
 $L_B=r_p \times h_z \times r_f \times L_f=2 \times 10^{-4}$

雷电建筑物时,建筑物中内部系统故障的损失

率: $L_C=L_0=10^{-4}$

雷电建筑物附近时,建筑物中内部系统故障的损失率: $L_M=L_0=10^{-4}$

雷电入户设施时,建筑物中物理损害的损失率: $L_V=L_B=2\times 10^{-4}$

雷电入户设施时,建筑物中内部系统故障的损失率: $L_W=L_0=10^{-4}$

各相关风险分量值估算如下:

$R_B=N_D\times P_B\times L_B=3.18959\times 10^{-5}$ 、 $R_C=N_D\times P_C\times L_C=1.59479\times 10^{-4}$ 、 $R_M=N_M\times P_M\times L_M=5.22842\times 10^{-8}$

$R_V(\text{电力线})=N_L(\text{电力线})\times P_V(\text{电力线})\times L_V=5.34254\times 10^{-5}$

$R_W(\text{电力线})=N_L(\text{电力线})\times P_W(\text{电力线})\times L_W=2.71609\times 10^{-5}$

$R_V(\text{通信线})=N_L(\text{通信线})\times P_V(\text{通信线})\times L_V=5.3565\times 10^{-5}$

$R_W(\text{通信线})=N_L(\text{通信线})\times P_W(\text{通信线})\times L_W=2.96058\times 10^{-5}$

(3) Z_3 区设备损失风险

同理可得, $R_B=6.37918\times 10^{-5}$ 、 $R_C=1.594794\times 10^{-2}$ 、 $R_M=1.3137074\times 10^{-2}$ 、 $R_V(\text{电力线})=1.06851\times 10^{-4}$ 、 $R_W(\text{电力线})=2.716091\times 10^{-3}$ 、 $R_V(\text{通信线})=1.0713\times 10^{-4}$ 、 $R_W(\text{通信线})=2.960578\times 10^{-3}$ 。

(4) Z_4 区设备损失风险

同理可得, $R_B=7.97397\times 10^{-5}$ 、 $R_C=1.59479\times 10^{-4}$ 、 $R_M=1.31371\times 10^{-4}$ 、 $R_V(\text{电力线})=1.33563\times 10^{-4}$ 、 $R_W(\text{电力线})=2.71609\times 10^{-5}$ 、 $R_V(\text{通信线})=1.33913\times 10^{-4}$ 、 $R_W(\text{通信线})=2.96058\times 10^{-5}$ 。

3.5.2 经济损失雷电风险评估分量计算

因此,由雷电闪击而造成经济损失风险的风险为 R_4 : $R_4=R_B+R_C+R_M+R_V+R_W=36.0894728\times 10^{-3}$ 。

对于经济损失风险,一般无固定的容许值,容许值可由项目方确定,考虑到本项目的特点,确定其雷电经济损失的最大风险容许值 $R_{T2}=10^{-3}$ 。由于 $R_4>R_{T2}$,因此,大厦必须采取相关雷电防护措施,对初步设计中采取的防雷措施加以改善,以降低雷电造成经济损失的风险。

3.5.3 降低经济损失雷电风险措施

上述计算结果表明,大厦设备雷电经济损失风险 R_4 主要是 Z_3 区(商铺区)产生的风险,主要风险分量为直接雷击建筑物和雷击建筑物附近导致内部系统故障在产生的风险 R_C 和 R_M 。因此,为降低风险 R_C 、 R_M 分量,建议通过以下几种措施:

(1)应用本文 3.4.3 介绍的降低人身伤亡损失雷电风险 R_1 采用的二项措施,即按 IEC LPL-I 级安装防雷装置,使其 $P_B=0.01$;降低 Z_3 、 Z_4 的消防负荷和火灾风险,使 $r_1=10^{-3}$ 。

(2)在大厦总配电房、各楼层分配电柜及重要设备配电箱(重点为 Z_3 区),按照 IEC LPL-I 级要求安装匹配的 SPD,并在防雷区交界处做等电位处理。

(3)信息系统按照 IEC LPL-I 级要求安装匹配的 SPD。各信息机房应在机房内安装 M 型等电位连接网络,并将机房内的各类金属部件(如机架、设备金属外壳、防静电地板)与等电位连接网络进行就近接地。

综合采取以上防护措施后,采取上述措施后,经济损失风险下降为 $R_4=0.5896425\times 10^{-3}$,风险量低于可接受的容许值 $R_{T2}=10^{-3}$ 。

4 结束语

(1)对高层建筑物在规划阶段进行雷电风险评估,运用科学的方法和手段,系统地分析各种环境下雷电可能造成的损坏和人身伤害,避免防雷装置盲目设计,提高高层建筑物综合防雷整体效益的意义重大。

(2)大厦雷电产生的风险主要为直接雷电和建筑物附近雷击导致火花放电触发火灾或爆炸造成的人身伤亡和经济损失,以及因雷电电磁脉冲感应过电压引起内部电气和电子装置故障而产生的经济损失^[3]。

(3)开展强雷区高层建筑物雷电风险评估时,除了重点对人身伤亡损失风险进行评估,还应评估建筑物内因 LEMP 造成的设备损坏而导致的经济损失风险。

(4)对大厦内一些特别重要的场所,如配电房、弱电机房、消防控制中心、电梯机房等,应严格按照 GB/T21714.4-2008 规范要求设计安装匹配的 SPD^[4],并进行良好的等电位连接,确保有效地降低由内部系统故障产生的风险。

参考文献:

- [1] 郭冬艳,等.海南雷暴气候特征及大气环流背景分析[J].气象科技,2008,36(4):404-405.
- [2] 建设部,等.建筑物电子信息系统防雷技术规范(GB5343-94 2004 年版) [M].北京:中国建筑工业出版社,2004.6-7.
- [3] 赵东,等.建筑物雷电风险评估的探讨与实践 [J].气象软科学,2007,68(4):60-64.

- [4] 杨少杰, 等.雷电损害风险评估的方法与实践 [J]. 中国电子商情, 2003, 385: 8-17.
- [5] 阳宏声, 林为东, 杨召绪, 等.浅谈雷灾调查鉴定方法 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (2): 118-121.
- [6] 黄欣怡李良陈妙君, 等.野趣沟 CDMA 基站雷灾调查分析与整改方案 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (S1): 171-172.
- [7] 李传龙, 高敏, 蒙小亮.万宁市区雷暴特征初步分析与雷电防护 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (1): 104-107.
- [8] 李远辉, 李建勇.江门雷电活动特征及其对防雷减灾的意义 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (S2): 188-190.
- [9] 朱明, 潘杰丽, 李会玲.一次雷击事故成因分析及其预防措施 [J]. 气象研究与应用, 2007, 32 (4): 67-68.
- [10] 韩建海, 常晓丽.山区风力发电机组防雷技术探讨.气象研究与应用, 2013, 34 (3): 86-87.
- [11] 林海滨.完善建筑物内部防雷装置设计的实践经验 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (3): 56-58.
- [12] 黄文高.防雷工程施工监督应该注意的一些问题 [J]. 气象研究与应用.2011, 32 (1): 88-89.
- [13] 林伟华, 梁美婵.高层建筑物的防雷接地和屏蔽探讨 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (4): 80-86.
- [14] 邓秀斌, 庄涣斌, 谢汉全.高层建筑分体式空调室外机的雷电防护 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (2): 71.

.....

(上接第 31 页)

受灾严重等特点,但是“12.7”暴雨过程影响范围更广、强度更大,同时,强降雨区呈现在湘中及以北地区略有摆动的特点;而“10.7”暴雨过程局地性更强,强降雨区稳定少动,多个县市累计降水量创历史同期新高。两次暴雨均造成湖南多流域水位超警,洪水量大、水位高、洪峰较陡,湘中以北多个县市达到洪涝标准。

(2) 两次暴雨过程均发生在盛夏湖南处于副高控制少雨季节,随着副高撤退,冷暖气流在湖南交汇,导致大范围连续暴雨过程。但“10.7”暴雨过程中副高更强盛,低涡形成和东移更为频繁,导致“10.7”暴雨过程因此在湘中以北持续时间长,而“12.7”暴雨过程冷空气势力更强,造成影响范围更广。

(3)“12.7”暴雨过程虽然过程降水更强、降水持续时间更长、受灾范围更大,但灾情却没有“10.7”暴雨过程严重,与多种因素有关。“10.7”暴雨过程开始前降雨明显偏多,造成土体预先饱和,更容易致灾;“10.7”暴雨过程强降雨一直集中在湘中以北,强降雨的局地性、突发性强,并且此次受灾最为严重的湘西自治州地区属于地质灾害多发区,从而容易导致滑坡、崩塌和泥石流的发生;另外,准确及时的预报预警信息,使得“12.7”过程中水库及时腾库迎洪,人员也得到及时的转移安置,但由于“10.7”过程中大暴雨出现在夜间,突发山洪地质灾害,导致人员伤亡。

参考文献:

- [1] 方至.湖南洪涝灾害成因及治理对策 [J]. 湖南农业大学学报, 1999, 25 (2): 151-153.
- [2] 黄小玉, 陈媛, 顾松山, 等.湖南地区暴雨的分类及回波特征分析 [J]. 南京气象学院学报, 2006, 29 (5): 635-641.
- [3] 蔡建初, 梁广沃.2009 年 7 月 4-6 日北海地区暴雨过程初步分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (2): 16-17.
- [4] 薛苍生, 金菊良, 丁峰, 等.淮河流域安徽省 2007 年的暴雨洪水特性分析 [J]. 灾害学, 2009, 24 (1): 86-91.
- [5] 韩珏靖, 陈飞, 沈建.江苏盛夏两次局地特大暴雨过程对比分析 [J]. 气象科学, 2011, 31 (S): 110-119.
- [6] 苏贵睦, 陈向东, 陆洪波, 等.2009 年 7 月初广西致洪暴雨过程综合分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (1): 35-38.
- [7] 黄菊梅, 覃鸿, 袁泉, 等.2010 年夏季湖南一次持续性暴雨过程分析 [J]. 成都信息工程学院学报, 2011, 26 (4): 1671-1742.
- [8] 陈惠, 陈家金, 李文, 等.福建省主要流域的暴雨洪涝特征 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15 (6): 276-280.
- [9] 方琼, 段中满.湖南省地形地貌与地质灾害分布关系分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 23 (2): 83-88.
- [10] 李中平, 毕宏伟, 张明波.我国山洪灾害高易降雨区分布研究 [J]. 人民长江.2008, 39 (17): 61-63.