

文章编号:1673-8411 (2015) 01-00126-04

# 大型户外空旷区域的雷击风险评估研究

黄克俭<sup>1</sup> 胡双伟<sup>1</sup> 俞家华<sup>2</sup> 杜少华<sup>1</sup>

(1.湖北省防雷中心, 武汉 430074; 2.荆州市气象局 湖北 荆州 434000)

**摘要:**应用IEC的雷击风险管理标准中雷击风险计算和参数取值方法,对大型户外空旷区域存在雷击风险进行分析,推导出大型户外空旷区域雷击风险评估的定量计算公式,确定了各计算参数的取值,并举例说明了大型户外空旷区域雷击风险评估的具体计算方法。

**关键词:**户外空旷区域;雷击风险评估;人员伤亡损失;累积概率

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

## The reserching of lightning risk assessment in the large wild area

HuangKeJian HuSuanWei YuJiaHua DuShaoHua

(1 The Center of Lightning Protection in Hubei Wuhan 430074)

(2 Meteorological Bureau of JingZhou City JingZhou 434000)

**Abstract:** This paper refer to the lightning risk caculation and the ditermination method of parameter by Lightning risk management standard of IEC , the quantitative calculation formula was deduced by a concrete analysis of existing of the lightning risk in the large wild area , the ditermination method of caculating parameters was then confirmed , and the concrete caculation method of lighthning risk in the large wild area was further exempld illustrate.

**Key word:** The large wild area ; Lightning risk; Casualties loss; Cumulative probability

## 1 引言

目前,我国主要依据GB/T21714.2《雷电防护 第二部分:风险管理》标准<sup>[1]</sup>对建筑物的雷击风险进行评估,该标准来源于IEC的雷电风险管理标准,架构合理,考虑全面、仔细,针对性较好,是全面雷击风险评估的恰当方法。但该标准只适应于建筑物的雷击风险评估,对大型户外空旷区域没有给出其相关的具体方法,不少科技工作者<sup>[2-18]</sup>对不适应于GB/T21714.2《雷电防护 第二部分:风险管理》标准范围的评估对象如何评估、该标准中存在的一些问题以及一些特殊场所的防雷等进行了探索性地研究。如张科杰,范宏飞等对大型桥梁雷击风险评估的

方法进行了研究;童雪芳,文习山等对天线阵列雷击风险评估与保护方案进行了研究;植耀玲,张欣,杨天琦等对地下建筑物遭受雷击损害的风险因子进行了分析;有以大型户外空旷区域为主体的雷击风险评估研究。然而,如旅游景区、大型广场等大型户外空旷区域存在较大的雷击风险隐患,也屡有雷击伤亡事件发生,为了对大型户外空旷区域更为科学有效地防雷,有必要对大型户外空旷区域的雷击风险评估进行研究分析,找出适合于大型户外空旷区域雷击风险评估的具体方法。

本文通过具体分析大型户外空旷区域存在的雷击风险,参照IEC的雷电风险管理标准<sup>[19]</sup>中雷击风险计算和参数取值方法,推导出大型户外空旷区域

收稿日期:2014-11-25

基金项目:湖北省雷电灾害防御科研专项基金 FL-Z-201403 资助

作者简介:黄克俭(1966-),男,湖北荆州人,高级工程师,主要从事雷电灾害评估与防护技术的研究。 Email:hkj2008@tom.com

雷击风险评估的定量计算公式,并结合大型户外空旷区域实际情况确定了各参数的取值,为大型户外空旷区域雷击风险评估提供了一种具体的评估方法。

## 2 大型户外空旷区域雷击风险评估研究

### 2.1 研究思路

对于旅游景区、大型广场等大型户外空旷区域来说,由于大量人员活动其中,且比较开阔,其主要雷击灾害为人员伤亡损失,虽然与雷击建筑物造成的灾害类型和数量不一样,人员伤亡损失灾害造成的原因也不尽相同,但,从大的方面来分析,其两者的雷击灾害都是由当地的雷电活动特征(即致灾环境的危险性)和大型户外空旷区域或建筑物的特性以及雷电防护情况(即承灾体的脆弱性)这两方面的因数所决定的,因此,大型户外空旷区域雷击风险评估可参照 IEC 的雷电风险管理标准中风险的通用定量计算公式,结合大型户外空旷区域雷击风险的具体情况,具体分析各类风险分量和确定这些风险分量的各类参数,来进行定量评估。

### 2.2 大型户外空旷区域雷击风险分析与计算公式

由上述可知,对于旅游景区、大型广场等大型户外空旷区域,主要雷击灾害为人员伤亡损失,为进行定量评估,下面我们具体分析它的雷击人员伤亡损失风险,首先,诸如旅游景区观景平台、大型广场、运动场等户外空旷区域,一般都比较开阔,易发生雷电直接击中人的危险,即使有直击雷防护装置保护,也存在超出直击雷防护装置防护电流之外的雷电绕击致人伤亡的危险。其次,是雷电击中户外空旷区域内或边上的较高物体(诸如直击雷防护装置、照明杆塔、树木等)时,存在因旁侧闪络、接触电压和跨步电压致人员伤亡的危险。

有的旅游景区、大型广场等大型户外空旷区域内或边上有监控、照明等电气和电子系统,

雷电直接击中这些电气和电子系统时因闪络火花造成的人员伤亡的风险非常小,对于人员伤亡风险可不考虑。

综上所述,对于旅游景区、大型广场等大型户外空旷区域,其存在的雷击人员伤亡损失风险为雷电直接击中人员和雷电击中户外空旷区域内或边上的较高物体因旁侧闪络、接触电压和跨步电压致人员伤亡的损失风险。

为了定量分析大型户外空旷区域的雷击风险,

我们依据文献<sup>[19]</sup>给出的通用风险分量基本关系式,将大型户外空旷区域的雷击风险分量 RX 用下列(1)式表示:

$$RX = NX \times PX \times LX \quad (1)$$

式中:

NX——每年雷击危险事件次数;

PX——损害概率;

LX——每一损害产生的损失率。

对于大型户外空旷区域,我们只评估人员伤亡损失,因此,损害概率 P 为区域内雷击导致人员伤亡的概率,由上述可知,P 参数取决于区域内的直击雷防护系统以及旁侧闪络、防接触电压和跨步电压措施。它由雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率 PB 与雷击区域内直击雷防护设施因接触和跨步电压导致人员伤亡的概率 PA 组成。那么,与之对应的区域内人员伤亡损失率 L 就由雷击区域内直击雷防护设施因接触和跨步电压导致人员伤亡的损失率 LA 和雷电直接击中人体导致人员伤亡的损失率 LB 组成。

那么,依据(1)式,可将大型户外空旷区域的雷击人员伤亡损失风险用下列(2)式计算。

$$R = N \times PB \times LB + N \times PA \times LA \quad (2)$$

式中:

N——区域内每年雷击危险事件次数;

PB——区域内雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率;

PA——雷击区域内较高物体因旁侧闪络、接触和跨步电压导致人员伤亡的概率;

LB——雷电直接击中人体导致人员伤亡的损失率;

LA——雷击区域内较高物体因旁侧闪络、接触和跨步电压导致人员伤亡的损失率。

### 2.3 各计算参数的取值与分析

下面依据文献<sup>[9]</sup>中 N、P、L 参数的取值方法,结合空旷区域的实际情况,对(2)中各参数进行取值与分析。

#### 1) N 的取值与分析

对于大型户外空旷区域,区域内每年雷击危险事件次数 N 参数取决于区域内的雷暴活动以及空旷区域的物理特性。

可按(3)式计算:

$$N = N_c \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中:  $N_c$ ——雷击大地密度(次/km<sup>2</sup>/年);

$A_D$ ——空旷区域的截收面积( $m^2$ );

$C_D$ ——空旷区域的位置因子。

雷击大地密度  $NG$  是每年每平方公里雷击大地的次数。这个数值可以利用当地闪电定位观测资料得到。也可以作如下估算:

$$N_G = 0.1 \times T_d \quad (4)$$

这里  $T_d$  是年平均雷暴日, 可从当地气象部门 30 年以上的观测资料中统计得出。

空旷区域的截收面积  $A_D$ , 如果空旷区域在同一海拔高度, 则,  $A_D$  就是需评估的空旷区域面积。如果空旷区域不在同一海拔高度, 对于高于基准海拔高度的区域可按在地面上建筑物的截收面积计算方法计算。

空旷区域的位置因子  $C_D$ , 参照文献<sup>[9]</sup>中位置因子  $C_D$  的取值方法, 对于所处地周边也是同一海拔高度的平坦区域时,  $C_D$  取值 1; 对于所处地为小山顶或山丘时,  $C_D$  取值 2; 对于所处地周边有其他物体时,  $C_D$  取值 0.5。

## 2) $P_A$ 和 $P_B$ 的取值与分析

雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率  $P_B$  取决于区域内的直击雷防护系统, 因此, 可参照文献<sup>[9]</sup>中雷击建筑物导致物理损害的概率  $P_B$  的取值方法, 文献<sup>[19]</sup>中 Table B.2 中给出了  $P_B$  的数值, 由 Table B.2 可以看出  $P_B$  的数值与 LPS 防雷级别相关, 经研究, 我们发现文献<sup>[19]</sup>中雷击建筑物导致物理损害的概率  $P_B$  的取值是由 LPS 防雷级别对应的保护雷击电流的累积概率所决定的, 也就是说由超出 LPS 防雷级别保护的最小雷击电流的累积概率与超出 LPS 防雷级别保护的最大雷击电流的累积概率之和计算而来。

对于大型户外空旷区域来说, 雷电直接击中人体是由超出 LPS 防雷级别保护的最小雷击电流范围的雷击所致, 而与超出 LPS 防雷级别保护的最大雷击电流范围的雷击无关, 因此, 雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率  $P_B$  只由超出 LPS 防雷级别保护的最小雷击电流的累积概率计算即可。

依照文献<sup>[20]</sup>中给出的雷击电流累积概率, 计算的雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率  $P_B$  值如下表 1。

如果大型户外空旷区域无 LPS 系统, 则只要是在该区域中落雷, 就有可能直接击中人体, 因此, 对于无 LPS 系统的大型户外空旷区域,  $P_B$  取 1。

如果有当地多年的闪电定位观测资料, 可根据

表 1 雷电直接击中人体导致人员伤亡的概率  $P_B$  与 LPS 防雷级别 (LPL) 的关系

参数	LPS 防雷级别 (LPL)				
	I	II	III	IV	无 LPS
LPS 的保护的最小电流 (kA)	3	5	10	16	/
滚球半径 (m)	20	30	45	60	/
$P_B$	0.01	0.03	0.09	0.15	1

当地的闪电定位观测资料雷击电流累积概率直接推导出  $P_B$  的值。

雷击区域内较高物体因旁侧闪络、接触和跨步电压导致人员伤亡风险类似于雷击建筑物, 致建筑物内或外距离引下线 3m 的范围内因接触和跨步电压造成的人员伤亡风险, 因此, 雷击区域内较高物体因旁侧闪络、接触和跨步电压导致人员伤亡的概率  $P_A$  的取值方法可按照文献<sup>[19]</sup>中 Table B.1 的 PTA 的取值方法取值。

## 3) $L_A$ 和 $L_B$ 参数的取值与分析

对于雷击区域内较高物体因旁侧闪络、接触和跨步电压导致人员伤亡的损失率  $L_A$ , 它与人员呆在空旷区域的时间和数量以及区域内的地板或土壤类型有关, 则,  $L_A$  可按文献<sup>[19]</sup>中的公式 C.1 取值, 按下列(5)式计算。

$$L_A = r_i \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \quad (5)$$

式中:

$r_i$ ——由区域内地板或土壤类型决定的减少人员伤亡的因子

$L_T$ ——一次雷击事件导致受害者遭电击伤害的典型平均相对量

$n_z$ ——区域内可能受到威胁的人员的数量

$n_t$ ——区域内预期的总人数

$t_z$ ——每年人员呆在区域内的小时数

式中的  $r_i$  可按文献<sup>[19]</sup>中 Table C.3 的取值,  $L_T$  可按文献<sup>[19]</sup>中 Table C.2 的取值, 取为  $10^{-2}$ 。  $t_z$  可参照文献<sup>[21]</sup>中的基于年雷暴日的量化取值。取为  $24 \times T_d$  ( $T_d$  为当地的年雷暴日), 若要更精细化的评估,  $t_z$  可参照文献<sup>[21]</sup>中的基于闪电定位资料的量化取值。

对于雷电直接击中人体导致人员伤亡的损失率  $L_B$ , 它与人员呆在空旷区域的时间和数量有关。  $L_B$  可参照文献<sup>[19]</sup>中的公式 C.1 取值, 按下列(6)式计算。

$$L_B = L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \quad (6)$$

式中的参量同(6)式。

由于  $L_B$  是指雷电直接击中人体导致人员伤亡的损失率,因此,只考虑雷电直接击中人体导致人员伤亡的后果,因此, $L_B$  考虑因素只有人员呆在空旷区域的时间和数量,而不考虑区域内地板或土壤类型因子。

## 2.4 举例分析

设旅游景区有一大型活动平台,方圆为 50m×60m 的区域,地板为混凝土,所处地周边为同一海拔高度的平坦区域,但有树木覆盖,活动平台周边与树木有大于 3 米的隔离带,已知该旅游景区所处地的雷暴日为 35 天。

根据上述的大型户外空旷区域的雷击风险评估方法,该活动平台区域的雷击风险值  $R$  可用下列(7)式表示

$$R=N \times P_B \times L_B + N \times P_A \times L_A = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \times (P_B \times L_B + P_A \times L_A) \quad (7)$$

若用雷暴日参数进行评估,由已知可知:

$$N_G = 0.1 \times T_d = 3.5, A_D = 3000, L_B = 10^{-2} \times (35 \times 24) / 8760 = 9.60 \times 10^{-4}, C_D = 0.5$$

因活动平台周边与树木有大于 3 米的隔离带,设活动平台以后所设直击雷防护装置均采取较好的防接触和跨步电压措施,则, $P_A=0$

将上述参数值带入(7)式,得如下(8)式

$$R = 5.05 \times 10^{-2} \times P_B \quad (8)$$

由于  $R$  为人员伤亡损失,其容许值为  $10^{-5}$

则, $P_B=0.198$

依据文献<sup>[19]</sup>中的 Table B.2 的  $P_B$  与 LPS 防雷级别的关系,当  $P_B=0.198$  时,应采用 Ⅲ 类以上的 LPS。

因此,最后的评估结论为:若要将该大型活动平台的人身伤亡风险达到标准规定的容许值  $10^{-5}$ ,应采用 Ⅲ 类以上的 LPS (设计的直击雷防护装置保护范围需按小于 60m 的滚球半径计算),且所设直击雷防护装置应采取较好的防接触和跨步电压措施。

## 3 结论

(1) 大型户外空旷区域雷击风险评估应按照 IEC 的雷电风险管理标准中基本方法,根据大型户外空旷区域的具体情况,具体问题具体分析。

(2) 大型户外空旷区域雷击风险评估的计算表达式为: $R=N \times P_B \times L_B + N \times P_A \times L_A$ ,其主要参数  $P_B$  应按文中表 1 中给出的数据取值。

参考文献:

[1] GB/T21714.2: 2008, 雷电防护第二部分: 风险管理 [S].

- [2] 张科杰, 范宏飞, 黄克俭, 等.桥梁雷击风险评估方法与应用 [J].建筑电气, 2014, (6): 23-26
- [3] 董雪芳, 文习山, 鲁海亮, 等.天线阵列雷击风险评估与保护方案研究 [J].高电压技术, 2006, 32 (4): 28-30.
- [4] 植耀玲, 冯民学, 樊荣, 等.雷击风险评估中  $L_0$  损失因子在多线路系统下的细化和改进 [J].气象科学, 2012, 32 (3): 298-303.
- [5] 高焱, 劳小青, 李健生, 等.雷击风险评估中雷击大地年平均密度的计算 [J].气象研究与应用, 2009, 30 (3): 68-70.
- [6] 黎梓华, 韩建海.智能大厦电子信息系统雷电灾害风险评估及防雷技术的应用 [J].气象研究与应用, 2012, 33 (2): 114-117.
- [7] 罗思泽, 杨兰岑, 等.溪烟花爆竹工厂防雷措施探讨 [J].气象研究与应用, 2010, 31 (3): 78-83.
- [8] 陈之运.高层住宅建筑防雷设计应注意的几个问题 [J].气象研究与应用, 2011, 32 (S2): 238-239.
- [9] 郑水平, 陈达扬, 李荣标, 等.新会地区加油站系统防雷设计浅析 [J].气象研究与应用, 2011, 32 (S2): 253-254.
- [10] 唐雷, 李垂军, 伍秀莲, 等.新建厂房防雷分析 [J].气象研究与应用, 2014, 35 (3): 110-114.
- [11] 聂新宇, 鲍延英, 王跃, 等.现代别墅群的综合防雷措施浅析 [J].气象研究与应用, 2012, 33 (2): 89-91.
- [12] 黄仁立, 缪世宁, 凌宗良, 等.驾驶员科目二考试电子考场防雷防护技术探讨 [J].气象研究与应用, 2012, 33 (4): 83-85.
- [13] 林雨人, 刘敦训, 李汉标, 等.深圳大运会场馆建设工程施工现场防雷接地与电气安全 [J].广东气象, 2010.32 (3): 44-45.
- [14] 陈赞, 陈皋, 叶明, 等.广东湛江海湾大桥直击雷防护方案 [J].广东气象, 2002, 24 (S2): 26-27.
- [15] 李加仑, 姚集建.斜接索桥梁的防雷问题 [J].广东气象, 2001.23 (S1): 47-48.
- [16] 蔡成坤, 张树勇.南澳县风机防雷技术探讨 [J].广东气象, 1999.21 (S2): 20-21.
- [17] 朱传林, 王学良, 黄克俭, 等.浅析雷电灾害风险评估标准中存在的问题 [J].电瓷避雷器, 2013, (1): 45-49.
- [18] 张欣, 杨天琦, 杨仲江, 等.地下建筑物遭受雷击损害的风险因子分析 [J].电瓷避雷器, 2014. (3): 44-47.
- [19] IEC 62305-2: 2010, Protection against lightning — Part 2: Risk management [S]
- [20] IEC 62305-1: 2010, Protection against lightning — Part 1: General principles [S]
- [21] 朱传林, 黄克俭, 范宏飞, 等.雷电灾害风险评估中损失量的量化分析 [J].气象科技, 2014, 42 (4) 698-701.