



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 85—2018

代替 QX/T 85—2007

雷电灾害风险评估技术规范

Technical specifications for risk assessment of lightning disaster

2018-11-30 发布

2019-03-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 基本要求	4
5 评估流程	5
6 评估内容与方法	5
7 评估报告	8
附录 A(资料性附录) 区域雷电灾害风险评估	9
附录 B(规范性附录) 雷击损害和损失	23
附录 C(规范性附录) 雷击风险和风险分量	25
附录 D(规范性附录) 风险管理	28
附录 E(资料性附录) 年均危险事件次数的通识符 N_x 的估算	33
附录 F(资料性附录) 建筑物各种损害概率的通识符 P_x 的估算	41
附录 G(资料性附录) 建筑物中各种损失率 L_x 的估算	48
附录 H(规范性附录) 风险分量的评估	55
附录 I(资料性附录) 基于数值仿真和模拟实验的雷击风险评估示例	59
参考文献	63

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 QX/T 85—2007,与 QX/T 85—2007 相比,除编辑性修改外,主要技术变化如下:

- 修改了范围(见第 1 章,2007 年版第 1 章);
- 删除了部分术语和定义(2007 年版的 3.2~3.10);
- 修改了雷电灾害风险评估的术语和定义(见 3.1.1,2007 年版的 3.1)
- 增加了隶属度的术语和定义(见 3.1.2);
- 修改了基本要求(见第 4 章,2007 年版的第 4 章);
- 修改了评估流程(见图 1,2007 年版的图 1);
- 修改了雷电环境评价(见 6.1,2007 版的第 5 章);
- 增加了区域雷电灾害风险评估(见 6.2);
- 增加了数值仿真和模拟实验(见 6.4);
- 删除了连接到建筑物的服务设施的风险评估内容(2007 年版的 6.4、附录 D、附录 E、附录 I);
- 增加了建筑物内人和动物雷击伤害的情况(见 C.2);
- 修改了风险容许值(见 D.3,2007 年版的附录 G);
- 增加了对周边建筑物或环境连带损害的情况(见 D.4);
- 修改了雷击建筑物附近的截收面积(见式(E.2)和式(E.3),2007 年版的式(A.2)和式(A.3));
- 修改了雷击线路或线路附近的截收面积(见附录 E,2007 年版的附录 A);
- 修改了一次雷击引起的损害的概率(见附录 F,2007 年版的附录 B);
- 修改了具有保障危险的特定建筑物的损失因子(见表 G.5,2007 年版的表 C.4);
- 修改了建筑物分区风险分量(见表 H.2,2007 年版的表 6);
- 修改了损失成本(见附录 D,2007 年版的附录 F);
- 增加了各种情况下选择相对损失量(见附录 G);
- 增加了设备耐冲击电压额定值为 1 kV 的情况(见附录 E、附录 F);
- 删除了部分附录(2007 年版的附录 J、附录 K)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国雷电灾害防御行业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:重庆市气象安全技术中心、安徽省气象灾害防御技术中心、湖南省气象灾害防御技术中心、上海市气象灾害防御技术中心、辽宁省防雷技术服务中心、成都信息工程大学。

本标准起草人:李良福、覃彬全、余蜀豫、程向阳、王智刚、刘凤姣、黄晓虹、郭在华、林楠、李家启、任艳、栾健、林巧、何静、刘越峙、鞠晓雨、高荣生。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- QX/T 85—2007。

雷电灾害风险评估技术规范

1 范围

本标准规定了雷电灾害风险评估的基本要求、评估流程、评估内容与方法、评估报告等。
本标准适用于雷电灾害风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 21714.1—2015 雷电防护 第1部分:总则(IEC 62305-1,IDT)
 GB/T 21714.2—2015 雷电防护 第2部分:风险管理(IEC 62305-2,IDT)
 GB/T 21714.3—2015 雷电防护 第3部分:建筑物的物理损坏和生命危险(IEC 62305-3,IDT)
 GB/T 21714.4—2015 雷电防护 第4部分:建筑物内电气和电子系统(IEC 62305-4,IDT)

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

GB/T 21714.2—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

雷电灾害风险评估 risk assessment of lightning disaster

根据雷电特性及其致灾机理,分析雷电对评估对象的影响,提出降低风险措施的评价和估算过程。

3.1.2

隶属度 degree of membership

评估对象的雷电灾害风险与不同风险等级的相关性。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

a : 折旧率。

A_D : 孤立建筑物的雷击截收面积。

A_{Dj} : 毗邻建筑物的雷击截收面积。

A'_D : 屋面突出部分的雷击截收面积。

A_l : 雷击线路附近的雷击截收面积。

A_L : 雷击线路的雷击截收面积。

A_M : 雷击建筑物附近的雷击截收面积。

B : 需考虑防护的建筑物或一部分。

C_D : 位置因子。

C_{Dj} : 毗邻建筑物的位置因子。

C_E : 线路环境因子。

- C_1 : 线路安装因子。
- C_L : 缺乏防护措施的年损失值。
- C_{LD} : 雷击线路的屏蔽、接地和隔离因子。
- C_{LI} : 雷击线路附近的屏蔽、接地和隔离因子。
- C_{LZ} : 分区的损失成本。
- C_P : 防护措施的成本。
- C_{PM} : 采取防护措施后的平均花费。
- C_{RL} : 采取防护措施后的年平均损失值。
- C_{RLZ} : 采取防护措施后的分区年平均损失值。
- C_T : 线路上 HV/LV 变压器的线路类型因子。
- c_a : 用货币表示的分区中动物的价值。
- c_b : 用货币表示的分区相关的建筑物的价值。
- c_c : 用货币表示的分区中内存物的价值。
- c_e : 用货币表示的建筑物外危险场所物品的总价值。
- c_s : 用货币表示的分区中内部系统(包括它们的运行)的价值。
- c_t : 用货币表示的建筑物的总价值。
- c_z : 用货币表示的区域内文化遗产的价值。
- d : 雷击点与所需计算雷击引起的场强点(或建筑物)之间的距离。
- D1: 人和动物伤害。
- D2: 物理损害。
- D3: 电气和电子系统失效。
- h_z : 有特殊危险时增加损失率的因子。
- H : 建筑物高度。
- H_J : 毗邻建筑物高度。
- H_{MIN} : 建筑物最矮处的高度。
- H_{MAX} : 建筑物最高处的高度。
- H_P : 突出部分的高度。
- i : 利率。
- K_{MS} : 与采用的 LEMP 防护措施有关的因子。
- K_{S1} : 与建筑物屏蔽效能有关的因子。
- K_{S2} : 与建筑物内部屏蔽体屏蔽效能有关的因子。
- K_{S3} : 与内部线路特征相关的因子。
- K_{S4} : 与系统的耐冲击电压有关的因子。
- L : 建筑物的长度。
- L_J : 毗邻建筑物的长度。
- L_A : 雷击建筑物时人和动物因雷击伤害的损失率。
- L_B : 雷击建筑物时建筑物中物理损害的损失率。
- L_L : 线路区段的长度。
- L_C : 雷击建筑物时建筑物中内部系统失效的损失率。
- L_E : 周围建筑物损害时增加的损失率。
- L_F : 建筑物内由于物理损害造成的损失率。
- L_{FE} : 建筑物外由于物理损害造成的损失率。
- L_{FT} : 建筑物内外由于物理损害造成的总损失率。

- L_M :雷击建筑物附近时内部系统失效的损失率。
- L_O :内部系统失效引起的建筑物的损失率。
- L_T :电击伤害引起的损失率。
- L_U :雷击线路时建筑物内人和动物电击伤害的损失率。
- L_V :雷击线路时建筑物内物理损害的损失率。
- L_W :雷击线路时内部系统失效的损失率。
- L_X :建筑物各种损失率通识符。
- L_Z :雷击线路附近时内部系统失效的损失率。
- L1:人身伤亡损失。
- L2:公众服务损失。
- L3:文化遗产损失。
- L4:经济价值损失。
- m :维护费率。
- N_X :年均危险事件次数的通识符。
- N_D :雷击建筑物危险事件的次数。
- N_{DJ} :雷击毗邻建筑物危险事件的次数。
- N_G :雷击大地密度。
- N_I :雷击线路附近危险事件的次数。
- N_L :雷击线路危险事件的次数。
- N_M :雷击建筑物附近危险事件的次数。
- n_z :可能遭危害的人员的数目(受害者或得不到服务的用户数)。
- n_t :预期的总人数(或接受服务的用户数)。
- P :损害概率。
- P_A :雷击建筑物造成人和动物伤害的概率。
- P_B :雷击建筑物造成建筑物物理损害的概率。
- P_C :雷击建筑物造成内部系统失效的概率。
- P_{EB} :安装等电位连接时设备的耐压和线路特性决定的 P_U 和 P_V 减小的概率。
- P_{LD} :雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_U 、 P_V 和 P_W 减小的概率。
- P_{LI} :雷击线路附近时线路特性及设备耐受电压决定的 P_Z 减小的概率。
- P_M :雷击建筑物附近造成内部系统失效的概率。
- P_{MS} :屏蔽、合理布线及设备耐受电压决定的 P_M 减小的概率。
- P_{SPD} :安装协调配合的 SPD 系统时 P_C 、 P_M 、 P_W 和 P_Z 减小的概率。
- P_{TA} :由防接触和防跨步电压措施决定的 P_A 减小的概率。
- P_U :雷击相连线路造成人和动物电击伤害的概率。
- P_V :雷击相连线路造成建筑物物理损害的概率。
- P_W :雷击相连线路造成内部系统失效的概率。
- P_X :建筑物各种损害概率的通识符。
- P_Z :雷击相连线路附近造成内部系统失效的概率。
- r_t :与土壤或地板表面类型有关的缩减因子。
- r_f :与火灾危险有关的缩减因子。
- r_p :与防火措施有关的缩减因子。
- R :风险。
- R_A :雷击建筑物造成人和动物伤害的风险分量。

- R_B :雷击建筑物造成建筑物物理损害的风险分量。
 R_C :雷击建筑物造成内部系统失效的风险分量。
 R_M :雷击建筑物附近引起的内部系统失效风险分量。
 R_S :单位长度电缆屏蔽层的电阻。
 R_T :风险容许值。
 R_U :雷击线路造成人和动物伤害的风险分量。
 R_V :雷击线路造成建筑物物理损害的风险分量。
 R_W :雷击线路造成内部系统失效的风险分量。
 R_X :建筑物各种风险分量。
 R_Z :雷击线路附近造成内部系统失效的风险分量。
 R_1 :建筑物中人身伤亡损失的风险。
 R_2 :建筑物中公众服务损失的风险。
 R_3 :建筑物中文化遗产损失的风险。
 R_4 :建筑物中经济价值损失的风险。
 R'_4 :采取防护措施后的风险 R_4 。
 S :建筑物。
 S_M :每年节约费用。
 S_L :线路段。
 $S1$:损害成因——雷击建筑物。
 $S2$:损害成因——雷击建筑物附近。
 $S3$:损害成因——雷击线路。
 $S4$:损害成因——雷击线路附近。
 t_e :受危害人员每年待在建筑物外危险场所的小时数。
 t_z :受危害人员每年待在危险场所的小时数。
 T_D :年雷暴日。
 U_w :系统的耐冲击电压额定值。
 w_m :网格宽度。
 W :建筑物的宽度。
 W_J :毗邻建筑物的宽度。
 X :辨别相关风险分量的下标。
 Z_S :建筑物的分区。

4 基本要求

4.1 雷电灾害风险评估应遵循科学性、完整性、真实性原则。

4.2 评估单位在充分了解评估对象所在区域发展规划、功能区划及雷电环境的基础上,宜收集以下基础资料:

- 评估对象的建设方案、设计规划和使用性质等背景资料;
- 评估对象的总平面图、地勘报告等;
- 评估对象所在地地理、地质、土壤、水文等资料;
- 评估对象所在地雷暴观测、闪电定位系统数据等气象资料和评估对象雷电灾害资料;
- 评估对象的雷电防护、雷电灾害应急预案以及维护等防雷管理制度。

5 评估流程

雷电灾害风险评估流程见图 1。

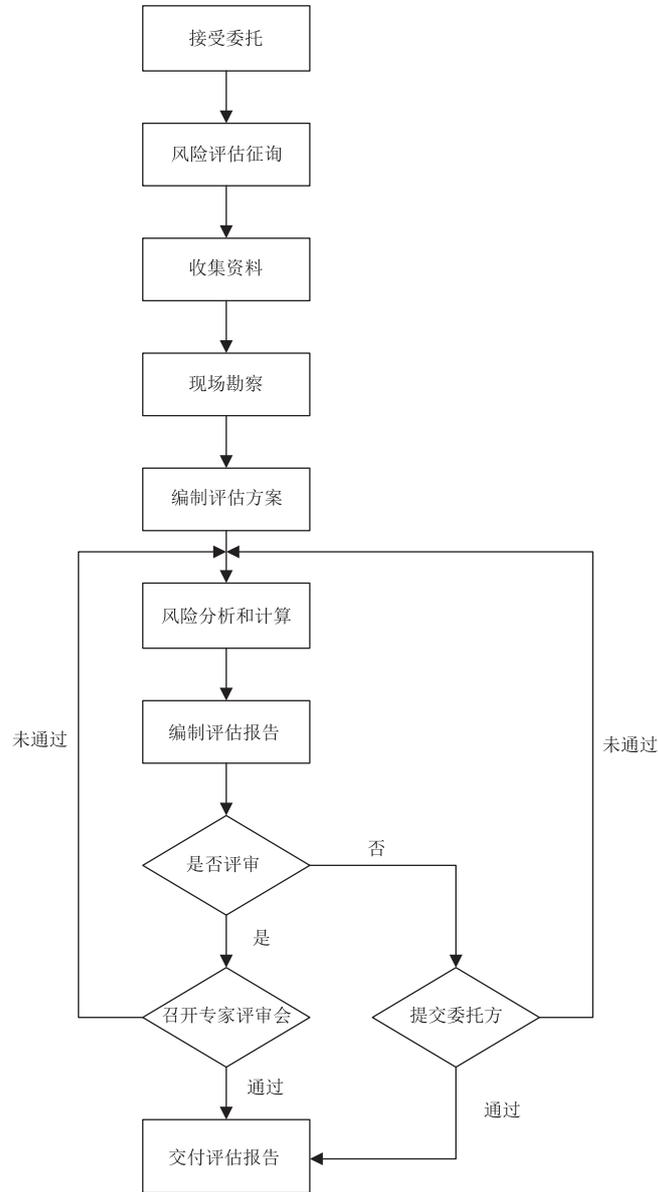


图 1 雷电灾害风险评估流程图

6 评估内容与方法

6.1 雷电环境评价

6.1.1 适用条件

雷电环境评价适用于所有评估对象。

6.1.2 雷电活动时空分布特征

根据评估对象所在地雷暴观测数据、闪电定位系统数据等历史资料,分析评估对象所在地的雷暴路径、雷电年变化、月变化、日变化规律及雷电的强度、密度、陡度分布等。

6.1.3 雷电流散流分布特征

根据评估对象所在地的地形、土壤状况等分析雷电流散流分布特征。

6.1.4 雷电电磁环境风险

根据评估对象所在地闪电定位系统历史资料,按照公式(1)计算评估对象所占平面区域内各点的最大雷击磁场强度,并应用插值法绘制评估对象雷电电磁环境分布图,应根据绘图精度需要确定评估对象所占平面区域内离散网格尺寸。

$$H = i / (2\pi d) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

H ——最大磁场强度,单位为安培每米(A/m);

i ——雷电流,单位为安培(A);

d ——雷击点与所需计算雷击引起的场强点(或建筑物)之间的距离,单位为米(m)。雷击点包括评估对象所占平面区域及其外延 3 km 范围内所有的落雷点。

6.2 区域雷电灾害风险评估

6.2.1 适用条件

- 区域雷电灾害风险评估适用于以下情况:
- 由多个单体构成的评估对象;
- 包含多种属性、特征或使用性质的评估对象;
- 输油输气管道、轨道交通系统等长输管道(线路)。

6.2.2 区域雷电灾害风险评估步骤

区域雷电灾害风险评估一般步骤如下:

- a) 建立层次结构模型;
- b) 提取致灾因子;
- c) 构造判断矢量;
- d) 计算相对权重;
- e) 一致性检验;
- f) 计算合成权重。

6.2.3 区域雷电灾害风险计算

区域雷电灾害风险评估的一般计算公式为:

$$Z = W \cdot R = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = [z_1, z_2, \dots, z_n] \dots\dots\dots(2)$$

式中：

Z ——综合评价矢量；

W ——评估指标的权重矢量；

R ——评估指标的隶属度矢量。

6.2.4 区域雷电灾害风险综合评价

可将区域雷电灾害风险分为五个危险等级，综合评价见公式(3)，具体方法参见附录 A。

$$g = r_1 + 3 \times r_2 + 5 \times r_3 + 7 \times r_4 + 9 \times r_5 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

g ——目标的区域雷电灾害风险；

r_1 ——目标与危险等级 I 的隶属度；

r_2 ——目标与危险等级 II 的隶属度；

r_3 ——目标与危险等级 III 的隶属度；

r_4 ——目标与危险等级 IV 的隶属度；

r_5 ——目标与危险等级 V 的隶属度。

危险等级的划分参见附录 A。

6.3 雷击损害风险评估

6.3.1 适用范围

雷击损害风险评估适用于单体建筑物。

6.3.2 雷击损害和损失

雷击损害和损失见附录 B，雷击风险和风险分量见附录 C。

6.3.3 雷击损害风险评估步骤

雷击损害风险评估步骤见附录 D。

6.3.4 雷击风险评估计算

各个风险分量可以采用以下通用表达式来表示：

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

N_x ——年均危险事件次数的通识符(参见附录 E)；

P_x ——建筑物各种损害概率的通识符(参见附录 F)；

L_x ——建筑物各种损失率通识符(参见附录 G)。

不同损害成因雷击风险分量的评估及分区建筑物风险分量的评估见附录 H。

6.4 数值仿真和模拟实验

6.4.1 适用条件

数值仿真和模拟实验适用于以下条件：

——具有特殊使用性质和属性的评估对象；

——委托单位需要深入分析雷击影响的评估对象。

6.4.2 数值仿真

6.4.2.1 数值仿真是利用数值计算方法,模拟各种雷击情况,分析雷击对评估对象造成的影响,具体示例参见附录 I。

6.4.2.2 利用数值仿真进行雷击风险评估的一般步骤如下:

- a) 分析评估对象的自身属性;
- b) 建立雷击损害的仿真模型;
- c) 设置合适的参数开展数值仿真;
- d) 分析雷击对评估对象可能造成的损害情况。

6.4.3 模拟实验

6.4.3.1 模拟实验是根据评估对象中某些特殊使用性质和属性的实际特性,建立评估对象的实验模型,在实验室利用模拟雷击电流开展模拟雷击实验,分析雷击对评估对象的损害情况,具体示例参见附录 I。

6.4.3.2 利用模拟实验进行雷击风险评估的一般步骤如下:

- a) 分析评估对象的自身属性;
- b) 设计安全、可行的实验方案;
- c) 建立评估对象的模拟实验模型;
- d) 选取合适的试验参数开展模拟雷击实验;
- e) 分析雷击对评估对象可能造成的损害情况。

7 评估报告

雷电灾害风险评估报告应当包括下列内容:

- 项目来源;
- 项目概况;
- 所应用资料的来源说明;
- 评估所依据的标准和规范;
- 评估方法;
- 评估内容及过程;
- 雷电灾害风险评估结论;
- 预防或者减轻雷电灾害影响的建议。

附录 A
(资料性附录)
区域雷电灾害风险评估

A.1 评估指标

A.1.1 评估指标的确定

区域雷电灾害风险评估考虑雷电风险、地域风险及承灾体风险三个一级指标。

根据层次分析法的条理化、层次化原则，区域雷电灾害风险评估的递阶层次结构模型如图 A.1 所示，并根据图 A.1 可得到更高层级的指标(致灾因子)。

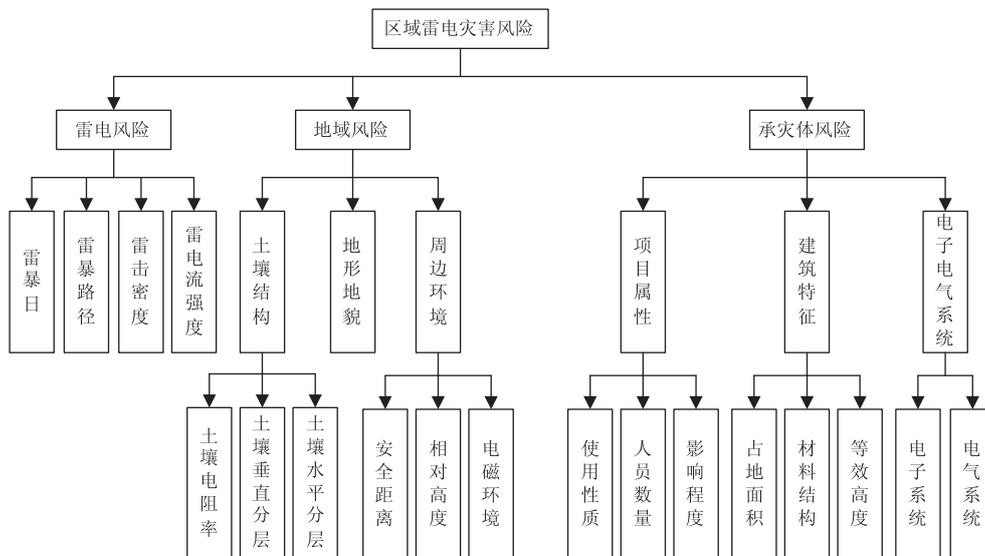


图 A.1 区域雷电灾害风险评估的层次结构模型

A.1.2 雷暴日

雷暴日应取近 30 年的地面站人工观测数据进行整理分析。当项目所处位置距离某观测站不超过 10 km 时，可直接使用该观测站数据作为年雷暴日的基础数据进一步分析。当项目所处位置距离观测站超过 10 km 时，应将项目周边至少三个站点进行插值处理，从而获取到更为精确的雷暴日数。

A.1.3 雷暴路径

通过对历史人工雷暴观测数据进行统计分析，判定雷暴主导方向与次主导方向。

A.1.4 雷击密度

雷电资料的基础数据选取应以经过标定的全国雷电定位监测网探测到的数据为准。可根据评估需要取项目中心位置为原点，5 km~10 km 半径内的闪电资料。

A. 1.5 雷电流强度

雷电流强度的数据选取应参考雷击密度的选取规则。

A. 1.6 土壤电阻率

土壤电阻率应以拟建场地现场实测为准,该数据的取值还应考虑温度、湿度和季节等因素。

A. 1.7 土壤垂直分层

项目场地不同深度的土壤电阻率差值。

A. 1.8 土壤水平分层

项目场地不同电阻率的土壤交界地段的土壤电阻率最大差值。

A. 1.9 地形地貌

经现场勘测、调查、了解地形地貌的特征。

A. 1.10 安全距离

通过实地勘查和工程规划图确定评估对象区域外是否存在危化危爆场所及其距离。

A. 1.11 相对高度

通过实地勘查确定勘查范围内是否存在其他可能接闪点,并如实记录该可能接闪点名称、与评估对象的相对高度、距离等信息。

A. 1.12 电磁环境

根据评估对象的雷电流强度、典型网格宽度、结构钢筋规格等具体数据,结合项目周边环境,进行分析计算。

A. 1.13 使用性质

包含评估对象的规模、重要程度以及功能用途等信息。

A. 1.14 人员数量

人员数量可根据评估对象的使用性质等情况综合考虑。普通民用建筑可按每户 3.5 人计算。

A. 1.15 影响程度

包含评估对象区域内是否存在危化危爆场所及其危化危爆场所的性质、规模和对周边环境的影响程度。

A. 1.16 占地面积

占地面积计算方法如下:

$$S = S_1 + S_2 \quad \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中:

S ——区域内项目的占地面积;

S₁ ——区域内项目所有建筑物基底面积之和;

S_2 ——区域内项目所有构筑物的占地轮廓之和。

A. 1. 17 材料结构

包含评估对象的建(构)筑材料类型及项目的外墙设计、楼顶设计等可能被雷电直接击中的结构属性。

A. 1. 18 等效高度

等效高度为建筑物的物理高度外加顶部具有影响接闪的设施高度,其计算方法如下:

$$H_e = H_1 + H_2 \quad \dots\dots\dots(A. 2)$$

式中:

H_e ——建筑物等效高度;

H_1 ——建筑物物理高度;

H_2 ——顶部设施高度。

有管帽的 H_2 参照表 A. 1 确定,无管帽时 $H_2 = 5$ m。

表 A. 1 H_2 值

装置内外气压差 kPa	排放物对比空气	H_2 m
<5	重于空气	1
5~25	重于空气	2.5
≤25	轻于空气	2.5
>25	重于或轻于空气	5

A. 1. 19 电子系统

包含评估对象工程项目内电子系统规模、重要性及发生雷击事故后产生的影响。

A. 1. 20 电气系统

包含评估对象电力系统的电力负荷等级、室外低压配电线路敷设方式。

A. 2 评估指标的危險等级

A. 2. 1 危險等级

每个评价指标的综合评价可以用 g 判断,本附录将区域雷电灾害风险分为五个危險等级,那么 g 值可以通过公式(3)计算得出。 g 值越小代表区域内雷电灾害风险越低, g 值越大代表区域内雷电灾害风险越高。依据 g 值将评估指标划分为 I、II、III、IV、V 五个等级。五个等级描述如表 A. 2 所示。

表 A.2 评估指标的危險等级

危險等级	g	说明
I 级	$[0, 2)$	低风险
II 级	$[2, 4)$	较低风险
III 级	$[4, 6)$	中等风险
IV 级	$[6, 8)$	较高风险
V 级	$[8, 10]$	高风险

g 值与对应风险(用色标表示)的关系如下:

综合评价(g 值)及对应风险

0 2 4 6 8 10

低 中 高

A.2.2 雷电风险的等级

A.2.2.1 雷暴日

雷暴日分五个等级,见表 A.3。

表 A.3 雷暴日等级

危險等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷暴日 d/a	$[0, 20)$	$[20, 40)$	$[40, 60)$	$[60, 90)$	$[90, 365)$

A.2.2.2 雷暴路径

雷暴路径越集中、锐度越大,则危險等级越高。雷暴路径分五个等级, V 级的雷暴路径仅为一个方向, IV 级的雷暴路径可以为一个或两个值, III 级、II 级、I 级的雷暴路径可依次从两个方向过渡到三个方向。因此,雷暴路径五个等级依次为:

- I 级(雷暴最大 3 个移动方向百分比之和小于 40%)；
- II 级(雷暴最大 3 个移动方向百分比之和大于 40%, 小于 50%)；
- III 级(雷暴最大 2 个移动方向百分比之和大于 40%, 小于 45%; 或者最大 3 个移动方向百分比之和大于 50%)；
- IV 级(雷暴路径主方向的百分比大于 30%, 小于 35%; 或者最大 2 个移动方向百分比之和大于 45%)；
- V 级(雷暴路径主方向的百分比大于 35%)。

A.2.2.3 雷击密度

雷击密度分五个等级,见表 A.4。

表 A.4 雷击密度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷击密度 次/(千米 ² ·年)	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,∞)

A.2.2.4 雷电流强度

雷电流强度分五个等级,见表 A.5。

表 A.5 雷电流强度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷电流强度 kA	[0,10)	[10,20)	[20,40)	[40,60)	[60,∞)

A.2.3 地域风险的分级标准

A.2.3.1 土壤结构

A.2.3.1.1 土壤电阻率

土壤电阻率分五个等级,见表 A.6。

表 A.6 土壤电阻率分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	[3000,∞)	[1000,3000)	[300,1000)	[100,300)	[0,100)

A.2.3.1.2 土壤垂直分层

土壤垂直分层分五个等级,见表 A.7。

表 A.7 土壤垂直分层分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
垂直分层 $\Omega \cdot m$	[300,∞)	[100,300)	[30,100)	[10,30)	[0,10)

A.2.3.1.3 土壤水平分层

土壤水平分五个等级,见表 A.8。

表 A.8 土壤水平分层分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
水平分层 $\Omega \cdot m$	[300,∞)	[100,300)	[30,100)	[10,30)	[0,10)

A.2.3.2 地形地貌

地形地貌危险分五个等级,依次为:

- I 级(平原);
- II 级(丘陵);
- III 级(山地);
- IV 级(河流、湖泊以及低洼潮湿地区、山间风口等);
- V 级(旷野孤立或突出区域)。

A.2.3.3 周边环境

A.2.3.3.1 安全距离

安全距离分五个等级,划分原则:

- I 级(不符合 II 级、III 级、IV 级、V 级的情况者);
- 其他等级的划分见表 A.9。

表 A.9 安全距离分级(II 级~V 级)

危险等级	安全距离 m				
	0/20 区	1/21 区	储存火(炸)药及其制品的场所	2/22 区	具有爆炸危险的露天钢质封闭气罐
II 级	[0,1000)	[0,1000)	[0,500)	[0,500)	[0,500)
III 级	[0,500)	[0,500)	[0,300)	[0,300)	[0,300)
IV 级	[0,300)	[0,300)	[0,100)	[0,100)	[0,100)
V 级	[0,100)	[0,100)	[0,100)(易引起爆炸且后果严重)	—	—

A.2.3.3.2 相对高度

相对高度分五个等级,依次为:

- I 级(评估区域被比区域内项目高的外部建(构)筑物或其他雷击可接闪物所环绕);
- II 级(评估区域外局部方向有高于评估区域内项目的建(构)筑物或其他雷击可接闪物);
- III 级(评估区域外建(构)筑物或其他雷击可接闪物与评估区域内项目高度基本持平);
- IV 级(评估区域外建(构)筑物或其他雷击可接闪物低于区域内项目高度);
- V 级(评估区域外无建(构)筑物或其他雷击可接闪物)。

A.2.3.3.3 电磁环境

电磁环境分五个等级,见表 A.10。

表 A.10 电磁环境分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
电磁环境 GS	[0, 0.07)	[0.07, 0.75)	[0.75, 2.4)	[2.4, 10)	[10,∞)

A.2.4 承灾体风险的分级标准

A.2.4.1 项目属性

A.2.4.1.1 使用性质

使用性质分五个等级,见表 A.11。

表 A.11 使用性质分级

I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
低层、多层、中高层住宅,高度不大于 24 m 的公共建筑及综合性建筑。	高层住宅,高度大于 24 m 的公共建筑及综合性建筑。	建筑高度大于 100 m 的民用超高层建筑,智能建筑,其他人员密集的商场、公共场所等。	—	—
乡/镇政府、事业单位办公建(构)筑物。	县级政府、事业单位办公建(构)筑物。	地/市级政府、事业单位办公建(构)筑物。	省/部级政府、事业单位办公建(构)筑物。	国家级政府、事业单位办公建(构)筑物。
小型企业生产区、仓储区。	中型企业生产区、仓储区。	大型企业生产区、仓储区。	特大型企业生产区、仓储区。	—
—	配送中心。	物流中心。	物流基地。	—
—	小学。	中学。	大学、科研院所。	—
—	一级医院。	二级医院。	三级医院。	—
—	地/市级及以下级别重点文物保护的建(构)筑物,地/市级及以下级别档案馆,丙级体育馆,小型展览和博览建筑物。	省级重点文物保护的建(构)筑物,省级档案馆,乙级体育馆,中型展览和博览建筑物。	国家级重点文物保护的建(构)筑物,国家级档案馆,特级、甲级体育馆,大型展览和博览建筑物。	—
—	县级信息(计算)中心。	地/市级信息(计算)中心。	省级信息(计算)中心。	国家级信息(计算)中心。
—	—	小型通信枢纽(中心),移动通信基站。	中型通信枢纽(中心)。	国家级通信枢纽(中心)。

表 A.11 使用性质分级(续)

I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
—	—	民用微波站。	民用雷达站。	—
—	县级电视台、广播台、网站、报社等的办公及业务建(构)筑物。	地/市级电视台、广播台、网站、报社等的办公及业务建(构)筑物。	省级电视台、广播台、网站、报社等的办公及业务建(构)筑物。	国家级电视台、广播台、网站、报社等的办公及业务建(构)筑物。
城区人口 20 万以下城/镇给水水厂。	城区人口 20 万~50 万城市给水水厂。	城区人口 50 万~100 万城市给水水厂。	城区人口 100 万~200 万城市给水水厂。	城区人口 200 万以上城市给水水厂。
—	县级及以下电力公司, 35 kV 及以下等级变(配)电站(所), 总装机容量 100 MW 以下的电厂。	地/市级电力公司, 110 kV(66 kV)变电站; 总装机容量 100 MW~250 MW 的电厂。	大区/省级电力公司, 220 kV(330 kV)变电站, 总装机容量 250 MW~1000 MW 的电厂。	国家级电网公司, 500 kV 及以上电压等级变电站、换流站, 核电站, 总装机容量 1000 MW 以上的电厂。
四级/五级汽车站, 四等/五等火车站。	三级汽车站, 三等火车站, 小型港口。	二级汽车站, 二等火车站, 中型港口, 支线机场。	一级汽车站, 一等火车站, 大型港口, 区域干线机场。	特等火车站, 特大型港口, 枢纽国际机场。
三级/四级公路桥梁。	二级公路桥梁。	一级公路桥梁, III 级铁路桥梁。	高速公路桥梁, II 级铁路桥梁, 城市轨道交通。	I 级铁路桥梁。
—	—	银行支行。	银行分行, 证券公司。	银行总行, 国家级证券交易所。
—	—	二级/三级加油加气站。	一级加油加气站, 四级/五级石油库, 四级/五级石油天然气站场, 小型/中型石油化工企业、危险化学品企业、烟花爆竹企业的生产区、仓储区。	一级/二级/三级石油库, 一级/二级/三级石油天然气站场, 大型/特大型石油化工企业、危险化学品企业、烟花爆竹企业的生产区、仓储区。
—	—	从事军需、供给等与军事有关行业的科研机构和军工企业。	从事火炮、装甲、通信、防化等与军事有关行业的科研机构和军工企业。	从事航天、飞机、舰船、导弹、雷达、指挥自动化等与军事有关行业的科研机构和军工企业, 军用机场, 军港。

A.2.4.1.2 人员数量

人员数量分五个等级, 见表 A.12。

表 A.12 人员数量分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人员数量/人	[0,100)	[100,300)	[300,1000)	[1000,3000)	[3000,∞)

A.2.4.1.3 影响程度

爆炸、火灾危险场所的影响程度(以下简称影响程度)分五个等级,见表 A.13。

表 A.13 影响程度分级

危险等级	区域内项目危险特征
I 级	区域内项目遭受雷击后一般不会产生危及区域外的爆炸或火灾危险。
II 级	区域内项目有三级加油加气站,以及类似爆炸或火灾危险场所。
III 级	区域内项目有二级加油加气站,以及类似爆炸或火灾危险场所。
IV 级	区域内项目有一级加油加气站,四级/五级石油库,四级/五级石油天然气站场,小型、中型石油化工企业,小型民用爆炸物品储存库,小型烟花爆竹生产企业,危险品计算药量总量小于或等于 5000 kg 的烟花爆竹仓库,小型、中型危险化学品企业及其仓库,以及类似爆炸或火灾危险场所。
V 级	区域内项目有一级/二级/三级石油库,一级/二级/三级石油天然气站场,大型、特大型石油化工企业,中型、大型民用爆炸物品储存库,中型、大型烟花爆竹生产企业,危险品计算药量总量大于 5000 kg 的烟花爆竹仓库,大型、特大型危险化学品企业及其仓库,以及类似爆炸或火灾危险场所。

A.2.4.2 建(构)筑物特征

A.2.4.2.1 占地面积

占地面积分五个等级,见表 A.14。

表 A.14 占地面积分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
占地面积 m ²	[0,2500)	[2500,5000)	[5000,7500)	[7500,10000)	[10000,∞)

A.2.4.2.2 等效高度

等效高度分五个等级,划分如表 A.15 所示。

表 A.15 等效高度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等效高度 m	[0,30)	[30,45)	[45,60)	[60,100)	[100,∞)

A.2.4.2.3 材料结构

材料结构分五个等级,依次为:

- I级(建(构)筑物为木结构);
- II级(建(构)筑物为砖木结构);
- III级(建(构)筑物为砖混结构);
- IV级(建(构)筑物屋顶和主体结构为钢筋混凝土结构);
- V级(建(构)筑物屋顶和主体结构为钢结构)。

A.2.4.3 电子电气系统

A.2.4.3.1 电子系统

电子系统分五个等级,见表 A.16。

表 A.16 电子系统分级

I级	II级	III级	IV级	V级
乡镇政府机关、事业单位办公电子信息系统	县级政府机关、事业单位办公电子信息系统	地市级政府机关、事业单位办公电子信息系统	省级政府机关、事业单位办公电子信息系统	国家级政府机关、事业单位办公电子信息系统
普通住宅区安保电子信息系统	电梯公寓、智能建筑的电子信息系统	—	—	—
小型企业的工控、监控、信息等电子系统	中型企业的工控、监控、信息等电子系统	大型企业的工控、监控、信息等电子系统	特大型企业的工控、监控、信息等电子系统	—
—	中、小学电子信息系统	大学、科研院所电子信息系统	—	—
一级医院的电子信息系统	二级医院的电子信息系统	—	三级医院的电子信息系统	—
拥有丙级体育建筑的体育场馆的电子信息系统	拥有乙级体育建筑的体育场馆的电子信息系统	—	拥有甲级、特级体育建筑的体育场馆的电子信息系统	—
—	小型博物馆、展览馆的电子信息系统	中型博物馆、展览馆的电子信息系统	大型博物馆、展览馆的电子信息系统	—
—	地市级及以下级别重点文物保护单位、地市级及以下级别档案馆的电子系统	省级重点文物保护单位、省级档案馆的电子系统	国家级重点文物保护单位、国家级档案馆的电子系统	—
城区人口 20 万以下城/镇给水水厂的电子系统	城区人口 20 万~50 万城市给水水厂的电子系统	城区人口 50 万~100 万城市给水水厂的电子系统	城区人口 100 万~200 万城市给水水厂的电子系统	城区人口 200 万以上城市给水水厂的电子系统

表 A.16 电子系统分级(续)

I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
—	地市级粮食储备库电子系统	省级粮食储备库电子系统	国家粮食储备库电子系统	—
—	县级交通电子信息 系统	地市级交通电子信息 系统	省级交通电子信息 系统	国家级交通电子信息 系统
—	县级电力调度、通 信、信息、监控等的 电子系统	地市级电力调度、通 信、信息、监控等的 电子系统	大区级、省级电力调 度、通信、信息、监控 等的电子系统	国家级电力调度、通信、 信息、监控等的电子 系统
—	—	—	省级证券交易监管 部门的电子信息系 统,证券公司的证券 交易电子信息系统	国家级证券交易所(中 心)、监管部门的电子信 息系统
—	银行分理处、营业网 点的电子信息系统	银行支行的电子信 息系统	银行分行的电子信 息系统	银行总行的电子信息 系统
—	县级信息(计算) 中心	地市级信息(计算) 中心	省级信息(计算) 中心	国家级信息(计算)中心
—	—	小型通信枢纽(中 心)	中型通信枢纽(中 心)	国家级通信枢纽(中心)
—	—	移动通信基站、民用 微波站	民用雷达站	—
—	县级电视台、广播 台、网站、报社等的 电子系统	地市级电视台、广播 台、网站、报社等的 电子系统	省级电视台、广播 台、网站、报社等的 电子系统	国家级电视台、广播台、 网站、报社等的电子 系统
—	—	从事军需、供给等与 军事有关行业的科 研机构和军工企业 的电子系统	从事火炮、装甲、通 信、防化等与军事有 关行业的科研机构 和军工企业的电子 系统	从事航天、飞机、舰船、 导弹、雷达、指挥自动化 等与军事相关的科研机 构、企业的电子系统

A.2.4.3.2 电气系统

电气系统分五个等级,依次为:

—— I 级(电力负荷中仅有三级负荷,室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设)。

—— II 级(电力负荷中仅有三级负荷,符合下列情况之一者):

- 室外低压配电线路全线采用架空电缆,或部分线路采用电缆埋地敷设;
- 室外低压配电线路全线采用绝缘导线穿金属管埋地敷设,或部分线路采用绝缘导线穿金属管埋地敷设。

—— III 级(符合下列情况之一者):

- 电力负荷中有一级负荷、二级负荷,室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设;
 - 电力负荷中仅有三级负荷,室外低压配电线路全线采用架空裸导线或架空绝缘导线。
- Ⅳ级(电力负荷中有一级负荷、二级负荷,符合下列情况之一者):
- 室外低压配电线路全线采用架空电缆,或部分线路采用电缆埋地敷设;
 - 室外低压配电线路全线采用绝缘导线穿金属管埋地敷设,或部分线路采用绝缘导线穿金属管埋地敷设。
- Ⅴ级(电力负荷中有一级负荷、二级负荷,室外低压配电线路全线采用架空裸导线或架空绝缘导线)。

A.3 区域雷电灾害综合评价分析

A.3.1 指标参量的隶属度分析

A.3.1.1 一般规定

对评估指标体系中所有最底层指标参数进行预处理,即对获取的参数进行计算得出该指标的隶属度。

A.3.1.2 定量指标参量的隶属度计算

定量指标参量即可量化指标参量,有雷暴日、雷击密度、雷电流强度、土壤电阻率、土壤垂直分层、土壤水平分层、电磁环境、人员数量、占地面积、等效高度。以雷暴日为例,若评估对象的雷暴日参数为46.6,结合雷暴日的五个等级划分(见表 A.3),根据隶属函数和表 A.3 令 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 分别为10,30,50,75,100(取等级范围中间值)。根据极小型隶属函数处理方法,按照式(A.3)和式(A.4)计算雷暴日的隶属度。

$$r_2 = \frac{50 - 46.6}{50 - 30} = 0.17 \quad \dots\dots\dots(A.3)$$

$$r_3 = \frac{46.6 - 30}{50 - 30} = 0.83 \quad \dots\dots\dots(A.4)$$

可以得出雷暴日的隶属度如表 A.17 所示。

表 A.17 雷暴日隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
隶属度	0	0.17	0.83	0	0

A.3.1.3 定性指标参量的隶属度计算

定性指标参量包括:雷暴路径、地形地貌、安全距离、相对高度、使用性质、影响程度、材料结构、电子系统、电气系统。

定性指标的隶属度确定方法与定量指标的隶属度确定方法有所不同,定性指标不需要通过公式计算,只需要把收集到的数据与分级标准对比,符合某一个危险等级的描述,则完全隶属于该风险等级,且隶属度等于1。

例如,根据被评估对象历史资料及现场勘测,地形地貌为丘陵,根据地形地貌的危险等级划分,则地形地貌完全隶属于II级,见表 A.18。

表 A.18 地形地貌隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
地形地貌隶属度	0	1	0	0	0

A.3.2 指标参量的权重分析

A.3.2.1 一般规定

权重是一个相对的概念,是针对某一个指标而言,某一个指标的权重是指该指标在整体评价中的相对重要程度,是对各评价指标在总体评价中的作用进行区别对待。本附录中所牵涉的评估指标权重均引用层次分析法来分析和计算。

A.3.2.2 构造判断矩阵

根据层次分析法原理,确定各指标参量权重的第一步需要专家客观的对同一层次各指标参量进行比较判断,构造该层次各指标参量的判断矩阵。

根据对拟建场地现场土壤电阻率实测值,计算土壤结构下属指标参量的隶属度,隶属度矩阵见表 A.19。

表 A.19 土壤结构的下属指标隶属度

土壤结构	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
土壤电阻率	0	0	0	0	1
土壤垂直分层	1	0	0	0	0
土壤水平分层	1	0	0	0	0

这三个同一级指标参量的风险次序为:土壤电阻率>土壤垂直分层=土壤水平分层,且差别较大。土壤结构下属三个指标参量之间的比较判断矩阵见表 A.20。

表 A.20 土壤结构的判断矩阵

土壤结构	土壤电阻率	土壤垂直分层	土壤水平分层
土壤电阻率	1	5	5
土壤垂直分层	0.2	1	1
土壤水平分层	0.2	1	1

A.3.2.3 计算最大特征值和特征向量

根据矩阵计算方法,矩阵计算出最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.00$,其对应的归一化特征向量为: $w = (0.7143, 0.1429, 0.1429)$ 。

A.3.2.4 一致性检验

根据矩阵计算方法,矩阵的一致性指标 $C.I.$ 计算方法:

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{2} = 0 \quad \dots\dots\dots(A. 5)$$

一致性比例 C. R. 计算方法如下：

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} = 0 \quad \dots\dots\dots(A. 6)$$

即 $C. R. < 0.1$ ，认为土壤结构判断矩阵的一致性可以接受的，即 $w = (0.7143, 0.1429, 0.1429)$ 为土壤结构下属指标参量：土壤电阻率、土壤垂直分层和土壤水平分层的权向量。即土壤结构的下属指标参量的权重计算结果见表 A. 21。

表 A. 21 土壤结构下属指标参量的权重计算结果

土壤结构	土壤电阻率	土壤垂直分层	土壤水平分层	权重 W
土壤电阻率	1	5	5	0.7143
土壤垂直分层	0.2	1	1	0.1429
土壤水平分层	0.2	1	1	0.1429
$\lambda_{\max} = 3$	$C. I. = 0$	$C. R. = 0 < 0.1$ 通过一致性验证		

A. 3.3 区域雷电灾害风险等级

根据上述的区域雷电灾害风险隶属度，计算得到 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级的隶属度 $r_1、r_2、r_3、r_4、r_5$ 。最后，结合公式 $g = r_1 + 3r_2 + 5r_3 + 7r_4 + 9r_5$ ，求出区域雷电灾害风险 g ，然后根据区域雷电风险评估分级标准表 A. 2 确定的项目雷电灾害风险等级。

附录 B
(规范性附录)
雷击损害和损失

B.1 损害成因

雷电流是造成损害的主要原因。按雷击点的位置(见表 B.1)分为以下几种成因:

- S1: 损害成因——雷击建筑物;
- S2: 损害成因——雷击建筑物附近;
- S3: 损害成因——雷击线路;
- S4: 损害成因——雷击线路附近。

B.2 损害类型

雷击可能造成的损害取决于需防护建筑物的特性,其中最重要的特性包括:建筑物的结构类型、内部存放物品、用途、服务设施类型以及所采取的防护措施。

在实际的风险评估中,将雷击引起的基本损害类型划分为以下三种(见表 B.1):

- D1:人和动物伤害;
- D2:物理损害;
- D3:电气和电子系统失效。

雷击对建筑物的损害可能局限于建筑物的某一部分,也可能扩展到整个建筑物,还可能殃及四周的建筑物或环境(例如化学物质泄漏或放射性辐射)。

B.3 损失类型

每类损害,不论单独出现或与其他损害共同作用,都会在被保护建筑物中产生不同的损失。可能出现的损失类型取决于建筑物本身的特性及其内存物。应考虑以下几种类型的损失(见表 B.1):

- L1:人身伤亡损失;
- L2:公众服务损失;
- L3:文化遗产损失;
- L4:经济价值损失。

表 B.1 雷击点、损害成因、损害类型以及损失类型对照一览表

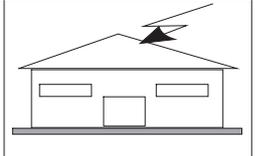
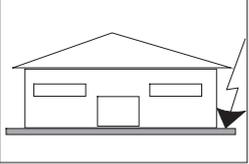
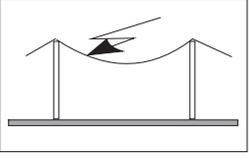
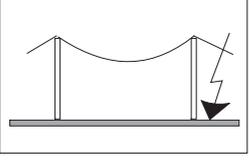
雷击点	损害成因	建筑物	
		损害类型	损失类型
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4

表 B.1 雷击点、损害成因、损害类型以及损失类型对照一览表(续)

雷击点	损害成因	建筑物	
		损害类型	损失类型
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
<p>^a 仅适用于可能出现动物损失的建筑物。</p> <p>^b 仅适用于具有爆炸危险的建筑物或因内部系统失效马上会危及人命的医院或其他建筑物。</p>			

附 录 C
(规范性附录)
雷击风险和风险分量

C.1 风险

风险 R 是指因雷电造成的年平均可能损失的相对值。对建筑物中可能出现的各类损失,应计算其所对应的风险。

建筑物中需估算的风险有:

- R_1 :建筑物中人身伤亡损失的风险;
- R_2 :建筑物中公共服务损失的风险;
- R_3 :建筑物中文化遗产损失的风险;
- R_4 :建筑物中经济价值损失的风险。

计算风险 R 时,相关风险分量应明确并进行计算(部分风险取决于损害成因和类型)。

每个风险 R 都是各个风险分量的和。计算风险时,可按损害成因和损害类型对各个风险分量进行归类。

C.2 雷击建筑物引起的建筑物风险分量

雷击建筑物引起的建筑物风险分量包括:

- R_A :雷击建筑物造成人和动物伤害的风险分量。可能产生 L1 类的损失。对饲养动物的建筑物还可能产生 L4 类的损失;
- R_B :雷击建筑物造成建筑物物理损害的风险分量。可能产生所有类型(L1、L2、L3、L4)的损失;
- R_C :雷击建筑物造成内部系统失效的风险分量。可能会产生 L2 和 L4 类的损失,在具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统失效会危及人命的医院或其他建筑物中还可能产生 L1 类型的损失。

C.3 雷击建筑物附近引起的建筑物风险分量

因 LEMP 引起内部系统失效的风险分量 R_M ,可能产生 L2 和 L4 类的损失,在具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统失效会危及人命的医院或其他建筑物中还可能产生 L1 类的损失。

C.4 雷击入户线路引起的建筑物风险分量

雷击入户线路引起的建筑物风险分量包括:

- R_U :雷击线路造成人和动物伤害的风险分量。可能产生 L1 类的损失,当有动物时,还可能出现 L4 类的损失;
- R_V :雷击线路造成建筑物物理损害的风险分量。可能产生所有类型(L1、L2、L3、L4)的损失;
- R_W :雷击线路造成内部系统失效的风险分量。可能产生 L2 和 L4 类的损失,在具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统失效会危及人命的医院或其他建筑物中还可能产生 L1 类的损失。

如果建筑物的管道已经连接到等电位连接排,不把雷击管道或其附近作为损害源。如果没有作等电位连接,应考虑这种风险分量。

C.5 雷击入户线路附近引起的建筑物风险分量

雷击线路附近造成内部系统失效的风险分量 R_z ,可能产生 L2 和 L4 类的损失,在具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统失效会危及人命的医院或其他建筑物中还可能产生 L1 类型的损失。

如果管道已经连接到等电位连接排,可以不把雷击管道或其附近作为损害源。如果没有作等电位连接,应考虑这种风险分量。

C.6 各种风险的组成

建筑物各类损失风险需考虑的风险分量见表 C.1。

表 C.1 建筑物各类损失风险需考虑的风险分量

损失风险	风险分量							
	雷击建筑物 (损害成因 S1)			雷击建筑物附近 (损害成因 S2)	雷击入户线路 (损害成因 S3)			雷击入户线路附近 (损害成因 S4)
R_1	R_A	R_B	R_C^a	R_M^a	R_U	R_V	R_W^a	R_Z^a
R_2	—	R_B	R_C	R_M	—	R_V	R_W	R_Z
R_3	—	R_B	—	—	—	R_V	—	—
R_4	R_A^b	R_B	R_C	R_M	R_U^b	R_V	R_W	R_Z
每类损失风险等于对应(表中同一行)的风险分量之和,比如: $R_1 = R_A + R_B + R_C^a + R_M^a + R_U + R_V + R_W^a + R_Z^a$								
^a 仅对具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统失效会危及人命的医院或其他建筑物。 ^b 仅对可能出现动物损失的建筑物。								

建筑物特性及影响建筑物风险分量的可能防护措施在表 C.2 中给出。

表 C.2 影响建筑物风险分量的因素

建筑物、内部系统以及 防护措施的特性	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
截收面积	X	X	X	X	X	X	X	X
地表土壤电阻率	X	—	—	—	—	—	—	—
楼内地板电阻率	X	—	—	—	X	—	—	—
围栏等限制措施, 绝缘措施,警示牌, 大地电位均衡措施	X	—	—	—	X	—	—	—
LPS	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b	—	—

表 C.2 影响建筑物风险分量的因素(续)

建筑物、内部系统以及防护措施的特性	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
减少触电和火花放电危险的 SPD	X	X	—	—	X	X	—	—
隔离界面	—	—	X ^c	X ^c	X	X	X	X
协调配合的 SPD 系统	—	—	X	X	—	—	X	X
空间屏蔽	—	—	X	X	—	—	—	—
外部线路屏蔽措施	—	—	—	—	X	X	X	X
内部线路屏蔽措施	—	—	X	X	—	—	—	—
合理布线	—	—	X	X	—	—	—	—
等电位连接网络	—	—	X	—	—	—	—	—
防火措施	—	X	—	—	—	X	—	—
火灾危险性	—	X	—	—	—	X	—	—
特殊危险	—	X	—	—	—	X	—	—
耐冲击电压	—	—	X	X	X	X	X	X
<p>X: 表示与该风险相关因素; —: 表示与该风险无关因素。</p>								
<p>^a 只有格栅型外部 LPS 才有影响。 ^b 由等电位连接引起的。 ^c 只有当隔离界面属于设备的组成部分才有影响。</p>								

附录 D
(规范性附录)
风险管理

D.1 基本步骤

包括：

- 确定需防护建筑物及其特性；
- 确定建筑物中可能出现的各类损失以及相应的风险 $R_1 \sim R_4$ ；
- 计算风险 R 的各种损失风险 $R_1 \sim R_4$ ；
- 将建筑物风险 R_1 、 R_2 和 R_3 与风险容许值 R_T 作比较来确定是否需要防雷；
- 通过比较采用或不采用防护措施时造成的损失代价以及防护措施年均花费，评估采用防护措施的成本效益。

D.2 风险评估时需考虑的建筑物方面的问题

需考虑的建筑物方面的问题包括：

- 建筑物本身；
- 建筑物内的装置；
- 建筑物的内存物；
- 建筑物内或建筑物外 3 m 范围内的人员；
- 建筑物受损对环境的影响。

考虑对建筑物的防护时不包括与建筑物相连的户外线路的防护。

注：所考虑的建筑物可能会划分为几个区。

D.3 风险容许值 R_T

由相关职能部门确定风险容许值。

表 D.1 给出涉及雷电引起的人身伤亡损失、社会价值损失以及文化价值损失的典型 R_T 值。

表 D.1 风险容许值 R_T 的典型值

损失类型		R_T/a^{-1}
L1	人身伤亡损失	5×10^{-6}
L2	公众服务损失	10^{-3}
L3	文化遗产损失	10^{-4}
注：人身伤亡损失容许值表示每年每平方千米上可能出现的人员雷击伤亡期望值，我国国情同欧洲差异较大，根据 IEC 62305 给出的参考值换算下来近似为 5×10^{-6} 。实际操作中，相关职能部门或者业主可根据自身情况确定风险容许值。		

原则上，经济价值损失(L4)的风险容许值可由式(D.1)~式(D.6)进行估算，如果无相关数据则可

取典型值 $R_T = 10^{-3}$ 。

某个分区中的损失成本 C_{LZ} 可由式(D. 1)估算：

$$C_{LZ} = R_{4Z} \times c_t \quad \dots\dots\dots (D. 1)$$

式中：

R_{4Z} ——无防护措施时该分区中的经济价值损失风险；

c_t ——用货币表示的建筑物的总价值。

无防护措施时建筑物中成本的总损失 C_L 可以由式(D. 2)估算：

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad \dots\dots\dots (D. 2)$$

式中：

R_4 ——建筑物中经济价值损失的风险， $R_4 = \sum R_{4Z}$ 。

有防护措施时，采取防护措施后的分区年平均损失值 C_{RLZ} 可用式(D. 3)估算：

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \times c_t \quad \dots\dots\dots (D. 3)$$

式中：

R'_{4Z} ——有防护措施时该分区中的经济价值损失风险。

采取防护措施后的年平均损失值 C_{RL} 可用式(D. 4)估算：

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R'_4 \times c_t \quad \dots\dots\dots (D. 4)$$

式中：

R'_4 ——有防护措施时建筑物的经济价值损失风险， $R'_4 = \sum R'_{4Z}$ 。

防护措施的年成本 C_{PM} 可用式(D. 5)计算：

$$C_{PM} = C_P \times (i + a + m) \quad \dots\dots\dots (D. 5)$$

式中：

C_P ——防护措施的成本；

i ——利率；

a ——防护措施的折旧率；

m ——维护费率。

每年因此而减少的费用支出 S_M 可由式(D. 6)估算：

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad \dots\dots\dots (D. 6)$$

如果 $S_M > 0$ ，则采取防护措施是合理的。

D. 4 评估是否需要防雷的具体步骤

按照 GB/T 21714.1—2015 要求，评估一个对象是否需要防雷时，应考虑风险 R_1 、 R_2 和 R_3 。

对于上述每一种风险，应当采取以下步骤：

- a) 识别构成该风险的各分量 R_X ；
- b) 计算各风险分量 R_X ；
- c) 计算总风险 R ；
- d) 确定风险容许值 R_T ；
- e) 风险 R 与风险容许值 R_T 作比较。

如果 $R \leq R_T$ ，则不需要防雷。

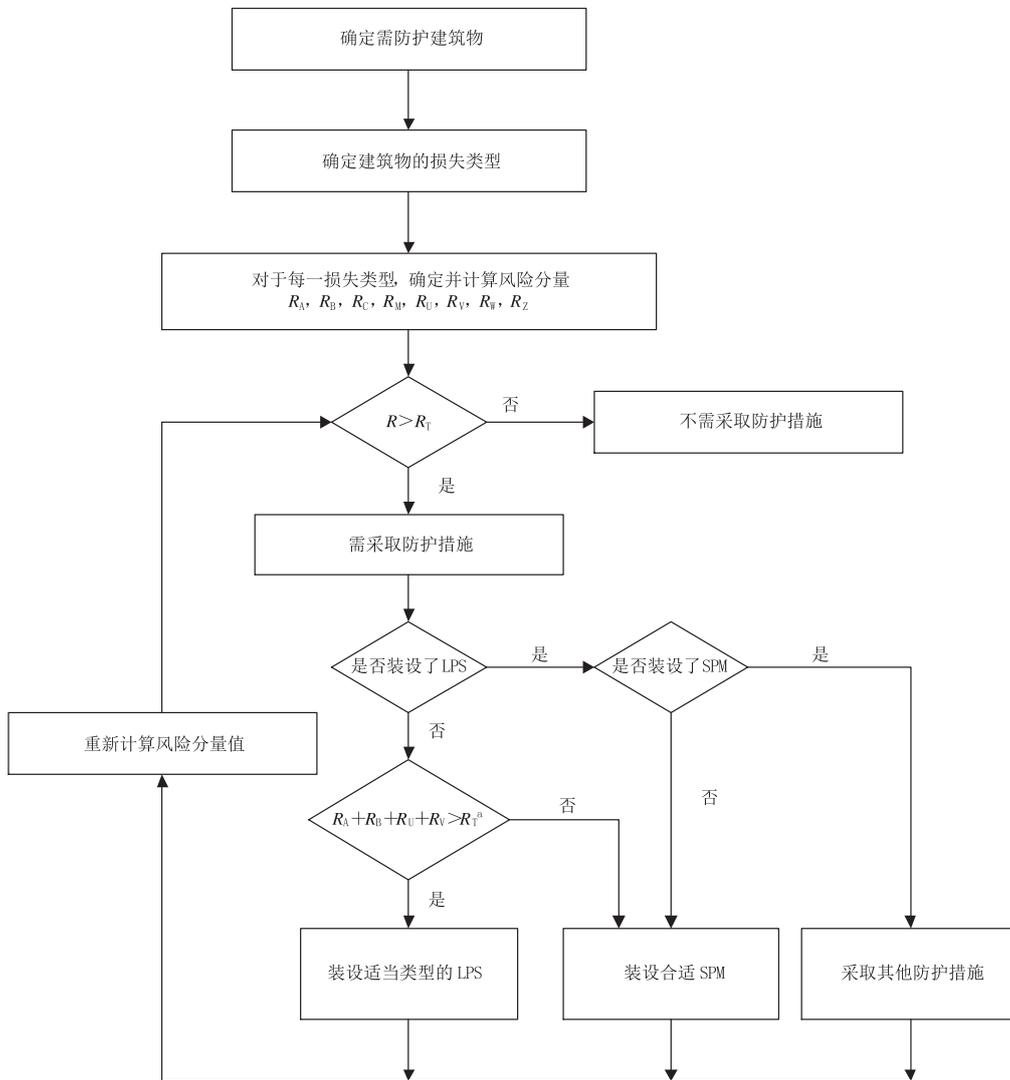
如果 $R > R_T$ ，应采取防护措施减小建筑物的所有风险，使 $R \leq R_T$ 。

计算是否需要防雷的步骤见图 D. 1。

风险无法降至容许水平时，应当通知业主并采取最高等级的防护措施。

具有爆炸危险的场所应至少采用Ⅱ类 LPS。当技术上合理且经相关职能部门批准后,不采用Ⅱ类防雷等级是可以允许的。例如在所有情况下采用Ⅰ类防雷等级是允许的,特别是建筑物的环境或内存物对雷电效应特别敏感的场所。另外,对于雷电低发区域或者建筑物的内存物对雷电不太敏感的场所,相关职能部门可能选择允许选用Ⅲ类防雷等级。

当雷电对建筑物的损害可能危及周围建筑或者环境(如化学品泄漏或放射性辐射)时,相关职能部门可能会要求对建筑物采用额外防护措施及对相应区域采用适当措施。



^a 如果 $R_A + R_B < R_T$, 不需要完整的 LPS, 在这种情况下按照 GB/T 21714.3—2015 装设 SPD 就足够了。

图 D.1 确定是否需要防护和选择防护措施的流程

D.5 评估采取防护措施成本效益的步骤

除了对建筑物作是否需防雷的评估外,对为了减少经济价值损失 L_4 而采取防雷措施的成本效益作出评估也是有用的。

计算出建筑物风险 R_1 的各个风险分量后可以估算出采取防护措施前后的经济价值损失。

评估采取防护措施的成本效益的步骤如下：

- a) 识别建筑物风险 R_4 的各风险分量 R_X ；
- b) 计算未采取新的/额外的防护措施时各风险分量 R_X ；
- c) 计算各风险分量 R_X 的每年成本损失；
- d) 计算缺乏防护措施的年损失值 C_L ；
- e) 选择防护措施；
- f) 计算采取新的/额外的防护措施后的各风险分量 R_X ；
- g) 计算采取防护措施后各风险分量 R_X 的每年成本损失；
- h) 计算采取防护措施后每年总损失 C_{RL} ；
- i) 计算防护措施的每年费用 C_{PM} ；
- j) 进行费用比较。

如果 $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ ，则防雷是不经济的。

如果 $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$ ，则采取防雷措施在建筑物或设施的使用寿命期内可节约开支。

图 D.2 为评估采取防护措施成本效益的流程。

对各防护措施进行组合变化分析，有助于找出成本效益最佳的方案。

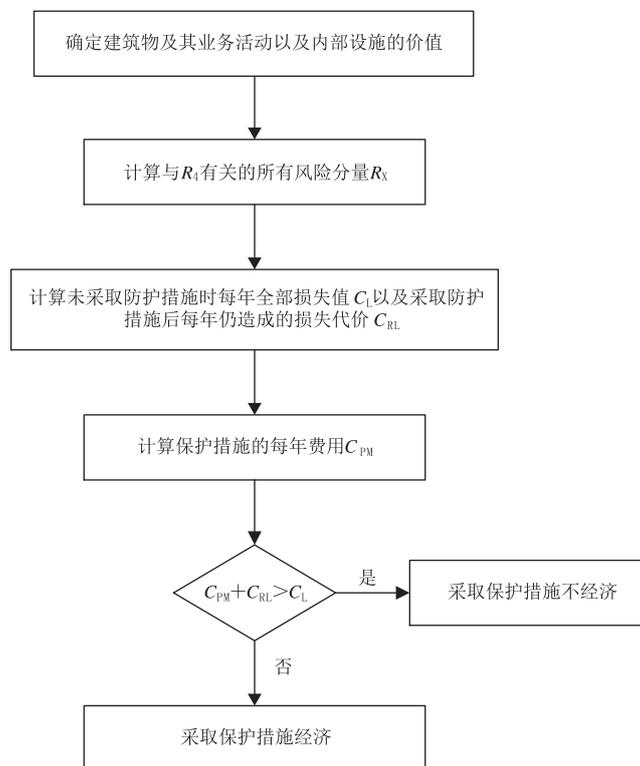


图 D.2 评估采取防护措施成本效益的流程

D.6 防护措施

应按损害类型选择防护措施以减少风险。

只有符合下列相关标准要求的防护措施，才认为是有效的：

——GB/T 21714.3—2015 有关建筑物中生命损害及物理损害的防护措施；

——GB/T 21714.4—2015 有关电气和电子系统失效的防护措施。

D.7 防护措施的选择

应由设计人员根据每一风险分量在总风险 R 中所占比例并考虑各种不同防护措施的技术可行性及造价,选择最合适的防护措施。

应找出最关键的若干参数以决定减小总风险 R 的最有效的防护措施。

对于每一类损失,有许多有效的防护措施,可单独采用或组合采用,从而使 $R \leq R_T$ 。应选取技术和造价上均可行的防护方案。图 D.1 为选择防护措施的简化流程图。任何情况下,安装人员或设计人员应找出最关键的 risk 分量并设法减小它们,当然也应考虑成本。

附 录 E
(资料性附录)

年均危险事件次数的通识符 N_x 的估算

E.1 概述

需防护建筑物的危险事件年平均次数 N 取决于需防护建筑物所处区域的雷暴活动以及需防护建筑物的物理特性。 N 的计算方法是:将雷击大地密度 N_G 乘以需防护建筑物的等效截收面积,再乘以需防护建筑物物理特性所对应的修正因子。

雷击大地密度 N_G 是每年每平方千米雷击大地的次数。在世界上的许多地区,这个数值由地闪定位网络系统提供。

注:如果没有 N_G 的分布图,在温带地区,可以按式(E.1)估算。

$$N_G \approx 0.1 \times T_D \quad \dots\dots\dots(E.1)$$

式中:

T_D ——年雷暴日。

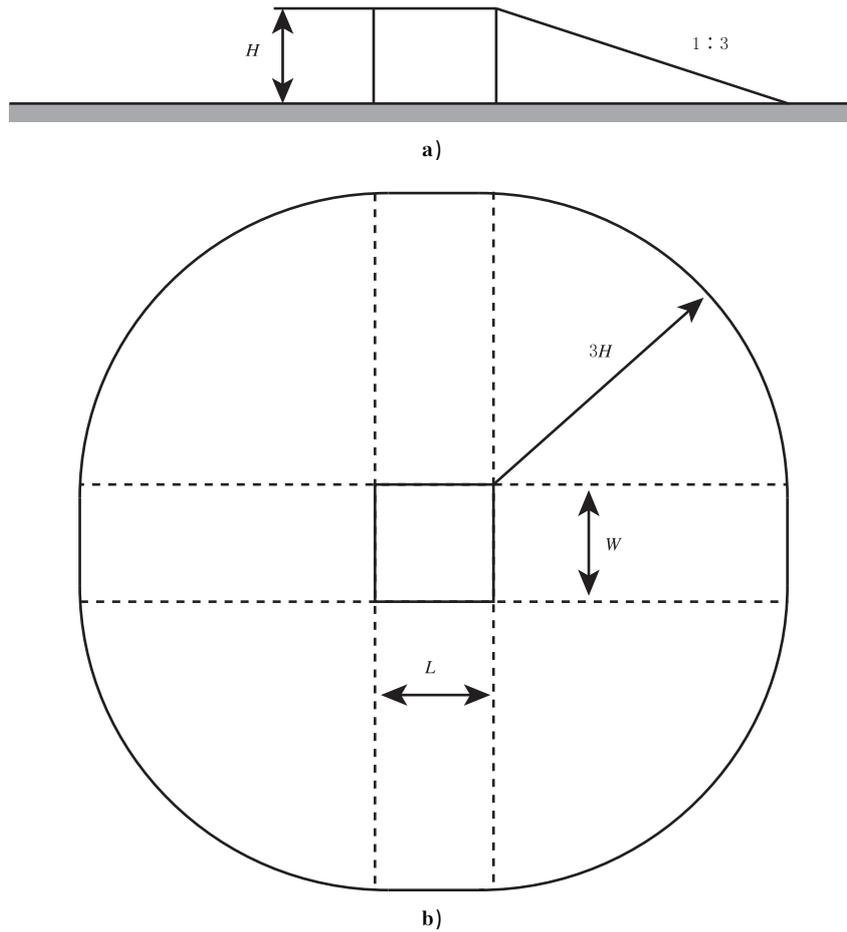
对于需防护建筑物,要考虑的危险事件有:

- 雷击建筑物;
- 雷击建筑物附近;
- 雷击入户线路;
- 雷击入户线路附近;
- 雷击与入户线路相连的建筑物。

E.2 雷击建筑物危险事件的次数 N_D 以及雷击毗邻建筑物危险事件的次数 N_{Dj}

E.2.1 孤立建筑物的雷击截收面积 A_D 的确定

对于平坦大地上的孤立建筑物,截收面积 A_D 是从建筑物上各点,特别是上部各点如图 E.1 所示以斜率为 1/3 的直线全方位向地面投射,在地面上由所有投射点构成的面积。可以通过作图法或计算法求出 A_D 。



说明：

H —— 建筑物高度,单位为米(m)；

W —— 建筑物的宽度,单位为米(m)；

L —— 建筑物的长度,单位为米(m)。

图 E.1 孤立建筑物的截收面积 A_D

E.2.1.1 长方体建筑

平坦大地上一座孤立的长方体建筑物,截收面积等于：

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \dots\dots\dots(E.2)$$

式中：

L 、 W 、 H —— 建筑物的长度、宽度、高度,单位为米(m)(见图 E.1)。

E.2.1.2 形状复杂的建筑物的截收面积

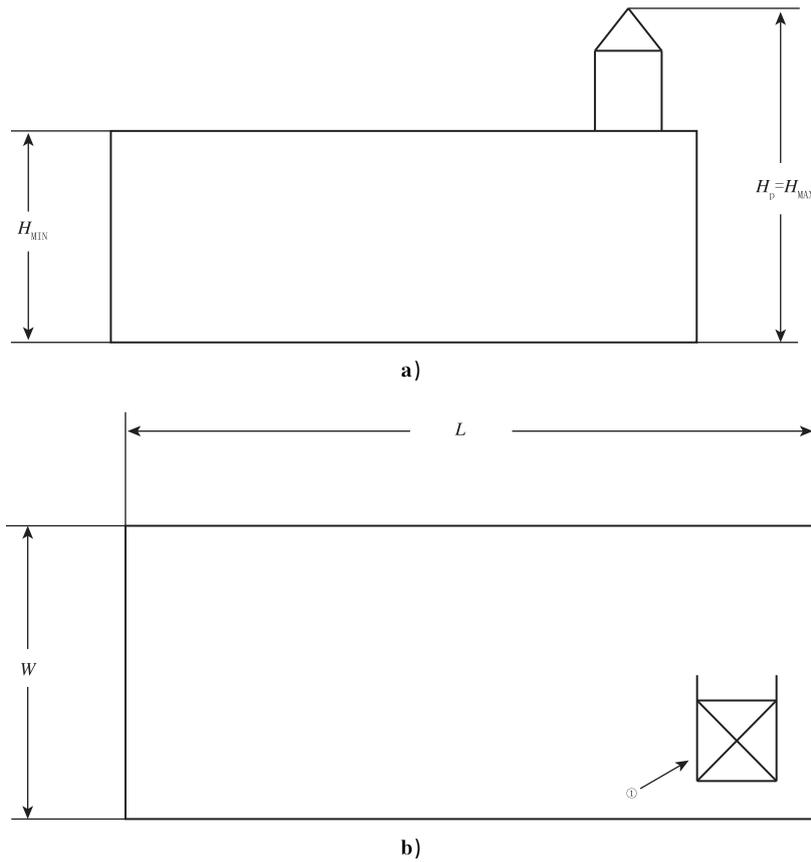
如图 E.2 所示,屋面上有突出部分的形状复杂的建筑物,宜采用作图法求出 A_D (见图 E.3)。

以建筑物的最小高度 H 按公式(E.2)计算建筑物的 A_D ,取 A_D 与屋面突出部分的截收面积 A'_D 之间的较大者作为建筑物的近似截收面积是可接受的。 A'_D 可以通过下式计算：

$$A'_D = \pi \times (3 \times H_p)^2 \dots\dots\dots(E.3)$$

式中：

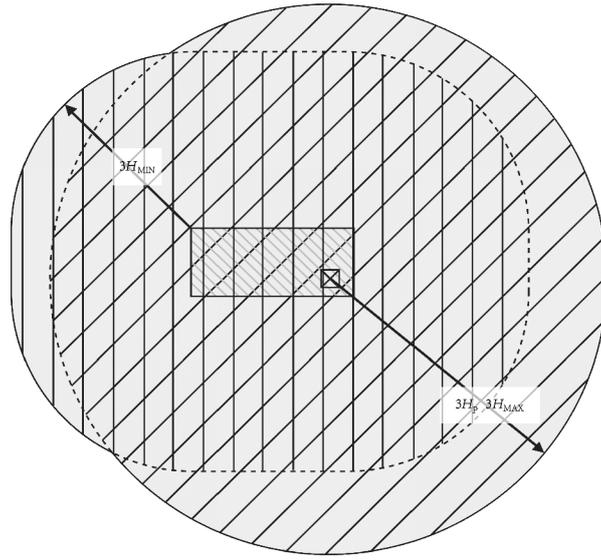
H_p —— 突出部分的高度,单位为米(m)。



说明：

- ① —— 建筑物的凸出部分；
- H_{MIN} —— 建筑物最矮处的高；
- H_{MAX} —— 建筑物最高处的高；
- W —— 建筑物的宽度；
- L —— 建筑物的长。

图 E.2 形状复杂的建筑物



说明:



高度为 $H=H_{MIN}$ 的长方体部分的截收面积;



高度为 $H=H_{MAX}$ 的突出部分的截收面积。

图 E.3 采用不同方法确定给定建筑物的截收面积

E.2.2 建筑物的一部分

当所考虑的建筑物 S 仅是建筑物 B 的一部分时,如果该部分满足以下所有条件,则由该部分建筑 S 的结构尺寸计算 A_D (见图 E.4):

- 该部分建筑物 S 是建筑物 B 的一个可被分离的垂直部分;
- 建筑物 B 没有爆炸的危险;
- 该部分建筑物 S 与建筑物 B 的其他部分之间用耐火极限为 2 h 的耐火墙体或者其他等效防护措施所阻隔,防止火势的蔓延;
- 公共线路进入该部分时,在入口处安装有 SPD 或其他等效防护措施,以避免过电压传入。

注:耐火极限的定义和资料请参考 GB 50016—2014。

不满足上述所有条件时,应按整座建筑物 B 的尺寸计算 A_D 。

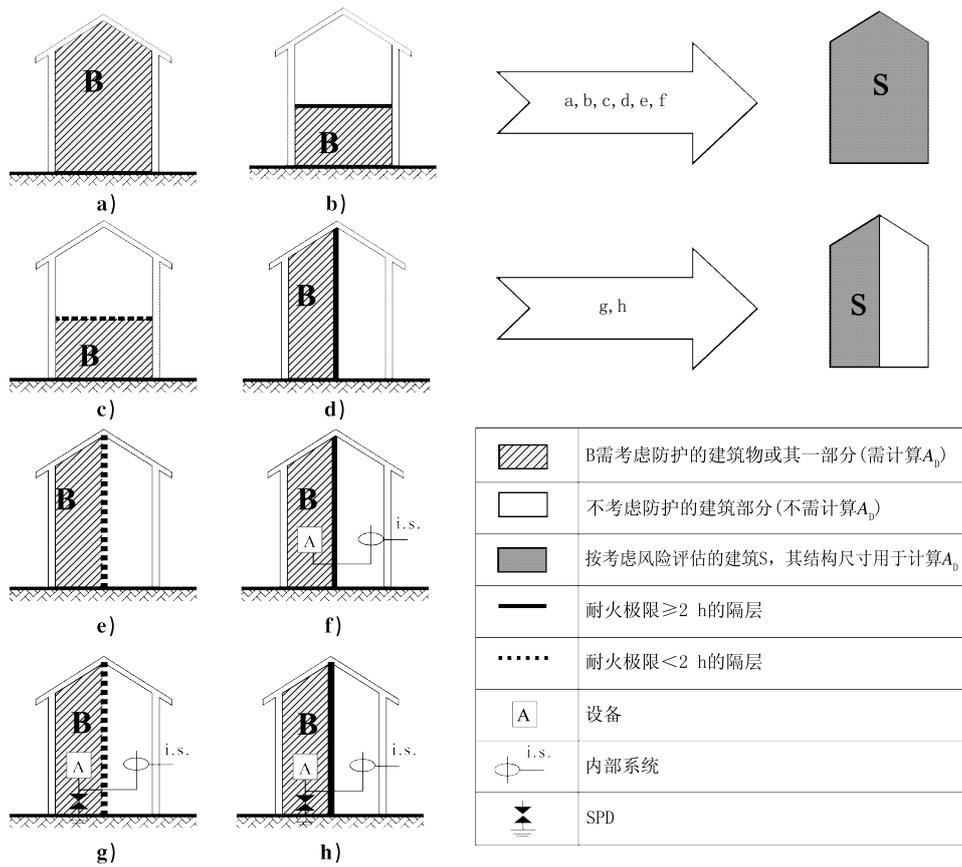


图 E.4 建筑物一部分的截收面积 A_D 的计算

E.2.3 建筑物的位置因子

考虑到建筑物暴露程度及周围物体对危险事件次数的影响引入了位置因子 C_D (见表 E.1)。

考虑建筑物(当为孤立建筑物时 $C_D = 1$)与周围 $3H$ 范围以内物体或地形的相对高度后,可以更精确地计算周围物体的影响。

表 E.1 建筑物的位置因子 C_D

建筑物相对位置	C_D
周围有更高的物体	0.25
周围有相同高度或更矮的物体	0.5
孤立建筑物:附近无其他物体	1
小山顶或山丘上孤立的建筑物	2

E.2.4 雷击建筑物危险事件的次数 N_D

N_D 可以计算如下:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \dots\dots\dots(E.4)$$

式中:

N_G ——雷击大地密度,单位为次每平方千米年(次/(千米²·年));
 A_D ——独立建筑物的雷击截收面积,单位为平方米(m²)(见图 E.5);
 C_D ——位置因子(见表 E.1)。

E.2.5 雷击毗邻建筑物危险事件的次数 N_{Dj}

雷击毗邻建筑物危险事件的次数 N_{Dj} 计算如下:

$$N_{Dj} = N_G \times A_{Dj} \times C_{Dj} \times C_T \times 10^{-6} \dots\dots\dots(E.5)$$

式中:

N_G ——雷击大地密度,单位为次每平方千米年(次/(千米²·年));
 A_{Dj} ——毗邻建筑物的雷击截收面积,单位为平方米(m²)(见图 E.5);
 C_{Dj} ——毗邻建筑物的位置因子(见表 E.1);
 C_T ——线路上 HV/LV 变压器的线路类型因子(见表 E.3)。

E.3 雷击建筑物附近危险事件的次数 N_M

雷击建筑物附近危险事件的次数 N_M 计算如下:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \dots\dots\dots(E.6)$$

式中:

N_G ——雷击大地密度,单位为次每平方千米年(次/(千米²·年));
 A_M ——雷击建筑物附近的雷击截收面积,单位为平方米(m²)(见图 E.5)。
截收面积 A_M 为距建筑物周边 500 m 范围的线路所包围的面积。

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \dots\dots\dots(E.7)$$

E.4 雷击线路危险事件的次数 N_L

线路可能由多个区段组成,对于每个区段, N_L 的值计算如下:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_1 \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \dots\dots\dots(E.8)$$

式中:

N_L ——雷击线路危险事件的次数,单位为次每年(次/年);
 N_G ——雷击大地密度,单位为次每平方千米年(次/(千米²·年));
 A_L ——雷击线路的雷击截收面积,单位为平方米(m²)(见图 E.5);
 C_1 ——线路安装因子(见表 E.2);
 C_T ——线路上 HV/LV 变压器的线路类型因子(见表 E.3);
 C_E ——线路环境因子(见表 E.4)。

雷击线路的截收面积:

$$A_L = 40 \times L_L \dots\dots\dots(E.9)$$

式中:

L_L ——线路区段的长度,单位为米(m)。
如果线路区段的长度未知,则假设 $L_L = 1000$ m。

注:土壤电阻率对埋地区段线路的截收面积 A_L 有影响。通常,土壤电阻率越大,截收面积也越大(A_L 与 $\sqrt{\rho}$ 成正比)。

表 E.2 线路安装因子 C_1

布线方式	C_1
架空	1
埋地	0.5
完全埋在网格型地网中的电缆(GB/T 21714.4—2015 的 5.2)	0.01
线路安装因子基于 $\rho=400 \Omega \cdot m$ 给出。	

表 E.3 线路类型因子 C_T

类型	C_T
低压供电线路,通信或数据线路	1
高压输电线路(具有 HV/LV 变压器)	0.2

表 E.4 线路环境因子 C_E

环境	C_E
农村	1
郊区	0.5
市区	0.1
有高层建筑的市区 ^a	0.01
^a 建筑物高度大于 20 m。	

E.5 雷击线路附近危险事件的次数 N_1

线路可能由多个区段组成,对于每个区段, N_1 的值可计算如下:

$$N_1 = N_G \times A_1 \times C_1 \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots(E. 10)$$

式中:

- N_1 ——雷击线路附近危险事件的次数,单位为次每年(次/年);
- N_G ——雷击大地密度,单位为次每平方千米年(次/(千米²·年));
- A_1 ——雷击线路附近的雷击截收面积,单位为平方米(m²)(见图 E. 5);
- C_1 ——线路安装因子(见表 E. 2);
- C_T ——线路上 HV/LV 变压器的线路类型因子(见表 E. 3);
- C_E ——线路环境因子(见表 E. 4)。

雷击线路附近的截收面积:

$$A_1 = 4000 \times L_L \quad \dots\dots\dots(E. 11)$$

式中:

L_L ——线路区段的长度,单位为米(m)。

如果线路区段的长度未知,则假设 $L_L=1000 \text{ m}$ 。

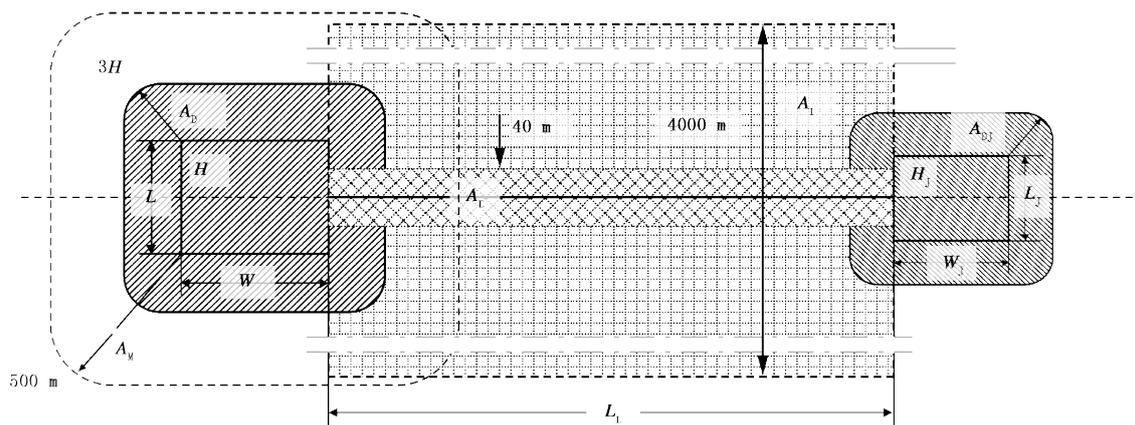


图 E.5 截收面积 (A_D 、 A_M 、 A_I 、 A_L 、 A_{D1})

附录 F
(资料性附录)

建筑物各种损害概率的通识符 P_x 的估算

F.1 概述

只有当防护措施符合以下要求时,本附录中给出的概率值才是有效的:

——GB/T 21714.3—2015 中关于减少人和动物伤害以及物理损害的防护措施;

——GB/T 21714.4—2015 中关于减少内部系统失效的防护措施。

如果能够证明是合理的,也可以选择其他值。

只有当防护措施或其特性对需防护的整座建筑物或其分区以及相关设备是有效的时候,概率值 P_x 才能小于 1。

F.2 雷击建筑物造成人和动物伤害的概率 P_A

雷击建筑物造成人和动物伤害的概率 P_A 取决于采用的 LPS 及附加的防护措施, P_A 按公式(F.1) 计算。

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad \dots\dots\dots(F.1)$$

式中:

P_{TA} ——由防接触和防跨步电压措施决定的 P_A 减小的概率,例如表 F.1 中列出的防护措施。表 F.1 给出了 P_{TA} 值;

P_B ——取决于 LPS 设计所依据的 GB/T 21714.3—2015 的雷电防护等级(LPL)。表 F.2 给出了 P_B 的值。

表 F.1 雷击建筑物因接触和跨步电压导致人和动物伤害的概率 P_{TA}

附加的防护措施	P_{TA}
无防护措施	1
设置警示牌	10^{-1}
外露部分(如引下线)作电气绝缘(例如,采用至少 3 mm 厚的交链聚乙烯绝缘)	10^{-2}
有效的地面等电位均衡措施	10^{-2}
设置遮拦物或建筑物的框架作为引下线	0

如果采取了表 F.1 中一项以上的措施, P_{TA} 取各个相应值的乘积。

只有在建筑物装设有 LPS 或利用连续金属或钢筋框架作为自然 LPS,且满足 GB/T 21714.3—2015 关于等电位连接和接地的要求时,防护措施才能有效地降低 P_A 。

F.3 雷击建筑物造成建筑物物理损害的概率 P_B

LPS 是降低 P_B 的有效防护措施。

雷击建筑物造成建筑物物理损害的概率 P_B 与建筑物的特性(主要看 LPS 的 LPL)的对应关系参见

表 F.2。

表 F.2 P_B 与 LPS 的 LPL 的关系

建筑物特性		P_B
是否安装 LPS ^a	LPS 级别	
建筑物未安装 LPS	—	1
建筑物安装 LPS	IV	0.2
	III	0.1
	II	0.05
	I	0.02
LPL 为 I, 采用连续的金属框架或钢筋混凝土框架作为自然引下线		0.01
建筑物以金属屋面作接闪器或安装有接闪器(可能包含其他的自然结构部件), 使所有屋面装置得到完全的直击雷防护, 连续金属框架或钢筋混凝土框架用作自然引下线		0.001
在详细调查的基础上, 并考虑了 GB/T 21714.1—2015 中规定的尺寸要求以及拦截标准, P_B 也可以取表 F.2 以外的值。		
^a LPS(包括用于防雷等电位连接的 SPD)的特性符合 GB/T 21714.3—2015 要求。		

F.4 雷击建筑物造成内部系统失效的概率 P_C

协调配合的 SPD 系统是降低 P_C 的有效措施。

雷击建筑物造成内部系统失效的概率 P_C 为:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \dots\dots\dots(F.2)$$

式中:

P_{SPD} ——安装协调配合的 SPD 系统时 P_C 、 P_M 、 P_W 和 P_Z 减小的概率;

C_{LD} ——雷击线路的屏蔽、接地和隔离的因子。

P_{SPD} 取决于按照 LPL 设计的并符合 GB/T 21714.4—2012 要求的协调配合的 SPD 系统。表 F.3 给出了对应 LPL 的 P_{SPD} 值。当没有安装协调配合的 SPD 系统时, $P_{SPD} = 1$ 。

注: 只有当建筑物安装了 LPS 或有连续金属框架或钢筋混凝土框架作自然 LPS, 且满足了 GB/T 21714.3—2015 对于等电位连接和接地要求, 协调配合的 SPD 保护才能有效减小 P_C 。

C_{Li} 为雷击线路附近的屏蔽、接地和隔离的因子。因子 C_{LD} 和 C_{Li} 取决于与内部系统相连线路的屏蔽、接地及隔离条件。表 F.4 给出了对应的 C_{LD} 及 C_{Li} 值。

表 F.3 按 LPL 选取 SPD 时的 P_{SPD} 值

LPL	P_{SPD}
III—IV	0.05
II	0.02
I	0.01

表 F.4 C_{LD} 及 C_{LI} 与屏蔽、接地、隔离条件的关系

外部线路类型	入口处的连接	C_{LD}	C_{LI}
架空非屏蔽线路	不明确	1	1
埋地非屏蔽线路	不明确	1	1
中线多处接地的供电线路	无	1	0.2
埋地屏蔽线路(供电或通信)	屏蔽层和设备不在同一等电位连接排连接	1	0.3
架空屏蔽线路(供电或通信)	屏蔽层和设备不在同一等电位连接排连接	1	0.1
埋地屏蔽线路(供电或通信)	屏蔽层和设备在同一等电位连接排连接	1	0
架空屏蔽线路(供电或通信)	屏蔽层和设备在同一等电位连接排连接	1	0
防雷电缆,或布设在防雷电缆管道或金属管道中的线路	屏蔽层和设备在同一等电位连接排连接	0	0
无外部线路	与外部线路无连接(单独系统)	0	0
任意类型	符合 GB/T 21714.4—2015 要求的隔离界面	0	0

在估算概率 P_C 时,表 F.4 中 C_{LD} 的值为有屏蔽的内部系统的参数值。对于非屏蔽的内部系统,假定 $C_{LD}=1$ 。这里的非屏蔽的内部系统,是指:

- 与外部线路无连接(单独系统);
- 通过隔离界面与外部线路连接;
- 连接到由防雷电缆或布设在防雷电缆管道或金属管道中的线路组成的外部线路,屏蔽层和设备在同一等电位连接排连接。

F.5 雷击建筑物附近造成内部系统失效的概率 P_M

格栅型 LPS、屏蔽、合理布线、提高耐受电压、隔离界面和协调配合的 SPD 系统都是减小 P_M 的有效防护措施。

雷击建筑物附近造成内部系统失效的概率 P_M 取决于所采取的雷电电磁脉冲防护系统(SPM)措施。

如果未安装符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统时, P_M 值等于 P_{MS} 值。

如果安装了符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统,则 P_M 的值为:

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \dots\dots\dots(F.3)$$

式中:

P_{MS} ——屏蔽、合理布线及设备耐受电压决定的 P_M 减小的概率。

当内部系统的设备的承受能力或耐压水平不符合相关产品标准要求时,宜取 $P_M=1$ 。

P_{MS} 值的计算公式为:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \dots\dots\dots(F.4)$$

式中:

K_{S1} ——与建筑物屏蔽效能有关的因子;

K_{S2} ——与建筑物内部屏蔽体屏蔽效能有关的因子;

K_{S3} ——与内部线路特征相关的因子(见表 F.5)；

K_{S4} ——与系统的耐冲击电压有关的因子。

注：当设备具有绕组间屏蔽接地的隔离变压器、光纤或光耦合器组成的隔离界面时，可假定 $P_{MS}=0$ 。

在 LPZ 内部，与屏蔽体之间的最小安全距离为屏蔽体的网格宽度 w_m (单位：m)。LPS 或格栅型屏蔽体的屏蔽效能因子 K_{S1} 和 K_{S2} 可分别计算为：

$$K_{S1} = 0.12w_{m1} \dots\dots\dots (F.5)$$

$$K_{S2} = 0.12w_{m2} \dots\dots\dots (F.6)$$

式中：

w_{m1} 、 w_{m2} ——格栅型空间屏蔽或网格状 LPS 引下线的网格宽度，或者作为自然引下线的建筑物金属柱子的间距或钢筋混凝土框架的间距，单位为米(m)。

对于厚度不小于 0.1 mm 的连续金属薄层屏蔽体， $K_{S1}=K_{S2}=10^{-4}$ 。

如果安装有符合 GB/T 21714.4—2015 要求的网格型等电位连接网络， K_{S1} 和 K_{S2} 的值还可缩小一半。

当感应环路距 LPZ 界面的屏蔽体的距离小于安全距离时， K_{S1} 和 K_{S2} 值将会更高。

当有多个 LPZ 时， K_{S2} 取各雷电防护区界面上各个屏蔽体的 K_{S2} 值之乘积。

K_{S1} 、 K_{S2} 的最大值不超过 1。

表 F.5 内部布线与 K_{S3} 的关系

内部布线类型	K_{S3}
非屏蔽电缆—布线时未避免构成环路 ^a	1
非屏蔽电缆—布线时避免构成大的环路 ^b	0.2
非屏蔽电缆—布线时避免构成环路 ^c	0.01
屏蔽电缆和金属管道中的电缆 ^d	0.0001

^a 大的建筑物中分开铺设的导线构成的环路(环路面积大约为 50 m²)。
^b 同一电缆管道中的导线或较小建筑物中分开铺设的导线构成的环路(环路面积大约为 10 m²)。
^c 同一电缆的导线形成的环路(环路面积大约为 0.5 m²)。
^d 屏蔽层和金属管道两端以及设备在同一等电位母排上连接。

因子 K_{S4} 计算如下：

$$K_{S4} = 1/U_w \dots\dots\dots (F.7)$$

式中：

U_w ——系统的耐冲击电压额定值，单位为千伏(kV)。

K_{S4} 的最大值不超过 1。

当一个内部系统中的设备有不同耐冲击电压额定值时，应按最低的耐冲击电压额定值计算 K_{S4} 。

F.6 雷击相连线路造成人和动物电击伤害的概率 P_U

雷击入户线路因接触电压导致的人和动物伤害的概率取决于线路屏蔽层的特性、所连内部系统的耐冲击电压、所用防护措施(如围栏、警示牌、隔离界面以及按照 GB/T 21714.3—2015 的要求在线路入户处安装 SPD 来进行等电位连接)。

P_U 值的计算公式为：

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \dots\dots\dots(F. 8)$$

式中：

P_{TU} ——取决于接触电压的防护措施，例如遮拦物或者警示牌。表 F. 6 给出了 P_{TU} 的值；

P_{EB} ——安装等电位连接时设备的耐压和线路特性决定的 P_U 和 P_V 减小的概率。表 F. 7 给出了 P_{EB} 的值；

P_{LD} ——雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_U 、 P_V 和 P_W 减小的概率。表 F. 8 给出了 P_{LD} 的值；

C_{LD} ——雷击线路的屏蔽、接地和隔离因子。表 F. 4 给出了 C_{LD} 的值。

如果采取一种以上防护措施， P_{TU} 取各个相应值的乘积。

表 F. 6 雷击入户线路因接触电压导致人和动物伤害的概率 P_{TU}

防护措施	P_{TU}
无防护措施	1
设置警示牌	10^{-1}
电气绝缘	10^{-2}
有形的限制(如围栏等)	0

表 F. 7 按 LPL 选取 SPD 时的 P_{EB} 值

LPL	P_{EB}
未安装 SPD	1
Ⅲ—Ⅳ	0.05
Ⅱ	0.02
Ⅰ	0.01
如果具有要求比Ⅰ类 LPL 更高的防护特性(例如更大的标称放电电流 I_n ，更低的电压保护水平 U_p 等)。	0.005~0.001
如果 SPD 具有比Ⅰ类 LPL 更高的防护特性(例如更大的标称放电电流 I_n ，更低的电压保护水平 U_p 等)， P_{EB} 的值可能会更小。	

表 F.8 概率 P_{LD} 与单位长度电缆屏蔽层的电阻 R_s 和系统的耐冲击电压额定值 U_w 的关系

线路类型	布线、屏蔽及等电位连接		P_{LD}				
			$U_w=1\text{ kV}$	$U_w=1.5\text{ kV}$	$U_w=2.5\text{ kV}$	$U_w=4\text{ kV}$	$U_w=6\text{ kV}$
供电线路或通信线路	架空线或埋地线无屏蔽、或屏蔽层与设备不在同一等电位连接排连接		1	1	1	1	1
	架空线或埋地线的屏蔽层与设备在同一等电位连接排连接	$5\ \Omega/\text{km} < R_s \leq 20\ \Omega/\text{km}$	1	1	0.95	0.9	0.8
		$1\ \Omega/\text{km} < R_s \leq 5\ \Omega/\text{km}$	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1
		$R_s \leq 1\ \Omega/\text{km}$	0.6	0.4	0.2	0.04	0.02

在郊区或城市地区,低压供电线通常使用非屏蔽埋地电缆,而通信线通常使用埋地屏蔽线缆(最少 20 根芯线,屏蔽层电阻约为 $5\ \Omega/\text{km}$,铜导线直径为 0.6 mm)。在农村地区,低压供电线通常使用非屏蔽架空电缆,而通信线通常使用架空非屏蔽线缆(铜导线直径为 1 mm)。高压供电线通常使用屏蔽电缆,屏蔽层电阻约为 $1\ \Omega/\text{km} \sim 5\ \Omega/\text{km}$ 。

F.7 雷击相连线路造成建筑物物理损害的概率 P_V

雷击入户线路导致物理损害的概率 P_V 取决于线路屏蔽层的特性、所连内部系统的耐冲击电压、隔离界面或按照 GB/T 21714.3—2015 要求在线路入户处安装的用于防雷等电位连接的 SPD。

P_V 值的计算公式为:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \dots\dots\dots(F.9)$$

式中:

P_{EB} ——安装等电位连接时设备的耐压和线路特性决定的 P_U 和 P_V 减小的概率。表 F.7 给出了 P_{EB} 的值;

P_{LD} ——雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_U 、 P_V 和 P_W 减小的概率。表 F.8 给出了 P_{LD} 的值;

C_{LD} ——雷击线路的屏蔽、接地和隔离因子。表 F.4 给出了 C_{LD} 的值。

F.8 雷击相连线路造成内部系统失效的概率 P_W

雷击相连线路造成内部系统失效的概率 P_W 取决于线路屏蔽的特性、所连内部系统的耐受冲击电压、隔离界面或安装协调配合的 SPD 系统。

P_W 值的计算公式为:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \dots\dots\dots(F.10)$$

式中:

P_{SPD} ——安装协调配合的 SPD 系统时 P_C 、 P_M 、 P_W 和 P_Z 减小的概率。表 F.3 给出了对应的 P_{SPD} 值;

P_{LD} ——雷击线路时线路特性及设备耐受电压决定的 P_U 、 P_V 和 P_W 减小的概率。表 F.8 给出了 P_{LD} 的值;

C_{LD} ——雷击线路的屏蔽、接地和隔离因子。表 F.4 出了 C_{LD} 的值。

F.9 雷击相连线路附近造成内部系统失效的概率 P_Z

雷击相连线路附近造成内部系统失效的概率 P_Z 取决于线路屏蔽层的特性、所连内部系统的耐冲击电压、隔离界面或安装协调配合的 SPD 系统。

P_Z 值的计算公式为：

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \dots\dots\dots(F.11)$$

式中：

P_{SPD} ——安装协调配合的 SPD 系统时 P_C 、 P_M 、 P_W 和 P_Z 减小的概率。表 F.3 给出了对应的 P_{SPD} 值；

P_{LI} ——雷击线路附近时线路特性及设备耐受电压决定的 P_Z 减小的概率。表 F.9 给出了 P_{LI} 的值；

C_{LI} ——雷击线路附近的屏蔽、接地和隔离因子。表 F.4 出了 C_{LI} 的值。

表 F.9 概率 P_{LI} 与线路类型和系统的耐冲击电压额定值 U_w 的关系

线路类型	P_{LI}				
	$U_w=1 \text{ kV}$	$U_w=1.5 \text{ kV}$	$U_w=2.5 \text{ kV}$	$U_w=4 \text{ kV}$	$U_w=6 \text{ kV}$
供电线路	1	0.6	0.3	0.16	0.1
通信线路	1	0.5	0.2	0.08	0.04

附录 G
(资料性附录)

建筑物中各种损失率 L_x 的估算

G.1 概述

建筑物各种损失率 L_x (指一次危险雷击事件导致的特定类型损害造成的平均损失相对量) 宜由防雷设计人员(或业主)计算并确定,本附录给出的典型平均值仅是国际电工委员会提出的建议值。不同的值可以由国家相关部门指定或经详细调查研究后确定。

当雷电对建筑物的损害可能危及周围建筑或者环境(如化学品泄漏或放射性辐射)时,应考虑额外损失后对 L_x 进行更详细的计算。

G.2 每次危险事件的平均损失率

损失率 L_x 与损失类型有关,根据损害的程度及后果,损失类型分为:

- L1:人身伤亡损失;
- L2:公众服务损失;
- L3:文化遗产损失;
- L4:经济价值损失。

损害类型不同,有不同的损失率。损害类型分三类,为:

- 人和动物伤害,用符号 D1 表示;
- 物理损害,用符号 D2 表示;
- 电气和电子系统失效,用符号 D3 表示。

宜对建筑物的各个分区分别确定 L_x 。

G.3 人身伤亡损失(L1)

确定每个分区的损失率 L_x ,应考虑以下因素:

- 人身伤亡损失的各种实际损失率受建筑物某个分区特性的影响,考虑到这一点,引入有特殊危险时增加损失率的因子(h_z)和缩减因子(r_t, r_p 和 r_i);
- 分区中可能遭危害的人员的数目(受害者或者不到服务的用户数)(n_z)与预期的总人数(或接受服务的用户数)(n_t)的比率减小而减小;
- 受危害人员每年待在危险场所的小时数(t_z)如果少于 8760 h,损失率也将减小。

人和动物伤害(D1)造成的人身伤亡损失率 L_A 的计算公式如下:

$$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8760 \quad \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

- L_T ——电击伤害引起的损失率(见表 G.1);
- r_t ——与土壤或地板表面类型有关的缩减因子(见表 G.2);
- n_z ——可能遭危害的人员数目(受害者或得不到服务的用户数);
- n_t ——预期的总人数(或接受服务的用户数)。
- t_z ——受危害人员每年待在危险场所的小时数。

雷击入户线路时人和动物伤害(D1)造成的人身伤亡损失率 L_U 的计算如下:

$$L_U = r_i \times L_T \times n_z/n_i \times t_z/8760 \quad \dots\dots\dots(G. 2)$$

雷击建筑物时因物理损害(D2)造成的人身伤亡损失率 L_B 、雷击入户线路时因物理损害(D2)造成的人身伤亡损失率 L_V ,其计算如下:

$$L_B = L_V = r_p \times r_i \times h_z \times L_F \times n_z/n_i \times t_z/8760 \quad \dots\dots\dots(G. 3)$$

式中:

r_p ——与防火措施有关的缩减因子(见表 G. 3);

r_i ——与火灾危险有关的缩减因子(见表 G. 4);

h_z ——有特殊危险时增加损失率的因子(见表 G. 5);

L_F ——建筑物内由于物理损害造成的损失率(见表 G. 1)。

雷击建筑物时因电气和电子系统失效(D3)造成的人身伤亡损失率 L_C 、雷击建筑物附近时因电气和电子系统失效(D3)造成的人身伤亡损失率 L_M 、雷击入户线路时因电气和电子系统失效(D3)造成的人身伤亡损失率 L_W 、雷击入户线路附近时因电气和电子系统失效(D3)造成的人身伤亡损失率 L_Z ,其计算如下:

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_i \times t_z/8760 \quad \dots\dots\dots(G. 4)$$

式中:

L_O ——内部系统失效引起的建筑物的损失率(见表 G. 1)。

表 G. 1 不同情况下 L_T 、 L_F 和 L_O 的典型平均值

损害类型	建筑物类型	典型损失率	
人和动物电击伤害(D1)	所有类型	L_T	10^{-2}
物理损害(D2)	有爆炸危险 ^a	L_F	10^{-1}
	医院、旅馆、学校、民居		10^{-1}
	公共娱乐场所、教堂、博物馆		5×10^{-2}
	工业、商业		2×10^{-2}
	其他		10^{-2}
电气和电子系统失效(D3)	有爆炸危险 ^a	L_O	10^{-1}
	医院的ICU病房和手术室		10^{-2}
电气和电子系统失效(D3)	医院的其他部分	L_O	10^{-3}
^a 对于具有爆炸危险的建筑物,可能需要考虑建筑物类型、爆炸危险程度、危险区域划分以及采取的风险防范措施后,对 L_F 和 L_O 的值进行更精确的计算。			

当雷击造成建筑物损害殃及周围建筑或者环境(如化学品泄漏或放射性辐射)时,应当考虑到额外的损失 L_E 计算总损失 L_{FT} 。

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad \dots\dots\dots(G. 5)$$

式中:

L_{FT} ——建筑物内外由于物理损害造成的总损失率;

L_E ——周围建筑物损害时增加的损失率,计算见公式(G. 6)。

$$L_E = L_{FE} \times t_e/8760 \quad \dots\dots\dots(G. 6)$$

式中:

L_{FE} ——建筑物外由于物理损害造成的损失率；
 t_e ——受危害人员每年待在建筑物外危险场所的小时数。
 如果 L_{FE} 和 t_e 的数值未知，可假定 $L_E=1$ 。

表 G.2 不同土壤或地板表面类型的缩减因子 r_t

土壤或地板表面类型 ^a	接触电阻 ^b kΩ	缩减因子 r_t
农地、混凝土	≤1	10^{-2}
大理石、陶瓷	1~10	10^{-3}
沙砾、厚毛毯、一般地毯	10~100	10^{-4}
沥青、油毡、木头	≥100	10^{-5}
^a 5 cm 厚的绝缘材料(例如沥青)或 15 cm 厚的沙砾层,一般可将危险降低至容许水平。 ^b 施以 500 N 压力的 400 cm ² 电极与无穷远点之间测量到的数值。		

表 G.3 各种减小火灾后果措施的缩减因子 r_p

措施	缩减因子 r_p
无措施	1
以下措施之一:灭火器、固定配置人工灭火装置,人工报警装置,消防栓,防火分区,逃生通道	0.5
以下措施之一:固定配置自动灭火装置,自动报警装置 ^a	0.2
如果同时采取了多项措施, r_p 宜取各相应数值中的最小值。 具有爆炸危险的建筑物,任何情况下, $r_p=1$ 。	
^a 仅当采取了过电压防护和其他损害的防护并且消防员能够在 10 分钟之内赶到。	

表 G.4 缩减因子 r_f 与建筑物火灾或爆炸危险程度的关系

危险形式	危险程度	缩减因子 r_f
爆炸 ^a	0 区、20 区及固体爆炸物	1
	1 区、21 区	10^{-1}
	2 区、22 区	10^{-3}
火灾	高 ^b	10^{-1}
	一般 ^c	10^{-2}
	低 ^d	10^{-3}
爆炸或火灾	无	0

^a 建筑物具有爆炸危险时,可能需要更精确地计算 r_f 。如果满足下列条件之一,包含危险区域或固体爆炸物质的建筑物不宜假定为具有爆炸危险:
 ——爆炸物质存放的时间小于 0.1 h/a;
 ——危险区域不会被雷电直接击中且区域内不会出现危险火花放电(对于金属遮蔽物包围的危险区域,当金属遮蔽物作为自然接闪器没有被击穿,或者没有出现热熔点的问题,且金属遮蔽物包围区域中的内部系统已经作了过电压防护来避免危险火花时,此得到满足)。

^b 由易燃材料建造的建筑物,或者屋顶由易燃材料建造的建筑物,或消防负荷(建筑物内全部易燃物质的能量与建筑物总的表面积之比)大于 800 MJ/m² 的建筑物,都视为具有高火灾危险的建筑物。

^c 消防负荷为 400 MJ/m² ~800 MJ/m² 的建筑物视为具有一般火灾危险的建筑物。

^d 消防负荷小于 400 MJ/m² 的建筑物,或建筑物仅含有少量易燃材料,视为具有低火灾危险的建筑物。

表 G.5 有特殊危险时增加损失率的因子 h_z

特殊危险的种类	增加因子 h_z
无特殊危险	1
低度惊慌(例如,高度不高于两层和人员数量不大于 100 人的建筑物)	2
中等程度的惊慌(例如,设计容量为 100 人~1000 人的文化或体育活动场馆)	5
疏散困难(例如,有移动不便人员的建筑物、医院)	5
高度惊慌(例如,设计容量大于 1000 人以上的文化或体育活动场馆)	10

G.4 公众服务损失(L2)

确定每个分区的损失率 L_x ,应考虑以下因素:

- 公众服务损失的各种实际损失率受建筑物某个分区特性的影响,考虑到这一点,引入了缩减因子(r_f 和 r_p);
- 分区中可能遭危害的人员的数目(受害者或者得不到服务的用户数)(n_z)与预期的总人数(或接受服务的用户数)(n_t)的比率减小而减小。

雷击建筑物时建筑物中物理损害的损失率 L_B 、雷击入户线路时因物理损害(D2)造成的公共服务损失率 L_V 的计算:

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t \dots\dots\dots (G.7)$$

式中：

- L_F ——建筑物内由于物理损害造成的损失率(见表 G. 6)；
- r_p ——与防火措施有关的缩减因子(见表 G. 3)；
- r_f ——与火灾危险有关的缩减因子(见表 G. 4)；
- n_z ——可能遭危害的人员的数目(受害者或者得不到服务的用户数)；
- n_t ——预期的总人数(或接受服务的用户数)。

雷击建筑物时因电气和电子系统失效(D3)造成的公共服务率 L_C 、雷击建筑物附近时因电气和电子系统失效(D3)造成的公共服务损失率 L_M 、雷击入户线路时因电气和电子系统失效(D3)造成的公共服务损失率 L_W 、雷击入户线路附近时因电气和电子系统失效(D3)造成的公共服务损失率 L_Z 的计算如下：

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \quad \dots\dots\dots(G. 8)$$

式中：

- L_O ——内部系统失效引起的建筑物的损失率(见表 G. 6)。

表 G. 6 对应不同损害类型(D2、D3)的 L_F 、 L_O 的典型平均值

损害类型	典型损失率		服务类型
D2	L_F	10^{-1}	燃气、水和电力供应
		10^{-2}	电视、通信线路
D3	L_O	10^{-2}	燃气、水和电力供应
		10^{-3}	电视、通信线路

G. 5 不可恢复的文化遗产损失(L3)

确定每个分区的损失率 L_x ，应考虑以下因素：

- 文化遗产损失的各种实际损失率受某个分区特性的影响，引入了缩减因子(r_f 和 r_p)；
- 分区中损失率的最大值应随该分区中的价值(c_z)与整个建筑物中的总价值(c_t)的比率减小而减小。

雷击建筑物时建筑物中物理损害的损失率 L_B 、雷击入户线路时因物理损害(D2)造成的不可恢复的雷击线路时建筑物内物理损害的损失率 L_V ，其计算如下：

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_z/c_t) \quad \dots\dots\dots(G. 9)$$

式中：

- L_F ——建筑物内由于物理损害造成的损失率(见表 G. 7)；
- r_p ——与防火措施有关的缩减因子(见表 G. 4)；
- r_f ——与火灾危险有关的缩减因子(见表 G. 5)；
- c_z ——用货币表示的区域内文化遗产的价值；
- c_t ——用货币表示的建筑物的总价值。

表 G. 7 对应损害类型(D2)的 L_F 的典型平均值

损害类型	典型损失率		建筑物或分区类型
D2	L_F	10^{-1}	博物馆、美术馆

G.6 经济价值损失(L4)

确定每个分区的损失率 L_{4X} ，应考虑以下因素：

- 经济价值损失的各种实际损失率受某个分区特性的影响，引入缩减因子(r_a 、 r_p 和 r_f)；
- 分区中损失率的最大值应随该分区中的价值与整个建筑物中的总价值(c_t) (动物、建筑、内存物、内部系统及其所支持的各种业务活动)的比率减小而减小。该分区的相关数值取决于以下损害类型：

- D1(人和动物伤害)： c_a (仅考虑动物的价值)；
- D2(物理损害)： $c_a + c_b + c_c + c_s$ (所有货物的价值)；
- D3(电气和电子系统失效)： c_s (仅考虑内部系统及其所支持的各种业务活动的价值)。

对应雷击建筑物因为人和动物伤害(D1)造成的经济价值损失率 L_A 的计算：

$$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t \quad \dots\dots\dots(G. 10)$$

式中：

- r_t ——土壤或地板表面类型有关的缩减因子(见表 G. 3)；
- L_T ——电击伤害引起的损失率(见表 G. 8)；
- c_a ——用货币表示的分区中动物的价值；
- c_t ——建筑物的总价值(所有分区中的动物、建筑物、内存物、内部系统及其所支持的业务活动的价值总和)。

雷击入户线路时因为人和动物伤害(D1)造成的经济价值损失率 L_U 的计算：

$$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t \quad \dots\dots\dots(G. 11)$$

雷击建筑物时因为物理损害(D2)造成的经济价值损失率 L_B 、雷击入户线路时因为物理损害(D2)造成的雷击线路时建筑物内物理损害的损失率 L_V ，其计算如下：

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t \quad \dots\dots\dots(G. 12)$$

式中：

- r_p ——与防火措施有关的缩减因子(见表 G. 4)；
- r_f ——与火灾危险有关的缩减因子(见表 G. 5)；
- L_F ——建筑物内由于物理损害造成的损失率(见表 G. 8)；
- c_b ——用货币表示的分区相关的建筑物的价值；
- c_c ——用货币表示的分区中内存物的价值；
- c_s ——用货币表示的分区中内部系统(包括它们的运行)的价值。

雷击建筑物时因为电气和电子系统失效(D3)造成的经济价值损失率 L_C 、雷击建筑物附近时因为电气和电子系统失效(D3)造成的雷击建筑物附近时内部系统失效的损失率 L_M 、雷击入户线路时因为电气和电子系统失效(D3)造成的雷击线路时内部系统失效的损失率 L_W 、雷击入户线路附近时因为电气和电子系统失效(D3)造成的雷击线路附近时内部系统失效的损失率 L_Z 的计算如下：

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t \quad \dots\dots\dots(G. 13)$$

式中：

- L_O ——内部系统失效引起的建筑物的损失率(见表 G. 8)。

表 G.8 对应不同建筑物类型的 L_T 、 L_F 和 L_O 的典型平均值

损害类型	建筑物类型	典型损失率	
D1	仅有动物的所有类型	L_T	10^{-2}
D2	有爆炸危险	L_F	1
	医院、工业、博物馆、农业		0.5
	旅馆、学校、办公楼、教堂、公共娱乐场所、商业		0.2
	其他		10^{-1}
D3	有爆炸危险	L_O	10^{-1}
	医院、工业、办公楼、旅馆、商业		10^{-2}
	博物馆、农业、学校、教堂、公共娱乐场所		10^{-3}
	其他		10^{-4}
对于具有爆炸危险的建筑物,应需要考虑建筑物类型、爆炸危险程度、危险区域划分以及采取的防护措施后,对 L_F 和 L_O 的值进行更精确的计算。			

当雷击造成建筑物损害可能殃及周围建筑或者周围环境(如化学品泄漏或放射性辐射)时,应当考虑到额外的损失 L_E 来计算总损失 L_{FT} 。

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad \dots\dots\dots(G. 14)$$

式中:

L_{FT} —— 建筑物内外由于物理损害造成的总损失率;

L_F —— 建筑物内由于物理损害造成的损失率;

L_E —— 周围建筑物损害时增加的损失率,计算见式(G. 15):

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad \dots\dots\dots(G. 15)$$

L_{FE} —— 建筑物外由于物理损害造成的损失率,如果 L_{FE} 值未知,宜假定 $L_{FE} = 1$;

c_e —— 用货币表示的建筑物外危险场所物品的总价值。

附录 H
(规范性附录)
风险分量的评估

H.1 估算建筑物各风险分量所用的参数

表 H.1 中给出了估算雷击建筑物各风险分量所用的参数。

表 H.1 估算建筑物各风险分量所用的参数

名称		符号
年均雷击危险事件次数	雷击建筑物	N_D
	雷击建筑物附近	N_M
	雷击入户线路	N_L
	雷击入户线路附近	N_I
	雷击毗邻建筑物	N_{DJ}
雷击建筑物造成损害的概率	人和动物电击伤害	P_A
	物理损害	P_B
	内部系统失效	P_C
雷击建筑物附近造成损害的概率	内部系统失效	P_M
雷击入户线路造成损害的概率	人和动物电击伤害	P_U
	物理损害	P_V
	内部系统失效	P_W
	内部系统失效	P_Z
损失率	人和动物电击伤害	$L_A = L_U$
	物理损害	$L_B = L_V$
	内部系统失效	$L_C = L_M = L_W = L_Z$

H.2 雷击建筑物(损害成因——雷击建筑物 S1)风险分量的评估

雷击建筑物产生人和动物伤害(D1)风险分量见公式(H.1):

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad \dots\dots\dots(H.1)$$

雷击建筑物产生物理损害(D2)风险分量见公式(H.2):

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad \dots\dots\dots(H.2)$$

雷击建筑物产生电气和电子系统失效(D3)风险分量见公式(H.3):

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad \dots\dots\dots(H.3)$$

H.3 雷击建筑物附近(损害成因——雷击建筑物附近 S2)风险分量的评估

估算雷击建筑物附近产生的风险分量见公式(H.4):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \dots\dots\dots(H.4)$$

H.4 雷击入户线路(损害成因——雷击线路 S3)风险分量的评估

估算雷击入户线路产生的各风险分量见下列公式:

$$R_U = (N_L + N_{Dj}) \times P_U \times L_U \dots\dots\dots(H.5)$$

$$R_V = (N_L + N_{Dj}) \times P_V \times L_V \dots\dots\dots(H.6)$$

$$R_W = (N_L + N_{Dj}) \times P_W \times L_W \dots\dots\dots(H.7)$$

注:在很多情况下, N_{Dj} 可以忽略。

如果线路不止一个区段, R_U 、 R_V 和 R_W 的值取各区段线路的 R_U 、 R_V 和 R_W 值的和。只需考虑建筑物和第一个分配节点之间的各个区段。

如果建筑物有一条以上线路且线路走向不同,应对各条线路分别进行计算。

如果建筑物有一条以上线路且线路走向相同,仅需要计算特性最差的一条线路,即与内部系统相连的具有最大 N_L 和 N_i 值以及最小 U_w 值的线路(例如通信线路与供电线路、非屏蔽线路与屏蔽线路、低压供电线路与有 HV/LV 变压器的高压供电线路相对比等)。

各条线路截收面积的重叠部分只能计算一次。

H.5 雷击入户线路附近(损害成因——雷击线路附近 S4)风险分量的评估

估算雷击入户线路附近产生的风险分量见公式(H.8):

$$R_Z = (N_i \times P_z \times L_z) \dots\dots\dots(H.8)$$

如果线路不止一个区段, R_Z 的值取各区段线路 R_Z 值之和。只需考虑建筑物与第一个分配节点之间的各个区段。

如果建筑物有一条以上线路且线路走向不同,应对各条线路分别进行计算。

如果建筑物有一条以上线路且线路走向相同,仅需要计算特性最差的一条线路,即与内部系统相连的具有最大 N_L 和 N_i 值以及最小 U_w 值的线路(例如通信线路与供电线路、非屏蔽线路与屏蔽线路、低压供电线路与有 HV/LV 变压器的高压供电线路相对比等)。

H.6 建筑物的分区 Z_s

为了计算各风险分量,可以将建筑物划分为多个分区 Z_s ,每个分区具有一致的特性。然而,一幢建筑物可以是或可以假定为一个单一的区域。

主要根据以下情况划分区域 Z_s :

- 土壤或地板的类型;
- 防火分区;
- 空间屏蔽。

还可以根据以下情况进一步细分:

- 内部系统的布局;
- 已有的或将采取的防护措施;

——损失率 L_x 的值。

建筑物的分区 Z_s 应考虑到便于实施最适当防护措施的可能性。

注：本标准的分区 Z_s 可以是 GB/T 21714.4—2015 中规定的雷电防护区(LPZ)，但也可能不同于 LPZ。

H.7 线路的分区 S_L

为了评估雷击线路或线路附近的各风险分量，可以将线路分为区段 S_L 。然而一条线路可以是或可以假定为单一区段。

对于所有的风险分量，主要根据以下情况划分区段 S_L ：

- 线路类型；
- 影响截收面积的因子；
- 线路特性。

如果一个区段里面的参数不止一个，需假设可导致风险最大化的值。

H.8 多分区建筑物风险分量的评估

H.8.1 通用原则

为了估算风险分量和选择相关参数，可采用以下规则：

- a) 对于分量 R_A 、 R_B 、 R_U 、 R_V 、 R_W 和 R_Z ，每个分区只需确定一个参数值。当有多个值可取时，应取最大值；
- b) 对于分量 R_C 和 R_M ，当区内有多个内部系统时， P_C 和 P_M 分别通过式(H.9)和式(H.10)计算：

$$P_C = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{C,i}) \quad \dots\dots\dots(H.9)$$

$$P_M = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{M,i}) \quad \dots\dots\dots(H.10)$$

式中：

$P_{C,i}$ 、 $P_{M,i}$ ——是第 i 个内部系统失效的概率， $i=1,2,\dots,n$ 。

除了参数 P_C 和 P_M ，如果一个分区中的参数有多种取值，应取假定为可导致风险最大化的值。

H.8.2 单区域建筑物

整座建筑物为单一的一个分区 Z_s ，风险 R 为此分区中各风险分量 R_x 之和。

注：将建筑物划分为单一的一个区，可能导致各种防护措施费用过于昂贵，因为每种防护措施都需要防护整座建筑物。

H.8.3 多区域建筑物

建筑物被划分为多个分区 Z_s ，建筑物的风险为所有分区的相关风险之和；而每个分区的风险又是该区所有相关风险分量之和。

注：将建筑物划分成多个区域，使设计人员在估算风险分量时能考虑到建筑物各部分的特殊性并逐区选择最合适的防护措施，从而减小防雷的总成本。

H.9 经济价值损失(L4)成本效益分析

对风险 R_i 进行评估应从下列对象予以确定：

- 整个建筑物；
- 建筑物的一部分；
- 内部设施；
- 内部设施的一部分；
- 一台设备；
- 建筑物的内存物。

损失费用、防护措施成本和可能节省的成本宜按损失成本的估算方法进行估算。如果无法得到相关的分析数据,则风险容许值取典型值 $R_T = 10^{-3}$ 。

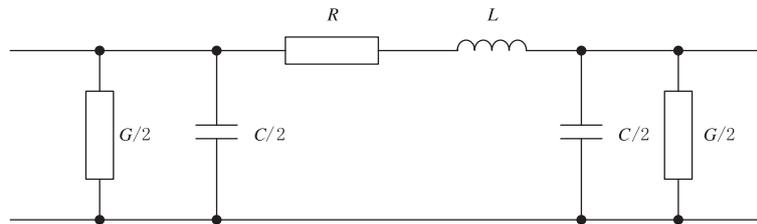
附录 I
(资料性附录)

基于数值仿真和模拟实验的雷击风险评估示例

I.1 基于数值仿真的雷击风险评估示例

I.1.1 数值仿真模型

现代建筑物通常利用自身的钢筋框架和墙壁、楼板中的钢筋相互等电位连接在一起,组成雷电防护系统的泄流系统。当雷电击中建筑物时,金属框架上就有雷电流流过产生电压降。利用等效电路法,可计算出雷电流在各钢筋中的分布。因为雷电流在钢架中的传播是波过程,应等效为分布参数模型,把钢筋离散分割成多个 π 型电路,如图 I.1 所示。



说明:

R、L、C、G——表示每段钢筋的结构电阻、自电感、自电容和电导(导体处于导电时可以忽略空气介质,故 G 可忽略不计)。

图 I.1 等效 π 型电路图

根据基尔霍夫电流定理和电网络理论得到方程组:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} & \mathbf{G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{i}} \\ \dot{\mathbf{U}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(I.1)$$

式中:

\mathbf{A} ——节点关联矩阵;

\mathbf{Y} ——节点导纳矩阵;

\mathbf{Z} ——复阻抗矩阵;

\mathbf{G} ——电压系数矩阵;

$\dot{\mathbf{i}}$ ——支路电流列向量;

$\dot{\mathbf{U}}$ ——节点电位列向量;

$\dot{\mathbf{I}}$ ——电流源列向量。

由于暂态计算模型是由电阻、电感和部分电容组成的等值网络,电流分布的计算宜在频域中进行。雷电主放电电流可以用双指数函数来表示,通过傅里叶变换可以得到频域表达式。通过求解方程组(I.1)可以得到某一频率下雷电流在钢筋中的电流响应,在求得频域中的计算结果之后,再通过傅里叶反变换将电流响应从频域变回时域。此处选取 100 kA,10/350 μ s 的雷电流,以双指数函数描述:

$$i(t) = I_M(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad \dots\dots\dots(I.2)$$

式中:

- $i(t)$ —— 瞬时电流值；
- I_M —— 雷电流峰值；
- α —— 波前衰减系数；
- β —— 波尾衰减系数。

I. 1. 2 数值仿真方案及计算结果

假定建筑物为 2 层，长宽高为 20 m×10 m×20 m，见图 I. 2。

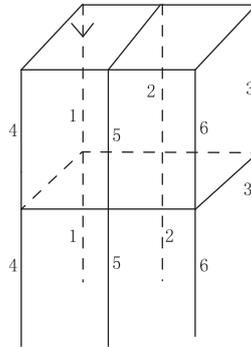


图 I. 2 建筑物等效结构图

图 I. 2 为 2 层钢筋结构建筑物，输入参数为 100 kA, 10/350 μ s 的雷电流，通过等效电路法可以计算出每一根钢筋中的电流，见表 I. 1。

表 I. 1 建筑物钢筋雷电过电流分布

单位：kA

钢筋标号 (见图 I. 2)	1	2	3	4	5	6
二层	35.07	12.21	10.33	15.72	9.84	9.97
一层	23.24	12.65	13.40	17.89	13.42	12.88

I. 1. 3 基于数值仿真的雷击风险评估

雷电直接击中建筑物时，每段钢筋都有电流流过，注入点的引下线承担了大部分电流分量，其他钢筋上也有电流流过，引下线里电流随楼层逐渐减小，其他引下线上的电流逐渐增大，建筑物楼层较高的钢筋引下线最终能达到电流平衡。由于钢筋导体在接闪时导体会出现瞬间大电流脉冲，建筑物内任一开口或闭合的环路都会感应出一定的过电压。雷击建筑物时钢筋导体中暂态过电流对回路的影响如图 I. 3 所示。

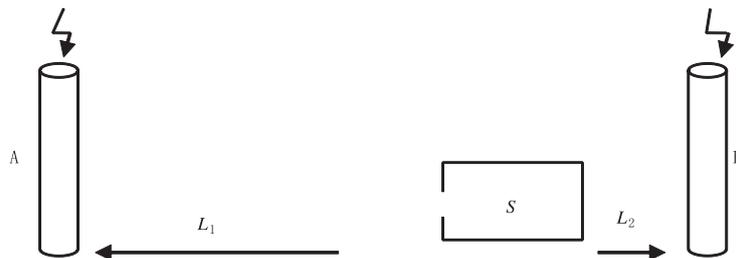


图 I. 3 钢筋导体中暂态过电流对回路的影响

GB/T 21714.2—2010 中规定同一导线构成的环路面积小于 10 m² 为布线时避免构成大的回路。这里, $L_1=10\text{ m}$, $L_2=1\text{ m}$ 。雷电流在钢筋中传播时, 由于耦合作用, 雷电流脉冲的波头时间一般在 1~5 μs , 根据 Hasse 提供的互感计算曲线:

$$U = M_1 \left(\frac{\Delta i_1}{\Delta t} \right) + M_2 \left(\frac{\Delta i_2}{\Delta t} \right) \dots\dots\dots (I. 3)$$

式中:

U —— 环路产生的感应电压;

M_1 —— 环路与钢筋 A 的互感;

M_2 —— 环路与钢筋 B 的互感;

$\frac{\Delta i_1}{\Delta t}$ —— 钢筋 A 中的电流变化率;

$\frac{\Delta i_2}{\Delta t}$ —— 钢筋 B 中的电流变化率。

计算得出环路中的感应电压为大于 6 kV。可以看出, 钢筋中的雷电流会产生脉冲暂态磁场, 与其交链的回路将感应出暂态过电压, 从而危及相连的设备。由于雷电流分布于所有钢筋, 产生的暂态磁场充斥着整个三维空间, 对于设备耐冲击电压额定值为 2.5 kV 的普通电器, 即使布线没有形成大的回路也会感应出危险的电压。

I.2 基于模拟实验的雷击风险评估示例

I.2.1 试验方案

桥梁缆索遭受雷电直接击中后, 可能出现烧蚀、钢筋疲劳等情况, 从而影响桥梁的整体安全性, 雷击前后缆索钢丝抗拉强度的变化可以直接反映雷击的影响程度。因此该模拟实验的实验方案如下:

- a) 为使试验更贴近真实情况, 试验中所选用的钢丝均为桥梁缆索上实际使用的成品。试验时, 将试样水平布置于冲击电流发生器的试验平台上, 冲击发生器的触发碳棒垂直布置于水平试样中部, 对试样进行模拟雷电冲击试验, 试验示意图如图 I.4 所示。

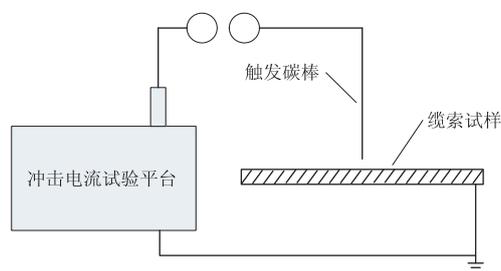


图 I.4 缆索雷击试验示意图

- b) 对多个高强度钢丝试样进行雷电流冲击, 对比冲击前后物理变化。
- c) 对雷击后的高强度钢丝试样进行拉力试验, 见图 I.5, 对比雷击前后高强度钢丝的抗拉强度。
- d) 对绝缘护套高密度聚乙烯 (HDPE) 进行模拟雷击试验, 检验 HDPE 的防雷效果。



图 I.5 高强度钢丝雷击后拉力试验

I.2.2 试验设备和参数

试验的设备为冲击电流发生器,该发生器可产生幅值 200 kA 波形 8/20 μ s 的冲击电流、幅值 20 kA 波形 10/350 μ s 的冲击电流以及用于雷电对结构直接效应试验的 A+C 分量电流波形。参照 GJB 3567—99 中对结构的直接效应试验所用的波形及 GJB 2639—96 中对该试验波形的定义,桥梁缆索的雷击试验采用了初始高峰电流波形(A 分量)+持续电流波形(C 分量)的试验波形。

I.2.3 试验结果

通过 A+C 分量电流波形的模拟雷击试验后,试验结果如表 I.2 所示。

表 I.2 试验结果

试样编号	试样说明	试验结果
1	单根高强度钢丝	高强度钢丝严重烧蚀受损
2	具有完整 HDPE 的单根高强度钢丝	未遭受雷击,无损伤
3	具有破损 HDPE 的单根高强度钢丝	高强度钢丝被熔断,HDPE 护套起火燃烧后自动熄灭
4	两根高强度钢丝	高强度钢丝严重烧蚀受损,雷击点处相邻的高强度钢丝熔化连接在一起
5	具有完整 HDPE 的两根高强度钢丝	未遭受雷击,无损伤

从 1、4 试样的试验结果来看,无 HDPE 护套保护的高强度钢丝一旦遭受雷击,将会因雷电电弧放电的高温效应而产生熔损,进而影响缆索的力学性能,最终对桥梁结构安全产生影响。我们对雷击试验后的 1 试样进行了拉力试验,高强度钢丝的断裂点正是雷击熔损处。与 1 试样同种规格的高强度钢丝在未经任何处理的完好情况下的抗拉强度平均值为 1778 MPa,而经过雷击试验后的 1 试样的抗拉强度仅为 1001 MPa,说明经雷击后,同种规格的高强度钢丝的抗拉强度下降了 43.7%,可见雷击对桥梁缆索高强度钢丝力学性能所产生的影响非常大,这将严重危害桥梁的结构安全。

从 2 及 5 试样的情况来看,在试验模拟的雷击情况下,HDPE 护套能够对高强度钢丝起到一定保护作用。而另一方面,从试样 3 的情况来看,若 HDPE 护套因各种原因受损穿孔、开裂后,雷电流通过 HDPE 护套上的孔洞、裂缝进入高强度钢丝,同样会对高强度钢丝造成熔损破坏,并会引燃 HDPE 护套,这也会对桥梁结构安全构成威胁。

参 考 文 献

- [1] GB/T 34291—2017 应急临时安置房防雷技术规范
 - [2] GB 50016—2014 建筑设计防火规范
 - [3] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
 - [4] GJB 2639—96 军用飞机雷电防护
 - [5] GJB 3567—99 军用飞机雷电防护鉴定试验方法
 - [6] 王智刚,丁海芳,刘越屿. 建(构)筑物雷电灾害区域影响评估方法与应用[M]. 北京:气象出版社,2014
-

中华人民共和国
气象行业标准
雷电灾害风险评估技术规范
QX/T 85—2018

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京中科印刷有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本:880×1230 1/16 印张:4.25 字数:127.5千字
2019年2月第一版 2019年2月第一次印刷

*

书号:135029-6026 定价:65.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301