ICS 13.260
K 09

中华人民共和国国家标准

GB/T 21714.2—2015/IEC 62305-2:2010
代替 GB/T 21714.2—2008

雷电防护
第2部分:风险管理

Protection against lightning—Part 2: Risk management

(IEC 62305-2:2010,IDT)

2015-09-11 发布　　2016-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义和符号 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　符号 …… 6
4　几个基本概念 …… 10
4.1　损害和损失 …… 10
4.2　风险和风险分量 …… 11
4.3　各种风险的组成 …… 12
5　风险管理 …… 14
5.1　基本步骤 …… 14
5.2　风险评估时需考虑的建筑物方面的问题 …… 14
5.3　风险容许值 R_T …… 14
5.4　评估是否需要防雷的具体步骤 …… 14
5.5　评估采取防护措施的成本效益的步骤 …… 15
5.6　防护措施 …… 17
5.7　防护措施的选择 …… 17
6　风险分量的评估 …… 17
6.1　基本表达式 …… 17
6.2　雷击建筑物(损害成因 S1)风险分量的评估 …… 18
6.3　雷击建筑物附近(损害成因 S2)风险分量的评估 …… 19
6.4　雷击入户线路(损害成因 S3)风险分量的评估 …… 19
6.5　雷击入户线路附近(损害成因 S4)风险分量的评估 …… 19
6.6　建筑物中的风险分量汇总 …… 20
6.7　建筑物的分区 Z_S …… 20
6.8　线路的分区 S_L …… 20
6.9　多分区建筑物风险分量的评估 …… 21
6.10　经济价值损失(L4)成本效益分析 …… 21
附录 A(资料性附录)　年平均危险事件次数 N_X 的估算 …… 23
附录 B(资料性附录)　损害概率 P_X 的估算 …… 31
附录 C(资料性附录)　建筑物中各种损失率 L_X 的估算 …… 38
附录 D(资料性附录)　损失成本的估算 …… 45
附录 E(资料性附录)　建筑物评估实例 …… 46
参考文献 …… 73

图 1　确定是否需要防护和选择防护措施的流程 …… 16
图 2　评估采取防护措施的成本效益的流程 …… 17
图 A.1　孤立建筑物的截收面积 A_D …… 24
图 A.2　形状复杂的建筑物 …… 25
图 A.3　采用不同方法确定给定建筑物的截收面积 …… 26
图 A.4　建筑物的一部分的截收面积 A_D 的计算 …… 27
图 A.5　截收面积(A_D、A_M、A_I、A_L) …… 30
图 E.1　乡村房屋 …… 46
图 E.2　办公楼 …… 51
图 E.3　医院 …… 58
图 E.4　公寓楼 …… 69

表 1　雷击点、损害成因、各种可能的损害类型及损失对照一览表 …… 10
表 2　建筑物各类损失风险需考虑的各种风险分量 …… 13
表 3　影响建筑物风险分量的因素 …… 13
表 4　风险容许值 R_T 的典型值 …… 14
表 5　估算建筑物各风险分量所用的参数 …… 18
表 6　按损害成因及损害类型列出的各风险分量 …… 20
表 A.1　建筑物的位置因子 C_D …… 27
表 A.2　线路安装因子 C_I …… 29
表 A.3　线路类型因子 C_T …… 29
表 A.4　线路环境因子 C_E …… 29
表 B.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} …… 31
表 B.2　P_B 与 LPS 雷电防护等级(LPL)的关系 …… 32
表 B.3　按 LPL 选取 SPD 时的 P_{SPD} 值 …… 32
表 B.4　C_{LD} 及 C_{LI} 与屏蔽、接地、隔离条件的关系 …… 33
表 B.5　内部布线与 K_{S3} 的关系 …… 34
表 B.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} …… 35
表 B.7　按 LPL 选取 SPD 时的 P_{EB} 值 …… 35
表 B.8　概率 P_{LD} 与电缆屏蔽层电阻 R_S 和设备耐冲击电压 U_W 的关系 …… 35
表 B.9　概率 P_{LI} 与线路类型和设备耐冲击电压额定值 U_W 的关系 …… 37
表 C.1　损失类型 L1:每个分区的损失率 …… 38
表 C.2　损失类型 L1:L_T、L_F 和 L_O 的典型平均值 …… 39
表 C.3　不同土壤或地板表面类型的缩减因子 r_t …… 39
表 C.4　各种减小火灾后果措施的缩减因子 r_p …… 40
表 C.5　缩减因子 r_f 与建筑物火灾或爆炸危险程度的关系 …… 40
表 C.6　特殊危险出现时导致损失相对量增加的因子 h_z …… 41

表 C.7　损失类型 L2:每个分区的损失率 …… 41
表 C.8　损失类型 L2:L_F 和 L_O 的典型平均值 …… 41
表 C.9　损失类型 L3:每个分区的损失率 …… 42
表 C.10　损失类型 L3:L_F 的典型平均值 …… 42
表 C.11　损失类型 L4:每个分区的损失率 …… 42
表 C.12　损失类型 L4:L_T、L_F 和 L_O 的典型平均值 …… 43
表 E.1　建筑物的特性及周围环境 …… 47
表 E.2　供电线路 …… 47
表 E.3　通信线路(TLC) …… 47
表 E.4　Z_2 区(户内)的有效因子 …… 48
表 E.5　建筑物和线路的截收面积 …… 49
表 E.6　预计年危险事件次数 …… 49
表 E.7　无防护建筑物的风险 R_1(数值$\times 10^{-5}$) …… 50
表 E.8　采取防护措施后风险 R_1 的各种风险分量值 …… 51
表 E.9　建筑物的特性及周围环境 …… 52
表 E.10　供电线路 …… 52
表 E.11　通信线路(TLC) …… 52
表 E.12　各区的人员分布 …… 53
表 E.13　Z_1 区(户外入口区域)的有效因子 …… 54
表 E.14　Z_2 区(户外花园)的有效因子 …… 54
表 E.15　Z_3 区(档案室)的有效因子 …… 54
表 E.16　Z_4 区(办公室)的有效因子 …… 55
表 E.17　Z_5 区(计算机中心)的有效因子 …… 56
表 E.18　建筑物和线路的截收面积 …… 56
表 E.19　预计年危险事件次数 …… 57
表 E.20　无防护措施建筑物的风险 R_1(数值$\times 10^{-5}$) …… 57
表 E.21　两种防护方案得出的 R_1 值(数值$\times 10^{-5}$) …… 58
表 E.22　建筑物的特性及周围环境 …… 59
表 E.23　供电线路 …… 59
表 E.24　通信线路(TLC) …… 60
表 E.25　各区的人数分布 …… 61
表 E.26　Z_1 区(户外)的有效因子 …… 61
表 E.27　Z_2 区(病房)的有效因子 …… 62
表 E.28　Z_3 区(手术室)的有效因子 …… 62
表 E.29　Z_4 区(重症监护室)的有效因子 …… 63
表 E.30　建筑物和线路的截收面积 …… 64
表 E.31　预计年危险事件次数 …… 64

表 E.32　无防护措施建筑物的概率 P_X …… 65
表 E.33　无防护措施建筑物的风险 R_1(数值×10^{-5}) …… 65
表 E.34　采取方案 a)后风险 R_1(数值×10^{-5}) …… 66
表 E.35　采取方案 b)后风险 R_1(数值×10^{-5}) …… 66
表 E.36　采取方案 c)后风险 R_1(数值×10^{-5}) …… 67
表 E.37　损失成本 C_L(无防护)和 C_{RL}(受保护) …… 68
表 E.38　与防护措施有关的比率 …… 68
表 E.39　防护措施的成本 C_P 和年均费用 C_{PM}(以美元计) …… 68
表 E.40　年均节省费用(以美元计) …… 69
表 E.41　建筑物的特性及周围环境 …… 69
表 E.42　供电线路 …… 70
表 E.43　通信线路(TLC) …… 70
表 E.44　Z_2 区(户内)的有效因子 …… 71
表 E.45　各种防护措施下公寓楼的风险 R_1 …… 72

前　言

GB/T 21714《雷电防护》由以下 4 部分组成：

——第 1 部分：总则；

——第 2 部分：风险管理；

——第 3 部分：建筑物的物理损害和生命危险；

——第 4 部分：建筑物内的电气和电子系统。

本部分为 GB/T 21714 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 21714.2—2008《雷电防护　第 2 部分：风险管理》。与 GB/T 21714.2—2008 相比，主要技术变化如下：

——删除了连接到建筑物的服务设施的风险评估内容。

——补充考虑了建筑物内人和动物电击伤害的情况(见 4.2.2 的“R_A”分量)。

——文化遗产损失风险容许值从 10^{-3} 降低到 10^{-4}。引入经济损失风险容许值 $R_T = 10^{-3}$，当无法提供费效比分析资料时，可以采用该值(见 5.3 和 6.10 的最后 1 段)。

——补充考虑了对周边建筑物或环境的连带损害(见 5.4 的注 1 ～ 注 3)。

——对以下参数的计算公式进行了修改：

1)　雷击建筑物附近的截收面积[见式(A.2)、式(A.3)]；

2)　雷击线路或线路附近的截收面积[见式(A.7)、式(A.9)和式(A.11)]；

3)　一次雷击引起损害的概率[见式(B.1)～ 式(B.4)、式(B.7)和式(B.8)]；

4)　具有爆炸危险的特定建筑物的损失因子(见表 C.5)；

5)　建筑物分区风险分量(见表 6 中的公式)；

6)　损失成本[见式(D.1)～式(D.6)]。

——给出了各种情况下选择相对损失量的表(见表 C.2、表 C.8、表 C.10 和表 C.12)。

——补充考虑了设备耐冲击电压额定值为 1 kV 的情况(见 A.4、A.5、表 B.8、表 B.9)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 62305-2：2010《雷电防护　第 2 部分：风险管理》。

本部分做了下列编辑性修改：

——补充了术语 3.1.49，这有利于对术语 3.1.50、3.1.51 和 3.1.52 的理解和应用，原文相应的改写内容过于冗长；

——对部分术语和定义增加了注释，更方便理解和应用。增加的注释由对应的脚注予以提示；

——对正文公式(14)和公式(15)的表达形式进行了适当修改，公式文字说明和表达式调整为二级列项。原文的文字内容与公式表达明显不符。

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。

本部分由全国雷电防护标准化技术委员会(SAC/TC 258)提出并归口。

本部分负责起草单位：广东省防雷中心。

本部分参加起草单位：天津市中力防雷技术有限公司、东莞市华炜雷电防护设备有限公司。

本部分主要起草人：黄智慧、陈绿文、张立阅、张远鹏、刘全桢。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 21714.2—2008。

引　言

雷电对地闪击可能对建筑物及线路造成危害。

这种危害可以导致：

——建筑物及其存放物损毁；

——相关电气和电子系统失效；

——建筑物内部或其附近的人和动物伤害。

建筑物及其存放物损毁和电气和电子系统失效的后果可能殃及建筑物四周的物体或自身环境。

为了减少雷击造成的损失，可能需要采取防护措施。应当通过风险评估来确定是否需要采取防护措施以及防护到什么程度。

本部分将风险定义为雷电造成的建筑物内部年均可能损失，取决于：

——对建筑物造成影响的年平均雷击次数；

——一次有影响的雷击导致损害的概率；

——一次损害造成的损失的平均相对量（即损失率）。

对建筑物有影响的雷电有以下几种：

——击中建筑物的雷电；

——击中建筑物附近，或直接击中入户线路（如供电线路、通信线路）或线路附近的雷电。

建筑物或与建筑物相连的线路遭雷击会造成物理损坏和人身伤害。不但建筑物或线路遭雷击会引起电气和电子系统失效，而且建筑物或线路附近的雷击也会因雷电流与这些系统间的阻性耦合及感应耦合产生的过电压造成电气和电子系统失效。

此外，用户电气装置以及供电线路因雷电过电压发生失效时也会导致在电气装置中出现操作过电压。

注：GB/T 21714 不涉及电气和电子系统因干扰而误动作的问题，干扰问题应参考 GB/T 17626.5[1]1)

影响建筑物以及线路的年平均雷击次数既取决于所处地区的地闪密度，还取决于它们的尺寸、性质和所处环境。

雷电损害概率既取决于所采取的保护措施的类型和效能，还取决于建筑物、线路以及雷电流的特性。

每一损害造成的损失的年平均相对量（即损失率），取决于一次闪电损害的程度及其可能导致的后果。

防护效果取决于每种防护措施的特性，通过防护可以减小损害概率或损失率。

为消除一切可以避免的风险，可径直决定采取各种防雷措施而不用考虑风险评估的结果。

1） 方括号中的数字为所列参考文献的序号。采用最新版的等同采用国标，对应修改了参考文献——编者。

雷电防护
第2部分:风险管理

1 范围

GB/T 21714的本部分适用于建筑物的雷击风险评估。

本部分给出计算风险的流程。一旦选定了风险容许上限值,就能通过该流程选择合适的防护措施,以把风险减小到容许限值之下。

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 62305-1:2010,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 62305-3:2010,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 62305-4:2010,IDT)

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

需保护建筑物 structure to be protected

需按GB/T 21714进行雷电效应防护的建筑物。

注:需保护建筑物可以是较大建筑物的一部分。

3.1.2

具有爆炸危险的建筑物 structures with risk of explosion

内有固体爆炸物或内含按GB 3836.14—2014[2]和IEC 60079-10-2:2009[3]确定为危险区域的建筑物。

3.1.3

对环境构成危险的建筑物 structure dangerous to the environment

遭雷击会引起生物污染、化学物质泄漏、放射性污染的建筑物(如化工厂、石化厂、核电站等)。

3.1.4

市区环境 urban environment

建筑物密度高的地区或具有高层建筑的人口密集的社区。

注:城镇中心是市区环境的一个例子。

3.1.5

郊区环境 suburban environment

建筑物密度中等的地区。

注：城镇外围是郊区环境的一个例子。

3.1.6

农村环境　rural environment

建筑物密度低的地区。

注：乡村是农村环境的一个例子。

3.1.7

耐冲击电压额定值　rated impulse withstand voltage

U_w

由厂家给设备或其部件指定的冲击耐受电压值，用以表征其绝缘对过电压的规定耐受能力。

[GB/T 16935.1—2008，定义 3.9.2][4]。

注：本标准仅考虑带电导线与地之间的冲击耐受电压。

3.1.8

电气系统　electrical system

由低压供电各部分构成的系统。

3.1.9

电子系统　electronic system

由通信设备、计算机、控制和仪表系统、无线电系统以及电力电子装置等敏感电子部分构成的系统。

3.1.10

内部系统　internal system

建筑物内的电气和电子系统。

3.1.11

线路　line

连接到需保护的建筑物的供电或通信线路。

3.1.12

通信线路　telecommunication lines

用于各建筑物中设备之间通信的线路，如电话线路和数据线路。

3.1.13

供电线路　power lines

为建筑物内的电气和电子设备供电的配电线路，如低压(LV)电源线和高压(HV)电源线。

3.1.14

危险事件　dangerous events

需防护建筑物或其附近遭受雷击的事件，或者是可能引起损害的、与建筑物相连的、需防护的线路或其附近遭受雷击。

3.1.15

雷击建筑物　lightning flash to a structure

雷闪击中需保护建筑物。

3.1.16

雷击建筑物附近　lightning flash near a structure

雷闪击中需保护建筑物附近且可能产生危险过电压。

3.1.17

雷击线路　lightning flash to a line

雷闪击中连接到需保护建筑物的线路。

3.1.18

雷击线路附近　lightning flash near a line

雷闪击中连接到需保护防护建筑物的线路附近且可能产生危险过电压。

3.1.19

雷击建筑物危险事件次数　number of dangerous events due to flashes to a structure

N_D

雷击建筑物危险事件的预计年平均次数。

3.1.20

雷击线路危险事件次数　number of dangerous events due to flashes to a line

N_L

雷击线路危险事件的预计年平均次数。

3.1.21

雷击建筑物附近危险事件次数　number of dangerous events due to flashes near a structure

N_M

雷击建筑物附近危险事件的预计年平均次数。

3.1.22

雷击线路附近危险事件次数　number of dangerous events due to flashes near a line

N_I

雷击线路附近危险事件的预计年平均次数。

3.1.23

雷电电磁脉冲　lightning electromagnetic impulse;LEMP

雷电流通过电阻性、电感性和电容性耦合所产生的各种电磁效应,包括传导浪涌以及辐射脉冲电磁场效应。

3.1.24

浪涌　surge

LEMP 引起的以过电压或过电流形式出现的瞬变现象。

注:浪涌也称电涌。[2)]

3.1.25

节点　node

线路上可假定无浪涌传播过去的点。

注:节点的例子有:HV/LV 变压器或变电所各供电线路的分配支点,通信线路上的通信转换器或设备[如:多路复用器或各种数字用户线路(xDSL)设备]。

3.1.26

物理损害　physical damage

由于雷电的机械、热、化学或爆炸等效应对建筑物(或其内存物)所造成的损害。

3.1.27

人和动物伤害　injurity to living beings

雷电引起的接触电压和跨步电压通过电击造成的人和动物永久性伤害,包括死亡。

注:尽管人和动物还可能因其他原因受到伤害,本部分中术语"人和动物伤害"仅限于电击威胁(损害类型 D1)。

3.1.28

电气和电子系统失效　failure of electrical and electronic systems

由于雷电电磁脉冲(LEMP)对电气和电子系统造成的永久性损害。

---

2)　编者注。

3.1.29

损害概率　probability of damage

P_X

一次危险事件导致需保护建筑物受损的概率。

3.1.30

损失率　loss

L_X

一次危险事件引起的指定类型损害所产生的平均损失量(人和物)与需保护建筑物(人和物)的价值的比值。

3.1.31

风险　risk

R

因雷击造成的年平均可能损失量(人和物)与需保护建筑物(人和物)的总价值之比值。

3.1.32

风险分量　risk component

R_X

按损害成因和损害类型细分的部分风险。

3.1.33

风险容许值　tolerable risk

R_T

需保护建筑物所能容许的最大风险值。

3.1.34

建筑物的分区　zone of a structure

Z_S

风险分量评估时建筑物中具有相同一组参数的区域。

3.1.35

线路的区段　section of a line

S_L

风险分量评估时线路中具有相同一组参数的区段。

3.1.36

雷电防护区　lightning protection zone;LPZ

规定雷电电磁环境的区域。

注：雷电防护区(LPZ)的区域边界并不一定是物理边界(如墙、地板或天花板等)。

3.1.37

雷电防护等级　lightning protection level;LPL

与一组雷电流参数值有关的序数，该组参数值与在自然界发生雷电时最大和最小设计值不被超出的概率有关。

注：雷电防护等级用于根据雷电流的一组相关参数值设计雷电防护措施。

3.1.38

防护措施　protection measures

为减小需保护建筑物雷电损害风险而采取的措施。

3.1.39

雷电防护　lightning protection;LP

用于建筑物(包括其内部系统、存放物以及人员)防雷的整个系统,通常包括 LPS 和 SPM。

3.1.40

雷电防护装置　lightning protection system;LPS

用于减小雷击建筑物造成物理损害的整个系统。

注:LPS 由外部和内部雷电防护装置两部分构成。

3.1.41

LEMP 防护措施　LEMP protection measures

SPM

内部系统防御 LEMP 效应的各种措施。

注 1:SPM 是综合防雷的一部分。

注 2:IEC 62305.1 第 3 版草案中该术语修改为 Surge Protection Measures。[3)]

3.1.42

磁屏蔽　magnetic shield

将需保护建筑物或其一部分包封起来的闭合金属格栅网或闭合金属屏蔽层,用于减少电气和电子系统失效。

3.1.43

雷电防护电缆　lightning protective cable

具有高绝缘强度的一种特制电缆。其金属铠装层直接或通过导电塑料外皮与土壤连续接触。

3.1.44

雷电防护电缆管道　lightning protective cable duct

与土壤接触的导电良好的电缆管道(例如:钢筋混凝土电缆沟或金属管道)。

3.1.45

浪涌保护器　surge protective device;SPD

用于限制瞬态过电压和对浪涌电流进行分流的器件。它至少含有一个非线性元件。

注:浪涌保护器又称电涌保护器、防雷器等。[4)]

3.1.46

协调配合的 SPD 系统　coordinated SPD system

为减少电气和电子系统失效而适当选择和安装的一组匹配的 SPD。

3.1.47

隔离界面　isolating interfaces

能够减少或隔离进入 LPZ 的线路上的传导浪涌的装置。

注 1:包括绕组间屏蔽层接地的隔离变压器、无金属光缆和光隔离器。

注 2:这些设备本身的绝缘耐受特性或通过加装 SPD 适合于此类应用。

3.1.48

雷电等电位连接　lightning equipotential bonding

EB

为减少雷电流引起的电位差,直接用导体或通过浪涌保护器把分离的金属部件与 LPS 进行连接。

---

3)　编者注。

4)　编者注。

3.1.49

爆炸性气体环境　explosive gas atmosphere

在大气条件下，气体或蒸气的可燃性物质与空气形成的混合物，被点燃后，能够保持燃烧自行传播的环境。

[GB/T 2900.35—2008，定义 426-01-07] [5]

注：为有利于对下列术语 3.1.50、3.1.51 和 3.1.52 的理解和应用，补充本术语。原文的改写内容过于冗长。[5)]

3.1.50

0 区　zone 0

连续或长期存在，或频繁出现爆炸性气体环境的区域。

[GB/T 2900.35—2008，定义 426-03-03] [5]

3.1.51

1 区　zone 1

正常运行时可能偶尔产生爆炸性气体环境的区域。

[GB/T 2900.35—2008，定义 426-03-04] [5]

3.1.52

2 区　zone 2

在正常运行时不大可能产生爆炸性气体环境，如果产生，也只是持续很短时间的区域。

注 1：在此定义中，“持续”的意思是可燃性环境存在的总时间，通常包含释放的总持续时间，加上释放停止后可燃性环境扩散的时间。

注 2：出现的频率和持续时间的指标可从相关的具体行业或使用代码中获取。

[GB/T 2900.35—2008，定义 426-03-05] [5]

3.1.53

20 区　zone 20

空气中可燃性粉尘云连续或长期存在或短时频繁出现爆炸性环境的区域。

注：改写[IEC 60079-10-2：2009，定义 6.2] [3]。

另可参见[GB/T 2900.35—2008，定义 426-01-06、426-03-23] [5] [6)]。

3.1.54

21 区　zone 21

正常运行时，空气中可能偶尔产生的可燃性粉尘云形成爆炸性环境的区域。

注：改写[IEC 60079-10-2：2009，定义 6.2] [3]。

另可参见[GB/T 2900.35—2008，定义 426-01-06、426-03-24] [5] [7)]。

3.1.55

22 区　zone 22

正常运行时，空气中的可燃性粉尘云不可能发生，如果发生，仅是短时间存在形成爆炸性环境的区域。

注：改写[IEC 60079-10-2：2009，定义 6.2] [3]。

另可参见[GB/T 2900.35—2008，定义 426-01-06、426-03-25] [5] [8)]。

3.2　符号

下列符号适用于本文件：

5)　编者注。

6)　编者注。

7)　编者注。

8)　编者注。

a	折旧率	附录 D
A_D	孤立建筑物的雷击截收面积	A.2.1.1
A_{DJ}	毗邻建筑物的雷击截收面积	A.2.5
A_D'	屋面突起部分的截收面积	A.2.1.2
A_I	雷击线路附近的截收面积	A.5
A_L	雷击线路的雷击截收面积	A.4
A_M	雷击建筑物附近的雷击截收面积	A.3
B	建筑物	A.2
C_D	位置因子	表 A.1
C_{DJ}	毗邻建筑物的位置因子	A.2.5
C_E	环境因子	表 A.4
C_I	线路安装因子	表 A.2
C_L	缺乏防护措施的年损失值	5.5;附录 D
C_{LD}	雷击线路的屏蔽、接地和隔离因子	附录 B
C_{LI}	雷击线路附近的屏蔽、接地和隔离因子	附录 B
C_{LZ}	分区的损失成本	附录 D
C_P	防护措施的成本	附录 D
C_{PM}	采取防护措施后的平均花费	5.5;附录 D
C_{RL}	采取防护措施后的年平均损失值	5.5;附录 D
C_{RLZ}	采取防护措施后的分区年平均损失值	附录 D
C_T	线路上 HV/LV 变压器的线路类型因子	表 A.3
c_a	用货币表示的区域中动物的价值	C.6
c_b	用货币表示的区域相关的建筑物的价值	C.6
c_c	用货币表示的区域中内存物的价值	C.6
c_e	用货币表示的建筑物外危险场所物品的总价值	C.6
c_s	用货币表示的区域中内部系统(包括它们的运行)的价值	C.6
c_t	用货币表示的建筑物的总价值	C.5;C.6
c_z	用货币表示的区域内文化遗产的价值	C.5
D1	人和动物伤害	4.1.2
D2	物理损害	4.1.2
D3	电气和电子系统失效	4.1.2
h_z	有特殊危险时增加损失率的因子	表 C.6
H	建筑物高度	A.2.1.1
H_J	毗邻建筑物高度	A.2.5
i	利率	附录 D
K_{MS}	与采用的 LEMP 防护措施有关的因子	B.5
K_{S1}	与建筑物屏蔽效能有关的因子	B.5
K_{S2}	与建筑物内部屏蔽体屏蔽效能有关的因子	B.5
K_{S3}	与内部线路特征有关的因子	B.5
K_{S4}	与系统的耐冲击电压有关的因子	B.5
L	建筑物的长度	A.2.1.1

L_J 毗邻建筑物的长度 …… A.2.5
L_A 雷击建筑物时人和动物因电击伤害的损失率 …… 6.2
L_B 雷击建筑物时建筑物中物理损害的损失率 …… 6.2
L_L 线路区段的长度 …… A.4
L_C 雷击建筑物时建筑物中内部系统失效的损失率 …… 6.2
L_E 周围建筑物损害时增加的损失率 …… C.3;C.6
L_F 建筑物内由于物理损害造成的损失率 …… 表 C.2,C8,C10,C12
L_{FE} 建筑物外由于物理损害造成的损失率 …… C.3;C.6
L_{FT} 建筑物内外由于物理损害造成的总损失率 …… C.3;C.6
L_M 雷击建筑物附近时内部系统失效的损失率 …… 6.3
L_O 内部系统失效引起的建筑物的损失率 …… 表 C.2,C8,C12
L_T 电击伤害失效引起的损失率 …… 表 C.2,C12
L_U 雷击线路时建筑物内人和动物电击伤害的损失率 …… 6.4
L_V 雷击线路时建筑物内物理损害的损失率 …… 6.4
L_W 雷击线路时内部系统失效的损失率 …… 6.4
L_X 建筑物中各种损失率的通识符 …… 6.1
L_Z 雷击与线路附近时内部系统失效的损失率 …… 6.5
L1 人身伤亡损失 …… 4.1.3
L2 公众服务损失 …… 4.1.3
L3 文化遗产损失 …… 4.1.3
L4 经济价值损失 …… 4.1.3
m 维护费率 …… 附录 D
N_X 年均危险事件次数的通识符 …… 6.1
N_D 雷击建筑物危险事件的次数 …… A.2.4
N_{DJ} 雷击毗邻建筑物危险事件的次数 …… A.2.5
N_G 雷击大地密度 …… A.1
N_I 雷击线路附近危险事件的次数 …… A.5
N_L 雷击线路危险事件的次数 …… A.4
N_M 雷击建筑物附近危险事件的次数 …… A.3
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) …… C.3;C.4
n_t 预期的总人数(或接受服务的用户数) …… C.3;C.4
P 损害概率 …… 附录 B
P_A 雷击建筑物造成人和动物伤害的概率 …… 6.2;B.2
P_B 雷击建筑物造成建筑物物理损害的概率 …… 表 B.2
P_C 雷击建筑物造成内部系统失效的概率 …… 6.2;B.4
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 B.7
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 B.8
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 B.9
P_M 雷击建筑物附近造成内部系统失效的概率 …… 6.3;B.5
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 …… B.5
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 B.3

P_{TA} 由防接触和防跨步电压措施决定的 P_A 减小的概率 …… 表 B.1
P_U 雷击相连线路造成人和动物电击伤害的概率 …… 6.4;B.6
P_V 雷击相连线路造成建筑物物理损害的概率 …… 6.4;B.7
P_W 雷击相连线路造成内部系统失效的概率 …… 6.4;B.8
P_X 建筑物各种损害概率的通识符 …… 6.1
P_Z 雷击相连线路附近造成内部系统失效的概率 …… 6.5;B.9
r_t 与土壤或地板表面类型有关的缩减因子 …… C.3
r_f 与火灾危险有关的缩减因子 …… C.3
r_p 与防火措施有关的缩减因子 …… C.3
R 风险 …… 4.2
R_A 雷击建筑物造成人和动物伤害的风险分量 …… 4.2.2
R_B 雷击建筑物造成建筑物物理损害的风险分量 …… 4.2.2
R_C 雷击建筑物造成内部系统失效的风险分量 …… 4.2.2
R_M 雷击建筑物附近引起的内部系统失效风险分量 …… 4.2.3
R_S 单位长度电缆屏蔽层的电阻 …… 表 B.8
R_T 风险容许值 …… 5.3;表 4
R_U 雷击线路造成人和动物伤害的风险分量 …… 4.2.4
R_V 雷击线路造成建筑物物理损害的风险分量 …… 4.2.4
R_W 雷击线路造成内部系统失效的风险分量 …… 4.2.4
R_X 建筑物各种风险分量 …… 6.1
R_Z 雷击线路附近造成内部系统失效的风险分量 …… 4.2.5
R_1 建筑物中人身伤亡损失的风险 …… 4.2.1
R_2 建筑物中公众服务损失的风险 …… 4.2.1
R_3 建筑物中文化遗产损失的风险 …… 4.2.1
R_4 建筑物中经济价值损失的风险 …… 4.2.1
R'_4 采取防护措施后的风险 R_4 …… 附录 D
S 建筑物 …… A.2.2
S_M 每年节约费用 …… 附录 D
S_L 线路段 …… 6.8
S1 损害成因—雷击建筑物 …… 4.1.1
S2 损害成因—雷击建筑物附近 …… 4.1.1
S3 损害成因—雷击线路 …… 4.1.1
S4 损害成因—雷击线路附近 …… 4.1.1
t_e 受危害人员每年呆在建筑物外危险场所的小时数 …… C.3
t_z 受危害人员每年呆在危险场所的小时数 …… C.2
T_D 年雷暴日 …… A.1
U_w 系统的耐冲击电压额定值 …… B.5
w_m 网格宽度 …… B.5
W 建筑物的宽度 …… A.2.1.1
W_J 毗邻建筑物的宽度 …… A.2.5
X 辨识相关风险分量的下标 …… 6.1
Z_S 建筑物的分区 …… 6.7

4 几个基本概念

4.1 损害和损失

4.1.1 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 1)分为以下几种成因：

——S1：雷击建筑物；

——S2：雷击建筑物附近；

——S3：雷击线路；

——S4：雷击线路附近。

4.1.2 损害类型

雷击可能造成损害，取决于需防护建筑物的特性。其中最重要的特性有：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 1)：

——D1：电击引起的人和动物伤害；

——D2：物理损害；

——D3：电气和电子系统失效。

雷电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)。

4.1.3 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 1)：

——L1：人身伤亡损失(包括永久性伤害)；

——L2：公众服务损失；

——L3：文化遗产损失；

——L4：经济价值损失(建筑物及其内存物以及业务活动中断的损失)。

表 1 雷击点、损害成因、各种可能的损害类型及损失对照一览表

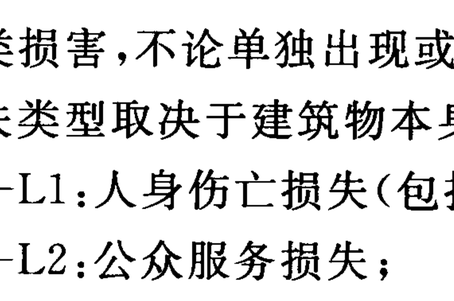
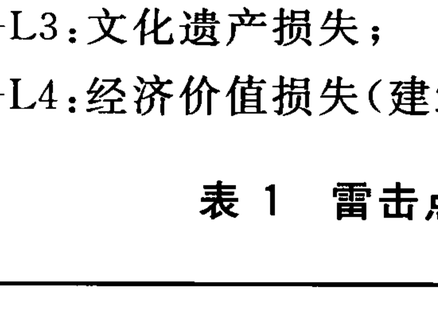
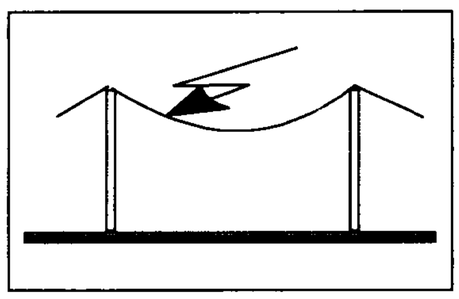
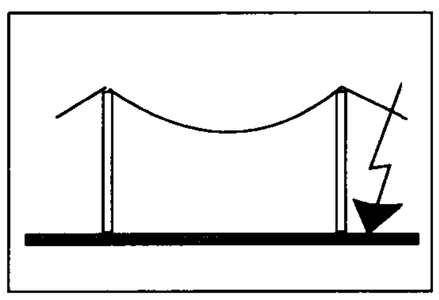
雷击点	损害成因	建筑物	
		损害类型	损失类型
	S1	D1 D2 D3	L1，L4[a] L1，L2，L3，L4 L1[b]，L2，L4
	S2	D3	L1[b]，L2，L4

表 1（续）

雷击点	损害成因	建筑物	
		损害类型	损失类型
	S3	D1 D2 D3	L1，L4[a] L1，L2，L3，L4 L1[b]，L2，L4
	S4	D3	L1[b]，L2，L4

[a] 仅对于可能出现动物损失的建筑物。

[b] 仅对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。

4.2 风险和风险分量

4.2.1 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：人身伤亡损失风险（包括永久性伤害）；

——R_2：公众服务损失风险；

——R_3：文化遗产损失风险；

——R_4：经济价值损失风险。

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。

4.2.2 直接雷击建筑物引起的建筑物风险分量

R_A：在建筑物内或户外距离引下线 3 m 的范围内，因接触和跨步电压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出现 L4 类的损失。

注：在某些特殊场合，例如停车场的顶层或运动场，可能存在人遭直接雷击的危险。该情形下可应用本部分的原则加以考虑。

R_B：建筑物内因危险火花放电触发火灾或爆炸引起物理损害的风险分量，此类损害还可能危害环境。可产生所有类型的损失（L1、L2、L3、L4）。

R_C：因 LEMP 造成内部系统失效的风险分量。总会产生 L2 和 L4 类的损失，在具有爆炸危险的建筑物以及内部系统的失效马上会危及人命的医院或其他建筑物中还可能出现 L1 类型的损失。

4.2.3 雷击建筑物附近引起的建筑物风险分量

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

4.2.4 雷击入户线路引起的建筑物风险分量

R_U:雷电流沿入户线路侵入建筑物内因接触电压造成人和动物伤害的风险分量。可能会出现 L1 类的损失,当有动物时,还可能出现 L4 类的损失。

R_V:因雷电流沿入户线路侵入建筑物,在入口处入户线路与其他金属部件产生危险火花放电而引发火灾或爆炸造成物理损害的风险分量。可能产生所有类型的损失(L1、L2、L3、L4)。

R_W:因入户线路上产生的并传入建筑物内的过电压引起内部系统失效的风险分量。总会产生 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马上会危及人命的医院或其他建筑物中还可能出现 L1 类的损失。

注 1:在风险评估中只考虑入户线路。

注 2:因管道已经连接到等电位连接排,所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,应考虑这种威胁。

4.2.5 雷击入户线路附近引起的建筑物风险分量

R_Z:因入户线路上感应出的并传入建筑物内的过电压引起内部系统失效的风险分量。总会产生 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马上会危及人命的医院或其他建筑物中还可能出现 L1 类型的损失。

注 1:在风险评估中只考虑入户线路。

注 2:因管道已经连接到等电位连接排,所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,应考虑这种威胁。

4.3 各种风险的组成

对建筑物的每一类损失需考虑的风险分量如下:

R_1——人身伤亡损失的风险

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}{}^{1)} + R_{M1}{}^{1)} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}{}^{1)} + R_{Z1}{}^{1)} \quad \cdots\cdots(1)$$

注 1:1)仅对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。

R_2——公众服务损失的风险

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad \cdots\cdots(2)$$

R_3——文化遗产损失的风险

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad \cdots\cdots(3)$$

R_4——经济价值损失的风险

$$R_4 = R_{A4}{}^{2)} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}{}^{2)} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad \cdots\cdots(4)$$

注 2:2)仅对于可能出现动物损失的建筑物。

每类损失风险对应的风险分量在表 2 中给出。

表 2　建筑物各类损失风险需考虑的各种风险分量

各类损失风险	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[1)]	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

[a] 仅对于具有爆炸危险的建筑物以及因内部系统的失效马上会危及人命的医院或其他建筑物。

[b] 仅对于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 3 中给出。

表 3　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]	—	—
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

[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。

5 风险管理

5.1 基本步骤

基本步骤如下：

——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～R_4；

——计算风险 R 的各种损失风险 R_1～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。为此需对建筑物的风险分量 R_4进行评估(参见附录 D)。

5.2 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(参见 6.7)。

5.3 风险容许值 R_T

由相关职能部门确定风险容许值。

表 4 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 4 风险容许值 R_T 的典型值

损失类型		R_T/年
L1	人身伤亡损失	10^{-5}
L2	公众服务损失	10^{-3}
L3	文化遗产损失	10^{-4}

原则上，经济价值损失(L4)的风险容许值应遵循附录 D 给出的成本/利益比较方法来计算，如果无相关数据则可取典型值 $R_T = 10^{-3}$。

5.4 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：

——识别构成该风险的各分量 R_X；

——计算各风险分量 R_X；

——计算总风险 R(见 4.3);

——确定风险容许值 R_T;

——风险 R 与风险容许值 R_T作比较。

如果 $R \leqslant R_T$,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 $R \leqslant R_T$。

计算是否需要防雷的步骤见图 1:

注 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。

注 2: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。

注 3: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。

5.5 评估采取防护措施的成本效益的步骤

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 L4 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_4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(参见附录 D)。

评估采取防护措施的成本效益的步骤如下:

——识别建筑物风险 R_4的各个风险分量 R_X;

——计算未采取新的/额外的防护措施时各风险分量 R_X;

——计算每一风险分量 R_X的每年成本损失;

——计算未采取防护措施时每年总损失 C_L;

——选择防护措施;

——计算采取防护措施后的各风险分量 R_X;

——计算采取防护措施后各风险分量 R_X仍造成的每年损失;

——计算采取防护措施后仍造成的每年总损失 C_{RL};

——计算防护措施的每年费用 C_{PM};

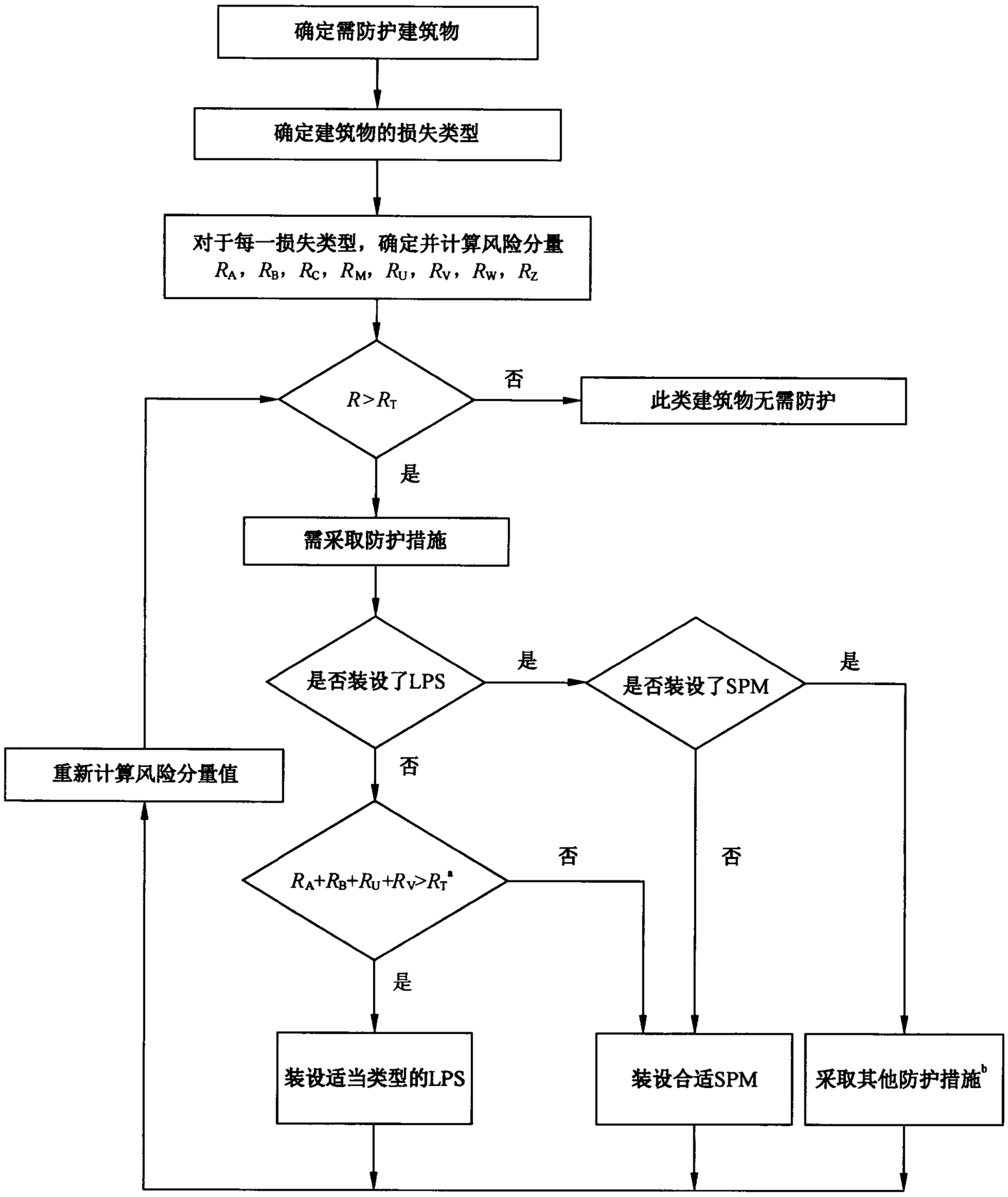
——进行费用比较。

如果 $C_L < C_{RL} + C_{PM}$,则防雷是不经济的。

如果 $C_L \geqslant C_{RL} + C_{PM}$,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 2 为评估采取防护措施的成本效益的流程。

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。



[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。

[b] 见表 3。

图 1　确定是否需要防护和选择防护措施的流程

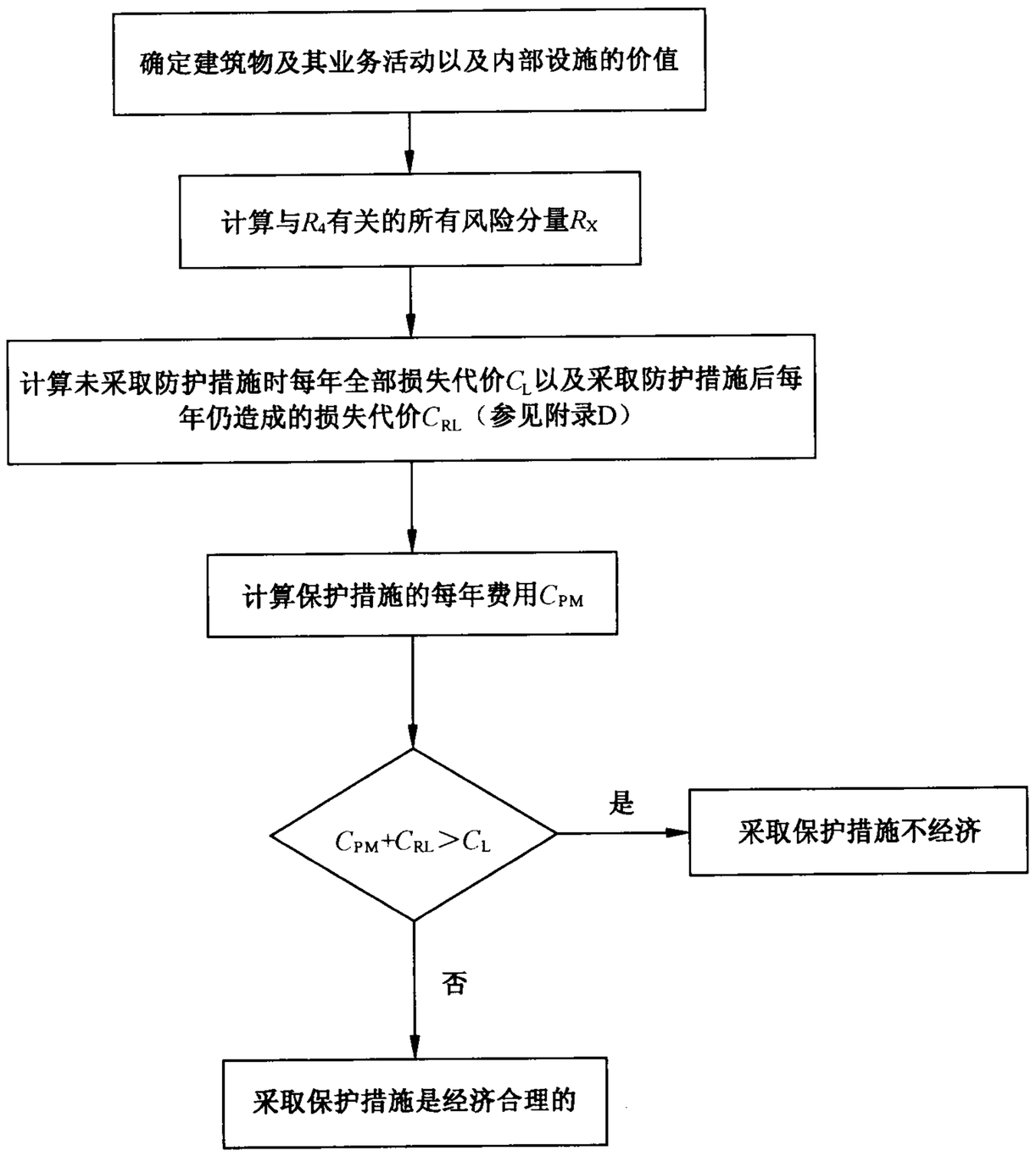


图 2　评估采取防护措施的成本效益的流程

5.6　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。

5.7　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 $R \leqslant R_T$。应选取技术和造价上均可行的防护方案。图 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风险分量并设法减小它们，当然也应考虑成本。

6　风险分量的评估

6.1　基本表达式

4.2.2，4.2.3，4.2.4 和 4.2.5 中所述的各个风险分量 R_A、R_B、R_C、R_M、R_U、R_V、R_W和 R_Z，可以采用以下通用表达式来表示：

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad \cdots\cdots(5)$$

式中：

N_X ——每年危险事件次数(参见附录 A)；

P_X ——建筑物的损害概率(参见附录 B)；

L_X ——每一损害产生的损失率(参见附录 C)。

危险事件次数 N_X受到雷击大地密度(N_G)以及需防护建筑物的物理特性、其周围物体、相连线路以及土壤性质的影响。

损害概率 P_X受到需防护建筑物的特性以及所采取的防护措施的影响。

损失率 L_X受到建筑物的用途、现场人数、公众服务类型、受损商品的价值以及减小损失措施的影响。

注：当雷击造成建筑物损害可能殃及毗邻建筑物或者周围环境(如化学品泄漏或放射性辐射)时，L_X的值应当加上相应的间接损失。

6.2 雷击建筑物(损害成因 S1)风险分量的评估

下列关系式用于估算雷击建筑物产生的各个风险分量：

——人和动物伤害(D1)风险分量；

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad \cdots\cdots(6)$$

——物理损害(D2)风险分量；

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad \cdots\cdots(7)$$

——电气和电子系统失效(D3)风险分量。

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad \cdots\cdots(8)$$

表 5 中给出了估算这些风险分量时所用的参数。

表 5 估算建筑物各风险分量所用的参数

符号	名称	出处
年均雷击危险事件次数		
N_D	雷击建筑物	A.2
N_M	雷击建筑物附近	A.3
N_L	雷击入户线路	A.4
N_I	雷击入户线路附近	A.5
N_{DJ}	雷击毗邻建筑物(见图 A.5)	A.2
雷击建筑物造成损害的概率		
P_A	人和动物电击伤害	B.2
P_B	物理损害	B.3
P_C	内部系统失效	B.4
雷击建筑物附近造成损害的概率		
P_M	内部系统失效	B.5
雷击入户线路造成损害的概率		
P_U	人和动物电击伤害	B.6
P_V	物理损害	B.7

表 5（续）

符号	名称	出处
P_W	内部系统失效	B.8
雷击入户线路附近造成损害的概率		
P_Z	内部系统失效	B.9
损失率		
$L_A = L_U$	人和动物电击伤害	C.3
$L_B = L_V$	物理损害	C.3,C.4,C.5,C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	内部系统失效	C.3,C.4,C.6

6.3 雷击建筑物附近(损害成因 S2)风险分量的评估

下列关系式用于估算雷击建筑物附近产生的风险分量：

——电气和电子系统失效(D3)风险分量

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad \cdots\cdots(9)$$

6.4 雷击入户线路(损害成因 S3)风险分量的评估

下列关系式用于估算雷击入户线路产生的各风险分量：

——人和动物伤害(D1)的风险分量；

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad \cdots\cdots(10)$$

——物理损害(D2)的风险分量；

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad \cdots\cdots(11)$$

——电气和电子系统失效(D3)的风险分量。

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad \cdots\cdots(12)$$

注 1：在很多情况下 N_{DJ} 可以忽略。

表 5 中给出了估算这些风险分量时所用的参数。

如果线路不止一个区段(见 6.8)，R_U、R_V 和 R_W 的值取各区段线路的 R_U、R_V 和 R_W 值之和。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)。

注 2：各条线路截收面积的重叠部分只能计算一次。

6.5 雷击入户线路附近(损害成因 S4)风险分量的评估

下列关系式用于估算雷击入户线路附近产生的风险分量：

——电气和电子系统失效(D3)的风险分量：

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad \cdots\cdots(13)$$

表 5 中给出了估算该风险分量所用的参数。

如果线路不止一个区段(见 6.8),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)。

6.6 建筑物中的风险分量汇总

表 6 中按照损害类型以及损害成因对建筑物各风险分量进行汇总。

表 6 按损害成因及损害类型列出的各风险分量

损害类型	损害成因			
	S1 雷击建筑物	S2 雷击建筑物附近	S3 雷击入户线路	S4 雷击线路附近
D1 人和动物电击伤害	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$	—	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	—
D2 物理损害	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$	—	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	—
D3 电气和电子系统失效	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

如果建筑物被划分为多个分区 Z_S(见 6.7),需要估算每一分区 Z_S中的每种风险分量。

建筑物的总风险是由组成建筑物的多个分区 Z_S的风险分量的总和。

6.7 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(风险分量 R_A和 R_U);

——防火分区(风险分量 R_B和 R_V);

——空间屏蔽(风险分量 R_C和 R_M)。

还可以根据以下情况进一步细分:

——内部系统的布局(风险分量 R_C和 R_M);

——已有的或将采取的防护措施(所有风险分量);

——损失率 L_X的值(所有的风险分量)。

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行性。

注:GB/T 21714 本部分的分区 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。

6.8 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(架空或埋地)；

——影响截收面积的因子(C_D，C_E，C_T)；

——线路特性(屏蔽或非屏蔽，屏蔽层的电阻)。

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。

6.9 多分区建筑物风险分量的评估

6.9.1 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：

——按照附录 A 估算危险事件次数 N_X；

——按照附录 B 估算危险损害概率 P_X；

- 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；
- 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(14)和式(15)计算：

$$P_C = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_{Ci}) \qquad \cdots\cdots(14)$$

$$P_M = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_{Mi}) \qquad \cdots\cdots(15)$$

式中：

P_{Ci}、P_{Mi}——第 i 个内部系统失效的概率，$i = 1,2,\cdots,n$。

——与损失率 L 的相关参数应按附录 C 进行估算。

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。

6.9.2 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。

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。

6.9.3 多区域建筑物

在这种情况下，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。

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。

6.10 经济价值损失(L4)成本效益分析

不管对采取防护措施以减小风险 R_1、R_2、R_3的评估是否需要，但为减少经济价值损失风险 R_4而对采取防护措施时的成本效益进行估算还是有用的。

对风险 R_4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附录 D 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 A
（资料性附录）
年平均危险事件次数 N_X 的估算

A.1 概述

影响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 是每年每平方公里雷击大地的次数。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，可以作如下估算：

$$N_G \approx 0.1 \times T_D \qquad \text{(A.1)}$$

T_D 为年平均雷暴日，可以从雷暴日分布图上得出。

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。

A.2 雷击建筑物的年平均危险事件次数 N_D 以及雷击毗邻建筑物的年平均危险事件次数 N_{DJ}

A.2.1 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 A.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。

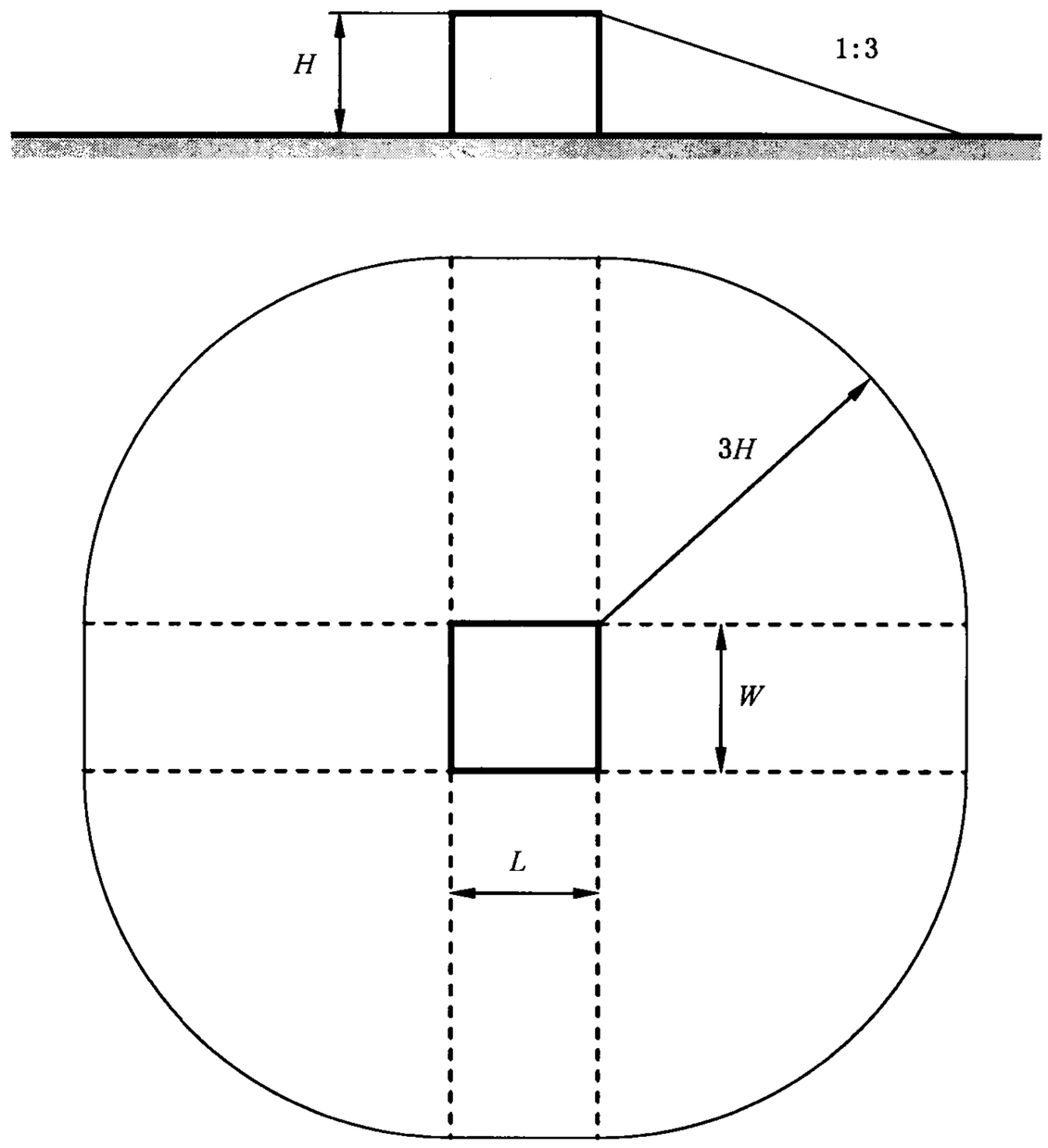


图 A.1　孤立建筑物的截收面积 A_D

A.2.1.1　长方体建筑物

平坦大地上一座孤立的长方体建筑物，截收面积等于：

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad \cdots\cdots (A.2)$$

式中：

L、W、H ——建筑物的长、宽、高，单位为米(m)(见图 A.1)。

A.2.1.2　形状复杂的建筑物的截收面积

如图 A.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 A.3)。

以建筑物的最小高度 H_{MIN} 按式(A.3)计算建筑物的截收面积 A_{DMIN}，取 A_{DMIN} 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：

$$A_D' = \pi \times (3 \times H_P)^2 \quad \cdots\cdots (A.3)$$

式中：

H_P——突出部分的高度，单位为米(m)。

单位为米[9)]

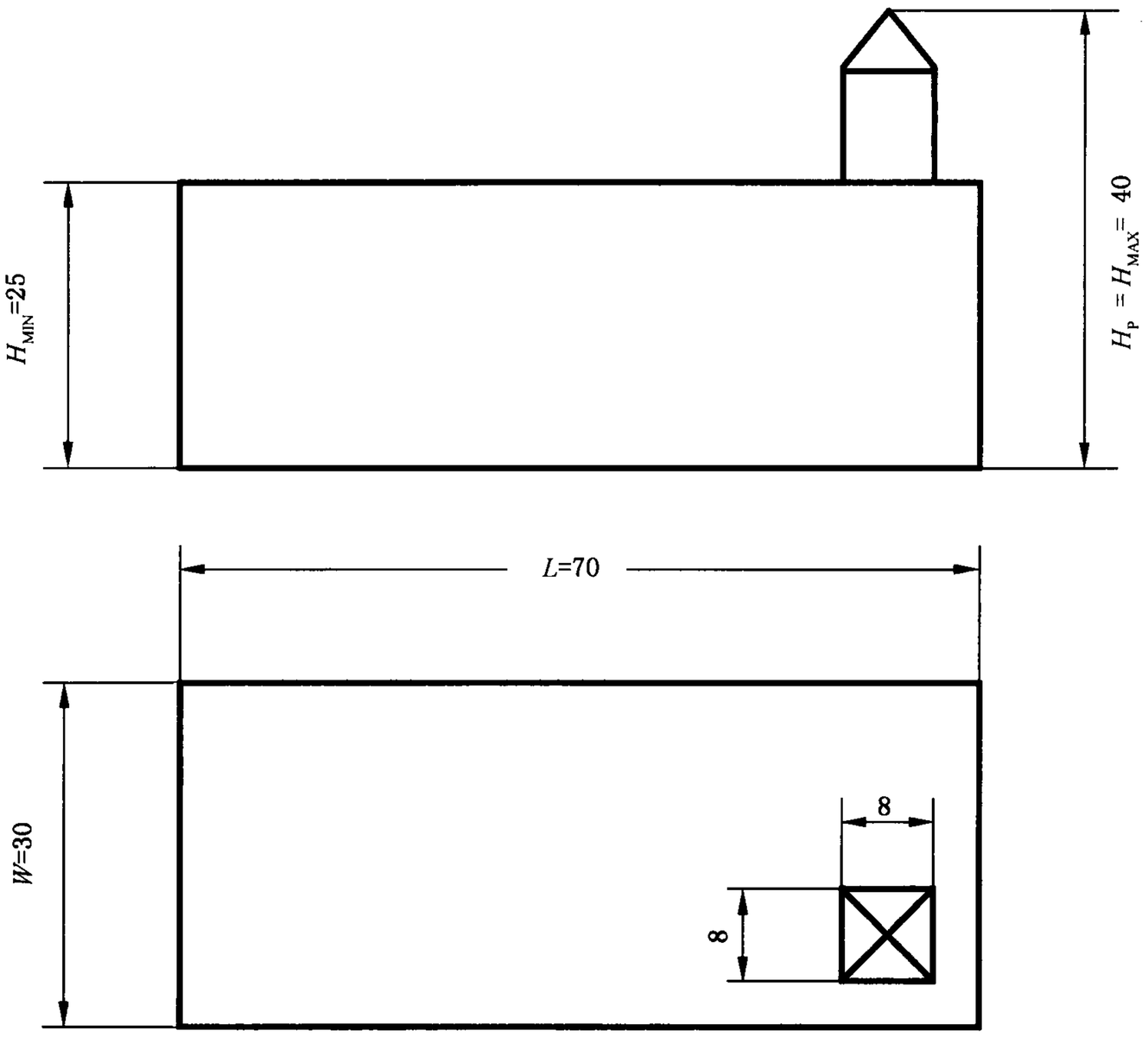
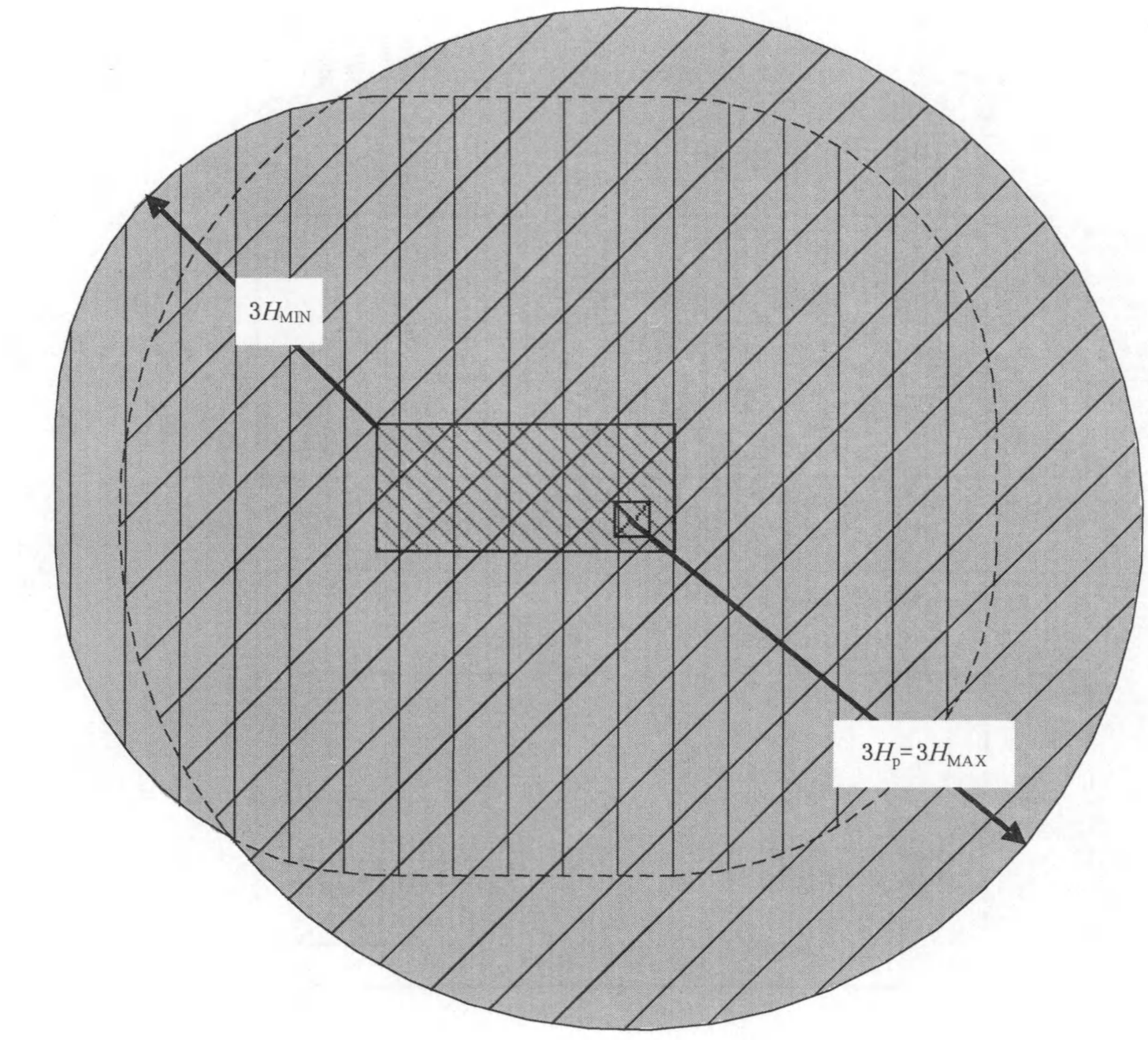


图 A.2　形状复杂的建筑物

9)　编者注。



A_{DMIN} 高度为$H=H_{MIN}$ 的长方体部分按式(A.2)确定的截收面积

A'_D 高度为$H=H_p=H_{MAX}$的突出部分按式(A.3)确定的截收面积

A_D 使用作图法确定的截收面积

图 A.3 采用不同方法确定给定建筑物的截收面积

A.2.2 建筑物的一部分

当所考虑的建筑 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 的结构尺寸计算截收面积 A_D(见图 A.4):

——该部分建筑 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 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—2006。

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。

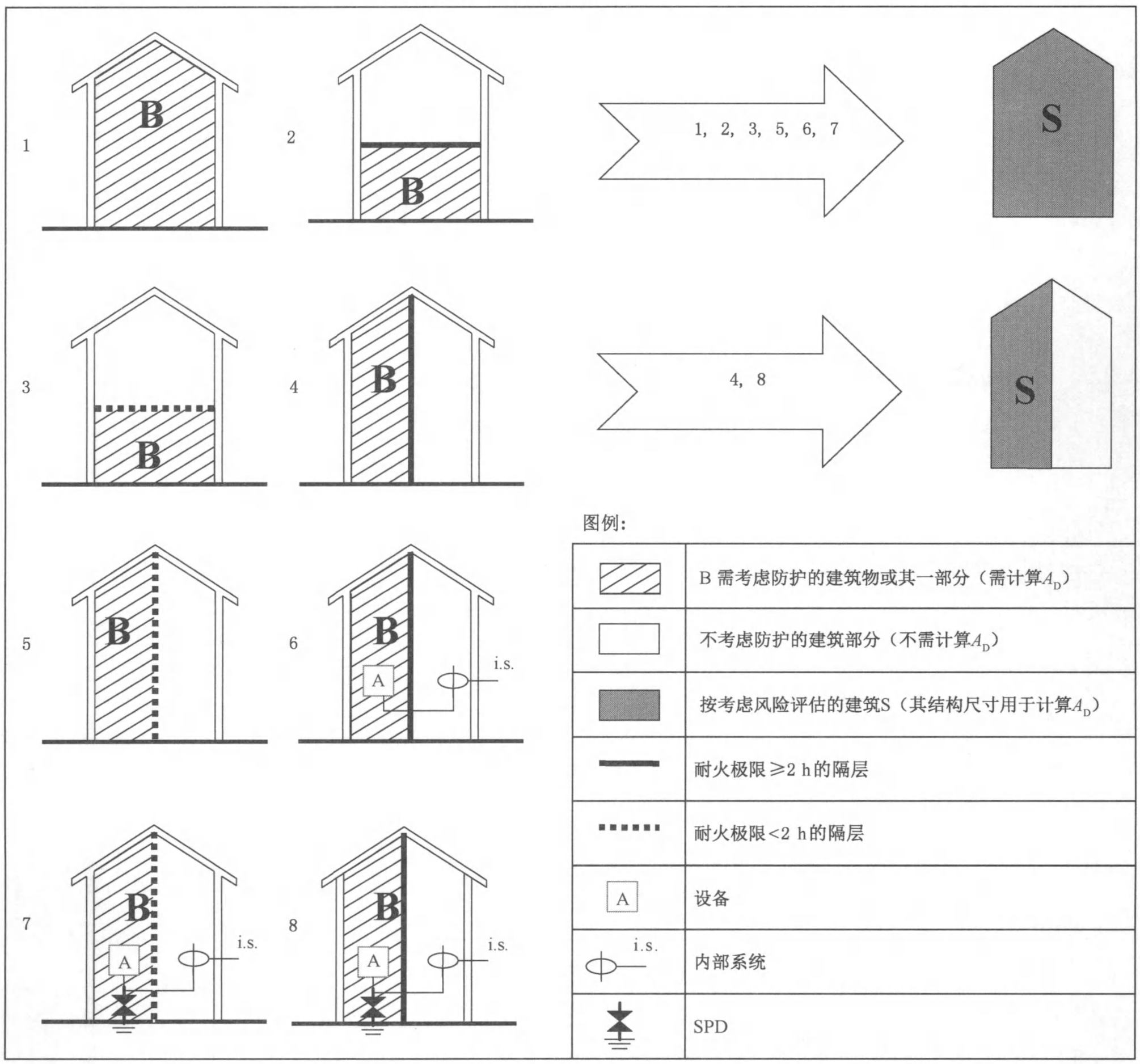


图 A.4　建筑物的一部分的截收面积 A_D 的计算

A.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 A.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 A.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

A.2.4 建筑物的危险事件次数 N_D

N_D 的计算如下：

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad \cdots\cdots (A.4)$$

式中：

N_G ——雷击大地密度，单位为次每平方千米年[次/(km² · a)]；

A_D ——孤立建筑物的截收面积，单位为平方米(m²)(见图 A.5)；

C_D ——建筑物的位置因子(见表 A.1)。

A.2.5 毗邻建筑物的危险事件次数 N_{DJ}

雷击线路远端相连建筑物(见 6.5 和图 A.5)的年平均危险事件次数 N_{DJ} 计算如式(A.5)：

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad \cdots\cdots (A.5)$$

式中：

N_G ——雷击大地密度，单位为次每平方千米年[次/(km² · a)]；

A_{DJ} ——毗邻建筑物的截收面积，单位为平方米(m²)(见图 A.5)；

C_{DJ} ——毗邻建筑物的位置因子(见表 A.1)；

C_T ——线路类型因子(见表 A.3)。

A.3 雷击建筑物附近的年平均危险事件次数 N_M

N_M 的计算如下：

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad \cdots\cdots (A.6)$$

式中：

N_G——雷击大地密度，单位为次每平方千米年[次/(km² · a)]；

A_M——雷击建筑物附近的截收面积，单位为平方米(m²)。

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(见图 A.5)。

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad \cdots\cdots (A.7)$$

A.4 雷击线路的年平均危险事件次数 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：

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad \cdots\cdots (A.8)$$

式中：

N_L——线路区段出现过电压幅值不小于 1 kV 的次数，单位为次每年(次/a)；

N_G——雷击大地密度，单位为次每平方千米年[次/(km² · a)]；

A_L——雷击线路的截收面积，单位为平方米(m²)(见图 A.5)；

C_I ——线路安装因子(见表 A.2)；

C_T ——线路类型因子(见表 A.3)；

C_E ——线路环境因子(见表 A.4)。

雷击线路的截收面积：

$$A_L = 40 \times L_L \quad \cdots\cdots (A.9)$$

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 $L_L = 1\,000$ m。

注 1：国家委员会可能会改进该信息以更好地符合本国的供电线路和通信线路的实际情况。

表 A.2　线路安装因子 C_I

布线方式	C_I
架空	1
埋地	0.5
完全埋设在网格型地网中的电缆(GB/T 21714.4—2015 的 5.2)	0.01

表 A.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
高压输配电线路(具有 HV/LV 变压器)	0.2

表 A.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。	

注 2：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 A.2 中的线路安装因子基于 $\rho = 400\ \Omega \cdot m$ 给出。

注 3：通信线路截收面积 A_I 的更多资料参见 ITU-T K.47[7]。

A.5　雷击线路附近的年平均危险事件次数 N_I

线路可能由多个区段组成，对于每个区段，N_I 的值可计算如下：

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \qquad \text{(A.10)}$$

式中：

N_I——线路区段出现过电压幅值不小于 1 kV 的次数，单位为次每年(次/a)；

N_G——雷击大地密度，单位为次每平方千米年[次/(km^2 · a)]；

A_I——雷击线路附近的截收面积，单位为平方米(m^2)(见图 A.5)；

C_I——线路安装因子(见表 A.2)；

C_T——线路类型因子(见表 A.3)；

C_E——线路环境因子(见表 A.4)。

雷击线路附近的截收面积：

$$A_I = 4\ 000 \times L_L \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (A.11)$$

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 $L_L = 1\ 000$ m。

注 1：国家委员会可能会改进该信息以更好地符合本国的供电线路和通信线路的实际情况。

注 2：供电线路和通信线路 A_I 更精确的估算分别参见 1995 年 Electra n.161[8] 和 162[9] 以及 ITU-T K.46[10]。

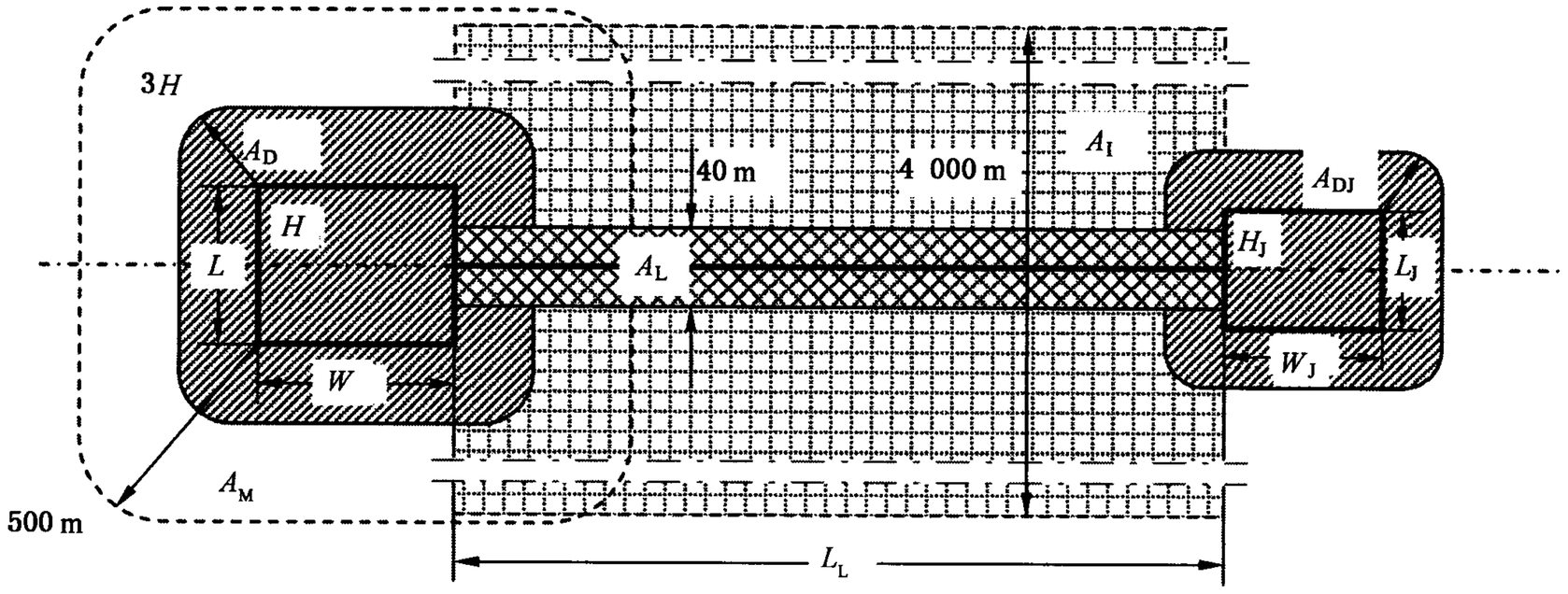


图 A.5　截收面积(A_D、A_M、A_I、A_L)

附 录 B
（资料性附录）
损害概率 P_X 的估算

B.1 概述

只有当防护措施符合以下部分的要求时，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。

B.2 雷击建筑物导致人和动物电击伤害的概率 P_A

雷击建筑物因接触和跨步电压导致人和动物遭电击的概率 P_A 取决于采用的 LPS 及附加的防护措施。

$$P_A = P_{TA} \times P_B \qquad \text{(B.1)}$$

式中：

P_{TA}——取决于附加的防止接触电压和跨步电压的防护措施，例如表 B.1 中列出的防护措施。表 B.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 B.2 给出了 P_B的值。

表 B.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

如果采取了一项以上的措施，P_{TA}取各个相应值的乘积。

注 1：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。

注 2：更多资料请参见 GB/T 21714.3—2015 的 8.1 和 8.2。

B.3 雷击建筑物导致物理损害的概率 P_B

LPS 是降低 P_B的有效防护措施。

雷击建筑物导致物理损害的概率 P_B 与 LPS 的防雷等级(LPL)的对应关系在表 B.2 中给出。

表 B.2 P_B 与 LPS 雷电防护等级(LPL)的关系

建筑物特性	LPS 级别	P_B
建筑物未安装 LPS	—	1
建筑物安装 LPS	Ⅳ类 LPS	0.2
	Ⅲ类 LPS	0.1
	Ⅱ类 LPS	0.05
	Ⅰ类 LPS	0.02
建筑物安装有Ⅰ类 LPS 的接闪器,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

注 1: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 也可取表B.2以外的值。

注 2:LPS(包括用于防雷等电位连接的 SPD)的特性在 GB/T 21714.3—2015 中给出。

B.4 雷击建筑物导致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。

雷击建筑物导致内部系统失效的概率 P_C 为:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.2)$$

P_{SPD} 取决于按照雷电防护等级(LPL)设计的并符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统。表 B.3 给出了对应的 P_{SPD} 值。

因子 C_{LD} 取决于与内部系统相连线路的屏蔽、接地及隔离条件。表 B.4 给出了对应的 C_{LD} 值。

表 B.3 按 LPL 选取 SPD 时的 P_{SPD} 值

LPL	P_{SPD}
没有安装协调配合的 SPD 系统	1
Ⅲ-Ⅳ	0.05
Ⅱ	0.02
Ⅰ	0.01
考虑了注 2 的情况	0.005 ～ 0.001

注 1:只有协调配合的 SPD 保护才是减小 P_C 的合适防护措施。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,协调配合匹配的 SPD 保护才能有效减小 P_C。

注 2:在各位置安装的 SPD(见 GB/T 21714.1—2015 表 A.3 中雷电流概率分布的相关资料,以及GB/T 21714.1—2015 附录 E 和 GB/T 21714.4—2015 的附录 D 中雷电流分流的相关资料),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),P_{SPD} 的值可能会更小。同样的附录也适用于具有更高 P_{SPD} 的 SPD。

表 B.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

注 3：在估算概率 P_C时，表 B.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 $C_{LD}=1$。

注 4：对于非屏蔽的内部系统：

——与外部线路无连接(单独系统)，或

——通过隔离界面与外部线路连接，或

——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。

如果感应电压 U_I不高于内部系统的耐受电压 U_W($U_I \leqslant U_W$)，不需要安装符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统来降低 P_C。感应电压 U_I的计算请参见 GB/T 21714.4—2015 的附录 A。

B.5　雷击建筑物附近导致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。

雷击建筑物附近引起内部系统失效的概率 P_M取决于所采取的 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：

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.3)$$

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：

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.4)$$

式中：

K_{S1}——LPZ 0/1 界面处，建筑物、LPS 或其他屏蔽物的屏蔽效能的因子；

K_{S2}——考虑建筑物内部各 LPZ X/Y($X>0$，$Y>1$)界面处屏蔽物的屏蔽效能的因子；

K_{S3}——内部布线特性的因子(表 B.5)；

K_{S4}——需防护系统耐冲击电压的因子。

注 1：当设备具有绕组间屏蔽接地的隔离变压器、或光纤、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：

$$K_{S1} = 0.12 w_{m1} \quad \cdots\cdots (B.5)$$

$$K_{S2} = 0.12 w_{m2} \quad \cdots\cdots (B.6)$$

式中的 w_{m1} 和 w_{m2} 是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。

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

注 2：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。

当感应环路距雷电防护区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。例如，当距离在 $0.1w_m \sim 0.2w_m$ 的范围内时，K_{S1} 和 K_{S2} 值将增加一倍。

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。

注 3：K_{S1}、K_{S2} 的最大值不超过 1。

表 B.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]	0.000 1
[a] 大的建筑物中分开布设的导线构成的环路(环路面积大约为 50 m^2)。 [b] 同一电缆管道中的导线或较小建筑物中分开布设的导线构成的环路(环路面积大约为 10 m^2)。 [c] 同一电缆的导线形成的环路(环路面积大约为 0.5 m^2)。 [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：

$$K_{S4} = 1/U_W \quad \cdots\cdots (B.7)$$

式中：

U_W——需防护系统的耐冲击电压额定值，单位为千伏(kV)。

注 4：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}。

B.6　雷击线路导致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)。

注 1：无需按照 GB/T 21714.4—2015 要求采用协调配合的 SPD 系统以减小 P_U；在此情况下，按照GB/T 21714.3—2015 要求安装 SPD 就足够了。

P_U 值的计算公式为：

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad \cdots\cdots (B.8)$$

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 B.6 给出了 P_{TU} 的值；

P_{EB}——取决于符合 GB/T 21714.3—2015 要求的防雷等电位连接(EB)、以及设计 SPD 所依据的雷电防护等级(LPL)。表 B.7 给出了 P_{EB} 的值；

P_{LD}——雷击线路导致内部系统失效的概率，取决于线路的特性。表 B.8 给出了 P_{LD}的值；

C_{LD}——取决于线路的屏蔽、接地和隔离条件的因子。表 B.4 给出了 C_{LD}的值。

注 2：当按 GB/T 21714.3—2015 要求在线路入户处安装 SPD 来进行等电位连接时，符合 GB/T 21714.4—2015 的接地和等电位连接可以提升防护效果。

表 B.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

注 3：如果采取一种以上防护措施，P_{TU}取各个相应值的乘积。

表 B.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
考虑了注 4 的情况	0.005 ～ 0.001

注 4：在各位置安装的 SPD(见 GB/T 21714.1—2015 表 A.3 中雷电流概率分布的相关资料，以及GB/T 21714.1—2015 附录 E 和 GB/T 21714.4—2015 的附录 D 中雷电流分流的相关资料)，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)，P_{EB}的值可能会更小。上述附录内容也适用于具有更高 P_{EB}的 SPD。

表 B.8　概率 P_{LD}与电缆屏蔽层电阻 R_S 和设备耐冲击电压 U_W 的关系

线路类型	布线、屏蔽及等电位连接		设备耐冲击电压 U_W(kV) 与概率 P_{LD}的取值				
			1	1.5	2.5	4	6
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 Ω/km < R_S≤20 Ω/km	1	1	0.95	0.9	0.8
		1 Ω/km < R_S≤5 Ω/km	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1
		R_S≤1 Ω/km	0.6	0.4	0.2	0.04	0.02

注 5：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 Ω/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 Ω/km～5 Ω/km。国家委员会可能会改进该信息以更好地符合本国的供电线路和通信线路的实际情况。

B.7 雷击线路导致物理损害的概率 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。

注：无需按照 GB/T 21714.4—2015 要求采用协调配合的 SPD 系统以减小 P_V。在此情况下，按照GB/T 21714.3—2015 的要求安装 SPD 就足够了。

P_V值计算如下：

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad \cdots\cdots (B.9)$$

式中：

P_{EB}——取决于符合 GB/T 21714.3—2015 要求的防雷等电位连接(EB)、以及设计 SPD 所依据的雷电防护等级(LPL)。表 B.7 给出了 P_{EB}的值；

P_{LD}——雷击线路导致内部系统失效的概率，取决于线路的特性。表 B.8 给出了 P_{LD}的值；

C_{LD}——取决于线路的屏蔽、接地和隔离条件的因子。表 B.4 给出了 C_{LD}的值。

B.8 雷击线路导致内部系统失效的概率 P_W

雷击入户线路导致内部系统失效的概率 P_W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_W的值计算见式(B.10)：

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad \cdots\cdots (B.10)$$

式中：

P_{SPD}——取决于符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统、以及设计 SPD 所依据的雷电防护等级(LPL)。表 B.3 给出了对应的 P_{SPD}值；

P_{LD} ——雷击线路导致内部系统失效的概率，取决于线路的特性。表 B.8 给出了 P_{LD}的值；

C_{LD} ——取决于线路的屏蔽、接地和隔离条件的因子。表 B.4 出了 C_{LD}的值。

B.9 雷击入户线路附近导致内部系统失效的概率 P_Z

雷击入户线路附近导致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 的值计算见式(B.11)：

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad \cdots\cdots (B.11)$$

式中：

P_{SPD}——取决于符合 GB/T 21714.4—2015 要求的协调配合的 SPD 系统、以及设计 SPD 所依据的雷电防护等级(LPL)。表 B.3 给出了对应的 P_{SPD}值；

P_{LI} ——雷击线路附近导致内部系统失效的概率，取决于线路和设备的特性。表 B.9 给出了 P_{LI}的值；

C_{LI} ——取决于线路的屏蔽、接地和隔离条件的因子。表 B.4 给出了 C_{LI}的值。

表 B.9　概率 P_{LI} 与线路类型和设备耐冲击电压额定值 U_W 的关系

线路类型	设备耐冲击电压 U_W(kV) 与概率 P_{LI} 的取值				
	1	1.5	2.5	4	6
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

注：供电线路 P_{LI} 更精确的估算方法参见 IEC/TR 62066:2002[11]，通信线路参见 ITU-T K.46[10]。

附 录 C
（资料性附录）
建筑物中各种损失率 L_X 的估算

C.1 概述

建筑物中各种损失率 L_X 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由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。

注 1：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。

注 2：建议采用本附录给出的公式作为计算 L_X 的主要方法。

C.2 每次危险事件的平均损失率

损失率 L_X 是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。根据损害的程度及后果，损失率 L_X 与考虑的损失类型有关：

——L1（人身伤亡损失，包括永久性伤害）：危及人员（受害者）数量；

——L2（公众服务损失）：得不到服务的用户数量；

——L3（文化遗产损失）：危及建筑物及内存物的经济价值；

——L4（经济价值损失）：危及的动物、建筑物（包括业务活动）、内存物及内部系统的经济价值。

而对每一类损失，又依损害类型（D1、D2 和 D3）有不同的损失率。

宜对建筑物的各个分区确定 L_X。

C.3 人身伤亡损失（L1）

按照表 C.1 可以确定每个分区的损失率 L_X，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，引入了增长因子（h_z）和缩减因子（r_t、r_p 和 r_f）；

——分区中损失率的最大值随该区域中人员数目（n_z）与整个建筑物中人员总数目（n_t）的比率减小而减小；

——人员每年在分区中停留的小时数（t_z）如果少于 8 760 h，损失率也将减小。

表 C.1 损失类型 L1：每个分区的损失率

损害类型	典型损失	公式
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8\,760$	（C.1）
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z/8\,760$	（C.2）
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8\,760$	（C.3）
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t \times t_z/8\,760$	（C.4）

式中：

L_T——一次危险事件导致受害者遭电击伤害(D1)的典型平均相对量(见表 C.2)；

L_F——一次危险事件导致受害者遭物理损害(D2)的典型平均相对量(见表 C.2)；

L_O——一次危险事件导致受害者因内部系统失效遭受伤害(D3)的典型平均相对量(见表 C.2)；

r_t ——由土壤或地板表面类型决定的减少人身伤亡损失的缩减因子(见表 C.3)；

r_p ——由防火措施决定的减少物理损害导致损失的缩减因子(见表 C.4)；

r_f ——由建筑物的火灾危险或爆炸危险决定的减小物理损害导致损失的缩减因子(见表 C.5)；

h_z ——特殊危险出现时，物理损害导致的人身伤亡损失的增加因子(见表 C.6)；

n_z ——分区中的人数；

n_t ——建筑物中的总人数；

t_z ——人员每年在分区中停留的小时数。

表 C.2　损失类型 L1：L_T、L_F 和 L_O 的典型平均值

损害类型	典型损失率		建筑物类型
D1 人和动物电击伤害	L_T	10^{-2}	所有类型
D2 物理损害	L_F	10^{-1}	有爆炸危险
		10^{-1}	医院、旅馆、学校、民居
		5×10^{-2}	公众娱乐场所、教堂、博物馆
		2×10^{-2}	工业、商业
		10^{-2}	其他
D3 内部系统失效	L_O	10^{-1}	有爆炸危险
		10^{-2}	医院的 ICU 病房和手术室
		10^{-3}	医院其他部分

注 1：表 C.2 中的数值特指持续停留在建筑物里面的人员数量。

注 2：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 来计算总损失 L_{FT}。

$$L_{FT} = L_F + L_E \qquad \cdots\cdots (C.5)$$

其中，

$$L_E = L_{FE} \times t_e / 8\,760 \qquad \cdots\cdots (C.6)$$

式中：

L_{FE}——建筑物外部物理损害造成的损失；

t_e ——人员出现在建筑物外部危险区域的时间。

注 3：如果 L_{FE} 和 t_e 的数值未知，宜假定 $L_{FE} \times t_e / 8\,760 = 1$。

表 C.3　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/kΩ[b]	缩减因子 r_t
农地、混凝土	≤1	10^{-2}
大理石、陶瓷	1～10	10^{-3}

表 C.3（续）

土壤或地板表面类型[a]	接触电阻/kΩ[b]	缩减因子 r_t
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 C.4 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
[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 分钟之内赶到时。	

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，$r_p=1$ 。

表 C.5 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	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	10^{-1}
	一般	10^{-2}
	低	10^{-3}
爆炸或火灾	无	0

注 4：建筑物具有爆炸危险时，可能需要更精确地计算 r_f。

注 5：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、或消防负荷大 800 MJ/m^2 的建筑物，都视为具有高火灾危险的建筑物。

注 6：消防负荷为 400 MJ/m^2～ 800 MJ/m^2 的建筑物视为具有一般火灾危险的建筑物。

注 7：消防负荷小于 400 MJ/m^2 的建筑物、或建筑物仅含有小量易燃材料，视为具有低火灾危险的建筑物。

注 8：消防负荷是指建筑物内全部易燃物质的能量与建筑物总的表面积之比。

注 9：对于本部分，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：

a） 爆炸物质存放的时间小于 0.1 小时/年；

b） 根据 IEC 60079-10-1[2] 和 IEC 60079-10-2[3]，爆炸气体的量可以忽略；

c） 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。

注 10：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做了过电压防护来避免危险火花时，注 9 中的条件 c）得到满足。

表 C.6　特殊危险出现时导致损失相对量增加的因子 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 ～ 1 000 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 1 000 人的文化体育活动场馆)	10

C.4　不可接受的公众服务损失(L2)

按照表 C.7 可以确定每个分区的损失率 L_X,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);

——分区中损失率的最大值应随该区域中用户数目(n_z)与整个建筑物中用户总数目(n_t)的比率减小而减小。

表 C.7　损失类型 L2:每个分区的损失率

损害类型	典型损失率	公式
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z / n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t$	(C.8)

式中:

L_F——一次危险事件引起物理损害(D2)导致服务中断的用户数量的典型平均相对量(见表 C.8);

L_O——一次危险事件引起内部内部系统失效(D3)导致服务中断的用户数量的典型平均相对量(见表 C.8);

r_p——由防火措施决定的减少物理损害导致损失的因子(见表 C.4);

r_f——由火灾危险程度决定的减小物理损害导致损失的因子(见表 C.5);

n_z——分区中的服务用户数目;

n_t——建筑物中的服务用户总数目。

表 C.8　损失类型 L2:L_F 和 L_O 的典型平均值

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

C.5 不可恢复的文化遗产损失(L3)

按照表 C.9 可以确定每个分区的损失率 L_X,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,考虑到这一点,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。

表 C.9 损失类型 L3:每个分区的损失率

损害类型	典型损失率	公式
D2 物理损害	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

式中:

L_F——一次危险事件引起物理损害(D2)导致文物损毁价值的典型平均相对量(见表 C.10);

r_p——由防火措施决定的减少物理损害导致损失的因子(见表 C.4);

r_f——由火灾危险程度决定的减小物理损害导致损失的因子(见表 C.5);

c_z——分区中的文化遗产价值;

c_t——建筑物及其内存物的总价值(所有分区的总和)。

表 C.10 损失类型 L3: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 物理损害	L_F	10^{-1}	博物馆、美术馆

C.6 经济价值损失(L4)

按照表 C.11 可以确定每个分区的损失率 L_X,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,考虑到这一点,引入了缩减因子(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(人和动物电击伤害):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(内部系统失效):c_s(仅考虑内部系统及其所支持的各种业务活动的价值)

表 C.11 损失类型 L4:每个分区的损失率

损害类型	典型损失率	公式
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t$[a]	(C.10)

表 C.11（续）

损害类型	典型损失率	公式
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t$[a]	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$[a]	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t$[a]	(C.13)
[a] 如果按照 6.10 的要求用附录 D 进行风险评估，在式(C.10)～式(C.13)中只需考虑比率 c_a/c_t、$(c_a+c_b+c_c+c_s)/c_t$ 和 c_s/c_t。在使用与表 4 一致的代表性风险 R_4 容许值的情况下，上述比率可不考虑，采用数值 1 代替。		

式中：

L_T——一次危险事件导致动物遭电击伤害(D1)的典型平均相对量(见表 C.12)；

L_F——一次危险事件导致货物遭物理损害(D2)的典型平均相对量(见表 C.12)；

L_O——一次危险事件导致货物因内部系统失效遭受损失(D3)的典型平均相对量(见表 C.12)；

r_t——由土壤或地板表面类型决定的减少动物伤亡损失的因子(见表 C.3)；

r_p——由防火措施决定的减少物理损害导致损失的因子(见表 C.4)；

r_f——由火灾危险决定的减小物理损害导致损失的因子(见表 C.5)；

c_a——分区中动物的价值；

c_b——分区建筑物的价值；

c_c——分区中内存物的价值；

c_s——分区中内部系统及其所支持的各种业务活动的价值；

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)。

表 C.12　损失类型 L4：L_T、L_F 和 L_O 的典型平均值

损害类型	典型损失率		建筑物类型
D1 人和动物电击伤害	L_T	10^{-2}	仅有动物的所有类型
D2 物理损害	L_F	1	有爆炸危险
		0.5	医院、工业、博物馆、农业
		0.2	旅馆、学校、办公楼、教堂、公共娱乐场所、商业
		10^{-1}	其他
D3 内部系统失效	L_O	10^{-1}	有爆炸危险
		10^{-2}	医院、工业、办公楼、旅馆、商业
		10^{-3}	博物馆、农业、学校、教堂、公共娱乐场所
		10^{-4}	其他

注 1：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}。

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad \text{……(C.14)}$$

式中：

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad \text{……(C.15)}$$

L_{FE}——建筑物外部物理损害造成的损失；

c_e ——建筑物外部危险区域中货物的总价值。

注 2：如果 L_{FE} 值未知，宜假定 $L_{FE} = 1$。

附 录 D
（资料性附录）
损失成本的估算

某个分区中的损失成本 C_{LZ} 可由下式估算：

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

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 ——建筑物的总价值(动物、建筑、内存物、内部系统及其业务活动)。

无防护措施时建筑物中成本的总损失 C_L 可以由下式估算：

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

式中：

$R_4 = \Sigma R_{4Z}$——无防护措施时建筑物的经济价值损失风险。

有防护措施时，某个分区中的残余损失成本 C_{RLZ} 可用下式估算：

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

式中：

R'_{4Z}——有防护措施时该分区中的经济价值损失风险。

有防护措施时建筑物中残余损失总成本 C_{RL} 可用下式估算：

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

式中：

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

防护措施的年成本 C_{PM} 可用下式计算：

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

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：

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

如果每年节约资金 $S_M > 0$，则采取防护措施是合理的。

附 录 E
（资料性附录）
建筑物评估实例

E.1 概述

在本附录中，以乡村房屋、办公楼、医院、公寓楼为例作评估，以说明：

——如何计算风险并确定是否需要防护；

——各个风险分量对总风险的贡献；

——不同防护措施对减轻风险的作用；

——从不同的防护方案中选择最经济方案的方法。

注：本附录给出了所有实例的假定数据。本附录旨在提供风险计算的有关资料，通过实例说明本部分使用原则，并不意味着这是所有设施或系统中存在的唯一状况。

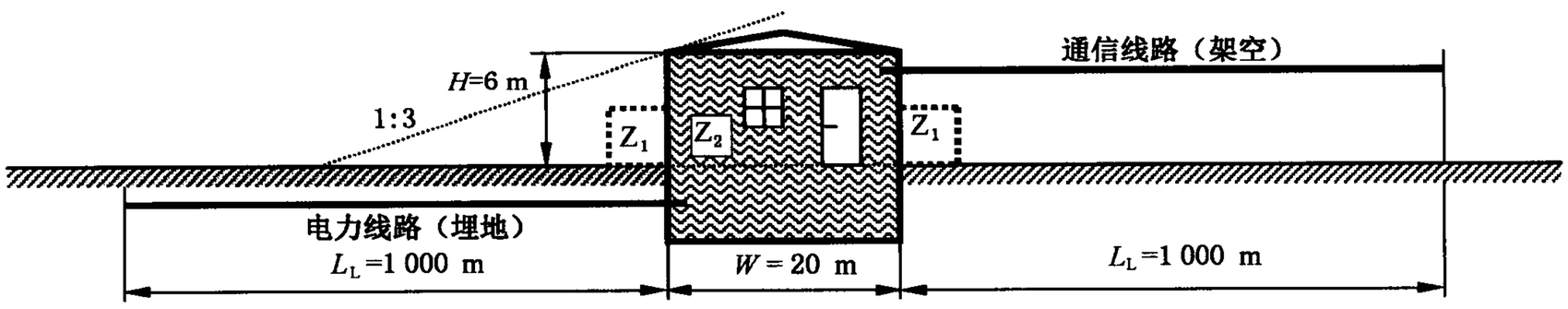
E.2 乡村房屋

第一个评估实例考虑乡村房屋（图 E.1）。

与此类建筑物相关的损失为人身伤亡损失（L1）与经济价值损失（L4）。

需要评估是否需作防雷保护。这意味着需要根据表 2 计算各风险分量 R_A、R_B、R_U和 R_V 以确定人身伤亡损失（L1）风险 R_1，并与表 4 中的风险容许值 $R_T = 10^{-5}$进行比较，以选择减轻此类风险的适当防护措施。

当业主决定不需要进行经济评估时，不考虑经济价值损失（L4）的风险 R_4。



分区

Z_1：户外

Z_2：户内

图 E.1 乡村房屋

E.2.1 相关数据及特性

乡村房屋位于平地上，周围没有相邻建筑物。雷击大地密度 $N_G = 4$ 次/(km^2 · a)。房屋中居住人数为 5 人，这也是需要被考虑到的人口总数，因为假定了雷雨时没有人在户外。

表 E.1 给出了房屋本身及其周围环境的数据；

表 E.2 给出了入户供电线路及其相连内部系统的数据，表 E.3 给出了入户通信线路及其相连内部系统的数据。

表 E.1 建筑物的特性及周围环境

输入参数	说明	符号	数值	出处
雷击大地密度/[次/(km² · a)]	—	N_G	4.0	—
建筑物尺寸/m	—	L,W,H	15,20,6	—
建筑物的位置因子	孤立建筑	C_D	1	表 A.1
LPS	无	P_B	1	表 B.2
等电位连接	无	P_{EB}	1	表 B.7
外部空间屏蔽	无	K_{SI}	1	公式(B.5)

表 E.2 供电线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度[a]/m	—	L_L	1 000	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	低压线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	农村	C_E	1	表 A.4
线路屏蔽	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽，接地，孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—
建筑物的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	2.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.4	公式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.3	表 B.9
[a] 由于线路长度 L_L 未知，故假设 L_L = 1 000 m(见 A.4 和 A.5)。				

表 E.3 通信线路(TLC)

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度[a]/m	—	L_L	1 000	—
线路安装因子	架空	C_I	1	表 A.2
线路类型因子	通信线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	农村	C_E	1	表 A.4
线路屏蔽	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽，接地，孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	

表 E.3（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
毗邻建筑	无	L_J, W_J, H_J	—	—
建筑物的位置因子	孤立建筑	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	1.5	—
结果参数		K_{S4}	0.67	式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.5	表 B.9
[a] 由于线路长度 L_L 未知，故假设 L_L = 1 000 m(见 A.4 和 A.5)。				

E.2.2 乡村房屋的分区定义

可以定义两个主要分区：

——Z_1 区(户外)；

——Z_2 区(户内)。

假设户外无人员活动，Z_1 区的人员遭受雷击风险 $R_A = 0$。由于 R_A 是户外的唯一风险分量，Z_1 区可以完全忽略。

建筑物内部只定义了一个 Z_2 区，考虑到：

——供电和通信两个内部系统都延伸至整个建筑物；

——无空间屏蔽；

——建筑物是单一的防火隔间；

——假设所有建筑物中的损失率都是可以确定的，并按表 C.1 计算典型平均值。

Z_2 区中的有效因子见表 E.4。

表 E.4 Z_2 区(户内)的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
防电击措施(雷击建筑物)		无	P_{TA}	1	表 B.1
防电击措施(雷击线路)		无	P_{TU}	1	表 B.6
火灾危险		低	r_f	10^{-3}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(环路导体在同一导管中)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(大环路>10 m^2)	K_{S3}	1	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3

表 E.4（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
L1：人身伤亡损失	特殊危险：无	h_z	1	表 C.6
	D1：由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
	D2：由物理损害造成	L_F	10^{-1}	
	D3：由内部系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 5/5 \times 8\ 760/8\ 760$	—	1	—
	结果参数	L_A	10^{-7}	式(C.1)
		L_U	10^{-7}	式(C.2)
		L_B	10^{-4}	式(C.3)
		L_V	10^{-4}	式(C.3)

E.2.3 相关量的计算

表 E.5 和表 E.6 分别给出截收面积以及预计年危险事件次数的计算结果。

表 E.5 建筑物和线路的截收面积

	符号	结果(m^2)	参考公式	计算公式
建筑物	A_D	2.58×10^3	(A.2)	$A_D = L\times W + 2\times(3\times H)\times(L + W)+\pi\times(3\times H)^2$
	A_M	—	(A.7)	不相关
供电线路	$A_{L/P}$	4.00×10^4	(A.9)	$A_{L/P} = 40\times L_L$
	$A_{I/P}$	4.00×10^6	(A.11)	$A_{L/P} = 4\ 000\times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	没有毗邻建筑物
通信线路	$A_{L/T}$	4.00×10^4	(A.9)	$A_{L/T} = 40\times L_L$
	$A_{I/T}$	4.00×10^6	(A.11)	$A_{L/T} = 4\ 000\times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0	(A.2)	没有毗邻建筑物

表 E.6 预计年危险事件次数

	符号	结果(次/a)	参考公式	计算公式
建筑物	N_D	1.03×10^{-2}	(A.4)	$N_D = N_G\times A_D\times C_D\times10^{-6}$
	N_M	—	(A.6)	不相关

表 E.6（续）

	符号	结果(次/a)	参考公式	计算公式
供电线路	$N_{L/P}$	8.00×10^{-2}	(A.8)	$N_{L/P}=N_G\times A_{L/P}\times C_{I/P}\times C_{E/P}\times C_{T/P}\times10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8.00	(A.10)	$N_{I/P}=N_G\times A_{I/P}\times C_{I/P}\times C_{E/P}\times C_{T/P}\times10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	没有毗邻建筑物
通信线路	$N_{L/T}$	1.60×10^{-1}	(A.8)	$N_{L/T}=N_G\times A_{L/T}\times C_{I/T}\times C_{E/T}\times C_{T/T}\times10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.10)	$N_{I/T}=N_G\times A_{I/T}\times C_{I/T}\times C_{E/T}\times C_{T/T}\times10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	0	(A.5)	没有毗邻建筑物

E.2.4 风险 R_1：确定是否需要防雷

按照式(1)，R_1为下列分量之和：

$$R_1=R_A+R_B+R_{U/P}+R_{V/P}+R_{U/T}+R_{V/T}$$

根据表 6 对各风险分量进行计算。

表 E.7 给出了各相关风险分量和总风险的计算结果。

表 E.7 无防护建筑物的风险 R_1(数值 $\times10^{-5}$)

损害类型	符号	Z_1	Z_2	建筑物
D1 人和动物伤害	R_A	—	≈0	≈ 0
	$R_U=R_{U/P}+R_{U/T}$	—	0.002	0.002
D2 物理损害	R_B	—	0.103	0.103
	$R_V=R_{V/P}+R_{V/T}$	—	2.40	2.40
总风险		—	2.51	$R_1=2.51$
容许值		$R_1>R_T$：需要进行防雷保护		$R_T=1$

因为 $R_1=2.51\times10^{-5}$高于风险容许值 $R_T=10^{-5}$，需要对建筑物进行防雷保护。

E.2.5 风险 R_1：防护措施的选择

根据表 E.7，风险 R_1的主要贡献来自：

——分量 R_V(雷击线路)占 96%；

——分量 R_B(雷击建筑物)占 4%。

为了把风险 R_1降低到容许值下，宜考虑能减小 R_V和 R_B的防护措施，合适的措施有：

a) 线路入口处安装防雷级别为Ⅳ级的 SPD(防雷等电位连接)，以保护房屋的供电和电话线路。根据表 B.7，采取这种措施后 P_{EB}的值从 1 降到 0.05(由于线路连接的 SPD)，P_U和 P_V的值也同样降低 20 倍；

b) 安装Ⅳ类 LPS(包括强制性的防雷等电位连接)，按照表 B.2 和表 B.7，采取这种措施后 P_B值从 1 降到 0.2，P_{EB}的值从 1 降到 0.05(由于线路连接的 SPD)，P_U和 P_V 的值也同样降低 20 倍。

把这些数值代入公式中，得到新的风险分量值，如表 E.8 所示。

表 E.8　采取防护措施后风险 R_1 的各种风险分量值

损害类型	符号	措施 a)的结果 (数值×10^{-5})	措施 b)的结果 (数值×10^{-5})
D1 人和动物电击伤害	R_A	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	≈ 0	≈ 0
D2 物理损害	R_B	0.103	0.021
	R_V	0.120	0.120
合计	R_1	0.223	0.141

防护措施的选择由经济和技术条件决定。

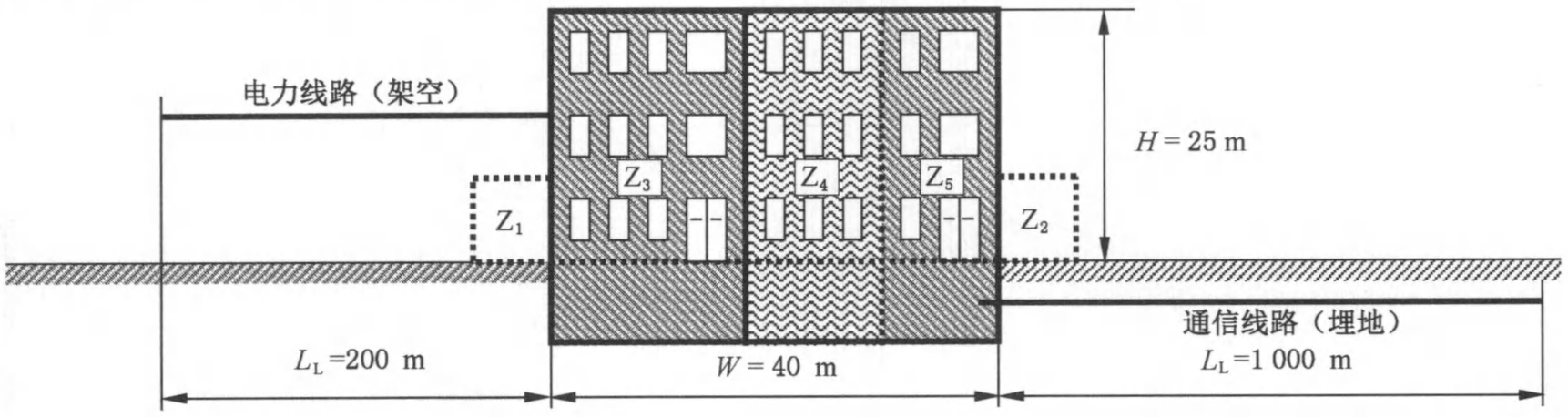
E.3　办公楼

第二个评估实例考虑一个带有档案室、办公室和计算机中心的办公楼(图 E.2)。

人身伤亡损失(L1)和经济价值损失(L4)与这种类型的建筑物有关。

需要评估是否需作防雷保护。这意味着需要根据表 2 计算各风险分量 R_A、R_B、R_U和 R_V 以确定人身伤亡损失(L1)风险 R_1,并与表 4 中的风险容许值 $R_T = 10^{-5}$进行比较。为把风险减小到/或小于风险容许值,需要选择适当的防护措施。

由于业主决定不需要进行经济评估,不考虑经济价值损失(L4)的风险 R_4。



分区

Z_1:入口(户外)

Z_2:花园(户外)

Z_3:档案室

Z_4:办公室

Z_5:计算机中心

图 E.2　办公楼

E.3.1　相关数据和特性

办公楼位于平地上且周边无任何相邻建筑物。雷击大地密度 $N_G = 4$ 次/(km^2 · a)。

表 E.9 给出了办公楼本身及其周围环境的数据。

表 E.10 给出了入户供电线路及其相连内部系统的数据,表 E.11 给出了入户通信线路及其相连内部系统的数据。

表 E.9　建筑物的特性及周围环境

输入参数	说明	符号	数值	出处
雷击大地密度/[次/(km² · a)]	—	N_G	4.0	—
建筑物尺寸/m	—	L,W,H	20,40,25	—
建筑物的位置因子	孤立	C_D	1	表 A.1
LPS	无	P_B	1	表 B.2
等电位连接	无	P_{EB}	1	表 B.7
外部空间屏蔽	无	K_{SI}	1	式(B.5)

表 E.10　供电线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	200	—
线路安装因子	架空	C_I	1	表 A.2
线路类型因子	低压线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	农村	C_E	1	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽,接地,孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—
毗邻建筑的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	2.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.4	式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.3	表 B.9

表 E.11　通信线路(TLC)

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	1 000	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	通信线	C_T	1	表 A.3
环境因子	农村	C_E	1	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽,接地,孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—

表 E.11（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
毗邻建筑的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	1.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.67	式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.5	表 B.9

E.3.2 办公楼的分区定义

划分为以下分区：

——Z_1（户外入口区域）；

——Z_2（户外花园）；

——Z_3（档案室）；

——Z_4（办公室）；

——Z_5（计算机中心）。

考虑到以下因素：

——户外入口区域、花园和建筑物内部的地表类型不同；

——建筑物分为两个隔离的防火分区：第一个是档案室（Z_3 区），第二个是办公室和计算机中心（Z_4 区和 Z_5 区）；

——在所有内部分区 Z_3、Z_4 和 Z_5 中，存在既与通信线路还与供电线路相连的内部系统；

——无空间屏蔽。

在办公楼内外各分区内应考虑的总人数为 200。

每个分区的人员数量及其停留时间的经济价值是不同的。单独各区的人数分布在表 E.12 中给出，这些值随后将被用于各个区的总损失值的细分。

表 E.12 各区的人员分布

区域	人数	停留时间/h
Z_1（户外入口区域）	4	8 760
Z_2（户外花园）	2	8 760
Z_3（档案室）	20	8 760
Z_4（办公室）	160	8 760
Z_5（计算机中心）	14	8 760
总数	$n_t = 200$	—

经防雷设计人员的估算，整个建筑物与 R_1 相关的年损失率相对量（见表 C.1）的典型平均值为：

——$L_T = 10^{-2}$ 建筑物外：

——$L_T = 10^{-2}$ 建筑物内；

——$L_F = 0.02$ 归类为“商业建筑”。

根据某个独立区中有潜在危险的人员数与所考虑的建筑物中的总人员数之比，已经对各区这些全

局性的值做了相应的减小。

表 E.13～表 E.17 给出了 Z_1 到 Z_5 的特性值。

表 E.13　Z_1 区(户外入口区域)的有效因子

输入参数	说明	符号	数值	出处
地面类型	大理石	r_t	10^{-3}	表 C.3
防电击措施	无	P_{TA}	1	表 B.1
火灾危险	无	r_f	0	表 C.5
防火措施	无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽	无	K_{S2}	1	式(B.6)
L1:人身伤亡损失	特殊危险:无	h_z	1	表 C.6
	D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
	D2:由物理损害造成	L_F	—	
	D3:由内部系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 =$ 4/200× 8 760/8 760	—	0.02	—

表 E.14　Z_2 区(户外花园)的有效因子

输入参数	说明	符号	数值	出处
地面类型	草地	r_t	10^{-2}	表 C.3
防电击措施	篱笆	P_{TA}	0	表 B.1
火灾危险	无	r_f	0	表 C.5
防火措施	无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽	无	K_{S2}	1	式(B.6)
L1:人身伤亡损失	特殊危险:无	h_z	1	表 C.6
	D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
	D2:由物理损害造成	L_F	—	
	D3:由内部系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 =$ 2/200× 8 760/8 760	—	0.01	—

表 E.15　Z_3 区(档案室)的有效因子

输入参数	说明	符号	数值	出处
地面类型	油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
防电击措施(雷击建筑物)	无	P_{TA}	1	表 B.1
防电击措施(雷击线路)	无	P_{TU}	1	表 B.6
火灾危险	高	r_f	10^{-1}	表 C.5

表 E.15（续）

输入参数		说明	符号	数值	出处
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(在同一导管回路导体)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(大回路>10 m^2)	K_{S3}	1	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1:人身伤亡损失		特殊危险:低恐慌	h_z	2	表 C.6
		D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2:由物理损害造成	L_F	0.02	
		D3:由内部系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 =$ 20/200×8 760/8 760	—	0.10	—

表 E.16　Z_4 区(办公室)的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
防电击措施(雷击建筑物)		无	P_{TA}	1	表 B.1
防电击措施(雷击线路)		无	P_{TU}	1	表 B.6
火灾危险		低	r_f	10^{-3}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(在同一导管回路导体)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(大回路>10 m^2)	K_{S3}	1	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1:人身伤亡损失		特殊危险:低恐慌	h_z	2	表 C.6
		D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2:由物理损害造成	L_F	0.02	
		D3:由电气和电子系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 =$ 160/200×8 760/8 760	—	0.80	—

表 E.17　Z_5 区(计算机中心)的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
防电击措施(雷击建筑物)		无	P_{TA}	1	表 B.1
防电击措施(雷击线路)		无	P_{TU}	1	表 B.6
火灾危险		低	r_f	10^{-3}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(在同一导管回路导体)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(大回路>10 m^2)	K_{S3}	1	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1:人身伤亡损失		特殊危险:低恐慌	h_z	2	表 C.6
		D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2:由物理损害造成	L_F	0.02	—
		D3:由电气和电子系统失效造成	L_O	—	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 =$ $14/200 \times 8\,760/8\,760$	—	0.07	—

E.3.3　相关量的计算

表 E.18 和表 E.19 分别给出截收面积以及预计年危险事件次数的计算结果。

表 E.18　建筑物和线路的截收面积

	符号	结果/m^2	参考公式	计算公式
建筑物	A_D	2.75×10^4	(A.2)	$A_D = L\times W + 2\times(3\times H)\times(L+W) + \pi\times(3\times H)^2$
	A_M	—	(A.7)	不相关
供电线路	$A_{L/P}$	8.00×10^3	(A.9)	$A_{L/P} = 40\times L_L$
	$A_{I/P}$	8.00×10^5	(A.11)	不相关
	$A_{DA/P}$	0	(A.2)	没有毗邻建筑物
通信线路	$A_{L/T}$	4.00×10^4	(A.9)	$A_{L/P} = 40\times L_L$
	$A_{I/T}$	4.00×10^6	(A.11)	不相关
	$A_{DA/T}$	0	(A.2)	没有毗邻建筑物

表 E.19　预计年危险事件次数

	符号	结果/(次/a)	参考公式	计算公式
建筑物	N_D	1.10×10^{-1}	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	—	(A.6)	不相关
供电线路	$N_{L/P}$	3.20×10^{-2}	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	3.20	(A.10)	不相关
	$N_{DA/P}$	0	(A.5)	没有毗邻建筑物
通信线路	$N_{L/T}$	8.00×10^{-2}	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	8.00	(A.10)	不相关
	$N_{DA/T}$	0	(A.5)	没有毗邻建筑物

E.3.4　风险 R_1:确定是否需要防雷

表 E.20 给出了无防护措施建筑物的各风险分量的计算结果。

表 E.20　无防护措施建筑物的风险 R_1(数值 $\times10^{-5}$)

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	建筑物
D1 人和动物电击伤害	R_A	0.002	0	≈ 0	0.001	≈ 0	0.003
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	—	—	≈ 0	0.001	≈ 0	0.001
D2 物理损害	R_B	—	—	4.395	0.352	0.031	4.778
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	—	—	4.480	0.358	0.031	4.870
总数		0.002	0	8.876	0.712	0.062	$R_1 = 9.65$
容许值		$R_1 > R_T$:需要进行防雷保护			$R_T = 1$		

因为 $R_1 = 9.65\times10^{-5}$ 高于风险容许值 $R_T = 10^{-5}$,所以需要对建筑物进行防雷保护。

E.3.5　风险 R_1:防护措施的选择

由表 E.20 可看出,建筑物的风险 R_1 主要集中于 Z_3 区中,是由雷电击中建筑物或线路导致物理损害引起的(分量 $R_B \approx 49\%$,$R_V \approx 50\%$,两者共占总风险的 99%)。

这些主要风险分量可以通过以下途径降低:

——为整个建筑物提供符合 GB/T 21714.3—2015 要求的 LPS ,通过减小概率 P_B 从而降低分量 R_B。在入口处进行防雷等电位连接(LPS 的强制性要求)也可减小概率 P_{EB} 从而降低分量 R_U 和 R_V;

——为 Z_3 区(档案室)提供防火措施(比如灭火器,火灾自动监测系统等)。通过减小缩减因子 r_p 从而降低分量 R_B 和 R_V;

——在建筑物入口处安装符合 GB/T 21714.3—2015 要求的防雷等电位连接,通过减小概率 P_{EB} 从而降低分量 R_U 和 R_V。

综合了这些防护措施的不同因素,可以采取以下解决方案:

方案 a)：

——安装符合 GB/T 21714.3—2015 的Ⅲ类 LPS 保护建筑物，以降低分量 R_B（P_B = 0.1）。

——LPS 包括了强制在入口处采取防雷等电位措施且安装有按Ⅲ级防雷等级（P_{EB} = 0.05）设计的 SPD，以降低分量 R_U 和 R_V。

方案 b)：

——安装符合 GB/T 21714.3—2015 的Ⅳ类 LPS 保护建筑物，以降低分量 R_B（P_B = 0.2）。

——LPS 包括了强制在入口处采取防雷等电位措施且安装有按Ⅲ级防雷等级（P_{EB} = 0.05）设计的 SPD，以降低分量 R_U 和 R_V。

——使用灭火系统或火灾监测系统降低 R_B 和 R_V。在 Z_3（档案室）区安装手动灭火系统（r_p = 0.5）。

采用上述方案后，表 E.20 中各区的风险值将被降低，降低后的值见表 E.21。

表 E.21　两种防护方案得出的 R_1 值（数值 $\times 10^{-5}$）

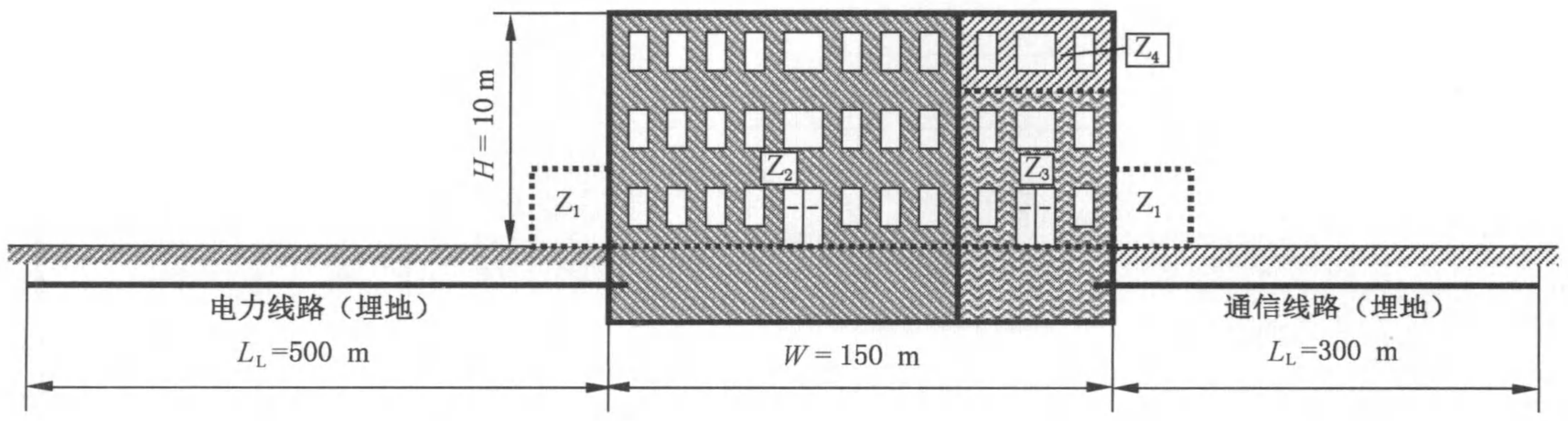
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	合计	容限	结果
方案 a)	≈ 0	0	0.664	0.053	0.005	R_B = 0.722	R_T = 1	$R_1 \leqslant R_T$
方案 b)	≈ 0	0	0.552	0.089	0.008	R_B = 0.648	R_T = 1	$R_1 \leqslant R_T$

两种解决方案都能把风险降低到了容许值之下。至于采取那种解决方案，应在技术准则与防护措施是否经济合理之间取得最佳折中。

E.4　医院

本例为一间标准的医院（图 E.3），内有病房、手术室和重症监护室，是一个更加复杂的案例。

可能出现的损失包括人身伤亡损失（L1）和经济价值损失（L4）。有必要评估是否需要作防雷保护的需求以及防护措施是否经济合理，因此要计算风险 R_1 和 R_4。



分区

Z_1：户外

Z_2：病房

Z_3：手术室

Z_4：重症监护室

图 E.3　医院

E.4.1 相关数据和特性

医院位于平地上且周边无任何相邻建筑物。雷击大地密度 $N_G=4$ 次/(km^2 · a)。

表 E.22 给出了医院本身及其周围环境的数据。

表 E.23 给出了入户供电线路及其相连内部系统的数据，表 E.24 给出了入户通信线路及其相连内部系统的数据。

表 E.22 建筑物的特性及周围环境

输入参数	说明	符号	数值	出处
雷击大地密度/[次/(km^2 · a)]	—	N_G	4.0	—
建筑物尺寸/m	—	L,W,H	50,150,10	—
建筑物的位置因子	孤立	C_D	1	表 A.1
LPS	无	P_B	1	表 B.2
等电位连接	无	P_{EB}	1	表 B.7
外部空间屏蔽情况	无	K_{SI}	1	式(B.5)

表 E.23 供电线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	500	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	高压电 (配备高压/低压变压器)	C_T	0.2	表 A.3
环境因子	郊区	C_E	0.5	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	屏蔽线路与设备在同一等电位连接排接地	R_S	$R_S\leqslant 1$	表 B.8
屏蔽，接地，孤立	屏蔽线路与设备在同一等电位连接排接地	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	0	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—
毗邻建筑的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	2.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.4	式(B.7)
		P_{LD}	0.2	表 B.8
		P_{LI}	0.3	表 B.9

表 E.24　通信线路(TLC)

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	300	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	通信线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	郊区	C_E	0.5	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	屏蔽线路与设备在同一等电位连接排接地	R_S	$1<R_S\leqslant5$	表 B.8
屏蔽,接地,孤立	屏蔽线路与设备在同一等电位连接排接地	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	0	
毗邻建筑	长度,宽度,高度	L_J,W_J,H_J	20,30,5	—
毗邻建筑的位置因子	无	C_{DJ}	1	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	1.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.67	式(B.7)
		P_{LD}	0.8	表 B.8
		P_{LI}	0.5	表 B.9

E.4.2　医院的分区定义

确定下列主要区域:

——Z_1(户外);

——Z_2(病房);

——Z_3(手术室);

——Z_4(重症监护室)。

考虑到因素:

——建筑物内外地表类型不同;

——建筑物分为两个防火分区:第一个是病房(Z_2 区),第二个是手术室和重症监护室(Z_3 区和 Z_4 区);

——在所有内部区域 Z_2、Z_3 和 Z_4 中,存在既与通信线路还与供电线路相连的内部系统;

——无空间屏蔽;

——重症监护室内部有大量敏感的电子系统,可能要采取空间屏蔽措施。

在医院内外各分区内应考虑的总人数为 1 000。

每个分区的人员数量及其停留时间的经济价值是不同的。单独各区的人数分布在表 E.25 中给出,这些值随后将被用于各个区的总损失值的细分。

表 E.25　各区的人数分布

分区	人数	停留时间 (h/a)	经济价值(数值×10^6,以美元计)				
			动物 c_a	建筑物 c_b	内存物 c_c	内部系统 c_s	合计 c_t
Z_1(户外)	10	8 760	—	—	—	—	—
Z_2(病房)	950	8 760	—	70	6	3.5	79.5
Z_3(手术室)	35	8 760	—	2	0.9	5.5	8.4
Z_4(重症监护室)	5	8 760	—	1	0.1	1.0	2.1
总数	n_t= 1 000	—	0	73	7	10	90.0

对于风险 R_1,经防雷设计人员估算,根据表 C.2 得出的基本损失率(典型年均损失相对量)和根据表 C.6 得出的特殊危险的增加因子为:

——L_T= 10^{-2}　　户外的 Z_1 区;

——L_T= 10^{-2}　　户内的 Z_2 区、Z_3 区、Z_4 区;

——L_F= 10^{-1}　　户内的 Z_2 区、Z_3 区、Z_4 区;

——h_z= 5　　户内的 Z_2 区、Z_3 区、Z_4 区,人员疏散困难;

——L_O= 10^{-3}　　户内的 Z_2 区(病房);

——L_O= 10^{-2}　　户内的 Z_3 区(手术室)和 Z_4 区(重症监护室)。

考虑到某个独立区中有潜在危险的人员数与所考虑的建筑物中的总人员数之比和人员停留时间,根据表 C.1 中的式(C.1)～式(C.4)已经对每个区的这些基本损失率作了相应的减小。

对于风险 R_4,根据表 C.12 得出的基本损失率为:

——L_T= 0　　没有动物处于危险中;

——L_F= 0.5　　户内的 Z_2 区、Z_3 区、Z_4 区;

——L_O= 10^{-2}　　户内的 Z_2 区、Z_3 区、Z_4 区。

考虑到某个独立区中有潜在危险的价值与建筑物总价值(动物、建筑、内存物、内部系统及其支持的业务活动)之比,根据表 C.11 中的式(C.11)～式(C.14)中的公式对各分区的基本损失值作了减少。每个分区中有潜在危险的价值取决于损害类型:

——D1(人和动物电击伤害):只有动物的 c_a 值;

——D2(物理损害):c_a、c_b、c_c、c_s 值的和;

——D3(内部系统失效):只有内部系统及其支持的业务活动的值 c_s。

Z_1～ Z_4 区的特性值在表 E.26 ～表 E.29 中给出。

表 E.26　Z_1 区(户外)的有效因子

输入参数	说明	符号	数值	出处
地面类型	混凝土	r_t	10^{-2}	表 C.3
电击防护措施	无	P_{TA}	1	表 B.1
火灾危险	无	r_f	0	表 C.5
防火措施	无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽	无	K_{S2}	1	式(B.6)

表 E.26（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
L1：人身伤亡损失	特殊危险：无	h_z	1	表 C.5
	D1：由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
	D2：由物理损害造成	L_F	0	
	D3：由内部系统失效造成	L_O	0	
分区中的人员因子	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 10/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	—	0.01	—

表 E.27　Z_2 区（病房）的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
电击防护措施（雷击建筑物）		无	P_{TA}	1	表 B.1
电击防护措施（雷击线路）		无	P_{TU}	1	表 B.9
火灾危险		一般	r_f	10^{-2}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽（回路导体在同一导管）	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽（回路导体在同一线缆）	K_{S3}	0.01	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1：人身伤亡损失		特殊危险：疏散困难	h_z	5	表 C.6
		D1：由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2：由物理损害造成	L_F	10^{-1}	
		D3：由内部系统失效造成	L_O	10^{-3}	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 950/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	—	0.95	—
L4：经济价值损失		D2：由物理损害造成	L_F	0.5	表 C.12
		D2：因子 $(c_a+c_b+c_c+c_s)/c_t = 79.5/90$	—	0.883	
		D3：由内部系统失效造成	L_O	10^{-2}	
		D3：因子 $c_s/c_t = 3.5/90$	—	0.039	

表 E.28　Z_3 区（手术室）的有效因子

输入参数	说明	符号	数值	出处
地面类型	油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
电击防护措施（雷击建筑物）	无	P_{TA}	1	表 B.1
电击防护措施（雷击线路）	无	P_{TU}	1	表 B.9

表 E.28（续）

输入参数		说明	符号	数值	出处
火灾危险		低	r_f	10^{-3}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(回路导体在同一导管)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(回路导体在同一线缆)	K_{S3}	0.01	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1:人身伤亡损失		特殊危险:疏散困难	h_z	5	表 C.6
		D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2:由物理损害造成	L_F	10^{-1}	
		D3:由内部系统失效造成	L_O	10^{-2}	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 35/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	—	0.035	—
L4:经济价值损失		D2:由物理损害造成	L_F	0.5	表 C.12
		D2:因子$(c_a + c_b + c_c + c_s)/c_t = 8.4/90$	—	0.093	
		D3:由内部系统失效造成	L_O	10^{-2}	
		D3:因子 $c_s/c_t = 5.5/90$	—	0.061	

表 E.29 Z_4 区(重症监护室)的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		油毡	r_t	10^{-5}	表 C.3
电击防护措施(雷击建筑物)		无	P_{TA}	1	表 B.1
电击防护措施(雷击线路)		无	P_{TU}	1	表 B.9
火灾危险		低	r_f	10^{-3}	表 C.5
防火措施		无	r_P	1	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部线路	无屏蔽(回路导体在同一导管)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部线路	无屏蔽(回路导体在同一线缆)	K_{S3}	0.01	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1:人身伤亡损失		特殊危险:疏散困难	h_z	5	表 C.6
		D1:由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2:由物理损害造成	L_F	10^{-1}	
		D3:由内部系统失效造成	L_O	10^{-2}	

表 E.29（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
分区中的人员因子	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 5/1\ 000 \times 8\ 760/8\ 760$	—	0.005	—
L4:经济价值损失	D2:由物理损害造成	L_F	0.5	表 C.12
	D2:因子$(c_a+c_b+c_c+c_s)/c_t = 2.1/90$	—	0.023	
	D3:由内部系统失效造成	L_O	10^{-2}	
	D3:因子 $c_s/c_t = 1.0/90$	—	0.011	

E.4.3 相关量的计算

表 E.30 和表 E.31 分别给出截收面积以及预计年危险事件次数的计算结果。

表 E.30 建筑物和线路的截收面积

	符号	结果/m^2	参考公式	计算公式
建筑物	A_D	2.23×10^4	(A.2)	$A_D = L\times W + 2\times(3\times H)\times(L+W)+\pi\times(3\times H)^2$
	A_M	9.85×10^5	(A.7)	$A_M = 2\times500\times(L+W)+\pi\times500^2$
供电线路	$A_{L/P}$	2.00×10^4	(A.9)	$A_{L/P} = 40\times L_L$
	$A_{I/P}$	2.00×10^6	(A.11)	$A_{L/P} = 4\ 000\times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	没有毗邻建筑物
通信线路	$A_{L/T}$	1.20×10^4	(A.9)	$A_{L/P} = 40\times L_L$
	$A_{I/T}$	1.20×10^6	(A.11)	$A_{L/P} = 4\ 000\times L_L$
	$A_{DJ/T}$	2.81×10^3	(A.2)	$A_{DJ/T} = L_J\times W_J+2\times(3\times H_J)\times(L_J+W_J)+\pi\times(3\times H_J)^2$

表 E.31 预计年危险事件次数

	符号	结果/(次/a)	参考公式	计算公式
建筑物	N_D	8.93×10^{-2}	(A.4)	$N_D = N_G\times A_{D/B}\times C_{D/B}\times10^{-6}$
	N_M	3.94	(A.6)	$N_M = N_G\times A_M\times10^{-6}$
供电线路	$N_{L/P}$	4.00×10^{-3}	(A.8)	$N_{L/P} = N_G\times A_{L/P}\times C_{I/P}\times C_{E/P}\times C_{T/P}\times10^{-6}$
	$N_{I/P}$	4.00×10^{-1}	(A.10)	$N_{I/P} = N_G\times A_{I/P}\times C_{I/P}\times C_{E/P}\times C_{T/P}\times10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	没有毗邻建筑物
通信线路	$N_{L/T}$	1.20×10^{-2}	(A.8)	$N_{L/T} = N_G\times A_{L/T}\times C_{I/T}\times C_{E/T}\times C_{T/T}\times10^{-6}$
	$N_{I/T}$	1.20	(A.10)	$N_{I/T} = N_G\times A_{I/T}\times C_{I/T}\times C_{E/T}\times C_{T/T}\times10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	1.12×10^{-2}	(A.5)	$N_{DJ/T} = N_G\times A_{DJ/T}\times C_{DJ/T}\times C_{T/T}\times10^{-6}$

E.4.4 风险 R_1:确定是否需要防雷

表 E.32 和表 E.33 分别给出了无防护措施建筑物的概率 P_X和各风险分量的计算结果。

表 E.32　无防护措施建筑物的概率 P_X

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	参考公式	计算公式
D1 人和动物 电击伤害	P_A	1	1			—	—
	$P_{U/P}$	—	0.2			—	—
	$P_{U/T}$	—	0.8			—	—
D2 物理损害	P_B	—	1			—	—
	$P_{V/P}$	—	0.2			—	—
	$P_{V/T}$	—	0.8			—	—
D3 内部系统失效	P_C	—	1			(14)	$P_C=1-(1-P_{C/P})\times(1-P_{C/T})$ $=1-(1-1)\times(1-1)$
	P_M	—	0.006 4			(15)	$P_M=1-(1-P_{M/P})\times(1-P_{M/T})$ $=1-(1-0.006\ 4)\times(1-0.000\ 04)$
	$P_{W/P}$	—	0.2			—	—
	$P_{W/T}$	—	0.8			—	—
	$P_{Z/P}$	—	0			—	—
	$P_{Z/T}$	—	0			—	—

表 E.33　无防护措施建筑物的风险 R_1(数值×10^{-5})

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物
D1 人和动物电击伤害	R_A	0.009	0.000 9	≈ 0	≈ 0	0.010
	$R_U=R_{U/P}+R_{U/T}$	—	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 物理损害	R_B	—	42.4	0.156	0.022	42.6
	$R_V=R_{V/P}+R_{V/T}$	—	9.21	0.034	0.005	9.245
D3 内部系统失效	R_C	—	8.484	3.126	0.447	12.057
	R_M	—	2.413	0.889	0.127	3.429
	$R_W=R_{W/P}+R_{W/T}$	—	1.841	0.678	0.097	2.616
	$R_Z=R_{Z/P}+R_{Z/T}$	—	—	—	—	—
总数		0.009	64.37	4.89	0.698	$R_1=$ 69.96
容许值		$R_1>R_T$:需要进行防雷保护				$R_T=$ 1

因为 $R_1=$ 69.96×10^{-5}高于风险容许值 $R_T=10^{-5}$,需要对建筑物进行防雷保护。

E.4.5　风险 R_1:防护措施的选择

影响风险 R_1 的主要因素(见表 E.33):

——Z_2区的物理损害(分量 R_B 和 R_V 分别约占总风险的 61% 和 13%);

——Z_2区和 Z_3 区的内部系统失效(分区对应的分量 R_C 分别约占总风险的 12% 和 5%)。

这些主要风险分量可以通过以下途径降低:

——为整个建筑物安装符合 GB/T 21714.3—2015 要求的 LPS,通过减小概率 P_B 从而降低分量 R_B。

在入口处安装强制性要求的防雷等电位连接，通过减小概率 P_{EB} 从而降低分量 R_U 和 R_V；

——为 Z_2 区提供防火措施（比如灭火器，火灾自动监测系统等）。通过缩减因子 r_p 降低分量 R_B 和 R_V；

——在 Z_3 区和 Z_4 区的内部供电和通信系统上安装符合 GB/T 21714.4—2015 的协调配合的 SPD，通过减小概率 P_{SPD} 从而降低分量 R_C、R_M 和 R_W；

——在 Z_3 区和 Z_4 区安装符合 GB/T 21714.4—2015 的合适的格栅型空间屏蔽，通过减小概率 P_M 从而降低分量 R_M。

综合了这些防护措施的不同因素，可以采取以下解决方案：

方案 a)：

——为建筑物安装 I 类 LPS（$P_B = 0.02$，$P_{EB} = 0.01$）；

——在 Z_2、Z_3、Z_4 区内部供电和通信系统上安装标称放电电流为 I 级防雷等级（LPL）规定的电流峰值 1.5 倍的协调配合的 SPD 进行保护，使其 $P_{SPD} = 0.005$；

——在 Z_2 区安装自动防火系统（Z_2 区的 r_p 值仅为 0.2）；

——在 Z_3 区和 Z_4 区安装 $w_m = 0.5$ m 的屏蔽网格。

采用上述方案后，表 E.33 中的风险值将被降低，降低后的值见表 E.34。

表 E.34　采取方案 a）后风险 R_1（数值 $\times 10^{-5}$）

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物
D1 人和动物电击伤害	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	—	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 物理损害	R_B	—	0.170	0.003	≈ 0	0.173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	—	0.018	≈ 0	≈ 0	0.018
D3 内部系统失效	R_C	—	0.085	0.031	0.004	0.12
	R_M	—	0.012	≈ 0	≈ 0	0.012
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$	—	0.009	0.003	≈ 0	0.004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$	—	—	—	—	—
合计		≈ 0	0.294	0.038	0.005	$R_1 = 0.338$
容许值		$R_1 < R_T$：对此类损失，建筑物的防护是足够的				$R_T = 1$

方案 b)：

——为建筑物安装 I 类 LPS（$P_B = 0.02$，$P_{EB} = 0.01$）；

——在 Z_2、Z_3、Z_4 区内部供电和通信系统上安装标称放电电流为 I 级防雷等级（LPL）规定的电流峰值 3 倍的协调配合 SPD 进行保护，使其 $P_{SPD} = 0.001$；

——在 Z_2 区安装自动防火系统（Z_2 区的 r_p 值仅为 0.2）。

采用上述方案后，表 E.33 中的风险值将被降低，降低后的值见表 E.35。

表 E.35　采取方案 b）后风险 R_1（数值 $\times 10^{-5}$）

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物
D1 人和动物电击伤害	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	—	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0

表 E.35（续）

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物
D2 物理损害	R_B	—	0.170	0.003	0.001	0.174
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	—	0.018	≈0	≈0	0.018
D3 内部子系统失效	R_C	—	0.017	0.006	0.001	0.024
	R_M	—	0.002	0.001	≈ 0	0.003
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$	—	0.002	0.001	≈ 0	0.003
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$	—	—	—	—	—
合计		≈ 0	0.209	0.011	0.002	$R_1 = 0.222$
容许值		$R_1 < R_T$：对此类损失，建筑物的防护是足够的				$R_T = 1$

方案 c)：

——为建筑物安装 I 类 LPS($P_B = 0.02$，$P_{EB} = 0.01$)；

——在 Z_2、Z_3、Z_4 区内部供电和通信系统上安装标称放电电流为 I 级防雷等级(LPL)规定的电流峰值 2 倍的协调配合 SPD 进行保护，使其 $P_{SPD} = 0.002$；

——在 Z_2 区安装自动防火系统(Z_2 区的 r_p 值仅为 0.2)；

——在 Z_3 和 Z_4 区安装 $w_m = 0.1$ m 的屏蔽网格。

采用上述方案后，表 E.33 中的风险值将被降低，降低后的值见表 E.36。

表 E.36　采取方案 c)后风险 R_1(数值 $\times 10^{-5}$)

损害类型	符号	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物
D1 人和动物电击伤害	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	—	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 物理损害	R_B	—	0.170	0.003	≈0	0.173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$	—	0.018	≈0	≈0	0.018
D3 内部系统失效	R_C	—	0.034	0.012	0.002	0.048
	R_M	—	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$	—	0.004	0.001	≈ 0	0.005
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$	—	—	—	—	—
合计		≈ 0	0.226	0.016	0.002	$R_1 = 0.244$
容许值		$R_1 < R_T$：对此类损失，建筑物的防护是足够的				$R_T = 1$

三种解决方案都能把风险降低到了容许值之下。至于采取哪种解决方案，应在技术准则与防护措施是否经济合理之间取得最佳折中。

E.4.6　风险 R_4：成本效益分析

经济价值损失 L4 对应的风险 R_4 可以通过先前同样的方法计算出来。评估各风险分量所需要的所有参数在表 E.22～E.29 中给出，其中只有涉及经济价值损失 L4 的损失率 L_X 才是有效的。因此相

关的只有 Z_2、Z_3、Z_4区，而 Z_1区可以忽略不计(只有跟动物损失有关时才有效)。

表 E.25 中给出每个分区及总的经济价值(动物、楼房、内部系统及其支持的业务活动)。

对于风险值 R_4、R'_4以及建筑物的总价值 $c_t = 90 \times 10^6$美元(表 E.25)，可以计算出无防护时建筑物年损失成本 $C_L = R_4 \times c_t$和受保护时建筑物的年损失成本 $C_{RL} = R'_4 \times c_t$[见式(D.2)和(D.4)]。计算结果见表 E.37。

表 E.37　损失成本 C_L(无防护)和 C_{RL}(受保护)

防护	风险 R_4(数值$\times 10^{-5}$)					损失成本(以美元计)
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	建筑物	C_L 或 C_{RL}
无防护	—	53.2	8.7	1.6	63.5	57 185
方案 a)	—	0.22	0.07	0.01	0.30	271
方案 b)	—	0.18	0.02	0.005	0.21	190
方案 c)	—	0.19	0.03	0.007	0.23	208

表 E.38 中给出防护措施的利率、折旧率以及维护费率的假定值。

表 E.38　与防护措施有关的比率

比率	符号	数值
利率	i	0.04
折旧率	a	0.05
维护费率	m	0.01

表 E.39 中列出了采取防护措施后的成本 C_P，以及方案 a)、方案 b)和方案 c)中所采取的防护措施的年均费用 C_{PM}[见式(D.5)]。

表 E.39　防护措施的成本 C_P 和年均费用 C_{PM}(以美元计)

防护措施	C_P	$C_{PM} = C_P \times (i+a+m)$		
		方案 a)	方案 b)	方案 c)
Ⅰ类 LPS	100 000	10 000	10 000	10 000
Z_2 区自动防火系统	50 000	5 000	5 000	5 000
Z_3 和 Z_4 区格栅型屏蔽(w=0.5 m)	100 000	10 000	—	—
Z_3 和 Z_4 区格栅型屏蔽(w=0.1 m)	110 000	—	—	11 000
电源系统上的 SPD(1.5×LPL Ⅰ)	20 000	2 000	—	—
电源系统上的 SPD(2×LPL Ⅰ)	24 000	—	—	2 400
电源系统上的 SPD(3×LPL Ⅰ)	30 000	—	3 000	—
电信系统上的 SPD(1.5×LPL Ⅰ)	10 000	1 000	—	—
电信系统上的 SPD(2×LPL Ⅰ)	12 000	—	—	1 200
电信系统上的 SPD(3×LPL Ⅰ)	15 000	—	1 500	—
总的年费用 C_{PM}		28 000	19 500	29 600

通过比较无防护建筑物的年均损失值 C_L 以及采取防护措施后的残余损失值 C_{RL} 与防护措施的年均费用 C_{PM} 之和可以计算出年均节省费用 S_M。根据方案 a)、方案 b)和方案 c)计算出的结果见表 E.40。

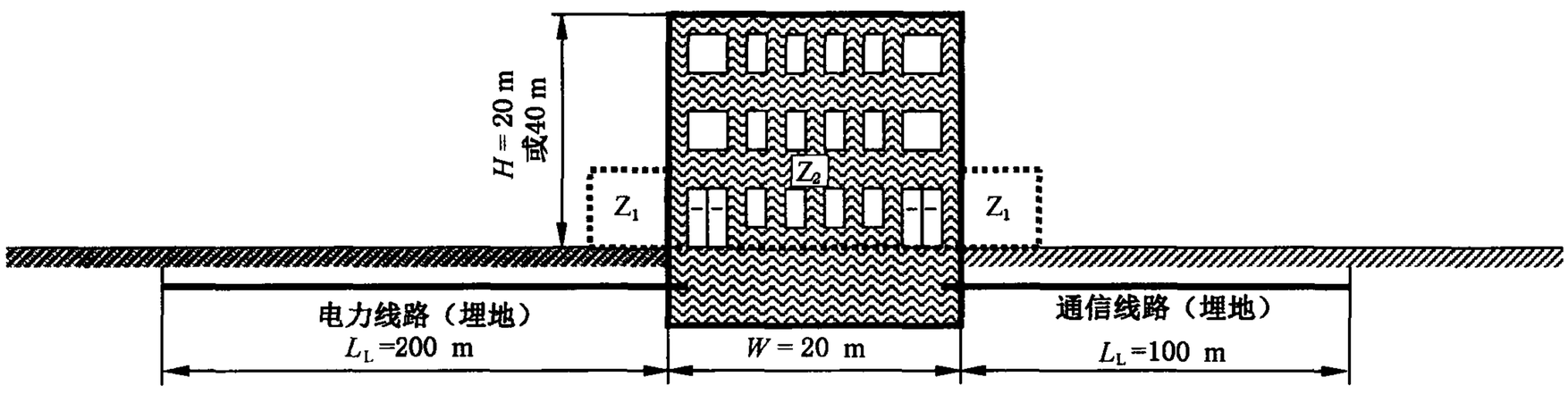
表 E.40　年均节省费用(以美元计)

	符号	按照方案 a)保护	按照方案 b)保护	按照方案 c)保护
建筑物无防护措施的损失	C_L	57 185	57 185	57 185
建筑物有防护措施的残余损失	C_{RL}	271	190	208
防护措施的年均费用	C_{PM}	28 000	19 500	29 600
年均节省费用： $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	28 914	37 495	27 377

E.5　公寓楼

本评估实例比较公寓楼(图 E.4)不同的雷电防护方案。研究结果表明有些方案可能并不是没有效果,但是可以从不同防护措施的组合中选择合适的解决方案。

只需根据表 2 计算各风险分量 R_A、R_B、R_U 和 R_V 以确定人身伤亡损失(L1)风险 R_1,并与表 4 中的风险容许值 $R_T = 10^{-5}$ 进行比较。由于不需要对经济做评估,因此不考虑经济价值损失(L4)的风险 R_4。



分区

Z_1:户外

Z_2:户内

图 E.4　公寓楼

E.5.1　相关数据和特性

公寓楼位于平地上且周边没有相邻建筑物。雷击大地密度 $N_G = 4$ 次/(km^2 · a)。楼里住有 200 个人,这也是需要被考虑到的人员总数,因为假定了雷暴期间无人在户外。

公寓楼本身及其周围环境的数据见表 E.41;

表 E.42 给出了入户供电线路及其相连内部系统的数据,表 E.43 给出了入户通信线路及其相连内部系统的数据。

表 E.41　建筑物的特性及周围环境

输入参数	说明	符号	数值	出处
雷击大地密度/[次/(km^2 · a)]	—	N_G	4.0	—
建筑物尺寸/m	H = 20 或 40(表 E.45)	L,W	30,20	—

表 E.41（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
建筑物的位置因子	孤立建筑物	C_D	1	表 A.1
LPS	变化的(表 E.45)	P_B	—	表 B.2
等电位连接	无	P_{EB}	1	表 B.7
外部空间屏蔽	无	K_{S1}	1	式(B.5)

表 E.42 供电线路

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	200	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	低压线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	郊区	C_E	0.5	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽,接地,孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—
毗邻建筑物的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	2.5	—
	结果参数	K_{S4}	0.4	式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.3	表 B.9

表 E.43 通信线路(TLC)

输入参数	说明	符号	数值	出处
长度/m	—	L_L	100	—
线路安装因子	埋地	C_I	0.5	表 A.2
线路类型因子	通信线路	C_T	1	表 A.3
环境因子	郊区	C_E	0.5	表 A.4
线路屏蔽/(Ω/km)	无屏蔽	R_S	—	表 B.8
屏蔽,接地,孤立	无	C_{LD}	1	表 B.4
		C_{LI}	1	
毗邻建筑	无	L_J,W_J,H_J	—	—
毗邻建筑的位置因子	无	C_{DJ}	—	表 A.1
内部系统的耐冲击电压/kV	—	U_W	1.5	—

表 E.43（续）

输入参数	说明	符号	数值	出处
	结果参数	K_{S4}	0.67	式(B.7)
		P_{LD}	1	表 B.8
		P_{LI}	0.5	表 B.9

E.5.2 公寓楼的分区定义

划分为以下主要的区域：

—— Z_1 区(户外)；

—— Z_2 区(户内)。

假设户外无人员活动，Z_1 区的人员遭受电击风险 $R_A = 0$。由于 R_A 是建筑物外的唯一风险分量，Z_1 区可以完全忽略不计。

建筑物内部只定义了一个 Z_2 区，考虑到以下因素：

——此建筑物被归类为“民用建筑物”；

——该分区存在两种内部系统(供电和通信)；

——无空间屏蔽；

——建筑物是单一的防火隔间；

——各种损失率假定为对应表 C.1 所列典型平均值。

Z_2 区的有效因子见表 E.44。

表 E.44 Z_2 区(户内)的有效因子

输入参数		说明	符号	数值	出处
地面类型		木地板	r_t	10^{-5}	表 C.3
电击防护措施(雷击建筑物)		无	P_{TA}	1	表 B.1
电击防护措施(雷击线路)		无	P_{TU}	1	表 B.6
火灾危险		变化的(表 E.45)	r_f	—	表 C.5
防火措施		变化的(表 E.45)	r_P	—	表 C.4
内部空间屏蔽		无	K_{S2}	1	式(B.6)
供电	内部布线	无屏蔽(回路导体在同一导管)	K_{S3}	0.2	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
通信	内部布线	无屏蔽(大回路>10 m^2)	K_{S3}	1	表 B.5
	协调配合的 SPD	无	P_{SPD}	1	表 B.3
L1：人身伤亡损失		特殊危险：无	h_z	1	表 C.6
		D1：由接触和跨步电压造成	L_T	10^{-2}	表 C.2
		D2：由物理损害造成	L_F	10^{-1}	
分区中的人员因子		$n_z/n_t \times t_z/8\,760 = 200/200 \times 8\,760/8\,760$	—	1	—

E.5.3 风险 R_1:防护措施的选择

风险 R_1 的值和所选的将风险降低到风险容许值 $R_T = 10^{-5}$ 的防护措施在表 E.45 中给出,取决于以下参数:

——建筑物的高度 H;

——火灾危险缩减因子 r_f;

——减少火灾后果的缩减因子 r_p;

——概率 P_B 取决于选采用的 LPS 类别。

表 E.45 各种防护措施下公寓楼的风险 R_1

建筑物高度 H/m	火灾危险		LPS 类别		防火措施		风险 R_1(数值× 10^{-5})	建筑物是否受到保护($R_1 \leqslant R_T$)
	类型	r_f	类型	P_B	类型	r_p		
20	低	0.001	无	1	无	1	0.837	是
	一般	0.01	无	1	无	1	8.364	否
			Ⅲ	0.1	无	1	0.776	是
			Ⅳ	0.2	手工	0.5	0.747	是
	高	0.1	无	1	无	1	83.64	否
			Ⅱ	0.05	自动	0.2	0.764	是
			Ⅰ	0.02	无	1	1.553	否
			Ⅰ	0.02	手工	0.5	0.776	是
40	低	0.001	无	1	无	1	2.436	否
			无	1	自动	0.2	0.489	是
			Ⅳ	0.2	无	1	0.469	是
	一般	0.01	无	1	无	1	24.34	否
			Ⅳ	0.2	自动	0.2	0.938	是
			Ⅰ	0.02	无	1	0.475	是
	高	0.1	无	1	无	1	243.4	否
			Ⅰ	0.02	自动	0.2	0.949	是

参 考 文 献

[1] GB/T 17626.5—2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(IEC 61000-4-5:2005,IDT)

[2] GB 3836.14—2014 爆炸性环境 第14部分:场所分类 爆炸性气体环境(IEC 60079-10-1:2008,IDT)

[3] IEC 60079-10-2:2009 Explosive atmospheres—Part 10-2:Classification of areas - Combustible dust atmospheres

[4] GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验(IEC 60664-1:2007,IDT)

[5] GB/T 2900.35—2008 国际电工词汇 第426部分:爆炸性环境用设备(60050-426:2008,IDT)

[6] Official Journal of European Union 1994/28/02,n.C 62/63

[7] ITU-T Recommendation K.47 Protection of telecommunication lines using metallic conductors against direct lightning discharges

[8] NUCCI C.A., Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part 1:Ruturn stroke current models with specified channel-base current for the evaluation of return stroke electromagnetic fields CIGRE Electra No 161(August 1995)

[9] NUCCI C.A. Lightning induced overvoltages on overhead power lines Part Ⅱ:Coupling models for the evaluation of the induced voltages CIGRE Electra No 162(October 1995)

[10] ITU-T Recommendation K.46 Protection of telecommunication lines using metallic symetric conductors against lightning-induced surges

[11] IEC/TR 62066:2002 Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems—General basic information

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
雷电防护
第 2 部分：风险管理
GB/T 21714.2—2015/IEC 62305-2:2010
*
中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室：(010)68533533　发行中心：(010)51780238
读者服务部：(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230　1/16　印张 5.25　字数 138 千字
2015 年 10 月第一版　2015 年 10 月第一次印刷
*
书号：155066・1-52183　定价 69.00 元

如有印装差错　由本社发行中心调换
版权专有　侵权必究
举报电话：(010)68510107

GB/T 21714.2-2015