

区域雷击风险评估技术规范

Technical specification for regional lightning risk assessment

2025 - 07 - 03 发布

2025 - 11 - 01 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 风险因子 2

5 评估资料及业务流程 3

6 评估方法 4

7 风险等级判定 6

8 评估报告 7

9 报告有效期 7

附录 A（规范性） 区域雷击风险因子分级..... 8

附录 B（资料性） 区域雷击风险评估现场勘测..... 14

附录 C（资料性） 区域雷电环境评价..... 16

附录 D（资料性） 定量性指标隶属度计算..... 18

附录 E（资料性） 评估指标权重 ω 的确定..... 20

附录 F（资料性） 定量指标各分级区间的中间值..... 24

附录 G（资料性） 评估实例..... 25

参考文献 35

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DB31/T 910—2015《区域雷击风险评估技术规范》。与DB31/T 910—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 修改了范围及适用的评估对象（见第1章, 2015年版第1章）
- b) 修改了评估模型（见图1，2015年版图1）；
- c) 增加了评估资料（见5.1，2015年版4.1）；
- d) 修改了区域雷击风险评估流程图（图2，2015年版图2）
- e) 增加了区域雷击风险评估步骤（见6.1）；
- f) 修改了区域雷击风险指标差异的判定要求（见表1，2015年版表1）；
- g) 修改了区域雷击风险分级标准上下限区间（见表2，2015年版的表2）；
- h) 增加了评估报告内容的要求（见第8章）；
- i) 修改了雷电流强度分级标准（见表A.2，2015年版的表A.2）；
- j) 修改了使用性质分类对象（见表A.5，2015年版的表A.5）；
- k) 修改了电子系统分级对象（见表A.10，2015年版的表A.10）；
- l) 增加了土壤电阻率测量要求（见B.1.2）；
- m) 修改了测量方法（见B.1.3.2，2015年版B.1.2.2）；
- n) 增加了闪电定位监测资料提取面域要求（见表C.1，2015年版的表C.1）。

本文件由上海市气象局提出并组织实施。

本文件由上海市气象标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：上海华云实业有限公司、上海市气象灾害防御技术中心、上海市避雷装置检测站有限公司、上海市防雷协会。

本文件主要起草人：顾宇丹、何俊杰、杨清、严岩、牛利、肖锋、周颖、陈华晖、王强、唐宏科、王肃、杨震、陆彬。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015年首次发布为DB31/T 910—2015；

——本次为第一次修订。

区域雷击风险评估技术规范

1 范围

本文件规定了区域雷击风险评估的风险因子、评估材料及业务流程、评估方法、风险等级判定和报告有效期等技术要求。

本文件适用于上海市高速公路、轨道交通、大型桥梁、港口码头、交通枢纽、油气输送管道等重大公共服务设施，以及占地面积超过1 km²的规划功能性区域或长度超过2 km的狭长区域场所（如大型游乐场所、旅游景区、产业社区、工业园区、特色园区、大型居住社区）的区域雷击风险评估，也适用于其他相关主管部门认为需开展区域雷击风险评估的特殊区域的区域雷击风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 37047 基于雷电定位系统（LLS）的地闪密度 总则

3 术语和定义

GB/T 37047界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

区域雷击风险 regional lightning risk

在一定的区域范围内，由于雷击而引起的年平均可能损失量（含人员和财物）。

3.2

区域雷击风险评估 regional lightning risk assessment

根据雷电特性及其致灾机理，从雷电风险因子、地域风险因子和承灾体风险因子3个方面分析雷电对评估对象所造成的风险影响，并提出降低减低风险的措施。

3.3

地闪密度 lightning density

单位面积、单位时间的平均地闪次数。

[来源：GB/T 37047，3.1.1]

3.4

雷电流强度 lightning intensity

地闪放电时雷电流幅值。

3.5

安全距离 safety distance

表征评估对象区域周边1 km范围内是否有潜在影响评估区域安全的爆炸和火灾危险场所或建（构）筑物，由周边危险源（品）类别、可能的影响程度和物理距离共同决定。

3.6

相对高度 relative height

评估对象区域周边范围内建（构）筑物的平均高度与评估区域内建（构）筑物的平均高度，两者之间的一种相对关系。

注：项目区域周边泛指区域内所有建筑物外扩3倍高度后的宽度形成的最大边界范围。

3.7

人员密度 personnel density

评估对象区域内单位面积上可能活动的人员数量。

3.8

影响程度 influence

表征评估对象区域内遭受雷击后对评估区域周边的人员及设施可能造成的影响。

3.9

建筑密度 building density

评估区域内建（构）筑物基地面积的总和与评估区域总面积的比。

3.10

等效高度 equivalent height

评估对象区域内建（构）筑物的最高接闪高度，即建（构）筑物自身高度外加顶部具有影响接闪的设施高度。

3.11

区域雷电防护水平 regional lightning protection level

反映区域内建（构）筑物整体的雷电防护能力。

3.12

区域雷电环境评价 regional lightning environmental assessment

针对评估对象所在区域内历年地闪活动开展分析，得到区域地闪时空分布特征、雷电电磁环境风险等结论。

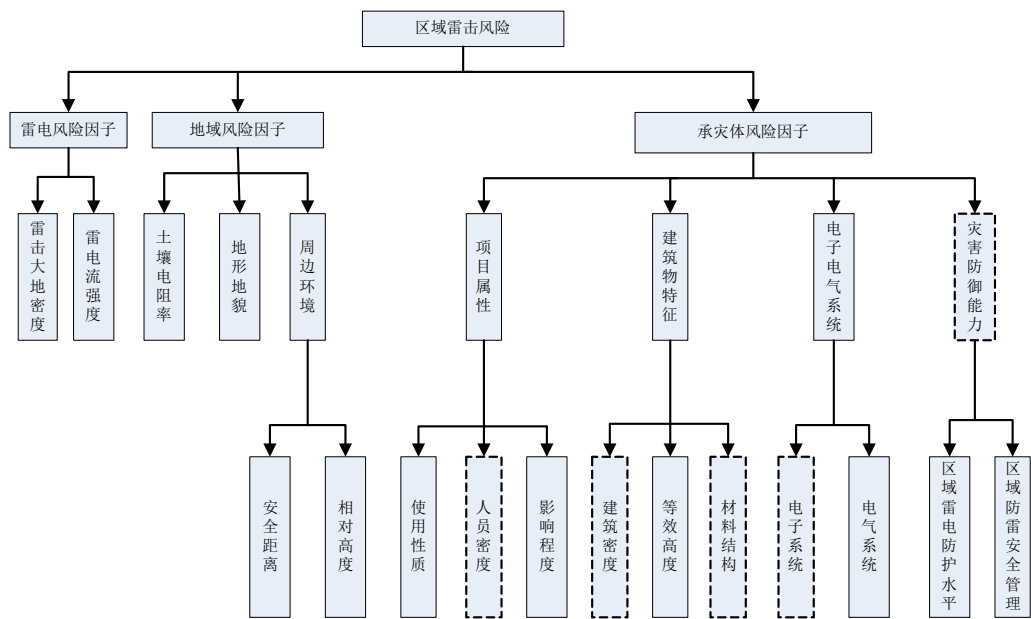
4 风险因子

4.1 风险因子构成

区域雷击风险由雷电风险、地域风险和承灾体风险三个因子构成，见图1。

4.2 风险因子层次结构

根据层级分析法的条理化、层次化原则，区域雷击风险评估的递阶层次模型如图1示，并根据图1得到更高层次的指标。



注：虚框为可选因子。

4.3 风险因子等级

根据对区域雷击风险的影响程度不同，将各风险因子分为I、II、III、IV、V由低到高的五个等级，具体分级标准应符合附录A的规定。

5 评估资料及业务流程

5.1 评估资料

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，宜收集包括但不限于以下资料：

- a) 评估对象的评估范围，包括区域范围和时间范围；
- b) 评估对象的建设方案、设计规划和使用性质等背景资料；
- c) 评估对象总平面图、地勘报告等；
- d) 评估对象附近 5 年（含）以上闪电定位系统数据和评估对象雷电灾害资料；
- e) 评估对象区域内现有企业基本信息及相关指标信息，如使用性质、人员密度、建筑物密度、等效高度、材料结构、电子系统和电气系统等；
- f) 评估对象的雷电防护、雷电灾害应急预案以及维护等防雷安全管理制度。

5.2 评估业务流程

评估业务流程见图2。

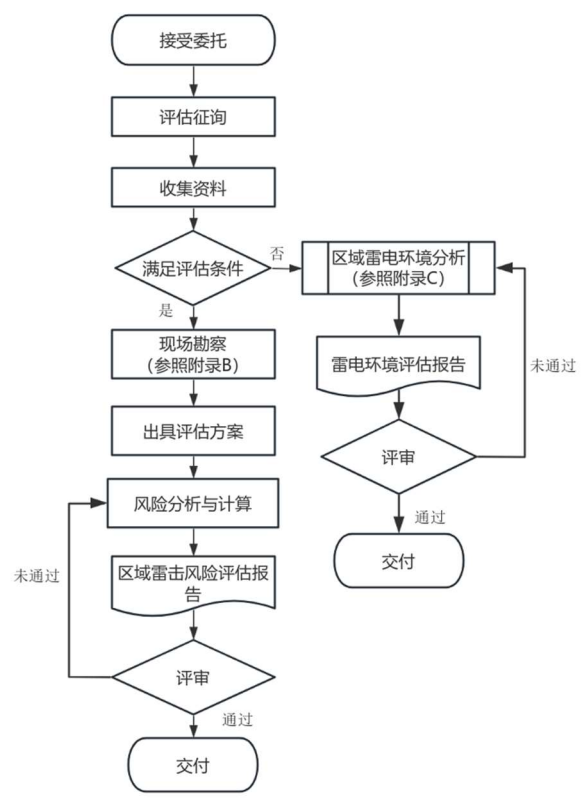


图2 区域雷击风险评估业务流程

6 评估方法

6.1 评估技术流程

区域雷击风险评估技术流程如下：

- a) 确定评估指标；
- b) 划分子区域；
- c) 建立层次结构模型；
- d) 评估指标隶属度分析；
- e) 确定权重；
- f) 计算区域雷击风险值。

6.2 评估指标因子获取方法

- 6.2.1 地闪密度、雷电流强度应通过闪电定位系统获取相关数据。
- 6.2.2 土壤电阻率的具体测试方法参照附录 B 的内容。
- 6.2.3 地形地貌应结合周边地形图、项目设计文本及现场勘察得出。
- 6.2.4 安全距离宜参照地图查询 1 km 范围内是否存在爆炸和火灾危险性场所，并实地勘察确认周边危险源（品）类别、可能的影响程度和物理距离。
- 6.2.5 相对高度宜参照地图和设计文本确定评估区域外有无其他较高的接闪物体，并实地勘察，具体应符合附录 A 的规定。

- 6.2.6 使用性质、人员密度、影响程度、建筑密度、等效高度、材料结构、电子系统、电气系统应通过项目设计文本或咨询委托方获得。
- 6.2.7 区域雷电防护水平应从评估对象建（构）物防雷装置检测报告中获得。
- 6.2.8 区域防雷安全管理应咨询委托方获得。

6.3 划分子区域

6.3.1 划分原则

当评估对象区域内雷电风险、地域环境和承灾体存在明显差异时，评估区域宜划分成不同的子区域。子区域占地面积宜大于0.25 km²或狭长区域长度宜大于1 km。

6.3.2 划分因素

评估对象子区域的划分应依次考虑以下指标：

- a) 地闪分布，考虑地闪密度指标的差异，该指标主要针对占地面积大于 5 km²的评估项目；
- b) 地域风险，考虑土壤电阻率、地形地貌及区域周边环境等指标；
- c) 建设项目形态特征，考虑平均高度指标；
- d) 建设项目属性，考虑使用性质指标；
- e) 雷电防护能力，考虑区域雷电防护水平指标，该指标主要针对已建的建设项目。

6.3.3 划分方法

按照6.3.2的优先级别，逐级分析各级因素对应的具体差异指标，指标差异的判定方法应符合表1规定。

表1 指标差异的判定要求

优先等级	影响因素名称	具体差异指标	判定条件
1	地闪分布	地闪密度	地闪密度超过整个项目区域平均值 1 倍及以上的
2	地域风险	土壤电阻率	土壤电阻率超过整个项目区域平均值 1 倍及以上
3		地形地貌	地形地貌跟其他区域存在明显差异
4		区域周边环境	周边环境跟其他区域存在明显差异
5	建设项目形态特征	平均高度	建（构）筑物的平均高度超过整个项目区域平均值 1 倍及以上的
6	建设项目属性	使用性质	建（构）筑物的使用性质跟其他区域存在明显差异
7	雷电防护能力	区域雷电防护水平	区域内建（构）筑物的雷电防护水平跟其他区域存在明显差异
注1：对于某个评估子区域而言，它在地理位置分布上可以是分散的，而不一定是连续的一片区域。			
注2：区域建（构）筑物的平均高度，指已建项目区域所提供的建筑物高度均值或未建项目区域限高均值。			
注3：明显差异指同类指标隶属等级差别达到三级及以上的情况。			

6.4 风险计算方法

6.4.1 指标因子分类

区域雷击风险评估指标因子分为定性指标和定量指标两大类：

- a) 定性指标包括：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、区域雷电防护水平和区域防雷安全管理；
- b) 定量指标包括极小型指标和极大型指标：
 - 1) 极小型指标：地闪密度、雷电流强度、人员密度、建筑密度和等效高度；

2) 极大型指标：土壤电阻率。

6.4.2 评估指标隶属度计算

6.4.2.1 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。

6.4.2.2 定性指标隶属度的确定

定性指标隶属度的确定方法是将收集资料、现场勘测后的具体情况与该定性指标的分级标准对比，符合某一个危险等级的描述，则完全隶属于该风险等级，即隶属度等于1。

6.4.2.3 定量指标隶属度的确定

定量指标隶属度应分别按极小型或极大型指标隶属度公式计算，参照附录D的内容。指向同一上层指标的各子指标隶属度构成隶属度矩阵R。

6.4.3 综合评估

区域雷击风险评估综合评估基本公式见公式（1），其权重大小可根据层次分析法确定，参照附录E和附录F的内容。

$$B = W \cdot R = (w_1, w_2, \dots, w_m) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m5} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5] \dots\dots\dots (1)$$

式中：

B ——综合评价矢量；

W ——评估指标的权重矢量；

R ——评估指标隶属度矢量。

6.4.4 综合评估结果计算

按公式（1）由第四层指标向第一层指标逐级计算得出“区域雷击风险”的隶属度向量，通过公式（2）得到综合评估结果 g 值：

$$g = 1 * b_1 + 3 * b_2 + 5 * b_3 + 7 * b_4 + 9 * b_5 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

g ——评估对象区域雷击风险值；

b_1 ——目标与评估等级I的隶属度；

b_2 ——目标与评估等级II的隶属度；

b_3 ——目标与评估等级III的隶属度；

b_4 ——目标与评估等级IV的隶属度；

b_5 ——目标与评估等级V的隶属度。

7 风险等级判定

参照表2对区域雷击风险值进行风险等级判定。 g 值越小代表区域内项目雷击致灾风险越低， g 值越大代表评估对象区域雷击风险越高。风险等级判定的具体示例见附录G。

表2 区域雷击风险分级

危险等级	分级标准
I级	综合评估 $0 < g < 2$ ，低风险，产生雷击灾害事故的可能性较小
II级	综合评估 $2 \leq g < 4$ ，较低风险，产生雷击灾害事故的可能性小
III级	综合评估 $4 \leq g < 6$ ，中等风险，产生雷击灾害事故的可能性较大
IV级	综合评估 $6 \leq g < 8$ ，较高风险，产生雷击灾害事故的可能性大
V级	综合评估 $8 \leq g < 10$ ，高风险，产生雷击灾害事故的可能性极大

8 评估报告

区域雷击风险评估报告应包括以下内容：

- a) 项目概况；
- b) 所应用资料的来源说明；
- c) 评估依据的标准和规范；
- d) 评估方法；
- e) 评估内容及过程；
- f) 区域雷击风险评估结论；
- g) 预防或者减轻雷击风险的建议。

9 报告有效期

评估报告有效期不应超过10年，报告期满后应根据新的气象资料重新进行评估。在报告有效期间评估对象出现重大雷电灾害并造成严重影响、区域规划有调整或者标准有重大修订，应重新开展区域雷击风险评估。

附录 A
(规范性)
区域雷击风险因子分级

A.1 雷电风险影响因子

A.1.1 地闪密度

地闪密度分级标准见表A.1。

表A.1 地闪密度分级

危险等级	I级	II级	III级	IV级	V级
地闪密度 次/(km ² ·a)	[0, 2.5)	[2.5, 5)	[5, 7.5)	[7.5, 10)	[10, ∞)
注：计算隶属度时，上限可取31 次/(km ² ·a)。					

A.1.2 雷电流强度

雷电流强度分级标准见表A.2。

表A.2 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, ∞)
注：雷电流强度隶属度可由评估对象所在区域的雷电流强度分布概率直接得出。					

A.2 地域风险影响因子

A.2.1 土壤电阻率

土壤电阻率分级标准见表A.3。

表A.3 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 Ω.m	[80, ∞)	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)
注：计算隶属度时，上限可取200 Ω.m。					

A.2.2 地形地貌

地形地貌分级标准见表A.4。

表A.4 地形地貌分级

危险等级	I级	II级	III级	IV级	V级
地形地貌	平原	水域面积占比 [5%, 20%)	水域面积占比 [20%, 60%)	水域面积占比 [60%, 100%)	旷野孤立或突出 区域

A.2.3 周边环境

A.2.3.1 安全距离

安全距离划分原则见下列标准。

- a) I 级不符合以下 II 级、III 级、IV 级、V 级的情况者。
- b) II 级满足下列条件之一者：
 - 1) 距离评估区域 100 m 内具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物；
 - 2) 距离评估区域 1000 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，因电火花而引起爆炸，会造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 3) 距离评估区域 500 m 内制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建（构）筑物，且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 4) 距离评估区域 500 m 内具有 2 区或 22 区爆炸危险场所的建（构）筑物；
 - 5) 距离评估区域 500 m 内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。
- c) III 级满足下列条件之一者：
 - 1) 距离评估区域 500 m 内具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物；
 - 2) 距离评估区域 500 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，因电火花而引起爆炸，会造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 3) 距离评估区域 300 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建（构）筑物，且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 4) 距离评估区域 300 m 内具有 2 区或 22 区爆炸危险场所的建（构）筑物；
 - 5) 距离评估区域 300 m 内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。
- d) IV 级满足下列条件之一者：
 - 1) 距离评估区域 300 m 内具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物；
 - 2) 距离评估区域 300 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，因电火花而引起爆炸，会造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 3) 距离评估区域 100 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建（构）筑物，且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 4) 距离评估区域 100 m 内具有 2 区或 22 区爆炸危险场所的建（构）筑物；
 - 5) 距离评估区域 100 m 内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。
- e) V 级满足下列条件之一者：
 - 1) 距离评估区域 1000 m 内凡制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物，因电火花而引起爆炸、爆轰，会造成巨大破坏和人身伤亡者；
 - 2) 距离评估区域 100 m 内具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物；
 - 3) 距离评估区域 100 m 内具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，因电火花而引起爆炸，会造成巨大破坏和人身伤亡者。

A.2.3.2 相对高度

相对高度分级标准依次为：

- a) I 级（评估区域被比区域内项目高的外部建（构）筑物或其它雷击可接闪物体所环绕）；
- b) II 级（评估区域外局部方向有高于评估区域内项目的建（构）筑物或其它雷击可接闪物体）；
- c) III 级（评估区域外建（构）筑物或其它雷击可接闪物体与评估区域内项目高度基本持平）；
- d) IV 级（评估区域外建（构）筑物或其它雷击可接闪物体低于区域内项目高度）；
- e) V 级（评估区域外无建（构）筑物或其它雷击可接闪物体）。

注：考虑到评估区域内（或评估区域外）的地物可能高度不一致，采用“平均高度”这一概念：即各区域的设计标高或者实际高度平均值。

A.3 承灾体风险影响因素

A.3.1 项目属性

项目属性包括三个子指标：使用性质、人员密度、影响程度。

A.3.1.1 使用性质

使用性质分级标准见表A.5。

表A.5 使用性质分级

危险等级	使用性质
I 级	高度不大于 24 m 的民用建筑、工业建筑、公共建筑及综合建筑等，小型企业生产区、仓储区
II 级	高度大于 24 m 小于 100 m 的民用建筑、工业建筑、公共建筑及综合建筑等，中型企业生产区、仓储区，一级医院，小型博物馆建筑物
III 级	高度超过 100 m 的民用建筑、智能建筑、酒店、教学楼、大型工业建筑，其他人员密集商场、公共场所等，二级医院，中型博物馆建筑物
IV 级	大型企业生产区、仓储区，三级医院，大型文化体育活动场馆，大型博物馆建筑物
V 级	市级办公业务楼、市级博物馆、大型公共服务设施、大型交通枢纽、有火灾爆炸危险的建（构）筑物等
注：当区域内建（构）筑物使用性质不同时，通过对建（构）筑物的占地面积按不同危险等级赋予权重（取I级危险等级的权重系数为0.6，II级危险等级的权重系数为0.7，III级危险等级的权重系数为0.8，IV级危险等级的权重系数为0.9，V级危险等级的权重系数为1.0），并根据占地面积大的建（构）筑物来确定最终的危险等级。	

A.3.1.2 人员密度

人员密度分级标准见表A.6。

表A.6 人员密度分级

危险等级	I级	II级	III级	IV级	V级
人员密度 人/km ²	[0, 10000)	[10000, 20000)	[20000, 30000)	[30000, 40000)	[40000, ∞)
注：计算隶属度时，上限可取50000 人/km ² 。					

A.3.1.3 影响程度

爆炸或火灾危险场所的影响程度（以下简称影响程度）分级标准见表A.7。

表A.7 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

表A.7 影响程度分级（续）

危险等级	区域内项目危险特征
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.3.2 建筑物特征

建筑物特征包括三个子指标：建筑密度、等效高度和材料结构。

A.3.2.1 建筑密度

建筑密度分级标准见表A.8。

表A.8 建筑密度分级

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
建筑密度百分比	[0, 15%)	[15%, 30%)	[30%, 45%)	[45%, 60%)	[60%, 100%]

A.3.2.2 等效高度

等效高度分级标准见表A.9。

表A.9 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, ∞)
注：计算隶属度时，上限可取600 m。					

A.3.2.3 材料结构

A.3.2.3.1 分级标准

材料结构分级标准依次为：

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

A.3.2.3.2 权重赋值

当区域内建（构）筑物材料结构不同时，通过对建（构）筑物的占地面积按不同危险等级赋予权重：I级危险等级的权重系数为0.6，II级危险等级的权重系数为0.7，III级危险等级的权重系数为0.8，IV

级危险等级的权重系数为0.9，V级危险等级的权重系数为1.0。并根据占地面积大的建（构）筑物来定最终的危险等级。

A.3.3 电子电气系统特征

电子电气系统特征包括两个子指标：电子系统、电气系统。

A.3.3.1 电子系统

电子系统分级标准见表A.10。

表A.10 电子系统分级

危险等级	电子系统
I 级	一般用途的电子系统
II 级	街道/镇级办公场所、一般性智能建筑、中型企业、幼儿园、中小学、小型展览馆、区级重点文物保护、区级及以下级别档案馆、一级医院、一般公共办公场所等电子信息系统
III 级	区级公共办公场所、大型企业、大学、科研院所、中型展览馆、省/市级重点文物保护及档案馆、二级医院、三星级宾馆、三、四级文化体育活动场馆等电子信息系统、区级信息中心等
IV 级	三级专科医院、大型体育场馆、四星级宾馆、市级公共办公场所、市级信息中心、二级文化体育活动场馆、小型机场、大型港口、大型火车站、二级（乙级）安全防范系统等；特大型企业、大型展览馆、国家级重点文物保护及档案馆
V 级	三级综合医院、五星级宾馆、国家级公共办公场所、国家级通信枢纽、大中型机场、国家级及省级广播电视中心、枢纽港口、一级文化体育活动场馆、省级、电气热等城市重要共用设施、一级（甲级）安全防范系统等

A.3.3.2 电气系统

电气系统划分原则见下列标准。

- a) 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）。
- b) II 级（电力负荷中仅有三级负荷，符合下列情况之一者）：
 - 1) 室外低压配电线路全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设；
 - 2) 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敷设。
- c) III 级（电力负荷中有二级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设）。
- d) IV 级（符合下列情况之一者）：
 - 1) 电力负荷中有一级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设；
 - 2) 电力负荷中有二级负荷，全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设。
- e) V 级（电力负荷中有一级负荷，室外低压配电线路全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设）。

A.3.4 灾害防御能力影响因素

A.3.4.1 区域雷电防护水平

A.3.4.1.1 分级标准

区域雷电防护水平分级见以下标准。

- a) I级（区域内建（构）筑物按第一类防雷建筑物标准采取了相应的防护措施）。
- b) II级（符合下列情况之一者）：
 - 1) 区域内建（构）筑物按第一类防雷建筑物标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电感应或防闪电电涌侵入措施保护不全；
 - 2) 区域内建（构）筑物按第二类防雷建筑物标准采取了相应的防护措施。
- c) III级（符合下列情况之一者）：
 - 1) 区域内建（构）筑物按第二类防雷建筑物防雷标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电感应或防闪电电涌侵入措施保护不全；
 - 2) 区域内建（构）筑物按第三类防雷建筑物标准采取了防护措施。
- d) IV级（符合下列情况之一者）：
 - 1) 区域内建（构）筑物按第三类防雷建筑物防雷标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电电涌侵入措施保护不全；
 - 2) 区域内建（构）筑物采取了防闪电感应或防闪电电涌侵入措施，但防直击雷措施保护不全。
- e) V级（区域内建（构）筑物无采取任何防雷措施或各类防雷设施均不能满足标准要求）。

A.3.4.1.2 权重赋值

当区域内建（构）筑物雷电防护水平不同时，通过对建（构）筑物的建筑面积按不同危险等级赋予权重：I级危险等级的权重系数为0.6，II级危险等级的权重系数为0.7，III级危险等级的权重系数为0.8，IV级危险等级的权重系数为0.9，V级危险等级的权重系数为1.0。并根据建筑面积大的建（构）筑物来定最终的危险等级。

A.3.4.2 区域防雷安全管理

区域防雷安全管理分级主要依据雷电预警服务、雷击事故应急预案以及雷电防护安全教育和培训，具体分级以是否满足或部分满足下列三个条件为判断准则，见表A.11：

- a) 评估对象区域所在地有雷电预警服务；
- b) 评估对象区域内单位制定有雷击事故应急预案；
- c) 评估对象区域内单位定期或不定期对相关人员进行雷电防护安全教育和培训。

表A.11 区域防雷安全管理分级

危险等级	区域内采取的防雷安全管理措施
I级	A.3.4.2条件（a）、（b）、（c）全部满足
II级	满足A.3.4.2条件（a）、（b）或（b）、（c）
III级	满足A.3.4.2条件（a）、（c）
IV级	满足A.3.4.2条件（a）或（b）或（c）
V级	所有条件均不满足

附 录 B
(资料性)
区域雷击风险评估现场勘测

B.1 土壤电阻率测量

B.1.1 测量原理

现场测量土壤电阻率的方法主要有三电极法和四电极法，对于大体积未翻动过的土壤，建议采用四电极法对其进行土壤电阻率的测量。

B.1.2 测量条件

- B.1.2.1 参考 DL/T 475，土壤电阻率测量一般在连续天晴 3 天后或在干燥季节进行。
- B.1.2.2 周围地下有金属管道时，将测试电极布置在与管道垂直的方向上，测试电极与地下管道之间的距离大于极间距离。
- B.1.2.3 测试电极避免布置在明显的岩石、裂缝和边坡等不均匀的土壤上。

B.1.3 测量方法

- B.1.3.1 为了更加全面的反映项目区域内土壤成份的相对一致性，建议根据项目地质勘测报告选择足够数量的试验区。一般情况下，可将评估对象区域范围划分网格进行采样。网格尺寸宜为 500 m×500 m，区域内无法进入的情况除外。当区域土壤性质较为一致时，可选取一个采集点。
- B.1.3.2 在测量单个测试点时，可改变不同的电极间距分别进行测量，两电极间距 a 不小于电极埋设深度 h 的 20 倍，即 $a \geq 20h$ ，并将所有的测量原始数据进行记录，取算数均值，从而得出单个测试点的土壤电阻率值。
- B.1.3.3 现场勘测时详细记录土壤干湿状况、土质状况、采集当日的天气状况等信息。
- B.1.3.4 由于季节、土质、天气等因素对测量数值有一定影响，考虑修正系数对土壤电阻率值进行修正，具体见表 B.1。

表B.1 根据土壤性质决定的季节修正系数表

土壤性质	深度 m	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3
粘土	0.5~0.8	3	2	1.5
粘土	0.8~3	2	1.5	1.4
陶土	0~2	2.4	1.36	1.2
砂砾盖以陶土	0~2	1.8	1.2	1.1
园地	0~3	/	1.32	1.2
黄沙	0~2	2.4	1.56	1.2
杂以黄沙的砂砾	0~2	1.5	1.3	1.2
泥炭	0~2	1.4	1.1	1.0

表B.1 根据土壤性质决定的季节修正系数表（续）

土壤性质	深度 m	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3
石灰石	0~2	2.5	1.51	1.2
注1：修正系数 Ψ_1 ，在测量前数天下过较长时间的雨时选用。				
注2：修正系数 Ψ_2 ，在测量时土壤具有中等含水量时选用。				
注3：修正系数 Ψ_3 ，在测量时，可能为全年最高电阻，即土壤干燥或测量前降雨不大时选用。				

B.2 项目周边环境勘测

根据项目总体（规划）平面图和地形图，对项目区域范围及周边的地形、地理环境进行勘测，主要内容包

- a) 勘测项目区域范围及周边的建筑环境，包括建筑密度、高度、分布等，特别注意爆炸和火灾危险场所的分布；
- b) 统计区域内历年雷电灾害情况。

注：项目区域周边泛指区域内所有建筑物外扩3H宽度后形成的最大边界范围，其中H指建筑物每边的扩大宽度，详见GB/T 21714.2—2018。

附 录 C
(资料性)
区域雷电环境评价

C.1 概述

某些评估对象(如工业园区、经济开发区等)开发建设时间跨度大,常常因缺少较为详实的区域内建(构)筑物设计资料而无法进行区域雷击风险评估。作为区域雷击风险评估工作的补充,可运用区域雷电环境评价方法来解决此类问题。通过了解评估区域雷电背景情况,为评估对象在选址、功能布局设计以及后续建筑物单体雷击风险评估等方面提供全面宏观的指导性意见。

C.2 主要内容

区域雷电环境评价主要内容如下:

- a) 土壤电阻率值及周边环境;
- b) 地闪活动特征;
- c) 高风险区域的雷电防护装置防护效率;
- d) 区域内各类防雷建筑物对应的可容许年预计雷击次数;
- e) 区域电磁环境分析。

C.3 评价步骤

- C.3.1 确定需评估对象区域范围及其特性。
- C.3.2 编制评估工作大纲(方案),将评估区域用500 m×500 m的网格进行划分。
- C.3.3 测量土壤电阻率及勘测周边环境,参照附录B的内容。
- C.3.4 分析评估对象及周边地闪分布特征(提取面域见表C.1),包括地闪密度、地闪空间分布、雷电流强度幅值分布特征、地闪月变化特征和地闪日变化特征等。

表C.1 闪电资料提取面域 S

类型	闪电资料提取面域 S
爆炸和火灾危险、公共服务设施项目	以评估对象区域中心点为圆心,并取相连的服务设施节点(包括电源、信号、金属管道等)中离评估区域最长的距离 R 为半径所构成的面积, R 一般介于 1 km~5 km 之间。
轨道交通、港口桥梁、机场	根据项目的具体形状往外围扩延至少 1000 m 后构成的条形面积
住宅小区、商业中心、工业园区等大型建设区域	整个项目建设范围往外扩延至少 1000 m 后构成的面积
注1:参考GB/T 37047为保证数据的准确、有效,同一地区的闪电定位监测资料累积时间序列不宜少于10年或不少于80个观测值。且最新数据在近5年内。若某年4月~10月中系统因故障原因缺测达1月以上时,则不使用该年数据。	
注2:闪电定位系统数据选取的地域范围覆盖整个评估区域,并向外扩展一定宽度的区域,扩展区域的宽度不宜小于所选地域范围内的闪电定位精度,上海地区以1000 m宽度为宜。	

C.3.5 分析区域各网格地闪密度分布情况,并根据地闪密度分级标准(见表C.2)划分为五种不同的风险等级。

- 注1:各网格内的地闪密度可作为网格内建筑物年预计雷击次数计算的参考值;
- 注2:若存在建筑物横跨两个不同网格区块的,采用两个网格区块中地闪密度较高者进行计算。

表C.2 地闪密度分级

风险等级	低风险	较低风险	中等风险	较高风险	高风险
区域地闪密度 次/km ² ·a	[0, 2.5)	[2.5, 5)	[5, 7.5)	[7.5, 10)	[10, ∞)
颜色标识	绿色	草绿	黄色	橙色	红色

C.3.6 分析区域内各类建筑物雷电防护装置防护效率 η 及保证 R_T 值不大于 10^{-5} 时的年预计雷击次数 N_T 值：

- a) 根据地闪密度按不同风险等级分别统计出相对应网格区块内所有地闪雷电流幅值分布情况；
- b) 参考 GB 50057—2010 按不同建筑物防雷分类分别统计出所对应的雷电流参数最大值和最小值出现的概率，从而得出相应的雷电防护装置防护效率 η 如表 C.3 所示；

表C.3 防护效率 η 计算样表

评估区域	防雷分类	雷电流幅值	分布概率	雷电流幅值	分布概率	防护效率 η
高风险区域	一类	$I \leq 5 \text{ kA}$	0.150	$I \geq 200 \text{ kA}$	0	0.850
	二类	$I \leq 10 \text{ kA}$	0.387	$I \geq 150 \text{ kA}$	0	0.613
	三类	$I \leq 16 \text{ kA}$	0.604	$I \geq 100 \text{ kA}$	0.05	0.391

- c) 根据规范 GB 50057—2010 规定，如果取可接受的年最大损失风险 $R_T = 10^{-5}$ ，则可计算得出建筑物可接受的年允许遭雷击次数 N_T 如表 C.4 所示；

表C.4 $P_r W_r$ 值

建筑物类型	特点	$P_r W_r$ 值	$N_T = 10^{-5} / (P_r W_r)$
一般建筑物	正常危险	0.2×10^{-3}	5×10^{-2}
公共建筑物	重大危险（引起恐慌、重大损失）	1×10^{-3}	1×10^{-2}

注：概率 P_r 表示建筑物自身保护的程度或表示考虑这样的真实情况的一个因素，即不是每一个打到需要防雷的建筑物的雷击和不是每一个使雷电防护装置所选用的规格和尺寸失败的雷击均造成损坏。 P_r 值主要取决于建筑物的特点，它的结构、用途、存放物或设备。

- d) 根据公式 C.1，结合上述雷电防护装置的防护效率 η 和 N_T 值，可推算得出保证 R_T 值不大于 10^{-5} 时的年预计雷击次数 N_T 值，并将其作为判定建筑物是否需要单体雷击风险评估的依据；

$$\eta \geq 1 - \frac{N_T}{N_r} \dots\dots\dots (C.1)$$

- e) 区域电磁环境分析：当评估区域及其附近遭受雷击时，强大的雷电流将产生电磁感应，从而对区域建筑物内电力线路和电子设备产生电磁干扰。一般来说，电子设备都承受不了 $\pm 5V$ 的电压波动，而当磁场强度超过 2.4Gs 时，就会照成微机的永久性损坏。依据电磁感应强度，按计算机误动作、假性损坏、损坏以及电子计算机机房内磁场干扰场强不大于 800 A/m 的规定，将电磁环境分为 0.07Gs、2.4Gs 两个级别进行电磁辐射计算，则可得出评估区域从弱到强的雷电流电磁影响范围分布；
- f) 区域雷电环境评价结果分析，出具评价结论。

附 录 D
(资料性)
定量性指标隶属度计算

D.1 极小型指标隶属度计算公式

极小型指标根据极小型隶属函数处理方法：

a) 对于 I 级 ($j=1$)，计算方法见式 (D.1)；

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \leq v_1 \\ \frac{v_2 - r_{ij}}{v_2 - v_1} & v_1 < r_{ij} < v_2 \\ 0 & r_{ij} \geq v_2 \end{cases} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

v_1 、 v_2 ——子指标第 I、II 级等级中间值，值参照附录 F 内容；

r_{ij} ——指向同一上层指标的第 i 个子指标实际值；

$\mu_{vj}(r_{ij})$ ——第 i 个子指标隶属第 j 级的隶属度。

b) 对于 II、III、IV 级 ($j=2, 3, 4$)，计算方法见式 (D.2)；

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 0 & r_{ij} \leq v_1 \\ \frac{r_{ij} - v_{j-1}}{v_j - v_{j-1}} & v_{j-1} < r_{ij} < v_j \\ 1 & r_{ij} = v_j \\ \frac{v_{j+1} - r_{ij}}{v_{j+1} - v_j} & v_j < r_{ij} < v_{j+1} \\ 0 & r_{ij} \geq v_{j+1} \end{cases} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

v_j ——子指标于 II、III、IV 级等级中间值，参照附录 F 内容。

c) 对于 V 级 ($j=5$)，计算方法见式 (D.3)；

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq v_5 \\ \frac{r_{ij} - v_4}{v_5 - v_4} & v_4 < r_{ij} < v_5 \\ 0 & r_{ij} \leq v_4 \end{cases} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：

v_4 、 v_5 ——子指标 IV、V 级等级中间值，参照附录 F 内容。

D.2 极大型指标隶属度计算公式

极大型指标根据极大型隶属函数处理方法：

a) 对于 I 级 ($j=1$)，计算方法见式 (D.4)；

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq v_1 \\ \frac{r_{ij} - v_2}{v_1 - v_2} & v_2 < r_{ij} < v_1 \\ 0 & r_{ij} \leq v_2 \end{cases} \dots\dots\dots (D.4)$$

b) 对于 II、III、IV 级 ($j=2, 3, 4$)，计算方法见式 (D.5)；

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 0 & r_{ij} \geq v_{j-1} \\ \frac{r_{ij}-v_{j-1}}{v_j-v_{j-1}} & v_j < r_{ij} < v_{j-1} \\ 1 & r_{ij} = v_j \\ \frac{v_{j+1}-r_{ij}}{v_{j+1}-v_j} & v_{j+1} < r_{ij} < v_j \\ 0 & r_{ij} \leq v_{j+1} \end{cases} \dots\dots\dots (D. 5)$$

c) 对于 V 级 ($j=5$)，计算方法见式 (D. 6)。

$$\mu_{vj}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \leq v_5 \\ \frac{v_4-r_{ij}}{v_4-v_5} & v_5 < r_{ij} < v_4 \\ 0 & r_{ij} \geq v_4 \end{cases} \dots\dots\dots (D. 6)$$

附录 E
(资料性)
评估指标权重 ω 的确定

E.1 基本方法

E.1.1 构造判断矩阵

从第二层指标开始,采用1~9标度法对指向同一上层指标的各子指标之间进行成对比较,确定各指标之间的相对重要性,见表E.1。

表E.1 两两比较赋值

标度	定义
$a_{ij}=1$	指标 A_i 与 A_j 指标具有相等的重要性
$a_{ij}=3$	指标 A_i 比指标 A_j 稍微重要
$a_{ij}=5$	指标 A_i 比指标 A_j 明显重要
$a_{ij}=7$	指标 A_i 比指标 A_j 强烈重要
$a_{ij}=9$	指标 A_i 比指标 A_j 极度重要
$a_{ij}=2、4、6、8$	指标 A_i 与指标 A_j 比,介于相邻结果的中间值
特殊情况	$a_{ji}=1/a_{ij}$
	$a_{ii}=1$

根据表E.1,可得出指向同一上层指标的各子指标的判断矩阵 A ,见公式(E.1);

$$A = (a_{ij})_{1 \times m} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & \cdots & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \cdots \cdots \cdots \quad (\text{E. 1})$$

式中:

- m ——指向同一上层指标的子指标数量;
- a_{ij} ——指向统一上层质保的子指标。

E.1.2 计算相对权重

通过求解判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} 及最大特征值对应的特征向量 W ,得出各指标的相对权重。

E.1.3 一致性检验

当成对比较得出的判断矩阵的阶数大于等于3时,则需要进行一次一致性检验,具体检验方法如下:

- a) 根据判断矩阵得出一致性指标 $C.I.$,见公式(E.2);

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \cdots \cdots \cdots (\text{E. 2})$$

- b) 根据判断矩阵阶数,找出对应的平均随机一致性指标 $R.I.$,见表E.2;
- c) 根据 $C.I.$ 和 $R.I.$ 的值,计算一致性比例 $C.R.$,见公式(E.3);

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \cdots \cdots \cdots (\text{E. 3})$$

当 $C.R. \leq 0.1$ 时，则判断矩阵 A 的一致性符合要求的，反之，需要对判断矩阵 A 的两两比较值作调整，直到计算出符合一致性要求的 $C.R.$ 值。

表E.2 平均随机一致性指标值

判断矩阵的阶数	1	2	3	4	5	6	7
$R.I.$	0	0	0.52	0.9	1.12	1.26	1.36
判断矩阵的阶数	8	9	10	11	12	13	14
$R.I.$	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

E.2 不同类型项目评估指标权重比的推荐值

E.2.1 住宅区、一般性的工业园区

住宅区、一般性的工业园区评估指标权重比见表E.3。

表E.3 权重比推荐值

指标层次	指标名称	权重比推荐值
二	雷电风险:地域风险:承灾体风险	3:1:2
三	地闪密度:雷电流强度	2:1
	土壤电阻率:地形地貌:周边环境	1:1:3
	项目属性:建筑物特征:电子电气系统:灾害防御能力	1:1:1:2
四	安全距离:相对高度	1:3
	使用性质:人员密度:影响程度	3:3:1
	建筑密度:等效高度:材料结构	3:3:1
	电子系统:电气系统	1:3
	区域雷电防护水平:区域防雷安全管理	3:1

E.2.2 办公、酒店区域

办公、酒店区域评估指标权重比见表E.4。

表E.4 权重比推荐值

指标层次	指标名称	权重比推荐值
二	雷电风险:地域风险:承灾体风险	3:1:2
三	地闪密度:雷电流强度	2:1
	土壤电阻率:地形地貌:周边环境	1:1:3
	项目属性:建筑物特征:电子电气系统:灾害防御能力	1:1:1:2
四	安全距离:相对高度	1:1
	使用性质:人员密度:影响程度	3:3:1

表E.4 权重比推荐值（续）

指标层次	指标名称	权重比推荐值
四	建筑密度:等效高度:材料结构	1:3:1
	电子系统:电气系统	1:2
	区域雷电防护水平:区域防雷安全管理	3:1

E.2.3 商业设施区域、大型游乐场所、旅游景区、体育场馆、展览区等人员聚集公共场所

商业设施区域、大型游乐场所、旅游景区、体育场馆、展览区等人员聚集公共场所评估指标权重比见表E.5。

表E.5 权重比推荐值

指标层次	指标名称	权重比推荐值
二	雷电风险:地域风险:承灾体风险	3:1:2
三	地闪密度:雷电流强度	3:1
	土壤电阻率:地形地貌:周边环境	1:1:3
	项目属性:建筑物特征:电子电气系统:灾害防御能力	1:1:1:2
四	安全距离:相对高度	1:1
	使用性质:人员密度:影响程度	3:3:1
	建筑密度:等效高度:材料结构	1:1:1
	电子系统:电气系统	1:1
	区域雷电防护水平:区域防雷安全管理	1:1

E.2.4 重大公共服务设施

重大公共服务设施（高速公路、轨道交通、大型桥梁、交通枢纽、油气输送管道等）评估指标权重比见表E.6。

表E.6 评估指标权重比推荐值

指标层次	指标名称	权重比推荐值
二	雷电风险:地域风险:承灾体风险	3:2:2
三	地闪密度:雷电流强度	3:1
	土壤电阻率:地形地貌:周边环境	1:1:1
	项目属性:建筑物特征:电子电气系统:灾害防御能力	2:1:2:2
四	安全距离:相对高度	1:1
	使用性质:人员密度:影响程度	3:3:2
	建筑密度:等效高度:材料结构	1:1:1

表E.6 评估指标权重比推荐值（续）

指标层次	指标名称	权重比推荐值
四	电子系统:电气系统	1:2
	区域雷电防护水平:区域防雷安全管理	3:1

E.2.5 医院、养老院、教学区域

医院、养老院、教学区域评估指标权重比见表E.7。

表E.7 评估指标权重比推荐值

指标层次	指标名称	权重比推荐值
二	雷电风险:地域风险:承灾体风险	3:1:2
三	地闪密度:雷电流强度	3:1
	土壤电阻率:地形地貌:周边环境	1:1:3
	项目属性:建筑物特征:电子电气系统:灾害防御能力	1:1:1:1
四	安全距离:相对高度	1:1
	使用性质:人员密度:影响程度	3:3:1
	建筑密度:等效高度:材料结构	3:3:1
	电子系统:电气系统	1:1
	区域雷电防护水平:区域防雷安全管理	1:1

E.2.6 其他类型

其他类型的评估其评估指标权重比参考表E.3。

附 录 F
(资料性)

定量指标各分级区间的中间值

除“雷电流强度”外的 5 个定量指标，其对应的各分级区间中间值见表 F. 1。

表F. 1 各分级区间的中间值汇总表

风险指标因子	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅
地闪密度 次/ (km ² · a)	1. 25	3. 75	6. 25	8. 75	20. 5
人员密度 人/km ²	5000	15000	25000	35000	45000
建筑密度 %	7. 5	22. 5	37. 5	52. 5	80
等效高度 m	15	37. 5	52. 5	80	350
土壤电阻率 Ω . m	140	70	50	30	10

附录 G
(资料性)
评估实例

G.1 项目概况

以上海某高校为例进行评估，说明区域雷击风险评估方法的应用。某高校校区位于上海北部地区，占地面积近2000 亩，拥有学生2 万余人。

G.2 现场勘测及数据采集分析

G.2.1 闪电定位资料分析

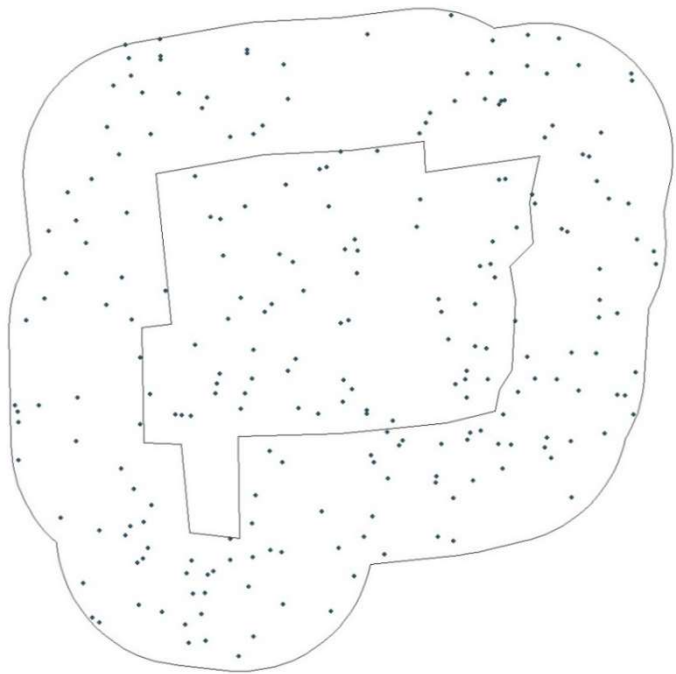
G.2.1.1 资料收集

以评估对象所在区域及其周边1 km范围，提取最近四年地闪资料。

G.2.1.2 资料分析

G.2.1.2.1 区域地闪分析

根据图G.1可知：项目区域及其周边1 km范围四年内共发生地闪232 次，区域地闪密度的平均值为 $N_g=11.68$ 次/（ $a \cdot km^2$ ）。项目及周边的任意方向都有闪电发生。



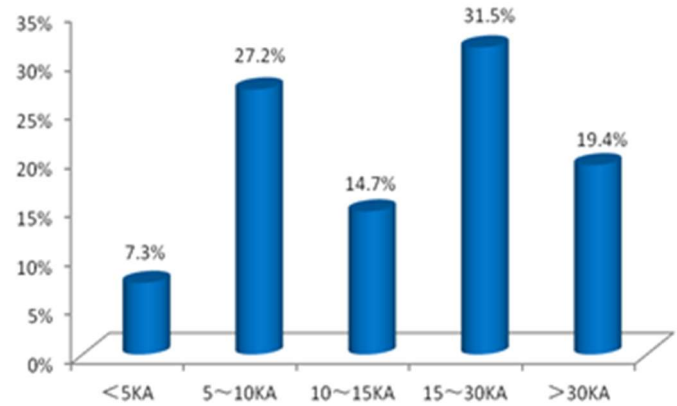
图G.1 评估区域及周边 1 km 范围地闪分布图

G.2.1.2.2 雷电流特征

根据地闪监测定位资料，评估对象及其周边1 km区域范围内雷电流情况如下：

- 雷电流区间为：[23， 71] kA；
- 雷电流幅值的平均值为：18.6 kA。

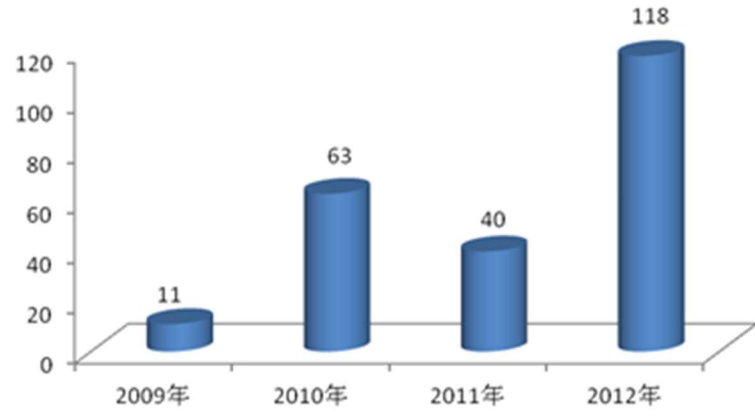
如下图 G.2 所示，雷电流幅值主要分布在 0 kA~30 kA 之间，占全部地闪 80.6%左右。



图G.2 周边 1 km 范围地闪雷电流幅值概率分布图

G.2.1.2.3 地闪年变化规律

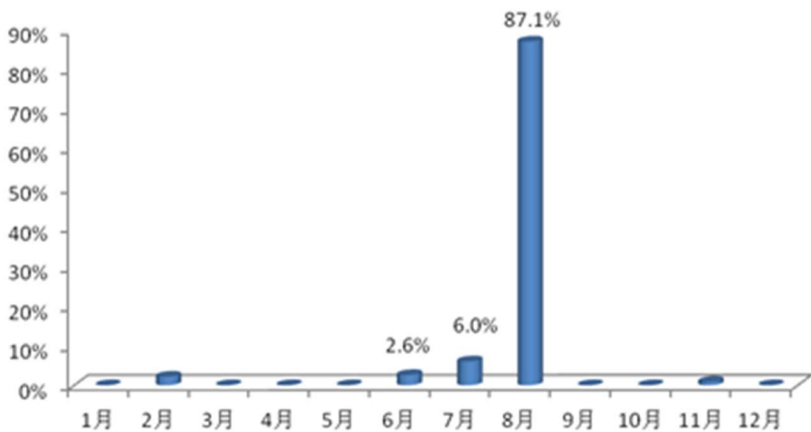
图G.3显示区域周围地闪年变化情况，可以看出该区域范围内近4年间，2010和2012年的地闪频数较高，分别达到63次和118次。



图G.3 地闪频数年分布图

G.2.1.2.4 地闪月变化规律

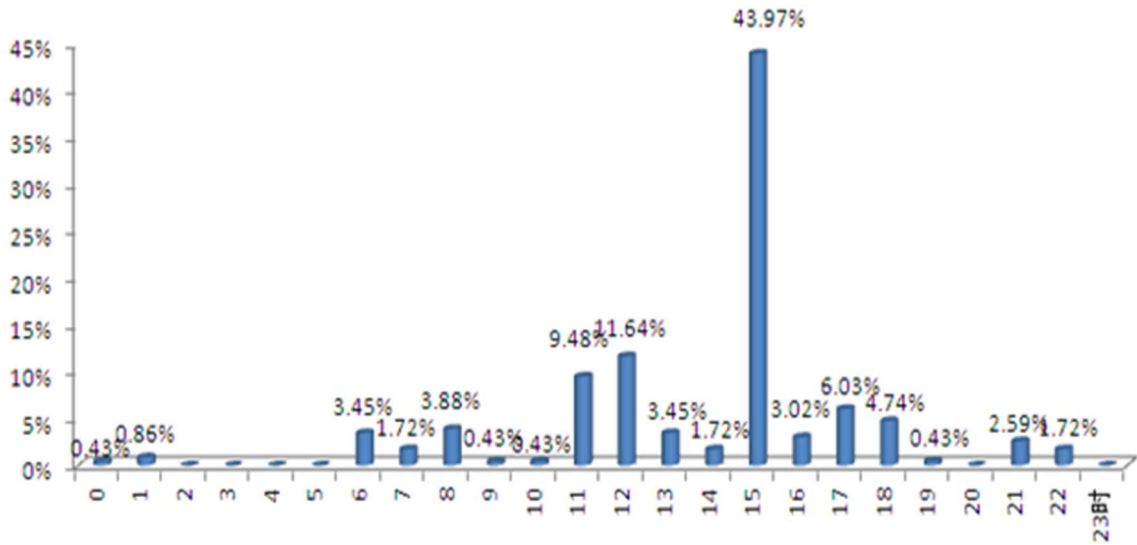
图G.4显示区域周围地闪密度月变化情况，可以看出：该地域地闪主要发生在8月，占总地闪数的87.1%。



图G. 4 地闪月变化图

G. 2. 1. 2. 5 地闪日变化规律

从地闪日变化图 G.5 中可以看出，区域附近地闪主要集中在 15 时～16 时发生，占总地闪数的 43.97%。



图G. 5 地闪日变化图

G. 2. 2 土壤电阻率

根据现场勘测条件和地理位置分布，以不大于500 m×500 m的网格在校区范围内取1个测试点进行土壤电阻率的采样测量，土壤电阻率测量值如表G. 1所示。

表G. 1 土壤电阻率测量值

测试点	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	平均值	季节系数	最终值
1	25.9	21.9	21.8	15.01	13.39	19.6	1.32	25.87
2	16.57	16.17	15.89	15.44	13.53	15.52	1.32	20.49
3	42.0	29.1	15.56	9.33	5.67	20.33	1.32	26.84

表G.1 土壤电阻率测量值（续）

测试点	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	平均值	季节系数	最终值
4	20.7	13.55	11.79	11.17	9.52	13.35	1.32	17.62
5	40.5	24.5	15.42	12.25	7.57	20.05	1.32	26.46
6	43.1	28.5	17.62	8.13	5.82	20.63	1.32	27.24
7	25.9	21.9	21.8	15.01	13.39	19.6	1.32	25.87
<p>注1：2 m、3 m、4 m、5 m、6 m代表2 m~6 m测量间距下测得的ρ值。</p> <p>注2：考虑到表层土壤均为回填土，内含杂质较多，故从2 m间距开始测量。</p> <p>注3：现场土壤主要为粘土和田园土，土壤状况为一般潮湿，故季节系数取1.32。</p>								

G.2.3 周边环境

本项目周边地理方位遥感图如图G.6所示，结合实地勘测可知，区域周围环境情况如下：项目北边为居民住宅（别墅和小高层），北边有小河浜；项目西侧为居民住宅（别墅、多层或等高的住宅小区），和一个大型商业广场，西南角有一加油站；项目南侧为住宅小区（多层、小高层）和学校、办公楼（多层），1 km范围内有化工厂。项目东侧靠近小河浜，东北角有一加油站。



图G.6 项目周边地理方位遥感图

G.3 评估子区域的确定

按照评估子区域划分方法，结合6.2.2、6.2.3，逐级分析如下。

- a) 因项目占地面积小于 5 km^2 ，所以无需考虑区域地闪分布情况的差异。
- b) 项目范围区域内地形的话无需划分子区域。
- c) 项目形态特征存在一定的差异，详见图 G.7（图中标识为较高建筑物）。



图G.7 建筑高度分区示意图

- d) 建设项目属性存在一定的差异，大致可分为三种类型：
 - 1) 教学区：用于日常教学，包括本部校区的教学楼、图书馆以及东校区；
 - 2) 后勤宿舍区：包括后勤基建大楼、学生宿舍、食堂等；
 - 3) 艺体活动区域：指户外或户内的大型活动区域，包括体育馆、艺术中心、网球馆等。
- e) 参照防雷装置检测报告，除本部教学区 A、B、C、D 楼的雷电防护装置存在失效或保护不全的情况外，其他区域的雷电防护能力基本无明显差异。

综上所述，可将项目地块划分为本部教学区、后勤宿舍区、艺体活动区以及东校区等4个子区域（详见图G.8），从而对其进行区域雷击风险评估。为简化演示，下文将以“本部教学区”为例计算该子区域的区域雷击风险。



图G.8 评估子区域划分图

G.4 本部教学区雷击风险指标隶属度的计算

G.4.1 地闪密度

根据地闪密度分级标准和定量指标隶属度的确定方法，因 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 分别为1.25、3.75、6.25、8.75、20.5，参照附录F，又有项目周边地区地闪密度实际值为11.68次/（km²·a），因此根据极小型隶属函数处理方法，参照附录D，计算公式见（G.1）和（G.2）；

$$\mu_{v_4}(r_4) = \frac{20.5-11.68}{20.5-8.75} = 0.751 \dots\dots\dots (G.1)$$

$$\mu_{v_5}(r_5) = \frac{11.68-8.75}{20.5-8.75} = 0.249\dots\dots\dots (G.2)$$

可以得出地闪密度的隶属度见表G.2。

表G.2 地闪密度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
地闪密度	0	0	0	0.751	0.249

G.4.2 雷电流强度

依据项目区域雷电流统计，雷电流强度分布概率图可清晰显示雷电流强度隶属度，见表G.3。

表G.3 雷电流强度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷电流强度	0.073	0.272	0.146	0.315	0.194

G. 4. 3 土壤电阻率

根据土壤电阻率分级标准和定量指标隶属度的确定方法，因 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 分别为140、70、50、30、10，见附录F。又有项目土壤电阻率均值为24.1 $\Omega \cdot m$ ，因此根据极大型隶属函数处理方法，参照附录D，计算公式见（G. 3）和（G. 4）；

$$\mu_{v_4}(r_4) = \frac{10-24.1}{10-30} = 0.705 \dots\dots\dots (G. 3)$$

$$\mu_{v_5}(r_5) = \frac{24.1-30}{10-30} = 0.295 \dots\dots\dots (G. 4)$$

可以得出该项目土壤电阻率隶属度见表G. 4。

表G. 4 土壤电阻率隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
土壤电阻率	0	0	0	0.705	0.295

G. 4. 4 地形地貌

勘察场地的地貌为典型的滨海平原地貌，且水域面积较小。因此根据地形地貌分级标准，可明显判断出地形地貌的隶属度，见表G. 5。

表G. 5 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	1	0	0	0	0

G. 4. 5 周边环境

G. 4. 5. 1 安全距离

根据现场勘测结果，结合安全距离分级标准，可判断出安全距离的隶属度，见表G. 6。

表G. 6 安全距离隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
安全距离	1	0	0	0	0

G. 4. 5. 2 相对高度

区域建筑物平均高度约为21m，结合相对高度分级标准，可判断出相对高度的隶属度，见表G. 7。

表G. 7 相对高度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
相对高度	0	0	1	0	0

G. 4. 6 项目属性

G. 4. 6. 1 使用性质

本片区域内建筑物大多都是教学楼、图书馆及综合办公楼等人员密集场所，结合使用性质分级标准，可得使用性质隶属度等级，见表G. 8。

表G.8 使用性质隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
使用性质	0	0	1	0	0

G.4.6.2 人员密度

根据校方提供的资料，该区域可容纳的最大人数约为16000人，相应人员密度约为42000（人/km²）。根据定量指标隶属度的确定方法和区域项目人员密度分级标准，令 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 分别为5000，15000，25000，35000，45000，见附录F，根据极小型隶属函数处理方法，参照附录D，计算如下：

$$\mu_{v_4}(r_4) = \frac{45000-4200}{45000-3500} = 0.3 \dots\dots\dots (G.5)$$

$$\mu_{v_5}(r_5) = \frac{42000-3500}{45000-3500} = 0.7 \dots\dots\dots (G.6)$$

人员密度的隶属度见表G.9。

表G.9 人员密度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人员密度	0	0	0	0.3	0.7

G.4.6.3 影响程度

该区域内的项目一旦遭受雷电灾害一般不会产生危及区域外的爆炸或火灾危险。结合影响程度分级标准，完全隶属于I级，见表G.10。

表G.10 影响程度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
影响程度	1	0	0	0	0

G.4.6.4 建筑物特征

G.4.6.4.1 建筑物密度

根据相关材料，区域内建筑物密度约为17%。根据定量指标隶属度的确定方法和建筑密度分级标准，令 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 分别为7.5%，22.5%，37.5%，52.5%，80%。见附录F。因此根据极小型隶属函数处理方法，参照附录D，计算公式见（G.7）和（G.8）；

$$\mu_{v_1}(r_1) = \frac{22.5\%-17\%}{22.5\%-7.5\%} = 0.367 \dots\dots\dots (G.7)$$

$$\mu_{v_2}(r_2) = \frac{17\%-7.5\%}{22.5\%-7.5\%} = 0.633 \dots\dots\dots (G.8)$$

可以得出建筑密度隶属度，见表G.11。

表G.11 建筑密度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等效高度	0	0.38	0.62	0	0

G.4.6.4.2 等效高度

本区域内最高的建筑物为行政楼46.8 m，根据定量指标隶属度的确定方法和等效高度分级标准，令 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 分别为15, 37.5, 52.5, 80, 350，见附录F。因此根据极小型隶属函数处理方法，参照附录D，计算如下：

$$\mu_{v_2}(r_2) = \frac{52.5-46.8}{52.5-37.5} = 0.38 \dots\dots\dots (G.9)$$

$$\mu_{v_3}(r_3) = \frac{46.8-37.5}{52.5-37.5} = 0.62 \dots\dots\dots (G.10)$$

可以得出等效高度的隶属度见表 G.12。

表G.12 等效高度隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等效高度	0	0.38	0.62	0	0

G.4.6.4.3 材料结构

根据项目提供的资料，区域内建筑物材料结构以混凝土为主。因此，可以得出该项目的材料结构隶属于IV级，其材料结构的隶属度见表G.13。

表G.13 材料结构隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
材料结构	0	0	0	1	0

G.4.7 电子电气系统

G.4.7.1 电子系统

本区域为教学区，结合电子系统的分级标准，其电子系统的隶属度见表G.14。

表G.14 电子系统隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
电子系统	0	0	1	0	0

G.4.7.2 电气系统

根据项目的设计资料及勘查结果，结合电气系统分级标准可知，该项目的电气系统隶属度见表G.15。

表G.15 电气系统隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
电气系统	0	0	1	0	0

G.4.8 防御能力

G.4.8.1 区域雷电防护水平

根据防雷装置检测报告，结合区域雷电防护水平的分级标准可知，区域雷电防护水平隶属度见表G.16。

表G.16 区域雷电防护水平隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
区域雷电防护水平	0	0	0	1	0

G.4.8.2 区域防雷安全管理

根据现场调查征询结果，结合区域防雷安全管理的分级标准可知，区域防雷安全管理隶属度见表G.17。

表G.17 区域防雷安全管理隶属度

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
区域防雷安全管理	0	0	0	0	1

G.5 本部教学区雷击风险评估结果

根据上文中的雷击风险指标隶属度以及指标权重比，见附录E。计算得到本部教学区的雷击风险隶属度分布见表G.18。结合区域雷击风险隶属度值，根据公式（2）得出各片区的最终风险值和风险等级见表G.19。

表G.18 雷击风险隶属度

区域名称	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
本部教学区	0.1175	0.0702	0.2094	0.4088	0.1941

表G.19 风险值

子区域名称	风险值	风险等级
本部教学区	5.98	III（中等）

G.6 本部教学区雷击风险评估结论

G.6.1 经评估计算可知，本部教学区的雷击风险综合评估g值为5.98，中等风险，产生雷击灾害事故的可能性较大。

G.6.2 处于III级以上的原始影响指标共有6个，主要包括地闪密度、土壤电阻率、人员密度、材料结构、区域雷电防护水平和区域防雷安全管理等，在雷电防护安全工作中有针对性的对这些指标进行重点考虑。

G.6.3 处于本区域中的一般建（构）筑物在进行防雷设计或施工前，宜进行单体雷击风险评估。

G.6.4 考虑本区域的实际情况，从经济合理性出发，建议优先采取以下措施来降低相应的风险：

- a) 区域内建构物严格按第三类防雷建筑物标准采取了防护措施；
- b) 制定相应的雷击事故应急预案以及常规教育培训措施。

G.6.5 采取措施后，可将雷击风险综合评估g值降为5.65。

参 考 文 献

- [1] GB/T 21714.1—2015 雷电防护 第1部分：总则（IEC 62305-1:2010，IDT）
 - [2] GB/T 21714.3—2015 雷电防护 第3部分：建筑物的物理损害和生命危险（IEC 62305-3:2010，IDT）
 - [3] 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）
 - [4] GB/T 32937—2016 爆炸和火灾危险场所防雷装置检测技术规范
 - [5] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
 - [6] GB 50352—2019 民用建筑设计统一标准
 - [7] DL/T 475—2017 接地装置特性参数测量导则
 - [8] QX/T 85 雷电灾害风险评估技术规范
 - [9] DB31/T 1329 基于雷电定位系统的地闪密度应用要求
-