

# DB43

湖 南 省 地 方 标 准

DB 43/ XXXXX—XXXX

## 雷电灾害调查与风险评估技术规范

Technical Specifications for Lightning Disaster Investigation and Risk Assessment

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(报批稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

湖南省市场监督管理局 发布

# 目 次

目 次 .....	I
前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本原则和要求 .....	2
5 数据采集与处理 .....	2
6 评估内容与方法 .....	3
附录 A .....	6
附录 B .....	7
附录 C .....	8
附录 D .....	9

## 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。

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专利的责任。

本文件由湖南省气象局提出。

本文件由湖南省气象标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：湖南省气象灾害防御技术中心、常德市气象局、张家界市气象局、湘西自治州气象局、长沙市气象局。

本文件主要起草人：刘越屿、王道平、周明薇、邓战满、陈锡晖、吴运策、谢刚、周国军、郭新文、彭琳、赵景昭、胡欣、杨艳、邬泽伟、曾震、张浩猛、左涛、李玮、梁忠武。

# 雷电灾害调查与风险评估技术规范

## 1 范围

本文件规定了雷电灾害调查与风险评估的技术方法，包括基本原则和要求、数据采集与处理、雷电灾害调查、雷电灾害风险评估和、评估成果与更新等。

本文件适用于雷电灾害的风险调查、评估和区划工作。

## 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。

GB/T 44953-2024 雷电灾害调查技术规范

QX/T 191—2013 雷电灾情统计规范

QX/T 405—2017 雷电灾害风险区划技术指南

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**雷击点密度** ground strike-point density

单位面积、单位时间的平均雷击点个数，单位为个/(km<sup>2</sup>·a)。

[来源：GB/T37047-2022，3.1.2]

### 3.2

**雷电灾害** lightning disaster

因雷击对生命体、建（构）筑物、电气和电子系统等造成的损害。

[来源：GB/T44953-2024，3.1]

### 3.3

**致灾因子** hazard factor

引发雷电灾害的自然或人为因素，如雷电流强度、雷击密度等。

### 3.4

**承灾体** hazard-affected body

雷电灾害作用的对象，包括人口、建筑物、基础设施等。

### 3.5

**暴露度 exposure**

承灾体在雷电灾害影响范围内的数量或价值量。

## 3.6

**脆弱性 vulnerability**

承灾体在雷电灾害作用下受损的敏感程度或易损性。

## 3.7

**雷电灾害风险 risk of lightning disaster**

雷电灾害发生的可能性及其可能损失。

[来源：QX/T 405-2017, 3.1]

## 3.8

**雷电灾害风险区划 lightning disaster risk zoning**

根据雷电灾害风险评估结果，综合考虑行政区划，对雷电灾害风险进行基于空间单元的划分。

**4 基本原则和要求**

4.1 雷电灾害调查应符合 GB/T 44953和 QX/T 191的规定。

4.2 雷电灾害风险评估应综合考虑致灾危险性、承灾体暴露度与脆弱性。

4.3 致灾危险性和雷电灾害风险应采用自然断点法或百分位数法划分为三级：I级（高风险）、II级（中等风险）、III级（低风险）。

**5 数据采集与处理****5.1 数据采集**

5.1.1 致灾因子数据应包括雷电定位系统（LLS）数据（不少于10年）、雷暴日观测数据（不少于10年）、土壤电阻率、海拔高度、地形起伏。

5.1.2 承灾体数据应包括人口分布与密度、GDP分布、土地利用类型等社会经济数据，易燃易爆场所、重要基础设施、旅游景区等重点场所的建筑物结构类型、防雷装置情况。

5.1.3 雷电灾害数据收集的时间跨度应不少于10年，并符合 GB/T 44953 和 QX/T 191 的规定。

5.1.4 减灾资源数据应包括防雷装置检测覆盖率、应急队伍、预警信息发布能力。

**5.2 数据处理**

对采集的原始数据应进行系统的加工处理，以消除错误、统一标准、转换格式，确保数据的一致性、空间可比性与可靠性，为后续评估与制图提供标准化数据基底。主要处理流程包括质量控制、格式转换与空间化、归一化处理。

5.2.1 雷电定位资料质量控制应符合 QX/T 405—2017 中 5.2.2 的规定

5.2.2 所有数据应统一转换至 CGCS2000 坐标系，将各类数据统一插值或统计至相同的空间分析单元，如规则网格（如 3km×3km）或行政区划单元。

5.2.3 评估指标应按附录 A 进行归一化处理。

## 6 雷电灾害调查

6.1 有以下情况之一应启动雷电灾害调查：

- a) 造成人员死亡或重伤；
- b) 直接经济损失100万元以上；
- c) 重要基础设施严重损坏或长时间中断；
- d) 易燃易爆场所火灾、爆炸等次生灾害；
- e) 学校、医院、旅游景区等人员密集场所雷击。

6.2 雷电灾害分析鉴定应包括雷击点确认、灾害成因分析、灾害等级评定。

6.3 雷击点确认应采用目击证言、雷击痕迹、剩磁检测、雷电定位数据等方法。

6.4 灾害等级评定应按照QX/T 191—2013执行。

## 7 雷电灾害风险评估

### 7.1 评估流程

雷电灾害风险评估应按照以下流程进行：

- a) 确定评估区域和目标；
- b) 数据采集与处理；
- c) 致灾危险性评估；
- d) 承灾体暴露度评估；
- e) 承灾体脆弱性评估；
- f) 雷电灾害风险计算；
- g) 风险等级划分与区划图制作。

### 7.2 致灾危险性评估

7.2.1 致灾危险性评估应综合考虑雷击点密度、地闪强度、土壤电阻率、海拔高度、地形起伏等致灾因子，构建致灾危险性指数，并将危险性划分为三级，可根据致灾危险性等级制作区划图。

危险性指数按下式（1）计算：

$$R_H = (L_d \times W_d + L_n \times W_n) \times (S_c \times W_s + E_h \times W_e + T_r \times W_t) \quad (1)$$

式中：

$R_H$ ——致灾危险性指数；

$L_d$ ——雷击点密度（个/（ $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ））；

$W_d$ ——雷击点密度权重；

$L_n$ ——地闪强度（kA）；

$W_n$ ——为地闪强度权重；

$S_c$ ——土壤电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）；

$W_s$ ——土壤电阻率权重；

$E_h$ ——海拔高度（m）；

$W_e$ ——海拔高度权重；

$T_r$ ——地形起伏（m）；

$W_t$ ——地形起伏权重。

注1：雷击点密度可利用闪电定位资料以  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$  网格为统计单元得到，或根据所在区域台站的年平均雷暴日数  $T_d$  得到（ $L_d=0.1T_d$ ）。

注2：地闪强度  $Ln$  的计算方法参见 QX/T 405—2017 中 5.2.2.5。

注3：权重采用层次分析法确定（参见附录D），下同。

### 7.3 承灾体暴露度评估

7.3.1 承灾体暴露度评估应综合考虑人口密度、GDP 密度、城镇化率等

7.3.2 承灾体暴露度按式（2）计算：

$$R_E = P_d \times W_p + G_d \times W_g + U_r \times W_u \quad (2)$$

式中：

$R_E$ ——暴露度指数；

$P_d$ ——人口密度（人/ $\text{km}^2$ ）；

$W_p$ ——人口密度权重；

$G_d$ ——GDP 密度（万元/ $\text{km}^2$ ）；

$W_g$ ——GDP 密度权重；

$U_r$ ——城镇化率；

$W_u$ ——城镇化率权重；

注：当暴露度选用易燃易爆场所和旅游景区时，宜选用密度作为因子，并进行归一化处理。

### 7.4 承灾体脆弱性评估

7.4.1 承灾体脆弱性评估应综合考虑生命损失、经济损失、防护能力等

7.4.2 承灾体脆弱性按下式（3）计算：

$$R_F = C_l \times W_c + M_l \times W_m + (1 - P_c) \times W_p \quad (3)$$

式中：

$R_F$ ——脆弱性指数；

$C_l$ ——生命损失指数；

$W_c$ ——生命损失指数权重；

$M_l$ ——经济损失指数；

$W_m$ ——经济损失指数权重；

$P_c$ ——防护能力指数；

$W_p$ ——防护能力指数权重；

各因子的计算方法参见 QX/T 405—2017 中 5.2.4 和 5.2.5。

当防护能力选用政府、企业和基层减灾资源作为因子时：

$$P_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (J_z \times W_z)$$

式中：

$J_z$ ——各类减灾资源密度的归一化指数

$W_z$ ——各类减灾资源密度的归一化指数权重。

## 7.5 雷电灾害风险评估

7.5.1 雷电灾害风险应综合考虑致灾危险性指数、暴露度指数和脆弱性指数进行评估。

7.5.2 雷电灾害风险评估按下式(4)计算：

$$LD_{RI} = R_H^{W_h} \times R_E^{W_e} \times R_F^{W_f} \quad (4)$$

式中：

$LD_{RI}$ ——雷电灾害风险评估指数；

$R_H$ ——致灾危险性指数；

$W_h$ ——致灾危险性指数权重；

$R_E$ ——暴露度指数；

$W_e$ ——暴露度指数权重；

$R_F$ ——脆弱性指数；

$W_f$ ——脆弱性指数权重；

7.5.3 应根据 $LD_{RI}$ 值，按照 4.3 的规定划分风险等级，制作风险区划图。

## 8 评估成果与更新

8.1 评估成果应包括评估报告、风险区划图、高风险区清单、评估数据库。

8.2 评估成果应用于国土空间规划、防雷减灾规划、应急管理、重大工程选址。

8.3 评估成果应每 10 年进行一次全面更新。发生重特大雷电灾害后、重大建设工程竣工后、土地利用类型发生重大变化时应及时更新。每年应更新雷电定位资料、雷电灾害统计数据 and 人口、GDP 等社会经济统计数据。

附录 A  
(资料性附录)  
归一化处理办法

归一化是将有量纲的数值经过变换,化为无量纲的数值,进而消除各指标的量纲差异。计算公式为:

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

式中:

$D_{ij}$ ——j 站(格)点第 i 个指标的归一化值;

$A_{ij}$ ——j 站(格)点第 i 个指标值;

$\min_i$ ——第 i 个指标值中的最小值;

$\max_i$ ——第 i 个指标值中的最大值。

附录 B  
(资料性附录)  
百分位数法

百分位数是一种位置指标，常用于描述一组样本值在某百分位置上的水平，多个百分位结合使用，可以更全面地描述资料的分布特征。百分位数的计算采用以下经验公式：

百分位数计算方法见式 (B.1) ~ 式 (B.3)：

$$\hat{Q}_i(p) = (1 - \gamma)X_{(j)} + \gamma X_{(j+1)} \quad (\text{B.1})$$

$$j = \text{int}(p \times n + (1 + p)/3) \quad (\text{B.2})$$

$$\gamma = p \times n + (1 + p)/3 - j \quad (\text{B.3})$$

式中：

$\hat{Q}_i(p)$ ——第  $i$  个分位数；

$X$  ——升序排列后样本序列；

$p$  ——百分位数；

$n$  ——序列总数；

$j$  ——第  $j$  个序列数。

附录 C  
(资料性附录)

自然断点法

自然断点法 (Jenks natural breaks method) 是一种地图分级算法。其依据数据本身的断点进行分级, 目标是实现组间方差最大、组内方差最小。

计算方式如下:

$$SSD_{i-j} = \sum_{k=1}^j A[k]^2 - \frac{(\sum_{k=1}^j A[k])^2}{j-i+1} \quad (1 \leq i < j \leq N)$$

式中:

SSD——方差;

i、j——第 i、j 个元素;

A——长度为 N 的数组;

k——i、j 中间的数, 表示 A 组中的第 k 个元素。

附录 D  
(资料性附录)

层次分析法

层次分析法简称 AHP，将决策问题按总目标、各层子目标、评价准则直至具体的备投方案的顺序分解为不同的层次结构，然后用求解判断矩阵特征向量的办法，求得每一层次各元素对上一层次某元素的优先权重，最后再加权和方法递阶归并各备择方案对总目标的最终权重，此最终权重最大者即为最优方案。

计算步骤如下：

- 1) 建立层次结构模型；
- 2) 构造判断(成对比较)矩阵；
- 3) 层次单排序及其一致性检验；
- 4) 层次总排序及其一致性检验。

## 附录 E (资料性附录)

### 雷电灾害风险评估计算方法细则

#### E.1 危险性计算细则

##### E.1.1 致灾因子数据准备

- 雷击点密度 ( $L_d$ ): 基于闪电定位系统 (LLS) 近 10 年数据, 以  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$  网格为统计单元, 计算年平均雷击点密度。
- 雷电流强度 ( $L_n$ ): 参考《GB/T 33613-2017》附录 C 雷电流强度估算方法。
- 土壤电阻率 ( $S_c$ ): 现场实测, 按《GB/T 17949.1-2022》规定深度和间距布置电极。
- 海拔高度 ( $E_n$ ): 采用国家测绘地理信息局发布的数字高程模型 (DEM) 数据, 精度不低于 30 m。
- 地形起伏 ( $T_r$ ): 基于 DEM 数据, 计算区域内最大高程差与平均高程比值。

##### E.1.2 权重确定

- 采用层次分析法 (AHP), 组织专家对各致灾因子进行两两对比打分, 构建判断矩阵。
- 计算判断矩阵的最大特征根 ( $\lambda_{\max}$ ), 并通过一致性指标 (CI) 和随机一致性指标 (RI) 检验, 确保判断矩阵的一致性比率 ( $CR=CI/RI$ ) 小于 0.1。
- 根据判断矩阵特征向量, 确定各因子权重 ( $W_d$ 、 $W_n$ 、 $W_s$ 、 $W_e$ 、 $W_t$ ), 权重值保留四位小数。

E.1.3 危险性指数计算 按照正文公式计算致灾危险性指数 (RH), 并根据自然断点法将结果分为高、中、低三个等级, 绘制区划图。

#### E.2 暴露度计算细则

##### E.2.1 数据准备

- 人口密度 ( $P_d$ ): 依据国家统计局发布的最新人口普查数据, 按行政单元计算。
- GDP 密度 ( $G_d$ ): 根据当地统计局提供的 GDP 数据, 结合土地面积计算。
- 城镇化率 ( $U_r$ ): 参考《中国城市统计年鉴》。

E.2.2 权重确定 采用层次分析法, 构建暴露度因子判断矩阵, 确定权重 ( $W_p$ 、 $W_g$ 、 $W_u$ )。

E.2.3 暴露度指数计算 按照正文公式计算暴露度指数 ( $R_e$ ), 并进行归一化处理。

#### E.3 脆弱性计算细则

##### E.3.1 数据准备

- 生命损失指数 ( $C_l$ ): 基于历史雷电灾害数据统计。
- 经济损失指数 ( $M_l$ ): 参考当地经济部门提供的行业损失数据。
- 防护能力指数 ( $P_c$ ): 通过问卷调查和现场评估确定。

E.3.2 脆弱性指数计算 按照正文公式计算脆弱性指数 (RF), 并进行归一化处理。

#### E.4 雷电灾害风险综合评估计算方法细则

##### E.4.1 数据准备

- 致灾危险性指数 ( $R_H$ ): 由 E.1 章节计算得到。
- 承灾体暴露度指数 ( $R_e$ ): 由 E.2 章节计算得到。
- 承灾体脆弱性指数 ( $R_f$ ): 由 E.3 章节计算得到。

##### E.4.2 权重确定

1. 评估因子: 确定致灾危险性 ( $R_H$ )、暴露度 ( $R_e$ )、脆弱性 ( $R_f$ ) 三者对综合风险的权重 ( $W_h$ 、 $W_e$ 、 $W_f$ )。
2. 方法: 采用层次分析法 (AHP), 参见附录 D。组织专家构建判断矩阵, 通过一致性检验后, 得到归一化权重  $W_h$ 、 $W_e$ 、 $W_f$  (满足  $W_h+W_e+W_f=1$ )。

##### E.4.3 风险评估指数计算

按照正文 7.5.2 的公式计算，在统一评估单元上，代入各单元对应的 RH, RE, RF 值及权重，计算得到各单元的雷电灾害风险评估指数 ( $LD_{RI}$ )。

#### E.4.4 风险等级划分与制图

1. 分级：根据计算所得的所有单元  $LD_{RI}$  值，按照正文 4.3 的规定，采用自然断点法（附录 C）或百分位数法（附录 B）将风险划分为三级：I 级（高风险）、II 级（中等风险）、III 级（低风险）。
2. 制图：基于风险分级结果，利用 GIS 软件制作雷电灾害风险区划图。

## 参 考 文 献

- [1] QX/T 103—2017 雷电灾害调查技术规范
  - [2] QX/T 191—2013 雷电灾情统计规范
  - [3] QX/T 405—2017 雷电灾害风险区划技术指南
  - [4] GB/T 37047—2022 基于雷电定位系统（LLS）的地闪密度 总则
  - [5] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
  - [6] GB/T 2260—2007 中华人民共和国行政区划代码
-