

雷电灾害风险区划技术规范

Technical specifications for risk zoning of lightning disaster

2020—06—28 发布

2020—07—28 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 雷电灾害风险区划	2
4.1 区划资料	2
4.2 区划流程	3
4.3 区划模型	3
4.4 区划方法	4
5 雷电灾害风险区划结果评估	8
6 雷电灾害风险区划报告	9
附录A（资料性附录） 归一化处理办法	10
附录B（资料性附录） 层次分析法	11
附录C（资料性附录） 加权综合评价法	13
附录D（资料性附录） 百分位数法	14
参考文献	15
图 1 雷电灾害风险区划流程	3
图 2 雷电灾害风险指数构成	4
表 1 雷电流幅值等级	5
表 2 土地利用指标赋值表	7
表 3 防护能力指标赋值表	8
表 4 雷电灾害风险区划等级	8

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由内蒙古自治区气象局提出并归口。

本标准起草单位：内蒙古自治区雷电预警防护中心、内蒙古自治区气候中心、内蒙古锐克雷电防护科技公司。

本标准主要起草人：刘晓东、尤莉、颜斌、李庆君、宋昊泽、王乐乐、陶建光、东方、王曼霏、博格、王国胜、侯越、刘旭洋、徐学文、淡奇峰。

雷电灾害风险区划技术规范

1 范围

本标准规定了雷电灾害风险区划及区划结果评估、雷电灾害风险区划报告内容。
本标准适用于内蒙古自治区、盟市、旗县三级雷电灾害风险区划及评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所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 21010—2017 土地利用现状分类

GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范

QX/T 103—2017 雷电灾害调查技术规范

3 术语和定义

QX/T 103-2017、QX/T 405-2017、MZ/T 027-2011、GB/T 26376-2010 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了某些术语和定义。

3.1

雷电灾害 lightning disaster

因雷电对生命体、建（构）筑物、电气和电子系统等所造成的损害。

[QX/T 103—2017，定义3.2]

3.2

雷电灾害风险 lightning disaster risk

雷电灾害发生的可能性及其可能损失。

[QX/T 405—2017，定义3.1]

3.3

孕灾环境 disaster-formative environment

由自然与人文环境所组成的综合地球表层环境以及在此环境中的一系列物质循环、能量流动以及信息与价值流动的过程——响应关系。

[MZ/T 027—2011，定义3.4]

3.4

致灾因子 hazard

DB15/ T 1925—2020

可能造成人员伤亡、财产损失、资源与环境破坏、社会系统混乱等的异变因子。
[QX/T 405—2017, 定义3.2]

3.5

承灾体 hazard-affected body

承受灾害的对象。

[MZ/T 027—2011, 定义3.6]

3.6

防灾 disaster prevention

灾害发生前, 采取一系列措施防止灾害发生或预防灾害造成人员伤亡、财产损失, 以及对社会和环境的影响。

[GB/T 26376—2010, 定义2.4]

3.7

减灾 disaster reduction

在灾害管理的各个阶段, 采取一系列措施减轻灾害造成的人员伤亡、财产损失, 以及灾害对社会和环境的影响。

[GB/T 26376—2010, 定义2.3]

3.8

雷电灾害风险指数 lightning disaster risk index

根据致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力对雷电灾害风险进行评定的量化指标。

3.9

雷电灾害风险区划 lightning disaster risk zoning

根据雷电灾害风险指数的大小对某行政区的雷电灾害风险进行等级划分。

3.10

雷电灾害风险区划结果评估 the results evaluation of lightning disaster risk zoning

对雷电灾害风险区划结果进行评定、验证。

4 雷电灾害风险区划

4.1 区划资料

4.1.1 地理信息资料

应收集分辨率不低于1:25万的数字高程DEM (Digital Elevation Model) 数据、土地利用数据、水系数据和土壤电导率数据。

4.1.2 社会经济资料

应收集最近年份的社会经济资料，包括各行政区域的土地面积、GDP和人口数据。

4.1.3 气象资料

应收集气象观测站30年（1981—2010年）逐日雷暴观测数据及近5年的地闪定位资料（包含每次地闪发生的具体日期、时间、经纬度、雷电流波形陡度和电流幅值等参数）。

4.1.4 灾情资料

应收集近20年雷电灾情资料，包含雷击人员伤亡和经济损失等数据。

4.2 区划流程

雷电灾害风险区划的具体流程见图1。

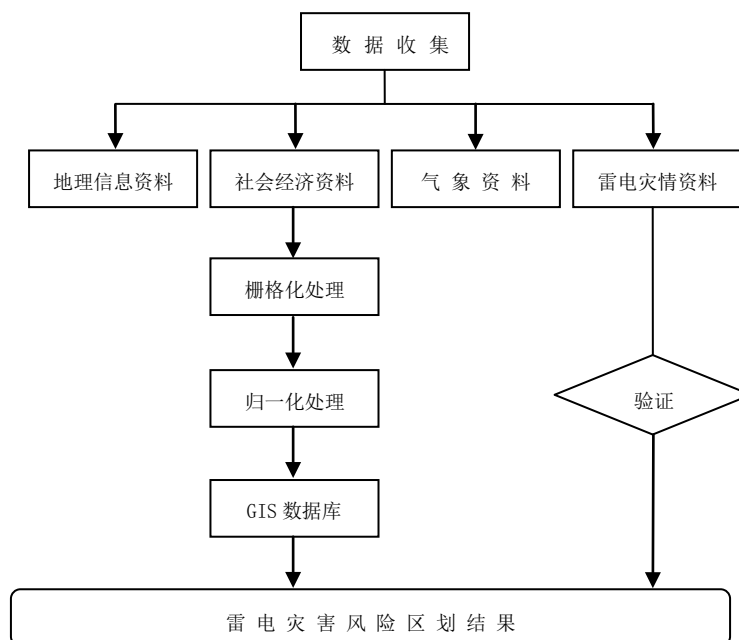


图1 雷电灾害风险区划流程

4.3 区划模型

雷电灾害风险区划模型由雷电灾害风险指数计算和雷电灾害风险等级划分组成。雷电灾害风险指数由致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力4个评价因子构成，如图2所示。

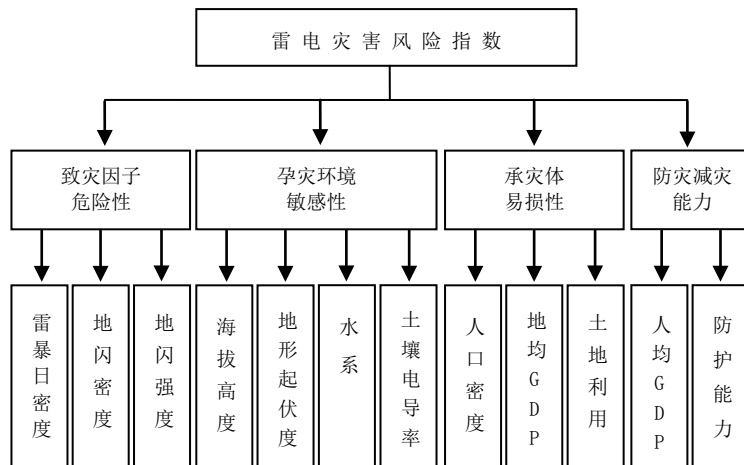


图2 雷电灾害风险指数构成

4.4 区划方法

4.4.1 雷电灾害风险指数计算

雷电灾害风险指数按照公式（1）进行计算：

$$LDRI = (V_H^{wh})(V_E^{we})(V_S^{ws})(10 - V_R)^{wr} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- V_H ——致灾因子危险性评价因子；
- wh ——致灾因子危险性评价因子权重；
- V_E ——孕灾环境敏感性评价因子；
- we ——孕灾环境敏感性评价因子权重；
- V_S ——承灾体易损性评价因子；
- ws ——承灾体易损性评价因子权重；
- V_R ——防灾减灾能力评价因子；
- wr ——防灾减灾能力评价因子权重。

各评价因子和评价指标进行归一化处理，处理方法参见附录 A；其权重大小可根据层次分析法确定，层次分析法参见附录 B，其所建立的矩阵一致性比率的值要求小于 0.1，以保证矩阵一致性检验合格。

4.4.2 致灾因子危险性分析

4.4.2.1 致灾因子危险性评价方法

致灾因子危险性评价因子 V_H 主要选取雷暴日密度 L_d 、地闪密度 N_g 和地闪强度 L_n 3 个评价指标进行评价。将 3 个评价指标按照各自影响程度，采用加权综合评价法按照公式（2）计算得到评价因子 V_H ，加权综合评价法参见附录 C。

$$V_H = h_1 \cdot L_d + h_2 \cdot N_g + h_3 \cdot L_n \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- V_H ——致灾因子危险性评价因子；
 h_1 ——雷暴日密度权重；
 L_d ——雷暴日密度；
 h_2 ——地闪密度权重；
 N_g ——地闪密度；
 h_3 ——地闪强度权重；
 L_n ——地闪强度。

4.4.2.2 雷暴日密度 L_d 指标

应选取至少近30年各气象站雷暴日观测资料，按照公式（3）计算得出雷暴日密度 L_d ，再利用kriging插值法形成1 km×1 km数据，形成 L_d 栅格数据。

$$L_d = 0.1T_d \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- L_d ——雷暴日密度；
 T_d ——雷暴日数。

4.4.2.3 地闪密度 N_g 指标

选取至少近5年的地闪定位数据资料，然后运用GIS软件将评估区域划分为1 km×1 km的网格，计算网格内地闪频次，形成地闪密度 N_g 栅格数据。

4.4.2.4 地闪强度 L_n 指标

选取至少近5年地闪定位数据资料，剔除雷电流幅值为0 kA~2 kA 和200 kA 以上的地闪定位资料，按照表1确定的5个等级运用百分位数法分别计算出对应的电流强度阈值，对5个不同等级雷电流强度赋予不同的权重值，按照公式（4）计算得出地闪强度 L_n 栅格数据，百分位数法参见附录D。

表1 雷电流幅值等级

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
百分位数区间	(0, 60%]	(60%, 80%]	(80%, 90%]	(90%, 95%]	(95%, +∞)
权重值	1/15	2/15	3/15	4/15	5/15

$$L_n = \sum_{i=1}^5 \frac{i}{15} F_i \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- L_n ——地闪强度；
 i ——雷电流幅值等级；
 F_i —— i 级雷电流幅值等级的地闪频次。

4.4.3 孕灾环境敏感性分析

4.4.3.1 孕灾环境敏感性评价方法

孕灾环境敏感性评价因子 V_E 主要选取海拔高度 E_h 、地形起伏度 E_t 、水系 S_c 和土壤电导率 T_r 4个评价指标进行评价。将3个评价指标按照各自影响程度，采用加权综合评价法计算得到评价因子 V_E ，见公式(5)。

$$V_E = e_1 \cdot E_h + e_2 \cdot E_t + e_3 \cdot S_c + e_4 \cdot T_r \dots\dots\dots (5)$$

式中：

V_E ——孕灾环境敏感性评价因子；

e_1 ——海拔高度权重；

E_h ——海拔高度；

e_2 ——地形起伏度权重；

E_t ——地形起伏度；

e_3 ——水系权重；

S_c ——水系；

e_4 ——土壤电导率权重；

T_r ——土壤电导率。

4.4.3.2 海拔高度 E_h 指标

海拔高度采用高程表示，直接从DEM数字高程数据中提取形成分辨率为1 km×1 km的海拔高度 E_h 栅格数据。

4.4.3.3 地形起伏度 E_t 指标

地形起伏度 E_t 指标是以海拔高度栅格数据为基础，计算以目标栅格为中心、窗口大小为8×8的正方形范围内高程的标准差，得到地形起伏度 E_t 的栅格数据。

4.4.3.4 水系 S_c 指标

水系 S_c 指标主要考虑河网密度和河流缓冲区两个因素，通过将河网密度和缓冲区的权重按照层次分析法确定各为0.5，采用加权综合评价法计算得到评价因子 S_c 。其中河网密度运用GIS软件采用1 km×1 km的网络进行计算；河流缓冲区的赋值本标准将一至五级河流来统一考虑，采用专家评分法按照距离河流远近每500 m一个等级分别赋值为0.9、0.8、0.7、0.6和0.5。

4.4.3.5 土壤电导率 T_r 指标

土壤电导率 T_r 指标是对土壤电导率资料运用GIS软件形成分辨率为1 km×1 km的土壤电导率栅格数据。

4.4.4 承灾体易损性分析

4.4.4.1 承灾体的易损性评价方法

承灾体的易损性评价因子 V_S 主要选取人口密度 P_d 、地均GDP G_d 、土地利用 T_l 3个指标进行评价。将3个评价指标按照各自影响程度，采用加权综合评价法计算得到评价因子 V_S ，见公式(6)。

$$V_S = s_1 \cdot P_d + s_2 \cdot G_d + s_3 \cdot T_l \dots\dots\dots(6)$$

式中：

V_S ——承灾体的易损性评价因子；

s_1 ——人口密度权重；

P_d ——人口密度；

s_2 ——地均GDP权重；

G_d ——地均GDP；

s_3 ——土地利用权重；

T_l ——土地利用。

4.4.4.2 人口密度 P_d 指标

以人口除以土地面积，得到人口密度，形成1 km×1 km的人口密度 P_d 栅格数据。

4.4.4.3 地均GDP G_d 指标

以GDP除以土地面积，得到地均GDP，形成1 km×1 km的地均GDP G_d 栅格数据。

4.4.4.4 土地利用 T_l 指标

土地利用栅格数据是根据GB/T 21010—2017将土地利用数据采用专家评分法按表2进行赋值得出。

表2 土地利用指标赋值表

土地利用类型	赋值
耕地	0.7
林地	0.8
草地	0.6
水域	0.5
城乡、工矿、居民用地	0.9
未利用土地	0.4

4.4.5 防灾减灾能力分析

4.4.5.1 防灾减灾能力评价方法

防灾减灾能力评价因子 V_R 主要选取人均GDP P_g 和雷电重点单位防护能力 P_c 两个指标进行评价。将两个评价指标按照各自影响程度，采用加权综合评价法计算得到评价因子 V_S ，见公式(7)。

$$V_R = r_1 \cdot P_g + r_2 \cdot P_c \dots\dots\dots(7)$$

式中：

V_R ——防灾减灾能力评价因子；

r_1 ——人均GDP权重；

P_g ——人均GDP；

r_2 ——雷电重点单位防护能力权重；

P_c ——雷电重点单位防护能力。

4.4.5.2 人均 GDP P_g 指标

人均 GDP 以某一地区 GDP 除以同期平均人口得出，形成 1 km×1 km 人均 GDP 栅格数据。

4.4.5.3 重点单位防护能力 P_c 指标

重点单位防护能力是根据GB 50057—2010中规定第一类、第二类、第三类防雷建筑物的防雷措施情况，按照类别对其防护能力采用专家评分法进行赋值（表3），形成1 km×1 km栅格数据。

表3 防护能力指标赋值表

防雷类别	赋值
一类	0.9
二类	0.75
三类	0.6

4.4.6 区划等级划分

根据雷电灾害风险指数 $LDRI$ 的计算结果按照表 4 将雷电灾害风险划分为低风险区、次低风险区、中等风险区、次高风险区和高风险区 5 个等级，并绘制雷电灾害风险区划图。

表4 雷电灾害风险区划等级

等级	$LDRI$	说明
1	$LDRI \leq 0.75$	低风险区
2	$0.75 < LDRI \leq 0.80$	次低风险区
3	$0.80 < LDRI \leq 0.85$	中等风险区
4	$0.85 < LDRI \leq 0.90$	次高风险区
5	$0.90 < LDRI \leq 1.00$	高风险区

5 雷电灾害风险区划结果评估

选取近 20 年的雷电灾情数据运用灰色关联方法可对雷电灾害风险区划结果进行评估验证。灰色关联法具体步骤是首先建立一个参考序列 $X_0 = (x_{0j})$ ， $(x_{0j} = 1, j = 1, 2, \dots, m)$ ；然后根据选取的评估指标进行函数转换，建立一个比较序列 $X_i = (x_{ij})$ ， $(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ ，计算两个序列第 j 项指标的绝对差值 $\Delta_{0i}(j)$ ， $\Delta_{0i}(j) = |X_0 - X_i|$ ，按照公式 (8) 计算关联系数 $\xi_{0i}(j)$ 。

$$\xi_{0i}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(j) + \rho \cdot \Delta_{\max}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\xi_{0i}(j)$ ——关联系数；

Δ_{\min} —— $\Delta_{\min} = \min_i \min_j \Delta_{0i}(j)$ ；

ρ ——分辨系数，选取值为0.5；

Δ_{\max} —— $\Delta_{\max} = \max_i \max_j \Delta_{0i}(j)$ 。

最后计算 m 项指标关联系数的平均值，得出关联度 γ_{0i} ，见公式(9)。关联度值越大，说明比较序列越接近参考序列，灾情越严重。

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_{0i}(j) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

γ_{0i} ——关联度；

m ——指标数；

$\xi_{0i}(j)$ ——关联系数。

根据 QX/T 103—2017 规定的雷电灾害分级标准，选择雷击人员伤亡、直接经济损失等 3 个指标进行灰色关联评估，以验证区划结果。

6 雷电灾害风险区划报告

风险区划报告应客观、完整、科学、公正，应包括以下主要内容：

- a) 雷电灾害风险区划的目的和意义；
- b) 区划资料说明；
- c) 区划方法；
- d) 区划模型；
- e) 区划结果分析及区划图；
- f) 区划结论。

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：

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i} \dots\dots\dots(A.1)$$

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)
层次分析法

B.1 概述

层次分析法是美国运筹学家Saaty教授于20世纪70年代初提出的一种定性与定量分析相结合的多目标决策分析方法，主要分为建立递阶层次结构模型、构造判断矩阵和一致性检验和风险指数计算等步骤。

B.2 建立递阶层次结构模型

依据风险评估的要求构建递阶层，指标体系的每层中各元素支配下一层中的相应元素，形成一个递阶层次。

B.3 构造判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层某因素，本层次与之有关的各因素之间相对重要性的比较。为量化各因素的相对重要性，常采用 Saaty 标度方法。对每一层次中各因素相对重要性给出判断，可以用这些标度值表示写成对比矩阵 A ，需要检验对比矩阵 A 的一致性。一般通过 $2^{n/2}$ 次标度法调整，使对比矩阵 A 具有很好的一致性。经过多次比较调整和检验，得出合理的对比矩阵 A 及权重系数结果。

$$A = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

A ——对比矩阵；

B_{ij} ——因素 i 与因素 j 相比得到的重要性比值。

B.4 一致性检验

对比矩阵需要一致性检验。首先应用和积法计算对比矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及其对应的特征向量 W ，然后根据判断矩阵的阶数 n ，计算对比矩阵的一致性指标 I_C ：

$$I_C = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \dots\dots\dots (B.2)$$

查找相应的随机一致性指标 I_R 值，然后计算一致性比率 CR ：

$$CR = I_C / I_R \dots\dots\dots (B.3)$$

当 CR 的值小于0.1，说明对比矩阵一致性检验合格。

B.5 计算合成权重□

当所有层次的相对权重计算得出后，利用各层次指标的层次单排序结果，进一步计算递阶层次结构模型中最底层指标相对于总目标的组合权重，由下而上逐层进行层次总排序。

附 录 C
(资料性附录)
加权综合评价法

加权综合评价法综合考虑各个具体指标对评价因子的影响程度，是把各个具体指标的作用大小综合起来，用一个数量化指标加以集中，计算公式为：

$$V_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot D_{ij} \quad \dots\dots\dots (C. 1)$$

式中：

V_j ——风险评价因子的值；

n ——评价指标个数；

w_i ——指标 i 的权重；

D_{ij} ——指标 i 的归一化值。

附 录 D
(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：

$$\hat{Q}_i(p) = (1 - \gamma)X_{(j)} + \gamma X_{(j+1)} \dots\dots\dots (D. 1)$$

$$\gamma = p \times n + (1 + p)/3 - j \dots\dots\dots (D. 2)$$

$$j = \text{int}(p \times n + (1 + p)/3) \dots\dots\dots (D. 3)$$

式中：

$\hat{Q}_i(p)$ ——第 i 个百分位数；

p ——百分位数；

γ ——对应第 j 位的中间计算量；

X ——升序排列后的样本序列；

j ——第 j 个序列数；

n ——序列总数。

参 考 文 献

- [1] 章国材. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京:气象出版社, 2010.
 - [2] 章国材. 自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京:气象出版社, 2014.
 - [3] GB/T 26376—2010 自然灾害管理基本术语.
 - [4] QX/T 405—2017 雷电灾害风险区划技术指南.
 - [5] MZ/T 027—2011 自然灾害风险管理基本术语.
-