

雷电致灾风险区划技术规范

Technical specification for lightning disaster risk zoning

地方标准信息服务平台

2021 - 08 - 03 发布

2021 - 10 - 03 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 区划流程	2
5 资料收集	2
6 资料处理	3
7 区划模型和方法	4
附录 A (资料性) 归一化方法	7
附录 B (资料性) 雷电落点误差计算	8
附录 C (资料性) 权重大小确定方法	10
附录 D (资料性) 自然断点法	13
参考文献	14

地方标准信息服务平台

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：长沙市气象局、怀化市气象局、湖南省气象灾害防御技术中心。

本文件主要起草人：钟金莲、薛志明、邓战满、黄柱坚、薛明、刘越屿、周璐、薛德锋、唐瑶、陈梦醒、杨加艳、黄钰杰、谢露、黄正才、吴琰、吴瑕、卢荣琼、邱庆栋、陈力强、汤光玉。

地方标准信息服务平台

雷电致灾风险区划技术规范

1 范围

本文件给出了雷电致灾风险区划的流程、资料收集与处理、区划模型和方法。
本文件适用于雷电致灾风险区划。

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—2018 基于雷电定位系统（LLS）的地闪密度 总则
QX/T 405—2017 雷电灾害风险区划技术指南
DB43/T 2134—2021 地闪等级划分

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

雷电致灾风险 Risk of lightning disaster

雷电灾害发生的可能性。

3.2

致灾因子 hazard

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]

3.3

雷电致灾风险指数 lightning disaster risk index

根据致灾因子危险性对雷电致灾风险进行评定的量化指标。

3.4

雷电致灾风险区划 lightning disaster risk zoning

根据雷电致灾风险指数大小，对雷电致灾风险的空间范围进行区域划分。

3.5

地闪 cloud-to-ground lightning; CG

雷暴云与大地之间的放电现象。

[GB/T 37047—2018, 定义 3.1.1]

3.6

雷电定位系统 lightning location system; LLS

由多个雷电传感器组成的用于监测和定位其覆盖区域内雷电事件的探测网。

雷电定位系统又称闪电定位系统。
[GB/T 37047—2018, 定义 3.1.10]

3.7

地闪密度 ground flash density
单位面积、单位时间的平均地闪次数。
注：单位为次每平方千米年[次/(km²·a)]。
[GB/T 37047—2018, 定义 3.1.7]

3.8

地闪日数 lightning days
网格内年平均地闪日数。
注：单位为天每网格年。

3.9

雷电强度 lightning Intensity
按地闪等级划分中的地闪强度等级加权平均得到的强度。
注：单位为千安培 (kA)。

4 区划流程

雷电致灾风险区划流程，见图 1。

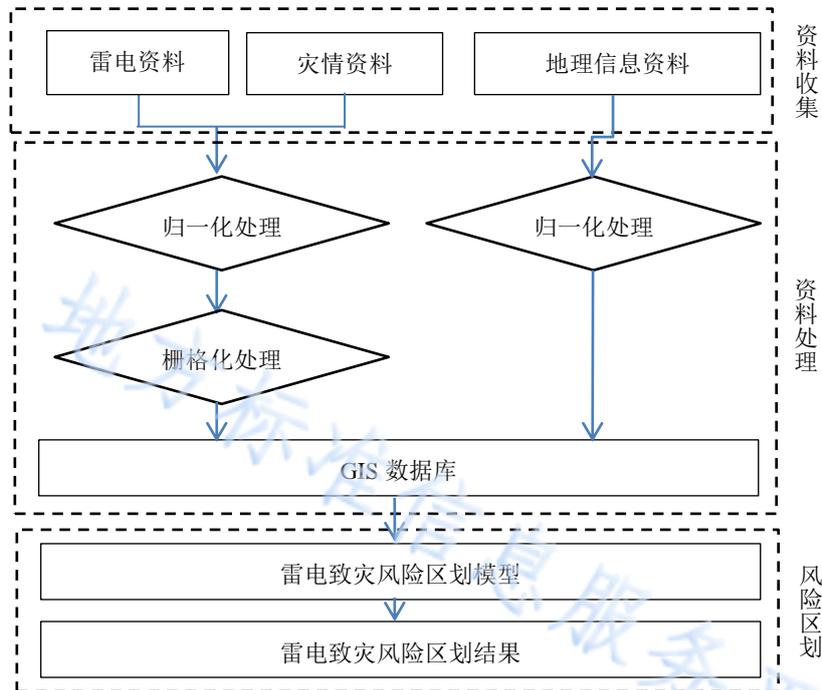


图 1 雷电致灾风险区划流程

5 资料收集

5.1 雷电资料

宜收集 5 年以上的雷电定位系统资料，包括雷击的时间、地理位置、雷电流幅值、陡度值等资料。

5.2 地理信息资料

按 QX/T 405—2017 规定，收集分辨率不低于 1:250000 的数字高程模型（DEM）数据。

5.3 灾情资料

宜收集 5 年以上雷灾起数。

6 资料处理

6.1 处理方法

6.1.1 归一化处理

参照 QX/T 405—2017 给出的方法，对收集的资料进行归一化处理，归一化处理方法参见附录 A。

6.1.2 栅格化处理

按 2000 国家大地坐标参数，将区域划分为 5 km×5 km 的网格。

6.2 地闪资料

6.2.1 落点误差处理

对收集的雷电资料进行落点误差计算，剔除雷电最大落点误差大于 2 倍网格边长的数据，雷电落点误差计算参见附录 B。

6.2.2 陡度值处理

雷电定位系统数据中，当陡度值大于雷电流幅值时，陡度值取雷电流幅值。

6.2.3 地闪强度等级划分

根据雷电流幅值、陡度值大小，参照 DB43/T 2134—2021 给出的方法，按表 1 将地闪强度划分为 4 个等级。

表 1 地闪强度等级

等级	等级名称	地闪强度 (kA)	条件关系	地闪陡度 (kA/μS)
1级	弱雷电	[0, 15)	或	<5
2级	中等雷电	[15, 25)	且	≥5
3级	强雷电	[25, 50)	且	≥5
4级	超强雷电	≥50	且	≥5

6.2.4 地闪日数

统计各网格内地闪强度 2 级（含）以上地闪日数，除以资料年限，得到各网格内的年地闪日数，并进行归一化处理，形成地闪日数栅格数据。

6.2.5 地闪密度

统计各网格内地闪强度 2 级（含）以上地闪频次，除以资料年限，得到各网格内的年地闪密度，并进行归一化处理，形成地闪密度栅格数据。

6.2.6 雷电强度

根据表 1，按式（1）计算各网格内的地闪强度 2 级（含）以上雷电强度并形成栅格数据。

$$L_n = \sum_{i=2}^4 \left(\frac{i}{9} \times F_i \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- L_n ——雷电强度；
- i ——地闪强度等级；
- F_i ——地闪强度为*i*等级的地闪频次的归一化值。

6.3 地理信息资料

6.3.1 土壤电导率

对土壤电导率资料进行归一化处理，形成归一化的土壤电导率栅格数据。

6.3.2 海拔高度

对数字高程模型（DEM）资料进行归一化处理，形成归一化的海拔高度栅格数据。

6.3.3 地形起伏

计算以目标栅格为中心、大小为所定栅格大小的正方形范围内高程的标准差，并进行归一化处理，形成归一化的地形起伏栅格数据。

6.4 致灾等级

参照雷灾起数，按表 2 统计栅格面积上雷电致灾等级，并进行归一化处理，形成归一化的雷电致灾等级栅格数据。

表 2 雷电致灾等级表

雷灾起数（起）	1-10	11-20	≥21
雷电致灾等级（级）	1	2	3

6.5 建立数据库

将地闪资料、灾情资料和地理信息资料处理成相同空间分辨率和空间投影坐标系统，建立地理信息系统（GIS）风险区划数据库。

7 区划模型和方法

7.1 区划模型

雷电致灾风险区划模型由地闪因子和触发因子数据组成。区划模型见图 2。

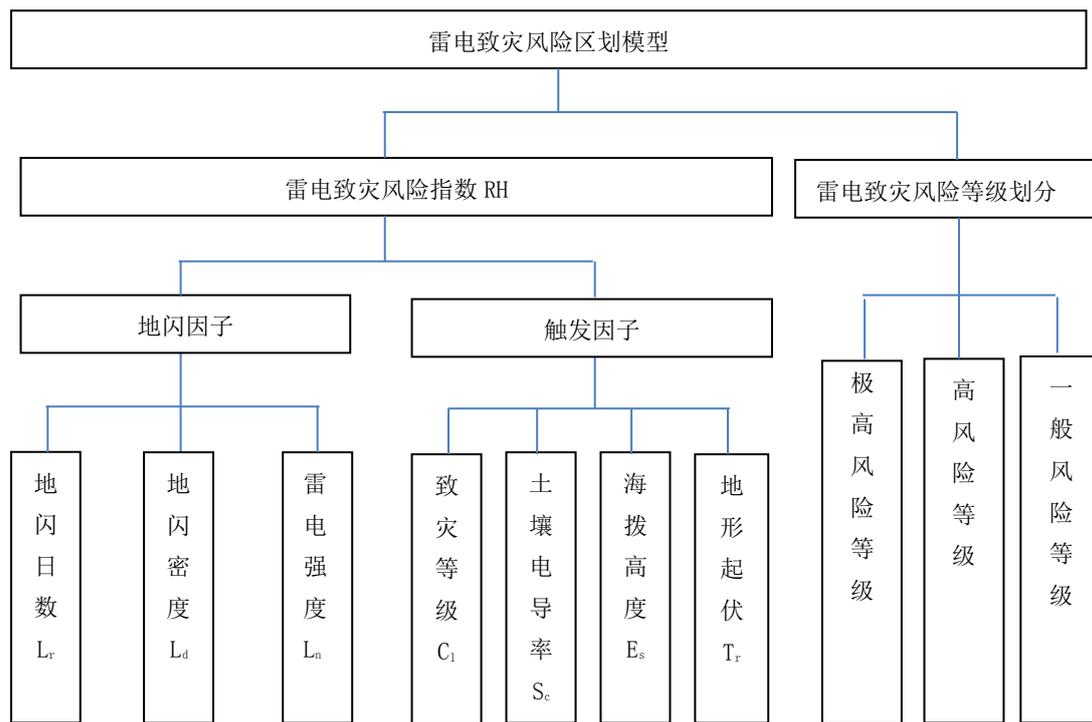


图 2 雷电致灾风险区划模型

7.2 区划方法

7.2.1 雷电致灾风险指数计算

雷电致灾因子危险性按式 (2) 计算：

$$RH = (L_r^{wr} + L_d^{wd} + L_n^{wn}) \times (C_l^{wc} + S_c^{ws} + E_h^{we} + T_r^{wt}) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

RH ——雷电致灾因子危险性；

L_r ——地闪日数；

w_r ——地闪日数权重；

L_d ——地闪密度；

w_d ——地闪密度权重；

L_n ——雷电强度；

w_n ——雷电强度权重；

C_l ——致灾等级；

w_c ——致灾等级权重；

S_c ——土壤电导率；

w_s ——土壤电导率权重；

E_h ——海拔高度；

w_e ——海拔高度权重；

T_r ——地形起伏；

w_t ——地形起伏权重。

各权重的计算参见附录 C。

7.2.2 雷电致灾风险等级划分

依据雷电致灾风险大小，采用自然断点法，将雷电致灾风险等级划分为极高风险等级（I级）、高风险等级（II级）、和一般风险等级（III级）。自然断点法参见附录D。

地方标准信息服务平台

附 录 A
(资料性)
归一化方法

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 、 \max_i ——分别是第 i 个指标值中的最小值和最大值。

地方标准信息服务平台

附 录 B
(资料性)
雷电落点误差计算

B.1 前言

雷电落点探测误差直接影响雷电灾害的定位确定。雷电位置是根据定位方式原理确定的，雷电定位方式包含时差定位和磁方向定位。雷电定位方式包含二站振幅、二站混合、三站混合、四站算法四类，不同的定位方式可产生不同的定位误差。通过对湖南雷电数据的落点分析，雷电落点误差主要来自于二站振幅。二站混合虽有一定误差，但比二站振幅小很多，且影响范围较小，基本可以接受。三站混合或四站算法误差极小，可以忽略。故本文件中只对二站振幅落点进行误差计算。

B.2 原理简介

磁定向法（MDF）是多站定位法中的一种。MDF 是利用两个相互正交且垂直的环（平面分别指向东西向和南北向）测量来自近似垂直的闪电回击通道的辐射磁场，每个环上的感应电压与回击磁场的强度和入射方向有关，通过比较两个环上的感应电压，来确定闪电辐射源的方向。某次闪电被二个测站同时探测到，则二个测站磁方向的交点就是闪电落点。事实上，磁方向并不是一条线，而是存在一个误差角 θ （一般小于 1° ），两个测站 M、N 以 θ 误差角方向与地面的交叉区域（图 B.1 中 HABC 所围成部分）不是唯一的一个点，而是一个面，所以磁定向法普遍存在一定误差。

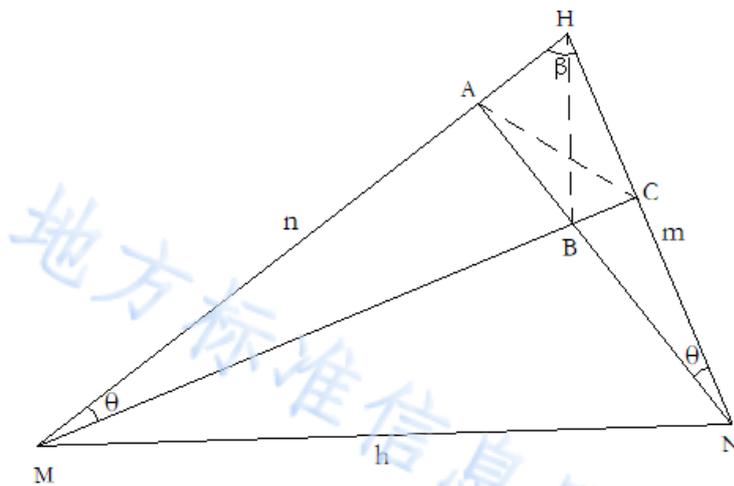


图 B.1 二站振幅误差计算示意图

B.3 计算方法

设 $H(\lambda_H, \Phi_H)$ 点为闪电落点， $M(\lambda_M, \Phi_M)$ 、 $N(\lambda_N, \Phi_N)$ 为二个探测站点，三点组成的 $\triangle HMN$ 对边设为 h 、 m 、 n ， θ 为误差角， $\angle MHN$ 设为 β ，利用经纬坐标差计算各边距离。

$$h = d_x((\lambda_M - \lambda_N)^2 \cos^2 \Phi_M + (\Phi_M - \Phi_N)^2 (1-f)^2)^{1/2};$$

$$m = d_x((\lambda_H - \lambda_N)^2 \cos^2 \Phi_H + (\Phi_H - \Phi_N)^2 (1-f)^2)^{1/2};$$

$$n = d_x((\lambda_M - \lambda_H)^2 \cos^2 \Phi_M + (\Phi_M - \Phi_H)^2 (1-f)^2)^{1/2}.$$

式中：

$d_x = 2\pi R d / 360$ ——赤道上相距一个经度的距离；

Rd ——地球赤道半径；

f ——地球扁率。

应用余弦定理计算角值：

$$\cos\beta = \frac{n^2 + m^2 - h^2}{2mn}; \quad \beta = \arccos \frac{n^2 + m^2 - h^2}{2mn}。$$

应用正弦定理：

在 $\triangle HMC$ 中， $HC = n \times \sin\theta / \sin(\beta + \theta)$ ；在 $\triangle HAN$ 中， $HA = m \times \sin\theta / \sin(\beta + \theta)$ 。

应用余弦定理：

$$AC^2 = HC^2 + HA^2 - 2HC \times HA \times \cos\beta;$$

$$AC = \frac{\sin\theta}{\sin(\beta + \theta)} (m^2 + n^2 - 2mncos\beta)^{1/2} = \frac{h \sin\theta}{\sin(\beta + \theta)} \dots\dots\dots (B.1)$$

因误差角 θ 为 1° 或 0.5° ，将四边形HABC视为近似平行四边形，则：

$\angle HAN = \angle HCM = \pi - \beta - \theta \approx \pi - \beta$ ， $HA \approx BC$ ，有：

$$HB^2 = HC^2 + HA^2 + 2HC \times HA \times \cos\beta;$$

$$HB = \frac{\sin\theta}{\sin(\beta + \theta)} (m^2 + n^2 + 2mncos\beta)^{1/2} = \frac{\sin\theta}{\sin(\beta + \theta)} (2m^2 + 2n^2 - h^2)^{1/2} \dots\dots\dots (B.2)$$

选择AC、HB中的最大值作为二站振幅定位方式可能的雷电落点最大误差，并用(B.3)式表示：

$$g_z = \frac{1}{2} (\max(\text{abs}(AC), \text{abs}(HB))) \dots\dots\dots (B.3)$$

地方标准信息服务平台

附 录 C
(资料性)
权重大小确定方法

C.1 熵值法

C.1.1 原理

熵是系统无序程度的度量，可用于度量已知数据所包含的有效信息量和确定权重。通过对熵的计算确定权重，即根据各项指标值的差异程度，确定各指标的权重。当评价对象的某项指标值相差较大时，熵值较小，说明指标提供的有效量较大，其权重也应较大；反之，若某项指标值相差较小，熵值较大，说明该指标提供的信息量较小，其权重也应较小。当各被评价对象的某项指标值完全相同时，熵值达到最大，意味着该指标无有用信息，可以从评价指标体系中去除。

C.1.2 步骤

C.1.2.1 原始数据矩阵归一化

设 m 个评价指标 i 、 n 个被评价对象 j ，构成原始数据矩阵 $(a_{ij})_{m \times n}$ ，对其归一化后，对大者为优的评价指标，归一化公式为：

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j \{a_{ij}\}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

r_{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。

对小者为优的评价指标，归一化公式为：

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

r_{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。

C.1.2.2 定义熵

在有 m 个评价指标 i 、 n 个被评价对象 j 的评估案例中，第 i 个评价指标的熵的计算公式为：

$$h_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

h_i ——第 i 个评价指标的熵；

k ——与样本 m 有关的常数，一般为 $1/\ln m$ ；

f_{ij} ——第 j 项评价指标下第 i 个评估方案占该评价指标的比重，计算公式见 (C.4)。

$$f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^m r_{ij} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

r_{ij} ——归一化后的值。

C.1.2.3 定义熵权

定义了第 i 个评价指标的熵之后，按照公式 (C.5) 可得到第 i 个评价指标的熵权：

$$w_i = \frac{1-h_i}{m - \sum_{i=1}^m h_i} (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1) \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

w_i ——第 i 个评价指标的熵权；

h_i ——第 i 个评价指标的熵；

m ——评价指标数量。

C.2 层次分析法

C.2.1 原理

把一个复杂系统中的每个指标都分解为若干个有序层次，每一层次中的元素具有大致相等的地位，并且每一层与上一层的某个指标和下一层的若干指标有着一定的联系，每一个层次之间按照隶属关系组建成一个有序的递阶层次结构模型。在这个层次结构模型中，根据客观事实的判断，通过两两比较判断的方式确定同一层次中每个指标的相对重要性，以数字的方式建立判断矩阵，然后利用向量的计算方法得出同一层次中每个指标的相对重要性权重系数，最后通过组合计算所有层次的相对权重系数得到每个最底层指标相对于目标的重要性权重系数。

C.2.2 步骤

C.2.2.1 构造判断矩阵

采用 1~9 标度法对各指标进行成对比较，确定各指标间的相对重要性并给出相应的比值，见表 C.1。

表 C.1 两两比较赋值表

标度	含义
$a_{ij}=1$	因素与因素具有相等的重要性
$a_{ij}=3$	因素比稍显重要
$a_{ij}=5$	因素比明显重要
$a_{ij}=7$	因素比强烈重要
$a_{ij}=9$	因素比极度重要
$a_{ij}=2、4、6、8$	因素与因素相比，介于结果的中间值
倒数	$a_{ij}=1/a_{ji}$

上述过程得出的判断矩阵 A 为:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

$$a_{ij}=1, a_{ij}=1/a_{ji}。$$

C.2.2.2 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 , 得出同一层次各指标的相对权重系数。

C.2.2.3 一致性检验

用平均随机一致性指标 ($R.I.$) 对各指标重要程度比较链上的相容性进行检验, 当成对比较得出的判断矩阵的阶数大于或等于 3 时, 则需要一致性检验。

根据判断矩阵得出一致性指标 ($C.I.$):

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (C.7)$$

根据判断矩阵阶数, 按照表 C.2 找出对应的 $R.I.$ 。

表 C.2 平均随机一致性指标值

判断矩阵的阶数	$R.I.$
1	0
2	0
3	0.52
4	0.9
5	1.12
6	1.26
7	1.36

根据 $C.I.$ 和 $R.I.$ 的值, 计算一致性比例 ($C.R.$):

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \dots\dots\dots (C.8)$$

当 $C.R.$ 小于等于 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值。

C.2.2.4 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, 进行层次总排序。

附 录 D
(资料性)
自然断点法

自然断点法 (Jenks natural breaks method) 是一种地图分级法。该算法认为数据本身有断点, 可利用数据这一特点进行分级。算法原理是一个小聚类, 聚类结束条件是组间方差最大、组内方差最小。计算方法见式 (D. 1):

$$SSD_{ij} = \sum_{k=1}^j A[k]^2 - \frac{(\sum_{k=1}^j A[k])^2}{j-i+1} \dots\dots\dots (D. 1)$$

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。

地方标准信息服务平台

参 考 文 献

- [1] GB/ 50057—2010 建筑物防雷设计规范
 - [2] GB/T 37047—2018 基于雷电定位系统（LLS）的地闪密度 总则
 - [3] QX/T 405—2017 雷电灾害风险区划技术指南
 - [4] QX/T 79—2007 闪电监测定位系统 第1部分：技术条件
 - [5] MZ/T 027—2011 自然灾害风险管理基本术语
 - [6] DB43/T 1802—2020 雷电预警等级划分技术规范
 - [6] 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
 - [8] 刘凤姣, 薛明, 薛德锋, 等. 基于闪电数据的雷电风险优化研究模型与应用[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 48-53, 84
-

地方标准信息服务平台