

刘威,欧阳霖.基于 ArcGIS 的网格化雷电灾害风险评估方法研究与应用[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(2):170-175.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 基于 ArcGIS 的网格化雷电灾害风险评估方法研究与应用

刘威<sup>1</sup>, 欧阳霖<sup>2</sup>

(1.镇海区气象局,浙江 宁波 315206;2.南京信息工程大学大气物理学院,江苏 南京 210000)

**摘要:**结合镇海区实际,开展大片区建(构)筑物网格化雷电灾害风险评估模型构建与应用,解决雷电灾害风险评估仅停留在依据灾后损失指标的单体建(构)筑物风险分布评估情况。在常规电气—几何雷电灾害风险评估模型基础上创新应用,引入地理信息处理技术将评估区域进行网格化分割,建立格点内包含建(构)筑物高度及其梯度、土壤电阻率及其梯度、直击雷防护效率、有效截收面积、地闪密度、电子电气设备系统、人口密度、火灾风险等指标在内的多层次网格化雷电灾害风险评估模型,并以辖区某化工企业厂区雷电灾害风险评估为例,对模型实践可行性应用示例。结果表明:对各指标数据集综合分析计算并运用 ArcGIS 风险区划,结合厂区功能布局特点分析评价,结果与市级雷电灾害风险评估报告、省级雷电易发区划基本一致。采用地理信息技术网格化处理大范围、跨区域雷电灾害风险评估方法,从“点”到“面”建立数学模型,对评估区域范围及扩展范围的雷电灾害风险评估、风险区划、政府决策支持等具有指导意义。

**关键词:** ArcGIS; 网格化; 雷电灾害; 风险评估

**中图分类号:** X43; P429

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-0799(2023)02-0170-06

自然灾害的形成是承灾体不能适应或者调整环境快速变化的结果。雷电灾害是联合国“国际减灾十年”公布的最严重的10种自然灾害之一,它是多种因素相互作用的产物,其本身受到区域气候环境、社会系统及其组合关系的影响。雷电灾害风险评估是根据评估区域所在地雷暴活动时空分布特征及其灾害性特点,结合现场及周边环境进行分析,对雷电可能导致的人员伤亡、财产损失与危害程度等方面的综合风险计算。通过雷电灾害风险评估,可以更科学地表征评估区域可能存在的风险差异,分析风险致灾因子以及强化防灾措施,从而为项目选址、功能分区布局、防雷类别(等级)确定、雷电防护设计及有关

部门决策服务等提出建设性意见。近年来,雷电灾害已引起有关部门的广泛关注,诸多学者也开展了相关研究,如王延慧等<sup>[1]</sup>、彭相瑜等<sup>[2]</sup>、卢友发等<sup>[3]</sup>、刘晓东等<sup>[4]</sup>、王淑一等<sup>[5]</sup>、余蜀豫等<sup>[6]</sup>、蔡忠周等<sup>[7]</sup>分别对新疆、河北、河南、内蒙古、大连、重庆、西宁等地进行了雷电灾害风险区划及雷电灾害事件特征分析。冯鹤等<sup>[8-9]</sup>、吴江等<sup>[10]</sup>、植耀玲等<sup>[11]</sup>分别对风险指标  $P_B$ 、 $A_m$ 、 $\rho$ 、 $L$  因子的选取方法进行分析。杨仲江等<sup>[12]</sup>、樊荣等<sup>[13]</sup>分别开发了雷电灾害风险评估软件进行自动化运算。马俊贵等<sup>[14]</sup>对雷电灾害风险评估人工、软件计算方法应用做了对比分析。最新的国际电工委员会 IEC 62305-2:2010、中国标准化委员会《GB/T 21714.2-2015 雷电防护第2部分:风险管理》标准对雷电灾害风险评估框架、评估参数选取做了解析。诸多文献研究均沿用了上述标准给出的评估参数,由于上述标准仅适用于建(构)筑物单体评估对象,对桥梁、长输管廊等跨区域、大片区建(构)筑物的雷

收稿日期:2021-09-13;修回日期:2022-02-11

基金项目:宁波市气象局科技计划项目“地形及东部洋面对宁波地区雷暴活动影响研究”(NBQX2019007B)

作者简介:刘威(1987—),男,工程师,主要从事雷电监测预警、雷电防护工程设计、气象管理工作。E-mail:liuwei198799@sina.com

击风险评估不适用,上述标准与《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010 设计标准在防雷类别(等级)判定、接闪器设计、雷电流幅值等参数值并没有统一对应,且依赖于 IEC 62305-2:2010 的雷电灾害风险评估原理和方法,人工计算量繁琐,风险分量选取受个人经验影响偏大,针对性较差,不能满足科学准确的定量计算要求。因此,本文结合工作实际,引入地理信息技术对大片区、跨区域等建(构)筑物场所进行网格化雷电灾害风险评估模型构建,对重要评估参数进行量化分析,简化综合风险计算过程,从“点”到“面”实现雷电灾害风险评估模型可视化。

### 1 风险评估模型构建(以镇海区为例)及技术流程

在平面上将行政区域分割成  $m$  列、 $n$  行的网格区域,网格边长可根据区域大小、评估要求调整,使得目标评估区域能够完全被网格区域所包含(图 1)。定义集合  $\Theta$  为辖区网格区域, $\Theta(u, v)$  为集合  $\Theta$  中第  $u$  列、第  $v$  行的目标评估网格(图 1 中阴影部分),针对集合  $\Theta$  中的每个网格进行风险指标计算,进而得到整个区域的雷电灾害风险分布图。集合  $\Theta$  (“点”)及区域(“面”)雷电灾害风险评估模型技术路线如图 2。

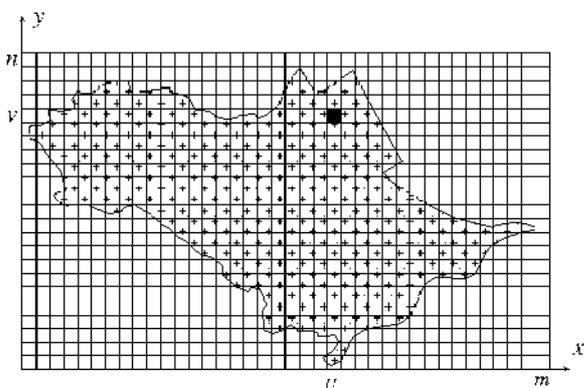


图 1 风险评估模型示意

## 2 评估指标定量分析

### 2.1 雷击概率风险及孕灾环境

#### 2.1.1 高度及其梯度

建(构)筑物高度是影响评估区域雷击概率的重要因子。建(构)筑物、装置设备等高度越高,与周围单体相对高度差越大,发生雷击的概率就越高。模型引入高度、梯度(相对高度差,取最大值,以下各指标相对差均取最大值)指标针对评估区域  $\Theta(u, v)$  进行分析。通过现场勘测、查阅设计图纸等方式,选取格点内建(构)筑物、装置设备的最高高度代表格点数

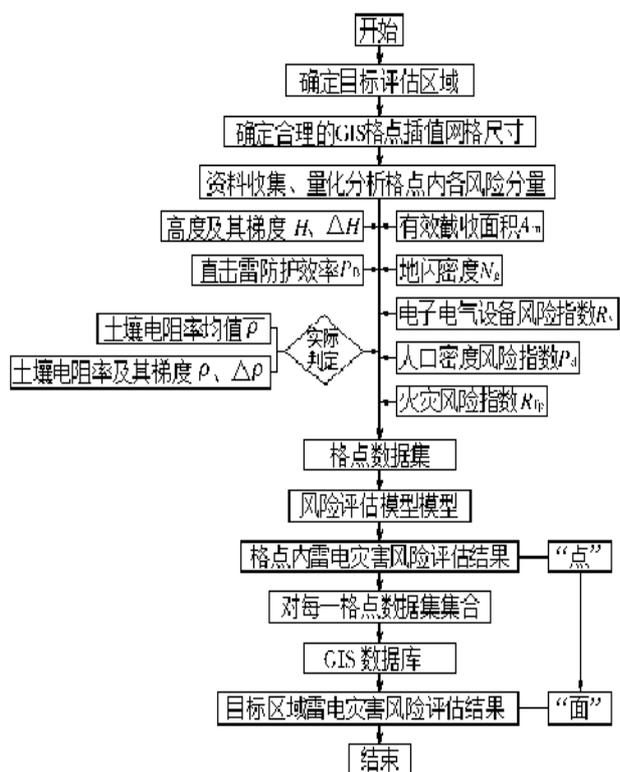


图 2 模型技术路线

值,定义目标评估区域高度集合  $H, H(u, v)$  表示第  $u$  列、第  $v$  行的格点内高度集合。梯度,为目标评估区域建(构)筑物、装置设备等与周围单体的相对高度差,周围环境是影响其遭受雷击概率的重要因子。通过建立的高度集合  $H$ ,可以得到梯度矢量函数  $\Delta H$ ,以  $\Delta H(u, v)$  表示第  $u$  列、第  $v$  行的格点内高度梯度变化。

#### 2.1.2 直击雷防护效率

IEC 62305-2:2010 附录 B 给出了直击雷防护效率  $P_B$ (不同类别防雷装置拦截失效概率)取值,本文在规范的基础上,针对不同防护等级的防护能力以及雷电流概率分布规律,根据评估项目直击雷防护实际情况以项目所在地雷电环境的统计特征将直击雷防护效率  $P_B$  定量计算确定,建立直击雷防护效率  $P_B(u, v)$ ,对不在保护范围内的网格,取  $P_B(u, v) = 1$ ,在保护范围内的网格,  $P_B(u, v)$  定量计算,该方法在一定程度上提高了  $P_B$  因子选取的科学性和准确性。

#### 2.1.3 土壤电阻率

土壤电阻率及其梯度是影响雷击散流效果的重要因子。影响土壤电阻率变化的因素有很多,不同地域、土壤结构、周边水体环境、土壤含盐含水量、温度等决定了雷击散流效果的好坏。本文从实际出发,考

考虑两种定量计算土壤电阻率的方法:(1)对于评估区域较小的项目,土壤电阻率取多次、多点位测量结果平均值 $\bar{\rho}$ ; (2)对于长输管道等涉及范围较大的项目,土壤电阻率变化范围较大,通过现场检测,得到每个格点内土壤电阻率 $\rho$ ,同理得到土壤电阻率梯度变化 $\Delta\rho, \Delta\rho(u, v)$ 即表示第 $u$ 列、第 $v$ 行的格点内土壤电阻率梯度集合,用来表征格点内土壤电阻率变化情况。

### 2.1.4 有效截收面积

雷电击中建(构)筑物附近的有效截收面积 $A_m$ 是雷电灾害风险评估的基础性因子之一。考虑评估目标项目所在位置雷电环境及项目特性,分析格点附近雷击点的危害方式及危害程度,探讨将评估区域看作一个整体,提出了一种定量计算复杂建(构)筑有效物截收面积的方法:(1)用 AutoCAD 打开评估区域总平面图,用多段线(Pline)命令描点划线,使其与评估区域外围重合;(2)在命令窗口中输入Offsetgatype,并将其值设置为 1;(3)使用偏移(Offset)命令,输入偏移距离 250 m<sup>[15-17]</sup>,选择第(1)步中画好的多段线,向外围偏移,得到 $A_m$ 线;(4)使用求面积(Area)命令,选择对象,第(3)步中偏移好的外围截收面积曲线,即为 $A_m$ 的面积。以格点为中心,定量计算格点内有效截收面积 $A_m(u, v)$ 。

### 2.1.5 地闪密度

地闪密度是分析评估区域雷电环境的重要因子之一。周雪君等<sup>[18]</sup>、张晓军<sup>[19]</sup>、魏秀梅<sup>[20]</sup>沿用了传统的地闪密度的计算方式: $N_g=0.1T_d$  ( $T_d$ 为年平均雷暴日),以人工观测雷暴日资料换算地闪密度,有一定的效果,但准确性相对较低。运用项目所在地闪电定位监测数据,分析评估区域 3 km×3 km 范围内 10 a 的雷电监测数据平均值,并以此作为格点内雷电活动的频繁程度,记作 $N_g(u, v)$ ,进入后续计算,以提高风险评估结果的准确性<sup>[21-22]</sup>。

## 2.2 承灾体雷击易损性分析

承灾体的雷击易损性是雷电灾害风险评估中最复杂也是最重要的一部分,其与承受雷电灾害的载体有关。选取格点内雷电灾害风险评估中电子电气设备系统、人口密集程度、火灾风险程度 3 个比较重要的参数指标进行量化分析。

### 2.2.1 电子电气设备系统风险指数

IEC 62305-2:2010 对电子电气设备风险有完整的评价模型,相关评价指标也给出了具体的计算和取值方法。选取雷击线路时电子电气设备线路特性及耐压水平 $P_{Li}$ 、雷击线路附近时设备线路特性及

耐压水平 $P_{Li}$ 、线路屏蔽、综合布线及耐压水平 $P_{MS}$ 、以及线路安装 SPD 系统的配合有效性 $P_{SPD}$ ,涵盖设备本身耐压水平、综合布线、屏蔽、防闪电电涌侵入 4 个重要参数量化分析。当发生雷击事件时,上述防护措施共同作用,防护有效率按最不利措施计算。分三种情况考虑:(1)格点内不存在电子电气设备时,为了后续综合风险乘积运算,风险值 $R_s$ 取 1;(2)存在某个电子电气设备时,取最不利防护措施值进入计算,由于 4 种防护措施均为概率值,均 $<1$ ,这样就存在有设备时比没有设备时风险更小的矛盾情况。为了处理这种情况,引入概率密度函数对上述概率值进行换算:

$$f(x) \geq 0, \quad (1)$$

$$\int f(x)dx=1. \quad (2)$$

当 $X \geq 0$ 时,任何非负数都可以在一个区间上对概率密度函数积分,得到这个区间的概率值,最小为 1,即风险值 $R_s \geq 1$ ,这样就保证了格点内有电子电气设备时风险值大于没有电子电气设备时风险值;(3)存在多个电子电气设备时,则对每个电子电气设备进行逐一计算求和,即可得到格点内所有电子电气设备雷击总风险值 $\sum R_s(u, v)$ 。分析函数如下:

格点内无电子电气设备时:

$$\sum R_s=1, \quad (3)$$

有单台电子电气设备时:

$$\sum R_s=R_{\min}\{f(x)P_{LD}, f(x)P_{Li}, f(x)P_{MS}, f(x)P_{SPD}\}, \quad (4)$$

有多台电子电气设备时:

$$\sum R_s=\sum_{i=1}^n R_{\min}\{f(x)P_{LDi}, f(x)P_{Lii}, f(x)P_{MSi}, f(x)P_{SPDi}\}. \quad (5)$$

### 2.2.2 人口密度风险指数

人口密集程度与雷电灾害有关,人口越密集,雷击可能导致的人身伤亡风险就越大。借鉴评估项目所在地最新年鉴数据,量化 1 km×1 km 内人口密度指标 $P_d$ ,进入后续计算。

### 2.2.3 火灾风险指数

当评估格点内属于化工等易燃易爆区域时,雷击可能导致火灾爆炸事故,因此评估格点内雷击风险时应考虑火灾风险指数。此风险指数借鉴 IEC 62305-2:2010 雷击风险模型中 $r_i, r_p$ 火灾与防护措施有关缩减因子,二者乘积 $R_p$ 表征格点内火灾风险指数。

## 2.3 构建雷电灾害风险指数 LDRI (Lightning



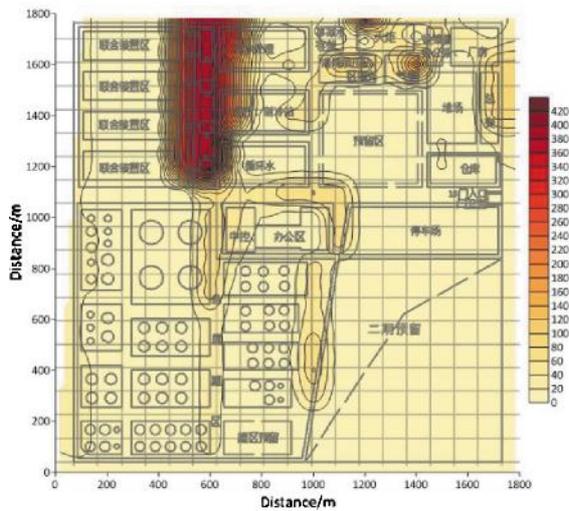


图5 综合雷电灾害风险分布

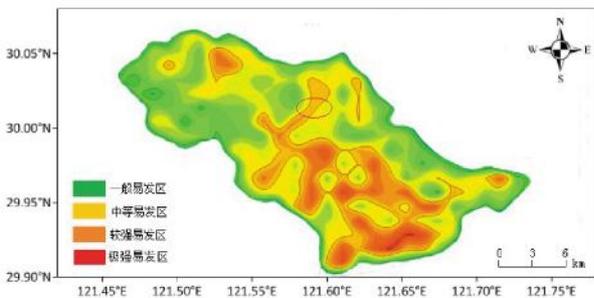


图6 镇海区雷电灾害风险区划  
(红色椭圆内即为示例项目所在位置)

目标评估区域进行网格化分割,从“点”的评估到“面”的区域评估,有效解决了以往业务工作中仅对单体建(构)筑物雷电风险评估的局限性,弥补了国标等规范在大片区、跨区域、长输管廊等建(构)筑物雷电风险评估适用性的不足。以某司片区项目应用示例,模型结果经与最新现有结果对比,具有较高的一致性,对于更大范围的目标评估区域雷电风险评估理论上可行。通过模型评估结果可以更科学地量化区域风险差异,分析致灾因子,强化防灾减灾措施,为城市大规模建设开发、功能分区布局、项目选址设计等提供有力的数据支撑。

#### 4 结论

本文对以往雷电风险评估仅依赖于灾后损失指标的单体建(构)筑物,且照搬规范评估模型及参数的情况,就大片区、跨区域、长输管廊等建(构)筑物雷电风险评估所存在的问题,提出采用网格化技术处理的风险评估方法,构建数学模型,并以工作实践应用示例,得到以下结论:

(1)在传统雷电风险评估参数经验值选取的基

础上,对各指标参数量化分析,使评估结果更趋于真实值;基于 ArcGIS 技术格点插值处理,采用网格化分割“点”“面”结合模式,较好地解决了 IEC 62305-2:2010 仅适用于单体建(构)筑物,而无法处理大片区、长输管廊、跨区域项目等建(构)筑物雷电风险评估的不足,更加符合我国雷击风险评估业务需求,具有积极的实践意义。

(2)利用 AutoCAD 软件计算不规则项目截收面积的方法,以及电子电气设备雷击损失风险指标设计,为解决现实评估业务中不规则项目截收面积及计算电子电气设备损失风险值异常情况提供了高效、合理的解决方案。

(3)数学模型上,统一采用了无量纲风险指数进行直接计算,在一定程度上有失偏颇,网格尺寸大小、项目规模、人口密度等指标在一定程度上影响最终风险指数结果,后期尝试将各风险参数进行归一化处理,化为统一的无量纲数值,进而消除各风险指标的量纲差异,以保证计算结果的针对性、科学性、准确性。

#### 参考文献:

- [1] 王延慧,张建涛,叶文军,等.基于 ArcGIS 的新疆雷电灾害风险区划研究[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(6):96-104.
- [2] 彭相瑜,陈笑娟,陈小雷,等.河北省雷电灾害事件特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(4):100-104.
- [3] 卢友发,李丹,黄兰兰.河南省雷电灾害风险评估进展及建议[J].气象与环境科学,2013,36(2):92-95.
- [4] 刘晓东,尤莉,宋昊泽,等.基于 GIS 和 AHP 的雷电灾害风险区划分析与评估—以内蒙古雷灾为例[J].中国农学通报,2019,35(20):75-82.
- [5] 王淑一,邹善勇,王团团.大连市雷电灾害风险评估体系指标量化方法[J].气象科技,2016,44(3):510-516.
- [6] 余蜀豫,任艳,覃彬全.基于模糊数学的重庆地区雷电灾害风险评估方法研究[J].灾害学,2015,30(2):75-78,84.
- [7] 蔡忠周,胡亚男,金欣.基于层次分析模型的西宁地区雷电灾害风险区划[J].中国农学通报,2020,36(15):74-80.
- [8] 冯鹤.雷电灾害风险评估中  $P_0$  因子选取方法的分析与改进[J].中国农学通报,2015,31(23):189-193.
- [9] 冯鹤,田艳婷,李小龙.雷电灾害风险评估中  $A_m$  因子的选取方法研究[J].科学技术与工程,2013,13(33):10093-10097.
- [10] 吴江.雷电灾害风险评估中土壤电阻率的季节系数订正[J].黑龙江气象,2015,32(3):35-43.
- [11] 植耀玲,冯民学,樊荣.雷击风险评估中  $L_0$  损失因子在多线路系统下的细化和改进[J].气象科技,2012,32(3):298-303.
- [12] 杨仲江,朱传林.基于 Struts 和 Hibernate 的雷电灾害风

- 险评估软件开发[J].气象科技,2010,38(6):781-785.
- [13] 樊荣,肖稳安,李霞.基于 GB/T 21714.2 的雷击风险评估软件设计及参数探讨[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2009,1(4):343-349.
- [14] 马俊贵,纳丽,齐晓鹏.几种雷电灾害风险评估计算方法应用对比分析[J].气象与环境科学,2018,41(2):129-133.
- [15] ISMAIL I W, RIDUWAN G M, SULIANA A G, et al. Development of single-station early warning lightning alarm system [C]//2013 2nd International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering, Pahang, Malaysia, 2013:87-91.
- [16] 王赞,王洪祥,李锐,等.雷电灾害风险评估系统模型与应用[J].防灾科技学院学报,2015,17(2):28-35.
- [17] 李宏景,甘宝,陆启东.雷电灾害风险评估在实际工作中的运用[J].气象研究与应用,2014,35(3):105-107.
- [18] 周雪君,魏雪,黄朝善,等.综合体项目雷电灾害风险评估与防御对策[J].气象科技,2016,44(4):686-690.
- [19] 张晓军.浅谈《雷电灾害风险评估规范》与《建筑物防雷设计规范》计算结果的差异性[J].中国科技纵横,2015,(6):215-216.
- [20] 魏秀梅.化工企业雷电灾害风险评估与应用[J].气象科技,2014,42(2):353-358.
- [21] 崔逊,高金阁,樊荣.WWLLN 与江苏省 ADTD 闪电定位系统数据的对比分析[J].大气科学学报,2016,39(2):270-279.
- [22] 赵伟,陆韬,张祎,等.基于多源监测数据的雷电预警方法[J].气象科技,2020,48(3):438-442.

## Methods and Application of Grid Lightning Disaster Risk Assessment Based on ArcGIS

LIU Wei<sup>1</sup>, OUYANG Lin<sup>2</sup>

(1.Zhenhai Meteorological Bureau, Ningbo 315206, China;

2.Institute of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210000, China)

**Abstract** Based on the actual situation of Zhenhai district, this study aims to develop the construction and application of grid lightning disaster risk assessment model for buildings (structures) in large area, and solve the problem that lightning disaster risk assessment only stays in risk distribution assessment of single buildings (structures) based on post-disaster loss indicators. Based on the conventional electric-geometric lightning disaster risk assessment model, the geographic information processing technology is introduced to divide the assessment area into grids, then build multi-level grid lightning disaster risk assessment model, in which lattice contains building height and gradient, soil resistivity and its gradient, lightning protection efficiency, effective interception area, ground flash density, electrical and electronic equipment system, population density, fire risk index. Taking the risk assessment of lightning disaster in a chemical plant as an example, the feasibility application of the model is illustrated. The results show that: through comprehensive analysis and calculation of each index data set and ArcGIS risk zoning, the risk assessment results of lightning disaster in the factory are basically consistent with the risk assessment report of lightning disaster at the municipal level and the lightning prone zoning at the provincial level. The method of large-scale and trans-regional lightning disaster risk assessment using geographic information technology (GIS) grid, building mathematical model from "point" to "surface", has positive guiding significance for regional and extended lightning disaster risk assessment, risk zoning and government decision support.

**Key words** ArcGIS; grid; lightning disaster; risk assessment