

# Lightning Disaster Risk Zoning of Cangzhou City Based on GIS Technology

Jiewen Peng<sup>1</sup>, Tiexin Wei<sup>2</sup>, Fengyu Mei<sup>1</sup>, Qian Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cangzhou Meteorological Bureau, Cangzhou Heibei

<sup>2</sup>Hebei Meteorological Disaster Prevention Center, Shijiazhuang Hebei

Email: 19136949@qq.com

Received: Aug. 30<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Based on GIS technology, the natural disaster risk assessment method, analytic hierarchy process (AHP), eleven evaluation indexes were selected and rasterized from four aspects: the factors causing the lightning disaster, the environment, the disaster bearing body and the ability to prevent and reduce the lightning disaster to construct the lightning disaster risk zoning model, the characteristics of lightning disaster risk in Cangzhou city are analyzed and risk zoning is carried out. The results show that lightning disaster risk is high in Cangzhou urban area, Nanpi, Dongguang, Huanghua, Haixing, Renqiu and Botou. The lightning disaster risk is low in Cangxian county, Wuqiao and Xian county.

## Keywords

Lightning Disaster, Risk Zoning, GIS Technology

---

# 基于GIS的沧州市雷电灾害风险区划研究

彭洁文<sup>1</sup>, 魏铁鑫<sup>2</sup>, 梅凤玉<sup>1</sup>, 张倩<sup>1</sup>

<sup>1</sup>河北省沧州市气象局, 河北 沧州

<sup>2</sup>河北省气象灾害防御中心, 河北 石家庄

Email: 19136949@qq.com

收稿日期: 2019年8月30日; 录用日期: 2019年9月13日; 发布日期: 2019年9月20日

---

## 摘要

基于GIS技术、自然灾害风险评估方法、层次分析法, 从致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力四

个方面选取11个评价指标并栅格化,构建雷电灾害风险区划模型,分析沧州市雷电灾害风险特征并进行风险区划。结果表明:沧州市区、南皮、东光、黄骅、海兴、任丘、泊头等地雷电灾害风险较高,而沧县、吴桥、献县等地雷电灾害风险较低。

## 关键词

雷电灾害, 风险区划, GIS技术

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

雷电灾害属于联合国公布的十大最严重的灾害之一,随着社会经济不断发展,开展雷电灾害风险区划,确定高风险区,已成为雷电灾害风险研究的发展趋势。已有学者以不同方法尝试开展了雷电灾害风险区划,邹志红等[1]以地闪密度、雷害频度、生命易损模数和经济易损模数等四个指标,以行政区为单位,应用层次分析法建立评估模型。刘平英等[2]基于层次分析模型进行了雷电致灾评价及易损性区划。崔逊等[3]基于PSR模型,综合熵值法、主成分分析法、层次分析法,组合评价三种评价结果,对江苏省雷电灾害风险进行了区划。朱涯等[4]基于风险分析理论,从致灾因子危险性、孕灾环境风险、承灾体三方面入手,对玉溪市雷电灾害进行了风险区划。

已有研究[5]-[10]以致灾因子或承灾体为切入点进行风险区划,而涵盖致灾因子、承灾体、孕灾环境及防灾减灾能力的综合性雷电灾害风险区划研究较少。而且,很多研究以行政区域为评价单元,区划结果以行政区边界为风险区划边界,使得边界相接处的风险差异较大,其精细度和客观化水平有待提升。

本研究在已有科研成果[11][12][13]的基础上,利用层次分析法建立雷电灾害风险评估指数模型,以沧州市雷电数据库为基础,结合沧州市社会经济情况、地形地貌特征、基于高精度遥感影像的土地利用类型数据和防灾减灾能力,对沧州市雷电灾害开展风险区划。综合致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力等评价指标,利用GIS技术,将评价指标栅格化,进行高分辨率的沧州市雷电灾害风险区划。以期沧州市气象灾害综合风险区划充实内容,为气象灾害防御规划的编制奠定必要基础。

## 2. 研究资料与方法

### 2.1. 资料

1) 2013~2016年沧州市闪电定位资料; 2) 沧州市各乡镇人口和经济数据,来源于2016年沧州市统计年鉴; 3) DEM数据为2009年由美国NASA和日本METI联合研制ASTER GDEM V2数据,空间分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,坡度在DEM数据的基础上生成; 4) 沧州市基础地理数据(含行政区边界、水系); 5) 2015年沧州市土地利用类型数据,来源于中国气象局卫星中心,空间分辨率为 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. GIS技术流程

GIS技术流程如图1所示:

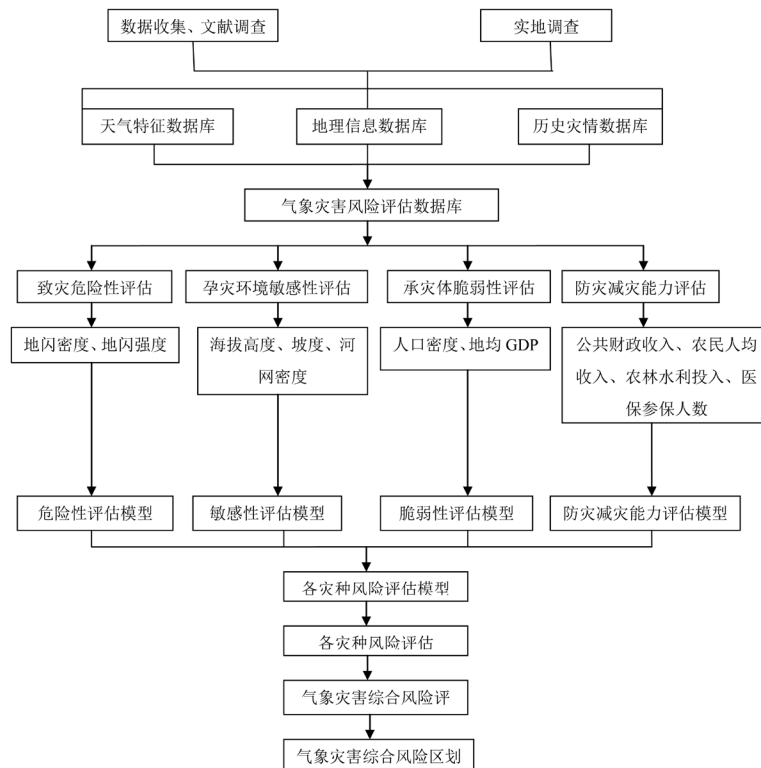


Figure 1. Technological process of GIS  
图 1. GIS 技术流程

### 2.2.2. 风险区划评价指标模型

参考已有研究成果[11] [14], 本文对雷电灾害的风险分析, 主要从以下四方面展开: 1) 致灾因子: 诱发雷电灾害的主要因素, 主要以雷电强度和闪电密度表征; 2) 孕灾环境: 容易形成雷电灾害的自然环境特征, 主要由下垫面的地理特征和气候特征等因素决定, 本文主要采用海拔高度和坡度表征; 3) 承灾体: 雷电灾害影响的对象, 主要是和人类活动有关的灾害承载对象, 包括人类自身、社会财富等; 4) 防灾减灾能力: 社会对雷电灾害采取的工程性和非工程性防御措施, 主要包括公共财政收入、农民人均收入、农林水利投入、医保参保人数, 医护能力。从这四个方面选取评价指标, 基于层次分析法, 构建沧州市雷电灾害风险区划评价模型, 如图 2 所示。

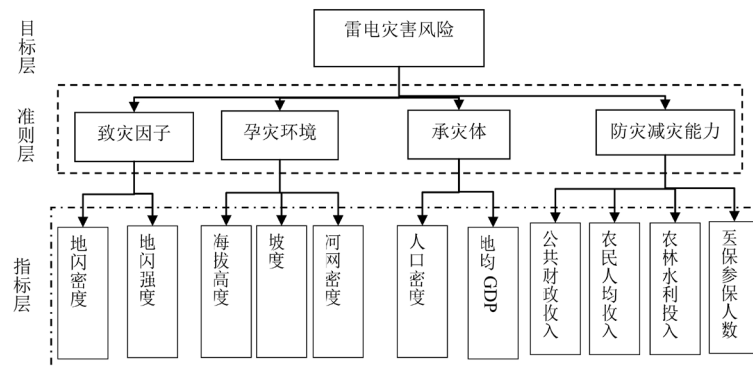


Figure 2. Lightning disaster risk assessment model  
图 2. 雷电灾害风险评价模型

### 2.2.3. 综合风险指数计算

雷电灾害的形成与雷电的空间分布和海拔、坡度、人口、经济等下垫面紧密相关,进行雷电灾害风险区划,将相关数据空间化是先决条件。本文通过 ArcGIS 软件的地理信息处理功能,以乡镇为最小研究单位,进行风险区划,其主要依据是通过计算综合风险指数来实现,参考相关文献中灾害风险指数模型[17],得到公式如下:

$$R = H * p_1 + E * p_2 + B * p_3 + D * p_4 \quad (1)$$

$R$  是雷电灾害综合风险指数,  $H$  为致灾因子危险性指数,  $E$  为承灾体易损性指数,  $B$  为孕灾环境敏感性指数,  $D$  为防雷减灾能力指数,  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$  分别为对应的权重,由层次分析法确定。

### 2.2.4. 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP)是一种比较简单可行的决策方法,其主要优点是可以解决系统多层次的复杂问题。AHP 法是一种定量与定性相结合的方法,可以把定性因素定量化,把人的主观意愿判断用数学进行表达处理,而且可以在一定程度上检验和减少主观影响,使评价更科学化。它可以为决策者提供多种决策方法,在定量和定性相结合中根据各个决策方案的标准权重数。层次分析法可以把评价的问题分为多个层次,通过建立判断矩阵等方法求得权重,通过加权计算得到最终权重[15]。由于上述优点,本研究采用 AHP 法来计算指标权重。计算判断矩阵  $A$  的特征根  $\lambda_{\max}$ ,再由  $\lambda_{\max}$  解特征根方程[18]:

$$AX = \lambda_{\max} X \quad (2)$$

计算得到  $\lambda_{\max}$  的特征向量  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ ,对特征向量进行标准化处理,计算各指标权重向量[18]:

$$W = \left\{ \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i}, \frac{x_2}{\sum_{i=1}^n x_i}, \dots, \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right\} = \{W_1, W_2, W_3, \dots, W_n\} \quad (3)$$

### 2.2.5. 评价指标标准化

在多指标评价体系中,由于各评价指标的性质不同,通常具有不同的量纲和数量级。当各指标间的水相差很大时,如果直接用原始数据进行分析,就会突出数值较高的指标在综合分析中的作用相对削弱数值水平较低指标的作用,因此,为了保证结果的可靠性,在做风险评估前需要进行指标因子标准化。本文对原始数据使用极差标准化法,对正、负向指标因子的原始数据使用不同的公式进行标准化统一,得到的数值去除量纲,其数值都在[0, 1]区间内。

正向指标计算公式[18]:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (4)$$

负向指标计算公式[18]:

$$Y_{ij} = \frac{X_{i\max} - X_{ij}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (5)$$

式中:  $X_{ij}$  是第  $i$  个评价指标因子的第  $j$  个评价单元的原始数据;  $Y_{ij}$  是第  $i$  个评价指标因子的第  $j$  个评价单元标准化后的值;  $X_{i\max}$  是第  $i$  个评价指标因子各个评价单元中的最大值;  $X_{i\min}$  是第  $i$  个评价指标因子各个评价单元中的最小值;  $m$  表示评价指标个数,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $n$  表示评价单元个数,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

### 2.2.6. 评价指标栅格化预处理

社会、经济方面的定量数据，以乡镇为最小统计单元，对社会经济类的评价指标进行栅格化、标准化；通过 ArcGIS，根据 DEM 数据提取水系分布，进而计算水系密度；人口和经济分布，以土地利用类型确定人口、经济的密集区域，结合统计年鉴中的市县级数据，将人口、经济栅格化、标准化；最终，将所有栅格评价指标转换为 30 m × 30 m 分辨率的栅格图层。

## 3. 主要结论

### 3.1. 指标权重的确定

以指标模型为基础，构建评价指标两两比较矩阵，基于层次分析法，分析各指标权重并求解权重值，结果如表 1 所示。

**Table 1.** Weight of lightning disaster risk assessment indexes

**表 1.** 雷电灾害风险评价指标权重

目标层	准则层		指标层	
	指标	权重	指标	权重
雷电灾害风险	致灾因子	0.3789	地闪密度[次/(km <sup>2</sup> ·年)]	0.6201
			地闪强度(kA)	0.3791
			DEM	0.4572
	孕灾环境	0.2663	坡度分布(°)	0.3888
			水系密度	0.154
			人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.513
	承灾体	0.1881	地均 GDP(万元/km <sup>2</sup> )	0.4769
			公共财政收入	0.2958
			农民人均收入	0.2076
	防灾减灾能力	0.1667	农林水利投入	0.2243
			医保参保人数	0.1185
			医护人员人数	0.1538

### 3.2. 雷电灾害致灾危险性分析

由沧州市雷电灾害危险性空间分布情况(图 3)可知，南皮、东光、泊头、海兴、任丘等地致灾危险性等级较高，沧州市区、河间、盐山、孟村、青县等致灾危险性等级中等，沧县、黄骅、吴桥、肃宁、献县等致灾危险性较低。

### 3.3. 雷电灾害孕灾环境敏感性分析

一般认为，地形对雷电灾害的影响主要表现在两个方面：地形高程和地形变化程度，地形高程越低，地形变化越小，越容易发生雷电灾害。以层级分析法计算得到的权重值乘以指标图层并加权，计算孕灾环境敏感度，得到沧州市雷电灾害孕灾环境敏感性分布(图 4)。肃宁、献县、泊头、吴桥、东光等地孕灾环境敏感性较高，任丘、河间、南皮、孟村、盐山、沧县西部等地孕灾环境敏感性中等，青县、黄骅、海兴、沧县东部等地孕灾环境敏感性较低。

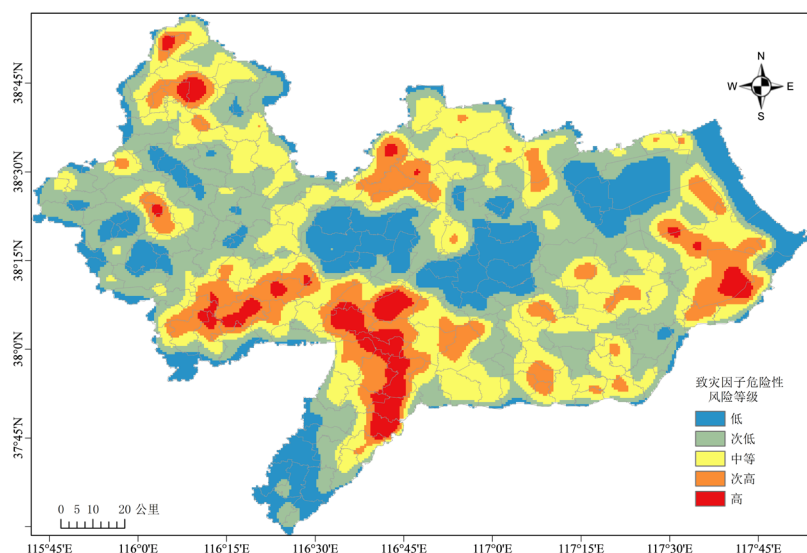


Figure 3. Risk level distribution of disaster risk factors

图 3. 致灾因子危险性风险等级分布

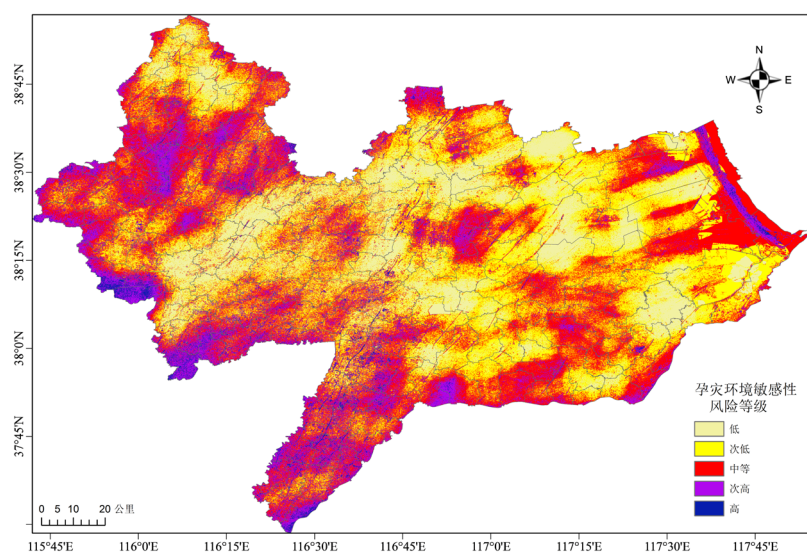


Figure 4. Risk level distribution of environmental sensitivity to pregnancy disasters

图 4. 孕灾环境敏感性风险等级分布

### 3.4. 雷电灾害承灾体易损性分析

首先, 根据社会经济年鉴和土地利用类型数据, 得到人口和经济的栅格化图层[16]。然后运用层次分析法计算评价指标的权重值, 结合栅格化的人口、经济的图层, 计算承灾环境易损度, 得到沧州市雷电灾害承灾体易损性分布(图 5)。沧州市区、南大港管理区、国营中捷农场、港城区、肃宁镇等承灾体易损性较高, 任丘、河间、献县大部分地区承灾体易损性中等, 其他地区承灾体易损性较低。

### 3.5. 雷电灾害防御能力分析

随着雷电灾害的破坏强度和灾损程度逐渐加大, 以及人类对灾害预测和灾害抵御能力的进一步提高, 区域抗灾减灾能力理应在雷电灾害风险评价中扮演举足轻重的地位。选择统计年鉴中能反映防灾减灾能



力特征的公共财政收入、农民人均收入、农林水利投入、医保参保人数，医护人数等空间分布情况，结合因子对防灾减灾能力的贡献度，运用层次分析法计算相应的权重，得到沧州市雷电灾害防灾减灾能力分布(图 6)。沧州市区、沧县、青县、黄骅、任丘、肃宁大部分地区、泊头等地防灾减灾能力较强，河间、献县、吴桥、盐山、海兴等地防灾减灾能力中等。

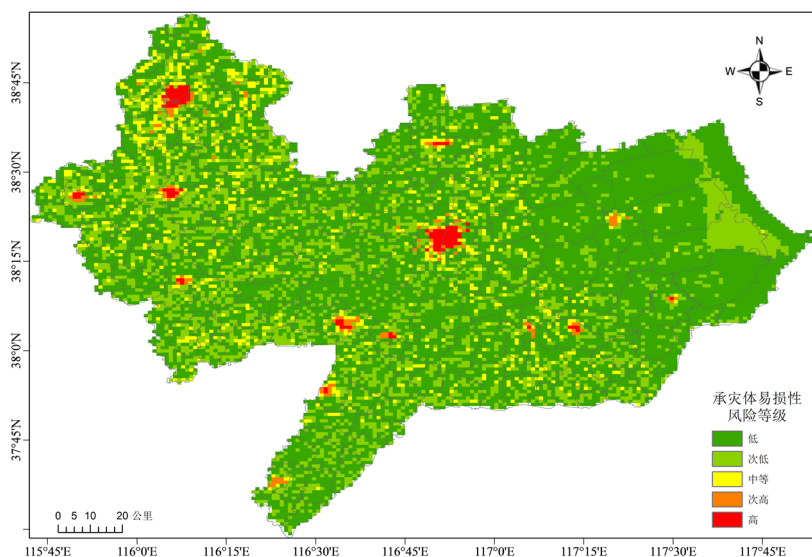


Figure 5. Risk level distribution of vulnerability of disaster-bearing body

图 5. 承灾体易损性风险等级分布

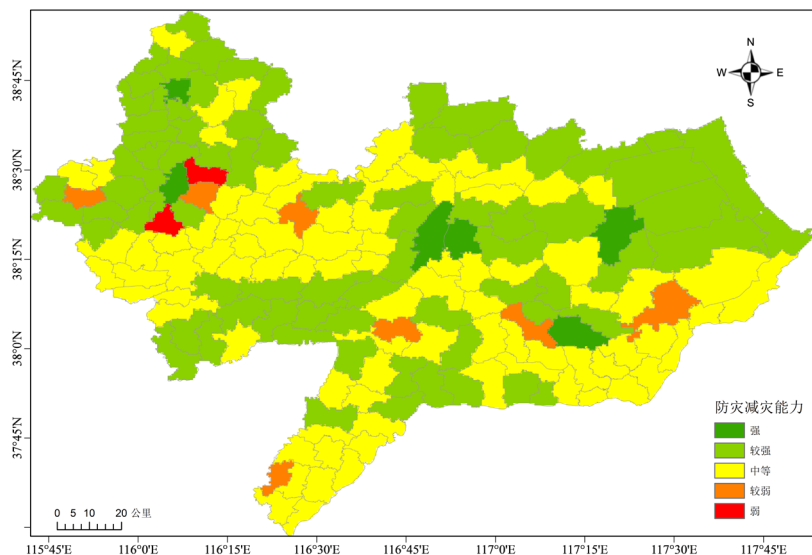


Figure 6. Distribution of disaster prevention and mitigation capabilities

图 6. 防灾减灾能力分布

### 3.6. 雷电灾害风险区划分析

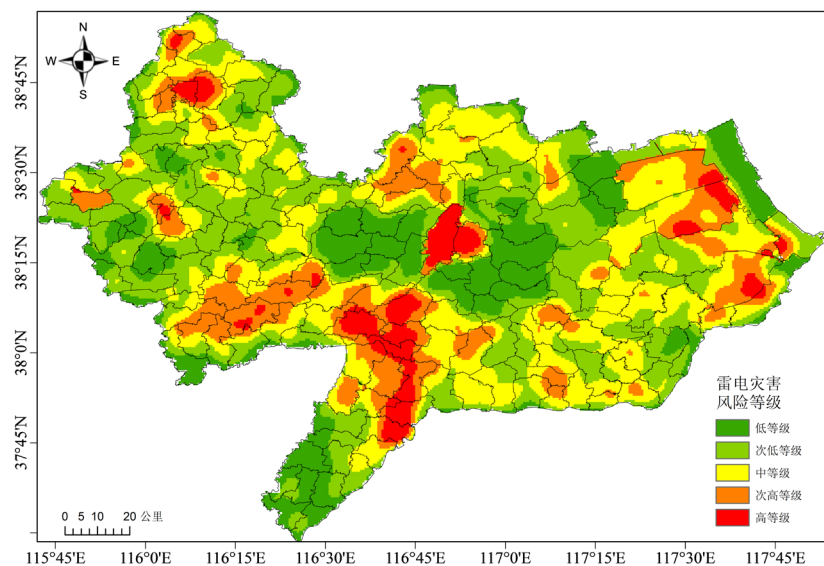
#### 风险等级划分

根据公式(1)计算雷电灾害风险的综合指数，采用自然断点法进行等级划分。依次划分为高、次高、中、次低、低五个等级，结果如表 2 所示。

**Table 2.** Classification of lightning disaster risk  
**表 2.** 雷电灾害风险等级划分

T	致灾因子危险性	孕灾环境敏感性	承灾体易损性	防灾减灾能力	雷电灾害风险	风险等级
5	[0, 0.208)	[0.128, 0.348)	[0, 0.024)	[0.19, 1)	[0, 0.16)	低
4	[0.209, 0.325)	[0.349, 0.375)	[0.024, 0.073)	[0.10, 0.19)	[0.16, 0.23)	次低
3	[0.326, 0.447)	[0.376, 0.402)	[0.073, 0.19)	[0.06, 0.10)	[0.23, 0.31)	中
2	[0.448, 0.604)	[0.403, 0.44)	[0.19, 0.39)	[0.03, 0.06)	[0.31, 0.4)	次高
1	[0.605, 1.0)	[0.441, 0.819)	[0.39, 0.73)	[0, 0.03)	[0.4, 1.0)	高

综合沧州市雷电灾害的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性及防灾减灾能力五个评价图层，利用公式(1)计算沧州市雷电灾害综合风险值。将雷电灾害风险划分为低风险、次低风险、中等风险、次高风险及高风险五个等级，实现对沧州市雷电灾害风险的综合区划(图 7)。沧州市区、南皮、东光、黄骅、海兴、任丘、泊头等地雷电灾害风险较高。孟村、青县、盐山等地雷电灾害风险中等。沧县、吴桥、献县等地雷电灾害风险较低。



**Figure 7.** Lightning disaster risk zoning map of Cangzhou city

**图 7.** 沧州市雷电灾害风险区划图

## 4. 结论和讨论

### 4.1. 结论

从致灾因子、孕灾环境、承灾体、防灾减灾能力四个方面建立沧州市雷电灾害风险区划模型，利用层次分析法求取评价因子权重，计算综合风险指标值，并利用自然断点法划分了五个风险等级，结果表明：沧州市区、南皮、东光、黄骅、海兴、任丘、泊头等地雷电灾害风险较高。而沧县、吴桥、献县等地雷电灾害风险较低。

### 4.2. 存在的问题及下一步打算

在区划过程中，受研究资料获取的难易程度所限，评价指标尚不完备，下一步将从以下几个方面进



行改进：一是将以县为单位的防灾减灾能力指标替换为能够反映具体分布情况的栅格数据，如夜间灯光指数数据等；二是丰富雷电灾害灾情数据的收集，建立雷电灾害承灾体脆弱性曲线，进行定量化的评估和区划。

## 基金项目

沧州市科技局重点研发计划指导项目(183305008)。

## 参考文献

- [1] 邹志红, 何友军, 罗杰, 等. 基于 AHP 模型的永州市雷电灾害风险区划[J]. 中国战略新兴产业, 2018(3X): 71.
- [2] 刘平英, 朱勇, 杨宗凯, 等. 基于层次分析模型的云南省雷电致灾评价及易损性区划[J]. 中国农学通报, 2018, 34(22): 131-137.
- [3] 崔逊, 庄燕洵, 王洪生. 基于组合评价法的江苏省雷电灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(6): 189-196.
- [4] 朱涯, 鲁韦坤, 余凌翔, 等. 玉溪市雷电灾害风险区划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(11): 164-169.
- [5] 王敏, 孔尚成, 王秀英. 青海东部地区雷电灾害易损性分析与区划[J]. 气象科技, 2018, 46(2): 200-205.
- [6] 曾金全, 冯真祯, 张烨方, 等. 区域雷电灾害风险评估模型与应用[J]. 气象科技, 2017, 45(1): 182-186.
- [7] 陈广昌, 崔逊, 田心如. 江苏省雷电灾害危险性量化评估及区划[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 35-38.
- [8] 于东海, 翟玉泰, 杨泽锋. 基于层次分析法的江门市新会区雷电灾害风险区划[J]. 气象与减灾研究, 2016, 39(2): 155-160.
- [9] 朱传林, 王学良, 贺姗, 等. 基于层次模型及权重分析的湖北省雷电灾害易损度区划[J]. 中国农学通报, 2015, 31(8): 206-221.
- [10] 刘三梅, 吕海勇, 陈绍东, 等. 广东省雷电风险区划研究[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2337-2344.
- [11] 梁冬坡, 孙治贵, 郭军, 等. 基于 RS 和 GIS 天津市津南区气象灾害风险区划研究[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(6): 118-123.
- [12] 吴安坤. 贵州省雷电灾害风险评价与区划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 93-98.
- [13] 姜苏, 苏建峰, 陈媛, 等. 基于主成分分析法的雷电灾害易损性区划综合评价模型[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2016, 8(2): 166-169.
- [14] 刘垚, 包云轩, 缪启龙, 等. 杭州市雷电灾害风险区划及分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(3): 101-107.
- [15] 杨琳晗, 赵增保, 张彦恒, 等. 基于层次法的冀北地区输电线雷击风险区划[J]. 干旱气象, 2018, 36(3): 516-521.
- [16] 廖顺宝, 李泽辉. 四川省人口分布与土地利用的关系及人口数据空间化试验[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(6): 46-50.
- [17] 程萌, 陈楠. 菏泽市雷电灾害风险区划[J]. 中国农学通报, 2016, 32(27): 156-160.
- [18] 魏铁鑫, 李同同, 魏军, 等. 基于 GIS 技术的沧州沿海地区风暴潮灾害承灾体易损性评估[J]. 干旱气象, 2018, 36(6): 1043-1051.