

# 基于多源数据的深圳市雷电灾害风险区划

杨悦新<sup>1</sup> 郭宏博<sup>1</sup> 秦子龙<sup>2</sup> 苏琳智<sup>1</sup> 罗欣<sup>1</sup>

(1 深圳市气象公共安全技术支持中心, 深圳 518040; 2 香港理工大学, 香港)

**摘要:** 根据自然灾害风险评估理论, 利用地闪密度、雷电流强度分布、土壤、海拔、地形起伏、社会经济人口数据以及雷电灾害数据, 采用熵值法、百分位法、自然断点法, 从致灾因子危险性、承灾体暴露度和脆弱性等方面进行分析, 得出了基于多源数据的深圳市雷电灾害风险区划结果。区划结果表明, 深圳市雷电极高风险区主要分布在深圳中西部, 高风险区主要分布在宝安区和龙岗区的大部份区域, 一般风险主要分布在东部的葵涌、大鹏半岛等地。

**关键词:** 雷电灾害, 风险区划, 熵值法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.029

## The Lightning Disaster Risk Zoning Based on Multi-Source Data in Shenzhen

Yang Yuexin<sup>1</sup>, Guo Hongbo<sup>1</sup>, Qin Zilong<sup>2</sup>, Su Linzhi<sup>1</sup>, Luo Xin<sup>1</sup>

(1 Shenzhen Meteorological Service Center, Shenzhen 518040 2 The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong)

**Abstract:** In this paper, according to the natural disaster risk assessment theory, the lightning disaster risk zoning in Shenzhen is obtained after the analyses of hazard factors, the exposure and vulnerability of hazardous body. The data used includes the cloud-ground flash density, lightning current intensity distribution data, soil, elevation, topographic fluctuations, socio-economic population and lightning disaster data. The methods used include entropy method, percentile method and natural breakpoint method. The results show that the extremely high-risk areas are mainly in the central and western parts of Shenzhen, and the high-risk areas are mainly in Longgang and Baoan districts. The general-risks areas are mainly in Kwai Chung and Dapeng Peninsula in the east.

**Keywords:** lightning disaster, risk zoning, entropy method

### 0 引言

近年来, 雷电灾害的科学防护越来越受到重视<sup>[1]</sup>, 许多地区都开展了雷电灾害风险区划, 雷电灾害风险区划是根据雷电灾害风险程度和特点等进行的地域划分, 更加清晰地反映雷电灾害的空间分布规律与地区差异。其作用是雷电敏感行业(如爆炸危险场所)在城乡规划和工程建设、区域开发时, 避开气象灾害高风险区; 对已决策或已处于高风险区内又难以搬迁的雷电敏感行业, 为其防灾工程的设计标准提供科学依据。其技术核心在于构建评价指标体系和赋予权重。黄崇福等<sup>[2]</sup>提出了自然灾害风险区划图的潜在发展方向。程向阳等<sup>[3]</sup>采用专家打分法研究雷电灾害风险评估及区划方法; 高焱<sup>[4]</sup>利用聚类分析方法研究雷电灾害易损度风险区划; 赵伟<sup>[5]</sup>利用遥感夜间灯光数据、植被指数和DEM数据构建人居指数, 进行栅

格尺度上的雷灾承灾体易损性分析; 崔逊<sup>[6]</sup>使用组合评价法研究雷电灾害风险区划; 杨天琦<sup>[7]</sup>考虑雷电流强度的影响, 运用层次分析法对区域雷电灾害风险提出了管理方法; 陈广昌<sup>[8]</sup>采用灰色关联分析法分析致灾因子权重, 构建雷电灾害危险度指数模型。吕海勇等<sup>[9]</sup>利用闪电定位、雷灾和GDP数据, 用分级法结合GIS进行了广东省雷电灾害易损性分析与风险区划。雷电灾害风险区划的方法多种多样, 所研究指标应该具有广泛性, 尽可能选取较多与雷电灾害相关的指标参数, 这是很多研究人员的共识, 然而衡量指标权重的方法可能更为关键, 熵值法是一种定量的客观的评价方法, 根据指标变异程度大小决定指标权重, 是一种科学的灾情评价方法。其原理是: 假设有 $m$ 个待评方案,  $n$ 项评价指标, 组成一个 $m$ 行、 $n$ 列的原始指标矩阵。若某项指标中, 指标值之间的差异越大, 该项指标对于整个综合评价的贡献越大, 赋予的权重越大; 反之, 若某项指标值差异很小, 甚至差异为零, 即全部指标值相等, 则该项指标在评价中起不到

收稿日期: 2018年11月25日; 修回日期: 2019年4月10日  
第一作者: 杨悦新(1985—), Email: yangyuexin@szmb.gov.cn  
通信作者: 郭宏博(1986—), Email: guohongbo@szmb.gov.cn

作用。通过对指标进行标准化处理，计算差异系数为各项指标赋予权值，最后计算综合风险值，划分风险等级。

深圳地属亚热带季风性气候，夏季长冬季暖，雨量充沛，靠山面海，地势东高西低，北方冷空气翻越南岭侵入，在当地充沛的热力条件配合下，会产生强烈的对流天气；热带天气系统的登陆影响，也会带来较强的对流天气；另外，本地水汽充沛，局地的热力或动力扰动同样会产生强烈的雷暴天气。深圳是一个创新之都、科技之都，同时也是一个人口密度和GDP密度很高的城市，雷电灾害会间接影响社会的方方面面，尤其对于易燃易爆等场所的雷电防御和选址决策等，需要科学和严谨的方法作为技术支持，雷电灾害风险区划不仅可以在宏观上将城市的雷电风险划分出不同的等级，作为城市防雷减灾及重大工程选址等的重要决策依据，而且可以根据风险区划结果对雷电灾害防御单位提供更有针对性的雷电预警戒备服务，减少雷电灾害的发生<sup>[10]</sup>。

## 1 资料及数据处理

本文依据自然灾害风险分析原理，从致灾因子危险性、承灾体暴露度和承灾体脆弱性三方面，通过建模得到雷电灾害风险区划结果。主要用到的资料包括气象资料、社会经济和人口资料、雷电灾情资料、地理环境资料等数据。气象资料包括地闪密度和地闪强度，为深圳市2013—2017年的Vaisala TS8000闪电定位网探测的数据；社会经济和人口资料来源于中国千米网格GDP分布数据集和中国千米网格人口分布数据集（2015年）；雷电灾情资料来源于《1992—2017年深圳市雷电灾害统计数据》；地理环境资料包括深圳市数字地面高程（DEM）、地形起伏和实测土壤电导率。所有数据都按照1 km×1 km网格归一化后处理成相应的栅格数据。

地闪密度是指单位面积内所发生的雷击大地年平均次数，反映了雷电活动的自然规律，地闪密度越大说明致灾因子越活跃。深圳市地闪密度分布呈现出西部高、东部低的特点，与地闪强度分布差异较大，地闪强度分布为东部强、西部弱（图1）。分析该原因可能与地形分布有较大的关系，深圳西部海拔低、土壤电导率高、土壤容易导电；东部多山区，海拔高，土壤电导率低，土壤不易导电。因此雷暴云容易在西部形成对地闪击，地闪密度较高，而雷暴云的能量相对固定的情况下，地闪密度高的则平均雷电流就更小。地形起伏即地形标准差，标准差越大说明高差越大，当地形起伏越大时，雷暴云在局部地区形成了

畸变的电场越大，越容易发生对地雷击，因此深圳地闪密度最高的区域在梧桐山一带。人口的分布也是西部密度高于东部，GDP分布则相对分散，西部略高于东部。雷电数据显示，深圳因雷击导致人员伤亡的情况非常少，雷电灾害生命损失指数没有明显的特点，因雷击导致经济损失总体还是西部高于东部。

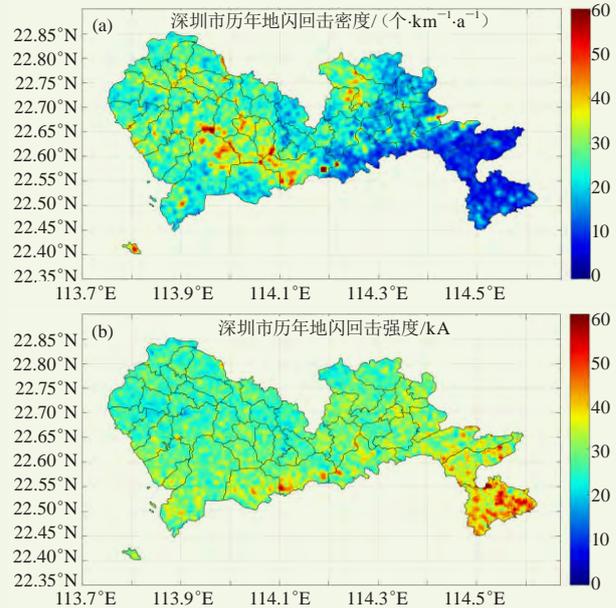


图1 深圳市地闪密度 (a) 和地闪强度 (b) 分布  
Fig. 1 The distribution of cloud-ground flash density (a) and intensity in Shenzhen (b)

## 2 风险区划建模

雷电灾害风险区划是将气象资料、社会经济人口资料、雷电灾情资料、地理环境资料进行归一化处理，并把所有数据在GIS平台上进行栅格化，栅格数据以1 km<sup>2</sup>为单元，利用熵值法得到各项因子的权重，从而计算得出风险指数LDRI，本文参照自然灾害风险评估理论的方法进行区划建模（图2）<sup>[11-13]</sup>。

雷电灾害风险区划模型由致灾因子危险性RH和

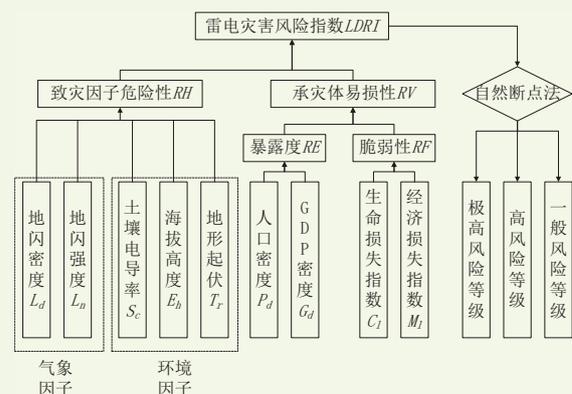


图2 雷电灾害风险区划模型  
Fig. 2 Zoning model of lightning disaster risk

承灾体易损性RV组成，而易损性又包括暴露度RE与脆弱性RF，各因子的权重均由熵值法得出。对于某一指标，当其在GIS上呈现差异性越大时，则该指标权重越高，差异性越小，则认为该指标对结果的贡献越小，权重就越低。区划模型求风险指数LDRI的计算公式为：

$$LDRI = RH \times wh + RE \times we + RF \times wf, \quad (1)$$

式中，LDRI为雷电灾害风险指数；RH为致灾因子危险性，wh为致灾因子危险性权重；RE为承灾体暴露度，we为承灾体暴露度权重；RF为承灾体脆弱性，wf为承灾体脆弱性权重。

上述模型中致灾因子危险性RH分别由气象因子和环境因子所共同决定：

$$RH = (L_d \times wd + L_n \times wn) \times (S_c \times ws + E_h \times we + T_r \times wt), \quad (2)$$

式中，RH为致灾因子危险性；L<sub>d</sub>为地闪密度，wd为地闪密度权重；L<sub>n</sub>为地闪强度，wn为地闪强度权重；S<sub>c</sub>为土壤电导率，ws为土壤电导率权重；E<sub>h</sub>为海拔高度，we为海拔高度权重；T<sub>r</sub>为地形起伏，wt为地形起伏权重。

承灾体暴露度RE由生命损失指数、经济损失指数和防护能力共同决定：

$$RE = P_d \times wp + G_d \times wg, \quad (3)$$

式中，RE为承灾体暴露度；P<sub>d</sub>为人口密度，wp为人口密度权重；G<sub>d</sub>为GDP密度，wg为GDP密度权重。根据熵值法，求得wp和wg分别为0.7009和0.2991。

承灾体脆弱性RF由人口密度和GDP密度共同决定：

$$RF = C_l \times wc + M_l \times wm, \quad (4)$$

式中，RF为承灾体脆弱性；C<sub>l</sub>为生命损失指数，wc为生命损失指数权重；M<sub>l</sub>为经济损失指数，wm为经济损失指数权重。根据熵值法，求得wc和wm分别为0.4980和0.5020。

### 3 风险区划结果

根据上述数据处理方法和雷电灾害风险区划模型，分别得到致灾因子危险性RH、暴露度RE、脆弱性RF和雷电灾害风险指数LDRI的分布图。

#### 3.1 致灾因子危险性 RH

致灾因子危险性主要考虑气象因子（地闪密度与地闪强度）和环境因子（土壤电导率、海拔高度和地形起伏）两个大方面的影响因素，为消除各指标的量纲差异，对每个影响因子的指标值进行归一化处理，求出各影响因子的权重大小，通过致灾因子危险性RH公式求解得到深圳市雷电致灾因子危险性分布图，颜色深浅代表致灾因子危险的大小（图3）<sup>[14-15]</sup>。

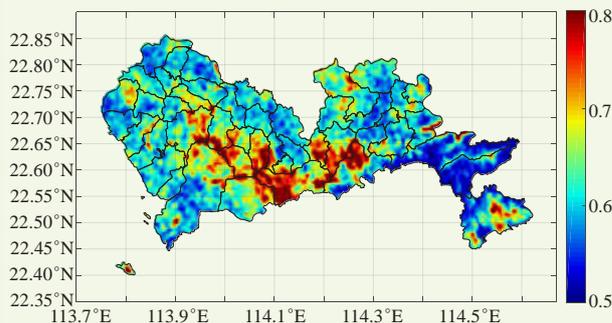


图3 深圳市雷电致灾因子危险性分布图

Fig. 3 Risk distribution of lightning disaster factors in Shenzhen

由图3可知，深圳市雷电致灾因子存在较为明显的区域性差异，高危险区主要在中南部区域，结合上述气象因子和环境因子数据分布，回击密度、海拔高度和地形起伏对此结果有较为明显的作用，环境因子占93.53%，气象因子占6.47%。表1给出了根据熵值法求得各影响因子权重的大小。

表1 致灾因子危险性影响因子权重大小

Table 1 Weight of the impact factor in hazard factor

回击密度 (wd)	回击强度 (wn)	土壤电导率 (ws)	海拔高度 (we)	地形起伏 (wt)
0.0599	0.0048	0.2871	0.3401	0.3081

#### 3.2 承灾体易损性 RV

承灾体易损性由其暴露度RE和脆弱性RF组成。暴露度RE主要考虑人口密度和GDP密度两个方面的影响因素，为消除各指标的量纲差异，对每个影响因子的指标值进行归一化处理，求出各影响因子的权重大小，通过暴露度RE和脆弱度RF公式求解得到深圳市承灾体暴露度和脆弱度分布图（图4和图5）。由图可知，深圳市承灾体暴露度存在较为明显的区域性差异，整体表现为中西部区域的暴露程度大于东部区域，影响因子为人口密度和GDP密度，其中人口密度权重为62.64%，GDP密度权重为37.36%。深圳市承

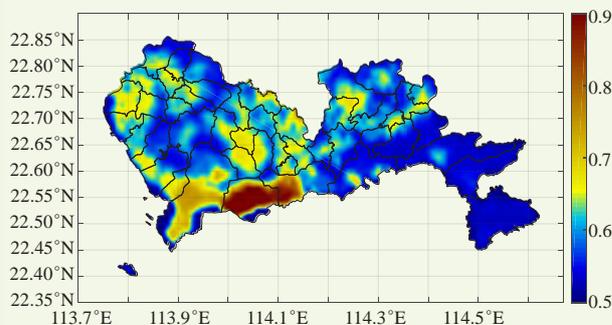


图4 深圳市承灾暴露度分布图

Fig. 4 Distribution of the exposure of hazardous body in Shenzhen

灾体脆弱性则主要集中于历史上发生雷灾的区域，影响因子为生命损失指数，权重为49.80%；经济损失指数，权重为50.20%。

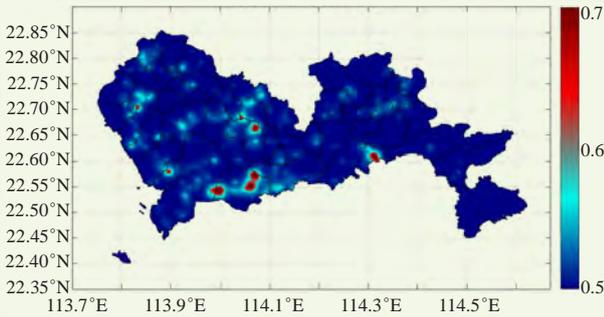


图5 深圳市承灾脆弱性分布图

Fig. 5 Distribution of vulnerability of hazardous body in Shenzhen

### 3.3 雷电灾害风险指数 LDRI

雷电灾害风险指数LDRI是致灾因子危险性RH、承灾体暴露度RE、承灾体脆弱性RF三个因素综合作用的结果，各因子的权重分别为0.3336、0.3335和0.3328，三个因子的权重基本相等，雷电灾害风险指数LDRI分布图（图6）。

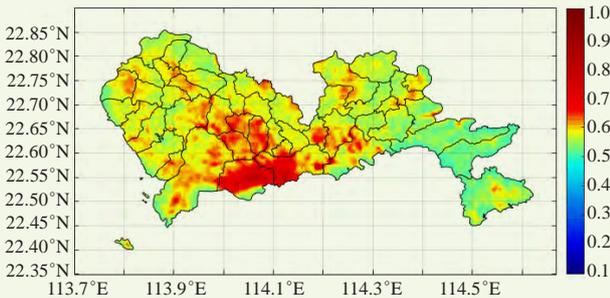


图6 深圳市雷电灾害风险指数分布图

Fig. 6 Distribution of lightning disaster risk index in Shenzhen

### 3.4 雷电灾害风险区划

雷电灾害风险区划等级划分是根据LDRI的分布，按照自然断点法分为三个等级：一般风险区，高风险区和极高风险区（图7）。极高风险区主要分布在深圳中西部，高风险主要分布在宝安区、龙岗大部份区域，一般风险主要分布在东部的葵涌、大鹏半岛。图8将历年雷电灾害位置与区划图进行了叠加，可以看出雷电灾害主要分布在高风险和极高风险区，一般风险区的雷灾相对较少，由于雷灾的人员损失和经济损失本身作为雷电灾害风险指数的因子，最终权重约占33%，但仍有很好的一致性，说明了区划的合理性。

## 4 结论与讨论

1) 根据自然灾害风险理论建立了深圳市雷电灾

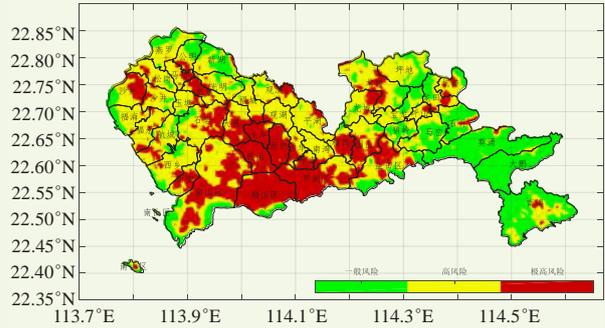


图7 深圳市雷电灾害风险区划图

Fig. 7 Lightning disaster risk zoning map of Shenzhen

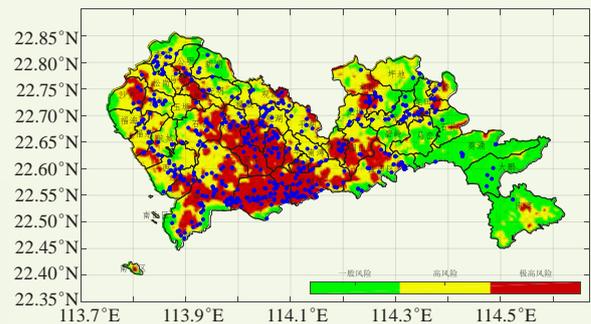


图8 历年雷电灾害在区划图上的分布图

Fig. 8 Lightning event on risk zoning map

害风险区划模型，系统分析了深圳市的地闪密度、地闪强度两个气象因子，以及土壤电导率、海拔高度、地形起伏三个环境因子，得到了致灾因子危险性。根据权重分布可知，环境因子是影响致灾因子危险性的主要因素。分析了人口密度、GDP密度、生命损失和经济损失指数，得到了承灾体的暴露度和脆弱性，由权重分布可知，人口密度和经济损失指数占有较大的比重。

2) 深圳市雷电极高风险区主要分布在深圳中西部，高风险主要分布在宝安区和龙岗区的大部分区域，一般风险主要分布在东部的葵涌、大鹏半岛，对于雷电敏感行业和易燃易爆场所的规划应尽可能避开极高风险区和高风险区，对于已经建设无法避开的场所应根据雷电灾害风险区划等级，对其采取提高防雷措施等级和加强防雷安全管理。根据与历年雷灾的叠加分析，雷电灾害与风险等级有较好的对应关系，说明了风险区划模型是可靠的。

3) 由于缺少深汕合作区的有关数据，该区域的雷电灾害风险区划未能分析，今后在逐步收集其气象、环境、载体体易损性等指标参数后，有必要与纳入深圳市雷电灾害风险区划统一考虑。深圳市东西部海区由于下垫面特殊性不能纳入区划考虑，但是根据深圳市雷电活动特点，经常发生由海域向陆域发展

(下转203页)

的雷暴过程, 因此对于海上作业应采取必要的防雷措施, 尤其是大型船舶的卸油(气)更应避免在雷暴活动时开展。

### 参考文献

- [1] 吕海勇, 李文飞, 吴坚. 1995更多数据和年广东省雷电灾害事故的统计分析. 广东气象, 2015, 37(6): 52-55.
- [2] 黄崇福, 张俊香, 陈志芬, 等. 自然灾害风险区划图的一个潜在发展方向. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 9-15.
- [3] 程向阳, 谢五三, 王凯, 等. 雷电灾害风险区划方法研究及其在安徽省的应用. 气象科学, 2012, 32(1): 80-85.
- [4] 高焱, 蒙小亮, 劳小青. 基于聚类分析的海南岛雷电灾害易损度风险区划. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 175-182.
- [5] 赵伟, 杨续超, 张斌. 浙江省雷电灾害风险分析及区划. 热带气象学报, 2014, 30(5): 996-1000.
- [6] 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. 自然灾害学报, 2015, 24(6): 187-194.
- [7] 杨天琦, 林彬彬, 韩照全, 等. 基于GIS的区域雷电灾害风险管理方法研究. 西南大学学报, 2016, 38(2): 155-161.
- [8] 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. 灾害学, 2017, 32(1): 32-35.
- [9] 吕海勇, 庄燕洵, 尹娜. 广东省雷电灾害易损性分析与风险区划. 广东气象, 2016, 38(2): 50-53.
- [10] 陈思蓉, 朱伟军, 周兵. 中国雷暴气候分布特征及变化趋势. 大气科学学报, 2009, 32(5): 703-710.
- [11] 郭虎, 熊亚军. 北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划. 应用气象学报, 2008, 19(1): 35-40.
- [12] 李彩莲, 赵西社, 赵东, 等. 陕西省雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划. 灾害学, 2008, 23(4): 49-53.
- [13] 王惠, 邓勇, 尹丽云, 等. 云南省雷电灾害易损性分析及区划. 气象, 2007, 33(12): 83-87.
- [14] 陈晨辉, 张明生, 陈军, 等. 雷电与地形. 北京: 中国气象学会第七届中国国际防雷论坛论文摘编, 2008.
- [15] 钟连宏, 常美生. 不同土壤电阻率对雷电放电过程的影响. 高电压技术, 1997, 23(1): 64-66.