陈柳彤，龙爽，俞海洋，等. 河北省雷电灾害风险区划研究[J]. 灾害学，2019，34(3)：189－195. [CHEN Liutong，LONG Shuang，YU Haiyang，et al. Research on risk zoning of lightning disaster in Hebei province[J]. Journal of Catastrophology，2019，34(3)：189－195. doi：10. 3969/j. issn. 1000－811X. 2019. 03. 035.]

河北省雷电灾害风险区划研究*

陈柳彤[1,2]，龙　爽[1,2]，俞海洋[3]，李　倩[1,2]，陈笑娟[3]，王　瑛[1,2,4]，许映军[1,2,4]

（1. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室，北京 100875；2. 北京师范大学 地理科学学部 减灾与应急管理研究院，北京 100875；3. 河北省气象灾害防御中心，河北 石家庄 050021；4. 地表过程与资源生态国家重点实验室，北京 100875）

摘　要：河北省雷电灾害频发，造成重大损失，引发社会大量关注，2017 年中国气象局发布了雷电灾害区划技术指南。雄安新区雷电灾害风险区划可以为新区发展规划提供参考。依据自然灾害分析原理，参照雷电灾害区划技术指南，选用致灾因子危险性和承灾体易损性为分析因子，利用 2010－2016 年河北省闪电定位网观测数据、地理信息数据及社会经济数据，选取地闪密度、地闪强度、土壤电导率、海拔高度以及地形起伏 5 个指标分析致灾因子的危险性，人口密度、GDP 密度、防护能力以及城镇化率 4 个指标分析承灾体的易损性。通过计算雷电灾害风险指数，运用自然断点法，最终得到河北省雷电灾害风险区划。河北省雷电灾害高风险区分布于唐山市东南部、石家庄市、沧州市中东部、承德市东南部、张家口市西南部。雄安新区在进行雷电灾害防治时应重点关注容城县和雄县。该区划结果与河北省 2015－2017 年雷灾实际造成的经济损失状况大致相符。

关键词：河北省；雷电灾害；危险性；脆弱性；风险区划；雄安新区

中图分类号：X43；X915. 5；P446　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000－811X(2019)03－0189－07

doi：10. 3969/j. issn. 1000－811X. 2019. 03. 035

雷电灾害是指雷雨云中电能释放，击中物体或形成强烈电磁辐射而造成损失的灾害现象[1]。雷电灾害是“国际减灾十年”公布的最严重的十种自然灾害之一[2]。雷电与全球气候系统有着内在联系。全球变暖及干燥将导致雷电活动增加[3－6]。雷电灾害涉及面广，突发性强，危害范围大，影响深远。随着中国社会经济的快速发展、城市化进程的积极推进以及现代化水平的不断提高，雷电灾害的危害程度和造成的经济损失及社会影响越来越大[7]。

风险区划作为风险管理的重要手段之一，对于区域防灾减灾工作以及发展规划具有重要意义。近年来雷电灾害风险区划相关研究备受关注[8－11]。刘垚等人将地闪密度与最大地闪强度作为主要评价指标，形成杭州市雷电灾害风险区划[12]。程向阳等人选用致灾因子、孕灾环境、承灾体等因子对安徽省雷电灾害进行风险区划分析[13]。层次分析法在雷电灾害风险区划研究中也较为常见，赵伟等人通过雷灾承灾体易损性分析及对雷电致灾危险性评估，采用层次分析法确定各指标的权重系数，得到浙江省雷电灾害风险区划图[14]。于东海等人选取雷电灾害频数、地闪密度、人口密度、单位面积上的工农业总产值作为评估指标，基于层次分析模型完成了江门市新会区的雷电灾害风险区划[15]。程萌等综合考虑了致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力 4 个评价指标，采用层次分析法以及加权综合评价法得出菏泽市雷电灾害风险区划图[16]。有一部分学者基于雷电灾害承灾体易损性分析进行了区划研究[17－21]。另外，也有部分外国学者也展开了雷电灾害风险区划的相关研究[22－25]。随着 GIS 技术的发展，Arcgis 空间分析为雷电灾害风险区划提供了更为精细化的表达工具。

河北省位于华北平原，处于内陆与沿海的交汇地带，其地势呈西北高、东南低的态势，地貌类型复杂多样，这就使得河北省各地雷电分布不均一，加剧了河北省雷电灾害时空分布的复杂性。在区位上河北省地处环京津、环渤海经济圈，其经济区位十分重要[26]。河北省 2003－2009 年间雷电灾害造成经济损失 6，000 多万元，伤亡人数将近 300 人，2013 年经济损失达到了 1 260 万元[27]。《国家综合防灾减灾规划(2016－2020 年)》[28]将加强区域和城乡基层的防灾减灾救灾能力建设作为任务之一。《中共中央国务院关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见》[29]中将开展以县为单位的全国自然灾害综合风险与减灾能力调查，提升灾害风险预警能力，加强灾害风险评估、隐患排查治理作为改革事项的重要举措之一。2018 年 10 月

* 收稿日期：2019－01－26　　修回日期：2019－04－01

基金项目：国家重点研发计划支持项目“山洪灾害动态预警与风险评估平台构建”(2017YFC1502505)；河北省气象与生态环境重点实验室开放基金项目“不同空间尺度的河北省气象灾害风险评估模型研究”(Z201603H)

第一作者简介：陈柳彤(1997－)，女，广西梧州人，硕士研究生，研究方向为海岸带灾害与资源. E-mail：ltchan1996@163. com

通讯作者：许映军(1977－)，男，江苏南通人，博士，副教授，研究方向为海岸带灾害与资源. E-mail：xyj@bnu. edu. cn

10 日中央财经委员会第三次会议专门研究全面提升我国自然灾害防治能力问题，强调“要实施灾害风险调查和重点隐患排查工程，掌握风险隐患底数”。这就对河北省防雷减灾工作提出了更高要求。目前河北省雷电灾害区划分析的相关研究较为鲜见。本文基于灾害区划角度，开展河北省雷电灾害分布规律研究，期以能为相关部门防雷减灾工作提供借鉴。

1 数据与方法

本文在选取数据指标及数据处理方法时主要借鉴 2017 年中国气象局颁布的雷电灾害风险区划技术指南[30]。

1.1 数据来源

本文使用的河北省数据资料包括：(1)地闪数据源于 2010 – 2016 中国气象局闪电监测网 ADTD 资料；(2)地理信息数据包括数字地面高程数据(DEM)、行政区划、土壤电导率等数据；(3)社会经济数据包括 2015 年统计年鉴中各县市的人口、GDP、城镇化率及面积数据[31]。

1.2 方法

1.2.1 数据标准化

在对各指标进行计算时，为消除指标间的量纲差异将其进行归一化处理，计算公式为：

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{(A_{ij} - \min_i)}{(\max_i - \min_i)}。 \quad (1)$$

式中：D_{ij}指 j 站(格)点第 i 格指标的归一化值；A_{ij} 指 j 站(格)点第 i 格指标值；$\max_i$、$\min_i$ 指分别是第 i 个指标中的最小值和最大值。

1.2.2 等级划分方法

本文中各项评价指标均选用自然断点法进行等级划分。自然断点法是一种地图分级算法，该算法认为数据本身有断点，可利用数据这一特征进行分级。

$$SSD_{(i-j)} = \sum_{(k=1)}^{j} A[K]^2 - \frac{\sum_{k=1}^{j} A[K]^2}{j - i + 1}。 \quad (2)$$

式中：SSD 指方差；i、j 指第 i、j 个元素；A 指长度为 N 的数组；K 指 i、j 中间的数表示 A 组中的第 K 个元素。

1.2.3 雷电灾害风险评估指标

根据雷电灾害分析原理及雷电灾害风险区划技术指南，选择雷电灾害风险分析的指标，形成评价指标体系[30](表 1)。

表 1 雷电灾害风险概念框架及评价指标

目标层	因子层	指标层
雷电风险	致灾因子危险性	地闪密度（L_d）
		地闪强度（L_n）
		土壤导电率（S_c）
		海拔高度（E_h）
		地形起伏（T_r）
	承灾体易损性	人口密度（P_d）
		GDP 密度（G_d）
		城镇化率（U_r）
		防护能力指数（P_c）

(1)地闪密度。地闪密度指单位面积上年平均地闪次数，通过统计各县域地闪频次，除以统计资料年限，最终得到各县域的地闪密度。

(2)地闪强度。地闪强度指按百分位数法将地闪放电的雷电流幅值分级后加权平均的强度。其计算公式为：

$$L_n = \sum_{(i=1)}^{5} \left(\frac{i}{15} \times F_i\right)。 \quad (3)$$

式中：L_n 指地闪强度；i 指雷电流幅值等级；F_i 指雷电流幅值为 i 等级的地闪频次归一化。

根据雷电流幅值等级[30](表 2)对雷电流幅值进行等级划分，将划分结果代入地闪强度公式(3)中进行计算。

表 2 雷电流幅值等级

等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
百分位数(P)区间/%	$P \leqslant 60$	$60 < P \leqslant 80$	$80 < P \leqslant 90$	$90 < P \leqslant 95$	$P > 95$

(3)致灾因子危险性。将致灾因子中的各项指标进行归一化处理，代入致灾因子危险性计算公式(式 4)，为形成致灾因子危险性区划，结合自然断点法将致灾因子危险性划分为 5 个等级。

$$RH = (L_d^{wd} + L_n^{wn}) \times (S_c^{ws} + E_h^{we} + T_r^{wt})。 \quad (4)$$

式中：RH 指致灾因子危险性；L_d 指地闪密度；wd 指地闪密度权重；L_n 指地闪强度；wn 指地闪强度权重；S_c 指土壤导电率；ws 指土壤导电率权重；E_h 指海拔高程；we 指海拔高度权重；T_r 指地形起伏；wt 指地形起伏权重。

(4)承灾体暴露度。承灾体暴露度以人口密度和 GDP 密度作为主要评价指标。将两个指标数据进行归一化后，通过式(5)进行暴露度计算，运用自然断点法将暴露度划分为 5 个等级。等级越高说明承灾体受到影响的数量和价值量越大。

$$RE = P_d^{wp} + G_d^{wg}。 \quad (5)$$

式中：RE 指承灾体暴露度；P_d 指人口密度；wp 指人口密度权重；G_d 指 GDP 密度；wg 指 GDP 密度权重。

(5)承灾体脆弱性。通过地区城镇化率及防护能力来分析承灾体脆弱性。运用遥感影像解译将河北省土地利用类型划分为农用地、建设用地、未利用地 3 大类，根据防护能力指数赋值标准[30](表 3)对不同土地利用类型进行赋值，用于表示地区防护能力的差异。

表 3 防护能力指数赋值标准

土地利用类型	建设用地	农用地	未利用地
防护能力指数	1.0	0.6	0.5

将河北省防护能力和城镇化率数据进行归一化处理，代入公式(6)，运用自然断点法进行脆弱性等级划分，承灾体受到的不利影响或趋势越大，其脆弱性等级越高。

$$RF = U_r^{wu} + (1 - P_t)^{wp}。 \quad (6)$$

式中：RF 指脆弱性；U_r 指城镇化率；wu 指城镇化率权重；P_t 指防护能力指数；wp 指防护能力指数。

基于雷电灾害指数(LDRI)，结合自然断点法将风险等级分为极高风险、高风险、一般风险三个等级，形成河北省雷电灾害风险区划。根据致灾因子危险性和承灾体易损性得到的雷电灾害指数，是对雷电灾害风险进行量化标准的评定。

$$LDRI = (RH^{wh}) \times (RE^{we} \times RF^{wf})。\quad (7)$$

式中：*LDRI* 指雷电灾害风险指数；*RH* 指致灾因子危险性；*wh* 指致灾因子危险性权重；*RE* 指承灾体暴露度；*we* 指承灾体暴露度权重；*RF* 指承灾体脆弱性；*wf* 指承灾体脆弱性权重。

2　结果与分析

2.1　致灾因子危险性区划与分析

由河北省地闪密度分布图(图 1)可知，秦皇岛市与唐山市交界处的卢龙县、迁安市、滦县年平均地闪次数较多且集中于唐山市，张家口市万全县为该地区地闪次数的高值中心，保定市与石家庄市交界也存在着地闪次数的高值区。承德市、廊坊市及邯郸市地闪次数较低。从地闪密度分布区域看，河北省雷暴多发区主要集中于平原地区。

从地闪强度(图 2)可以看出，承德市丰宁满族自治县及围场满族蒙古自治县地闪强度较强，张家口市宣化县与蔚县，以及保定市阜县存在着高值中心，石家庄东北部地闪强度也较强。除承德市外，都存在着地闪强度较低值的分布。从地闪强度分布区域看，河北省地闪强度高值区主要分布于地形较高区域，低值区主要分布在东部平原地区。

河北省高程变化如图 3 所示，河北省的各地高程变化较大，西北部地形起伏较大，由西北部向东南部递减，唐山市和秦皇岛市位于地势过渡地区，衡水市、沧州市、廊坊市大部分属于地势平坦区。海拔高度和地形起伏的差异使得各地所面临的雷电灾害风险不同。

土壤电导率是表征土壤导电能力强弱的指标，它是孕育雷电灾害的另一要素[32-34]。河北省土壤电导率(图 4)高值出现在了地形起伏大，地势较高的地区，如张家口市西北部，唐山市东南部，沧州市东部。而中部大部分地区属于土壤导电率较低值区。

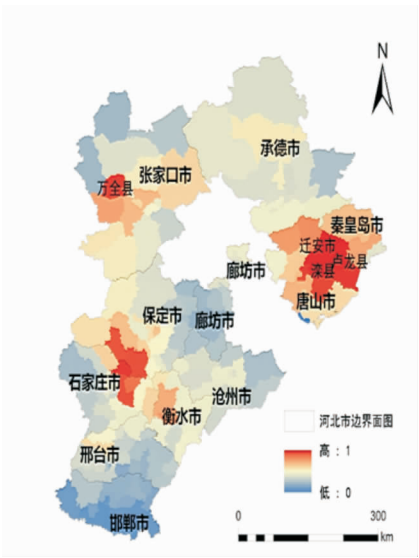


图 1　河北省地闪密度分布图

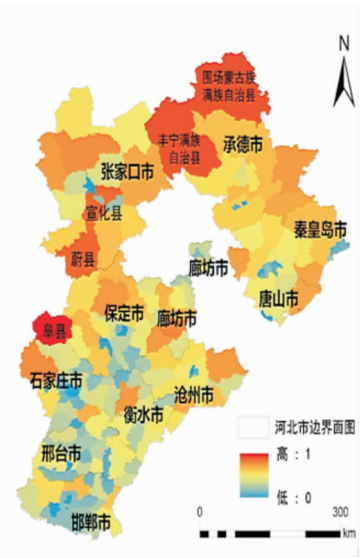


图 2　河北省地闪强度分布图

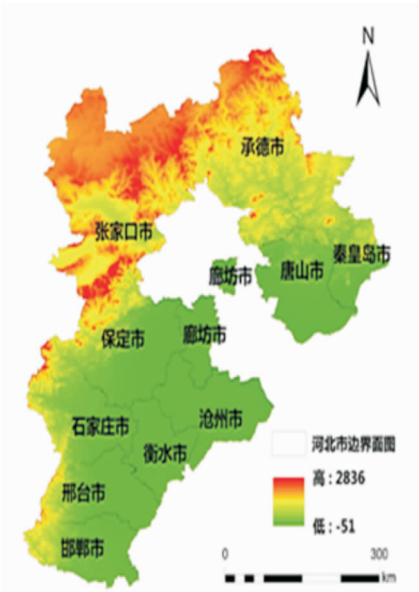


图 3　河北省地形高程变化

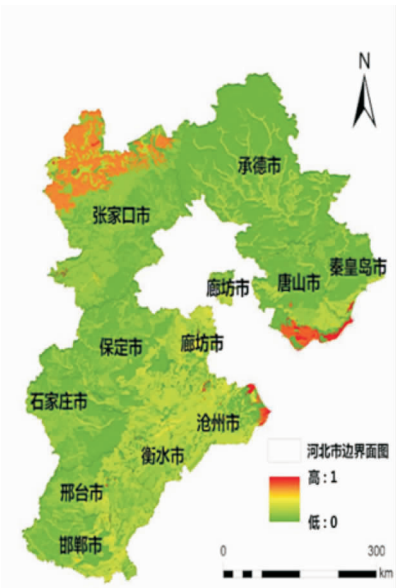


图 4　河北省土壤导电率分布状况

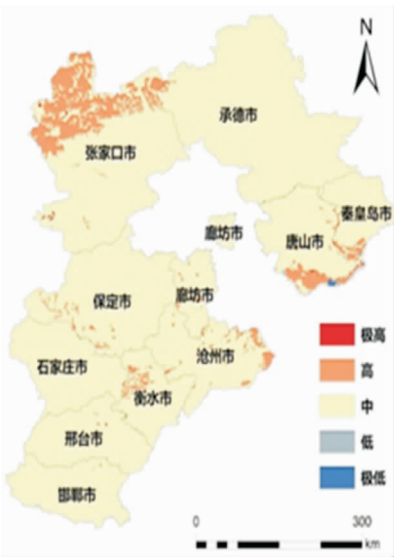


图 5 致灾因子危险性区划图

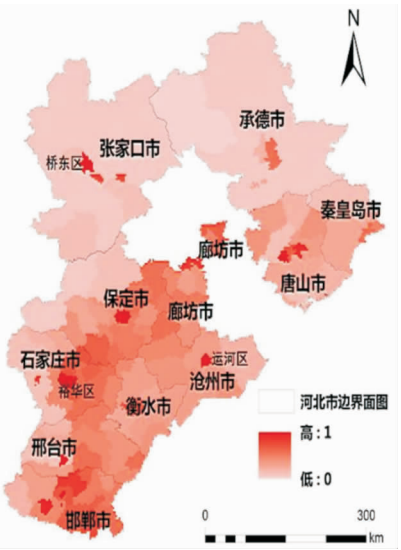


图 6 人口密度分布图

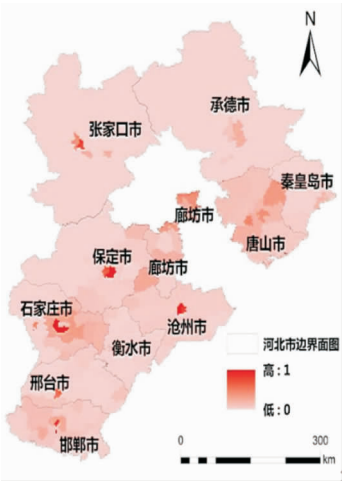


图 7 GDP 密度分布图

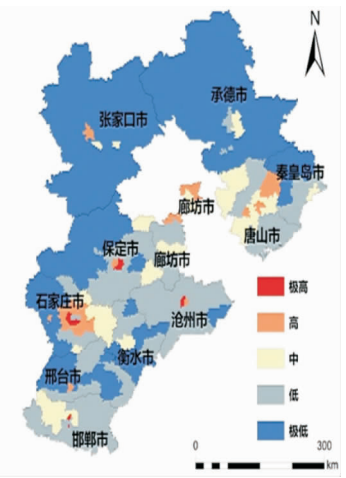


图 8 承灾体暴露度区划图

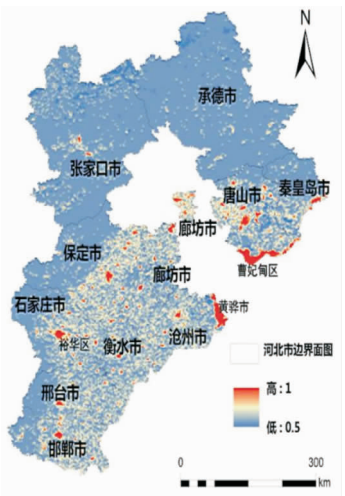


图 9 河北省防护能力状况分布图

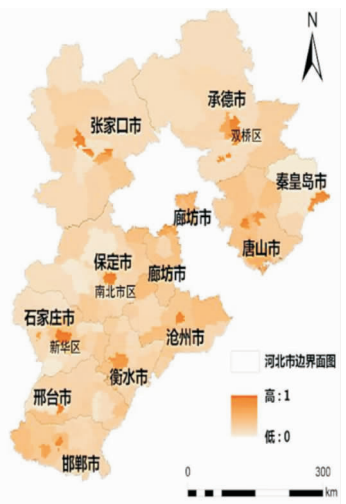


图 10 河北省城镇化率分布图

从致灾因子危险性区划图(图 5)中可以看出，较高危险等级区分布在张家口市西北部，秦皇岛市南部，唐山市南部，保定市西南部，衡水市中部以及沧州市东部和北部。其中在张家口市及唐山市有极高危险等级区分布。在唐山市东南部有少部分的较低危险性分布。从致灾因子看，河北省除上述地区外，大部分属于中度危险区，如邯郸、邢台、承德等。

2.2　承灾体暴露度区划与分析

从人口密度分布图(图6)中可以看出，河北省人口大多数分布于地势平坦地区，集中于东部及东南部地区。每个地级市中都存在人口密度的高值中心，如石家庄市裕华区、沧州市运河区以及张家口市桥东区等。河北省西北部城市的人口较少，人口主要集中在张家口市的西南部、承德市的东部和南部。从GDP密度分布图(图7)中可以发现，GDP密度的分布与人口密度具有一定的相似性，人口密度越大的地区其GDP密度越高，如石家庄市、唐山市和廊坊市。

承灾体暴露度区划图(图8)中，每一个地级市中都存在着一个高值中心，这些区域都分布在中心城区，符合于一般认知规律。石家庄市危险等级极高，如若发生雷电灾害，石家庄会面临极大的损失，唐山市、廊坊市的暴露度等级为中至高等级。河北省西北部城市人口较少，人口主要集中于承德市双桥区，以及张家口市万全县与桥西区，同时GDP高值也在此处集中。如若发生雷电灾害，会给上述地区带来极大损失。总体上来看，河北省西北部地区的暴露度等级比东北部的暴露度等级低。

2.3　承灾体脆弱性区划与分析

在地区防护能力状况分布图(图9)中可以看到，每个地级市中都存在着防护能力的高值中心，防护能力都达到了1，这些地区都属于城镇建设用地密集区，如石家庄市裕华区，唐山市的高值区分布于东南部的曹妃甸区，黄骅市的东部也有高值区的分布。图9中还存在着大部分的碎片区域，这些区域都属于农业用地。西北部地区地势较高存在着大面积的未利用地，防护能力多为0.5。

雷电灾害造成的损失还与城镇化率有很大的相关性[35]。从河北省城镇化率分布图(图10)可以看出，河北省东部地区城镇化率较高，其中石家庄市新华区，保定市南、北市区，承德市双桥区，沧州市，廊坊市等城镇化率较高。

从河北省脆弱性区划图(图11)中可以看出，在每个地级市中都存在着极高风险区的分布。而这些极高风险区主要分布于城镇中心，雷电灾害给这些区域带去不利影响的倾向极大，较为明显的是石家庄市，唐山市，廊坊市，承德市东部和南部，沧州市等。因此需要加强对这些地区的有效防护。河北省东部的大部分地区脆弱性在中至高危险等级，说明雷电灾害对其影响相对较大。

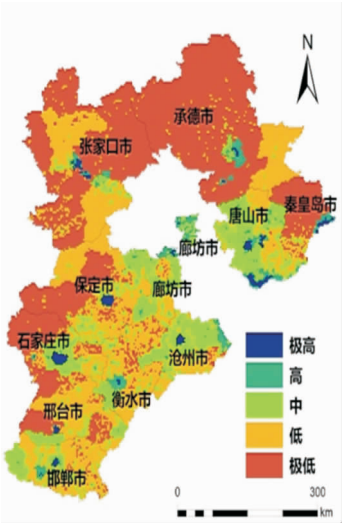
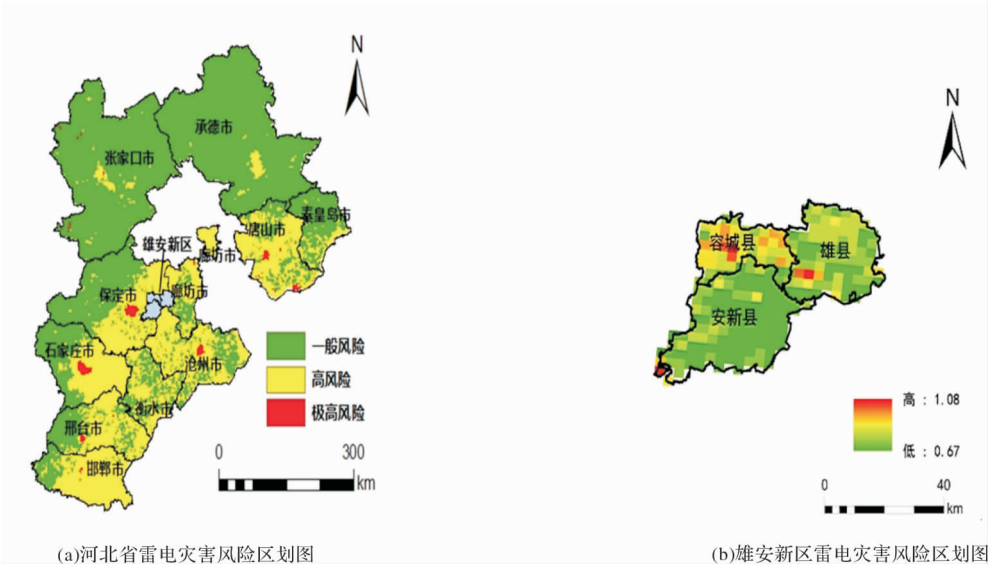


图11　河北省脆弱性区划图

2.4　综合风险区划

从河北省雷电灾害风险区划图(图12a)可以看出，每个地级市中都存在着极高风险区，而这些区域位于地级市的中心城区，如石家庄市的裕华区、新华区，唐山市的路南区、路北区，承德市的双桥区，保定市的南、北市区等。河北省东部地势较低地区存在着大范围的高风险区，石家庄市作为河北省省会其风险系数较高，因此其雷电灾害防治需要加强。西北部城市有少部分高风险区分布，张家口市西南部和西部存在着极高风险区，其他大部分地区属于一般风险区。廊坊市大部分位于高风险区。处于极高风险区和高风险的地区是我们在进行雷电灾害防治过程中需要重点关注的对象。



(a)河北省雷电灾害风险区划图　　(b)雄安新区雷电灾害风险区划图

图12　雷电灾害风险区划图

表 4 河北省 2015 – 2017 年雷电灾害直接经济损失

年份	石家庄	邯郸	衡水	保定	沧州	廊坊	唐山	秦皇岛	承德	张家口
2015	2.1	0	4.2	0	2	3.7	27.38	8.5	13.2	13.2
2016	0	0	5.17	0	0	4.07	0	0	0	0
2017	0.1	3.8	0	0	0	6.3	0	1.2	0.2	14
总和	2.2	3.8	9.37	0	2	14.07	27.38	9.7	13.4	27.2

为疏散北京的非首都功能，调整优化京津冀城市的布局，2017 年 4 月国家设立雄安新区。本文基于河北省雷电灾害风险区划，分析了雷电灾害对雄安新区发展的可能影响(图 12b)。可以发现，容城县高风险分布范围最为广泛，雄县西南部存在着高风险区，安新县大部分为一般风险区。因此，容城县是雄安新区在进行雷电灾害防治过程中需重点关注的地区。

为了验证本文区划效果，将区划图与河北省 2015 – 2017 年雷电灾害直接经济损失[27](表 4)进行了对比。从直接经济损失统计看，唐山市三年经济损失最大，其主要在 2015 年受到雷电灾害影响，经济损失达 27 万元。张家口市次之，其在 2015 年和 2017 年都受到了雷电灾害的影响，经济损失达 27.2 万元。廊坊市三年经济损失达 14 万元，衡水市 9 万元，石家庄市 2.2 万元，沧州市 2 万元。保定市三年雷电灾害经济损失为 0，说明其受到雷电灾害的影响很小。由此可知本文区划结果与河北省 2015 – 2017 年雷电灾害直接经济损失较为吻合。

3 讨论

本文参照雷电灾害风险区划技术指南，构建河北省雷电灾害风险区划指标体系，完成了河北省雷电灾害风险区划。

(1)致灾因子危险性较高的地区分布于张家口市的西北部、中部、及东南部地区。其中还存在两个极高风险的分布区，分别是张家口中部和唐山市东南部。唐山市东部地区存在着极低风险分布区。河北省危险性处于中至高等级的地区分布较为广泛。

(2)承灾体暴露度在每个市中都存在一个高值中心。石家庄市中心暴露度值属于极高风险等级，唐山市暴露度风险处于中至高等级，西北部暴露度较高的位于张家口市万全县及承德市双桥区。

(3)承灾体脆弱性呈现出规律性的分布。虽然城镇防护能力高，但其经济量大，所以雷电灾害给城镇带来的潜在不利影响较高。而乡村城镇化率低，大部分属于农用地，与城镇相比其受到的不利影响较低。

(4)河北省雷电灾害区划结果表明高风险区分布于石家庄市、唐山市东南部、沧州市中东部、承德市东南部、张家口市西南部等地区。高风险区大多数分布于河北省东部地区，同时各个地级市中心存在着极高风险区，尤其石家庄市、唐山市极高风险分布区较为广泛，为雷电灾害防治的重点区域。

(5)雄安新区容城县雷电灾害风险等级最高，雄县次之，安新县大部分为一般风险区。雄安新区在进行发展规划时应考虑雷电灾害对上述地区可能造成的影响，以减少不必要的损失。

雷电灾害形成受到了众多因素的影响。本文指标体系清晰，同时各指标数据较为完整，可以为极高风险区域的雷电灾害防治提供参考。本文承灾体脆弱性分析缺少生命及经济损失数据，从而导致分析不够深入，后续研究需要考虑相应数据的使用。基于实际灾情数据的完备，本文区划效果验证可以改进。

参考文献：

[1] 陈谓民. 雷电学原理[M]. 北京：气象出版社，2003：1 –2.

[2] 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)：159 –164.

[3] Tippett M K，Allen J T，Gensini V A，et al. Climate and hazardous convective weather[J]. Current Climate Change Reports，2015，1(2)：60 –73..

[4] SeeleyJ T，Romps D M. The effect of global warming on severe thunderstorms in the United States[J]. Journal of Climate，2015，28(6)：2443 –2458.

[5] Romps DM，Seeley JT，Vollaro D，et al. Climate change. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming[J]. Science (New York，N. Y.)，2014，346(6211)：851 –854.

[6] Etherington T R，Perry G L W. Spatially adaptive probabilistic computation of a sub-kilometre resolution lightning climatology for New Zealand[J]. Computers & Geosciences，2017，98：38 –45.

[7] 杨少杰等. 中国雷电灾害现状与对策[M]//中国科协减轻自然灾害咨询报告. 北京：原子能出版社，2007.

[8] 彭启洋，熊长铮. 低纬高原乡村雷电灾害发生规律及特征分析[J]. 灾害学，2015，30(04)：96 –100.

[9] 刘平英，杨宗凯，胡颖，等. 2016 年云南省雷电灾害分布与致灾因素相关性分析[J]. 灾害学，2018，33(1)：130 –135，151.

[10] 陈广昌，崔逊，田心如. 江苏省雷电灾害危险性定量化评估及区划[J]. 灾害学，2017，32(1)：32 –35.

[11] 殷娴，胡颖，周清倩，等. 云南省地震高发区雷灾风险分析与区划研究[J]. 灾害学，2017，32(4)：67 –72.

[12] 刘垚，缪启龙，刘淼，等. 杭州市雷电活动特征及雷电灾害区划[J]. 气象与减灾研究，2011，34 (4)：62 –67

[13] 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[J]. 气象科学，2012，32(1)：80 –85.

[14] 赵伟，杨续超，张斌. 浙江省雷电灾害风险分析及区划[J]. 热带气象学报，2012，32(1) ：80 –85

[15] 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.

[16] 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.
[17] 李淮，杨慧民，林春. 南昌地区雷电灾害易损性分析及区划[J]. 气象研究与应用，2013，34(3)：78－82.
[18] 李家启，申双和，秦健，等. 重庆市雷电灾害易损性风险综合评估与区划[J]. 西南大学学报(自然科学版)，2011，33(1)：96－102.
[19] 田艳婷，吴孟恒，史锋旗，等. 河北省雷电灾害易损性综合评估与区划[J]. 气象科技，2012，40(3)：507－512.
[20] 余昌松，李全平，刘大伟，等. 淳安县雷电灾害易损性风险区划[J]. 安徽农业科学，2017，45(8)200－202，227.
[21] 袁湘玲，王振会，肖稳安，等. 雷电灾害潜在与现实易损性分析及区划研究——以黑龙江省为例[J]. 灾害学，2011，26(1)：20－25.
[22] Black A W，Mote T L. Effects of winter precipitation on automobile collisions，injuries，and fatalities in the United States[J]. Journal of Transport Geography，2015，48：165－175.
[23] Allen JT，Karoly DJ. A climatology of Australian severe thunderstorm environments 1979-2011：Inter-annual variabil-ity and ENSO influence[J]. Int J Climatol. 2014；34：81－97. doi：10.1002/joc. 3667
[24] Miller P W，Mote T L. Characterizing severe weather potential in synoptically weakly forced thunderstorm environments[J]. Natural Hazards & Earth System Sciences，2018，18(4)：1－39.
[25] Miller P W，Mote T L. A climatology of weakly forced and pulse thunderstorms in the Southeast United States[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology，2017：JAMC－D－17－0005.1.
[26] 王建恒，杨仲江，吴孟恒. 河北省雷电灾害分布特征研究[J]. 安徽农业科学，2010，38(23)：12720－12723.
[27] 张健. 河北省雷电灾情收集工作现状调查分析[C]//中国气象学会. 第35届中国气象学会年会 S19 雷电物理和防雷新技术——第十六届防雷减灾论坛. 中国气象学会：中国气象学会，2018.
[28]《国家综合防灾减灾规划(2016－2020年)》具体内容[J]. 中国减灾，2017(3)：30－35.
[29]《中共中央国务院关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的意见》出台[J]. 中国减灾，2018(9)：18.
[30] QX/T 雷电灾害风险区划技术指南[S]. 北京：气象出版社. 2017
[31] 河北省统计局. 河北省统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2015.
[32] 陈晨辉，张明生，陈军，等. 雷电与地形[C]//中国气象学会. 第七届中国国际防雷论坛论文摘编. 北京，2008：98－99.
[33] 常生文，王金泉，廖燕珍. 不同下垫面对云地放电位置的影响[J]. 海峡科技与产业，2017(1)：82－84.
[34] 王建军，唐谟懿，周力行. 地形地貌对配电线路雷害影响分析[J]. 电力科学与技术学报，2017，32(1)：151－156.
[35] 耿雪莹，张其林，刘明远. 地面建筑物(群)对雷暴云大气电场影响的模拟研究[J]. 气象科技，2012，40(5)：827－833.

Research on risk Zoning of Lightning Disaster in Hebei Province

CHEN Liutong[1,2]，LONG Shuang[1,2]，YU Haiyang[3]，LI Qian[1,2]，CHEN Xiaojuan[3]，WANG Ying[1,2,4] and XU Yingjun[1,2,4*]

(1. *Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster*，*Ministry of Education*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；2. *Faculty of Geographical Science*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；3. *Hebei Meteorological Disaster Prevention Center*，*Shijiazhuang* 050021，*China*；4. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；)

Abstract：Lightning disasters occurs frequently in Hebei Province，which causes great losses that has aroused social concerns. In 2017，China Meteorological Administration published a technical guide for lightning disaster zoning. The zone of lightning disasters in Xiongan New Area provides reference for regional development planning. According to the principle of natural disaster analysis and the technical guide，the data used in research are from the lightning locating network data of Hebei Province from 2010 to 2016，geographic information about Hebei province and the statistical yearbook data of Hebei Province. We choose Cloud-to-ground (CG) lightning density，maximum of CG lightning intensity，soil electric conductivity (EC) and topographic relief in Hebei to represent risk of disaster-causing factors. About the vulnerable in Hebei，we choose population density，gross domestic product (GDP) density，the ability of protect and urbanization rate to represented. Finally，the risk zoning of lightning disasters in Hebei Province is obtained by NBC method. The result shows that the highest risk city include Tangshan，Shijiazhuang，Cangzhou，Chengde，Zhangjiakou. In Xiongan New Area，we should focus on Rongcheng and Xiongxian when prevent the lighting disasters. Comparing the risk zoning result with economic losses caused by thunder disasters in Hebei Province from 2015 to 2017，we found that there is high degree of coincidence.

Key words：Hebei province；lightning disaster；risk；vulnerable；risk zoning of lightning；Xiongan New Area