

# 北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划<sup>\*</sup>

郭 虎 熊亚军

(北京市气象台,北京 100089)

## 摘要

根据 1995—2005 年北京市 18 个区县的雷暴日和雷电灾害统计资料,结合北京市的经济和人口密度特征,提出了雷暴日数、雷电灾害频度、生命易损模数及经济易损模数作为北京市雷电灾害易损性评估指标,并在此基础上,给出了北京市雷电灾害易损度评估结构。采用 4 级分区法对上述雷电灾害易损性评估指标进行了分级,并赋予各等级如下定值:极高级为 1.0, 高级为 0.8, 中级为 0.5, 低级为 0.2。将北京市 18 个区县按照 4 个雷电灾害易损性评估指标的所属等级获取相应等级值,将各区县 4 个评估指标的等级值累加,得到平均值作为雷电灾害易损性评估的评价指数。最后通过对北京市各区县雷电灾害易损性进行综合评估,并利用 4 级分区法形成北京市雷电灾害易损度区划。结果表明:城区和丰台区为雷电灾害极高易损区,海淀区、朝阳区、昌平区和石景山区为雷电灾害高易损区,延庆县、大兴区、门头沟区和平谷区为雷电灾害低易损区,其他区县为雷电灾害中易损区。

关键词:雷电灾害;评估指标;易损度区划

## 引言

雷电灾害是“联合国国际减灾十年”公布的十种最严重的自然灾害之一,被称为“电子时代的一大公害”<sup>[1]</sup>。雷电灾害有两类,一类为直接雷击灾害,另一类为感应雷击灾害,前者会直接击死、击伤人畜,击坏输电线、建筑物,甚至引发火灾。后者悄悄发生,不易察觉,主要以电磁感应和过电压波的形式对微电子设备构成危害。两种形式的雷击尽管表现形式不同,但对城市生命财产均构成严重威胁<sup>[2]</sup>。特别是与高新技术关系密切的领域,由于广泛采用对雷电电磁干扰极为敏感的大规模及超大规模集成电路,使得雷电电磁辐射脉冲对微电子设备的正常工作影响几率大大增加,有时甚至造成设备的严重损害。据保守估计,我国每年因雷电灾害造成的直接经济损失达数亿元,而由此造成的间接经济损失则难以估计,产生的社会影响也越来越大<sup>[3]</sup>。区划分析是比较简便有效的一种灾害管理方法<sup>[4]</sup>。在科学的基础上对自然灾害进行风险区划分析,能将灾害管理提高到风险管理程度,对于减灾和救灾有

十分重要的指导意义。国内外关于地震、洪水、泥石流等风险区划的研究很多<sup>[5-7]</sup>,但有关雷电灾害风险区划的研究显得相对薄弱。尹娜等<sup>[8]</sup>对广东省雷电灾害进行了风险区划分析,江苏省也做了类似的工作<sup>[9]</sup>。北京属典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,是雷电灾害发生较为频繁的地区之一。据北京避雷装置安全检测中心统计:仅在 2005 年北京市就发生雷电灾害 34 起,造成 2 人死亡、16 人受伤、直接经济损失达 300 万元的严重后果。北京市是 2008 年奥运会主要举办城市,奥运会期间正是北京市雷暴多发季节<sup>[10]</sup>,因此对北京市进行区域雷电灾害易损性分析及易损度区划具有十分重要的意义。

## 1 资料说明和易损性指标计算方法

雷电灾害一般由地闪引起,地闪频数是最直接地反映孕灾环境的评估指标。但由于目前国内气象部门还没有统一标准的业务运行闪电定位系统,已运行系统的主要问题是性能指标尚没有统一规范,同时对设备整机性能指标以及闪电站网的总体性能缺乏科学的评估,因此已获得的闪电数据与气象部

\* 国家科技攻关计划奥运科技专项“北京奥运短时临近预报实施业务系统研发”(2005BA904B05)及北京市科委“北京城市主要灾种评估指标体系和综合减灾对策行动研究”项目共同资助。

2007-03-04 收到,2007-09-20 收到再改稿。

门对雷电监测业务的需求还有一些差距<sup>[11]</sup>。且由于闪电定位系统运行的时间不长,北京市还没有积累较长时间尺度的地闪资料。雷暴日数能代表一个区域内雷暴活动的频繁程度,本文选取雷暴日作为北京市雷电灾害的孕灾环境背景资料。雷暴日资料来自1995—2005年北京市15个气象观测站逐日地面气象观测资料,统计每个气象站的年平均雷暴日数。15个气象站分别为:观象台、朝阳区、丰台区、石景山区、海淀区、门头沟区、房山区、通州区、顺义区、昌平区、大兴区、平谷区、怀柔区、延庆县和密云县气象观测站。东城区、西城区、崇文区和宣武区的雷暴日数用观象台雷暴日数代替。

由直接雷击导致的人畜伤亡,输电线、建筑物的损毁,甚至引发火灾以及由感应雷击通过电磁感应和过电压波的形式对微电子设备构成损害等均称为雷电灾害。本文的雷电灾害资料取自北京市18个区县的雷击灾害报告,由北京市防雷办公室提供,资料年限为1995—2005年。

北京市18个区县的人口和经济特征资料来自北京市统计局。由于各区县间的人口和经济发展大致同步,各区县的人口和经济特征也具有相对稳定性,本文未考虑各区县人口和经济的年际变化,使用2006年发布的北京市第一次全国经济普查数据及1%人口抽样调查数据<sup>[12]</sup>。

灾害的发生是由致灾环境的危险性和承灾体的脆弱性共同决定的<sup>[13]</sup>。由于居住环境、人文环境及经济状况等的不平衡性,面对相同烈度雷电灾害,北京市不同区县的承受能力具有很大的差异。北京市雷电灾害易损性反映了北京市各区县面对雷电灾害时的敏感度,其既与各区县自然雷暴的气候背景有关,也与遭受雷电灾害区县的经济、人口密度特征等有关。本文采用以下4个指标来评价北京市雷电灾害易损性:雷暴日数M,雷电灾害频度P,经济(GDP)易损模数D,生命易损模数L。雷暴日数M(单位:d)是指各区县每年发生雷暴的天数,它是反映雷暴活动的重要指标之一。雷暴日数多的区县,致灾因子活跃,发生灾害的可能性较大。雷电灾害频度P(单位:次·a<sup>-1</sup>)是指各区县每年发生雷电灾害的次数,它客观地反映过去一段时期内各区县发生雷电灾害的实际情况。经济易损模数D( $D = D_s / S$ ,单位:万元(人民币)·km<sup>-2</sup>)表示区域内发生雷电灾害时,单位面积上的经济损失。其中D<sub>s</sub>为各区县的GDP生产总值,S为各区县的行政面积。该指标

既可以反映区域单位面积上的经济损失,还可以间接反映各区县抵抗雷电灾害的能力及灾后恢复能力。生命易损模数L( $L = L_s / S$ ,单位:10<sup>5</sup>人·km<sup>-2</sup>)表示区域发生雷电灾害时单位面积上受危害的人口数量。其中L<sub>s</sub>为各区县户籍人口和暂住人口的总和,S为各区县的行政面积。该指标反映了区域生命对灾害的敏感性。上述前两项指标着重于雷电及雷电灾害发生频率和次数评价,反映承灾体遭受灾害的可能性程度;后两项指标则侧重于雷电灾害损失的评估,反映承灾体面对雷电灾害时的受损程度。

## 2 北京市雷暴日和雷电灾害频度特征

北京地处华北平原的西北端,地势由西北向东南倾斜,西部属太行山余脉,北部和东北部为燕山山脉,两条山脉在昌平区南口附近交汇,形成一个向东南展开的山湾,它所围绕的平原为北京小平原,其面积约占全市面积的三分之一;北京三面环山,形成一条平均海拔高度约为1000 m的山前、山后天然分界线。北京地处中纬度季风气候区,夏季常受偏南暖湿气流的影响,是雷电灾害较为活跃的地区。

图1给出了北京市1995—2005年的年平均雷暴日分布图。从图1中可以看出,北京市的雷暴日分布具有明显的区域特征。密云县为北京市雷暴日最多的区县,年平均雷暴日在35 d以上。延庆县、怀柔区、昌平区、门头沟区、海淀区、石景山区、丰台区、朝阳区和平谷区的年平均雷暴日数为30~35 d。顺义区、房山区、大兴区和城区的年平均雷暴日为25~35 d。通州区是北京市雷暴日最少的区县,年平均雷暴日在25 d以下。北京市雷暴日分布整体上具有“北多南少,东疏西密”的空间分布特征。结合北京市地形特点,可以发现北京市北部山区雷暴日较多,南部平原雷暴日较少。

图2给出了北京市1995—2005年平均的雷电灾害频度分布特征。从图2可以看出,海淀区是北京市雷电灾害最严重的地区。海淀区科研院所林立,高等院校密布,经济发展迅猛,电子仪器十分密集,是国家高新技术产业基地之一,也是北京市雷电灾害频度最大的区域,其雷电灾害频度达到4.73次·a<sup>-1</sup>。丰台区、朝阳区、通州区、东城区、西城区、崇文区和宣武区的雷暴日相对较少,但由于这些区域人口密集,高层建筑物众多,也是北京市雷电灾害较多的区域,年

平均雷电灾害在 $2.5\text{ 次}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上。延庆县、密云县、昌平区、大兴区和房山区的雷电灾害频度在 $1.0\sim2.5\text{ 次}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。怀柔区、顺义区和平谷区虽然是北京市雷暴日相对较多的区域,但由于其地属郊区,高层建筑物和电子仪器等设备相对较少,雷电灾害并不是很多,雷电灾害频度为 $0.5\sim1.0\text{ 次}\cdot\text{a}^{-1}$ 。位于北京市西部的门头沟区和石景山区是雷电灾害最少的区县,年平均雷电灾害次数不足 $0.5$ 次。门头沟区和石景山区每年的雷暴日本身不是很多,同时门头沟区地处山区,高层建筑物、电子仪器和人口密度相对较少,因此其雷电灾害相对较少。通过上述分析可以发现,北京市雷电灾害虽与自然雷电活动分布有一定的关系,却又不完全由雷电活动频繁程度所决定,自然雷电活动只是雷电灾害的致灾因子之一。

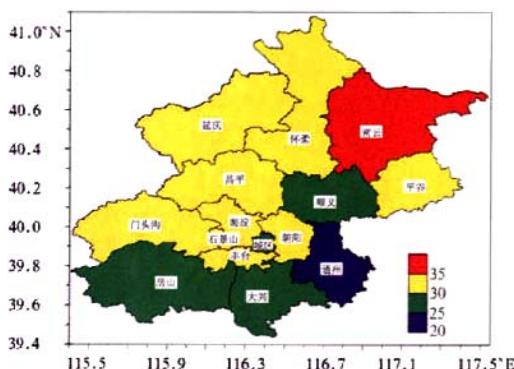


图 1 北京市 1995—2005 年年平均雷暴日分布图(单位:d)

Fig. 1 Distribution of annual mean thunderstorm days in Beijing during 1995—2005 (unit:d)

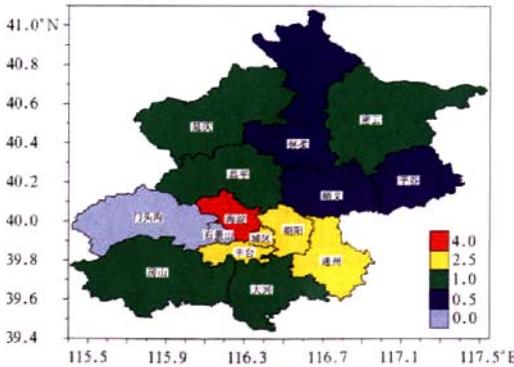


图 2 北京市 1995—2005 年雷电灾害频度分布图(单位: $\text{次}\cdot\text{a}^{-1}$ )

Fig. 2 Distribution of lightning disaster frequency in Beijing during 1995—2005 (unit: $\text{a}^{-1}$ )

### 3 北京市雷电灾害易损性指标分级

根据北京市 1995—2005 年具体雷电灾害统计资料,以北京市 18 个区县为基本分析单元,从中挑选出各区县的雷击事件,计算出北京市各区县雷电灾害频度。根据 1995—2005 年雷暴日资料,计算出 18 个区县的年平均雷暴日数(城区 4 个区县的值用观象台值代替)。通过北京市各区县的生产总值(GDP)、人口和行政面积资料,计算出各区县的经济易损模数和生命易损模数。北京市各区县具体雷电灾害易损性分析指标值见表 1。

表 1 北京市 18 个区县雷电灾害易损性分析指标

Table 1 Evaluation indices of lightning disaster vulnerability for eighteen counties in Beijing

地名	雷暴日数 /d	雷电灾害 频度 /( $\text{次}\cdot\text{a}^{-1}$ )	经济损失模 数/(万元· $\text{km}^{-2}$ )	生命易损模 数/( $10^5\text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ )
东城区	27.73	3.84	193.19	2.87
西城区	27.73	3.84	235.45	2.70
崇文区	27.73	2.78	56.34	2.62
宣武区	27.73	2.91	109.18	3.27
朝阳区	30.45	3.45	24.58	0.56
丰台区	31.55	3.27	10.88	0.41
石景山区	31.55	0.36	21.56	0.59
海淀区	31.09	4.73	26.56	0.58
门头沟区	32.36	0.27	0.27	0.02
房山区	27.91	1.64	1.05	0.04
通州区	24.64	2.55	1.43	0.09
顺义区	28.00	0.73	2.26	0.07
昌平区	31.27	1.45	1.36	0.06
大兴区	25.73	1.27	1.33	0.07
平谷区	31.09	0.64	0.87	0.04
怀柔区	34.00	0.91	0.23	0.02
密云县	35.82	1.27	0.31	0.02
延庆县	33.00	0.73	0.18	0.01

表 1 给出各区县的雷电灾害易损性指标,主要体现该区域发生雷电灾害时在某一方面可能造成损失量的大小,尚不能给出雷灾易损性大小的直观概念。为弥补上述不足,将雷电灾害易损性指标用极高、高、中、低 4 个级别来描述,按照灾害学通常方法,并结合北京市雷电灾害的实际情况,赋予各等级如下的定值<sup>[8,13]</sup>: 极高为 1.0, 高为 0.8, 中为 0.5, 低为 0.2。分级方法采用气象学统计分析中的分級统计方法<sup>[14]</sup>, 其核心思想是:首先将 18 个区县的某个指标值从小到大按顺序排列,并按第 1,4 组 4 个记录,第 2,3 组 5 个记录的方法分为 4 组数据。第 n

( $n=1,2,3$ )组中的最大值和第 $n+1$ ( $n=1,2,3$ )组中的最小值的平均值作为第 $n$ ( $n=1,2,3$ )级的最大值和第 $n+1$ ( $n=1,2,3$ )级的最小值。北京市4个雷电灾害易损性指标分级标准如表2所示。分级完成后,首先判断每个区县每个指标的所属级别,获取

相应指标值(下称级别指标值),然后将指标值累加,最后获取平均值作为综合评价指标。

为了便于各区县间进行比较,将上述雷电灾害易损指标按照表2的等级进行分析,进一步计算出北京市各区县的雷电灾害综合易损度(表3)。

表2 北京市雷电灾害易损性指标的等级标准

Table 2 Classification standard of indices for lightning disaster vulnerability evaluation in Beijing

评估指标	极高(1.0)	高(0.8)	中(0.5)	低(0.2)
雷暴日数/d	>31.4	29.2~31.3	26.8~29.1	<26.7
雷电灾害频数/(次·a <sup>-1</sup> )	>3.37	1.56~3.36	0.83~1.55	<0.82
经济损失模数/(万元·km <sup>-2</sup> )	>41.46	41.45~1.86	1.85~0.600	<0.59
生命易损模数/(10 <sup>5</sup> 人·km <sup>-2</sup> )	>1.62	0.09~1.61	0.08~0.04	<0.03

表3 北京市18个区县雷电灾害综合易损度评估结果

Table 3 Comprehensive vulnerability evaluation of lightning disaster for eighteen counties in Beijing

地名	雷电灾害级别指标值				
	雷暴 日数 /d	雷电灾害 频度 (次·a <sup>-1</sup> )	经济损失 模数/(万 元·km <sup>-2</sup> )	生命易损 模数/(10 <sup>5</sup> 人·km <sup>-2</sup> )	雷电灾 害综合 易损度
东城区	0.5	1.0	1.0	1.0	0.875
西城区	0.5	1.0	1.0	1.0	0.875
崇文区	0.5	0.8	1.0	1.0	0.825
宣武区	0.5	0.8	1.0	1.0	0.825
朝阳区	0.5	1.0	0.8	0.8	0.775
丰台区	1.0	0.8	0.8	0.8	0.850
石景山区	1.0	0.2	0.8	0.8	0.700
海淀区	0.8	0.8	0.8	0.8	0.800
门头沟区	1.0	0.2	0.2	0.2	0.400
房山区	0.5	0.8	0.5	0.2	0.500
通州区	0.2	0.8	0.5	0.5	0.500
顺义区	0.5	0.2	0.8	0.5	0.500
昌平区	0.8	0.5	0.5	0.5	0.575
大兴区	0.2	0.5	0.5	0.5	0.425
平谷区	0.8	0.2	0.2	0.5	0.425
怀柔区	1.0	0.5	0.2	0.2	0.475
密云县	1.0	0.5	0.2	0.2	0.475
延庆县	1.0	0.2	0.2	0.2	0.400

#### 4 北京市雷电灾害易损度区划

根据表3中的雷电灾害综合易损度的评估结果,同样采用4级分区法将北京市18个区县划分为雷电灾害低易损区、中易损区、高易损区和极高易损区4个不同的易损度区域。首先将18个区县的雷电灾害综合易损度的评估结果按从小到大顺序分为4组:第1组(0.400, 0.400, 0.425, 0.425),第2组(0.475, 0.475, 0.500, 0.500, 0.500),第3组

(0.575, 0.700, 0.775, 0.800),第4组(0.825, 0.825, 0.850, 0.875, 0.875);然后分别计算第 $n$ ( $n=1,2,3$ )组中的最大值和第 $n+1$ ( $n=1,2,3$ )组中的最小值的平均值作为第 $n$ ( $n=1,2,3$ )级的最大值和第 $n+1$ ( $n=1,2,3$ )级的最小值。计算的各等级雷电灾害综合易损度值分别为:低易损区(0.000 ~ 0.450),中易损区(0.451 ~ 0.537),高易损区(0.538 ~ 0.812),极高易损区(0.813 ~ 1.000)。最后根据18个区县的雷电灾害综合易损度值,判断各自所属的易损度等级。详细区划结果列于表4和图3。从图3可以看出,延庆县、门头沟区、大兴区和

表4 北京市雷电灾害易损度区划表

Table 4 The vulnerability zoning of lightning disaster over Beijing

易损度分区	地名
低易损区	延庆县, 门头沟区, 大兴区, 平谷区
中易损区	怀柔区, 密云县, 顺义区, 通州区, 房山区
高易损区	海淀区, 昌平区, 朝阳区, 石景山区
极高易损区	西城区, 东城区, 崇文区, 宣武区, 丰台区

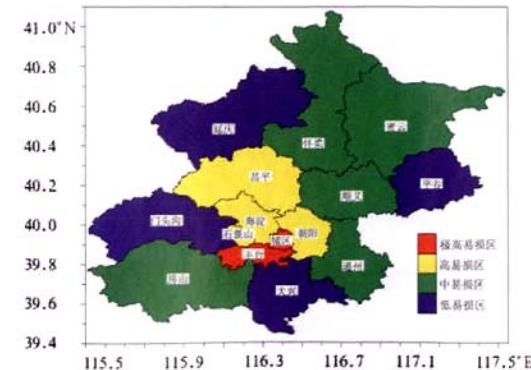


图3 北京市雷电灾害易损度区划图

Fig.3 The vulnerability zoning map of lightning disaster in Beijing

平谷区等区县为雷电灾害的低易损区域,而城区(崇文区、宣武区、东城区、西城区)和丰台区为北京市雷电灾害的极高易损区,朝阳区、海淀区和石景山区和昌平区这几个区县为雷电灾害的高易损区,其余区县为中易损区。

## 5 结论和讨论

本文分析了北京市1995—2005年的雷电灾害数据和雷暴日数据,并结合北京市的人口和经济情况,提出了北京市雷电灾害易损性分析指标,对北京市18个区县进行了易损度区划分析,得出如下结论:

1) 北京市雷电灾害易损性可以用雷暴日数 $M$ 、雷电灾害频度 $P$ 、经济(GDP)损失模数 $D$ 和生命易损模数 $L$ 这4个指标来评估。

2) 北京市雷电灾害综合评估的结果表明,城区和丰台区属于极高易损区;海淀区、朝阳区、昌平区和石景山区属于高易损区;延庆县、大兴区、平谷区和门头沟区属于低易损区;其他区县属于中易损区。

当然,本研究也存在一些不足之处。本文使用的 $M$ 、 $P$ 时间长度较短,加之 $M$ 时空变化较大, $P$ 又是小概率事件,1995—2005年样本均值的稳定性和代表性有限;不考虑防范能力而简单引入 $D$ 、 $L$ 也有可能夸大市区和工业区的雷电灾害易损等级;本文采用雷暴日而不是地闪频数来表征孕灾环境,可能对评估结果产生一定影响。待收集和积累更长时间序列的资料后,利用新数据对本文得出的结论

进行修正。另外,选取多个因子一起参与分析时,其权重应该是不一样的<sup>[15]</sup>。如何选取恰当的权重,是将来应进一步研究的问题。

## 参 考 文 献

- [1] 王昂生. 大气灾害学. 地球科学进展, 1991, 6(5):74-75.
- [2] 金磊. 城市灾害学原理. 北京:气象出版社, 1997:56-61.
- [3] 张义军, 周秀骥. 雷电研究的回顾和进展. 应用气象学报, 2006, 17(6):830-834.
- [4] 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.
- [5] 汤爱平, 董莹, 文爱花, 等. 国外地震风险评估和风险管理基础研究. 世界地震工程, 1999, 15(3):26-32.
- [6] 布里林格 D R, 片山恒雄. 地震危险性评定与地震区划. 黄伟琼,译. 北京:地震出版社, 1988.
- [7] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究. 自然灾害学报, 2002, 9(1):54-61.
- [8] 尹娜, 肖稳安. 区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划. 热带气象学报, 2005, 21(4):441-449.
- [9] <http://www.jsxnxw.gov.cn/uploadfiles/lzdhfx/htm/lb.htm>.
- [10] 郑栋, 孟青, 吕伟涛, 等. 北京及其周边地区夏季地闪活动时空特征分析. 应用气象学报, 2005, 16(5):638-644.
- [11] 张义军, 孟青, 马明, 等. 闪电探测技术发展和资料应用. 应用气象学报, 2006, 17(5):613-620.
- [12] <http://www.bjstats.gov.cn/>.
- [13] 蒋勇军, 况明生, 匡鸿海, 等. 区域易损性分析、评估及易损度区划——以重庆市为例. 灾害学, 2001, 16(3):59-64.
- [14] 中国气象局监测网络司. 地面气象电码手册. 北京:气象出版社, 1999:86-88.
- [15] 樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定. 灾害学, 2001, 16(1):86-87.

## Vulnerability Analysis, Evaluation and Vulnerability Zoning of Lightning Disaster in Beijing

Guo Hu Xiong Yajun

(Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089)

### Abstract

Based on the lightning disasters, thunderstorm days, economic and population data of eighteen counties in Beijing during 1995—2005, vulnerability analysis, evaluation and vulnerability zoning of lightning disaster are made. The analysis on spatial distribution of annual mean thunderstorm days in Beijing shows that there are more thunderstorms in the north than those in the south, and more thunderstorms in the west than those in the east. The thunderstorm activities in Miyun district are the most, whose annual thunderstorms are more than thirty-five days. The least thunderstorm activities exist in Tongzhou district, whose thunderstorm days are less than twenty-five. The study on spatial distribution of lightning disaster frequency indicates that more lightning disasters occur in the city zone and near the suburb than in the remote suburb. There are more dwellers in the city zone and near the suburb than in the remote suburb, and regarding GDP (gross domestic product) the former is more than the latter. It suggests that the thunderstorm activity is not the only cause for lightning disaster in Beijing. The lightning disaster might also relate with the population density and the economy in the disaster area.

The vulnerability of lightning disaster might include two factors at least: the criticality of the disaster and the fragility of the disaster area. Therefore, four indices are selected to evaluate the vulnerability of lightning disaster in Beijing. They are annual mean thunderstorm days ( $M$ ), lightning disaster frequency ( $P$ ), economic vulnerability module ( $D$ ) and vital vulnerability module ( $L$ ).  $M$  is used as a measurement of nature thunderstorm activity in Beijing.  $P$  is historical lightning disaster frequency.  $D$  and  $L$  are used to scale the economic and population characters of disaster areas respectively. Firstly, the four indices are classified into four degrees with a given value as follows: the extreme high degree is 1.0, the high degree is 0.8, the intermediate degree is 0.5, and the low degree is 0.2. Secondly, the comprehensive vulnerability evaluation index of lightning disaster is obtained by adding the degree values of the four indices. Then the comprehensive vulnerability evaluation index for the eighteen counties is also graded as four degrees, which are defined as the maximal damageable area, the high damageable area, the medium damageable area and the low damageable area. Finally, vulnerability zoning of the lightning disaster is obtained based on the vulnerability degree values of the eighteen counties in Beijing. The result shows that the city zone and Fengtai district belong to the maximal damageable area. Haidian district, Chaoyang district, Changping district and Shijinshan district belong to the high damageable area. Yanqing district, Daxing district, Mentougou district and Pinggu district belong to the low damageable area. The rest districts belong to the medium damageable area. Scientific basis might be provided for the planning of regional prevention and reduction of lightning disaster in Beijing.

**Key words:** lightning disaster; evaluation index; vulnerability degree