

张春燕,钟博宏,张宇飞.广州市雷电灾害易损性分析评估和易损度区划[J].陕西气象,2017(6):23-28.

文章编号:1006-4354(2017)06-0023-06

# 广州市雷电灾害易损性分析评估和易损度区划

张春燕,钟博宏,张宇飞

(广州市气象公共服务中心,广州 511400)

**摘要:**基于广州市2013—2015年闪电监测资料和2010—2015年雷电灾害资料,分析了雷击大地密度的空间分布和雷电灾害频度特征;并结合广州市人口密度、GDP等特征,选取雷击大地密度 $N_G$ 、雷电灾害频度 $P$ 、生命易损模数 $L$ 和经济易损模数 $D$ 这4个参数作为雷电灾害风险评估指标,利用层次分析法确定评估指标权重,建立了雷电灾害风险评估方程式,对广州市雷电灾害易损性进行分析,从而形成雷电灾害易损度区划。结果表明:天河为极高风险区,海珠、萝岗、番禺和花都均为高风险区,越秀、荔湾、黄埔和白云为中风险区,从化、增城和南沙为低风险区。研究结果可为广州市雷电灾害易损度区划提供技术支撑。

**关键词:**雷电灾害;评估指标;层次分析;易损度区划;广州

**中图分类号:** P429

**文献标识码:** A

广州地处珠江三角洲核心区域,属于丘陵地带,亚热带季风气候。据2008—2012年广东省雷电灾害分布统计<sup>[1]</sup>,广州发生雷电灾害共502起,在粤排名第二;人员伤亡数位列第1,其中有20人死亡、14人受伤;造成的直接经济损失达到2 916.19万元,居粤之首。因此,从灾害易损性角度出发,对广州市雷电灾害进行易损性分析评估和易损度区划,同时考虑致灾体雷电和承灾体人类社会两方面,将灾害防御管理提高到风险管理的程度,对于防灾减灾具有一定的指导意义。

近年来,雷电防御科研人员在雷电灾害易损性分析评估与区划方面取得了不少有意义的研究成果。李家启等<sup>[2]</sup>分析了重庆市雷电灾害的易损性,形成重庆市雷电灾害易损度区划。严春银<sup>[3]</sup>对江西省雷灾易损性进行综合评估,形成江西省雷灾易损性区划。吕海勇等<sup>[4]</sup>基于GIS技术,从不同侧面研究了广东省雷电灾害易损性与风险区划。马远飞等<sup>[5]</sup>利用雷暴日、雷灾资料,对延安市雷电灾害进行了易损性分析及易损度区划。在前人的研究中,综合易损度的计算没有考虑各指标

的权重差别,而灾害风险评估的关键是合理确定评估指标的权重<sup>[6]</sup>。确定指标权重的方法目前主要有“经验法”、“专家打分”和“层次分析法(Analytic Hierarchy Process,简称AHP)”。扈海波等<sup>[7]</sup>认为,AHP适用于城市气象灾害风险评估,个例应用也表明该方法确定的权重值能保证评估结果的合理性和正确性。采用AHP确定雷电灾害风险评估指标权重,建立雷电灾害风险评估模型,分析了广州市雷电灾害易损性和易损度区划,为预防、减少区域的雷电灾害提供理论和技术支持。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

2013—2015年闪电资料来源于粤港澳闪电监测网,包括:闪电出现的时间、经纬度,雷电流强度,雷电闪型。雷电灾害资料记录了雷电灾害发生的时间、地点和受损情况等。雷电灾害资料来源于广州市各辖区的雷电灾害报告,由广州市防雷减灾管理办公室提供,资料年限为2010—2015年。人口和经济特征资料来自广州市统计局

收稿日期:2017-06-16

作者简介:张春燕(1983—),女,汉族,江苏淮安人,硕士,工程师,从事雷电监测与防御、气象公共服务工作。

基金项目:广东省气象局科学技术研究项目(2016B35)

2016年发布的普查数据。

广州市现辖11个行政区,由于统计资料是将黄埔区和萝岗区分开统计的,因此仍将黄埔、萝岗分开,按12个区(越秀、天河、海珠、荔湾、萝岗、黄埔、从化、增城、番禺、南沙、白云和花都)统计分析。

### 1.2 资料处理和计算方法

通过深入研究致灾体、孕灾环境和承灾体三方面特征来合理选取灾害风险评估指标。首先,采用AHP确定指标权重,建立雷电灾害风险评估模型,进而分析广州市雷电灾害易损性和易损度区划。通过对比分析,选取雷击大地密度( $N_G$ )、雷电灾害频度( $P$ )、生命易损模数( $L$ )、经济(GDP)易损模数( $D$ )等4个指标分析评估广州市雷电灾害易损性。

## 2 雷电灾害易损性分析

### 2.1 雷电灾害易损性概念

雷电灾害易损性是指人身财产受到雷电损害的程度,致灾体是雷电,承灾体是地面上的人和物,它反映了人身财产在遭受雷电袭击时的脆弱性。灾害的发生是由致灾体的危险性和承灾体的脆弱性共同决定的<sup>[8]</sup>。致灾体是客观存在的,要人为改变非常困难,而承灾体受损害程度,除了与致灾体有关外,还与人为因素作用有关,同种强度的同一灾种在不同承灾体上造成的损害程度是不相同的。对于雷电这种致灾因子,目前的科技水平还无法消除,但可通过防御措施来减少损失。因此,通过增强承灾体的承受能力,降低易损性,是减轻雷电损害的关键。

### 2.2 雷电灾害易损性评估指标

采用4个雷电灾害风险评估指标:雷击大地密度 $N_G$ 、雷电灾害频度 $P$ 、生命易损模数 $L$ 、直接经济(GDP)易损模数 $D$ 。其中,雷击大地密度( $N_G = N/S$ ,单位为次 $\cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , $N$ 为地闪次数, $S$ 为区域面积)是指每年每平方公里雷击大地的次数,该指标表征了雷电活动的频繁程度;雷电灾害频度( $P = N/n$ ,单位为次 $\cdot \text{a}^{-1}$ , $N$ 为雷电灾害的总次数, $n$ 为年数)是指年平均雷电灾害次数,该指标表示过去一段时期内发生雷电灾害的情况;生命易损模数( $L = L_i/S$ ,单位为人 $\cdot \text{km}^{-2}$ , $L_i$ 为

常住人口, $S$ 为面积)表示发生雷电灾害时单位面积上受危害的人口数量,该指标反映了生命对雷电灾害的敏感度;经济易损模数( $D = D_i/S$ ,单位为万元 $\cdot \text{km}^{-2}$ , $D_i$ 为所选区域GDP生产总值, $S$ 为区域面积)表示发生雷电灾害时单位面积上的直接经济损失。

## 3 地闪密度空间分布和雷电灾害频度特征

### 3.1 雷击大地密度空间分布特征

广州地形复杂,地势自北向南降低,东北部为中低山区,中部为丘陵盆地,南部为沿海冲积平原。图1给出了2013—2015年广州雷击大地密度空间分布图。由图1可见,雷击大地密度空间分布具有明显的区域性。雷击大地密度大值区偏西,主要位于广州中心城区以及白云、花都的部分区域,其中最大值在越秀区( $31.81 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ );最小值在从化区( $7.99 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ );广州地闪年平均值 $17.61 \text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。广州雷击大地密度出现这样的分布状况,与城市粗糙度增大造成气流流经城市上空的阻滞和抬升,以及夏季影响广州的天气系统大多是自西面或西南面东移的天气系统有关,气流在西面、西南面遇城市粗糙下垫面,造成气流抬升而增强了对流,从而使该区域闪电密度大于其它地区<sup>[9]</sup>。

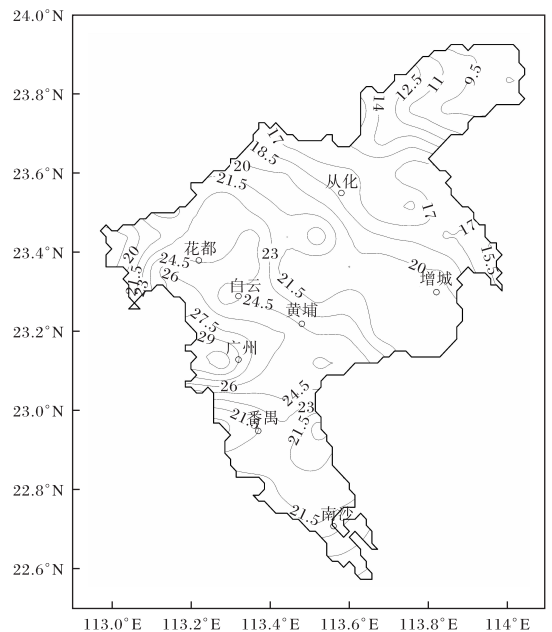


图1 2013—2015年广州市雷击大地密度空间分布特征(单位:次 $\cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

### 3.2 雷电灾害频度特征

图2为2010—2015年广州市各行政区雷电灾害事故、直接经济损失和人身伤亡比例。由图2可知,2010—2015年期间,广州市有具体地址记录的雷电灾害事故共发生352起(其中造成人员伤亡18起),花都区发生雷电灾害事故最多,达到 $19.7 \text{次} \cdot \text{a}^{-1}$ ;其次为番禺区(13次 $\cdot \text{a}^{-1}$ );雷电灾害事故最少的区域是荔湾和增城区,均只有 $0.8 \text{次} \cdot \text{a}^{-1}$ 。经济损失严重的同样为花都区和番禺区,分别占总损失的31%和21.3%;经济损失最低的则是越秀区,占总损失的0.5%。人员伤亡主要发生在白云区(6次)和番禺区(4次),分别占人员伤亡总数的33.3%和22.2%。

表1给出了2010—2015年广州市各行政区年度雷电灾害统计情况。2012年之前,从化、增城、番禺雷电灾害出现较多,2012年后花

都区雷电灾害突增。通过对比表1与图1可以看出,雷电灾害频度分布与地闪空间分布并不成明显的比例关系,说明雷电灾害的发生,不仅与自然界雷电活动分布有关系,也与承灾体特征(如:建筑规模、人口密度、雷电防护情况等)有关。

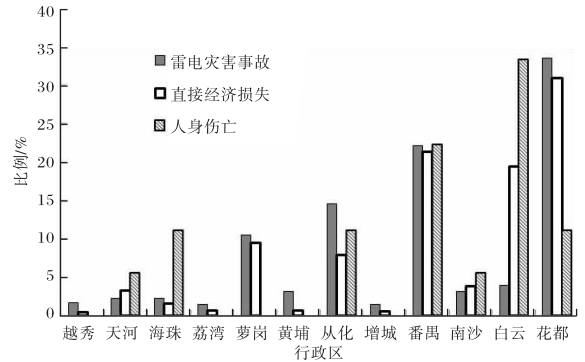


图2 2010—2015年广州市各行政区雷电灾害比例图

表1 2010—2015年广州市各行政区雷电灾害统计表

行政区	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	合计
越秀区	1	4	1	0	0	0	6
天河区	3	1	2	1	0	1	8
海珠区	2	1	1	0	2	2	8
荔湾区	2	2	1	0	0	0	5
萝岗区	19	7	1	3	5	2	37
黄浦区	2	9	0	0	0	0	11
从化区	13	10	5	2	10	11	51
增城区	2	3	0	0	0	0	5
番禺区	20	15	19	6	11	7	78
南沙区	10	1	0	0	0	0	11
白云区	1	5	1	1	1	5	14
花都区	8	12	24	37	20	17	118

### 4 雷电灾害风险评估模型

参考樊运晓等<sup>[6]</sup>的研究,采用AHP,先利用选定的雷电灾害风险评估指标得到指标体系矩阵 $Q$ ,再计算出指标权重 $W$ ,即可得到雷电灾害风险评估模型 $R = W \cdot Q$ 。

利用选定的4个广州市雷电灾害风险评估指标得到指标体系矩阵 $Q = [N_G P L D]$ 。在计算指标权重 $W$ 时,首先,按照Saaty标度方法<sup>[6]</sup>,建立

雷电灾害风险评估判断矩阵 $T$ ,判断矩阵 $T$ 及权重分布见表2;其次,对矩阵进行一致性检验。利用Matlab计算得出:判断矩阵 $T$ 的最大特征值 $\lambda = 4.051$ ,特征向量(即指标权重) $W = [0.47285 \quad 0.28438 \quad 0.16992 \quad 0.07285]^T$ ,一致性指标 $CR = (4.0511 - 4)/3 = 0.017$ 。由于 $CR < 0.1$ ,判断矩阵 $T$ 通过了一致性检验。将计算得到的 $W$ 和 $Q$ 代入雷电灾害风险评估模型中,即可得到广

## 州市雷电灾害风险评估模型

$$R = 0.47285N_G + 0.28438P + 0.16992L + 0.07285D. \quad (1)$$

表2 雷电灾害风险评估判断矩阵  $T$  及权重分布

$T$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$B_1$	1	2	3	4
$B_2$	1/2	1	2	4
$B_3$	1/3	1/2	1	3
$B_4$	1/5	1/4	1/3	1

注： $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$  分别代表雷击大地密度、雷电灾害频度、生命损失模数和经济损失模数。

## 5 雷电灾害易损度区划

雷电灾害易损度区划的第一步是计算雷电灾害易损性分析指标,即以广州市 12 个行政区为基本分析单元,根据闪电定位资料计算各区年平均雷击大地密度  $N_G$ ;根据雷灾资料计算各区雷电灾害频度  $P$ ;再结合 GDP、人口和国土面积资料,计算各行政区的生命易损模数  $L$  和直接经济损失模数  $D$ 。表 3 为计算得到的广州市各行政区雷电灾害易损性分析指标值,主要体现了各行政区发生雷电灾害时在不同方面可能造成的损失量大小。

表 3 给出的各行政区雷电灾害易损性指标值无法体现出每个行政区总体的雷电灾害易损性大小。为了体现雷电灾害易损性大小的总体性,并方便比较,将雷电灾害易损性指标分成极高、高、

表3 广州市各行政区域雷电灾害易损性分析指标值

行政区	$N_G/(\text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	$P/(\text{次} \cdot \text{a}^{-1})$	$L/(\text{人} \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^{-2})$	$D/(\text{万元} \cdot 10^{-3} \cdot \text{km}^{-2})$
越秀区	31.00	1.00	0.00	42.40
天河区	29.10	1.30	1.04	100.70
海珠区	23.70	1.30	6.64	52.20
荔湾区	24.80	0.80	0.00	35.50
萝岗区	24.00	6.20	0.00	72.50
黄浦区	24.50	1.80	0.00	22.90
从化区	17.20	8.50	0.20	12.10
增城区	20.60	0.80	0.00	1.00
番禺区	22.80	13.00	0.51	82.00
南沙区	18.90	1.80	0.19	21.60
白云区	18.70	2.30	0.75	73.70
花都区	22.70	19.70	0.21	96.40

中、低 4 个级别,按照灾害学通常方法,结合广州市雷电灾害实情,赋予各等级如下的定值:极高为 1.0、高为 0.8、中为 0.5、低为 0.2<sup>[10-12]</sup>。通过参照已有的雷电灾害易损性指标等级划分标准<sup>[11-13]</sup>,即将每个指标值从小到大排列,分成四组,每组 3 个记录,将第  $n(n=1,2,3)$  组中的最大值和第  $n+1$  组中的最小值的平均值作为第  $n$  级的最大值和第  $n+1$  级的最小值,制定广州市雷电灾害易损性指标等级划分标准(见表 4)。

表4 广州市雷电灾害易损性指标等级划分标准

评估指标	等级(赋值)			
	极高(1.0)	高(0.8)	中(0.5)	低(0.2)
$N_G/(\text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	$>24.65$	$[24.65, 23.25)$	$[23.25, 19.75)$	$\leq 19.75$
$P/(\text{次} \cdot \text{a}^{-1})$	$>7.35$	$[7.35, 1.80)$	$[1.80, 1.15)$	$\leq 1.15$
$L/(\text{人} \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^{-2})$	$>0.63$	$[0.63, 0.19)$	$[0.19, 0.00)$	0.00
$D/(\text{万元} \cdot 10^{-3} \cdot \text{km}^{-2})$	$>77.85$	$[77.85, 47.30)$	$[47.30, 22.25)$	$\leq 22.25$

按照表 4 给出的雷电灾害易损性指标等级划分标准判断各行政区每个指标所属的等级并赋予相应的等级指标值,再将某个行政区的 4 个指标的等级指标值带入雷电灾害风险评估方程式(1),则可计算出该行政区雷电灾害易损度  $R$ (表 5)。

从表 5 可以看出:雷击大地密度较大的区域有越秀、天河、荔湾等中心城区;雷电灾害频度较高的区域在从化、番禺、花都等郊区;生命易损指数较高的是天河、海珠和白云;经济易损指数较高的区域是天河、番禺和花都;雷电灾害易损度较高的地

区既有雷暴活动频繁区域(天河、海珠、萝岗),也有金融中心或人口密度较高的区域(天河、海珠、番禺、花都)。

表5 广州市各行政区域雷电灾害易损度评估结果

行政区	$N_G$	$P$	$L$	$D$	$R$
越秀区	1.00	0.20	0.00	0.50	0.61
天河区	1.00	0.50	1.00	1.00	0.86
海珠区	0.80	0.50	1.00	0.80	0.73
荔湾区	1.00	0.20	0.00	0.50	0.61
萝岗区	0.80	0.80	0.00	0.80	0.74
黄浦区	0.80	0.50	0.00	0.50	0.61
从化区	0.20	1.00	0.80	0.20	0.47
增城区	0.50	0.20	0.00	0.20	0.33
番禺区	0.50	1.00	0.80	1.00	0.75
南沙区	0.20	0.50	0.50	0.20	0.31
白云区	0.20	0.80	1.00	0.80	0.53
花都区	0.50	1.00	0.80	1.00	0.75

同样采用4级分区法,将12个行政区的雷电灾害易损度的评估结果划分为雷电灾害极高风险区、高风险区、中风险区和低风险区4个等级,各等级雷电灾害综合易损度等级划分标准为:低易损区( $R \leq 0.50$ ),中易损区( $0.50 < R \leq 0.61$ ),高易损区( $0.61 < R \leq 0.74$ ),极高易损区( $R > 0.74$ ),最终得到广州市雷电灾害易损性区划结果,如表6所示。

表6 广州市雷灾易损性区划结果

易损度等级	行政区
极高易损区	天河
高易损区	海珠,萝岗,番禺,花都
中易损区	越秀,荔湾,黄埔,白云
低易损区	从化,增城,南沙

## 6 结论和讨论

利用广州市闪电和雷灾资料,分析了雷击大地密度的空间分布和雷电灾害频度特征,结合层次分析法建立了雷电灾害风险评估方程式,对各行政区雷电灾害易损性进行了分析与区划,得出

了以下结论和相关讨论。

(1)广州市地闪空间分布具有明显的区域性,雷击大地密度大值区偏西,主要位于广州中心城区以及白云、花都的部分区域,其中最大值在越秀区( $31.81 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),最小值在从化区( $7.99 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),年平均值  $17.61 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

(2)2010—2015年期间,广州市记录具体地址的雷电灾害事故共发生352起,以花都区发生雷电灾害事故最多,达到  $19.7 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其次为番禺区( $13 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$ );经济损失严重的同样为花都区 and 番禺区,分别占总损失的31%和21.3%;人员伤亡主要发生在白云区(6次)和番禺区(4次),分别占人员伤亡总数的33.3%和22.2%。

(4)广州市雷电灾害易损区可划分为:天河为极高风险区,海珠、萝岗、番禺和花都为高风险区,越秀、荔湾、黄埔和白云为中风险区,从化、增城和南沙为低风险区。

(5)研究结果可为广州市防灾减灾规划提供参考,对城市防灾减灾有着重要的实际意义。但由于雷灾资料年限较短,样本代表性有限,可能影响雷电灾害易损性区划的可靠性;由于只选取了4个指标,指标数量较少,也可能影响到区划的可信度;另外,如何确定恰当的指标权重,还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 张春燕,黄延刚,陈易昕. 2008—2012年广东省雷电灾害特征的分析[J]. 广东气象,2015,37(3):63-65.
- [2] 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.
- [3] 严春银. 江西省雷电灾害易损性分析及其区划[J]. 江西科学,2006,24(2):131-135.
- [4] 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[J]. 广东气象,2016,38(2):50-53.
- [5] 马远飞,王文波,雷崇典,等. 延安市雷电灾害易损性分析及易损度区划[J]. 陕西气象,2015(S1):11-13.

邓芳莲,妙娟利. 关中地区蒸发量变化特征分析[J]. 陕西气象, 2017(6):28-31.

文章编号: 1006-4354(2017)06-0028-04

# 关中地区蒸发量变化特征分析

邓芳莲,妙娟利

(陕西省气象信息中心, 西安 710014)

**摘要:**利用陕西关中地区 22 个代表站 1980—2013 年 20 cm 口径蒸发皿所测的蒸发量资料,分析了关中地区全区及东、中、西部蒸发量的时间、空间变化特征及主要影响因子。结果表明:(1)关中地区全区及各区域月平均蒸发量最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月;东部月蒸发量明显大于中部和西部。(2)关中地区全区及各区域蒸发量均为夏季最多,春季次多,秋季第三,冬季最少,夏季和春季占年蒸发量的 73%。(3)关中地区全区及各区域蒸发量年变化趋势基本一致,呈缓慢增加趋势,中部和西部增加趋势较东部和全区明显。(4)关中地区全区及各区域年际变化趋势是 20 世纪 80 年代、90 年代蒸发量基本相当,年平均为 1 000~1 400 mm;21 世纪以来蒸发量显著增加,年平均为 1 600~1 930 mm。(5)影响关中地区蒸发量的主导气象因子为气温、日照时数、降水量;蒸发量与气温、日照时数正相关,与降水量负相关。

**关键词:**蒸发量;变化特征;影响因子;关中

**中图分类号:** P426.2

**文献标识码:** A

蒸发量是地球水分循环的主要环节,同时又是地表水热平衡的重要组成部分,蒸发量的计算和分析研究是进行水资源评价和农作物灌溉的重要依据和基础。陕西关中地处“八百里秦川”腹地,是陕西粮油生产的重要基地和经济社会发展的中心区域。通过对关中蒸发量的计算分析,可以客观了解和掌握关中地区蒸发量的时空变化特征和主要影响因子,为促进该地区

水热平衡、经济社会发展和优化生态建设提供科学依据和支撑。关于蒸发量的计算各地已做过一些研究<sup>[1-6]</sup>,涉及关中地区蒸发量分析研究甚少,利用关中地区 22 个代表站 1980—2013 年月蒸发量资料,通过对关中地区及不同区域月、季、年蒸发量及影响因子综合分析,为关中地区水资源的综合开发利用和抑蒸节水,提高水分利用率提供科技支撑。

**收稿日期:** 2016-09-02

**作者简介:** 邓芳莲(1965—),女,陕西彬县人,本科,高工,从事地面气象数据质量控制。

- [6] 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[J]. 灾害学, 2001, 16(1): 85-87.
- [7] 扈海波,王迎春. 采用层次分析模型的城市气象灾害风险评估[C]//中国气象学会. 中国气象学会 2007 年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集. 北京:气象出版社, 2007.
- [8] 章国材. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京:气象出版社, 2010.
- [9] 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[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 59-63.
- [10] 刘岩,李征,程向阳,等. 安徽省雷电灾害风险区划[J]. 南京信息工程大学学报, 2014, 6(2): 163-168.
- [11] 尹娜,肖稳安. 区域雷灾易损性分析、评估及易损度区划[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 441-449.
- [12] 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[J]. 灾害学, 2001, 16(3): 59-64.
- [13] 郭虎,熊亚军,扈海波. 北京市雷电灾害灾情综合评估模式[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 14-17.