

扈海波,李京校,潘进军. 北京地区雷电灾害风险评估方法与应用[J]. 气象,2012,38(8):1004-1011.

北京地区雷电灾害风险评估方法与应用^{* 1}

扈海波¹ 李京校² 潘进军³

- 1 中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089
- 2 北京市避雷装置安全检测中心,北京 100089
- 3 中国气象局公共气象服务中心,北京 100081

提 要: 首先选用北京地区 1961—2008 年的气候站点资料分析闪电活动的气候背景特征,用 2007—2008 年的闪电定位资料统计各评估网格单元的地闪密度,得到北京地区网格化地闪密度分布,评估网格单元大小为 1 km×1 km。研究发现北京地区平均地闪密度大致在 1.6~2.4 次·km⁻²·a⁻¹ 之间,有三处地闪密度的高值分布区,分别是西南部房山的拒马河流域地区,北京城中心偏北——昌平—顺义一带以及平谷—密云一带。借助空间网格技术,根据下垫面承灾体的雷电防护及规避特征,将评估区域划分成建筑物、室外建筑物遮挡部分及空旷地带三种空间类型。然后依据不同空间类型区域的地闪密度、闪电有效截收面积、雷电防护能力和位置参数等因素,分别核算评估网格单元内的雷击危险事件次数,作为雷电灾害风险评估的主要致灾因子指标。最后以人作为雷电灾害的首要承灾体,按“风险=雷击危险事件次数×暴露人口”的概念模型方法,测算北京地区雷电灾害风险指数。风险评估结果认为北京城市地区由于人口及经济实体密集分布,雷电灾害风险普遍较高,城市地区的雷电灾害风险具可规避性;农村及城市远近郊区,人口稀少,尽管闪电活动会比城市地区活跃,雷电灾害风险不是太高。

关键词: 闪电密度, 雷电灾害, 风险评估, 空间网格

Lightning Risk Assessment and Zoning in Beijing
Based on the Technology of Spatial Grids

HU Haibo¹ LI Jingxiao² PAN Jinjun³

- 1 Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089
- 2 Beijing Lightning Device Security Test Centre, Beijing 100089
- 3 CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081

Abstract: The study primarily depends upon the climate data to analyze the climatic characteristics related to lightning activity, and the data collected by the lightning location finder is also required to denote the cloud to ground lightning density of each grid cell. According to its degree of exposure to lightning and the characteristics of lightning protection and avoidance, the potential lightning-striking areas are classified as the building, the outdoor area under the building canopy and the open field area. The expected lightning stroke times (frequency) on each class of lightning-striking area have been worked out properly with the parameters of CG flash density, equivalent intercepting area to lightning, lightning protecting capability and position factor in these areas. Eventually the risk assessment has been carried with the formula of risk = frequency×population. The assessment reveals that with dense population and aggregated belongings, the central urban district is the highest risk zoning of lightning, as well as its high flash density, while the risk of the suburbs and rural areas are not high. The conclusion is demonstrated by the distribution of lightning disaster event occurring in Beijing from 2004 to 2008, and the result of the risk assessment is

^{*} 北京市自然科学基金(9102009)、中国气象局关键技术项目(CMAGJ2011M03)和国家自然科学基金(41175099)项目共同资助
2011 年 8 月 31 日收稿; 2012 年 2 月 28 日收修定稿
第一作者: 扈海波,主要从事城市气象灾害研究. Email:hbhu@ium.cn

correspondent to the actual trend and situation.

Key words: flash density, lightning disaster, risk assessment, grids

引 言

雷电给人的生命及财产安全造成巨大威胁,被联合国“国际减灾十年”公布为10种最严重自然灾害之一^[1-2]。雷电灾害风险评估及区划作为雷电灾害防御及治理的重要手段,逐渐被纳入气象服务及安全防范工作范畴。雷击事件致灾过程最为直接,破坏力强,只要雷击地点存有承灾体,定会导致严重的人员及财产损失。雷电灾害危险性特征与区域性闪电活动规律及其气候背景有直接关系。为了得到表现闪电活跃状况的闪电密度分布,许多研究选用闪电定位仪及卫星光学仪器观测资料分析研究区域的闪电气候特征^[3-7]。陶祖钰等^[8]利用闪电定位资料分析京津冀地区闪电时空特征,发现闪电活跃区域和山脉、河流等地形因子密切相关。Christian等^[3]利用光学瞬态探测器(Optical Transient Detector, OTD)和闪电成像仪(Lightning Imaging Sensor, LIS)两种卫星传感器数据分析全球闪电活动状况,认为全球平均闪电频率为 $44 \pm 5 \text{ fl} \cdot \text{s}^{-1}$ 。闪电气候特征分析对认识闪电活动状况,借此评估雷电灾害的致灾因子危险性是很有帮助的^[9-10]。

灾害被认为是致灾因子与承灾体共同作用的结果,而雷电灾害的致灾因子与承灾体之间的作用关系最为直接。尽管雷电灾害的危险状况与闪电密度尤其是地闪密度分布有直接关系,但雷电灾害的风险大小还与下垫面人口分布、建筑物及设施的防雷状况、地势环境等因素有关。灾害风险评估分析中首先需要考虑人口及经济因素,毕竟灾害本身就是致灾因子与承灾体共同作用的结果。雷电灾害还有个重要特征在于承灾体的物理状况不一样,导致的风险暴露程度及承灾体易损程度就不一样,有效的规避手段能显著降低雷电灾害风险,比如提高建筑物的防护能力或加强防雷保护措施等。马明等^[1]分析1997—2006年全国雷电灾情资料,发现农村地区的雷击致死伤事件比城市地区多,这显然与农村地区缺乏相应的避雷设施有很大的关系。而要考虑雷电灾害的规避因素,需要借助于空间信息技术来实施精细化的风险评估,将评估对象定位到确切的承灾体上。

郭虎等^[11]根据雷电对人、经济实体等可形成的威胁,建立生命及经济易损模数指标评价北京地区各区县雷电灾害风险,得出一般城区受到雷电灾害的胁迫比郊区大的结论,这也可反映城市地区雷电灾害风险的基本趋势及特征。在形式上,以行政区域作为评估单元,对灾害风险的宏观认识是有益的^[12-14]。对于可实际操作并运用于灾害防御及风险预警的风险评估应用,还需要在承灾体定位及空间尺度上做更精细化的划分及应用,比如以空间网格为评估单元并在网格单元内将评估对象实际定位到每个确切的承灾体,然后考量及评估每个承灾体的实际风险状况来综合估算单元的风险大小。采用空间信息技术对区域性雷电灾害风险进行综合分析及评估,可较好地揭示雷电灾害的真实风险状况并体现其在地理区域范围内的风险差异,对雷电灾害的防御、风险排查及规避很有必要。利用空间信息技术,可针对不同建筑类型,从防雷工程技术角度,对建筑物及涉及人员可能遭受的雷击危险情况进行估算;对建筑物遮挡部分(雷击盲区)以及室外空旷地带人员受雷击威胁的风险状况进行综合评估,得出评估地区雷电灾害风险大小及区划结果。显然这一评估技术可进一步应用于对雷电灾害防御有重要作用的雷电灾害风险预警。

1 资料来源

选用的资料及数据有北京地区1961—2008年的20个站点的气候资料,2004—2008年北京地区雷击灾情资料,2007—2008年的闪电定位仪资料,基础地理信息数据,数字高程模型(DEM)及人口密度分布资料。气候资料含有观测时刻天气状况信息,可统计各站点的年雷暴日。基础地理信息数据的比例尺为城区1:2000,郊区1:50000,空间分辨率较高。建筑物图层属性数据含有“楼层”、“建筑物类型”等信息,可用于大致估算建筑物高度,以及评价建筑物的防雷保护状况。评估所用的北京地区人口密度数据来源于北京市2007年统计年鉴并按空间网格数据计算的要求进行数据离散化应用^[15-18]。

评估采用 182×181 行列网格,网格的经纬范围为:东西向为 $115.367193^\circ \sim 117.521352^\circ \text{E}$,南北向

为 $39.420731^{\circ}\sim41.071364^{\circ}\text{N}$ 。评估网格从空间上覆盖整个北京地区。网格单元大小为 $1\text{ km}\times1\text{ km}$ 。

2 方法与步骤

雷电灾害风险评估首先测评雷击引起的年平均危险事件次数 N_x ，该指标取决于需保护对象的物理特征及所处区域雷暴活动的情况，其基本表达式为：

$$N_x = KN_gA_d \tag{1}$$

式中， N_x 为年平均危险事件次数， K 为雷击对象物理特性所对应的修正因子， N_g 为雷击大地密度， A_d 为需保护对象的等效截收面积。具体计算依据不同的承灾体空间类型进行操作。

得到 N_x 后，参照生命损失模数的评估思路，将雷电灾害风险评估概念方程定义为“雷电灾害风险=雷击危险事件次数×暴露人口”，用于最终的雷电灾害风险指数计算。

2.1 雷击大地密度计算及分析

雷击大地密度的计算方式有两种途径：(1)用年雷暴日来换算雷击大地密度；(2)通过闪电定位系统监测到的闪电次数来测算雷击大地密度。本研究将在分析闪电活动气候背景的基础上，结合闪电定位仪资料来认识北京地区闪电活动状况，计算雷击大地密度，推算雷电灾害危险性指数。

雷电灾害风险评估及区划通常选用比较容易从气象资料中获取的“雷暴日”作为危险性评估指标。以“雷暴日”作为直接的致灾因子指标来评价雷电灾

害的危险性显然是不合理的，一个地区雷电灾害的发生与闪电密度，尤其是地闪密度直接相关。危险性评估应该以地闪密度作为直接的评估指标。即使只能使用“雷暴日”做评估指标，也需要将体现雷暴活跃程度的雷暴日转换为与雷电灾害发生更加相关的地闪密度参数。

不同纬度地区的云闪和地闪组成是不一样的，纬度较高地区，积雨云中的 0°C 层高度相对较低，云中的电荷中心相对较低，地闪较多，可采用相关经验公式用年雷暴日数算出地闪密度^[19]，由于自然闪电特征受不同地区气候背景及地理环境的影响，实际应用时需要进一步的检验及修订。同时选用闪电定位仪资料来确定地闪密度分布则是一个更加合理的方案，该资料有较好的空间分辨率，能大致反映一个地区的闪电活跃状况及空间分布差异。

2.2 雷击危险事件次数计算

依据防雷规避方式及风险暴露情况，结合雷电灾害的形成特征、下垫面地物对闪电活动的响应方式及雷击危险次数计算的参数设置要求，将雷电灾害承灾体规划为建筑物、室外受建筑物遮挡部分及空旷地带三种空间类型。在式(1)基础上，计算一定闪电活动情况下，这三类空间地带可能遭受的雷击危险次数。它们遭受雷击危险次数的总和，可作为评估雷电灾害风险的基本参数。评估以空间网格为计算单元，有关空间网格的评估技术参见相关文献[18,20]。图 1 显示了上述三种空间类型在网格图中的分布状况。



图 1 雷电灾害评估三种承灾体空间类型分布示意图
Fig.1 The sketch map for three spatial samples of stricken area by lightning and their distribution

2.2.1 建筑物雷击危险事件次数的估算

建筑物的雷击危险事件次数 N_d 的计算公式采用:

$$N_d = N_g A_d C_d P_d \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中, N_g 为雷击大地密度(单位: 次 · km⁻² · a⁻¹), A_d 为单个建筑物的截收面积(单位: m²), C_d 为建筑物的位置因子, P_d 为建筑物雷电防护因子。除 N_g 外, 上述参数的估算方法及步骤为:

(1) 建筑物截收面积 A_d 的计算

由于建筑位置、高度及分布的密集程度不一样, 不同建筑物对闪电的截收情况不一, 可按下述准则计算建筑物截收面积 A_d 。

准则 1: 独立建筑物截收面积的计算以建筑物的几何体形态为基础做缓冲区, 缓冲区的边界与孤立建筑物的距离为孤立建筑物高度的 3 倍(图 2a)。缓冲区多边形即为建筑物对雷击事件的截收面, 图 2b 中建筑物缓冲区 M 的面积即为建筑物 D 的截收面积, 可直接用地理信息系统中的 Buffer 函数算出。

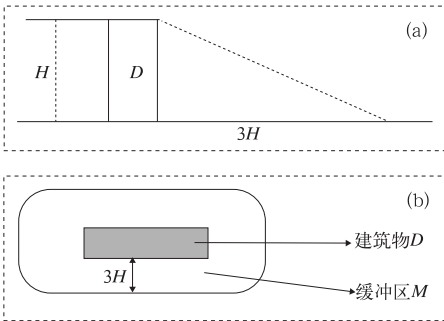


图 2 对独立建筑物截取面积的计算

Fig. 2 The calculation of intercepting area to a single building

准则 2: 如果两个建筑物的截收面积两两重叠, 需要根据两者的不同高度, 确定各自的截收面积。确定原则是如果一个建筑物的高度高于另一个建筑物, 较高建筑物截收重叠部分的多数(相当于避雷针效应), 较低建筑物截收较少的重叠部分。以两个建筑物 A 和 B 为例(图 3), 其估算方程为

$$A_d(A) = S_{\text{Buffer}A} - (1 - \frac{H_A}{H_A + H_B}) S_O = S_{\text{Buffer}A} - (\frac{H_B}{H_A + H_B}) S_O \quad (3)$$

$$A_d(B) = S_{\text{Buffer}B} - (\frac{H_A}{H_A + H_B}) S_O \quad (4)$$

式中, $A_d(A)$ 和 $A_d(B)$ 为建筑物 A 和 B 的截收面

积, $S_{\text{Buffer}A}$ 为距离建筑物平面“ A ”的 3 倍建筑高度的缓冲区面积, $S_{\text{Buffer}B}$ 则为“ B ”缓冲区面积, S_O 为缓冲区 A 与 B 的重叠部分面积, H_A 、 H_B 分别为建筑物 A 、 B 的建筑高度。这意味着如果 A 、 B 两个建筑物的高度一致, 那么重叠部分的面积由两者均摊。

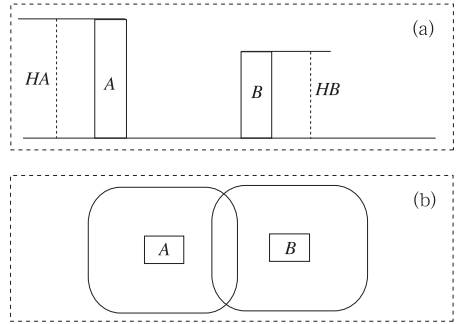


图 3 对两个建筑物截取面积的计算

Fig. 3 The calculation of intercepting area to double buildings

准则 3: 有多个建筑物的截收面积相互重叠(图 4), 单个建筑物的截收面积计算如下

$$A_d(1) = S_{\text{Buffer}(1)} - \left[1 - \frac{H(1)}{\sum_{i=1}^n H(i)} \right] S_O \quad (5)$$

$$A_d(n) = S_{\text{Buffer}(n)} - \left[1 - \frac{H(n)}{\sum_{i=1}^n H(i)} \right] S_O \quad (6)$$

式中, $A_d(1), \dots, A_d(n)$ 为建筑物 1, $\dots$, 建筑物 n 的截收面积, $S_{\text{Buffer}(1)}, \dots, S_{\text{Buffer}(n)}$ 为上述建筑物的缓冲区面积(为距离建筑物 3 倍建筑高度的缓冲范围), $S_O(1), \dots, S_O(n)$ 为建筑物与其他建筑物缓冲区的重叠部分面积, $H(1), \dots, H(n)$ 为建筑物高度。

上述多个建筑物叠置情况下的截取面积计算比较复杂, 但借地理信息系统可开发相关算法实现

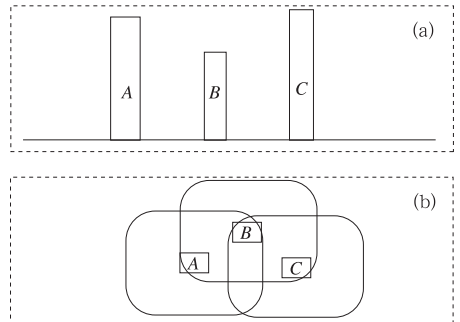


图 4 对多个建筑物截取面积的计算

Fig. 4 The calculation of intercepting area to multiple buildings

此类计算,这里不探究相关技术细节。

(2)建筑物的位置因子 C_d

建筑物的暴露程度,以及周围物体对雷击危险事件次数有影响,需要评估建筑物的位置因子 C_d 。建筑物位置因子的计算运用 DEM(数字高程模型),在 DEM 数据中搜索建筑物周边 250 m 距离范围内是否有更高的地势和建筑物,位置因子的取值与周边地物的高低关系参见表 1。

表 1 建筑物位置因子系数表

Table 1 The list of estimating the building's position factors

建筑物暴露程度及周边物体位置关系	C_d
被更高的建筑物包围	0.25
周围有相同高度或更低的建筑物	0.5
孤立建筑物,附近无其他建筑物	1
小山顶或山丘上的孤立建筑物	2

(3)建筑物防护能力 P_d 的估算

建筑物防护能力体现在对人畜的保护能力、对建筑物的物理防护及对内部系统的保护能力三个方面。从形成雷电灾害事件的角度分析,涉及导致人员伤亡概率 P_a 、导致物理损害概率 P_b 及导致内部系统故障概率 P_c 三个方面,因此

$$P_d = P_a + P_b + P_c \tag{7}$$

上述参数可依据不同类型建筑物防雷特征进行估算。

(a)雷击建筑物导致人员伤亡的概率 P_a

雷击建筑物因接触电压和跨步电压导致人员受到伤害的概率 P_a 取决于建筑物几个方面的防护措施。其中,如果采取多项措施, P_a 取多个相应 P_a 值的乘积。

(b)雷击建筑物导致物理损害的概率 P_b

雷击建筑物导致物理损害的概率 P_b 主要取决于建筑物防雷保护系统(Lightning Protection System,LPS)的防雷级别。

(c)雷击建筑物导致内部系统故障的概率 P_c

雷击建筑物导致内部系统故障的概率 P_c 取决于所采用的匹配的电涌保护器(Surge Protective Device,SPD)保护情况。

P_a 、 P_b 及 P_c 三个参数可参照建筑物防雷标准^[21]进行设置。鉴于建筑物上述防雷特征,根据北京地区建筑物的基本类型及物理状况,特定义北京地区建筑物类型与损失概率及防雷特征的对应表 2,以此作为计算建筑物防护能力 P_d 的基本参照。

表 2 建筑物类型与损失概率及防雷特征对应表

Table 2 The corresponding relations among the building types the loss probability and the lightning protection levels

建筑类型	保护措施级别	LPS 防雷级别	SPD 保护级别
一般房屋	4	4	1
带地下室的一般房屋	4	5	1
简单房屋	2	1	0
带地下室的简单房屋	2	3	0
过街楼	3	1	0
特种房屋	4	5	2
带地下室的特种房屋	4	5	3
破坏房屋	1	0	0
棚房	1	0	0
公共厕所	3	0	0

2.2.2 室外受建筑物遮挡地带雷击危险事件次数的估算

受建筑物遮挡地带指室外受到建筑物截收部分的遮挡,且无明显高大地物的空旷地带(图 1)。这部分地理空间有可能存有其他类型的承灾体(人、经济实体等),为暴露在雷击事件中的风险目标。由于受到建筑物的保护,此地带会因避雷针效应,成为雷击盲区。其雷击危险事件次数的估算公式为

$$N_{D\text{遮挡}} = N_g A_{d\text{遮挡}} C_d \times 10^{-6} \tag{8}$$

式中, N_g 为雷击大地密度(单位:次·km⁻²·a⁻¹), $A_{d\text{遮挡}}$ 为该部分的暴露面积(单位:m²),在网格计算中等于网格内建筑物的截收面积减去建筑物面积, C_d 为外建筑物的遮挡部分的位置因子,其计算方法为:

$$C_d = \frac{h \sum_{i=1}^n S_{\text{Buffer}}(i)}{\sum_{i=1}^n [S_{\text{Buffer}}(i) H(i)]} \tag{9}$$

式中, h 为单层建筑物的高度,这里取 3 m/层; $H(1),\dots,H(n)$ 为遮挡建筑物高度; $S_{\text{Buffer}(1)},\dots,S_{\text{Buffer}(n)}$ 为遮挡建筑的截取面积。显然受高大建筑物的遮挡, C_d 值会近似于 0,该地带会成为雷击盲区。

2.2.3 空旷地带雷击危险事件次数的估算

空旷地带特指除受保护的地物(建筑物、服务设施等)截收部分之外的地理空间。这里同样可能存有人和经济实体等承灾体。这部分地带缺乏建筑物等地物的有效遮挡,遭受雷击的风险要比有建筑物遮挡的室外空旷地带要大。空旷地带雷击危险事件次数的估算公式为

$$N_{D\text{空}} = N_g A_{d\text{空}} C_d \times 10^{-6} \tag{10}$$

式中, N_g 为雷击大地密度(单位:次·km⁻²·a⁻¹), $A_{d\text{空}}$ 为空旷地带的截收面积(单位:m²),在网

格计算中等于网格单元面积减去网格单元中所有建筑物和服务设施的截收面积(缓冲区), $C_{d空}$ 为位置因子。空旷地带的位置因子 $C_{d空}$ 需要借助 DEM 数据实现其值的估算,估算规则见表 3。

表 3 空旷地带位置因子与地势高低估算表
Table 3 The relations between the open area's position factors and terrains

空旷地带暴露程度及周边物体	C_d
周围 250 m 范围内有海拔高出 8 m 的地势	0.7
周围 250 m 范围内海拔差异低于 5 m(标准差)	1
山顶或山脊地势	1.5

2.3 雷电灾害风险指数计算方程

灾害风险是致灾因子与承灾体相互作用的结果,“雷击危险事件次数”为评估的致灾因子指标,另一个需要明确的是承灾体因素。人虽然不是雷电灾害的唯一承灾体,但是雷电灾害的其他承灾体,比如经济实体、设备及设施等的分布与人的空间分布趋势一致。依据雷电灾害承灾体的这一空间分布特征,这里选用便于评估计算及分析的人口密度作为雷电灾害风险评估的承灾体评估指标或被胁迫对象。参照雷电灾害风险评估概念模型,根据雷电灾害风险评估所涉及到的三种承灾体空间类型,建立最终的雷电灾害风险指数(L_S)计算方程式:

$$L_S = N_d L_1 H_d + N_{d遮} L_2 H_{d遮} + N_{d空} L_3 H_{d空}$$

(11)

式中, N_d 、 $N_{d遮}$ 和 $N_{d空}$ 分别为“建筑物、受建筑物遮挡部分和空旷地带”三种空间类型的雷击危险事件次数; H_d 、 $H_{d遮}$ 和 $H_{d空}$ 为暴露在上述三种空间类型中的人口数; L_1 、 L_2 和 L_3 分别为建筑物损失率、受建筑物遮挡部分人员损失率及空旷地带人员损失率,其中 $L_3 = L_2 = 10^{-4}$,该数值的物理意义为单个雷击事件在空旷地带造成的影响面积为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的范围,而在一个 $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$ 的空间网格单元内的比率即为 10^{-4} ,而 $L_1 = 10^{-6}$,一般认为建筑物的损失率比室外要低两个数量级。

暴露人口暂列为户内和户外人口两类,有文献认为北京地区一天当中闪电活动主要集中在 12—22 时^[15,22],因此可取这个时段户外人口比率的加权平均作为评估计算的户外人口比率,并认为评估网格单元内户外空旷部分及建筑物遮挡部分的人口分布密度一致。

3 实例应用及结果分析

实例应用分析了北京地区近 48 年的气候站点资料,统计各个站点的年雷暴日数,北京地区平均年雷暴日在 30 天左右,年均闪电密度大致为 $9.59\text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右,与 Christian 等^[3]得到的全球年平均闪电密度情况基本一致。地闪密度平均在 $1.6 \sim 2.4\text{ 次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,按式(1)的计算,地闪次数占总闪电密度的 0.2606 左右,这个比例与暖温带地区闪电活动的气候特征基本相符,与文献^[22]认为“云闪平均约占整个闪电总数的 2/3 以上”的特征基本符合。

图 5 为采用闪电定位仪资料得出的北京地区地闪密度分布图。北京地区地闪密度有 2~3 个高值区域,它们是西南部房山的拒马河流域地区、北京城中心偏北——昌平—顺义一带以及平谷—密云一带(图 5 的 A、B、C 处)。西南部拒马河流域地区的地闪密度大和山脉、河流等地形密切相关^[23]。陶祖钰等^[8]认为河谷地区低空水汽比较丰富和常有辐合气流,对流比较活跃,山区地形的抬升作用同样能增强对流活动。北部地区地闪密度相对较大的原因可能与该区域地处北京夏季风的下风方方向有关,而一般认为城市化通常增强了城市地区下风方方向的暴雨天气过程^[24-28]。平谷—密云一带闪电密度高则与该地靠近滨海及山地地形的因素有关^[23,29-30]。闪电定位仪资料反映的闪电密度分布比较贴近闪电活动

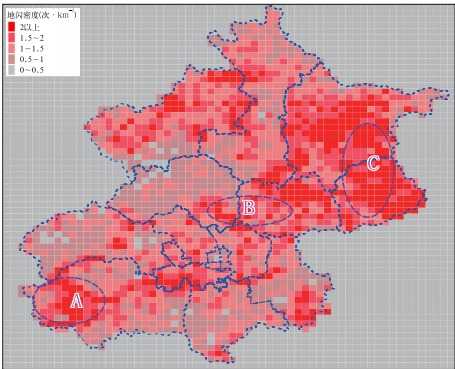


图 5 采用闪电定位仪资料的北京地区地闪密度(单位: $\text{次} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)分布图

Fig.5 The distribution of the cloud-to-ground lightning density deduced by the data collected with the lightning location finder in Beijing (unit: $\text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

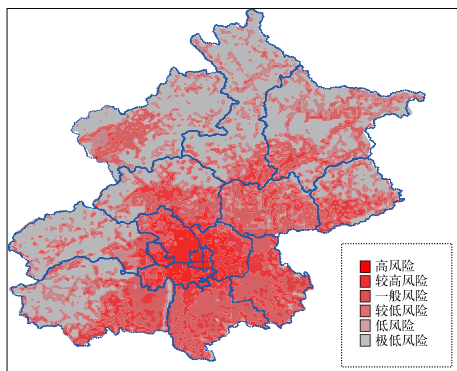


图6 北京地区雷电灾害风险指数分布图

Fig. 6 The distribution of the risk index of the lightning disaster in Beijing

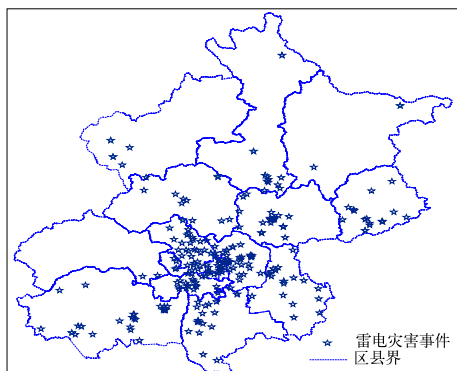


图7 北京地区2004—2008年雷电灾害事件分布图

Fig. 7 The distribution of the lightning disaster events from 2004 to 2008 in Beijing

的实际情况,因此评估选用图5的地闪密度来计算北京地区雷电危险次数,用于雷电灾害风险评估及区划。

确定地闪密度之后,即可在空间网格数据的支持下,用“2.2”介绍的评估步骤逐步计算每个评估单元内的年均雷击危险事件次数,作为主要的致灾因子指标。最后利用式(11)计算评估网格单元的雷电灾害风险指数,图6为经过上述方法算出的北京地区雷电灾害风险等级分布图。北京中心城区,周边区域地闪密度不低,加之人口及财富的聚集分布,雷电灾害风险指数比远近郊区要大。图7为北京地区2004—2008年雷电灾害事件分布图,可以发现城区雷电灾害事件比郊区要多。城区雷电灾害风险较大的另一个主要原因是城市人口分布密集、电子设备等易受雷击的承灾体分布较多,导致城市地区雷灾

时有发生。但城市建筑物密集,高大建筑物较多,形成的“避雷针效应”明显。城市地区因直接雷击致人死伤的情况不多。分析北京地区2004—2008年发生的雷电灾害事件,发现所有12次致人死伤雷击事件中仅有一次发生在城市地区,更多雷灾则是因感应雷所造成的电子设备及仪器被过电压击毁事件,但城市地区的雷灾确实比农村地区多。如果将建筑物的防护能力、防雷保护系统(LPS)及内部系统的电涌保护设备(SPD)的防护级别提升到一定程度,城市地区的雷电灾害风险就可能比没有太多防护措施,以空旷地带为主要承灾区域类型的农村地区要小。城市地区雷电灾害风险的可塑性较大,有极大的风险规避及控制能力。

4 结 论

(1) 选用近30年的气候站点资料,分析北京地区闪电活动情况。运用闪电定位仪资料得到地闪密度分布,以地闪密度作为分析北京地区雷电灾害危险性的首要指标。研究发现北京地区平均地闪密度大致在 $1.6\sim 2.4$ 次 $\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,这与以往文献得出的北京地区闪电活动气候特征基本一致。根据闪电定位资料得到的北京地区地闪密度分布,发现北京地区有三处地闪密度的高值区域,分别是西南部房山的拒马河流域地区、北京城中心偏北——昌平—顺义一带以及平谷—密云一带。

(2) 依据不同空间区域类型对雷电灾害的风险暴露程度及雷电防护和规避特征,将雷电灾害承灾区域划分为建筑物、室外建筑物遮挡部分及空旷地带三种空间类型,然后从各自区域的雷击密度、有效截收面积、雷电防护能力、位置参数等要素出发,分别计算评估网格单元内的雷击危险事件次数,并以此作为雷电灾害风险评估的主要致灾因子指标。最后以人作为雷电灾害的首要承灾体,按“风险=雷击危险事件次数 $\times$ 暴露人口”的概念模型方法,逐网格评估北京地区雷电灾害风险。研究发现北京城市地区人口及经济的密集分布,是雷电灾害的较高风险区,而远近郊区及农村地区,雷击灾害的承灾体分布较少,雷电灾害风险较低。另外,城市地区雷电灾害风险有一定的规避特征,城市化地区在建筑物防雷保护能力得到增强的情况下,会因高大建筑物的“避雷针效应”,呈现雷电灾害风险比农村地区小的情况。

(3) 采用网格化评估技术的雷电灾害风险评估及区划,将评估单元精细化到网格格点上,并将评估对象定位到每个具体的承灾体,然后依据承灾体的风险暴露情况、避雷特征及物理状况,进行雷电灾害的量化评估。这种基于空间网格技术的精细化雷电灾害风险评估能对潜在的雷电灾害风险点进行定位及圈定。因此结合闪电的实况及预报资料,完全可用于雷电灾害的快速风险评估及风险预警,这是基于空间网格的雷电灾害风险评估技术的真正应用价值所在。

参考文献

- [1] 马明,吕伟涛,张义军,等. 1997—2006 年我国雷电灾情特征[J]. 应用气象学报,2008,19(4):393-400.
- [2] 林建,曲晓波. 中国雷电事件的时空分布特征[J]. 气象,2008,34(11):22-30.
- [3] Christian H J, Blakeslee R J, Boccippio D J, et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector[J]. Journal of Geophysical Research,2003,108(D1):4005.
- [4] Ma Ming, Tao Shanchang, Zhu Baoyou, et al. Climatological distribution of lightning density observed by satellites in China and its circumjacent regions[J]. Science in China Ser. D Earth Sciences,2005,48(2):219-229.
- [5] Steiger S M, Orville R E. Cloud-to-ground lightning characteristics over Houston, Texas; 1989-2000[J]. Journal of Geophysical Research,2002,107(D11):4117.
- [6] Tao Shanchang, Meng Qing. Evaluation of ground stroke density distribution and lightning detection efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei area [J]. Acta Meteorological Sinica, 1996,10(3):346-335.
- [7] 孟青,吕伟涛,姚雯,等. 地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J]. 气象,2005,31(9):30-33.
- [8] 陶祖钰,赵昕弈. 京津冀地区闪电的气候分析[J]. 气象学报,1993,51(3):325-332.
- [9] 张义军,马明,吕伟涛,等. 闪电活动的气候学特征研究进展[J]. 气象学报,2008,66(6):908-915.
- [10] Williams E R. Lightning and climate: A review[J]. Atmospheric Research,2005,76(1-4):272-287.
- [11] 郭虎,熊亚军,付宗钰,等. 北京市自然雷电与雷电灾害的时空分布[J]. 气象,2008,34(1):12-17.
- [12] 王惠,邓勇,尹丽云,等. 云南省雷电灾害易损性分析及区划[J]. 气象,2007,33(12):83-87.
- [13] 曾金全,张烨方,王颖波. 基于综合评价算法的雷电灾害易损度区划模型研究[J]. 气象,2011,37(12):1595-1600.
- [14] 王智刚,唐瑶,曾向红,等. 雷电灾害数据可视化分析系统研制[J]. 气象,2009,35(5):97-104.
- [15] 扈海波,熊亚军,董鹏捷,等. 北京奥运期间(6—9月)气象灾害风险评估[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [16] 扈海波,王迎春,熊亚军. 基于层次分析模型的雷电灾害风险评估[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):104-109.
- [17] 扈海波,王迎春,刘伟东. 气象灾害事件的数学形态学特征及空间表现[J]. 应用气象学报,2007,18(6):802-809.
- [18] 扈海波,王迎春. 基于数学形态学方法的统计数值空间离散化图谱生成[J]. 计算机工程,2007,33(21):9-11.
- [19] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [20] 扈海波,熊亚军,张姝丽. 基于城市交通脆弱性核算的大雾灾害风险评估[J]. 应用气象学报,2010,21(6):732-738.
- [21] 林维勇. 建筑物防雷设计规范(GB50057-94)[M]. 北京:中国计划出版社,2001.
- [22] 周筠珺,张健龙,孙凌. 京、津、冀地区地闪特征的统计分析[J]. 灾害学,2009,24(1):101-104.
- [23] 郑栋,孟青,吕伟涛,等. 北京及周边地区夏季地闪活动时空特征分析[J]. 应用气象学报,2005,16(5):638-664.
- [24] Shepherd J M, Pierce H, Negri A J. Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite[J]. J Appl Meteor,2002,41:689-701.
- [25] Mote T L, Lacke M C, Shepherd J M. Radar signatures of the urban effect on precipitation distribution: A case study for Atlanta[J]. Georgia Geophys Res Lett,2007,34, L20710, doi:10.1029/2007GL031903.
- [26] Stallins J A, Rose L S. Urban lightning: Current research, methods, and the geographical perspective[J]. Geogr Compass,2008,2(3):620-639.
- [27] Rose L S, Stallins J A, Bentley M L. Concurrent cloud-to-ground lightning and precipitation enhancement in the Atlanta, Georgia (United States), urban region[J]. Earth Interactions,2008,12(11):1-30.
- [28] 孙继松,舒文军. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究[J]. 大气科学,2007,31(2):312-320.
- [29] 马颖,孟青,吕伟涛,等. 雷电临近预警产品评估方法及其软件[J]. 气象,2009,35(11):101-106.
- [30] 扈海波,董鹏捷,熊亚军,等. 基于空间模式的北京奥运期间冰雹灾害风险评估[J]. 气象,2008,34(12):84-89.