

北京奥运期间冰雹灾害风险评估

扈海波¹ 董鹏捷² 熊亚军² 轩春怡²

(1. 中国气象局北京城市气象研究所,100089; 2. 北京市人工影响天气办公室,北京市气象局)

提 要: 采用空间信息技术的评估方法对北京地区奥运期间的冰雹灾害进行风险评估,并从原理、方法及过程3个方面作了系统的论述。冰雹灾害风险评估基于空间评估模型,综合叠加了以地形为外界敏感性因素的敏感度因子、以出现概率为主的危险性评估结果及考虑下垫面的人口、经济、人文分布情况的脆弱性评估结果。评估结果所展现的北京地区奥运期间的冰雹灾害的风险情况表明:冰雹灾害风险除了与雹源分布有密切关系外,还与城市人口及社会、经济情况关联,其权重组合计算结果显示北部山区及北京市的中心地带为易受冰雹灾害影响的高风险或较高风险区域。

关键词: 气象灾害 灾害风险评估 空间评估模式

Hail Risk Evaluation of Meteorological Disaster During Beijing Olympic Games

Hu Haibo¹ Dong Pengjie² Xiong Yajun² Xuan Chunyi²

(1. Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089; 2. Beijing Meteorology Bureau)

Abstract: Because different meteorological disasters have different spatial forms, the linear and polynomial models are put forward to carry on the risk assessment of meteorological disaster. Taking hail disaster as example, the comprehensive discussion is conducted in these three aspects of principle, method and process of assessment. The spatial evaluation model of hail disaster superimposes sensibility factor of topography, risk occurrence probability and vulnerability which relates to the distribution of population, economy and humanity in land surface. The technology of the geographic information system is adopted to deal with assessment results in spatial visible way. Risk condition of various meteorological disasters during Olympic Games in Beijing area is embodied in evaluation results. Risk of hail disaster is closely related to distribution of hail source as well as population in urban and situation of society and economy. These also determine that

基金项目:中国气象局新技术推广项目“北京奥运期间气象灾害风险评估技术研究(Z07000100730701)”、北京市优秀人才项目“高影响致灾天气对城市社会经济影响的评估模型研究(20071D0200800059)”资助。

收稿日期:2008年5月8日; 修定稿日期:2008年9月23日

central region in Beijing city is high risk area of hail disaster. Probability distribution of rain-storm, for example, in different intensity grade reflects essentially spatial possibility that corresponding disaster occurs.

Key Words: meteorological disasters risk evaluation spatial evaluation model

引 言

Kaplan 和 Garrick 提出的风险三元组理论^[1-2](Risk Triplet)认为气象灾害风险包含 3 个方面的内容:(1)有哪些不利气象事件;(2)这些不利气象事件发生的可能性有多大;(3)如果发生可导致什么后果。三元组理论折射出风险评估的实质和内容——发现“风险源”、评估“灾害发生的可能性”及分析“风险后果”。北京地区气象灾害风险评估具有特殊区域条件下特殊的自然及人文地理特征。评估的关键是如何正确识别这种特殊背景条件下的风险源;如何直观表达灾害发生的可能性;以及如何正确分析风险后果。气象灾害风险展现为灾害的不同强度等级在空间上的分布差异情况,不同时间序列上的不连续性及不间断性。为挖掘上述特点,风险评估需要在现有灾害学理论及方法的基础上有所突破及创新,吸纳空间信息技术等方法进行空间测算及统计以展现灾害的真实风险特征。

北京这个国际化大都市,其人口的密集及财富的集中,使其成为包括气象灾害在内的各种自然灾害的首要冲击目标^[3]。城市人口、经济、自然环境所“构造出”的承灾体脆弱性、危险性、易损性,甚至孕灾环境敏感性的认识和研究,皆是气象灾害风险评估的重点及难点。

北京地区奥运期间(6—10月)的冰雹等灾害是该时段气象灾害的主要风险源。尤其是冰雹这种强致灾过程对大都市地区造成的危害及冲击是巨大的。2005年5月31日,

北京因降雹损坏汽车就达 8 千多辆。气象灾害从空间形态及成灾特征上可归结为三类——“点、线、面状”事件^[4]。冰雹是以雹云的活动路径,甚至移动路径为主要表现,是一种线状空间行为及影响特征,这里选用空间评估模式对此期间的冰雹灾害进行风险评估。

1 资 料

北京市气象局信息中心提供:1971年1月至2006年12月北京市历次冰雹发生区县、冰雹的平均半径、人员伤亡情况等资料。北京市各区县户籍人口、区县面积等社会经济指标数据来源于北京市2006年统计年鉴。在进行敏感性计算时的高程数据采用北京地区所属辖区50m分辨率的数字高程模型(DEM)数据。本文引用的“雹日”是指本市任何一个区县出现了降雹或多个区县同日降雹均定义为“一个雹日”。

2 评估方法及“线面”评估模式应用过程

2.1 评估方法

气象灾害的成灾机制是复杂的,每种灾害性天气与下垫面“承灾体”的作用及关系带有很大的“耦合”特征。风险评估是在统一量纲的基础上根据每个灾种的特点,选用合适的评估模式及方法,这些模型及方法定义如下:

定义 1(灾害学风险评估模型及方法):依据空间范围内影响灾害事件行为特征的自然环境、城市社会经济因素等为模型的输入参数指标,比如地形、城市人口分布、经济状

况,甚至包括奥运场馆分布等集中体现奥运赛事安全的风险因素,综合测算“孕灾环境”的敏感性、“承灾体”的脆弱性及易损性。

定义 2(基于历史资料的统计学概率分析):选用北京地区 1971—2006 年有关冰雹灾害的气象及灾损资料,统计 6—10 月期间灾害性天气出现概率,并按灾损强度等级细化灾害发生的可能性之上的危险性特征。

定义 3(空间评估模式):将气象灾害可能性分析结果及概率空间分布,以及不同强度等级下的空间离散化结果等一系列用常规技术手段难以表现风险特征,在分析及测算上用空间叠加的方法做定量评测,用图示化的方式展现评估结果。

2.2 评估过程

(1) 北京地区冰雹灾害风险源特征

冰雹灾害在空间上表现为以雹云移动路径为特征的线状过程。图 1 为北京地区雹云的主要活动路径及分布,从中可看出北京西、北部地区主要的雹源均可直接威胁到北京城区甚至市中心。从北京市降雹日年际分布图(图 2)上可看出冰雹日数在 1970 年代到 1980 年代中期呈上升趋势,从 1990 年代开始下降,在近几年有微弱的上升趋势。



图 1 北京地区雹云路径图

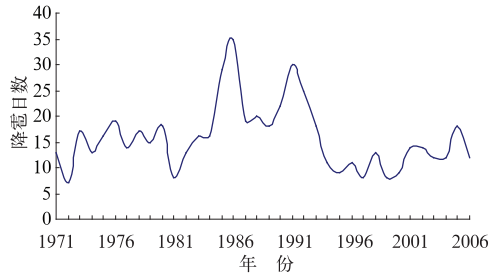


图 2 1971—2006 年北京地区 6—10 月降雹日年际分布

(2) 孕灾环境敏感度评估

北京三面环山,山地面积占全市总面积的三分之二,加之植被覆盖率不高,地面受热增温快,容易形成局地热对流,出现降雹天气。因此地形是北京地区冰雹发生的孕灾背景之一。在评价地形对冰雹天气的产生及发展的影响可用孕灾环境敏感度来描述。孕灾环境敏感度是指在不考虑天气背景的情况下,自然因素对北京地区冰雹形成的作用程度。地形的影响主要取决于各评估单元的海拔高度和坡度。评估首先根据北京地区的地形特征划分为山地(含丘陵)和平原(含水体)两种类型,再根据山地和平原对冰雹形成的影响程度分别赋以权重,以区域内每一种地形占区域面积的百分比作为敏感性指数,每一个区县的敏感度值为两种地形的敏感性指数分别乘以权重并求和。敏感度计算模型如下:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \theta_{ji} \cdot \omega_j \quad (1)$$

式中: S_i 为 i 区县的敏感度; ω_j 为第 j 类地形的作用权重; θ_{ji} 为 i 区县第 j 类地形的敏感性指数。图 3 为北京地区冰雹灾害孕灾环境敏感度计算结果的等级区划图。

用山区站和平原站的平均海拔高度与平均降雹频次,求出山地的权重为 0.72,平原的权重为 0.28;根据上述模型算出北京各区县的敏感度 S_i ,按表 1 的等级划分标准得出

如图 3 所示的敏感度区划图。

表 1 北京地区冰雹敏感度、危险性、脆弱性及风险分级标准

敏感度		危险性		脆弱性		风险	
阈值	等级	阈值	等级	指数	等级	指数	等级
$S_i < 0.3$	极低	$H_i < 0.5$	极低	$V_i \geq 1.4$	极高	$R_i \geq 1.0$	极高
$0.3 \leq S_i < 0.4$	低	$0.5 \leq H_i < 1.0$	低	$1.0 \leq V_i < 1.4$	高	$0.8 \leq R_i < 1.0$	高
$0.4 \leq S_i < 0.6$	中	$1.0 \leq H_i < 1.5$	中	$0.4 \leq V_i < 1.0$	中	$0.6 \leq R_i < 0.8$	中
$0.6 \leq S_i < 0.7$	高	$1.5 \leq H_i < 2.0$	高	$0.05 \leq V_i < 0.4$	低	$R_i < 0.6$	低
$S_i \geq 0.7$	极高	$H_i \geq 2.0$	极高	$V_i < 0.05$	极低		

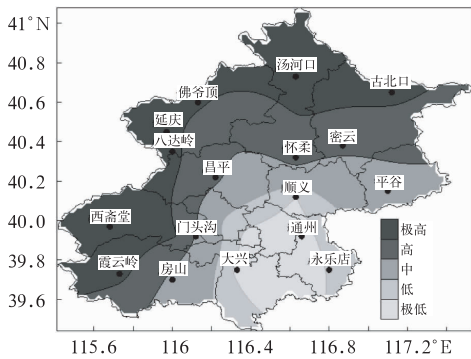


图 3 北京地区冰雹灾害敏感度区划

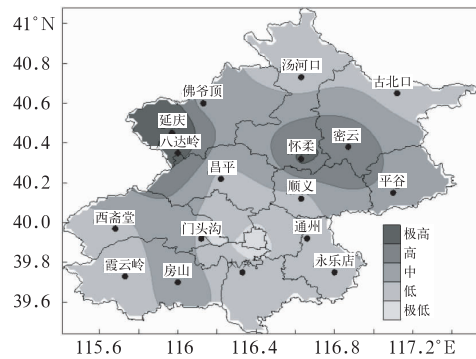


图 4 北京地区奥运期间冰雹灾害危险性区划

(3) 危险性评价

冰雹灾害的危险性评价是以北京市奥运期间历史降雹频次作为评价的主要依据。为了使指标具有可比性,将每一区县奥运期间(6—10月)年平均降雹日数与北京地区同期年平均降雹日数的比值作为冰雹灾害的危险性指标,其模型如下(图 4 为危险性评估结果):

$$H_i = h_i / \bar{h} \quad (2)$$

式中: H_i 为 i 区县冰雹灾害的危险性指数; h_i 为 i 区县奥运期间年均降雹日数; \bar{h} 为北京市奥运期间年均降雹日数。

根据模型(2),计算出各区县的危险性指数,其中危险性指标最小值为 0.12,最大值为 2.91,平均值为 1.00,并据此对危险性指数进行等级划分(见表 1)。

(4) 脆弱性评价

脆弱性评价以人口密度作为指标。首先

对人口密度数值进行无量纲化处理,求出各区县人口密度与全市平均人口的比值,该比值就是相应区县的人口密度指数。

此外,针对灾害对奥运赛事的影响,在脆弱性评价上将冰雹灾害对奥运场馆区的影响一并考虑,其模型如下:

$$V_i = k_1 \frac{\rho_i}{\bar{\rho}} + k_2 \cdot O_i \quad (3)$$

式中: V_i 为 i 区县的脆弱性指数; ρ_i 为 i 区县的人口密度; $\bar{\rho}$ 为全市平均人口密度(ρ_i 、 $\bar{\rho}$ 数据来源:北京市 2006 年统计年鉴); O_i 奥运场馆所在区的标志,取露天比赛场次作为冰雹灾害的“暴露风险”指标。 k_1 、 k_2 为人口密度和奥运比赛场馆区域的权重,人口密度在评估全过程中是个固化指标,场馆影响从运动员进驻奥运村至残奥运会结束为期不足 2 个月,约占整个评估时段的三分之一,赋以权重 0.3,这样人口密度的权重为 0.7。

从计算的结果来看(计算结果表略),东城、西城、崇文和宣武 4 个城区的脆弱性指数最大,达到了 6.20,远远超过了其他区县,这是城市中心区人口密度大的原因。城市中心区是城市安全防范的重点区域,将其划分为最高等级的脆弱性区域是合理的。在等级划分中考虑到计算数值的特殊性,用次高值与最低值的平均所得中值 0.7 为均衡点,然后依次分级,得到如表 1 的等级划分标准。根据灾害脆弱性等级划分标准,得到北京市冰雹灾害脆弱性区划图,如图 5。

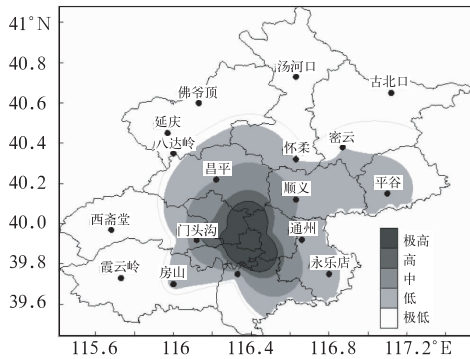


图 5 北京地区城市脆弱性区划

(5) 综合风险评估结果

冰雹灾害敏感度和危险性这两个要素都是用来反映冰雹灾害背景的因子,也就是灾害的可能性,其中危险性反映了冰雹灾害的外动力作用因素,是应该着重考虑的因子,而脆弱性是城市灾害影响后果的叠加因子,给 3 个因子分别赋予权重 0.3,0.4,0.3,其灾害风险指数换算公式为:

$$R_i = 0.3S_i + 0.4H_i + 0.3V_i \quad (4)$$

式中: R_i 为 i 区县冰雹灾害风险指数。

评估因子权重的确定方法通常有“经验值法”、专家打分、DELPHI 法及层次分析模型等^[11-12],这里权重的确定是结合“经验值法”和专家打分而来的,将 3 个因子权重确定为“0.3,0.4,0.3”的原因是:冰雹是一种破坏性极强的、强致灾性质的天气过程,一般只要

有冰雹发生,而下垫面存有承灾体(人或经济实体等),即承灾体风险暴露,那么成灾的可能性就非常大,因此,在有“冰雹发生”、有“承灾体”,同时掺合着“敏感性”因素作用,各因素的权重取比较均衡而差异不大的“0.3,0.4,0.3”是合理的,具备可释性^[3]。

在式(4)中 3 个因子的基础上进行因子的空间赋值叠合计算,分别计算出北京各区县的冰雹灾害风险指数,然后进行空间离散化处理,从而得到北京区域冰雹灾害的风险指数区划图(图 6),即评估结果。其中分级标准如表 1 所示。

从图 6 可以看出,北京地区有两个冰雹灾害的高风险区:其一为北部山区靠近“电源地带”;城市中心地带突出一个较高的风险地带,此地带城市社会经济实体集中分布,人口密度大,危险性及脆弱性均较高。

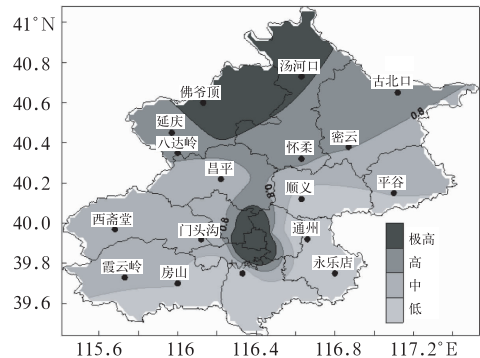


图 6 北京地区冰雹灾害风险评估区划

从冰雹灾害风险区划图来看,北京地区雹灾的风险等级由北向南逐步降低,在靠近市中心区域,有一覆盖该处的“舌状”延伸。这种分布特征及趋势与图 1 所示的北京地区雹云路径在空间融合形态及分布上是一致的。图 6 所示的最终评估结果图与北京市气象局所制定的“北京市人工防雹布局图”(图 7)中的重点防范区域及防雹炮点分布情况基本吻合,这间接印证了评估结果的正确性。

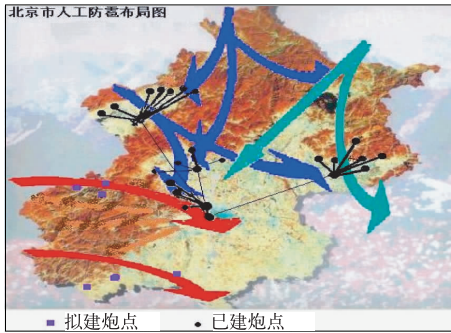


图 7 北京市人工防雹布局图

3 小 结

(1) 根据气象灾害不同空间形态特征所拟定的评估模式,从灾害的空间作用形式及影响特征出发,依据不同种类气象灾害的概率特征及与下垫面的耦合关系,分别评测灾害可能性、敏感性、脆弱性及易损性等多个特征值,结果以地理信息系统图示化方式直观、可视地表现风险特征。

(2) 基于空间评估模式的冰雹灾害风险评估首先考虑冰雹灾害对地形因素的敏感度,生成敏感度插值结果;然后,生成以历史出现概率(可能性)为主要指标的危险性插值结果;提取出直接以人口密度为指标的脆弱性插值结果;最后,在敏感性、危险性、脆弱性的之上“叠加”出风险指数分布图。评估结果与北京市冰雹“雹源”分布及其对北京市的影响情况基本吻合。风险区划图清晰表现北京奥运期间冰雹灾害对北京城市安全的威胁程度和作用方式,对冰雹灾害的防范及应急

处理,尤其对奥运赛事安全保障具有积极意义。

参考文献

- [1] Stanley Kaplan, B. John Garrick. On the Quantitative Definition of Risk[J]. Risk Analysis, 1(1): 11-27.
- [2] B. John Garrick. The use of risk assessment to evaluate waste disposal facilities in the United States of America[J]. Safety Science, 2002, 40, 1-4, 135-151.
- [3] 金磊. 城市灾害学研究及科学建议[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 32-38.
- [4] 北京市气象局灾害风险评估小组. 北京市奥运期间突发气象灾害风险评估及对策研究. 2007, 北京市气象局.
- [5] 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.
- [6] WANG Jing-ai, SU Yun, et al. Vulnerability Identification and Assessment of Agriculture Drought Disaster in China[J]. Advances in earth science, 2006, 21(2): 161-168.
- [7] 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): 86-87.
- [8] J. Marshall Shepherd. Rainfall Modification by Major Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar On the TRMM Satellite[J]. Journal of Applied Meteorology, 2002, 41, 7: 689-701.
- [9] Roscoe R. Braham Jr. On Calculating the Buoyancy of Cores in a Convective Boundary Layer[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1996, 53, 4: 654-658.
- [10] 郭虎, 熊亚军, 扈海波. 北京市奥运期间气象灾害风险承受与控制能力分析[J]. 气象, 2008, 34(2): 77-82.
- [11] 扈海波, 王迎春, 李青春. 采用 AHP 方法的气象服务社会经济利益定量评估分析[J]. 气象, 2008, 34(3): 86-92.
- [12] 秦寿康. 综合评估原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社. 2003.