

文章编号:1004-9045(2008)02-0104-05

# 北京 2008 年奥运期间冰雹灾害风险评估模型研究

董鹏捷, 吴正华

(北京市人工影响天气办公室, 北京 100089)

**摘要:**对 1971-2006 年 6-10 月北京地区的 569 个降雹日的灾情进行了分析,以北京地区的地貌特征、冰雹发生的频率、人口密度和奥运场馆所在区域为评价因子,采用模糊数学方法分别计算出不同区域的孕灾环境敏感度、灾害发生的危险性和城市脆弱性三种指数,建立了北京地区奥运期间冰雹灾害风险评估模型,并在此基础上客观地划分等级并利用 SURFER 软件对数据资料进行图形处理,最后得到了北京地区奥运期间冰雹灾害的风险分级及其区划。

**关键词:**北京地区;奥运期间;冰雹灾害;风险评估模型

中图分类号: S427 文献标识码: A

## 1 引言

冰雹灾害在我国是一种频发性自然灾害,其出现范围较小,时间虽短促,但来势猛、强度大,常伴随狂风、强降水、急剧降温等阵发性灾害性天气。据有关资料统计,我国每年因雹灾所造成的经济损失达几亿元甚至几十亿元。其危害虽不及干旱、洪涝和台风严重,但对城市交通、航运、电力通讯乃至城市运行系统都可能产生严重影响。

冰雹灾害的产生不仅取决于气象条件,也受地理环境和城市承灾能力的影响。北京地区地形地貌复杂,山地面积占全市总面积的三分之二,加上植被覆盖率不高,极易产生局地热对流,为冰雹的孕育提供了地理背景。冰雹天气过程的出现往往会造成较大的经济损失,如果在奥运室外比赛项目进行期间场馆区发生冰雹天气,就会出现暂停比赛从而影响运动员竞技状态的情况。北京市冰雹灾害的产生主要受两方面因素的影响,一是其三面环山、东南为北京小平原的孕灾环境促成了冰雹发生的可能性;二是人口与经济密集的城市脆弱性导致了承灾能力的减弱从而出现的受灾环境。所以在实施冰雹灾害的风险评估与区划时需要将北京地区各区县的冰雹灾害的致灾背景、受灾体脆弱性以及致灾体危险性这三项指标进行加权平均,得到冰雹灾害的风险指标,再划分出等级,根据不同等级通过内插处理,得到冰雹灾害的风险区划图。

## 2 资料来源

冰雹资料来源于北京市气象局提供的 1971-2006

年 6-10 月北京地区的 569 个降雹日的灾情统计数据;各区县的面积及山体面积数据来源于北京市国土资源局;人口密度数据来源于北京市公安局。

## 3 冰雹灾害的孕灾环境敏感度评估

北京地区位于华北平原的西北边沿,地势由西北向东南倾斜,西部属于太行山余脉,北、东北为燕山山脉,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。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。

评价地形在冰雹灾害中的影响用孕灾环境敏感度来描述。所谓冰雹灾害的孕灾环境敏感度就是指在不考虑天气背景的情况下,由于地形抬升等环境因素在北京地区冰雹形成过程中所发挥的作用程度。而地形的影响又主要取决于各区县的海拔高度和坡度,首先根据北京地区的地形特征将全市划分为山地(含丘陵)和高原(含水体)两种类型,再根据山地和高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:

$$S_i = \sum_{k=1}^n \theta_{ki} \cdot Q_k \quad (1)$$

式中,  $S_i$  代表  $i$  区县的敏感度;  $Q_k$  代表第  $k$  类地形的作用权重;  $\theta_{ki}$  代表  $i$  区县第  $k$  类地形的敏感性指数。

收稿日期: 2008-05-08; 定稿日期: 2008-06-08

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”(CMATG2008M14)资助

作者简介: 董鹏捷,女,1970年生,高级工程师,从事人工影响天气工作。Email: dongpengjie@bjmb.gov.cn

在这里  $Q_i$  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, 区县的敏感性指数通过 2006 年北京市国土资源

局公布的各区县区域面积和山地面积数据获得。再利用上面的模型求出北京各区县的敏感度  $S_i$ , 其最小值为 0.280, 最大值为 0.702, 平均值为 0.470, 详见表 1。

表 1 北京区域冰雹孕灾背景—敏感度

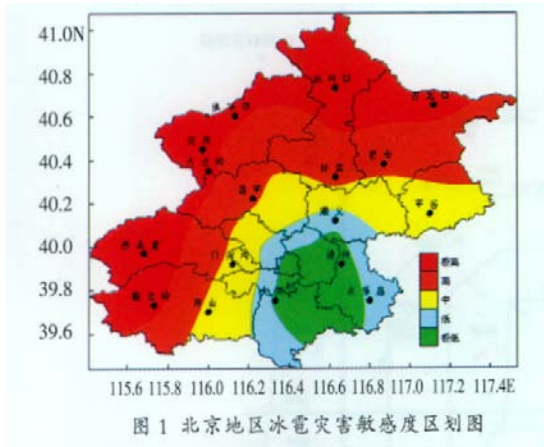
区县	区域面积 (km <sup>2</sup> )	山地 (%)	平原、水域 (%)	$\theta_{\text{山地}}$	$\theta_{\text{平原}}$	S
东城、西城、崇文、宣武	92.39	0.0	100.0	0.000	1.000	0.280
海淀	430.73	15.0	85.0	0.150	0.850	0.346
朝阳	455.08	0.0	100.0	0.000	1.000	0.280
丰台	305.80	26.2	73.8	0.262	0.738	0.395
石景山	84.32	64.3	25.7	0.643	0.257	0.535
大兴	1 036.32	0.0	100.0	0.000	1.000	0.280
通州	906.28	0.0	100.0	0.000	1.000	0.280
顺义	1 019.89	4.3	95.7	0.043	0.957	0.299
房山	1 989.54	66.7	33.3	0.667	0.333	0.573
门头沟	1 450.70	96.0	4.0	0.960	0.040	0.702
昌平	1 343.54	80.0	20.0	0.800	0.200	0.632
延庆	1 993.75	74.5	25.5	0.745	0.255	0.608
怀柔	2 122.62	88.7	11.3	0.887	0.113	0.670
密云	2 229.45	79.5	20.5	0.795	0.205	0.630
平谷	950.13	59.7	40.3	0.597	0.403	0.543

根据各区县的敏感度值, 对所得敏感度值划分等级并赋值如下(表 2)。

表 2 敏感度等级划分标准

敏感度阈值				
$S < 0.3$	0.3	$S < 0.4$	0.4	$S < 0.6$
0.3	0.4	0.6	0.6	$S < 0.7$
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
敏感度等级	极低	低	中	高
				极高

根据以上敏感度划分等级进行空间评价的操作, 由于佛爷顶、八达岭、汤河口、古北口、西斋堂和霞云岭六个测站均为山区站, 则其  $S_i$  均为山区权重值 0.72, 从而得到北京地区冰雹灾害敏感度区划, 如图 1。



#### 4 冰雹灾害的危险性评价

冰雹灾害的危险性评价是以北京市奥运期间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:

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

式中,  $H_i$  指  $i$  区县冰雹灾害的危险性指数;  $h_i$  指  $i$  区县奥运期间年均降雹日数;  $\bar{h}$  指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, 将已经获得的危险性指数进行等级划分并赋值(结果见表 3)。然后再进行图形数据库的操作, 按照等级划分标准进行内插, 得到冰雹灾害危险性区划图(图 2)。

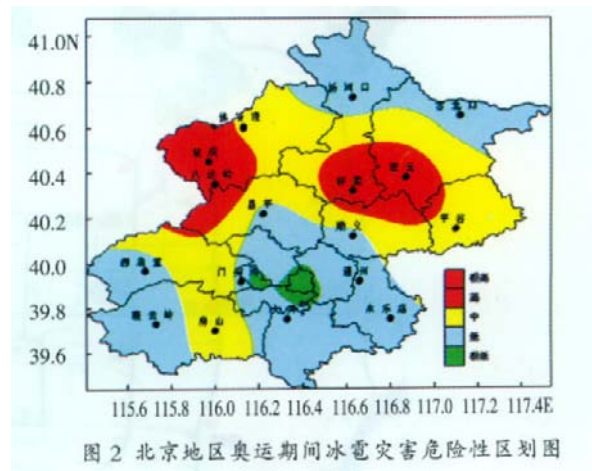


表 3 冰雹灾害的危险性等级划分标准

危险性等级	危险性阈值				
	$H_i < 0.5$	$0.5 \leq H_i < 1.0$	$1.0 \leq H_i < 1.5$	$1.5 \leq H_i < 2.0$	$H_i \geq 2.0$
	极低	低	中	高	极高

## 5 北京地区的脆弱性评价

冰雹之所以能够致灾是与承灾主体本身的脆弱性离不开的。“脆弱性”从字面上理解，“脆”是描述物体易碎或易受破坏的性质，“弱”是指物体或对象的抵抗力差，易受侵害。承灾主体的脆弱性分析就是研究城市作为承灾主体来说冰雹灾害的发生可以导致城市运行系统出现哪些不畅或者造成直接、间接的损失，从而对人类活动和自然生态规律产生影响。其目的是为了研究城市脆弱性演生的动力机制及其规律，从而提出科学的城市管理、规划和建设措施，实现资源环境与社会经济的可持续发展。

城市环境中各因子的类型、数量、质量在时间和空间上配置的不均衡性是脆弱性的内在原因，也是不同区域遭受冰雹灾害袭击时表现出较大损失差异的原因所在，人类活动和外界环境胁迫又是脆弱性演变的动力机制。城市脆弱性是其本质特征的综合表现，它既包括城市主体内部结构的特点，也涵盖外部条件状况。这也是冰雹多发于山区，却不会产生严重的后果，而一旦在城市中心区发生冰雹灾害就会引发城市运行的一系列问题，甚至出现短时间的运行瘫痪，这就是脆弱性所在。这种脆弱性主要有三种表现形式：即生态环境的脆弱性、城市运行系统的脆弱性以及城市建设中临时出现的脆弱性，这三种脆弱性在评价上不能一概定量而论。

生态环境的脆弱性是由下垫面的种植结构决定

的，林地、花草、粮食、蔬菜、果品等不同的下垫面具有不同的价值，在不同的生长时期其脆弱性的表现也不尽相同，在定量评价上具有很大的不确定性；而城市建设中临时出现的脆弱性在评价中同样因为具有很大的不确定性而有一定的实施难度。

在城市运行系统方面：由于北京市自 2005 年起不再核算各区县的 GDP，从经济水平上评估有一定的难度。而人类活动是灾害致灾的一个重要因素，人员伤亡、城市运行和社会影响都可以通过人员活动而反映出来。在城区和近郊区、远郊区县之间的经济发展水平的差异和不平衡也与城区人力资源的密集有着直接的关系。因此在评价脆弱性时选取人口密度作为脆弱性的一个评价指标，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密度的比值，该比值就是相应区县的人口密度指数。

此外，由于此项评估是针对奥运期间的影响，所以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：

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

式中， $V_i$  代表  $i$  区县的脆弱性指数； $\rho_i$  代表  $i$  区县的人口密度； $\bar{\rho}$  代表全市平均人口密度（ $\rho_i$ 、 $\bar{\rho}$  数据来源于北京市公安局公布的 2005 年底户籍人口，没有计算流动人口数量）； $Q_i$  代表奥运场馆所在区的标志，有露天比赛场馆取 1，没有时取 0；奥运比赛场馆分布图如下（图 3）。



图 3 北京奥运比赛场馆分布图

表 4 北京地区奥运期间城市脆弱性指数

区县	$\rho_i$ (万人/km <sup>2</sup> )	$Q_i$	$V_i$
东城、西城、崇文、宣武	2.420	1	6.20
海淀	0.445	1	1.37
朝阳	0.376	1	1.20
丰台	0.319	1	1.07
石景山	0.415	1	1.30
大兴	0.055	0	0.13
通州	0.069	0	0.17
顺义	0.055	1	0.43
房山	0.038	0	0.09
门头沟	0.016	0	0.04
昌平	0.036	1	0.38
延庆	0.014	0	0.04
怀柔	0.013	0	0.03
密云	0.019	0	0.05
平谷	0.042	0	0.10

$k_1, k_2$  为人口密度和奥运比赛场馆区域的权重, 人口密度影响围绕评估全过程, 场馆影响从进驻奥运村至残奥会结束为期不足两个月, 约占整个评估时间段的三分之一, 赋以权重 0.3, 这样人口密度的权重为 0.7。根据模型 (3) 计算各区县的脆弱性指数(表 4)。

从表中可看到东城、西城、崇文和宣武 4 个城区的脆弱性指数最大, 达到 6.20, 远远超过其他区县, 这是城市中心区户籍人口极高的结果。城市中心区路网、电网密集, 是城市运行的关键区, 一旦受到灾袭击, 将直接危及到长安街、二环路、三环路等重要路段上行驶的车辆, 如果同时伴有雷雨大风等天气, 就会引发倒杆、断电等一系列问题, 严重时将危及城市运行系统, 因而这一区域作为极高脆弱性等级从直接损失和社会影响上都具有合理性。在等级划分中考虑到该值的特殊性, 取次高值与最低值的平均得到中值是 0.7, 然后依次分级, 得到等级划分标准及其阈值, 见表 5。

表 5 北京地区城市脆弱性等级标准

脆弱性等级	脆弱性指数阈值							
	$V_i < 0.05$	0.05	$V_i < 0.4$	0.4	$V_i < 1.0$	1.0	$V_i < 1.4$	$V_i \geq 1.4$
	极低		低		中		高	极高

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下(图 4)。

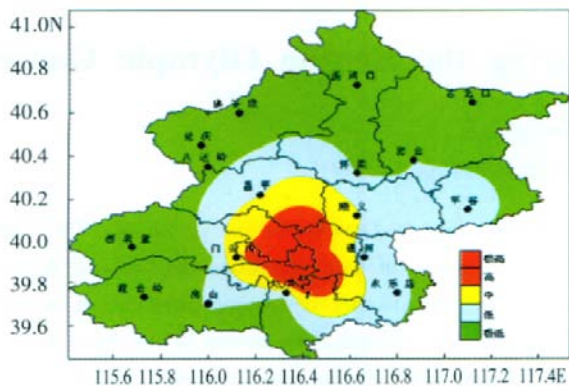


图 4 北京地区城市脆弱性区划图

表 6 北京地区各区县冰雹灾害风险指数

区县	$S_i$	$H_i$	$V_i$	$R_i$
东城、西城、崇文、宣武	0.280	0.13	6.20	2.60
海淀	0.346	0.76	1.37	0.88
朝阳	0.280	0.63	1.20	0.75
丰台	0.395	0.54	1.07	0.71
石景山	0.535	0.30	1.30	0.77
大兴	0.280	0.73	0.13	0.36
通州	0.280	0.81	0.17	0.39
顺义	0.299	0.76	0.43	0.49
房山	0.573	1.34	0.09	0.61
门头沟	0.702	1.45	0.04	0.66
昌平	0.632	0.82	0.38	0.59
延庆	0.608	2.91	0.04	1.07
怀柔	0.670	2.14	0.03	0.86
密云	0.630	2.01	0.05	0.81
平谷	0.543	1.36	0.10	0.61

从表中数据可见四个中心城区风险值远高于其它区县, 属极端个例, 故在冰雹灾害风险分级中采取与脆弱性分级类似的方法在次高值与最小值之间分为 4 级, 即低、中、高和极高, 其分级标准见表 7。

表 7 北京地区冰雹风险分级标准

风险等级	风险指数阈值					
	$R_i < 0.6$	0.6	$R_i < 0.8$	0.8	$R_i < 1.0$	$R_i \geq 1.0$
	低		中		高	极高

## 6 北京地区冰雹灾害风险评估

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, 而脆弱性是城市灾害影响后果的反映因子, 运用专家打分法分别给三个因子赋予权重值 0.3, 0.3, 0.4, 其模型即为:

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

上式中,  $R_i$  为  $i$  区县冰雹灾害风险指数。利用模型 (4) 分别计算出北京各区县的冰雹灾害风险指数, 见表 6。

然后根据表 7 中列出的风险分级标准, 计算各区县风险等级, 从而得到北京区域冰雹灾害风险区划图(图 5)。

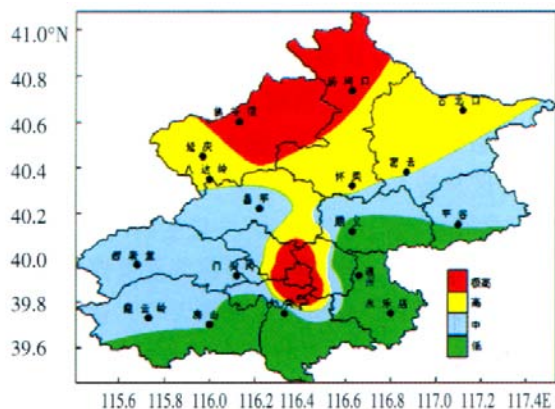


图 5 北京地区冰雹灾害风险评估区划

从图 5 中可以看出, 城市中心区及其周边、延庆和怀柔北部山区是冰雹灾害的极高风险区, 从海淀、丰台、朝阳部分地区直至昌平东部和延庆东部、怀柔南部和密云山区是高风险区, 而其两翼的昌平大部、海淀西北部、石景山、门头沟、房山西北部山区以及密云南部、平谷大部分、顺义部分地区为中度风险区, 通州、大兴和房山、顺义、平谷南部区域为冰雹灾害的低风险区。

## 7 问题与讨论

利用上述模型虽然对北京奥运期间冰雹灾害进行了初步的风险评估和区划, 但是还存在一定的问题及不足之处, 主要是评估因子的局限性, 例如: 敏感度未能考虑雹灾的社会公众心理反应等影响; 危险性实际是表征雹灾的可能性大小, 由于降雹空间分布的离散特征(“雹打一条线”和“降雹蛤蟆跳”现象)各区县统计的降雹日数可能存在误差; 脆弱性评估也未含各区县的有关经济方面的因素等因子, 这些尚需要进一步研究和探讨。

### 参考文献:

- [1] 黄崇福. 自然灾害风险分析[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
- [2] 北京市气象局. 中国气象灾害大典·北京卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [3] 罗培. GIS支持下的气象灾害风险评估模型——以重庆地区冰雹灾害为例[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1):38-44.
- [4] 王博, 崔春光, 彭涛, 等. 暴雨灾害风险评估与区划的研究现状与进展[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(3):281-286.
- [5] 丁燕, 史培军. 台风灾害的模糊风险评估模型[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1):34-43.
- [6] 罗元华, 张梁, 张业成. 地质灾害风险评估方法[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

## Risk Evaluation Model on Hail Disaster During the Beijing Olympic Games

DONG Peng-jie, WU Zheng-hua

(Beijing Municipal Weather Modification Office, Beijing 100089)

Abstract: Analyzing the background of the 569 days hail disaster events from June to October for the period of 1971-2006 in Beijing, geomorphic characteristics in Beijing Administrative Region, occurrence frequency of hail, population density and the region of the Olympic venues are chosen as the evaluation factors. Based on such factors, the disaster-developing environment sensitivity, the risk of disaster and the vulnerability of urban disaster-affected in every region are calculated by means of the fuzzy math and the hail disaster risk evaluation model during the Olympic Games in Beijing Administrative Region are established. Finally by using SURFER software and graphics processing, risk dividing grade and the regionalization for hail disaster during the Beijing Olympic Games are accomplished.

Key words: Beijing Administrative Region; During the Olympic games; Hail disaster; Risk evaluation model