

# 北京市奥运期间气象灾害 风险承受与控制能力分析

郭 虎<sup>1</sup> 熊亚军<sup>1</sup> 扈海波<sup>2</sup>

(1. 北京市气象台, 100089; 2. 中国气象局北京城市气象研究所)

**提 要:** 针对北京市奥运会期间的 7 种主要气象灾害(雷电、冰雹、大风、高温、暴雨、大雾和霾灾害),建立了气象灾害风险承受能力与风险控制能力评价的指标体系。经过专家评分,获取 7 种气象灾害的评价指标所对应的分值。利用层次分析法,计算评价指标的权重系数。最后得到 7 种气象灾害评价指标的加权平均值作为其风险承受能力与风险控制能力系数。利用灾害模数、经济易损模数、生命易损模数 3 个指标进行北京市奥运期间 18 个区县空间易损度区划分析。结果表明:北京市奥运会期间,高温灾害和暴雨灾害的风险承受能力与风险控制能力最弱;雷电灾害和大雾灾害的承受与控制能力中等;冰雹灾害和霾灾害较强;大风灾害最强。易损度空间差异分析表明,城区(东城区、西城区、崇文区和宣武区)、朝阳区和海淀区为高易损性区域;丰台区、石景山区、房山区、昌平区、顺义区和大兴区为中易损性区域;门头沟区、通州区、平谷区、怀柔区、密云县和延庆县为低易损性区域。

**关键词:** 气象灾害 风险承受能力与控制能力 层次分析法 易损度区划

## Analysis on the Risk Tolerance and Control Ability of Meteorological Disaster in the Period of Beijing Olympic Game

Guo Hu<sup>1</sup> Xiong Yajun<sup>1</sup> Hu Haibo<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Seven mainly meteorological disasters might threaten 2008 Beijing Olympic Game, which are lightning, hailstone, gale, high temperature, rainstorm, fog and haze. A suit of index system is set up to analyze the ability of risk control and risk tolerance of the meteorological disaster in Beijing Olympic Game. The grade value of index system is given by experts, and the weight coefficients are calculated by using the analytical hierarchy process. The results show that

资助项目:北京市优秀人才培养资助 D 类项目“高影响致灾天气对城市社会经济影响的评估模型研究”

收稿日期:2007 年 11 月 2 日; 修定稿日期:2007 年 12 月 28 日

it is most frangible when Beijing encounters high temperature disaster and rainstorm disaster. If lightning disaster and fog disaster occur, Beijing is medium frangible. When hailstorm disaster and haze disaster happen in Beijing, it is relatively frangible. Beijing is least frangible if haze disaster takes place. The analysis of vulnerability zoning shows that city region, Haidian district and Chaoyang district are the most frangible area. Fengtai district, Fangshan county, Shijingshan district, Changping district, Shunyi county and Daxing county belong to the moderate frangible area. The other sites belong to low frangible area.

**Key Words:** meteorological disaster risk control and risk tolerance analytical hierarchy process vulnerability zoning

## 引 言

气象灾害是可能影响第 29 届北京奥运会的主要自然灾害类别之一<sup>[1]</sup>,对可能发生的气象灾害进行风险管理是奥组委对主办城市提出的一项重要要求<sup>[2]</sup>。Kloman<sup>[3]</sup>把灾害风险管理分解为三个步骤,即风险评估(risk assessment)、风险控制(risk control)和风险承受(risk tolerance),并把后两个步骤作为风险决策的理论基础。因此,进行奥运期间北京市气象灾害的风险承受与风险控制能力分析具有十分重要的现实意义。

依据奥运期间突发气象灾害风险源调查工作,确定了雷电、冰雹、大风、高温、暴雨、大雾和霾这 7 种高影响天气为北京市奥运期间主要的气象灾害风险源<sup>[4]</sup>。气象灾害的风险承受与风险控制能力分析不仅涉及建立指标体系,指标定量化和指标权重计算的综合问题,还应考虑承灾体的易损度空间差异。层次分析法(简称 AHP)是 1970 年代美国运筹学家 Saaty<sup>[5]</sup>提出的一种分析方法,其通过建立指标体系间的层次结构、构造判别矩阵,最后确定指标权重。本文选用层次分析模型,按目标、方案、准则三层结构,对 7 种气象灾害的风险承受与控制能力进行分析。在此基础上,以区县为评估单元,对北京市易损度空间差异进行综合评估。此项工作可为北京奥

运期间气象灾害的风险管理以及北京市气象灾害应急预案的制订提供科学依据。

## 1 风险承受能力与风险控制能力分析

### 1.1 指标体系和层次结构模型

进行北京市奥运期间气象灾害风险承受能力与风险控制能力分析,首先要建立合理的指标体系。指标体系的逻辑结构不仅要符合社会生活所固有的客观规律,而且应具有代表性和简明性,同时在量化分析时还应具有一定的可操作性。通过分析 7 种气象灾害风险特征,利用层次分析法,对北京市奥运期间气象灾害风险承受能力与风险控制能力进行分析,模型结构如图 1 所示。

### 1.2 指标量化分析

借鉴灰色关联分析<sup>[6]</sup>中设定评语集的方法,对分析指标进行量化分析。即先给分析指标拟定合适的评语集并赋予相应的等级值,由有经验的专家选定评语,最后通过评语来确定各指标的量值。

对 7 个分析指标分别给出 3 个评语,分别记为  $V_1, V_2$  和  $V_3$ ,即  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ 。例如,  $b_{11}$  的评语集为{灾害的可能性大,灾害的可能性一般,灾害的可能性小}。对  $V_1, V_2$  和  $V_3$  分别赋予 1、2 和 3 的等级分值。分值越大,表示风险的承受能力和控

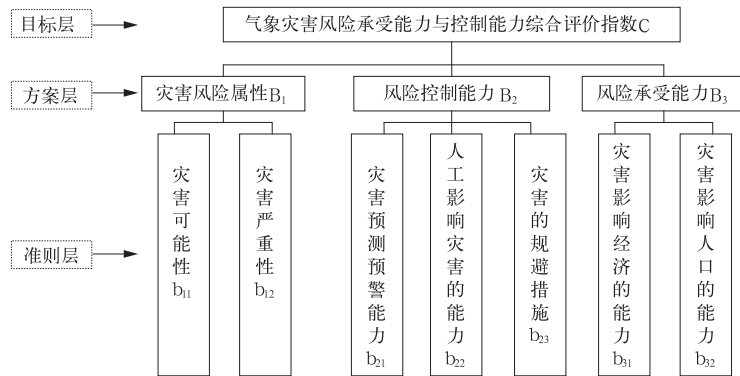


图 1 北京市奥运期间气象灾害风险承受能力与控制能力分析指标的层次结构模型

制能力越强;反之,则表示风险承受能力和控制能力越弱。评语集选定后,借鉴 DELPHI 法<sup>[7]</sup>进行专家评估(评估流程见图 2)。专家针对上述指标首先各自给出评语;接着开展讨论,经过陈述理由、质询和答辩,尽量剔除偏离实际的判断;最后专家评估团形成一致的评估结果。评语、评语等级值及专家评估结果见表 1 所示。

### 1.3 判别矩阵

为了衡量准则层中 7 个评估指标的相对重要性,采用 Saaty 标度法<sup>[5]</sup>进行分析。首先对 7 个分析因素指标进行两两比较,得到定性的评估结果;然后将定性的比较结果用标度的方法进行量化。具体含义见表 2。

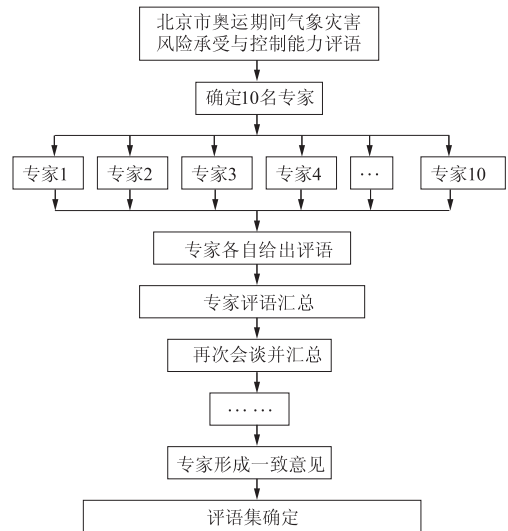


图 2 专家评分流程图

表 1 7 种气象灾害的评语和等级值

项目	灾害属性指标		风险控制能力指标			风险承受能力指标	
	可能性	严重性	预测预警能力	人工影响能力	规避能力	灾害影响经济能力	灾害影响人口能力
雷电	1	2	2	1	2	3	3
冰雹	3	1	3	3	2	3	2
大风	3	3	2	2	1	2	2
霾	2	3	2	1	2	2	2
大雾	2	2	3	1	1	2	2
高温	1	1	1	1	1	1	2
暴雨	2	1	1	1	1	1	1

采用 1—9 标度法,对①气象灾害发生的可能性、②气象灾害后果的严重性、③预测预警能力、④人工影响能力、⑤规避能力、⑥气象灾害影响经济的能力及⑦灾害影响人

表 2 1—9 标度法的含义

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有相同的重要性
3	表示两个因素相比,因素 1 比因素 2 稍微重要
5	表示两个因素相比,因素 1 比因素 2 重要
7	表示两个因素相比,因素 1 比因素 2 明显重要
9	表示两个因素相比,因素 1 比因素 2 绝对重要
1.1/3, ..., 1/9	两个因素的影响之比与上述说明相反

口的能力这 7 个评估指标进行成对比较,获得准则层 7 个指标之间的定性比较结果。依据表 2 所示标度,将定性比较结果转化为标度,构建判别矩阵  $A$ 。元素  $a_{ij} = n$ ,表示第  $i$  个和第  $j$  个指标相比,其标度为  $n$ ;如判别矩阵  $A$  中的  $a_{67} = 1$ ,其含义为:⑥气象灾害影响经济的能力指标与⑦气象灾害影响人口的能

力指标相比,标度为 1,两个指标具有相同的重要性。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 7 & 9 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 5 & 7 & 9 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 3 & 5 & 1/3 & 1/3 \\ 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 & 3 & 1/5 & 1/5 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/7 & 1/7 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 5 & 7 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 5 & 7 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

判别矩阵  $A$  最大特征根  $\lambda_{\max} = 7.31$ ,归一化特征向量  $\omega = (0.30, 0.30, 0.06, 0.04, 0.02, 0.14, 0.14)^T$ ,为 7 个指标的权重向量。层次分析法要求对判别矩阵进行一致性检验。一致性系数  $I_c = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (7.31 - 7)/(7 - 1) = 0.052$ 。对照表 3 可知, $n = 7$  时随机一致性指标  $I_R = 1.32$ ,一致性比率  $R_c = I_c/I_R = 0.052/1.32 = 0.039 < 0.1$ 。这表明判别矩阵通过一致性检验,上述特征向量  $\omega$  可以作为 7 个指标的权重。

表 3 随机一致性指标  $I_R$  对照表

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$I_R$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

#### 1.4 风险承受能力与风险控制能力指数

在获得了各指标的等级值和权重系数后,北京市奥运期间气象灾害风险承受能力与风险控制能力指数可由计算公式(1)给出。

$$C = \omega_1 b_{11} + \omega_2 b_{12} + \omega_3 b_{21} + \omega_4 b_{22} + \omega_5 b_{23} + \omega_6 b_{31} + \omega_7 b_{32} \quad (1)$$

将表 1 中 7 种气象灾害的评估指标等级值分别代入式(1),7 个指标的权重值用权重向量  $\omega$  代替,分别计算出每个灾种的风险承受能力与风险控制能力指数。计算表明,7 种灾害的风险承受能力与控制能力指数分别为:1.96、2.27、2.60、2.28、2.03、1.15 和 1.31。由上述计算结果可知:北京市奥运期间的 7 种主要的气象灾害中,高温和暴雨灾害的风险承受能力与控制能力最弱, $C <$

1.80;大雾和雷电灾害的风险承受能力与风险控制能力中等,指数值  $1.80 < C < 2.10$ ;冰雹和霾灾害的风险承受能力与风险控制能力较强,指数值  $2.10 < C < 2.40$ ;大风灾害的风险承受能力与风险控制能力最强, $C > 2.40$  (具体见图 3 所示)。依据上述分析结果可

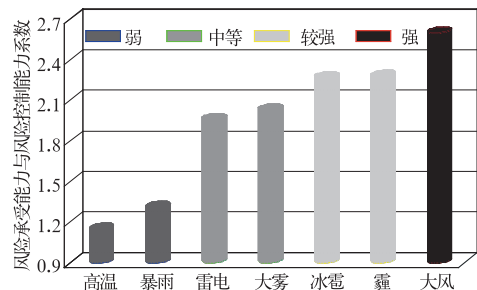


图 3 北京市奥运期间气象灾害风险承受能力与风险控制能力

知,相关部门在进行风险管理和应急预案制定时,应有主有次。对高温灾害和暴雨灾害这些风险承受与控制能力较弱的灾种,要重点加以防范。

## 2 北京气象灾害易损度空间差异分析

为进一步分析北京市气象灾害风险承受能力与风险控制能力的易损度空间差异,选取灾害模数  $T$ 、经济损失模数  $D$  和生命易损模数  $L$  来计算北京市各区县的奥运期间气象灾害易损度模数  $V$ 。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(<http://www.bjstats.gov.cn>),从资料中提取出两个参量:①经济易损模数  $D$ ,表示区域内发生气象灾害时单位面积上的经济损失。 $D_s$  为各区县的 GDP 生产总值, $S$  为各区县的行政面积。参量  $D$  反映区域对气象灾害的敏感性。②生命易损模数  $L$ ,表示区域内发生气象灾害时单位面积上受危害的人口数量。 $L_s$  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。参量  $L$  反映了区域生命对气象灾害的敏感性。③灾害模数  $T$ ,表示奥运期间各区县发生气象灾害的可能性和严重性属性。依照风险承受与控制能力分析的评语集方法,将上述 3 个指标同样分为 3 级,并确定评语,赋予易损性指标等级分值 1、2 和 3。

依据经济易损模数  $D$  以及生命易损模数  $L$  空间分布特征,结合风险源调查结果<sup>[4]</sup>,按照图 2 流程,专家给出了 18 个区县各自的指标等级值(见表 4)。且认为这 3 个指标权重大体相同。将 3 个气象灾害易损性指标值之和定义为易损度模数  $V$ ,用以表征区县的空间易损性的强弱

$$V = D + L + T \quad (2)$$

易损度模数  $V$  的数值越小,表示该区域内,奥运期间气象灾害的易损性越高,风险承受能力与风险控制能力越弱;反之,易损性越低,能力越强。专家评估团给出了 18 个区县的  $V$  值(见表 4)。

表 4 北京市十八个区县气象灾害易损性指标

区、县	灾害模数 $T$	经济易损模数 $D$	生命易损模数 $L$	易损度模数 $V$	区、县	灾害模数 $T$	经济易损模数 $D$	生命易损模数 $L$	易损度模数 $V$
东城区	3	1	1	5	房山区	1	2	3	6
西城区	3	1	1	5	通州区	2	2	3	7
崇文区	3	1	1	5	顺义区	1	2	3	6
宣武区	3	1	1	5	昌平区	1	2	3	6
朝阳区	2	1	2	5	大兴区	1	2	3	6
丰台区	3	1	2	6	平谷区	1	3	3	7
石景山区	3	1	2	6	怀柔区	3	3	3	9
海淀区	2	1	2	5	密云县	2	3	3	8
门头沟区	2	3	3	8	延庆县	3	3	3	9

从表 4 可以看出,城区(包括东城区、西城区、崇文区、宣武区)、朝阳区和海淀区的易损度模数为 5,属于空间易损度相对较高区域,奥运期间气象灾害的风险承受与风险控制能力最弱。丰台区、石景山区、房山区、昌平区、顺义区和大兴区的易损度模数为 6,属

于空间易损度中度区域,奥运期间的风险承受能力与风险控制能力中等;门头沟区、通州区、平谷区、怀柔区、密云县和延庆县的易损度模数等于或大于 7,属于空间易损度相对较低的区域。相关部门在进行风险管理时,应重点关注城区、海淀区和朝阳区这些空间

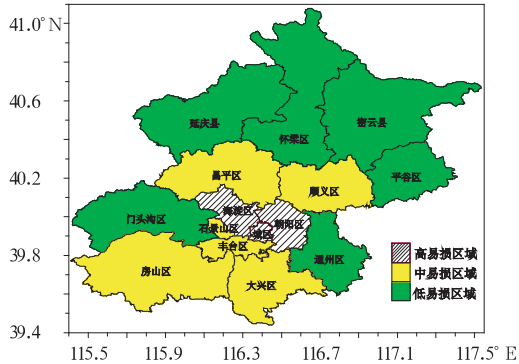


图 4 北京市奥运期间气象灾害易损度区划图

易损度相对较高的区县。

### 3 结 论

层次分析模型计算结果表明,北京市奥运期间7种气象灾害风险源,其风险承受能力与控制能力由低到高依次为,高温、暴雨、雷电、大雾、冰雹、霾和大风。18个区县的易损性空间差异分析表明,城区(包括东城区、西城区、崇文区、宣武区)、朝阳区和海淀区属于高易损区;丰台区、石景山区、房山区、昌平区、顺义区和大兴区的属于中易损区;门头沟区、通州区、平谷区、怀柔区、密云县和延庆县属于低易损区域。相关部门在进行奥运气象灾害风险管理时,应重点关注高温、暴雨和雷

电等风险承受能力较低风险源,城区、海淀区和朝阳区这些高易损区域应重点加以防范。

**致谢:** 奥运期间突发气象灾害风险评估领导小组和评估小组的其他成员对本工作提出有益建议,在此表示诚挚的谢意!

### 参考文献

- [1] 叶殿秀,陈峪,张强,等. 北京奥运期间极端天气气候事件背景分析[J]. 气象,2004,30(8):31-35.
- [2] 金磊. 北京奥运建设规划战略的安全减灾思考——兼议北京城市综合减灾规划的实施问题[J]. 北京联合大学学报(自然科学版),2002,16(1):12-16.
- [3] H. Felix Kloman. Risk management agonistes[J]. Risk Analysis,1990, 10(2):201-205.
- [4] 北京市气象局奥运期间突发气象灾害风险评估组. 北京市奥运期间突发气象灾害风险评估报告(初稿)[R]. 2007,15-70.
- [5] Saaty,Thomas L.. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process[J]. European Journal of Operation Research, 1990, 48(1): 9-26.
- [6] 卜广志,张宇文. 基于灰色模糊关系的灰色模糊综合评判[J]. 系统工程理论与实践, 2002,22(4): 141-144.
- [7] 周福. 德尔斐法在行业气象服务效益评估中的应用及结果分析[J]. 浙江气象科技,1996, 7(3):38-41.
- [8] 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,待发表.
- [9] 赵阿兴,马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究[J]. 自然灾害学报,1993,2(3):1-7.