

刘勇洪, 扈海波, 房小怡, 等. 冰雪灾害对北京城市交通影响的预警评估方法. 应用气象学报, 2013, 24(3): 373-379.

冰雪灾害对北京城市交通影响的预警评估方法

刘勇洪^{1)*} 扈海波²⁾ 房小怡¹⁾ 谢 璞³⁾

¹⁾(北京市气候中心, 北京 100089) ²⁾(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

³⁾(北京市气象局, 北京 100089)

摘 要

依据灾害学原理, 利用 1952—2011 年北京历史冰雪灾情资料分析构建了冰雪灾害对北京城市交通运行的预警评估指标体系: 发生时间、冰雪强度、交通脆弱度、预警能力和减灾能力, 利用层次分析法构建了城市冰雪灾害预警评估模型和评判标准, 并对北京历史上 38 次冰雪灾害事件进行了影响评估及研究分析。研究结果表明: 各预警评估因子对冰雪灾害影响贡献的权重分别为冰雪强度 0.4404、交通脆弱度 0.2789、减灾能力 0.1797、发生时间 0.05264、预警能力 0.0484, 建立的预警评估模型准确率达 76%。冰雪强度不再是唯一的决定性因子, 而是与城市化背景下的多种因素共同决定着冰雪灾害对北京城市交通运行的影响程度。

关键词: 城市交通运行; 冰雪灾害; 评估指标; 层次分析法; 预警评估模型

引 言

城市是一个有组织、高效率的社会, 但同时也是一个脆弱的社会, 其正常运行依赖于水、电、燃气、交通、通讯、物流等生命线, 任何一个环节出现问题都可能影响城市的安全运行。例如, 2001 年 12 月 7 日的一场小雪和 2010 年 9 月 17 日的一场小雨几乎造成北京城区交通的完全瘫痪, 凸显了天气灾害在大城市交通运行中的巨大威胁, 但生活中如此常见的小雨或小雪天气也能对城市交通安全造成重大影响, 表明致灾因子——天气灾害自身的强弱虽然仍是城市气象灾害中的重要因素, 但可能不再是唯一的决定因子, 而是与城市化背景下多种因子共同决定灾害的影响大小, 城市中的冰雪灾害则具有这种特性。国内早期对冰雪灾害的研究主要集中于牧区雪灾风险指标体系和预警模型的研究^[1-3]。2008 年我国南方发生罕见的低温雨雪冰冻灾害后^[4], 冰雪灾害的社会综合影响研究开始受重视, 万素琴等^[5]与刘兰芳等^[6]分别利用气象要素和灾情资料构建的综合指数来评估 2008 年冰雪灾害, 陈正洪等^[7]则以

社交媒体信息反映的社会应急响应程度来评估冰雪灾害。近年来不少学者开展了冰雪灾害的行业评估研究, 如冰雪灾害分别对电力系统^[8]、山区公路^[9]、森林^[10]与安全行车最高车速^[11]的影响评估。这些研究关注致灾因子——低温雨雪过程本身的影响和分析, 而对造成冰雪灾害的其他因素研究相对较少, 城市气象灾害方面的研究也多集中于综合灾害风险或突发性天气灾害事件的评估, 如对上海的综合风险评估与城市内涝暴雨的风险评估^[12-14]和对北京冰雹、暴雨积涝和雷电的安全风险评估^[15-17], 而对冰雪灾害的城市安全影响评估研究很少。北京是一个近两千万人口的特大型城市, 是我国的政治文化中心和交通枢纽, 冰雪灾害事件已经成为影响北京城市交通运行的重大自然威胁, 研究其在城市中的形成机制并开展其对北京城市交通运行的预警评估具有重要意义。

1 资料与灾害等级划分

1.1 资 料

冰雪灾害事件在这里定义为不论降雪的量级大

2012-03-26 收到, 2013-03-11 收到再改稿。

资助项目: 北京市科技计划项目(Z111100056811022), 北京市气象局“城市边界层观测分析与精细模式”创新团队项目

* email: lyh7414@163.com

小,只要对北京城市交通运行造成影响的冰雪事件,均为冰雪灾害事件。

以1952—2011年冰雪灾害事件作为研究样本,由于冰雪灾害影响范围为城区,因此本文主要考虑北京城六区(东城、西城、海淀、朝阳、石景山、丰台)的冰雪灾害事件,并采用其相应范围内的气象站点资料进行分析,这样就可以排除城区无降雪而北京郊区有冰雪灾害事件的样本。

灾情资料来源于北京市气象局档案馆《中国气象灾害大典(北京卷)》及《北京晚报》、《北京青年

报》、《法制晚报》等的灾情报道。

1.2 冰雪灾害等级划分

为确保建立的预警评估模型能准确反映冰雪灾害实际影响程度,需要对其进行等级划分。根据前面收集到的北京38个典型重要冰雪灾害事件资料,主要从陆面交通堵塞、航班延误和取消班次等方面并结合《北京市雪天交通保障应急预案》^[18]划分的雪天交通事件级别,可以将冰雪灾害对北京城市交通运行的实际影响程度划分为5个等级,如表1所示。

表1 冰雪灾害对北京城市交通运行影响等级划分

Table 1 Snow damage grades to Beijing urban transportation operation

等级	含义	表现	满足条件	典型冰雪灾害事件
1	轻微或无	市区局部路段出现车辆排队等候现象	陆面交通堵塞有所增加或影响不大,航班取消和延误5%班次以下	2004-12-16 小雪, 2002-12-15 小雪
2	一般	市区部分路段出现车辆排队等候现象,机场、火车站出现轻微旅客滞留现象	陆面交通堵塞明显增加,多条公交停驶、绕行,且航班取消和延误占当天班次5%以上	2010-02-06—07 小雪, 2011-02-26—27 大雪
3	较严重	市区主要道路出现车辆排队等候现象,交通堵塞明显,机场、火车站出现旅客滞留现象	交通指数 ^[19] 为8.5以上,且交通事故明显或40%以上高速公路国道关闭,且航班取消和延误占当天班次40%以上	1998-01-13—16 小雪, 2009-11-12 大雪
4	严重	市区大部分道路出现车辆排队等候现象,机场、火车站出现严重旅客滞留现象,进京货物车辆大量减少	交通指数为9.0以上,交通事故显著增加;或80%以上高速公路或国道关闭,且航班取消和延误班次占当天80%以上	1966-02-20—22 暴雪, 1998-11-21—22 大雪
5	非常严重	市区主要道路不具备车辆正常通行条件,城市交通几乎瘫痪	交通指数9.5以上,且持续时间5h以上;或大部分高速公路或国道关闭,且机场关闭2d以上	2001-12-07 小雪

本研究38个典型重要冰雪灾害事件发生主要集中于1990年以后,其中包括1990年前6个、1990—1999年9个、2000—2009年16个、2010—2011年7个,中后期灾害事件较前期明显偏多的主要原因是信息渠道的丰富和媒体报道的详实可靠。依据表1对冰雪灾害事件的等级划分结果表明:20世纪90年代中期到2010年,对北京城市交通运行影响等级不小于3(较严重)的冰雪灾害事件较多,2010年以后则有减小的趋势,这与北京快速的城市化进程及应急管理能力的提高密切相关。

2 评估指标的选取与计算

从灾害学原理出发,根据北京历史冰雪灾情资料,从孕灾环境、致灾强度、受灾体脆弱性、防灾减灾措施4个方面挑选冰雪灾害影响评估指标。查阅相关资料并根据实际情况,参考文献^[9]中的评价因子敏感程度评分表,按照每个影响因子的敏感程度,根据专家经验给出各个敏感程度对于引发冰雪灾害的评价分值(0~9之间的整数),分值越高,表明此因

子敏感程度对造成冰雪灾害影响越高。另外,对一些权重参数按专家经验给出0~1之间的系数值,值越高,表明该参数敏感程度对造成冰雪灾害影响越高。

2.1 孕灾环境

孕灾环境主要考虑冰雪灾害的发生时间 T ,灾害发生在不同时段,对城市交通运行状况差别有明显差异。对2009—2011年冰雪灾害事件发生后的交通指数^[19]研究表明:交通指数对发生在早高峰的降雪事件比发生在晚高峰敏感。发生时间对冰雪灾害的影响程度评分值见表2,表中时间均为北京时,下同。

表2 冰雪灾害发生时间的评分值

Table 2 Evaluation marks of snow damage occurrence time

敏感程度	发生时间	评分值
轻微	20:00—次日06:00	1
低	节假日白天及周末白天	3
中	工作日白天	5
较高	长假第1天和结束前1天,晚高峰	7
很高	早高峰,周五下午及20:00前	9

2.2 致灾因子

致灾因子主要考虑冰雪天气事件发生的强度大

小,定义为冰雪强度 I_s 。冰雪强度一般与降雪量、积雪深度、积雪持续时间、雪后降温程度等诸多因素有关。本文主要从过程降雪量 P 、积雪深度 H 和过程平均气温 T_a 等影响因子来反映冰雪强度 I_s , 定义

$$I_s = 0.40P + 0.35H + 0.25T_a \quad (1)$$

其中,没有降雪天气发生时, $I_s = 0$ 。降雪量 P 、积雪深度 H 和平均气温 T_a 的评分值及计算的冰雪强度对冰雪灾害的影响程度评分值见表 3。

冰雪强度 I_s 模型中系数确定主要参考了陈正

洪^[7]、刘明明等^[9] 和李蕊等^[20] 关于积雪深度、降雪量、气温与结冰等对雪灾重要性关系的研究。降雪量 P 的等级划分主要参考了《北京市雪天交通保障应急预案》中关于小雪、中雪、大雪和暴雪以及 2012 年国家标准《降水量等级标准》(GB/T28592—2012)特大暴雪的等级划分。积雪深度 H 的等级划分主要参考了一般情况下积雪深度与降雪量的对应关系,大于 18 cm 对应的很高等级参考了陈正洪的研究结果^[7]。平均气温 T_a 的等级划分主要参考了陈正洪^[7] 与刘明明等^[9] 的研究结果。

表 3 降雪量、积雪深度、平均气温和冰雪强度的评分值

Table 3 Evaluation marks of snowfall, snow depth, average air temperature and ice and snow intensity

敏感程度	P/mm	P 评分	H/cm	H 评分	$T_a/^\circ C$	T_a 评分	I_s	I_s 评分
无	0	0	0	0	>2.0	0	0	0
轻微	0.1~0.9	1	0.1~1.0	1	0.1~2.0	1	0.01~1.50	1
低	1.0~2.4	3	1.1~3.0	3	-1.9~0	3	1.51~3.50	3
中	2.5~4.9	5	3.1~5.0	5	-6.9~-2.0	5	3.51~5.50	5
较高	5.0~9.9	7	5.1~8.0	7	-14.9~-7.0	7	5.51~7.25	7
高	10.0~30.0	8	8.1~18.0	8	-28.0~-15.0	8	7.26~8.25	8
很高	>30.0	9	>18.0	9	<-28.0	9	>8.25	9

2.3 受灾体脆弱性

受灾体脆弱性主要从受灾体交通网络的脆弱性来考虑,定义为交通脆弱度 V_T 。交通脆弱度既要考虑当前分布的空间路网参数 R , R 定义为该空间单元内按不同道路的类型及道路的长度核算该单元内包含的路网信息,还需考虑时间上交通发展状况,可以用交通发展系数 C_T 来衡量。定义

$$V_T = R \times C_T \quad (2)$$

式(2)中,当前路网参数 R 直接引用扈海波等^[21] 路网脆弱性指数的归一化结果值(0~1),交通发展系数等级划分主要根据北京机动车数量发展历程和路网发展的时间历程综合考虑。交通发展系数 C_T 和计算的交通脆弱度 V_T 各个阶段对冰雪灾害影响程度的评价分值见表 4。

表 4 交通发展系数及交通脆弱度的评分值

Table 4 Evaluation marks of transportation development coefficient and traffic vulnerability

敏感程度	时段	C_T 评分	V_T	V_T 评分
轻微	1983-12 以前	0.2	<0.20	1
低	1984-01—1995-12	0.4	0.20~0.40	3
中	1996-01—2002-12	0.6	0.41~0.60	5
较高	2003-01—2007-02	0.8	0.61~0.80	7
很高	2007-03 至今	1.0	>0.80	9

2.4 防灾措施

防灾措施主要从冰雪天气过程的预报预警能力

考虑,定义为预警能力 W 。预警能力 W 既要考虑冰雪天气过程的预报准确率 Q ,还要考虑这种预报预警信息在社会大众中的传播能力,定义为信息传播能力 I 。定义为

$$W = 0.6Q + 0.4I \quad (3)$$

式(3)中,预报预警质量 Q 、信息传播能力 I 和预警能力 W 各个阶段对冰雪灾害的影响程度的评分值见表 5。预报预警质量主要与降雪量的预报等级、预报时效和漏报等密切相关。其中降雪量预报等级初步划分为 6 个等级,包括 1 级为零星小雪(或山区有雪)、2 级为雨夹雪、3 级为小雪、4 级为中雪、5 级为大雪、6 级为暴雪。信息传播能力与传播手段(电话、手机、预警广播、网络)和信息覆盖面密切相关。信息传播能力主要根据北京信息传播发展的时间历程考虑。

2.5 减灾措施

减灾措施主要指冰雪灾害发生后,所采取的除冰除雪和交通疏导措施,定义为减灾能力 D_R 。由于冰雪灾害对城市陆面交通影响很大,但这种影响是可以通过人为措施减轻或消除的。因此,只要减灾措施得当,就可将强度很大的冰雪事件影响降到最低限度,这与突发性天气灾害如暴雨、冰雹和大风的减灾效果差别显著。减灾能力既要考虑当前减灾能

力在空间上存在的明显差异,定义为当前减灾指数 D_0 ,又要考虑不同时间上减灾措施发展状况,定义为减灾发展系数 R_d 。定义减灾能力

$$D_R = 1 - D_0 \times R_d, \quad (4)$$

式(4)中,当前减灾指数 D_0 可以简单地用当前国内生产总值(GDP)来反映,在这里直接引用扈海波的地均 GDP(单位:万元/km²)数据^[16]进行估算,即地

均 GDP 越高,该地 D_0 越高,抗灾能力越强,其敏感程度对造成冰雪灾害影响也越低。减灾时间系数等级划分主要是根据北京市政府历年来对冰雪灾害的管理和防范措施以及制定的相关冰雪灾害应急预案办法等。当前减灾指数 D_0 、减灾发展系数 R_d 及估算的减灾能力 D_R 各个阶段对冰雪灾害的影响程度的评分值见表 6。

表 5 预报预警质量、信息传播能力和预警能力的评分值

Table 5 Evaluation marks of prediction and warning quality, information spread capability and warning capability

敏感程度	Q	Q 评分	时段	I 评分	W	W 评分
轻微	提前 24 h 以上冰雪及量级预报预警	1	2009-09 至今	1	≤1.80	1
低	提前 12 h 以上冰雪预报预警或与预报降雪量差 1 个等级以下	3	2003-04—2009-08	3	1.81~3.80	3
中	12 h 前漏报平原雪而降雪量达小雪或与预报降雪量差 2 个等级	5	1995-01—2003-03	5	3.81~5.80	5
较高	6 h 前漏报平原雪而降雪量达中雪或与预报降雪量差 3 个等级	7	1985-01—1994-12	7	5.81~7.80	7
很高	6 h 前漏报雪而降雪量达大雪以上量级	9	1984-12 以前	9	>7.80	9

表 6 当前减灾指数、减灾发展系数和减灾能力的评分值

Table 6 Evaluation marks of current disaster reduction index, disaster reduction development coefficient and disaster reduction ability

敏感程度	D_0	D_0 评分	时段	R_d 评分	D_R	D_R 评分
轻微	>100000	0.9			≤0.10	1
很低	50001~100000	0.8	1993-12 以前	0.2	0.11~0.20	2
低	10001~50000	0.6	1994-01—2001-12	0.4	0.21~0.40	3
中	2001~10000	0.4	2002-01—2004-11	0.6	0.41~0.60	5
较高	500~2000	0.2	2004-12—2010-10	0.8	0.61~0.80	7
很高	<500	0.1	2010-11 至今	1.0	>0.80	9

3 基于层次分析法的评估模型构建

层次分析法是一种定性定量相结合、系统化、层次化的分析方法,被广泛用于各类评估中^[22-24]。该方法将复杂问题分解为若干层次和若干因素,对两两指标之间的重要程度作出比较判断,建立判别矩阵,通过计算判别矩阵的最大特征值以及对应特征向量,就可得出不同方案重要性程度的权重,为最佳方案的选择提供依据。灾害或风险评估通常包括以下步骤:①构建层次模型中所需的评估指标体系;②建立判别矩阵确定指标权重;③建立评估模型并进行分级。

3.1 权重确定

在上述冰雪灾害评估指标构建的基础上,采用层次分析法中的 Saaty 标度方法^[25-26]通过来自气象、农业、规划、交通等方面的 8 位专家和 2 位社会普通百姓对各评估指标相互之间的重要性进行评判,建立判别矩阵,计算得到矩阵的一致性指标为

0.0174,明显小于 0.1,一致性检验合格。5 项评估指标的权重包括:冰雪强度为 0.4404,交通脆弱度为 0.2789,减灾能力为 0.1797,发生时间为 0.0526,预警能力为 0.0484。

从权重结果可知,致灾因子中冰雪强度虽然仍是最重要因素,但不再成为冰雪灾害的决定性因素,其他 4 个因子的综合权重贡献超过了冰雪强度的权重贡献。其次是交通脆弱度,表明提高大城市综合交通体系的现代化和交通管理水平对降低交通路网的脆弱性具有重要意义。排名第三的减灾能力权重达 0.15 以上,表明加强城市尤其是大城市灾害应急减灾管理的重要性。发生时间和预警能力指标的权重则接近,小于前 3 项,在一定条件下仍能影响灾害的严重程度。

3.2 评估模型构建及分级

根据层次结构分析法,最终建立的冰雪灾害预警评估模型为

$$A = 0.4403I_S + 0.2789V_T + 0.1797D_R + 0.0526T + 0.0484W. \quad (5)$$

式(5)中, A 为灾害评估指数值, I_s 为冰雪强度, V_T 为交通脆弱度, D_R 为减灾能力, T 为发生时间, W 为预警能力。 A 值越高, 冰雪灾害对城市交通运行影响越大, 并按表 7 中分级标准, 确定相应的冰雪灾害对城市交通运行的预警评估等级。

表 7 冰雪灾害预警评估等级划分

Table 7 Snow damage warning and evaluation grades

影响等级	A	评估等级
轻微或无	<4.00	1
一般	$4.00\sim5.50$	2
较严重	$5.51\sim6.50$	3
严重	$6.51\sim7.50$	4
非常严重	>7.50	5

3.3 模型效果检验及评估结果

利用建立的预警评估模型(式(5))对 1952—

2011 年 38 次冰雪事件包括 8 次小雪、13 次中雪、8 次大雪和 9 次暴雪天气过程进行评估, 评估结果如表 8 所示。以表 1 标准确定的实际评估等级对模型评估结果进行验证, 准确率为 76% (29 次准确), 其中近 10 年(2002—2011 年)发生的 19 次冰雪事件 17 次评估准确, 准确率为 89%, 表明该模型能较好地反映冰雪灾害对北京城市交通安全运行的影响程度。经过分析, 误差产生的原因主要包括以下几个方面: ①模型本身的不完善, 模型中各评估指标的等级划分相对主观、粗糙, 且权重存在较大不确定性, 这可能是造成误差的最重要原因; ②灾情资料不完善, 按照表 1 评定的实际等级可能不合实际情况; ③评估等级标准划分的不确定性, 具有一定主观性, 造成在阈值附近的灾害事件划分产生误差。

表 8 冰雪灾害事件的模型评估结果与实际评估结果对比

Table 8 Comparison between model evaluation result and actual evaluation result of different snow damage events

小雪			中雪			大雪			暴雪		
时间	评估等级		时间	评估等级		时间	评估等级		时间	评估等级	
	模型	实际		模型	实际		模型	实际		模型	实际
2010-02-06—07	2	2	2011-12-02	2	2	2011-02-26—27	2	2	2010-03-14—15	3	3
2007-12-10	2	2	2011-02-13	3	2	2009-11-12	3	3	2010-01-02—03	3	3
2004-12-16	1	1	2011-02-10	2	2	2009-02-17—19	3	3	2009-11-09—10	3	3
2002-12-15	1	1	2006-12-30—31	2	2	2002-12-19—24	3	3	2009-10-30—11-01	3	3
2001-12-07	2	5	2004-12-22—24	3	3	2001-01-05—08	3	4	2005-02-15—18	3	3
1998-01-13—16	3	3	2000-01-11—12	3	3	1998-11-21—22	4	4	2003-11-05—07	4	3
1994-02-11	1	1	2000-01-03—05	3	3	1997-12-05—06	3	3	1979-02-22—23	3	3
1991-11-26—27	1	2	1997-01-03—04	3	2	1989-01-05—06	3	4	1966-02-20—22	3	3
			1996-12-31—1997-01-01	2	2				1959-02-24—26	3	4
			1994-02-14—15	2	2						
			1993-11-19	3	2						
			1986-02-17	2	2						
			1952-12-18—19	3	3						

小雪对城市交通的影响一般评估为等级 1~3, 但等级 3(较严重)的情况较少。如 1998 年 1 月 13—16 日的小雪天气过程由于气温较低, 计算出的冰雪强度高于其他小雪天气过程, 从而使评估结果为 3(较严重), 与实际情况(雪后降温道路覆冰, 发生上千起汽车追尾事故)相符, 凸显了降雪后低温结冰能力对城市交通的影响。而 2001 年 12 月 7 日发生的小雪造成的北京市交通瘫痪与模型评估相差较大, 属于特殊情况, 孙继松等^[27]专门分析了此次灾害造成的原因。

中雪对城市交通的影响一般评估为等级 2 和等级 3。如 1994 年 2 月 14—15 日发生的中雪天气过程虽然冰雪强度与其他中雪天气过程相近, 但由于发生在春节初五、初六期间, 使其对城市交通运行影

响减小, 评估结果为等级 2(一般)与实际相符, 凸显了灾害发生时间的影响。

大雪对城市交通的影响一般评估为等级 2~4, 但等级 2(一般)的情况较少。如 2011 年 2 月 26—27 日(周六和周日)的大雪, 在提前做出较准确的天气预报和道路结冰黄色预警前提下, 使得大雪对城市交通运行影响程度与评估结果等级 2(一般)相符, 凸显了发生时间、减灾能力和预警能力等非致灾因子的共同影响作用。

暴雪对城市交通的影响一般评估为等级 3 或等级 4, 其中 20 世纪 90 年代前由于预警能力与减灾能力的薄弱, 一场暴雪通常会造造成城市交通遭遇大面积冰雪灾害而使交通受阻较为严重, 如 1959 年 2 月 24—26 日的暴雪造成全城通行困难。20 世纪 90

年代后,尤其是北京2001年12月7日小雪造成的交通瘫痪后,城市应急管理迅速发展、加强,预警能力和减灾能力均有显著提升,暴雪天气的影响范围有所降低,较少出现全城交通瘫痪状况,但由于城市发展伴随的资源和财富高度聚集趋势,暴雪影响的程度和损失却呈加重趋势。

4 结论与讨论

通过对北京历史冰雪灾情资料的分析,依据灾害学原理构建了冰雪灾害对北京城市交通运行的预警评估指标体系,并利用层次分析法构建了城市冰雪灾害预警评估模型和评判标准,对历史上38次冰雪灾害事件进行了影响评估及研究分析,得到如下结论:

1) 发生时间、冰雪强度、交通脆弱度、预警能力和减灾能力各指标能较好地反映冰雪灾害对城市交通运行的影响程度,其对冰雪灾害的影响权重分别为0.0526, 0.4404, 0.2789, 0.0484和0.1797。

2) 冰雪强度依然是最重要的因素,但不再是冰雪灾害对城市交通运行影响的唯一决定性因子,其他评估因子的综合影响超过了冰雪强度。而交通脆弱度和减灾能力因子分别排名第二、第三,表明加强城市交通现代化建设和城市应急减灾管理的重要意义。

3) 以层次分析法建立的预警评估模型准确率达到76%,表明该预警评估模型能较好反映冰雪灾害对城市交通的影响。

4) 评估分析还表明:不同量级的降雪过程对北京城市交通运行预警评估的等级范围(从轻到重,共5级)一般为小雪1~3级,中雪2~3级,大雪2~4级,暴雪3~4级,极端情况下会出现5级。

在建立各分指标过程中,虽然有文献可供参考,但仍存在主观性较强、分级较粗糙等不足,如何建立更加客观、细化的分指标计算方法是进一步改善模型要做的工作,这需要更多的个例并采用不同方法建立各指标与影响因子的关系,以便定量、动态地估算或进行更细致的等级划分。另外,层次分析法在建立评估模型上需要一定数量的专家参与打分来确定权重,也存在主观性较强等不足,可以采用灾害风险评估中的常用方法,如灰色关联法^[28-29]等以更加客观、定量的方式改善评估模型。

致谢:感谢北京市气象台张明英高级工程师、杨波高级工程师和北京市气象服务中心张姝丽高级工程师对本研究提出宝贵意见和建议。

参考文献

- [1] 张国胜,伏洋,颜亮东,等.三江源地区雪灾风险预警指标体系及风险管理研究.草业科学,2009,26(5):144-150.
- [2] 王江山,周咏梅,赵强,等.青海省牧区雪灾预警模型研究.灾害学,1998,13(1):30-33.
- [3] 周秉荣,李凤霞,申双和,等.青海高原雪灾预警模型与GIS空间分析技术应用.应用气象学报,2007,18(3):373-393.
- [4] 王凌,高歌,张强.2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析I.气候特征与影响评估.气象,2008,34(4):95-100.
- [5] 万素琴,周月华,李兰,等.低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术.气象,2008,34(11):40-46.
- [6] 刘兰芳,陈涛,刘沛林.年冰雪灾情评估及形成机制分析.防灾科技学院学报,2008,10(2):61-66.
- [7] 陈正洪.社会对极端冰雪灾害响应程度的定量评估研究.华中农业大学学报:社会科学版,2010,87(3):119-122.
- [8] 张恒旭,刘玉田.极端冰雪灾害对电力系统运行影响的综合评估.中国电机工程学报,2011,31(10):52-58.
- [9] 刘明明,潘建平,杨海明.山区公路冰雪灾害预警评估模型研究.公路交通技术,2011(3):27-30.
- [10] 高岚,谭李斌.森林冰雪灾害损失评价指标体系研究.广东农业科学,2010,37(11):232-235.
- [11] 程国柱,莫宣艳,毛程远.冰雪条件下城市道路交通安全评价方法研究.交通运输系统工程与信息,2011,11(1):130-134.
- [12] 殷杰,尹占娥,许世远.上海市灾害综合风险定量评估研究.地理科学,2009,29(3):450-453.
- [13] 谭艺渊.城市灾害风险评估及管理对策探讨——以上海市为例.北京城市学院学报,2011(2):9-14.
- [14] 尹占娥,许世远,殷杰,等.基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估.地理学报,2010,65(5):553-562.
- [15] 扈海波,董鹏捷,熊亚军,等.北京奥运期间冰雹灾害风险评估.气象,2008,34(12):84-89.
- [16] 扈海波,轩春怡,诸立尚.北京地区城市暴雨积涝灾害风险评估.应用气象学报,2013,24(1):99-108.
- [17] 郭虎,熊亚军.北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划.应用气象学报,2008,19(1):35-40.
- [18] 北京市交通委员会.北京市雪天交通保障应急预案.[2011-06-04]. http://www.bjjtw.gov.cn/gzdt/yjgl/yjya/201106/t20110603_42160.htm.
- [19] 北京市交通委员会.交通指数解读.[2011-04-10]. <http://www.bjjtw.gov.cn/bmfw/jtzsjd/>.
- [20] 李蕊,牛生杰,汪玲玲,等.三种下垫面温度对比观测及结冰气象条件分析.气象,2011,37(3):325-333.
- [21] 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.应用气象学报,2010,21(6):732-738.
- [22] Saaty T L. The Analytical Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [23] 扈海波,王迎春,熊亚军.基于层次分析模型的北京雷电灾害风险评估.自然灾害学报,2010,19(1):104-109.
- [24] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法的研究与应用.中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.

- [25] Saaty T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operation Research*, 1990, 48 (1): 9-26.
- [26] 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. *气象*, 2008, 34(2): 77-82.
- [27] 孙继松, 梁丰, 陈敏, 等. 北京地区一次小雪天气过程造成路面交通严重受阻的成因分析. *大气科学*, 2003, 27(6): 1057-1066.
- [28] 扈海波, 董鹏捷, 潘进军. 基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划. *应用气象学报*, 2011, 22(5): 612-620.
- [29] 卞洁, 李双林, 何金海. 长江中下游地区洪涝灾害风险性评估. *应用气象学报*, 2011, 22(5): 604-611.

Early Warning and Evaluating Impacts of Ice and Snow Disasters on Beijing Urban Transportation

Liu Yonghong¹⁾ Hu Haibo²⁾ Fang Xiaoyi¹⁾ Xie Pu³⁾

¹⁾ (*Beijing Municipal Climate Center, Beijing 100089*)

²⁾ (*Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089*)

³⁾ (*Beijing Municipal Meteorological Service, Beijing 100089*)

Abstract

Using urban historical damage data of ice and snow from 1952 to 2011, the snow damage grades to Beijing urban transportation operation is built for the assessment on the accuracy of the following ice and snow warning and evaluation model. Based on disaster science principal combining with historical damage data, warning and evaluation indices of ice and snow damage to Beijing urban transportation operation are selected which are time, ice and snow intensity, traffic vulnerability, warning ability and disaster reduction ability. Ice and snow intensity can be determined by snowfall, snow depth and air temperature. Traffic vulnerability is determined by road network density and its time evolution. Warning ability is mainly determined by weather forecast quality and its information spreading ability. Disaster reduction ability can be estimated by the gross domestic product and its time evolution. From the sensitive of these factors to snow disaster, method of experts marking is applied to computing and grades division of the single related factor and the comprehensive indices. Using judging-matrix of analytic hierarchy process (AHP) method, weights of four comprehensive evaluation indices are computed. Weights of four indices are ice and snow intensity with 0.4404, traffic vulnerability with 0.2789, disaster reduction ability with 0.1797, time with 0.05264 and warning ability with 0.0484, respectively. And Beijing urban ice and snow disaster warning and evaluation model is also constructed using AHP method. Using the model, 38 samples of historical ice and snow disaster events in Beijing are evaluated. The total accuracy is 76% and the accuracy in recent ten years (2002—2011) is 89% which shows the model can simulate effectively the impact of ice and snow disaster on Beijing urban area. The analysis of index weights shows that the hazard factor is still the major factor but not the only determinant factor of urban ice and snow disaster, as the total contribution of the other four factors to snow disaster overtakes the contribution of hazard factor. The ice and snow intensity as hazard factor affects Beijing urban transportation operation together with other factors under urbanization process such as transportation and disaster emergency management. The analysis of assessment on historical snow disaster events shows that under the influence of other factors, even light snow is able to cause serious damage on urban transportation operation and heavy snow perhaps only has medium effects.

Key words: urban transportation operation; ice and snow disaster; evaluation indices; AHP; warning and evaluation model