

高速公路低能见度危险性评价方法比较

李蔼恂 柳艳香 邵婧婧

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 利用1980—2014年全国能见度定时观测资料, 分别选择熵权法、等级赋值法和专家打分法三个方案, 建立我国高速公路路网的低能见度危险性评价模型, 并分析各方案高速公路低能见度危险性评价结果的合理性。分析结果表明, 1) 客观评价方案(熵权法)和半客观评价方案(等级赋值法)的危险性评价结果能更为准确、合理地反映我国低能见度灾害分布情况, 均优于主观评价方案(专家打分法)的结果; 且专家打分法方案结果在局部区域的合理性较差。2) 选择分等级低能见度出现频率作为危险性评价指标, 考虑了低能见度对高速公路交通的影响程度, 其评价结果更为合理。

关键词: 高速公路, 低能见度, 危险性, 熵权法, 等级赋值法, 专家打分法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.002

Comparison Among Three Assessment Methods for Low Visibility Hazards on Highway

Li Aixun, Liu Yanxiang, Gao Jingjing

(China Meteorological Administration Public Meteorological Service Center, Beijing 100081)

Abstract: Based on the visibility observation data at meteorological stations in China during 1980-2014, three assessment methods were compared for low visibility hazard model on Highways in China. The analytical results indicate that the model output from the entropy weight method can reflect the distribution of low visibility disaster in China, and is the best one. The entropy weight method and ranking evaluation method were better than the expert scoring method. What's more, we found that the evaluation result was more reasonable when the occurring frequency of low visibility events was divided into grads to be the hazard evaluation index.

Keywords: highway, low visibility, hazard, entropy weight method, ranking evaluation method, expert scoring method

0 引言

低能见度是影响高速公路交通安全的主要气象灾害, 通常由浓雾、强降水(降雨和降雪)和沙尘暴等天气引起, 会使驾乘人员产生严重的视程障碍^[1,2]。不同低能见度条件对高速公路交通影响程度不同, 轻则导致交通运输的中断, 重则引发交通事故特别是连环碰撞交通事故, 造成不良的社会影响和巨大的经济损失。随着高速公路里程不断延伸, 低能见度对公路交通行车的影 响越来越大, 因此亟需开展高速公路低能见度灾害风险评估方面的研究。

气象灾害风险是指气象灾害事件发生的可能性以及由其造成后果的严重程度^[3], 是由危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个方面共同作用的结果。其中灾害危险性, 即导致灾害可能发生的风险

源, 在根本上决定了灾害风险是否存在, 且在量上影响该种风险的大小^[4], 因此灾害危险性评价结果的合理性决定了整个灾害风险评估结果的合理性。目前我国学者已在这方面做了一些工作。白媛等^[5]通过对低能见度灾害案例梳理, 构建由大雾、暴雨、沙尘暴和降雪四个灾种构成的低能见度灾害致灾因子分类系统, 并形成我国低能见度灾害类型-频度图; 史军等^[6]采用层次分析法和专家调查法, 选择1971—2000年的雾日数、雾持续时间和能见度, 建立了上海市大雾风险评价指标体系, 并形成大雾风险区划图; 扈海波等^[7]基于1996—2006年大雾资料, 选择雾日数作为城市交通雾灾危险性评价指标, 并采用经验估值方法确定指标权重, 建立了北京市交通的雾灾风险区划; 王伟等^[8]考虑了雾的出现频率、持续时间和能见度三个参数, 选择赋值法确定权重系数, 提出了我国的雾标准化危险性指数(NFHI)计算方法, 并建立了京津塘高速公路沿线雾的标准化危险性指数。这些工作作为后续研究提供了很好的指导, 但大部分研究主要

收稿日期: 2016年8月30日; 修回日期: 2017年6月1日
第一作者: 李蔼恂(1985—), Email: liaixun@163.com
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406029)

是集中在雾对高速公路交通的风险研究，而未对其他气象灾害引发的低能见度风险进行研究；在空间尺度上多为区域、省（区、市）范围^[9-11]；且在确定指标权重时多采用主观评价方法（专家打分法和经验估值法等）。

为了寻求客观定量化的高速公路低能见度危险性评价计算方法，本文基于1980—2014年全国能见度定时观测资料，探讨分级低能见度发生频率和强度的时空分布特征；从灾害危险性的客观评价方案和主观评价方案出发，选择熵权法作为客观评价方案，等级赋值法作为半客观评价方案，专家打分法作为主观评价方案，尝试构建适用我国高速公路路网的低能见度危险性评价模型，并比较分析三种方案危险性评价结果的合理性，为我国高速公路低能见度灾害风险评估及公路交通安全运营管理的防灾减灾工作提供更合理的研究依据。

1 数据和方法

1.1 数据

本研究所用数据资料为1980—2014年（共35年）全国国家地面观测站的能见度定时（每日02、08、14和20时）观测数据。由于高山地区低能见度多由大雾天气引发，且具有发生频率高、强度强的特点^[12]，但其远离高速公路，对高速公路行车安全无影响，因此剔除包括吉林天池、安徽黄山、安徽九华山、河南嵩山及四川峨眉山等高山站点的数据。

1.2 评价指标

自然灾害危险性是指造成灾害的自然变异的程度，主要是由灾变活动规模（强度）和活动频次（概率）决定^[13]。本文定义能见度低于500 m时为低能见度，会对高速公路交通运行造成不利的影 响；并选取低能见度的强度和出现频率作为其危险性的评价指标。

参照《高速公路交通气象条件等级》（QX/T 111—2010）^[14]中雾、强降水和沙尘暴引起的低能见度对高速公路影响的等级划分标准；虽然能见度 $V \leq 50$ m对高速公路交通运行有严重影响，但由于国家地面观测站的能见度历史观测数据精度为0.1 km，无法对能见度低于100 m的情况进行分级。最终将低能见度划分为3级（表1）。

表1 低能见度对高速公路影响的等级划分^[14]
Table 1 Grades of low visibility on highway

能见度等级	分级指标	对高速公路交通运行影响
1级	200 m < V ≤ 500 m	稍有影响
2级	100 m < V ≤ 200 m	有一定影响
3级	V ≤ 100 m	有较大影响

1.3 计算方法

1.3.1 标准化处理

为令评价指标无量纲化，采用极值法对评价指标进行标准化处理，得到各指标标准化值：

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

式中， X_i 为标准化后的值， x_i 为原始值， x_{\min} 、 x_{\max} 分别为指标原始样本的最小值和最大值。

1.3.2 指标权重确定方案

(1) 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法，是用熵权表示评价指标的相对重要程度。该方法是根据各指标信息载量的大小来确定指标的权重，完全基于数据本身特性。认为评价指标的差异程度越大，表明该指标提供的有效信息量越大，该指标的权重相应也越大；反之，指标的权重则较小。具有计算量小，能够综合考虑同一个指标多个评价对象之间的联系，削弱了异常值影响等优点，减少了人为主观性对评价过程的干扰^[15]。

由于将低能见度进行分等级时，已考虑了能见度强度因素，1、2和3等级对应低能见度强度由小及大，因此分别选取1、2和3级的低能见度出现频率作为危险性风险评价的指标层。采用熵权法确定各级低能见度出现频率间的权重，加权综合评价法确定危险性指数，计算公式如下：

$$H_{\text{方案一}} = \sum_{i=1}^3 F_i \times W_i, \quad i=1,2,3, \quad (2)$$

式中， F_i 为第*i*级能见度年均出现频率值， W_i 为对应第*i*级能见度出现频率的权重。

(2) 等级赋值法

一般灾变强度越大，频次越高，灾害所造成的破坏损失越严重，灾害的风险也越大^[13]。等级赋值法基于该思想，根据指标的等级大小来确定指标的权重，即指标的等级越高，表明其强度越大，频次越高，造成的风险越大，则该等级的权重相应也越大。1、2和3等级对应低能见度强度由小及大，各等级低能见度出现频率权重的计算公式如下：

$$W_i = \frac{i}{\sum_{i=1}^3 i}, \quad i=1,2,3, \quad (3)$$

式中， W_i 为对应第*i*级能见度出现频率的权重。

而后采用加权综合评价法确定低能见度危险性指数，计算同式2。

(3) 专家打分法

专家打分法是综合多名专家的专业研判与主观经验，对研究问题进行判断而量值的方法。通常采用

Saaty标度方法^[16],对参与打分的所有因子进行两两比较并赋值。如,A1和A2指标同等重要,则打分为1;若A1比A2绝对重要则打分9,即数字越大,表明A1就越重要,反之则为1/9。数字2、4、6、8的重要性分别介于1、3、5、7、9之间。最后对计算出的权重进行一致性检验,保证了打分结果在逻辑上的合理性^[13]。

考虑到若选择各等级低能见度发生频率作为评价指标进行专家打分,得到的权重结果会与方案一或方案二的结果近似,因此在专家打分法方案中选取低能见度($V \leq 500$ m)的出现频率和强度作为危险性评价指标,并根据专家打分结果确定低能见度致灾因子间的权重,采用加权综合评价法确定危险性指数,计算公式如下:

$$H_{\text{方案三}} = F \times W_F + V \times W_V, \quad (4)$$

式中, F 为低能见度年均频率, V 为低能见度年均强度, W_F 和 W_V 分别为年均频率和强度对应的权重。

为了全面分析评估低能见度灾害对高速公路交通带来的危险性,综合考虑了打分专家的研究领域(包括气象方向和公路交通方向)、地域(南方地区和北方地区)等方面,邀请了24位专家参与打分。北方地

区专家共14人,其中气象和公路交通方向的专家各7人;南方地区专家共10人,其中气象、公路交通方向的专家分别为3和7人;所有专家均为高级工程师以上职称,其中具有正研级高工和研究员职称的人员占37.5%。由于有2位专家的打分结果没有通过一致性检验,不具备有效性,最终有效打分共22份。具体高速公路低能见度风险危险性不同领域、不同地域专家打分结果的比较分析详见柳艳香等^[17]的文章。

2 低能见度时空分布特征

从1980—2014年我国能见度年均频率的地理分布特征(图1)来看,低能见度发生频率的空间分布具有明显的地域特征,东部高西部低,大雾是其主要原因,其次是强降水和沙尘暴天气。我国内蒙古东北部、东北北部、华北南部、黄淮、江淮、江南大部、华南中部和南部、西南地区东部和南部、西北地区东部以及新疆北疆东部等地低能见度频发,各等级低能见度的发生频率均为高值区,多由大雾和强降水天气引起。另外,新疆南疆盆地和内蒙古西南部也是低能见度多发区,主要是由沙尘暴天气引起,其中新疆南疆盆地的能见度值相对较高,多集中在200~500 m,

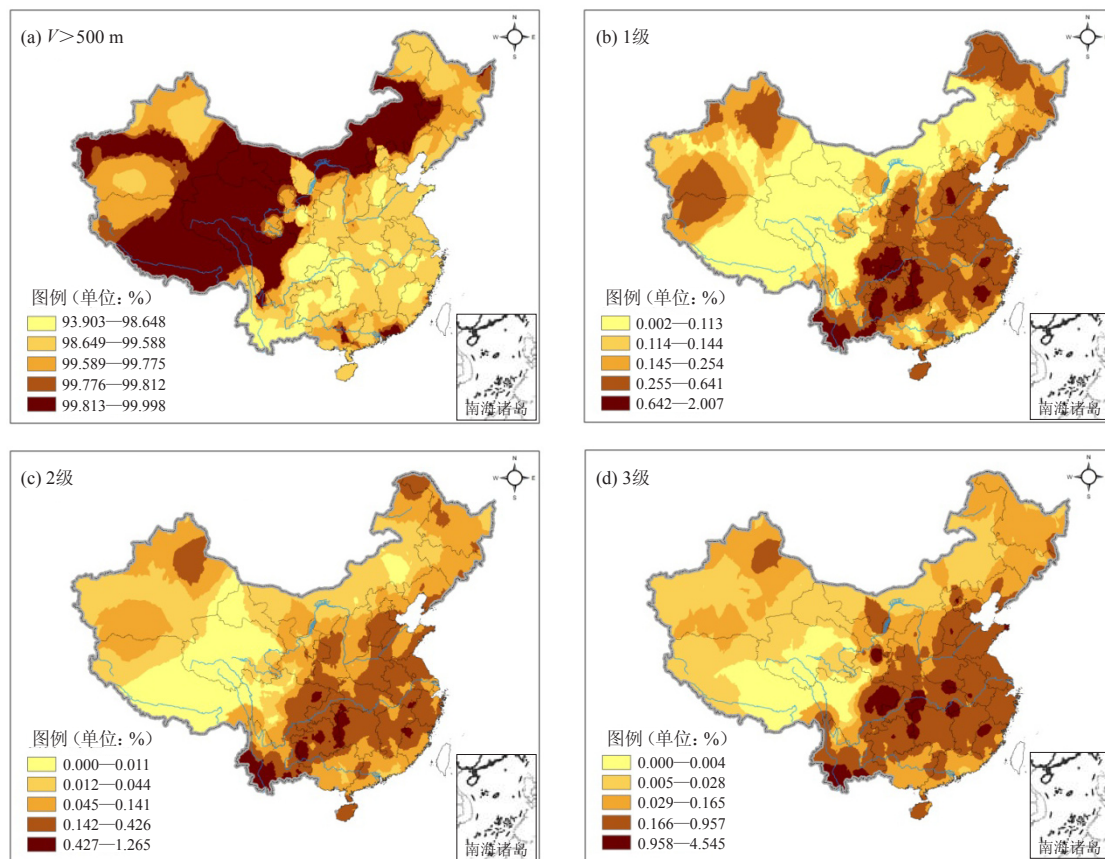


图1 1980—2014年能见度年均频率分布
Fig. 1 Maps of average annual frequency of visibility for 1980-2014

内蒙古西南部的能见度值低，小于等于100 m的频率高；而内蒙古大部、西北地区中部、西藏东部和西南地区北部低能见度的发生频率低。

从图1a可看出，全国各地能见度高于500 m的年均发生频率均大于93.903%，即全年至少约有342.7天的能见度情况对交通出行无影响；且均可能受到低能见度 ($V \leq 500$ m) 的影响，但年均发生频率均低于6.097%。从各等级低能见度高发区的发生频率上看，3级 ($V \leq 100$ m) 最高，为0.958%~4.545%；1级 ($200 \text{ m} < V \leq 500 \text{ m}$) 次之，为0.642%~2.007%；2级 ($100 \text{ m} < V \leq 200 \text{ m}$) 最低，分布范围也最小，为0.427%~1.265%。其中，3级的低能见度高发区分布在甘肃东南部、河南东南部、福建中西部、湖北东南部和西南部、湖南西部、四川盆地东部以及云南南部等地的局部地区；2级高发区分布在安徽南部、福建东南、湖南西部、四川东北部、贵州西部和中部以及云南南部的局部地区；1级的高发区分布在河北南部、陕西中西部、安徽东南部、福建中西部、湖南西部、四川东部、贵州西部和东南部以及云南南部等地的部分地区。

从低能见度年均强度分布情况 (图2) 来看，1级中，年均强度低值约为372.18~396.28 m，主要分布在内蒙古中西部、西北地区东部、辽东半岛、华北中部、山东半岛、江汉、黄淮大部、江南大部、西南地区东部、华南北部、雷州半岛等地。其中，内蒙古中西部和西北地区东部的低能见度主要由沙尘暴和强降雪天气导致，华南北部和雷州半岛的是由强降雨天气导致，其他地区多由大雾天气导致。2和3级的低值约为57.64~107.45 m，主要出现在华北南部、黄淮东部、江淮大部、江汉、四川盆地东部等地，大雾天气是其主要原因。

3 低能见度危险性评价结果比较分析

3.1 危险性分布结果比较分析

利用GIS中的几何间隔分级法，将低能见度危险性划分为五个等级：低危险性、较低危险性、中危险性、较高危险性和高危险性，得到熵权法方案、等级赋值法方案和专家打分法方案的全国基于高速公路的低能见度危险性分布 (图3)。

从总体分布上看，熵权法、等级赋值法和专家打

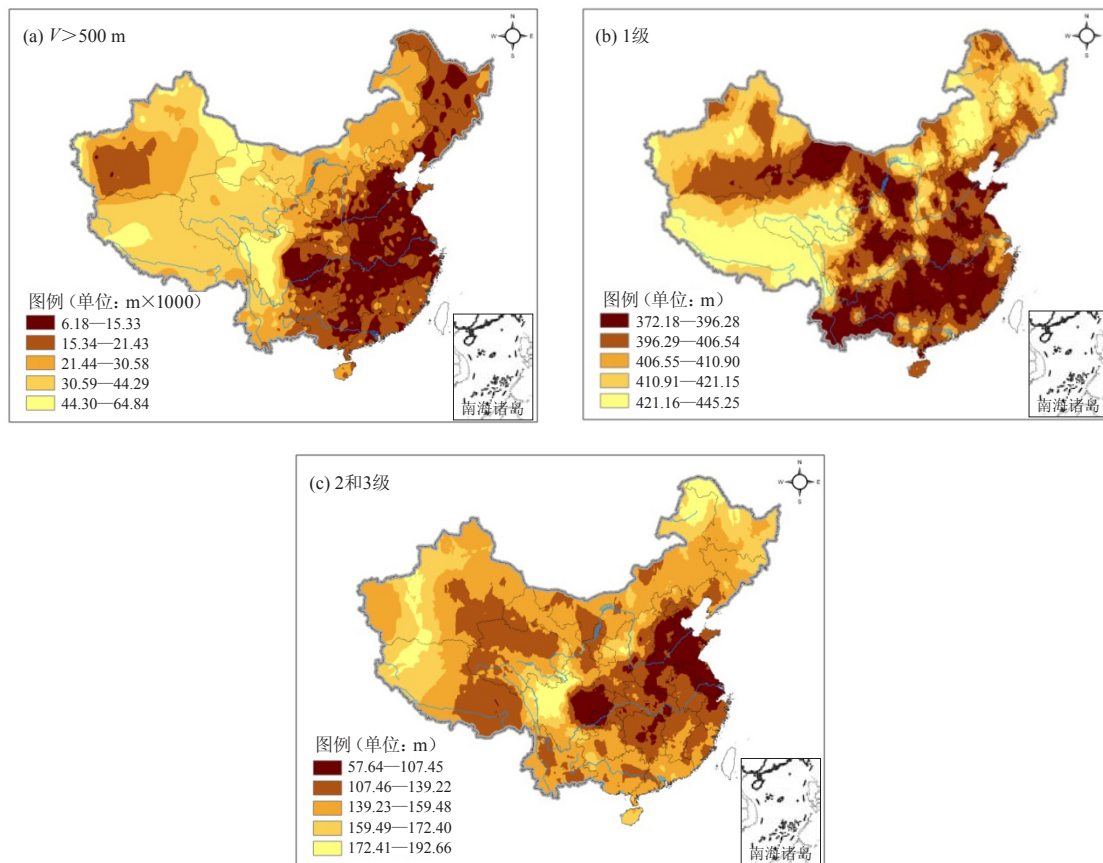


图2 1980—2014年能见度年均强度分布
Fig. 2 Maps of average annual intensity of visibility for 1980–2014

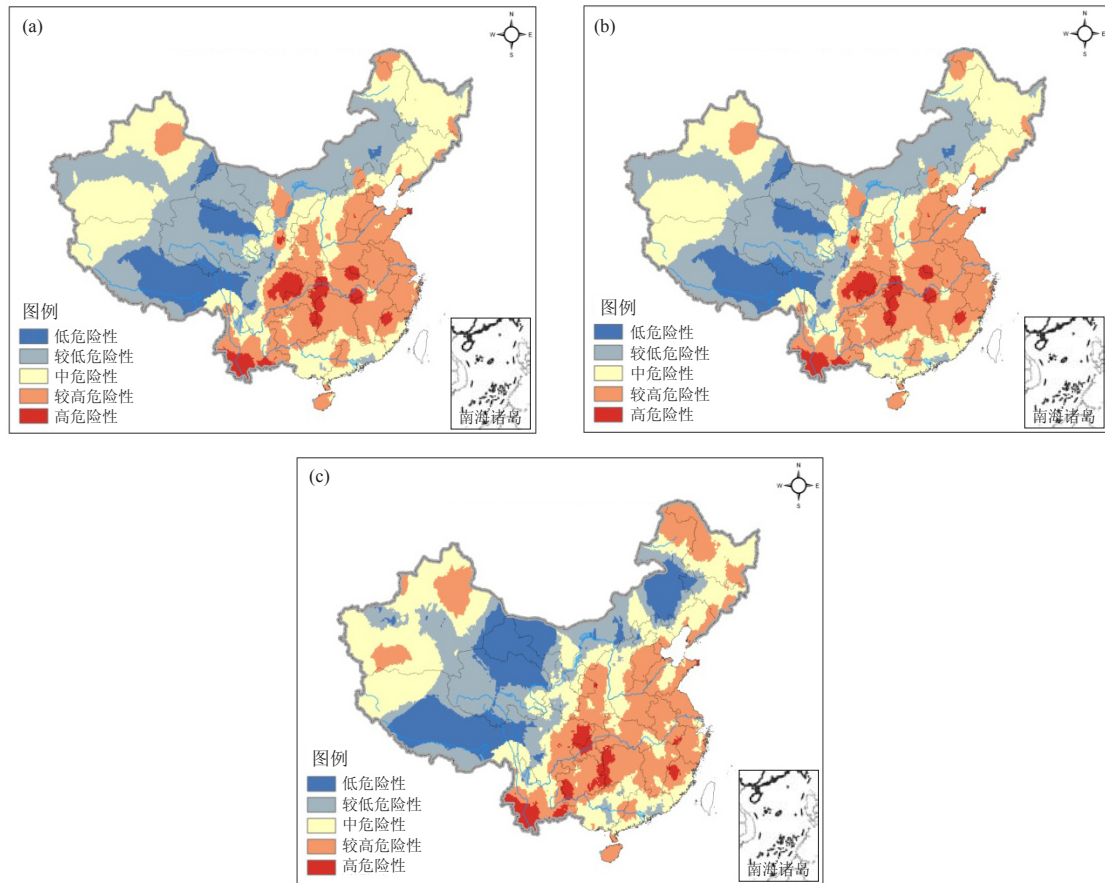


图3 高速公路低能见度危险性分布
 (a) 熵权法方案; (b) 等级赋值法方案; (c) 专家打分法方案
 Fig. 3 Maps of low visibility hazard on highway assessed by:
 (a) entropy weight method; (b) ranking evaluation method; (c) expert scoring method

分法得到的高速公路低能见度危险性分布均呈东部、西北部高，中西部低的特点。其中熵权法方案和等级赋值法方案各危险性等级分布结果与全国大雾日数分布情况（图4）、以及2级能见度和3级能见度年均

发生频率分布情况（图1c和图1d）有较高的一致性，很好地反映出了能见度强度越强、发生频次越高，则低能见度危险性等级越高；而专家打分法方案结果的合理性较差，如内蒙古东北部、黑龙江东部和西部、新疆南疆盆地为较高危险性，但上述地区能见度低于200 m的年均发生频率不高，且强度值（图2c）不强，尤其是新疆南疆盆地主要是由沙尘暴引发的低能见度，发生频率低；另外，内蒙古西南部地区为中危险性，但该地区能见度低于100 m的年均发生频率很高，显然熵权法方案和等级赋值法方案的结果（较高危险性）更为合理。

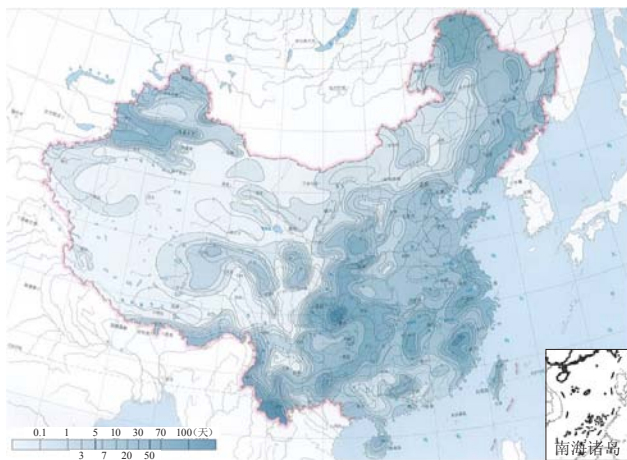


图4 全国大雾日数分布图^[18]
 Fig. 4 Map of fog days in China^[18]

从高危区的分布上看，熵权法和等级赋值法的结果相同，主要位于甘肃东南部、河南东南部、山东半岛、福建中西部、江西西北部、湖北北部和东南部、湖南西部、四川盆地东部、贵州中东部、云南南部；而专家打分法的高危险区中无河南东南部、湖北北部和东南部、江西西北部，增加了安徽东南部、贵州西南部和东南部。

熵权法和等级赋值法结果的较高危险区均主要分布在内蒙古西南部和东北部、东北地区东部、华北、黄淮、江淮、江汉、江南北部、华南中部和南部、西北地区东部、西南地区东部和南部以及新疆北疆东部。专家打分法结果中内蒙古东北部、东北地区东部和新疆北疆东部的较高危险区覆盖范围更大。从低能见度出现频率分布(图1)的分析可得,内蒙古西南部和新疆南疆盆地为沙尘暴高发区,且内蒙古西南部的能见度强度是强于新疆南疆盆地的,但在专家打分法结果中内蒙古西南部为中风险,而新疆南疆盆地为较高风险。可见,专家打分法结果中较高危险区的合理性较差。

三种方案在中、较低危险区的分布结果差别不大。中危险区主要分布在东北中部、西北地区东部、华南大部、新疆北部和南疆盆地;较低危险区主要分布在内蒙古大部、西北地区西部和西南地区西部。专家打分法结果的低危险区覆盖范围较熵权法和等级赋值法的大,主要分布在内蒙古东部和西部、青海北部以及西藏大部,该区域的低能见度主要是由强降雪天气引起,年均发生频率低,因此相应的危险性低。

3.2 权重及危险性指数结果比较分析

从三种方案的低能见度危险性评价指标间权重结果(表2)来看,熵权法方案和等级赋值法方案的权重十分接近,均随等级的增大而增大,很好地反映了低能见度强度越强、频次越高,其对灾害风险的贡献也越大;且熵权法方案的权重结果精度更高。在专家打分法方案中低能见度强度的权重远大于频次的,则当某地偶发强度极强的低能见度天气时,其危险性会被高估。

表2 低能见度危险性评价指标及其权重

Table 2 The hazard evaluation index and weights for low visibility hazard

目标层	指标层	权重			
		熵权法	等级赋值法	专家打分法	
低能见度危险性	频率	1级	0.20	1/6	0.364
		2级	0.29	2/6	
		3级	0.51	3/6	
	强度	/	/	0.636	

从具体危险性指数值结果来看,熵权法方案和等级赋值法方案各等级危险性数值差异(图略)很小,可忽略不计。专家打分法方案与熵权法、等级赋值法方案结果的差值(图5)可以看出,专家打分法方案的危险性数值总体偏大,且危险性等级越高,差值偏大程度越高。这是由于专家打分法方案未考虑不同等级的低能见度对高速公路交通运行的影响程度不同,

而且低能见度强度的权重远高于频次的权重,强化了低能见度强度对低能见度危险性的影响。

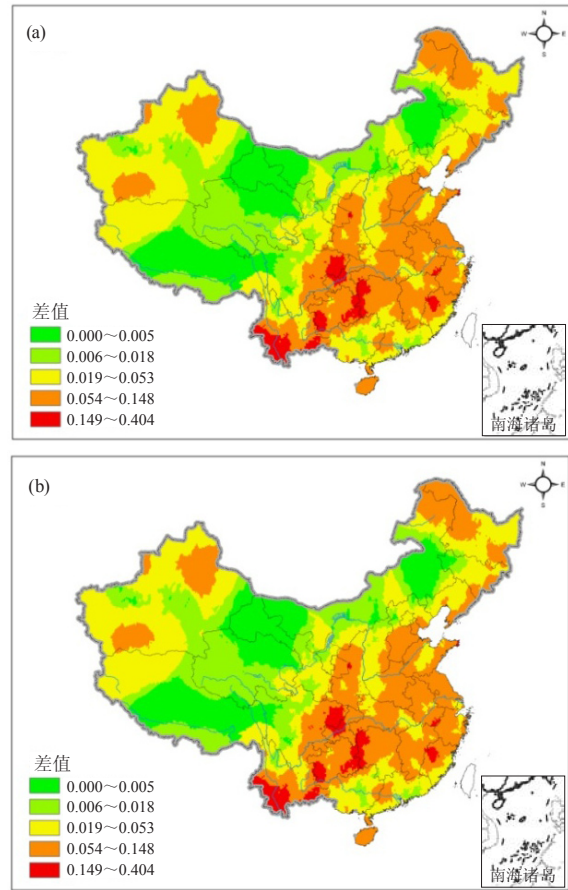


图5 高速公路低能见度危险性评价方法比较

(a) 专家打分法结果与熵权法结果的差值; (b) 专家打分法结果与等级赋值法结果的差值

Fig. 5 Comparison among 3 assessment methods for low visibility hazard on highway

(a) the difference of the expert scoring method from the entropy weight method;

(b) the difference of the expert scoring method from the ranking evaluation method

综上所述,客观评价方案(熵权法)和半客观评价方案(等级赋值法)从低能见度对高速公路交通的影响程度出发,先对低能见度进行分等级,再对各等级发生频率进行权重计算,考虑了低能见度强度越强、频次越大,对高速公路交通运行的危险性贡献越大,所得到的高速公路低能见度危险性结果合理性高;而主观评价方案(专家打分法)的模型未考虑低能见度分级影响情况,且受参与打分的专家经验和专家人数的影响大,总体高估了低能见度危险性,得到的高速公路低能见度危险性结果合理性较差。另外,在研究过程中发现,熵权法方案是基于样本数据的差异程度来计算的,其权重结果会受样本数据差异程度

的影响,因此,若样本序列的差异程度很小时,指标权重可用等级赋值法的结果近似替代。

4 结论

1) 为寻求客观定量化的高速公路低能见度危险性评价计算方法,本研究分别选择熵权法作为客观评价方案,等级赋值法作为半客观评价方案,专家打分法作为主观评价方案,构建了我国高速公路路网的低能见度危险性评价模型。分析结果表明,客观评价方案(熵权法)和半客观评价方案(等级赋值法)得到的高速公路低能见度危险性评价结果能够更为准确地反映实际情况,合理性更优,而主观评价方案(专家打分法)结果在局部区域的合理性较差。

2) 考虑不同低能见度对高速公路交通影响程度不同,选择分等级低能见度出现频率作为危险性评价指标,能够更合理地反映低能见度危险性的实际分布情况。

3) 我国低能见度发生频率呈东高西低的分布特征。大雾是其主要原因,其次是强降水和沙尘暴天气。全国均可能受到低能见度($V \leq 500$ m)的影响,其中,3级($V \leq 100$ m)高发区的发生频率最高,1级($200 \text{ m} < V \leq 500 \text{ m}$)次之,2级($100 \text{ m} < V \leq 200 \text{ m}$)最低。

4) 我国高速公路低能见度危险性分布总体呈东部、西北部高,中西部低的趋势。高危险区主要在甘肃东南部、河南东南部、山东半岛、福建中西部、江西西北部、湖北北部和东南部、湖南西部、四川盆地东部、贵州中东部、云南南部;较高危险区主要在内蒙古西南部和东北部、东北东部、华北、黄淮、江淮、江汉、江南北部、华南中部和南部、西北地区东

部、西南地区东部和南部以及新疆北疆东部;中危险区主要分布在东北中部、西北地区东部、华南大部、新疆北部和南疆盆地;较低危险区主要分布在内蒙古大部、西北地区西部和西南地区西部;低危险区主要分布在内蒙古东部和西部、青海北部以及西藏大部。

参考文献

- [1] 许小峰. 现代气象服务. 北京: 气象出版社, 2010.
- [2] 矫梅燕, 章国材, 曲晓波. 现代天气业务(下册). 北京: 气象出版社, 2010.
- [3] 刘小艳, 孙娴, 杜继稳, 等. 气象灾害风险评估研究进展. 江西农业学报, 2009, 21(8): 123-125.
- [4] 苏桂武, 高庆华. 自然灾害风险的分析要素. 地学前缘, 2003, 10(s1): 272-279.
- [5] 白媛, 张建松, 潘东华, 等. 基于交通承灾体的低能见度致灾因子研究. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(5): 624-629.
- [6] 史军, 穆海振, 崔林丽. 上海大雾气候特征及风险区划研究. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 102-109.
- [7] 扈海波, 熊亚军, 张妹丽. 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.
- [8] 王炜, 卢雪翠, 解以扬. 雾的标准化危险性指数计算方法及其应用. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 16-20.
- [9] 田华, 王亚伟. 京津塘高速公路雾气候特征与气象条件分析. 气象, 2008, 34(1): 66-71.
- [10] 吴兑, 赵博, 邓雪娇, 等. 南岭山地高速公路雾区恶劣能见度研究. 高原气象, 2007, 26(3): 649-654.
- [11] 周慧, 解以扬, 高鹰. 京津塘高速公路大雾天气气候特征及其对交通的影响. 灾害学, 2008, 23(3): 48-53.
- [12] 林建, 杨贵名, 毛冬艳. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 171-180.
- [13] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评估与管理的数量化方法及其应用. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [14] 中国气象局. 高速公路交通气象条件等级: QXT 111—2010. 北京: 气象出版社, 2010.
- [15] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安全评价——以甘肃牧区为例. 生态学杂志, 2006, 25(8): 1003-1008.
- [16] Saaty T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1): 9-26.
- [17] 柳艳香, 郜婧婧, 李嵩恂, 等. AHP法不同行业专家咨询结果差异的对比分析. 公路, 2017, (6): 186-192.
- [18] 中国气象局. 中华人民共和国气候图集. 北京: 气象出版社, 2002.