

李嵩恂, 吴昊, 柳艳香, 等, 2018. 我国公路低能见度灾害风险评估与区划研究[J]. 气象, 44(5): 676-683.

我国公路低能见度灾害风险评估与区划研究^{*}

李嵩恂 吴昊 柳艳香 杨静 田华 潘进军

中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

提 要: 基于1980—2014年国家地面气象站的能见度观测资料以及社会经济、交通灾情数据信息, 采用层次分析法、专家打分法和熵权法, 建立了我国主要公路低能见度灾害风险的评估指标体系和权重, 开展了我国主要公路低能见度灾害风险区划研究。研究表明: 我国主要公路低能见度灾害风险分布总体呈东部及新疆北部和南疆盆地部分地区高、中西部大部地区低的趋势; 采用层次分析法开展公路低能见度灾害风险评估, 能有效减少主观因素的影响, 增加评估结果的科学性和合理性。

关键词: 公路交通, 低能见度, 灾害风险评估, 区划

中图分类号: P457

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.05.008

Risk Assessment and Region Partition of Low Visibility Disasters on Highway in China

LI Aixun WU Hao LIU Yanxiang YANG Jing TIAN Hua PAN Jinjun

CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the visibility observation data from meteorological stations in China during 1980—2014 and the community economy and traffic disaster data of China, the index system and corresponding weight of low visibility disasters risk assessment on highway in China are established by using the methods of analytic hierarchy process (AHP), expert scoring and entropy weight. And the region division of low visibility risk is also carried out. The results indicate that the highways in eastern China, northern Xinjiang and south of the Xinjiang Basin are in high risk of low visibility disaster, while those in midwest of China are in low risk. Using the method of AHP to do the risk assessment of low visibility on highway could reduce the influence of subjective factors effectively and make the assessment result more scientific and reasonable.

Key words: highway traffic, low visibility, risk assessment, region partition

引 言

低能见度是影响公路交通安全的气象灾害之一, 通常由浓雾、强降水(降雨和降雪)、沙尘暴等天气引起, 会令驾乘人员产生严重的视程障碍(许小峰, 2010), 轻则导致交通运输中断, 重则引发交通事故, 甚至连环碰撞交通事故, 造成不良的社会影响和

巨大的经济损失(Gultepe et al, 2007; Black et al, 2017)。随着我国公路里程快速延伸, 低能见度灾害越来越引起交通部门和学者的关注。当前, 国内外学者主要侧重于低能见度气候特征、时空分布、成因和天气背景, 及其对公路行车影响等方面的分析(赵习方等, 2002; 张颀和冯建设, 2005; 田华和王亚伟, 2008; Pisano et al, 2008; 白媛等, 2010; Milrad et al, 2011; 付桂琴等, 2013; 王晓芙等, 2013; 张琳娜和郭

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406029)资助

2016年11月10日收稿; 2017年3月26日收修定稿

第一作者: 李嵩恂, 主要从事公路交通气象灾害研究与服务工作. Email: liaixun@163.com

通信作者: 吴昊, 主要从事应用气象研究与服务工作. Email: wuhao@cma.gov.cn

锐,2014;花丛等,2015;Pang et al,2015;Ashley et al,2015;王博妮等,2016;Coleman and Schwartz,2017),而对低能见度灾害风险评估的研究较少。

气象灾害风险是指气象灾害事件发生的可能性及由其造成后果的严重程度(刘小艳等,2009),开展气象灾害风险评估是指导防灾减灾工作的基础。张姝丽等(2008)利用大雾日数及交通雾灾数据对北京地区22个雾灾个例开展了灾害风险评估。扈海波等(2010)选择危险性、脆弱性和易损性三项指标,开展了北京市交通大雾灾害风险评估的研究。史军等(2012)基于1971—2000年的大雾数据和城市基础地理信息,采用层次分析法和专家调查法建立了上海市大雾风险评价指标体系,形成了上海市大雾灾害风险区划。这些工作为后续研究提供了很好的指导,但大部分研究主要针对大雾灾害,而少有其他气象灾害引发的低能见度灾害研究;空间尺度上主要集中在小区域,全国尺度的研究较少,且未有专门针对公路交通特点开展的研究。针对上述情况,本文拟利用1980—2014年国家地面气象观测资料以及相关社会经济数据和交通灾情数据,从低能见度灾害危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个方面出发,针对我国主要公路路网开展低能见度灾害风险评估和区划研究,期望能弥补此方面研究的不足,为我国公路交通安全运营管理的防灾减灾工作,尤其是灾前防御提供研究依据。

1 数据和方法

1.1 数据资料

1.1.1 气象资料

由于自然灾害风险区划应当反映社会若干年内可能达到的自然灾害风险程度,通常要求有30个以上的研究样本,否则分析结果将极不稳定,甚至与实际情况相差甚远(章国材,2010;2013)。因此,本文选取国家气象信息中心整编的1980—2014年(共35年)全国两千多个国家地面气象观测站能见度定时(每天02、08、14和20时)观测数据集作为我国公路低能见度灾害风险评估的气象资料。考虑到高山地区的低能见度多由大雾天气引发,具有发生频率高、强度强的特点(林建等,2008),但远离高速公路和国道,对公路行车安全无影响,因此剔除包括吉林天池、安徽黄山和九华山、河南嵩山和四川峨眉山等

高山站点数据。

1.1.2 社会经济和交通灾情数据

假定每个县级行政单位中的社会性指标值为均匀分布,故以县作为低能见度灾害暴露性、脆弱性和防灾减灾能力的基本分析单位。本研究所用的社会经济和交通灾情数据包括人口密度、车流量、车辆保有量密度、高速公路里程密度、高速公路阻断信息、高速公路灾情信息、人员伤亡、经济损失、公路交通气象灾害风险隐患点、地方财政预算、人均GDP和地均GDP。其中,人口密度、车流量、车辆保有量密度、地方财政预算、人均GDP等资料来源于各县的统计年鉴,车流量和高速公路里程密度数据的选取时段为2009—2011年,人口密度、车辆保有量密度、人均GDP和地均GDP数据的选取时段为2012—2014年,地方财政预算数据选取时段为2011—2013年;另外,公路交通阻断信息资料来源于中华人民共和国交通运输部,选取时间序列为2011—2014年;交通事故灾情信息、人员伤亡和经济损失资料来源于中华人民共和国公安部交通管理局,时间序列为2009—2013年;公路交通气象灾害风险隐患点资料通过中国气象局开展的公路交通气象灾害风险普查工作获得。

1.1.3 主要公路网

根据我国公路路网的特点并为保证对我国绝大部分地市级及以上城市(尤其是中西部地区的主要城市)的联通,选取所有国家高速公路和部分国道/路段组成我国主要公路路网,对其开展低能见度灾害评估,其中中东部地区以国家高速公路为主,西部省(区、市)加入国道。

1.2 评估指标体系与模型

定义能见度 $<500\text{ m}$ 的情况为低能见度,会对公路交通运行造成不利的影响。由于公路低能见度灾害风险不仅取决于低能见度的强度和发生频率,还受道路的车流量、公路里程密度和地方经济发展状况等多方面影响,且各指标影响权重也不尽相同。因此采用层次分析(analytic hierarchy process, AHP)法构建我国主要公路低能见度灾害风险评估体系,把半定性、半定量问题转化为定量问题(Saaty,1990;2008;张继权和李宁,2007),适用于难以完全定量分析的问题(孙建军和成颖,2005),将造成低能见度灾害的各种因素进行层次化分析;最后对各层次结果进行检验,有效减少了主观因素的影响,评

估结果更具科学性和合理性。

本评估体系分为目标层(A)、准则层(B)和指标层(C)三层,准则层(B)对指标层(C)起支配作用,同时受目标层(A)的支配。其中,目标层(A)为我国主要公路低能见度灾害风险;由于气象灾害风险的大小是由气象灾害的危险性、暴露性或承灾体、承灾体的脆弱性和防灾减灾能力这四个因子相互作用决定的(张继权和李宁,2007),因此将准则层(B)分为低能见度灾害危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力共四层。

1.2.1 危险性

气象灾害危险性是指气象灾害的异常程度,主要是由气象因子活动规模(强度)和活动频次(概率)决定(张继权和李宁,2007)。公路上低能见度灾害的强度越强,发生频次越高,所造成的破坏损失越严重,灾害的风险也越大。参照《高速公路交通气象条件等级》(中国气象局,2010)中大雾、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,且由于目前国家地面观测站的能见度观测历史数据精度为 0.1 km,无法对能见度 <0.1 km 的情况进行细分,因此将低能见度划分为 3 个等级,如表 1 所示。综合考虑低能见度的强度和发生频次,分别选取 1 级能见度($200\text{ m}<\text{能见度}\leq 500\text{ m}$)发生频率(C1)、2 级能见度($100\text{ m}<\text{能见度}\leq 200\text{ m}$)发生频率(C2)和 3 级能见度($\text{能见度}\leq 100\text{ m}$)发生频率(C3)作为低能见度灾害危险性的评估指标。

表 1 低能见度对公路影响的等级划分
(中国气象局,2010)

Table 1 Grades of low visibility on highway
(中国气象局,2010)

低能见度等级	分级指标	对公路交通运行影响
1 级	$200\text{ m}<\text{能见度}\leq 500\text{ m}$	稍有影响
2 级	$100\text{ m}<\text{能见度}\leq 200\text{ m}$	有一定影响
3 级	$\text{能见度}\leq 100\text{ m}$	有较大影响

1.2.2 暴露性

暴露性主要研究暴露在自然灾害中的各要素,即承受自然灾害的承灾体,包括所有人和财产。承灾体的密度越高,可能遭受的潜在损失就越大,灾害风险就越大(张继权和李宁,2007)。公路交通低能见度灾害的承灾体为公路的使用者(人和车辆),且某个地区单位面积的公路总长度越长,则暴露性越高,因此选择人口密度作为固有暴露性风险程度的

评估指标,车辆保有量密度和高速公路里程密度作为经济/财产暴露性指标,车流量作为流动暴露性风险程度的评估指标。

1.2.3 脆弱性

脆弱性是指在给定危险区域存在的所有财产由于潜在的危险因素而造成的伤害或损失程度,综合反映了自然灾害的损失程度(张继权和李宁,2007)。一般承灾体的脆弱性越低,灾害损失愈小,灾害风险也愈小,反之亦然。本文选择高速公路阻断信息、高速公路灾情信息、人员伤亡、经济损失和灾害风险隐患点作为评估指标。

1.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾区抵御灾害以及灾后重建和恢复的能力,包括应急能力、减灾投入资源准备等(张继权和李宁,2007)。防灾减灾能力越高,可能遭受的潜在损失就越小,灾害风险就越小。防灾减灾能力通常由地区的经济发展状况所决定,因此选择地方财政预算、人均 GDP 和地均 GDP 作为评估指标。

1.2.5 综合风险评估

(1) 权重及综合风险指数计算

熵权法是一种客观赋权方法,计算量小,且能客观、综合考虑同一个指标多个评价对象之间的联系,削弱异常值的影响,减少了人为主观性对评价过程的干扰(贾艳红等,2006),因此选择熵权法确定低能见度危险性指标层间的权重。采用加权综合评价法确定危险性(B1)指数(I_{B1}),计算公式如下:

$$I_{B1} = \sum_{i=1}^3 F_i \times W_i \quad (1)$$

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, $i=1,2,3$ 。

采用专家打分法确定准则层各评估因子(表 2 中 B1~B4)以及暴露性、脆弱性和防灾减灾能力指标层因子(表 2 中 C4~C15)的权重。为降低打分专家主观意识和思维局限性的影响,选择具有代表性的专家能提高风险评估的客观性和准确性。因此在开展专家打分时邀请了南方地区和北方地区的气象专家和公路交通专家共 24 人,其中,北方专家 14 人,气象、公路交通的专家各 7 人;南方专家 10 人,气象、公路交通的专家分别为 3 和 7 人。专家组成员均为高级工程师及以上职称,其中具有正高级职称的人员

占 37.5%。收到打分结果 24 份,其中有 2 份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(柳艳香等,2017)。计算得到的我国主要公路低能见度灾害风险评估指标权重见表 2。

表 2 我国主要公路低能见度灾害风险评估指标体系及权重
Table 2 Risk assessment index system and weights for low visibility on highway in China

目标层(A)	准则层(B)/权重	指标层(C)/权重
主要公路 低能见度 灾害风险	危险性(B1)/0.4971	1 级能见度(200 m<能见度≤500 m)发生频率(C1)/0.20 2 级能见度(100 m<能见度≤200 m)发生频率(C2)/0.29 3 级能见度(能见度≤100 m)发生频率(C3)/0.51
	暴露性(B2)/0.1785	人口密度(C4)/0.1565 车流量(C5)/0.4709 车辆保有量密度(C6)/0.1994 高速公路里程密度(C7)/0.1732
	脆弱性(B3)/0.2382	高速公路阻断信息(C8)/0.2523 高速公路灾情信息(C9)/0.1856 人员伤亡(C10)/0.2985 经济损失(C11)/0.1289 灾害风险隐患点(C12)/0.1347
	防灾减灾能力(B4)/0.0862	地方财政预算(C13)/0.4725 人均 GDP(C14)/0.2947 地均 GDP(C15)/0.2328

为消除各指标单位不同对计算带来的不便,对每个指标进行归一化处理:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{2}$$

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

Luh et al(2015)认为承灾体易损性(暴露性、脆弱性和防灾减灾能力)中各指标为加和关系的情况更优,又由于防灾减灾能力对灾害风险的产生起到反作用,因此建立的我国主要公路低能见度灾害综合风险评估模型表达式如下:

$$R = I_{B1} \times W_{B1} + I_{B2} \times W_{B2} + I_{B3} \times W_{B3} - I_{B4} \times W_{B4} \tag{3}$$

式中, R 表示公路低能见度灾害风险指数, $I_{B1}, I_{B2}, I_{B3}, I_{B4}$ 分别表示危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力指数, $W_{B1}, W_{B2}, W_{B3}, W_{B4}$ 分别为对应指标的权重。

(2) 准则层等级和综合风险等级划分

基于上述的风险评估模型,利用 GIS 空间分析技术,采用几何间隔分级法,分别按照危险性指数(I_{B1})、暴露性指数(I_{B2})、脆弱性指数(I_{B3})、防灾减灾能力指数(I_{B4})和灾害风险指数(R)的数值,从小到大划分为低、较低、中、较高和高共 5 个等级,得到我国主要公路低能见度灾害危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力及综合风险区划。

2 结果分析

2.1 准则层区划结果

我国主要公路低能见度灾害危险性(图 1 和表 3)呈东部、新疆北部和南疆盆地高,中西部低的分布趋势。其中,高和较高危险性地区的低能见度主要是由于多大雾天气导致的,这与我国大雾日数分布情况(《中华人民共和国气候图集》编委会,2002)相一致,尤其是甘肃东南部、河南东南部、山东半岛、福建中西部、江西西北部、湖北西南部和中东部、湖南西部、四川盆地东部、贵州东部、云南南部的部分路段,大雾甚至浓雾天气频发,且能见度<200 m 的发生概率很高,因此为高危险性;安徽南部、江西北部、广东雷州半岛和海南大部等地的沿海地区受夏季台风带来的强降水影响,低能见度强度较强、发生频率相对较高,因此也处于较高危险性区域中。内蒙古西南部、西北地区东部和新疆南疆盆地由于受春、秋季沙尘暴天气影响,出现低能见度灾害,但低能见度强度和发生频率均不高,危险性等级为中等。较低和低危险性地区的低能见度主要由强降雪天气及其引发的风吹雪造成,发生频率很低(李嵩等,2017)。总的来说,我国主要公路低能见度危险性区划的分布能反映出能见度越低、发生频次

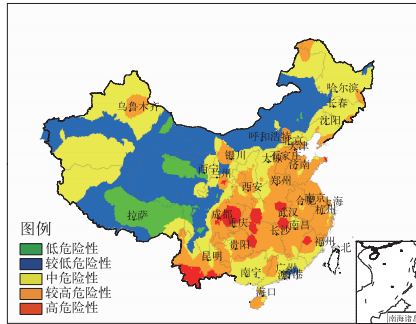


图 1 基于公路交通影响的全国
低能见度危险性区划

Fig. 1 Hazard regionalization of low
visibility based on the impact
of highway in China

表 3 我国主要公路低能见度灾害
危险性分布

Table 3 Hazard distribution of low visibility
on highway in China

危险性等级	地区
高	甘肃东南部、河南东南部、山东半岛、福建中西部、江西西北部、湖北西南部和中东部、湖南西部、四川盆地东部、贵州东部、云南南部
较高	内蒙古东北部和中部、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、新疆中北部
中	东北大部、华北大部、西北地区东部、西南地区中部、新疆北部和南疆盆地、西藏地区西北部
较低	内蒙古大部、广东中南部、西北地区中部和中西部、西南地区北部、西藏地区东北部和南部
低	青海北部、西藏中东部

越高,低能见度危险性等级越高的特点,反之亦然。

我国主要公路低能见度灾害的暴露性(图 2)和脆弱性(图 3)区划分布趋势近似,总体均呈中东部高、北部和西部低的特点,与各地经济发展程度的吻合度极高。如在我国中东部经济发达地区的一、二线城市及其周边地区,由于人口密度大,车流量、车辆保有量密度和高速公路里程密度高,使得暴露性等级为高或较高;加之上述地区低能见度天气发生频次高,灾害风险隐患路段多,公路交通阻断和灾情易发,且当发生交通事故时,造成人员伤亡和经济损失数量较大,因此脆弱性为高或较高等级。在东北地区大部、内蒙古、西北地区西部、西南地区大部及西藏等地的高速和国道,低能见度天气强度或发生频率相对较低,又因人口密度和车流量密度低,交通事故造成的人员伤亡和经济损失也相对较低,其暴露性和脆弱性等级为较低或低。

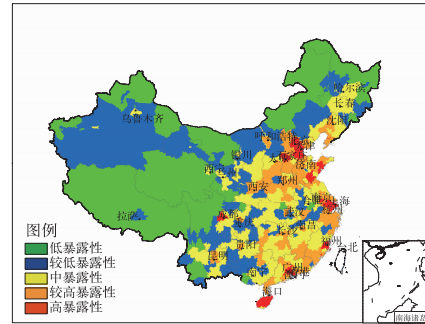


图 2 同图 1,但为暴露性

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for exposure

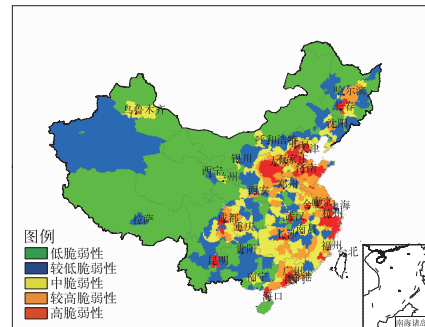


图 3 同图 1,但为脆弱性

Fig. 3 Same as Fig. 1, but for vulnerability

图 4 给出了我国主要公路低能见度灾害防灾减灾能力区划。在内蒙古中部、辽宁中部、山东半岛、京津冀地区、长三角地区、珠三角地区,以及四川的一、二线城市及其周边地区,GDP 水平相对较高,当公路可能发生低能见度灾害时,交管部门的管控能力较高,能提前、及时管控交通流量或封闭公路,降低发生事故的可能性;且对交通事故发生后的救灾能力较强,因此,上述地区的防灾减灾能力为高或较高等级。而其他地区经济发展程度相对较低,对低

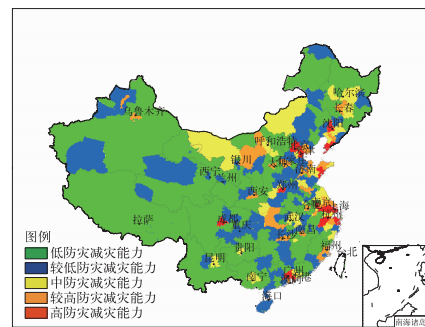


图 4 同图 1,但为防灾减灾能力

Fig. 4 Same as Fig. 1, but for disaster
prevention and mitigation capabilities

能见度灾害的公路交通管理和应急处置能力相对较弱,防灾减灾能力等级也相对较低。

2.2 综合风险区划结果

2.2.1 风险区划结果

我国主要公路低能见度灾害风险区划(图 5 和表 4)呈现出东部及新疆北部和南疆盆地部分地区高、中西部大部地区低的趋势,与危险性区划(图 1)分布趋势较为接近。这是由于在风险评估模型中,致灾因子危险性是导致灾害发生的主要原因,其权重最高,占 49.71%;而暴露性、脆弱性和防灾减灾能力的影响小,权重分别占 17.85%、23.82%和 8.62%。

从各风险等级分布情况看,低能见度灾害高风险主要影响京津冀地区、山东、长三角地区、福建东部沿海、江南南部、广东北部、四川盆地东部和云南昆明等地的局部高速和国道,其中,四川境内京昆高速(G5)、沪蓉高速(G42)、包茂高速(G65)、厦蓉高速(G76)和国道 213、317、318 由于低能见度发生频率高、强度强,对公路交通运输造成的危险性高,

人口密度、车流量及路网密度均较大,造成该地区的暴露性级别高,且高速公路交通灾害隐患点多、道路阻断高发等因素使得该区域的脆弱性较大,因此低能见度致灾的风险级别为高等级;而其他地区的危险性等级为较高,但由于暴露性或脆弱性为高等级,因此得到的风险等级为高。

较高或中等级的低能见度危险性是我国中东部

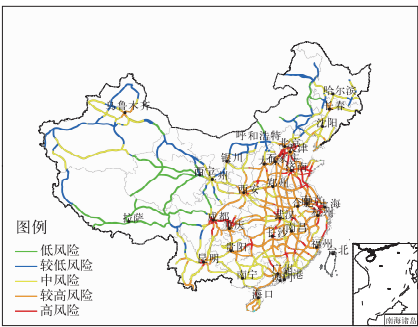


图 5 我国主要公路低能见度灾害风险区划

Fig. 5 Risk regionalization of low visibility on highway in China

表 4 我国主要公路低能见度灾害综合风险分布

Table 4 Distribution of composite risk of low visibility on highway in China

风险等级	省(区、市)及公路路段
高风险	北京、河北:京哈、京沪、京港澳、京昆、长深、大广高速;山西:二广高速;山东:京沪、沈海、荣乌、青银、青兰、长深、济广高速;江苏:京沪、沈海、连霍高速;浙江:沈海、沪渝、沪昆高速;湖北:京港澳、福银高速;湖南:京港澳、包茂高速;江西:大广、泉南、厦蓉高速;福建:福银高速;广东:沈海、二广高速;四川:京昆、沪蓉、包茂、厦蓉高速,国道 213、317、318;贵州:沪昆高速;重庆:沪渝、兰海高速;云南:京昆、杭瑞高速,国道 213
较高风险	北京:京沪、京藏、京新、大广高速;河北:京沪、京港澳、京昆、京新、青银、青兰、长深、大广高速;吉林:京哈、珲乌高速;辽宁:京哈、鹤大、沈海高速;山西:京昆、青银、二广高速;陕西:京昆、连霍、包茂、福银高速;宁夏:京藏高速;山东:京沪、京台、沈海、荣乌、青银、青兰、长深、济广高速;河南:京港澳、连霍、宁洛、沪陕、大广、二广高速;湖北:京港澳、沪蓉、沪渝、二广、福银高速;湖南:京港澳、二广、杭瑞、沪昆、包茂、泉南高速;江苏:京沪、沈海、长深、连霍、宁洛、沪陕、沪蓉高速;安徽:京台、济广、宁洛、沪蓉、沪渝高速;上海:沈海、沪陕高速;浙江:沈海、长深、京台、连霍、杭瑞、沪昆高速;江西:济广、大广、杭瑞、沪昆、福银、泉南、厦蓉高速;福建:沈海、长深、京台、泉南、厦蓉高速;广东:京港澳、沈海、大广、二广、广昆高速;四川:京昆、厦蓉高速,国道 213、318;贵州:沪昆、兰海、厦蓉高速;重庆:沪蓉、沪渝、包茂、兰海、渝昆高速;云南:杭瑞、渝昆高速,国道 213、214;海南:国道 223、224、225;新疆:连霍高速,国道 216、312、314、318
中风险	黑龙江:京哈、绥满、鹤大、大广高速;吉林:京哈、珲乌高速;辽宁:京哈、鹤大、沈海、丹锡、长深、大广高速;河北:京哈、京藏、长深、大广高速;山西:荣乌、二广高速;陕西:京昆、青银、包茂、福银高速;河南:京港澳、连霍、宁洛高速;湖北:大广、沪渝、二广、福银高速;湖南:二广、泉南、厦蓉高速;江西:济广、杭瑞、福银高速;安徽:京台高速;浙江:长深高速;福建:沈海、厦蓉高速;广东:京港澳、沈海、长深、济广、大广、汕昆高速;广西:包茂、泉南、兰海、汕昆、广昆高速;四川:京昆高速,国道 213;贵州:杭瑞、沪昆、厦蓉、汕昆高速;云南:京昆、杭瑞、广昆、渝昆高速,国道 213、214;宁夏:青银、青兰、福银高速;甘肃:京藏、青兰、连霍、兰海高速,国道 312;新疆:连霍高速,国道 216、217、218、219、312、314、315
较低风险	内蒙古:京藏、绥满、丹锡、荣乌、大广、二广、包茂高速,国道 111、301、303;黑龙江:绥满、鹤大高速;吉林:珲乌、大广高速;辽宁:长深高速;四川:京昆高速;云南:国道 214;新疆:连霍高速,国道 216、217、218、219、312、314;宁夏:京藏高速;甘肃:京藏、连霍、兰海高速,国道 213、215、227、312;西藏:国道 214、219、318
低风险	内蒙古:二广高速,国道 111;吉林:珲乌高速;四川:国道 213、317、318;新疆:连霍高速,国道 312;青海:京藏高速,国道 109、214、215、315;西藏:国道 109、214、219、317、318

地区、新疆中北部和南疆盆地低能见度灾害综合风险较高和中等的主要原因。而吉林长春境内京哈高速(G1)和珲乌高速(G12),山西境内京昆高速(G5)、青银高速(G20)、二广高速(G55)的部分路段虽然处于低能见度中危险性区域内,但由于人口密度较高、车流量较大,具有高脆弱性,上述路段的低能见度灾害风险等级也为较高;云南境内杭瑞高速(G56)、广昆高速(G80)、渝昆高速(G85)和国道213、214的部分路段危险性为高或较高,但由于低或较低的脆弱性,因此风险结果为中等级。

低能见度灾害较低和低风险主要分布在内蒙古大部、甘肃西部、青海、新疆北部和中部、西藏地区的高速和国道。其中新疆北部为中危险性区,虽然防灾减灾能力等级低,但暴露性和脆弱性均为较低或低等级,因此低能见度灾害风险等级较低;内蒙古中东部处于较低危险性区域内,但其暴露性和脆弱性低,且防灾减灾能力为中等,因此同样得到低能见度灾害低风险的结果。

2.2.2 区划结果检验

结合2013—2016年我国因低能见度而引发的公路交通阻断信息,对公路低能见度灾害风险评估模型和区划结果进行检验。在受低能见度影响公路交通阻断分布中(图6)存在两个高密度区,分别为自华北南部至江南中西部一带地区以及四川盆地东部地区,该区域内公路路段的低能见度灾害风险评估结果为高或较高等级;另外,在东北地区中部、新疆乌鲁木齐及其周边地区、广东西部的高速和国道部分路段为阻断的次高密度区,对应的灾害综合风险评估结果为较高或中等级。而全国其他地区,

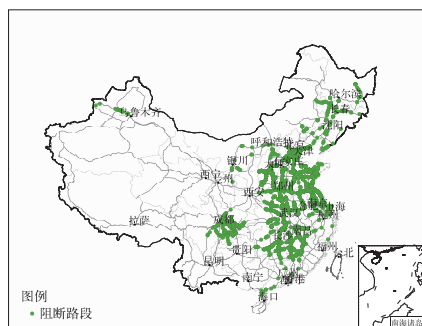


图6 2013—2016年全国受低能见度影响公路交通阻断分布

Fig. 6 Distribution of highway traffic blocking induced by low visibility in China during 2013—2016

2013—2016年较少发生或未发生公路交通阻断,相应的公路低能见度灾害综合风险评估结果为中、较低或低等级。从上述分析结果表明,得到的公路低能见度灾害风险区划能够合理地反映我国主要公路低能见度灾害风险的分布情况。

3 结 论

(1) 采用了主观和客观相结合的评估方法,综合应用层次分析法、专家打分法和熵权法,从致灾因子的危险性、承灾体的暴露性、脆弱性及防灾减灾能力四个风险指标出发,构建了我国主要公路低能见度灾害风险评估体系,对影响我国公路交通安全的低能见度灾害致灾风险进行了评估;并基于ArcGIS空间分析技术,形成我国主要公路低能见度灾害风险区划图。

(2) 我国主要公路低能见度灾害风险分布总体呈东部及新疆北部和南疆盆地部分地区高、中西部大部地区低的趋势。高风险主要分布在京津冀地区、山东、长三角地区、福建东部沿海、江南南部、广东北部、四川盆地东部和云南昆明等地的局部高速和国道,较高和中等风险影响我国中东部地区、新疆中北部和南疆盆地的高速和国道,内蒙古大部、甘肃西部、青海、新疆北部和中部、西藏地区的高速和国道为较低或低风险。

(3) 基于全国高速和主要国道公路路段的低能见度灾害风险评估结果与实际因低能见度导致公路交通阻断的分布情况一致,表明评估结果合理,评估技术路线有效、可行。

(4) 公路低能见度灾害风险不仅取决于低能见度的强度和发生频率,还受道路的车流量、公路里程密度、经济发展状况等多方面影响,且各指标影响权重也不尽相同。采用层次分析法开展公路低能见度灾害风险评估,尤其在目标结构较为复杂的情况下,能够有效减少主观因素的影响,增加评估结果的科学性和合理性。

参考文献

- 白媛,张建松,潘东华,等,2010.基于交通承灾体的低能见度致灾因子研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),46(5):624-629.
- 付桂琴,张迎新,张庆红,等,2013.河北省低能见度事件特征分析[J].气象,39(8):1042-1049.
- 扈海波,熊亚军,张姝丽,2010.基于城市交通脆弱性核算的大雾灾害风险评估[J].应用气象学报,21(6):732-738.

- 花丛,张碧辉,张恒德,2015. 2013年1—2月华北雾、霾天气边界层特征对比分析[J]. 气象,41(9):1144-1151.
- 贾艳红,赵军,南忠仁,等,2006. 基于熵权法的草原生态安全评价——以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志,25(8):1003-1008.
- 李嵩恂,柳艳香,郜婧婧,2017. 高速公路低能见度危险性评价方法比较[J]. 气象科技进展,7(6):11-17.
- 林建,杨贵名,毛冬艳,2008. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势[J]. 气候与环境研究,13(2):171-181.
- 刘小艳,孙炯,杜继稳,等,2009. 气象灾害风险评估研究进展[J]. 江西农业学报,21(8):123-125.
- 柳艳香,郜婧婧,李嵩恂,等,2017. AHP法不同行业专家咨询结果差异的对比分析[J]. 公路, (6):186-192.
- 史军,穆海振,崔林丽,2012. 上海大雾气候特征及风险区划研究[J]. 自然灾害学报,21(3):102-109.
- 孙建军,成颖,2005. 定量分析方法[M]. 南京:南京大学出版社:212-240.
- 田华,王亚伟,2008. 京津塘高速公路雾气候特征与气象条件分析[J]. 气象,34(1):66-71.
- 王博妮,濮梅娟,田力,等,2016. 江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究[J]. 气象,42(2):192-202.
- 王晓芙,林长城,陈晓秋,等,2013. 闽南沿海地区低能见度事件变化特征分析[J]. 气象,39(4):453-459.
- 许小峰,2010. 现代气象服务[M]. 北京:气象出版社:116-117.
- 章国材,2010. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京:气象出版社:122.
- 章国材,2013. 自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京:气象出版社:216.
- 张继权,李宁,2007. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京:北京师范大学出版社:29-79.
- 张琳娜,郭锐,2014. 2012年冬季北京三种高影响天气的关联与成因分析[J]. 气象,40(5):598-604.
- 张飒,冯建设,2005. 济青高速公路大雾天气气候特征及其影响[J]. 气象,31(2):70-73,89.
- 张姝丽,丁德平,付治龙,等,2008. 灰色关联度在北京地区雾灾评估中的应用[J]. 灾害学,23(3):54-56,61.
- 赵习方,徐晓峰,王淑英,等,2002. 北京地区低能见度区域分布初探[J]. 气象,28(11):55-57.
- 中国气象局,2010. 高速公路交通气象条件等级:QX/T 111-2010[S]. 北京:气象出版社.
- 《中华人民共和国气候图集》编委会,2002. 中华人民共和国气候图集[M]. 北京:气象出版社:233.
- Ashley W S, Strader S, Dziubla D C, et al, 2015. Driving blind: weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes[J]. Bull Amer Meteor Soc, 96(5):755-778.
- Black A W, Villarini G, Mote T L, 2017. Effects of rainfall on vehicle crashes in six U. S. States[J]. Wea Climate Soc, 9(1):53-70.
- Coleman J S M, Schwartz R M, 2017. An updated blizzard climatology of the contiguous United States (1959—2014): an examination of spatiotemporal trends[J]. J Appl Meteor Climatol, 56(1):173-187.
- Gultepe I, Tardif R, Michaelides S C, et al, 2007. Fog research: a review of past achievements and future perspectives[J]. Pure Appl Geophys, 164(6/7):1121-1159.
- Luh J, Christenson E C, Toregozhina A, et al, 2015. Vulnerability assessment for loss of access to drinking water due to extreme weather events[J]. Climatic Change, 133(4):665-679.
- Milrad S M, Gyakum J R, Atallah E H, 2011. A diagnostic examination of the eastern Ontario and western Quebec wintertime convection event of 28 January 2010[J]. Wea Forecasting, 26(3):301-318.
- Pang Mingbo, Zheng Shasha, Cai Zhanghui, 2015. Simulation of three lanes one-way freeway in low visibility weather by possible traffic accidents[J]. Phys A: Stat Mech Appl, 433:161-170.
- Pisano P A, Goodwin L, Rossetti M A, 2008. U. S. highway crashes in adverse road weather conditions[C] // 24th Conference on IIPS. New Orleans: American Meteorological Society.
- Saaty T L, 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process[J]. Eur J Oper Res, 48(1):9-26.
- Saaty T L, 2008. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. Int J Serv Sci, 1(1):83-98.