

影响高速公路交通的致灾大风危险性评价

宋建洋,柳艳香,田华,郜婧婧,李宛育

中国气象局公共气象服务中心,北京 100081

摘要 利用全国2373个国家级地面气象观测站2005—2014年10 min平均风速以及2009—2014年1 h内极大风速资料,基于气象行业标准(QX/T 111—2010)中风力对高速公路交通运行影响的等级划分,选取频率与强度作为指标构建评价体系,结合熵权法计算致灾因子危险性综合指数,编制全国致灾大风危险性评价图。结果表明,对高速公路交通运行产生影响的致灾大风高危险区主要分布在内蒙古中西部、西藏北部和西部的局部地区以及新疆阿拉山口、达坂城、三十里风区与百里风区范围内;较高危险区主要分布在内蒙古中部和西部、甘肃西部、青海西部和南部、新疆西北部和东部以及东部沿海的部分地区;全国其他地区主要高速公路沿线的致灾大风危险性则相对较低。

关键词 高速公路交通;风速;致灾大风等级

大风作为一种比较常见的交通气象灾害,除了直接影响车辆行驶阻力、能耗、抗侧向倾翻及抗滑移性能外,还易造成道路两侧护栏、指示牌等基础设施破坏,可引起沙尘暴、扬沙、浮尘、吹雪等天气而使驾驶员视线范围缩小,降低高速公路交通安全与道路通行能力。

国内对大风天气的研究多侧重于对风速、年大风日数的时空变化特征等方面^[1-3],例如王小玲等^[4]研究表明,5级以上风主要出现在中国北方地区,并且近30年大风日数呈线性减少趋势。但目前,基于影响的大风灾害研究仍处于探索阶段,仅在新疆、黑龙江等风灾以及沿海台风多发区的风险区划、灾害特征等分析上取得了一定进展^[5-8]。其中,针对公路交通影响的研究成果更少,基本局限在新疆地区^[9-10],如陈文友等^[11]采用三级区划指标体系和等概率分区原则,将新疆高速公路沿线风害危险区划分为5个大区。

为保障公路交通运行安全,研究全国范围内高速公路沿线致灾大风危险性的空间分布格局十分必要。本研究利用更加精细的地面气象观测站逐小时风速资料,对全国范围内不同等级致灾大风频率和强度的空间分布特征进行分析;计算致灾因子危险性综合指数,从而开展影响高速公路交通的致灾大风危险性评价。其成果是研究高速公路大风灾害风

险评估的基础,同时对大风高影响区间公路的建设、防护对策以及安全行车技术标准制定等具有科学意义和工程价值。

1 资料来源及统计标准

1.1 资料来源

大风资料取自中国气象局国家气象信息中心整理的全国2373个国家级地面气象观测站2005—2014年10 min平均风速以及2009—2014年1 h内极大风速的逐小时资料。

1.2 统计标准

依据气象行业标准《高速公路交通气象条件等级》^[12]中风力对高速公路影响的等级划分,本研究将平均风速达到或超过5级(8 m/s)、极大风速达到或超过7级(13.9 m/s)的风定义为对高速公路交通产生影响的致灾性大风(以下简称大风),并按照影响程度的不同划分为4个等级(一级到四级),详见表1。

2 研究方法

气象灾害危险性是指气象灾害异常程度,主要是由气象危险因子(致灾因子)活动规模(强度)及活动频次(频率)决定的^[13]。大风强度是衡量高速公路交通运行受大风影响的轻

收稿日期:2017-04-12;修回日期:2017-06-08

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406029)

作者简介:宋建洋,工程师,研究方向为专业气象预报与技术,电子邮箱:songjy0227@163.com

引用格式:宋建洋,柳艳香,田华,等.影响高速公路交通的致灾大风危险性评价[J].科技导报,2017,35(18):73-79;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.18.009

表1 风力对高速公路影响的等级划分
Table 1 Grades of wind effects on the freeway transportation

等级	划分标准	对高速公路交通运行的影响
一级	平均风5~6级(8.0~13.8 m/s)或阵风7级(13.9~17.1 m/s)	稍有影响
二级	平均风7级(13.9~17.1 m/s)或阵风8级(17.2~20.7 m/s)	有一定影响
三级	平均风8级(17.2~20.7 m/s)或阵风9~10级(20.8~28.4 m/s)	有较大影响
四级	平均风≥9级(≥20.8 m/s)或阵风≥11级(≥28.5 m/s)	有严重影响

重程度,而出现频率则反映受影响的频繁程度。本研究按照表1中的风力划分标准,以平均风速和极大风速的频率与强度作为评价指标,分别计算各等级大风的危险性指数 N_i 。其中,考虑到同等级平均风和阵风对高速公路交通的影响程度相当,故对两者的作用进行等权相加,并分别采用持续时间和风速平均值表征 i 等级平均风与阵风的强度特征。具体公式如下:

$$N_i = \sum_{j=1}^2 F_{ij} P_{ij} \quad (1)$$

式中, F_{i1} 为 i 级平均风速出现频率,%; P_{i1} 为 i 级平均风速持续时间, h ; F_{i2} 为 i 级极大风速出现频率,%; P_{i2} 为 i 级极大风速强度, m/s 。

在用式(1)计算 N_i 前,为消除各指标之间的量纲差异,需先进行归一化处理。

将4个等级大风危险性指数赋予不同的权重系数进行相加,即得到高速公路致灾大风危险性综合指数 N :

$$N = \sum_{i=1}^4 N_i W_i \quad (2)$$

式中,权重系数 W_i 的计算采用熵权法^[14],即在有 m 个评价指标, n 个评价对象的评估中,定义第 i 个指标的熵为

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

式中, $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$,当 $f_{ij}=0$ 时,令 $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。其中, r_{ij} 为第 j 个评价对象在第 i 个评价指标上的标准值, $r_{ij} \in [0,1]$ 。则第 i 个指标的熵权为

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

式中, $0 \leq W_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m W_i = 1$ 。

由此计算得到4个权重系数 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 的取值分别为0.129849、0.176189、0.287162和0.406800。

3 评价指标的空间分布特征

3.1 影响高速公路平均风的空间分布特征

基于平均风力对高速公路交通运行的影响,对4个等级平均风速出现频率与持续时间的空间分布特征进行分析(图1~2)。结果表明,对高速公路交通运行开始产生影响的5~6

级平均风多出现在内蒙古中西部、东疆西部、北疆南部沿天山一带以及青藏高原等地;随着对高速公路交通影响程度的逐渐增大,第二到第四等级大风出现频率呈阶梯式下降,其中可造成严重影响的第四等级大风主要出现在新疆阿拉山口、十三间房及西藏西北部。持续时间则随大风等级的提高而逐渐缩短,其中在内蒙古中西部、新疆西北部和东部、西藏西部和北部以及东南沿海的部分地区,各级别大风持续时间均相对较长,局部地区9级以上平均风的持续时间可达1.5 h以上(多年平均值)。遇有大风天气,基于对高速公路交通的影响,交通管理部门会根据风力、持续时间等情况采取相应的管制措施。而对于如内蒙古锡林浩特境内二广高速(G55)、新疆吐鲁番盆地西部与百里风区范围内连霍高速(G30)这类大风频发且持续时间较长的路段,交通运输会受到更大程度的影响。

3.2 影响高速公路阵风的空间分布特征

根据阵风对高速公路交通运行的影响,对4个等级极大风速出现频率与强度的空间分布特征进行分析(图3~4),结果表明,随着极大风速等级的提高,大风出现频率逐渐降低,高发区域范围也逐渐从东南内陆向西北以及沿海方向缩小,其中新疆阿拉山口、达坂城、吐鲁番西部、哈密西部、青藏高原中西部以及雷州半岛等地各等级极大风速均较为频发,经过上述地区的高速公路沿线交通受到阵性大风的影响大。以新疆境内连霍高速为例,根据马温娟等^[9]的研究,在百里风区、三十里风区高路堤弯道等区间,当瞬时风速达到9级时,大中型客车与大卡车的行驶安全即已受到威胁,应做限速或停运处理。从各等级极大风速强度的空间分布看,新疆北部、青海西北部及东南沿海的局部地区均存在高值区;另外,受地形作用的影响,内蒙古中部到太行山一带、川西高原东部边缘等地的大风强度也较高。公路沿线在山谷峡口、高架桥、高路堤等区间极易发生因大风造成的车辆侧翻,而这些危险路段往往也处于阵性大风的高发与强度大值区域,两者的共同作用会加大高速公路交通运输的危险性。

对于全国大多数站点而言,对高速公路交通产生同等影响的极大风速出现频率要高于平均风速。例如,山东成山头站9级以上极大风速出现频率约为同一等级平均风速(8级以上)出现频率的3倍,新疆阿拉山口站可达13倍。而阵性大风因其瞬时性与随机性特征,会引起车辆因受力不均而行驶不稳定,甚至倾覆翻车,致使高速公路交通安全的危险程度大增。

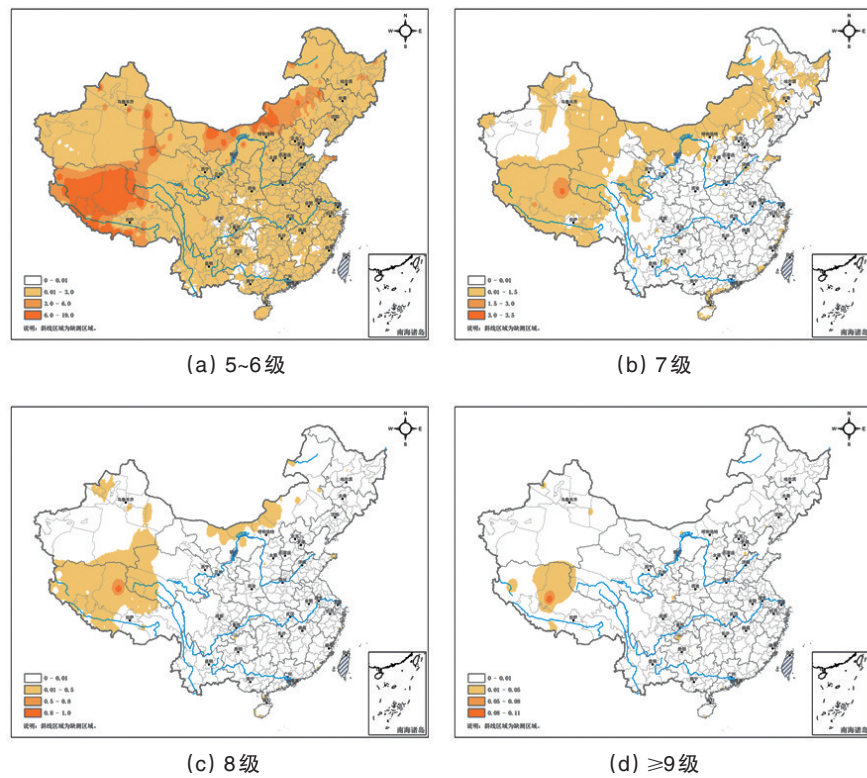


图1 2005—2014年不同等级平均风速出现频率的空间分布(单位:%)

Fig. 1 Spatial distribution of the average frequency of valid strong winds according to 10-minute mean wind from 2005 to 2014

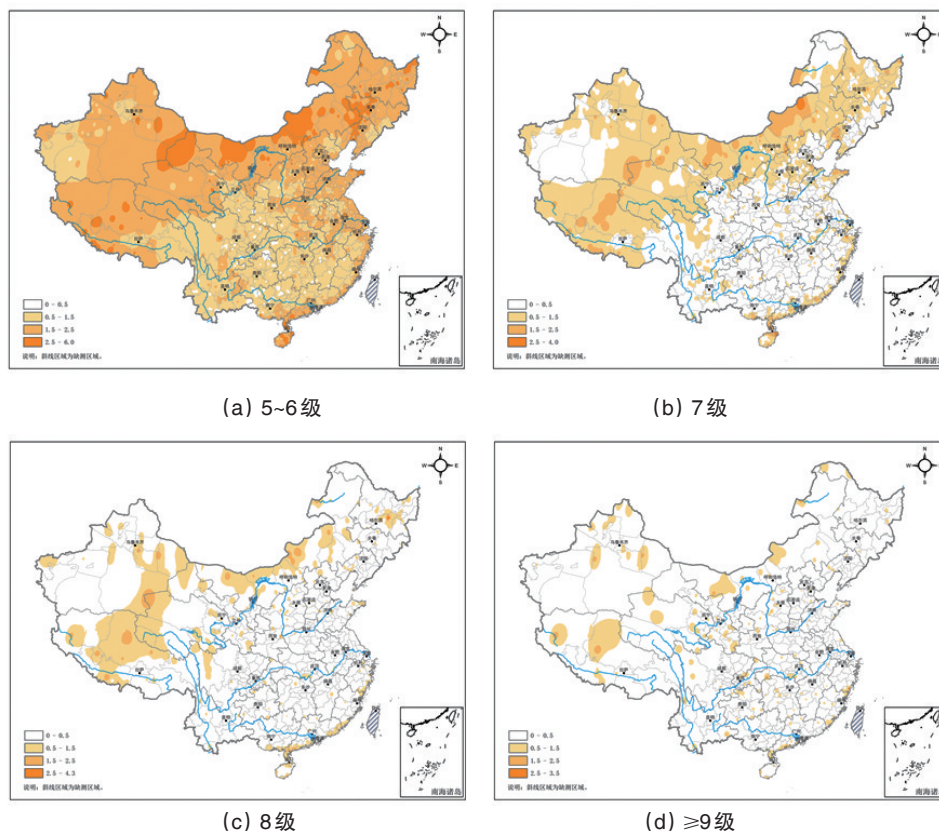


图2 2005—2014年不同等级平均风速持续时间的空间分布(单位:h)

Fig. 2 Spatial distribution of the average duration of valid strong winds according to 10-minute mean wind from 2005 to 2014

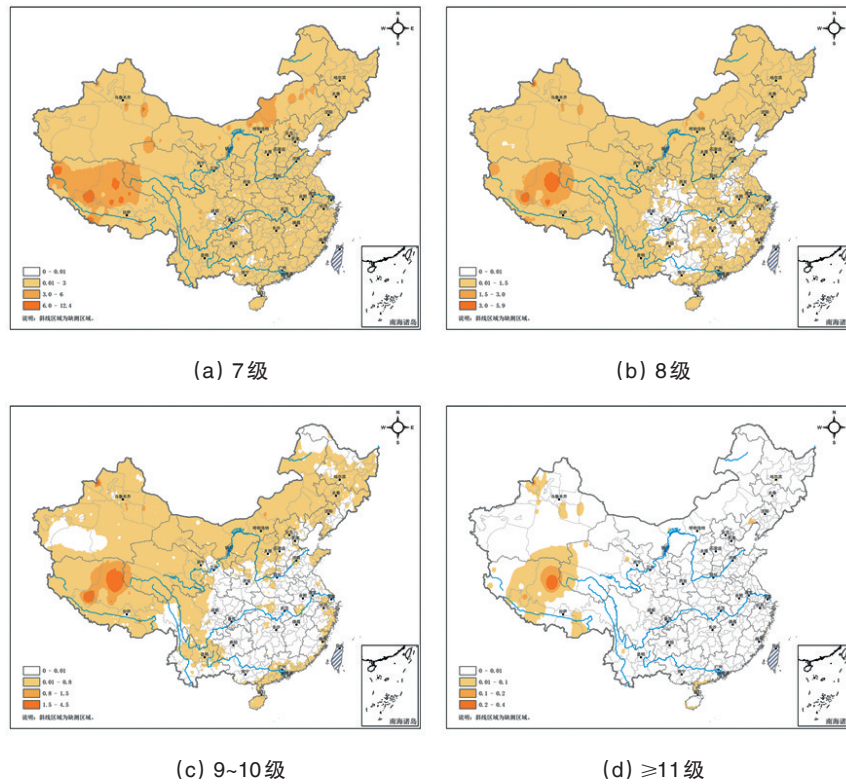


图3 2009—2014年不同等级极大风速出现频率的空间分布(单位:%)
Fig. 3 Spatial distribution of average frequency of valid strong winds according to hourly extreme wind from 2009 to 2014

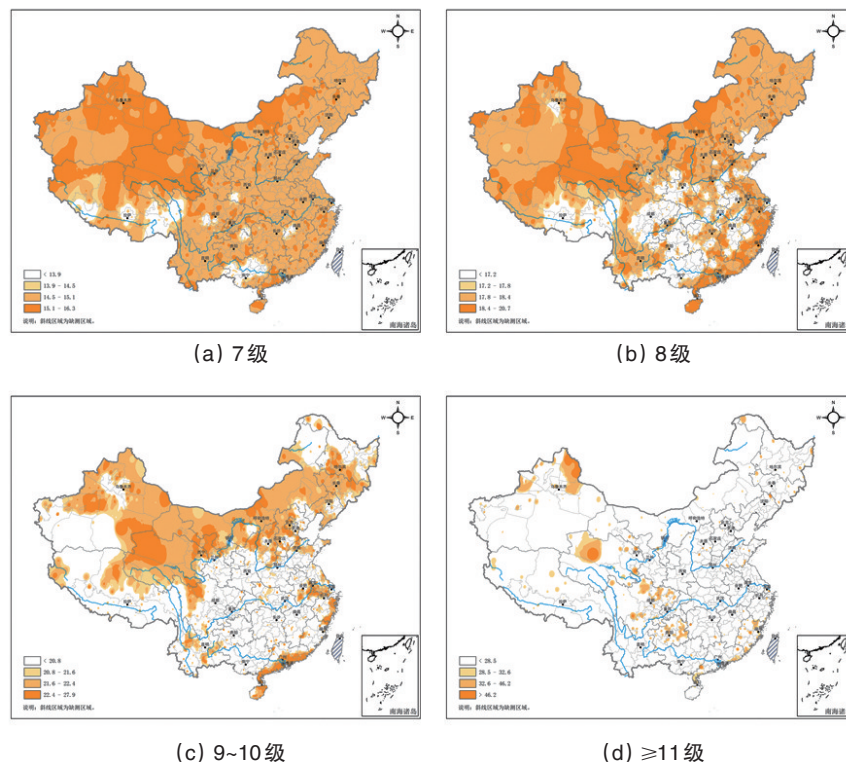


图4 2009—2014年不同等级极大风速强度的空间分布(单位: $m \cdot s^{-1}$)
Fig. 4 Spatial distribution of average speed of valid strong winds according to hourly extreme wind from 2009 to 2014

4 评价指标的时间变化特征

基于风力对高速公路交通的影响,对全国不同区域的4个等级大风频率与强度的时间变化特征进行分析。结果表明,近年来,全国范围内大风出现频率基本呈下降态势,但在大风相对频发的西北和华南沿海地区,对高速公路交通运行产生严重影响的9级以上平均风速出现频率增加,另外,8级以上极大风速强度也基本呈现增大态势。这一变化特征在华南地区最为显著,其3级以上大风均显示活动频率增加,第4等级极大风速强度的增大通过了0.1的显著性水平检验;此外,虽然第2等级极大风速出现频率没有明显的变化,但强度显著增强,达到了0.05的显著性水平。这主要与21世纪以来登陆台风呈现个数多、强度大的趋势^[7,15]有关,由台风引发的大风事件频数有所增加,说明高速公路交通的大风危险性亦在增大。

5 全国高速公路致灾大风危险性评价

根据式(2)计算得到高速公路大风危险性评价指数,再利用Kriging方法将其由站点插值成全国范围的栅格数据,采用地理信息系统(GIS)技术的几何间隔法进行等级划分,得到影响高速公路交通的全国大风危险性空间分布图(图5)。对于站点稀少的西藏地区西北部,为了更客观、精细的表现其大风危险性,本文结合WRF(weather research and forecasting model)模式输出的10 m风场资料(由国家气候中心提供)对其结果进行了订正。

由图5可知,大风危险性在空间分布上的差异明显,从内蒙古、新疆北部和东部、青海西部以及西藏地区向东南内陆递减,到沿海一带略有增加。致灾大风高危险区主要分布在内蒙古苏尼特右旗、乌兰察布市中部、包头北部、乌拉特后旗西北部,新疆阿拉山口、乌鲁木齐南部、托克逊北部、哈密西北部,山东威海以及西藏北部和西部的局部地区。经过上述地区的高速公路,如二广高速(G55)内蒙古苏尼特右旗段、吐和高速(G3012)新疆小草湖至托克逊段、连霍高速(G30)达坂城风区、三十里风区与百里风区段、荣乌高速(G18)山东威海段出现致灾大风的可能性大、交通受影响程度高。新疆高危险区内的高速、高等级公路交通安全受大风威胁严重,车辆停运、中断交通常有发生,其中百里风区段是中国乃至世界高速公路风灾最严重的区间之一^[9]。2014年5月31日8:00起,连霍高速达坂城至吐鲁番段遭遇大风袭击,平均风力达7~8级,10时起风力明显增大,三十里风区平均风速持续在9级以上,瞬时风力达14级,5辆货车被吹翻,60辆车受困。

致灾大风较高危险区主要分布在内蒙古中部和西部、黑龙江中东部、辽宁西部和南部、河北北部、甘肃西部、青海西部和南部、新疆西北部和东部以及川西高原东南部的部分地区。途径上述地区的高速公路,如荣乌高速(G18)内蒙古鄂尔多斯段、鹤大高速(G11)黑龙江佳木斯至鸡西段、长深高速(G25)辽宁阜新段、二广高速(G55)与沪蓉高速(G42)湖北荆

门段、杭瑞高速(G56)云南大理与曲靖段、连霍高速(G30)新疆乌鲁木齐至甘肃玉门段出现因大风造成车辆受损、交通阻断等灾害的危险性程度较高。另外,受地形和海陆分布的影响,山东半岛东北部、福建东南部、海南西南部沿海一带局部地区的高速公路,如荣乌高速(G18)、沈海高速(G15)的部分路段大风危险性同样较高,对交通运输安全造成潜在威胁。

除了上述高危险和较高危险区域外,中国北方大部 and 西南部分地区的大风危险性属于中等级别,区域内高速公路沿线交通运输遭受大风灾害的危险性程度相对较小。另外,受海陆差异和台风的影响,东部沿海地区大风活动虽然并不频繁,但强度大,高速公路的大风危险性也属中等级别。而对于中国中东部大部地区以及内蒙古东北部、黑龙江西北部和中部、吉林东部、辽宁东部、云南南部、西藏东部、北疆中东部和南疆盆地等地,其范围内高速公路出现致灾大风的可能性较小,交通受影响程度较低。

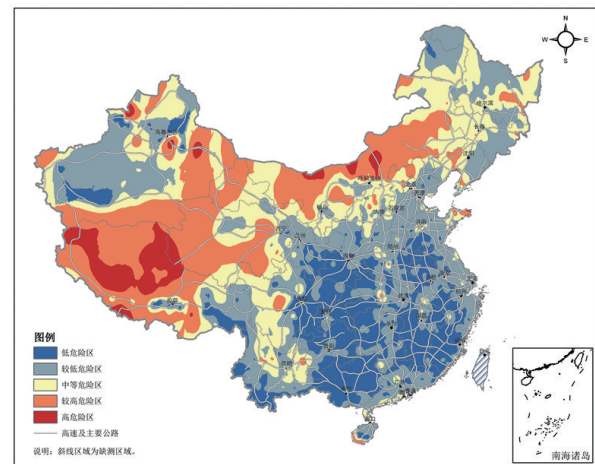


图5 影响高速公路交通的致灾大风危险性分布

Fig. 5 Distribution of disaster-inducing gale hazard for expressway transportation

6 结论与讨论

1) 影响高速公路交通的致灾大风频率与强度的高值区主要分布在内蒙古中西部、新疆西北部和东部、西藏北部和西部以及东南沿海的部分地区。近年来,华南沿海地区对高速公路交通有较大和严重影响的大风频数增加,强度增大,风灾的致灾因子危险性程度亦在加强。

2) 对高速公路交通产生影响的致灾大风高危险区主要分布在内蒙古中西部、北疆南部、东疆西北部以及西藏北部和西部的局部地区,途径上述地区的高速公路,如二广高速内蒙古苏尼特右旗段、吐和高速新疆小草湖至托克逊段、连霍高速达坂城风区、三十里风区与百里风区段、荣乌高速山东威海段出现致灾大风的可能性大、交通受影响程度高。

3) 较高危险区主要分布在内蒙古中部和西部、黑龙江中

东部、辽宁西部、河北北部、甘肃西部、青海西部和南部、新疆西北部和东部以及山东半岛东北部、福建东南部、海南西南部沿海一带的部分地区,上述范围内高速公路沿线交通运行遭受致灾大风影响的危险性程度较高。

4) 中等危险区主要分布在中国北方大部以及西南、东部沿海的部分地区。而对于中东部大部地区以及吉林东部、辽宁东部、云南南部、西藏东部、北疆中东部和南疆盆地等地的主要公路沿线,致灾大风发生概率较小,危险性程度较低。

本研究对全国范围内高速公路交通致灾大风危险性进行了评价,但暂未考虑侧风和横风对交通运行产生的影响,后续还需要选择典型区域深入研究。

参考文献 (References)

- [1] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236.
- [2] 邱博, 张录军, 谭慧慧. 中国大风集中程度及气候趋势研究[J]. 气象科学, 2013, 33(5): 543-548.
Qiu Bo, Zhang Lujun, Tan Huihui. Study on the gale concentration degree and climatic tendency in China[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2013, 33(5): 543-548.
- [3] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 近 50 年我国风向变化特征[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 666-672.
Jiang Ying, Luo Yong, Zhao Zongci. Characteristics of wind direction change in China during recent 50 years[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(6): 666-672.
- [4] 王小玲, 宋文玲. 近 30 a 我国 5 级以上风日数的时空变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(6): 347-351.
Wang Xiaoling, Song Wenling. Spatial and temporal variations in windy days over category 5 in China during 1975-2005[J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(6): 347-351.
- [5] 张丽娟, 陈红, 高玉宏, 等. 黑龙江省大风分布特征及风险区划研究[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 899-905.
Zhang Lijuan, Chen Hong, Gao Yuhong, et al. Study on the distribution and risk zoning of strong winds in Heilongjiang province[J]. Progress in Geography, 2011, 30(7): 899-905.
- [6] 夏祎萌, 何清, 李军, 等. 新疆大风灾害灾度和危险性分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1025-1028.
Xia Yimeng, He Qing, Li Jun, et al. Disaster degree and risk degree of wind disasters in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(4): 1025-1028.
- [7] 宗宁, 刘敏, 陆敏. 上海市台风风灾风险评价[J]. 人民长江, 2012, 43(23): 71-74.
Zong Ning, Liu Min, Lu Min. Risk assessment of wind disaster caused by typhoon in Shanghai[J]. Yangtze River, 2012, 43(23): 71-74.
- [8] 张丽佳, 刘敏, 陆敏, 等. 中国东南沿海地区台风危险性评价[J]. 人民长江, 2010, 41(6): 81-91.
Zhang Lijia, Liu Min, Lu Min, et al. The hazard assessment of typhoon in southeast coastal areas of China[J]. Yangtze River, 2010, 41(6): 81-91.
- [9] 马毓娟, 马淑红, 张云惠, 等. 新疆高速公路强横风区间安全行车对策研究[J]. 干旱区地理, 2012, 35(2): 209-220.
Ma Yunjuan, Ma Shuhong, Zhang Yunhui, et al. Measures for safe driving at violent-wind section of Xinjiang expressway[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(2): 209-220.
- [10] 翟雅静, 李兴华. 灾害性天气影响下的交通气象服务进展研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 144-147.
Zhai Yajing, Li Xinghua. Advances in traffic meteorological service under the influence of disastrous weather[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 144-147.
- [11] 陈文友, 马志福, 马淑红, 等. 新疆公路风害风险区划研究[J]. 中国科技信息, 2013(15): 139-141.
Chen Wenyu, Ma Zhifu, Ma Shuhong, et al. Regionalization research of Xinjiang highway wind damage risk[J]. China Science and Technology Information, 2013(15): 139-141.
- [12] 中国气象局. QX/T 111—2010 高速公路交通气象条件等级[S]. 2010. China Meteorological Administration. QX/T 111—2010 grade of weather conditions for freeway transportation[S]. 2010.
- [13] 张继全, 李宁. 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, 2007: 32-33.
Zhang Jiquan, Li Ning. Quantitative methods and applications of risk assessment and management on main meteorological disasters[M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 2007: 32-33.
- [14] 曾蓉, 陈洪凯, 李俊业. 熵权模糊综合评价法在公路洪灾危险性评价中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(4): 587-591.
Zeng Rong, Chen Hongkai, Li Junye. Fuzzy comprehensive evaluation method based on entropy in road flood risk assessment[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science Edition), 2010, 29(4): 587-591.
- [15] 黄昌兴, 周国良, 郑磊, 等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6): 81-85.
Huang Changxing, Zhou Guoliang, Zheng Lei, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of landing typhoons in China and their influence[J]. Hydrology, 2014, 34(6): 81-85.

Assessment of disaster-inducing gale hazard for expressway transportation

SONG Jianyang, LIU Yanxiang, TIAN Hua, GAO Jingjing, LI Wanyu

Public Meteorological Service Centre, China Meteorology Administration, Beijing 100081, China

Abstract Based on the observations of the 10-minute mean wind speed during 2005 to 2014 and the hourly extreme wind speed during 2009 to 2014 in 2373 national meteorological stations, and with consideration of the grades of wind effects on the expressway transportation in the meteorological standard (QX/T111-2010), the frequency and the intensity of the disaster-inducing gale are selected as the evaluation indexes, and the hazard of the disaster-inducing factors is evaluated with the entropy weight method. The nationwide distribution of the disaster-inducing gale hazard for the expressway transportation is obtained, which illustrates that the highest risk areas are mainly located in the west-central Inner Mongolia, the north and west Tibetan plateau, and Alashan Passes, Daban City, Sanshili and Baili Wind areas of Xinjiang. The second high risk areas are mainly distributed in the middle and west Inner Mongolia, the western Gansu, the western and southern Qinghai, the east and north-central Xinjiang, the northwest of Northern Xinjiang and the coastal areas of the northeastern Shandong Peninsula, the southeastern Fujian, the southwestern Hainan. The disaster-inducing gale hazard is relatively low in other regions.

Keywords expressway transportation; wind speed; disaster-inducing gale rating

(责任编辑 傅雪)