

顾婷婷, 邓 闯, 潘娅英, 等. 基于模糊综合评价法的浙江省高速公路暴雨灾害风险评估[J]. 干旱气象, 2018, 36(5): 873-878, [GU Tingting, DENG Chuang, PAN Yaying, et al. Risk Division of Rainstorm Disasters on Expressway in Zhejiang Province Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5): 873-878], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0873

基于模糊综合评价法的浙江省高速公路 暴雨灾害风险评估

顾婷婷, 邓 闯, 潘娅英, 魏 晨

(浙江省气象服务中心, 浙江 杭州 310017)

摘 要:利用2006—2017年浙江省气象站点的降水数据、基础地理信息数据以及社会经济数据,考虑高速公路的自然地理环境特征,从危险性、暴露度、脆弱性3个方面出发,建立高速公路暴雨灾害风险评估指标集。通过ArcGIS技术,结合模糊综合评价法,建立暴雨灾害风险评估模型,形成浙江省高速公路暴雨灾害风险区划图。结果表明,浙东南沿海地区及西部山区境内的高速路段风险等级较高,浙北北部地区和中部盆地境内的高速路段风险较低。高风险路段主要分布在长深高速富阳段、京台高速开化段、诸永高速永嘉段、温丽高速温州段、温州绕城高速、甬台温高速台州段以及瑞安到苍南段、常台高速天台东段等路段。

关键词:高速公路;暴雨灾害;风险区划;GIS

文章编号:1006-7639(2018)05-0873-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0873

中图分类号:P468

文献标志码:A

引 言

暴雨是影响交通安全最主要的灾害性天气之一。据统计,雨天高速公路的事故发生率较平时增大2~3倍^[1-2]。另外,暴雨等强降水将冲毁或淹没公路路基、路面、涵洞、护坡、驳岸等,暴雨洪水还诱发坍塌方等地质灾害,进而破坏公路设施,致使交通中断,给交通运输带来严重威胁^[3]。气象灾害风险评估与区划在灾害的防御中发挥着重要作用,近年来国内外许多学者对暴雨灾害风险评估与区划开展了大量研究,并取得了不少研究成果^[4-8]。但大多研究是以特定的行政区域为评价单元,针对高速公路的风险评估技术方法及模型的研究尚在探索中。林孝松等^[9]在建立公路洪灾经济损失估算模型的基础上,对重庆市G319公路路段的洪灾风险进行综合分区。黄朝迎等^[10]通过分析暴雨洪水对公路交通的影响,建立了公路路基水毁长度的相关统计模型。武永峰等^[11]基于灰色综合评价法和GIS技术,建立了基于多源栅格数据的湖南省公路交通暴

雨风险评价模型。

以往的研究为高速公路暴雨灾害风险评估与区划提供了理论与技术参考,但研究大多针对某一路段或特定区域的公路路段。浙江省暴雨天气较频繁,往往给交通行业带来重大损失。例如,2013年6月7日、6月26—29日2次区域性暴雨导致杭州、衢州、绍兴、宁波等地局部出现山洪、泥石流、滑坡等灾害,交通严重受阻,公路中断231条次,工业交通运输业损失达2.02亿元。因此,开展浙江省的高速公路暴雨灾害风险评估与区划研究具有十分重要的现实意义。本文以浙江省高速公路为区划对象,从危险性、暴露度、脆弱性3个方面入手,建立高速公路暴雨灾害综合评估模型,从而绘制浙江省高速公路暴雨灾害风险区划图。

1 资料与方法

1.1 研究资料

所用资料包括:(1)2006—2017年浙江省2948个自动气象观测站的逐日、逐时降水资料,以及浙江

收稿日期:2018-03-19;改回日期:2018-07-23

基金项目:浙江省科技厅公益性技术研究重点项目(2014C23003)资助

作者简介:顾婷婷(1985—),女,江苏兴化人,硕士,高级工程师。E-mail:gutt1985@yeah.net。

通信作者:邓闯(1984—),男,硕士,工程师。E-mail:231537947@qq.com。

省地质灾害点、行政区划、高速公路分布等数据,均来源于浙江省气象局;(2)国际科学数据镜像(<http://www.gscloud.cn>)网提供的浙江省 DEM 数据(分辨率为 90 m × 90 m),美国国家地质调查局免费数据网提供的 2006—2017 年逐月 NDVI 数据;(3)2015—2016 年浙江省公路客运量和货运量数据,来源于浙江省统计年鉴。

1.2 研究方法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的综合评价方法,该评价方法根据模糊数学理论把定性评价

转化为定量评价^[12-13]。采用模糊综合评价方法,建立了基于 GIS 的暴雨灾害风险评估模型,从而完成浙江省高速公路暴雨灾害风险区划。

1.2.1 评价指标集的确

依据自然灾害风险区划原理,考虑高速公路暴雨灾害危险性、暴露度以及脆弱性方面的特点,构建了 9 个风险区划指标(图 1),并利用层次分析法(AHP),确定各影响指标的权重系数,将浙江省高速公路暴雨灾害风险划分为高风险、较高风险、中等风险、较低风险以及低风险 5 个等级。

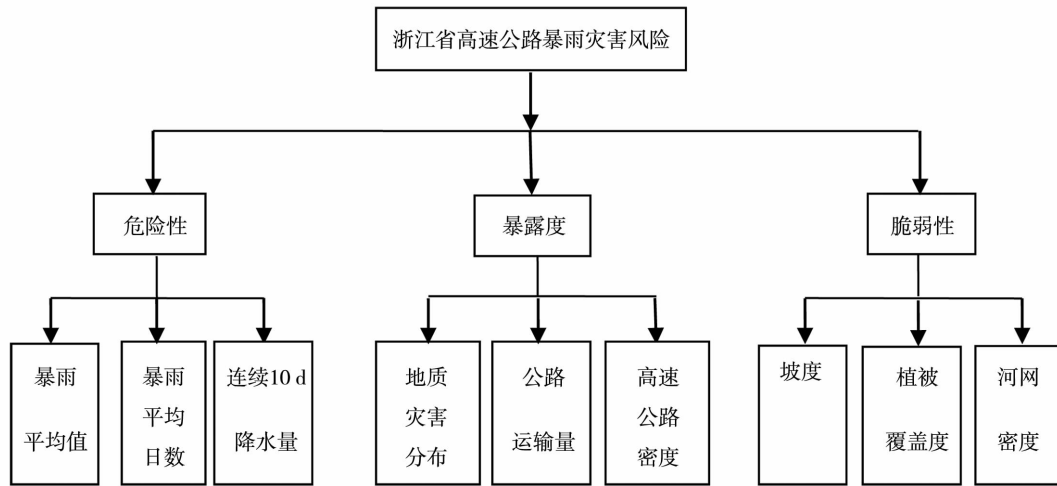


图 1 高速公路暴雨灾害风险评估指标体系

Fig. 1 Index system about risk assessment of rainstorm disaster on expressway

1.2.2 隶属函数的建立

隶属函数一般用于刻画模糊集合,从而实现模糊性事物的定量化^[14]。隶属函数的构建是模糊综合评价模型的核心,隶属函数主要有梯形分布、正态分布、抛物线分布以及三角形分布,本文依据各评价指标的特点,选取了降、升半梯形和三角形函数。并根据自然断点法,各评价指标均选取 5 个间隔点进行划分,具体公式如下:

$$f_1 = \begin{cases} 0 & x \leq \lambda_1 \\ \frac{x - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} & x \in (\lambda_1, \lambda_2) \\ 1 & x \geq \lambda_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$f_2 = \begin{cases} 0 & x \leq \lambda_3 \text{ 或 } x \geq \lambda_2 \\ \frac{x - \lambda_3}{\lambda_1 - \lambda_3} & x \in (\lambda_3, \lambda_1) \\ 1 & x = \lambda_1 \\ \frac{\lambda_2 - x}{\lambda_2 - \lambda_1} & x \in (\lambda_1, \lambda_2) \end{cases} \quad (2)$$

$$f_3 = \begin{cases} 0 & x \leq \lambda_4 \text{ 或 } x \geq \lambda_1 \\ \frac{x - \lambda_4}{\lambda_3 - \lambda_4} & x \in (\lambda_4, \lambda_3) \\ 1 & x = \lambda_3 \\ \frac{\lambda_1 - x}{\lambda_1 - \lambda_3} & x \in (\lambda_3, \lambda_1) \end{cases} \quad (3)$$

$$f_4 = \begin{cases} 0 & x \leq \lambda_5 \text{ 或 } x \geq \lambda_1 \\ \frac{x - \lambda_5}{\lambda_4 - \lambda_5} & x \in (\lambda_5, \lambda_4) \\ 1 & x = \lambda_4 \\ \frac{\lambda_3 - x}{\lambda_3 - \lambda_4} & x \in (\lambda_4, \lambda_3) \end{cases} \quad (4)$$

$$f_5 = \begin{cases} 1 & x \leq \lambda_5 \\ \frac{\lambda_4 - x}{\lambda_4 - \lambda_5} & x \in (\lambda_5, \lambda_4) \\ 0 & x \geq \lambda_4 \end{cases} \quad (5)$$

式中: x 为评估单元的各指标数值; λ 为各判断区间临界值。

通过隶属度函数,计算出各项评估指标相对各风险等级的隶属度,即建立了一个隶属度矩阵。

$$R = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & \cdots & f_{m1} \\ f_{12} & f_{22} & \cdots & f_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{1n} & f_{2n} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

1.2.3 综合评价指数的计算

得到模糊评价矩阵及影响因子的权重系数后,可通过模糊变换得到综合评价指数,公式如下:

$$C = W \times R \quad (7)$$

式中: C 表示各评价因子风险指数值; W 为影响因子的权重系数; R 暴雨灾害评价矩阵。对于向量 C 根据最大隶属度法,判断评估单元的暴雨灾害风险等级。

2 结果分析

2.1 危险性评价

考虑暴雨强度及持续时间,参考已有研究成果^[15-17],选取暴雨年平均日数、暴雨平均值、连续10 d 累计降水 100 mm 以上平均值作为致灾因子评价指标。将各指标进行归一化处理,利用 AHP 方法,得到各自的权重系数分别为 0.3079、0.3253、0.3668,通过加权求和计算得到致灾因子危险性指数。图2是浙江省暴雨灾害致灾因子危险性区划图。可以看出,浙江东南沿海地区以及浙西南地区分别受台风暴雨和地形抬升暴雨影响危险性较高,低危险性区域主要分布在浙江中部的盆地一带。

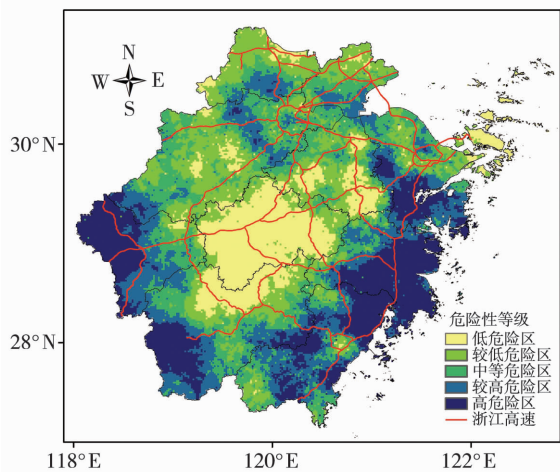


图2 浙江省暴雨灾害致灾因子危险性区划

Fig. 2 Risk division of rainstorm disaster-causing factors in Zhejiang Province

2.2 暴露度评价

暴雨灾害以及诱发的地质灾害严重影响公路交通安全,路网分布越密集,暴雨灾害对道路交通的影响越大。选取地质灾害密度、运输量指数、高速公路密度作为暴露度评价指标。地质灾害密度是利用 ArcGIS 空间分析的密度函数,计算出研究区域栅格数据中每个单元的地质灾害密度值,生成公路路段地质灾害密度。运输量指数是利用浙江省统计年鉴中各区县的客运量和货运量数据,与高速公路矢量数据中的区县字段连接并赋值,并进行归一化处理,和权重叠加,得到路段的运输量指数。高速公路密度依据浙江省高速公路分布底图,通过 ArcGIS 计算得到单位网格内高速公路的线密度。

通过 AHP 方法,得到地质灾害密度、高速公路密度和运输量指数的权重系数,分别为 0.4914、0.2415、0.2671,计算得到高速公路暴露度指数。图3为浙江省高速公路暴雨灾害暴露度分布。可以看出,长深高速富阳和建德段及丽水市段、沪昆高速诸暨段、甬金高速东阳到嵊州段、常台高速天台到新昌段、诸永高速金华和永嘉段、温州绕城高速等路段为高暴露区。而湖州、嘉兴、绍兴北部以及宁波境内的高速路段等暴露度等级较低。

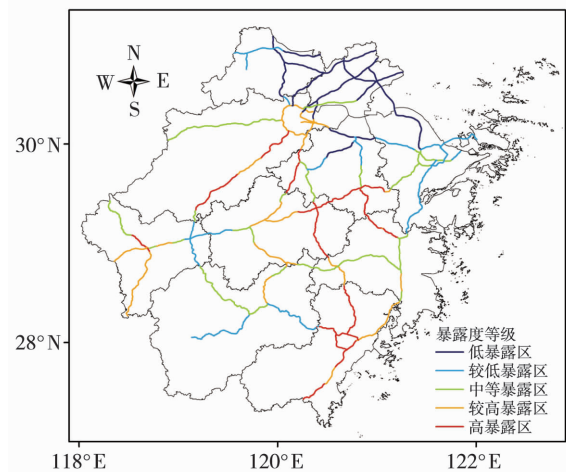


图3 浙江省高速公路暴雨灾害暴露度分布

Fig. 3 Spatial distribution of expressway risk exposure index for rainstorm disaster in Zhejiang Province

2.3 脆弱性评价

脆弱性指承灾体受到自然灾害外力作用下的损坏程度,指受到不利影响的倾向或趋势^[18-19]。选取坡度、植被覆盖 (NDVI) 以及河网密度作为脆弱性评价指标。考虑周边自然地理环境对高速公路的影响,利用 ArcGIS 将高速公路以每 1 km 为间隔进行划分,将路段两侧 0.5 km 的范围设置为缓冲区,以

1 km × 1 km 的栅格单元作为高速公路各路段的影响区域。

研究表明,高速公路周边的坡度越大、植被覆盖越低、河网越密集,越容易增加公路暴雨灾害产生的风险^[20-21]。因此,将高速公路各路段影响区域内的最大坡度值,赋值给高速公路路段作为坡度影响指数。同样,各路段影响区域内的植被覆盖度和河网密度的平均值赋值给该路段,作为路段的植被和水系影响指数。根据公路自然区划标准和相关研究成

果^[22-23],将各指标划分为 5 级,并利 AHP 方法,对不同指标等级赋予相应的权重系数(表 1)。

植被覆盖度采用 2000—2013 年 NDVI 逐年最大值的平均表示^[24],公式为:

$$VC = \sum_{i=1}^n \frac{NDVI_{max}}{n} \quad (8)$$

式中:VC 为植被覆盖度;NDVI_{max} 为每年最大归一化植被指数;i 为年份,i = 1,2,3,⋯,n。

表 1 脆弱性指标分级标准及权重系数

Tab. 1 The grading standards of vulnerability index and weight value

等级	评价指标					
	坡度	权重值	NDVI	权重值	河网密度	权重值
1	[0,8]	0.05	[0.75,1]	0.05	[0,0.53]	0.05
2	(8,15]	0.10	[0.65,0.75)	0.10	(0.53,0.57]	0.10
3	(15,25]	0.20	[0.50,0.65)	0.20	(0.57,0.63]	0.20
4	(25,35]	0.30	[0.30,0.50)	0.30	(0.63,0.73]	0.30
5	(35,100]	0.35	[0,0.3)	0.35	(0.73,1]	0.35

通过 AHP 方法,得到坡度、植被覆盖度、河网密度的权重系数,分别为 0.4365、0.2389、0.3246。利用加权求和计算得到脆弱性指数。图 4 为浙江省高速公路暴雨灾害脆弱性区划。可以看出,脆弱性等级呈明显的纬度地带性分布特征,浙中南地区多山地,河网也较密集,因此该地区的高速公路脆弱性较高,而浙北平原地区的高速公路脆弱性较低。

2.4 浙江省高速公路暴雨灾害风险区划

利用 ArcGIS 技术,依据建立的浙江省高速公路暴雨灾害区划指标及评估模型,通过 AHP 方法确定各个指标的权重系数(表 2),最后计算得到精细化的综合风险指数。并利用自然断点法将浙江省高速公路划分为 5 个风险区域:高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区、低风险区。图 5 为浙江省高速公路暴雨洪涝灾害风险区划,可以看出:

(1)浙东南沿海地区及西部山区境内的高速路段总体风险等级较高,其中高风险区占全省路段总长的 19.35%,主要分布在长深高速富阳段、京台高速开化段、诸永高速永嘉段、温丽高速温州段、温州绕城高速、甬台温高速台州段、瑞安到苍南段、常台高速天台东段等路段。这些区域主要由较高的致灾因子危险性指数起主导作用,而长深高速富阳段、常台高速天台东段等路段虽然致灾因子危险性指数不高,但承灾体暴露度和脆弱性均较高,因此综合风险指数高。在防灾减灾方面,应加强防洪规划,提高设防标准,在滑坡、泥石流频发区域加强防御措施的建设。

(2)中等风险区占全省路段总长的 21.46%,主要分布在致灾因子危险性等级在中等及以下的杭州湾环线海宁段、杭徽高速余杭到临安段、长深高速建德段、沪昆高速萧山到诸暨段、常台高速新昌段、京

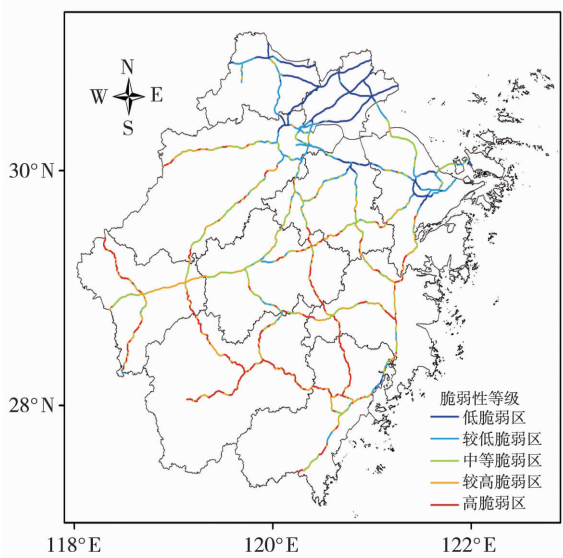


图 4 浙江省高速公路暴雨灾害脆弱性分布

Fig. 4 Spatial distribution of expressway vulnerability index for rainstorm disaster in Zhejiang Province

台高速江山段。甬台温高速宁海段以及台金高速仙居段虽然致灾因子危险性指数较高,但承灾体暴露度和脆弱性均不高,因此综合风险指数不高。

(3)浙北北部地区和中部盆地境内高速路段总体风险等级较低,其中低风险区占全省路段总长的 18.27%,主要分布在湖州和嘉兴境内的申嘉湖高

速、练杭高速路段,湖州境内的沪渝高速、杭长高速、杭宁高速路段,嘉兴境内的常台高速、乍嘉苏高速路段,以及甬金高速义乌到金东段、沪昆高速浦江到金华市段、长深高速金华到丽水市段。这些路段的致灾因子危险性指数较低,而脆弱性指数也不高,且暴雨灾情相对较少,因此总体风险水平相对较低。

表 2 浙江省高速公路暴雨灾害风险区划评价指标权重

Tab.2 Weight value for integrated zoning of rainstorm disasters on expressway in Zhejiang Province

风险因子	权重	评价指标	权重
危险性	0.4021	暴雨年平均日数	0.3079
		暴雨平均值	0.3253
		连续 10 d 累计降水 100 mm 以上平均值	0.3668
脆弱性	0.2563	坡度	0.4365
		植被覆盖	0.2389
		河网密度	0.3246
暴露度	0.3416	地质灾害密度	0.4914
		公路运输量	0.2415
		高速公路密度	0.2671

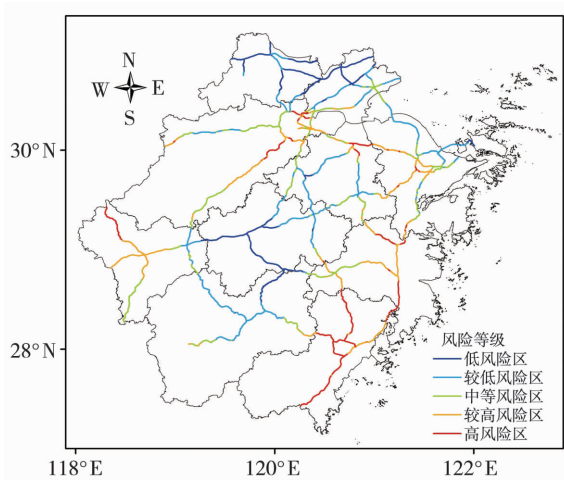


图 5 浙江省高速公路暴雨洪涝灾害风险区划

Fig. 5 Risk division of rainstorm disasters on expressway in Zhejiang Province

3 结论与讨论

浙东南沿海地区及西部山区境内的高速路段总体风险等级较高,浙北北部地区和中部盆地境内的高速路段风险较低。高风险路段占全省路段总长的 19.35%,主要分布在长深高速富阳段、京台高速开化段、诸永高速永嘉段、温丽高速温州段、温州绕城高速、甬台温高速台州段、瑞安到苍南段、常台高速天台东段等路段。在防灾减灾方面,应加强防洪规划,提高设防标准,在滑坡、泥石流频发区域加强防御措施的建设。

本文以浙江省高速公路为区划对象,从致灾因子危险性、承灾体暴露度以及脆弱性方面出发,利用模糊综合评价和 AHP 方法,建立高速公路暴雨灾害风险评价指标及评估模型,编制了浙江省高速公路暴雨灾害风险区划图,区划结果可为交通管理部门制定相应的高速公路暴雨灾害防御措施提供一定的科学参考。由于高速公路暴雨灾害受到众多因素的影响,文中在评价指标的选取上仅考虑几个典型影响因子,全面、定量地评估高速公路暴雨灾害风险,在当前仍存在一定困难。今后还需针对特殊形态的高速公路如高架、隧道等的承灾体特点进行进一步精细化的分析。

参考文献:

[1] DATLA S, SAHU P, ROHD H J, et al. A comprehensive analysis of the association of highway traffic with winter weather conditions[J]. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2013,104:495-506.

[2] 钱莉,安颖颖,赵德强. 乌鞘岭高速公路路段多发交通事故的气象条件分析[J]. 干旱气象,2014,32(2):286-291.

[3] 张利,汪林. 不利气象条件对公路交通安全的影响及对策[J]. 公路交通科技,2011,28(增刊1):120-123.

[4] SMITH K. Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster (2nd edition)[M]. New York:Routledge, 1996.

[5] OTAR V, NINO T, AVTANDIL A, et al. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia[J]. Natural Hazards, 2012,64(3):2021-2056.

[6] 王清川,寿绍文,许敏,等. 廊坊市暴雨洪涝灾害风险评估与区划[J]. 干旱气象,2010,28(4):475-482.

- [7] 王秀荣,吕终亮,王莉萍,等. 一种简化的暴雨灾害风险及影响评估方法和应用研究——以京津冀“7·21”暴雨事件为例[J]. 气象,2016,42(2):213-220.
- [8] 扈海波,轩春怡,诸立尚. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预评估[J]. 应用气象学报,2013,24(1):99-108.
- [9] 林孝松,陈洪凯,王先进,等. 重庆市涪陵区 G319 公路洪灾风险评估研究[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(2):244-150.
- [10] 黄朝迎,张清. 暴雨洪水灾害对公路交通的影响[J]. 气象,2000,26(9):12-15.
- [11] 武永峰,张勇,陈鲜艳,等. 湖南省公路交通暴雨风险评价研究[J]. 自然灾害学报,2011,20(5):148-154.
- [12] 胡继才,万福钧. 应用模糊数学[M]. 武汉:测绘科技大学出版社,1998:7-20.
- [13] 沈继红,付肖燕,赵玉新. 模糊综合评估模型的改进[J]. 模糊系统与数学,2011,25(3):127-132.
- [14] 王靖,张金锁. 综合评价中权重确定的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报,2001,30(2):52-57.
- [15] 缪启龙,陈鑫,俞布,等. 杭州市暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(2):163-168.
- [16] 杭州气象志编委会. 杭州气象志[M]. 北京:中华书局出版社,2008:77.
- [17] 袁慧敏,王秀荣,范广洲,等. 长江中下游沿江地区暴雨过程综合评估模型及应用[J]. 气象,2012,38(10):1189-1195.
- [18] 石勇,许世远,石纯,等. 洪水灾害脆弱性研究进展[J]. 地理科学进展,2009,28(1):41-46.
- [19] 王艳君,高超,王安乾,等. 中国暴雨洪涝灾害的暴露度与脆弱性时空变化特征[J]. 气候变化研究进展,2014,10(6):391-398.
- [20] 尹占娥,田鹏飞,迟潇潇. 基于情景的 1951—2011 年中国极端降水风险评估[J]. 地理学报,2018,73(3):405-413.
- [21] 林孝松,陈洪凯,王先进,等. 西南地区公路洪灾孕灾环境分区[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(2):251-256.
- [22] 马保成,田伟平,张小荣,等. 中国公路综合自然区划分区指标[J]. 长安大学学报(自然科学版),2010,30(6):33-38.
- [23] 中华人民共和国交通部标准. 公路自然区划标准:JTJ 003-86[S/OL].
- [24] 谢炳庚,李晓青. 基于栅格空间信息量化的湖南西部地区生态环境综合评价[J]. 冰川冻土,2002,24(4):438-443.

Risk Division of Rainstorm Disasters on Expressway in Zhejiang Province Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

GU Tingting, DENG Chuang, PAN Yaying, WEI Chen

(Meteorological Service Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310017, China)

Abstract: Based on the precipitation observation data from meteorological stations in Zhejiang Province during 2006-2017 and combined with the geographic information and social and economic data, the risk assessment index sets were established on the basis of the analysis of hazard factors, vulnerability and exposure, considering the natural geographical environment characteristics of expressway. Risk assessment model was established by using methods of ArcGIS spatial technique and fuzzy comprehensive evaluation method, and finally the risk division map of rainstorm disasters on expressway in Zhejiang was performed. The results show that the higher level of rainstorm risk appeared in southeast coastal areas and west mountainous areas of Zhejiang, while the lower level of rainstorm risk on the expressway sections occurred in the north of northern Zhejiang and central basin area. The higher risk sections were mainly located in Chang-Shen expressway Fuyang section, Jing-Tai expressway Kaihua sections, Zhu-Yong expressway Yongjia sections, Wen-Li expressway Wenzhou sections, Wenzhou ring expressway, Yong-Tai-Wen expressway Taizhou section, and from Ruian to Cangnan sections, Chang-Tai expressway Tiantai east sections.

Key words: expressway; rainstorm disasters; risk division; ArcGIS