



引用格式:周林义,钱玮,崔海蓉,等.基于灰色关联度-主成分法的高速公路雾灾评估模型——以沿海高速江苏段为例[J].科学技术与工程,2020,20(1):64-68

Zhou Linyi, Qian Wei, Cui Hairong, et al. Assessment model of fog disaster at expressway based on GRA-PCA: taking coastal expressway in Jiangsu as an example[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(1): 64-68

基于灰色关联度-主成分法的高速公路雾灾评估模型 ——以沿海高速江苏段为例

周林义¹, 钱玮¹, 崔海蓉^{2*}, 王宏斌¹

(1. 中国气象局交通气象重点开放实验室, 江苏省气象科学研究所, 南京 210008;

2. 南京信息工程大学管理工程学院, 南京 210044)

摘要 基于2010—2014年沿海高速江苏路段的管制信息和气象监测数据,详细分析了大雾灾害发生时的数据特征,构建了高速公路雾灾灾情评估指标体系。进一步构建了基于灰色关联度-主成分法(GRA-PCA)的高速公路雾灾灾情评估模型,即运用灰色关联度分析法计算各指标样本数据的关联系数,运用主成分分析法获得各指标关联系数的权重,通过指标关联系数的加权平均值获得更加符合实际的灾害划分等级。通过对沿海高速江苏路段的实例分析,认为江苏省交通厅在雾灾预警和管制方面的工作有效降低了雾灾发生时的损失程度,但仍有可改进的空间,以杜绝I特别重大和II重大情况的发生。

关键词 交通安全;指标体系;灾情评估;灰色关联度;主成分分析

中图分类号 P429 U491;

文献标志码 A

Assessment Model of Fog Disaster at Expressway Based on GRA-PCA: Taking Coastal Expressway in Jiangsu as an Example

ZHOU Lin-yi¹, QIAN Wei¹, CUI Hai-rong^{2*}, WANG Hong-bin¹

(1. Key Laboratory of Transportation Meteorology CMA, Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210008, China;

2. School of Management Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

[Abstract] Using information of the traffic control and meteorological monitoring in the Jiangsu section of the coastal expressway from 2010 to 2014, the data characteristics of heavy fog disaster appearance was analyzed in detail, an evaluation index system of fog disaster on the expressway established, and an evaluation model of fog disaster on expressway constructed based on grey relational analysis-principal component analysis(GRA-PCA). In other words, grey correlation analysis method was used to calculate the correlation of the sample data of each index, and the principal component analysis to obtain the weight of the correlation of each index. The weighted average value of correlation of the index was used to approach more realistic disaster grading. The application for the Jiangsu section in early warning and control of fog disaster showed that our model could reduce effectively the loss in fog disaster events. However, there are some rooms for the improvement to eliminate the occurrence of Grades I and II (China's classification) accidents in foggy days on highways.

[Key words] traffic safety; index system; disaster assessment; grey correlation degree; principal component analysis

伴随着中国道路通车里程、机动车和驾驶人员数量、道路交通运营量的大幅增长,公路交通安全已成为政府和公众最关心的重要问题之一。气象条件是影响公路交通运输安全的重要因素^[1]。大雾、雨雪冰冻、暴雨等恶劣天气不仅会造成交通拥堵、瘫痪,而且极易引发交通事故,造成社会经济损失甚至人员伤亡^[2]。近年来,由气象灾害引发的交通事故具有明显增大的趋势,然而,有关交通气象灾害评估的研究却鲜有人涉及。虽然公众经常从媒体报道或官方统计数字中了解到交通气象灾害造成的直接经济损失和

人员伤亡数字,但是,这些数字仅仅部分反映了灾害影响,人们缺乏对灾害等级的划分以及对灾害损失程度的精确认识。因此,气象灾害灾情评估和风险管理逐步成为研究的重点和热点问题^[3]。

近年来,江苏省高速公路建设可谓日新月异,自从1996年沪宁高速公路建成通车以来,江苏省高速公路建设投入不断加大,通车里程和密度不断提高,截至2018年底,江苏省高速公路总里程已经突破4 000 km。在江苏省高速公路大发展阶段,高速公路事故频发以及事故造成的严重程度与日俱增,其中恶

收稿日期:2019-05-09; 修订日期:2019-07-28

基金项目:江苏省自然科学基金(BK20161073);江苏省气象局科研基金重点项目(KZ201907)

第一作者:周林义(1980—),男,汉族,江苏南通人,硕士,工程师。E-mail:linyiy_z@sohu.com。

*通信作者:崔海蓉(1977—),女,汉族,江苏徐州人,博士,副教授,硕士研究生导师。E-mail:002395@nuist.edu.cn。

劣天气是造成事故的重要原因之一,尤其以雾灾为最,每年第一和第四季度更是雾情高发季节。大雾对江苏省高速公路安全管理构成了严峻挑战。

在此将对高速公路雾灾灾情评估模型展开研究,并以沿海高速江苏路段进行实例分析,所以给出的模型及方法不仅限于沿海高速江苏路段,对于其他大雾灾情高发的高速公路段同样适用。

有关高速公路气象灾害方面的研究近年来逐渐增多,但基本都是针对高速公路气象灾害风险评估或预警的,例如柳艳香等^[4]对各种高速公路气象灾害风险评估方法进行了比较和分析。顾婷婷等^[5]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,建立了高速公路暴雨灾害风险评估指标集。张金满等^[6]构建了雾天高速公路风险预警指标体系,并针对京沪、黄石高速河北段进行实证检验。而专门针对高速公路气象灾害灾情评估的文献目前仅有李岚等^[7]运用灰色关联度分析法对辽宁高速公路雾灾进行了评估。

关于灰色关联度分析法(grey relational analysis, GRA)近年来在各领域评估方面也是得到了众多学者的青睐,例如张娜等^[8]基于GRA评价了引种郁金香的质量。崔祥民^[9]运用改进的GRA从价值链的角度构建了众创空间核心竞争力评价指标体系。在气象灾害评估方面,应用趋势也在逐渐加强。周伟灿等^[10]将GRA应用于长江三角洲雾灾灾情的评估,认为GRA对雾灾灾情损失评估具有可行性,评估结果符合实际情况。李亚滨等^[11]采用GRA进行灾害等级划分,研究暴雨灾害与气象因子之间的关系,建立了反映暴雨灾害程度的5项单指标及综合评估指数,并在此基础上建立了评估和预评估模型。

尽管灰色关联度分析法得到了非常广泛的应用,但是该方法在最后计算关联系数综合指标时,通常假设各指标的关联系数具有相等权重,从而对各指标取算数平均值,与实际存在偏差。因此,针对此现象,将灰色关联度分析法与主成分分析法(principal component analysis, PCA)巧妙结合,即在灰色关联度分析法基础上,首次采用大量历史数据,运用主成分分析法计算各指标的关联系数权重,通过各指标的加权平均值获得更加符合实际的关联系数评价价值。

1 高速公路雾灾评估模型

1.1 高速公路雾灾评估指标及数据资料说明

1.1.1 高速公路雾灾评估指标

通过对现有文献的研究和梳理,并结合高速公路大雾灾害实际,选取以下5个指标作为高速公路

雾灾评估指标: X_1 为大雾持续时间 min; X_2 为大雾出现时最低能见度 m; X_3 为高速公路发生交通事故数量; X_4 为高速公路交通事故受伤人数; X_5 为高速公路交通事故死亡人数。

1.1.2 数据资料说明

选取江苏省沿海高速作为实例分析对象,即沈阳至海口高速公路江苏段,路线全长403.28 km。研究所涉及的气象资料来源于江苏省气象局,高速公路交通事故资料来源于江苏沿海高速公路管理有限公司,数据的时间跨度为2010年1月1日~2014年12月31日。

由于主要研究内容为高速公路雾灾评估,所以需要将数据资料中的非雾天气排除掉。数据中存在对天气现象描述模糊的情况,如“雨雪”,“雨雾”、“烟雾”等,根据文献[2]的处理方法,再结合高速公路段的气温、相对湿度等当时采集的实况数据,将“雨雪”纳入雪、“雨雾”纳入雾、“烟雾”纳入烟幕等。此外,在数据整理时还发现,由于沿海高速江苏段路线较长,不同路段大雾持续时间及出现时的最低能见度有显著差异,所以考虑对高速公路分路段采集数据。因大雾出现时最低能见度数据缺失,这里采用高速公路分路段交通管制等级作为大雾出现时最低能见度的替代数据,具体路段划分根据江苏省高速公路管理局实际桩号划分为依据。

关于高速路分段管制,通常是一条管制记录代表某一路段的一次管制。交通管制等级一般分为特级、一级、二级、三级及其他(临时管制)。针对雾来说,主要根据大雾出现时的最低能见度来指定管制等级,所以用交通管制等级来代替大雾最低能见度是合理的,并且高速路分段采集数据也解决了因高速路程过长所产生的差异性,从而使分析更有针对性。

以上处理完毕后,得到的数据总量为1458组。

1.2 高速公路雾灾评估模型构建

1.2.1 基于GRA的雾灾评估模型

灰色关联度分析法是一种多因素统计分析的方法。它以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序,若样本数据反映出的两因素之间的变化趋势(方向、大小和速度等)基本一致,则它们之间的关联度较大,反之关联度较小。与传统多因素分析方法相比较,灰色关联度分析法对数据的要求较低且计算量较小^[12],因此该方法被广泛应用到社会和自然科学的各个领域,尤其在灾情评估和经济领域均取得了很好的应用效果。

首先对所有评估指标进行无量纲化处理,以使

不同标准的雾灾等级划分标准取得统一^[13]。为方便后续运用灰色关联度分析法,其中交通管制等级这一指标采用如表 1 所示的转换方法。

表 1 大雾出现时交通管制等级无量纲转换

Table 1 Dimensionless conversion of traffic control level in the event of heavy fog

交通管制等级	无管制	其他(临时管制等)	一级	二级	三级	特级
系数值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

其余四个指标则采用各指标除以其在所选时间跨度中(2010 年 1 月 1 日—2014 年 12 月 31 日)单次案例出现的最大值所得的商作为最终无量纲化处理结果,例如 2012 年 6 月 6 日在沿海高速江苏路段(G15),桩号为 K851-K1088 发生的一次雾灾,相关指标对应的数据为:大雾持续时间系数 = 实际大雾持续时间/单次案例大雾持续最长时间 = 153 min/1 610 min ≈ 0.095 0;高速公路交通管制等级系数为 0.4;高速公路交通事故发生数量系数 = 实际发生数量/单次案例发生最多数目 = 1/7 ≈ 0.142 9;高速公路交通事故受伤人数 = 实际受伤人数/单次案例受伤最多数目 = 1/35 ≈ 0.028 6;高速公路交通事故死亡人数 = 实际死亡人数/单次案例死亡最多数目 = 0/12 = 0。

根据 GRA 原理,需要确定参考序列(母序列)和比较序列(子序列)。这里以各指标出现的最大值所组成的序列为参考序列,即 $X_0(t_k) = \{1, 1, 1, 1, 1\}$,表示出现的最严重的灾情。以实际单次大雾灾害中出现的序列作为比较序列,即待评估序列,例如 2012 年 6 月 6 日发生的这次雾灾,比较序列为 $X_j(t_k) = \{0.095 0, 0.4, 0.142 9, 0.028 6, 0\}$ 。

计算灰色关联系数:

$$\xi_{0j}(t_k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0j}(t_k) + \zeta \Delta_{\max}} = \frac{0.6 + 0.5 \times 1}{0.782 9 + 0.5 \times 1} = 0.736 9$$

(1)

式(1)中, Δ_{\min} 为 X_0 与 X_j 各指标的最小绝对差值,此例中取值为 0.6; Δ_{\max} 为 X_0 与 X_j 各指标的最大绝对差值,此例中取值为 1; $\Delta_{0j}(t_k) (k = 1, 2, \dots, n) = |X_0(t_k) - X_j(t_k)|$; ζ 为分辨系数,一般事先给定,这里借鉴大多数文献的做法,取 $\zeta = 0.5$ 。

关联系数 $\xi_{0j}(t_k)$ 反映了参考序列与比较序列之间的远近程度,通常关联系数各指标数值越大,说明与最严重的灾情越接近,灾情也越严重。反之亦然。但关联系数只是反映了各指标之间的分散关联程度,而实际通常根据总体评估一次大雾的灾

情情况,所以一般的灰色关联度假设各指标的权重相等,对各指标取算术平均值,即

$$\gamma = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 \xi_{0j}(t_k) \approx 0.8$$

(2)

根据文献[14]给出的关联度取值与灾害等级划分之间的关系(表 2),可以确定,2012 年 6 月 6 日沿海高速江苏路段(G15),桩号为 K851-K1088 的此次雾灾灾害等级为 I 特别重大。很明显各指标取算术平均值高估了此次雾灾的评级。

表 2 灰色关联度取值与大雾灾害等级对应关系

Table 2 The corresponding relation between the degree of grey relation and the level of fog disaster

灾害等级	关联度值
I 特别重大	0.8 ~ 1
II 重大	0.6 ~ 0.79
III 较大	0.4 ~ 0.59
IV 一般	< 0.39

1.2.2 基于 GRA-PCA 的雾灾评估模型

主成分分析法(principal component analysis, PCA)的主要作用是降维,减少分析的指标数。原始指标之间通常具有一定的共线性,信息的重叠度很高,所以可以通过线性组合的方式提取绝大部分信息,在只损耗少量信息的前提下实现降维的目的。在此,除了上述目的以外,还为了能够客观给出各个指标的权重,以规避后续建模过程中,因指标权重过于均衡和主观所造成的评估偏差。

在此之前,首先需要利用 KMO 和 Bartlett 球检验确定主成分分析法是否适用于所选取的指标。

如表 3 所示,KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)用于检验样本的偏相关性,其值等于 0.803 0,大于 0.7,说明适合做主成分分析。Bartlett 球检验用于表示因子是否独立提供一些信息, $P = 0.000 < 0.05$,拒绝原假设,说明各指标之间有一定相关性,主成分分析是有效的。综上所述,KMO 和 Bartlett 球检验通过,可以进行主成分分析。

表 3 KMO 和 Bartlett 球检验

Table 3 Tests of KMO and Bartlett

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.803 0
近似卡方	2 414.423 0
Bartlett 球形度检验	自由度 10
	伴随概率 0.000 0

每个主成分对所有因素的解释能力可以通过其对应的解释总方差占比来衡量。由解释的总方差(表 4)可知,旋转平方和载入中累积方差贡献率高达 81.988%,即提取出的 3 个主成分能够概括原来 80% 以上的信息,主成分分析效果较好。

表4 方差和累积方差贡献率

Table 4 Variance and cumulative variance contribution rate

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差 贡献率/%	累积方差 贡献率/%	合计	方差 贡献率/%	累积方差 贡献率/%	合计	方差 贡献率/%	累积方差 贡献率/%
1	2.000	40.000	40.744	2.000	40.000	40.000	1.996	39.921	39.921
2	1.132	22.638	62.638	1.132	24.059	62.638	1.136	22.717	62.830
3	1.066	19.321	81.959	1.066	19.321	81.959	1.001	20.125	81.988
4	0.883	17.652	99.611						
5	0.019	0.389	100.000						

运用软件 SPSS 20.0 计算输出 3 个主成分的得分公式为

$$F_1 = -0.053\xi_{0j}(t_1) + 0.075\xi_{0j}(t_2) + 0.336\xi_{0j}(t_3) + 0.496\xi_{0j}(t_4) - 0.034\xi_{0j}(t_5) \quad (3)$$

$$F_2 = 0.441\xi_{0j}(t_1) + 0.325\xi_{0j}(t_2) + 0.011\xi_{0j}(t_3) - 0.102\xi_{0j}(t_4) - 0.204\xi_{0j}(t_5) \quad (4)$$

$$F_3 = -0.068\xi_{0j}(t_1) + 0.242\xi_{0j}(t_2) + 0.003\xi_{0j}(t_3) + 0.083\xi_{0j}(t_4) + 0.004\xi_{0j}(t_5) \quad (5)$$

将 2012 年 6 月 6 日所计算的灰色关联系数值 $\xi_{0j}(t_k) = \{0.7829, 1, 0.7369, 0.7476, 0.7333\}$ 分别代入式(3)~式(5), 得出 $F_1 = 0.6288$, $F_2 = 0.4525$, $F_3 = 0.2560$, 再将各个特征根除以 3 个特征根之和得到各主成分的权重, 主成分总得分 F 等于各主成分的权重乘以得分之和, 公式如下:

$$\gamma = (39.921/81.988)F_1 + (22.717/81.988)F_2 + (20.125/81.988)F_3 \quad (6)$$

由此得出 2012 年 6 月 6 日的灾害评级总得分 $\gamma = 0.4316$ 。根据表 2 判断, 此次雾灾的评级为 III 较大, 与式(2)计算的结果相比, 显然更加合理。

2 沿海高速江苏段雾灾评估实证分析

根据以上陈述的高速公路雾灾评估方法, 现对沿海高速江苏路段 1458 组数据进行雾灾评估, 首先分别对相关数据进行无量纲化处理, 然后运用 GRA-PCA 模型对各路段和时间段的雾灾进行评估, 评估结果详见表 5。表 6 给出 16 例部分桩号的评估结果。

根据表 5、表 6, 总体来看, 沿海高速江苏路段雾灾损失程度得到了很好的控制, 其中大部分情况下处于 IV 一般等级, 占比 95.47%, 少部分为 I 特别重大和 II 重大, 分别占比 0.14% 和 0.75%。说明近几年, 江苏省交通厅在雾灾预警和应急方面所作的大量工作起到了较为显著的成效, 但仍有可改进的空间, 以杜绝 I 特别重大和 II 重大情况的发生。

表5 沿海高速江苏路段雾灾评估结果

Table 5 Assessment of fog disaster on coastal expressway in Jiangsu province

灾害等级	I 特别重大	II 重大	III 较大	IV 一般
出现次数	2	11	53	1392
所占比重/%	0.14	0.75	3.64	95.47

表6 部分桩号雾灾评估结果

Table 6 Assessment results of fog hazard at some mileage piles

日期	桩号	灾害等级
2010-12-24	K921-K894	II
2012-04-16	K996-K1088	I
2012-05-21	K894-K996	III
2012-05-22	K996-K894	III
2012-06-03	K1104-K1154	I
2012-06-03	K1006-K1088	III
2012-06-03	K885-K851	III
2012-06-05	K885-K851	III
日期	桩号	灾害等级
2013-06-21	K885-K851	II
2013-09-07	K930-K996	III
2013-10-20	K973-K894	III
2013-12-04	沿海全线	II
2013-12-06	K1104-K1154	III
2014-01-03	K894-K996	II
2014-04-20	K894-K996	III
2014-05-18	K996-K894	III

3 结论

有效的雾灾灾情评估不仅为人们提供对灾害损失程度的精确认识, 也为相关管理部门提供可参考的依据。据交通及气象部门统计, 大雾是影响高速公路安全行使最常见的气象灾害之一。然而, 现有文献中较多是对高速公路大雾天气的成因、大雾的预报及预警方面的研究, 对雾灾灾情评估的研究少之又少。在此不仅建立了高速公路雾灾评估指标体系, 同时还构建了 GRA-PCA 高速公路雾灾灾情评估模型, 将灰色关联度与主成分分析法巧妙地结合在一起, 并以沿海高速江苏路段为例, 详细阐述了模型的运作过程, 同

时对沿海高速江苏路段雾灾灾情情况进行实证分析,验证了模型的有效性和合理性。

后续研究将集中在采用更多省份的数据进一步检验模型的有效性,同时结合高速公路雾灾预警,研究预警对降低雾灾灾情程度的作用机制。

参 考 文 献

- 1 杨 军,张 杰,刘 垚,等. 近56 a 宁夏高速公路大雾时空特征及风险评价[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(1): 153-157.
Yang Jun, Zhang Jie, Liu Yao, et al. Characteristic and risk evaluation of heavy fog for highway in Ningxia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(1): 153-157.
- 2 丁国香,刘承晓,周建平,等. 气象条件对安徽高速公路运营的影响[J]. 干旱气象, 2018, 36(5): 858-863.
Ding Guoxiang, Liu Chengxiao, Zhou Jianping, et al. Impact of meteorological conditions on expressway operation in Anhui Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5): 858-863.
- 3 Yang J, Sun H, Wang L, et al. Vulnerability evaluation of the highway transportation system against meteorological disasters[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96: 280-293.
- 4 柳艳香,潘进军,田 华,等. 高速公路交通气象灾害风险评估方法简介[J]. 气象科技进展, 2017, 7(6): 18-21.
Liu Yanxiang, Pan Jinjun, Tian Hua, et al. An introduction to a risk assessment method of traffic meteorological disaster on highway in China[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2017, 7(6): 18-21.
- 5 顾婷婷,潘娅英,骆月珍. 浙江省高速公路低温雨雪冰冻灾害风险评估与区划[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(3): 102-106.
Gu Tingting, Pan Yaying, Luo Yuezhen. Risk division and assessment of low-temperature, rain / snow and freezing disasters on highway in Zhejiang Province [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2016, 32(3): 102-106.
- 6 张金满,谭桂容,武辉芹,等. 灾害性天气交通事故特征及雾天公路通行预警指标体系[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 370-375.
Zhang Jinman, Tan Guirong, Wu Huiqin, et al. Characteristics on highway traffic accidents caused by the disastrous weather in hebei and the early-warning indexes system of highway traffic under foggy weather condition [J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(2): 370-375.
- 7 李 岚,齐 昕,徐 薇,等. 灰色关联度在辽宁高速公路雾灾评估中的应用[C]//第28届中国气象学会年会论文集. 北京:中

国气象学会,2011: 479-484.
Li Lang, Qi Xin, Xu Wei, et al. Application of grey relational grade in fog disaster evaluation on highway in Liaoning Province[C]//28th Annual Meeting of Chinese Meteorological society. Beijing: Chinese Meteorological Society, 2011: 479-484.

- 8 张 娜,翁伟锋,黄 淳. 基于灰色关联度模型的引种郁金质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(15): 174-184.
Zhang Na, Weng Weifeng, Huang Chun. Quality evaluation of curcuma radix introduced in Zhongshan by gray relational model [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2019, 25(15): 174-184.
- 9 崔祥民. 基于改进型灰色关联度模型的众创空间核心竞争力评价[J]. 统计与决策, 2019, 35(7): 177-180.
Cui Xiangmin. Evaluation of core competitiveness of mass entrepreneurship space based on improved grey relation model[J]. Statistics & Decision, 2019, 35(7): 177-180.
- 10 周伟灿,魏 炜. 基于灰色关联度法的雾灾损失评估模型研究[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 12-15.
Zhou Weican, Wei Wei. Study on fog disaster loss evaluation model based on grey relational analysis[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2010, 26(1): 12-15.
- 11 李亚滨,胡瑞卿. 基于灰色关联度的黑龙江省暴雨事件灾害评估和预评估模型研究[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 78-83.
Li Yabin, Hu Ruiqing. Disaster evaluation and pre-evaluation models on rainstorm events in Heilongjiang Province based on gray correlation [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 78-83.
- 12 Kanchana J, Prasath V, Krishnaraj V, et al. Multi response optimization of process parameters using grey relational analysis for milling of hardened custom 465 steel [J]. Procedia Manufacturing, 2019, 30: 451-458.
- 13 李素兰,张谢东,李红伟,等. 灾害天气下高速公路风险评估的Logit模型改进[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2018, 42(3): 412-416.
Li Sulan, Zhang Xiedong, Li Hongwei, et al. Improved Logit model of risk assessment for freeway in disaster weather [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2018, 42(3): 412-416.
- 14 张姝丽,丁德平,付治龙,等. 灰色关联度在北京地区雾灾评估中的应用[J]. 灾害学, 2008(3): 54-56.
Zhang Shuli, Ding Deping, Fu Zhilong, et al. Application of grey relational grade in fog disaster evaluation in Beijing region [J]. Journal of Catastrophology, 2008(3): 54-56.