

Safety Risk Assessment of Freight Cars Driving on High Pier Bridges in Mountain Areas under Cross Wind

Jianheng Shao Yaguang Yan Yuan Ren Limin Gao Binbin Yang

School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract

High-pier bridges in mountainous areas generally have high altitudes, complex terrain environment, and often have severe weather conditions such as strong cross winds. When freight vehicles are driving on high-pier bridges in mountainous areas, due to their large side area and high crosswind sensitivity, the aerodynamic load they are subjected to changes greatly when encountering sudden changes in the wind environment on the bridge, which seriously affects the stability and safety of freight vehicles. Therefore, when freight vehicles are traveling at a certain speed on high-pier bridges in mountainous areas and are affected by crosswinds, it is necessary to conduct safety risk assessments.

Keywords

high pier bridges in mountainous areas; analytic hierarchy process; entropy weight method; matter element extension theory; security risk assessment

侧风下山区高墩桥梁上货运汽车安全风险评估

邵健恒 闫亚光 任远 高利民 杨彬彬

河北工程大学土木工程学院, 中国·河北 邯郸 056000

摘要

山区高墩桥梁普遍海拔较高, 周围地形环境复杂, 经常会出现强横风等恶劣的天气状况。货运汽车在山区高墩桥梁上行驶时, 由于其侧面积较大, 具有较高的侧风敏感性, 在遇到桥梁上风环境突变时, 其所受到的气动荷载发生较大变化, 严重影响了货运汽车行驶的稳定性和安全性。因此, 当货运汽车以一定速度在山区高墩桥梁上行驶, 受到侧风影响时, 对其进行安全风险评估十分必要。

关键词

山区高墩桥梁; 层次分析法; 熵权法; 物元可拓理论; 安全风险评估

1 引言

山区高墩桥梁上的货运汽车经常会受到侧风的影响, 由于其重心位置高, 迎风侧面积较大等特点, 随着车速以及风速的不断增大, 可能会使货运汽车偏离原有的行驶路线, 对自身以及周围车道的车辆的行驶安全造成严重威胁。

中国和其他国家的学者对此进行了一些研究, Saini Yang 等人采用相关数学模型对暴雨对交通运输的不利影响进行定量评估^[1]。中国人民公安大学的冯培采用定量分析法融合交通事故和气象数据, 构建数学模型同时进行耦合风险分析, 运用模糊综合评价法评估不利天气条件下的行车安全风险^[2]。杨小燕、王立松采用基于威胁分析的安全风险评估方法, 对高铁行车进行安全风险评估分析^[3]。

影响侧风下山区高墩桥梁上货运汽车安全性的因素十分

复杂且繁多, 对货运汽车的综合安全风险评估过程要考虑包括环境、车辆、驾驶人等因素的影响。为了构建合理的评估体系, 更加科学、准确、系统且全面地反映侧风下货运汽车在山区高墩桥梁上行驶的风险因素的内在本质。结合货运汽车在侧风环境下, 在山区高墩桥梁上的行驶特点确定影响指标。采用综合赋权法对行驶在山区高墩桥梁上的货运汽车安全性的相关影响指标进行指标权重的确定, 以物元可拓理论为基础建立安全风险评估模型, 完成对车辆行驶安全的评估工作。

2 理论基础

2.1 综合赋权法

综合赋权法是指将主观赋权法与客观赋权法相结合的方法, 因此又称为主客观赋权法。既从实际情况出发, 通过专家经验增加了结果的可靠性, 又降低了人为因素带来的影响, 因此两种赋权法相结合则使得评估结果更加真实准确。

2.2 物元可拓学

物元可拓学理论是由中国学者蔡文教授提出的研究事

【作者简介】邵健恒(1999-), 男, 中国内蒙古呼伦贝尔人, 硕士, 从事桥梁抗风研究。

物拓展的可能性以及解决不相容问题的方法。他将物元与可拓理论相结合，对研究问题进行定性和定量分析计算。物元理论基本原理是通过描述事物的有序三元组，事物 P、特征 C 以及量值 V 这三个要素对待评价事物进行描述评价，合理客观地表达事物的变化规律，以此来对事物进行分析。

3 安全风险评估指标体系

本节对货运汽车以 80km/h 在山区高墩桥梁上行驶受到 13.8m/s，风向角为 90° 的侧风建立安全风险评估体系。

3.1 指标体系的建立

论文遵循指标建立原则，参考中国和其他国家相关规范以及侧风下山山区高墩桥梁上货运汽车的行驶特点，结合相关文献资料，构建侧风下山山区高墩桥梁上货运汽车安全风险评估指标体系。

3.2 各评估指标细化分析

将影响侧风下山山区高墩桥梁上的货运汽车安全风险的各评估指标进行具体细化分析，通过相关文献资料将各项评估指标分为优、良、较差、差四个等级。

3.3 安全风险评估权重的确定

综合权重法进行计算确定，可以得到侧风下山山区

区高墩桥梁上的货运汽车安全风险评估指标的最终权重值，为得到权重结果客观、真实。如表 1 所示。

4 物元可拓模型风险评估过程

4.1 确定经典域、节域和待评物元矩阵

按照对货运汽车行驶安全风险评估准则等级划分标准来更加精准确定货运汽车行驶安全经典域和节域矩阵。根据现有相关文献、标准规范以及专家经验，对风险评估指标进行等级区间化，如表 2 所示。

按照对侧风下山山区高墩桥梁上的货运汽车安全风险评估指标评估风险等级，构建行车安全风险评估模型经典域物元矩阵 R_j 和节域矩阵 R_p ，并依据实际情况，构建待评物元矩阵 R_0 。

4.1.1 确定经典域矩阵 R_j

$$R_j = \begin{bmatrix} P_1 & B_1[10,8) \\ & B_2[10,8) \\ & B_3[10,8) \\ & B_4[10,8) \\ & B_5[10,8) \\ & B_6[10,8) \\ & B_7[10,8) \\ & B_8[10,8) \end{bmatrix}$$

表 1 侧风下山山区高墩桥梁上的货运汽车安全风险评估综合指标权重

目标层	准则层 A	准则层权重	指标层 B	指标层权重	对目标层权重
安全风险评估指标体系	环境因素 A1	0.5113	交通标志标线 B1	0.0175	0.0089
			道路能见度 B2	0.0850	0.0435
			安全防护措施 B3	0.0406	0.0208
			路面状况 B4	0.2580	0.1319
			侧风风向角 B5	0.2580	0.1319
			侧风风速 B6	0.3410	0.1744
	车辆因素 A2	0.4108	车辆速度 B7	0.4727	0.1942
			车辆载重 B8	0.2420	0.0994
			车辆使用年限 B9	0.0433	0.0178
			货车类型 B10	0.2420	0.0994
	驾驶人因素 A3	0.0779	驾驶人驾龄 B11	0.0607	0.0047
			驾驶员生理反应水平 B12	0.4022	0.0313
			驾驶员心理负荷 B13	0.3629	0.0283
			驾驶员安全意识 B14	0.1741	0.0136

表 2 安全风险评估等级区间化

风险等级	评估等级	分值
I 级	优	[10, 8)
II 级	良	[8, 6)
III 级	较差	[6, 3)
IV 级	差	[3, 0)

4.1.2 确定节域矩阵 R_p

$$R_p = \begin{bmatrix} P & B_1[0,10] \\ & B_2[0,10] \\ & B_3[0,10] \\ & B_4[0,10] \\ & B_5[0,10] \\ & B_6[0,10] \end{bmatrix}$$

4.1.3 确定待评物元矩阵 R_0

$$R_0 = \begin{bmatrix} P & B_1 & 9.3 \\ & B_2 & 8.4 \\ & B_3 & 4.6 \\ & B_4 & 8.2 \\ & B_5 & 4.2 \\ & B_6 & 5.8 \end{bmatrix}$$

4.2 计算综合关联度 $K_i(P)$

依据关联度计算式通过计算关联度系数，结合所构建的侧风下行驶在山区高墩桥梁上的货运汽车安全风险工程物元矩阵得到不同评估指标相对不同安全等级的关联度系数，具体结果如表3至表5所示。

根据计算得到不同评估指标相对不同安全等级的关联度系数，依据风险等级判定公式可以得到不同评估指标关于不同安全等级的综合关联度。以环境因素为例。

环境因素指标综合关联度结果如表3所示。

表3 环境因素指标综合关联度

设计指标 A1	权重	优	良	较差	差
B1	0.0089	0.650	-0.825	-0.900	-0.930
B2	0.0435	0.800	-0.600	-0.771	-0.840
B3	0.0208	-0.540	-0.425	0.533	-0.500
B4	0.1319	0.900	-0.550	-0.743	-0.820
B5	0.1319	-0.580	-0.475	0.600	-0.500
B6	0.1744	-0.500	-0.344	0.933	-0.580
K1(A1)	0.5113	-0.0305	-0.4644	0.2216	-0.6463

车辆因素指标综合关联度结果如表4所示。

驾驶员因素指标综合关联度结果如表5所示。

按照风环境下山区桥隧桥梁段货车行车安全风险环境、车辆、驾驶员指标的综合关联度结果，得到待评估风环境下山区桥隧桥梁段货车行车安全风险的综合关联度：

$$K_j = 0.5113 \times (-0.0305)0.4108(-0.5789)0.0779(0.1082) = -0.2453$$

$$K_{II} = 0.5113 \times (-0.4644)0.4108(-0.5494)0.0779(-0.1807) = -0.4491$$

$$K_{III} = 0.5113 \times (0.2216)0.4108(-0.0516)0.0779(-0.6736) = -0.0396$$

$$K_{IV} = 0.5113 \times (-0.6463)0.4108(-0.1923)0.0779(0.7713) = -0.3115$$

表4 车辆因素指标综合关联度

施工指标	权重	优	良	较差	差
B7	0.1942	-0.550	-0.438	0.500	-0.500
B8	0.0994	-0.710	-0.638	-0.517	0.967
B9	0.0178	0.550	-0.775	-0.871	-0.910
B10	0.0994	-0.710	-0.638	-0.517	0.967
K2(A2)	0.4108	-0.5798	-0.5494	-0.0516	0.1923

表5 驾驶员因素指标综合关联度

设计指标	权重	优	良	较差	差
B11	0.0047	0.850	-0.575	-0.757	-0.830
B12	0.0313	-0.500	0.750	-0.643	-0.750
B13	0.0283	0.950	-0.525	-0.729	-0.810
B14	0.0136	-0.500	0.600	-0.600	-0.720
K3(A3)	0.0779	0.1082	0.1807	-0.6736	-0.7713

结果用矩阵形式表示为：

$$K = \begin{bmatrix} 优 & -0.2453 \\ 良 & -0.4491 \\ 较差 & 0.0396 \\ 差 & -0.3115 \end{bmatrix}$$

5 结论

本节对风下货运汽车行驶在山区高墩桥梁上相关工况进行安全风险评估分析。首先构建了侧风下行驶在山区高墩桥梁的货运汽车的安全风险评估指标体系，运用综合赋权法得到相关指标的综合权重。通过基于物元可拓理论的安全风险评估模型，对货运汽车以80km/h，在风向角90°侧风风速为13.8m/s的工况进行安全风险评估分析，得到最终评估结果：该工况下安全风险等级为Ⅲ级，评估结果为较差。

参考文献

- [1] Saini Yang, Guofan Yin, Xianwu Shi, et al. Modeling the Adverse Impact of Rainstorms on a Regional Transport Network[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2016, 7(1), 77-87.
- [2] 杨小燕,王立松.基于威胁分析的高速铁路行车安全风险评估方法[J].铁道运输与经济, 2017, 39(1): 71-76.
- [3] 冯培.不利天气条件下行车安全耦合风险评估与对策研究[D].北京:中国人民公安大学, 2018.