

面向应急救援的高速公路路网风险路段辨识方法

袁鹏 罗先明 黄永*

1. 江西省交投养护科技集团有限公司, 中国·江西 南昌 330200

2. 南昌市交通运输安全应急保障工程技术研究中心, 中国·江西 南昌 330200

摘要: 本研究提出一种面向应急救援的高速公路网络风险路段辨识方法。首先, 将路网高速公路离散为单位长度 (1km) 路段; 其次, 基于路段内车辆事故与故障数据, 以百万车次救援需求率为风险判别指标, 采用 K-means 聚类算法划分风险辨识阈值; 最后, 以江西省高速公路网进行实证分析。研究结果表明, 该方法能够准确识别路网应急救援风险路段, 成果可用以指导车辆救援驻点选址布局。

关键词: 高速公路网络; 应急救援; 风险路段; K-means 聚类

Identification Method for High-risk Sections of Highway Network for Emergency Rescue

Peng Yuan Xianming Luo Yong Huang*

1. Jiangxi Jiaotou Maintenance Technology Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330200, China

2. Nanchang Transportation Safety Emergency Support Engineering Technology Research Center, Nanchang, Jiangxi, 330200, China

Abstract: This study proposes a method for identifying high-risk sections in highway networks for emergency rescue. Firstly, discretize the highway network into unit length (1km) sections; Secondly, based on the data of vehicle accidents and malfunctions within the road section, the risk identification threshold is divided using the K-means clustering algorithm with the rescue demand rate of millions of vehicles as the risk discrimination index; Finally, empirical analysis will be conducted on the expressway network in Jiangxi Province. The research results indicate that this method can accurately identify high-risk sections for emergency rescue in road networks, and the results can be used to guide the selection and layout of vehicle rescue stations.

Keywords: highway network; emergency rescue; risk section; K-means clustering

0 前言

截至 2022 年底, 中国已建成通车高速公路里程 17.7 万公里, 位居世界首位。高速公路在促进交通出行便捷性和高效性的同时也带来了更高的行车安全风险, 其百公里事故率、死亡率和受伤率分别是普通公路的 2.99 倍、5.07 倍和 3.18 倍^[1]。鉴于高速公路的高速性和封闭性特征, 车辆故障或事故后的应急救援效率成为道路交通安全领域的重大问题。车辆救援驻点布局是决定应急救援效率的关键因素, 而合理的救援驻点布局必须考虑不同高速公路路段的风险程度差异。因此, 有必要研究面向应急救援的高速公路风险路段辨识方法。

目前高速公路风险路段辨识研究主要集中于事故黑点辨识, 采用方法包括事故数方法^[2,3]、贝叶斯方法^[4]、聚类方法^[5]以及核密度方法等^[6-8]。但从车辆应急救援角度而言, 除了车辆事故外, 车辆故障也是应急救援的重要需求, 而且其任务发起量远远高于车辆事故。本研究基于江西省高速公路网 2022—2023 年车辆故障、事故以及流量数据, 从应急救援需求角度研究路网风险路段辨识方法, 为车辆救援驻点布局选址决策提供指导依据。

1 研究对象与数据介绍

数据源自江西省交通投资集团下属 11 个管理中心、81 支救援队伍 2022—2023 年车辆救援数据, 内容包括位置 (高速桩号)、救援类型 (事故/故障)、救援队伍、救援时间等字段, 对异常数据 (工单取消、派单状态异常、测试数据、字段缺失、无法匹配等) 清洗后, 保留有效数据 128219 条。除此之外, 还采集了 822 个门架的交通流量观测数据。

在所有车辆救援记录中, 车辆故障占比 81.12%, 远远高于车辆事故 (18.88%); 从车辆应急救援角度而言, 风险路段辨识需要考虑故障数据, 而不能仅考虑事故数据。

不同高速公路救援需求存在显著差异, 沪昆高速 (G60) 年均救援量超 1 万起, 是寻龙高速 (S75) 的 1966 倍; 不同高速公路长度存在差异, 从每公里救援量而言, 沪昆高速 (G60) 也是寻龙高速 (S75) 的 108 倍。

高速公路不同路段流量存在显著差异, 其中济广高速 (G35, K1025~K1074)、杭瑞高速 (G56, K358~K362)、杭长高速 (G6021, K327~K342) 等路段流量超 400 万辆/年, 修平高速 (S32, K1~K34)、吉安绕城高速 (S61, K0~K26) 等路段流量不足 20 万辆/年。在辨识高速公路网络风险路段

时, 需要考虑不同高速公路流量差异, 将车辆救援数据转化为单位流量应急救援需求。

2 风险路段辨识方法

车辆救援位置(高速桩号)是一个连续变量, 在风险判别时既无法对救援需求进行集计统计也不便与流量数据关联, 因此需要对高速公路进行离散建模。

以 S ($S=1\text{km}$) 为距离单元, 将长度为 L 的高速公路 i 划分为 N_i 个离散路段单元, N_i 计算方法如下:

$$N_i = \begin{cases} L_i/S, L_i/S \text{ 为整数} \\ \lfloor L_i/S \rfloor + 1, L_i/S \text{ 不为整数} \end{cases} \quad (1)$$

将故障与事故救援数据、流量观测数据匹配到分割的高速公路路段上, 并定义百万车公里救援需求率作为路段风险辨识参数。

$$P_{ij} = \frac{x_{ij} + y_{ij}}{q_{ij}} \times 10^6 \quad (2)$$

式中, x_{ij} 为高速公路 i 路段 j 车辆事故数量, y_{ij} 为高速公路 i 路段 j 车辆故障数量, q_{ij} 为高速公路 i 路段 j 车流量, 均按照年度统计; P_{ij} 为高速公路 i 路段 j 上百万车次救援率。

采用 K-means 聚类算法对路网中所有高速公路路段单元的事故救援率进行聚类分析, 从聚类结果来看(见图 1), P_{ij} 聚为 2 类最佳(此时轮廓系数最大), 类间阈值为 15.39/百万车公里。因此, 研究建议以 $P_0=15.39$ /百万车公里作为路段风险判别阈值; 如果 $P_{ij} > P_0$, 高速公路 i 路段 j 属于高风险路段, 否则为低风险路段。

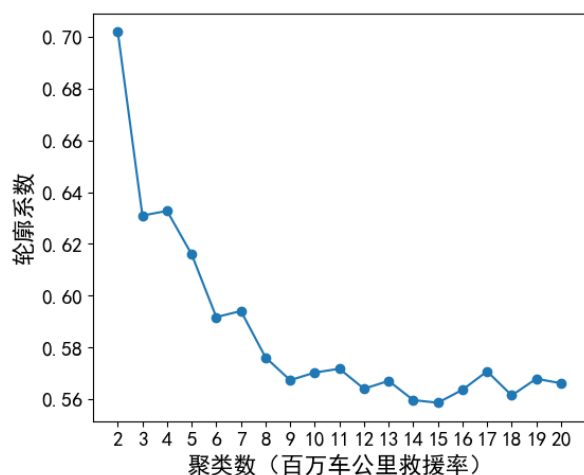


图 1 百万车公里救援率聚类结果(聚类数 VS 轮廓系数)

3 风险路段辨识结果分析

按照上述风险路段辨识方法, 对江西省高速公路网中 38 条高速公路 5266 个有效路段(521 个路段由于流量缺失而无法匹配)进行风险判别, 共检出高风险路段 563 个, 占比 10.69%。根据高速公路事故黑点相对判别标准, 风险指

标排序 10% 的路段被判定为事故黑点^[9], 论文提出的方法检出的高风险路段比例符合以往研究结论, 结果具有科学性与有效性。

为了更清晰地掌握高速公路高风险路段的位置分布, 以大广高速(G45)为例进行可视化展示(见图 2)。首先将高速公路按照每公里进行路段分割, 然后计算各个路段的百万车公里救援率, 最后根据路段风险判别阈值得到大广高速(G45)高风险路段, 辨识出的高风险路段桩号分别为 K2605、K2617、K2682、K2683、K2684、K2692、K2696、K2710、K2725、K2730、K2735、K2751、K2760、K2874、K2889、K2915、K2916、K2961、K2992、K3033、K3038。

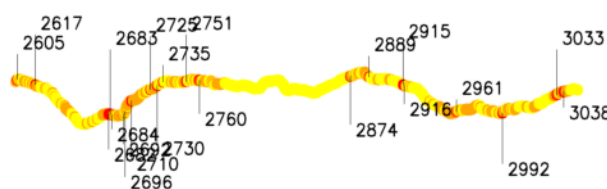


图 2 大广高速(G45)高风险路段位置分布

4 结语

本研究面向高速公路车辆应急救援需求, 以车辆故障与事故数据为基础, 考虑不同高速公路流量差异, 建立基于百万车公里救援率的高速公路网络风险路段辨识方法, 并采用聚类算法确定路段风险判别阈值。主要研究结论如下:

①相比于车辆事故救援需求而言, 车辆故障产生的救援需求在高速公路应急救援需求中占比要显著更高。

②以百万车公里救援率为风险路段判别指标, 可以有效消除高速公路流量不均衡对路网中风险路段判别结果的影响。

③在高速公路网络车辆救援驻点布局时, 应该优先考虑高风险路段的覆盖, 提升车辆救援服务的效率。

参考文献:

- [1] 马聪, 张生瑞, 马壮林, 等. 高速公路交通事故非线性负二项预测模型[J]. 中国公路学报, 2018, 31(11): 176-185.
- [2] 朱兴琳, 陆秉堃. 道路交通事故多发点(段)的鉴别方法[J]. 新疆农业大学学报, 2002(1): 63-66.
- [3] 陈双, 高惠瑛. 道路交通事故多发点鉴别方法的对比研究[J]. 山东交通科技, 2005(3): 9-10+31.
- [4] 曾强, 苏琦琪, 郑嘉仪, 等. 基于贝叶斯时空建模的高速公路事故黑点判别[J]. 交通信息与安全, 2020, 38(6): 87-94+149.
- [5] 舒明, 郭瑞, 吴昊天, 等. 一种改进的 K-均值算法在交通事故黑点识别中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41(1): 194-195.
- [6] KHATUN M S, HOSSAIN M A, KABIR M A, et al. Identification and analysis of accident black spots using Geographic Information System (GIS): A study on Kushtia-Jhenaidah national highway (N704), Bangladesh[J]. Heliyon, 2024, 10(3): e25952.

[7] 庄焱,董春娇,米雪玉,等.基于改进网络核密度和负二项回归的事故黑点鉴别[J].华南理工大学学报(自然科学版),2024,52(1): 119-126.

[8] 罗叶,祁首铭,张希,等.基于网络核密度估计的交通事故黑点识别[J].大连交通大学学报,2023,44(4):19-26.

[9] HUANG H, CHIN H C, HAQUE M M. Empirical evaluation of alternative approaches in identifying crash hot spots: Naïve

ranking, empirical Bayes, full Bayes methods[J]. Transportation Research Record,2009(2103):32-41.

作者简介: 袁鹏(1988-),男,中国江西宜春人,硕士,从事高速公路建设、运营、养护技术咨询服务研究。

课题项目: 考虑成本与时效约束下的高速公路车辆救援驻点布局研究(项目编号: 2022JT0014)。