

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.01.007

# 艰险山区高速公路交通事故特征及严重程度影响因素分析\*

张诗<sup>1</sup>, 彭利飞<sup>2</sup>, 黄杰<sup>3</sup>, 王芳菲<sup>1</sup>, 徐进<sup>1,4</sup>

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.重庆高速巫云开建设有限公司, 重庆 404546;  
3.重庆高速公路集团有限公司 南方营运分公司, 重庆 401300; 4.山区复杂道路环境“人—车—路”  
协同与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074)

**摘要:** 为研究艰险山区高速公路交通事故特征及事故严重程度影响因素, 基于包茂(包头—茂名)高速公路南环立交至大观互通段 2016—2020 年 1 169 起交通事故数据, 分析事故发生的时空分布特征、路段线形分布特征、事故类型分布特征、事故车型分布特征及事故严重程度分布特征, 将事故当量法和累积曲线法相结合鉴定事故多发路段; 从车辆、道路条件、运行环境和事故形态方面确定艰险山区高速公路交通事故严重程度影响因素, 构建多因素耦合作用下树增强朴素贝叶斯网络模型, 通过推理分析和敏感性分析提取各因素对事故严重程度的影响显著性。结果表明, 艰险山区高速公路事故多发段集中于隧道路段、互通和不良线形路段; 事故形态主要为追尾、撞击固定物和侧翻; 小汽车和货车是事故多发车型; 事故涉及车辆数、事故形态、路段线形和天气是决定艰险山区高速公路事故严重程度的关键因素。

**关键词:** 交通安全; 山区高速公路; 交通事故; 事故特征; 事故严重程度

**中图分类号:** U491.31

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2024)01-0040-09

交通事故已严重威胁道路使用者的生命财产安全, 每年约有 135 万人死于道路交通事故<sup>[1]</sup>。受特殊地形地貌和自然环境等限制, 山区高速公路具有线形组合复杂、桥隧比高和路侧危险度大等特点, 导致其交通事故呈现数量多且程度重的现象, 重、特大交通事故时有发生<sup>[2]</sup>。分析艰险山区高速公路交通事故分布特征, 用定量方法揭示交通事故严重程度与影响因素之间的关系, 并提出针对性的改善措施, 是提高艰险山区高速公路交通安全性的有效途径。

很多学者对山区高速公路交通事故特征和成因进行了研究。Ahmed M. M. 等采用贝叶斯逻辑回归方法, 分析了几何线形、天气条件和车辆速度对山区高速公路交通事故的影响<sup>[3]</sup>; Rusli E. R. 等对比分析了山区高速公路和平原区高速公路的事故类型、严重程度、道路特征和行驶环境等的分布特征<sup>[4]</sup>; Ma X. X. 等建立山区高速公路事故率模型, 分析了事故率影响因素<sup>[5]</sup>; 田毕江等基于事故数据, 定量分析了云南山区高速公路交通事故的时空分布特征<sup>[6]</sup>; 熊晓夏等基于自然驾驶数据, 建立了研究道路

交通事故风险类型的贝叶斯网络模型<sup>[7]</sup>; 由冰玉等分别从人、车、路方面进行分析, 构建了基于故障树的山区高速公路交通事故致因贝叶斯网络模型, 得出了最敏感的山区高速公路交通事故影响因素<sup>[8]</sup>; 陈波等利用 Ologit 模型对山区高速公路交通事故中涉及车辆数的影响因素进行分析, 得到了人、车、路环境等自变量的分类优势比<sup>[9]</sup>; 孟祥海等以年平均日交通量、路段长度和路段几何线形为变量, 建立了山区高速公路事故率 Tobit 回归模型<sup>[10]</sup>。

在事故多发段和安全改善措施方面, Bolla M. E. 等开发可以提供道路全面信息的交通事故数据库, 确定了事故多发路段<sup>[11]</sup>; Yakar F. 使用相对频率法建立事故次数与道路环境的关系, 对事故易发路段进行了识别<sup>[12]</sup>; Guerrero-Barbosa T. E. 等利用贝叶斯技术创建交通事故数据库, 用于识别不同危险等级的路段<sup>[13]</sup>; Sayed T. 等采用模糊模式识别技术评估驾驶员、车辆、道路环境三者之间的复杂作用, 识别事故易发位置<sup>[14]</sup>; 朱芳琪等建立基于地理信息系统的高速公路交通事故时空分析系统, 结合

\* 基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究重点项目(KJZD-K201900703); 重庆市高校创新研究群体项目(CXQT21022)

改进时空密度聚类方法对交通事故进行了时空可视化分析和多发路段识别<sup>[15]</sup>;肖乐基于 NAIS 国家车辆事故深度调查体系中交叉口事故数据样本,构建了以人、车、路和环境等事故严重程度影响因素的有序 Logistic 模型,得出显著影响因素有车辆类型、事故发生时段、是否有信号灯、驾驶员主要过失<sup>[16]</sup>;杨永红等综合应用运行速度协调性分析和累计频率曲线法,确定了山区高速公路事故多发路段<sup>[17]</sup>;王迎等提出了基于 FCM 聚类的包括人、车、路、环境的山区高速公路事故多发点成因分析方法<sup>[18]</sup>;何斌等采用风险指标评价方法,从平面设计、纵断面设计及长大下坡路段等方面对山区高速公路安全性进行了评价<sup>[19]</sup>。

现有研究对一般高速公路交通事故特征分析较多,缺乏对山区高速公路交通事故发生频数和事故严重程度的特征分析;对山区高速公路交通事故分布特征的研究大都采用单因素分析方法,未进行多因素影响下事故分布特征分析;对事故严重程度影响因素的分析忽略了多因素作用下的差异性,缺少各种因素与事故严重程度的内在关系分析。为此,本文以位于重庆市的包茂(包头—茂名)高速公路南

环立交至大观互通段为研究对象,通过分析交通事故在时间、空间、形态、道路线形条件及伤亡人数方面的分布特征,构建树增强朴素贝叶斯网络模型对事故严重程度影响因素进行敏感性分析,为提升艰险山区高速公路交通安全性提供借鉴。

1 研究对象及交通运行总体特征

包茂高速公路南环立交至大观互通段全长约 43 km,设计速度 80 km/h,最高限速 120 km/h,包含 8 个互通立交和 6 条长度占路段总长 22.64% 的隧道,桥隧比高达 75.2%,组成结构复杂,存在大量小半径曲线路段、陡坡和长下坡路段,最小圆曲线半径为 700 m,最大上坡坡度、最大下坡坡度为 4.0%,坡度为 4.0% 的陡坡路段占路段总长的 10.10%,具有明显的艰险山区高速公路特点(见图 1)。

选取 2016—2020 年该路段发生的部分交通事故数据进行研究,数据记录形式见表 1。

2 交通事故分布特征分析

2.1 事故时间分布特征

从年、月、小时 3 个时间维度分析交通事故的频

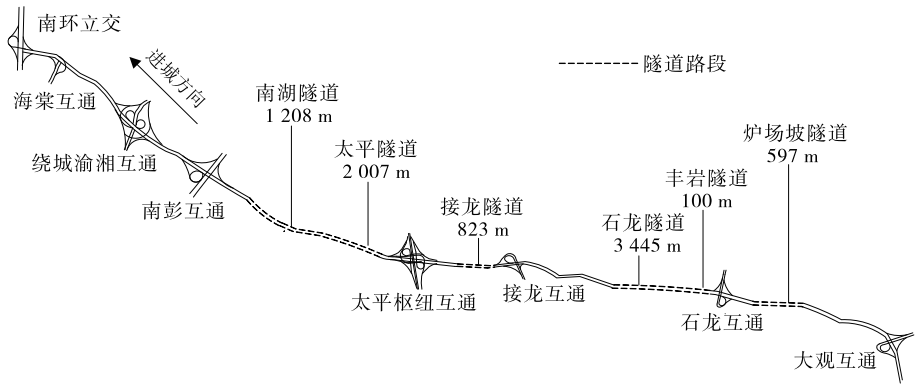


图 1 包茂高速公路南环立交至大观互通段路线平面示意图

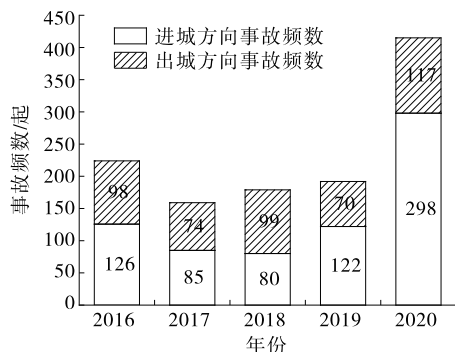
表 1 2016—2020 年包茂高速公路南环立交至大观互通段部分交通事故数据

年份	日期	时间	事故地点	事故类型	事故描述	路产损失	星期或节日	天气
2016	4—04	15:54	K1598+350(上行)南湖隧道	追尾	两小汽车追尾,无人员伤亡,占用第一车道	无	清明节	小雨
2018	6—18	23:13	K1590+300(下行)G65巴南主线—南彭	撞击固定物	一小汽车撞击护栏,占用第一车道,无人员伤亡	8 m 隔离栏杆	星期一	小雨
2019	4—07	12:38	K1591(上行)绕城渝湘互通—G65 巴南主线站	侧翻	一面包车侧翻,无人员伤亡,占用第二车道	无	星期三	阵雨
2020	6—13	14:08	K1612+801(上行)石龙—接龙	自燃	一货车自燃,占用第二车道,无人员伤亡	无	星期五	阴

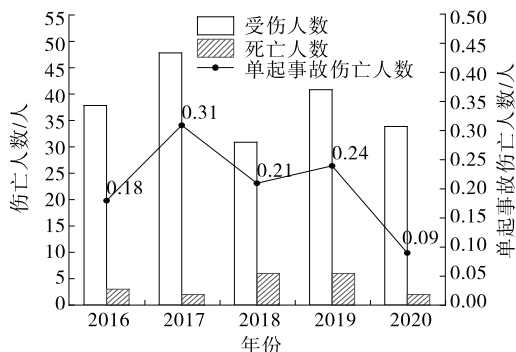
数和严重程度,结果见图 2。

从图 2 可以看出:1) 2017—2019 年,交通事故

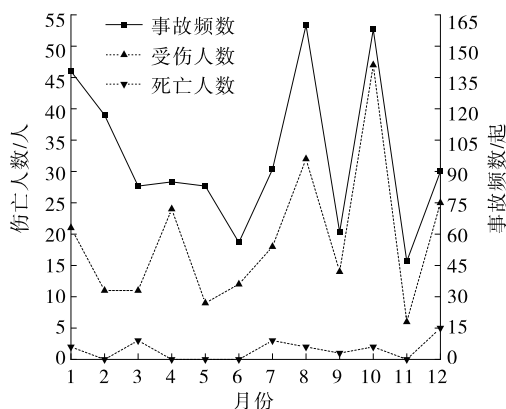
频数呈现逐年递增的趋势;2020 年,由于车流量受到新型冠状病毒感染疫情管制的影响呈不规则分



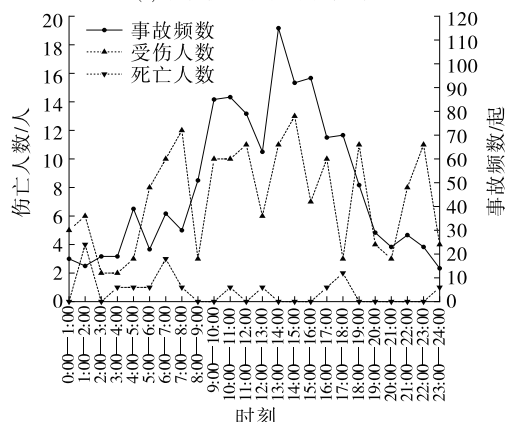
(a) 事故频数年度分布



(b) 事故伤亡程度年度分布



(c) 事故频数和严重程度月度分布



(d) 事故频数和严重程度小时分布

图 2 事故频数和严重程度时间分布特征

布,交通事故频数急剧增长<sup>[20]</sup>。2) 2017 年事故导致的伤亡人数最多,单起事故的伤亡人数最高达 0.31 人/起;2018 年和 2019 年事故死亡人数最多;2020 年事故伤亡人数最少。3) 1 月、2 月、8 月、10 月为事故高发月份,其中 1 月、2 月气温较低,路面湿滑,加上春节假期,出现事故多、伤亡人数多的现象;8 月受高温天气的影响,驾驶员行车舒适度降低,易引发交通事故;10 月重庆处于汛期,雨雾天气多,团雾现象较明显,且该路段连接金佛山等著名景点,交通事故发生率增大,事故受伤人数最多。4) 交通事故高峰小时为 9:00—11:00 和 13:00—18:00,这两个时段受进城和出城需求的影响,交通量激增导致事故频数较高;13:00—15:00 驾驶员午后疲劳犯困,心情烦躁,极易引发交通事故;夜间 1:00—7:00 交通事故较少但伤亡人数较多,主要受光线和驾驶员疲劳驾驶等因素的影响。

## 2.2 事故空间分布特征

路段交通事故频数和严重程度的空间分布特征分别见图 3、图 4。由图 3、图 4 可知:1) 事故多发路

段集中于互通段、隧道段、陡坡段、S 形曲线段和长大纵坡,其中 K1613—K1621 路段为长度约 8 km 的连续纵坡,坡度为 4.0% 的区段占 19.80%;K1622—K1630 路段为长度约 8 km 的连续纵坡。2) 进城方向的伤亡人数多于出城方向,伤亡人数最多的区段为 K1588—K1589、K1594—K1595 和 K1616—K1617 路段,平均 15 人;事故多发路段货

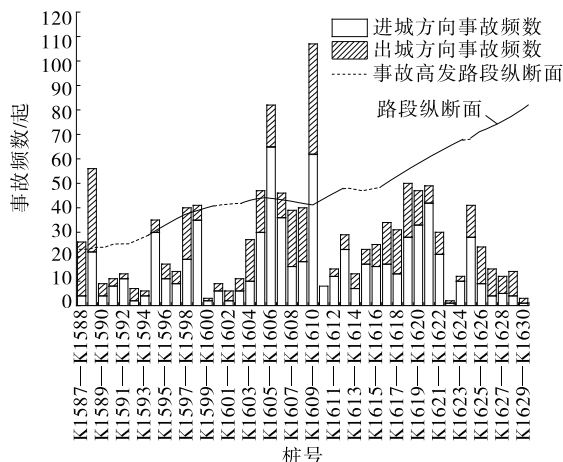


图 3 事故频数空间分布特征

车占比较高,货车在连续纵坡路段连续制动易导致刹车失灵或减弱,一旦发生交通事故伤亡人数较多。

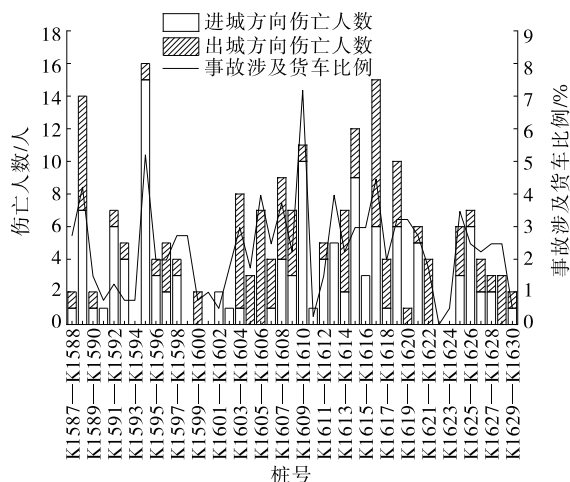


图4 事故严重程度空间分布特征

交通事故数量在空间上的分布不均匀。将事故当量法和累计曲线法相结合进行事故多发路段鉴定。事故当量法根据事故造成的后果(如死亡人数、受伤人数、经济损失等)将事故按式(1)转化为当量事故,由于交通事故数据没有具体量化经济损失,事故当量化时主要考虑伤亡人数。

$$Q_{EQ} = Q + k_1 D + k_2 I \quad (1)$$

式中: $Q_{EQ}$ 为当量事故数; $Q$ 为事故发生数量; $k_1$ 为死亡人数的权重系数; $D$ 为事故中死亡人数; $k_2$ 为受伤人数的权重系数; $I$ 为事故中受伤人数。

$k_1$ 、 $k_2$ 的取值由交通事故给社会带来的负面影响所决定, $k_1$ 通常取 1.5~2.0, $k_2$ 通常取 1.2~1.5,取值大小反映其影响大小。 $k_1$ 取 2.0, $k_2$ 取 1.5,得到事故当量化公式如下:

$$Q_{EQ} = Q + 2.0D + 1.5I \quad (2)$$

累计频率曲线法将道路进行单元划分,划分单元长度可取 0.20~16.00 km。对于山区高速公路,推荐单元长度取 0.05~1.40 km<sup>[21]</sup>,本文取 1.00 km。通过计算,将当量事故数由大到小排列,统计各事故当量数单元道路的频率,绘制图 5 所示当量事故累计频率曲线。

对当量事故累计频率进行二次求导,所得零点即为当量事故突变点。在突变点上方,累计频率虽在增加但事故次数不断减少;在突变点下方,事故次数急剧上升,将事故数超过突变点对应当量事故数的路段作为事故多发路段。进城方向当量事故数突变点在 23.5 处,出城方向在 10.5 处,进城方向当量

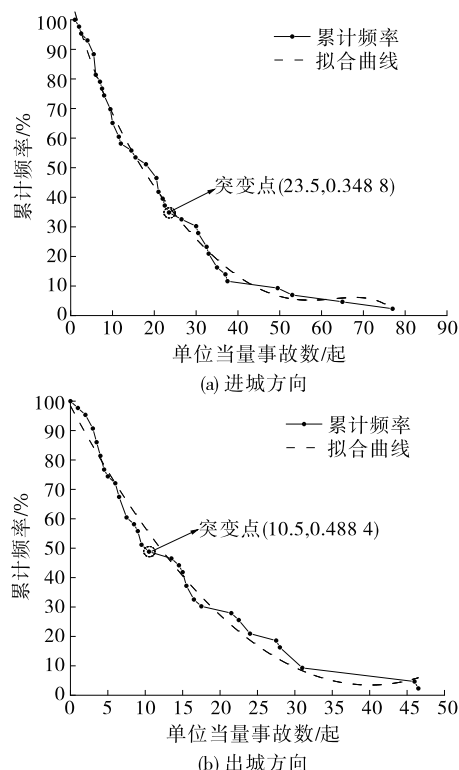


图5 当量事故累计频率曲线

事故数大于 23.5 起的路段单元为事故多发路段单元,出城方向当量事故数大于 10.5 起的路段单元为事故多发路段单元。将相邻的事故多发路段单元进行拼接,得到事故多发路段(见表 2)。

表2 事故多发路段

事故多发路段 桩号(进城)	当量事故 数/起	事故多发路段 桩号(出城)	当量事故 数/起
K1588—K1589	33.0	K1587—K1589	70.0
K1594—K1595	53.0	K1597—K1598	22.5
K1597—K1599	58.5	K1603—K1610	198.0
K1604—K1607	132.5	K1613—K1615	24.0
K1609—K1610	77.0	K1616—K1620	97.0
K1612—K1617	30.5	K1621—K1622	15.0
K1618—K1621	120.0	K1624—K1627	48.5
K1624—K1625	32.5	K1628—K1629	15.0

### 2.3 事故所在道路线形分布特征

交通事故与道路线形的关系见图 6。从图 6 可以看出:1) 事故率与平曲线半径呈“双驼峰”分布,小半径曲线(700~800 m)处交通事故发生率最大,随着平曲线半径的增加和行车视距的提升,交通事故率有所下降;曲线半径为 1 200~2 200 m 时,

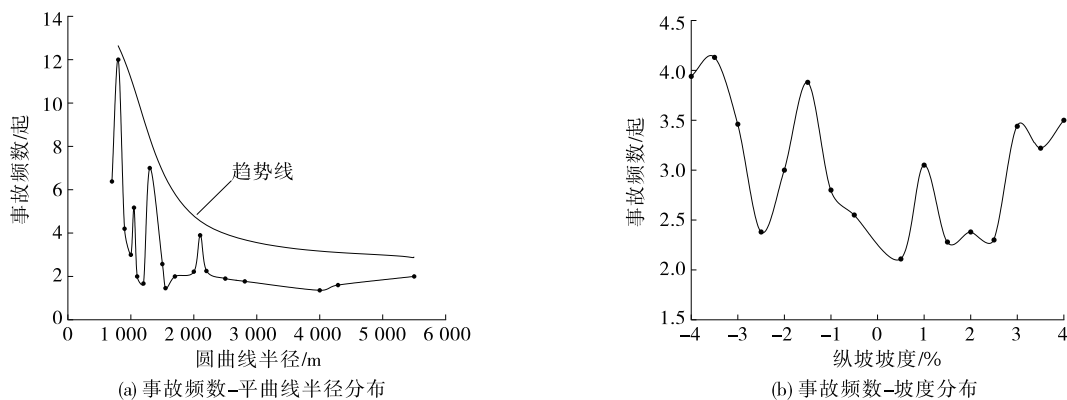


图 6 事故所在道路线形分布特征

驾驶员认为行车条件良好,放松警惕超速驾驶,交通事故发生率增大;曲线半径大于 2 200 m 时,交通事故率逐渐下降,最终保持相对稳定。2) 大纵坡( $-4.0\%$  ~  $-3.0\%$  和  $3.0\%$  ~  $4.0\%$ ) 和小纵坡( $-1.0\%$  和  $1.5\%$ ) 处事故发生率较高。主要原因是在长大纵坡处车辆保持较高速度行驶容易驾驶失控,在小纵坡处驾驶员放松警惕提高速度,事故发生率提高。

#### 2.4 事故形态分布特征

路段交通事故形态多因素分布特征见图 7。由

图 7 可知:追尾、撞击固定物及侧翻是交通事故主要类型,追尾事故占比远高于其他事故。高速公路上车速普遍较快,且行驶途中可能受到车辆故障、驾驶员心理和经验等因素影响,追尾事故频发,追尾是产生人员伤亡的主要事故类型。2) 小汽车发生交通事故的频次远高于其他车型,其中进城方向小汽车事故占 67.96%,货车事故占 24.14%;出城方向小汽车事故占 70.54%,货车事故占 25.92%。小汽车、货车是发生交通事故的主要车型。

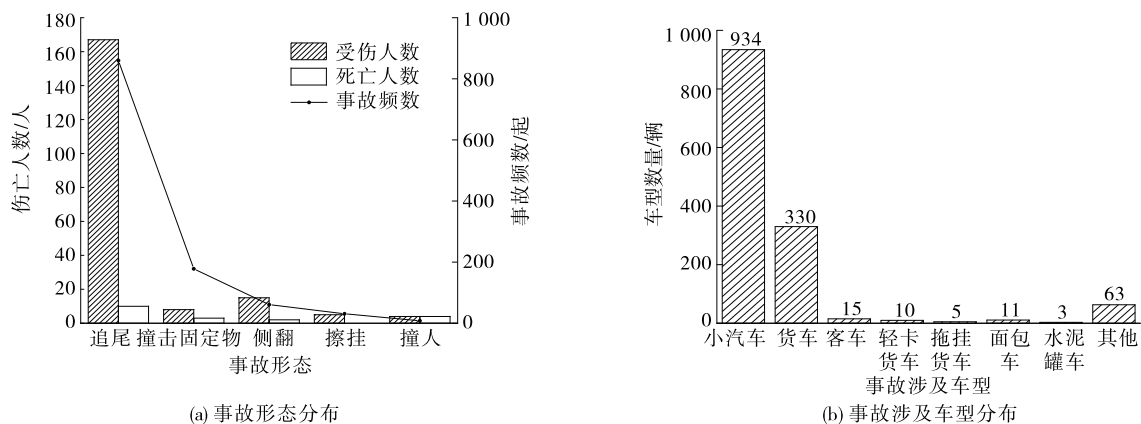


图 7 事故形态与事故涉及车型分布特征

### 3 基于树增强朴素贝叶斯模型的事故严重程度影响因素分析

#### 3.1 事故严重程度影响因素选取

山区高速公路交通事故数据具有结构复杂、多属性、多层次的特点。通过分析 2016—2020 年该路段 1 169 起交通事故数据,从交通系统的角度将事故严重程度影响因素分为车辆、道路条件、行车环境和事故形态 4 个属性,采用分层思想从 4 个分类属性中选取潜在风险因素。道路因素根据 JTG B05—

2015《公路项目安全性评价规范》<sup>[22]</sup> 将道路线形按表 3 中标准划分为平直路段、平曲线路段、陡坡路段和弯坡组合路段。山区高速公路受地形限制存在较多长大纵坡路段,采用表 4 所示标准确定山区高速公路长大纵坡<sup>[23]</sup>。将属性变量编码作为虚拟变量,建立属性变量集  $F = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\}$ ,并进行离散化取值(见表 5)。将交通事故严重程度划分为一般事故、受伤事故和死亡事故三类,事故严重程度用  $T$  表示,一般事故取 1,受伤事故取 2,死亡事故取 3。

表 3 道路线形划分标准

坡度/%	不同平面半径下路段划分	
	圆曲线半径>1 000 m	圆曲线半径≤1 000 m
-3~3	平直路段	平曲线路段
≤-3 或 ≥3	陡坡路段	弯坡组合路段

表 4 山区高速公路长大纵坡界定标准

平均纵坡值/%	路段长度/km	平均纵坡值/%	路段长度/km
2.0	12.0	3.5	2.5
2.5	7.0	4.0	2.0
3.0	4.0		

表 5 因素属性及取值

类别	风险因素	风险因素离散化取值
车辆	事故车型 $X_1$	小汽车取 1;货车取 2;其他车型取 3
	事故车辆数 $X_2$	单车取 1;两车取 2;三车取 3;四车取 4;五车及以上取 5
道路条件	路段类型 $X_3$	一般路段取 1;隧道取 2;互通取 3;其他路段(服务区、收费站)取 4
	路段线形 $X_4$	平直路段取 1;平曲线路段取 2;陡坡路段取 3;弯坡组合路段取 4;长大纵坡路段取 5
行车环境	事故发生月份 $X_5$	3—5 月取 1;6—8 月取 2;9—11 月取 3;12—下年 2 月取 4
	事故发生日期 $X_6$	工作日取 1;非工作日(周六、周日、节假日)取 2
	事故发生时段 $X_7$	0:00—6:00 取 1;6:00—12:00 取 2;12:00—18:00 取 3;18:00—24:00 取 4
	事故发生时天气情况 $X_8$	晴天取 1;雨天取 2;阴天取 3
	事故形态 $X_9$	追尾取 1;撞击固定物取 2;侧翻取 3;擦刚取 4;自燃取 5;撞人取 6

3.2 事故严重程度的贝叶斯网络构建

贝叶斯网络是由节点、弧线和概率组成的有向无环图结构模型,主要通过学习不完全、不精确或不确定的知识或信息来推理叶节点和根节点之间的因果关系。输入结构的变量表示网络中节点,用有向弧线连接父节点指向子节点,设变量集合  $V=\{X_1, X_1, \dots, X_n\}$ ,  $\text{Parent}(X_i)$  表示变量  $X_i$  父节点的集合,则  $X_i$  的条件概率  $P(V)$  为:

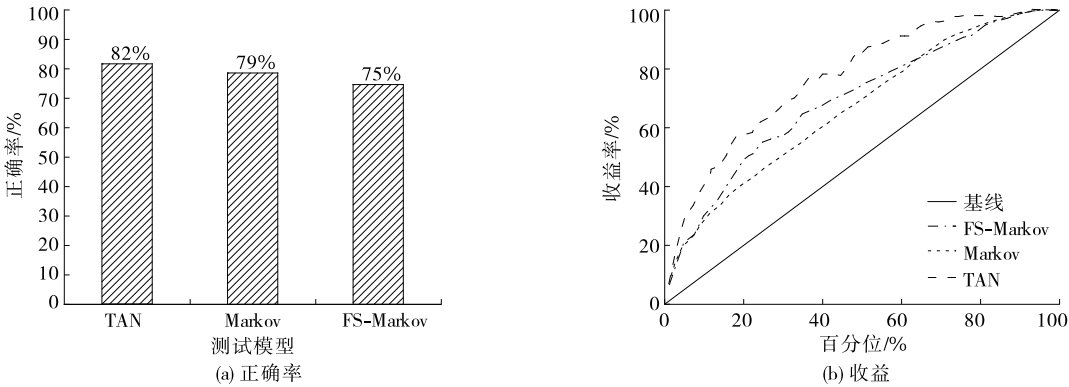
$$P(V)=\prod_{i=1}^n P(X_i \mid \text{Parent}(X_i)) \tag{3}$$

节点由表 5 中风险因素变量表示,变量取值代表节点状态,不同节点状态间的关系用条件概率  $P(V)$  表示。通过调整变量某个状态的概率来更新对应父节点的状态信息  $E$ ,利用贝叶斯理论推断其

他节点的概率变化如下:

$$P(V \mid E)=\frac{P(E \mid V) P(V)}{P(E)} \tag{4}$$

利用 SPSS Modeler 软件比较贝叶斯网络中树增强朴素贝叶斯模型(TAN)、马尔可夫结构模型(Markov)和特征马尔可夫结构模型(FS-Markov),通过评估和分析 3 种结构模型的正确率和收益确定分析模型。如图 8 所示,3 种结构模型中树增强朴素贝叶斯模型的准确率和收益最高。以贝叶斯网络为基础的树增强朴素贝叶斯网络模型使用最大加权生成树构建属性网络,计算节点间的互信息,根据互信息产生影响关系和权重,遵循已选边不组成回路的原则,构建最大权重生成树,允许预测的每个变量除关联目标变量外还依赖其他预测变



量,从而有效增加贝叶斯模型的准确程度。因此,构建图 9(a)所示山区高速公路事故严重程度树增强

朴素贝叶斯结构,在 Netica 软件中完成贝叶斯网络模型构建和参数学习[见图 9(b)]。

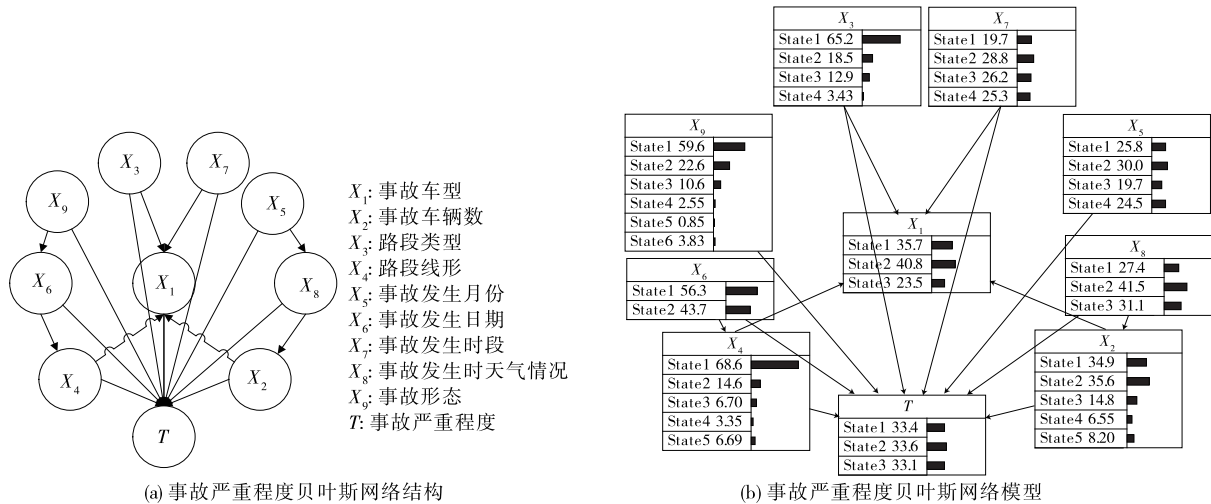


图 9 山区高速公路事故严重程度贝叶斯网络

### 3.3 事故严重程度影响因素分析

在贝叶斯网络结构中,多因素组合引发的交通事故概率往往大于组合内单因素单独作用引发的交通事故概率,表明多因素组合作用会增大事故发生频率。通过分析交通事故分布特征和车路耦合作用下事故发生概率,利用树增强朴素贝叶斯结构模型对事故车型和路段线形组合作用、路段线形和事故形态组合作用、事故形态和事故车型组合作用下艰

险山区高速公路交通事故严重程度的后验概率进行分析。

车型单独作用与车型和道路线形组合作用下事故严重程度后验概率对比见表 6。由表 6 可知:小汽车和货车发生在平曲线路段、陡坡路段、弯坡组合路段和长大纵坡路段的事故多为死亡事故,涉及货车

表 6 事故车型与路段线形组合作用下事故严重程度的后验概率

车型	车型单独作用下			车型与路段线形组合作用下后验概率														
	后验概率			平直路段			平曲线路段			陡坡路段			弯坡组合路段			长大纵坡路段		
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
小汽车	33.6	33.5	32.8	33.8	33.6	32.7	33.3	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3
货车	33.1	33.8	33.1	33.1	33.8	33.1	33.3	33.5	33.2	33.2	33.6	33.2	33.4	33.4	33.3	33.3	33.4	33.2
其他	33.3	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3	33.4	33.3	33.2	33.4	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.3	33.3

事故形态单独作用与事故形态和路段线形组合作用下事故严重程度的后验概率对比见表 7。由表 7 可知:发生在平直路段和平曲线路段的追尾事故易造成人员受伤,在陡坡路段、弯坡组合路段和长大纵坡路段发生的追尾事故多为死亡事故且会带来财产损失;在平直路段发生撞击固定物的事故,会造成财产损失;在弯坡组合路段和长大纵坡路段易发生侧翻事故,且造成人员死亡的概率较大;在不良线形路段,出现在行驶环境中的所有路侧设施和障碍物都会在交通事故发生时对交通参与者构成严重威胁。

事故形态单独作用与事故形态和车型组合作用下事故严重程度的后验概率对比见表 8。由表 8 可知:涉及多种车型的追尾事故多为受伤事故且会带来财产损失,涉及货车的撞击固定物的事故造成人员死亡的概率增大。固定物如墙壁、树木或混凝土护栏等一般没有安全性能设施(如安全气囊或防护结构),当车辆以较高速度与这些固定物发生碰撞时,冲击力更大,导致车辆和乘客受到更严重的伤害。撞击固定物事故发生时乘客容易因车体变形、扭曲而受到挤压,人员伤亡的概率增大。货车是发

表 7 事故形态与路段线形组合作用下事故严重程度的后验概率

事故形态	事故形态单独作			事故形态与路段线形组合作用下后验概率														
	用下后验概率			平直路段			平曲线路段			陡坡路段			弯坡组合路段			长大纵坡路段		
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
追尾	33.1	33.9	33.0	33.0	34.0	32.9	33.3	33.5	33.2	33.3	33.5	33.2	33.3	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3
撞击固定物	34.1	33.0	32.9	34.3	32.9	32.7	33.5	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3	33.4	33.3	33.3	33.5	33.3	33.3
侧翻	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3

表 8 事故形态与车型组合作用下事故严重程度的后验概率

事故形态	事故形态单独作用下			事故形态与车型组合作用下后验概率								
	后验概率			小汽车			货车			其他		
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_1$	$T_2$	$T_3$
追尾	33.1	33.9	33.0	33.3	33.8	32.9	32.8	34.1	33.0	33.3	33.4	33.3
撞击固定物	34.1	33.0	32.9	34.7	32.8	32.5	33.8	33.1	33.1	33.4	33.3	33.3
侧翻	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.4	33.3	33.3	33.3	33.4	33.3

生侧翻事故的主要车型,且发生侧翻路段线形条件较差,侧翻事故后,车辆可能会倾斜或完全翻转导致乘员难以逃离,人员伤亡的概率增大。

### 3.4 事故严重程度影响因素的敏感性分析

在贝叶斯网络中,敏感性分析是用来评估输入变量对输出变量影响程度的方法,当网络中某一节点的状态发生改变时,分析该节点对其他节点的影响程度。通过敏感性分析,判断各节点的敏感值大小,依据敏感值探寻网络结构中影响目标节点的关键节点,进而有针对性地把控风险构件。分析叶节点对根节点的影响程度,结果见表 9。相关度信息代表根节点对各叶节点的依赖程度,数值大小表示敏感性大小。如果对于某个风险因素的敏感值较大,则该风险因素的微小变化可能会导致目标节点后验概率的大变化。如果敏感值很小,则即使风险因素发生较大变化,对目标节点的后验概率也几乎没有影响。由表 9 可知:事故涉及车辆数量、事故形态、事故发生月份、事故发生时天气和事故车型是艰险山区高速公路事故严重程度的高敏感因素。通过敏感性分析,可以确定对事件发生概率影响较大的基本节点,进而采取有效措施降低这些基本节点的概率,从而降低事件的发生概率。

## 4 结语

基于包茂高速公路南环立交至大观互通段 1 169 起交通事故数据,分析交通事故在时间、空间、

表 9 事故严重程度贝叶斯网络节点敏感性分析

节点编号	相关度信息	百分比	相关度指标变异系数
$T$	1.584 93	100.000 000	0.444 430 2
$X_2$	0.000 08	0.005 140	0.000 012 7
$X_9$	0.000 06	0.003 870	0.000 009 5
$X_5$	0.000 04	0.002 420	0.000 006 0
$X_8$	0.000 03	0.002 160	0.000 005 3
$X_1$	0.000 02	0.001 330	0.000 003 2
$X_4$	0.000 01	0.000 494	0.000 001 2
$X_7$	0.000 01	0.000 409	0.000 001 0
$X_6$	0.000 01	0.000 402	0.000 001 0
$X_3$	0.000 01	0.000 348	0.000 000 8

路段线形、涉及车型、事故形态方面的分布特征,并利用树增强朴素贝叶斯结构模型对事故严重程度影响因素进行分析。主要结论如下:

(1) 该路段 2017—2019 年的交通事故数量呈逐年增长趋势,受新型冠状病毒感染疫情的影响,2020 年交通事故频数最高,2017 年单起事故死伤人数最高,1 月、8 月和 10 月,9:00—11:00 和 13:00—16:00 是事故高发期。

(2) 艰险山区高速公路事故多发路段集中于隧道路段、互通和不良线形路段;事故形态主要为追尾、撞击固定物和侧翻;小汽车和货车是多发事故的主要车型。



(3) 在事故与路段线形分布上,事故发生频数随平曲线半径的增大而减小,平曲线半径为小半径(700~800 m)和 1 200 m 时,事故发生频数较高,下坡路段事故比上坡路段事故多发。

(4) 在艰险山区高速公路不良线形路段发生交通事故易引发人员伤亡,不良线形路段条件下出现在行驶环境中的所有路侧设施和障碍物都会在交通事故发生时对交通参与者构成严重威胁。

(5) 事故涉及车辆数、事故形态、事故发生月份、事故车型和天气是影响艰险山区高速公路事故严重程度的关键因素。

根据上述分析,提出如下减少山区高速公路交通事故的对策:实行客货分离,特别是重载货车的分离,大货车靠右行驶,保证同车道内车辆速度差较小;对于长距离不可变车道,在车道驶入端实行客货分流,对长实线路段提前进行预告,通过减少车辆交织降低事故参与车辆数;对于不利天气带来的影响,利用车路协同技术,利用路侧系统监测道路天气状况并将天气信息传递给交通参与者,实现对不利天气的预防;将小半径曲线上坡路段设置为不可变道路路段,减少车辆在弯道内部的交织;利用车路协同技术,运用 V2V 通信技术赋予驾驶员超视距能力,在一定程度上减少由于视距不佳导致的小半径曲线路段交通伤亡事故。

#### 参考文献:

- [1] 张亚丽.世界卫生组织发布《2018 年全球道路安全现状报告》[J].中华灾害救援医学,2019,7(2):100.
- [2] 段蕾蕾,吴春眉,邓晓,等.2006—2008 年中国道路交通事故伤害状况分析[J].公共卫生与预防医学,2010,21(3):10-13.
- [3] AHMED M M, ABDEL-ATY M, YU R J. Assessment of interaction of crash occurrence, mountainous freeway geometry, real-time weather, and traffic data[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2280(1): 51-59.
- [4] RUSLI E R, HAQUE M M, KING M J, et al. A comparison of road traffic crashes along mountainous and non-mountainous roads in Sabah, Malaysia[C]//Proceedings of the 2015 Australasian Road Safety Conference(ARSC2015). Australasian College of Road Safety (ACRS), 2015: 1-12.
- [5] MA X X, CHEN F, CHEN S R. Modeling crash rates for a mountainous highway by using refined-scale panel data[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2015, 2515(1): 10-16.
- [6] 田毕江,梁超,鲍彦莅,等.山区高速公路交通事故时空分布特性与安全改善对策[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2018,42(6):1014-1018.
- [7] 熊晓夏,陈龙,梁军,等.基于贝叶斯网络模型的道路交通事故链生成与演化研究[J].公路交通科技,2018,35(5):99-107.
- [8] 由冰玉,廉福绵,孟祥海.基于故障树贝叶斯网的山区高速公路事故成因分析[J].交通信息与安全,2019,37(4):44-51.
- [9] 陈波,姚红云.山区高速公路事故涉及车辆数致因分析[J].科学技术与工程,2020,20(34):14283-14288.
- [10] 孟祥海,刘振博.基于 Tobit 回归的山区高速公路事故率分析模型[J].中外公路,2020,40(2):294-299.
- [11] BOLLA M E, DJAHI B S. The development of road databases and analysis of traffic accident-prone section(blacksite) based on Geographic Information System (GIS) [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 403: 012062.
- [12] YAKAR F. Identification of accident-prone road sections by using relative frequency method [J]. PROMET-Traffic & Transportation, 2015, 27(6): 539-547.
- [13] GUERRERO-BARBOSA T E, AMARÍS-CASTRO G E. Application of Bayesian techniques for the identification of accident-prone road sections [J]. DYNA, 2014, 81(187): 209-214.
- [14] SAYED T, ABDELWAHAB W, NAVIN F. Identifying accident-prone locations using fuzzy pattern recognition[J]. Journal of Transportation Engineering, 1995, 121(4): 352-358.
- [15] 朱芳琪,邱泽航,张泽旭.基于 GIS 的高速公路交通事故时空分析系统[J].公路与汽运,2023(2):25-31+39.
- [16] 肖乐.基于 NAIS 数据的交叉口车-车事故严重程度影响因素分析[J].公路与汽运,2022(6):37-40.
- [17] 杨永红,吕大伟,符锌砂.山区高速公路交通安全分析与改善措施研究[J].公路,2015,60(1):94-99.
- [18] 王迎,罗小强,袁长伟.基于 FCM 聚类的山区高速公路事故多发点成因分析[J].公路,2013,58(8):218-222.
- [19] 何斌,杜博英.采用风险指标评价山区高速公路安全性的可行性研究[J].公路,2014,59(1):161-164.
- [20] 姜楠,李赛,曹素珍,等.新冠肺炎疫情期间我国人群交通出行行为分析[J].环境科学研究,2020,33(7):1675-1682.

(下转第 54 页)