

互通式立交与隧道出口小间距路段事故影响因素分析

邓国忠, 曹帆, 吴勇, 王琪

(广西交通设计集团有限公司, 广西 南宁 530029)

摘要:为明确隧道出口与立交小间距路段事故严重程度的影响因素,根据浙江省21处典型路段的319起事故统计数据,从事故发生天气、时间、路段特征、交通因素等方面选择8个不同的自变量,结合有序Logit模型,分析这些不同因素对交通事故的影响程度。结果表明:晴天对应的绝对事故率最高;伤亡事故在05:00—07:00及10:00—12:00高发;事故主要发生在隧道出口与渐变段起点间及出口三角端部;尾随相撞和撞固定物为事故最主要的形态;事故发生天气、事故发生时段、隧道立交净距3个自变量对事故严重程度有显著影响,且影响大小排序为隧道立交净距、事故发生天气、事故发生时段。通过对模型的预测准确度进行分析,建立的回归模型能较好地表征实际的事故情况。

关键词:交通安全;互通式立交;隧道;小间距;有序Logit模型;事故严重程度

1 前言

随着山区高速公路的大量建设,受山区路线走廊、复杂地形地貌及社会经济条件等客观因素的限制,出现了许多隧道出口与互通式立交出口间距过近(也称为小间距路段)的工程实例。国内外一些高速公路运营实践表明,这些互通式立交出口与隧道出口过近的路段普遍存在以下问题:①指路标志设置困难;②隧道出口的明暗适应问题;③在出口路段来不及反应,采取突然变换车道或急刹车。这些问题常导致隧道出口与立交小间距路段成为一个事故易发、多发性点。

国内外许多学者对造成这一类事故的严重程度因素进行了大量研究分析。吴勇等采用主成分分析法对快速路合流区交通事故影响因素进行了研究,鉴别出事故各个诱因的重要性;S. Renuraj对发生在斯里兰卡贾夫纳市的一些交通事故,运用Logistic回归分析的方法,发现车辆类型和驾驶员年龄是影响事故严重程度的最重要变量;Ali Kemal Celik基于11 771起发生在土耳其的事故资料,运用Logit模型,探讨可能影响道路交通安全的危险因素,结果发现65岁以上的司机、小学教育程度驾驶员等因素会增加致死的可能性;KK Yau运用Logistic回归模型,研究了香港单车事故严重程度的影响因素,结果表明:街道灯光条件是决定伤害严重程度的最重要因素;马壮林等针对公路隧

道交通事故,从时间、隧道环境和交通动态因素3个方面出发,运用Logit模型回归分析,得到了对公路隧道事故严重程度具有显著影响的4个因素;胡骥等以翻车事故为例,并运用Ordinal Logistic模型研究驾驶员、车辆、环境因素对事故严重程度的影响,分析发现安全带、路面状况、道路线形对翻车事故的严重性具有显著影响;王磊等运用有序Logit和多项Logit模型对高速公路交通事故影响因素进行了分析,发现道路线形、路面通行条件、事故发生时间和能见度4个自变量与交通事故严重程度均显著相关。通过对类似文献的检索发现,由于交通事故的因变量不仅含有如时间这样的连续变量,还有天气、事故形态等分类变量,因此常选用Logit和Probit两种模型进行研究。Logit模型也译作“评定模型”,是Luce于1959年根据IIA特性首次导出的,服从Logistic分布;Probit模型是一种广义的线性模型,服从正态分布,两个模型都是离散选择模型的常用模型。但是Logit模型是最早的离散选择模型,也是目前应用最广的模型,具有简单直接、求解速度快、应用方便的特点。JD Bennett于1985年利用91 404起事故最先应用Logit模型研究受伤程度与地理位置、经验等因素之间的关系。中国近些年一些学者也开始将Logit模型广泛地运用到事故严重程度因素分析方面。

综上所述,这些研究成果主要集中在对隧道立交小间距值的研究以及所提出的相关安全措施,而针对

隧道出口与立交小间距路段事故特点的研究资料相对较少。鉴于此,笔者将以 21 条典型隧道立交小间距路段的 319 起事故为基础,应用有序 Logit 模型对此类交通事故严重程度的影响因素进行分析,探究所选取的不同自变量分别为天气、时间、隧道立交净距、年平均日交通量等。

2 小间距路段

JTG D20—2017《公路路线设计规范》规定:条件受限制时,隧道出口与前方互通式立体交叉减速车道渐变段起点的距离不应小于 1 000 m;JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》中针对不同设计速度,不同主线车道数,对隧道与前方主线出口之间最小净距进行更为详细的规定,如表 1 所示。规范中的最小净距并没有考虑出隧道后对于预告标志识别等所需要的时间,在计算中也是采用设计速度,而非实际的运行速度。其他学者对小间距值的研究也是采用汽车的实际运行速度,最后得出的最小间距也会略大于规范要求值。故此次选取的小间距路段定义为隧道立交净距为 0~1 500 m 对应的路段。

表 1 隧道与前方主线出口之间的最小净距

主线设计 速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	最小净距/m		
	主线单向 双车道	主线单向 三车道	主线单向 四车道
120	500	700	1 000
100	400	600	800
80	300	450	600
60	250	350	500

3 事故特点及分析

事故样本所对应的 21 个互通式立交分布于浙江甬金高速、长深高速、沈海高速等,调查路段主线均为双向四车道、立交为单车道出入口。2009 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日 4 年期间,路段共发生交通事故 319 起,其中伤亡事故 51 起,共造成 64 人受伤,8 人死亡。

3.1 伤亡事故天气分布特征

伤亡事故随天气分布的变化情况见图 1。

由图 1 可知:晴天时发生的事故比例最大,但根据事故发生年份浙江的天气统计,晴天绝对数所占比例

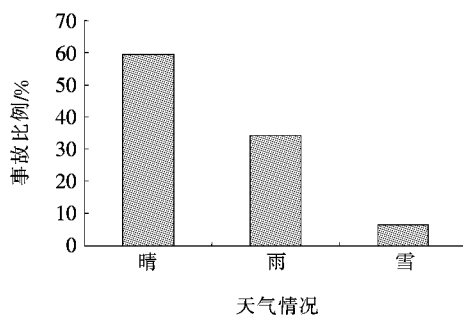


图 1 事故天气分布

为雨雪天气的 2~3 倍,伤亡事故晴天占到 59.25%,雨雪天占到 40.75%,因此晴天相对事故率约为雨雪天相对事故率的 1.45 倍。死亡事故均发生在晴天,这是因为雨雪天气虽路况较差,但驾驶人一般会减速行驶,警惕性较高,而晴天车速一般较高,出隧道后由于受到明适应的影响,从而导致死亡事故的发生。

3.2 伤亡事故时段分布特征

伤亡事故时段分布特征见图 2。

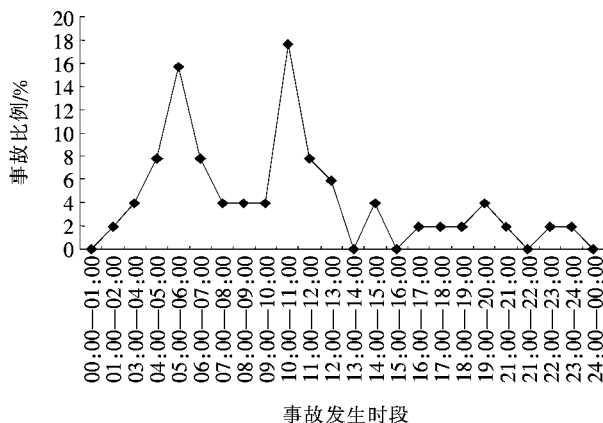


图 2 事故时段分布特征

中国交通事故高峰出现在 09:00—11:00 和 14:00—16:00,事故死亡率最高的时段是凌晨 03:00—06:00。隧道立交小间距路段中伤亡事故在 05:00—07:00 及 10:00—12:00 高发,05:00—07:00 交通量较少,车辆易超速行驶,且早间驾驶员容易犯困,注意力不集中,反应较慢,导致事故多发;10:00—12:00 事故多发主要是受到出洞口明暗适应的影响。

3.3 伤亡事故空间分布特征

由于交通环境、交通组成和交通分布不同等原因,交通事故在空间上有不同的分布特征。分析隧道出口与立交出口小间距路段的事故空间特征,可以得到该类路段交通事故发生的集中或较多区域,为以后存在的该类路段的交通安全设计提供一定的参考依据。根

据隧道立交小间距路段的特性和驾驶人的驾驶特性,将事故分布区域划分在 7 个区段内,如图 3 所示。

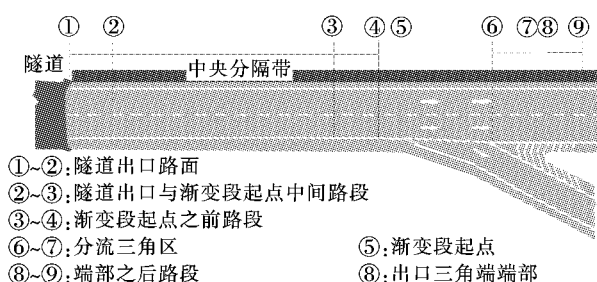


图 3 事故分布地点示意图

隧道出口与互通式立交出口小间距路段交通事故的空间分布状况见图 4。

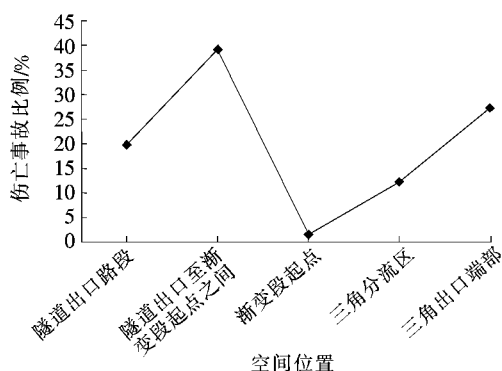


图 4 事故空间分布

从图 4 中可以发现:隧道出口与互通式立交出口小间距路段的伤亡事故主要发生在隧道出口与渐变段起点之间及出口三角端部,分别占到 39.18% 和 27.27%。隧道出口与渐变段起点之间的事故多与进出隧道明暗适应有关,出口三角端部的事故主要是车辆没有提前变换车道,因此在出口附近强行变换车道导致碰撞固定物事故多发,当前车减速变换车道时,后车容易与前车发生追尾事故。

3.4 伤亡事故形态分布特征

伤亡事故形态分布特征见图 5。

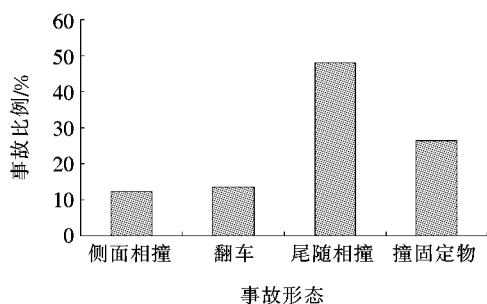


图 5 伤亡事故形态分布

由图 5 可知:尾随相撞事故总体上占总事故数的 47.96%,甚至在个别路段已经超过了 50%。尾随相撞事故是车辆未与前车保持安全的行驶距离,当前车突然刹车或减速时,后车驾驶人来不及做出反应而与前车碰撞,从而发生追尾事故。尾随相撞事故主要发生在出口匝道端部附近,其次是隧道出口路段。统计的样本路段交通事故中,未保持安全距离是尾随相撞事故的主要原因,占总数的 75%。撞固定物事故主要集中在出口匝道端部位置,当车辆制动不当或转向不当时容易撞路侧护栏或出口三角端部护栏。撞固定物事故的主要原因是操作不当和超速行驶。

4 事故模型

4.1 有序 Logit 模型

有序 Logit 模型主要用于研究因变量为有序分类的情况,第 K 个等级的有序 Logit 模型为:

$$\ln \left[\frac{P(Y \leq K | X)}{1 - P(Y \leq K | X)} \right] = \alpha_k + \sum_{j=1}^J \beta_j \chi_j \quad (1)$$

式中: X 为自变量组成的集合; β 为自变量的个数; χ_j 为第 j 个自变量, $j=1,2,3,\dots,j$; α_k 为第 k 个等级的常数项, $k=1,2,3,\dots,k-1$; β_j 为第 j 个自变量的回归系数; $P(Y \leq k | X)$ 为累积概率,其定义为:

$$\sum_{k=1}^K P(Y=k | X) = 1 \quad (2)$$

有序 Logit 模型其概率模型如下:

$$P(Y \leq k | X) = \frac{\exp(\alpha_k + \sum_{j=1}^J \beta_j \chi_j)}{1 + \exp(\alpha_k + \sum_{j=1}^J \beta_j \chi_j)} \quad (3)$$

$$P(Y=K | X) = 1 - P(Y \leq K-1 | X) \quad (4)$$

4.2 变量选取

根据选取的 5 条高速公路上共 21 处隧道与立交间距过近路段 2009—2012 年间 319 起事故资料,所收集到的事故数据信息主要包括:① 事故发生的具体时间;② 事故类型:包括财产损失、伤人事故、死亡事故;③ 事故形态:尾随相撞、撞固定物、同向刮擦、侧面包撞、翻车和其他形态;④ 天气状况:晴、雨、雪、阴、雾;⑤ 事故发生地点;⑥ 事故原因:超速行驶、妨碍安全行车行为、机件故障、疲劳驾车、违章变更车道、违章倒车、违章停车、未保持安全距离和其他。各路段的交通量及隧道立交位置信息均为相关部门提供。

交通事故调查的 21 处路段,共发生 319 起交通事

故,隧道出口至立交减速车道渐变段起点的距离有 8 处为 500 m 以内,10 处为 500~1 000 m,3 处略大于 1 000 m。

根据统计所得交通事故数据,以交通事故严重程度为因变量,受到事故特点制约,死亡和受伤事故占比

较少,因此将因变量分为仅财产损失和伤亡事故两类,并分别用 $Y=1$ 和 $Y=2$ 表示,以事故发生天气、事故发生日期、事故发生时段、事故发生地点、隧道长度、隧道与立交净距、事故类型、涉及车辆数、年平均日交通量为自变量,变量的具体描述见表 2。

表 2 变量的描述

序号	变量名称	编码
1	交通事故严重程度(y)	1=财产损失,2=伤亡事故
2	事故发生天气(x_1)	1=晴天,2=雨天/雪天,3=其他
3	事故发生日期(x_2)	0=非节假日,1=节假日
4	事故发生时段(x_3)	1=00:00~08:00,2=08:00~16:00,3=16:00~24:00
5	事故发生地点(x_4)	0=隧道出口至减速车道渐变段起点,1=减速车道渐变段起点至出口三角端及以后
6	隧道与立交净距(x_5)	[5,1 500]
7	事故类型(x_7)	1=尾随相撞,2=撞固定物,3=同向刮擦,4=侧面相撞,5=其他
8	涉及车辆数(x_8)	0=单车事故,1=多车事故
9	年平均日交通量(x_9)	[5 342,59 428]

当自变量的类别 m 大于 2 时,就需要引入 $(m-1)$ 个虚拟变量,以事故发生天气(x_1)为例说明:以晴天为参照,引入两个虚拟变量。见表 3。

表 3 事故发生天气虚拟变量

事故发生天气	虚拟变量	
	X_{21}	X_{22}
晴	0	0
雨	1	0
其他	0	1

5 实例分析

根据 2009—2012 年间浙江省 21 处典型路段的 319 起事故统计数据,采用有序 Logit 模型建立隧道立交小间距事故严重程度的预估模型,其中将 2009—2011 年间共 231 起事故用于建立模型,2012 年 88 起事故用于验证模型的准确性。

5.1 有序 Logit 模型分析结果

采用混合逐步选择法,取显著性水平为 0.05,当 $p < 0.05$ 时,表明该自变量对因变量有显著影响,保留该自变量。经由 Stata12.0 软件进行分析得到天气、事故发生时段、隧道立交净距等自变量对事故严重程度有显著影响,详见表 4。

表 4 有序 Logit 模型的参数估计结果

自变量名称	参数估计	标准误差	P 值
截距(α_1)	0.358	1.126	—
截距(α_2)	2.247	1.349	—
事故发生天气(x_1)	0.823	0.487	0.024
事故发生时段(x_3)	0.497	0.453	0.028
隧道与立交净距(x_5)	1.074	0.571	0.018

模型最终选取 3 个自变量,即自由度为 2,经查卡方检验临界值表, $\alpha=0.05$ 时,模型似然比检验值为 0.021 4,表示模型拟合优度较好,模型有效性较强。

由表 4 可知:

(1) 晴天发生严重事故的概率大于雨、雪等不良天气;0:00—08:00 发生严重事故的概率大于其他两个时段;隧道与立交间距越小越易发生严重的事故。

(2) 事故发生天气(x_1)、事故发生时段(x_3)及隧道与立交净距(x_5)这 3 个自变量对因变量有显著影响,事故严重程度的影响大小排序为隧道与立交净距、事故发生天气、事故发生时段。

5.2 有序 Logit 模型结果检验

Logit 模型检验结果见表 5。

由表 5 可知:有序 Logit 模型对伤亡事故的预测准确率为 83.3%;财产损失的预测准确率为 88.2%;总体的预测准确率为 85.75%。

表5 模型预测结果

项目	有序 Logit 模型预测值		
	受伤事故/ 起	财产损失事故/ 起	预测准确率/ %
伤亡事故	10	2	83.3
财产损失	9	67	88.2
总体			85.75

6 结论

(1) 晴天时发生的事故绝对数最多,雨雪天气的事故相对数低于晴天;隧道立交小间距路段中伤亡事故在 05:00—07:00 及 10:00—12:00 高发;伤亡事故主要发生在隧道出口与渐变段起点之间及出口三角端部;尾随相撞和撞固定物是最主要的两种事故形态。

(2) 有序 Logit 模型结果显示:事故发生天气、事故发生时段、隧道立交净距 3 个自变量与隧道立交小间距事故的严重程度显著相关,且影响因素大小排序为隧道立交净距、事故发生天气、事故发生时段。

(3) 根据回归模型的结果,分析了事故发生天气、事故发生时段、隧道立交净距对事故严重程度的影响程度,并对模型的估计结果进行了验证。

(4) 根据回归模型的检验,结果显示拟合效果良好,但此样本中伤亡事故还是偏少,下一步的研究中需要增加样本量,进行进一步研究,以验证所得结论的普适性。

参考文献:

[1] Lim Y J, Moon H R, Kang W P. Identifying the Factors Affecting the Probability of Accident Severity in Community Road — Focusing on Seoul City[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 641—642: 860—865.

[2] Theofilatos A, Graham D, Yannis G. Factors Affecting Accident Severity Inside and Outside Urban Areas in Greece[J]. Traffic Injury Prevention, 2012, 13(5): 458.

[3] 吴勇,孙棣华,李蕊,等.快速路合流区交通事故影响因素研究[J].中国公路学报,2015(9).

[4] Renuraj S, Varathan N, Satkunanathan N. Factors Influencing Traffic Accidents in Jaffna[J]. Sri Lankan Journal of Applied Statistics, 2015, 16(2): 117—133.

[5] Celik AK, Oktay E. A Multinomial Logit Analysis of Risk Factors Influencing Road Traffic Injury Severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey[J]. Accident Analysis and Prevention, 2014, 72: 66—77.

[6] Yau K K. Risk Factors Affecting the Severity of Single Vehicle Traffic Accidents in Hong Kong[J]. Accident Analysis & Prevention, 2004, 36(3): 333—340.

[7] 张生瑞,马壮林,徐景翠.高速公路隧道内交通事故分布规律[J].长安大学学报:自然科学版,2008(4).

[8] 胡骥,闫章存,卢小钊,等.基于 Ordinal Logistic 模型的事 故严重性影响因素分析——以翻车事故为例[J].重庆交 通大学学报:自然科学版,2017(4).

[9] 王磊,吕璞,林永杰.高速公路交通事故影响因素分析及 伤害估计[J].中国安全科学学报,2016(3).

[10] 赵一飞,陈敏,潘兵宏.隧道与互通式立交出口最小间距 需求分析[J].长安大学学报:自然科学版,2011(3).

[11] 廖军洪,王芳,邬洪波,等.高速公路互通立交与隧道最 小间距研究[J].公路,2012(1).

[12] 孙明玲,赵源,葛书芳.双车道高速公路隧道与互通式立 交出口最小间距分析[J].公路,2014(7).

[13] 王方杰.隧道与互通立交小间距路段的交通安全设计 [J].山东交通科技,2017(4).

[14] JTG D20—2007 公路路线设计规范[S].

[15] JTG/T D21—2014 公路立体交叉设计细则[S].

[16] 杜志刚,黄发明,严新平,等.基于瞳孔面积变动的公路 隧道明暗适应时间[J].公路交通科技,2013(5).

[17] 李文权,王炜.交通事故的时间分布规律[J].中国安全科 学学报,2005(4).

[18] 邹黎琼,吴朴,杨杰.干线公路平面交叉口合理间距研究 [J].中外公路,2017(4).

[19] 姚晶,王海君,潘兵宏,等.基于换道模型的高速公路隧道 出口与主线分流点最小净距研究[J].中外公路,2017(4).

[20] 郑余朝,贾辉.基于 AHP—FE 的公路隧道进出口过渡段 行车安全评价研究[J].中外公路,2015(2).