

大车比例对高速公路出口指路标志设置位置影响研究

刘培俭¹, 朱欢²

(1.广州市公路实业发展有限公司, 广东 广州 510650; 2.贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 高速公路出口指路标志对引导驾驶员规划行车路径具有重要作用。文中针对贵州省山区高速公路的实际条件和车型分布特点,以互通出口处减速车道起点为分流基准点,建立最内侧车道车辆安全换道模型,对不同大车比例下互通出口指路标志设置位置进行研究。实例计算结果表明,仁望(仁怀—望谟)高速公路金沙南互通出口指路标志采用门架和悬臂标志的建议设置位置分别为距离减速车道起点121 m、146 m处。

关键词: 交通工程;高速公路;出口指路标志;大车比例

中图分类号:U491.52

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)02-0038-04

高速公路互通出口指路标志的主要作用是预告和提示车辆分流点,引导驾驶人规划行车路径^[1-2]。山区高速公路由于建设条件限制,普遍具有路线线形较差、纵坡比例高、客货车速度差距较大等特点。同时,由于驾驶员粗心错过预告提示标志、标志设置不合理等原因,驾驶员错误判断出口距离,导致互通立交出口处容易发生交通事故^[3-4]。本文以山区高速公路互通出口指路标志为研究对象,根据山区高速公路互通的特点和交通分布情况,对出口指路标志设置位置进行分析,建立互通出口车辆变道分析模型,对指路标志位置进行合理设计,以降低分流点处的事故发生率,提高通行效率^[5-8]。

1 现状分析

1.1 互通出口断面特征

山区高速公路具有地势起伏较大、长大纵坡比较高等特点。由于早期建设条件及规模受限,贵州省运营期内的高速公路大多为24.5 m宽的窄路基形式,断面横向宽度较小,多数互通出口采用单车道直接式和平行式。出口分流点车辆交通渠化形式见图1。

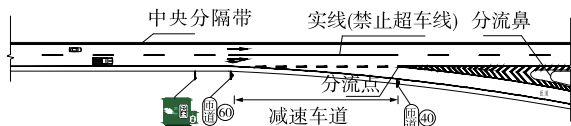


图1 一般互通出口处交通设施示意图(单位:km/h)

1.2 车辆分布特征

目前,贵州省高速公路采取分车道分车型限速方式,大型车集中分布于行车道(见图2)。由于大型车的机动性差、速度慢、体型大,对内侧超车道小客车对指路标志的视认和换道产生严重影响(见图3)。



图2 车辆分车道分车型限速现状

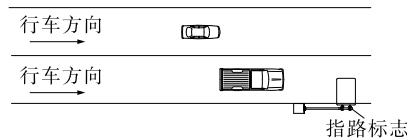


图3 大型车对内侧车辆视认指路标志的干扰

2 车辆换道模型

2.1 车辆驶离过程分析

目前,高速公路互通出口均设计有渐变段及减速车道,引导车辆进入减速车道,但需要驾驶员提前判断分流的时机和位置。实际上由于驾驶人对断面宽度变化不敏感,往往以分流鼻三角端作为驶出主线的分流点,导致后车追尾或变道车辆速度过高而

失控撞向三角端处构造物,存在一定安全隐患。

综合现有规范及前人的研究成果,针对贵州省山区高速公路的特点,以渐变段起点为计算分流基准点,建立最内侧车辆驾驶员仅观察到 0 km 标志(出口前最近的指路标志)的不利情况下车辆换道模型^[7]。

车辆驶离当前高速公路的过程分为两个阶段:1) 视认-决策阶段。驾驶员获取出口标志信息,并做出驶离当前高速公路的决定。2) 减速-变道阶段。降低车辆速度,等待合适时机转换至外侧并入出口匝道,此时车速降低至匝道限制速度。

如图 4 所示, L 即为 0 km 出口指路标志距基准点的距离,按下式计算:

$$L = L_2 + L_3 - L_1$$

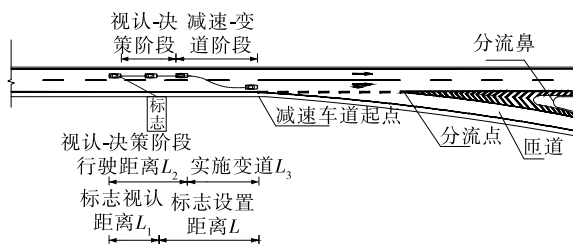


图 4 互通出口处车辆驶出模型示意图

2.2 视认-决策阶段

视认-决策阶段可分为标志信息视认和决策反应两个过程。视认过程为驾驶员观察到指路标志并在较短的时间内获取标志信息,视认点距指路标志的距离为视认距离 L_1 ,主要受视认条件、与标志横向位置的影响。

互通指路标志一般采取悬臂式(路侧)和门架式两种。为简化计算,假定车辆行驶于内侧超车道正中间,根据平面几何关系可计算视认点与指路标志之间的视认距离 L_1 :

$$L_1 = [(k - 0.5)B + W - H_i] \cot \theta \quad (1)$$

式中: k 为车道数; B 为车道宽度; W 为路肩宽度; H_i 为标志横向偏移; θ 为视认角。

以路基宽度为 24.5 m 的高速公路为例,视认距离计算参数及计算结果见表 1。

表 1 不同指路标志支撑方式下视认距离计算参数选取和计算结果

支撑形式	k /条	W /m	B /m	$\theta/(^\circ)$	H_i /m	L_1 /m
悬臂式(路侧)	2	1.5	3.75	10	1	34.7
门架式	2	1.5	3.75	3	4	59.6

决策过程为驾驶人观察到标志信息后对是否驶离当前高速公路进行判断的过程,该过程中车辆行驶的距离为决策距离 L_2 ,主要由驾驶员认读信息和做出反应所需要的时间决定。

标志认读过程中驾驶员处于反应和理解阶段,目标车辆速度保持不变, L_2 可按下式计算:

$$L_2 = \frac{v}{3.6} (T_{\text{PRT}} + T_{\text{DMT}}) \quad (2)$$

式中: v 为当前车速; T_{PRT} 为标志认读时间; T_{DMT} 为决策时间。

2.3 减速-变道阶段

目标车辆决定驶离当前高速公路,该阶段驾驶人通常会逐渐降低车辆速度,寻求并等待合适的时机完成车辆变道。车辆变道过程分为减速过程、换道时机等待过程和转向换道 3 个过程,须分别求解每一次换道车辆的行驶距离。

变道过程中,目标车辆实施减速和等候换道时间的长短取决于右侧车道的交通流量大小。根据交通流理论,一定长度内车道中车辆平均分配数可按下式计算^[8]:

$$n_{i+1} = \frac{3.6 D_{i+1}}{v_{i+1}} \cdot \frac{a_{i+1}}{60} \quad (3)$$

式中: n_{i+1} 为 $i+1$ 车道平均分配车辆数; i 为车道编号,内侧超车道为 1,行车道为 2; D_{i+1} 为车辆由 i 车道转向 $i+1$ 车道过程中行驶的距离; v_{i+1} 为车辆在 $i+1$ 车道上行驶的速度,取该车道设计限制速度; a_{i+1} 为 $i+1$ 车道上交通流量(veh/h)。

根据车辆分布数,车辆平均间距 $\bar{h}_{i+1}$ 为:

$$\bar{h}_{i+1} = \frac{D_{i+1}}{n_{i+1} - 1} \quad (4)$$

高速公路采取封闭式管理,受干扰程度低,互通之间的单一区段内交通量变化较小。因此,可假定车辆分布服从概率参数为 λ 的泊松分布,车辆间距的平均值即为概率分布函数的期望值^[8-9]。 λ 按下式计算:

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} = \bar{h}_{i+1} \quad (5)$$

根据式(3)、式(4),车辆分布概率函数为:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-(n_{i+1}-1)/D_{i+1}}; & x > 0 \\ 0; & x \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

设车辆最小换道车距为 $h_{\min}$,车辆变道时仅当 $i+1$ 车道上车头间距 $h \geq h_{\min}$ 时才满足外侧车辆变道的条件(见图 5)。

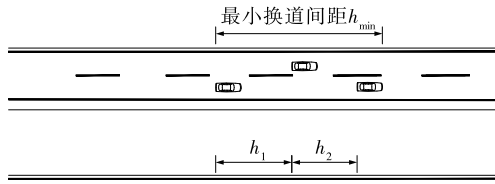


图5 车辆变道模型示意图

如图5所示, $h_{\min}$ 为当目标车辆变道插入至行车道时,该车道原相邻两车仍能保持安全的最小间距,按下式计算:

$$h_{\min} = h_1 + h_2 \quad (7)$$

式中: h_i 为目标车辆与前后相邻车辆的间距,1 为前车,2 为后车。

考虑车辆之间的安全距离和原车道车辆减速的情况, h_{i+1} 可按式计算:

$$h_{i+1} = h_{i+1(\text{刹})} + S - h_{i(\text{刹})} \quad (8)$$

式中: $h_{i+1(\text{刹})}$ 、 $h_{i(\text{刹})}$ 分别为行驶至 $i+1$ 车道、 i 车道的制动距离; S 为安全距离,一般取 3 m。

车辆制动距离由车速和车型确定,主要分为刹车反应行驶的距离和刹车制动距离,按下式计算^[7]:

$$h_{i+1(\text{刹})} = \frac{v_{id}}{3.6} \cdot T_{\text{PRT}} + \left(\frac{1}{3.6} \right)^2 \cdot \frac{v^2 - 0}{2g\mu} \quad (9)$$

式中: v_{id} 为车辆紧急刹车反应前的速度,取 $0.8v_i$; v_i 为车辆在 i 车道上行驶的速度,取该车道设计限制速度; T_{PRT} 为驾驶人认知反应时间,取 2.5 s; g 为重力加速度; μ 为高速公路与车辆轮胎的动摩擦因数。

对于单向双车道,根据车辆概率分布,在任意时刻目标车辆由超车道变换至行车道的成功概率 P 为:

$$P_i = P(h > h_{\min}) = e^{(n_i - 1)/D_i h_{\min}} \quad (10)$$

式中: D_i 为车辆在 i 车道行驶的距离; n_i 为 i 车道车辆分布数。

由于行车道车头间距具有不确定性,假定行车道车辆服从泊松分布,目标车辆在行驶 t 时间后在第 n 个车头间距处寻找到可满足安全换道要求的时机,此时满足车辆安全换道的概率 P_n 按下式计算:

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n = 1 - [1 - e^{(n_{i+1} - 1)/D_{i+1} h_{\min}}]^n \quad (11)$$

此外,目标车辆在内侧超车道等待减速的过程可假定为匀减速运动,减速距离 d 按下式计算:

$$d = \left(\frac{1}{3.6} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g\mu} \quad (12)$$

式中: v_1 为超车道限制速度; v_2 为行车道限制速度。

综上,车辆安全换道的概率为 $P_{i+1,n}$ 时,可分别

计算出 $\sum_i^n D_i$ 和 d ,变道过程总距离 L_3 为:

$$L_3 = \sum_i^n D_i + d \quad (13)$$

3 车辆安全换道概率的计算

由于货车、大客车等大型车一般集中行驶在行车道,在互通出口段能够出现合适车头间距的时机有限,理论上目标车辆变道所需时间将不断延长。考虑到驾驶员往往是基于主观判断进行决策,即使在车辆通行环境条件存在风险且不满足最小换道车距时也会做出强行变道的行为,安全换道概率难以直接获取^[10-12]。

为了分析大型车比例和目标车辆安全概率之间的关系,选取贵州省仁望(仁怀—望谟)高速公路黔西至金沙段相邻四处互通进行现场调查,以目标车辆打转向灯作为变道准备开始点,统计不同大型车比例下目标车辆的换道时长,结果见图6。

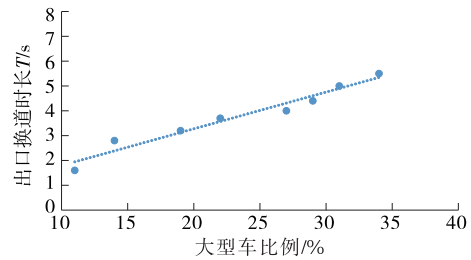


图6 车辆换道时长与大型车比例的关系

由图6可知:在总交通量基本相同的情况下,大型车比例越大,车辆变道所需时间越长。拟合公式如下:

$$\bar{T} = 7.53X + 1.65 \quad (14)$$

目标车辆在平均时长 $\bar{T}$ 内行驶的距离与车道距离的关系如下:

$$n\bar{h}_{i+1} = (v_i - v_{id})\bar{T} \quad (15)$$

联立式(11)、式(15),即可根据不同大型车比例下车辆平均变道时间观测结果求解 P_n :

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n = 1 - [1 - e^{(n_{i+1} - 1)/D_{i+1} h_{\min}}]^{(v_i - v_{id})\bar{T}/\bar{h}_{i+1}} \quad (16)$$

4 实例分析

以仁望高速公路金沙南互通为例进行分析。根据现场调查数据,以本文建立的车辆换道模型分别计算悬臂和门架两种支撑方式下 0 km 出口指

路(行动点)标志与匝道分流点的距离。计算条件及参数选取见表 2。

表 2 仁望高速公路金沙南互通计算参数取值

参数	取值
超车道限制速度 $v_1/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	100
行车道限制速度 $v_2/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	80
平均换道时长 $\bar{T}/\text{s}$	4.7
行车道交通量 $/(veh \cdot h^{-1})$	980
反应时间 T_{PRT}/s	2.5
决策时间 T_{DMT}/s	2.0
动摩擦因数 μ	0.6
重力加速度 $g/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.8

根据上述模型及参数条件,计算得 0 km 出口指路标志采用门架和悬臂支撑方式时建议设置位置分别为距离减速车道起点 121 m、146 m 处,此时能够有效提高指路标志的视认效果,降低互通出口处的事故发生风险。

5 结语

本文针对贵州省山区高速公路的特点,将最内侧车辆换道过程分成减速过程、换道时机等待过程和转向换道 3 个阶段,以减速车道渐变段起点为基准点,引入车辆安全换道概率函数,构建车辆安全换道条件下互通出口指路标志设置位置计算模型。考虑大型车比例对车辆安全换道概率的影响,分析不同大型车比例与车辆换道平均时长之间的关系,提出以车辆平均换道时长来计算安全换道概率的方法,该方法有效利用了现场观测数据,计算模型更符合实际。以 24.5 m 宽度的单减速车道互通出口为例进行分析,计算得 0 km 出口处悬臂和门架指路

标志的合理设置位置分别为距离理想分流基准点 121 m、146 m 处。

参考文献:

- [1] 陈钰斌.高速公路指路标志字高及板块数量对驾驶人认知负荷的影响研究[D].福州:福州大学,2021.
- [2] 田壮.基于贝叶斯网络的高速公路出口指路标志设置有效性评价[D].武汉:武汉工程大学,2022.
- [3] 李鹏飞,贾志绚,卓亚娟.基于理解性试验的交叉口指路标志设计体例研究[J].公路与汽运,2022(1):38-43.
- [4] 丁乃侃,田壮,逯兆友,等.高速公路出口指路标志设置有效性评价[J].公路,2022,67(4):243-249.
- [5] 闫兴奎.基于认知行为与负荷的高速公路枢纽互通立交出口指路标志设置研究[D].淄博:山东理工大学,2023.
- [6] 马新卫.高速公路出匝车辆车道变换模型及应用[D].天津:河北工业大学,2015.
- [7] 杨景瑞.高速公路枢纽互通式立交出口指路标志设置研究[D].西安:长安大学,2018.
- [8] 王蒙,喻伟,尹小梅,等.驾驶人车辆换道行为模型的建立与分析[J].交通科学与工程,2019,35(2):106-112.
- [9] 朱治邦,郭唐仪,潘姝.高速公路出口前置指路标志的安全设置距离模型[J].交通运输研究,2018,4(1):44-50+62.
- [10] 王俊彦,蔡骏宇.基于 RBF 神经网络的车辆安全换道时机决策模型研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(11):47-51+80.
- [11] 刘伟铭,邓如丰,张阳,等.高速出口前置指路标志的安全距离设置模型[J].华南理工大学学报(自然科学版),2013,41(2):37-43.
- [12] 郭唐仪,胡启洲,姚丁元.高速出口预告指路标志设置距离及其安全性能比较[J].公路交通科技,2011,28(12):106-111.

收稿日期:2023-06-25

(上接第 32 页)

- [12] GLAUZ W D, MIGLETZ D J. Application of traffic conflict analysis at intersections [R]. NCHRP 219, Washington DC: National Academy of Sciences, 1980.
- [13] WU J, RADWAN E, ABOU-SENNA H. Determination if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections [J]. Journal of Transportation Safety & Security, 2018, 10(6): 572-585.
- [14] TARKO A P. Use of crash surrogates and exceedance

statistics to estimate road safety [J]. Accident Analysis & Prevention, 2012, 45: 230-240.

- [15] 朱顺应,蒋若曦,王红,等.机动车交通冲突技术研究综述[J].中国公路学报,2020,33(2):15-33.
- [16] 戢晓峰,耿昭师.山区双车道公路货车碰撞预测的双变量冲突极值模型[J].交通运输系统工程与信息,2022,22(2):230-238.

收稿日期:2023-04-17