

山区高速公路平曲线建议限速标志设置

王军雷,孙小端,徐 婷,贺玉龙

(北京工业大学 交通研究中心,北京 100124)

摘 要:使用 Metrocount 和 GPS 采集了 8 条山区高速公路的平曲线运行速度数据并进行分析,提出以小车运行速度差作为判定准则确定是否设置建议限速标志;选择平曲线半径和入曲线前的运行速度为自变量,建立线性模型预测小车运行速度差。研究表明:通过运行速度和设计速度的综合确定建议限速值,当平曲线半径小于 300 m 的时候,运行速度差大于 15 km/h,在高速公路平曲线上设置建议限速标志;根据驾驶人的视认特性,计算出不同运行速度下对应的建议限速标志前置距离。

关键词:交通工程;建议限速;运行速度差;视认性;前置距离

中图分类号:U491.6

文献标志码:A

Curve advisory speed signs setting for freeway at mountain area

WANG Jun-lei, SUN Xiao-duan, XU Ting, HE Yu-long

(Center of Transportation Research, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Advisory speed signs are rarely used in China and Chinese researchers are seldom focused on this issue before. Traffic safety records are distinct different for curves section and tangent sections. Advisory speed limit signs setting for curve sections of mountain freeway is studied. Speed information from 8 provinces are collected by GPS terminal and Metrocount for one year. Speed difference concept is figured out and speed differential threshold is determined by linear model. Speed difference is bound to exceed 15 km/h when horizontal curve radius is small than 300 meters. The value of advisory speed sign is determined when considering traffic safety and flow speed. Human identification process toward traffic signs was analyzed. The location of advisory speed sign is determined considering drivers visual characteristics and operating speed. 4 tabs, 4 figs, 12 refs.

Key words: traffic engineering; advisory speed sign; speed difference; visibility; advanced distance

0 引 言

对于小半径的平曲线,相邻 2 个断面小车运行速度差过大时,易引起交通事故。据中国《道路交通

事故统计年报(2008 年度)》,2008 年发生在平曲线上的交通事故共有 17 923 起,占到总事故数的 6.34%,造成 5 798 人死亡,占事故死亡总人数的 7.32%^[1-2]。在美国,每年约有 38 000 起死亡交通

事故发生在高速公路上,其中 1/4 的交通事故发生在平曲线上。为提高驾驶安全性,在进入平曲线前设置建议速度标志,提醒驾驶人道路环境将发生变化,让驾驶人提前降低车速^[3]。根据美国 MUTCD 的相关规定,对于设置建议限速可以按照:①在交通自由流下,85%分位运行速度;②16°的球式示倾器的显示值;③根据交通调查确定^[4]。有时使用动态平曲线警告标志和运行速度监控设施,实时检测驾驶人车辆的运行速度,提醒驾驶人降低车速驶入曲线^[5]。

中国周蔚吾博士的研究成果中,将限制速度分为警告限速和法定限速 2 种^[6]。对于特殊路段,如急弯、陡坡等,考虑设置“警告限速”。目前,中国《公路交通标志和标线设置规范》(JTJG D82—2009)中,对警告标志的设置有一定的阐述,建议速度标志一般不单独使用,宜与其他的警告标志联合使用或附加辅助标志,以说明建议限速的原因或路段位置、长度^[7]。但是对于警告建议限速值的确定,以及具体位置没有提出详细的设置原则。

为此,本文通过对山区高速公路平曲线数据的调研与分析,建立小车运行速度差判别模型,确定是否需要在平曲线上设置建议限速标志;根据驾驶人认知过程,确定建议限速标志的设置位置,最终形成设置建议速度标志的方法和流程。

1 建议限速设置样本采集

目前,中国公路上运行的车辆类型较多,小客车与其他大型车辆、载重车辆的运行特性具有显著差异,需要将车辆按照车型分别进行研究。因此,根据《公路工程技术标准》(JTJG B01—2003)以轴距 3.8 m 为基准线,将所有公路车辆分为 2 种类型:轴距小于等于 3.8 m 的车辆归为小车,轴距大于 3.8 m 的车辆归为货车。本文作者先后在云南、河南、重庆、陕西、广东等省(自治区、直辖市),共计 8 条山区高速公路样本中完成了相应的数据调研任务。

山区高速公路中,小车由平直路段进入平曲线时,运行速度会有下降。取车头时距大于 16 s 的情况下,作为自由流状态铺设仪器进行断面小车运行速度的采集。仪器选用澳大利亚 Metrocount (MC)并结合小车 GPS 数据进行分析。Metrocount 采集持续 6 h 以上,对平曲线半径按 100 m 进行四舍五入的处理。对于入曲线前和曲线中进行车辆运行速度的采集,铺设方式如图 1 所示。

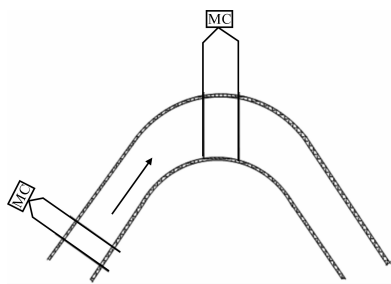


图 1 MC 铺设

2 样本分析

采集平曲线半径最小为 250 m,最大为 1 000 m。入曲线前,小车运行速度为 80~105 km/h。不同平曲线半径下,入曲线前小车运行速度与运行速度差的关系如图 2 所示。

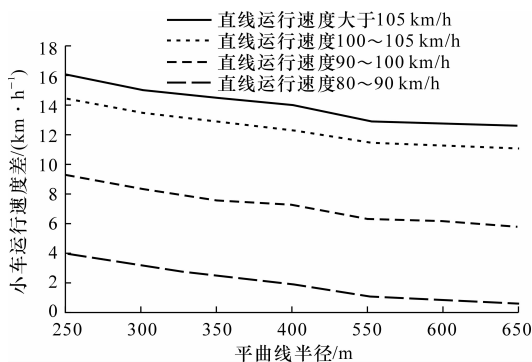


图 2 小车运行速度差与平曲线半径的关系

从图 2 可以看出,小车的运行速度差最大为 16 km/h,最小为 4 km/h。随着平曲线半径的增加,小车入曲线后的运行速度差越来越小。在平曲线半径大于 600 m,小车入曲线后的运行速度差的变化范围基本保持恒定,说明平曲线半径大于 600 m 时,平曲线半径已经不是影响小车运行速度差的主要因素。在平曲线半径相同的条件下,入曲线前运行速度越大,其相邻断面的运行速度差越大。

3 建议限速的设置

3.1 相邻断面小车运行速度差的估计

使用山区高速公路的调研数据,建立小车运行速度差和平曲线半径之间的关系,并以此为依据,判断是否需要设置建议限速标志。

为了定量进行建议限速的设置判断,引入运行速度差判别方法,用来描述不同类型路段车速变化情况,采集直线段的稳定车速与平曲线段的特征点进行差值比较。假设小车运行速度样本服从正态分布,前后断面的速度差定义为

$$V_{sg1} = V_{85car(i)} - V_{85car(i-1)} \tag{1}$$

式中: V_{sg1} 为前后断面的小车运行速度差(km/h); $V_{85car(i)}$ 为*i*直缓点小车的运行速度(km/h); $V_{85car(i-1)}$ 为*i*-1 曲线中点的小车运行速度(km/h)。

$$V_{sg} \sim N(\mu_1 - \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2), i = 1, 2, \cdots \tag{2}$$

式中: μ_1 、 μ_2 分别为前、后断面小车运行速度的均值(km/h); σ_1^2 、 σ_2^2 分别为前、后断面小车的运行速度的方差(km/h)。

假设模型的形式如式(2),转化为小车运行速度差与平曲线半径,以及入曲线前小车运行速度的关系模型,即

$$V_{sg2} = a + V_{85car(i)} + c/R \tag{3}$$

式中: V_{sg2} 为入曲线缓直路段与路段平曲线曲线中的小车速度差; R 为平曲线半径(m); a 、 c 均为待定系数。

使用 SPSS 进行线性回归得到

$$V_{sg2} = -43 + 0.52V_{85car(i)} + 1\,368.7/R$$
$$R^2 = 0.531 \tag{4}$$

式中: R^2 为判定系数。

根据式(4),重新对 600 m 以下不同平曲线半径、小车可能产生的运行速度差进行估计,估计结果见表 1。

表 1 小车运行速度差估计

| 平曲线 半径/m | 入曲线前不同小车速度(km/h)的小车 速度差/(km·h ⁻¹) | | | |
|-------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 80 | 90 | 100 | 105 |
| 250 | 5.07 | 10.27 | 15.48 | 17.02 |
| 300 | 4.16 | 9.36 | 14.56 | 16.11 |
| 400 | 3.02 | 8.22 | 13.42 | 14.97 |
| 500 | 2.33 | 7.53 | 12.74 | 14.28 |
| 600 | 1.88 | 7.08 | 12.28 | 13.83 |
| 700 | 1.55 | 6.75 | 11.96 | 13.50 |

根据表 1 的计算结果,当进入曲线前小车运行速度为 80 km/h 或 90 km/h 的时候,平曲线半径在 250 m 至 700 m 之间,进入曲线前和曲线中相邻断面的小车运行速度差都不会超过 10 km/h;在入曲线前运行速度为 90 km/h,只有在极限半径 250 m 的条件下,小车运行速度差会略微超过 10 km/h。

如果在进入曲线前,小车的运行速度为 100 km/h,进入平曲线后,小车的运行速度通常都会下降 10 km/h 以上。从表 1 可看出,当平曲线半径为 300 m 时,小车运行速度差为 14.56 km/h;平曲线半径为 250 m 时,小车运行速度差为 15.48 km/h。

如果在进入曲线前,小车的运行速度为 105

km/h,进入平曲线后,小车的运行速度通常都会下降 10 km/h 以上。从表 1 可看出,当平曲线半径为 400 m 时,小车运行速度差为 14.97 km/h;在平曲线半径为 250 m 时,小车运行速度差为 17 km/h。

3.2 建议限速值的考虑

根据美国的建议限速标志设置方法,综合安全速度、小车的运行速度,得出不同平曲线半径下的建议限速值^[8]。本研究中,从安全的角度和运行速度差的角度来看,对于入曲线前小车运行速度为 100 km/h 的道路,在平曲线半径小于 300 m 时,小车产生运行速度差后,小车的运行速度为 85 km/h。根据《公路路线设计规范》,设计速度为 80 km/h 的道路,极限平曲线半径为 250 m。对于山区高速公路,最大限速为 100 km/h。从安全的角度出发,小车的建议限速为 80 km/h。对于以 10 km/h 为步长设置限速,可以采用表 2 的推荐值。

表 2 建议速度限速值

| 平曲线半径/m | 250 | 300 |
|----------------------------|-----|-----|
| 建议限速/(km·h ⁻¹) | 80 | 80 |

根据《公路项目安全性评价指南》(JTG/T B05—2004)运行速度协调性评价方法,结合文献对京津塘高速公路的交通事故与运行速度差的关系结论,当运行速度差超过 15 km/h 时,交通事故率迅速上升,影响车辆运行速度协调性^[9-10]。如果以 20 km/h 的步长设置建议限速标志,仅对 300 m 以下的平曲线设置建议限速,其值为 80 km/h。

3.3 建议限速前置距离确定

为了保证车辆在进入急转弯路段之前,降低车辆运行速度,需要将建议限速标志提前设置,可以进行安全避让、换车道和转向操作所需要的距离,称为前置距离,如图 3 所示^[11]。



图 3 曲线建议限速标志

通过驾驶人对交通标志的视认过程,对限速标志的前置距离进行确定。驾驶人对交通标志的视认过程,如下页图 4 所示^[12]。

假设车辆行驶的方向如图 4 所示,限速标志位

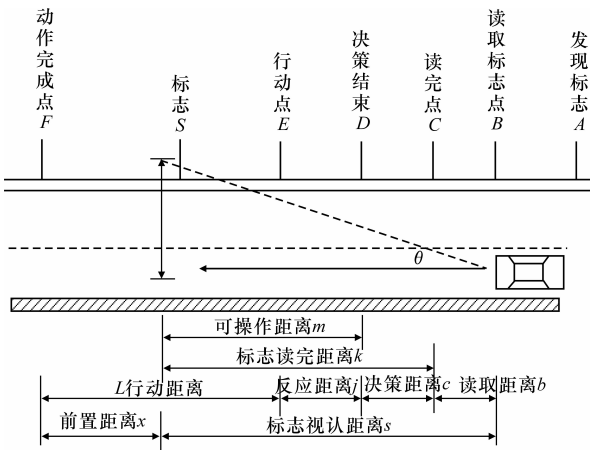


图4 驾驶人对交通标志的视认过程

于点S处,驾驶人在A点发现限速标志,在B点开始对限速标志读取,到达C点完成限速标志的信息认知,这段距离称为读取距离 b ;随后,驾驶人根据读取的信息进行判定,车辆从C点行驶至D点,这段距离称为决策距离 c ;从D点到行动点E点为驾驶人制动反应时间内行驶的反应距离 j ;在E点开始采取行动直至行动到F点完成行动,这段距离称之为行动距离 L 。从B点到标志S的距离称为标志视认距离 s ;从限速标志S点到F点的距离为标志设置的前置距离 x ;C点到S的距离为驾驶员认知后的行驶距离 k (标志读完距离);从D点到S点的距离为驾驶人的最小可操作距离。要使驾驶人能够有效地利用交通标志传递信息,必须保证驾驶人标志视认距离和前置距离之和大于读取距离、决策距离、反应距离和行动距离之和,计算式为

$$s+x \geq L+c+j+b \tag{5}$$

$$x \geq V_1t_1+V_1t_2+V_1t_3+L-s \tag{6}$$

式中: V_1 为决策之前的车速; t_1 为读取时间; t_2 决策时间; t_3 为操作反应时间。一般情况,读取标志时间 t_1 约为1~2 s,取 $t_1=1$ s;决策时间 t_2 约为2.0~2.5 s,取 $t_2=2$ s;操作反应时间 t_3 约为1.5~2.5 s,取 $t_3=1.5$ s。

行动距离 L 的计算公式为

$$L=(n-1)V_1t_2+(V_2t_1-V_2t_2)/2a \tag{7}$$

式中: n 为车道数; V_2 为车辆实施操作完成处F点的车速; a 为车辆实施操作过程中汽车的减速度,取减速度为 2.4 m/s^2 ;按照高速公路的最高设计速度为120 km/h,最低为80 km/h。取 $V_1=120\text{ km/h}$, $V_2=80\text{ km/h}$,当直线上运行速度为80 km/h时,行动距离取安全视距。行动距离见表3。

表3 驾驶人行动距离

| n | $V_1/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ | $V_2/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ | L/m |
|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 2 | 120 | 80 | 257 |
| 2 | 100 | 80 | 138 |

当运行速度为120 km/h时

$$V_1t_1+V_1t_2+V_1t_3=120\times(1+2+1.5)/3.6=150(\text{m});$$

当运行速度为100 km/h时

$$V_1t_1+V_1t_2+V_1t_3=100\times(1+2+1.5)/3.6=125(\text{m})$$

当运行速度为80 km/h时

$$V_1t_1+V_1t_2+V_1t_3=80\times(1+2+1.5)=100(\text{m})$$

对于路侧设置的建议限速标志,驾驶人眼睛和标志牌上缘连线与水平线夹角 θ 为 $7^\circ\sim10^\circ$,一般取 $\theta=8^\circ$ 。所以 $s=d/\tan(\theta)=7/\tan(8^\circ)=49.8\text{ m}$ 式中: d 为驾驶人眼高到标志的侧距,或驾驶人眼高到前方标志上边线的高度。

经上述分析,根据不同的运行速度,得到交通标志前置距离,结果见表4。

表4 建议限速标志前置距离

| $V_1/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ | L/m | $V_1t_1+V_1t_2+V_1t_3/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$ | x/m | 前置距离调整/ m |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
| 120 | 257 | 150 | 357 | 350 |
| 100 | 138 | 125 | 213 | 200 |
| 80 | 110 | 100 | 160 | 150 |

4 结 语

(1)随着平曲线半径的减小,相邻断面的小车运行速度差增加;如果平曲线半径大于600 m,小车运行速度差保持稳定,基本不会发生太大变化;进入曲线前的小车的初速度越大,相邻断面的运行速度差就越大。

(2)建立线形模型对小车运行速度差进行估计,对于步长10 km/h设置限速,以表2推荐值进行建议限速处理;对于步长为20 km/h设置限速的情况,平曲线半径小于300 m,设置80 km/h建议限速标志,提示驾驶人降低运行速度;根据驾驶人对交通标志的视认特性和运行速度,计算建议限速标志的前置距离。

(3)本项研究成果对于中国高速公路建议限速的设置提供了理论基础和工程指导,增加了车辆行驶在平曲线路段的安全性。