

# 双车道公路期望车速确定方法研究

屠书荣 张泽良

(重庆交通大学 土木建筑学院 重庆 400074)

**摘要:**期望车速作为运行速度的上限,是运行速度预测的关键参数。针对当前双车道公路运行速度预测中期望车速过高的问题,着重分析了道路条件与驾驶员期望车速选择的关系,并采用调查统计方法,量化道路条件对期望车速的影响程度,完善了双车道公路期望车速的确定方法,为利用运行速度检验双车道公路的线形安全性奠定了良好基础。

**关键词:**双车道公路;期望车速;线形;交通环境

中图分类号:U412.3

文献标志码:A

文章编号:1674-0696(2010)02-257-04

## Prediction Method for Expectation Speed of Double-Lane Road

TU Shu-rong, ZHANG Ze-liang

(School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** As the upper limit of running speed, expectation speed is the key parameter of the running speed forecasting. In view of current problem that the expectation speed is excessively high in running speed prediction of double-lane road, the relationship between road conditions and drivers' choice of expectation speed are focused; the survey method is used to quantify the effect of road conditions on the expectation speed, which improves the prediction method for expectation speed of double-lane road, and lays a good foundation to test the alignment safety of double-lane road by using driving speed.

**Key words:** double-lane road; expectation speed; alignment; traffic environment

期望车速是指车辆行驶过程中在不受或基本不受其他车辆约束的情况下,驾驶员心目中希望达到的最高安全行驶速度<sup>[1]</sup>。目前在公路设计阶段,已普遍采用相邻路段运行速度的差值对公路线形安全性进行评价,而期望车速是运行速度预测的关键参数,对运行速度预测和线形安全性评价的影响非常大,但我国 JTG/TB 05—2004《公路项目安全性评价指南》<sup>[2]</sup>中推荐的运行速度预测方法,其期望车速的取值为小客车 120 km/h,大货车 75 km/h 与双车道公路的实测期望车速相去甚远(对双车道公路而言,上述期望车速取值明显偏高),这在很大程度上影响了双车道公路运行速度预测的精度。由于双车道公路与高速公路或一级公路的行车环境差异较大,在进行双车道公路运行速度预测时,有必要对其代表车型的期望车速数值进行重新确定。

## 1 期望车速形成过程及影响因素分析

调查发现,每个驾驶员在驾车过程中,其心目中都或明或暗地存在着一个“目标车速”,这个“目标

车速”实际上就是期望车速。驾驶员对期望车速的选择首先取决于道路条件和所驾驶的车型,在这两个条件确定后,期望车速会随驾驶员的性别、年龄、气质、驾驶技术熟练程度及驾车风格等不同在一定范围内发生波动,但道路条件始终是驾驶员选择期望车速的基础和关键,不会因驾驶员个体的差异而发生改变。从心理学角度分析,驾驶员期望车速的形成过程大致可以分为初定、调整、确定和保持 4 个阶段(图 1)。

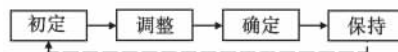


图 1 期望车速形成过程

Fig. 1 The process of expectation speed formation

1) 初定阶段:驾驶员确定心目中期望车速的初始阶段。当驾驶员驾车驶入某一条道路时,首先获取的是道路等级状况,驾驶员会根据行驶道路的横断面尺寸和车型等要素判断后确定一个初始期望车速;

2) 调整阶段:驾驶员对已经初步确认的期望车

速进行调整的阶段。此阶段的特点是驾驶员通过对所行驶道路的线形及交通环境等相关情况作进一步观察后,决定是否对已确定的初始期望车速进行调整以及调整的幅度大小;

3) 确定与保持阶段:驾驶员对已调整过的期望车速实施记忆保持的阶段。在此阶段,驾驶员对经过调整后确认的期望车速进行记忆保持,并以此期望车速为目标对所驾驶车辆的实际行车速度进行调控。在实际行驶过程中,当驾驶员感觉行车条件或交通环境发生变化而需要调整心目中的期望车速时,会按照图1中虚线的指向,重新确定新的期望车速。

通过以上期望车速形成过程的分析,不难看出,道路条件对期望车速的影响主要是横断面尺寸、道路线形和交通环境3个方面,其中横断面尺寸和车型是影响驾驶员期望车速选择的重要因素,线形和交通环境则是驾驶员调整期望车速的重要考虑因素。N. RASHEVSKY<sup>[3]</sup>最先提出公路最大安全运行速度预测模型,如公式(1),国内不少学者将其引入到高速公路期望车速的预测中<sup>[4]</sup>。

$$V_m = (S - S_0 - \delta - \theta L_0) / \theta \tau \quad (1)$$

式中: $V_m$ 为期望车速, m/s;  $S$ 为路基宽度, m;  $S_0$ 为车辆宽度, m;  $\delta$ 为车辆与行人间距, m;  $L_0$ 为车辆长度, m;  $\theta$ 为车辆侧偏角, rad;  $\tau$ 为驾驶员的反应时间, s。

该模型综合考虑了横断面尺寸和车型对期望车速的影响,得出的结果可认为是初始期望车速。高速公路由于线形指标较高且路侧封闭,对上述公式计算出的初始期望车速可以不作调整,直接用作驾驶员期望车速使用。但对于双车道公路,由于运行环境条件与高速公路明显不同,驾驶员在初定期望车速后还要根据路段内的交通环境和线形等情况,对初始期望车速进行调整并作记忆保持。

## 2 道路线形的影响及其修正

道路线形作为道路的重要组成部分会对驾驶员期望车速的选择产生重要影响。如果公路的某个线形单元为急弯陡坡或平纵面线形组合不良,驾驶员驾车至这些线形单元时,常常会因为紧张而引起心率急速加快;如果在整个路段范围内这样的线形单元较多,驾驶员在驾驶过程中必然会处于持续紧张状态,从而影响到驾驶员心目中的期望车速确定。

### 2.1 心率增长率分析

心率作为衡量驾驶员心理紧张程度的指标,能很好地反映车速、道路线形对驾驶员行车紧张性的影响。根据现有研究成果<sup>[5]</sup>,心率增长率为40%是心理高度紧张的阈值。因此,在分析线形与驾驶员期望车速的关系时,可以将40%的心率增长率作为

判断驾驶员心理是否紧张的界限。根据《指南》<sup>[2]</sup>中运行速度计算对线形单元的划分要求,将路线划分为直线段、平曲线段、弯坡组合段和纵坡段4种线形单元;其中直线段驾驶员的心率增长率较小,对驾驶员的期望车速选择不会产生影响。纵坡坡度对驾驶员心理的影响分为上坡和下坡两种情况,理论上在线形设计标准范围内,上坡不会给驾驶员的行车带来心理紧张。因此,对于影响驾驶员期望车速选择的弯坡组合以及纵坡路段,只需要考虑下坡的情况。平曲线段、弯坡组合段以及纵坡路段的驾驶员心率增长率模型如表1<sup>[6]</sup>。

表1 心率增长率模型

Tab. 1 Model of heart rate growth

线形单元类型	心率增长率模型 $N$	相关系数 $R$
平曲线段	$-11.565 \ln R - 0.035 65V + 96.523$	0.864
弯坡组合段	$-0.665I + 0.336V + 0.011L + 9.427$	0.942
纵坡段	$24.385 + 140.6i/r + 0.217V$	0.855

根据心率增长率模型以及调查路段中位运行速度,可以得出各种线形单元下驾驶员心率增长率达到40%的线形指标临界值,具体是:

- 1) 平曲线段:半径小于120 m;
- 2) 弯坡组合段:坡度与半径比值小于0.02;
- 3) 纵坡段:各坡度情况下,坡长临界值见表2。

表2 纵坡路段临界坡长

Tab. 2 Limited slope length of slope sections

坡度/%	3	4	5	6	7
临界坡长/m	700	500	450	400	350

### 2.2 线形修正模型

根据以上驾驶员心率增长率模型,可以定性地确定在整个路段范围内哪些线形单元会对驾驶员的期望车速选择产生影响。为了量化线形对于期望车速的影响,笔者以这些线形单元占路段总长度的比例  $A$  作为衡量线形质量的指标。

$$A = \sum_{i=1}^n l_i / L \quad (2)$$

式中: $l_i$ 为驾驶员心率增长率超过40%的线形单元长度; $L$ 为路段长度。

笔者实测了多条双车道公路长直线路段(包括山区长下坡路段)最大稳定行驶速度,观测时段选择在交通量较小(不大于300 v/h)的自由流交通时段,在剔除了有横向干扰的路段后,对各观测路段期望车速差值  $T$ (初始期望车速与实测稳定速度的差值)和线形质量参数  $A$  进行回归分析,得到各车型线形修正模型如下。

#### 2.2.1 小客车线形修正模型

$$T_1 = -0.000 8A^3 + 0.453A^2 - 0.141A + 0.405, \quad R^2 = 0.936.$$

2.2.2 大货车线形修正模型

$$T_2 = -0.000\ 3A^3 + 0.024A^2 - 0.215A + 0.853,$$
$$R^2 = 0.923.$$

3 交通环境的影响及其修正

我国双车道公路主要采用施划标线的方式分隔双向交通或主线交通与路肩上的交通干扰事件。这种分隔方式必然造成主线车辆受路肩交通的影响较大。横向干扰小的路段,驾驶员期望车速选择基本不受影响。横向干扰大的路段,则会对驾驶员期望

车速选择和正常的驾驶行为构成干扰,从而使整个路段的车辆稳定运行速度降低。

横向干扰因素可分为 6 类,即拖拉机、支路车辆、路侧停车、行人、非机动车以及街道化程度等。为了量化横向干扰,这里将各类横向干扰因素分为 5 个等级,具体描述如表 3。根据各影响因素的权重和级别,横向干扰级别(FRIC)可按式计算:

$$FRIC = \text{Int}(0.25 \times TRA + 0.2 \times EEV + 0.18 \times PSV + 0.15 \times PED + 0.12 \times SMV + 0.10 \times LU + 0.5)$$

表 3 各类横向干扰因素分级  
Tab.3 Classifications for various types of horizontal interference factors

级别	拖拉机 TRA/ (veh · (200m · h) <sup>-1</sup> )	支路车辆 EEV/ (veh · (200m · h) <sup>-1</sup> )	路侧停车 PSV/ (veh · (200m · h) <sup>-1</sup> )	行人 PED/ (人 · (200m · h) <sup>-1</sup> )	非机动车 SMV/ (veh · (200m · h) <sup>-1</sup> )	街道化程度 LU/%
1	≤2	≤1	≤2	≤6	≤50	≤20
2	≤4	1 < EEV ≤ 2	2 < PSV ≤ 4	6 < PED ≤ 12	≤100	20 < LU ≤ 40
3	≤6	2 < EEV ≤ 3	4 < PSV ≤ 6	12 < PED ≤ 18	≤150	40 < LU ≤ 60
4	≤8	3 < EEV ≤ 4	6 < PSV ≤ 8	18 < PED ≤ 24	≤200	60 < LU ≤ 80
5	≤10	>4	>8	>24	≤200	80 < LU ≤ 100

为了量化横向干扰对主线车辆驾驶员期望车速选择的影响,选择平原区观测路段作为研究对象。横向干扰强度涵盖所有等级,此时线形对驾驶员期望车速选择的影响较小,驾驶员期望车速选择主要受横断面尺寸、车型以及横向干扰影响。图 2 为小客车初始期望车速与实测速度的差值( $T_3$ )分布散点图,大货车初始期望车速与实测速度的差值  $T_4$  与  $T_3$  基本相同。从图 2 中可以看出随横向干扰等级的增加而增大,两者之间有很强的线形相关性,当干扰等级为 1 时,期望车速基本不受横向干扰的影响;当横向干扰每增加一个等级,期望车速就会下降大约 5 km/h。根据这一结论,同时借鉴现有的研究成果<sup>[7]</sup>,可以大致得到横向干扰等级与驾驶员期望车速调整量之间的关系,如表 4。

表 4 期望车速调整量

Tab.4 The adjusted number of expectation speed

横向干扰等级	1	2	3	4	5
期望车速调整量/(km · h <sup>-1</sup> )	0	5	10	15	20

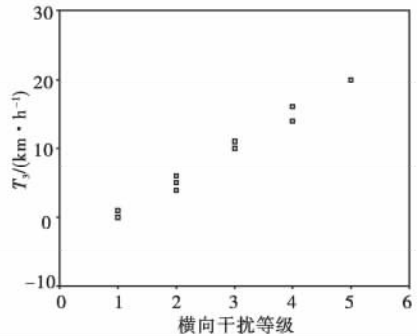


图 2  $T_3$  分布散点图

Fig.2 The scatterplot of  $T_3$  distribution

4 期望车速确定方法及试验验证

综合上述分析,最终可以得到双车道公路期望车速预测模型如下,

小客车线形修正模型:

$$V_{m修} = (S - S_o - 2\delta - \theta L_o) / \theta\tau - T_1 - T_3$$

小客车线形修正模型:

$$V_{m修} = (S - S_o - 2\delta - \theta L_o) / \theta\tau - T_2 - T_4$$

在使用期望车速预测模型预测双车道公路期望车速时,主要有以下几个步骤:

- 1) 根据设计速度、横断面尺寸以及横向干扰等级的不同将公路划分为多个分析路段并确定路面宽度等计算参数;
- 2) 分析各路段内线形指标,计算线形质量参数 A 以及线形修正量;
- 3) 根据横向干扰等级确定期望车速折减量;
- 4) 根据预测模型预测各路段期望车速。

为了验证本文期望车速测算方法的合理性和可靠性,将未参与建模的某公路实测车速作为验证数据,该公路全长 75 km,路基宽度 12 m,平原微丘区路段设计速度 80 km/h,山岭重丘区路段设计速度 40 km/h,全线为沥青混凝土路面,且养护良好。公路分段及计算参数如表 5。模型验证结果如图 3、图 4。

表 5 公路分段及计算参数

Tab.5 Road section and calculation parameters

路段编号	设计速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	s/m	A/%	FRIC	路测状况说明
A	40	12	27	1	山区路段,少干扰
B	80	12	0	1	平原区,少干扰
C	80	12	0	2	平原区,少量行人出行
D	80	12	4	3	平原区,公路穿过城镇
E	40	12	32	1	山区路段,少干扰

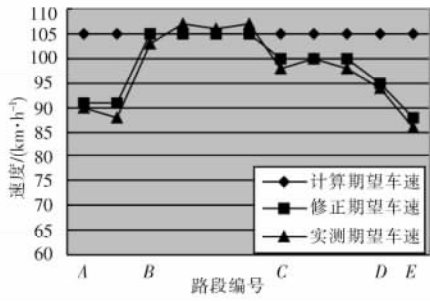


图3 小客车期望车速验证

Fig.3 Validation of mini-buses' expectation speed

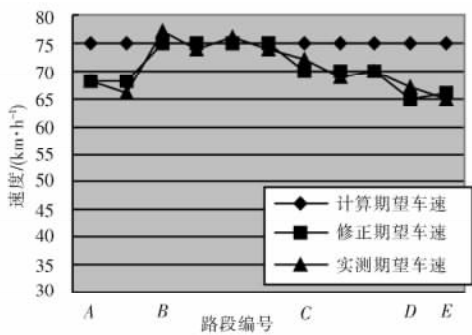


图4 大货车期望车速验证

Fig.4 Validation of trucks' expectation speed

由图3、图4可知,本文预测方法得到的期望车速与实测期望车速较为吻合,最大相对误差仅6%,最大相对误差平均值为2.9%,其中路段B为横向干扰小的平原区路段,实测期望车速与式(1)计算的初始期望车速较为吻合,说明平原区横向干扰小的双车道公路横断面尺寸以及车型是影响驾驶员期望车速选择的主要因素,驾驶员初步确定的期望车速可以作为路段最终的期望车速;其它路段由于存在横向干扰以及线形质量的差异(山区段),经过驾驶员对初始期望车速的调整,最终确定的期望车

速相对于B段有所降低;A段、B段、C段均布置了2个以上的测点,各测点实测期望车速基本保持一致,说明驾驶员对最终确定的期望车速实施记忆保持。通过以上分析充分说明了本文中期望车速预测方法的合理性与可靠性。

## 5 结 语

双车道公路占我国干线公路总里程的95%以上,由于相对不够完善的道路行驶条件,干线公路上发生交通事故的概率和伤亡率都很高,基于运行速度的线形安全性检验,是提高双车道公路线形设计质量的有效办法;期望车速作为运行速度预测中的关键参数,对运行速度预测以及线形安全性检验产生重要影响。通过期望车速形成过程的分析,找出了影响驾驶员期望车速选择的道路因素,通过大量的实测数据分析,对现有的速度预测模型进行了改进,为利用运行速度检验双车道公路的线形安全性提供了良好的支持。

### 参考文献:

- [1] 郑安文. 期望车速的意义及其影响因素分析[J]. 武汉科技大学学报, 2005, 28(1): 38-41.
- [2] JTG/TB 05—2004 公路项目安全性评价指南[S].
- [3] Rashevsky N. Mathematical biophysics of automobile driving[J]. Bulletin of Mathematical Biophysics, 1959, 21: 375-385.
- [4] 林雨, 方守恩. 灾害性天气环境下高等级公路车速管理[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 96-99.
- [5] 王书灵. 基于驾驶员心生理反应的山区双车道公路极限坡度坡长研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2005.
- [6] 乔建刚. 基于驾驶员因素的山区双车道公路关键参数研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2006.
- [7] 王丽, 罗满良, 赵永国. 公路环境对双车道公路运行速度的影响研究[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2008(7): 38-41.

(上接第193页)

- [10] Altenbach H, Zolochovsky A. A generalized fatigue limit criterion and a unified theory of low-cycle fatigue damage[J]. Blackwell Science, 1996, 19(10): 1207-1219.
- [11] Suaris W, Ouyang C, Fernando V. Damage model for cyclic loading of concrete[J]. Journal of Engineering Mechanics, 1990, 116(5): 1020-1035.

(上接第206页)

### 参考文献:

- [1] 曹东伟, 胡长顺. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层力学分析[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(1): 1-5.
- [2] 杨斌. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构研究[D]. 西安: 长安大学公路学院, 2006: 12-15.
- [3] 沈成康. 断裂力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996: 72-98.
- [4] 龙丽琴. 沥青加铺层荷载应力和温度应力的三维有限元分析[D]. 武汉: 华中科技大学土木工程与力学学院, 2005: 21-53.
- [5] 吴国雄, 曹阳, 付修竹. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层设计影响

- [12] 过镇海. 混凝土的强度和本构关系: 原理与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [13] Washa G W, Saemann J C, Cramer S M. Fifty-year properties of concrete made in 1937[J]. ACI Materials Journal, 1989, 86(4): 367-371.

因素研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(5): 717-721.

- [6] 杨德灿, 赵文婷, 李黎杰, 等. 旧水泥路面沥青加铺层反射裂缝有限元分析[J]. 华中科技大学: 自然科学版, 2009, 37(1): 61-64.
- [7] 张起森. 道路工程有限元分析法[M]. 北京: 人民交通出版社, 1983: 115-128.
- [8] JTG D 40—2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [9] JTG D 50—2006 公路沥青路面设计规范[S].