

公路长大下坡路段小客车运行速度预测模型

邓云潮

(长安大学 工程设计研究院,陕西 西安 710064)

摘要:为了提高高等级公路长大下坡路段交通安全设施设置的合理性,给出了长大下坡路段小客车运行速度数据采集方案;利用数理统计原理,分析了高等级公路长大下坡路段小客车运行速度与坡长、坡度的关系,建立了高等级公路长大下坡路段小客车运行速度的一般预测模型,利用长大下坡路段实测数据对该模型进行了验证。预测车速与观测车速对比结果表明:各观测断面的预测车速与实地观测车速数值基本相符,高等级公路长大下坡路段车辆的运行速度主要受平均纵坡和坡长的影响;根据实测数据建立的车速预测模型能够反映高等级公路长大下坡路段小客车运行速度的分布规律。

关键词:道路工程;长大下坡路段;运行速度;预测模型

中图分类号:U412.3; U491.14

文献标志码:A

Speed prediction model of free-flowing passenger car on long and steep downgrades

DENG Yun-chao

(Institute of Engineering Design, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to improve the rationality of the safety facilities set on long and steep downgrades section of high-grade highways, this paper put forward the project to collect the operating speed data of free-flowing passenger car on the long and steep downgrades, analyzed the relationship among operating speed, length and slope of the highway according to statistics principle, built common speed prediction model of free-flowing passenger car on long and steep downgrades of high-grade highways, established multiple regression equation for operating speed prediction model of free-flowing passenger car on a certain long and steep downgrades section of a first-class highway in Qinghai Province by regression analysis of practical test data. The comparison between the observation speed and prediction speed show that the predictive values and observed values of the car speed on the survey sections are basically same, the operating speed of car on the long and steep downgrades is mainly affected by length and slope, and the operating speed prediction model of free-flowing passenger car on a certain long and steep downgrades can reflect the change law of the speed of the car running on the long and steep downgrades section. 7 tabs, 8 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; long and steep downgrade; operating speed; prediction model

0 引言

在山区高等级公路连续长大下坡路段,由小客车超速行驶引起的交通安全问题越来越突出,运行速度和设计速度的不一致是引发事故的重要原因^[1]。路段车辆运行速度预测对于道路线形的评价和事故高发路段安全设施的合理设置具有重要指导意义。国外的相关研究机构和学者从 20 世纪 70 年代就开始进行运行车速的研究工作,通过大量野外实测和分析,建立了运行车速与曲率或曲率变化率等道路平面指标之间的关系模型^[2-7]。2004 年中国交通部颁布的《公路项目安全性评价指南》,提供了用于高速公路、一级公路安全性评价的运行车速模型,该模型通过观测已建高速公路的车速情况,采用回归分析得到平曲线路段的运行车速预测模型。国内外运行车速预测模型主要是描述运行车速与道路平面线形的关系,纵断面线形对车速的影响通常采用修正系数进行修正,而高等级公路长大下坡路段运行车速主要受纵断面线形的影响,前述的运行车速预测模型对此并不适用。为此,本文根据高等级公路长大下坡路段的线形指标特点,对小客车在长大下坡路段运行速度的变化规律进行分析,建立运行车速与公路几何线形的关系模型,为拟建或已建高等级公路的交通安全标志和交通安全设施的合理设置提供科学依据。

1 研究对象的确定

汽车的运行速度是驾驶人在对道路状况和周围环境(包括交通环境)综合判断后采取的实际行驶速度。因此,影响运行速度的因素包括路面状况、弯道和纵坡大小、道路上交通量情况及周围的自然条件等^[8-9]。正确预测道路上车辆的运行速度,需要综合考虑上述因素,但这样会大大增加模型的复杂性^[10]。对于特定路段,对运行车速影响最大的只有个别因素。为此,本文主要研究长大下坡对运行车速的影响,纵坡坡度和坡长如何影响运行车速是研究的重点。为了排除其他因素的干扰,选择青海省湟源—倒淌河一级公路中平面线形指标较好的 7 km 路段作为研究对象,以小客车为标准,建立了高速公路长大下坡路段运行车速的预测模型。

2 数据采集

2.1 速度数据采集方案

对高速公路长大下坡路段运行车速的测定,主要采用断面观测法。根据纵断面的主要设计参数,

将观测路段分成多个单独的纵坡,为了预测整个长大下坡路段的连续运行车速,一般在每个单独的纵坡上设置 3 个断面,即坡顶、坡中和坡底断面;对坡长较长的坡段,为确保对连续运行车速预测的准确性,可再在坡顶与坡中、坡中与坡底之间增加 2 个观测点。坡长小于 800 m 时,可以跟踪车辆记录,测速人员站在坡顶与坡中之间的某个合适地方,用雷达测速仪,分别记录 2 个不同地点的车速;坡长大于 800 m 时,由于雷达测速仪的测速范围限制,可配备较多的测速人员,确保对每个断面的测速和记录。测速试验完成后,将所在点的相关线形、路面参数和路侧情况进行记录,同时附拍照记录。为保证驾驶人不受测速的影响,试验人员应站在相对较远或较隐蔽的地点。标准的试验仪器布置如图 1 所示。

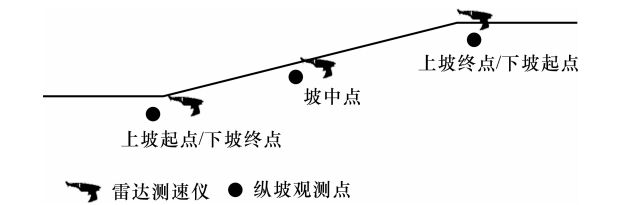


图 1 纵坡试验仪器的布置

2.2 样本量的确定

控制样本量是为了保证完成数据采集的同时控制观测速度值的精度。样本量过小,则不能客观反映路段的实际情况;样本量过大,不仅影响研究工作的效率,而且对观测精度提高的作用也不大。根据统计学原理,每个断面车速调查所需观测的最小车辆数可由式(1)确定,即

n = (σK/E)² (1)

式中:n 为最小样本量;σ 为标准差;E 为车速观测值允许误差(km/h),其值取决于平均车速要求的精度,一般取 E = 2.5 km/h,本文根据测速仪的性能以及试验要求,取 E = 2.5 km/h;K 为置信度水平系数,K 值如表 1 所示。

表 1 K 的取值

置信度水平 / %	68.30	86.60	90.00	95.00	95.50	98.80	99.70
K	1.00	1.50	1.64	1.96	2.00	2.50	3.00

取 95% 的置信度水平,即 K = 1.96,计算出的样本量约为 70 veh。考虑到野外调查工作量以及费用因素等实际情况,在保证车速观测值误差限内,样本量可调整,但任何情况下 n 不能小于 30。

3 建立运行车速预测模型

3.1 变量关系

3.1.1 运行车速与平均纵坡的关系

绘制运行车速与平均纵坡的观测数据散点图,

如图 2 所示。从图 2 中可以看出,运行车速随平均纵坡的提高而不断降低,并且斜率逐渐放缓,趋于 0。这与倒数方程、三次方程和 S 曲线方程在第一象限的线型基本一致。

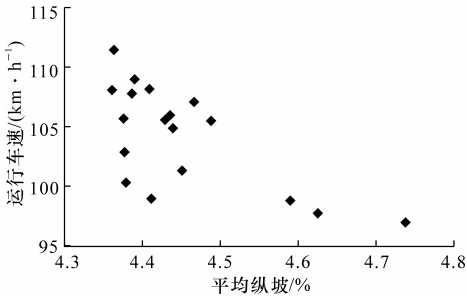


图 2 运行车速与平均纵坡的关系

分别利用倒数方程、三次方程和 S 曲线方程对观测数据进行曲线回归,拟合的 3 个回归模型的描述指标、模型参数和显著性水平如表 2、表 3 所示。

表 2 曲线回归模型的比较

回归方程	模型描述指标		参数估计			
	相关系数	显著性参数 P	常量 C	变量系数 f_1	变量系数 f_2	变量系数 f_3
倒数方程	0.606	0	-7.377	497.213		
三次方程	0.617	0	594.860	-149.187	0	1.964
S 曲线方程	0.617	0	3.540	4.925		

注:3 种曲线方程的因变量为运行车速。

表 3 S 曲线方程参数的检验结果

参 数	变量系数 f	T 统计量	显著性参数 P
平均纵坡倒数 X_3	4.925	5.383	0
常量 C	3.540	17.362	0

注:S 曲线方程的因变量为运行车速。

由表 2 可知,3 个回归模型均具有统计学意义,三次方程与 S 曲线方程的相关系数大于倒数方程的相关系数,说明运行车速与平均纵坡的关系可用三次方程或 S 曲线方程来描述。由表 3 可知,S 曲线方程的 3 个参数均具有统计学意义。在实际应用中,运行车速预测模型的简洁和拟合优度同等重要。为得到简洁、实用的运行车速预测模型,可以初步认定运行车速与平均纵坡符合 S 曲线方程。不同模型的拟合曲线如图 3 所示。

3.1.2 运行车速与坡长的关系

绘制运行车速对数(Y)与坡长(X_1)的观测数据散点图,如图 4 所示。从图 4 可以看出,运行车速随坡长的增加而不断提高,在前 5 km 范围内基本成直线分布,然后斜率逐渐放缓,趋于定值。这与对数方程、二次方程和指数方程在第一象限的曲线基本相同。

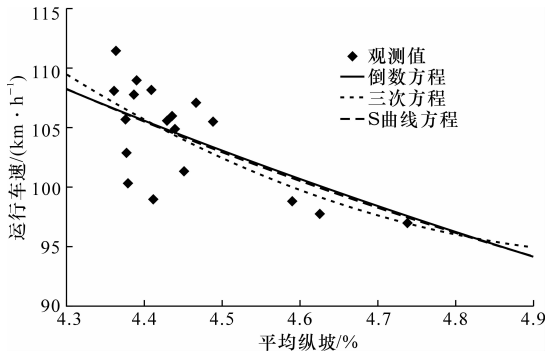


图 3 模型拟合曲线

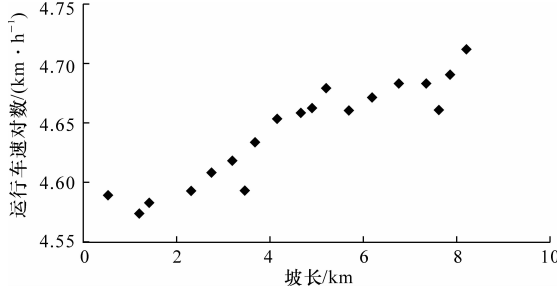


图 4 运行车速对数与坡长的关系

分别利用对数方程、二次方程和指数方程对观测数据进行曲线回归,拟合的 3 个回归模型的检验结果如表 4、表 5 所示。

表 4 回归模型的检验结果

回归方程	模型描述指标		参数估计		
	相关系数	显著性参数 P	常量 C	变量系数 f_1	变量系数 f_2
对数方程	0.625	0	4.619	0.020	
二次方程	0.895	0	4.541	0.030	-0.001
指数方程	0.866	0	4.558	0.004	

注:3 种曲线方程的因变量为运行车速对数。

表 5 二次方程参数的检验结果

参 数	变量系数 f	T 统计量	显著性参数 P
坡长 X_1	0.030	5.183	0
坡长二次方 X_2	-0.001	-2.096	0.011
常量 C	4.541	412.538	0

由表 4 可见,3 个回归模型均具有统计学意义,但二次方程的相关系数大于对数方程和指数方程的相关系数,说明运行车速与坡长的关系更接近二次方程。由表 5 可知,二次方程的 3 个参数均具有统计学意义,因此可以初步判定运行车速与坡长服从二次分布。不同模型的拟合曲线见下页图 5。

3.2 长大下坡路段运行车速模型的一般方程

通过分析各变量之间的关系,得到如下结果:运行车速与平均纵坡呈 S 曲线分布;运行车速对数与坡长呈二次分布。

多重线性回归是简单线性回归的推广,研究一

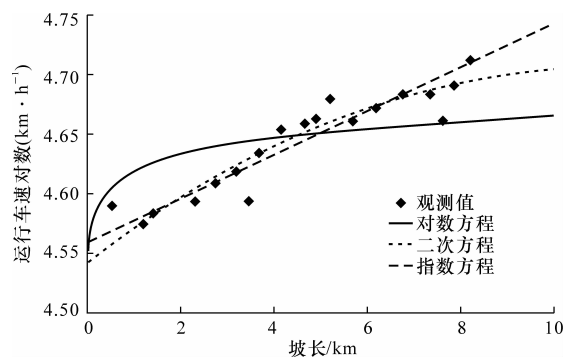


图5 模型拟合曲线

个应变量与多个自变量之间的数量依存关系。在此研究的是长大下坡路段运行车速与坡长、坡度及两者交叉作用项的多重线性关系。因此,应将坡长、坡长二次方、平均纵坡倒数和坡长与平均纵坡倒数的乘积项作为自变量,同时纳入长大下坡路段运行车速预测模型,构建长大下坡路段运行车速预测模型方程的一般形式,即

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (2)$$

式中: Y 为运行车速对数; X_1 为坡长; X_2 为坡长二次方; X_3 为平均纵坡倒数; X_4 为坡长与平均纵坡倒数的乘积($X_1 X_3$); β_0 为方程常数项; β_i 为方程变量系数($i = 1, 2, 3, 4$)。

3.3 模型自变量的筛选

长大下坡路段运行车速预测模型方程的一般形式包含坡长、坡长二次方、平均纵坡倒数和坡长与平均纵坡倒数的乘积项 4 个自变量。在建立不同的长大下坡路段的运行车速预测模型时,虽然都是基于长大下坡路段的运行车速预测模型的一般形式,但由于采集的样本数据存在不同程度的差异,只有满足显著性要求的变量才能进入最终预测模型。也就是说,从一般形式到最终的预测模型还要经历一个变量筛选的过程,即模型的回归过程。

长大下坡路段的运行车速预测模型的回归过程采用后退法,将反映测定系数假设检验显著性参数 P 值作为检验标准,选入标准为 $P < 0.05$,剔除标准为 $P > 0.1$ 。该方程中包含全部变量,按自变量对 Y 的贡献大小由小到大依次剔除。每剔除一个变量,则重新计算未被剔除的各自变量对 Y 的贡献大小,直到方程中没有变量可以被剔除为止。

3.4 长大下坡路段小客车运行速度模型

根据上述分析,对长大下坡路段运行车速观测数据进行适当转换,首先将运行车速 V 转换为运行车速对数形式 Y ,将平均纵坡转换为平均纵坡倒数形式,并求得坡长平方项和坡长与平均纵坡倒数乘

积项,根据长大下坡路段小客车运行速度回归模型方程的一般形式,可得到青海省湟源—倒淌河一级公路长大下坡路段小客车运行速度模型,即

$$V = \exp(4.542 + 0.01X_1^2 - 0.133X_4) \quad (3)$$

式中: V 为运行车速(km/h)。

4 模型的假设检验与评价

进行回归方程的假设检验与评价的目的是检验建立的回归方程能否恰当地反映因变量与各自变量的数量依存关系。由表 6、表 7 可知,式(3)从总体上看具有统计学意义,该方程的各个偏回归系数的显著性参数 P 均满足要求。

表 6 模型方程方差分析结果

类 别		离差和	均方差	F 统计量	显著性参数 P
运行车速 预测模型	回归离差	0.042	0.021	70.326	0
	剩余离差	0.005	0		
	总离差	0.047			

注:模型方程的因变量为运行车速对数。

表 7 模型参数的检验结果

模型参数	方程系数			T 统计量	显著性参数 P	相关系数
	β_0	β_2	β_4			
β_0	4.542			412.997	0	0.892
X_2		0.001		-2.100	0.031	
X_4			-0.133	5.065	0	

由图 6、图 7(见下页)可看出,式(3)的因变量残差绝对值都在 2 以内,并沿因变量方向分布均匀。图 7 显示数据与理论线(对角线)基本重合,表明回归残差服从正态分布,并且是方差齐性。

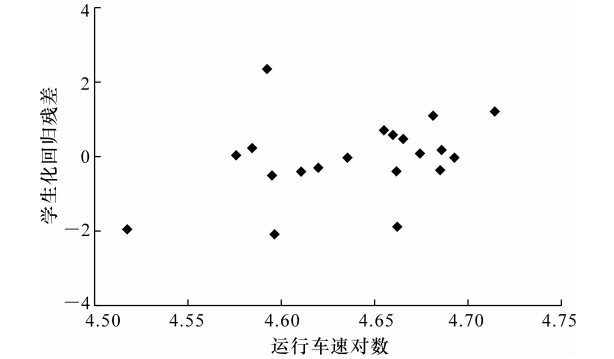


图 6 因变量残差分布散点

通过上述分析可知,根据湟源—倒淌河一级公路长大下坡路段的观测数据回归得到的多元回归方程,满足一般多元回归方程的各项假设条件,因此可以判定建立的回归方程能够反映运行车速与各自变量(平均纵坡、坡长)的数量依存关系。

由图 8 可知,由于车速模型是用规则曲线对实测数据的拟合,所以更能反映车速的增长趋势。因

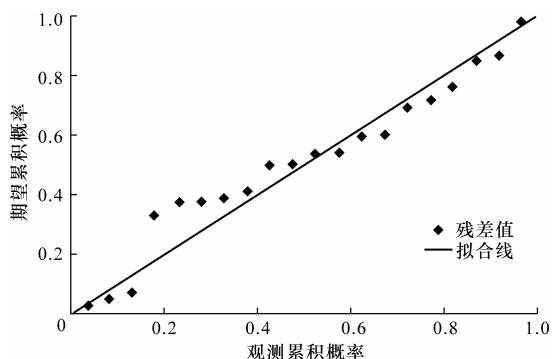


图7 观测累积概率与期望累积概率的关系

此,从2条车速数据曲线的局部来看,其增长趋势仍存在差别,如坡顶车速较实测数据增长较缓,而坡底车速较实测数据增长较快,反映了重力势能的累积效应。但从总体来看,长大下坡路段各观测断面的模型预测车速与实测车速的数值基本相符,均呈现车速随坡长的增加而逐渐增大的趋势。

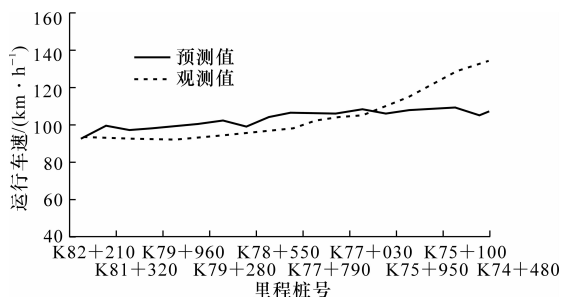


图8 运行车速预测值与观测值的对比结果

5 结 语

(1)在高等级公路长大下坡路段,车辆的运行速度主要受平均纵坡和坡长的影响,并且运行车速与平均纵坡的关系成S曲线分布;运行车速对数与坡长成二次分布。

(2)给出了高等级公路长大下坡路段小客车运行速度预测模型的建立方法,建立了适用于高等级公路长大下坡路段的小客车运行速度预测模型。

(3)预测结果检验表明,高等级公路长大下坡路段小客车运行速度预测模型能够描述小客车在路段沿线的运行车速分布规律,可为已运营公路的长大下坡路段安全设施的合理设置及未运营公路线形评价提供可靠依据。

参考文献:

References:

[1] Castro M, Sanchez J A, Vaquero C M. Automated

GIS-based system for speed estimation and highway safety evaluation[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2008, 22(5): 325-331.

[2] Memon R A, Khaskheli G B, Qureshi A S. Operating speed models for two-lane rural roads in Pakistan[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008, 35(5): 443-453.

[3] Roads and Traffic Authority. Speed problem definition and countermeasure summary [R]. New South Wales: Roads and Traffic Authority, 2000.

[4] Park Y J, Saccomanno F F. Evaluating speed consistency between successive elements of a two-lane rural highway[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2006, 40(5): 375-385.

[5] Kim E, Jha M K, Schonfeld P, et al. Highway alignment optimization incorporating bridges and tunnels[J]. Journal of Transportation Engineering, 2007, 133(2): 71-81.

[6] Easa S M. Establishing highway horizontal alignment to maximize design consistency[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2007, 34(9): 1159-1168.

[7] Easa S M, Mehmood A. Optimizing design of highway horizontal alignments: new substantive safety approach[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2008, 23(7): 560-573.

[8] 陈涛,魏朗,袁望方.运行车速认知因子虚拟仿真试验[J].交通运输工程学报, 2008, 8(2): 122-126.

CHEN Tao, WEI Lang, YUAN Wang-fang. Virtual simulation test of perception factors for operating speed[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 122-126.

[9] 徐进,彭其渊,邵毅明.路线及路面条件设计阶段的安全性评价仿真系统[J].中国公路学报, 2007, 20(6): 36-42.

XU Jin, PENG Qi-yuan, SHAO Yi-ming. Simulation system for safety estimation of alignment and road surface condition in designing phase[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 36-42.

[10] 吴德华,王选仓,季求知,等.陕西公路平纵线形指标[J].长安大学学报:自然科学版, 2005, 25(2): 46-49, 81.

WU De-hua, WANG Xuan-cang, JI Qiu-zhi, et al. Plat and profile linear index of Shaanxi road[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 46-49, 81.