

文章编号:1671-8879(2013)06-0008-08

# 长大上坡路段载重汽车运行速度预测模型

雷 斌<sup>1,2</sup>, 许金良<sup>1</sup>, 刘 洁<sup>3</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西安市地下铁道有限责任公司, 陕西 西安 710068; 3. 河北交通职业技术学院 土木工程系, 河北 石家庄 050091)

**摘 要:**为确定高速公路连续上坡路段载重汽车的爬坡性能和运行速度值,以可变功率载重汽车动力学模型为基础,建立了包括质量功率比、纵坡和速度关系模型,并开发了相应的软件(P-G-V)。利用该软件计算了质量功率比分别为 100、120、140、160 kg/kW 时载重汽车在不同坡度下的运行速度,并绘制了相应的速度曲线图。通过对实地数据的采集和分析,对载重汽车爬坡性能预测模型中的道路和车辆参数进行调整、修正,得到了适合内蒙古地区连续上坡路段载重汽车预测模型中的具体参数选取值。研究表明:载重汽车传动效率为 0.8 时,实测速度与模型计算速度的每百米平均相对误差最小仅为 1.68%,模型有效;选用质量功率比大于 120 kg/kW 的载重汽车作为设计车辆时,现行规范对爬坡车道的设置要求偏低,不满足实际需要;研究成果可进一步完善爬坡车道的设置。

**关键词:**道路工程;连续上坡;载重汽车;分布检验;速度预测模型;修正检验

**中图分类号:**U461.3 **文献标志码:**A

## Heavy truck's climbing speed prediction model of long uphill section

LEI Bin<sup>1,2</sup>, XU Jin-liang<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Xi'an Subway Limited Liability Company, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 3. Department of Civil Engineering, Hebei Jiaotong Vocational & Technical College, Shijiazhuang 050091, Hebei, China)

**Abstract:** In order to predict the climbing performance and running speed of heavy trucks in continuous uphill sections of expressway, we established a model composed of weight-to-power ratio, longitudinal gradient and velocity and developed corresponding software(P-G-V) based on variable power truck's dynamical model. With this software we calculated running speeds of trucks with weight-to-power 100, 120, 140 and 160 kg/kW respectively in different slopes and drew velocity figures. By sampling and analyzing field data, we tuned and revised parameters of expressway and trucks in heavy truck climbing performance prediction model and obtained specific model parameter values suitable for Inner Mongolia area. The results demonstrates: the mean relative error between actual speed values and prediction values reaches minimum 1.68% under transmission efficiency 0.8, which shows the effectiveness of our model; present specifications' require-

收稿日期:2013-03-24

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2009 318 000 102);中央高校基本科研业务费专项资金项目

(2013G1211003, CHD2011ZD021, CHD2011JC180)

作者简介:雷 斌(1978-),男,陕西横山人,西安市地下铁道有限责任公司工程师,长安大学工学博士研究生,E-mail:371503770@qq.com。

ment is too low to meet actual needs for trucks with weight-to-power ratio great than 120 kg/kW. These results can be further used for improving climbing lane design. 8 tabs, 7 figs, 15 refs.

**Key words:** road engineering; long upslope section; heavy truck; normal distribution test; model of speed prediction; modifying test

## 0 引 言

在连续大上坡路段,大型载重车辆运行速度折减较快而且幅度较大,增大了与同路段小车之间的速差,从而对交通安全有较大的影响。国外开展重载车辆运行速度研究较早,Daniel 在对大型载重车辆运行速度大量实地调研的基础上,建立了半径-运行速度预测模型<sup>[1]</sup>。美国 AASHTO 根据双车道公路调查的断面数据,开发了大型载重汽车运行车速与曲率半径、曲线偏角、路肩宽度、车道宽度及年平均日交通量之间关系的预测模型<sup>[2-3]</sup>。Misaghi 等采集自由流状态下分布于安大略省共 20 个平曲线上大型载重车辆运行速度的数据,建立了双车道运行速度预测模型<sup>[4]</sup>。2004 年中国颁布了《公路项目安全性评价指南》,一些研究机构或学者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<sup>[5-6]</sup>。钟小明从安全设计一致性理念出发,分析了驾驶人在高速公路自由流状态下平曲线路段的信息采集处理过程,认为大型车在平曲线路段的曲中点前后两部分运行速度受不同的线形信息的影响,用大量的实测数据建立了相应的两阶段平曲线路段大型车运行速度统计模型<sup>[7]</sup>。目前,国内外对大型载重车辆运行速度预测模型形式较为单一,缺乏针对性,实际数据采集样本量较小,研究的适用性不强。针对中国目前对相关规范应用情况与实际符合度不高,实际道路、车辆参数选取适用性和针对性不强,质量功率比各地区差异突出,本文以“内蒙古 G6 高速公路呼集段”为研究对象,建立了长大上坡路段载重车辆爬坡性能预测模型,在实地调查运行速度数据的基础上,进一步构建了考虑坡度和坡长的长大上坡路段载重车辆运行速度预测模型。

## 1 上坡路段载重车辆运行速度分析

### 1.1 调查方案

#### 1.1.1 观测条件

观测时间选在天气状况良好且风力不大的白

天,路面干燥、平整无病害。车辆运行只受道路本身条件(几何要素、附属设施等)的影响,即车辆处于自由流状态。具体时间为:上午:8:00~11:30;下午:14:00~17:30。

#### 1.1.2 调查路段选择

本研究主要依托项目为 G6 北京—西藏(京—藏)高速公路的呼和浩特至集宁段(呼集高速公路),起点位于内蒙古乌兰察布市集宁区南出口 3 号地,终点位于呼和浩特市新城区罗家营镇,与呼包(呼和浩特—包头)高速公路衔接,全长 121.858 km,是双向 4 车道全封闭、全立交、一次性修建的全幅高速公路。

结合路段选取标准(表 1)以及 G6 京藏高速公路呼集段设计指标,考虑路段实际观测条件,运行速度采集的具体地点选定见表 2。

表 1 连续上坡试验路段选择标准

Tab.1 Selection criteria of continuous upgrade experimental sections

控制条件	有利的观测地点
公路类型	高速公路
功能分类	运煤专线
设计速度 $V/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$80 \leq V \leq 100$
地形	无限制
平曲线半径/m	$\geq 800$
坡度/%	+1~+4,且坡度单一
路面宽度/m	7.5~10.5
平曲线长度	无限制
竖曲线长度/m	$\geq 35$
直线长度/m	$>3\ 000$

表 2 运行速度采集的具体地点

Tab.2 Sampling locations of running speed

起始桩号	终点桩号	坡长/m	坡度/%
K360+448	K359+340	1 108	1.03
K357+148	K356+348	800	2.50
K355+548	K355+100	448	2.60
K356+348	K355+548	800	4.00
K361+328	K360+448	880	4.00

#### 1.1.3 测速方法

在长大上坡路段采集车速时,设 3~4 个断

面,如图 1 所示,对同一车辆行驶速度进行跟踪测量。用手持式雷达测速枪瞄准前方目标车辆,即可测得该车辆的瞬时速度。每个断面安排 2 人进行观测,分别负责雷达测速、记录车牌号以及记录车型。坡底第 1 组观测人员还需将车牌号告知后面坡段上的观测人员,各组人员对同一车辆在不同坡度、坡长行驶时的速度进行测量记录。测速人员在测量时应尽量注意隐蔽,减少对行车造成的影响,同一坡段试验尽量做到同时开始作业,同时结束,以保证样本的完整性。(注意:只记录不受前面汽车影响运行的载重车辆速度,以及只记录行驶在行车道上的载重车辆速度,行驶在路肩上的排除)。

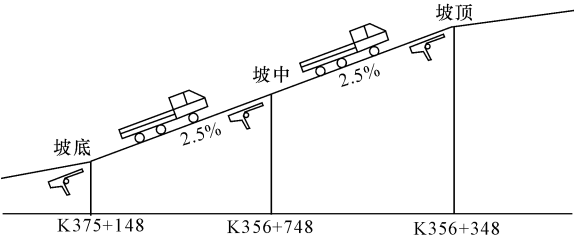


图 1 长大上坡路段载重车辆运行速度观测试验  
Fig. 1 Vehicle speed observation experiment in big upgrade section

1.2 上坡路段载重车辆运行速度统计学分析

根据试验结果及调研资料,结合未来一段时间载重车辆的发展趋势,拟定 250 kW 的福田欧曼 340 车为本次研究的主导车型。

分布假设检验的方法有几种,下面仅介绍其汇总的一种—— $\chi^2$  检验法<sup>[8]</sup>。

Step1:假定母体分布是只有有限多项的离散分布,假设它的分布是已知的。用公式表示,设  $A_1, A_2, \dots, A_l$  是两部相容事件完备组,即  $\bigcup_{i=1}^l A_i = U, A_i A_j = V (i \neq j)$ 。

Step2:作假设  $H_0: P(A_i) = p_i, i = 1, 2, \dots, l$ , 其中  $p_1, p_2, \dots, p_l$  是已知数。

现在做  $n$  次独立重复试验(即抽一子样)。各事件  $A_i$  出现的实际频数分布见表 3。

表 3 实际频数分布  
Tab. 3 Distribution of pratical frequency

事件	$A_1$	$A_2$	$\dots$	$A_l$
实际频数	$M_1$	$M_2$	$\dots$	$M_l$

而  $\sum_{i=1}^l m_i = n$ 。用这个子样检验上面的假设。

Step 3:理论频数分布见表 4。

表 4 理论频数分布

Tab. 4 Distribution of theoretical frequency				
事件	$A_1$	$A_2$	$\dots$	$A_l$
理论频数	$np_1$	$np_2$	$\dots$	$np_l$

Step 4:考察子样的实际频数  $m_i$  对理论频数  $np_i$  偏差的加权平方和

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$$

这里  $\chi^2$  的值大小刻画子样实际频数分布对理论频数分布的拟合程度。

Step 5:给定显著水平  $\alpha$ ,查表可得  $\chi^2_{\alpha}(l-1)$  的数值,使  $p\{\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}(l-1)\} \approx \alpha$ 。

若  $\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}(l-1)$ ,则拒绝  $H_0$ ,即认为母体的分布于假设  $H_0$  中分布有显著差异;

若  $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}(l-1)$ ,则接受  $H_0$ ,即认为母体的分布与假设  $H_0$  中分布无显著差异<sup>[9]</sup>。

下面以 K357+148~K356+348 坡底处为例,说明调查速度分布检验的基本过程<sup>[10]</sup>。

Step 1:找出坡底的运行速度样本  $Y: n=84$ ,速度最小 53.1 km/h,最大 83.7 km/h。然后把它们分成 11 组  $(b_{i-1}, b_i)$ ,每组的区间长度为 2.5,找出 84 个样本落在各区间的频数  $m_i$ ,具体分布情况见下页表 5。

Step 2:假设样本  $Y$  服从正态分布  $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ ,其中  $\mu = \bar{y}, \sigma^2 = s_y^2$  都为无偏估计。计算估计值样本  $Y$  的平均值  $\bar{y} = 71.54$ ,方差  $s_y^2 = \sigma^2 = \frac{1}{84-1} \cdot$

$(\sum_{i=1}^{84} y_i - 71.54)^2 = 49.06 \text{ km/h}$ ,则样本  $Y$  服从正态分布  $N(71.54, 49.06)$ 。接着分别计算各个分组分布概率  $\phi_1 = \phi(\frac{b_1 - \bar{y}}{s_y}), \phi_2 = \phi(\frac{b_{l-1} - \bar{y}}{s_y})$  以及理论概率  $p_i = \phi_1 - \phi_2$ ,理论频数  $np_i$ ,分别填入下页表 5。

Step 3:构造  $\chi^2$  统计量,取  $\alpha = 0.05$  分位数,计算  $\chi^2 = \sum_{i=1}^9 \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} = 7.6109$  又因  $\chi^2_{0.05}(11-2-1) = 16.919$ ,易见  $\chi^2 < \chi^2_{0.05}(11-2-1) = 16.919$ ,则假设成立,故可认为该组数据是服从正态分布。

对其余 4 处速度采集点的数据进行的上述一系列检验,汇总  $\chi^2$  检验结果见下页表 6。

表 5 K357+148~K356+348 处坡底调查速度检验<sup>[11]</sup>

Tab. 5 Speed test survey of slope of K357+148~K356+348

Y 的分组( $b_{i-1}, b_i$ )	频数 $m_i$	$\phi_1 = \phi(\frac{b_i - \bar{y}}{s_y})$	$\phi_2 = \phi(\frac{b_{i-1} - \bar{y}}{s_y})$	$p_i = \phi_1 - \phi_2$	$np_i$	$\chi^2 = \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$
[53.1, 57.4]	3	0.004 3	0.0222	0.017 9	1.503 6	1.489 2
[57.5, 59.9]	4	0.023 3	0.049 5	0.026 2	2.200 8	1.470 9
[60.0, 62.4]	3	0.051 6	0.100 3	0.048 7	4.090 8	0.290 9
[62.5, 64.9]	4	0.102 0	0.178 8	0.076 8	6.451 2	0.931 3
[65.0, 67.4]	7	0.181 4	0.287 7	0.106 3	8.929 2	0.416 8
[67.5, 69.9]	11	0.291 2	0.420 7	0.129 5	10.878 0	0.001 4
[70.0, 72.4]	14	0.424 7	0.563 6	0.138 9	11.667 6	0.466 3
[72.5, 74.9]	12	0.567 5	0.698 5	0.131 0	11.004 0	0.090 2
[75.0, 77.4]	11	0.701 9	0.810 6	0.108 7	9.130 8	0.382 7
[77.5, 79.9]	6	0.813 3	0.892 5	0.079 2	6.652 8	0.064 1
[80.0, 83.7]	9	0.896 2	0.963 3	0.067 1	5.636 4	2.007 3
合计	84					7.610 9

由表 6 可得,在所有采集点坡底、坡中、坡顶处收集的运行速度数据均服从正态分布,说明采集数据具有真实可靠性,可以反映特定地区、特定路段中车辆运行真实状况。

表 6  $\chi^2$  检验结果汇总

Tab. 6 Results of  $\chi^2$  test

起点桩号		$\chi^2$ 检验结果
K360+448	坡底	$\chi^2=11.0644<\chi^2_{0.05}(8-2-1)=11.071$
	坡中	$\chi^2=5.798<\chi^2_{0.05}(5-2-1)=5.991$
	坡顶	$\chi^2=4.6134<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
K355+548	坡底	$\chi^2=3.1948<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
	坡中	$\chi^2=7.4004<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
	坡顶	$\chi^2=4.6027<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
K356+348	坡底	$\chi^2=6.1253<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
	坡中	$\chi^2=7.0115<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
	坡顶	$\chi^2=6.1552<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
K361+328	坡底	$\chi^2=6.5657<\chi^2_{0.05}(7-2-1)=9.488\ 8$
	坡中	$\chi^2=1.4296<\chi^2_{0.05}(5-2-1)=5.991$
	坡顶	$\chi^2=7.6489<\chi^2_{0.05}(6-2-1)=7.815$

2 载重车辆爬坡性能预测模型的建立

建立综合反映各线性要素、路面情况以及海拔、风速影响下内蒙古地区重载高速公路的运行速度预测模型,均为载重车辆爬坡性能的影响因素,其中连续纵坡的坡度、坡长对载重车辆运行影响较大,故研究主要侧重此方面。

2.1 模型基本原理

虽然美国《通行能力手册》和美国公路和运输官员协会 AASHTO,提出了各纵坡度下的卡车行驶

曲线图,但是该曲线图有一系列的不足。第一,该卡车行驶曲线图中卡车速度均不超过 90 km/h,故其反映出的情况不全面;第二,《通行能力手册》中研究的只是 120 kg/kW 这一特定质量功率比的卡车性能;第三,该曲线图没有考虑不同路面种类、路面环境以及卡车自身性能的区别等因素,这些因素都会对车辆行驶特性产生较大影响<sup>[12]</sup>。针对以上问题,为便于预测实际道路上车辆运行速度,本文运用 VB 软件编写基于大型车性能的运行速度预测软件,其运用的基本原理为

车辆驱动力:
$$F_t=3\ 600\beta\eta\frac{P}{V}\tag{1}$$

$$F_{\max}=9.806\ 6M_{\text{ta}}\mu\tag{2}$$

$$F=\min(F_t,F_{\max})\tag{3}$$

车辆总阻力:
$$R=R_a+R_r+R_g\tag{4}$$

空气阻力: 
$$R_a=C_1C_dC_hAV^2\tag{5}$$

滚动阻力: 
$$R_r=9.806\ 6C_r(C_2V+C_3)\frac{M}{1\ 000}\tag{6}$$

坡度阻力: 
$$R_g=9.806\ 6M\tag{7}$$

车辆加速度:
$$a=\frac{F-R}{M}\tag{8}$$

汽车运动方程:
$$a(t_j)=\frac{F(t_j)-R(t_j)}{M}$$

$$\left[\begin{array}{c} \frac{\text{d}(V(t_j))}{\text{d}t} \\ \frac{\text{d}(x(t_j))}{\text{d}t} \end{array}\right]=\left[\begin{array}{c} a(t_j) \\ V(t_j) \end{array}\right]$$

$$V(t_j)=V(t_{j-1})+a(t_{j-1})\Delta t$$

$$x(t_j)=x(t_{j-1})+V(t_{j-1})\Delta t\tag{9}$$

式中:  $A$  为迎风面积( $\text{m}^2$ );  $C_d$  为空气阻力系数;  $C_h$  为坡度阻力系数;  $C_r$  为滚动阻力系数;  $F$  为实际驱动力( $\text{N}$ );  $F_{\max}$  为最大驱动力( $\text{N}$ );  $F_t$  为驱动力( $\text{N}$ );  $M$  为车辆总质量( $\text{kg}$ );  $M_{\text{ta}}$  为作用于驱动轴的总质量( $\text{kg}$ );  $P$  为发动机功率;  $R$  为总阻力( $\text{N}$ );  $R_a$  为空气阻力( $\text{N}$ );  $R_g$  为坡度阻力( $\text{N}$ );  $R_r$  为滚动阻力( $\text{N}$ );  $V$  为运行速度( $\text{km/h}$ );  $a$  为运行加速度( $\text{m/s}^2$ );  $C_1$  为系数(0.047 285);  $C_2$ 、 $C_3$  分别为滚动阻力系数 1、2;  $i$  为坡度;  $\eta$  为发动机传动效率;  $\mu$  为路面摩擦因数;  $t_i$  为时刻。

利用上述预测模型的基本原理,可得软件程序计算的流程图<sup>[13]</sup>,其中  $S$  为距离,如图 2 所示。

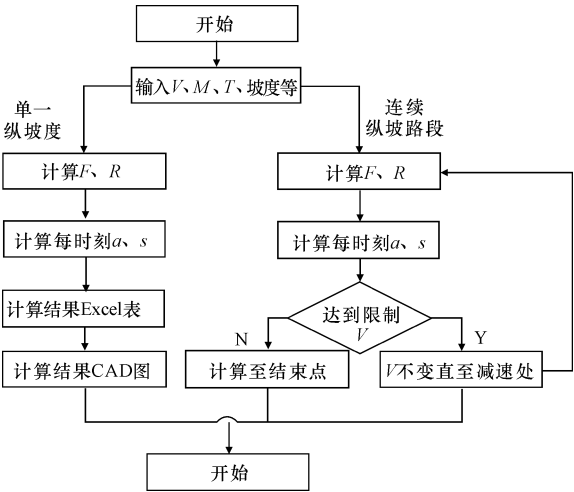


图 2 软件程序计算流程

Fig. 2 flow chart of software computing

2.2 载重车辆爬坡速度预测

大型车的运行速度特征在上坡路段会发生变化,且会对道路交通造成较大的影响。通过调查统计,本文采用载重 50 t 的欧曼六轴载重货车作为典型车辆研究大型车上坡运行速度。结合车辆运动方程和车辆行驶条件,分别计算大型车在质量功率比为 100、120、140 和 160 kg/kW 时的车辆爬坡性能曲线,见图 3~图 6。

2.3 载重车辆爬坡特征分析

车辆爬坡性能曲线反映的是所选取典型车辆在爬坡过程中不同情况下的速度变化情况,爬坡性能曲线的横坐标为距离,纵坐标为速度,运用该曲线可以查找某初始速度情况下,车辆的速度随距离的变化值。本文车辆爬坡曲线图绘制所选取的参数有质量功率比、纵坡的坡度和坡长、爬坡车辆的初始速度,通过分析计算得到曲线图,展现车辆爬坡特性与

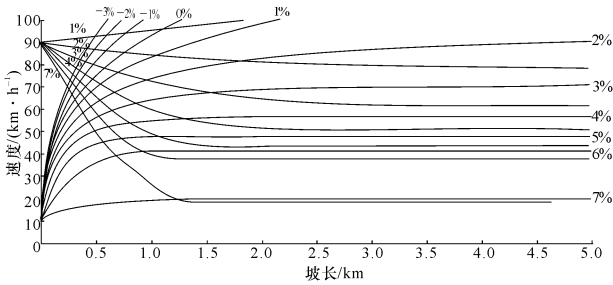


图 3 车辆爬坡性能曲线(100 kg/kW)

Fig. 3 Performance curve of truck climbing(100 kg/kW)

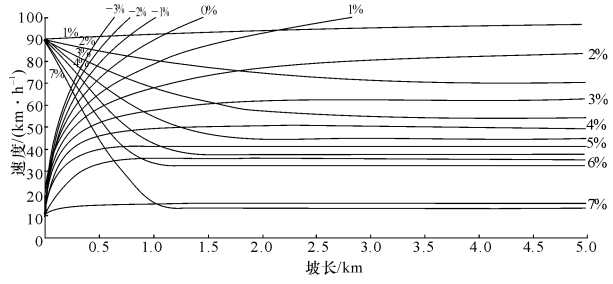


图 4 车辆爬坡性能曲线(120 kg/kW)

Fig. 4 Performance curve of truck climbing(120 kg/kW)

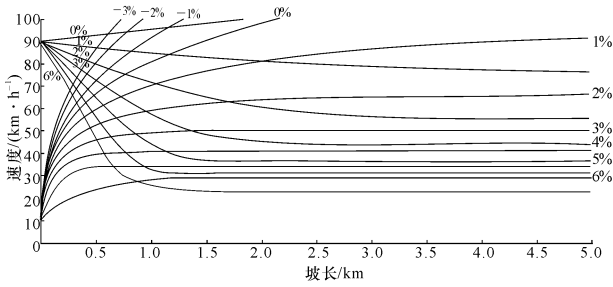


图 5 车辆爬坡性能曲线(140 kg/kW)

Fig. 5 Performance curve of truck climbing(140 kg/kW)

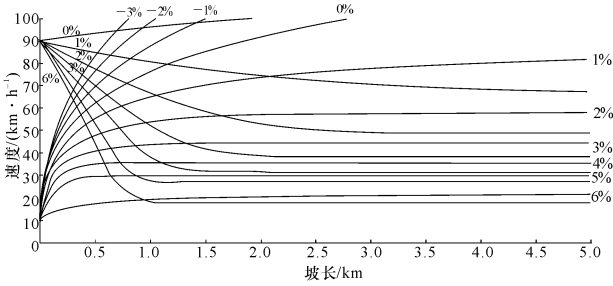


图 6 车辆爬坡性能曲线(160 kg/kW)

Fig. 6 Performance curve of truck climbing(160 kg/kW)

所选参数之间的关系。

2.3.1 质量功率比和车辆爬坡特征

质量功率比的值越大,说明车辆单位功率所负担的质量越大,受力分析中重力相对变大,坡度阻力和滚动阻力越大,驱动力相对变小,加速度变小,相应的爬坡过程就会变的越困难。比较不同质量功率

比条件下车辆在不同坡度下的爬坡速度发现,相同坡度条件下,车辆的爬坡速度会随着质量功率比的降低而变大,见表 7。

表 7 速度与质量功率比关系(坡度 3%)

Tab. 7 Relation between velocity and weight-to-power ratio(slope 3%)				
质量功率比/(kg·(kW) <sup>-1</sup> )	100	120	140	160
车辆爬坡平衡速度/(km·h <sup>-1</sup> )	70	63	50	44

2.3.2 坡度和车辆爬坡特征

坡度是道路高差和坡长的比值,它反映的是道路的纵向变化趋势,坡度越大,表示高程变化越快。车辆在纵坡上行驶实际上就是车辆克服高差行驶的过程,是车辆的机械动力动能转化为重力势能的过程。因此,在车辆爬坡过程中,随着坡度的增大,车辆的爬坡性能越来越差,相应的速度也会变的越来越低。相同质量功率比条件下,车辆爬坡速度会随着坡度的增大而降低。

2.3.3 坡长与车辆爬坡特征

坡长也是影响车辆爬坡特征的重要因素之一,坡长越长,意味着车辆在纵坡上行驶的时间越长,而通常情况下,车辆爬坡过程要保持较大的输出功率,特别是大型车,这种情况下车辆发动机负荷比较大,长时间处在这种情况下,发动机会产生严重的磨损而影响发动机的性能和寿命,是驾驶人所不愿见到的情况。

2.3.4 初始速度与车辆爬坡特征

本文对初始速度判定为车辆在坡底的行驶速度。分析车辆的爬坡特征曲线可以发现,不同的车辆初始速度对应的爬坡特征曲线也是不同的。当初始速度小于车辆平衡速度时,车辆上坡依然会保持一个加速的过程,车辆速度不断增加直至达到平衡速度;当初始速度大于平衡速度时,速度会随坡长降低到平衡速度。此外,分析还发现,速度的降低速率也会随着初始速度的不同而不同,初始速度与平衡速度的差值越大,速度降低越快,速率会随着差值的降低而变小<sup>[14]</sup>。

3 载重车辆爬坡性能预测模型验证

在开发基于大型车性能运行速度预测软件的运行界面中,需要对相关道路参数、汽车性能参数进行设置<sup>[15]</sup>。基于大型车性能运行速度预测软件的运行界面中,需要对相关道路参数、汽车性能参数进行

设置。由于本次研究的对象是针对内蒙古地区重载高速公路,故应该在软件中输入符合该特定情况下的具体参数。

3.1 影响因素修正检验的原则

3.1.1 修正检验方法

本次研究采用除去每组数据中一个最大值和一个最小值,然后再进行统计分析的计算方法,这样能够较大程度上减小偶然因素对试验结果的影响。在上述 5 个速度采集点,使用该软件,分别进行一定道路、车辆条件下的运行速度预测,整理之后与相同条件速度实测值进行比较,以此验证该预测软件适用性以及速度影响因素选取合理性。

3.1.2 选取预测模型变量

选取预测模型变量时,首先分析变量与速度之间的关系。通过检验和评价确定变量能否反映运行速度的准确变化,与速度的相关性等。如果相关性强,则说明改变量应为主要研究变量,如果相关性不强,则应放弃对该变量的研究。

3.1.3 预测模型结果的分析

将预测结果与相同状况下的实际车速数据分析比较,从而检查判断预测结果的合理性和真实性,并对模型中相关参数的选取进行修正。

3.2 道路指标参数的选定

海拔高度这一参数,可以通过查阅当地地形、地貌等资料获得,该地区海拔高度为 1 400 m。

空气阻力系数,按照牵引车-半挂车类型取值为 1.0。

滚动阻力系数  $C_r$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ :查阅调查路段设计资料,可得该路段为沥青混凝土路面。研究路段实地观察,路面情况良好,且主导车型的轮胎类型为斜交型得  $C_r$  为 1.75、 $C_2$  为 0.043 8、 $C_3$  为 4.575。

若需要较详细的位移-速度值,选择步长为 1 s;若需要大致的位移-速度值,就选择步长大于等于 5 s。

3.3 重载车指标参数的选定

汽车总重、汽车发动功率以及质量功率比这 3 项指标,视所研究车辆的具体情况而定。在上述试验中已经统计出,所研究主要车辆的这 3 项指标只需分别输入软件即可。

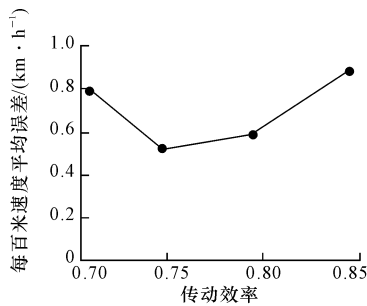
主导车型的迎风面积为 9.4 m<sup>2</sup>。

主导车型的驱动轴质量比,按照其所属车辆类

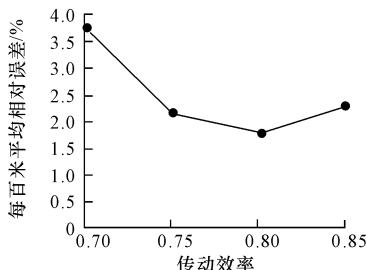
型,取值 0.375。

初始速度即为进入研究坡段时的速度,限制速度应低于研究路段的设计速度。此模型加入驾驶员期望速度这一指标,应选取大致的驾驶人期望速度。

载重汽车的实际传动效率,一般在 0.7~0.9 之间,故设定其他道路、车辆参数不变。使用该软件,分别计算传动效率为 0.70、0.75、0.80、0.85 时车辆运行速度,并与内蒙地区相同条件下运行速度实测值进行比较,得出结果。进一步计算各状态下的每百米速度平均误差以及每百米平均相对误差,见表



(a) 各传动效率每百米速度平均误差



(b) 各传动效率每百米平均相对误差

图 7 各传动效率下的误差分析

Fig. 7 Error analysis at different driving efficiency

从图 7 中可以看出,传动效率为 0.8 时,相同条件下,实测速度与模型计算速度的每百米平均相对误差最小,仅为 1.68%。同时其每百米速度平均误差为 0.58 km/h,基本为最小值。故综合两者之间平衡关系,初步选定传动效率取值为 0.8。

进一步分析传动效率为 0.8 预测情况,载重车辆平均每百米速度误差为 0.59 km/h,最小每百米速度误差为 0.13 km/h,最大每百米速度误差为 1.8 km/h,且 70% 每百米速度误差均小于每百米速度平均误差,只有 10% 每百米速度误差大于 1 km/h。载重车辆的平均相对误差为 8.9%,最小相对误差为 3%,最大相对误差为 11%,且 90% 多模型相对误差小于 10%,即模型满足精度要求,且与实际情况拟合良好。可以认为该模型适用数据采集的路段,故最终选定传动效率为 0.8。

4 结 语

(1)通过在 G6 京藏高速一呼和浩特—集宁段的调查分析,确定了额定功率为 250 kW 的福田欧曼 340 车为主导车型。建立载重车辆爬坡性能预测

8 和图 7。

表 8 速度误差分析  
Tab. 8 Error analysis

传动效率	每百米速度 平均误差/(km·h <sup>-1</sup> )	每百米 平均相对误差/%
0.70	0.77	3.76
0.75	0.52	2.04
0.80	0.58	1.68
0.85	0.86	2.18

的计算模型,并使用该模型开发了一套基于大型车性能速度预测软件。

(2)适合内蒙地区连续上坡路段载重车辆预测的具体参数选取如下:该地区海拔高度为 1 400 m,空气阻力系数取值为 1.0;滚动阻力系数  $C_r$  为 1.75、 $C_2$  为 0.043 8、 $C_3$  为 4.575;主导车型的迎风面积为 9.4 m<sup>2</sup>;主导车型的驱动轴质量比为 0.375;传动效率为 0.8;实测速度与模型计算速度的每百米平均相对误差最小,仅为 1.68%,同时其每百米速度平均误差为 0.58 km/h,模型有效。

(3)由于试验数据是由人工在断面上采集的,不可避免地会对实际运行车辆或多或少产生影响,从而造成系统误差,因而模型还需要进一步完善。同时连续上坡路段载重车辆运行速度仿真预测模型中主要考虑速度与纵坡度、坡长的关系,需要进一步研究运行速度与平曲线半径、平曲线长度、视距等其他几何指标的关系。

参考文献:

References:

[1] Daniel R J. Operating speed prediction on crest verti-

- cal curve of rural two-lane highways in Nebraska [J]. Transportation Research Board of the National Academies, 2001(6): 67-75.
- [2] Daniel R J. Speed prediction for two-lane rural highways [M]. Publication NO. 99-171 Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, 2000.
- [3] American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO). A Policy on geometric design of highways and streets (green book) [M]. Washington DC: AASHTO, 2001.
- [4] Misaghi P, Hassan Y. Modeling operating speed and speed differential on two-lane rural roads [J]. Transportation Research News, 2005, 131(6): 408-418.
- [5] 交通部公路科学研究所. 高速公路运行速度设计与标准[R]. 北京: 交通部公路科学研究所, 2003. Research Institute of Highway Ministry of Transport. Design method and criteria of operating speed of expressways[S]. Beijing: Research Institute of Highway Ministry of Transport, 2003. (in Chinese).
- [6] 交通部公路科学研究所. 公路纵坡坡度和坡长的限制标准研究报告[R]. 北京: 交通部公路科学研究所, 2002. Research Institute of Highway Ministry of Transport. Study report on highway longitudinal gradient and grade length limit[R]. Beijing: Research Institute of Highway Ministry of Transport, 2002. (in Chinese).
- [7] 钟小明. 基于高速公路路线设计一致性的中型卡车运行速度模型研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(3): 92-96. ZHONG Xiao-ming. Research on operating speed models of free-flowing truck for alignment design consistency of expressway[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 92-96. (in Chinese).
- [8] 董德元, 杨 节. 试验研究德数理统计方法[M]. 北京: 中国计量出版社, 1987. DONG De-yuan, YANG Jie. Statistical experiment method[M]. Beijing: China Jiliang Publishing House, 1987. (in Chinese).
- [9] 旺荣鑫. 数理统计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003. WANG Rong-xin. Mathematical statistics[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2003. (in Chinese).
- [10] 周纪芄. 回归分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1991. ZHOU Ji-xiang. Regression analysis[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1991. (in Chinese).
- [11] 邓 勃. 分析测试数据的统计处理办法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. DENG Bo. Statistical methods for analyzing test data [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. (in Chinese).
- [12] 美国各州公路与运输工作者协会. 公路与城市高速公路几何设计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1988. AASHTO. Highway and urban expressway geometric design[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 1988. (in Chinese).
- [13] 杨少伟, 许金良, 李 伟, 等. 路线设计中车辆行驶速度预测模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2003, 23(3): 51-55. YANG Shao-wei, XU Jin-liang, LI Wei, et al. Vehicle speed prediction model in highway line design [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 51-55. (in Chinese).
- [14] 徐 进, 罗 庆, 毛嘉川, 等. 考虑弯道几何要素和交通量影响的汽车行驶速度预测模型[J]. 中国公路学报, 2012, 25(5): 47-57. XU Jin, LUO Qing, MAO Jia-chuan, et al. Speed prediction model of car/truck considering the effect of curve geometric features and traffic volume[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(5): 47-57. (in Chinese).
- [15] 美国交通研究委员会. 道路通行能力手册[M]. 任福田, 刘小明, 译. 北京: 建筑工业出版社, 2000. American Transportation Research Board. Highway capacity manual [M]. Translated by REN Fu-tian, LIU Xiao-ming. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000. (in Chinese).