

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.007

引用格式:贺九平,王世法,张驰,等.高速公路长大下坡路段货车运行速度模型适用性分析[J].公路与汽运,2025,41(1):30-34.

Citation: HE Jiuping, WANG Shifa, ZHANG Chi, et al. Applicability analysis of truck running speed model in long and large downhill section of expressway[J]. Highways & Automotive Applications, 2025, 41(1): 30-34.

## 高速公路长大下坡路段货车运行速度模型适用性分析\*

贺九平<sup>1</sup>, 王世法<sup>2</sup>, 张驰<sup>3</sup>, 吕博<sup>4</sup>

(1.西安长安大学工程设计研究院有限公司, 陕西 西安 710064; 2.四川成绵苍巴高速公路有限责任公司成都分公司, 四川 成都 618206; 3.长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 4.四川久马高速公路有限责任公司, 四川 阿坝藏族羌族自治州 624600)

**摘要:**为探究高速公路长大下坡路段货车运行速度的变化规律,以四川西部某山区高速公路30 km长大下坡路段为研究对象,利用高清卡口系统采集该路段2020年某月连续30 d的货车行车数据,分析货车在长大下坡路段的运行特性,并对目前常用运行速度预测模型的预测速度与实测速度进行对比分析。结果表明,实测货车速度随下坡距离的增加而降低,与运行速度预测模型预测速度的变化趋势偏差较大;下坡时外地牌照车辆速度降低较快,本地车辆总体趋于平稳。速度衰减率指标的变化情况也表明现有长大下坡路段运行速度预测模型没有考虑货车的频繁制动行为,驾驶人对环境的熟悉程度对长大下坡路段运行速度有显著影响。据此提出长大下坡路段货车运行速度预测模型修正思路。

**关键词:**交通安全;高速公路;货车运行速度;速度衰减率;速度预测模型;长大下坡

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0030-05

近年来,长大下坡路段交通事故率居高不下,由货车速度过高导致的制动失效是事故频发的主要原因之一<sup>[1-3]</sup>。2016年公安部对全年不同地形条件的高速公路事故情况进行统计,山区高速公路事故绝对数较少,仅占16.29%,但造成的死亡人数、受伤人数和直接财产损失所占比例分别高达19.91%、18.47%、21.34%。2018年底,全国累计排查出不符合相关规定、平均纵坡较大且连续坡长超过极限值的长大下坡危险路段达1 026处,这些路段自开通以来已累计发生交通事故2.4万余起,导致6 400人死亡,造成极其严重的社会经济、生命和财产损失。为减少长大下坡路段交通事故,保障人民生命、财产安全,须准确预测长大下坡路段大货车运行速度变化趋势。

目前研究运行速度的常用方法是从实测项目中获取行车数据,经筛分处理、回归分析得到运行速度 $v_{85}$ 预测模型。20世纪70年代,美国联邦公路

局(FHWA)提出在平曲线车速预测模型的基础上乘以纵坡修正系数得到纵坡路段运行速度预测模型,JTG B05—2015《公路项目安全性评价规范》沿用该模型<sup>[4]</sup>,但该模型对长大下坡路段运行速度的预测精度较低。廖军洪等利用断面法采集10个长大下坡路段95个断面的运行速度数据,建立了货车速度与坡长、平均纵坡2个参数的关系模型,但未考虑交通组成、时段及线形等因素的影响<sup>[5]</sup>。余明星等利用断面观测法采集汕湛(汕头—湛江)高速公路长大下坡路段的行车数据,基于多元回归分析建立了货车运行速度与平均坡度的关系模型,但该模型的显著性检验结果显示车速与坡长无关,模型预测的准确性有待观察<sup>[6]</sup>。陈立辉等利用车载GPS设备采集京昆(北京—昆明)高速公路山西省境内一段长大下坡路段14个坡度的50组货车速度数据,引入坡比参数,建立了基于坡度、坡长和坡比的货车运行速度预测模型,但该模型仅考虑一种车型,对于交

\* 基金项目:四川省交通运输科技项目(2022-ZL-04);四川藏区高速公路联合技术攻关专题(藏高科技2021-11)

通组成复杂的货运体系的适用性有待验证<sup>[7]</sup>。目前大部分研究仅考虑道路纵坡参数对长大下坡路段货车速度变化的影响,缺乏对驾驶人行为、道路环境、车辆性能等因素的研究。本文通过对比下坡路段实际货车行驶速度与现有运行速度预测模型的预测速度,探究运行速度预测模型对下坡路段货车速度预测的适用性,并通过对实测货车速度的分析,研究货车在长大下坡路段行驶时的速度特性及变化趋势,为运行速度预测模型的改进提供参考。

## 1 数据采集与处理

### 1.1 观测路段

选择四川西部某山区高速公路 30 km 长大下坡路段作为试验对象,该路段具有海拔高、临崖临壁、急转弯多的特点。据不完全统计,2012 年 4 月—2017 年 8 月,该路段共发生道路交通事故 845 起,其中货车交通事故 326 起,占 38.58%;货车失控造成交通事故 92 起,占货车事故总量的 28.22%。

### 1.2 测速点分布

高清卡口系统能详细记录车辆轨迹等车流运行信息,具有识别速度快、可靠性高等特点,可利用高清卡口数据研究交通状态和潜在事故的内在机制<sup>[8]</sup>。目前已利用交通监控系统的数据研究事故风险,如线圈数据<sup>[9]</sup>、自动车辆识别系统<sup>[10]</sup>等。Xu C. C. 等使用病例对照和 Logistic 回归方法评价了交通流状态对事故风险的影响<sup>[9]</sup>。Ahmed M. M. 等挖掘 AVI(自动车辆识别)数据,获得了 75.93% 的追尾碰撞事故预测率<sup>[10]</sup>。Hossain M. 等利用贝叶斯网络将预测结果的误报率控制在 20% 以内<sup>[11]</sup>。You J. M. 等使用路段检测器数据和爬虫天气数据预测实时事故,预测准确率达 76.32%<sup>[12]</sup>。本文利用高清卡口系统采集的该长大下坡路段货车行车数据进行货车运行速度预测模型适用性分析。

该长大下坡路段共布设 4 个高清卡口设备,分别位于 K2114、K2110、K2088、K2084,记录过往车辆信息及行驶状况,其中 K2114 和 K2110 测点的位置接近坡顶,K2088 和 K2084 测点的位置接近坡底。

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 数据处理流程

提取高清卡口设备输出的车辆车牌号、车辆类型、行驶车道、经过时间、行驶速度等数据,并对数据进行预处理,剔除运行速度为负值和零的异常数据;

根据车头时距与运行速度  $v_{85}$  的关系确定临界车头时距,进而筛选出自由流速度;提取有效的运行速度数据,并与几种常用运行速度预测模型的预测结果进行对比分析(见图 1)。



图 1 长大下坡路段货车运行速度数据处理流程

#### 1.3.2 自由流速度

运行速度是指在路面平整、潮湿、自由流状态下,行驶速度累计分布曲线上对应于 85% 分位值的速度<sup>[13]</sup>。确定自由流速度是研究和预测运行速度的前提<sup>[14]</sup>。相关研究<sup>[15-16]</sup>显示,车头时距可用来判别道路交通是否为自由流状态,当车头时距大于某一临界值时,车辆速度仅取决于道路线形条件及驾驶员主观意愿,将该值定义为临界车头时距。对 4 个测点货车车头时距与第 85 分位实测速度进行统计分析,结果见图 2。

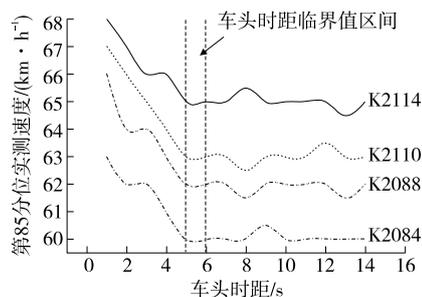


图 2 车头时距与第 85 分位实测速度的关系

由图 2 可知:第 85 分位实测速度在车头时距为 5 s 后趋于稳定(由于高清卡口速度数据均为整数,  $v_{85}$  数据曲线稍显起伏),该路段临界车头时距区间为 5~6 s,在偏保守的情况下取 6 s 作为货车处于自由流交通时的临界车头时距。车头时距大于 6 s 时,货车处于自由行驶状态,此时测点断面的实测车速可用于运行速度分析。

## 2 货车运行速度模型对比分析

### 2.1 运行速度模型选择

美国州公路与运输工作者协会(AASHTO)认为长大下坡路段货车运行速度是坡度和坡长综合作用的结果<sup>[17]</sup>,车速随下坡距离的增加而增大,到稳定车速后保持匀速运动。据此,选取 JTG B05—2015《公路项目安全性评价规范》中运行速度预测模型<sup>[4]</sup>和部分学者基于纵坡参数建立的速度预测模型<sup>[5-7]</sup>作为研究基础,通过计算预测运行速度,并与试验路段高清卡口设备采集的货车速度进行对比,研究预测模型用于长大下坡路段货车运行速度预测的适用性。

(1) JTG B05—2015 中运行速度预测模型(以下简称规范预测模型)。JTG B05—2015 根据下坡坡度及货车行驶距离对平曲线运行速度模型进行修正,预测长大下坡路段货车运行速度。本文选取该规范中高速公路大型车运行速度预测模型,输入道路基本信息、平纵线形、构造物位置等参数,得到各测点的货车运行速度。

(2) 廖军洪预测模型<sup>[5]</sup>。式(1)为该模型的计算公式。

$$v = \exp[4.149 \ln G + 0.188 \ln L + 0.036 \ln G \times (\ln G)^2 \times 0.124 \ln(L/1000) - 0.112 \ln(L/1000) \ln G] \quad (1)$$

式中: $v$ 为大货车运行速度(km/h); $G$ 为距坡顶平均纵坡(%); $L$ 为累计坡长(m)。

(3) 余明星预测模型<sup>[6]</sup>。式(2)为该模型的计算公式。

$$v = 63.501 + 4.692G^2 \quad (2)$$

(4) 陈立辉预测模型<sup>[7]</sup>。式(3)为该模型的计算公式,该模型仅适用于坡长在 12 km 以内的长大下坡。

$$v = -(\log L)^3(0.016i^2 + 0.058i^2 + 1.243ir) + 79.592 + (48.817 \log L - 111.129)ir \quad (3)$$

式中: $i$ 为坡度(%); $r$ 为坡比,即车辆经过的前后纵坡比值。

为方便对比,对不同预测模型中相同意义的参数进行统一化处理。

### 2.2 运行速度预测

分别采用上述 4 种运行速度预测模型对试验路段 4 个测点的货车运行速度进行预测,结果见表 1 和图 3。

表 1 模型预测速度与实测速度的比较

测点桩号	平均纵坡 $G/\%$	坡长 $L/\text{m}$	各模型预测速度 $v_{85}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$				实测速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$
			规范预测模型	廖军洪预测模型	余明星预测模型	陈立辉预测模型	
K2114	1.83	4 880	64.330	78.621	79.214	88.108	65
K2110	2.06	8 690	76.570	81.125	83.412	82.668	63
K2088	3.02	30 500	68.277	81.391	106.294	—	62
K2084	3.04	35 090	80.000	81.312	106.863	—	62

注:由于陈立辉预测模型仅适用于坡长在 12 km 以内的长大下坡,仅利用该模型预测 K2114、K2110 处的运行速度。

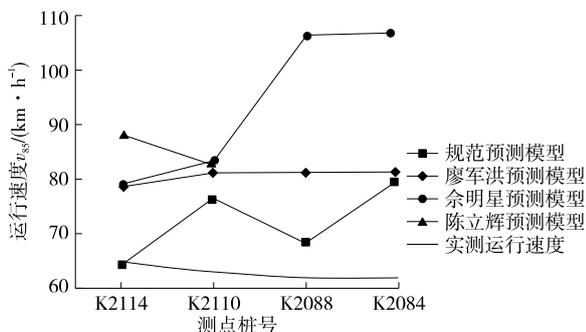


图 3 模型预测速度与实测速度对比

由表 1、图 3 可知:规范预测模型的预测速度除局部路段有所降低外,整体呈升高趋势;余明星预测模型的预测速度随下坡距离的增加而增大,达到一

定值后趋于稳定;廖军洪模型的预测速度先缓慢上升后缓慢下降,变化不大;陈立辉模型的预测速度快速下降。实测货车速度随下坡距离的增加而降低,预测模型预测速度的变化趋势与实测车速的变化趋势不符。

4 种运行速度预测模型中,廖军洪预测模型的主要影响因素为平均纵坡与累计坡长,累计坡长越大、平均纵坡越大,车辆处于加速状态的时间越长,速度增加趋势越明显;余明星预测模型的主要影响因素为平均纵坡,平均纵坡越大,车速越快;陈立辉预测模型的主要影响因素为平均纵坡、累计坡长与坡比,坡顶处车速升高,坡中达某一临界值后减小,

坡底车速稳定后略有增加,但该模型仅适用于坡长在 12 km 以内的长大下坡路段。

综上,4 种运行速度预测模型对长大下坡路段货车运行速度的预测结果与实测速度偏差较大,长大下坡路段货车运行速度预测仅考虑道路纵断面指标是不够的,应综合考虑驾驶人行为、道路环境等因素对货车速度变化的影响。

### 3 长大下坡货车速度变化趋势

#### 3.1 整体加减速特性分析

将试验路段 4 个测点一个月内的行车数据进行

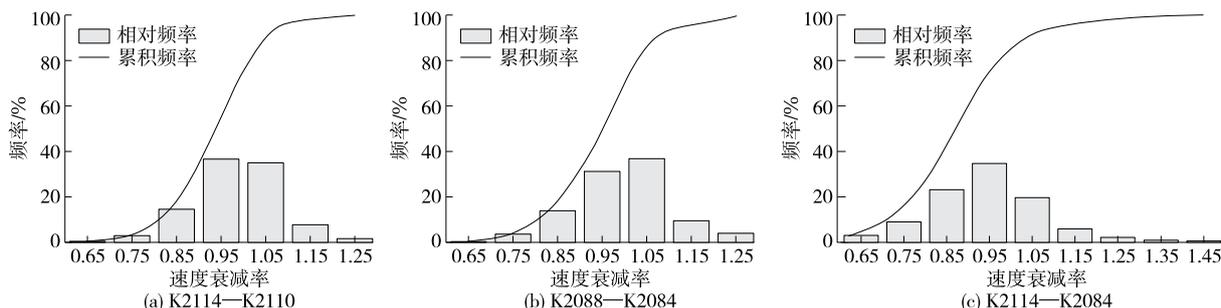


图 4 货车速度衰减率的变化

由图 4 可知:坡顶及坡底路段有超过 60% 的车辆速度衰减率小于 1,在 30 km 长的长大下坡路段有超过 80% 的货车速度衰减率小于 1,说明大部分货车在长大下坡时减速行驶。该结论不同于以 AASHTO<sup>[18]</sup> 为代表的研究结果,证明以往研究方法缺乏对驾驶人频繁制动、控制车速及制动毂温度的考虑。

#### 3.2 本地车和外地车的加减速特性对比分析

长大下坡路段货车运行速度是人-车-路耦合作

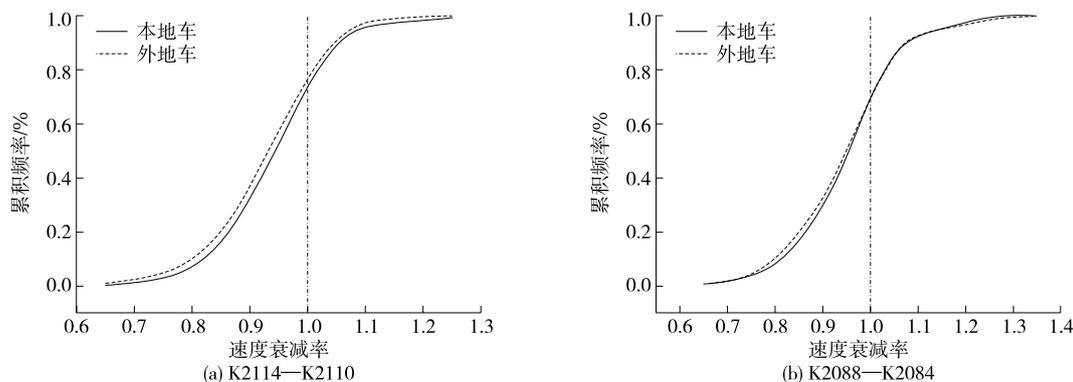


图 5 本地货车和外地货车速度衰减率对比

70% 分位值均小于 1,说明大部分货车下坡时减速行驶;坡顶数据显示外地车单车速度衰减率比本地车先达到 70% 分位值,且减速差值普遍偏大,说明

筛选,得到 1 156 辆车(共 4 624 条数据)单次行程依次经过全部 4 个测点的数据,对这些数据进行处理,得到测点间单车加速度及速度衰减率(同一辆车经过前后位置时的速度之比  $v_{后}/v_{前}$ )等指标。考虑到货车下坡这一过程并非匀变速运动,计算两点间的加速度并不符合物理学常识,采用速度衰减率代替加速度来描述货车运行速度变化趋势更合理。由于测点 K2110 和 K2088 之间桩号相差 22 km,速度差值不大的情况下速度的变化趋势不明显,故对坡顶和坡底的两段 4 km 下坡路段进行分析。图 4 为速度衰减率的变化趋势及累积频率曲线。

用的结果<sup>[18-20]</sup>,驾驶人对道路环境的熟悉程度往往会影响驾驶人的选择。对长大下坡的危险意识不够、不了解长大下坡线形指标变化时,驾驶人可能会出现紧张心理,进而影响挡位选择及加减速尺度大小<sup>[21-22]</sup>。

按照货车牌照类型将其筛分为本地车和外地车,对单车的速度衰减率指标进行分析,结果见图 5。

由图 5 可知:本地车、外地车单车速度衰减率的

在即将进入长大下坡时外地车司机会采取更大的制动力,操作更为谨慎;本地车与外地车在坡底的速度衰减率变化趋于一致,说明驶出长大下坡路段后,道

路环境因素对货车运行速度的影响减小。

#### 4 结论

(1) 试验路段实测数据显示,超过 80% 的货车速度衰减率小于 1,大部分货车在长大下坡路段的运行速度先减小,到稳定值时保持不变。货车在长大下坡路段的运行速度变化趋势并不是单一地先增加,到稳定值时保持不变。

(2) 在长大下坡路段行驶时货车运行速度存在一定衰减,说明驾驶人在长大下坡路段行驶时会频繁刹车以控制车速。

(3) 现有长大下坡货车运行速度预测模型的适用性不强,没有考虑长大下坡时驾驶人的频繁制动。建议考虑驾驶人为控制车速及制动毂温度而采取的频繁制动,将其量化后在长大下坡路段运行速度预测模型中进行参数标定。

(4) 外地车的运行速度衰变较快,而本地车的运行速度总体平稳,说明驾驶人对道路环境的熟悉程度对下坡运行速度有显著影响。建议在外地车比例较高时考虑该因素,将其量化为长大下坡货车运行速度预测模型的修正系数,提高模型的适用性。

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴 2019[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [2] 陈斌,袁伟,付锐,等.连续长大下坡路段交通事故特征分析[J].交通运输工程学报,2009,9(4):75-78+84.
- [3] Roads and Traffic Authority of NSW.Speed problem definition and countermeasure summary[R].New South Wales,Australia;Roads and Traffic Authority,2000.
- [4] 华杰工程咨询有限公司.公路项目安全性评价规范:JTJ B05—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [5] 廖军洪,邵春福,郭洪波,等.连续长大下坡路段大货车运行速度预测模型[J].北京理工大学学报,2012,32(增刊 1):118-121.
- [6] 余明星.基于断面观测法的连续下坡路段车辆运行速度预测模型研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(7):310-315.
- [7] 陈立辉,郭忠印.高速公路连续下坡路段大货车速度特征研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(8):86-91.
- [8] 游锦明,方守恩,张兰芳,等.高速公路实时事故风险研判模型及可移植性[J].同济大学学报(自然科学版),2019,47(3):347-352.

- [9] XU C C,LIU P,WANG W,et al.Evaluation of the impacts of traffic states on crash risks on freeways[J].Accident Analysis & Prevention,2012,47:162-171.
- [10] AHMED M M,ABDEL-ATY M,YU R J.Bayesian updating approach for real-time safety evaluation with automatic vehicle identification data [J].Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board,2012,2280:60-67.
- [11] HOSSAIN M,MUROMACHI Y.A Bayesian network based framework for real-time crash prediction on the basic freeway segments of urban expressways[J].Accident Analysis & Prevention,2012,45:373-381.
- [12] YOU J M,WANG J H,GUO J Q.Real-time crash prediction on freeways using data mining and emerging techniques[J].Journal of Modern Transportation,2017,5(2):116-123.
- [13] 许金良.道路勘测设计[M].5 版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [14] 杨文臣,田毕江,胡澄宇,等.山区高速公路隧道路段运行速度分析与预测[J].中外公路,2018,38(6):308-313.
- [15] HASHIM I H. Analysis of speed characteristics for rural two-lane roads: a field study from Minoufiya Governorate, Egypt[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2011,2(1):43-52.
- [16] 孟祥海,王丹丹,张志召.高速公路平纵组合路段运行速度分析与预测[J].交通运输系统工程与信息,2014,14(2):150-157.
- [17] American Association of State Highway and Transportation Officials.A policy on geometric design of highways and streets[S].AASHTO Green Book(GDHS-6).American Association of State Highway and Transportation Officials,2011.
- [18] 郭腾峰.长大纵坡安全与车路协同矛盾探究[J].中国公路,2018(2):62-65.
- [19] 刘震.基于人-车-路综合影响的运行车速预测模型研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [20] 丁志勇,周子楚,郭忠印.运行速度预测模型在公路长大纵坡路段设计中的适用性分析及修正[J].公路工程,2016,41(5):118-122+138.
- [21] 付仲才,廖军洪,郭洪波,等.山区高速公路连续下坡路段驾驶员特性分析[J].公路交通科技(应用技术版),2011,7(8):28-30.
- [22] 宋子璇,白雷,周小焕,等.山区高速公路道路主观安全性评价指标的选取[J].交通科学与工程,2014,30(2):89-94.

收稿日期:2024-02-02