

基于运行速度的路线设计一致性分析

王耀 项晓阳

浙江数智交院科技股份有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4554

[摘要] 运行速度预测模型分静态与改进两类,互为补充。模型验证依赖可靠数据采集与规范精度评价。路线设计一致性评价有速度协调性与安全性指标,可进行连续性及多因素耦合分析。设计参数敏感性分析可识别关键参数、分析组合效应并排序。基于运行速度一致性的路线优化包括设计速度协同校准、线形设计优化及交通环境适应性设计,确保速度过渡平顺、安全。

[关键词] 运行速度; 路线设计一致性; 预测模型

中图分类号: U412 文献标识码: A

Consistency Analysis of Route Design Based on Operating Speed

Yao Wang Xiaoyang Xiang

Zhejiang Digital Intelligence Transportation Technology Co., Ltd.

[Abstract] Operating speed prediction models are divided into static and improved types, which complement each other. Model validation relies on reliable data collection and standardized accuracy evaluation. Consistency evaluation of route design includes speed coordination and safety indicators, enabling continuity analysis and multi-factor coupling analysis. Sensitivity analysis of design parameters can identify key parameters, analyze combination effects, and rank them. Route optimization based on operating speed consistency includes design speed collaborative calibration, alignment design optimization, and traffic environment adaptability design, ensuring smooth and safe speed transitions.

[Key words] operating speed; route design consistency; prediction model

引言

路线设计一致性对交通安全与运行效率意义重大,运行速度是评价其关键指标。传统设计方法多忽视运行速度动态特性,导致路线设计参数与实际运行速度匹配性欠佳,存在安全隐患。在此背景下,深入研究基于运行速度的路线设计一致性分析十分必要。本文将系统探讨运行速度理论基础、一致性量化评价、参数敏感性分析及优化设计方法,为提升路线设计质量提供科学依据。

1 运行速度理论基础与模型构建

1.1 运行速度预测模型

运行速度预测模型分为基于几何参数的静态模型与考虑动态交通流的改进模型两类。静态模型以道路几何设计参数为核心输入,通过分析平曲线半径、纵坡坡度及弯坡组合等要素对车速的影响建立映射关系,适用于初步设计阶段的运行速度估算。改进模型则在静态模型基础上引入动态交通流变量,重点刻画前后车辆之间的车速关联性以及车辆在连续路段上的加速度变化过程。这类模型能够反映车辆间相互作用导致的调速行为,尤其适用于交通流量较高或线形变化频繁的路段。两类模型互

为补充,静态模型提供基础预测能力,改进模型提升对复杂运行环境的适应性,共同构成运行速度预测的理论框架。

1.2 模型验证方法

运行速度模型的验证依赖可靠的数据采集与规范的精度评价。数据采集方式主要包括浮动车数据与车辆轨迹数据,前者通过装备测速设备的测试车辆在正常交通流中行驶获取连续速度剖面,后者利用定位设备记录车辆在不同位置的速度与时间信息。采集过程需覆盖多种线形组合与交通状态,以保证样本的代表性。模型精度评价采用若干定量指标,其中均方根误差用于衡量预测速度与实测速度之间的偏离程度,决定系数用于反映模型对实测速度变异的解释能力。验证过程中需对预测误差进行分段分析,识别模型在特定线形条件下的系统性偏差。通过多指标综合评估,可以判断模型的适用范围与预测可靠性,为模型改进提供依据。

2 路线设计一致性的量化评价方法

2.1 一致性评价指标体系

路线设计一致性评价指标体系由速度协调性指标与设计安全性指标构成。速度协调性指标重点关注相邻路段之间运行速

度的变化程度,通过计算相邻路段的运行速度差值以及运行速度在多个路段上的标准差来反映速度波动的剧烈程度。该指标能够识别线形突变导致的速度频繁变化位置,为改善线形过渡提供依据。设计安全性指标则以运行速度与设计速度的偏离度为核心,衡量实际行驶速度与设计采用速度之间的差异大小。当运行速度显著高于设计速度时,表明线形可能提供了超出预期的高速条件,反之则说明线形约束过强。两类指标从不同维度反映设计的一致性水平,共同构成多层次的评价体系,为识别潜在风险路段提供量化依据。

2.2 基于运行速度的连续性分析

基于运行速度的连续性分析首先需要完成线形单元的合理划分,将道路按照几何特征分解为直线段、曲线段及纵坡段等基本单元。每个单元内运行速度呈现相对稳定的分布特征,而单元衔接处则是速度变化的关键区域。速度过渡平滑性评价聚焦于相邻单元之间运行速度的变化方式,重点分析加速度是否超过设定的变化阈值。当加速度突变超过一定范围时,表明驾驶人在短时间内需要执行剧烈的加速或减速操作,这种速度过渡缺乏平滑性,容易导致驾驶人操控负荷增加。

2.3 多因素耦合分析方法

多因素耦合分析方法旨在揭示几何参数与交通流特性以及驾驶员行为之间的交互作用对运行速度的综合影响。几何参数包括平曲线半径、纵坡坡度及横断面宽度等要素,交通流特性涵盖流量大小、车辆构成及车头时距分布状况,二者并非独立作用于运行速度,而是存在复杂的耦合关系。例如特定几何条件下交通流的变化会改变驾驶人实际可选择的自由行驶空间。驾驶员行为对速度选择的影响机制表现为驾驶人根据前方线形变化、周围车辆运动状态及自身风险感知不断调整目标速度。这种调整过程受到驾驶人个体差异的影响,但整体上呈现出可统计的速度选择规律。

3 路线设计参数与运行速度的敏感性分析

3.1 关键设计参数识别

平曲线半径对运行速度的影响阈值是敏感性分析的首要内容。当平曲线半径较大时,车辆行驶轨迹接近于直线,运行速度基本不受曲线影响。随着半径逐渐减小,侧向力作用增强,驾驶人开始主动减速。存在一个特定的半径范围,当半径低于该范围的上限值时,运行速度出现明显的下降趋势,该范围即为影响阈值。低于阈值后半径的进一步减小会引起运行速度的持续衰减,且衰减速率随半径缩小而加快。识别这一阈值有助于在设计阶段合理选取平曲线半径,避免因半径过小造成实际行驶速度与预期速度的显著偏差。纵坡坡度与速度衰减之间存在明确的定量关系。在上坡路段,车辆需克服重力沿坡面的分量,当坡度较小时发动机富余功率足以维持速度,衰减不明显。随着坡度增大,重力分量显著增加,若发动机功率储备不足则速度开始下降。速度衰减程度与坡度大小及坡段长度密切相关,坡度越陡衰减越剧烈。下坡路段则表现为速度增加的趋势,驾驶人需通过制动来控制车速。定量把握纵坡与速度衰减的关系,可以为纵

坡设计提供速度控制的技术依据,防止过长过陡坡段引发速度失控风险。

3.2 参数组合效应分析

平纵组合对速度一致性的协同影响表现为平曲线与纵坡同时存在时,二者的相互作用会改变运行速度的变化规律。在平曲线上叠加纵坡,车辆同时承受侧向力与纵向力,驾驶人的速度调整行为比单一几何条件下更为复杂。上坡弯道中纵向阻力与侧向约束共同促使速度降低,而下坡弯道中重力加速效应与曲线限速效应相互对抗,速度变化呈现非线性特征。平纵组合不当会导致速度过渡区域的长度增加,速度一致性显著下降,因此需要将平曲线与纵坡作为整体进行评价,而非分别考虑。视距条件与速度选择的相关性体现在驾驶人根据前方可见距离来调整当前行驶速度。当视距充足时,驾驶人有足够的时间感知前方线形变化并做出平顺的速度调整,倾向于选择较高的行驶速度。当视距受到限制时,驾驶人无法准确判断前方路况,会主动降低速度以增加安全冗余。视距不足对速度选择的抑制作用在曲线内侧或凸形竖曲线顶部尤为明显。这种相关性要求设计参数的选择必须保证视距与运行速度相匹配,避免因视距限制导致速度突变或速度长期处于过低水平。

3.3 敏感性排序与优化方向

各参数对一致性影响的权重分配基于敏感性分析的结果。平曲线半径通常是影响运行速度变化最显著的设计参数,其变化会引起速度的明显波动,因此在权重分配中占据较高比重。纵坡坡度的影响程度次于平曲线半径,但在连续长坡路段其权重显著上升。视距条件的敏感性在特定线形组合下会大幅提高,尤其是当视距受到平纵组合制约时。平纵组合效应的权重反映了参数间交互作用的强度。通过计算各参数变化引起的一致性指标变动幅度,可以确定不同线形条件下各设计参数的相对重要性排序。基于敏感性分析的设计参数调整策略遵循优先调整高敏感性参数的原则。对于权重最高的平曲线半径,应在设计阶段严格控制其取值,避免采用接近影响阈值的半径值,同时在相邻路段之间保持半径的平顺过渡。对于纵坡坡度,当敏感性较高时应限制最大坡长并设置缓坡段以缓解速度衰减。视距条件敏感的路段需要通过调整平纵线形或改善横向净空来增加实际视距。对于平纵组合敏感性突出的位置,应采用综合调整策略,同时优化平曲线与纵坡的匹配关系,使二者在速度影响上相互协调而非叠加恶化。

4 基于运行速度一致性的路线优化设计方法

4.1 设计速度与运行速度的协同校准

动态设计速度的设定原则强调设计速度不应是一个固定不变的数值,而应根据路段所处的线形条件和交通环境进行分段设定。在直线段或大半径曲线段可采用较高的设计速度值,在小半径曲线段或复杂纵坡段则采用适当降低的设计速度。各相邻路段之间的设计速度差值应控制在合理范围内,避免出现速度突变。动态设计速度的设定需要以运行速度的分布特征为基础,使设计速度尽可能接近实际行驶速度的典型值,从而减少设计

速度与运行速度之间的偏离程度。运行速度反馈机制的设计流程包括预测、比较、调整三个基本环节。首先根据路线初步设计参数预测各线形单元上的运行速度分布,获得运行速度沿里程的变化曲线。然后将运行速度与所采用的设计速度进行逐段比较,计算二者之间的偏差值以及相邻路段之间的速度差。当偏差值或速度差超过可接受范围时,需要返回设计阶段调整相应的几何参数。完成调整后重新进行运行速度预测,再次比较直到所有指标均满足一致性要求。这一闭环反馈机制确保了设计速度与运行速度的协同匹配。

4.2 线形设计优化策略

平曲线半径的动态调整范围是在运行速度一致性要求下确定的合理取值区间。该范围的下限由运行速度在曲线上所产生的侧向力不超过舒适性限值来决定,确保车辆在曲线上的行驶稳定性。上限则考虑相邻路段的平曲线半径之间不宜相差过大,避免因半径突变引起速度剧烈变化。动态调整范围允许在满足一致性要求的前提下灵活选用不同的半径值,使线形能够适应地形条件同时保持速度过渡的平顺性。调整范围的宽度反映了设计参数的可变空间,范围越窄对设计精度的要求越高。纵坡坡度的合理组合与过渡设计关注相邻坡段之间的坡度差值和变坡点处的竖曲线设置。连续上坡路段中坡度应由缓逐渐变陡,避免突然出现长而陡的坡段导致速度持续衰减。连续下坡路段则需要控制坡度组合使下坡速度维持在安全范围内,防止重力加速效应导致速度过高。在坡度发生变化的变坡点处应设置足够长的竖曲线以保证车辆在纵断面上平顺过渡。竖曲线半径的选择应使运行速度的变化率不超过驾驶人可接受的程度,从而实现纵坡段内及纵坡与平曲线衔接处的速度一致性。

4.3 交通环境适应性设计

视距保障与速度控制的协同设计要求在设计阶段将视距作为控制运行速度的重要手段。视距的保障需要从平面和纵断面两个维度同时考虑,平面上的曲线内侧障碍物以及纵断面上的凸形竖曲线顶部都是视距容易受限的位置。当视距受到限制时,应通过调整平曲线半径或竖曲线半径来恢复视距,或者采用主

动的速度控制措施使运行速度降低到与受限视距相适应的水平。视距保障与速度控制的协同意味着二者不可偏废,仅靠速度控制而忽视视距改善无法从根本上解决速度选择信息不足的问题。交通标志标线对速度引导的作用机制体现在为驾驶人提供明确的速度决策信息。在运行速度发生变化的区段前方,应设置预告性质的标志使驾驶人提前获知前方线形变化,从而有充足的时间完成平顺的速度调整。在需要显著降低速度的位置,采用重复设置标志或路面标线的方式来强化速度控制信息的传递。标志标线的设置位置、间距及内容需要与运行速度的实际变化规律相匹配,信息过少会导致驾驶人反应不足,信息过多则可能引起驾驶人的注意力分散。合理设计的速度引导系统能够使驾驶人的速度选择与路线设计意图保持一致。

5 结束语

通过对基于运行速度的路线设计一致性分析研究,明确了运行速度预测模型构建与验证方法,构建了量化评价路线设计一致性的指标体系,深入剖析了路线设计参数与运行速度的敏感性关系,并提出了针对性的路线优化设计方法。这些成果有助于在设计阶段更好地协调设计速度与运行速度,提升路线设计的一致性水平,为保障道路交通安全与提高运行效率提供有力的技术支持与指导。

[参考文献]

- [1]俞谦,周鹏.基于线形设计一致性公路线形研究[J].运输经理世界,2024(15):13-15.
- [2]席国栋,陈苏然.基于运行速度的公路路线设计探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(5):484.
- [3]郭亚红.基于运行速度的山区公路升级改造方案研究[J].交通世界,2024(8):74-76.
- [4]贺九平.山区高速公路长大下坡路段交通安全管理措施评价方法研究[D].陕西:长安大学,2021.
- [5]朱雷鹏,张贵阳.基于遗传算法的公路自动选线与安全评价方法[J].科学技术与工程,2023,23(29):12672-12678.