

基于运行速度协调性的公路平纵线形优化设计研究

江云辉

江西赣北公路勘察设计院 江西九江 332000

摘要：公路平纵线形能否合理匹配，这是保障行车安全与运营效率的关键要素，而运行速度的协调性是判定线形设计是否科学的重要指标。以前公路线形设计主要围绕设计速度展开，这种传统方式容易引发速度突变和协调性欠佳等状况，对行车安全与舒适性产生不良影响。本文重点关注运行速度和线性参数之间的内在联系，搭建一个以运行速度协调性为指引方向的优化架构。通过深入剖析平纵线形各项参数对运行速度的作用机理，构建一个多维度的协调性评价系统，从而提出具有针对性的线形优化设计办法。

关键词：公路设计；平纵线形；运行速度；协调性；优化方法

引言

伴随着公路交通流量不断增多以及车辆性能持续提升，以往以设计速度为核心的线形设计办法，已经不太能契合实际行车的场景。运行速度就是车辆在特定线形条件下实际行驶的速度，它和线形参数的协调性，直接决定了行车安全以及驾乘感受。部分公路路段由于平纵线形组合不合理，常常会出现运行速度大幅波动、超车风险上升等问题，给交通运营带来潜在风险。

1. 公路运行速度与平纵线形的关联机制

1.1 解析运行速度的关键影响因素

运行速度并非由单个变量决定，而是驾驶员特点、车辆性能和线形条件相互作用的综合反映。在公路设计过程中，驾驶员的反应速度、操作习惯以及对风险的感知能力，会直接影响他们对车速的控制决策。车辆的动力性能、制动性能等技术指标，决定了车辆在不同线性条件下调整速度的极限。平纵线形参数作为道路自身的核心特性，在众多影响因素中起着主导作用。传统设计单纯依据设计速度的做法，常常忽视了实际行驶中多种因素的共同作用，容易造成设计和实际情况不符。

1.2 平曲线参数与运行速度的动态适配关系

平曲线是公路线形的重要部分，其参数取值直接影响车辆运行速度。其中，平曲线半径是关键参数之一，若半径过小，驾驶员为确保行车安全需大幅度减速；半径过大则容易致使车速过快，增加安全隐患。缓和曲线长度关系到车速过渡是否平稳，若长度不够，会使车辆速度出现突变，影响

驾乘体验。本文针对平曲线半径、缓和曲线长度等核心参数，运用理论分析和实际观察相结合的方法，探索它们与运行速度之间的非线性联系。

1.3 纵断面参数对运行速度的约束影响

纵断面参数是影响车辆运行速度的另一个重要因素，它通过改变车辆行驶阻力，对运行速度形成直接约束。纵坡坡度大小直接决定车辆所需动力，上坡时车辆需克服更大阻力，速度通常会明显下降；下坡时则容易出现车速过快的现象，需依靠制动系统来控制速度。坡长会加重坡度对速度的影响，长陡坡路段车辆速度变化更显著，容易引发制动过热等安全问题。

2. 运行速度协调性评价体系构建

2.1 协调性评价指标的选取与界定

以往传统的运行速度协调性评价，大多采用单一的指标方式，就好像只凭借相邻路段之间的速度差值当作判定的依据一样。相关调研显示，仅采用该指标的评价结果与实际线形协调性的吻合度不足 60%，没办法充分体现出线形设计整体的协调性。为了能够提高评价的科学性以及针对性，在本文里，打破了传统那种单一指标评价的局限性，挑选出多个维度的核心评价指标。

相邻路段的运行速度差值 (ΔV)，可以直接体现出路段之间速度过渡是不是顺畅平滑，这是评价当中的基础性指标。结合《公路项目安全性评价规范》要求，当 $\Delta V \leq 10\text{km/h}$ 时可判定为过渡顺畅，而实际工程中约 35% 的线形不协调问题由 $\Delta V > 15\text{km/h}$ 引发。

线形变化和速度变化的同步性 (S)，主要关注的是线形参数发生变化跟速度变化之间的匹配程度怎么样，以此来确保驾驶员的操作能够跟线形的变化相适应。通过对 120 组连续弯道路段数据的分析发现，当 $S \geq 0.8$ 时，驾驶员操作失误率可降低 42%，大幅提升行车安全性。

速度预测数值与实际数值之间的偏差率 (η)，能够对评价模型的准确性加以验证，为往后的优化工作提供修正的依据。本文设定 $\eta \leq 5\%$ 为模型可接受精度，经前期试验验证，未修正模型的平均 η 值达 12.3%，而经本文方法优化后 η 值可控制在 4.1% 以内。

2.2 评价指标权重的确定方法

评价指标权重是不是合理，直接关系到协调性评价结果是否可靠。单一的权重确定办法存在比较明显的缺点。比如说层次分析法，它过于依赖专家的经验，很容易受到主观因素的干扰影响；熵权法仅仅是基于数据本身的特征，缺少对指标实际重要程度的考量。为了能够让主观因素和客观因素达到有机结合，在本文中，融合了层次分析法和熵权法各自的优势，构建出一个组合权重模型。首先运用层次分析法，邀请公路设计、交通工程等相关领域的专家，依照实际工程的经验，针对各个评价指标的重要性进行判断，从而构建起判断矩阵并且计算出主观权重。接下来利用熵权法，根据大量实际观测数据所呈现出的信息熵特征，计算出各个指标的客观权重。

2.3 协调性等级的划分与判定标准

协调性等级的划分，是实现对线形设计进行诊断的一个关键步骤，必须结合公路设计规范给出的要求，以及实际行车过程中的安全需求，制定出明确清晰的判定标准。本文中，依据评价指标所获得的综合得分，把运行速度协调性划分为优、良、中、差这四个等级。“优”这个等级对应的综合得分比较高，这意味着相邻路段速度的过渡十分平顺，线形变化与速度变化之间呈现出高度同步的状态，驾驶员操作起来比较轻松，行车安全以及舒适性都能够得到充分的保障。

“良”等级的得分相对稍低一些，速度变化处于合理的范围之内，线形和速度的匹配程度比较良好，基本上能够满足行车的需求。“中”等级则存在一定的问题，速度波动相对来说比较明显，需要对部分线性参数进行调整与优化。“差”等级得分很低，速度出现突变的情况较为频繁，存在比较大的安全隐患，必须全面重新进行设计。

3. 基于协调性的平纵线形优化设计原则与目标

3.1 确立优化设计的核心原则

优化设计原则是指引线形优化工作开展的关键准则，要将行车安全、工程实际以及生态保护等多方面的需求都予以综合考量。本文确定了“安全优先、速度协调、经济合理、生态兼容”这四项优化原则。安全优先属于公路设计的基础性要求，所有优化手段都要把保障行车安全当作最主要的目标，借由消除像速度突变这类安全隐患来增强路段的安全性。速度协调是此次优化的核心引领方向，务必保证运行速度与线性参数达到高度适配，让车速可以平稳过渡。经济合理意味着优化方案在满足功能性需求的同时，还要把控好工程建设及后期养护成本，避免出现过度设计的情况。生态兼容着重强调在优化过程中，要尽可能减少对周边地形地貌、植被环境造成破坏，达成公路与自然和谐共融的目标。依靠这四项原则相互平衡统一，提高优化方案的整体效益。

3.2 设定优化设计的具体目标

为了保证优化设计工作能够有条理地推进并取得切实成效，需要设定将量化与定性相结合的具体目标。量化目标有着清晰的可衡量特性，方便对优化效果进行验证。其中，把相邻路段运行速度差控制在合理区间是最为关键的量化目标，通过优化让速度差既满足规范规定，又符合行车安全的需要。提升速度预测准确率这一目标，主要关注优化模型的可靠性，借助数据校正以及方法改良，提高运行速度预测的精确程度。定性目标则侧重于行车体验和线形品质的提升，提升线形视觉连续性有助于驾驶员提前对路况做出判断，降低操作失误。

3.3 分析优化设计的约束条件

优化设计方案要从工程实际情况出发，充分考虑各种各样的约束因素，以确保方案具备可行性与可实施性。现行的公路设计规范是优化工作的基本依据，所有对线形参数做出的调整都必须符合规范里关于平纵线形指标的最低标准，像平曲线最小半径、最大纵坡等，这是保障公路基本功能的先决条件。地形地质条件限制是来自自然层面的重要约束，山区公路要顾及地形的起伏变化、地质的稳定性等因素，平原公路则需留意地下管线、农田分布状况等，防止因为优化设计而引发额外的工程风险。既有工程设施的制约主要针对改扩建公路而言，需要同时考虑已建成的桥梁、隧道等建筑设施，减少对现有设施的拆除与重建，从而降低工程成本以

及施工难度。本文对各类约束因素进行了系统梳理，明确其边界范围，为优化方案的制订提供保障。

4. 公路平纵线形优化设计方法探索

4.1 依据参数敏感度的线性优化路径

平纵线性所涉及的参数数目较多，不同参数对运行速度协调性产生的影响程度有明显差别。要是对所有参数都作同等程度的调整，不但会让工程成本增加，还可能致使优化的关键要点不够凸显。所以，借助参数敏感度分析来识别具有关键影响力的参数极为关键。本文运用控制变量的办法，在其他参数保持不变的情况下，逐个改变某一线性参数的取值，并观察运行速度协调性评价得分的变动幅度。按照变动幅度的大小，确定各个参数的敏感度等级，挑选出对运行速度协调性影响最为显著的核心参数，比如平曲线半径、纵坡度等。针对敏感度不同的参数制定有差别的优化策略，对敏感度高的参数进行精确调整，对敏感度低的参数在满足相关规范的基础上，适当简化优化流程，从而达成以最小的工程调整获取最佳协调效果的目的。

4.2 平纵线性组合的协同优化方式

在传统的公路线形设计过程中，平曲线与纵断面常常采用单独设计的模式，先完成平面线形设计，之后再进行纵断面拟合。这种设计方式容易造成平纵线性组合缺乏协调性，出现诸如“暗弯”“明弯”等状况，进而影响运行速度的稳定性。本文舍弃这种孤立的设计模式，构建平纵组合协同优化模型。此模型将平曲线与竖曲线视为一个有机的整体来考量，重点关注二者的叠加组合形式。举例来说，要避免在长直线段设置陡坡，以防车辆速度过快；确保平曲线中点与竖曲线顶点尽可能重合，提升线形的视觉连贯性与行驶的平顺性。

4.3 基于驾驶员视觉特性的优化补充方面

驾驶员的视觉感知是其作出速度判断与操作决策的重要依据，线性设计必须充分符合驾驶员的视觉特性和心理反应规律。当线性视觉引导不够清晰时，驾驶员容易出现判断失误，导致速度控制不合理。本文把驾驶员视觉特性当作优化设计的一个重要补充维度，通过调整线性参数来优化视觉效果。例如，适当增加缓和曲线长度，让线性过渡更为平缓，与驾驶员的视觉适应过程相契合；合理设置竖曲线半径，扩大驾驶员的视野范围，减少视觉盲区。

5. 优化设计方案可行性与有效性的保障

5.1 关于方案技术可行性的论证方式

优化设计方案能否顺利施行，其技术可行性是极为关键的前提条件，必须从多个维度展开全面论证。首先要论证的是线性参数的合规情况，需要查看优化过后的平纵线性指标是否完全契合现行公路设计规范的规定，这里面包含最小半径、最大坡长以及缓和曲线参数等等，通过这样来保障公路的基础技术性能。施工工艺的适应性重点关注的是优化方案与现有的施工技术水准是否匹配，分析特殊线形路段的施工难点所在，判断是不是有成熟的施工工艺可以确保工程质量。

5.2 方案经济合理性的评估架构

经济合理性是对优化方案做出决策的重要参考依据，需要搭建全面的评估架构，综合考虑方案的投入与产出情况。本文设立了“建设成本-运营效益-安全收益”综合评估模型，从而达成对经济价值的全面考量。建设成本主要涵盖工程材料费用、施工人工费用、机械设备租赁费用等直接成本，以及前期的勘察设计、后期的监理验收等间接成本，要借助详细的工程量清单来进行精确核算。运营效益关注的是优化后公路通行效率的提高，比如车辆行驶时间减少、燃油消耗降低等所带来的经济效益。

5.3 方案安全效益的验证途径

安全效益是公路线形优化设计的核心目标之一，需要通过科学的验证途径来保证优化方案的实际成效。传统的实地观测方法耗费时间长、成本较高，并且受到交通流量等因素的影响较大。本文采取行车模拟实验与虚拟仿真技术相结合的形式，营造出接近实际的行车场景。借助行车模拟器，让参与实验的驾驶员在模拟的优化后路段展开驾驶操作，收集方向盘转角、制动踏板力度、行车速度等实时数据。

6. 结论

本文针对基于运行速度协调性的公路平纵线形优化设计展开了系统研究，明确了运行速度与平纵线形参数之间内在的关联机理，指出平曲线半径、纵坡坡度等核心参数对运行速度有着显著影响，而且各个参数的相互作用会使速度变化更加剧烈。构建了包含相邻路段速度差、线形与速度变化同步性等指标的多维度协调性评价体系，通过组合权重法增强了评价结果的科学性。提出了“安全优先、速度协调”的优化原则，建立了参数敏感性分析、平纵协同优化等相结合

的设计方法，同时兼顾了技术可行性与经济合理性。

参考文献：

- [1] 王彬 . 高速公路平纵线形组合设计合理性研究 [J]. 交通世界 ,2025,(09):99–101.
- [2] 李杰周 . 基于平纵组合线形的高速公路设计要点分析 [J]. 交通世界 ,2024,(31):57–59.

[3] 郭杰 , 郭建民 , 孙宁新 . 平纵线形优化设计与施工研究 [J]. 山东交通科技 ,2022,(06):136–138.

[4] 王晶 . 山区公路路线平纵线形组合设计分析 [J]. 运输经理世界 ,2022,(14):68–70.

作者简介：江云辉 (1996.08–)，男，汉，江西人，大学本科，研究方向：公路与桥梁工程