

高速公路改扩建工程中的线形优化设计研究

靳晓玲

中国公路工程咨询集团有限公司 北京 100007

【摘要】：高速公路改扩建过程中，原有线路存在弯曲半径小、坡度不合理和视距不足等问题，影响行车安全和通行效率。通过线形优化设计方法，结合地形条件、交通量预测及工程造价分析，提出改扩建线路优化方案，实现曲线半径调整、坡度优化和视距改善。实践表明，该设计方案有效提升了道路通行能力，降低了施工难度和工程成本，为高速公路改扩建提供了可行性参考。

【关键词】：高速公路；改扩建工程；线形优化；行车安全；通行效率

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.080

引言

高速公路是城市与区域交通的重要枢纽，其线路设计直接关系到行车安全和通行效率。改扩建工程中，原有道路往往存在弯道急、坡度陡和视距不足等问题，导致车辆运行受限和事故隐患增加。针对这些问题，采用科学的线形优化方法，可在充分考虑地形条件、交通需求和施工成本的基础上，优化曲线半径、坡度设计和视距控制，实现道路整体性能提升。有效的线形优化不仅改善车辆运行条件，还能降低施工风险和成本，为高速公路改扩建提供可靠技术支撑和工程实践指导。

1 现有线路问题分析

1.1 弯道半径与安全性评估

高速公路现有线路中，弯道半径不足导致车辆运行受力不均，尤其在高速行驶条件下，侧向加速度过大增加了车辆侧滑与轮胎磨损风险。弯道设计未充分考虑设计速度、超高调整及道路摩擦系数，无法满足现代高速交通流量和大型车辆通行要求。通过引入动态车速分析和车辆受力模型，可以对现有弯道进行安全性评估，确定弯道半径优化幅度及超高调整范围，实现车辆运行平顺性提升，并在有限土地资源下兼顾施工可行性和经济性，为改扩建工程提供科学决策依据。

1.2 坡度与排水问题研究

现有线路坡度设计不均衡，部分路段坡度过陡导致车辆制动距离延长和加速性能下降，同时增加了雨雪天气下的滑移风险。路面排水系统不完善，水流易在路面集聚，形成积水点，降低摩擦系数，加剧路面损坏和路基沉降风险^[1]。通过坡度优化设计结合雨水排放模拟，可以合理分布纵坡与横坡，保证雨水快速排出并降低水流冲刷，同时兼顾路基稳定性和路面耐久性，实现路段安全性和运营效率的提升，为改扩建工程提供科学的坡度改进方案。

1.3 视距不足对通行影响

高速公路中视距不足的路段限制了驾驶员对道路状况的预判能力，增加紧急制动和碰撞事故风险。弯曲路段、隧道口及桥梁附近地形起伏和遮挡物会进一步缩短可视距离，影响车辆动态反应和车间间距控制。通过视距计算方法结合交通流量

和车速分析，可以明确关键路段的视距缺口，并通过线形调整、地形改造及道路标线优化，改善驾驶员预见性，实现行车安全保障和通行效率提升，为高速公路改扩建工程的线路优化提供精确依据。

2 线形优化设计原则

2.1 交通流量与运行速度匹配

高速公路线路设计必须充分考虑不同交通流量条件下车辆运行速度的匹配关系。线路曲线半径、纵坡坡度和超高设计应依据设计速度和预计交通量进行科学计算，以保证车辆在各种交通密度下的平稳运行。曲线半径过小或超高不足会导致高速行驶车辆产生侧向力过大，增加事故风险，而纵坡设计不合理则会影响车辆加速与制动性能，引发行驶不稳定。通过结合交通流仿真模型和车辆动力学分析，可以对不同等级公路在峰值与非峰值流量下的速度分布进行评估，从而确定各路段的最优曲线半径、超高调整和纵坡布置，使车流在高速状态下保持合理加速度范围，减少车辆速度波动，优化通行效率。同时，可将动态交通管理与线形优化相结合，通过智能交通数据反馈调整局部线形参数，确保不同季节、天气及交通波动条件下的安全性和通行顺畅，实现高速公路线路设计的科学化和适应性。

2.2 地形约束与施工可行性

线路优化设计必须在复杂地形条件下平衡施工可行性与线路性能。山区、丘陵及河谷等地形限制了曲线半径和纵坡布置，地形起伏会导致路基填挖量增加，施工难度和工程成本显著上升^[2]。结合高精度地形测量与三维建模，可以精准评估地形对线路的约束，并通过调整路线走向、优化曲线半径与纵坡设计，实现对地形的合理利用。施工可行性分析不仅涉及土石方量，还需考虑施工机械布置、材料运输及施工周期，确保线路优化方案在保证道路安全性和行车舒适性的同时降低施工难度。结合现代建造技术，如模块化路基、桥梁和隧道设计优化，可以在保持线路性能指标的前提下，提高施工效率和安全性，实现地形适应性设计与施工可操作性的统一，使改扩建工程在复杂地形条件下仍能实现高质量线路优化。

2.3 经济性与环保要求结合

高速公路线路优化设计不仅需满足安全与通行性能，还必须兼顾经济性和环保要求。曲线半径和纵坡调整应在最小化土石方量和路基成本的基础上完成，同时降低长期维护成本。环保约束包括生态敏感区保护、水土保持及噪声控制，线路设计应减少对自然环境的破坏。通过多目标优化模型，可同时权衡建设成本、运行成本 and 环境影响，实现经济性与环保的协调。采用绿色建造理念，结合可再生材料应用、雨水排放系统优化及边坡绿化设计，可以降低施工对环境的扰动，保证生态环境稳定性。对经济性与环保进行定量分析，结合生命周期成本和环境影响评价，为改扩建工程提供科学决策依据，实现线路优化方案的可持续性 with 工程实践价值。

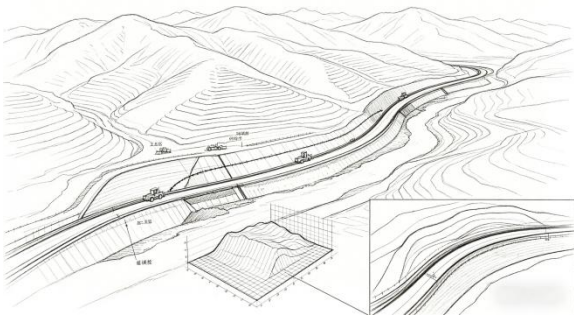


图1 山区路基填筑施工示意图

3 优化设计方法与模型

3.1 曲线半径调整方法

高速公路改扩建工程中，曲线半径直接影响车辆行驶稳定性和安全性。现有曲线半径偏小会导致车辆在高速行驶时侧向力增大，增加侧滑和轮胎磨损风险。通过对设计速度、交通流量及车种构成进行分析，可计算各路段所需最小曲线半径，并结合超高设置和超高过渡曲线方法，优化线形平顺性。现代设计中，结合计算机辅助设计（CAD）和三维建模技术，可精确模拟车辆动态运行轨迹，评估不同曲线半径对横向加速度、离心力和行车舒适度的影响，实现曲线半径优化与行车安全的平衡。同时，考虑施工可行性和地形约束，可通过微调路线走向、采用桥梁或隧道过渡段，以及设置曲线缓和段，确保线路在满足安全性和通行效率的同时降低施工难度。进一步结合智能交通系统数据分析，可动态调整曲线优化参数，使高速公路线路在不同流量和环境条件下保持最优行驶状态。

3.2 坡度优化与路基设计

纵坡设计对车辆动力性能、制动安全和排水效率具有重要影响。现有路段坡度过陡会增加重型车辆制动距离、加速耗能并产生轮胎附着力下降问题，同时导致雨水排泄困难，引发路面水膜和路基沉降。通过坡度优化算法，将纵坡布置与路基承载能力、地形起伏和排水系统设计结合，可在保证行车安全的前提下减少路基填挖量和施工风险。路基设计应充分考虑土体

稳定性、抗滑性及长期沉降特性，采用分级填筑、边坡支护和加筋土技术，确保路基与优化纵坡协调一致。结合数字化建模和三维施工模拟，可评估不同坡度调整方案对车辆运行特性及排水性能的影响，实现坡度与路基设计的同步优化^[3]。优化坡度布置可降低车辆油耗和排放，符合绿色交通理念，为高速公路改扩建工程提供安全、经济、环保的综合解决方案。

3.3 视距改善与标志设计

视距不足是高速公路事故和行车不稳定的重要因素。受地形起伏、桥梁、隧道及植被遮挡影响，驾驶员对前方路况的预判能力受到限制，增加紧急制动和碰撞风险。通过分析设计速度、交通密度及地形特征，可计算关键路段最小安全视距，并结合线路平面曲线、纵坡优化和超高调整进行调整，延长驾驶员可视范围。标志设计与视距改善同步进行，包括路线标线优化、警示标志布局及道路反光设施配置，以提升驾驶员对曲线、坡度及交叉段的预判能力。结合三维建模、交通仿真和动态驾驶模拟，可验证视距改善方案的有效性，并调整标志设置和线路调整幅度，实现安全行车条件最大化。进一步通过智慧交通数据分析，可持续优化视距设计，提升道路适应性和通行效率，为高速公路改扩建工程提供科学可靠的线路优化模型。

4 改扩建工程案例应用

4.1 线路优化方案制定

高速公路改扩建工程中，线路优化方案制定应以安全性、通行效率和经济性为核心指标，通过系统分析现有道路结构、交通流量及地形特征，构建优化模型。首先对关键路段的平面线形、纵坡及曲线半径进行逐段评估，确定安全行车速度、最小转弯半径及纵坡限制。采用多目标优化方法，将车辆动力学约束、土石方量和施工可行性纳入综合分析，实现平顺线路设计与施工可操作性的平衡。结合地理信息系统（GIS）和三维地形建模技术，可对不同方案的线路走向、坡度变化及曲线调整效果进行可视化模拟和比较，为最终优化方案提供科学依据。优化过程中，考虑交通密度波动及特殊路段通行特性，通过局部曲线缓和段、纵坡调整及视距改善措施，实现高速公路整体运行效率和安全性的同步提升，并保证施工周期和资源利用的最优化。

4.2 设计方案施工模拟

在优化方案确定后，施工模拟成为验证方案可行性的重要环节。通过三维建模和施工仿真软件，可再现路基填挖、桥梁和隧道施工过程，分析施工机械布置、材料运输及施工周期对线路优化的影响。模拟过程需精确计算土石方量、边坡稳定性及施工顺序，确保施工操作与设计要求协调一致^[4]。通过施工模拟可以发现潜在冲突，如高填方路段沉降风险、坡度调整导致的排水问题及曲线调整对施工交通组织的影响，并根据仿真结果优化施工方案。结合智能施工管理系统，可实时更新施工

进度与资源配置,进一步验证线路优化方案的施工可行性和经济性。施工模拟不仅提升工程实施效率,还能有效降低施工安全隐患,实现设计方案与实际施工条件的高度契合,为高速公路改扩建提供科学指导和可执行的施工计划。

4.3 效果评价与调整策略

优化线路方案在实施后,需要通过多维指标进行效果评价,包括行车安全性、通行效率、施工成本和环境影响等。通过交通流量监测、车辆运行速度分析和事故率统计,可量化线路优化对通行条件的改善效果。结合路基沉降、排水效率及边坡稳定性监测数据,可评估施工及设计调整的精确性和可持续性。评价结果用于制定调整策略,对存在问题的路段进行曲线微调、坡度优化或视距改善,同时结合道路标识、排水及边坡绿化措施进行综合优化。多目标评价与调整策略的实施确保高速公路改扩建工程在安全性、效率和经济性上达到预期水平,同时兼顾生态环境保护和施工可行性,为线路优化设计提供科学验证和动态改进机制,实现工程效能最大化。

5 综合效果分析与工程总结

5.1 行车安全提升评估

优化后的线路在曲线半径、纵坡和视距方面均达到设计要求,有效降低了车辆侧滑、急刹和事故风险。通过交通流量与速度监测数据分析,发现优化后关键路段事故率明显下降,车辆行驶平顺性提升。超高调整和曲线缓和设计减小横向加速度波动,保证车辆在高速条件下稳定运行,降低轮胎和制动系统磨损。同时,坡度优化改善了雨雪天气下的行驶稳定性,排水系统优化减少路面积水对摩擦系数的影响,为高速公路安全行

驶提供可靠保障,实现线路优化与安全性能的高度匹配。

5.2 通行效率改善分析

线路优化方案通过曲线半径增大、纵坡平缓及视距延长,提高了车辆通过能力和行驶均速,缓解拥堵现象^[9]。交通流量模拟显示,高峰期通行密度优化后车速波动显著降低,排队长度和车辆延误时间减少,通行效率提升明显。超高和纵坡调整减少车辆减速和制动频率,车辆运行平稳性增强,同时智能交通标志和信息化引导提升了通行组织效率。整体线路优化兼顾交通安全和运行效率,实现高速公路改扩建工程的平稳、高效运行,为线路设计提供量化优化依据。

5.3 工程成本与可行性验证

线路优化在施工和运营阶段的成本得到有效控制,土石方量减少、边坡支护和排水设施布置合理,施工周期缩短且资源利用率提高。施工模拟与经济性分析表明,优化设计在保证安全和通行性能的前提下,最大限度降低建设成本和维护费用。技术方案充分考虑施工机械布置、施工顺序及材料运输可行性,实现施工过程可操作性与线路设计的高度匹配。经济与可行性验证结果显示,优化方案兼顾投资控制与运行效益,为高速公路改扩建提供科学可行的线路优化路径和实践参考。

6 结语

高速公路改扩建工程通过线形优化设计提升了线路的几何性能、安全性与运行效率,优化曲线半径、坡度及视距指标有助于提升整体通行条件和行车稳定性,同时有效控制建设成本和施工可行性,提升运营质量,为高速公路长期可持续发展提供了技术保障与实践路径。

参考文献:

- [1] 王重阳.G50 沪渝高速公路鸽子墩枢纽至皖鄂界段改扩建工程绿化探讨[J].上海公路,2025,(04):206-209+213+228.
- [2] 胡庆涛,赵建军.高速公路改扩建工程路桥过渡段路基填筑方案与施工技术研究[J].运输经理世界,2025,(36):78-80.
- [3] 李猛.信息化在高速公路改扩建工程管理中的创新应用探究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(12):161-163.
- [4] 李波,汪贤安.桩接盖梁式桥台在高速公路改扩建桥梁拼宽施工中的应用研究[J].北方交通,2025,(12):1-4+10.
- [5] 孟倩,杨阳.高速公路改扩建项目收费标准与年限测算方法[J].中国交通信息化,2025,(S2):185-189.