

# 公路路线选线的优化设计方法

吴昌煜

唐山市规划建筑设计研究院有限公司湖北分公司 湖北 武汉 430000

**摘要:** 公路路线选线优化设计是交通基础设施建设的关键环节,直接影响工程安全性、经济性、环保性及社会效益。本文系统梳理了选线优化设计的核心方法体系,涵盖数据预处理、多目标优化模型构建、智能算法求解及可视化决策支持等模块,旨在解决复杂地形条件下公路选线的多维度冲突,实现安全、经济、环保与社会的综合最优,为智慧交通建设提供方法论支持。

**关键词:** 公路; 路线选线; 优化设计

## 引言

传统选线方法依赖工程师经验与二维图纸,难以量化评估多目标冲突,易导致生态破坏、成本超支或社会争议。随着地理信息系统(GIS)、遥感技术及智能算法的发展,选线设计逐渐向数据驱动、多目标协同优化方向转型。当前研究聚焦于多源数据融合、高维目标优化及人机协同决策,但仍存在数据孤岛、算法收敛性差及可视化交互不足等挑战。因此,深入对公路路线选线的优化设计方法的讨论具有重要的现实意义。

## 1 选线设计的基本原则

(1) 安全优先是选线的首要准则,需从线形指标、视距保障及灾害规避三方面构建安全防线。线形指标需严格遵循设计规范,通过平曲线半径、纵坡坡度、竖曲线半径等参数的合理组合,确保车辆行驶的稳定性和舒适性,避免因线形突变引发的操作失误或机械损伤。视距保障要求路线沿途提供足够的停车视距、会车视距及超车视距,通过清除障碍物、优化纵断面设计或设置视距台等措施,消除驾驶盲区,降低事故风险。(2) 经济合理性要求在保障安全与环境的前提下,通过科学规划降低全生命周期成本。工程量控制需结合地形地貌优化路线走向,减少高填深挖、桥梁隧道等低成本构造物的比例,同时通过土方平衡设计降低弃土外运量<sup>[1]</sup>。征地拆迁成本需与地方土地利用规划充分衔接,优先选择荒地、劣地等非耕地资源,避免占用基本农田或生态保护区,并通过紧凑布局减少拆迁范围。(3) 环境友好原则强调公路建设与生态系统的和谐共生。生态保护需通过最小化占地、保护植被连续性、维护水系连通性等措施,减少对野生动物栖息地、植物群落及水文循环的干扰,并采用生态边坡、野生动物通道等绿色工程措施促进生态修复。景观协调要求路线与周边自然景观、文化景观相融合,通过线形顺适、边坡绿化、建筑风格统一等设计手

法,避免视觉冲突,提升公路的景观美学价值。(4) 社会适应性要求选线充分响应区域发展规划与公众需求。路线需与城市总体规划、交通网络布局、产业园区分布等上位规划有效衔接,提升区域连通性,促进资源要素流动。此外,需通过公众参与机制收集沿线居民、企业等利益相关方的意见,在路线走向、出入口设置等方面平衡多方诉求,避免因路线割裂社区或阻碍生产生活引发社会矛盾,实现公路建设与社会发展的良性互动。

## 2 公路路线选线优化设计方法体系

### 2.1 数据采集

公路路线选线优化设计中,数据采集与预处理是构建科学决策基础的关键环节,其核心在于通过多源数据融合与标准化处理,形成覆盖地形、地质、环境及社会要素的完整信息体系,为后续分析提供可靠数据支撑。(1) 地形数据作为路线设计的空间基准,需整合数字高程模型(DEM)与遥感影像,前者提供连续的地表高程信息以支撑纵断面设计与土方量计算,后者通过多光谱或高分辨率影像识别地表覆盖类型、地形特征点及潜在障碍物,两者结合可构建三维地形场景,辅助路线走向的宏观布局与局部微调。(2) 地质数据是评估路线安全性的核心依据,需系统采集断层分布、岩性类型及灾害隐患点信息,通过地质勘察报告、地球物理探测数据及历史灾害记录的整合,明确不稳定地质区域的范围与风险等级,为路线避让灾害体或采取工程防护措施提供量化依据。(3) 环境数据聚焦生态保护与资源约束,需覆盖生态敏感区、水体及文物分布范围,结合环境功能区划与生态红线管理要求,识别路线需严格避让或采取特殊保护措施的区域,同时通过噪声敏感点、大气监测数据等补充环境影响评估的维度。(4) 社会数据反映人类活动对路线选线的制约与需求,需整合土地利用现状、居民点分布及现有交通网络,通过分析人口密集区、经济活

动热点及交通枢纽的连接需求,优化路线服务范围与出入口设置,避免因路线穿越集中居住区或重要设施引发社会矛盾。

## 2.2 数据预处理

公路路线选线优化设计的数据预处理是构建科学决策基础的关键环节,其核心在于通过系统性整合与标准化处理多源异构数据,消除数据间的空间基准差异、格式冲突及语义矛盾,为后续路线生成与优化提供高质量的数据支撑。(1)需统一空间参考系,将地形数据、地质数据、环境数据及社会数据等不同来源的空间数据,统一转换至国家或项目指定的坐标系与投影方式,通过几何校正与配准技术确保各类数据在空间位置上的精确匹配,避免因坐标系统不一致导致的路线偏移或分析误差。(2)需解决数据格式异构性问题,针对矢量数据、栅格数据及属性数据,采用通用数据格式或中间转换工具实现无损转换,并建立数据字典明确字段含义与编码规则,确保不同系统间数据的可读性与互操作性<sup>[2]</sup>。在数据清洗环节,需通过逻辑校验与异常值检测剔除错误数据,如地形数据中的负高程值、地质数据中重复记录的断层点、环境数据中超出生态保护区范围的坐标点等。(3)约束条件冲突检测是预处理的重要步骤,需通过空间叠加分析识别不同数据层间的矛盾关系,如环保红线与工程可行性的冲突、地质灾害区与成本控制目标的冲突,以及土地利用规划与路线占地需求的冲突,针对此类冲突需建立优先级规则或通过多目标优化模型调整路线方案。

## 2.3 候选路线生成技术

候选路线生成技术是公路选线优化设计的核心环节,其目标是在多源数据融合的基础上,通过智能化算法与工程经验结合,生成满足安全、经济、环保等约束条件的可行路线方案集。(1)基于GIS的路径搜索算法以空间分析为支撑,成本距离分析通过构建地形坡度、地质风险等要素的累积成本面,计算从起点到终点的最小累积成本路径。其中地形坡度以高程变化率量化对行驶阻力的影响,地质风险通过断层密度、岩性稳定性等指标加权赋值,确保路线避开高风险区域;网络分析则基于交通网络拓扑结构,通过Dijkstra算法或A\*算法求解最短路径,同时可扩展至多式联运场景,考虑公路与铁路、水运的衔接效率,优化区域综合运输通道布局<sup>[3]</sup>。(2)智能算法优化通过模拟自然规律或群体行为实现路线的高效搜索,遗传算法将路线编码为染色体,通过选择、交叉、变异操作生成多样化解,其中选择操作基于适应度函数筛选优质个体,交叉操作交换路线片段以探索新解空间,变

异操作引入随机扰动避免早熟收敛。粒子群算法模拟鸟群觅食行为,每个粒子代表一个候选路线,通过个体最优与群体最优的动态调整引导搜索方向,平衡全局探索与局部开发能力。蚁群算法借鉴蚂蚁觅食的信息素机制,路线被选择的概率与信息素浓度正相关,信息素随时间挥发并随优质路线被重复选择而增强,形成正反馈循环,有效平衡全局搜索与局部精细优化。(3)人机协同设计则融合工程师经验与算法优势,算法生成的路线方案需通过可视化平台展示,工程师基于专业判断对线形连续性、构造物设置合理性进行修正,同时对关键控制点施加强制约束,确保路线符合工程可行性要求。例如,桥梁位置需兼顾河流水文条件与两岸连接需求,隧道进出口需避开不良地质区并满足通风排水要求。通过GIS算法的客观分析与工程师的主观修正,候选路线生成技术实现了数据驱动与经验指导的深度融合,为后续多目标优化提供了高质量的初始解集。

## 2.4 多目标优化模型构建

(1)目标函数设计需覆盖三大核心维度:安全性通过平纵线形指标量化,包括最小曲率半径、最大纵坡坡度及竖曲线半径等参数,确保车辆行驶稳定性;经济性聚焦全生命周期成本,涵盖土方工程量、征地拆迁面积及桥梁隧道比例;环保性从生态、水土及能源三方面考量,生态敏感区占用面积反映对自然保护区的干扰程度,水土流失风险通过坡度、植被覆盖率等指标评估,碳排放量则综合施工期机械排放与运营期车辆燃油消耗。(2)约束条件定义分为强制性与软性两类,强制性约束包括基本农田保护红线、文物保护范围及生态保护区边界等不可突破的刚性要求,确保路线符合法律法规与政策导向;软性约束涉及景观协调性、居民点避让距离等弹性要求,通过设定阈值或惩罚函数引导路线优化方向。(3)权重分配方法需兼顾主观经验与客观数据,层次分析法通过专家评分构建判断矩阵,计算各目标的相对重要性,适用于缺乏历史数据的新建项目。熵权法基于目标数据的离散程度动态调整权重,数据变异越大则权重越高,适用于数据完备且需反映实际差异的场景。机器学习优化通过训练历史案例数据,建立目标权重与路线性能的非线性映射关系,自动学习最优权重组合,尤其适用于复杂区域或多方案比选场景,可有效避免人为赋权的片面性。通过目标函数、约束条件与权重分配的协同设计,多目标优化模型能够生成兼顾多方需求的候选路线集,为最终选线决策提供科学依据。

## 2.5 优化算法与求解策略

(1)单目标优化算法适用于问题可拆解为单一成本

最小化的场景,线性规划通过构建目标函数与线性约束的数学模型,求解土方工程量、征地拆迁成本等可量化指标的最小值,其优势在于计算速度快且理论解唯一,但难以处理非线性或离散型问题。动态规划将路线分解为多个阶段,通过状态转移方程逐段优化线形指标,适用于长距离路线或复杂地形条件下的分段优化,能有效平衡局部最优与全局协调性。(2)多目标优化算法则针对安全、经济、环保等多维度目标,NSGA-II作为经典非支配排序遗传算法,通过快速非支配排序与拥挤度计算生成帕累托最优解集,其优势在于解集分布均匀且能覆盖不同偏好场景,但计算复杂度随目标数增加而显著上升<sup>[4]</sup>。MOEA/D采用分解策略将多目标问题转化为多个单目标子问题,通过邻域搜索平衡收敛性与多样性,尤其适用于高维目标空间或非凸帕累托前沿的场景,可有效避免解集退化。(3)混合智能算法通过融合不同算法的优点提升求解性能,遗传算法与模拟退火的结合利用遗传算法的全局搜索能力生成初始解集,再通过模拟退火的Metropolis准则接受劣解以跳出局部最优,适用于复杂地形或约束冲突强烈的区域,能显著提高解的质量。粒子群算法与局部搜索的混合策略则发挥粒子群的全局引导作用,快速定位优质解区域,再通过局部搜索精细调整线形参数,在保持计算效率的同时提升解的精度,尤其适用于大规模交通网络或实时优化场景。

## 2.6 可视化与决策支持

(1)三维可视化平台以数字高程模型、遥感影像及工程数据为基础,构建包含地形、地物、构造物的三维场景,支持路线方案的空间展示与对比。通过叠加不同方案的线形、桥梁隧道位置及征地范围,决策者可直观观察各方案与地形的拟合程度、对生态敏感区的绕避效果及对现有交通网络的衔接关系,同时支持多视角切换与局部放大,便于深入分析关键区段的线形合理性。(2)动态模拟功能则进一步扩展至施工过程与环境影响预测,通过集成施工进度计划与机械作业参数,模拟土方开挖、桥梁架设等工序的时空演变,识别施工期可能引发的滑坡、

交通阻断等风险<sup>[5]</sup>。环境影响模拟则结合气象数据与生态模型,预测路线运营后的噪音传播范围、碳排放分布及水土流失强度,为环保措施的制定提供量化依据。(3)交互式决策工具通过多方案评分系统与敏感性分析强化决策的客观性,多方案评分系统基于安全、经济、环保、社会等维度的量化指标,通过加权求和或层次分析法计算各方案的综合得分,支持排序筛选与优劣对比。敏感性分析则聚焦权重分配的不确定性,通过动态调整各目标的权重系数,观察帕累托前沿或最优解集的变化趋势,揭示关键目标对决策结果的影响程度,帮助决策者识别稳健性强的方案。

## 结语

综上所述,公路路线选线优化设计是典型的多学科交叉问题,需融合工程地质、环境科学、运筹学及计算机技术。本文构建的方法体系通过数据预处理消除多源异构冲突,以多目标优化模型量化安全、经济、环保与社会效益的权衡关系,借助混合智能算法突破传统方法在复杂地形中的计算瓶颈,通过可视化平台实现决策的透明化与科学化。未来研究可进一步探索实时数据驱动的动态选线机制,结合数字孪生技术实现施工期与运营期的全生命周期优化,以适应气候变化与城市化进程对公路基础设施的更高要求。

## 参考文献:

- [1]邓悦.公路路线设计中存在的问题及设计要点分析[J].工程技术研究,2024,9(21):188-190.
- [2]蒋子彬.公路路线线形优化设计分析[J].运输经理世界,2024(30):16-18.
- [3]周子鑫.干线公路路线安全设计方法与评价体系分析[J].运输经理世界,2024(28):133-135.
- [4]王晓琳,李志刚.基于大数据的高速公路路面养护决策技术研究[J].公路工程,2023,48(4):134-140.
- [5]叶飞.生态选线理念在公路路线设计中的应用[J].四川建材,2024(7):52-53,56.