

# 面向低碳交通的城市道路纵断面设计方法研究

杨 淋

四川中成路铭工程设计咨询有限公司 四川 成都 610014

**【摘要】**在“双碳”目标引领城市交通向低碳化转型的背景下，城市道路纵断面设计作为直接影响车辆能耗与碳排放的核心环节，其低碳优化成为行业亟待解决的关键课题。本文围绕坡度、坡长、竖曲线三大要素，提出坡度“地形+低碳”双导向优化、坡长与坡度联动控制、竖曲线适配车速稳定的方法；剖析当前设计在动态交通适应性、多目标协同、技术理论支撑的局限；明确未来需依托动态交通数据驱动、多目标协同体系、智能化技术融合实现升级，为城市道路低碳设计提供理论与实践参考。

**【关键词】**低碳交通；城市道路；纵断面设计方法

**DOI:10.12417/2811-0722.26.01.060**

城市交通占城市总碳排放的20%-30%，其低碳化直接关乎“双碳”目标落地。传统城市道路纵断面设计长期以安全、成本为核心，未建立纵断面参数与车辆碳排放的关联逻辑，导致大量道路投用后能耗、碳排放超标。纵断面通过坡度、坡长、竖曲线改变车辆行驶阻力，是调控碳排放的关键抓手，因此开展其低碳优化研究，既能填补传统设计的低碳空白，更能为交通低碳转型提供技术支撑，具有重要现实意义。

## 1 面向低碳交通的城市道路纵断面设计关键要素优化方法

面向低碳交通的城市道路纵断面设计，需围绕坡度、坡长、竖曲线三大关键要素，结合交通特性与道路功能，构建针对性的优化方法。

### 1.1 坡度设计的低碳优化方法

坡度设计需跳出传统单一地形适配的框架，构建“地形+低碳”双导向优化逻辑，通过精准控制坡度参数减少车辆动力消耗与碳排放。首先，需建立坡度与碳排放的关联逻辑，明确低碳坡度阈值——即当坡度超过该阈值时，车辆的能耗与碳排放会出现显著跃升，设计中需优先将坡度控制在阈值以内；若需确定阈值，可通过分析不同坡度下车辆的动力需求规律，避免因坡度过高导致动力系统长期高负荷运转。其次，针对地形受限无法规避较大坡度的路段，需采用分段控坡策略：将长陡坡拆解为多个短坡度段，段间设置平缓过渡段，过渡段的长度需满足车辆动力恢复需求，避免车辆长期处于高阻力行驶状态<sup>[1]</sup>。最后，坡度设计需适配道路功能定位：城市主干道需执行更严格的低碳坡度标准，避免大量车辆连续爬坡导致碳排放累积；城市支路可适当放宽坡度限制，但需同步考虑应急车辆的通行需求，防止坡度影响应急响应效率；对于机动车、非机动车混合路段，还需设置非机动车友好坡度，避免非机动车因坡度过大转而选择高碳排放的机动车出行，实现双车型低碳协同。

### 1.2 坡长设计的低碳优化方法

坡长设计的核心是与坡度形成协同优化，避免单要素优化

导致的低碳效果折损，通过“坡度-坡长”联动控制减少车辆能耗累积。首先，需基于“坡度-坡长-碳排放”的联动逻辑设定低碳坡长上限：坡度与坡长呈反向关联关系，即坡度越大，坡长上限需越小——例如坡度较小时，可适当延长坡长以减少地形挖填量；坡度较大时，需缩短坡长以控制车辆高阻力行驶时间，防止能耗与碳排放持续增加。其次，针对上坡与下坡路段需采用差异化策略：上坡路段若坡长过长，易导致车辆动力衰减、能耗叠加，需通过“短坡+缓坡”组合拆分长上坡，降低发动机或电机的高负荷运转时长；下坡路段若坡长过长，易引发燃油车频繁制动或电动车再生制动效率下降，需设置坡长分段、制动缓冲段，缓冲段需设计0.5%-1%的缓上坡坡度，帮助车辆平稳减速，同时缓冲段长度需与下坡坡长匹配，避免制动频率过高。最后，坡长设计需契合纵断面整体起伏规律：避免连续上坡、连续下坡的交替模式，优先采用“上坡-平缓-下坡”的渐进模式；若存在起伏路段，需增设平坡过渡带，过渡带长度需满足车辆车速调整需求，减少因车速波动引发的额外碳排放<sup>[2]</sup>。

### 1.3 竖曲线设计的低碳优化方法

竖曲线设计以维持车速稳定为目标，通过优化半径、切线长等参数，减少车辆因车速波动产生的额外能耗，同时适配不同车辆类型的动力特性。首先，竖曲线半径设计需结合道路设计车速确定低碳竖曲线半径下限：即半径不小于该下限值时，车辆行驶的车速波动幅度可控制在低碳范围内，避免因半径过小导致车辆频繁加速、减速；同时，半径需与坡度变化率协同——当相邻路段的坡度差较大时，需增大竖曲线半径，减缓坡度变化速度，给车辆足够时间调整动力输出，防止车速骤升骤降；若坡度差较小时，可适当减小半径，但需始终满足低碳半径下限。其次，竖曲线切线长设计需匹配车辆行驶特性：切线长过短会导致车辆进入竖曲线时反应时间不足，易引发急加速或急制动，因此切线长需不小于车辆在设计车速下的反应距离；同时，切线长需与竖曲线半径形成协同，半径越小，切线长需越大，确保车辆有足够空间适应曲线变化，避免因操作急促增加能耗<sup>[3]</sup>。最后，竖曲线设计需适配车辆类型差异：对

于电动车占比高的路段，需重点考虑再生制动高效区间，在竖曲线底部调整半径与切线长，控制车辆最大车速，避免因制动强度过大消耗电池能量；对于燃油车占比高的路段，需通过平缓的曲线设计维持匀速行驶状态，减少发动机启停或高负荷运转次数，从动力输出稳定性层面降低碳排放。

## 2 当前面向低碳交通的城市道路纵断面设计方法局限与挑战

尽管面向低碳交通的城市道路纵断面设计研究已取得一定进展，但在理论体系、实践适配性、多目标协同等方面仍存在局限。

### 2.1 动态交通适应性不足

当前设计普遍依赖静态交通流预设，未能衔接实际交通的动态特性，导致低碳效果折损。设计参数确定后缺乏“动态交通流感知-参数调整”闭环机制，交通构成变化时，原有坡度、坡长无法匹配新能耗需求；未实现不同车型的动态适配，且缺乏拥堵状态下的纵断面参数适配规则，拥堵时车辆低速启停，原设计中纵断面参数与能耗的关联逻辑会发生变化，现有方法难快速优化，碳排放控制目标难稳定实现。

### 2.2 多目标协同机制缺失

纵断面设计需平衡低碳、安全、成本、集约用地，但当前多单目标主导，缺乏协同机制。若过度聚焦低碳，盲目减小坡度或延长平缓段，易导致土方开挖量剧增、施工周期延长，或因优化竖曲线半径加剧与周边建筑、管线的冲突。同时，交通、住建、环保等部门诉求差异大，缺乏多目标权重分配与冲突协调统一框架，且部门数据共享不畅，难形成兼顾方案，最终无法实现多目标平衡。

### 2.3 技术与理论支撑薄弱

面向低碳的纵断面设计缺乏成熟技术与理论支撑，科学性不足。“坡度-坡长-竖曲线-碳排放”量化关联模型无统一标准，不同研究得出的低碳阈值因测试条件不同存在数值差异，设计无权威依据；现有软件聚焦传统安全、成本目标，缺乏碳排放实时模拟、参数智能优化模块，需人工计算能耗，效率低且易偏差<sup>[4]</sup>；仅关注车辆运营碳排放，忽视道路“规划-建设-养护-废弃”全流程碳排放，整体低碳效果被建设、养护高碳排放抵消。

## 3 面向未来低碳交通的城市道路纵断面设计发展方向

针对当前设计方法的局限，结合智慧交通、低碳技术的发展趋势，未来面向低碳交通的城市道路纵断面设计需向“动态化、协同化、智能化”方向发展。

### 3.1 动态交通数据驱动的自适应设计方向

依托智慧交通技术的迭代升级，需构建“动态交通数据采

集-数据安全处理-自适应模型计算-参数实时优化-效果验证反馈”的完整体系，从根源上破解当前设计对动态交通的适配不足问题。搭建全域动态交通流感知网络时，需整合多类型数据采集设备，除路侧雷达、高清摄像头、车载OBU终端外，还需接入新能源汽车的BMS数据、路面传感器数据，实现交通流、车辆状态、路况环境的多维度数据采集；同时，需建立数据加密传输与存储机制，避免数据泄露或失真，为设计优化提供精准且安全的输入基础。

开发自适应设计模型时，需强化模型的实时学习与趋势预测双能力：一方面，模型需能根据实时数据自动修正纵断面参数，并同步验算调整后对安全、通行效率的影响；另一方面，模型需结合历史交通数据，通过机器学习算法预测未来6-12个月的交通特征，提前生成预优化方案，并通过仿真软件验证方案可行性。

建立“设计-监测-反馈-迭代”闭环机制时，除通过车载排放监测设备采集实际碳排放数据外，还需引入第三方检测机构进行数据校准，确保对比结果的客观性；分析差异原因时，需区分参数设置偏差、交通流预测偏差、外部环境干扰三类情况，针对性调整模型参数或预测逻辑，再将优化后的方案应用于实际设计，形成循环迭代，确保纵断面设计始终与动态交通需求保持深度协同，稳定发挥低碳效果。

### 3.2 多目标协同设计体系的完善方向

针对当前多目标冲突问题，需构建指标量化、算法优化、部门协同的多目标协同设计体系，实现低碳、安全、成本、集约用地的整体平衡。明确多维度评价指标体系，每个目标需细化具体维度，如低碳目标涵盖车辆运营碳排放、道路建设与养护碳排放，安全目标包含坡度安全系数、竖曲线视距满足率，成本目标涉及土方工程成本、材料采购成本，并通过多目标权重动态分配机制确定各指标优先级，如城市核心区道路侧重集约用地权重，山区道路侧重安全权重，主干道侧重低碳权重。

引入智能优化算法，如改进遗传算法、粒子群优化算法，将多目标需求转化为数学约束条件，在满足安全限值、成本预算等硬性要求的前提下，自动搜索最优纵断面参数组合，例如当低碳与成本目标冲突时，算法可在将碳排放控制在目标范围内的同时，最大限度降低土方成本<sup>[5]</sup>。

搭建跨部门协同平台，整合交通、住建、环保、财政等部门的需求与数据资源，通过平台实现设计方案共享、意见反馈与冲突协商，避免单一部门主导导致的目标失衡，确保最终方案兼顾各方诉求。

### 3.3 智能化技术与低碳设计的深度融合方向

借助智能化技术的全面赋能，需推动软件功能升级、BIM全流程协同、AI辅助决策、多技术联动验证的深度融合，从工具层面提升低碳设计的精准性、效率与可行性。升级传统道路

设计软件时，需对碳排放模拟、参数推荐模块进行功能拓展：除基础的参数输入与碳排放模拟外，还需加入多场景对比功能——输入同一纵断面参数后，可模拟不同交通流、不同车型占比下的碳排放差异，帮助设计人员选择适配性更强的方案；同时，模块需接入行业最新研究成果，通过在线升级实现模型动态迭代，避免因理论滞后导致模拟偏差；例如，当某新研究证实“竖曲线半径与电动车能耗呈非线性关系”时，模块可自动更新计算逻辑，确保模拟结果的科学性。

推广 BIM 技术应用时，需构建 BIM 全要素协同模型并强化多维度功能：除整合纵断面参数、地形地貌、管线建筑信息外，还需加入碰撞检测、施工模拟、碳排放实时核算功能——在三维环境中，可提前检测纵断面设计与地下燃气管线、雨水管网的碰撞风险，及时调整参数避免后期返工，减少返工导致的碳排放；同时，BIM 模型可与施工进度软件对接，模拟不同施工顺序下的碳排放差异，选择低碳施工方案；此外，BIM 模型需支持“参数调整-碳排放重算-结果可视化”的实时联动，设计人员修改坡长后，模型可快速重新核算碳排放，并以图表形式展示变化趋势。

## 参考文献：

- [1] 王佳亮.基于道路纵断面的桥隧自动分界方法应用分析[J].安徽建筑,2025,32(9):138-140.
- [2] 董华珍,聂涔.基于粒子群算法的改建道路纵断面自动设计研究[J].城市道桥与防洪,2023(1):205-209.
- [3] 张鹏鹏,王世东.基于全站仪的道路纵断面测量研究[J].地理空间信息,2020,18(8):76-78,109.
- [4] 张明亮.遗传算法在道路纵断面设计优化中的应用探索[J].铁道建筑技术,2020(1):48-51,101.
- [5] 杜永平,王鹏.纵断面基础线形行车动力学效应对比研究[J].中外公路,2024,44(4):225-238.
- [6] 张东宁.基于三角网算法的公路纵断面设计及实例验证[J].科技资讯,2024,22(12):125-127.

开发 AI 辅助决策系统时，需强化系统的多维度分析、工程可行性判断、持续学习能力：系统通过学习大量历史设计数据，不仅能识别低碳短板（如连续 3 段坡长超阈值导致能耗累积），还能分析短板成因（如地形限制无法缩短坡长，或参数设置不合理），并结合工程实际给出差异化建议（如地形允许则缩短坡长，地形受限则建议增设平缓过渡段）<sup>[6]</sup>；同时，系统需定期纳入新的设计案例与研究成果，持续优化判断逻辑；设计人员输入初步方案后，系统还可生成“低碳效果-安全风险-成本变化”的三维评估报告，辅助快速决策，大幅减少人工计算量与决策偏差。

## 4 结语

本文系统构建了面向低碳交通的纵断面设计关键要素优化体系，精准指出当前设计在动态交通适配、多目标协同、技术支撑的瓶颈，提出动态数据、多目标协同、智能化融合的未来路径。研究成果可指导设计实践，突破传统设计的低碳化瓶颈；后续可深化“要素-碳排放”量化关联，推动理论转化为精准工程方案，为城市交通碳排放削减与“双碳”目标实现赋能。