

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^[1]。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^[2]。

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核心目标，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^[3]。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^[4];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^[5]。

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)^[6];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。