

Analysis and optimization of municipal road design problems

Changshu Li

Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Xinjiang Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

The acceleration of urbanization imposes higher demands on municipal road design, with traditional models increasingly struggling to balance complex traffic needs and ecological protection. Currently, the pressure on road networks is sharply increasing, and traffic congestion, safety hazards, and environmental burdens have become key factors constraining the improvement of urban quality. Globally, sustainable design concepts and intelligent technologies are gradually being integrated into road engineering, but domestic practices still face issues such as lagging planning and rigid technical standards. How to achieve a balance between traffic efficiency, safety requirements, and ecological benefits within limited space remains a critical bottleneck for the industry. This study focuses on the full lifecycle design of municipal roads, analyzing the evolution of design standards and trends in technological innovation to explore collaborative optimization paths across planning, design, and construction phases. It aims to provide theoretical support and practical references for building a modern road system that emphasizes resilience, intelligence, and greenness.

Keywords

municipal road design; problem analysis; optimization investigation

市政道路设计相关问题分析及优化探究

李长澍

上海市政工程设计研究总院（集团）新疆有限公司，中国·新疆乌鲁木齐 830000

摘要

城市化进程加速对市政道路设计提出更高要求，传统模式在应对复杂交通需求与生态保护之间矛盾日益凸显。当前，道路网络承载压力剧增，交通拥堵、安全隐患及环境负荷成为制约城市品质提升的关键因素。全球范围内，可持续设计理念与智能技术逐步融入道路工程，但国内实践仍面临规划滞后、技术标准僵化等问题。如何在有限空间内平衡通行效率、安全需求与生态效益，成为行业亟待突破的瓶颈。本研究聚焦市政道路全生命周期设计，通过解析设计规范演变与技术革新趋势，挖掘规划、设计、施工环节的协同优化路径，为构建韧性、智慧、绿色并重的现代道路系统提供理论支撑与实践参考。

关键词

市政道路设计；问题分析；优化探究

1 引言

市政道路作为城市命脉，其设计质量直接影响居民生活体验与区域经济发展。伴随智慧城市与碳中和目标的推进，传统粗放型设计已难以满足多元化需求。现有设计体系暴露出规划前瞻性不足、技术标准碎片化等缺陷，导致道路功能单一、资源浪费及后期运维成本攀升。本研究从系统性视角切入，梳理道路设计理论框架与技术标准演化脉络，揭示规划阶段路网布局失衡、设计阶段人车矛盾尖锐等核心问题。通过融合数字化工具与生态工程理念，探索跨阶段协同优化方案，推动设计思维从“工程主导”向“需求导向”转变，为城市基础设施高质量发展提供创新思路。

【作者简介】李长澍（1982-），男，中国河南人，本科，高级工程师，从事市政道路桥梁设计研究。

2 市政道路设计理论框架与技术标准

2.1 市政道路设计核心原则

在基础设施系统性与城市空间复杂性深度交互的现代语境下，市政道路设计核心原则的建构需突破传统工程思维的线性边界，转向多维度动态平衡的价值决策体系。系统性整合原则要求建立城市信息模型（CIM）与建筑信息模型（BIM）的双向数据通道，将土地开发强度预测、地下空间权属关系及交通行为演化规律转化为道路横断面参数的动态约束条件，确保设计方案承载城市功能迭代的时空弹性。动态适应原则强调路网拓扑生成算法需植入交通需求预测的深度学习模块，通过实时解析自动驾驶车辆轨迹模式与共享出行热力分布，自主优化交叉口视距三角区参数与可变车道配置逻辑。生态韧性原则需重构水文循环与道路结构的耦合机制，将地表径流渗透速率、植物群落蒸腾冷却效能等生物工程参数转化为海绵设施布局的形态生成因子，使道路空

间成为调节微气候的活性介质。安全冗余原则聚焦于构建多灾害链式反应防御模型，整合地震动参数区划、内涝淹没模拟与地下管线应力监测数据，形成道路纵断面设计与地下结构抗震等级的联动决策树。技术前瞻性原则要求预设智慧道路系统的数字接口标准，将车路协同通信频段、物流无人机导航信号覆盖等隐性技术参数纳入道路红线控制体系，构建基础设施与新兴技术共生演进的柔性容器^[1]。

2.2 关键技术标准与规范解读

在新型城镇化进程与交通技术革命双重驱动下，关键技术标准与规范体系的革新亟需突破静态条文框架，转向动态演变的数字孪生治理模式。标准体系构建需植入城市信息模型（CIM）的动态反馈机制，将土地混合开发强度阈值、地下空间叠合冲突规则等隐性约束条件转化为 BIM 模型与交通仿真引擎的数据接口标准，确保设计参数随城市肌理演变自主调适。路网密度控制标准应重构为空间渗透率与交通可达性的复合函数，基于街区活力指数与出行链拓扑结构生成道路横断面配置规则，使机动车道与非机动车道资源分配具备动态响应城市功能变迁的能力。生态技术规范需深化海绵设施与道路结构的耦合设计准则，建立地表径流渗透路径与路基毛细水上升阻隔层的协同计算模型，形成透水铺装孔隙率与地下水位波动幅度的量化匹配规则。安全冗余标准创新在于整合多灾害链式反应模拟结果，将地震动峰值加速度区划、内涝淹没深度预测与地下管廊应力监测数据交叉验证，生成道路纵坡设计参数与地下结构抗震等级的关联矩阵。智慧道路标准体系需突破传统设施布局范式，定义车路协同通信频段覆盖半径与道路红线控制线的空间映射关系，制定物流无人机起降区电磁屏蔽效能与路面结构层厚度的兼容性指标。经济性标准优化需开发全生命周期成本模型，关联沥青老化速率预测算法与交通轴载谱演变规律，形成路面结构层厚度与预防性养护周期的协同决策树。

3 市政道路设计现存问题分析

3.1 规划阶段问题

现行规划体系对城市信息模型（CIM）的整合深度不足，导致国土空间规划、交通流量预测与地下管网布局的三维推演存在时空割裂，难以精准模拟土地开发强度跃升对路网承载阈值的链式冲击效应。OD 矩阵预测模型过度依赖历史数据迭代，缺乏对共享出行、自动驾驶等新兴交通模式出行链的重构能力，致使路网拓扑生成时对节点转向流量峰值的预判产生系统性偏差。路网密度控制指标与城市肌理适配性缺失，传统分级配置理论未充分考虑街区活力对支路渗透率的非线性需求，造成慢行系统连续性断裂与机动车道资源冗余并存的矛盾格局。生态要素整合层面，海绵城市指标与道路线形设计的耦合度薄弱，地表径流模拟未嵌入水文循环全过程参数，导致透水铺装布局与地下排水管网容量形成离散化配置。竖向高程协同设计存在技术盲区，道路纵断面与

地下综合管廊的冲突检测多停留在二维平面阶段，缺乏对盾构施工误差带与路基压实变形的三维空间容差计算。面对新型基础设施的渗透压力，规划技术规范对智慧道路系统的电磁干扰屏蔽、物流无人机起降区荷载谱等隐形参数的包容性不足，形成制约技术迭代的刚性约束。

3.2 设计阶段问题

在道路设计从蓝图到实体的具象化进程中，专业协同断层与技术创新迟滞正侵蚀着设计成果的落地效能。交叉口渠化设计常受限于静态交通量假设，转弯半径与视距三角区参数固化导致动态车流轨迹冲突加剧，信号相位配时方案与可变车道功能缺乏协同建模，削弱节点通行潜力释放。慢行系统设计陷入路权分配失衡困境，非机动车道宽度阈值与人行道净空高度标准难以适配电动自行车普及带来的速度层级跃升，盲道网络拓扑结构断裂与公交站台接驳盲区暴露无障碍设计的系统性缺陷。地下空间整合层面，管线综合设计多停留于二维平面避让，燃气、电力、通信等专业管廊竖向高程冲突频发，检修井空间定位偏差引发后期运维作业面侵占。BIM 技术应用多停滞在可视化阶段，参数化构件库缺失导致排水纵坡与路面横坡无法动态关联校核，设计变更传导机制失灵造成结构与管线碰撞风险后置。景观生态设计常被简化为绿化带填充，植物群落固碳降噪效能参数未纳入道路断面设计模型，海绵设施布局与道路结构层渗透系数匹配度不足。更为隐蔽的症结在于现行设计规范更新滞后于技术革新，自动驾驶车辆轨迹预测算法、物流无人机起降区荷载参数等新型变量尚未融入设计决策体系，传统经验公式与新兴场景需求间裂痕持续扩大^[2]。

4 市政道路设计优化策略

4.1 规划阶段优化

在动态城市系统与刚性基础设施的持续博弈中，规划阶段优化策略的构建需突破传统工程思维的桎梏。基于数字孪生技术的城市交通模拟平台，应整合人口迁徙模型、土地开发热力分布及气候演变预测等多源数据流，借助时空大数据挖掘技术重构交通发生吸引点的动态权重模型，使路网拓扑生成具备应对城市扩张不确定性的自适应能力。路网密度控制需引入分形几何理论，通过计算不同开发强度区域的道路网络渗透效率阈值，建立街区活力指数与道路线形曲率的关联方程，在保障通行效率的同时维系城市空间肌理的完整性。针对混合交通模式的不可逆发展趋势，规划导则需植入交通行为仿真引擎，通过深度学习算法解析自动驾驶车辆轨迹预测、共享出行路径选择偏好等新型变量，动态修正交叉口视距三角区参数与可变车道配置规则。地下空间协同机制应构建三维地质模型与管廊断面参数的联动响应系统，将岩土工程特性参数、管线应力变形余量嵌入道路纵断面设计流程，形成地下空间开发强度与地面道路承载力的双向反馈机制。生态韧性提升需突破传统绿化指标的浅层约束，将植物

群落蒸腾速率、土壤碳封存效能等生物工程参数转化为道路横断面设计变量，使生态廊道宽度与空气污染物扩散模型达成动态平衡。面对未来技术迭代压力，规划框架应预留智慧道路系统的数字接口标准，将车路协同通信频段、物流无人机导航信号覆盖范围等隐形要素纳入道路红线控制体系，构建基础设施与新兴技术共生演进的弹性容器。

4.2 设计阶段创新

基于建筑信息模型（BIM）的全专业协同平台需深度集成交通行为仿真引擎与岩土地质数据库，通过参数化构件库动态关联道路横断面参数与地下管线应力变形模型，实现纵坡设计、排水坡度与管廊敷设的三维实时碰撞检测。交叉口动态优化设计应植入车流轨迹预测算法，结合自动驾驶车辆的跟驰模型与人工驾驶行为数据库，生成具备自学能力的可变车道控制逻辑与信号相位配时方案，使节点通行能力随交通模式演变自主调适。慢行系统设计需构建多尺度速度融合模型，将电动自行车加速度曲线、行人停留概率分布等微观行为参数转化为非机动车道宽度渐变系数与人行道设施布布局依据，形成速度差异缓冲的连续性路权分配方案。地下空间整合层面，需开发基于三维地质剖面的管线综合决策树算法，将土壤渗透系数、地下水位波动参数与综合管廊通风井定位进行耦合计算，构建管线应力监测数据与道路结构层变形的双向反馈机制。生态设计创新需突破传统绿化指标的平面约束，将植物群落蒸腾冷却效应、土壤碳封存速率等生物工程参数转化为中央分隔带立体结构的形态生成因子，使道路空间成为动态调节热岛效应的活性基础设施。面对新型移动载具的持续冲击，设计标准需预设智慧道路系统的技术冗余接口，将车路协同通信频段覆盖范围、物流无人机起降区电磁干扰阈值等隐形参数融入道路断面设计，形成可承载技术迭代的柔性载体。

4.3 施工与运维技术提升

施工与运维技术提升需重构传统工程实施模式，建立基于数字孪生的动态闭环管控体系。施工前期的数字化预演需整合 BIM 模型与地质雷达点云数据，通过逆向建模技术将地下隐伏构造物坐标偏差实时映射至施工机械导航系统，形成路基压实轨迹与既有管线安全距离的动态避让策略。材

料性能优化需开发沥青混合料级配设计的神经网络算法，关联气候大数据中的极端温度波动频率与紫外线辐射强度，生成具备区域适应性的柔性路面材料配比方案。施工过程监控应构建多源传感器融合的物联网平台，将摊铺机振动频率、压路机激振力参数与路基回弹模量检测值进行时域关联分析，建立施工机械操作参数与道路结构层性能的因果模型。运维阶段创新需部署分布式光纤传感网络，通过布里渊散射效应捕捉道路结构层微应变传播路径，结合机器学习算法预判裂缝扩展趋势与基层水损害风险，形成预防性养护决策的动态触发机制。地下设施运维需研发管廊巡检机器人的多模态感知系统，集成电磁探伤仪与气体浓度传感器的实时数据流，构建管线腐蚀速率与道路车载重复作用的耦合预测模型^[1]。环保技术革新需开发施工扬尘的粒子追踪算法，结合计算流体力学模拟优化抑尘剂喷洒路径，使粉尘扩散轨迹与施工工序安排形成空间错位控制。面对新型基础设施的运维挑战，需构建数字孪生运维平台的自主学习能力，将车路协同系统的胎压监测数据、智慧路灯的荷载频谱信息转化为道路结构健康评估的辅助变量，形成物理空间与数字空间的双向映射机制。

5 结语

市政道路设计优化是提升城市治理能力的重要抓手。研究证实，精细化规划预判、智能化设计创新与全周期运维管理的有机结合，可有效破解传统模式瓶颈。未来设计需深度整合自动驾驶、数字孪生等前沿技术，强化道路空间与城市功能的动态适配能力。随着新材料研发与低碳工艺普及，生态友好型道路将重塑城市肌理。设计者应立足全产业链视角，构建弹性化标准体系，使道路不仅是交通载体，更成为智慧生态系统的有机组成部分，持续赋能城市可持续发展。

参考文献

- [1] 乔亚涛. 市政道路高填深挖路基边坡的设计与施工技术研究 [J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2025, 40 (01): 72-78.
- [2] 林虎. 市政道路工程设计基本要点与注意事项分析 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15 (09): 124-127.
- [3] 梁丽艳,周富华. 湿热地区市政道路过湿土路基设计要点分析 [J]. 公路与汽运, 2025, 41 (02): 83-86.