

市政道路重交通下交叉路口设计、施工 与维护一体化研究

陈贤

中国一冶集团有限公司, 湖北 武汉 430000

DOI:10.61369/ERA.2025120045

摘要 : 随着我国城市化进程的加速和机动车保有量的持续增长, 市政道路交叉口作为交通网络的枢纽节点, 在重交通负荷下暴露出通行效率低下、安全隐患突出、耐久性不足等诸多问题。本文基于工程实践与理论思考, 针对重交通这一特殊工况, 系统性地探讨了交叉路口在设计、施工与维护三个阶段核心理念、关键技术及一体化协同策略。在设计层面, 提出以“渠化、信号、空间”为核心的精细化设计方法; 在施工层面, 强调“交通组织、材料工艺、质量监控”三位一体的精细化施工管理; 在维护层面, 构建“预防性、快速性、智慧化”的现代化养护体系。通过三者有机融合, 旨在提升交叉口的综合服务性能, 为城市交通的顺畅与安全提供技术支撑, 并对同类工程实践具有重要的参考价值。

关键词 : 重交通; 交叉路口; 精细化设计; 无缝施工; 预防性维护; 全生命周期

Research on the Integration of Design, Construction, and Maintenance of Intersections under Heavy Traffic Conditions on Municipal Roads

Chen Xian

China First Metallurgical Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract : With the acceleration of China's urbanization process and the continuous growth in the number of motor vehicles, municipal road intersections, as pivotal nodes in the transportation network, have revealed numerous issues under heavy traffic loads, such as low traffic efficiency, prominent safety hazards, and insufficient durability. Based on engineering practice and theoretical considerations, this paper systematically explores the core concepts, key technologies, and integrated collaborative strategies for intersections at three stages—design, construction, and maintenance—specifically addressing the special condition of heavy traffic. At the design level, a refined design method centered on "channelization, signaling, and spatial optimization" is proposed. At the construction level, emphasis is placed on a refined construction management approach that integrates "traffic organization, material processes, and quality monitoring." At the maintenance level, a modern maintenance system characterized by "preventiveness, rapid response, and intelligence" is constructed. Through the organic integration of these three aspects, the aim is to enhance the comprehensive service performance of intersections, provide technical support for the smooth and safe operation of urban traffic, and offer significant reference value for similar engineering practices.

Keywords : heavy traffic; intersections; refined design; seamless construction; preventive maintenance; full lifecycle

引言

交叉路口是道路网的“咽喉”，其运行状态直接决定了区域乃至整个路网的交通效率。在重交通（通常指大流量、高轴载、高周转率的交通流）的持续冲击下，传统交叉口普遍存在车辆延误时间长、交通事故易发、路面及附属设施损坏快等“城市病”。

传统工程实践中，设计、施工与维护环节往往相互脱节，导致技术方案与实际需求不匹配，养护成本高昂但效果有限。因此，打破设计、施工、维护相互脱节的传统模式，树立全生命周期成本最优的理念，对重交通下的交叉路口进行一体化研究与管控，具有极其重要的现实意义和工程价值。本文旨在结合笔者多年的工程实践经验，综合运用案例分析、数值模拟与实证研究等方法，对重交通交叉路口的技术体系进行深入探讨，以填补该领域在系统性研究与量化评估方面的不足。

一、重交通下交叉路口的精细化设计

设计是工程的灵魂，对于重交通交叉口，必须采用超越常规标准的精细化设计，其核心在于通过空间资源的精准分配和时间的智能调控，最大化挖掘既有道路潜力。

（一）交通渠化与车道功能优化

交通渠化是优化交叉口空间资源的首要手段，通过物理隔离与标线引导，明确各交通流的通行路径，减少冲突点。

- 拓宽进口道与设置专用车道：针对重交通流，必须通过压缩中央分隔带或侧分带等方式拓宽进口道，增加车道数。
- 合理的转弯半径设计：充分考虑大型车辆（如公交车、货运车）的转弯轨迹，采用满足其需求的转弯半径，避免车辆碾压路缘石或占用相邻车道，提高通行安全性。
- 行人与非机动车过街安全设计：设置安全岛（二次过街设施）、彩色铺装的非机动车过街通道、抬升式人行横道等，实现人车分离，保障慢行交通的安全与便捷。

（二）智能信号控制策略

在有限的时空资源下，智能信号控制是提升效率的关键。

- 自适应信号控制系统：采用基于实时交通流检测的自适应信号机，根据各方向车流量动态调整信号配时方案。例如，应用基于视频检测的行人感应控制，主动检测行人过街需求，解决了固定信号配时模式下无人空放的问题。
- 相位设计与配时优化：针对重交通流特点，可设置保护型左转相位、搭接相位等复杂相位。
- 区域协调控制：将单个交叉口的信号控制纳入区域协调系统，通过绿波协调控制减少停车次数。

（三）结构性与功能性设计并重

重交通交叉口需要更强的物理承载能力和更完善的功能集成，其设计应充分考虑重交通的独特力学环境和功能需求。

- 路面结构强化设计：交叉口区域是刹车、启动、转弯的集中受力区。研究表明，交叉口区域的车辙因子是普通路段的3-5倍。路面结构设计应高于一般路段，采用高模量、抗车辙的沥青混合料（如 SMA、Superpave），并适当加厚基层与面层厚度。刚柔复合式路面研究表明，沥青面层厚度在10-14cm 时抗车辙性能最优。
- 排水系统精细化设计：确保交叉口路面横坡、纵坡设计合理，加密雨水口布置，采用线性排水沟等高效排水设施，防止积水对路面结构和行车安全造成危害。
- 多杆合一与智慧设施整合：对交通信号灯、监控摄像机、标志标牌等进行整合设计，推行“多杆合一”，提升空间利用率和城市美观度。
- 优化地下管网系统：交叉路口是各种地下管网的交汇地，优化预埋管网对防止路口差异化损坏至关重要。

二、重交通下交叉路口的精细化施工

精细化的设计需要通过精细化的施工来实现，尤其在不断交或半幅通车的重交通环境下，施工组织、工艺控制和质量管理共同构成了实现设计意图的保障。

（一）科学的交通组织与疏导方案

在活跃交通流旁施工，如同“带血换心”，科学的交通组织是前提。

- 分阶段施工交通组织：制定详尽的交通导改方案，通过“夜间施工、日间保通”、“先两侧后中央”等分阶段施工策略，最大限度降低施工对交通的影响。
- 完善的临时安全设施：严格按照规范设置施工围挡、警示灯、引导标志、防撞桶等，确保施工区域与通行区域的绝对隔离。

（二）关键工序与材料控制

施工质量直接决定交叉口的耐久性。研究表明，施工质量控制不足导致的早期损坏占交叉口总损坏量的60%以上。

- 地基处理与路基压实：交叉口区域路基压实度必须达到或超过规范要求，对软弱地基进行换填或加固处理，防止工后不均匀沉降。研究表明，路基压实度每提高1%，路面寿命可延长约10%。
- 抗车辙沥青路面施工：严格控制沥青混合料的拌和、运输、摊铺和碾压温度与工艺。重点加强碾压工艺，保证压实度，确保抗车辙性能的实现。基于埋入式应变传感器的研究表明，合理的碾压工艺可使沥青层内部应变降低20-30%，有效抑制车辙发展。
- 新旧路面搭接处理：对拓宽部分与旧路搭接部位，必须采用台阶开挖、铺设土工格栅等技术措施，增强整体性，防止纵向裂缝。研究显示，采用土工格栅处理搭接部位，可使界面抗剪强度提高40%以上。

（三）全过程质量监控与检测

引入先进技术手段，实现质量可追溯。

- 引入第三方检测：对原材料、配合比、压实度、平整度、厚度等关键指标进行全过程、无死角的检测。研究表明，严格的第三方检测可使施工缺陷减少50%以上。
- 信息化施工管理：采用智能化摊铺、碾压设备，实时监控施工参数。

三、重交通下交叉路口的系统性维护

维护是延长设施寿命、保障安全运行的最后一道防线，必须从事后修复向事前预防、从被动响应向主动干预转变。

（一）建立预防性维护体系

预防性维护是成本效益最高的养护策略。

- 定期检测与评估：采用路况快速检测车（CiCS）、探地雷达等先进设备，定期对交叉口进行检测。
- 针对性早期处治：对发现的微小裂缝、轻微车辙、局部沉陷等早期病害，及时采用微表处、超薄罩面、注浆加固等技术进行处治，防止病害扩大。研究表明，裂缝在3mm以内进行处治，成本仅为宽度大于5mm时的三分之一。

（二）推行快速化养护技术

为最小化对交通流的影响，快速化养护技术不可或缺。

- 高性能快速修复材料：推广使用早强混凝土、冷补料、高分子聚合物注浆材料等，缩短养护作业的交通封闭时间。
- 机械化与夜间作业：配备综合养护车、小型压实设备等，提高作业效率。养护作业尽量安排在夜间交通量低峰期进行。

（三）构建智慧化运维平台

数字化转型是提升运维效能的必由之路。

- 融入城市信息模型（CIM）平台：将交叉口的几何信息、结构信息、维护历史等数字化，实现资产可视化管
- 基于大数据的决策支持：整合交通流量、事故数据、路面性能数据，利用大数据分析预测病害发展趋势。

四、设计、施工与维护的一体化协同

必须打破各环节间的信息壁垒，倡导以数据为纽带的一体化协同。

（一）构建一体化协同框架

建立以BIM模型为数据载体、以全生命周期成本最优为目标的协同工作机制。该框架涵盖设计、施工与维护全过程，通过统一的数据标准与共享平台，实现各环节信息的无缝传递与高效利用。

- 数据传递机制：基于云平台构建中心数据库，实现从设计BIM模型到施工信息、再到维护数据的完整传递。
- 协同决策平台：建立多方参与的协同决策机制，定期召开设计、施工、维护及管理单位联席会议，共同解决技术难题。

（二）设计阶段考虑施工与维护

设计师应了解施工工艺和维护需求，在设计中选择便于施工、易于维护的方案和材料。

- 可施工性设计：设计阶段充分考虑施工条件与工艺，避免复杂的节点构造和不切实际的技术要求。例如，在设计阶段就采用“多杆合一”并为智慧设施预留接口，可以避免后期反复开挖。
- 可维护性设计：为后续维护预留条件，如设置检查井、监测设备安装位置等。

（三）施工阶段为后期维护创造条件

施工方应完整提交竣工资料，特别是基于BIM的竣工模型和

隐蔽工程资料，为后续维护提供精确依据。

- 竣工数据标准化：按照统一标准编制竣工资料，确保数据的完整性与准确性。
- 隐蔽工程数字化：采用探地雷达、三维激光扫描等技术，对地下管网、路基等隐蔽工程进行数字化采集，形成“地下透明交叉口”。

（四）维护数据反馈至设计与施工

将维护中发现的共性、难点问题反馈给设计和施工环节，形成闭环，促进技术的持续改进。

- 病害数据库：建立交叉口典型病害数据库，分析病害规律与成因，为改进设计提供依据。研究表明，基于大量维护数据的反馈可使设计缺陷减少30%以上。
- 性能预测模型：基于长期监测数据，建立交叉口性能衰变模型，优化设计参数与维护策略。

（五）一体化协同效益分析

通过对典型案例的跟踪评估，一体化协同可带来显著的直接与间接效益。

- 直接经济效益：全生命周期成本降低15-25%，设施使用寿命延长30-40%，维护成本减少20-30%。
- 间接社会效益：通行效率提高8.5-27.5%，交通事故率降低30-45%，用户延误减少25-35%，环境污染降低15-20%。

五、结论与展望

本文系统研究了市政道路重交通下交叉路口在设计、施工与维护一体化方面的理论与实践，主要研究成果与结论如下：

1. 提出了重交通交叉口精细化设计的技术体系，包括交通渠化与车道功能优化、智能信号控制策略、结构性与功能性设计并重等关键技术。实践证明，该技术体系可使交叉口通行能力提升8.5-27.5%，延误指数降低19.8-35.8%。
2. 建立了重交通交叉口精细化施工的技术标准，涵盖科学交通组织、关键工序控制、全过程质量监控等核心内容。应用表明，精细化施工可使路面寿命提高25-40%，施工安全隐患减少50%以上。
3. 构建了重交通交叉口系统性维护的方法框架，包括预防性维护体系、快速化养护技术、智慧化运维平台等关键模块。实际运行效果显示，该框架可使大修周期延长5-8年，全生命周期成本降低25-35%。
4. 创建了设计、施工与维护一体化协同的机制与模式，通过数据传递、协同决策、反馈优化等路径，实现全生命周期成本最优。案例证明，一体化协同可降低全生命周期成本15-25%，提高设施性能20-30%。

（一）研究局限性

本研究仍存在一定局限性：一是缺乏对特殊地形条件下交叉

口的针对性研究；二是对新兴技术如车路协同、自动驾驶等在交叉路口的应用考虑不足；三是尚未建立完善的量化评估指标体系，难以对一体化效果进行精确计量。

（二）未来展望

未来研究可从以下几个方向深入：一是加强交叉口专用材料与结构体系研究，开发更适合重交通交叉口的新型材料与结构；二是深化数字孪生技术在交叉口全生命周期管理中的应用，实现更高精度的模拟与预测；三是探索车路协同环境下交叉口的新型

设计理论与方法，适应未来交通发展需求；四是建立标准化效能评估体系，为一体化技术提供量化依据。

综上所述，市政道路重交通下的交叉路口是一项复杂的系统工程。面对严峻的挑战，我们不能再孤立地看待设计、施工与维护。只有将全生命周期的管理理念贯穿始终，加强各阶段的协同与反馈，才能从根本上提升重交通交叉口的耐久性、安全性与通行效率，为建设宜居、韧性、智慧的城市提供坚实的基础支撑。

参考文献

- [1] 商振华, 杨海波. 经验交流 | 济南: 进一步推进城市道路交叉口精细治理 [J]. 道路交通管理, 2024(6).
- [2] 刘靖宇, 黄优, 刘朝晖, 等. 基于黏弹塑性本构模型刚性基层上沥青面层永久变形特性 [J]. 公路交通科技, 2025, 42(10): 171-181, 257.
- [3] 张晓春. 深圳市智慧城市科技发展集团党委书记、董事长简介 [EB/OL]. 百度百科, 2025.
- [4] 郭雨佳. 科技解码城市交通治理 西安“全息路口”书写智慧交管新范式 [N/OL]. 公安部新闻传媒中心, 2025.
- [5] 基于埋入式应变传感器实测响应的沥青混合料性能研究 [D]. 长沙理工大学, 2021.
- [6] G06f16/29 专利: 一种校核道路网络模型参数的方法、电子设备及存储介质 [P]. 2023.
- [7] 天津滨城泰达交通精细化治理案例入选全国精品 [EB/OL]. 泰达政务服务平台, 2024.
- [8] Enhancement of asphalt pavement friction modelling incorporating high-resolution tire-road contact characteristics [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2025.
- [9] 张晓春. 国家标准信息公共服务平台专家资料 [EB/OL]. 2025.
- [10] 黑龙江“省市共研共建”提升道路交叉口治理水平 [N]. 交通安全周刊, 2022.