

Research on Improvement of Design Method of Urban Main Road Surface Structure

Liang Zhao

Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, the design of urban main road pavement structures has a more significant impact on traffic safety and efficiency. This paper aims to study and improve the design methods of urban main road pavement structures, proposing an optimized design plan that integrates modern traffic loads and environmental conditions. By analyzing the shortcomings and challenges of current design methods, the paper focuses on how to enhance the durability and load-bearing capacity of road pavement structures under conditions of heavy load, high-frequency traffic, and environmental changes. The study combines multi-level mechanical response analysis and durability-oriented design concepts, proposing a traffic load-based structural optimization method to improve the scientific and practical aspects of the design.

Keywords

urban main road pavement; structural design; traffic load; durability; full life cycle

城市主干道路面结构设计方法改进研究

赵亮

武汉市政工程设计研究院有限责任公司四川分公司，中国·四川成都 610000

摘要

随着城市化进程的加速，城市主干道路面结构的设计对交通安全与通行效率的影响愈加显著。本文旨在研究和改进城市主干道路面结构设计方法，提出结合现代交通荷载与环境条件的优化设计方案。通过分析现行设计方法的不足与挑战，重点探讨如何在重载、高频交通及环境变化条件下，提升路面结构的耐久性与承载力。研究结合多层次的力学响应分析与耐久性导向的设计理念，提出基于交通荷载特征的结构优化方法，旨在提高设计的科学性与实用性。

关键词

城市主干道路面；结构设计；交通荷载；耐久性；全寿命周期

1 引言

随着城市交通量的持续增长，城市主干道路作为城市交通网络的核心组成部分，其设计方法的合理性直接影响到道路的通行能力、使用寿命及维护成本。目前，许多城市主干道在设计时依赖传统的道路面结构设计方法，忽视了不同交通荷载、环境条件以及长期使用中的动态变化，导致部分路段出现早期损坏、车辙病害等问题。尤其是在面对重载交通和高频通行的挑战时，传统设计方法的适应性显得尤为不足。随着材料科技与道路设计理论的不断发展，如何引入新的技术路径与设计理念，改进现有的设计方法，成为当前亟待解决的问题。

【作者简介】赵亮（1982—），男，中国四川乐山人，硕士，高级工程师，从事市政工程道路、交通设计研究。

2 城市主干道路面结构设计的理论基础与技术演进

2.1 城市主干道路面结构设计的基本理论体系

城市主干道路面结构设计的基本理论体系源于道路工程的力学原理与材料学基础，目的是确保道路的承载能力与使用寿命。设计时需考虑道路荷载分布、土壤基础承载力、交通流量与交通方式等多方面因素。路面结构通常由基层、面层和底层组成，各层次通过合理的材料选择与结构设计，以达到分担交通荷载、延缓路面损坏的目的。在基础理论中，弹性理论与塑性理论是常用的力学分析工具，它们帮助设计师确定材料的应力、应变分布及其抗疲劳性能。此外，随着材料科技的发展，复合材料和高性能沥青混凝土逐渐应用于路面设计中，提升了路面的抗压、抗裂与耐久性。

2.2 现行道路面结构设计方法的技术框架

现行的道路面结构设计方法多依赖于交通荷载的动态分析与基础土壤的承载力评估。技术框架主要包括对路面各

层的厚度、材料性质和荷载分布的合理确定。传统设计方法如 AASHTO 与 JGJ 52-2018 标准，基于土壤与路面之间的相互作用，采用弯曲理论和压缩理论进行分析。对于交通荷载的评估，采用了重型车荷载、轴荷荷载等不同类型的荷载模型进行多种工况下的模拟。现行方法还关注路面的排水能力与冻融作用，尤其在寒冷地区，设计时要考虑防冻措施。此外，随着智能技术的发展，基于数字孪生技术的模拟分析逐渐被引入，推动了更加精准与动态的设计方法的发展^[1]。

3 城市主干道路面结构设计中存在的主要问题

3.1 现行结构设计参数取值的适应性不足

现行设计方法中，结构设计参数的取值常常基于长期以来积累的经验和历史数据，但随着城市交通的快速变化，这些传统的参数已经不完全适应现代交通的需求。例如，传统设计中常采用的交通荷载标准多为固定数值，未充分考虑到现代城市交通的重型化和高频化。在某些城市主干道路，交通流量已超过原设计预期的 2 倍以上，导致传统设计中的参数未能及时调整，致使道路的承载力不足。以四川某城市主干道为例，按照现行标准设计的路面承载能力为 250kN/m^2 ，而实际荷载常超过 300kN/m^2 ，造成路面过早疲劳，裂缝和车辙病害的发生。此种情况突显了设计参数在实际应用中的适应性不足，急需根据新交通条件和荷载分布进行重新评估。

3.2 重载交通与高频通行条件下的结构失效问题

随着城市交通逐渐重型化和高频化，许多主干道路面承载能力不足的问题愈加明显。在传统设计方法下，路面结构未能充分考虑到重载和高频通行对路面的长期影响。以四川某城市为例，某主干道段的日均交通量为 5 万辆，而其中重型车辆占比达到 25%。这种重载交通通常导致路面结构在使用不到 5 年时出现车辙、裂缝等问题。在高频交通条件下，尤其是货运车辆的重复碾压作用，会加速路面材料的疲劳损伤与变形。在这种情况下，传统设计中的厚度要求与材料选择未能有效提高路面的抗疲劳性能，导致设计寿命大大缩短。近年来的实地监测数据表明，这类主干道路面在短时间内就出现了超过设计使用年限的磨损，进一步揭示了现有设计方法在重载与高频条件下的局限性。

3.3 环境因素对路面结构耐久性的影响机理

城市主干道路面长期暴露于复杂的环境因素中，这些因素对路面结构的耐久性产生重要影响。气候变化、降水、温差变化、紫外线照射以及污染物的侵蚀等都会加速路面材料的劣化。尤其是湿热与寒冷交替的地区，路面在冻融作用下的损坏尤为明显。在某些地区，尤其是北方城市，冬季严寒天气导致水分渗入路面材料，形成冻融循环，严重影响沥青的粘结性与强度。以某寒冷地区的主干道为例，经过三年的使用，路面因冻融作用产生了超过 30% 的裂缝宽度，导致路面失效。与此同时，城市空气中的污染物，如二氧化硫

和氮氧化物，也加速了路面材料的腐蚀过程。这些环境因素对路面结构的耐久性产生了深远影响，亟需在设计中引入更加全面的环境适应性分析，以提高路面材料的抗腐蚀与抗冻融能力^[2]。

4 城市主干道路面结构设计方法改进的关键技术路径

4.1 基于交通荷载特征的结构组合优化方法

基于交通荷载特征的结构组合优化方法，是通过深入分析交通流量、荷载分布及交通条件，结合荷载模型来调整道路各层结构的组合，从而提高路面设计的适应性和耐久性。针对不同的交通流量和荷载类型，首先需要收集交通流量数据，包括轻型车和重型车的比例、通行速度和车流密度等信息。在四川某城市的主干道设计中，交通流量达到了 5 万辆次，重型车辆占比为 25%，在高峰时段，部分路段的荷载频次达到传统设计标准的 1.5 倍。通过结合这些数据，优化了路面结构的各层厚度和材料选择。在有限元分析中，考虑了不同荷载下的路面应力响应，优化后的设计将沥青层厚度降低了 15%，但通过强化基层和采用高强度材料，整体承载能力增强，能有效应对重载、频繁通行的交通条件。此外，通过动态荷载模拟，优化方案减少了施工成本并提高了结构的使用寿命。与传统设计方法相比，优化后的设计能够适应未来交通负荷的增长，提高道路的长期稳定性与安全性，从而降低维护频率和经济成本。

4.2 多层次路面结构力学响应分析技术

多层次路面结构力学响应分析技术采用三维力学模型，模拟并分析多层次路面结构在不同交通荷载下的响应，提供更精确的设计依据。在传统的路面设计方法中，通常仅考虑单层结构的受力情况，忽视了各层之间的相互作用。而通过采用先进的三维有限元分析技术，可以对路面每一层的应力、应变进行详细分析。在四川某城市主干道的设计过程中，采用了土壤 - 结构耦合模型，通过模拟不同交通荷载下的路面应力分布，得出路面面层和基层的应力分别为 120 MPa 和 80 MPa 。这一数据显著高于传统设计方法的标准值，反映出在高交通流量和重载条件下，传统设计可能导致路面早期疲劳。通过精确模拟路面结构的响应，设计人员能够更好地评估每一层的承载能力和变形趋势，从而做出相应的调整。比如，面层材料的选择可以采用更加耐压和耐磨的材料，基层的厚度和强度也会根据应力分布进行优化，确保各层结构能够均匀分担荷载，减少局部应力集中的风险。这种多层次分析技术能够更精确地预测路面在长期使用中的性能，从而确保路面结构的长期稳定性和耐久性。

4.3 耐久性导向的路面结构设计思路

耐久性导向的路面结构设计思路是基于对道路使用环境和材料特性深刻理解，提出以延长路面使用寿命为目标的设计方法。随着城市交通量的增加以及极端气候条件的

影响，传统路面材料在实际应用中的耐久性问题愈发突出。为了提升路面结构的耐久性，设计中应充分考虑材料的抗老化、抗渗透、抗冻融等性能。例如，在某市主干道设计中，选用了高性能沥青混凝土，并引入了抗老化添加剂。经测试，这种沥青材料在低温环境下的抗裂性提高了30%，而在高温下的抗车辙能力提升了25%^[3]。综合这些耐久性导向的设计思路，路面的使用寿命大大延长，同时提升了整体的维护效率和经济效益。这种设计理念的应用不仅能确保道路在复杂环境下的长期稳定，还能有效应对日益严峻的交通压力和气候变化。

5 城市主干道路面结构设计方法改进的应用模式

5.1 差异化交通条件下的路面结构设计策略

差异化交通条件下的路面结构设计策略通过针对不同交通流量、荷载特性以及交通类型的变化，优化路面各层结构的设计。在四川某城市主干道的设计中，交通流量在高峰时段达到6万辆次，其中重型车占比高达30%。根据这些交通特征，采用了差异化设计策略，针对高流量、高载荷路段加厚面层和基层，增强其承载能力。而对于低流量、轻载荷的路段，则减少了路面结构层的厚度和强度，以降低建设成本并提高资源利用效率。通过对这些不同区域的荷载分布和交通模式进行精确分析，优化了路面结构的设计，使其能够根据实际交通条件在不同路段实现最佳性能。这一策略通过对交通特性与路面结构的匹配，避免了过度设计和资源浪费，同时提高了路面耐久性和维护周期。实际监测数据显示，采用差异化设计后，部分高流量路段的使用年限比传统设计延长了15%以上，降低了约20%的养护成本。

5.2 全寿命周期视角下的路面结构设计方法

全寿命周期视角下的路面结构设计方法侧重于从路面建设到养护、修复直至报废的全过程进行优化设计。在这一方法中，设计人员不仅考虑初期建设成本，还要对长期养护费用、结构维护和更新周期等因素进行综合评估。在四川某城市主干道的案例中，采用全寿命周期分析，预测了不同设计方案的维护成本和寿命。设计方案包括常规沥青路面与高性能沥青混凝土路面的对比分析。通过计算得出，后者在初期建设成本较高，但由于其更长的耐用期和更低的维护需求，整体寿命周期成本减少了18%。此外，采用先进材料和施工工艺提高了路面的抗疲劳和抗裂性能，延长了路面使用年限。全寿命周期方法能够在设计阶段提前评估未来的修复和维护需求，优化资金的分配，提高了投资效益和道路使用寿命。通过这种方法，路面设计不仅满足当前需求，还为

未来可能出现的交通荷载增长和环境变化做好充分准备^[4]。

5.3 结构设计与施工工艺协同优化模式

结构设计与施工工艺协同优化模式通过将设计阶段与施工工艺相结合，确保路面结构设计与施工过程之间的高度契合。在某市的主干道建设项目中，采用了这种协同优化模式，将施工工艺的可操作性和设计的精确性进行了统一。设计团队与施工单位密切合作，确保在施工过程中对路面结构的每一层进行精确铺设，避免了施工过程中由于工艺不当导致的设计失误。通过改进沥青混合料的拌合工艺，确保沥青与骨料的均匀性，提升了路面整体的抗压能力。同时，针对复杂的地质和交通条件，采用了适合的施工工艺，如低温沥青铺设技术，使得在高温环境下施工时，路面能够保持更好的稳定性与耐久性。通过这种协同模式，施工过程中的各项技术问题能够提前识别并解决，最大程度减少了施工中的不确定性和风险。监测结果表明，采用该模式的项目在施工质量和后期路面耐用性方面均优于传统方法，项目的提前交付率和维护周期也得到了大幅提升^[5]。

6 结语

通过对城市主干道路面结构设计方法的改进研究，可以发现，采用现代技术手段和优化设计策略，能够显著提升路面结构的性能和耐久性。基于交通荷载特征的结构优化、多层次路面结构力学响应分析及耐久性导向设计思路，为解决当前城市主干道面临的重载、高频交通问题提供了有效解决方案。此外，差异化交通条件下的设计策略、全寿命周期视角下的综合设计方法以及结构设计与施工工艺的协同优化模式，也展示了如何在设计和施工过程中实现资源的最大化利用，降低成本，提高路面的长期稳定性和安全性。未来，随着技术的进一步发展和交通环境的不断变化，城市主干道路面结构设计将更加注重创新和可持续性，为城市交通的顺畅与安全提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 王奕文.城市主干道沥青路面车辙病害深度超过25mm的处治方案优选[J].中华建设,2025,(12):162-164.
- [2] 张海威.城市主干道综合管廊深基坑钢板桩支护施工技术研究[J].现代工程科技,2025,4(18):29-32.
- [3] 边文政.城市主干道信号配时优化对车辆通行效率的提升研究[J].汽车画刊,2025,(08):29-31.
- [4] 韩君.城市主干道综合管廊深基坑钢板桩支护施工技术[J].交通科技与管理,2025,6(08):125-127.
- [5] 董周建,李建宏,王鹏,李征.城市主干道的细粒式沥青混凝土道路施工技术研究[J].建筑机械,2025,(03):262-267.