工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 7 卷◆第 11 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

不同结构层组合对道路使用性能的影响分析

梁海明
广东省路桥建设发展有限公司广韶分公司　广东清远　511600

DOI：10.12238/ems.v7i11.15999

［**摘　要**］交通网络的不断延伸，让道路成为经济发展的动脉，其使用性能直接关乎运输效率与行车安全。结构层组合作为道路性能的核心决定因素，不同类型的组合在承载、耐久、舒适等方面差异显著。本文深入剖析道路结构层组合研究现状与问题，系统梳理常见组合类型，细致解析其对道路使用性能的影响机制，针对性提出优化设计方法与实施措施，为道路建设质量提升筑牢理论根基，助力交通基础设施可持续发展。

［**关键词**］道路工程；结构层组合；使用性能；影响分析；优化设计

引言

随着城市化进程加快与区域经济交流日益频繁，道路建设迎来高速发展期。作为交通基础设施的关键载体，道路使用性能不仅直接影响车辆通行效率、驾乘舒适性，更与区域经济活力紧密相连。而道路结构层从抗滑耐磨的面层，到稳固承重的基层、底基层，各层的不同组合方式如同道路的“骨骼架构”，直接决定其整体性能表现。深入探究不同结构层组合对道路使用性能的影响，对优化道路设计、延长服役寿命、降低全周期成本意义重大。

一、道路结构层组合研究现状与问题

1.1 道路结构层组合的研究进展

近年来，道路结构层组合研究在理论与实践层面均取得显著进展。材料科学的突破为结构层创新提供可能，新型高性能沥青混合料、纤维增强混凝土等材料的应用，显著改善了道路结构性能。数值模拟技术的发展，使研究者能够借助有限元分析等方法，精准模拟不同结构层组合在荷载作用下的力学响应，优化层间参数设计。在设计理念上，逐渐从经验设计向基于力学计算的精准设计转变，同时考虑交通荷载、环境因素等多变量的耦合影响，建立了更科学的结构层组合设计模型。此外，国内外学者针对特殊地质条件、重载交通等场景开展专项研究，提出适应性结构层组合方案，推动道路设计技术不断进步。

1.2 当前道路结构层组合存在的主要问题

尽管研究成果丰硕，当前道路结构层组合仍存在诸多问题。部分设计对区域交通特性分析不足，未充分考虑重载车辆占比、交通流量变化等因素，导致结构层承载能力与实际需求不匹配，出现过早疲劳损坏。在材料选择上，存在盲目追求低成本而忽视长期性能的现象，如基层材料强度不足、面层材料抗老化性能差，降低了道路耐久性。层间结合处理技术重视程度不够，层间粘结强度低，易产生层间滑移、脱空等病害，影响道路整体受力性能。此外，既有研究多聚焦单一性能优化，缺乏对承载、耐久、舒适等性能的综合考量，难以实现道路结构层组合的整体最优设计。

1.3 结构层组合问题对道路性能的不利影响

道路结构层组合存在的问题对使用性能产生多方面不利影响。承载能力不足会导致路面出现车辙、沉陷等结构性病害，降低道路平整度，增加车辆行驶阻力，加剧轮胎磨损与燃油消耗。耐久性缺陷使路面材料过早老化、开裂，水分侵入后引发基层损坏，缩短道路使用寿命，增加养护维修成本。层间粘结不良破坏道路结构整体性，在车辆荷载作用下产生应力集中，加速路面损坏进程。舒适性与安全性方面，结构层组合不合理导致的路面不平整、抗滑性能下降等问题，易引发车辆颠簸、打滑，影响行车安全与驾乘体验，制约道路服务水平提升。

二、常见道路结构层组合类型及特点

2.1 柔性路面结构层组合类型

柔性路面结构层组合以沥青类材料作为面层，通过各结构层的协同作用实现道路功能。典型组合包括面层、基层、底基层与垫层，面层多采用沥青混凝土或沥青碎石，凭借良好的柔韧性与抗滑性能，适应车辆荷载变形，提供舒适的行车表面。基层一般选用级配碎石、水泥稳定碎石等材料，承担主要承重功能，将车辆荷载向下扩散。底基层和垫层则起到排水、隔水与稳定路基的作用。柔性路面具有行车舒适性好、噪音低、施工周期短等优点，能适应多种地质条件，但

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

抗疲劳性能相对较弱，在重载交通下易出现车辙、裂缝等病害，需要定期维护。

2.2 刚性路面结构层组合类型

刚性路面以水泥混凝土作为面层，凭借较高的强度与刚度，形成板体结构承受车辆荷载。常见结构层组合包括面层、基层和路基，面层通常采用素混凝土、钢筋混凝土或连续配筋混凝土，具有强度高、耐久性好、使用寿命长的特点，能有效抵抗重载车辆的反复作用。基层多选用水泥稳定类、石灰稳定类材料，为面层提供稳定支撑，防止不均匀沉降。刚性路面的优势在于承载能力强、养护周期长，但也存在施工技术要求高、接缝处理复杂、修复难度大等问题，车辆行驶时产生的噪音较大，且损坏后修复成本较高，对施工工艺与后期维护管理要求严格。

2.3 半刚性路面结构层组合类型

半刚性路面结合了柔性与刚性路面的特点，采用无机结合料稳定类材料作为基层，沥青混合料作为面层。基层材料如水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定土等，在初期具有一定柔性，后期随着材料硬化逐渐形成板体结构，具备较高的强度与稳定性。面层沥青混合料则保证了良好的行车舒适性与抗滑性能。半刚性路面兼具承载能力强、造价相对较低、施工便捷等优势，适用于各类交通等级道路，在我国公路建设中应用广泛。然而，半刚性基层存在收缩开裂的固有缺陷，裂缝易反射至面层，影响路面使用性能，需通过合理设计与施工措施加以预防和控制。

三、不同结构层组合对道路使用性能的影响机制

3.1 对道路承载能力的影响

道路结构层组合直接决定其承载能力。柔性路面通过各层材料的弹性变形分散荷载，面层的柔韧性使车辆荷载能够均匀传递至基层，但整体刚度较低，在重载交通下易产生累积变形。刚性路面凭借高强度的混凝土面层与稳定基层，以板体受力形式承受荷载，能够有效抵抗较大垂直压力，但对基层不均匀沉降敏感。半刚性路面基层硬化后形成的板体结构，与沥青面层协同工作，在保证一定柔性的同时，大幅提升承载能力。不同结构层的材料特性、厚度以及层间结合状态，共同影响荷载传递路径与应力分布，合理的结构层组合能够优化力学性能，提高道路承载能力，延长使用寿命。

3.2 对道路耐久性的影响

耐久性方面，结构层组合的影响体现在材料耐久性与结构耐久性两方面。柔性路面的沥青材料易受紫外线、温度变化影响老化，若基层排水不畅，水分侵入会加速沥青混合料剥落、松散；刚性路面混凝土的抗冻性、抗渗性以及基层的稳定性，决定其长期服役性能，混凝土开裂后易引发钢筋锈蚀、结构破坏；半刚性路面基层的收缩开裂问题，若未有效控制，裂缝会逐渐扩展并反射至面层，降低路面整体性与耐久性。此外，层间粘结性能差会导致水分渗入层间，加剧材料损坏。因此，选择耐久性好的材料，优化层间结合，合理设计排水系统，是提升道路耐久性的关键。

3.3 对道路舒适性与安全性的影响

道路舒适性与安全性很大程度上取决于结构层组合。柔性路面良好的柔韧性与平整度，能够有效缓冲车辆行驶产生的振动，降低噪音，提升驾乘舒适性；其抗滑表层设计保证了车辆在不同气候条件下的制动性能，提高行车安全性。刚性路面虽平整度较高，但由于接缝存在，车辆行驶时会产生颠簸，影响舒适性，且接缝处易积水，降低抗滑性能。半刚性路面结合了两者优势，通过优化面层沥青混合料级配与基层施工工艺，可在保证承载能力的同时，提升路面平整度与抗滑性能，为车辆提供舒适、安全的行驶环境。同时，合理的结构层组合还能有效减少路面病害，间接保障行车安全。

四、基于使用性能的道路结构层组合优化设计

4.1 优化设计的基本原则与目标

道路结构层组合优化设计需遵循多项基本原则。首先是适应性原则，根据道路功能定位、交通荷载特性、区域自然环境等条件，选择合适的结构层材料与组合形式；其次是经济性原则，在满足使用性能要求的前提下，综合考虑建设成本、养护成本与使用寿命，实现全周期成本最优；还要遵循可靠性原则，确保结构层组合具备足够的承载能力、耐久性与稳定性，保障道路长期安全运行。优化设计的目标是实现道路使用性能的综合提升，包括增强承载能力以适应交通发展需求，提高耐久性减少养护成本，改善舒适性与安全性提升服务水平，最终推动道路建设可持续发展。

4.2 结合交通荷载的组合优化策略

交通荷载是影响道路结构层组合设计的关键因素。对于轻交通道路，可适当降低结构层厚度，选用经济型材料，在保证基本使用性能的同时降低成本；中等交通道路需注重基

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

层强度与稳定性设计，采用半刚性基层搭配沥青面层的组合，提高道路承载能力；重载交通道路则应强化面层与基层的强度和抗疲劳性能，如采用高性能沥青混合料面层与大厚度水泥稳定碎石基层，优化层间粘结性能，确保结构层在重载车辆反复作用下不易损坏。此外，还需考虑交通流量的时空分布特点，对交通繁忙路段进行针对性结构加强，实现结构层组合与交通荷载的精准匹配。

4.3 考虑环境因素的组合调整方法

环境因素对道路结构层组合设计影响显著。在高温地区，应选用高温稳定性好的沥青混合料面层，增加基层的隔热性能，防止路面车辙与拥包；低温地区需提高路面材料的抗冻性能，采用防冻垫层，减少冻融循环对道路的破坏。多雨地区要加强路面排水设计，设置排水基层或垫层，及时排除渗入水分；干旱地区则需关注路面材料的抗老化与抗裂性能。对于特殊地质条件，如软土地基路段，需先进行地基处理，再优化结构层组合，增强道路整体稳定性。通过充分考虑环境因素进行结构层组合调整，能够有效提升道路对环境的适应性，延长使用寿命。

五、保障道路结构层组合优化效果的实施措施

5.1 精细化施工工艺与质量控制要点

精细化施工工艺与严格质量控制是保障结构层组合优化效果的关键。在材料施工环节，严格把控原材料质量，确保沥青、集料、水泥等材料性能符合设计要求；基层施工时，控制材料配合比、压实度与平整度，采用分层摊铺、分层压实工艺，保证基层均匀密实；面层施工中，精确控制摊铺温度、速度与碾压遍数，避免出现离析、压实不足等问题。加强层间处理，采用喷洒透层油、粘层油等方式增强层间粘结力。建立全过程质量检测体系，对关键指标如压实度、厚度、平整度等进行实时监测，及时发现并纠正施工偏差，确保施工质量符合设计标准，实现结构层组合的预期性能。

5.2 全周期养护管理体系的构建思路

构建全周期养护管理体系有助于维持道路良好使用性能。在道路运营初期，加强日常巡查与预防性养护，及时处理轻微病害，如填补裂缝、修复坑槽，防止病害扩大；定期对路面使用性能进行检测评估，利用先进检测技术掌握路面结构状况变化。根据检测结果，制定科学合理的养护计划，针对不同阶段的病害特点，采用矫正性养护、大中修等措施恢复路面性能。建立养护数据库，记录养护历史与路面性能数据，为后续养护决策提供依据。同时，推广智能化养护技术，实现养护资源的精准调配，降低养护成本，延长道路使用寿命，保障结构层组合优化效果的长期稳定发挥。

5.3 技术标准与规范的完善方向

完善技术标准与规范是推动道路结构层组合优化的重要保障。应结合新材料、新技术的发展，及时更新设计规范，补充新型结构层组合的设计方法与参数要求，明确不同交通荷载、环境条件下的结构层选型指南。在施工规范方面，细化特殊结构层组合的施工工艺与质量控制标准，加强层间处理、材料摊铺碾压等关键工序的技术指导。养护规范需进一步完善路面性能检测评估方法，制定针对性的养护策略与技术要求。此外，加强标准规范的宣贯培训，提高设计、施工、养护人员对规范的理解与执行能力，确保道路结构层组合优化设计在工程实践中得到有效落实，推动道路建设行业技术水平提升。

六、结论

不同道路结构层组合对使用性能的影响贯穿承载、耐久、舒适与安全等多个维度。通过系统分析研究现状与常见组合类型，明晰其影响机制，并从设计优化、施工控制、养护管理与标准完善等多方面采取措施，能够显著提升道路使用性能。未来，随着交通需求演变与技术创新，需持续探索新材料、新结构、新工艺在道路结构层组合中的应用，进一步优化设计理念与方法，推动道路建设向更高质量、更可持续方向发展，为经济社会发展提供坚实的交通基础设施支撑。

[参考文献]

[1]苏雨泽.基于软弱地基的道路工程结构设计与地基处理方案研究[J].福建建筑，2024，(09)：103-106.

[2]冯彬.水泥稳定花岗岩碎石半刚性基层沥青路面长期性能研究[D].重庆交通大学，2024.

[3]仇云强.建筑垃圾再生骨料在道路结构层中的应用技术研究[D].河北工业大学，2023.

[4]年迪.新疆戈壁砾石土路基复合式路面结构性能试验与数值仿真分析[D].新疆农业大学，2023.

[5]张定一.基于 FWD 的既有路基路面结构及材料性能发展规律研究[D].东南大学，2023.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.