

高速公路施工中路基处理及路面结构优化技术研究

文 / 胡 琴 安徽省交控建设管理有限公司

摘要: 高速公路作为现代交通运输的重要载体,其建设质量直接关系到社会经济的发展和人民生活的便利。本文深入探讨了高速公路施工中路基处理技术的理论基础与实践应用,重点分析了不同地质条件下的路基处理方法及其效果评估与改进措施。同时,文章从路面结构设计的基本原则出发,提出了路面结构层次的优化策略,并就路面材料的耐久性与经济性进行了系统分析。此外,本研究还探讨了路基与路面的协同作用机制,提出了路基与路面材料匹配性分析及优化施工工艺。最后,文章展望了新材料、智能化技术、绿色环保技术在路基与路面优化中的应用前景,为高速公路建设的可持续发展提供了新的思路。

关键词: 高速公路施工;路基处理;路面结构;优化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.060

引言

随着我国经济的快速发展,高速公路作为重要的交通基础设施,其建设质量和使用寿命备受关注。路基作为公路的基础,其稳定性和承载力直接影响着路面的整体性能。同时,路面结构的合理设计与优化也是确保公路耐久性和行车舒适性的关键因素。因此,如何在高速公路施工中进行科学的路基处理和路面结构优化设计,成为当前亟须解决的重要课题。

一、路基处理技术的理论基础与应用

(一) 路基处理技术的理论基础

路基处理是提高道路基础稳定性和承载能力的重要步骤,尤其在软弱地基或特殊土质区域,路基处理的效果将直接影响公路的使用寿命。其理论基础主要涉及土体的力学性质、地基承载力及其变形特性。地基处理技术主要解决软土、膨胀土和湿陷性黄土等复杂地质条件下的地基沉降和稳定性问题。通过对土体颗粒的结构、孔隙比、含水量等因素的研究,制定适应不同地质条件的技术方案,以确保路基能够提供长期稳定的支撑力。

通常,地基承载力理论基于极限状态设计理论,通过分析土体的抗剪强度、压缩性和膨胀性等参数,预估其在不同荷载作用下的稳定性。对于软土地区,可能采用换填、预压、加筋等措施提高地基承载力;而对于湿陷性黄土或膨胀土,则需通过特殊的处理方法如化学加固或排水固结,控制地基的不均匀沉降和膨胀变形。

(二) 路基处理方法分类及技术特点

常见的路基处理方法可分为换填法、排水固结法、化学加固法、加筋法等几大类。换填法是将软弱土层挖除,换填强度较高的材料,适用于浅层软土地基;排水固结法通过设置垂直排水体,加速土体固结,提高地基承载力;化学加固法则是向土体中掺入水泥、石灰等胶凝材料,增强土体的抗剪强度;加筋法是在土体中布置高强度的材料,如钢筋、土工格栅等,提高土体的整体稳定性。不同的路基处理方法各有优缺点,需根据实际

工程条件和技术经济指标进行选择。

(三) 路基处理技术的效果评估与改进

在路基处理工程中,技术的效果评估尤为关键。通过载荷试验、沉降观测和土体力学测试,评估路基处理的承载力、沉降量及其稳定性。通常采用静态载荷试验或动态载荷试验,模拟实际交通荷载下的地基沉降和变形情况,从而验证路基处理技术的效果。沉降观测则是通过定期测量地基沉降量,分析其在不同季节和荷载条件下的变化,确保路基在长期荷载作用下保持稳定性。



图1 高速公路路基施工

随着科技的进步,智能监测技术的引入使得施工过程中的实时监控和反馈成为可能,通过传感器技术和大数据分析,能够及时发现施工中的潜在问题并调整施工参数,从而大幅度提高路基处理技术的可靠性。通过不断改进和优化施工工艺,提升路基的承载力和耐久性,为高速公路的长期稳定运行提供有力保障。

二、路面结构的优化设计

(一) 路面结构设计的基本原则

路面结构设计的基本原则包括安全性、耐久性、舒适性和经济性。安全性要求路面具有良好的抗滑性能和平整度,减少交通事故的发生;耐久性要求路面能够抵抗车辆荷载和环境因素的长期作用,延长使用寿命;

舒适性要求路面具有良好的平顺性和噪音控制性能，提高行车的舒适度；经济性则要求在满足使用要求的前提下，尽可能降低路面的全寿命周期成本。因此，路面结构的优化设计需要在上述原则之间寻求平衡，既要保证路面的使用性能，又要兼顾工程的投资效益。



图2 高速公路路面施工

（二）路面结构层次的优化策略

路面通常分为面层、基层和底基层，每一层的设计优化对提升路面的整体性能起着关键作用。面层作为直接与交通荷载和自然环境接触的部分，材料的选择至关重要，通常采用沥青混凝土或水泥混凝土。沥青混凝土具有良好的抗疲劳性能和抗滑性能，适合高交通量的公路；水泥混凝土则因其高强度和耐久性，适用于重载交通和特殊气候区域。

基层和底基层的设计主要注重其承载能力和排水性能。通过采用级配碎石或稳定土基层，可以有效增强结构层的承载力和抗剪强度。此外，基层和底基层之间应有良好的排水系统，避免雨水侵蚀路基，造成路面损坏。通过引入透水性材料或设置排水层，可以显著提高路面的耐久性。

（三）路面结构设计的耐久性与经济性分析

路面设计中，耐久性和经济性的平衡是一个重要的考量因素。高性能的路面材料虽然成本较高，但其良好的耐久性和抗疲劳性能能够减少后期的维护费用，降低全生命周期成本。例如，使用改性沥青或纤维增强材料能够显著延长路面的使用寿命，减少车辙和开裂问题。

此外，路面的经济性不仅体现在材料成本上，还涉及施工和维护的便利性。通过优化路面结构层次和合理选择材料，能够在保持高性能的同时，控制初期投资。结合实际路面使用情况，对不同材料的疲劳特性、抗裂性能进行分析，可为路面优化设计提供可靠依据，实现耐久性与经济性的最佳结合。

三、路基与路面联合优化技术研究

（一）路基与路面协同作用机制

路基和路面作为高速公路的重要组成部分，二者之间存在着复杂的相互作用和影响机制。路基的沉降和变形会使路面结构承受额外的应力，加速路面损坏的进程。一旦路基出现不均匀沉降或局部失稳，将导致路面出现纵向裂缝、块裂等病害，严重影响行车安全和舒适性。因此，在路基设计时，必须充分考虑上部路面的荷载传递特性，合理控制路基的变形量，为路面结构提供稳定可靠的支撑基础。

路面结构的刚度和厚度分布也会影响到车辆荷载在路基中的分散和传递路径。路面的结构组成和材料特性决定了其应力扩散能力和承载机理。例如，沥青混凝土路面具有良好的柔性和黏弹性，能够有效缓冲车辆荷载的动力冲击，延缓传递至路基的应力波动；而刚性水泥混凝土路面则具有更高的弯拉强度和板体刚度，可将车辆荷载更多地分散到广泛的路基范围内。

（二）路基与路面材料的匹配性分析

路基和路面材料的合理搭配是保证高速公路整体服役性能的关键因素。二者材料特性的匹配性直接影响着车辆荷载在路基路面系统中的传递与分散效果，进而决定了公路结构的受力状态和损坏模式。因此，在进行联合优化设计时，必须重点分析路基土质特点与路面材料性能的适应性，合理选配路面结构层组合，确保路基路面系统的协调工作。

路基是由不同土质组成的多层介质，各土层的物理力学性质存在显著差异。例如，粉质黏土路基的抗剪强度和压缩模量普遍较低，而砂砾石路基则具有较高的承载力和透水性。针对软土路基，在选择路面结构型式时，宜采用柔性沥青路面或半刚性基层的组合，通过增厚基层或设置防裂层的方式，减小软基对面层的不利影响，延缓路面开裂和车辙的发生。而对于强风化岩路堑路段，由于路基刚度较高，可采用刚性水泥混凝土路面，发挥其高强度和耐久性的优势，有效抵抗雨水冲刷等不利因素的影响。

（三）路基与路面优化的施工工艺

先进合理的施工工艺是路基路面优化设计得以有效实现的重要保障。施工质量的优劣直接决定了路基和路面结构能否充分发挥设计性能，进而影响整条高速公路的使用寿命和养护成本。因此，在进行路基路面联合优化时，必须高度重视施工工艺的合理性和可操作性，从材料选择、场地准备到压实养生等各个环节，严格把控施工过程，确保优化设计效果的充分体现。

在路基施工中，填料的选择和压实度控制是影响路基性能的关键因素。填料应优先选用强度高、变形小的砂砾石材料，并控制其最大粒径和含泥量，以改善路基

的抗变形能力。对于细颗黏性土填料，应严格控制含水率，宜采用分层填筑、分段压实的施工方法，避免因含水量过高导致的局部软弱或不均匀沉降。在填筑过程中，应根据路基高度和填料性质，合理选择碾压设备组合和碾压遍数，确保各层填料的压实度满足规范要求。对于软土地基，可采用强夯置换、水泥粉喷桩等地基处理措施，提高地基承载力和整体稳定性。

（四）路基与路面优化技术的成本效益分析

路基路面优化技术的应用不仅要考虑其技术可行性和实用性，更要权衡其经济合理性和投资效益。从全寿命周期的角度评估各种优化技术方案的成本收益，选择经济技术最优的实施方案，是工程管理者必须重视和把握的重要原则。这就需要运用科学的经济评价方法，兼顾工程造价、使用性能、养护费用等多个因素，对不同优化技术的成本效益进行系统分析，为工程决策提供量化依据。

在进行路基路面优化技术的成本效益评价时，应首先测算各方案在建设期的直接费用，包括材料费、人工费、机械费等，同时还要考虑各工艺环节的辅助费用，如材料运输、质量检测等。在此基础上，还要预估优化技术应用带来的后期养护费用的节约，如优化后路面的预期使用年限、日常保养周期和大中修频率等，据此估算养护费用的贴现值。

四、路基与路面优化技术的未来发展方向

（一）新材料在路基与路面优化中的应用前景

新材料技术的进步为路基与路面优化提供了更多可能。例如，采用中空微珠混凝土替代传统水泥稳定碎石，可显著降低基层的容重，减轻路基压力；在路面中掺入橡胶粉、玄武岩纤维等功能性材料，则能改善路面的抗疲劳和抗车辙性能。此外，新型土工合成材料，如土工格栅、土工布等，在路基加固与排水方面亦展现出广泛的应用潜力。这些新材料的应用，不仅优化了路基路面的功能表现，还促进了公路建设的绿色转型与可持续发展。展望未来，应持续加大新材料研发力度，健全相关技术标准体系，加速其在工程实践中的大规模推广与应用。

（二）智能化技术在路基与路面施工中的应用

智能化技术的应用为路基与路面的施工带来了全新的技术手段。通过传感器和智能监测系统，施工过程中的实时监控成为可能，确保施工的精度和质量。此外，智能化设备的应用能够显著提升施工效率，减少人为因素对施工质量的影响。在未来的路基与路面优化中，智能技术不仅能够帮助进行精细化施工，还能通过大数据分析对道路性能进行预测和优化。智能化的施工工艺和管理系统将成为未来高速公路施工技术发展的重要方向。

（三）绿色环保技术在路基与路面优化中的应用

随着生态文明建设的不断推进，绿色环保理念已成为公路建设的重要导向。在路基路面优化中，应积极采用节能、减排、低碳的新技术和新工艺。例如，推广温拌沥青混合料，在降低能耗的同时，还能减少废气和烟尘的排放；采用就地冷再生技术对旧路面进行翻修，可最大限度地实现材料的循环利用；在边坡防护中引入植被固土技术，既能够起到加固作用，又能够改善路域生态环境。将绿色环保理念贯穿到路基路面优化的全过程，对于实现公路建设与环境保护的协调发展具有重要意义。

（四）综合技术的融合与创新

未来路基与路面优化技术的发展，需要多学科、多领域的交叉融合和协同创新。应充分发挥土木、材料、机械、信息等学科的优势，研发集成化、系统化的技术解决方案。例如，将路基处理技术与现代信息监测技术相结合，建立路基全寿命周期性能评估体系；融合材料学、结构力学和道路工程学的研究成果，开展路面结构的多尺度分析与优化；综合应用智能装备与数字孪生技术，实现施工过程的可视化管控和精细化施工。

结束语

路基处理和路面结构优化技术在高速公路施工起着至关重要的作用。通过合理的路基处理技术，能够确保道路基础的稳定性和承载力；通过优化路面结构设计，则可以提高道路的使用寿命和行驶舒适度。未来，随着智能化技术、新材料以及绿色环保技术的不断发展，高速公路的路基与路面优化技术将朝着更加智能、高效、环保的方向发展。本文通过对路基处理和路面结构优化的系统分析，为相关技术的应用和改进提供了理论支持与实践指导。希望本研究能够为高速公路的未来建设提供有力的技术保障，为推动道路建设的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 葛宏雁. 高速公路改扩建工程路基路面拼接施工技术管理探析[J]. 工程机械与维修, 2023(01)
- [2] 马书红, 王元庆, 岳敏, 等. 高速公路建设管理现代化理论研究与实践探索[J]. 公路交通科技, 2022(12)
- [3] 耿健晨. 高速公路工程试验检测与质量控制措施[J]. 运输经理世界, 2023(06)
- [4] 崔柳. 路桥施工技术及其质量控制措施的分析研究[J]. 黑龙江科技信息, 2016(04)
- [5] 殷辉. 公路桥梁施工中钻孔灌注桩的质量控制措施探析[J]. 中国设备工程, 2021(11)

作者简介：胡琴（1976-），女，汉族，安徽合肥人，本科，工程师，研究方向为工程建设管理。