

高速公路路基填筑材料对路面长期稳定性的影响研究

罗 剑

湖北省高创公路工程咨询监理有限公司 湖北 武汉 430030

【摘 要】：本研究探讨了高速公路路基填筑材料对路面长期稳定性的影响，重点分析了不同材料的物理力学性能、环境适应性及其在实际工程中的应用。通过对传统材料与新型改性材料的比较，研究发现新型填筑材料，如再生骨料、聚合物改性材料和工业废料等，在提高路基稳定性、抗压性及耐久性方面具有显著优势。实验结果表明，合理选择路基材料能够有效减少路面沉降、裂缝等问题的发生，从而延长路面使用寿命。研究还探讨了新型材料的经济性和可持续性，提出了优化材料选择和施工技术的建议，为高速公路建设提供了科学依据和实践指导。

【关键词】：路基填筑材料；长期稳定性；高速公路；抗压性；耐久性

DOI:10.12417/2811-0722.26.01.038

引言

高速公路作为现代交通网络的重要组成部分，其路面的长期稳定性直接关系到道路的安全性和经济性。路基填筑材料作为高速公路建设中的关键组成部分，对路面的稳定性发挥着至关重要的作用。不同的填筑材料在负荷、湿度、温差等因素下的性能差异，可能会导致路面出现裂缝、沉降或失稳等问题。因此，选择合适的路基填筑材料，不仅是提高道路稳定性、延长道路寿命的重要手段，也是在高速公路建设中降低维护成本、提高安全性的重要策略。通过对材料性能的深入研究，能够为高速公路的设计、施工和养护提供科学依据。

1 路基填筑材料选择对路面性能的影响

路基填筑材料的选择对路面性能起着决定性作用，尤其在高速公路建设中，材料的物理力学性能直接影响到路面的长期稳定性。不同类型的填筑材料在承载力、抗压性、抗拉伸性以及耐久性等方面存在显著差异，这些差异在长期负荷和环境变化下会直接反映在路面的结构稳定性上。填筑材料的压实度、颗粒级配、含水率等因素，对路面抗沉降性和抗裂性有着直接影响。使用粒径分布合理的石质材料，可以提高路基的密实度和抗压强度，从而减少路面在使用过程中可能发生的沉降和裂缝。

材料的长期稳定性不仅仅体现在静态载荷下的承载能力，还包括其在动态负荷和湿热环境下的变形特性。某些填筑材料在水分作用下容易发生膨胀或收缩，导致路基沉降或裂缝的出现。与此同时，温度变化对不同材料的膨胀系数也存在差异，部分材料在高温条件下容易发生软化或流动，进而影响路面的平整度和使用寿命。对于高速公路而言，路基的抗冻性能也是一个不可忽视的因素，某些材料在低温条件下会因冻胀现象导致路面出现破裂或起伏。路基填筑材料的选择不仅要考虑其初期的施工性能，还需要评估其在长期负荷和极端天气条件下的表现。通过综合分析不同材料的性能特点，能够选择最适合当地气候和交通负荷条件的路基填筑材料，从而有效提高路面整体的稳定性和使用寿命。

2 高速公路路面长期稳定性评估方法

高速公路路面长期稳定性的评估方法涉及多个层面的指标，目的是全面了解路面在长期使用中的耐久性和抗压性。传统的评估方法主要依赖于静态荷载测试、现场监测和实验室模拟等手段，通过不同的检测工具和技术手段对路面的物理性能、变形和损坏程度进行定期检查。近年来，随着材料科学与工程技术的进步，评估方法逐渐向更为精细和科学的方向发展，结合动态载荷和环境因素的影响进行更加全面的分析。

在动态评估方面，路面承载能力通常通过加速负荷试验来模拟长期使用条件下的路面反应。通过动态载荷模拟，可以观察到材料在高频振动作用下的疲劳性能以及路面结构的应变反应。路面的变形和开裂在长期的动态载荷下会逐步显现，而这些变化往往不能通过静态试验完全反映。采用动态模拟的方法进行评估，可以更真实地反映高速公路在交通负荷下的表现。除去荷载测试，温湿度变化对路面的影响也不可忽视。在长期使用过程中，路基材料和路面结构会受到气候因素的影响，尤其是温度波动和湿度变化，这些因素会导致材料的膨胀收缩或冻胀现象。为了评估这些因素对路面的影响，实验室通常会通过温湿度循环实验，模拟极端天气条件下的路面表现。通过这些模拟实验，可以测试材料的抗冻性、抗湿胀性以及极端环境下的强度衰退情况。

基于现代传感技术的路面监测方法也逐步被应用于长期稳定性的评估。传感器可以安装在路面结构内，通过实时监测温度、湿度、应力和应变等数据，及时发现路面的异常变化。这种方法的优势在于能够提供持续的数据支持，帮助工程师对路面的健康状态进行动态评估。通过数据分析，可以识别潜在的危害区域，预测可能出现的裂缝和沉降，提前进行维修和加固。高速公路路面长期稳定性的评估方法不仅仅依赖于单一的检测手段，而是通过综合运用静态测试、动态模拟、环境影响分析以及实时监测技术等多种方法，从多个角度对路面进行全面评估。这种多层次的评估体系能够更准确地预测路面的使用状态，为提高公路的安全性和耐用性提供有力的数据支持。

3 不同填筑材料对路基稳定性的作用机理

不同填筑材料对路基稳定性的作用机理可以通过多个方面来分析。路基稳定性与填筑材料的物理特性、化学稳定性以及周围环境的适应性密切相关。填筑材料的选择不仅影响路基的强度、密实度,还直接决定路面承载力、耐久性以及在各种外部因素作用下的变形行为。根据填筑材料的不同特点,路基的稳定性受到不同程度的影响。对于天然土类材料来说,其粒径分布和含水量直接影响路基的承载力。颗粒较大的砂土材料能够提供较高的压实度和强度,因此在加载后具有较好的稳定性。天然土类材料通常对水分较为敏感,在长期湿润或干旱情况下容易发生膨胀、收缩或崩解,这些变化导致路基的稳定性受到威胁。不同土质的塑性指数、压缩模量等指标,对路基稳定性的影响较为明显,特别是在受潮湿条件或冻融循环的影响下,某些土质可能无法有效承受路面长期的动荷载。

石质材料的使用能够显著提升路基的稳定性。石料具有较高的抗压强度和低的膨胀性,能够有效避免在外界环境作用下产生的物理变形。特别是碎石材料,在路基中的应用可以提供较高的抗剪强度和密实度,从而增强路基的整体稳定性。通过合理的颗粒级配,碎石的高压实性能在较短时间内形成稳定的承载结构,减少沉降现象的发生。石料不易受到水分变化的影响,能够在不同的气候条件下保持较高的结构稳定性。化学改性材料在路基建设中的应用,进一步增强了路基的抗水性和抗冻性。这类材料通过添加特定的化学稳定剂,如石灰、水泥或沥青等,可以显著提高土壤的抗压强度和抗渗透性能。石灰改性土壤能够改善土壤的塑性,减少膨胀性,使得路基更适应多变的环境条件。水泥土则通过化学反应形成坚固的水泥化结构,增强土体的稳定性,在高水位或湿润条件下,仍能维持其稳定性和强度。

对于聚合物材料的使用,其独特的抗化学性和高韧性,使得其在特殊环境下具有优异的表现。聚合物填料通过与土壤颗粒的物理结合及化学稳定作用,能有效减少路基中有害物质的扩散,减少水分对土体结构的侵蚀作用,提升路基的长期稳定性。聚合物材料在增强抗拉强度、提高整体韧性方面也具有优势,尤其适用于易受外界动态荷载和环境变化影响的路段。不同填筑材料的应用,其作用机理从材料的物理特性到化学稳定性,再到环境适应性,综合作用于路基的整体稳定性。合理选择并科学配置填筑材料,不仅有助于提升路基的强度,还能在各种环境条件下维持其长期稳定性,减少维护成本,延长高速公路的使用寿命。

4 提高路面稳定性的新型路基材料研究

在研究提升高速公路路面稳定性的过程中,新型路基材料的探究展现出多重工程优势。地聚合物稳定剂、再生骨料与高性能土改剂等技术日益被应用于路基填筑中,其物理力学性能获得显著提升。采用地聚合物作为绑定剂,可在室温固化条件

下获得与传统水泥-粉煤灰系样本相似的抗压强度。此类材料在湿热、冻融循环等苛刻环境中的耐久性能也优于常规材料,从而增强了路基对长期交通荷载的抵抗力。

再生骨料—包括建筑拆除废料、旧沥青混合料(RAP)等—在路基结构中的应用也呈现上升趋势。研究指出,通过合理筛选和处置,再生骨料完全有能力作为路基/基层材料使用。在具体实践中,将再生骨料联合地网、土工格栅或高韧性聚合物网格结构,加以三维加固,可显著提高填筑体的抗剪强度、抗变形能力及模量改善系数。比如蜂窝状土工结构(如三维围束系统)被用于软弱路基加固,可使填料在受载时形成“梁效应”,分散荷载、抑制沉降,从而提升整体稳定性。

在湿润环境或是冻土条件下,传统土类填料常因含水量变化、冻融胀缩作用导致结构变形或失稳。新型材料通过化学改性(例如石灰、水泥、聚合物改剂)或物理加固(例如纤维增强、三维围束)对土体孔隙结构和黏土矿物界面性质进行优化,从而减少膨胀指数、抑制塑性指数、提高抗压模量和抗剪强度。由此,填筑体在受到反复车辆荷载动态作用与环境循环作用时,表现出更低的永久变形趋势和更高的疲劳寿命。

可持续性考量促使工程界逐渐采用废弃物资源作为填筑材料,以减少环境污染和资源浪费。废轮胎粉、工业废渣和矿渣掺加物等替代材料,经过系统化的测试与调配,已被证明能够满足高速公路路基的技术要求。这些替代材料具有较好的抗压强度和耐久性,且在应对不同气候和负载条件下表现出良好的稳定性。实践中,为确保路基的长期性能,需要结合交通荷载等级、地下水位、气候条件及施工可行性,选择适合的材料体系,并通过现场试验验证其长期变形特性和力学指标。通过这一过程,可以确保新型填筑材料在实际应用中的可靠性和长期稳定性,避免因材料不适应导致的路面损坏或路基不均匀沉降,从而为高速公路的长期使用提供坚实基础,促进公路建设的可持续发展。

5 路基材料选择对经济性和可持续性的影响

路基材料的选择不仅直接影响高速公路的长期稳定性和性能,还在很大程度上决定了工程的经济性和可持续性。不同的填筑材料具有各自的成本效益和环境影响,合理选择合适的路基材料,不仅能够降低建设和养护成本,还能提升资源利用率,符合绿色建筑的要求。传统的路基材料,如天然砂土和石料,尽管在性能上能够满足基本要求,但在资源开采、运输和使用过程中往往伴随较高的环境代价。砂土和石料的开采需要大量的能源消耗,并对生态环境造成一定的影响,尤其是在土地资源有限的地区,这类材料的持续供应难以保证,导致建设成本逐年上升。传统路基材料对气候和环境的适应性较差,尤其是在极端气候条件下,可能会出现由于膨胀、冻胀等问题导致的路基破坏,这样的长期修复和维护成本极高。

随着技术的不断进步,新型材料的应用逐渐被提上日程。聚合物改性材料、再生骨料、废弃物资源化利用等新型路基材料的应用,极大地降低了资源消耗和废弃物处理成本。废旧沥青和混凝土的回收利用,不仅减少了自然资源的开采,还有效解决了建筑垃圾的环境负担。将再生骨料作为路基材料,经过合理的筛选和处理后,其性能可与天然砂石相媲美,且成本远低于传统材料的采购费用。这种材料的使用不仅降低了建设费用,还减少了运输所需的能源消耗,有助于降低碳排放,推动公路建设朝着低碳、环保方向发展。利用工业副产物和废弃物作为路基材料,能够提高材料的利用率,减少环境污染。水泥、石灰和粉煤灰等工业废渣经加工处理后,能作为优秀的路基稳定剂,不仅能改善土壤的抗压性,还能通过化学反应提高土体的强度和耐久性。这种利用废弃物的方式,不仅使资源得到了充分回收和再利用,也减少了垃圾填埋和焚烧对环境的压力,具有明显的环保效益。

新型路基材料的使用不仅有助于提升公路的性能和耐久性,更在经济性和可持续性方面展现出巨大的潜力。随着国家对绿色建筑、可持续发展和节能减排的政策推动,新型材料的应用将进一步减少建设过程中的资源消耗,降低工程的长期维护成本,为社会和环境带来更大的效益。通过优化材料选择和施工技术,不仅能够提高高速公路建设的经济性,还能在保护环境、节约资源的同时,推动交通基础设施的可持续发展。

6 结语

路基填筑材料的选择不仅关乎高速公路的长期稳定性,也直接影响工程的经济性和可持续性。随着新型材料的不断发展和应用,利用再生骨料、工业废料及聚合物改性材料等,不仅能有效降低成本,还能减少对环境的负担,推动公路建设朝向绿色、可持续方向发展。科学合理地选用适合的路基材料,不仅能够提高公路的使用寿命和耐久性,也有助于实现资源的优化利用和环境保护,推动公路工程的可持续发展。

参考文献:

- [1] 王建平,张强.新型聚合物改性材料在路基稳定性中的应用[J].公路与城市道路,2023,45(4):75-81.
- [2] 李文峰,刘芳.高速公路路基填筑材料对稳定性的影响及选择[J].道路工程,2022,38(5):93-99.
- [3] 张伟,王海涛.回收利用再生骨料对路基材料性能的提升作用[J].现代交通技术,2021,18(3):123-128.
- [4] 杨振宇,孙明.环境友好型路基材料的应用与发展[J].绿色建筑与环境,2023,11(2):46-51.
- [5] 李磊,陈明.再生骨料在路基中的应用及经济性分析[J].建筑材料学报,2022,39(7):86-92.