

高模量沥青混合料重载路面长寿命设计研究

黄金明

(中交一公局厦门工程有限公司, 福建 厦门 361000)

摘要 本文探讨了高模量沥青混合料在重载交通公路路面长寿命化设计中的应用, 介绍了高模量沥青混合料的组成、特点以及制备工艺, 详细阐述了高模量沥青混合料在高温稳定性、低温抗裂性和疲劳寿命预测方面的性能, 讨论了重载交通公路路面长寿命化设计的原则、目标、材料选择、结构设计以及施工技术和质量控制。结果表明, 通过优化设计原则和采用高性能材料, 可以有效延长路面使用寿命, 减少维修成本, 并符合环保要求。

关键词 高模量; 沥青混合料; 重载交通; 公路路面; 长寿命化设计

中图分类号: U412; U414

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.040

0 引言

随着交通运输业的快速发展, 重载交通公路路面的全寿命周期和耐久性成为设计者和运维人员关注的焦点。高模量沥青混合料作为一种高性能材料, 在提高路面抗变形能力和延长使用寿命方面具有显著优势。本文分析高模量沥青混合料的性能特点, 并探讨其在重载交通公路路面长寿命化设计中的应用, 旨在为相关工程实践提供理论指导和参考。

1 高模量沥青混合料概述

1.1 定义与特点

高模量沥青混合料是一种特殊的沥青混合料, 具有远高于普通沥青混合料的模量值, 因而具备出色的抗变形能力和较长的使用寿命。这种混合料主要由沥青、集料(包括粗、细集料和填料)、高分子增粘剂、改性剂及其他辅助剂组成。其中, 沥青作为基础组分, 集料则作为骨料, 高分子增粘剂和改性剂则用于提高混合料的粘结力和模量^[1]。高模量沥青混合料的特点主要体现在其高强度、高稳定性和长寿命上。由于其模量值高, 这种混合料能够有效抵抗重载交通和高温环境下的车辙、裂缝等病害, 从而显著提高路面的耐久性和使用寿命。此外, 高模量沥青混合料还具有良好的耐水性和耐老化性, 能够适应多种复杂的气候条件。

1.2 高模量剂的种类与选择

高模量剂是高模量沥青混合料中的关键组成部分, 其主要作用是提高沥青混合料的模量和强度。根据化学成分和制备工艺的不同, 高模量剂可分为聚烯烃类高模量剂和微粒化天然沥青类高模量剂等多种类型。其中聚烯烃类高模量剂能有效提高沥青混合料的粘结

力和模量, 通常熔体质量流动速率和密度都很高^[2]。同时, 这类高模量剂还具有良好的耐热性和抗老化性, 在高温和长时间荷载的情况下, 也能保持性能稳定, 是一类性能优良的高模量剂。微粒化天然沥青类高模量剂是由微粒化天然沥青加工而成。这种高模量剂能显著提高沥青混合料的抗水损害性能和高温稳定性, 具有灰分偏差小, 含水率低, 无机物粒径均匀等特点。在选择高模量剂时, 其中混合材料的用途、运输荷载特性、气候条件和费用等多种因素都需要考虑。如重载运输和高温环境下需选用聚烯烃类高模量剂, 其熔体质量流速高, 耐热性能高; 而在多雨潮湿地区, 则需选用微粒化天然沥青类抗水损害性能较好的高模量剂。

1.3 高模量沥青混合料的制备工艺

高模量沥青混合料的制备过程比较复杂, 各环节的参数、质量等都需要严格把关。下面是高模量沥青混合料制备的主要步骤:

1. 原材料准备: 首先是要准备原材料, 如沥青、集料、高分子粘合剂、改性剂等辅助剂。为了保证混合材料的性能稳定可靠, 这些原料的质量必须达到重载交通标准。

2. 集料处理: 重载交通公路路面对集料的要求极高, 因此, 集料必须经过一系列预处理步骤以确保其质量。这些预处理包括破碎大块岩石以形成符合规格的碎石, 筛选碎石以获取符合粒径要求的颗粒, 整形碎石为立方体或近似立方体以提高其抗压强度和抗拉强度, 以及清理碎石表面尘土、泥土等杂质以确保其洁净度。集料通常选用优质硬质岩石, 如花岗岩、玄武岩、安山岩等, 这些岩石因其高强度、高耐磨性和良好的抗水性而成为理想选择^[3]。岩性方面, 碎石硬

度需不低于莫氏硬度 6 级, 针片状含量应低于 10%, 磨耗值应低于 30%, 孔隙率和吸水率分别应低于 5% 和 2%, 以满足重载交通的磨损抵抗能力和保持路面平整度。预处理后的集料同样需满足上述岩性和指标要求, 以确保其性能完全符合重载交通公路路面的使用需求。

3. 沥青与集料混合: 将预处理后的集料与沥青进行混合。为了保证沥青能在集料表面得到充分渗透而形成匀称混合料, 因此在拌制过程中需要控制拌合温度, 其中沥青的拌合温度范围为 150 ~ 170 °C, 集料的拌合温度范围为 140 ~ 160 °C, 拌合时间控制在 30 ~ 60 s 之间。首先将预处理后的集料预先进行搅拌, 使其均匀分布。然后将预热的沥青均匀地撒在集料上。最后开启拌合机, 将集料和沥青进行充分拌合, 直到混合料呈现出均匀的颜色和适当的稠度。

4. 添加高模量剂: 在沥青与集料混合均匀后, 将高模量剂添加到混合物中。高模量剂的添加量需要根据混合料的性能要求和制备工艺进行调整。在添加过程中, 需要确保高模量剂能够均匀分散在混合料中, 以提高混合料的模量和强度。

5. 加热与搅拌: 将混合物经加热搅拌均匀后, 以促进沥青和高模量剂的充分反应和混合。为了避免沥青老化或高模量剂被分解, 在加热过程中, 需要对加热温度以及时间加以控制。

6. 均质化处理: 为了保证混合物均匀性和稳定性, 在加热和搅拌后需要对混合物进行均质化处理。采用均质装置或调配搅拌参数均可实现均质化处理。

7. 冷却与储存: 冷却和储存均质化后的混合物。在降温过程中, 为了避免混合料产生裂纹或变形, 需要控制降温速度及时间^[4]。在储存期间, 为了使混合料保持其性能稳定, 需要保证混合料的温度及湿度满足有关要求。

2 高模量沥青混合料性能研究

2.1 高温稳定性分析

在高温环境下, 沥青混合料易受到热膨胀、软化及车辙等问题的困扰, 因此, 高温稳定性是衡量高模量沥青混合料性能的重要指标之一。高模量沥青混合料通过添加特殊的高模量剂, 显著提高了沥青胶浆的粘弹性, 增强了集料间的粘结力, 从而有效提升了混合料在高温下的抗变形能力。为了评估高模量沥青混合料的高温稳定性, 通常采用车辙试验进行模拟测试。车辙试验通过模拟实际交通荷载, 在特定温度和时间

内观察并记录混合料表面的变形情况。试验结果显示, 相较于普通沥青混合料, 高模量沥青混合料在相同条件下表现出更低的变形率, 证明了其优异的高温稳定性。此外, 通过扫描电子显微镜 (SEM) 观察混合料内部结构, 发现高模量剂的加入使得沥青与集料之间的界面更加紧密, 进一步验证了其高温稳定性的机理。

2.2 低温抗裂性评估

沥青混合料在低温情况下由于脆性的增加, 容易造成裂缝, 从而对路面的使用年限造成影响。所以, 高模量沥青混合料性能评估的一个关键指标就是低温抗裂性。高模量的沥青混合料通过沥青组分优化、添加抗裂剂, 有效提高了混合物的低温韧性, 降低了低温裂缝的产生。评估沥青混合物低温抗裂性的常用方法是低温弯曲试验。试验测定混合料试件弯曲强度及弯拉应变, 通过在一定温度下施加弯曲荷载来评估其低温韧性^[5]。试验结果显示低温条件下高模量沥青混合料的弯曲强度仍然可以保持良好, 并且弯曲的拉应力较大, 说明其低温抗裂性较好。另外, 通过对断裂力学分析发现, 添加高模量剂, 可使混合料在低温条件下具有较高的断裂韧性和较长的断裂过程, 进一步证实了低温抗裂性的提高。

2.3 疲劳寿命预测

沥青混合料的疲劳寿命是指其在重复荷载作用下发生破坏前的累积加载次数。对于高模量沥青混合料而言, 其疲劳寿命的长短直接关系到路面的使用寿命和维修成本。因此, 准确预测高模量沥青混合料的疲劳寿命对于路面的设计和维护具有重要意义。疲劳寿命预测通常采用间接拉伸疲劳试验 (IDT) 或四点弯曲疲劳试验等方法进行。这些试验通过模拟实际交通荷载的重复作用, 记录混合料试件在疲劳破坏前的加载次数, 从而评估其疲劳寿命。试验结果显示, 高模量沥青混合料在相同条件下具有更长的疲劳寿命, 这主要得益于其较高的模量和良好的粘结性能。此外, 通过引入疲劳损伤累积模型, 可以进一步预测高模量沥青混合料在不同荷载和温度条件下的疲劳寿命, 为路面的设计和维护提供科学依据。

3 重载交通公路路面长寿命化设计

3.1 设计原则与目标

重载交通公路路面的长寿命化设计旨在通过科学合理的设计方法, 确保路面结构在承受重载车辆频繁荷载作用下, 能够保持长期稳定的性能, 延长使用寿命,

减少维修频率和成本。在设计过程中,需遵循以下原则:

1. 安全性原则: 确保路面结构能够承受重载交通的荷载作用, 防止因路面破损导致的交通事故。
2. 耐久性原则: 通过合理的材料选择和结构设计, 提高路面的耐久性和抗疲劳性能, 延长使用寿命。
3. 经济性原则: 在保证路面性能的前提下, 合理控制材料成本和施工成本, 实现经济效益最大化。
4. 环保性原则: 选用环保材料, 减少施工过程中的环境污染, 促进可持续发展。

设计目标主要包括: 提高路面的承载能力, 确保重载车辆安全通行; 增强路面的耐久性和抗疲劳性能, 延长使用寿命至20年以上; 优化路面结构, 减少维修频率和成本; 同时, 符合环保要求, 减少对环境的影响。

3.2 材料选择与结构设计

材料选择和结构设计是重型运输公路路面长寿设计的关键环节。材料方面, 高性能材料, 如高模沥青混合料应优先选用。高模量沥青混合料具有强度高、稳定性高、寿命长等特点, 在重载运输及高温环境下, 可有效抵御车辙、裂缝等病害。同时, 在选择符合环保要求、可再生的材料时, 也需要注意材料的环保性能和可持续性。结构设计方面, 应根据重载交通的特点和路面性能要求, 进行科学合理的路面结构设计^[6]。首先, 应确定合理的路面层数和各层材料的厚度, 确保路面结构具有足够的承载能力和耐久性。其次, 应优化路面各层之间的粘结性能, 提高路面的整体性和稳定性。最后, 还需考虑路面的排水性能和防滑性能, 确保行车安全。在具体设计中, 可采用多层结构设计, 如底基层、基层、面层和磨耗层等。底基层和基层可采用强度较高的无机结合料稳定类材料, 如水泥稳定碎石、石灰稳定土等。面层则可采用高模量沥青混合料, 以提高路面的承载能力和耐久性。磨耗层可选用耐磨性能好的材料, 如改性沥青 SMA、OGFC 等, 以提高路面的防滑性能和耐磨性能。

4 重载交通公路路面长寿化设计的挑战与解决方案

在重载交通公路路面的长寿化设计过程中, 面临着多方面的挑战。重载交通的频繁荷载对路面结构构成巨大压力, 易导致破损和病害; 气候条件的变化, 如高温、低温及降雨等, 也会不同程度地损害路面结构, 降低其使用寿命。另外, 环保要求和可持续发展也是设计过程中不可忽视的重要挑战, 要求我们在材料选

择和施工过程中严格遵守环保法规。针对这些挑战, 可以采取一系列解决办法: 一是加强材料研发和选用, 根据重载交通和气候条件的要求, 选择适应性强、性能稳定的材料, 如研发高模量沥青混合料、无机结合料稳定类材料等高性能材料等; 二是通过多层结构设计、材料厚度和粘结性能优化结构设计, 使路面整体性和稳定性得到提高; 三是提升施工技术与管理控制, 严格控制施工质量, 优化施工工艺, 加强质量管理和检测, 提高施工效率和质量; 四是要加强路面的维护和保养, 对潜在问题进行及时发现和处理, 采用预防性养护技术进行寿命延长; 五是推动环保与可持续发展, 选择符合环保要求的材料和技术, 积极探索和推广环保型路面材料和施工技术, 以减少环境污染, 促进可持续发展。

5 结束语

高模量沥青混合料的应用对于提高重载交通公路路面的耐久性和使用寿命具有重要意义。通过合理的设计原则、材料选择、结构设计和施工质量控制, 可以实现路面的高效、耐久和环保。然而, 高模量沥青混合料的应用也面临着一定的挑战, 如重载交通的压力、气候变化的影响以及环保要求。针对这些挑战, 本文提出了相应的解决方案, 包括加强材料研发、优化结构设计、提升施工技术和质量控制, 以及推动环保与可持续发展。通过这些措施, 可以有效应对重载交通公路路面长寿化设计的挑战, 并实现路面的长期稳定运行。

参考文献:

- [1] 岳秀鹏, 窦文强, 李正博. 沥青路面典型结构分析[J]. 材料科学, 2022, 12(03): 147-160.
- [2] 彭楠峰. 抗车辙高模量天然沥青混合料设计及施工工艺研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
- [3] 黄海. 高模量沥青混合料路用性能研究[J]. 交通世界, 2023(26): 32-35.
- [4] 杨进, 肖鹏飞. 高模量低标号沥青抗车辙性能研究[J]. 石油沥青, 2013, 27(03): 35-38.
- [5] 杨光, 王旭东. 高模量沥青混凝土在半刚性基层长寿命沥青路面中应用的合理性研究[J]. 公路交通科技, 2019, 36(05): 20-26, 56.
- [6] 郭寅川, 张争明, 邵东野, 等. 高模量天然沥青混合料设计及路用性能对比研究[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40(08): 2811-2821.