

公路路面预防性养护中沥青超薄磨耗层罩面设计研究

朱俊迪

中设科欣设计集团有限公司金华分公司 浙江 金华 321000

摘要：我国公路里程持续增长，服役年限延长，路面早期病害问题日益凸显。本文聚焦公路路面预防性养护中的沥青超薄磨耗层罩面设计，系统探讨其技术应用与设计方法。首先概述预防性养护的核心内涵，分析沥青超薄磨耗层厚度薄、施工快、抗滑性强、防水优、降噪显著等技术特点。重点研究设计要点，包括沥青结合料、集料、纤维等材料选择，级配类型与曲线优化，以及与原路面的结构组合和层间黏结设计。同时，梳理从原路面调查评估到质量控制的完整设计流程。研究旨在为沥青超薄磨耗层罩面的工程设计提供理论支撑与技术参考，推动其在预防性养护中的科学应用，延长路面使用寿命。

关键词：公路路面；预防性养护；沥青超薄；磨耗层罩面；设计研究

引言：随着公路交通量持续增长，路面早期损坏问题日益突出，预防性养护成为延长路面寿命、降低全寿命成本的关键手段。沥青超薄磨耗层罩面作为一种高效的预防性养护技术，凭借其其对原路面病害的快速修复能力和良好的路用性能，在工程中应用潜力巨大。当前，该技术在材料适配性、级配优化及结构组合等设计环节仍存在实践难题，影响其应用效果。本文立足预防性养护理念，结合沥青超薄磨耗层的技术特性，深入研究其材料选择、级配设计、结构组合及设计流程，旨在构建科学的设计体系，为工程实践提供指导，助力提升公路养护质量与效益。

1 公路路面预防性养护的概述

公路路面预防性养护是指在路面结构尚处于良好状态或仅有轻微损伤时，采取有针对性的养护措施，以延缓病害发展、延长使用寿命的养护理念与技术体系。其核心在于“防患于未然”，通过对路面性能的动态监测与评估，在病害萌芽阶段及时干预，避免小范围损伤演变为结构性破坏，从而降低全生命周期养护成本。与传统的矫正性养护相比，预防性养护更注重时效性与主动性，强调根据路面实际状况制定个性化方案，而非等待病害扩大后进行大修或重建。常见措施包括裂缝密封、薄层罩面、微表处、稀浆封层等，这些技术通过填补细微缺陷、增强路面抗滑性、改善防水性能等方式，维持路面结构的完整性与功能性^[1]。

2 沥青超薄磨耗层罩面的技术特点

2.1 厚度薄

沥青超薄磨耗层罩面最显著的技术特点是厚度薄，通常设计厚度仅为1.5至3厘米，远低于传统罩面结构。这种超薄特性使其对原路面的附加荷载极小，能有效避免

因荷载增加导致的基层受力失衡，尤其适用于对承重能力敏感的旧路养护。同时，薄厚度设计大幅减少了沥青混合料的用量，降低了材料运输与现场摊铺的工作量，也减少了对周边环境的占用。由于无需对原路面进行大规模铣刨，能最大程度保留原有路面结构的完整性，降低施工对路基的扰动，为快速恢复交通创造了有利条件，在城市主干道等交通繁忙路段体现出独特优势。

2.2 施工速度快

沥青超薄磨耗层罩面的施工速度优势源于其简化的工艺流程与高效的作业模式。施工前无需复杂的路基处理，仅需对原路面进行清洁和局部病害修补，省去了传统罩面的铣刨、压实等繁琐环节。摊铺过程中，采用专用的薄层摊铺机进行连续作业，结合同步碎石封层等配套技术，实现材料摊铺与初步压实一体化完成。由于混合料用量少且厚度薄，碾压成型仅需1至2遍即可达到设计密度，大幅缩短了碾压时间。整个施工环节可实现机械化连续作业，单幅路面单日施工长度可达数公里，能快速开放交通，显著降低施工对交通通行的影响，尤其适合交通流量大的路段养护。

2.3 抗滑性能好

抗滑性能好是沥青超薄磨耗层罩面的核心功能优势，其关键在于特殊的混合料级配设计与表面构造。混合料多采用间断级配，掺入一定比例的坚硬耐磨集料，通过优化集料粒径搭配，形成丰富的表面纹理结构。摊铺碾压后，集料能牢固嵌入沥青基质中，表面保留充足的宏观构造和微观纹理，为车轮提供良好的摩擦力。这种表面构造不易因车辆行驶而快速磨损，能长期维持较高的抗滑系数，有效缩短车辆制动距离，降低雨天打滑风险。

2.4 防水性能优

沥青超薄磨耗层罩面具备优异的防水性能,主要得益于其致密的结构特性与特殊的材料配比。混合料中采用高粘度改性沥青作为胶结料,其较强的粘结力能使集料颗粒紧密结合,形成连续的防水薄膜。摊铺过程中,薄层结构通过高频振动压实,进一步减少了混合料内部的空隙率,有效阻断了水分下渗的通道。此外,施工时可同步对原路面的细微裂缝进行封闭,通过超薄罩面与原路面的紧密贴合,形成完整的防水体系。

2.5 降噪效果明显

沥青超薄磨耗层罩面的降噪效果源于其独特的表面构造与材料特性。表面的多孔纹理结构能像海绵一样吸收车辆行驶产生的噪音,当轮胎与路面接触时,空气在纹理间隙中流动形成缓冲,减少了气流扰动产生的高频噪音。同时,采用的改性沥青具有较好的弹性,能降低轮胎与路面的刚性冲击,减少振动噪音的产生。与传统路面相比,其降噪效果可达3至5分贝,在城市道路、居民区周边路段能显著改善声环境质量^[2]。

3 沥青超薄磨耗层罩面设计要点

3.1 材料选择

3.1.1 沥青结合料

沥青结合料的性能直接决定超薄磨耗层的粘结强度与耐久性,需优先选用高粘度改性沥青。这类沥青通过聚合物改性技术提升了粘度与弹性恢复能力,在高温环境下不易出现车辙,低温时能抵抗收缩裂缝,同时具备较强的抗老化性能,可适应频繁的车辆荷载与气候波动。其针入度、软化点等指标需严格匹配超薄层的受力特点,确保与集料颗粒形成牢固的裹覆层,减少水损害导致的剥落现象。

3.1.2 集料

集料是超薄磨耗层的骨架支撑,需满足高强度、高耐磨与良好级配的要求。通常选用玄武岩、辉绿岩等硬质岩石,其压碎值应控制在较低水平,确保在车辆反复碾压下不易破碎,维持表面纹理的稳定性。集料粒径需与超薄层厚度匹配,多采用单一粒径或间断级配,形成嵌挤紧密的骨架结构,减少空隙率的同时保留必要的排水通道。

3.1.3 纤维

纤维在超薄磨耗层中主要起加筋与稳定作用,常用木质素纤维、聚酯纤维或玄武岩纤维。纤维均匀分散于沥青混合料中,能有效吸附沥青结合料,减少摊铺过程中的离析现象,同时增强混合料的整体性,抑制裂缝的产生与扩展。其长度需与集料粒径适配,一般为3至6毫

米,确保在薄层结构中均匀分布,不形成局部团聚。纤维的吸油率需满足要求,通过吸收多余沥青形成粘稠网络,提升混合料的抗变形能力,尤其在高温条件下能延缓车辙发展,为超薄层提供额外的结构支撑,延长使用寿命。

3.2 级配设计

3.2.1 级配类型选择

级配类型的选择需紧密结合超薄磨耗层的功能定位与施工环境。间断级配通过剔除中间粒径集料,形成粗集料主导的骨架结构,表面纹理丰富且排水性强,适用于对防滑要求高或多雨的路段;骨架密实型级配则通过粗细集料的合理搭配,实现嵌挤与填充的平衡,结构整体性好,抗变形能力突出,更适合交通荷载较大的区域。选择时需考虑超薄层的厚度特性,确保最大集料粒径与层厚适配,避免因粒径过大导致表面不平整。同时需适配气候条件,高温地区侧重选择骨架密实型以提升抗车辙能力,寒冷地区可适当调整集料比例增强抗裂性,实现功能与环境的精准匹配。

3.2.2 级配曲线优化

级配曲线优化的核心是通过调整各粒径集料比例,实现性能的协同平衡。曲线需保持平滑的“S”形过渡,减少拐点以避免施工中的集料离析。粗集料应占据足够比例以形成稳定骨架,保障结构强度;细集料与矿粉的用量需精准控制,既要填充密实减少空隙,又要保留适量空间满足排水与应力释放需求。优化过程需通过反复试配验证,重点关注混合料的压实效果、结构密度与整体稳定性,根据试配结果微调曲线形态,确保级配既能满足摊铺时的和易性,又能兼顾抗滑、防水与抗变形等综合性能要求。

3.3 结构组合设计

3.3.1 与原路面的结合方式

与原路面的结合需兼顾界面强度与施工可行性,通常采用表面预处理与连续作业相结合的方式。施工前需对原路面进行清洁、铣刨或拉毛处理,去除表面浮浆、油污及松散层,形成粗糙界面以增强物理嵌固力。对于存在轻微裂缝的路面,需先进行密封处理,避免水分沿裂缝渗透至基层。摊铺时采用“即铣即铺”的连续工艺,减少界面暴露时间,通过热沥青混合料的温度效应促进层间黏结,使超薄层与原路面形成整体受力结构,共同承担车辆荷载,避免出现分层推移现象。

3.3.2 层间黏结材料选择

层间黏结材料的选择需满足高强度、高弹性与抗老化要求,常用改性乳化沥青或热沥青。改性乳化沥青通

过聚合物改性提升黏结强度与柔韧性,能在常温下快速破乳固化,适应薄层施工的快速节奏;热沥青则依靠高温流动性实现界面渗透,与原路面形成化学黏结,适用于对黏结力要求更高的重载路段。材料用量需精准控制,过多易导致泛油,过少则黏结不足,需根据原路面粗糙度调整,确保形成均匀连续的黏结层,阻断水分侵入并传递层间应力^[3]。

4 沥青超薄磨耗层罩面设计流程

4.1 原路面状况调查与评估

原路面状况调查与评估是设计的基础,需全面检测路面的结构性能与表面状态。通过外观检查记录裂缝、车辙、松散等病害类型及分布,采用专业设备测定路面平整度、抗滑系数、结构强度与厚度。评估内容包括基层稳定性、表面破损程度及承载能力,分析病害成因,判断原路面是否适合直接加铺超薄层,为后续处理方案与设计参数选择提供依据,确保设计方案与原路面实际状况匹配。

4.2 确定设计目标与技术要求

根据调查结果与道路功能定位,明确设计目标与技术要求。结合道路等级、交通量及气候条件,确定超薄层的使用年限、抗滑等级、防水性能等核心指标,同时明确施工期间的交通管制要求与工期限制。技术要求需涵盖材料性能、结构厚度、层间黏结强度等细节,形成可量化的设计标准,为材料选择、级配设计等后续环节提供明确指引,保障最终成果满足实际使用需求。

4.3 材料选择与试验

材料选择需依据设计目标筛选沥青结合料、集料及纤维等原材料,优先选用符合性能要求的优质材料。随后进行室内试验,测试材料的物理力学性能,如沥青的黏结性、集料的耐磨性及混合料的拌和易性等。通过试验验证材料的适配性,排除可能影响超薄层质量的不合格材料,为后续级配设计提供可靠的材料性能参数,确保所选材料能满足设计技术要求。

4.4 级配设计与优化

级配设计与优化需结合材料特性与性能需求展开,先根据超薄层功能选择合适的级配类型,再通过试配确定各粒径集料的比例。通过调整级配曲线,平衡混合料

的密实度、抗滑性与施工和易性,期间需进行多次试验验证,检测不同级配下混合料的关键性能指标,根据结果逐步优化级配比例,形成兼顾强度与功能的最终级配方案。

4.5 结构组合设计与计算

结构组合设计需确定超薄层与原路面的结合方式,选择适配的层间黏结材料,形成完整的结构体系。结合原路面承载能力,计算超薄层的设计厚度及层间应力分布,验证结构在车辆荷载作用下的稳定性,确保各结构层协同受力,避免出现分层、推移等病害,同时考虑施工可行性,使结构设计便于现场实施。

4.6 施工工艺设计

施工工艺设计需明确各环节的操作规范与技术参数,包括原路面预处理方法、材料拌和温度、摊铺速度、碾压方式等。结合工程规模与交通条件,制定合理的施工流程与进度计划,确定作业面划分及交通导改方案,同时规划设备配置与人员安排,确保施工过程有序高效,为现场施工提供清晰的技术指导^[4]。

结束语

沥青超薄磨耗层罩面作为公路路面预防性养护的重要技术,其设计需兼顾材料性能、结构协同与施工适配性。通过科学的原路面评估、精准的材料选型、优化的级配设计及严谨的质量管控,可实现延长路面寿命、提升行车安全性的目标。该技术在资源节约与交通保障上优势显著,未来需结合实际工况持续完善设计体系,推动其在预防性养护中更广泛应用,为公路养护高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]郭木强,申铁军.高速公路沥青路面预防性养护新技术分析[J].四川建材,2022,48(8):146-147.
- [2]周志武.超薄磨耗层在高速公路养护中的运用[J].建材发展导向(上),2022,20(11):147-149.
- [3]张书文.超薄沥青磨耗层技术在高速公路养护中的应用[J].交通世界(中旬刊),2022(4):49-51.
- [4]成海华.复合改性沥青乳液制备及冷拌冷铺混合料性能研究[J].石油沥青,2021,35(6):34-37.