

沥青混合料抗车辙性能提升策略及其工程应用前景

戴钧

中冶检测安徽（认证）有限公司，安徽马鞍山，243000；

摘要：本文围绕沥青混合料的抗车辙性能，探讨了优化矿料级配设计、创新沥青改性技术、采用先进添加剂以及改进施工工艺等四大提升策略，并分析了其在智能交通道路建设、绿色环保型路面改造、高等级公路与机场跑道应用以及城市快速路网升级中的工程应用前景。研究表明，科学合理的材料选择和工艺优化是提升沥青混合料抗车辙性能的关键。通过将技术创新与实际需求结合，可显著提升道路耐久性和使用寿命，为交通基础设施建设提供重要技术支持。

关键词：沥青混合料；抗车辙性能；矿料级配

DOI：10.69979/3029-2727.24.07.020

引言

随着交通量的增加和车辆载重的提升，道路车辙问题日益突出，不仅影响行车安全，还加剧了道路维护成本。沥青混合料作为道路结构的关键组成，其抗车辙性能直接关系到路面稳定性和耐久性。近年来，针对沥青混合料抗车辙性能的研究取得了显著进展，从材料选择到施工工艺均有创新。本文通过梳理相关研究成果，总结了优化矿料级配、创新改性技术、引入添加剂和优化施工工艺四种主要提升策略，并进一步探讨了其在工程实践中的应用前景，为解决车辙问题提供理论支持和实践指导。

1 沥青混合料抗车辙性能提升策略

1.1 优化矿料级配设计

矿料级配设计是提升沥青混合料抗车辙性能的基础策略，其核心是构建具有高密实度和高稳定性的骨架结构。通过合理选择粗、细矿料及填料比例，优化级配曲线，可有效提高混合料的承载能力和抗剪切性能。在技术实践中，“骨架密实型”沥青混合料是一种典型设计方法，其通过增加粗矿料的比例，使其形成嵌挤结构，显著提升混合料的抗变形能力。例如，在某高速公路路面试验段中，采用骨架密实型设计，通过调整 0.075mm、2.36mm、4.75mm、公称最大粒径及中间粒径等关键筛孔，实现了混合料的高温稳定性增强。此外，为适应不同路段的需求，还可结合“三阶段级配”优化法，即分别设计粗矿料、细矿料和填料的过渡区，以实现最佳结合。技术案例表明，某机场跑道采用优化级配设计后，抗车

辙能力得到显著提高，而其主要改善点在于矿料之间的空隙率下降，形成了稳定的矿料间嵌挤关系。这种设计在施工过程中需结合马歇尔稳定度试验、动态蠕变试验等技术测试，确保混合料在设计阶段具备优越的抗车辙性能。与此同时，应注意控制矿料的洁净度和形状参数，避免不规则颗粒导致应力集中，从而进一步提升级配设计的效果。

1.2 创新沥青改性技术

沥青改性技术的创新为抗车辙性能的提升提供了有效手段，尤其是在应对高温和重载交通的复杂工况下表现突出。常见的改性方式包括添加聚合物改性剂、橡胶粉、纳米材料等。其中，聚合物改性沥青因其显著提高的高温性能和抗疲劳能力而得到广泛应用。以 SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯）改性为例，通过在沥青中加入一定比例的 SBS，形成交联网络结构，从而增强其抗形变能力。在实际工程中，某城市快速路采用 SBS 改性沥青，车辙试验结果表明，其动稳定度比普通沥青提高了明显值。除了传统的聚合物改性，近年来，新型纳米材料改性沥青技术逐渐兴起。例如，通过在沥青中掺入纳米硅、纳米碳材料等，可显著改善沥青的粘弹性能，并提升其抗车辙能力。在某一科研项目中，通过加入 3% 的纳米氧化铝，混合料的抗车辙能力有明显提高，验证了纳米材料的改性效果。此外，改性技术的实际应用需关注材料的均匀分布，避免因分散不均导致局部性能缺陷，这需结合剪切搅拌设备及温控工艺来实现。

1.3 采用先进添加剂

先进添加剂的引入为沥青混合料的抗车辙性能提

供了新的提升路径,尤其在提高高温稳定性和增强粘附性能方面发挥了重要作用。抗车辙剂是最常用的添加剂之一,其通过增强沥青与矿料间的粘结力,降低混合料在高温下的塑性变形。例如,在某高等级公路工程中,使用纤维类抗车辙剂,将玄武岩纤维与沥青结合,形成一种纤维增强的复合体系,显著提升了混合料的高温稳定性。此外,硅酸盐类添加剂、纳米改性剂等也被证明具有增强抗车辙性能的作用。例如,在某试验项目中,通过在混合料中加入纳米钛酸钾晶须,不仅提高了沥青的抗高温变形能力,还优化了其耐久性能。在实际应用中,需结合实验室配比验证和工程现场试验,确定添加剂的最佳掺量,确保其在发挥功能的同时,不影响其他性能参数。值得注意的是,添加剂的选择和使用需结合不同气候条件和交通情况进行调整。例如,在寒冷地区施工时,可采用具有防水性和增强韧性的复合添加剂,以提高抗裂性能和耐久性,从而确保混合料在不同使用环境下均能表现出优越的抗车辙性能。

1.4 改进施工工艺

施工工艺的改进是确保沥青混合料抗车辙性能的重要环节,其核心在于实现最佳的压实度和均匀性。通过采用精确的温控技术、科学的碾压工艺以及高效的摊铺设备,可显著提升施工质量。例如,某高速公路项目采用高精度自动化摊铺设备,结合智能温控系统,在摊铺过程中实时监测温度和均匀性,从而确保混合料的最佳密实度。碾压阶段的控制同样至关重要。在某实际工程中,通过引入振动压路机的分阶段碾压技术,初压、复压和终压过程严格按照设定温度和速度进行,有效降低了混合料内的空隙率,形成了致密的结构。此外,温度是施工过程中的关键因素。过高或过低的温度都会导致混合料性能下降,因此在施工中需通过实时温度监测仪器确保摊铺温度在最佳范围内。施工工艺的改进还包括工序间的协调。例如,在混合料运输环节,通过使用保温运输车和自动搅拌装置,可避免材料分离和温度不均的问题。针对复杂地形或特殊环境下的施工,需采用适应性强的工艺技术,如桥面铺装的加热复合施工工艺,确保施工质量达到预期效果。这些实践表明,施工工艺的优化是实现混合料抗车辙性能提升的重要保障。

2 沥青混合料抗车辙性能提升的工程应用前景

2.1 智能交通道路建设

随着智慧交通系统的快速发展,道路不仅是通行工具的载体,更需要具备信息交互、承载重载交通和长效

耐久的能力。这对沥青混合料的抗车辙性能提出了更高要求。智能交通道路建设中,车辙问题是影响交通效率与安全的重要因素,特别是在高温和重载交通条件下,道路变形不仅导致通行舒适性下降,还可能对智能导航、自动驾驶系统的运行精度产生负面影响。因此,提升沥青混合料的抗车辙性能已成为智能交通道路建设的重要研究领域。以某智慧高速公路项目为例,该工程设计了骨架密实型沥青混合料,通过调整粗矿料的比例和分布,确保矿料形成稳定的嵌挤结构,显著提升了路面的抗剪切能力和高温稳定性。同时,项目团队应用改性沥青技术,加入高性能聚合物材料,如 SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯),增强了混合料的韧性和粘结力。在施工过程中,该工程采用智能摊铺设备和实时监测系统,结合物联网技术对路面温度、密实度和厚度进行动态监控,并通过大数据分析优化施工工艺,确保施工质量达到设计标准。改建后的路面在车辙试验中表现优异,动稳定度远高于传统路面。智能交通还对道路提出了功能性要求,如光伏路面和无线充电路面的开发,这需要混合料具备更高的性能。例如,在某光伏公路示范项目中,团队采用了纳米碳管改性沥青,以增强混合料的抗高温变形能力,同时确保光伏组件嵌入路面后能够长久稳定运行。施工中引入红外线扫描技术,实时监测路面表层与基层的温差,确保嵌入式光伏板与沥青混合料的高效结合。该项目的成功运行为智能道路的功能集成和耐久性提供了良好示范。这些实践表明,通过优化矿料级配设计、创新改性沥青技术以及智能化施工工艺,沥青混合料的抗车辙性能可以显著提升,为智能交通道路的建设提供了坚实基础。这不仅满足了智慧交通对高性能道路的需求,还为未来智能城市的可持续发展奠定了重要技术支持。

2.2 绿色环保型路面改造

绿色环保理念已成为当代道路建设的核心主题。在绿色环保型路面改造中,提升沥青混合料的抗车辙性能具有双重意义:一方面,它能够显著延长路面的使用寿命,减少养护频率,从而降低资源消耗;另一方面,通过引入环保型材料和可再生资源,可以有效减少施工过程中的碳排放和环境污染。某市政道路绿色改造工程即是一例成功实践。该项目中,团队利用废旧轮胎橡胶粉作为改性剂,将其与沥青混合料结合,形成了具有高粘结力和优良抗变形能力的橡胶改性沥青。通过实验室测试,该混合料在车辙深度、耐热性和抗疲劳性能方面均显著优于传统材料。此外,这一改造方式有效回收了大

量废旧轮胎,避免了其对环境造成的污染。在实际施工中,为确保改性剂的均匀分布,团队引入了高效剪切混合设备,同时采用低温摊铺工艺,以减少能耗和温室气体排放。在山区公路改造中,工业固废的资源化利用成为重点。例如,在某山区公路升级项目中,矿渣骨料被引入沥青混合料中,替代部分天然骨料。这种做法不仅降低了建设成本,还提升了混合料的高温稳定性和抗剪切性能。施工过程中,结合冷再生技术,通过添加抗车辙剂改善再生料的粘结性,确保了改造路面的使用性能。此外,该项目采用了便携式检测仪对摊铺后的路面进行快速测试,以实时调整施工参数,最大限度地保证施工质量。绿色环保型路面改造还涉及施工能耗的优化。在某新建生态园区的道路施工中,团队使用了低温沥青摊铺技术,通过掺入环保型添加剂降低沥青混合料的施工温度,同时显著减少了能源消耗和污染物排放。实践表明,绿色环保型改造不仅显著提升了路面的抗车辙性能,还为生态保护和资源循环利用提供了可持续发展路径。

2.3 高等级公路与机场跑道的广泛应用

高等级公路与机场跑道因其特殊的功能需求,对沥青混合料的抗车辙性能要求极高。机场跑道需要承受飞机起降时的巨大冲击和剪切力,而高等级公路则需要高速和重载交通条件下保持长期的稳定性。这些都要求路面材料具备卓越的高温稳定性和抗变形能力。在某国际机场跑道改建项目中,采用了石料骨架密实型沥青混合料(SMA),并辅以SBS改性沥青技术,以提高其抗剪切能力和高温稳定性。通过调整粗矿料比例,确保混合料内部形成牢固的骨架结构,有效抵抗跑道在高频使用下的变形压力。施工过程中,采用动态稳定试验设备对混合料进行实时监测,并使用振动压路机进行多阶段碾压工艺,以确保跑道的压实度和均匀性。运行数据表明,该跑道在长期使用中的车辙深度远低于传统跑道标准,且维修频率显著降低。高等级公路的建设同样需要高性能沥青混合料。在某高速公路扩建项目中,项目团队采用了纤维增强改性技术,通过在沥青中加入玄武岩纤维,提升了混合料的韧性和抗疲劳性能。此外,该项目结合3D扫描技术对摊铺层进行全面检测,确保了路面的平整度与厚度均符合设计要求。完成后,路面的整体抗车辙性能得到了大幅提升,同时使用寿命较传统路面延长数年。

2.4 城市快速路网升级

城市快速路网升级是解决城市交通拥堵的重要措施,要求道路在高流量和复杂交通条件下保持长久稳定,提升沥青混合料的抗车辙性能是实现这一目标的核心手段。在某特大城市快速路改造工程中,项目团队采用了纳米材料改性沥青技术,通过引入纳米二氧化硅增强混合料的粘结性能和高温抗变形能力。这种改性混合料在摊铺过程中结合智能化设备,实现了材料的均匀分布和高效压实,最终形成了一个高耐久性的路面系统。城市快速路网还需要满足智能化和绿色发展的需求。在某智慧快速路项目中,团队结合再生沥青技术,将旧路面材料进行回收处理,并加入抗车辙剂和环保型添加剂改善其性能。同时,在路面内部嵌入了光纤传感器,用于实时监测路面压力与应力分布,为后续养护提供了科学依据。施工中采用智能摊铺和压实系统,通过动态调整施工参数,进一步提升了施工质量与效率。这一项目的成功运行,不仅显著提升了城市快速路网的整体性能,还为未来智慧城市的可持续交通系统提供了技术保障。

3 结束语

沥青混合料抗车辙性能的提升对道路交通发展具有重要意义。通过矿料级配优化、改性技术创新和施工工艺改进,可有效增强沥青混合料的高温稳定性和抗剪切能力。在实际工程中,相关策略已展现出良好的应用前景,如智能交通道路建设和高等级路网改造等。未来需进一步加强技术研究与工程实践结合,为构建高质量、长寿命的道路系统提供技术保障。

参考文献

- [1] 郭亮亮, 朱金标. 不同种类沥青混合料抗车辙性能研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(14): 66-69.
- [2] 李湾湾. 沥青混合料抗车辙性能研究[J]. 交通世界, 2023, (20): 54-56.
- [3] 唐军. 温度对不同沥青混合料抗车辙性能的影响研究[J]. 湖南交通科技, 2023, 49(01): 52-54+59.
- [4] 姚尧. 沥青混合料抗车辙性能评价指标适用性研究[J]. 上海公路, 2022, (02): 130-133+169.
- [5] 张明. 复合改性沥青及沥青混合料抗车辙性能研究[D]. 广西大学, 2018.

作者简介: 戴钧, 1977-3、男、汉、湖南、本科/工程师、土木工程