

公路施工中改性沥青材料应用技术探析

陈磊

河北光太路桥工程集团有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ERA.2026020030

摘要 : 随着我国交通基础设施建设不断发展, 公路施工对材料性能提出更高要求。改性沥青因其优越的力学性能、耐久性和环境适应性, 在现代公路工程中被广泛应用。本文围绕改性沥青材料的分类特性、施工技术要点及其在实际工程中的适配性展开探讨, 重点分析不同类型改性剂对沥青性能的影响以及施工过程中的控制措施, 为提高公路工程质量与耐久性提供技术参考。

关键词 : 改性沥青; 公路施工; 性能优化; 施工工艺; 耐久性

Analysis on Application Technology of Modified Asphalt Material in Highway Construction

Chen Lei

Hebei Guangtai Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

Abstract : With the continuous development of transportation infrastructure construction in China, highway construction puts forward higher requirements for material properties. Modified asphalt is widely used in modern highway engineering because of its superior mechanical properties, aging resistance and environmental adaptability. In this paper, the classification characteristics of modified asphalt materials, the key points of construction technology and its adaptability in practical engineering are discussed, and the influence of different types of modifiers on asphalt performance and the control measures in the construction process are emphatically analyzed, so as to provide technical reference for improving the quality and durability of highway engineering.

Keywords : modified asphalt; highway construction; performance optimization; construction technology; endurance

引言

公路建设作为国家基础设施的重要组成部分, 其施工质量直接关系到交通运行的安全与效率。沥青材料作为路面结构的核心, 近年来通过改性手段得到有效提升。改性沥青凭借其良好的高低温性能、抗疲劳性与环境适应力, 已成为现代道路工程的重要选择。本文聚焦改性沥青材料在公路施工中的应用, 从材料性能、施工技术及质量控制三个层面, 系统分析其在实际工程中的作用与发展前景。

一、改性沥青材料的类型与性能特征

(一) SBS 改性沥青的结构与应用特性

SBS 改性沥青是当前公路建设中应用最广泛的一类聚合物改性沥青, 其主要改性剂为苯乙烯-丁二烯-苯乙烯三嵌段共聚物。SBS 分子结构呈现“软-硬-软”的嵌段链型, 苯乙烯端嵌段赋予其刚性和结构稳定性, 丁二烯中间嵌段则提供优异的弹性和柔韧性。SBS 在沥青中的作用机理主要通过物理交联和网络结构的形成, 提高了沥青的弹性恢复能力和抗塑性变形能力。在高温环境下, SBS 改性沥青表现出良好的抗车辙性, 能够有效抵御交通荷载引起的永久变形, 同时在低温条件下保持较好的柔韧性, 降低开裂风险。其剪切性能和疲劳寿命均优于普通道路沥青, 特别

适用于交通量大、重载频繁的高速公路和城市主干道。

(二) 橡胶改性沥青的环保性能

橡胶改性沥青是一种将废旧轮胎橡胶粉或颗粒与道路沥青混合制得的新型环保材料, 具有绿色循环、资源再生的显著特点^[1]。在生产过程中, 废旧橡胶通过粉碎、脱硫等处理后掺入热沥青中, 橡胶颗粒在高温作用下部分溶胀并与沥青基质发生物理和化学反应, 形成较为均匀的改性结构。该结构可显著提高沥青的黏弹性和低温延展性, 增强抗裂能力, 并能有效延缓热氧老化过程。橡胶改性沥青的抗噪声性能较佳, 适用于对道路静音需求较高的城市道路和居民区周边道路。同时, 其再生原料来源广泛, 应用成本相对较低, 具备良好的推广价值。在双碳政策推动下, 橡胶改性沥青的环保效益日益凸显, 不仅减少了废轮胎的环境污

染,也提升了道路材料的可持续发展水平,是实现绿色低碳公路建设目标的重要路径。

(三) 化学改性沥青的功能性拓展

化学改性沥青主要通过添加多种化学助剂以改善沥青的某一项或多项性能指标,常见的改性剂包括胺类、酯类、树脂类和有机硅类物质等。这些改性剂通过与沥青分子间的作用,如极性增强、交联反应或分子链缠结等机制,有效提升沥青的附着性、抗水损性和抗老化性能。例如添加抗剥落剂可显著增强沥青与集料间的粘结力,从而减少雨水侵蚀下的剥落现象;抗氧化剂则通过抑制自由基反应,延缓沥青老化速率,提高道路的服役寿命^[2]。此外,某些化学助剂还具有改善沥青流动性、促进施工性能的作用,使其更适应于多种施工环境与技术要求。与物理改性方法相比,化学改性更具针对性与功能性,适用于特定气候区域或特殊用途道路,如寒冷地区、高原地带、机场跑道等特殊路况,其性能优化潜力巨大,正在成为高性能道路材料发展的重要方向。

二、改性沥青施工工艺技术要点

(一) 拌和温度与时间的精准控制

改性沥青施工过程中拌和工艺的温度与时间控制是影响材料性能和路面质量的关键环节。不同类型改性剂对热稳定性的要求不同,尤其像SBS和橡胶颗粒这类高分子改性剂,在过高温度下易发生热分解或结构破坏,造成性能下降和材料浪费。通常SBS改性沥青的最佳搅拌温度应控制在175℃~185℃之间,拌和时间一般控制在45~60分钟范围内,以确保改性剂与基质沥青充分融合形成均匀稳定的改性体系。若温度过低或时间不足,易导致改性剂分布不均、颗粒未完全溶胀或网络结构未形成,从而造成施工后期出现裂缝、起皮或油石分离等质量问题。因此,施工现场应配备高精度温控装置与拌和计时系统,对温度和时间进行实时监控,并结合沥青混合料的取样检测,确保改性过程达标。

(二) 输送与摊铺过程的设备协同

改性沥青的输送与摊铺阶段需要确保温度恒定、物料均匀、设备配合高效。首先,拌合好的改性沥青混合料在运输过程中应采用保温性能良好的运输车,如密封型保温斗车,防止温度下降引起混合料流动性下降、团聚或结块,进而影响摊铺均匀性。在摊铺环节,摊铺机的熨平板应维持稳定的振动频率和速度,确保材料均匀摊铺,同时避免出现离析、波浪或拉毛等表面缺陷^[3]。摊铺温度应控制在150℃~170℃之间,根据外界气温与风速进行调整。在摊铺后,压实过程需要紧密衔接,通常采用初压—复压—终压三阶段工艺进行,压路机与摊铺机保持合理距离与同步运行,避免温度过低造成压实困难或出现裂缝。设备调度上,要求各机械设备协同工作、无缝衔接,避免中断与堆积,确保摊铺与压实过程连续高效。

(三) 现场施工过程的环境应对策略

改性沥青施工对外部环境敏感,需针对不同气候条件制定应对策略。在高温天气下,沥青混合料容易软化流淌,施工人员应适当降低摊铺速度,增加冷却措施,并加强对熨平板温度的控

制,避免路面起波;同时加强人员防暑和材料储存管理,防止改性剂挥发或粘结性能下降。在低温条件下,沥青温度下降速度快,必须缩短运输与摊铺间隔时间,提高运输保温等级,并提升压实机效率,确保混合料在最佳压实温度内完成碾压,防止出现冷接缝与裂缝隐患。雨天或高湿度天气则应避免施工,若必须施工,应采用篷布覆盖、加热干燥及防滑措施,避免路基潮湿引起沥青粘附性降低或剥落^[4]。

三、改性沥青应用中的质量控制措施

(一) 材料进场与配比检测机制

改性沥青施工质量控制的第一道关口是材料进场验收与配比准确性验证。所有改性剂、基质沥青、集料及填料均须具备原产地证明和合格证,进场前应进行批次抽样检测,项目包括针入度、软化点、延度、密度、闪点等指标,以SBS改性剂为例,其质量要求为苯乙烯含量不低于30%、挥发分不高于0.7%,并应具备有良好的热稳定性与剪切分散性。对于橡胶颗粒,应检测其粒径分布(一般为0.5mm以内)、含杂量($\leq 0.2\%$)与硫化程度,保证其充分与沥青基质反应融合^[5]。拌合前需严格按照设计掺配比进行原材料投料,并依据实际情况调整沥青用量,通常SBS掺量为沥青质量的4%~6%,橡胶粉掺量为10%~20%。每车混合料应实施称量记录与比对,使用自动配料系统确保各组分的精准投放。此外,现场建立原材料进场台账与溯源体系,对于不符合标准的批次应坚决退场,防止质量隐患传导至施工层面。

(二) 路面压实度与平整度控制

改性沥青混合料的压实质量直接决定了路面的承载能力与耐久性。压实度一般要求不小于设计密度的98%,压实过程中应合理控制碾压温度区间,初压温度控制在150℃以上,终压不得低于120℃,压实过程应在材料最佳压实温度范围内完成。针对SBS类改性沥青,推荐使用振动钢轮压路机与轮胎压路机配合操作,振动频率控制在30~50Hz,压实速度约3~4km/h,压轮重叠1/3轮宽以避免漏压。碾压遍数应根据混合料特性、基层强度和施工气温等因素确定,通常不少于6遍。施工中需实时监控压实度和温度分布,利用红外温度计和核子密度仪进行现场检测。为确保路面平整度满足规范要求,摊铺前应严格控制基底高差,熨平板应采用自动找平系统,路面平整度一般应控制在2mm以内(3m直尺检测)。整套压实作业应连续不间断,防止冷接缝和二次加热影响路面均质性^[6]。

(三) 路面成型后的性能检测方法

成型后的改性沥青路面需开展系统性能检测以评估结构功能与使用寿命。常规检测项目包括:高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和抗疲劳性。高温稳定性常通过车辙试验评价,其动态稳定度应大于3000次/mm;低温抗裂性可通过弯曲梁试验或半圆弯曲试验(SCB)检测,其弯曲应变值应不低于2000 $\mu\epsilon$ 。水稳定性方面,采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,马歇尔残留稳定度应大于85%,冻融劈裂强度比(TSR)应超过80%。此外,应采集路面芯样进行密度与空隙率检测,确保空隙率控制在

3% ~ 5% 范围内,有助于抗水损能力提升。若为重载交通道路,还需检测抗疲劳性能,其疲劳寿命(按半正弦载荷加载)应不少于百万次。检测周期宜在施工后3~7天内进行,结合数据建立路面结构数据库,为后期养护提供基础依据。

四、改性沥青应用存在问题与技术优化方向

(一) 改性剂分离与混合不均问题

改性沥青在生产与运输过程中容易出现改性剂分离和混合不均的现象,尤其以SBS类改性剂最为常见。这一问题主要源于改性剂与基质沥青密度差异大、分子极性不同以及搅拌不充分等因素。在静置或运输过程中,高分子改性剂易沉淀或上浮,导致混合料均匀性下降,进而影响路面性能稳定性^[7]。此外,剪切能不足或剪切时间短也会造成改性剂无法充分溶胀,形成结构松散、不规则的分布状态,造成路面局部开裂、剥落或耐久性不足。为防止改性剂分层现象,应选用具备高剪切能力的连续式改性设备,并确保剪切时间不少于1小时,同时控制剪切温度在160℃~180℃区间。运输与储存过程中,应定期搅拌并保持储罐温度恒定,避免温差诱导改性剂析出。对生产现场,还应配置动态监控系统,实时记录黏度、密度和温度变化,以确保整个改性过程稳定均一。另外,可尝试添加适量增黏剂或分散剂改善界面相容性,提升改性剂与沥青的结合强度,减少分离风险,确保混合料性能一致性与可靠性。

(二) 低温脆裂与高温流动风险

改性沥青虽然在高温抗车辙与低温抗裂方面具备优势,但在极端气候条件下仍存在一定的脆裂与流动风险。在寒冷地区,由于温度骤降,沥青混合料中的改性剂易出现收缩不均、分子链断裂等现象,导致材料刚性增强、脆裂风险上升。实测数据显示,当环境温度降至-10℃以下,部分普通改性沥青的弯曲拉伸强度下降30%以上,极端情况下甚至出现早期裂缝^[8]。而在高温区域,沥青在重载交通下易发生流动性增加、结构变形,造成车辙病害,尤其在超过50℃的夏季高温地带,改性沥青的软化点不

足或改性剂老化严重将加剧路面变形程度。为应对此类问题,建议在材料配方中引入低温弹性更强的化学助剂,如增塑剂或高分子耐寒剂,提升材料的延展性与低温柔韧性。在高温应用中,可采用交联型或纳米复合改性技术,如纳米硅粉、SEBS、EVA与SBS协同改性,提高软化点和高温模量,增强结构稳定性。

(三) 材料成本与施工成本平衡优化

改性沥青材料因掺入高分子聚合物或橡胶颗粒,成本普遍高于普通道路沥青,每吨材料成本增加约300~600元,施工环节中还需专用储料、加热、拌合与运输设备,进一步抬升总体造价。这在一些中小项目或预算紧张地区形成一定的应用障碍。因此,实现材料性能与成本控制之间的平衡,是当前推广应用的关键方向。首先应从源头优化原材料采购机制,采用本地化资源与循环利用策略,如选用经济性较好的掺合型SBS或再生橡胶粉,可降低单位材料成本10%~20%。其次,在施工组织上可采取集中拌合、定点运输、模块化施工的方式,减少现场设备配备与重复投入。在改性剂使用量控制方面,可通过性能模拟与参数优化,确定最优掺配比例,如在满足力学指标的前提下,SBS掺量由6%优化为4.5%,即节约成本并保障性能。此外,推广寿命周期成本(LCC)理念,考虑改性沥青在使用寿命、养护周期与维修频率上的节约效果,通过延长服役年限与减少后期养护频率,实现经济性与长期效益的双赢,推动改性沥青的合理、可持续应用。

五、结语

改性沥青材料在公路施工中的广泛应用,有效提升了路面结构的高温稳定性与低温抗裂性能。通过优化材料类型、完善施工工艺、强化质量控制及推进成本平衡策略,不仅保障了道路工程的耐久性与安全性,也促进了绿色环保和资源循环利用。面对复杂气候与施工环境的挑战,需持续推动技术创新与标准化应用,实现改性沥青材料的高性能、低成本、广适应发展,为现代交通基础设施建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 罗德环. 现代农村公路施工中预防性养护技术的应用研究[J]. 低碳世界, 2025, 15(06): 148-150. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2025.06.029.
- [2] 路洪彦. 温拌沥青技术在高速公路路面施工中的应用[J]. 四川水泥, 2025, (06): 278-280. DOI: 10.20198/j.cnki.scen.2025.06.014.
- [3] 樊志荣. 高速公路路面养护工作中新型修复材料的应用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(10): 42-44.
- [4] 晁冲. 高速公路沥青路面加铺罩面施工技术研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(09): 137-139. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2410-5042-4034.
- [5] 赵新华. 高速公路改性沥青 SMA 路面施工技术研究[J]. 交通世界, 2025, (13): 123-125. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2025.13.044.
- [6] 陈圣平. 高速公路路面施工中沥青混合料性能优化与施工工艺改进研究[J]. 智慧中国, 2025, (03): 54-55.
- [7] 孙伟. 高速公路养护施工中绿色环保材料的应用及其可持续性评估[J]. 价值工程, 2025, 44(04): 43-46.
- [8] 李祖宝. 玄武岩纤维抗裂性能及其在沥青混合料中的应用研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(03): 143-145. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2408-5042-8914.