

重载交通条件下沥青路面施工工艺优化与长期性能研究

成 斌

民航机场建设工程有限公司 天津 300456

摘要: 在重载交通持续作用下, 沥青路面面临严峻挑战。本文深入剖析重载交通对沥青路面的作用机制, 涵盖荷载特征、损伤形式及长期性能关联。系统分析施工工艺核心环节, 包括混合料配合比、拌制、运输、摊铺、碾压及接缝施工。针对性提出工艺优化路径, 并探讨施工工艺、材料特性、环境因素对长期性能的影响。通过全面研究, 为提升重载交通下沥青路面施工质量和长期性能提供理论支撑与实践指导。

关键词: 重载交通; 沥青路面; 施工工艺优化; 长期性能; 影响因素

引言: 随着我国交通运输业的蓬勃发展, 重载交通日益普遍, 对沥青路面造成巨大压力。重载车辆轴载增加、荷载作用次数增多且接触时间延长, 使路面承受的力学作用更为复杂, 导致多种损伤形式加速出现, 严重影响路面长期性能。在此背景下, 深入研究重载交通条件下沥青路面施工工艺优化与长期性能, 成为保障道路安全、延长使用寿命的关键课题。通过对施工工艺各环节的精细把控与优化, 可有效提升路面质量, 适应重载交通需求。

1 重载交通对沥青路面的作用机制

1.1 重载交通的荷载特征

重载交通条件下, 车辆荷载的分布规律与常规交通存在显著差异。大型货运车辆轴载的增加直接导致单次荷载作用强度提升, 且多轴组车辆的出现使荷载作用次数呈现非线性增长趋势^[1]。在荷载作用时间维度上, 重载车辆因行驶速度较低, 导致荷载与路面接触时间延长, 这种持续作用加剧了路面结构的应力累积效应。同时, 轮胎与路面接触压力的分布模式发生改变, 高压区域向轮胎边缘集中, 形成非均匀压力场, 这种压力分布特征显著区别于标准轴载作用下的均匀分布模式。

1.2 重载作用下沥青路面的损伤形式

持续增大的荷载作用引发沥青路面产生多类型损伤。表层沥青混合料在剪切应力反复作用下出现颗粒重新排列, 导致集料骨架结构松散, 宏观表现为车辙变形。中面层因承受较大水平应力, 沥青与集料界面粘附性逐渐衰减, 形成微裂缝并沿应力方向扩展, 最终演变为贯穿性裂缝。基层材料在重载反复作用下产生塑性累积变形, 当变形量超过结构承载能力时, 基层顶面出现脱空现象, 进一步加剧路面结构的应力集中。这些损伤形式在重载交通条件下呈现加速发展特征, 且不同损伤类型之间存在相互作用机制。

1.3 重载影响沥青路面长期性能的内在关联

重载交通对路面长期性能的影响通过多维度作用路径实现。力学层面, 增大的荷载强度直接导致路面结构层底拉应力增大, 加速疲劳损伤累积过程。材料层面, 持续高压应力作用使沥青流变特性发生不可逆改变, 针入度减小、软化点升高, 低温抗裂性能显著下降。结构层面, 重载引起的层间剪切应力超过设计阈值时, 层间结合状态逐渐劣化, 导致结构整体性丧失。这些作用机制相互耦合, 形成“荷载-材料-结构”的损伤演化闭环, 最终表现为路面使用性能的加速衰减^[2]。

2 重载交通条件下沥青路面施工工艺核心环节分析

2.1 沥青混合料配合比设计

重载交通对混合料力学性能提出更高标准, 配合比设计需兼顾高温稳定性与抗疲劳性能两大核心需求。粗集料应选用棱角性突出、压碎值低的碱性石料, 以此构建稳定的嵌挤骨架结构; 细集料需严格控制含泥量, 避免杂质降低沥青与集料的粘附效果。矿粉用量需根据沥青粘度动态调整, 保障形成足够厚度的结构沥青膜。级配设计应突破传统连续级配的局限, 采用骨架密实型结构, 通过提高4.75mm以上颗粒含量增强高温抗车辙能力, 同时优化0.075mm以下细粉比例, 改善路面低温抗裂性能。

2.2 沥青混合料拌制工艺

拌制过程的核心的是实现材料均匀性与温度的精准管控。冷料仓供料比例需通过二次校准, 确保与目标配合比保持一致, 避免级配出现波动。烘干筒加热温度需根据集料含水量动态调节, 防止集料过度碳化或沥青发生老化。拌合时间的设定, 需兼顾混合料均匀性与沥青轻质组分的挥发控制, 通常较常规混合料延长5-10秒。拌合楼除尘系统需维持高效运行状态, 确保矿粉用量精准, 避免粉尘污染影响混合料综合性能。

2.3 沥青混合料运输工艺

运输环节的核心任务是解决温度离析与材料离析两大问题。运料车需配备多层保温覆盖装置,车厢底部铺设导热性差的隔热材料,减少混合料热量传导损失。装料过程采用前后移动式装料法,通过改变集料落点位置,降低粗细颗粒分离的风险。运输途中保持匀速行驶,避免急加速或急刹车引发混合料内部应力重分布。混合料运抵现场后,需及时检测温度,不符合要求的车辆需退回重新加热或作废弃处理。

2.4 沥青混合料摊铺工艺

摊铺作业需同时实现厚度均匀性与表面平整度的双重管控。摊铺机螺旋布料器转速应与行驶速度精准匹配,确保供料连续且避免出现离析现象。熨平板预热温度需达到100℃以上,防止混合料粘附熨平板影响初始压实度。摊铺厚度通过浮动基准梁与滑靴装置联合控制,每50米检测一次松铺厚度,偏差控制在±2mm以内。针对变坡路段,采用非接触式平衡梁自动调整系统,确保纵断面线形符合设计标准。

2.5 沥青混合料碾压工艺

碾压工艺的关键是实现密实度与平整度的协同提升。初压采用双钢轮压路机静压2遍,碾压速度控制在2-3km/h,既能消除表面轮迹,又可避免混合料发生推移。复压阶段交替使用胶轮压路机与振动压路机,胶轮压路机通过揉压作用填充混合料微观空隙,振动压路机通过高频振动促使集料重新排列,提升密实度。终压采用双钢轮压路机静压1-2遍,消除表面微裂纹并提升路面平整度。碾压过程中,压路机轮迹重叠宽度需不小于20cm,杜绝出现漏压区域。

2.6 路面接缝施工工艺

接缝处理的核心是解决层间粘结与结构连续性问题。纵向接缝采用热接缝工艺,前后摊铺机保持5-10米间距,后摊铺带边缘预留30-50mm不碾压区域,形成搭接平台。横向接缝采用平接缝方式,用切割机切除端部不平整部分后,涂刷改性乳化沥青粘层油,摊铺前对接缝处基层表面进行预热处理^[3]。接缝碾压时,先进行横向碾压,再实施纵向压实,确保接缝处压实度达到主体路段98%以上。

3 重载交通条件下沥青路面施工工艺优化路径

3.1 沥青混合料配合比优化

结合重载交通特性,配合比优化需突破传统设计框架,聚焦力学性能提升。粗集料优先选用高硬度、低磨损的玄武岩或辉绿岩,通过提高4.75-9.5mm粒径颗粒含量,增强骨架嵌挤力。细集料需严格控制砂当量指标,

减少黏土杂质对沥青粘附性的不利影响。矿粉用量根据沥青针入度动态调整,针入度较小的改性沥青可适当降低矿粉比例,避免混合料脆性增加。级配设计采用间断级配理念,在2.36mm和4.75mm关键筛孔设置通过率突变点,构建“粗集料骨架-细集料填充”的双重结构,兼顾高温抗车辙与低温抗裂性能。

3.2 拌制工艺参数优化

拌制过程需实现材料性能与生产效率的精准平衡,优化各环节参数设置。冷料仓供料系统配备变频调速装置,根据集料含水率实时调整转速,确保各档料按比例连续供给,避免级配波动。烘干筒加热温度控制建立动态模型,结合集料比热容特性设定分段升温曲线,防止局部过热引发沥青老化。拌合时间设定兼顾均匀性与耐久性,对于橡胶粉改性沥青混合料,延长干拌时间确保改性剂充分分散,形成稳定的胶结体系。除尘系统风量调节与集料级配特征匹配,当细集料含量较高时,采用脉冲式布袋除尘器减少矿粉流失,维持级配稳定性。

3.3 运输过程工艺优化

运输环节优化重点聚焦温度保持与离析控制,提升混合料运输质量。运料车采用“三层保温”技术,车厢内壁铺设陶瓷纤维板,中层填充气凝胶毡,外层覆盖铝箔反射膜,有效降低混合料温度下降速率。装料过程实施“品字形”布料法,通过三次改变落料点位置,实现集料均匀分布。运输途中安装GPS温度监测装置,实时反馈混合料温度变化,当温度低于140℃时自动触发报警系统。混合料运抵现场后,采用非接触式红外测温仪进行多点检测,温度偏差超过5℃的混合料予以退回处理。

3.4 摊铺工艺优化

摊铺作业优化重点解决厚度均匀性与表面平整度的矛盾,提升摊铺质量。摊铺机螺旋布料器采用变径设计,靠近熨平板端直径增大10%-15%,提高末端供料能力。熨平板拼接处安装液压微调装置,每50米检测一次拼接缝高度差,偏差控制在0.5mm以内。摊铺速度根据混合料供应能力动态调整,保持“匀速、连续、稳定”的作业状态,速度波动范围不超过设定值的±10%。针对超宽路段,采用两台摊铺机梯队作业,前后间距控制在5-10米,形成热接缝避免纵向裂缝产生。

3.5 碾压工艺参数与流程优化

碾压工艺优化核心是实现密实度与平整度的协同提升,优化参数设置与作业流程。初压阶段采用“高频低幅”振动模式,振动频率提高至50-60Hz,振幅降低至0.3-0.5mm,减少表面推移现象。复压阶段胶轮压路机轮胎气压控制在0.6-0.8MPa,通过增加接触面积提升揉压效

果。碾压顺序遵循“由低到高、由边到中”的原则，弯道路段采用“斜向碾压”工艺，压路机行进方向与道路中心线保持30°夹角。终压温度控制在110℃以上，采用静压方式消除表面微裂纹，碾压遍数根据实测压实度确定，通常不少于2遍。

3.6 接缝施工工艺优化

接缝处理优化突破传统施工局限，提升接缝处结构整体性。纵向接缝采用“预压+切缝”工艺，先对预留30cm不碾压区域进行预压，待混合料温度降至100℃左右时，用切割机形成垂直断面。横向接缝处理实施“三涂两压”法，先涂刷改性乳化沥青粘层油，摊铺后预热接缝处基层，再依次进行横向碾压和纵向压实^[4]。针对特殊结构层，接缝处铺设聚酯玻纤布增强层间粘结，布宽超出接缝边缘20cm，搭接长度不小于10cm。接缝压实度检测采用核子密度仪与钻芯取样联合验证，确保压实度达到主体路段98%以上。

4 重载交通条件下沥青路面长期性能影响因素

4.1 施工工艺对长期性能的影响

施工工艺质量直接决定路面结构耐久性。摊铺过程中若螺旋布料器转速与行驶速度不匹配，易导致粗细集料分布不均，形成局部薄弱区，在重载反复作用下加速出现车辙变形。碾压环节压实度不足会使混合料孔隙率偏大，雨水渗入后引发沥青剥落，降低抗水损害能力；过度碾压则可能造成集料破碎，破坏原有骨架结构，削弱高温稳定性。接缝处理工艺缺陷会形成应力集中点，在温度收缩与荷载耦合作用下易产生反射裂缝，裂缝扩展后导致路面结构性破坏。运输过程温度控制不当引发混合料离析，使摊铺层出现非均匀结构，重载作用下离析区域与正常区域变形差异显著，加速路面不平整度发展。

4.2 材料特性对长期性能的影响

材料性能的匹配性，是影响路面长期性能的关键因素。沥青粘度与集料表面纹理的适配程度，决定两者的粘附效果，针入度较大的沥青在高温重载环境下易发生流淌，导致集料间润滑作用增强，抗剪强度下降；针入度过小则会增加沥青脆性，使路面低温易开裂。集料压碎值指标直接影响骨架稳定性，压碎值偏高的石料在重载反复挤压下易发生破碎，破坏原有级配平衡，加速车辙形成。矿粉比表面积与沥青用量需协调控制，比表面

积过大会造成沥青用量不足，形成干涩混合料；比表面积过小则会导致沥青用量过剩，引发泛油病害。改性剂类型选择影响路面功能持久性，SBS改性沥青需注重相态结构稳定性，橡胶粉改性沥青需解决存储离析问题。

4.3 环境因素对长期性能的影响

环境作用与交通荷载的叠加效应，会加速路面性能衰减。紫外线辐射会引发沥青分子链断裂，导致沥青老化深度随路面使用年限增加呈非线性增长，表层沥青变硬变脆后，抗裂性能显著下降。温度循环作用使路面产生周期性胀缩变形，在重载反复作用下，易引发疲劳开裂，裂缝扩展速率随温度波动幅度增大而加快^[5]。雨水渗透通过动水压力冲刷作用，破坏沥青-集料界面，在冻融循环区域，水分结冰膨胀产生的应力，会进一步加剧剥落病害发展。盐渍环境通过化学侵蚀作用加速沥青老化，氯离子渗透导致集料表面沥青膜厚度减薄，粘附性能快速衰减。空气污染形成的酸性沉降物，会与路面材料发生化学反应，改变混合料化学组成，削弱路面结构整体性。

结束语

重载交通条件下沥青路面施工工艺优化与长期性能研究意义重大。施工工艺各环节紧密关联，从混合料设计到接缝处理，每个细节都影响路面质量。材料特性与环境因素也与长期性能相互交织。通过优化施工工艺，能显著提升路面抗重载能力，减少病害发生。后续需持续关注实际应用效果，不断总结经验，进一步完善相关技术与理论，推动沥青路面建设向更高质量、更耐久方向发展。

参考文献

- [1]景亮.道路工程高等级沥青路面施工工艺优化研究[J].工程技术研究,2025,10(19):97-99.
- [2]金梦怡.高温环境下公路沥青路面施工工艺优化研究[J].建筑与施工,2026,5(3):50-51.
- [3]于珍涛.灌浆复合沥青路面施工工艺优化措施[J].交通世界(下旬刊),2022(3):115-116.
- [4]孙秀丹.高速公路沥青路面施工工艺优化研究[J].中国科技投资,2024(12):116-118.
- [5]章斌.市政道路沥青路面施工工艺优化与质量提升[J].汽车导报,2025(4):164-166.