

高温环境下沥青路面施工质量控制技术研究

张启超

河北翔舟工程检测有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ETQM.2025100033

摘 要 : 高温环境对沥青路面施工质量造成显著影响, 易引发早期病害、压实困难与施工安全隐患。本文从高温环境下的材料性能变化、施工工艺调整及质量控制措施三方面入手, 系统分析了沥青路面施工中存在的问题, 并提出了相应的技术优化路径。研究表明, 合理调整施工时间、采用改性材料与智能化监测手段, 可有效提升高温条件下的施工质量与道路耐久性, 具有显著的工程实用价值。

关 键 词 : 高温环境; 沥青路面; 施工质量控制; 压实工艺; 技术优化

Research on Quality Control Techniques for Asphalt Pavement Construction in High-Temperature Environments

Zhang Qichao

Hebei Xiangzhou Engineering Testing Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

Abstract : High-temperature environments significantly impact the quality of asphalt pavement construction, often leading to early-stage defects, compaction difficulties, and construction safety hazards. This paper addresses three aspects: changes in material properties under high-temperature conditions, adjustments to construction processes, and quality control measures. It systematically analyses the issues encountered in asphalt pavement construction and proposes corresponding technical optimisation pathways. The study indicates that by reasonably adjusting construction schedules, using modified materials, and employing intelligent monitoring methods, construction quality and road durability under high-temperature conditions can be effectively improved, demonstrating significant practical engineering value.

Keywords : high-temperature environment; asphalt pavement; construction quality control; compaction process; technical optimisation

引言

随着城市化建设加速, 夏季高温时段道路施工日益频繁, 高温环境对沥青混合料的温度控制、施工时机、压实质量等环节提出更高要求。若控制不当, 极易导致路面早期损坏, 降低使用寿命, 增加运维成本。本文聚焦高温背景下的沥青路面施工特性, 探讨关键工艺环节中应对高温影响的质量控制方法, 旨在为保障施工质量和行车安全提供技术参考。

一、高温环境下沥青材料性能变化分析

(一) 沥青混合料热敏性分析

沥青混合料作为一种典型的热塑性材料, 其力学性能高度依赖环境温度变化。在高温条件下, 沥青的黏度大幅下降, 混合料塑性增强但稳定性显著降低, 易发生流动、车辙与推移等变形问题。研究表明, 当环境温度升高至40℃以上时, 混合料的剪切强度可下降20%以上, 致使其在摊铺与碾压过程中更加敏感, 压实难度加大。这种热敏性使得施工时间窗口显著缩短, 一般控制在90分钟内完成初压、复压与终压作业, 若超过时限, 压实质量和密实度将明显下降, 影响路面结构强度和使用寿命。与此同时,

高温导致混合料流动性增强, 容易出现局部离析、碾压不均等问题, 从而造成路面平整度差异大, 早期破损率上升。为确保成型质量, 施工现场需结合实时温度监测, 合理调整运输距离、摊铺速度与碾压节奏, 严格控制混合料在130 ~ 160℃的最佳成型温度区间内作业, 提升施工的适应性和稳定性^[1]。

(二) 集料与沥青结合特性变化

在高温环境下, 沥青与集料之间的界面粘结力显著减弱, 其主要原因是沥青受热软化后表面张力降低, 无法形成稳定的包裹膜, 导致对集料的附着力下降, 甚至出现剥离现象。研究表明, 当沥青温度超过160℃时, 其黏附力可下降30%以上, 极易在碾压后期或冷却阶段发生脱黏, 进而引发“油斑”“麻点”“浮油”

等路面外观缺陷。施工阶段若混合料温度控制不当,则更容易造成包裹不均,形成弱界面结构,影响整体密实性和力学强度。同时,高温下集料的表面干燥度和洁净度对粘结效果也有关键影响。若集料中粉尘残留过多或含水率超标,会严重阻碍沥青膜的均匀附着,降低界面结合性能^[2]。因此,在施工过程中应强化材料预处理工艺,采用高效干燥设备和集料筛分系统,确保集料清洁、干燥且粒径稳定。同时建议使用表面活性剂、抗剥离剂等添加材料,以提高沥青与集料之间的亲和力和耐久性,从根本上减少因高温环境引起的结构破坏风险。

(三) 改性沥青材料的高温适应性

为提升沥青混合料在高温环境下的性能稳定性,采用聚合物改性沥青成为当前道路工程中的关键技术途径。其中,SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯)和SBR(苯乙烯-丁二烯橡胶)改性沥青具有优异的高温性能,其软化点一般可提升至75℃以上,相比普通基质沥青提高约20%,显著增强了路面的抗车辙性和抗塑性流动能力。研究数据显示,使用SBS改性沥青的路段,其高温稳定性指标(动态稳定度)可达3000次/mm以上,是普通沥青混合料的2~3倍,特别适用于气温超过35℃、交通负荷较大的城市主干道与高速公路。此外,改性沥青在抗老化方面表现更优,其氧化诱导期延长约40%,有效减缓沥青膜硬化和脆裂风险。实际施工中应结合气候特点、交通等级和设计年限等因素,科学选用改性剂类型与掺量,同时优化混合料级配设计,配合抗车辙剂或纤维材料,进一步增强其温度稳定性和耐久性,为高温区域道路建设提供坚实可靠的材料保障^[3]。

二、高温条件下施工工艺控制措施

(一) 施工时间段科学安排

在高温环境下,科学安排施工时间段是保障沥青路面施工质量的前提。由于沥青混合料在高温条件下降温速度较慢,容易造成“过热软化”或“失油”现象,因此应避开正午和午后高温时段,优先选择日出前后或傍晚至夜间等相对低温时段进行摊铺与碾压作业。在昼夜温差较大的地区,还可采用夜间施工机制,通过灯光与智能化辅助设备保障施工精度与安全性。此外,施工调度人员应依据天气预报动态调整作业计划,合理安排材料拌和、运输、摊铺与压实时间节点,确保混合料在适宜的温度窗口内完成施工全过程,避免因温度异常造成质量缺陷。通过高温作业时间的科学避让与分段组织,可显著降低温控风险,提高作业质量与效率。

(二) 运输与摊铺温度控制

沥青混合料自拌合站出料后至摊铺机摊铺之间的温度控制是影响成型质量的关键环节。高温天气下,外部气温对混合料温度变化影响较大,尤其在运输过程中易出现局部过热或散热不均问题。为保障混合料到达现场时的温度稳定,应采用保温性能良好的运输车辆,必要时在车厢内设置隔热层或采用遮盖布防止热量流失与直晒^[4]。此外,摊铺设备应具备实时温度监测与反馈功能,确保摊铺温度始终控制在最佳施工范围内,避免因温度偏高

造成离析、流动性增强或油膜溢出等质量隐患。为实现精细化控制,可结合红外线温控装置与智能摊铺系统协同使用,实现温度全程可视化、数字化管理,提升高温环境下的摊铺均匀性与施工适应性。

(三) 压实作业关键参数调整

压实是决定沥青路面密实度、结构稳定性与使用寿命的核心环节,高温条件下更需对压实参数进行精细化调整。首先,应依据混合料类型与环境温度确定最佳压实起始温度与终止温度范围,控制在温度窗口期内完成压实作业。高温天气下,初压可适当提前,缩短中间延迟时间,同时加强复压与终压的碾压次数,以弥补混合料温度下降缓慢导致的压实不均。其次,压路机类型与吨位配置也需合理选择,建议采用振动式钢轮压路机搭配橡胶轮压路机进行组合压实,提高密实度与表面均匀性。最后,推广智能压实系统可实现压实度、温度、速度等参数的实时感应与自动调节,增强现场压实精度与一致性。通过对压实参数的科学设定与动态控制,有效规避高温施工过程中出现的路面起皮、滑移与沉陷等病害问题^[5]。

三、高温环境下施工质量问题与防治技术

(一) 常见质量问题类型

在高温环境下进行沥青路面施工,常见的质量问题主要包括早期车辙、泛油、离析、裂缝、压实不足与表面滑移等。车辙多出现在交通荷载集中区域,是由于沥青混合料在高温下软化,抵抗剪切变形能力下降,压实不充分,导致结构层产生塑性变形。泛油现象表现为路面表层沥青上浮,形成光滑膜层,降低摩擦力,存在极大行车风险。离析问题是由于高温下混合料温度不均或运输振动,使粗细集料分布不均,影响路面整体密实度。裂缝则常发生在混合料降温过快或结合层粘结不良时,导致结构应力集中。压实不足与滑移多由温控失衡、碾压参数未按标准执行(如未控制压实温度在120℃~150℃之间)等原因引起,最终影响路面使用寿命与承载能力^[6]。

(二) 问题成因深度剖析

上述问题的产生与高温施工环境中的物理、化学变化密切相关。首先,在气温超过35℃、地表温度达到55℃以上时,沥青黏度下降至过低水平($< 0.3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$),使其失去原有结构稳定性与抗剪能力,易发生流动变形。其次,混合料长时间暴露在高温环境中,温差过大(超过30℃)导致混合料中不同粒径集料热传导不一致,诱发离析与热应力集中。第三,运输与摊铺过程中如未及时保温或温度控制不到位,会造成“冷接缝”或热损失,使压实过程中材料未达到设计压实度(压实度不达标低于96%),从而埋下质量隐患。此外,管理层施工组织不当、作业流程安排不合理、操作工人缺乏针对高温施工的经验,也是导致质量问题频发的主观因素。

(三) 预防与补救技术路径

针对高温环境下的质量问题,可从预防与补救两个层面制定技术路径。预防方面,建议采用抗车辙能力强的SBS改性沥青,

其软化点提升至80℃以上,可有效降低高温蠕变率($<1.5\times10^{-4}$ mm/mm),提高混合料高温稳定性。施工过程中应合理控制摊铺与压实温度,压实作业应在混合料温度为135℃~145℃之间进行,并确保碾压遍数达到6~8遍,同时引入智能压实监测系统实时跟踪密实度。为防止离析与泛油,推荐使用双层摊铺技术与隔离析装置,有效均匀混合料分布与温度分布。补救方面,对已形成的质量缺陷区域应进行快速检测与标定,如利用红外热成像识别温度异常区,采用乳化沥青洒布修复轻度剥离与滑移,或通过局部切除与再压实方式处理严重车辙与裂缝区域^[7]。整体而言,通过材料选型优化、参数标准化控制与智能化监管手段,可有效提升高温环境下沥青路面的整体施工质量与使用性能。

四、施工质量智能监测与动态调控技术

(一) 施工过程信息化监控体系建设

在高温环境下提升沥青路面施工质量的核心在于构建全过程信息化监控体系,实现从材料出厂、运输、摊铺到碾压各环节的温度、压实度、时间等关键指标的动态监控与联动控制。该体系可基于物联网架构,结合高精度红外温度传感器、GPS定位模块和无线通信设备,在沥青混合料运输车、摊铺机及压路机等关键节点布设监控装置,实时采集温度(误差控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$)、位置、作业时间等数据,并传输至中央处理系统进行分析。系统可实现温度异常预警,如混合料中心温度降至低于120℃或高于170℃,将自动提示施工人员调整操作。此外,可利用热成像技术动态获取摊铺面热分布图,及时发现局部热损失和冷接缝风险,提升摊铺均匀性。通过信息化系统协助管理人员进行科学决策与调度,实现对高温条件下施工全过程的闭环质量控制与可追溯管理^[8]。

(二) 智能压实系统的集成与优化

智能压实系统是提升沥青路面施工质量与压实效率的关键装备,尤其在高温环境下,其自动识别与动态调控功能优势更加明显。该系统主要由GPS定位模块、振动监控传感器、温度探头、加速度计以及数据处理终端构成,能够实时监测压路机位置、行驶轨迹、碾压遍数、速度、振幅及混合料表层与内部温度等参

数。系统通过与既定压实曲线对比分析,自动判断是否达到设计压实度(通常为96%以上),并发出压实不足或过度的预警提示,指导驾驶员及时进行补压或调整。为提高适应性,部分系统还具备自动路径规划与碾压轨迹智能纠偏功能,有效避免碾压重叠不足或遗漏。此外,结合地质雷达与高频探头的集成应用,可实现对路基密实度与厚度的深层检测,避免结构层压实虚空问题。通过压实全过程智能跟踪与闭环优化控制,有效提升施工一致性和路面承载性能,降低人为操作误差。

(三) 施工管理平台与调度系统融合

为实现高温条件下施工效率与质量的双重保障,构建一体化施工管理平台并融合调度系统成为必然趋势。该平台集成温度监测、施工进度、设备运行状态、材料消耗与运输路径等多维信息,通过大数据算法进行实时分析与智能优化调度。例如,当某一摊铺段温度即将超过上限或运输车辆滞后,系统将自动调整碾压顺序或重新调配车辆,确保压实操作在合适时间窗内完成。平台还可建立施工任务库与资源池,实现对施工人员、设备与物料的精细化管理,提升资源配置效率。在数据分析方面,平台可生成温度-压实度关联图、压实轨迹图、质量评估报告等,便于管理层进行质量追溯与改进。借助云计算与远程控制技术,还可实现多工地远程协同管理,确保各个施工现场在高温天气下均按规范、安全、高质量执行作业任务,推动施工质量智能化、数字化、规范化转型。

五、结束语

高温环境对沥青路面施工质量提出了更高要求,若控制不当易导致路面早期病害、结构变形与使用寿命下降。本文从材料热敏感性变化、施工工艺调整、质量缺陷防治及智能化监测四方面进行了系统研究,提出了多项具有可操作性的控制技术与管理策略。通过合理安排施工时段、精控温度参数、优化压实工艺并引入信息化监测平台,可显著提升施工质量与效率。未来应加快智能技术集成应用,构建更加科学、高效的高温施工质量保障体系。

参考文献

- [1] 廖小权. AC 沥青路面改性在高温多雨环境下的应用分析 [J]. 中国新技术新产品, 2025(11): 71-73. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2025.11.039.
- [2] 韩志文. 高温高湿环境下沥青路面抗滑劣化特性研究 [J]. 交通世界, 2024(23): 23-25. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.23.054.
- [3] 贺玉婷, 张毅, 叶敏. 高温强辐射环境下"金港高速"沥青路面变形场模拟研究 [J]. 公路工程, 2024, 49(06): 93-100. DOI: 10.19782/j.cnki.1674-0610.2024.06.014.
- [4] 潘志华. 高温多雨地区活化胶粉/SEBS 复合改性沥青制备及其性能研究 [D]. 重庆交通大学, 2024. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2024.000909.
- [5] 零银珠, 韦万峰. 橡胶沥青混合料 ARAC-20G 高温车辙疲劳试验研究 [J]. 西部交通科技, 2025(02): 1-4. DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2025.02.001.
- [6] 武继开. 碳纳米管/SBS 复合改性沥青性能试验研究 [D]. 吉林建筑大学, 2024. DOI: 10.27714/d.cnki.gjljs.2024.000203.
- [7] 姜博. 含盐高湿环境下复合纤维沥青混合料路用性能研究 [D]. 重庆交通大学, 2024. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2024.000185.
- [8] 董硕. 环氧树脂改性乳化沥青半柔性混合料高温性能研究及离散元分析 [D]. 青岛理工大学, 2024. DOI: 10.27263/d.cnki.gqudc.2024.000320.