

沥青混凝土路面摊铺施工工艺优化探讨

高延波

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 沥青混凝土路面作为现代交通基础设施中最常见的路面结构形式,其施工质量直接关系到道路的使用性能、耐久性及行车安全。摊铺作业作为沥青混凝土路面施工的核心环节,对最终路面平整度、密实度、均匀性等关键指标具有决定性影响。本文在系统梳理沥青混凝土路面摊铺施工基本原理与流程的基础上,深入分析当前摊铺施工中存在的主要问题,如离析、温度离析、摊铺不连续、接缝处理不当等,并从材料控制、设备选型与配置、施工参数优化、智能技术应用以及全过程管理等多个维度,提出系统性的工艺优化策略。研究表明,通过精细化管理和技术创新,可显著提升摊铺质量,延长路面使用寿命,降低全生命周期成本。本文旨在为工程实践提供理论参考与技术支撑。

关键词: 沥青混凝土;路面摊铺;施工工艺;离析控制;温度管理;智能建造

引言

沥青混凝土因其良好的行车舒适性、施工便捷性及可再生利用性,成为全球范围内应用最广泛的柔性路面材料。然而,在实际工程中,即便原材料质量达标、配合比设计合理,若摊铺施工工艺控制不当,仍可能导致早期病害频发,如车辙、坑槽、裂缝等,严重影响道路服务水平和使用寿命。摊铺是将拌合好的热拌沥青混合料(HMA)均匀、连续地铺设于基层或下承层上的关键工序。该过程不仅决定了混合料的初始分布状态,还直接影响后续碾压效果及最终路面结构性能。传统摊铺施工多依赖经验操作,缺乏对摊铺过程中材料流动、温度变化、机械作用等复杂物理过程的精准控制,易引发材料离析、温度梯度异常、摊铺中断等问题。因此,对沥青混凝土路面摊铺施工工艺进行系统性优化,已成为提升路面工程质量、推动行业高质量发展的迫切需求。

1 沥青混凝土路面摊铺施工基本目标与流程

1.1 摊铺的基本目标

沥青混凝土摊铺的核心目标是在保证混合料温度的前提下,实现混合料在横向与纵向上的均匀分布,确保摊铺过程连续不间断,并初步形成高平整度的摊铺面,同时通过摊铺机自身的振捣与振动装置使混合料达到一定的初始密实度。这一初始密实度通常维持在80%至85%之间,既可有效减少后续碾压的工作量,又能为压实作业提供良好的基础条件。摊铺质量的好坏,直接决定了最终路面是否具备良好的抗车辙能力、水稳定性和平整度,因此必须从材料状态、设备性能和操作控制等多个方面协同保障。

1.2 摊铺施工基本流程

典型的沥青混凝土摊铺施工流程始于充分的施工准

备,包括对下承层的验收、精确的测量放样、摊铺机的调试以及运输车辆的合理调度。随后,热拌沥青混合料由拌合站装车运至施工现场,在此过程中需严格控制运输时间与保温措施,以防止温度过度损失和材料离析。当混合料抵达摊铺现场后,摊铺机接收料车卸料,并通过螺旋布料器将混合料横向均匀分布,再经熨平板整平并初步压实。紧随其后的碾压作业分为初压、复压和终压三个阶段,旨在使混合料达到设计要求的密实度。与此同时,横向与纵向接缝的处理必须精细到位,以确保接缝区域的强度与平整度不逊于主体路面。最后,在路面冷却至规定温度后方可开放交通。整个流程环环相扣,其中摊铺作业作为连接混合料生产与压实成型的关键桥梁,其质量控制尤为关键。

2 当前摊铺施工中存在的主要问题

2.1 材料离析

材料离析是沥青混凝土摊铺过程中最为普遍且危害严重的问题之一,主要表现为混合料中粗细集料在空间上发生非均匀分布。这种现象可分为级配离析和温度离析两类。级配离析通常发生在螺旋布料器转速过高、料位过低或摊铺速度突变等工况下,导致粗细集料被甩向摊铺边缘或局部区域堆积,而细集料则集中在中心部位,从而破坏了设计级配的均匀性,显著降低路面的抗剪强度和水稳定性^[1]。温度离析则源于混合料在运输或摊铺过程中因散热不均而产生的局部温差,当温差超过15℃时,低温区域的混合料黏度增大,难以被有效压实,形成结构薄弱带,极易在使用初期出现水损害或疲劳开裂。这两种离析形式往往相互交织,共同削弱路面的整体性能。

2.2 摊铺不连续与停机

摊铺过程的连续性是保证路面质量的重要前提,然

而在实际施工中,由于运输调度不当、设备突发故障或施工组织协调不力,摊铺机常出现频繁启停的情况。一旦摊铺中断,新旧混合料之间便形成冷接缝,该区域因温度差异大、压实难度高而成为结构弱点。此外,摊铺机在重新起步时,熨平板受力状态突变,容易在路面表面产生“搓板”状波浪,严重影响平整度。更为严重的是,停机期间混合料持续降温,若未及时覆盖保温,其工作性能将大幅下降,即便后续恢复摊铺,也难以达到理想的压实效果,从而埋下早期病害隐患。

2.3 接缝处理不当

接缝处理是摊铺施工中不可忽视的细节环节。纵向接缝若未能采用热接缝工艺或两台摊铺机之间的重叠宽度不足,极易形成弱连接带,成为水分侵入和结构破坏的通道。而横向接缝若切割不垂直、端部清理不彻底,或新旧混合料温差过大,则会导致接缝处平整度差、密实度不足,进而引发反射裂缝。尤其在重载交通作用下,接缝区域往往率先出现破损,严重影响行车舒适性与安全性。因此,对接缝的精细化处理不仅是技术问题,更是质量控制的关键节点。

2.4 摊铺参数设置不合理

摊铺速度、螺旋布料器转速、振捣频率以及熨平板仰角等参数的设定,直接关系到摊铺质量的优劣。若这些参数未根据混合料类型、环境温度、摊铺层厚等实际条件进行动态调整,便难以实现理想的摊铺效果。例如,摊铺速度过快会导致混合料分布不均、预密实度不足;螺旋布料器转速过高则加剧粗集料离析;振捣频率与摊铺速度不匹配可能造成表面纹理粗糙或内部空隙率异常。因此,参数设置必须建立在对材料特性和施工环境的充分理解之上,而非简单套用经验数值。

2.5 缺乏实时监控与反馈机制

传统摊铺施工高度依赖人工观察与经验判断,缺乏对摊铺温度、厚度、平整度等关键参数的实时监测手段。这种滞后性的质量控制方式,使得问题往往在碾压完成后甚至开放交通后才被发现,此时返工成本高昂且效果有限^[2]。尤其是在大规模、长距离的高速公路项目中,仅靠人工巡检难以覆盖全部作业面,极易遗漏局部缺陷。因此,构建一套高效、精准的实时监控与反馈机制,已成为提升摊铺施工智能化水平的迫切需求。

3 摊铺施工工艺优化策略

3.1 材料源头控制与运输优化

材料质量是摊铺工艺优化的起点。在配合比设计阶段,应优先选用骨架密实型级配,如SMA或Superpave体系,这类结构具有更强的抗离析能力和高温稳定性。同

时,应严格控制最大公称粒径,一般不超过摊铺层厚的三分之一,以减少粗集料在运输和摊铺过程中的滚动离析风险。必要时可添加木质素纤维或聚合物改性剂,增强混合料的内聚力与温度敏感性。在运输环节,必须使用配备保温篷布的专用运输车辆,并采用“前-后-中”多次装料法,有效抑制装料过程中的级配偏析。卸料时应尽量一次性快速完成,避免反复提斗造成二次扰动。此外,运输时间应控制在合理范围内,通常不超过一小时,以最大限度减少温度损失,确保混合料抵达摊铺现场时仍处于最佳工作状态。

3.2 摊铺设备选型与配置优化

高性能摊铺设备是实现高质量摊铺的物质基础。现代摊铺机应具备自动找平系统(如激光或超声波引导)、高稳定性液压驱动系统以及可调振捣/振动复合夯实装置。对于宽度超过7.5米的路面,推荐采用双机梯队作业模式,通过合理的间距控制(5~10米)和10厘米左右的重叠摊铺,有效减少纵向冷接缝的数量。螺旋布料器的设计与运行状态对离析控制至关重要,应保持料位高度始终位于叶片三分之二以上,避免因料位过低导致螺旋空转而加剧离析。同时,采用低转速、高扭矩的驱动方式,有助于减缓粗集料向边缘迁移的趋势。熨平板则需具备足够的刚度与质量,并配备高效的加热系统,使其工作温度稳定在100至130摄氏度之间,防止混合料粘附并确保表面光洁。对于改性沥青等高黏度材料,振动与振捣的协同作用更能有效提升预密实度,为后续碾压创造良好条件。

3.3 施工参数精细化调控

摊铺速度应保持匀速,通常控制在每分钟2至6米之间,高速公路项目宜取较低值(3~4m/min),以保障摊铺均匀性与平整度。更重要的是,摊铺速度必须与拌合站产量和运输能力相匹配,实现“连续供料、连续摊铺”的理想状态,杜绝因等待料车而导致的停机。温度管理贯穿整个施工过程,从出厂、到场、摊铺到碾压,各阶段温度均需严格监控。普通沥青混合料的摊铺温度宜控制在150至165摄氏度,改性沥青则需提高至160至170摄氏度。通过建立温度-时间衰减模型,可动态调整施工节奏,确保混合料在最佳温度窗口内完成压实^[3]。接缝处理方面,纵向接缝应优先采用热接缝工艺,若条件受限需做冷接缝,则必须进行垂直切割、彻底清理并涂刷粘层油;横向接缝则应采用平接缝形式,端部用3米直尺检测后切除不平整部分,并在新摊铺前对旧缝面进行充分预热,以促进新旧材料的良好融合。

3.4 智能化与数字化技术应用

随着信息技术的发展,智能化与数字化技术正深刻改变着摊铺施工的传统模式。智能摊铺系统集成GPS、惯性导航和激光找平等多种传感技术,能够实现高精度的自动找平与路径跟踪,显著提升摊铺平整度的一致性。红外热成像技术的应用,使得摊铺面的全断面温度分布可视化成为可能,通过AI算法可自动识别温度离析区域,并生成热力图指导碾压顺序与重点区域处理。BIM与数字孪生技术的引入,允许在虚拟环境中模拟不同参数组合下的摊铺效果,实现施工方案的预演与优化。此外,基于物联网(IoT)的施工监控平台,通过在运输车、摊铺机和压路机上部署传感器,构建起覆盖“拌合—运输—摊铺—碾压”全过程的数据链,云端平台可实时分析数据、预警异常工况,并支持远程决策,真正实现施工过程的透明化与可控化。

3.5 全过程质量管理体系构建

技术手段的先进性必须依托于健全的质量管理体系才能发挥最大效能。首先,应制定标准化的摊铺作业指导书(SOP),明确各岗位职责与操作规范,并推行“首件工程认可制”,通过试点段验证工艺参数的合理性。其次,人员素质是质量保障的核心,必须加强对摊铺机操作手、质检员等关键岗位的专业培训,提升其对离析、温度异常等敏感问题的识别与应对能力,弘扬精益求精的“工匠精神”^[4]。最后,应建立动态质量评估与反馈机制,采用无核密度仪、激光平整度仪等快速检测设备,在摊铺后即时获取质量数据,形成“摊铺—碾压—检测”的闭环反馈系统,实现施工参数的实时调整与持续优化,从而将质量问题消灭在萌芽状态。

4 讨论与展望

摊铺工艺优化不仅是单一技术环节的改进,而是一项涵盖材料、设备、工艺、管理与信息系统的综合性工程。未来,随着“双碳”目标的推进,绿色低碳摊铺将成为重要方向,温拌沥青技术因其可降低施工温度20~30℃、减少能耗与排放的优势,将得到更广泛应用。同时,基于5G通信与北斗高精度定位的无人驾驶摊铺机集

群协同作业,有望实现真正意义上的无人化、智能化施工。更深层次的发展趋势在于“材料-工艺协同设计”,即在混合料设计阶段就充分考虑其摊铺适应性,将抗离析性、温度敏感性等纳入评价体系,实现从材料到施工的一体化优化。从全生命周期视角看,高质量的摊铺不仅能提升初期性能,更能显著延缓病害发生,降低后期养护成本,从而在LCCA(全生命周期成本分析)框架下体现出更高的经济与社会效益。当然,也需清醒认识到,无论技术如何进步,人的因素始终不可替代。操作人员的经验、责任心与对细节的关注,仍是保障摊铺质量的最终防线。

5 结语

沥青混凝土路面摊铺施工工艺的优化是一项多维度、系统性的工程。本文通过分析当前摊铺施工中的典型问题,从材料控制、设备配置、参数调控、智能技术应用及全过程管理等方面提出了综合优化策略。研究表明:离析与温度控制是摊铺质量的核心挑战,需从源头到终端全过程防控;高性能设备与精细化参数设置是保障摊铺均匀性与连续性的基础;智能化、数字化技术为摊铺质量实时监控与动态优化提供了强大工具;而健全的质量管理体系与高素质施工队伍则是工艺落地的关键保障。未来,随着新材料、新装备、新技术的融合发展,沥青混凝土路面摊铺施工将朝着更高效、更智能、更绿色的方向迈进。

参考文献

- [1]程涛.公路沥青混凝土路面摊铺施工技术要点[J].城市建设,2025,(11):27-29.
- [2]陈春.沥青混凝土路面摊铺压实技术控制研究[C]//中国智慧工程研究会.2025工程新技术与新方法经验交流会论文集.[出版者不详],2025:261-262.
- [3]石长喜.高速公路沥青混凝土路面摊铺和碾压施工技术[J].工程机械与维修,2024,(02):99-101.
- [4]蒋钟志.道路工程中沥青混凝土路面的摊铺施工技术与应用[J].运输经理世界,2023,(16):10-12.