

多机联铺协同作业在超宽断面公路施工中的关键技术探讨

王仲茂

新疆市政轨道交通有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着我国交通基础设施建设的不断升级,高速公路、城市快速路等项目对路面宽度和整体性能提出了更高要求,超宽断面(通常指单幅摊铺宽度超过12米)沥青路面施工已成为常态。传统的单机摊铺模式在面对超宽断面时,难以克服离析、平整度差、纵向接缝质量不佳等固有缺陷。多机联铺协同作业作为一种先进的施工组织模式,通过多台摊铺机并行作业,有效解决了上述难题,成为保障超宽断面公路路面质量的核心技术。本文系统阐述了多机联铺协同作业的技术内涵与核心优势,深入剖析了其在超宽断面施工中面临的五大关键技术挑战:摊铺机选型与配置、梯队作业间距与高程控制、混合料供应与温度均匀性保障、智能协同控制以及施工全过程质量监控。针对每一项关键技术,本文详细论述了其原理、影响因素及优化策略,旨在为提升我国超宽断面公路施工技术水平提供理论参考与实践指导。

关键词: 超宽断面;多机联铺;协同作业;沥青路面;梯队摊铺;智能控制

引言

“十四五”新阶段,我国交通强国战略提速,京雄高速等重大工程对道路提出更高标准。超宽断面设计因能提升交通容量等被广泛应用,却给沥青混合料摊铺施工带来挑战。传统单台大型摊铺机虽可全宽摊铺,但存在诸多问题:超宽螺旋布料器易致粗细集料离析,影响路面性能;单机超宽摊铺对设备要求极高,微小波动都会影响路面平整度;设备故障还会造成全面停工,影响施工进度与温度控制。为应对挑战,多机联铺协同作业应运而生,它用多台摊铺机组成“梯队”同步摊铺,将超宽断面划分成窄作业带,规避单机弊端,还能提升路面整体性与耐久性。所以,深入研究多机联铺协同作业关键技术,对保障重大交通基础设施建设质量意义重大。

1 多机联铺协同作业的技术内涵与核心优势

多机联铺协同作业并非简单地将多台摊铺机并排使用,而是一个高度集成、精密配合的系统工程。其核心在于“协同”二字,即通过科学的组织、精确的控制和高效的物料保障,使多台设备如同一个有机整体,共同完成高质量的摊铺任务。

1.1 技术内涵

多机联铺通常采用“梯队作业”模式。以前后两台摊铺机为例,前方摊铺机(主摊铺机)负责摊铺大部分宽度,后方摊铺机(副摊铺机)紧随其后,摊铺剩余宽度,并与主摊铺机形成一条纵向接缝。这条接缝是在高温状态下完成的,被称为“热接缝”。理想的协同作业要求两台摊铺机保持恒定的速度、稳定的间距,并且副摊铺机的熨平板外侧边缘需准确搭接在主摊铺机已铺筑路面的未冷却部分上,搭接宽度通常为5-10厘米。

1.2 核心优势

一是有效抑制离析:将超宽断面分解为多个窄幅作业带,大幅缩短了单台摊铺机螺旋布料器的工作长度,从根本上减少了因物料长距离输送造成的横向和竖向离析。二是提升平整度:窄幅摊铺对熨平板的刚度和调平系统要求相对较低,更容易实现高精度的平整度控制。同时,多台设备可以相互参照,通过高程传感器形成更稳定的基准面。三是优化纵向接缝质量:热接缝是多机联铺的灵魂^[1]。在高温下碾压成型的接缝,其密实度和粘结强度远高于冷接缝,几乎可以达到与主路面一致的整体性能,消除了传统冷接缝易开裂、渗水的隐患。四是增强施工灵活性与可靠性:即使其中一台设备出现临时故障,其余设备仍可继续作业,待故障排除后迅速归队,最大限度地保证了施工的连续性和混合料的温度窗口。五是适应性强:该模式可根据实际断面宽度灵活调整摊铺机数量和组合方式,适用于各种复杂的超宽、变宽路段。

2 超宽断面多机联铺协同作业的关键技术挑战与对策

尽管多机联铺优势显著,但其成功实施依赖于对一系列关键技术的精准把控。任何环节的疏忽都可能导致协同失效,反而引入新的质量问题。

2.1 摊铺机选型、配置与状态一致性

2.1.1 挑战

多机联铺要求所有参与作业的摊铺机在性能、状态上高度匹配。若设备型号不同、新旧程度不一、液压系统响应速度存在差异,或熨平板磨损程度不同,即使设定相同的参数,其实际输出效果也会大相径庭,导致摊铺厚度、密实度不均,甚至在接缝处形成明显的“台阶”或“沟槽”。

2.1.2 关键技术与对策

(1) 统一设备型号: 最优方案是选用同一品牌、同一型号、出厂时间相近的摊铺机。这能最大程度保证设备的基础性能一致。(2) 精细化调试与标定: 在正式施工前, 必须对所有摊铺机进行全面的调试和标定。重点包括: 发动机功率输出曲线、行走系统速度控制精度、液压系统压力稳定性、找平系统(无论是钢丝绳、声纳还是非接触式平衡梁)的灵敏度与响应时间、螺旋分料器的转速与输料能力等。(3) 熨平板维护: 确保所有熨平板底板光滑、无变形, 振捣器和振动器的振幅、频率可精确调节且保持一致^[2]。必要时, 可对熨平板进行预热, 使其达到稳定的工作温度。(4) 建立设备档案: 对每台设备的性能参数、维修记录、校准数据建立详细档案, 便于施工过程中的动态管理和参数微调。

2.2 梯队作业间距、高程与速度协同控制

2.2.1 挑战

这是多机联铺成败的核心。间距过大, 主摊铺机铺筑的边缘会过度冷却, 导致热接缝失效, 形成冷接缝; 间距过小, 则后车操作空间受限, 存在碰撞风险, 且前车排出的废气会影响后车操作手视线和健康。高程控制不当, 会在接缝处形成纵向“隆起”或“凹陷”, 严重影响平整度和行车舒适性。速度不一致则直接破坏协同性, 导致混合料堆积或拉裂。

2.2.2 关键技术与对策

(1) 最佳间距确定: 间距主要取决于环境温度、风速、混合料类型及摊铺温度。一般原则是在保证安全的前提下, 尽可能缩小间距。经验值通常在5-15米之间。可通过红外测温仪实时监测主摊铺机边缘混合料的温度, 确保副摊铺机开始摊铺时, 该区域温度不低于130°C(具体数值依据混合料类型调整), 以此动态调整间距。(2) 高程协同控制: 一是基准选择: 主摊铺机通常采用高精度的非接触式平衡梁(如超声波、激光)作为找平基准, 以已铺筑的下承层或基层为参照。副摊铺机则不宜再使用下承层作为基准, 因为其与主摊铺机所参照的基准面可能存在高差。二是浮动滑靴法: 副摊铺机最常用的方法是采用“浮动滑靴”(SkiorFloatationShoe)。将滑靴放置于主摊铺机刚刚铺筑完成、尚未碾压的热料面上。滑靴的长度至关重要, 一般要求不小于9米, 以跨越可能存在的微小不平整, 感知的是一个平均高程, 而非瞬时高程。通过这种方式, 副摊铺机能自动跟随主摊铺机形成的理想高程面, 实现无缝衔接^[3]。三是双纵坡控制: 对于横坡较大的路段, 需确保两台摊铺机的横坡控制系统同步、精确, 避免在接缝处形成“折角”。(3) 速度协同控

制: 所有摊铺机必须由经验丰富的操作手驾驶, 并保持完全相同的速度。现代高端摊铺机普遍配备GPS或雷达测速系统, 并可通过无线通信实现速度联动, 即主摊铺机设定速度后, 信号自动传输给副摊铺机, 辅助其维持同步。操作手需时刻关注前后车距, 进行微调。

2.3 沥青混合料的均衡、连续供应与温度场均匀性保障

2.3.1 挑战

多机联铺对混合料的需求量巨大且集中。若拌合站产量不足、运输车辆调度不畅, 极易造成摊铺机“等料”停机, 导致施工中断, 已铺筑的混合料温度下降, 形成冷接缝。此外, 从拌合站到摊铺现场, 混合料经历多次转运, 温度损失不可避免, 如何保证到达各台摊铺机料斗的混合料温度均匀、稳定, 是保证摊铺质量的前提。

2.3.2 关键技术与对策

(1) 产能匹配与物流规划: 施工前必须进行详细的产能计算。拌合站的实际有效产量(考虑故障、待料等因素)应至少为摊铺总需求量的1.2倍以上。建立高效的运输车队, 采用“前场呼叫、后场响应”的智能调度系统, 确保运料车不间断地抵达摊铺现场, 并遵循“先到先卸”的原则, 减少等待时间。(2) 转运车(Material Transfer Vehicle, MTV)的应用: MTV是解决混合料离析和温度不均的关键设备。它接收运料车卸下的混合料, 通过内置的二次搅拌装置(如螺旋或转子)对其进行重新拌和, 有效消除装卸过程中产生的骨料离析, 并使温度分布更均匀。然后, MTV以稳定、连续的方式向摊铺机供料, 避免了摊铺机频繁启停, 保证了摊铺的连续性和稳定性。(3) 全过程温度监控: 在拌合站出料口、运料车、MTV出料口及摊铺机料斗等多个关键节点安装温度传感器, 构建混合料温度链。利用物联网技术, 将数据实时上传至项目管理平台, 一旦发现某批次混合料温度异常(过高或过低), 可立即预警并追溯处理。(4) 保温措施: 运料车必须使用高质量的双层保温篷布全覆盖, 减少运输途中的热量散失。

2.4 智能化协同作业控制技术

2.4.1 挑战

传统的多机联铺高度依赖操作手的经验和默契, 人为因素干扰大, 控制精度有限, 难以满足未来智能建造的要求。

2.4.2 关键技术与对策

(1) 基于GNSS/RTK的高精度定位: 为每台摊铺机配备高精度全球导航卫星系统(GNSS)接收机, 结合实时动态(RTK)差分校正技术, 可实现厘米级甚至毫米级的三维位置定位。这为自动化控制提供了基础。(2) 数字施工引导系统: 将BIM模型中的路面三维设计数据导

入摊铺机控制系统。系统根据摊铺机的实时位置，自动计算并输出所需的摊铺厚度、横坡和高程指令，引导熨平板动作^[4]。多台设备共享同一套数字模型，天然实现了协同。(3) 机群协同控制算法：开发专用的协同控制软件。主摊铺机作为“领导者”，其轨迹和状态作为基准；副摊铺机作为“跟随者”，通过无线网络实时接收主车数据，并结合自身的高精度定位信息，运用路径跟踪、编队控制等算法，自动调整行驶速度、方向和熨平板姿态，实现全自动化的梯队作业。这极大地降低了对人工操作的依赖，提升了协同精度和稳定性。(4) 数字孪生(DigitalTwin)应用：构建施工现场的数字孪生体，将物理世界的摊铺机、混合料、环境等要素在虚拟空间中进行实时映射。管理人员可以在虚拟环境中预演施工方案、监控实时状态、预测潜在风险，并进行远程干预，实现施工过程的可视化、可预测和可调控。

2.5 全过程施工质量监控与评价

2.5.1 挑战

如何客观、全面、实时地评价多机联铺的施工质量，特别是接缝区域的质量，是确保最终路面性能的关键。

2.5.2 关键技术与对策

(1) 接缝质量无损检测：采用探地雷达(GPR)或红外热成像技术对接缝区域进行扫描。GPR可以检测接缝下方的密实度是否均匀；红外热成像则能直观显示碾压后接缝与主路面的温度场分布，判断是否存在虚铺或压实不足。(2) 平整度连续检测：利用激光断面仪或惯性剖面仪，在摊铺后、碾压前及最终成型后，对包括接缝在内的全断面进行连续平整度检测，及时发现并修正问题。(3) 压实度智能监控：在压路机上安装智能压实系统(IntelligentCompaction,IC)，通过集成的加速度计、位移传感器和GPS，实时监测碾压遍数、压实遍次下的模量变化，并生成压实度彩色云图。管理人员可以清晰地看到接缝区域是否得到了充分、均匀的压实。(4) 大数据分析反馈：将施工过程中采集的所有数据(设备运

行参数、混合料温度、碾压数据、质量检测结果等)汇集到大数据平台。通过机器学习算法，分析各因素与最终路面质量(如平整度、压实度、渗水系数)之间的关联，建立预测模型，为后续施工提供优化建议，形成“感知-分析-决策-执行”的闭环管理。

3 结语

多机联铺协同作业是破解超宽断面公路沥青路面施工难题的有效途径。其成功实施绝非易事，而是依赖于摊铺机的高度一致性、梯队间距与高程的精密控制、混合料供应链的可靠保障、智能化协同技术的深度应用以及全过程、多维度的质量监控体系。只有将这些关键技术作为一个有机整体进行统筹规划和精细管理，才能真正发挥多机联铺的优势，打造出“内实外美”的高品质路面。展望未来，多机联铺协同作业将朝着更高层次的智能化、无人化方向发展。随着5G、人工智能、数字孪生等技术的成熟，未来的摊铺作业或许将由一个中央控制室远程指挥，多台无人摊铺机、无人压路机组成的智能机群，依据云端BIM模型自主规划路径、协同作业、自我纠偏，实现“黑灯工地”式的自动化施工。这不仅将进一步提升施工质量和效率，也将从根本上改变工程建设的生产方式和管理模式。

参考文献

- [1]郑伟力.公路路基施工质量控制关键技术研究[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.湖州恒元公路养护有限公司,2025:1011-1015.
- [2]董洋.公路路基施工质量控制技术研究[J].汽车周刊,2026,(02):107-108+116.
- [3]李昊阳.公路路面施工中沥青摊铺的施工技术质量管理探析[J].汽车周刊,2026,(02):187-189.
- [4]李兴国.公路工程施工技术控制与管理研究[J].散装水泥,2025,(05):133-135.