

温拌沥青混凝土生产施工技术应用与节能效益分析

孙喜军

河南中州路桥建设有限公司 河南周口 466000

摘要: 随着绿色发展理念在基础设施建设领域的深入推进,温拌沥青混凝土技术因其显著的节能环保特点而备受关注。与传统的热拌工艺相比,温拌技术通过独特的材料与工艺设计,表现出基于界面活化原理的低温工作性、平衡温度与性能的工艺窗口设计以及适应复杂气候条件的施工适应性等关键特征。为了在实际工程中发挥这些优势,需要应用多项关键技术,提升道路工程在全生命周期内的环境友好性。

关键词: 温拌沥青混凝土; 生产施工; 技术应用; 节能效益

引言

温拌沥青,即沥青混合料,指的是通过一定的技术措施,使沥青能在相对较低的温度下进行拌和及施工,同时保持其不低于HMA的使用性能的沥青混合料技术,也称为温拌沥青技术。温拌沥青混合料在生产过程中采用独特的改性机理降低沥青黏度,改变沥青与矿料的界面作用力,在保证足够包裹性的同时,有效克服了低温施工带来的压实度不足问题^[1]。因此,对温拌技术的特征、应用与效益进行整合性分析,有助于为工程实践提供更为清晰的决策依据。

一、温拌沥青混凝土生产施工技术特征

(一) 基于界面活化原理的低温工作性

温拌沥青混凝土生产施工技术以界面活化原理为支撑,实现低温环境下的良好工作性能,其技术核心是通过添加专用温拌剂,调整沥青与矿料的界面作用状态。温拌剂所含的表面活性成分可有效降低沥青与矿料之间的界面张力,在两者接触表面形成一层润滑界面膜,进而减小颗粒间的内摩擦作用。这一界面活化效应能明显降低沥青的黏度,让沥青混合料在比传统热拌工艺低30℃左右的温度下,依然维持良好的流动性与和易性^[2]。施工单位无需对矿料进行高温加热处理,只需将拌和温度控制在130℃左右,就能实现沥青与矿料的均匀裹附,相较于传统热拌工艺160℃以上的拌和温度,可大幅削减

能源消耗。同时,界面活化作用还能增强沥青与集料的粘附效果,避免因低温拌和造成的裹附不充分问题,保障沥青混合料成型后的结构完整性。相关试验验证显示,130℃时温拌沥青混合料的拌和阻力,与160℃时普通热拌沥青混合料的拌和阻力基本相当,其施工操作性能完全符合摊铺与碾压的技术要求,为低温环境下开展沥青路面施工提供了可靠技术保障。

(二) 平衡温度与性能的工艺窗口设计

温拌沥青混凝土生产施工技术借助精准的工艺窗口设计,达成温度降低与路用性能的动态平衡。技术人员以马歇尔设计体系为基础,采用等体积设计方法开展配合比设计工作,参照热拌沥青混合料的体积参数标准,确定温拌混合料的最佳拌和温度与击实温度。工艺窗口设计需全面考量温拌剂类型、沥青标号、矿料级配等多种影响因素,通过一系列系统试验划定适宜的温度区间,确保混合料在该区间内满足施工所需的和易性,保证成型后具备合格的力学性能^[3]。以泡沫沥青温拌技术应用为例,技术人员需通过沥青发泡试验确定最佳发泡温度与用水量,使沥青在水汽化膨胀过程中充分降低黏度,同时规避发泡过度对混合料稳定性造成的不利影响。此外,工艺窗口设计还涵盖施工全环节的温度控制标准,从混合料拌和、运输,到摊铺、碾压的各个阶段均设定明确温度阈值,保障施工全过程始终处于最优工艺区间。

(三) 适应复杂气候条件的施工适应性

温拌沥青混凝土生产施工技术拥有较强的环境适应能力,可满足不同复杂气候条件下的施工需求。在高海拔低温地区,该技术能够拓宽沥青混合料的压实温度范

作者简介: 孙喜军(1977.07—)男,汉族,河南周口人,本科学历,正高级工程师,主要从事沥青混凝土生产及施工、泡沫沥青稳定碎石生产及施工方面的研究。

围,混合料较慢的降温速率延长了有效压实时间,成功解决传统热拌沥青在低温环境下难以压实成型的技术难题。在隧道等封闭施工场景中,温拌技术可大幅减少沥青烟的排放量,避免传统热拌工艺因通风条件不佳导致的烟气聚集问题,既改善了施工人员的作业环境,也降低了对周边环境的污染。针对季冻区的气候特性,温拌沥青混合料通过优化温拌剂配比提升自身低温抗裂性能,减少冬季冻融循环对路面结构的破坏^[4]。在高温多雨地区,可通过工艺设计搭配改性沥青,提升混合料的高温稳定性,避免夏季路面出现车辙、泛油等病害。

二、温拌沥青混凝土生产施工技术应用

(一) 采用有机降粘技术,改善混合料施工和易性

施工单位在温拌沥青混凝土生产中采用有机降粘技术,通过添加蜡基复合温拌剂降低沥青黏度,改善混合料施工和易性。技术人员优先选用费托合成蜡或聚乙烯蜡为基础的有机降粘剂,这类温拌剂熔点控制在90℃~110℃区间,能在拌和温度下快速熔融发挥作用。施工单位根据沥青标号确定温拌剂掺量,针对70号基质沥青通常选取0.6%~1.2%的掺量比例,通过专用计量设备精准投加^[5]。温拌剂采用预混法加入时,施工人员先将其与沥青在130℃~140℃环境下搅拌30分钟,确保均匀分散;采用直接投入法则在沥青与集料干拌阶段同步添加。有机降粘剂能使70号沥青在120℃时的粘度从3.2Pa·s降至1.3~1.8Pa·s,显著降低混合料拌和阻力。马歇尔试验验证显示,添加有机降粘剂的温拌混合料在120℃成型时,体积指标与热拌混合料165℃成型的差异不超过5%,动稳定度仍可保持4000次/mm以上,完全满足摊铺碾压的操作要求,有效避免低温施工中混合料结块、离析等问题。

(二) 应用发泡温拌工艺,实现沥青均匀分散裹覆

施工单位应用发泡温拌工艺时,先对拌合设备进行改造,加装间歇式沥青发泡装置与配套流量控制系统。技术人员通过采集沥青泵喷射信号,实现发泡用水与沥青的同步添加,发泡用水量严格控制为沥青用量的1%,并通过公式精准计算设定水流量值。沥青在发泡管内遇水瞬间汽化膨胀,形成表面积大幅增加的泡沫沥青,泡沫沥青直接喷入拌缸与集料拌和,其黏度较原沥青显著降低,可在较低温度下快速渗透并裹覆集料。施工单位优化拌和流程,先将再生剂与废旧沥青混合料在平行滚筒中预拌180秒,再加入新集料干拌3~5秒,最后喷入泡沫沥青进行湿拌,总拌和时间较普通热拌延长5秒。泡

沫温拌工艺使沥青与集料的接触面积显著增大,避免传统工艺中沥青裹覆不充分的问题。施工中泡沫沥青混合料的出料温度较传统热拌降低20~30℃,摊铺时摊铺机熨平板预热至100℃即可正常作业,碾压阶段在115℃以上完成初压复压,70℃以上完成终压,成型后混合料密实度均匀,结构稳定性优良。

(三) 优化拌和温度控制,平衡性能与能耗关键点

技术人员以马歇尔试验体系为基础,通过系统试验确定不同温拌工艺的最优拌和温度区间,实现性能与能耗的平衡。针对表面活性剂型温拌剂,技术人员将基质沥青贮存温度控制在130℃~150℃,改性沥青贮存温度控制在140℃~160℃,避免温度过高导致温拌剂失效或沥青老化。施工单位根据温拌剂类型调整集料加热温度,采用降粘型温拌剂时新集料加热温度较传统热拌降低30℃左右,采用发泡温拌工艺时新集料加热温度降低20~30℃。技术人员在搅拌缸侧壁设置孔径不小于30cm的排气口,减少拌和过程中温度损失,同时通过实时温度监测设备跟踪混合料温度变化。混合料拌和完成后,施工单位对运输车辆车厢进行严密包裹保温,确保混合料从拌合站到施工现场的温度损失控制在10℃以内。摊铺前技术人员检查下承层温度,确保摊铺温度符合设计要求,碾压阶段严格遵循温度阈值控制,初压温度不低于115℃,终压温度不低于70℃。

(四) 引入再生料温拌技术,提升废旧料掺配比例

施工单位引入再生料温拌技术,通过温拌剂与再生剂协同作用,提升废旧沥青混合料的掺配比例。技术人员先对废旧沥青混合料进行性能检测,根据检测结果确定再生剂掺量与温拌剂类型,优先选用泡沫温拌或表面活性剂型温拌技术提升旧料适应性。施工单位将废旧沥青混合料预热温度控制在100~110℃,避免温度过高导致旧沥青性能衰减,新集料加热温度根据旧料掺量调整,掺量越高则新集料温度略高以保证混合料整体温度均匀。在高等级公路养护工程中,施工单位通过该技术将上面层废旧料掺量提升至30%,中面层提升至40%;在普通公路改扩建工程中,旧料掺量可进一步提升至50%~60%。技术人员优化材料添加顺序,先将再生剂与废旧料预拌充分,再加入新集料干拌,最后喷入温拌沥青湿拌,确保新旧材料融合均匀。施工完成后检测数据显示,再生料温拌混合料的动稳定度、低温抗裂性等指标均满足规范要求,实现废旧材料的高效利用,降低新集料开采与运输带来的环境压力。

三、温拌沥青混凝土生产施工节能效益

(一) 显著削减燃料消耗直接成本

温拌沥青混凝土生产施工技术通过降低全流程温度控制标准,显著削减燃料消耗带来的直接成本。传统热拌沥青混合料拌和温度通常维持在 $160^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$,温拌技术可将这一温度降低 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$,直接减少集料与沥青加热阶段的燃料消耗。施工单位核算数据显示,采用温拌工艺生产每吨改性沥青混合料,可节约燃料油3公斤,按行业年生产16亿吨改性沥青混合料计算,全行业可实现48万吨燃料油的节能效果。运输环节中,温拌混合料较低的出料温度降低了保温要求,运输车辆无需频繁开启加热装置,每吨混合料运输能耗较传统热拌降低15%左右。摊铺碾压阶段,温拌混合料较慢的降温速率减少了因温度不足导致的二次加热现象,进一步降低燃料损耗。

(二) 有效降低有害气体排放强度

温拌沥青混凝土生产施工技术通过降低拌和与施工温度,有效降低有害气体排放强度,改善作业环境与周边生态。传统热拌沥青在 $175^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$ 高温拌和时,会产生大量氮氧化物、硫化物等有害烟尘,温拌技术将温度降低 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 后,有害气体排放可减少70%以上。在隧道等封闭施工场景中,这一减排效果更为关键,能避免高温烟气因通风不良聚集,大幅降低施工人员吸入性伤害风险。施工单位监测数据显示,采用泡沫温拌工艺时,拌和阶段沥青烟排放浓度可从热拌的 $80\text{mg}/\text{m}^3$ 降至 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,一氧化碳、二氧化硫等污染物排放浓度均低于《沥青混凝土行业大气污染物排放标准》限值。

(三) 减少沥青高温老化性能损失

温拌沥青混凝土生产施工技术通过控制较低拌和温度,减少沥青高温老化带来的性能损失,延长路面使用寿命。传统热拌沥青在 $160^{\circ}\text{C}\sim 170^{\circ}\text{C}$ 高温下,以1~3mm厚的沥青薄膜与灼热碎石拌和时,老化速度相当于沥青路面在自然状态下历经19年的老化,温度越高老化程度越严重。温拌技术将拌和温度控制在 $130^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$,大幅减缓沥青老化进程,避免沥青针入度降低、延度变小等性能衰减问题。试验数据显示,70号基质沥青采用温拌工艺生产后, 5°C 延度可保持在35cm以上,较热拌工艺提升20%;软化点控制在 $55^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$,性能稳定性显著增强。沥青老化程度降低使混合料力学性能更优,成

型路面的抗裂性、水稳定性大幅提升,减少早期开裂、松散等病害,降低后期养护维修频率,间接减少养护阶段的能源消耗与材料浪费。

(四) 提升全生命周期环境友好性

温拌沥青混凝土生产施工技术通过全流程的绿色优化,提升工程全生命周期的环境友好性。生产阶段,温拌技术不仅降低燃料消耗与有害气体排放,还通过与再生料技术协同,提升废旧沥青混合料掺配比例,减少新集料开采对山体、林地的破坏。在高等级公路养护工程中,温拌再生技术可使废旧料掺配比例达到30%~40%,普通公路改扩建工程中更是提升至50%~60%,有效减少固体废弃物堆积污染。施工阶段,较低的作业温度降低施工噪音,减少对周边居民生活的干扰;隧道施工中大幅减少的沥青烟排放,避免对隧道内空气质量造成严重影响。全生命周期内,温拌技术从资源开采、生产施工到运营养护的各环节均实现环境影响最小化,为绿色交通基础设施建设提供有力支撑。

结束语

温拌沥青混凝土技术的推广应用,是道路工程领域向绿色、低碳转型的一个具体缩影。展望未来,温拌沥青混凝土技术的发展,可以更多地与智能拌和控制、高性能再生技术相结合,并探索在不同地域气候与交通荷载条件下的长期性能演变规律,推动道路建设行业的可持续发展。

参考文献

- [1]郭明.寒旱地区温拌橡胶沥青混凝土路面施工技术应用[J].建筑安全,2025,40(11):35-39.
- [2]张辉军.高速公路桥梁隧道路面施工中的温拌沥青技术与应用研究[J].建筑技术,2025,56(15):1879-1881.
- [3]黄丽丹,方兴,戴海发,吉富键,钟海.钢渣粗集料对热拌沥青混凝土力学性能的影响研究[J].西部交通科技,2025,(07):36-39.
- [4]张月.温拌沥青混凝土桥面施工技术与能耗分析[J].中国水泥,2025,(07):94-96.
- [5]徐勇军,刘珞.温拌剂对沥青性能的影响研究[J].江西建材,2025,(05):78-80.