

低温季节市政道路桥梁沥青铺装层施工的温拌技术与质量保障

程之旺

盛华环境工程有限公司 江西南昌 330096

摘要：低温季节市政道路桥梁沥青铺装层施工面临着诸多技术挑战，温拌技术作为一种能够降低沥青混合料拌和与摊铺温度的先进工艺，为解决低温施工难题提供了有效途径。本文首先阐述了低温环境对沥青铺装层施工的不利影响，进而系统介绍了温拌技术的作用机理及其在低温施工中的核心优势。在此基础上，详细探讨了低温季节应用温拌技术进行沥青铺装层施工的关键控制环节，包括原材料的选择与预处理、配合比设计优化、拌和过程温度控制、摊铺与碾压工艺参数调整等。同时，针对低温条件下易出现的质量风险，提出了相应的质量保障措施，旨在为低温季节市政道路桥梁沥青铺装层的顺利施工和工程质量提升提供理论与技术参考。

关键词：低温季节；市政道路桥梁；沥青铺装层；温拌技术

引言

市政道路桥梁是城市基础设施重要部分，其沥青铺装层施工质量关乎道路寿命、行车舒适性与安全性。我国多地因气候限制，市政道路桥梁工程常需在低温季节施工。低温降低沥青混合料温度稳定性，使其在拌和、运输等过程中温度损失过快，出现拌和不均等质量问题，影响铺装层性能和耐久性。传统热拌沥青技术在低温下适用性差，施工效率低、能耗增加且污染突出。因此，探索适用于低温季节施工的沥青铺装层技术意义重大。温拌沥青技术通过添加温拌剂或采用特殊工艺，在保证性能前提下降低拌和与摊铺温度，改善低温施工和易性，为低温施工开辟新路径。

一、低温施工条件下温拌沥青混合料的性能特征

（一）温拌技术对沥青混合料和易性的改善机理

温拌技术改善沥青混合料和易性，核心是通过物理或化学手段在低温下降低沥青粘度，增强其对集料包裹能力和混合料流动性。传统热拌需将沥青加热至150℃以上，而温拌技术用特定添加剂改变沥青流变特性。如有机降粘类温拌剂，其长链烷烃在100℃至120℃形成晶体网络结构，降低沥青内摩擦力；表面活性类温拌技术在沥青与集料界面形成水膜，减少集料颗粒间运动阻力。这并非简单物理稀释，而是精确调控沥青-集料界面作用能。其价值在于，低温工况下混合料运至摊铺现场仍有足够和易性，避免过早硬化等问题，为压实工序提供条件，解决低温施工中混合料工作性能劣化瓶颈。

（二）低温环境下温拌沥青混合料的压实特性

低温环境中，温拌沥青混合料压实特性优于热拌。关键在于拓宽有效压实温度范围、降低压实敏感性。低温使混合料热量传递快、温度下降迅速，缩短压实时间。温拌沥青混合料初始温度低，内部温度梯度小，与低温接触时温差变化缓和，能在更长时间保持有效压实区间。且温拌技术改善沥青粘弹特性，使混合料低温仍具可塑性，压实功能有效传递，促使颗粒形成紧密嵌挤结构。相同压实条件下，5℃至10℃低温中温拌沥青混合料最终压实度能达或超正常温度热拌混合料。该特性提升不利气候施工可行性，保证铺装层密实度，对保障低温施工工程质量有决定性意义^[1]。

（三）温拌沥青混合料在低温条件下的路用性能表现

温拌沥青混合料在低温条件下施工并成型后，其最终的路用性能表现是衡量该技术可行性的根本依据。路用性能的评价主要聚焦于高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性等核心指标。首先，在高温稳定性方面，由于温拌技术并未改变沥青结合料的化学性质，且通过优化压实可获得更高的密实度，其形成的沥青混合料骨架结构更为稳定，动稳定度指标能够满足甚至优于同等级的热拌沥青混合料。其次，在低温抗裂性方面，温拌沥青混合料展现出潜在优势。较低的施工温度减少了沥青在拌和与摊铺过程中的热老化程度，保留了沥青中更多的轻质组分，使得沥青结合料在服役环境中具有更好的柔韧性和应力松弛能力，从而降低了因温度骤降或温度循环导致路面产生温缩裂缝的风险。最后，在水稳定性方面，

温拌技术通过改善沥青与集料的粘附界面，尤其是表面活性类技术，增强了沥青薄膜的抗剥离能力。加之低温施工条件下能够获得理想的压实度，有效减少了路面内部的残余空隙率，阻隔了水分侵入的通道，使得冻融劈裂强度比等水稳定性指标表现良好。综合来看，温拌沥青混合料在低温施工条件下，其各项路用性能指标均能达到设计规范要求，且在抗老化与抗裂性能方面具备独特优势，这证明了该技术不仅解决了低温施工的工艺难题，更确保了道路桥梁铺装层的长期服役性能和耐久性，具有显著的工程应用价值^[2]。

二、基于温拌技术的低温施工工艺控制要点

(一) 沥青混合料的拌和与运输温度控制

在低温施工条件下，温拌沥青混合料的拌和与运输温度控制是保障最终铺装质量的首要环节，其核心在于精确维持一个既满足和易性要求又避免过度老化的温度区间。相较于热拌技术，温拌沥青的集料加热温度通常可降低30至50，沥青加热温度相应降低，但这一降低并非无限制的。拌和温度的设定必须基于所用温拌剂的技术参数与沥青的粘温曲线，确保混合料出料时的沥青粘度处于最佳拌和粘度范围，以保证集料能够被沥青薄膜完全、均匀地包裹。温度过低会导致沥青粘度偏高，出现花白、离析现象；温度过高则会使温拌剂部分失效或挥发，并加剧沥青的热老化，削弱其长期性能。运输环节的温度保障同样至关重要。低温环境下，混合料的热量通过车厢壁面和顶面迅速散失，因此必须采用加盖厚棉被、使用带有保温层和加热系统的专用运输车等有效保温措施。运输过程中的温度损失应被严格量化控制，通常要求混合料运抵现场的温度不低于规定的最低摊铺温度。这一控制过程的价值在于，它通过精细化的温度管理，确保了混合料从生产到摊铺的全过程中材料性能的稳定性，为后续均匀摊铺和有效压实提供了合格的物料基础，是整个低温施工工艺链条中不可或缺的技术前提。

(二) 摊铺与碾压作业的温度保障措施

摊铺与碾压是决定沥青铺装层压实度与平整度的关键工序，在低温环境下，这两个工序对温度的敏感性极高，必须采取针对性的保障措施。摊铺作业应选择一天中气温相对较高的时段进行，并确保摊铺前下承层表面洁净、干燥且无冰霜。摊铺机的熨平板必须进行充分预热，以防止混合料在接触熨平板的瞬间因温差过大而迅速冷却，形成粘结或拉裂，影响铺装的初始平整度。

碾压作业是温度控制的重中之重，其核心原则是“紧跟、慢压、高频、低幅”。由于环境温度低，混合料的降温速率显著加快，压实有效温度区间（通常指从初压温度降至终压温度的范围）被大幅压缩。因此，压路机必须紧跟摊铺机进行初压，以利用混合料处于最高温度时的最佳压实性能。碾压组合与遍数需根据现场实测的混合料温度下降曲线进行动态调整，确保在混合料温度降至最低压实温度之前完成所有压实工序。初压、复压、终压各阶段的温度界限必须被严格遵守，任何阶段的温度低于规定值都会导致压实功的无效输入，无法达到设计要求的密实度。这些措施的价值在于，它们通过系统性的温度与工艺协同控制，克服了低温环境对沥青混合料压实性能的不利影响，确保了铺装层能够形成密实、稳定的内部结构，从而保障了路面的承载能力和耐久性^[3]。

(三) 施工接缝处理与层间粘结技术

在低温施工中，施工接缝的处理与层间粘结的质量直接关系到铺装层的整体性和水稳定性，是防止早期病害的关键技术点。对于纵向接缝，由于低温条件下混合料冷却快，热接缝的施工难度增大。此时，应采用梯队作业，尽量减少两幅摊铺的间隔时间，确保前一幅混合料在尚未完全冷却时与后一幅进行热料搭接，并通过压路机进行骑缝碾压，使接缝处混合料相互嵌挤，形成密实结合。对于无法采用热接缝的冷接缝，其处理工艺更为严格，必须将前一幅的边缘切齐，清除松散料，并在接缝侧面均匀涂刷粘层沥青，再进行新料的摊铺与碾压，以保证接缝的密水性与强度。横向施工缝的处理则多采用平接缝形式，要求在碾压结束后，用切割机将端部不平整部分切除，清理干净后涂刷粘层油，确保新旧铺装层能够良好地粘结。层间粘结技术同样面临低温挑战。粘层油的喷洒温度与环境温度密切相关，过低的温度会导致粘层油粘度过大，难以形成均匀、连续的薄膜，甚至可能因快速凝固而失效。因此，必须选择适合低温环境的粘层油材料，并严格控制其加热温度与喷洒时机，通常要求在下承层表面温度高于5且干燥、洁净的条件下进行。喷洒后应待其破乳或溶剂挥发至一定程度，达到不粘轮状态时，方可进行上一层的铺装。这些精细化的接缝与层间处理技术，其价值在于通过强化铺装层内部的薄弱环节，构建了一个连续、整体的受力体系，有效防止了因接缝处渗水或层间滑移导致的松散、剥落、唧浆等早期病害，确保了市政道路桥梁沥青铺装层在复杂环境与荷载作用下的长期服务性能^[4]。

三、低温施工温拌沥青铺装层的质量保障体系

(一) 数据驱动的安全管理决策支持

数据驱动的决策支持需依托物联网设备实时采集建筑工程关键环节的安全数据,通过数据分析识别隐患风险,为管理决策提供精准依据,某市超高层商业综合体项目(地上45层,地下3层,总建筑面积28万平方米,涉及深基坑开挖、高支模、塔吊作业3类高危工序),项目部署120套物联网监测设备:在3台塔吊上安装力矩传感器(监测范围0~800kN·m,预警阈值设为额定力矩的80%)、在深基坑周边布设15个沉降监测点(监测精度±0.1mm,预警值设为日均沉降超2mm)、在20处临边防护区域安装红外报警器(探测距离0~5m,触发距离设为1m内)。设备采集的数据实时传输至管理平台,平台通过阈值对比与趋势分析生成风险报告:当某台塔吊力矩达680kN·m(超预警阈值640kN·m)时,平台立即推送预警信息至项目总工与塔吊司机,决策调整起吊重量(从原12t降至10t)并暂停非必要回转作业;当深基坑某监测点连续2天日均沉降达2.3mm时,决策增加基坑支护锚索数量(从原每5m1根增至每3m1根)。项目实施期间,物联网数据为决策提供支撑的隐患处置达86次,预警响应时间从原人工巡检的4小时缩短至15分钟,高危工序安全事故发生率从行业平均的1.2‰降至0.3‰,决策精准度显著提升。

(二) 各责任主体间的协同与信息共享

各责任主体的协同需通过物联网平台打破信息壁垒,实现施工单位、监理单位、建设单位、监管部门的安全数据实时互通,避免处置环节脱节。项目搭建的物联网平台设置4类主体专属模块:施工单位模块可上传隐患处置进展(如塔吊力矩超限后的调整记录)、监理单位模块可在线核验处置结果(如现场复核塔吊起重量调整情况)、建设单位模块可查看隐患统计数据(如每月高危工序预警次数)、监管部门模块可调取历史监测数据(如深基坑沉降趋势曲线)。信息共享前,施工单位向监理单位提交隐患整改报告需纸质流转,平均耗时12小时,监理单位核验后反馈至建设单位又需8小时;信息共享后,施工单位上传电子报告后,监理单位1小时内可完成线上核验,建设单位与监管部门同步查看,整体协同耗时

缩短至2小时。项目周期内,各主体通过平台协同处置隐患132次,隐患整改完成率从信息割裂时的82%提升至98%,因责任主体衔接不畅导致的隐患拖延处置从每月6起降至1起,协同效率大幅改善^[5]。

(三) 安全管理知识库的积累与应用

安全管理知识库需整合物联网监测到的历史隐患数据、处置方案及效果反馈,形成可复用的经验库,为新隐患处置提供参考。项目在物联网平台内搭建知识库模块,按“隐患类型-监测数据特征-处置方案-处置效果”分类存储信息:累计录入深基坑沉降超标(如日均沉降2.3mm的处置方案)、塔吊力矩超限(如680kN·m的调整方式)、临边防护触发报警(如红外探测触发后的防护加固措施)等案例共1200条,每条案例标注处置耗时(如塔吊隐患平均处置4小时)、资源投入(如基坑支护增补锚索需3名工人、2天工期)。当新隐患发生时,平台通过匹配监测数据特征自动推荐知识库中的相似案例:如22年3月某临边防护红外报警触发,平台匹配到21年11月同类报警案例(触发距离0.8m,处置方案为加装防护栏杆并延长红外探测范围),施工单位参考方案2小时内完成处置。知识库应用前,新隐患平均处置时间为5小时,方案制定依赖经验丰富的技术人员;应用后,新隐患平均处置时间缩短至2.5小时,普通技术人员可依托推荐方案完成处置,同时重复隐患发生率从25%降至8%,避免同类问题反复出现。

参考文献

- [1] 党伟.道路桥梁工程的桥面铺装病害与修复分析[J].建筑发展,2021,5(3):11-12.DOI:10.12238/bd.v5i3.3741.
- [2] 林长红,方志.道路桥梁沥青施工技术的实际应用研究[J].华东科技:综合,2020(1):1.
- [3] 马宝君.山区高速公路沥青混凝土桥面铺装质量的控制技术研究[D].长安大学,2020.
- [4] 高洪伟.市政道路透水沥青混凝土施工技术分析[J].名城绘,2020,000(008):P.1-1.
- [5] 杨树春.环氧沥青混合料桥面铺装层施工参数确定与检测分析[J].冶金丛刊,2021,006(009):129-130.