

市政道路工程沥青混凝土技术应用

袁 贺 高若宇

河北建工集团生态环境有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：市政道路工程中，沥青混凝土技术因其性能稳定、使用寿命长、维护成本低等优势被广泛应用。该技术涵盖材料选择、配合比设计、拌和、运输、摊铺及压实等环节，需严格控制温度、时间及设备参数，确保施工质量。随着技术进步，温拌、再生沥青及智能化施工等新技术不断涌现，不仅提升了施工效率与路面性能，还推动了绿色低碳发展。未来，沥青混凝土技术将向更高性能、更环保方向持续演进。

关键词：市政道路工程；沥青混凝土技术；应用

引言：市政道路作为城市交通的命脉，其建设质量直接关系到城市运行效率与居民出行体验。沥青混凝土技术凭借其施工便捷、路面平整、抗滑耐磨等优势，成为市政道路面层施工的主流选择。然而，随着交通荷载的加重、气候环境的复杂化以及绿色建筑要求的提升，传统沥青混凝土技术面临性能优化、环保节能等挑战。本文围绕材料选择、施工工艺、质量控制及技术创新等方面，系统探讨沥青混凝土技术在市政工程中的应用策略与发展方向。

1 市政道路工程沥青混凝土技术基础理论

1.1 沥青混凝土材料特性

(1) 沥青类型：基质沥青是基础原料，具有良好的黏结性与可塑性，适用于一般交通荷载路段；改性沥青通过添加高分子聚合物（如SBS、SBR），提升了高温稳定性与低温抗裂性，常用于重交通或恶劣气候区域道路；再生沥青则是对废旧沥青路面材料（RAP）进行回收加工，添加再生剂恢复其性能，兼具环保性与经济性，符合绿色道路建设需求。(2) 集料性能要求：级配需符合规范区间，连续级配可增强混合料密实度，间断级配能提升抗滑性；硬度方面，集料压碎值、磨耗率需达标，避免车辆荷载下产生破碎；清洁度要求集料含泥量、粉尘含量低，防止杂质影响沥青与集料的黏结效果，保障路面强度。(3) 添加剂作用：抗剥落剂可改善沥青与酸性集料的黏附性，减少水损害导致的路面剥落；纤维稳定剂（如木质素纤维、聚酯纤维）能吸附沥青、阻止析漏，增强混合料抗裂性与耐久性，还可提升高温抗车辙能力。

1.2 结构设计原理

(1) 路面结构层功能划分：面层直接承受车辆荷载与环境作用，需具备抗滑、耐磨、抗裂特性；基层为面层提供支撑，要求高强度、高稳定性，常用水泥稳定碎

石等材料；底基层主要起扩散荷载、隔水作用，可采用级配碎石，降低工程成本。(2) 力学性能与厚度设计依据：以弹性层状体系理论为基础，结合交通量预测数据（如累计轴次），通过弯沉值、弯拉应力等指标控制结构强度；根据当地气候（如高温、冰冻）调整材料参数，确保路面厚度满足使用寿命要求，避免早期破坏。

1.3 施工工艺分类

(1) 热拌沥青混凝土（HMA）：需将沥青与集料加热至150-180℃混合，经摊铺、碾压成型，施工效率高、路面强度高，是目前市政道路的主流工艺，但能耗较大、需控制施工温度。(2) 温拌沥青混凝土（WMA）：添加温拌剂降低混合料拌合温度（120-150℃），减少有害气体排放，适用于环境敏感区域，且可延长施工季节，不过材料成本略高。(3) 冷拌沥青混凝土（CMA）：采用乳化沥青或液体沥青与集料常温拌合，施工简便、无需加热设备，适用于临时道路、养护工程，但路面强度较低、耐久性较差。(4) 再生沥青混凝土（RAP）：掺入30%-50%废旧沥青混合料，需对RAP进行破碎、筛分，搭配新料与再生剂使用，实现资源循环利用，降低碳排放，需严格控制RAP级配与掺量以保证路面性能^[1]。

2 市政道路工程沥青混凝土关键技术应用

2.1 材料选择与配比优化

(1) 不同气候条件下的材料适应性：在高温多雨地区（如华南），需优先选用针入度较小（50-70mm）的基质沥青，搭配SBS改性剂提升高温稳定性，混合料采用骨架密实型级配（如AC-16C），通过增加粗集料比例（占比65%-70%）增强抗车辙能力，动稳定度需 ≥ 3000 次/mm；在严寒地区（如东北），应选择延度较大（ ≥ 100 cm）的沥青，添加橡胶粉改性剂改善低温韧性，级配采用连续密级配（如AC-20C），降低空隙率（3%-

5%)，减少冻融破坏，低温弯曲应变需 $\geq 2500\mu\epsilon$ 。此外，气候过渡区需兼顾高低温性能，可采用温拌改性沥青，平衡抗车辙与抗裂需求^[2]。(2) 环保型材料应用：再生骨料需对废旧沥青路面材料(RAP)进行破碎、筛分，控制粒径偏差($\pm 5\%$)，掺量根据工程等级调整，主干道RAP掺量 $\leq 30\%$ ，次干道可提升至40%-50%，同时添加再生剂(如芳香族油分)恢复沥青黏结性，确保再生混合料马歇尔稳定度 $\geq 8\text{kN}$ ；温拌剂选用表面活性型(如有机胺类)或蜡基型，掺量为沥青质量的0.3%-0.5%，可使混合料拌合温度降低30-50℃，减少碳排放20%-30%，且不影响路面强度，适用于城市核心区、学校周边等环保敏感路段。

2.2 施工工艺控制要点

(1) 混合料拌和与运输：热拌沥青混合料拌和时，基质沥青加热温度控制在150-165℃，改性沥青提升至160-175℃，集料加热温度比沥青高10-20℃，确保混合料出厂温度符合规范(普通沥青140-160℃，改性沥青160-180℃)；拌和时间设置为干拌10-15s、湿拌30-45s，保证混合料均匀性。运输环节采用带保温层的自卸车，车厢底部预涂隔离剂(严禁使用柴油)，运输时长 ≤ 30 分钟，到场温度不低于130℃(普通沥青)、150℃(改性沥青)；装卸料时采用“前后中”三次卸料法，减少粗细集料离析，车厢顶部覆盖篷布，防止温度骤降。(2) 摊铺与压实技术：摊铺速度根据拌和站产量调整，控制在2-4m/min，保持匀速行驶，避免停机待料导致的接缝缺陷；摊铺机振捣频率设为40-50Hz，振幅1.5-2.5mm，确保初始压实度 $\geq 85\%$ 。压实采用“紧跟、慢压、高频、低幅”原则，初压使用双钢轮压路机(吨位8-10t)，碾压速度1.5-2km/h，碾压2遍；复压采用胶轮压路机(吨位20-25t)，速度2-3km/h，碾压4-6遍，或搭配双钢轮压路机高频碾压(频率30-50Hz)；终压使用双钢轮压路机(吨位10-12t)，速度2.5-3.5km/h，碾压2遍，直至路面无轮迹，最终压实度 $\geq 96\%$ (主干道)、 $\geq 95\%$ (次干道)^[3]。(3) 特殊路段处理：交叉口因车辆启停频繁，需提高混合料抗剪强度，采用改性沥青AC-13C，压实度提升至97%，同时增设玻纤格栅(抗拉强度 $\geq 50\text{kN/m}$)减少反射裂缝；弯道施工时，内侧摊铺机宽度缩小至3-4m，外侧加宽0.5-1m，碾压时内侧多压1-2遍，防止路面推移，超高路段需调整压路机行驶路线，避免侧翻。桥梁接缝处设置胀缝板(如泡沫橡胶板)，宽度2-3cm，沥青面层与桥面混凝土之间涂刷黏结层(改性乳化沥青用量0.8-1.0kg/m²)，摊铺时在接缝处预留50cm宽的搭接带，采用热接缝施工，确保接缝平顺，减少跳车现象。

2.3 质量控制与检测技术

(1) 过程检测：马歇尔试验每台班取样1-2次，检测稳定度($\geq 8\text{kN}$)、流值(2-4mm)、空隙率(3%-6%)、沥青饱和度(65%-75%)，不符合要求时及时调整配合比；压实度检测采用钻芯法(每2000m²取1个芯样)或核子密度仪法，钻芯取样后需测量芯样高度(偏差 $\pm 5\text{mm}$)、表观密度，计算压实度，若低于标准值，需补压或返工处理。(2) 成品验收：平整度采用3m直尺(每100m测3处，每处测5点)或连续式平整度仪检测，主干道IRI值 $\leq 2.0\text{m/km}$ ，次干道 $\leq 2.5\text{m/km}$ ；抗滑性能检测构造深度(铺砂法，每200m测1处， $\geq 0.55\text{mm}$)和摆值(摆式仪，每200m测1处， $\geq 45\text{BPN}$)；渗水系数采用渗水仪检测，每100m测1处，普通沥青路面 $\leq 300\text{mL/min}$ ，改性沥青路面 $\leq 120\text{mL/min}$ ，超标路段需查找原因并修复。(3) 无损检测技术：雷达探测采用地面penetrating radar(GPR)，频率500-1000MHz，沿车道线连续检测，可识别路面内部空洞(分辨率 $\geq 2\text{cm}$)、脱空、厚度偏差(误差 $\leq 5\%$)，检测数据实时传输至终端，便于快速定位缺陷；红外热成像技术利用红外相机捕捉路面温度场分布，识别摊铺温度不均区域(温差超10℃)、压实盲区，及时指导补压，同时可监测路面早期水损害(含水率变化导致的温度差异)，为养护提供依据，该技术检测效率高(每小时 $\geq 5\text{km}$)，且不破坏路面结构^[4]。

3 市政道路工程沥青混凝土技术创新与未来发展趋势

3.1 智能化施工技术应用

(1) 物联网(IoT)在混合料生产监控中的应用：通过在沥青拌和站关键设备(如烘干筒、拌缸、沥青罐)安装温度、压力、转速传感器，实时采集生产数据并传输至云端平台。系统可自动分析混合料温度波动(偏差超 $\pm 5^\circ\text{C}$ 时预警)、集料配比精度(各组分误差超 $\pm 1\%$ 报警)，同时结合运输车辆GPS定位与温湿度传感器，追踪混合料运输时长(控制在30分钟内)与到场温度，实现“生产-运输”全流程可视化管控，减少人为操作误差，提升混合料质量稳定性。(2) 无人机与3D摊铺技术：无人机搭载激光雷达与高清相机，可快速扫描施工路段地形，生成三维地形模型，为摊铺厚度设计提供精准数据(高程测量精度达 $\pm 2\text{cm}$)；3D摊铺机配备毫米波雷达与多通道控制系统，能根据模型自动调整摊铺高度与速度，避免传统人工找平导致的平整度偏差，尤其适用于复杂地形路段。此外，无人机可实时航拍摊铺作业面，通过图像识别技术检测混合料离析、缺料等问题，及时反馈至施工终端，提高施工效率与路面平整度。

3.2 绿色低碳技术方向

(1) 全生命周期碳排放评估：构建沥青混凝土道路“原材料开采-生产-施工-运营-废弃回收”全周期碳排放核算模型，量化各环节碳足迹（如集料开采碳排放约占15%，混合料拌和占30%）。借助BIM技术模拟不同材料、工艺的碳排放差异，为工程选择低碳方案提供依据，例如采用RAP掺量40%的再生混合料，可使全周期碳排放降低22%，助力市政工程实现“双碳”目标。(2) 生物基沥青材料研发：以废弃植物油、木质素等可再生资源为原料，替代传统石油基沥青，这类材料不仅来源广泛、可降解，还能减少石油资源依赖。目前研发的生物基改性沥青，低温延度（-10℃）可达35cm，高温动稳定度超4000次/mm，性能优于普通改性沥青，且生产过程碳排放比石油基沥青降低30%-40%，未来有望成为市政道路沥青材料的重要发展方向^[5]。

3.3 新型路面结构探索

(1) 柔性基层与长寿命路面设计：采用大粒径沥青稳定碎石（LSPM）作为柔性基层，其弹性模量与面层匹配度高，能有效吸收车辆荷载冲击，减少基层开裂风险。搭配高性能沥青面层（如SBS改性沥青AC-13），构建“柔性基层+刚性面层”的长寿命路面结构，设计使用寿命可达30年以上，较传统路面延长15年，且后期养护成本降低40%，适合交通量密集的市政主干道。(2) 复合式路面（沥青+混凝土）协同技术：在下层采用水泥混凝土基层（C30-C40）提供高强度支撑，上层铺设5-8cm厚沥青面层（如超薄磨耗层OGFC-10），兼顾混凝土路

面的承载能力与沥青路面的抗滑、降噪性能。通过在两层之间设置改性乳化沥青黏结层（用量0.6-0.8kg/m²），增强层间黏结力，避免推移、剥落问题。该结构适用于重交通路段（如城市快速路），能减少路面早期破坏，延长养护周期，降低全生命周期成本。

结束语

市政道路工程中沥青混凝土技术的科学应用，是保障道路性能、延长使用寿命、提升城市交通品质的关键。通过合理选材、精准配比、规范施工及严格检测，可有效克服不同气候与交通条件下的技术难题。未来，随着智能化施工、绿色低碳材料及新型路面结构的研发推广，沥青混凝土技术将进一步向高效、环保、耐久方向发展，为构建安全、舒适、可持续的城市交通体系提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张帆.市政道路施工中沥青混凝土路面摊铺技术的应用研究[J].散装水泥,2021(4):109-110.
- [2]叶亚银.沥青混凝土施工技术在市政道路施工中的应用[J].江西建材,2021(8):125-126.
- [3]兰晓琴.沥青混凝土道路铺设施工研究[J].智慧城市,2020,6(08):227-228
- [4]李俊.浅析市政工程中的沥青砼道路施工工艺[J].工程建设,2024,7(7):99-101.
- [5]秦波.沥青混凝土在市政道路路面施工中的应用[J].中国厨卫,2024,23(5):149-151.