

沥青路面施工技术在公路工程中的应用与实践

刘 婉

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘 要】：随着公路交通量的急剧增长和轴载结构的重质化，路面早期损坏问题已经成为制约道路交通服务水平和物流效率的主要瓶颈。沥青路面是车辆与环境直接接触的“功能皮肤”，其施工质量在 mm-cm 级范围内就会发生车辙、开裂和渗漏等问题。传统的“后钻芯，后加固”的被动方式不仅加大了道路封闭的频率，而且不符合节能减排和快速养护的时代要求，因此将质量控制节点前移到拌和、摊铺、压实环节，已成为行业共识。

【关键词】：沥青路面；施工技术；公路工程；应用与实践

DOI:10.12417/3083-5526.25.03.007

建筑技术的价值不仅体现在将设计配合比转换为实体性能，还体现在“材料-装备-环境-人员”四元体系上，实现工艺参数在线化、能量输入精准化和组织过程协同。面对聚合物改性、温拌再生、高粘高弹等多组分胶接体系，以及“数字孪生”“无人压实”和“边缘计算”等新技术，沥青路面建设正在由经验驱动向数据驱动发展。其核心思想是通过实时可控微结构对服役行为进行锁定，从而达到“建成即达标，通车即服役”的目标。

1 原材料质量精准管控技术

原材料作为沥青路面质量的核心依据，决定着混合料的路用性能和耐久性。为保证沥青、集料、填料和掺合料的性能满足设计和规范要求，需要建立“源头筛选—进场检验—储存控制”的全链条质量控制体系。

沥青的选择应根据道路等级、气候条件和交通量特点，优先选用高粘度、高弹性、耐老化的改性沥青(如 SBS 改性沥青)。主要技术参数要求：25℃针入度宜控制在 60-80 (0.1mm) 之间，软化点 $\geq 55^{\circ}\text{C}$ ，延度 $\geq 20\text{cm}$ ，保证沥青具有较好的粘结性、柔韧性和抗裂性^[1]。进场时进行批次检验，采用旋转薄膜烘箱老化测试(RTFOT)评价其抗老化性能，要求热处理后的失重率不大于 0.8%，延度保留率在 60%以上，使用布氏粘度计测定粘度为 135℃，以保证施工工作性能符合要求。

集料是沥青混合料的主要组成成分，其性能对路面的强度和稳定性有很大的影响。粗集料的选择宜选用洛杉矶磨耗损失不得超过 28%，粉碎值不得大于 26%的玄武岩和花岗岩，针片状颗粒含量低于 15%，视相对密度大于 2.60g/cm³；细集料以含泥率不超过 3%、棱角性不小于 30s、与沥青粘结强度不低于 4 级的机制砂为宜。集料级配要严格按照设计规范进行，采用连续级配或不连续级配设计，采用标准筛筛分试验，对各个筛孔进行筛分试验，使各筛孔合格率达到规范要求，防止级配曲线出现“断线”或“超界”现象，保证混合料骨架密实。

填料选用细度模数大于 300m²/kg、含水量不超过 1%、塑性指数低于 4 的石灰石粉作为填料，保证它能有效地填满骨料

之间的空隙，提高沥青胶浆的粘结性和稳定性。根据路面性能要求，选择抗车辙剂、抗剥落剂、纤维稳定剂等添加剂，其中抗车辙剂用量为 0.3%-0.5%时，混合料的动稳定性提高 30%以上，抗剥落剂用量控制在 0.2%~0.5%左右，以提高集料与沥青之间的粘附性，添加量为 0.3%-0.6%的纤维稳定剂能有效地抑制混合料离析和开裂。

2 沥青混合料配合比设计与拌制技术

2.1 配合比优化设计

沥青混合料配合比设计作为联系原材料与路面建设的桥梁，其强度-稳定性-耐久性能及施工与工作性能之间存在着协同优化关系。采用马歇尔设计法和 Superpave 设计方法，按照目标配合比-生产配合比-生产配合比验证三阶段逐步进行，以保证混合料性能达到设计要求。

在目标配合比设计阶段，以集料级配曲线和沥青性能参数为依据，采用马歇尔试验方法，对不同掺量的沥青混合料进行稳定性、流动性、空隙率、矿料空隙率、沥青饱和度等指标的测试，确定最优沥青用量^[2]。最优沥青用量对应的核心指标是：空隙率在 3%~6%，矿料空隙率在 13%以上，沥青饱和度在 65%~75%之间，稳定性在 8kN 以上，流量范围在 1.5~4.0mm。对重载路段和高温区域的车辆进行动力稳定试验，试验频率不低于 3000 次/mm；低温条件下，沥青混合料的低温弯曲破坏应变不低于 2000 $\mu\text{ε}$ ，以保证沥青混合料的抗车辙性能和抗裂能力。

在生产配合比设计阶段，根据拌和楼热料仓的筛分结果，调整集料级配，对各个热料仓进行二次筛分，确定合理的配比，保证实际生产出的级配与目标配合比一致。重新测试最佳沥青用量，使其与目标沥青用量之差在 $\pm 0.2\%$ 以内。

沥青混合料路用性能验证阶段，采用试验段摊铺对沥青混合料路用性能进行检验。试验段长度以 200~300m 为宜，采用实际的施工设备和技术进行摊铺和压实，并对压实后的压实度、平整度、厚度和施工深度等指标进行检测。根据实测数据，通过优化压路机组合、调整摊铺速度等施工工艺，得到最终的

生产配比方案，为正式施工提供依据。

2.2 混合料拌制工艺控制

为保证搅拌均匀，提高生产效率，必须采用间歇式拌和楼。拌和楼需配置精密计量设备，沥青、集料、填料和掺合料的计量误差应控制在 $\pm 0.5\%$ ， $\pm 1.0\%$ ， $\pm 0.5\%$ ， $\pm 0.3\%$ 。其中，拌和温度控制是关键技术参数，集料加热温度 $180\sim 195^{\circ}\text{C}$ 、沥青加热 $165\sim 175^{\circ}\text{C}$ 、搅拌温度 $170\sim 185^{\circ}\text{C}$ 、出厂温度 $160\sim 175^{\circ}\text{C}$ 、不高于 180°C （防止沥青老化），普通沥青混合料在 $160\sim 175^{\circ}\text{C}$ 、 $150\sim 165^{\circ}\text{C}$ 、 $150\sim 165^{\circ}\text{C}$ 、出厂温度 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$ [3]。

拌和时要严格控制，干拌时间控制在 $10\sim 15$ 秒以内，以保证混合均匀；湿拌时间控制在 $35\sim 75$ 秒，这样可以保证沥青在集料上均匀的包裹，防止出现灰料和结块。拌和期间安排专人对混合料进行质量监控，每班至少三次对混合料进行温度、级配、马歇尔等指标的检测，如发现不符合要求，应及时调整热料仓的掺配比和沥青用量。

3 核心施工工艺升级与优化

3.1 摊铺工艺精细化控制

沥青混合料的摊铺必须遵循“均匀、连续、平整”的原则，这是下一步施工的基础。铺设前要清理和预处理下层（基层或下层），基层表面要干爽干净，不能有松散、破损、积水等病害，平整度 $\sigma \leq 3\text{mm}$ ，压实度 $\geq 95\%$ 。如果下部承层表面有浮灰或松散颗粒，则需用清扫车配合高压水枪进行清理，如果出现裂缝或裂缝，应及时用沥青混合料进行修补，以保证基层的强度和平整度达到标准。

为保证摊铺厚度和平整度的精确控制，需要选择高性能的沥青摊铺机，并配备自动调平装置（如无接触平衡梁、基准线等）。为防止混合料粘附，影响摊铺质量，摊铺机熨平板需提前预热至 100°C 。摊铺参数优化：摊铺速度以 $2\sim 4\text{m}/\text{min}$ 为宜，以匀速连续摊铺，防止摊铺过程中出现间歇现象，沥青混合料摊铺厚度按设计厚度和压实系数确定，压实系数在 $1.15\sim 1.30$ 之间 [4]。摊铺宽度根据路面设计宽度确定，双摊铺机分层摊铺时，两台摊铺机间隔 $5\sim 10\text{m}$ ，搭接宽度 $10\sim 15\text{cm}$ ，搭接部位采用热接缝，后摊铺机紧跟前摊铺机，保证搭接部位的混合料温度在 130°C 以上。

3.2 压实工艺三阶段实施

压实需要通过“初压实-复压实-终压实”三步压实工艺，并根据路面温度的变化对压实参数进行动态调整，以保证压实度满足设计要求。为充分发挥振实机的密实性和胶轮密实机的压实效果，宜选用双钢轮振实机与胶轮压路机配合使用。

采用 $10\sim 12\text{t}$ 双钢轮压路机，在 $2\sim 3\text{km}/\text{h}$ 的条件下，对路面进行 $1\sim 2$ 次的压实。碾压温度控制：改性沥青混合料温度在 140°C 以下，普通沥青混合料温度在 125°C 以下；碾压时轮对着摊铺机的方向，由外向内碾压，碾压带的重叠宽度控制在轮宽

的 $1/3\sim 1/2$ ，以防止漏压。第一次加压后，应及时检查摊铺路面的平整度，如发现有明显的皱折或凹痕，需人工修补后再复压。

为保证混合料塑性状态下的充分压实，必须采用高频低振幅振动压实工艺。以 $3\sim 4\text{km}/\text{h}$ 的速度，用 $20\sim 25\text{t}$ 橡胶轮压路机碾压 $2\sim 3$ 次，利用橡胶车轮的摩擦作用，提高沥青和集料之间的粘附性 [5]。然后用 $12\sim 15\text{t}$ 的双钢轮压路机，以 $35\sim 50\text{Hz}$ 的频率、 $0.8\sim 1.2\text{mm}$ 的振动碾压 $2\sim 3$ 遍，以进一步提高压实度。复压温度控制：在 $120^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ 范围内，普通沥青混合料温度范围在 $100\sim 110^{\circ}\text{C}$ 范围内。压路机在压实时要避免急停或急转，以免损坏摊铺路面。

采用 $10\sim 12\text{t}$ 的双钢轮压路机，在 $4\sim 5\text{km}/\text{h}$ 的条件下，对路面进行 $1\sim 2$ 遍的压实。终压温度控制：改性沥青混合料在 90°C 以下，普通沥青混合料在 70°C 以下；结束压实后，应立即封闭交通，待路面温度低于 50°C 时方可开放，以防止因车辆碾压而造成路面变形和车辙。

3.3 接缝处理技术优化

纵向接缝采用热缝工艺，双铺机分层铺设时，后铺机的铺板必须与前铺机的已铺混合料搭接，搭接宽度为 $10\sim 15\text{cm}$ ，搭接部位温度不得低于 130°C 。采用双钢轮压路机沿搭接缝横向碾压，然后向外展开碾压，保证接缝压实度和平整度达标，防止出现错台、开裂等现象。

横向接缝宜采用平缝形式，施工完毕后及时用切割机对其进行垂直切割，将切割面上松散的混合料和灰尘清除干净，然后刷上粘层油（乳化沥青用量 $0.3\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^2$ ），待粘层油破乳后再铺。新铺沥青与老路面搭接厚度要一致，采用双钢轮压路机进行横向碾压，碾压时主轮重叠宽度 $15\sim 20\text{cm}$ ，由旧路面向新铺路面进行碾压，再改为纵向碾压，以保证接缝密实无空隙。横向接缝应避开路面车辙带，应设于车道分界处或构造部位。

4 施工质量检测与数据验证

4.1 全过程质量检测体系

现场质量检验的重点是压实度、平整度、厚度、构造深度和渗水系数，其中压实度采用钻芯法每 2000m^2 取1个点，高速公路和一级公路压实率不小于 96% （马歇尔密度）。采用连续度仪对路面的平整度进行检测，每一车道间隔 1km ，标准偏差 σ 不超过 1.2mm 。采用钻芯法，每 1000m^2 取1个点，壁厚偏差为 -5mm 至 $+10\text{mm}$ ，单点厚度不低于设计厚度的 90% ；施工深度采用铺砂法，每 2000m^2 取1个测点，设计值不得小于 0.5mm ；采用渗水计测量渗透系数，每 2000m^2 取1个点，高速公路渗透系数不得超过 $300\text{ml}/\text{min}$ 。

4.2 工程实践数据验证

某一级公路沥青路面施工项目（设计车速 $80\text{km}/\text{h}$ ，路面结构为 4cmAC-13C 改性沥青上面层+ 6cmAC-20C 改性沥青中面层+ 8cmAC-25C 普通沥青下面层）采用本文所述技术体系进行

施工质量管控，选取 3km 典型路段进行指标检测，结果如下表 1 所示：

表 1 沥青路面施工质量检测结果表

检测指标	设计值	检测平均值	合格率（%）	规范允许偏差
压实度（%）	≥96	97.8	100	±2
平整度σ（mm）	≤1.2	0.98	100	±0.3
厚度（mm）	18（总厚度）	18.6	98.5	-5~+10
构造深度（mm）	≥0.5	0.75	100	≥0.5
渗水系数（ml/min）	≤300	185	100	≤300
动态稳定度（次/mm）	≥3000	3860	100	≥3000
冻融劈裂强度比（%）	≥80	89.6	100	≥80

参考文献：

[1] 戈志敏.公路工程中厂拌热再生施工技术的应用[J].交通世界,2025,(30):53-55.

[2] 马宇.市政公路工程沥青路面振荡压实施工技术研究[J].工程机械与维修,2025,(10):43-45.

[3] 朱中清,马露.公路工程沥青混凝土路面的开裂原因及施工技术[J].工程建设与设计,2025,(19):163-165.

[4] 王嘉崢.公路工程沥青路面施工质量控制关键技术研究[J].运输经理世界,2024,(35):25-27.

[5] 李爱云.公路工程沥青路面施工要点分析[J].运输经理世界,2024,(35):43-45.

从表 1 可以看出，本工程沥青路面施工质量的各项指标都符合设计和规范的要求，合格率达 98.5%以上，特别是压实度、平整度、动态稳定度等主要指标都表现得非常好，证明本文提出的施工技术体系是有效和可行的。经过一年多的跟踪检测，未发现早期病害如车辙、开裂、水损害等，路面使用性能较好，说明精细化施工对于提高沥青路面的耐久性具有重要意义。

5 结语

综上所述，沥青路面施工技术在公路工程中的应用与实践研究，可以将精细化建造技术嵌入到沥青路面建设的全链条中，实现一次性投资转化为长期运营收益，降低周期养护封闭所带来的社会成本，同时也为新一代无人驾驶、车路协同等新一代交通场景提供平整、抗滑、低噪的基础设施接口。未来，需要在智能设备、低碳材料、全寿命周期数据管理等方面进行持续迭代，促进沥青路由“经验建造”向“韧性智造”转变，为我国实现碳中和、交通强国战略目标发挥无可替代的支撑作用。