

建筑施工

公路沥青混凝土路面施工关键技术探究

王冬冬

安徽建工嘉和工程科技有限公司

DOI : 10. 32629/j pm. v7i 5. 8890

[摘要] 沥青混凝土路面施工质量好坏直接影响到公路工程的使用寿命和行车安全。根据目前高等级公路重载交通的发展趋势,对路面施工全周期的主要技术节点进行分析,有很高的工程价值。研究从材料配比优化入手,对粗细集料和最佳油石比的控制指标进行分析。以某公路建设工程数据为基础,对拌和、摊铺、压实三个阶段的工艺参数进行量化分析,建立智能压实、温度动态反馈为基础的施工控制体系。对离析、微裂纹等常见的质量缺陷从微观上提出预防干预措施。研究结果表明,精确标定马歇尔试验参数,严格执行阶梯式温度控制,可以大大提高路面结构的抗车辙能力、水稳定性。

[关键词] 沥青混凝土; 马歇尔试验; 智能压实; 纵向接缝; 孔隙率

Exploration of Key Technologies in Highway Asphalt Concrete Pavement Construction

Wang Dongdong

Anhui Jian Gong Jiahe Engineering Technology Co., Ltd.

[Abstract] The construction quality of asphalt concrete pavements directly impacts the service life of highway projects and traffic safety. Given the current trend of heavy traffic on high-grade highways, analyzing the key technical milestones throughout the pavement construction lifecycle holds significant engineering value. This study begins with material mix optimization, examining control parameters for coarse/fine aggregates and optimal aggregate-to-bitumen ratios. Based on data from a highway construction project, it conducts quantitative analysis of process parameters during mixing, paving, and compaction stages, establishing a construction control system based on intelligent compaction algorithms and dynamic temperature feedback. Preventive measures against common defects such as segregation and micro-cracks are proposed at the microscopic level. Results demonstrate that precise calibration of Marshall test parameters combined with strict stepwise temperature control significantly enhances the rut resistance and water stability of pavement structures.

[Key words] asphalt concrete; Marshall test; intelligent compaction; longitudinal joint; porosity

引言

现代公路交通网络的迅速发展,给路面结构的承载能力以及耐久性提出了更高的要求。沥青混凝土路面作为主要路面形式,由于具有行车舒适、噪音小、容易养护等特点,在各种等级公路的建设中得到了广泛的使用。重载车辆比例增大、极端气候频发,传统施工工艺对于复杂的受力环境早期破坏隐患越来越突出。施工过程中由于材料离散性大、温度场分布不均、压实功传递受阻等原因,都会造成路面平整度降低、水损害。工程界急需从精细化控制角度出发,重新创建沥青路面施工技术体系。探析材料配比、摊铺压实参数、缺陷防治的内在逻辑,用量化指标指导现场作业,是提高公路工程质量的必然途径。

1 沥青混凝土材料配比与性能控制

1.1 粗集料压碎值与针片状含量控制

骨架结构的稳定很大程度上取决于粗集料的力学性质和几何形状。高等级公路面上层一般采用玄武岩或者辉绿岩作粗集料,规范规定其压碎值不应大于26%。集料在破碎加工过程中容易产生针片状颗粒,在压实机械的强力振动下很容易造成二次破碎,使原有的级配曲线发生变化。工程实践证明,当针片状颗粒含量大于12%的时候,混合料的内摩擦角明显下降,抗车辙能力也大大减弱。施工前期物料检测环节要采用图像识别技术对集料形态做三维扫描,剔除游离的扁平颗粒。石料加工采用反击式破碎机整形,保证集料呈立方体,沥青结合料包裹牢固形成嵌挤结构。

1.2 细集料砂当量与棱角性测试分析

填充物料的洁净度以及表面纹理特征，都会对沥青胶浆的粘附效果产生很大的影响。机制砂因为具有丰富的棱角性而被细集料所选择，砂当量指标必须大于 60%。黏土等有害杂质混入会造成隔离层，使沥青和矿料表面不能发生化学吸附，埋下水损害的隐患。测定细集料棱角性时，流动时间法可以体现颗粒之间摩擦阻力的大小。棱角性数值大于等于 30s 的细集料，在混合料中可以形成一个密实的微观骨架，抵抗夏季高温下剪切变形的能力较好。拌和站应设置高效除尘装置，将 0.075mm 以下的粉尘再次筛分，保证细集料体系的洁净程度以及力学反应能力。

1.3 矿粉亲水系数对沥青粘附性的影响

作为沥青玛蹄脂的重要组成，矿粉的物理化学性质决定混合料抗水剥离性能的好坏。石灰岩磨细制成的矿粉有良好的弱

碱性，能和呈酸性的沥青形成强烈的化学键合。评价矿粉性能的主要指标就是亲水系数，该数值必须小于 1.0。亲水系数过大矿粉在水分侵入时，会先吸附水分子后排斥沥青，造成胶浆体系解体。施工单位在进场检验阶段，用带恒温水浴的膨胀度测试仪，准确测定矿粉在水和煤油介质中体积变化率。对于花岗岩等酸性石料，常采用掺入 2% 消石灰或者水泥的方式代替部分矿粉来改善矿料系统酸碱平衡，提高界面粘附作用。

1.4 最佳油石比的马歇尔试验参数标定

沥青用量的确定是混合料配合比设计的关键部分。油石比过大，路面高温时会泛油，油石比过小，表面易松散、开裂。在 4.0%~5.5% 油石比范围内，以 0.3% 为间隔成型多组试件，测定体积指标和力学参数。空隙率 (VV)、沥青饱和度 (VFA) 和稳定度是确定最佳油石比的硬性界限。

表 1 某标段 AC-20C 沥青混合料马歇尔试验结果分析表

油石比 (%)	毛体积相对密度	空隙率 VV (%)	矿料间隙率 VMA (%)	沥青饱和度 VFA (%)	稳定度 MS (kN)	流值 FL (0.1mm)
	2.451	5.8	14.2	59.2	9.8	2.1
4.3	2.468	4.6	13.9	66.9	11.2	2.4
4.6	2.479	3.8	13.8	72.5	12.5	2.8
4.9	2.482	3.2	14.1	77.3	11.8	3.3
5.2	2.475	2.5	14.5	82.8	10.1	3.9

根据表 1 数据分布序列可知，油石比为 4.6% 时，混合料稳定度达到最大值 12.5kN，空隙率 3.8% 完全符合设计规范中 3%~5% 的空隙率范围。根据各个指标拟合曲线确定该标段目标配合比最佳油石比为 4.56%。生产过程中根据每日集料吸水率的变化，对数值进行 ±0.1% 的调整，保证实体工程的孔隙特征和室内试验一致。

2 沥青混凝土路面施工核心技术

2.1 拌和温度梯度的动态监测与调节

热拌沥青混合料的生产属于一个复杂的物理流变过程，温度场的控制同沥青的老化情况以及包裹品质有着直接联系。集料加热温度一般控制在 170℃ 到 190℃ 之间，比沥青加热温度高 15℃ 到 20℃，这样的温度梯度可以利用集料的热容，在拌和缸内快速提高沥青的流动性。间歇式拌和楼所用红外测温探头必须能进行秒级数据采集，出料温度必须保持在 160℃ 到 170℃ 的范围内。燃烧器空燃比要根据骨料含水率实时反馈做 PID 闭环调节，防止局部过热造成沥青轻质组分挥发。拌和时间设置为湿拌 45 秒，保证每一个粗集料表面都有厚度均匀的沥青膜，消除花白料和结块。

2.2 摊铺机熨平板预热与初始压实度匹配

摊铺作业为路面平整度形成打下基础，机械参数的确定决定之后压实的基准。熨平板在接触热料之前要预热到 100℃ 以上，防止混合料底面因骤冷而产生粘结拉毛。振捣锤的频率和摊铺速度之间存在着非线性耦合关系，一般情况下摊铺速度控制在 2m/min 到 3m/min 之间时，振捣频率应控制在最大功率的 70% 到 80% 范围内。该种动力匹配可以给铺层提供 85% 左右的初始压实度，大大降低后续压路机作业时的推移风险。螺旋布料器两端料位高度应保持在螺旋叶片高度的 2/3 处，用超声波料位计实时检测，控制刮板输料器转速，保证摊铺机前方料头压力不变。

2.3 智能压实技术在初压阶段的参数设定

压实工序是给路面结构强度提供保证的决定性工序。初压阶段主要任务是稳定混合料、消除深层空隙，一般用双钢轮压路机在较高温度下做静压或者微振。智能压实系统 (IC) 是在机械上加装 GPS 定位和连续压实测量值 (CCV) 传感器，从而达到对压实轨迹和路面刚度进行可视化监测的目的。

表 2 沥青路面分阶段智能压实参数控制矩阵

压实阶段	机械组合类型	碾压温度区间 (°C)	碾压速度 (km/h)	振频/振幅 (Hz/mm)	压实遍数	目标压实度 (%)
初压	13t 双钢轮静压	145 - 155	2.0 - 3.0	静压无振动	2	≥ 88
复压	25t 轮胎+14t 高频钢轮	120 - 140	3.5 - 4.5	45 / 0.5	4 - 6	≥ 96
终压	11t 双钢轮静压	90 - 110	3.0 - 5.0	静压无振动	2	≥ 98

表2给出了各个阶段的机械作业界限。初压温度下限不能低于145℃, 压路机的驱动轮应指向摊铺机方向, 以免造成铺层出现波浪型隆起。轮胎压路机在复压阶段的揉搓作用, 可以很好地封闭表面微孔, 提高路面的防水性。智能系统实时比较当前CCV值和目标校验值, 当某区域刚度达到阈值时就会发出提示信号给操作手, 使操作手不能继续碾压下去, 从而彻底消除过压造成的集料压碎现象。

2.4 纵向热接缝的阶梯式搭接处理工艺

多台摊铺机按梯队编组作业时, 相邻两幅之间纵向接缝的处理就是抗渗漏的重要环节。前后摊铺机间距控制在10米到20米之间, 保证前幅混合料边缘未冷却时就开始后幅摊铺, 形成高质量的热接缝。搭接宽度严格控制在5cm到10cm之间, 后幅摊铺机熨平板的端部要装设挡料板, 防止料流向两侧溢出。碾压接缝时, 压路机的大部分轮宽要支撑在已压实的冷料一侧, 只留10cm到15cm的轮宽跨入新铺热料一侧做初压。阶梯式应力传递方式可以将热料强行挤入接缝缝隙中, 消除结合部密度薄弱带, 接缝处取芯压实度一般可以达到正常区的98%以上。

3 施工质量缺陷预防与控制机制

3.1 混合料离析现象的机械卸料干预

粗细集料在运输和卸料过程中出现的空间分离, 就是造成路表局部渗水、坑槽的主要原因。自卸车装料时必须严格遵守“前、后、中”三步移动装料法, 避免形成单次装料形成的锥形料堆, 从源头上切断大颗粒沿斜面滚落的途径。运输车辆到达现场后, 车厢起升角度要迅速达到最大值, 使混合料以整体滑移的方式卸入摊铺机受料斗。摊铺机操作台应关闭料斗频繁折叠的功能, 保持受料斗内一直有足够余料, 防止螺旋布料器暴露在料槽外面。对于不可避免的轻微温度离析, 转运车(MTV)的加入为二次物理搅拌留出了空间, 内部的变螺距螺旋搅龙可以对冷热不均的料流进行重新均化。

3.2 压实温度骤降导致的微裂纹防治

沥青混合料的压实窗口期受到环境风速和气温的影响非常大。深秋或者大风天气施工时, 铺层表面温度下降速度可达每分钟3℃以上。表层沥青粘度急剧上升, 内部仍然处于高塑性状态, 压路机钢轮的剪切力很容易在表层撕裂出横向微裂纹。施工队要在摊铺机后面加装红外保温幕布, 阻止冷空气和铺层之间的热交换。压路机喷水系统应为间歇式微量雾化喷洒, 不得使用大水量冲刷钢轮。一旦出现微裂纹萌生, 就立刻改变压路机的高频低幅工作模式, 依靠高频振动所造成的内部摩擦热来软化表层沥青, 让裂纹在后面的轮胎揉搓碾压中自行闭合。

3.3 路面平整度衰减的基准线补偿反馈

国际平整度指数(IRI)是评价行车舒适性的主要指标,

它的数值微小的波动都是由于基层标高误差向面层传递所引起的。下面层施工普遍使用钢丝绳引导的绝对高程控制法, 钢丝绳张紧力应大于1000N, 支架间距直线段不大于10m, 以消除悬链线效应引起的挠度偏差。中上面层全部改为非接触式多探头超声波平衡梁。该系统用6到8个探头矩阵实时扫描已铺筑路面的相对高程, 用微电脑算法过滤掉局部的突变坑洼, 输出平滑的补偿信号驱动熨平板油缸。遇有桥头搭板等刚柔过渡段时, 平衡梁应提前进入斜率渐变模式来消化由于基层沉降造成的长波起伏。

3.4 泛油病害的孔隙率阈值预警管控

夏季高温和重载交通相互作用, 多余的沥青胶浆就会往上移, 形成光滑的泛油带。该病害的本质就是混合料在服役期内进行了二次压实, 使矿料间隙率(VMA)被压缩到极小的程度, 不能容纳膨胀的沥青体积。施工阶段要创建孔隙率下限的红线预警体系。压实成型后路面现场空隙率不小于4%。实验室要加入旋转压实仪(SGC)模拟重载交通的长期揉搓作用, 对试件做100次旋转压实之后的极限空隙率测试。如果极限值接近于2%, 就要反向指导拌和站减少0.15%的沥青用量或者增大粗集料的骨架比例。现场取芯检测数据的正态分布情况被直接输入到质控云平台上, 当孔隙率数据接近警戒线时, 系统就会立即发出停工指令, 迫使配合比参数重新进行校准。

结论

公路沥青混凝土路面施工属于一个多变量耦合的复杂工程系统验证过程。对材料配比的微观机理进行分析, 对马歇尔参数进行准确标定, 形成了路面结构的高强骨架。智能压实技术和动态温度监测技术的深度融合, 完全改变了以前依靠经验进行作业的方式, 使施工参数实现数字化闭环控制。对离析、微裂纹等顽固病害所建立的机械干预和阈值预警机制大大提高了工程的容错性和耐久性。不断推进无损检测技术在摊铺压实整个过程中的应用, 依靠大数据模型来改进工艺参数, 将会成为公路建设走向高质量、长寿命的主要推动力。

[参考文献]

- [1]张尚. 公路工程沥青混凝土路面施工难点及措施分析[J]. 运输经理世界, 2026, (01): 19-21.
- [2]王大军. 公路工程高性能沥青混凝土路面施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2025, (36): 13-15.
- [3]林斌. 浅谈普通公路沥青混凝土路面施工质量管控要点[J]. 低碳世界, 2025, 15(12): 157-159.
- [4]郭振东. 公路沥青混凝土路面 SMA 沥青混合料配合比设计、性能评估与试验检测[J]. 工程与建设, 2025, 39(06): 1408-1410+1416.
- [5]张波. 公路水泥混凝土路面向沥青路面改造(白改黑)施工技术研究[J]. 交通建设与管理, 2025, (05): 198-200.