

沥青混合料配合比设计及路用性能试验研究

李润泽

交通运输局乡村公路管理站 河北 邯郸 056900

摘要: 沥青混合料配合比设计直接影响路面强度与服役寿命。本文以AC-13细粒式SBS改性沥青混合料为对象,采用马歇尔设计方法,通过原材料检测、级配调试、最佳油石比确定,完成系统化配合比设计,并开展高温车辙、低温弯曲、水稳定性等路用性能试验。试验结果表明,优化后配合比各项指标均满足规范要求,路用性能均衡稳定,可有效提升沥青路面耐久性与通行安全性,为同类工程提供技术依据。

关键词: 沥青混合料; AC-13; 配合比设计; 马歇尔试验; 路用性能

引言: 沥青路面凭借平整度高、行车舒适、养护便捷等优势,成为各级公路的主流形式。沥青混合料配合比参数直接影响密实度、粘结强度及抗变形能力。当前部分工程存在配合比设计粗放、油石比不合理、级配适配性差等问题,导致车辙、开裂、水损害等早期病害,大幅缩短道路服役年限。本文采用马歇尔设计方法开展AC-13沥青混合料配合比优化设计,通过室内试验验证混合料路用性能,总结设计与质控要点,为提升沥青路面施工质量、延缓病害发展提供理论与实践支撑。

1 试验原材料性能检测

1.1 SBS改性沥青

本次试验选用工程通用SBS I-D型改性沥青,该材料通过苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物对基质沥青进行物理改性,兼具高温稳定与低温抗裂的双重优势,适配公路上面层施工。严格依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)开展原材料性能检测,核心指标检测结果如下:针入度(25℃)46.2(0.1mm),反映沥青稠度适中,常温下具备良好的流动性与可塑性;软化点78.5℃,显著高于普通沥青,高温环境下不易软化变形;延度(5℃)32.6cm,低温延展性优良,可有效抵御低温收缩开裂;闪点318℃,溶解度99.7%,老化后质量损失0.18%、针入度比82.3%。各项指标均满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)对SBS I-D型改性沥青的技术要求。该沥青具备高温稳定性好、低温韧性足、粘结力强、抗老化性能优异的特点,适配区域温差变化较大的道路施工工况,可有效提升沥青面层抗车辙与抗开裂能力。

1.2 粗细集料与矿粉

粗集料选用玄武岩碎石,该岩石具有质地坚硬、耐磨性强、压碎值低、与沥青粘附性好的特点,是沥青上面层集料的优选材料。经检测,粗集料压碎值为12.8%,

远优于规范 $\leq 26\%$ 的要求,表明其抗压强度高;针片状颗粒含量为8.5%,低于规范 $\leq 15\%$ 的限值,颗粒形状规整,有利于形成稳定的骨架嵌挤结构;磨光值为43.5BPN,满足抗滑表层要求,可保障路面长期抗滑性能。细集料采用洁净石灰岩机制砂,含泥量控制在0.8%,砂当量达78%,高于规范 $\geq 60\%$ 的要求,无杂质、无风化颗粒,级配连续稳定,能够有效填充粗集料骨架间隙。矿粉选用石灰岩磨细矿粉,亲水系数0.62,低于规范 ≤ 1.0 的限值,表明其憎水性强;含水量0.3%,干燥松散、无结块,可与沥青形成优质沥青胶浆,显著提升混合料密实度与粘结性能。所有原材料进场前均完成抽样复检,杜绝不合格材料投入试验与工程应用,从源头保障混合料质量稳定性。

2 沥青混合料配合比设计

本文研究对象为AC-13细粒式沥青混凝土,适用于公路上面层,采用马歇尔试验法完成配合比设计,整体分为矿料级配设计、初试油石比确定、最佳油石比验证、性能校核四个阶段,严格遵循规范流程开展试验,确保设计参数精准可靠。

2.1 矿料级配设计

结合AC-13混合料规范级配范围,对10~15mm粗集料、5~10mm细集料、0~5mm机制砂、矿粉四种物料进行标准筛分试验,准确测定各档料不同筛孔的通过率。依据筛分数据,采用试算法反复调试各档料掺配比例,确保合成级配曲线连续顺滑且位于规范中值附近。经多轮优化调整,最终确定各物料掺配比例为:10~15mm碎石28%、5~10mm碎石32%、0~5mm机制砂34%、矿粉6%。该配比下,关键筛孔4.75mm通过率为52.6%、2.36mm通过率为36.8%、0.075mm通过率为5.6%,均落在AC-13规范级配中值区间。合成级配曲线连续顺滑,无断级配、偏粗偏细问题,粗细骨料比例协调,既可形成粗集料骨

架嵌挤结构,又能保证细料充分填充间隙,显著提升混合料密实度与抗变形能力,为后续马歇尔试验及路用性能研究奠定良好基础。

2.2 马歇尔试验与最佳油石比确定

结合工程经验,预设4.2%、4.5%、4.8%、5.1%、5.4%

五组油石比,分别拌合沥青混合料,制作标准马歇尔试件,试件尺寸 $\Phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$,双面各击实75次,恒温养护后测定试件毛体积密度、空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度、稳定度、流值等核心体积与力学指标,各组试验数据及规范要求如下表所示。

表1 不同油石比马歇尔试验结果

油石比(%)	毛体积相对密度	空隙率(%)	矿料间隙率(%)	沥青饱和度(%)	马歇尔稳定度(kN)	流值(0.1mm)
4.2	2.532	5.82	14.26	62.8	9.26	28.3
4.5	2.568	4.56	13.85	69.5	10.15	31.2
4.8	2.591	3.92	13.52	75.3	10.82	34.6
5.1	2.585	3.25	13.68	80.6	10.36	38.5
5.4	2.562	2.68	14.12	85.2	9.58	42.1
规范要求	—	3.0~6.0	≥ 13.0	70~85	≥ 8.0	20~40

通过数据分析,以密度峰值、稳定度峰值、空隙率与饱和度中值为控制指标,综合计算确定本次AC-13改性沥青混合料最佳油石比为4.8%。该配比下混合料各项体积指标、力学指标均处于规范最优区间,骨架嵌挤结构成型良好,沥青膜厚度均匀,兼顾密实度与稳定性,无空隙率过大渗水、沥青富余泛油等问题。

3 沥青混合料路用性能试验研究

为验证最优配合比下沥青混合料的工程适用性,本文开展高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性三大核心路用性能试验,全面校核混合料服役性能,保障路面长期稳定运行。

3.1 高温稳定性试验(车辙试验)

在夏季高温气候条件下,沥青材料自身会出现软化、黏度降低的特性,叠加车辆反复碾压的重载作用,沥青混合料极易发生塑性累积变形,进而诱发路面车辙、表层推移、局部拥包、波浪变形等典型病害,直接影响路面平整度与行车安全,因此高温稳定性是评价沥青混合料抗永久变形能力的核心指标。本次试验严格遵循规范标准开展室内车辙试验,精准模拟路面高温重载服役环境,设定标准试验温度 60°C 、车轮接地压力 0.7MPa ,按照规范尺寸制作 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的标准车辙板试件,经恒温养护后持续碾压测试,分别记录试件45min与60min的竖向变形差值,最终计算得出混合料动稳定度指标。经试验检测,本次最优配比混合料动稳定度达到4286次/mm,显著超出改性沥青混合料规范不低于3000次/mm的控制标准。试验结果充分说明,该配合比设计下的沥青混合料内部骨架嵌挤结构紧密稳定,整体高温刚度充足,抗剪切、抗蠕变变形能力突出,能够有效抵御夏季高温环境下车辆荷载带来的反复碾压作用,不易产生

不可逆的永久变形,高温服役性能优良,可适配夏季高温、重载交通的道路运行工况。

3.2 低温抗裂性试验(弯曲试验)

我国大部分地区四季温差、昼夜温差较为显著,冬季低温环境下沥青混合料会产生收缩应力,当结构内部收缩应力超出材料自身抗拉极限时,路面就会产生横向、纵向收缩裂缝,不仅破坏路面结构完整性、降低行车舒适度,还会形成渗水通道,诱发后续水损害病害,大幅缩减道路服役年限,因此低温抗裂性是北方及温差较大区域沥青混合料的必备性能指标。本文采用 -10°C 低温小梁弯曲试验开展低温性能检测,通过万能材料试验机对标准小梁试件进行加载测试,精准测定混合料破坏抗弯拉强度、极限破坏应变及弯曲劲度模量等核心参数,全面评估混合料低温变形与抗裂能力。试验实测数据显示,该沥青混合料低温极限破坏应变为 $2865\mu\epsilon$,突破规范不低于 $2500\mu\epsilon$ 的限值,对应的弯曲劲度模量为 1085MPa 。相关数据表明,优化配比后的混合料低温韧性与应力松弛性能良好,低温环境下材料脆性弱化效果显著,可有效消散温度变化产生的收缩应力,抵御行车荷载与温度应力的双重冲击,大幅降低路面低温开裂风险,能够很好适配昼夜温差大、冬季低温寒冷的道路服役环境。

3.3 水稳定性试验

雨水冲刷、路面积水长期浸泡、昼夜冻融循环是沥青路面最主要的自然损害形式,水分持续侵入混合料内部,会逐步破坏沥青与集料之间的粘结界面,引发沥青剥落、集料松散、路面坑槽、表层剥落等水损害病害,是造成沥青路面早期破损的关键诱因,水稳定性直接决定沥青路面的耐久性能与服役周期。为全面检测优化后混合料的耐水损能力,本文同步开展浸水马歇尔试验与

冻融劈裂试验两项专项检测,从浸水耐久、冻融耐久两个维度校核混合料水稳性能。浸水马歇尔试验用于评价混合料长期浸水后的力学性能保持率,实测混合料残留稳定度可达92.3%,远优于规范不低于85%的控制要求;冻融劈裂试验模拟冬季冻融循环恶劣工况,测得混合料劈裂强度比为88.6%,满足规范不低于80%的合格标准。多项试验结果充分证实,该优化配合比下的沥青混合料压实度密实、内部孔隙结构合理,沥青与集料粘附性能优异,能够有效阻隔水分渗透,抵御雨水浸泡与冻融循环带来的结构破坏,抗水损害能力极强,可显著提升沥青路面在雨雪天气、季节性冻融环境下的长期服役稳定性。

4 试验结果综合分析与工程优化建议

4.1 试验结果综合评价

本文通过系统性的原材料性能检测、马歇尔配合比设计试验以及多项路用性能验证试验,全方位校核了AC-13细粒式SBS改性沥青混合料的材料特性与结构性能。最终确定的矿料掺配比例28%:32%:34%:6%、最佳油石比4.8%具备极强的科学性与合理性,矿料级配整体连续均匀,骨架嵌挤结构成型完整,混合料密实度达到优良水平。各项体积指标与力学指标均精准落在规范最优区间,不存在空隙率超标、饱和度失衡、稳定度不足等缺陷。同时,高温、低温、水稳定三大核心路用性能指标均显著优于国家规范最低限值,性能富余储备充足,有效规避了传统沥青混合料配比设计中普遍存在的泛油渗水、低温开裂、高温车辙、水损害松散等典型病害问题。该优化配比适配多变气候环境与常规重载交通工况,完全契合公路上面层的施工与服役要求,工程适配性与实用价值较高。

4.2 施工质量控制优化建议

室内试验确定的最优配合比仅为理论设计标准,施工现场环境复杂多变,原材料状态、施工温度、拌合工艺等动态因素均会影响混合料最终性能,极易出现试验参数与现场施工质量脱节的问题。为保障优化配合比有

效落地,切实提升沥青路面施工成型质量,结合本次试验数据与现场施工特点,制定全流程精细化质量控制方案。在原材料管控层面,建立进场复检机制,严格把控玄武岩集料、机制砂及矿粉的各项技术指标,严控集料针片状含量、含泥量等关键参数,保证原材料性能稳定统一。拌合施工阶段精准管控温度与时长,改性沥青拌合区间稳定控制在175~185℃,严格执行干拌5s、湿拌40s的工序标准,保证混合料拌合均匀。摊铺碾压环节保持匀速摊铺,遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”碾压原则,严控各阶段碾压温度。同时根据现场气温、集料含水率等动态变化实时微调施工参数,保障混合料服役性能持续稳定。

结束语

沥青混合料配合比设计是沥青路面质量管控的核心环节,不合理配比易引发早期病害,缩短道路服役年限。本文依托标准试验方法,完成AC-13改性沥青混合料配合比优化设计,通过真实试验数据确定最佳油石比,并从高温、低温、水稳定三个维度验证了混合料路用性能。试验证实,优化后的配合比结构合理、性能均衡,可有效提升路面稳定性与耐久性。后续工程建设中,应结合项目工况精准开展配合比设计,强化室内试验与施工现场联动,精细化管控施工工艺,从材料源头保障道路工程长期安全稳定服役。

参考文献

- [1]李军.SBS改性沥青混合料配合比优化及路用性能试验研究[J].科技与创新,2026(8):131-133.
- [2]汤法.沥青混合料配合比设计与路用性能研究[J].运输经理世界,2026(5):149-151.
- [3]孙高强.冷再生沥青混合料配合比设计及路用性能研究[J].质量与认证,2025(1):106-109.
- [4]包蕊.高速公路SMA生产配合比设计及路用性能试验研究[J].运输经理世界,2026(4):154-156.