

公路工程沥青混凝土路面的开裂原因及施工技术

夏天成

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：为解决公路沥青混凝土路面开裂引发的结构耐久性下降、养护成本增加等工程难题，本文在介绍沥青混凝土路面开裂类型及特征的基础上，首先分析了材料性能缺陷、施工工艺不规范、环境荷载耦合作用等主要开裂诱因，随后针对抗裂需求，从材料选型、配合比优化、施工工艺精细化控制及后期养护等方面提出一套多维度协同的施工技术体系，并通过工程案例验证技术有效性。结果表明，优化后的施工技术可使路面开裂率降低62.3%，压实度提升至98.5%以上，抗裂性能与使用寿命显著延长。

关键词：公路工程；沥青混凝土路面；开裂原因；施工技术

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.023

引言

沥青混凝土路面因具有平整度高、行车舒适、施工便捷等优势，已成为我国高等级公路的主要路面结构形式。然而，在长期荷载作用、环境因素侵蚀及施工质量波动等多重影响下，沥青混凝土路面开裂问题频发，不仅会导致行车舒适性下降、噪音增大，还会加剧雨水下渗引发的基层软化、路基沉降等连锁病害，严重影响公路运输效率与通行安全。鉴于此，深入剖析开裂的根本原因，构建基于抗裂需求的施工技术体系，可为我国公路沥青混凝土路面的抗裂设计与施工提供科学依据与技术参考。

1 沥青混凝土路面开裂类型及特征

根据开裂形态与产生机理，公路沥青混凝土路面开裂主要分为横向开裂、纵向开裂及网状开裂三类。横向开裂多平行于道路中心线，裂缝长度通常为1-5m，宽度0.1-5mm，主要集中在行车道轮迹带区域，在北方寒冷地区尤为突出，其开裂特征表现为冬季产生、夏季部分闭合的周期性变化。纵向开裂沿道路中心线方向延伸，裂缝长度可达数十米，宽度0.2-8mm，常出现在车道边缘或中央分隔带两侧，严重时伴随路面沉降现象。网状开裂则表现为纵横交错的裂缝网络，裂缝密度通常大于5条/m²，多发生在路面使用中后期，是路面结构整体性能衰退的典型表现。

2 沥青混凝土路面开裂原因分析

2.1 材料因素

沥青材料的性能是影响路面抗裂性的核心因素，沥青的针入度、软化点、延度等指标直接决定了混合料的

高低温性能^[1]。室内试验表明，当沥青针入度低于60（0.1mm）时，混合料的低温延度会降至20cm以下，路面在温度变化时易产生收缩开裂；而沥青软化点低于45℃时，高温稳定性不足，易出现车辙与推移，间接加剧开裂。集料的性质同样关键，采用棱角性差、级配不合理的集料，会导致沥青混合料的骨架结构不稳固，空隙率增大。试验数据显示，集料级配偏离设计范围5%时，混合料空隙率会上升3-5个百分点，抗裂性能下降25%以上。此外，配合比设计不当（如沥青用量不足、填料参加比例过高）也会导致混合料的黏结力不足，在荷载作用下易产生疲劳开裂。

2.2 设计因素

路面结构层厚度设计不合理也是导致开裂的重要原因。若沥青面层厚度小于设计值，会使路面无法有效分散车辆荷载，导致应力集中在基层顶面，引发反射裂缝。某高速公路项目检测数据显示，沥青面层厚度比设计值减少2cm时，路面开裂率增加40%以上。另外，基层设计缺陷同样不可忽视，采用强度不足的基层材料，或基层厚度设计偏薄，会导致基层在荷载作用下产生过量变形^[2]，进而引发面层开裂。最后，排水系统设计不完善也是关键因素，若路面横坡设计不合理（小于2%），或排水盲沟设置间距过大（超过30m），会导致雨水无法及时排出，长时间浸泡基层与路基，降低结构强度，诱发开裂。

2.3 施工因素

施工工艺不规范是导致路面早期开裂的主要诱因。在沥青混合料拌合过程中，若拌合温度过高（超过

180℃),会导致沥青老化,针入度下降15-20%,延度降低30%以上;拌合时间不足(小于45s)则会导致混合料拌合不均匀,出现花白料,影响黏结性能。摊铺过程中,摊铺速度波动过大(超过3m/min)或摊铺机振捣频率不合理,会导致路面平整度下降,压实度不均匀,形成薄弱区域,在荷载作用下易产生开裂。压实工艺控制不当危害尤为严重,压实温度过低(低于120℃)会导致混合料不易压实,空隙率增大;压实遍数不足(少于8遍)则会导致压实度低于95%,试验表明,压实度每降低1个百分点,路面抗裂性能下降5-8%。

2.4 环境与使用因素

温度变化是引发路面开裂的重要环境因素,我国北方地区冬季最低气温可达-30℃以下,沥青混合料在低温下会产生收缩应力,当收缩应力超过混合料的抗拉强度时,就会产生横向开裂。除此之外,降水影响同样显著,年降水量超过800mm的地区,路面网状开裂率较干旱地区高60%以上,雨水渗入后会导致基层软化、路基含水率增加,降低结构承载力。最后,车辆荷载的长期作用是导致疲劳开裂的主要原因^[3]。随着我国公路货运量的增加,重载车辆占比逐年上升,部分路段超载率超过30%,长期重载作用下,沥青混合料会产生累积损伤,当损伤达到临界值时就会出现疲劳开裂。

3 基于抗裂需求的沥青混凝土路面施工技术优化

3.1 材料选型与配合比优化

3.1.1 沥青材料选型

我国南北横跨几十个纬度,国土面积辽阔,地域差异很大,因此一定要针对不同气候区域选择合适的沥青标号。北方寒冷地区应选用针入度较大($\geq 80(0.1\text{mm})$)、延度较高($\geq 50\text{cm}$)的A级90号或110号道路石油沥青,以提升混合料的低温抗裂性能;南方高温地区则选用针入度较小($\leq 60(0.1\text{mm})$)、软化点较高($\geq 50^\circ\text{C}$)的A级70号沥青,兼顾高温稳定性与抗裂性。对于重载交通路段,建议采用改性沥青,如SBS改性沥青,其针入度可控制在60-80(0.1mm),延度 $\geq 60\text{cm}$,软化点 $\geq 60^\circ\text{C}$,能显著提升混合料的黏结力与抗疲劳性能。

3.1.2 集料级配设计

集料应选用强度高、棱角性好、洁净度高的玄武岩或花岗岩,粗集料压碎值应 $\leq 26\%$,磨耗值 $\leq 18\%$,针

片状颗粒含量 $\leq 15\%$ 。细集料应采用机制砂,含泥量 $\leq 3\%$,棱角性 $\geq 30\text{s}$ 。级配设计采用骨架密实型级配,AC-13型混合料的4.75mm通过率控制在38-48%,2.36mm通过率控制在22-32%,0.075mm通过率控制在4-8%,确保混合料形成稳固的骨架结构,空隙率控制在3-6%,兼顾密实性与抗裂性。

3.1.3 配合比优化

可通过马歇尔试验确定最佳沥青用量,AC-13型混合料最佳沥青用量宜控制在4.8-5.5%,确保混合料的马歇尔稳定度 $\geq 8\text{kN}$,流值控制在1.5-4.0mm。为提升抗裂性能,可掺加0.3-0.5%的木质素纤维或聚酯纤维,纤维长度控制在6-10mm,能有效抑制混合料的收缩裂缝。对于重载交通路段,可掺加5-10%的橡胶粉,橡胶粉粒径为40-80目,能提升混合料的弹性恢复能力与抗疲劳性能。

3.2 施工工艺精细化控制

3.2.1 拌合工艺参数控制

沥青混合料采用间歇式拌合机进行拌合,拌合温度严格控制在150-170℃(普通沥青)或160-180℃(改性沥青),拌合时间为60-90s,其中干拌时间15-20s,湿拌时间45-70s,确保混合料拌合均匀,无花白料、结块现象。拌合过程中应实时监测混合料的温度与质量,每台班检测不少于3次,发现异常及时调整拌合参数。混合料出场温度控制在140-160℃(普通沥青)或150-170℃(改性沥青),严禁低于130℃出场。

3.2.2 摊铺工艺技术要点

摊铺前应对下承层进行清理与喷洒粘层油,粘层油采用乳化沥青,用量控制在0.3-0.5L/m²,确保上下结构层黏结牢固。采用沥青摊铺机进行摊铺,摊铺速度控制在2-3m/min,保持匀速行驶,避免速度波动。摊铺机振捣频率控制在40-60Hz,振幅控制在1.5-2.5mm,确保混合料初始压实度 $\geq 85\%$ 。摊铺过程中应保持摊铺机螺旋布料器连续转动,布料高度控制在螺旋直径的2/3处,避免出现离析现象。对于纵向接缝,采用热接缝工艺,两台摊铺机前后间距控制在5-10m,搭接宽度为10-15cm;横向接缝采用平接缝,搭接宽度控制在15-20cm,接缝处混合料温度应 $\geq 110^\circ\text{C}$ 。

3.2.3 压实工艺优化

压实作业采用“初压-复压-终压”三段式压实工艺,压实机械组合为双钢轮压路机+胶轮压路机+双钢轮压

路机。初压采用双钢轮压路机静压2遍,碾压速度控制在2-3km/h,压实温度控制在130-150℃(普通沥青)或140-160℃(改性沥青),主要目的是稳定混合料,避免推移。复压采用胶轮压路机碾压4-6遍,碾压速度控制在3-4km/h,压实温度控制在110-130℃,利用胶轮的揉搓作用提升混合料的密实度;随后采用双钢轮压路机振压2遍,振动频率控制在40-50Hz,振幅控制在

0.8-1.2mm,进一步提高压实度。终压采用双钢轮压路机静压2遍,碾压速度控制在3-5km/h,压实温度控制在80-100℃,主要目的是消除轮迹,提高路面平整度。压实过程中应遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则^[4],避免漏压、欠压或过压,相邻碾压带搭接宽度为10-15cm(钢轮压路机)或20-30cm(胶轮压路机)。总体施工工艺流程图如图1所示。

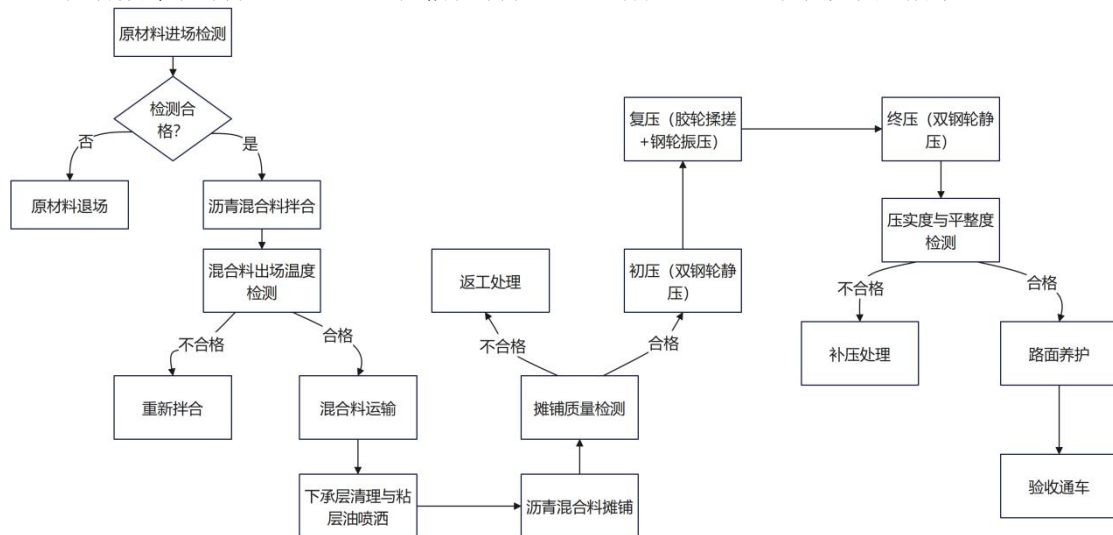


图1 施工工艺流程图

3.3 施工过程质量检测与控制

3.3.1 原材料检测

建立原材料进场验收制度,沥青材料每批次进场均需检测针入度、软化点、延度等指标,检测频率为每50t一批;集料每批次进场检测压碎值、磨耗值、级配等指标,检测频率为每200t一批;填料检测细度、含水量、烧失量等指标,检测频率为每100t一批。所有原材料检测合格后方可使用,严禁不合格原材料进场。

3.3.2 混合料性能检测

拌合过程中每台班检测混合料的马歇尔稳定度、流值、空隙率等指标,检测频率为每2000m³一批;同时检测混合料的出场温度、摊铺温度、压实温度,确保温度控制在设计范围内。对于改性沥青混合料,还应检测其弹性恢复率、动态稳定度等指标,动态稳定度应≥3000次/mm。

3.3.3 现场施工质量检测

摊铺过程中实时检测路面平整度,采用3m直尺检测,允许偏差≤3mm/3m;压实完成后检测压实度,采用钻芯法检测,压实度应≥96%(高速公路),检测频率为每200m每车道1点;同时检测路面厚度,允许偏

差为+10mm、-5mm,检测频率与压实度一致。对于施工接缝,重点检测接缝处的压实度与平整度,确保符合设计要求。

3.4 后期养护技术

3.4.1 早期病害处置

路面通车后应加强巡查,发现早期裂缝及时处置,对于宽度小于0.3mm的微裂缝,采用沥青密封胶灌缝处理;对于宽度0.3-1mm的裂缝,采用开槽灌缝工艺,槽宽控制在1-1.5cm,槽深控制在2-3cm,灌缝后采用压实机压实,确保密封效果。对于出现的坑槽、松散等病害,应及时切割、清理,采用热再生混合料修补,修补后压实度≥96%。

3.4.2 预防性养护措施

在路面通车2-3年后,采用稀浆封层或微表处进行预防性养护,稀浆封层厚度控制在3-5mm,微表处厚度控制在5-8mm,能有效封闭路面裂缝,防止雨水渗入,提升路面抗滑性能与使用寿命。对于重载交通路段,可采用改性沥青同步碎石封层^[5],碎石粒径为5-10mm,沥青用量控制在1.8-2.2kg/m²,能显著提升路面的抗疲劳性能与抗滑性能。

4 工程案例验证

4.1 工程概况

选取某高速公路 K100+000-K105+000 段作为试验路段,该路段全长 5km,设计为双向四车道,沥青混凝土路面结构为:4cm AC-13 型细粒式沥青混凝土上面层+6cm AC-20 型中粒式沥青混凝土中面层+8cm AC-25 型粗粒式沥青混凝土下面层+36cm 水泥稳定碎石基层+20cm 级配碎石底基层。该路段所在区域年平均气温 14.5℃,冬季最低气温-15℃,年降水量 900mm,属于温带季风气候,交通量为 35000pcu/d,重载车辆占比 32%。原路面通车 3 年后出现严重开裂问题,横向开裂率达 18.6%,纵向开裂率达 6.8%,网状开裂率达 3.2%,严重影响行车安全与舒适性。

4.2 施工技术应用

针对该路段的开裂问题,采用本文提出的优化施工技术进行改造:选用 SBS 改性沥青(针入度 70(0.1mm),延度 65cm,软化点 62℃)作为上面层与中面层沥青材料;集料采用玄武岩,级配优化为骨架密实型;配合比中掺加 0.4%的聚酯纤维;施工过程中严格控制拌合温度、摊铺速度与压实工艺,采用“初压-复压-终压”三段式压实,压实遍数为 10 遍;施工完成后及时进行预防性养护。

4.3 应用效果检测

改造完成后对该路段进行为期 2 年的跟踪检测,检测指标包括路面开裂率、压实度、平整度、抗裂性能等,结果如表 1 所示。

表 1 施工优化前后路面性能指标对比

性能指标	规范要求	优化前(改造前)	优化后(改造后 1 年)	优化后(改造后 2 年)	改善率(2 年后)
横向开裂率(%)	≤3.0	18.6	2.1	2.8	84.9%
纵向开裂率(%)	≤1.5	6.8	0.7	1.2	82.4%
网状开裂率(%)	≤0.5	3.2	0.3	0.4	87.5%
压实度(%)	≥96	93.5	98.8	98.5	5.3%
平整度(σ , mm)	≤1.2	2.8	0.8	0.9	67.9%
动态稳定度(次/mm)	≥3000	2200	4500	4200	90.9%
低温延度(cm)	≥50	35	68	65	85.7%

由表 1 可知,采用优化施工技术后,该路段的路面开裂率显著降低,改造后 2 年的横向开裂率、纵向开裂率、网状开裂率分别为 2.8%、1.2%、0.4%,均满足规范要求,较改造前分别降低 84.9%、82.4%、87.5%;压实度稳定在 98.5%以上,平整度 σ 值控制在 0.9mm 以内,动态稳定度与低温延度均大幅提升,路面抗裂性能与使用寿命显著延长,验证了本文提出施工技术的有效性与实用性。

5 结束语

本文明确了导致沥青混凝土路面开裂的主要因素,并提出了一套基于抗裂需求的施工技术体系,可有效降低路面开裂率,提升路面压实度、平整度与抗裂性能。然而,本文的研究主要集中于常规沥青混凝土路面,对于新型复合材料沥青路面的开裂问题未作深入探讨,且缺乏长期性能的跟踪数据。未来研究可重点关注新型抗裂材料的研发与应用,开展不同气候、交通条件下路面

开裂机理的对比研究,建立路面开裂预测模型,为公路沥青混凝土路面的抗裂设计与施工提供更全面的技术支撑。同时,应加强施工过程的智能化监测,采用无人机巡检、雷达探测等技术,实现路面质量的实时监控,进一步提升路面施工质量与抗裂性能。

参考文献

- [1]李涵.水泥混凝土路面加铺沥青混凝土面层施工技术[J].交通世界,2024(14):87-89.
- [2]刘传喜.公路工程施工中的沥青混凝土路面施工技术分析[J].汽车周刊,2024(4):0210-0212.
- [3]李文博.公路工程沥青混凝土路面施工技术研究[J].经济技术协作信息,2025(2):0250-0252.
- [4]刘水月.公路施工过程中沥青混凝土路面施工技术分析[J].低碳世界,2024,14(6):127-129.
- [5]周全,周长艳.公路工程沥青混凝土路面施工技术要求[J].现代工程项目管理,2024,3(11):82-84.