

# 水泥稳定碎石基层施工离析对路面开裂影响

叱博超

陕西星光工程设计有限公司

**摘要:** 水泥稳定碎石基层施工离析是路面开裂的核心诱因,材料特性差异、施工工艺不当等因素共同作用,破坏基层结构均匀性。局部强度不足、应力集中随之产生,荷载与环境耦合作用下,微裂纹萌生扩展进程加快,运营时间推移中病害持续演化升级。优化材料配比、施工工艺,配合动态监测与后期养护等防控技术,能够有效抑制离析,强化基层抗裂性能,维持路面结构稳定,延长其服役寿命。

**关键词:** 水泥稳定碎石基层; 施工离析; 路面开裂

**DOI:** 10.65976/3078-8145.2026.01.014

## 引言

水泥稳定碎石基层作为公路路面核心承重结构,施工离析造成的结构缺陷,直接威胁路面长期稳定状态。基层强度离散、收缩特性失衡由离析引发,车辆荷载与温湿度波动影响下,早期裂缝易形成且不断扩展,路面使用寿命大幅缩减。明确离析与路面开裂的作用机制,优化针对性防控技术,对控制工程养护成本、提升交通基础设施运维水平具备重要现实意义。

### 1 水泥稳定碎石基层施工离析的形成机制及开裂诱因

#### 1.1 材料特性与离析生成的内在关联

水泥稳定碎石的材料组成特性构成离析产生的基础,集料、水泥、水的物理属性不同直接影响混合料均匀状态。碎石集料粒径分布存在差异,粗、细集料密度与形态呈现明显区别,施工各环节中容易出现相对位移与分层聚集现象。水泥掺量、细度及水化速率会改变混合料和易性,掺量偏低时黏结力不足,粗集料偏聚趋势更明显;水分含量波动引发颗粒重新排布,含水率偏高时粗集料向底部或边缘集中,偏低则造成混合料松散,两种情况均会诱发局部离析。

#### 1.2 拌和工艺对离析生成的控制作用

拌和环节的设备参数与操作流程直接决定混合料均匀状态。拌和时间不足,水泥、细集料与水分难以充分包裹粗集料,形成胶浆富集区与集料裸露区的局部离析;拌和时间过长则破坏集料结构、改变级配组成,水分过度蒸发同时引发颗粒分布失衡<sup>[1]</sup>。拌和机叶片磨损、搅拌仓结构缺陷形成的搅拌死角,导致局部混合料搅拌不充分,出料时形成不均匀料流。进料顺序与投料比例的稳定性影响突出,进料速度波动、配比偏差造成局部组分异常,连续式与间歇式拌和机的设备运行状态、计量精度、仓体分隔效果,均会对混合料最终质量产生影响。

#### 1.3 转运与摊铺过程中的离析诱发条件

混合料转运与摊铺过程中的外力作用会进一步加剧颗粒分离。转运时车辆颠簸促使混合料在车厢内重新排布,粗集料向两侧及底部聚集,细集料与胶浆向中间及上部集中,形成水平与垂直方向的分层离析;卸料高度过大产生的冲击作用下,粗集料因惯性向外扩散,细集料与水泥浆体滞留中心,形成锥形离析。摊铺机的作业状态与结构参数对离析控制至关重要,螺旋布料器高度、转速设置不合理,过快会抛掷粗集料导致两侧集中,过慢则供料不足引发松散;料斗开合方式、受料连续性、行走速度稳定性直接改变混合料受力状态,间断作业与频繁启停破坏原有结构,促使颗粒重新分布。

#### 1.4 压实作业与离析扩展的相互作用

压实工序的参数与流程影响离析程度及分布范围,压实机械类型、吨位、振动频率与振幅需匹配混合料特性。压实功不足,内部空隙无法消除,颗粒间咬合作用薄弱,离析区域难以修正;压实功过大则造成粗集料破碎、级配改变,水泥浆体同步上浮,形成表面离析。压实作业速度过快引发不均匀压实,局部漏压或欠压使离析缺陷保留;遍数过多破坏内部结构,局部离析进一步加剧。不合理压实顺序导致混合料横向与纵向密实度差异,离析现象沿横向扩展。

#### 1.5 离析转化为开裂诱因的内在条件

离析造成的基层结构缺陷,在外部作用下逐步转化为开裂诱因。局部密实度降低、空隙率增大由离析引发,车辆荷载反复作用下,空隙处应力集中导致颗粒间黏结力快速失效,微裂纹随之形成。粗集料集中区域胶浆包裹不足,强度偏高但韧性下降,易发生脆性断裂;细集料与胶浆富集区域收缩性增强,干燥与温变作用下产生收缩裂缝。离析破坏基层整体均匀性,

不同区域模量、强度、收缩特性存在差异,温度与湿度波动时变形不协调,附加应力超过材料抗拉强度后形成宏观裂缝。水分渗入离析空隙,低温环境下冻胀作用扩大内部缺陷,裂缝扩展进程加快。

## 2 施工离析对路面开裂的影响规律与作用路径

### 2.1 离析程度与路面开裂的量化关联规律

水泥稳定碎石基层离析程度与路面开裂概率、开裂程度呈明显正相关,离析严重区域路面开裂发生时间更早、裂缝数量更多、扩展速度更快。轻度离析仅呈现局部颗粒分布不均,基层整体强度与均匀性下降幅度有限,路面以细微裂纹为主且分布分散,短期内不会造成明显的结构性破坏<sup>[2]</sup>。离析程度加深后,基层内部空隙率、密实度差异及强度离散性持续加大,微裂纹数量快速增多,外部作用下逐步连通形成网状裂缝。重度离析区域可见明显粗集料裸露、胶浆缺失、松散脱粘情况,基层结构完整性遭受严重破坏,承载能力大幅下滑,早期即出现纵向、横向乃至斜向裂缝,裂缝宽度与深度不断扩大。离析分布形态对开裂规律同样存在影响,块状离析易催生局部集中裂缝,带状离析多引发连续线性裂缝,全面性离析则会导致大面积龟裂与松散破坏。

### 2.2 离析引发的内部应力集中与开裂启动

施工离析破坏水泥稳定碎石基层均质结构,内部应力分布出现明显失衡,缺陷区域形成应力集中,成为路面开裂启动点。粗集料集中区域颗粒接触点少、胶浆填充不足,应力在接触点附近高度集中,超出材料承受极限后产生初始微裂纹。细集料富集区域收缩应力较大,干燥与温变作用下内部拉应力不断积累,应力值超过抗拉强度即启动开裂过程。离析导致基层局部强度降低,薄弱区域在车辆荷载作用下率先产生塑性变形,变形累积推动微裂纹形成与扩展。基层内部空隙改变应力传递路径,空隙边缘应力高于周边区域,构成开裂源头。水泥水化过程中,离析区域水化热释放与温度发展不均,产生温度应力,进一步加剧应力集中。

### 2.3 荷载作用下离析区域的裂缝扩展路径

车辆荷载作为推动离析区域裂缝扩展的重要外部因素,重复作用下基层内部微裂纹沿特定路径持续延伸,最终贯通至路面表面<sup>[3]</sup>。离析导致基层结构不均,荷载传递时出现应力偏转,裂缝优先沿强度低、密实度差的离析区域延伸。纵向离析带在行车荷载影响下,易形成沿道路走向的纵向裂缝,从基层底部向上延伸,贯穿整个基层并扩展至面层。横向离析带受荷载与温度共同作用,多产生横向裂缝,分布间距与离析分布

特征密切相关。重载车辆作用下,离析区域裂缝扩展速度加快、宽度增大,形成明显结构性破坏。裂缝扩展过程中,基层内部颗粒不断脱落、空隙持续扩大,结构承载能力进一步下滑,形成裂缝扩展与结构破坏相互促进的循环。

### 2.4 环境因素耦合作用下的开裂加速机制

环境因素与离析缺陷相互耦合,加速路面开裂进程,缩短道路使用寿命。温度变化促使水泥稳定碎石基层产生周期性胀缩,离析区域各组分变形存在明显差异,温度应力与收缩应力叠加,推动裂缝快速形成与扩展。高温季节水泥水化反应提速,离析区域水分蒸发不均,干燥收缩加剧,微裂纹数量大幅增多;低温季节水分结冰产生冻胀力,扩大基层内部空隙与裂纹,裂缝宽度与深度持续发展。雨水渗入基层内部,在离析形成的空隙中积聚,软化颗粒接触界面,降低黏结强度,同时产生动水压力,冲刷细集料与水泥浆体,造成基层内部结构松散,裂缝快速扩展。长期降雨与干湿循环作用下,离析区域劣化速度加快,路面开裂范围不断扩大。

### 2.5 离析诱导路面开裂的长期演化趋势

水泥稳定碎石基层施工离析对路面开裂的影响呈现长期累积特征,运营时间推移中开裂现象展现明显演化趋势。运营初期,离析缺陷以内部微裂纹形态存在,路面表面无显著裂缝,但结构均匀性与承载能力已出现下滑。中期阶段,荷载与环境持续作用下,微裂纹逐步扩展连通形成可见裂缝,裂缝数量与宽度持续增加,路面病害开始显现。长期运营后,裂缝区域不断扩大,龟裂、破碎、松散等严重病害相继出现,基层与面层结构协同工作能力丧失,路面平整度与结构强度大幅下滑。离析诱导的路面开裂还会引发次生病害,水分沿裂缝渗入基层底部,造成基底软化、沉降不均,进一步加剧路面破坏。离析程度越高,开裂演化速度越快,早期离析控制不当,会大幅缩短路面使用寿命,增加后期养护维修成本<sup>[4]</sup>。

## 3 基于抗裂需求的施工离析防控技术优化

### 3.1 材料配比与级配设计的抗裂优化

围绕抑制离析、提升基层抗裂性能的核心目标,优化水泥稳定碎石材料配比与级配设计。科学划定集料粒径范围、校准级配曲线,确保粗集料搭建稳定骨架,细集料与水泥浆体充分填充空隙,形成骨架密实结构,削弱颗粒分离倾向。选取质地均匀、强度稳定的集料,严格控制针片状颗粒含量,强化颗粒间咬合与黏结效果,减少施工过程中离析现象。优化水泥品种与掺量,优先选用水化热低、稳定性优的水泥类型,在满足强

度标准的前提下合理调控水泥用量,降低收缩开裂风险。精准确定最佳含水率与最大干密度,保障混合料和易性与压实效果,减少含水率波动诱发的离析问题。

### 3.2 拌和与转运工艺的离析控制优化

围绕提升混合料拌和均匀性,优化拌和设备参数与作业流程。结合混合料特性合理设定拌和时间,确保水泥、集料、水充分融合,规避拌和不足或过度拌和问题。定期对拌和设备开展维护,更换磨损叶片、检修计量系统,保障设备运行精度,消除拌和死角引发的离析隐患。规范进料顺序与投料速度,确保各组份按设计比例稳定进入拌和仓,减少配比波动诱发的离析。优化转运工艺以降低颗粒分离风险,选用密封性佳、颠簸小的运输车辆,合理控制装载量,避免混合料在车厢内过度晃动。科学调控卸料高度,采用多点卸料、分层卸料方式,减轻落差冲击造成的离析。

### 3.3 摊铺与压实作业的抗裂施工优化

聚焦减少离析、保障结构均匀性的核心要求,优化摊铺作业参数与流程。选用性能稳定、布料均匀的摊铺机,科学设定螺旋布料器高度、转速与宽度,确保混合料连续均匀摊铺。稳定摊铺机行走速度,保持连续作业状态,避免频繁启停导致混合料分布不均。优化摊铺机料斗操作方式,采用阶梯式受料、连续供料模式,防止粗集料向外扩散。结合混合料特性与摊铺厚度,优化压实机械组合及压实参数。选用吨位适配的压路机,合理设定振动频率、振幅与作业速度,保证压实功符合设计标准,实现均匀压实效果。

### 3.4 施工过程动态监测与质量管控优化

为实现离析与开裂风险的实时管控,构建施工全过程动态监测体系。拌和、转运、摊铺、压实各环节合理布设监测点,检测混合料级配、含水率、温度、密实度等关键指标,及时排查离析隐患。运用无损检测技术快速评估基层均匀性与密实度,精准定位离析区域与薄弱部位,采取针对性处理措施。完善质量管控流程,建立岗位责任制度与工序交接制度,保障各环节施工质量达标。强化施工人员技术培训,提升离析防控意识与实操水平,规范施工行为。

### 3.5 后期养护与裂缝早期处置优化

为减少收缩开裂与离析缺陷扩展,强化水泥稳定碎石基层后期养护工作。压实作业完成后及时覆盖保湿材料,保障水泥充分水化,避免水分快速蒸发引发干燥收缩与结构分离。严格把控养护时间与养护质量,保持基层表面湿润状态,降低温变与干湿循环带来的开裂影响。做好基层防护措施,禁止车辆过早通行,防止荷载作用加剧离析区域破坏。建立裂缝早期监测与处置机制,路面运营初期及时排查细微裂缝,采取封闭、灌浆等处置手段,阻止裂缝进一步扩展。对离析集中区域实施重点监测,提前开展加固处理,提升局部结构强度与抗裂性能<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

水泥稳定碎石基层施工离析由材料、工艺等多方面因素共同作用,破坏基层均质结构,在荷载与环境耦合影响下诱发并加剧路面开裂。基于抗裂需求构建的全流程防控体系,从源头抑制离析产生,阻断开裂演化路径,有效提升基层结构稳定性与抗裂性能。这套技术优化方案与防控思路为解决路面早期开裂难题提供实践支撑,对提升公路工程建设质量、延长道路服役周期具有重要指导意义。

### 参考文献:

- [1] 姚爱玲,王军伟,许敏,等.水泥稳定碎石基层沥青路面隆起开裂数值分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(6):105-111.
- [2] 梁春雨,马俊琛,谭国金,等.水稳碎石基层层间状态对路面结构力学响应的影响[J].吉林大学学报(工学版),2022,52(5):1063-1070.
- [3] 史小魏,马志伟,李洪闯.高速公路改扩建工程新旧路面基层接缝处理施工技术研究与应用[J].公路,2021,66(1):366-369.
- [4] 兰雪江,张脩,王永宝,等.水泥稳定再生碎石物理力学性能研究进展[J].材料导报,2024,38(2):65-76.
- [5] 代泽宇,毛雪松,徐旺,等.盐渍土地区水泥稳定碎石基层沥青路面拱胀原因调查分析[J].中国科技论文,2021,16(4):444-449.