

水泥稳定碎石基层裂缝成因及施工控制对策分析

刘一航

湖北交投远大交通实业有限公司 湖北 武汉 430014

【摘要】：水泥稳定碎石基层凭借强度高、承载力强、整体性好及耐久性佳的优势，广泛应用于高等级公路路面结构中，是保障路面行车安全与使用寿命的核心环节。但在实际施工与运营过程中，裂缝问题频发，不仅影响基层结构完整性，还易引发路面反射裂缝，降低公路通行质量与服役年限，增加养护成本。本文结合工程施工实践，系统分析水泥稳定碎石基层裂缝的主要成因，从材料、施工、设计、环境等多维度提出针对性施工控制对策，为同类工程施工质量提升提供实践参考与理论支撑。

【关键词】：水泥稳定碎石；基层裂缝；成因分析；施工控制；质量保障

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.050

引言

随着我国公路交通事业的快速发展，高等级公路对路面基层的承载能力、稳定性及耐久性提出了更高要求。水泥稳定碎石基层作为半刚性基层的主流形式，通过水泥的胶结作用将碎石颗粒紧密结合，形成具有较高强度和刚度的结构层，能够有效传递行车荷载，减少路面变形，延长路面使用寿命。然而，半刚性材料自身的固有特性及施工、环境等多种因素的综合影响，导致水泥稳定碎石基层极易产生裂缝。本文结合多年公路工程施工经验，针对水泥稳定碎石基层裂缝成因及施工控制对策展开深入分析，为同类工程提供借鉴。

1 水泥稳定碎石基层裂缝类型及危害

1.1 裂缝类型

水泥稳定碎石基层裂缝主要分为收缩裂缝与反射裂缝两大类，不同类型裂缝的形成时间、形态特征存在明显差异。收缩裂缝多产生于基层施工完成后至通车前，部分在通车初期出现，主要表现为横向、纵向或网状裂缝，裂缝宽度多在0.1-0.5mm，长度从数米到数十米不等，多由材料收缩引发。反射裂缝则主要产生于通车后，是基层裂缝向上延伸至沥青面层形成的裂缝，形态与基层裂缝基本一致，随着行车荷载反复作用，裂缝会逐渐拓宽、延长，危害程度更大。

1.2 裂缝危害

基层裂缝的危害具有渐进性，初期裂缝对行车影响较小，但随着时间推移和行车荷载、环境因素的持续作用，危害会不断加剧。一方面，裂缝会破坏基层的整体性和连续性，降低基层的承载能力和抗变形能力，导致基层受力不均，进而引发面层沉降、开裂；另一方面，雨水、雪水等会沿裂缝渗透至基层内部，侵蚀水泥胶结体，软化基层材料，导致基层强度大幅下降，严重时甚至会引发基层松散、坍塌，造成路面坑槽、破损，影响公路通行安全。同时，裂缝修复难度大、成本高，频繁修复还会影响公路正常通行效率，缩短公路整体服役年限。

2 水泥稳定碎石基层裂缝成因分析

2.1 材料因素

材料是影响水泥稳定碎石基层收缩性能和强度的核心因素，材料质量不达标或配合比不合理，易直接引发裂缝。水泥作为胶结材料，其品种、剂量对基层收缩特性影响显著。水泥剂量过高，会增加水泥胶结体的体积收缩量，同时提高基层刚度，降低抗裂性能，易产生收缩裂缝；若水泥强度等级偏低、安定性不合格，会导致基层强度不足、体积稳定性差，进而引发开裂。碎石作为骨料，其级配、粒径、压碎值及洁净度对基层抗裂性能至关重要。碎石级配不合理，如细料含量过多或级配间断，会导致基层压实度难以达标，孔隙率过大，通车后易受行车荷载作用产生塑性变形，引发裂缝；碎石粒径过大，会导致摊铺不均匀、碾压不密实，基层内部存在薄弱环节，受力后易开裂；碎石压碎值超标，会导致基层承载力不足，行车荷载反复作用下易产生疲劳裂缝；碎石中含泥量、杂质过多，会降低碎石与水泥胶结体的粘结强度，导致基层整体性差，易产生裂缝。

2.2 设计因素

若基层厚度设计过薄，会导致基层承载力不足，无法有效分散行车荷载，行车荷载反复作用下易产生疲劳裂缝；基层与面层、底基层的刚度匹配不合理，如基层刚度远大于面层或底基层，会导致应力集中在基层，引发基层开裂；未设置合理的伸缩缝、沉降缝，基层收缩、沉降过程中无法释放应力，易产生裂缝。若未结合工程实际优化配合比，仅依据规范照搬，会导致配合比与现场材料、施工条件不匹配。如水泥剂量、骨料级配、含水量设计不合理，会导致基层收缩量过大、压实度不足、强度不均，进而引发裂缝。

2.3 施工因素

拌和环节，若拌和设备性能不佳、拌和时间不足，会导致水泥、碎石、水及外加剂混合不均匀，基层内部强度、密度不均，存在薄弱区域，易引发裂缝；拌和时含水量控制不当，含水量过高，会导致基层摊铺后收缩量增大，易产生干缩裂缝，

同时碾压时易出现弹簧现象,降低压实度;含水量过低,会导致碾压不密实,基层孔隙率过大,承载力不足。摊铺速度过快或不均匀,会导致基层厚度不均、平整度差,受力后易产生应力集中,引发裂缝;摊铺过程中出现离析现象,会导致局部细料过多、粗料集中,细料集中区域收缩量大,粗料集中区域压实度不足,均易引发裂缝;摊铺设备行走不平稳,会导致基层表面不平整,影响后续碾压质量,间接引发裂缝。碾压机械选型不当,如压路机吨位不足、碾压方式不合理,会导致基层压实度不足,孔隙率过大,通车后易产生塑性变形和疲劳裂缝。

2.4 环境因素

施工及运营过程中,环境温度大幅波动会导致基层产生温度收缩。施工阶段,若白天高温、夜间低温,基层表面温度变化剧烈,热胀冷缩产生的温度应力超过基层抗拉强度,会引发裂缝;运营阶段,夏季高温时基层膨胀,冬季低温时收缩,反复的热胀冷缩会导致基层产生疲劳裂缝。高温干燥天气会导致基层表面水分快速蒸发,产生干缩变形,若收缩受到约束,会产生干缩应力,引发干缩裂缝;多雨天气时,雨水渗透至基层内部,会软化基层材料,降低强度,同时基层含水量变化过大,会导致体积收缩不一致,引发裂缝;寒冷地区冬季降雪、结冰,会导致基层受冻融循环作用,水泥胶结体被破坏,基层强度下降、体积不稳定,易产生裂缝。

3 水泥稳定碎石基层施工控制对策

3.1 严格把控材料质量

做好材料质量管控,是提升基层抗裂性能的基础,需从材料选用、检验、储存等环节严格把控。水泥选用方面,结合工程气候条件、施工进度,选用凝结速度适中、水化热低、安定性合格的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,强度等级根据设计要求确定,避免选用快硬水泥;严格控制水泥剂量,结合配合比试验,确定最优水泥剂量,一般控制在3%-5%,兼顾基层强度与抗裂性能,避免水泥剂量过高或过低。碎石选用方面,选用质地坚硬、表面粗糙、压碎值合格、洁净度高的碎石,粒径符合设计及规范要求,避免选用风化、软弱、含泥量高的碎石;外加剂选用符合设计要求、与水泥匹配的产品,严格控制外加剂剂量,通过试验确定最优添加量,避免盲目添加。所有进场材料需严格检验,不合格材料严禁进场,材料储存过程中分类堆放,做好防潮、防尘措施,避免材料受潮、污染。

3.2 优化设计方案

结合工程实际、地区气候条件及行车荷载要求,优化设计方案,从源头减少裂缝产生。结构设计方面,合理确定基层厚度,根据行车荷载等级、面层厚度,确保基层具有足够的承载力,能够有效分散行车荷载,避免厚度过薄引发疲劳裂缝;优化基层与面层、底基层的刚度匹配,选用刚度相近的材料,减少应力集中;设置合理的伸缩缝、沉降缝,间距根据气候条件、

基层厚度确定,一般为5-10m,缝宽2-3mm,填充柔性材料,释放基层收缩、沉降应力。配合比设计方面,结合进场材料性能,通过室内试验优化配合比,兼顾基层强度、压实度与抗裂性能,确定最优水泥剂量、骨料级配及含水量;结合地区气候条件调整配合比,寒冷地区增加抗冻组分,高温干燥地区优化材料级配,减少收缩量;针对不同施工段的材料差异,及时调整配合比,确保配合比与现场实际匹配。配合比设计完成后,需进行试验段施工,验证配合比的合理性,及时优化调整。

3.3 规范施工工艺,强化施工管控

3.3.1 拌和施工控制

选用性能良好、拌和均匀的强制式拌和设备,确保设备运转正常;拌和前,严格按照优化后的配合比计算材料用量,准确控制水泥、碎石、水及外加剂的添加量,采用电子计量设备,提升计量精度。拌和过程中,控制拌和时间,一般为30-60s,确保材料混合均匀,无粗细料分离、水泥结块现象;严格控制拌和含水量,比最佳含水量高1%-2%,弥补摊铺、碾压过程中的水分损失,避免含水量过高或过低。拌和完成后,及时检测混合料的含水量、级配及强度,不合格混合料严禁出场。

3.3.2 摊铺施工控制

摊铺前,清理底基层表面,确保表面洁净、平整,若底基层表面干燥,需洒水湿润,避免基层与底基层粘结不良。选用性能稳定的摊铺机,调整摊铺机行走速度,保持匀速摊铺,速度控制在1-2m/min,避免速度过快或不均匀导致厚度不均、平整度差;调整摊铺机振捣频率、振幅,确保摊铺厚度均匀、压实度达标。摊铺过程中,安排专人巡查,及时处理离析现象,若出现粗料集中,需人工补充细料并拌匀;若出现细料集中,需人工补充粗料调整级配。摊铺完成后,及时检测基层厚度、平整度,不合格部位及时整改。

3.3.3 碾压施工控制

碾压前,根据混合料类型、厚度,选用合适的碾压机械,一般选用重型压路机与轻型压路机配合使用,重型压路机吨位不小于18t,确保碾压密实。碾压顺序遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中”的原则,先采用轻型压路机稳压2遍,再采用重型压路机碾压4-6遍,最后采用轻型压路机收面1-2遍,确保基层表面平整、密实。控制碾压速度,稳压阶段速度为1.5-2km/h,重型碾压阶段速度为2-3km/h,收面阶段速度为1.5-2km/h,避免速度过快导致压实不充分。严格控制碾压时机,在水泥混合料初凝前完成碾压,避免碾压过晚无法压实;碾压过程中,及时检测基层压实度,确保压实度达到设计要求,一般不小于96%,不合格部位及时补压。碾压完成后,基层表面无轮迹、无起砂、无松散现象,平整度符合规范要求。

3.3.4 养护施工控制

碾压完成后,及时进行养护,养护时间不少于7d,若气温

较低、湿度较大,可适当延长养护时间。养护方式选用覆盖土工布、麻袋或洒水养护,覆盖材料需紧密贴合基层表面,避免漏盖;洒水养护时,保持基层表面湿润,洒水频率根据环境温度、湿度确定,高温干燥天气增加洒水频率,避免基层表面干燥。养护期间,严禁车辆通行,避免基层受到行车荷载扰动,影响强度形成;同时,做好排水措施,避免雨水浸泡基层。

3.4 做好环境适应性控制

结合地区气候条件,采取针对性措施,减少环境因素对基层的影响。高温干燥天气施工时,合理安排施工时间,避开中午高温时段,选择早晚低温时段施工;摊铺后及时覆盖,减少表面水分蒸发,避免产生干缩裂缝;洒水养护时,增加洒水频率,保持基层湿润。低温天气施工时,采取保温措施,避免水泥混合料受冻,影响水化反应;若气温低于 5°C ,暂停施工,防止基层受冻开裂。多雨天气施工时,做好防雨措施,搭建防雨棚,避免混合料淋雨受潮;雨后及时清理基层表面积水,检测基层含水量,若含水量过高,需晾晒至最佳含水量后再进行

碾压。寒冷地区冬季施工完成后,做好基层保温防护,避免冻融循环破坏基层结构;运营期间,定期对基层进行巡查,及时修复裂缝,避免雨水渗透,减少环境因素对基层的持续危害。

4 结论

水泥稳定碎石基层裂缝的产生是材料、设计、施工、环境等多因素综合作用的结果,其中施工工艺不规范、材料质量管控不到位是主要诱因。材料方面,水泥剂量、碎石级配不合理易引发收缩裂缝;设计方面,结构厚度、配合比设计不当会导致基层受力不均、收缩应力无法释放;施工方面,拌和、摊铺、碾压、养护等环节不规范会直接导致裂缝产生;环境方面,温湿度大幅波动会加剧裂缝发展。通过严格把控材料质量,优化水泥剂量与碎石级配;完善设计方案,优化结构参数与配合比;规范施工工艺,强化拌和、摊铺、碾压、养护等环节管控;适应环境条件,采取针对性防护措施;加强施工质量检测,及时整改质量问题,能够有效减少水泥稳定碎石基层裂缝的产生,提升基层施工质量,延长公路服役年限。

参考文献:

- [1] 赵成军.水泥稳定碎石基层裂缝影响机理分析及预防措施[J].交通世界,2025,(28):112-114.
- [2] 王伟.基于横向水泥稳定碎石基层裂缝的防治方法[J].水泥,2025,(02):95-98.
- [3] 朱国军.水泥稳定碎石基层裂缝影响因素及预防对策[J].石材,2024,(06):150-152.
- [4] 李淼.公路工程水泥稳定碎石基层裂缝问题成因及防治措施研究[J].运输经理世界,2024,(05):136-138.
- [5] 丁雪航,吕飞,钱沛.水泥稳定碎石基层裂缝成因及防治措施[J].江苏建材,2023,(06):104-105.