

水泥稳定碎石基层裂缝成因及现场防控对策

丁 成

湖北交通工程检测中心有限公司 湖北 武汉 430200

【摘要】：水泥稳定碎石基层在公路工程中应用广泛，但在服役过程中易出现裂缝，影响结构整体强度与使用寿命。该研究围绕裂缝成因及现场防控展开分析，将材料性能、配合比设计、施工工艺、环境因素和养护措施视为影响裂缝产生的关键环节。通过梳理基层收缩机理与应力演化特征，明确收缩变形累积超限是裂缝产生的主导因素，并结合工程实例归纳不同类型裂缝的诱发条件。在此基础上提出现场防控对策，包括优化材料级配与水泥剂量、控制含水量与压实度、合理设置分缝、加强早期养护及完善施工过程质量管控。研究旨在为工程建设提供可操作的裂缝防控技术路径，提升基层耐久性与道路服役性能。

【关键词】：水泥稳定碎石；裂缝成因；收缩变形；施工控制；防裂措施

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.010

引言

水泥稳定碎石基层因强度高、稳定性好而成为道路工程的主要结构层，但裂缝问题一直是影响道路耐久性的突出矛盾。裂缝不仅削弱路面整体性，还可能导致雨水渗入、冻胀破坏和面层早期损伤。随着交通荷载增大和道路建设规模扩展，基层开裂风险更为显著，使得其成因分析与防控研究具有现实工程价值。本研究围绕裂缝形成机理、现场诱发因素以及可行的防裂技术展开探讨，旨在为工程施工提供系统指导，保障道路结构的长期稳定和使用性能。

1 水泥稳定碎石基层裂缝形成的工程背景与结构特性

水泥稳定碎石基层作为公路结构体系中的重要承重层，其工程特性直接关系到整体路面的稳定性与耐久表现。在长期建设实践中，人们发现该类基层在服役过程中会出现不同程度的裂缝，这一现象与材料自身的结构特征和工程环境条件密切相关。水泥稳定碎石属于典型的半刚性材料，内部由骨料构成粒状框架，水泥水化产物充填其间形成稳定的胶结结构^[1]。这种结构既具备较高的抗压强度，又不可避免地产生收缩变形。干缩和温缩是材料固有属性，当收缩应变受到基层与下承层之间的界面约束时，会在内部形成拉应力并逐渐积累。当应力水平超过材料的抗拉极限时，裂缝便开始出现并逐步扩展。

施工与环境条件对裂缝的形成具有重要影响。水泥用量、级配结构、含水量控制、压实度水平等因素决定了基层的整体密实性与水化反应速率。若配合比设计不合理，骨料间空隙率偏大，会使水泥浆体分布不均，引发局部应力集中；若施工含水量偏离最佳范围，则可能导致水化热波动增大，使内部温度梯度强化，诱发额外的拉应力。道路施工常处于昼夜温差明显或空气干燥的环境中，基层暴露时间较长会加速水分蒸发，使早期收缩迅速发展。在未得到有效养护的情况下，基层表层与

深层之间的湿度梯度进一步扩大，导致结构内部应力重新分布，裂缝风险显著增加。

交通荷载和结构约束条件也在裂缝形成过程中发挥作用。车辆荷载引起的重复弯拉作用会放大早期微裂纹，使潜在结构弱点逐渐演化为贯通裂缝。路缘石、检查井及横向结构缝等位置对基层变形施加约束，使局部应力难以释放。这些因素相互叠加，使水泥稳定碎石基层在服役阶段处于较复杂的应力环境。裂缝的形成并非单一因素导致，而是材料性能、施工操作、环境变化与荷载作用共同作用下的结果。全面理解这些工程背景与结构特性，为后续裂缝机理分析和防控策略的提出奠定了基础。

2 裂缝诱发机理下的施工缺陷与材料适应性矛盾

水泥稳定碎石基层在收缩主导的裂缝机理作用下，施工工艺与材料性能之间的矛盾愈加突出。裂缝产生的应力源来自干缩、温缩和水化反应过程中的体积变化，而施工环节若出现偏差，会放大这些内在应变，使材料难以维持稳定结构。含水量控制是影响裂缝敏感性的关键环节。若混合料拌和含水量偏低，压实过程难以形成稳定骨架，局部空隙增多，容易在荷载或收缩作用下形成薄弱带；若含水量过高，水泥浆体稀释，水化反应后形成的大量毛细孔会使收缩变形更加显著，基层整体抗拉能力降低。这种由含水量偏差引发的结构不均匀性，使基层在温湿变化中更易产生不均匀收缩，从而出现表面裂缝或贯穿裂缝。

级配设计与水泥剂量选择同样影响基层的内部应力演化。当级配偏离合理的连续粒组分配时，骨料之间缺乏有效嵌挤，承力传递路径变弱，造成应力集中。若为追求强度而增加水泥剂量，会使材料水化放热峰值增大，早期温度梯度扩大，基层在降温过程中容易产生较大的温缩应力。此外，高剂量水泥体系收缩率通常偏高，使基层更容易在干燥环境下产生裂缝。材

料性能的不匹配使得施工现场往往需要在强度与抗裂性之间进行权衡，而缺少系统的适应性研究容易导致配合比设计偏离最佳状态，诱发不稳定结构。

施工压实质量不足与工序衔接不合理也是裂缝形成的重要因素。若压实度未达到设计要求，基层内部会形成未压实区，这些区域在服役期内容易因水分迁移、重复荷载作用而进一步弱化，形成应力集中点^[2]。摊铺与碾压衔接不及时，使混合料表层水分蒸发过快，会加剧早期收缩。此外，施工季节、昼夜温差和风速等环境因素与施工工艺的适应性不足，会使基层在施工成型过程中产生非均匀收缩。在防裂缝设置不合理或未能及时切缝的情况下，基层内部应力得不到有效释放，裂缝便会沿着结构弱面迅速展开。材料的固有收缩性质与施工质量缺陷之间的矛盾，构成裂缝不可忽视的诱发机制。通过深入认识这些适应性冲突，有助于明确裂缝形成的症结，为后续提出有效的防控措施提供理论依据。

3 基于工程经验的综合防控路径及性能提升实践

水泥稳定碎石基层的裂缝防控实践强调材料选配、施工控制与早期养护的协同作用，通过系统化措施来减少收缩应力积累并提升整体抗裂性能。工程应用中逐渐形成一种较为成熟的技术路径，即在材料层面调控骨料级配与水泥剂量，使基层在获得必要强度的同时具备良好的变形协调能力。合理的连续级配能够形成稳定的骨料骨架结构，使应力在内部传递更加均匀，从而降低应力集中风险。水泥剂量控制在合适区间，可以避免水化放热过大及收缩变形增大，使基层在温湿变化中保持相对稳定。加入适量外加剂或活性掺合料，有助于改善浆体微结构，减少毛细孔数量，使收缩敏感性得到明显降低。

施工阶段的精细化控制是防控裂缝的关键。混合料拌和需保证均匀性，使水泥与骨料充分接触，并保持拌和物含水量与最佳含水量接近，减少成型后不均匀收缩的可能。摊铺作业需稳定连续，避免混合料暴露时间过长引起表面水分流失^[3]。碾压工序应在混合料达到适宜压实工作性的时间窗内完成，使基层内部形成致密结构，减少后期裂缝的弱面来源。温度骤变和风速偏大时，应采取遮挡或减风措施，控制早期水分蒸发速率，使基层在水化硬化过程中保持稳定湿度环境。

早期养护对基层抗裂性能提升具有决定性意义。覆盖保湿或洒水养护能够维持水化反应所需的湿度，使内部结构逐步完善，减少早期干缩。合理设置缩缝或切缝，可在结构中预设应力释放位置，使不可避免的收缩应变集中在可控范围。部分工程实践中还采用分层摊铺与错缝技术，降低贯通裂缝的形成概率。通过监测基层早期变形与强度发展情况，及时调整养护措施，使基层在服役早期维持稳定状态。工程经验表明，综合防控措施的实施能够显著改善基层裂缝状况。在具备科学配合比、合理施工工艺和完善养护体系的条件下，基层表面裂缝数量明显减少，结构整体性显著提升，后期道路面层的破损概率随之下降。综合性的防控路径不仅改善了基层性能，也为提升道路的使用年限与服务品质提供可靠支撑。

4 结语

水泥稳定碎石基层的裂缝问题源于材料特性、施工质量与环境条件的共同作用。通过梳理裂缝形成规律并结合工程实践经验，可在材料设计、施工工艺与早期养护环节构建系统化防控体系，实现收缩应力的有效调控。综合措施的持续应用能够显著提升基层结构稳定性，减少病害发生，为道路工程的耐久性与安全性提供有力保障。

参考文献：

- [1] 成鑫,马士良,戴煜坤,等.城市道路水泥稳定碎石基层纵向裂缝成因及案例分析[J].安徽建筑,2024,31(08):159-160.
- [2] 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.
- [3] 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.