

农村公路水泥混凝土路面早期开裂机理与防治技术研究

黄茜

合浦县公路发展服务中心，广西 合浦 536100

DOI:10.61369/ETQM.2026020026

摘 要： 针对农村公路水泥混凝土路面早期开裂普遍且危害严重的问题，本文系统研究了其开裂机理与综合防治技术。深入分析干缩裂缝、温缩裂缝、塑性收缩裂缝、沉降裂缝及构造缝开裂等主要类型及其形态特征，并揭示农村公路早期开裂呈现的普遍性、区域性等典型特征及其对路面结构、行车安全和后期养护造成的严重危害。在此基础上，从材料、结构设计、施工工艺、环境与交通四个维度，系统剖析了早期开裂的内在机理，指出材料选用不当、结构设计不合理、施工过程控制不严以及复杂环境与交通荷载的耦合作用是导致开裂的核心原因，构建了一套“预防为主，处治为辅”的综合防治技术体系。研究成果旨在为提升农村公路水泥混凝土路面建设质量、延长使用寿命、降低全寿命周期成本提供系统的理论依据与技术支撑。

关 键 词： 农村公路；水泥混凝土路面；早期开裂；开裂机理

Research on the Early Cracking Mechanism and Prevention Techniques of Cement Concrete Pavement in Rural Roads

Huang Qian

Hepu County Road Development Service Center, Hepu, Guangxi 536100

Abstract： Addressing the prevalent and severely detrimental issue of early cracking in cement concrete pavements of rural roads, this paper systematically investigates the cracking mechanisms and comprehensive prevention and treatment techniques. It delves into an in-depth analysis of the primary types of cracks, including drying shrinkage cracks, temperature shrinkage cracks, plastic shrinkage cracks, settlement cracks, and structural joint cracking, along with their morphological characteristics. Furthermore, it unveils the typical features of early cracking in rural roads, such as its ubiquity and regionality, as well as the severe harm it poses to pavement structure, driving safety, and subsequent maintenance. Building upon this foundation, the paper systematically dissects the intrinsic mechanisms of early cracking from four dimensions: materials, structural design, construction techniques, and environmental and traffic factors. It identifies improper material selection, unreasonable structural design, lax construction process control, and the coupled effects of complex environments and traffic loads as the core causes of cracking. A comprehensive prevention and treatment technical system, prioritizing prevention and supplemented by treatment, is thereby constructed. The research findings aim to provide a systematic theoretical basis and technical support for enhancing the construction quality of cement concrete pavements on rural roads, extending their service life, and reducing life-cycle costs.

Keywords： rural roads; cement concrete pavement; early cracking; cracking mechanism

引言

水泥混凝土路面因其强度高、刚度大、耐久性好及成本相对低廉等优点，在农村公路建设中得到了广泛应用。然而在实际工程中，由于农村公路普遍存在资金投入有限、技术水平不高、施工设备简陋以及质量控制体系不完善等问题，导致水泥混凝土路面在建成通车后不久（通常数周至数月内）便出现各种形式的早期开裂病害。这些早期裂缝不仅破坏了路面的结构完整性和承载能力，为雨水下渗提供了通道，加速了路面结构的损坏，缩短了使用寿命，而且严重影响行车的舒适性与安全性，并大幅增加了后期的养护维修成本，已成为制约农村公路健康发展的关键技术难题。因此，本文旨在系统分析农村公路水泥混凝土路面早期开裂的类型与特征，深入探究其由材料、设计、施工、环境及交通等多因素耦合作用下的形成机理，并在此基础上构建一套涵盖材料优化、结构设计、施工过程控制及裂缝修复处治的综合防治技术体系，以期为提升我国农村公路的建设质量、延长路面使用寿命、降低全寿命周期成本提供科学的理论依据与实用的技术支撑。

一、农村公路水泥混凝土路面早期开裂类型与特征分析

（一）早期开裂的主要类型及形态特征

在农村公路中，水泥混凝土路面出现的常见病害主要是由于行车和自然因素导致的，接缝破坏类和土板损坏类病害居多^[1]。农村公路水泥混凝土路面的早期开裂形态各异，主要成因不同。最常见的干缩裂缝是因表面水分蒸发过快所致，呈不规则网状，裂缝细而浅；温缩裂缝则由内外温差过大引起，多为横向，裂缝较宽且可能贯穿；塑性收缩裂缝产生于混凝土塑性状态，因表面水分快速蒸发形成平行的短链状或网状，裂缝极细极浅；沉降裂缝源于基层不均匀沉降，形态多为纵向或不规则，宽度变化大且深度深；此外，施工缝、缩缝等构造缝若设置不当，也会沿缝产生较宽裂缝，甚至导致路面破损。这些裂缝的出现时间从几天到数周不等，均与施工环境、材料特性及施工管理水平密切相关。

（二）农村公路早期开裂的典型特征与危害

农村公路水泥混凝土路面早期开裂因资金、技术、设备及环境等因素，呈现出普遍性、区域性、隐蔽性和关联性的典型特征^[2]。这种开裂会严重破坏路面结构完整性，降低承载能力，并为水害提供通道加速内部损坏，从而缩短路面使用寿命。同时裂缝发展会导致路面不平整，影响行车舒适性与安全，若不及时处治，还将大幅增加后期的养护维修成本。

二、农村公路水泥混凝土路面早期开裂机理研究

（一）材料因素对早期开裂的影响机理

农村公路水泥混凝土路面的早期开裂，主要源于材料选择与配合比设计不当。水泥方面，使用水化热高的普通硅酸盐水泥或为追求早期强度而过多掺加，都会导致混凝土内部温度应力与干缩率增大^[3]。骨料方面，级配不良、粒径过小或含泥量超标，会增加水泥浆用量、降低粘结强度，从而加剧干缩变形。外加剂与掺合料若使用不当，如减水剂过量或掺合料比例过高，则会降低混凝土早期强度或形成表面薄弱层，使其无法抵抗体积变化应力^[4]。此外，施工中随意增加拌和用水量或使用不洁水源，会增大水胶比、降低强度，进一步加剧开裂风险。这些在农村公路建设中普遍存在的材料与配比问题，共同构成了路面早期开裂的根本原因。

（二）结构设计因素对早期开裂的影响机理

农村公路水泥混凝土路面的早期开裂，其核心在于结构设计的系统性不合理^[5]。具体而言，面板厚度设计若过薄则无法承受荷载与环境应力，过厚又会因水化热增加温度应力；基层作为关键支撑，其材料强度不足、厚度不够或不稳定，易导致面板沉降变形；接缝作为薄弱环节，其间距、深度、位置及填缝处理不当，无法有效释放应力或阻止雨水侵害；而路肩的强度与衔接问题则会削弱对路面边缘的约束，引发边缘开裂^[6]。这些设计缺陷在农村公路中因普遍存在盲目套用图纸和施工不规范等问题而尤为突出，共同导致了路面抗裂性能的严重不足。

（三）施工工艺因素对早期开裂的影响机理

农村公路水泥混凝土路面早期开裂，主要源于施工工艺各环节的不规范操作。从混凝土拌和开始，时间过短导致混合不均、强度降低，时间过长则影响和易性，而农村施工中常为赶工而拌和不足。运输与摊铺环节，车辆颠簸易造成离析，摊铺不均或未应对恶劣天气则导致内部密实不一、表面水分过快蒸发，形成薄弱层^[7]。振捣工艺同样关键，振捣不足会残留孔隙，过度振捣则引发离析，均严重削弱路面抗裂性能。此外，表面处理与养护不当是重要诱因，抹面失误增大干缩风险，而养护不及时、时间不足或方式不当，直接导致水分过快蒸发产生干缩应力，这一问题在农村施工中尤为突出^[8]。接缝施工质量差，如缩缝切割不当、施工缝处理不牢、填缝不密实等，会造成应力集中或雨水渗入，直接引发或加剧开裂。这些环节的疏忽共同破坏了混凝土的均匀性、密实度和强度，使其无法抵抗内外应力，导致路面过早出现裂缝。

（四）环境与交通因素对早期开裂的影响机理

农村公路水泥混凝土路面的早期开裂，是复杂环境因素与随机交通荷载共同作用的结果^[9]。环境方面，温度变化导致混凝土内外温差形成温缩裂缝，湿度变化引发表面失水产生干缩裂缝，而风力和日照则会加速水分蒸发和温差，加剧开裂风险，寒冷地区的早期冻融更会直接破坏其结构^[10]。交通方面，施工期间强度不足时过早通车，以及通车初期农用车辆的超载与振动，都会直接破坏路面或加剧裂缝发展。加之农村交通荷载的随机性导致路面受力不均，在交叉口、弯道等薄弱区域，这些因素的综合作用极易使混凝土内部应力超过其抗拉强度，从而产生早期裂缝。

三、农村公路水泥混凝土路面早期开裂防治技术体系研究

（一）基于材料优化的预防技术

为预防混凝土早期开裂，可通过优化原材料与配合比提升其抗裂性能。具体措施包括优先选用矿渣、火山灰等低水化热水泥，并将水泥用量控制在300kg/m³以内，同时以20%–40%的粉煤灰、矿渣粉等掺合料替代部分水泥，以降低水化热总量；选用级配良好、低含泥量的骨料（粗骨料5–31.5mm，含泥量<1.0%；中砂含泥量<3.0%），通过优化级配减少空隙，从而降低水泥浆用量和干缩变形；科学掺加0.8%–1.2%的缓凝型高效减水剂，以降低水胶比、延长凝结时间，并配合掺合料改善工作性与耐久性；使用洁净水源，根据骨料含水率精确调整拌和用水量，确保水胶比稳定在0.45–0.55之间，防止因用水不当影响抗裂效果。

（二）基于结构设计的预防技术

为提升路面抗裂性能、预防早期开裂，可通过优化结构设计实现。结合农村交通荷载与环境条件，通过理论计算将混凝土面板厚度合理控制在18–22cm，重载路段可适当加厚，以有效分散荷载并抵抗温缩应力。基层应选用水泥稳定碎石等高强度材料，厚度控制在15–20cm，压实度不低于96%，并设置透层油增强

粘结, 确保其稳定支撑, 防止面板沉降开裂。同时需完善接缝设计, 通过合理设置缩缝(间距4~6m, 干燥地区可缩短至3~4m, 深度不小于板厚1/3)、施工缝传力杆以及选用弹性好、耐老化的填缝料, 有效释放收缩应力并防止雨水渗入。此外, 还应优化路肩设计, 采用高强度材料(压实度 $\geq 95\%$), 宽度保持0.5~1.0m, 加强其与面板的衔接和排水, 必要时设置胀缝, 为路面边缘提供稳固支撑, 预防边缘开裂。

(三) 基于施工过程控制的预防技术

为有效预防混凝土早期开裂, 必须加强全过程施工控制。规范拌和工艺, 严格检验原材料, 精确计量, 确保强制式搅拌不少于90秒, 并实时监测坍落度。运输与摊铺环节, 应使用密闭罐车慢速转运防离析, 均匀摊铺并控制虚铺系数, 恶劣天气须停工防护。振捣时需配合使用插入式与平板振捣器, 确保振捣密实且不产生薄弱层。振捣后应在初凝前完成抹面拉毛, 并在终凝前立即进行不少于14天的保湿养护, 高温大风天气更要做好防蒸发措施。同时要规范接缝施工, 在适宜时机切割缩缝, 并处理好施工缝与填缝。必须严格控制早期荷载, 在混凝土达到规定强度前禁止车辆通行, 确需通行时必须采取有效防护措施分散荷载。

(四) 早期裂缝的修复与处治技术

针对农村公路水泥混凝土路面的早期裂缝, 应根据其宽度、深度和破损程度选择不同技术进行修复。对于宽度小于0.5毫米的浅表裂缝, 可采用表面封闭法, 直接涂抹环氧树脂等材料, 简

单经济。当裂缝宽度在0.5至2.0毫米之间且较深时, 应使用压力灌浆法, 通过开槽、埋嘴、加压注入浆液来填充裂缝内部, 恢复结构整体性。对于宽度大于2.0毫米的宽大裂缝, 则采用切割扩缝法, 切出矩形槽后铺设增强材料并填充专用填缝料, 以保证修复后的承载力和耐久性。若裂缝处伴有掉角、破损等局部损坏, 则需用局部修补法, 将破损区域规则切除后重新浇筑高标号混凝土, 并经充分养护以全面恢复路面性能。

四、结束语

农村公路水泥混凝土路面的早期开裂是一个由材料、设计、施工、环境及交通等多重因素交织作用而形成的复杂工程问题。本文通过对开裂类型与特征的系统梳理, 深入剖析了其内在形成机理, 并在此基础上构建了一套从源头预防到后期处治的综合防治技术体系。有效防治早期开裂, 必须摒弃“重建设、轻管理”的传统观念, 树立全生命周期成本的理念, 将质量控制贯穿于路面工程的每一个环节。在具体实践中, 应优先从材料选择与配合比优化入手, 从根本上提升混凝土自身的抗裂性能; 同时结合农村实际交通与环境条件, 进行科学合理的结构设计, 确保路面结构的整体稳定性; 更为关键的是, 必须严格执行施工规范, 加强对拌和、运输、摊铺、振捣及养护等关键工序的过程控制, 这是确保设计意图得以实现、预防早期开裂的核心保障。

参考文献

- [1] 乔志伟. 农村公路水泥混凝土路面病害治理措施分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015(7): 499-500. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2015.07.1941.
- [2] 陈积光, 祝新念, 郭祥芳. 改建的农村公路水泥混凝土路面开裂损坏与对策研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2010, (2): 27-30.
- [3] 刘海峰. 农村公路水泥混凝土路面施工质量控制措施[J]. 交通世界(建养·机械), 2015(10): 100-101, 105.
- [4] 贾天工. 有关农村公路水泥混凝土路面质量控制的探讨[J]. 北方交通, 2014(6): 79-80, 83. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6052.2014.06.023.
- [5] 朱建平. 对农村公路水泥混凝土路面裂缝成因的探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2011(19).
- [6] 周霞瑜. 浅谈农村公路水泥混凝土路面板损坏的原因与对策[J]. 科技资讯, 2008(18): 204. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3791.2008.18.171.
- [7] 王翔, 简晓瑞. 农村公路水泥混凝土路面病害原因与防治措施[J]. 科技风, 2009(17): 162. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7341.2009.17.142.
- [8] 谭洲全. 农村公路水泥混凝土路面裂缝的预防[J]. 中国科技投资, 2018(10): 72-73. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5811.2018.10.060.
- [9] 王海君. 影响农村公路水泥混凝土路面质量因素的分析[J]. 人民交通, 2018(18): 77. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6440.2018.18.045.
- [10] 全永松. 浅谈农村水泥路混凝土路面裂缝的治理方法[J]. 商品与质量(学术观察), 2013(4): 200.