

市政道路沥青路面裂缝成因及应对措施综述

廖勇 李鑫

四川省场道工程有限公司

摘要：随着沥青路面在市政工程等基础设施建设中的广泛应用，沥青路面一方面有着平顺耐磨、振动小、防水性能强等优点，另一方面则承受着裂缝问题的通病，其耐用性和安全性成为关注焦点。本文通过分析沥青路面裂缝的成因，重点探讨了反射裂缝的预防和治理措施。研究发现，结构层裂缝的传递、交通荷载、温度变化、雨水侵蚀以及施工质量是导致沥青路面裂缝的主要原因。针对这些成因，本文提出了多项应对措施，包括优化路面结构设计、加强道路交通管理、改善温度适应能力、提高施工质量、及时维护养护等。实践表明，通过综合应用这些策略，可以有效延长沥青路面的使用寿命，提高道路的安全性和舒适性，同时降低维护成本。

关键词：沥青路面；混合料；裂缝成因；反射裂缝；应对措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.052

引言

近年来，国内基础设施快速发展使得沥青路面因其平顺耐磨、振动小、防水性能好等优势被广泛使用。但沥青路面也常面临低温裂缝等问题，这些裂缝在低温应力和交通荷载作用下逐渐扩展，形成宏观裂缝，进而引发水分渗透及路面病害如唧浆、坑槽，严重影响路面的结构和使用寿命。因此，分析裂缝成因并采取相应措施，对延长沥青路面寿命、提高道路安全性和经济效益至关重要。本文将深入探讨沥青路面裂缝的成因，重点从沥青材料、混合料级配、路面结构及施工质量四方面介绍评价指标和抗裂策略，旨在为路面设计、施工和维护提供参考。

一、裂缝类型及成因分析

沥青路面的裂缝可以根据不同的标准进行分类。从荷载的角度来看，裂缝分为荷载型和非荷载型。

荷载型裂缝通常是由车辆的重复荷载引起的，这种重复的荷载会逐渐降低路面的强度和承载能力，最终导致疲劳裂缝的产生。不合理的路面结构设计、材料配比或超载现象都可能导致荷载型裂缝的出现。这类裂缝一般从基层底面开始，并逐渐向上延伸至表面。

非荷载型裂缝，通常被称为温度裂缝，主要是由于温度变化导致的沥青面层开裂。这类裂缝多以横向裂缝的形式出现。

（一）温度裂缝

温度裂缝主要沿道路行驶方向或中心线垂直发展，称为横向裂缝。这些裂缝从路面顶层开始，逐渐向下扩展到底层和基层，通常上部宽于下部。低温是造成这种裂缝的主要原因，因为在低温环境中，沥青的应力松弛能力减弱，导致材料变脆和收缩。当沥青的拉应力超过其抗拉强度时，就会产生裂缝。这种裂缝的数量和间距与材料的抗裂性和当地气候条件有关，通常在气温较高且昼夜温差小的区域，裂缝较少，出现较晚。

（二）沉降裂缝

沉降裂缝主要沿道路延伸方向发展，称为纵向裂缝。这种裂缝主要出现在车道区域，但不会延伸到路面边缘。纵向裂缝的产生通常是由路基压实不均匀造成的，不合理的材料含水量、机械压实不均或力度不足都可能导致路面承载能力不同，从而在长期荷载作用下引起不均匀沉降。此外，雨水侵蚀等外界条件也会削弱路基强度，进一步导致纵向裂缝。

（三）疲劳裂缝

疲劳裂缝，也称为网状裂缝或鳄鱼裂缝，通常呈现连续的、相互交错的裂缝网络，类似鳄鱼皮肤。这种裂缝主要是由交通荷载反复作用于路面造成的，尤其是在路基或基层承载力不足的情况下。施工过程中的结构设计、混合料搅拌、摊铺、压实和级配等步骤的不合理也会影响路面强度，导致沥青与石料黏结不牢固，最终形成裂缝。

（四）反射裂缝

反射裂缝是沥青路面中常见的裂缝类型，主要出现在新铺设的沥青层之下存在旧的水泥混凝土或沥青路面时。由于旧路面的裂缝和接缝在温度变化或交通荷载的作用下移动，使沥青面层下表面产生应力集中，随着反复的荷载作用，裂缝由下而上形成。反射裂缝通常呈直线状，与旧路面裂缝或接缝方向一致，会导致水分渗透，引起进一步损坏，显著影响路面性能并缩短使用寿命。因此，防治沥青路面的反射裂缝尤为重要。

二、裂缝防治应对措施

沥青的低温性能对其混合料的抗裂性、耐久性和抗车辙性能起着关键作用。优化沥青的低温性能，如降低玻璃态转变温度（ T_g ）、提高低温延度和改善小梁弯曲试验（BBR）结果，可以显著增强沥青路面的抗裂性。

玻璃态转变温度： T_g 是指沥青从脆性状态转为高弹状态的温度点。沥青的 T_g 是评估其低温抗裂能力的重要

指标。在低于 T_g 的温度下，沥青表现出脆性；超过 T_g 后，沥青则显示高黏性和弹性。改性沥青中，较低的 T_g 有助于在低温下保持高弹性，降低裂缝风险，因此 T_g 是判断沥青低温性能的一个重要参考。

低温延度：这一指标通过测量沥青在特定条件下拉伸至断裂点的距离来评估其延展性。沥青的高延度意味着良好的延展性和抗裂性，是其低温性能反映。

小梁弯曲试验（BBR）：BBR通过测量沥青的劲度模量（S）和蠕变速率（m）来评估其低温性能。劲度模量反映沥青在特定条件下承受应力的能力，与温度升高时的应力松弛性能有关，关系到温缩裂缝的形成。蠕变速率则反映沥青的变形能力，较大的蠕变速率表明沥青具有更好的应力松弛性能和抗裂性。

研究显示，高粘改性沥青在这些测试中表现优于普通沥青，其劲度模量低，蠕变速率高，说明加入高粘剂显著增强了沥青的抗裂性能。使用高粘改性沥青，可以有效控制和预防路面裂缝的产生。这些低温性能的提升措施对延长沥青路面的使用寿命和维持其性能具有决定性影响。

（一）优化混合料配合比设计

1. 沥青混合料的低温抗裂性能评价方法

沥青混合料的低温抗裂性能评价包括拉伸试验（直接拉伸和间接拉伸）、冻断试验、收缩试验及蠕变试验等。这些试验方法各有其特定的评价参数和适用范围。直接拉伸试验通过测量试样的拉伸强度来评估低温性能，但因相关性较弱，其适用性较低。间接拉伸试验则通过测量劈裂强度和劲度模量来评估沥青的疲劳裂性能，是国际上常用的方法。冻断试验通过模拟实际情况测定混合料的低温性能，其中冻断温度和转折点为重要评价指标。蠕变实验则通过测定恒定荷载下的蠕变变形来评估混合料的低温变形能力，该方法操作简便且准确。

2. 沥青混合料的设计

沥青混合料的设计对其低温抗裂性能至关重要。合理选择添加剂种类和掺量，以及精确调整油石比、粉胶比和级配，可以显著提升混合料的低温韧性和延长路面使用寿命。研究显示，加入纤维能增强混合料的低温抗裂性，纤维类型和掺量对性能有不同影响。沥青膜的质量和厚度也是关键，适当增加沥青用量可以改善其与集料的黏结，从而改善抗裂性能，但需考虑成本和高温表现。级配的适当选择对混合料性能也尤为关键，不同级配影响混合料的结构和性能，例如AC-5级配因结构紧密、孔隙少而抗裂效果差，而AC-13级配因粒径差异大易离析，其效果同样不佳。此外，混合料的集料应具有良好的耐磨性、粗糙表面，并避免酸性，以便更好地与沥青相互作用和黏附，提高混合料的质量，防止剥落和

开裂等现象的发生。

（二）优化路面层间结构设计

1. 抗裂性能评估

沥青路面的耐久性和抗疲劳能力受结构层间黏结性能的显著影响。良好的层间黏结能有效传递应力，预防滑移、脱粘及裂缝，从而延长路面寿命。评估沥青路面层间黏结强度主要通过拉拔强度、剪切强度和冲击韧性试验。研究显示，使用橡胶沥青作为应力吸收层可以提高黏结强度和剪切强度，从而增强抗反射裂缝和疲劳的能力。冲击韧性试验评估材料在动态冲击下的抗裂能力，高冲击韧性表明较强的耐裂性。

2. 路面结构层的优化设计

反射裂缝是常见路面问题，将半刚性基层转为柔性基层能有效防止裂缝形成。基层类型影响抗裂性能，研究比较不同基层下的路面病害，显示复合基层、柔性基层和半刚性基层按抗裂性能优劣排列。大粒径的水稳碎石基层由于其稳定的支撑结构和空隙填充特性，同样显示出良好的抗裂效果。

沥青面层厚度也关系到反射裂缝的发展，适当增加厚度可以减少基层裂缝扩展，降低车辆荷载引起的剪应力。然而，过厚的沥青层可能不再有效减少应力或抑制裂缝。故面层厚度需合理设计。

设置橡胶沥青应力吸收层是防治裂缝的有效措施，此类层使用橡胶沥青和碎石传力，不仅具有防水黏结作用，还能消散应力，有效抵抗裂缝产生和扩散。研究表明橡胶粉改性沥青和纤维橡胶沥青应力吸收层性能优异，能延缓裂缝扩散。在旧道面板加铺沥青时，使用抗裂贴进行应力消散传递也能有效减轻板缝处的应力集中，从而减少裂缝发生。

（三）严控路面结构施工质量

1. 建立有效的质量评估体系

针对沥青路面施工中可能出现的质量问题，可建立一个基于实时状态管理的质量评估体系，该系统以沥青路面施工质量的监控和追踪为基础，通过逐步、分层将施工数据传输回中心数据分析库进行综合对比和分析。这样，可以汇总路面施工质量和施工时间节点的情况，预测下一阶段施工的风险趋势，为沥青路面施工质量的有效管理提供决策支持。

2. 施工质量控制

（1）原材料质量检测与控制

沥青混合料由沥青、集料、稳定剂和矿粉按比例混合。其性能如结构稳定性、耐久性、抗疲劳等与原材料质量密切相关。施工前需检测所有原材料质量。沥青应符合相关设计及规范标准。粗集料应选择立方体、表面粗糙、无杂质的碎石，减少针片状集料。细集料应选用坚硬、无杂质的人工砂。矿粉应干燥、洁净，可用石灰

岩矿粉，可加入消石灰或水泥提高黏结力。纤维稳定剂应选用木质或矿物纤维，提高耐久性和稳定性。

(2) 配合比优化

配合比设计旨在优化沥青混合料原材料配比，提高其性能。前期试验阶段的目标配合比设计常用马歇尔设计法，测定原材料密度，设计初步等级配比，确定最佳油石比。生产配合比设计在前期试验基础上，确定各热料仓矿料用量，调整材料配比，避免料仓等料或过剩，应用最佳油石比指导生产加工。

(3) 混合料拌和

混合料拌和是将原材料按配合比混合。需根据沥青密度计算沥青质量，按比例添加抗剥落剂如消石灰或水泥，强制搅拌箱充分搅拌沥青和抗剥落剂。添加粗细集料后，控制温度在195℃以下。拌和顺序为先干拌矿料和矿粉，加入纤维稳定剂后加入沥青再湿拌，总搅拌时间控制在70秒内。搅拌人员需控制温度，避免黏度过高影响质量。

(4) 混和料运输

混合料运输需注意保温，可用双层棉被和篷布覆盖运输车辆，防止热量损失。运输车辆应清洁，使用色拉油作隔离剂，防止沥青黏附。

(5) 摊铺与碾压

使用履带式摊铺机摊铺时，应保持摊铺机速度均匀，注意运料与摊铺衔接。初压采用振动碾压，终压静压消除振动痕迹，控制混合料温度和碾压段长度，合理控制振动幅度。

三、结语

路面开裂是沥青路面常见的破坏形式。本文综述了沥青路面裂缝的类型和成因，并提出了以下防治建议：

1. 沥青改性：通过评估沥青的低温抗裂性能，如玻璃态转变温度、低温延度、劲度模量和蠕变速率，使用高粘改性沥青能显著提高这些性能。

2. 混合料设计：沥青混合料的抗裂评估方法包括拉伸、弯曲、冻断、收缩、蠕变和应力松弛试验。添加纤维等外加剂、提高油石比、选择粗糙坚硬的集料和控制集料级配是减少裂缝产生的有效措施。

3. 路面结构优化：通过拉拔强度、剪切强度和冲击韧性试验评估层间抗裂性能。使用柔性或复合基层、大粒径水稳碎石基层、设置应力吸收层等方法可以有效防止反射裂缝；面层厚度应合理适中。

4. 施工质量控制：建立全面的施工质量评估体系，实时监控早期施工状态，严格检测原材料，优化材料配比，控制混合料拌和和运输，确保摊铺和碾压质量。全过程质量管理是提高施工质量和减少裂缝发生的关键。

通过综合这些措施，可以有效延长沥青路面的使用寿命并提高其性能。

参考文献

[1]交通部公路科学研究所，公路沥青路面施工技术规范：JTGF40-2004.北京：人民交通出版社，2004.

[2]刘继欢. 沥青混凝土罩面层反射裂缝产生机理与防治措施[J]. 广东建材，2013，29（07）：54-56.

[3]Huang, Z. Ling, X. Wang, D. Li, P. Li, H. Wang, X. Wang, Z. Wei, R. Zhu, W. Falchetto, A. C. Research on High-and Low-Temperature Rheological Properties of High-Viscosity Modified Asphalt Binder. Buildings 2023, 13, 1077.

[4]周锋. 不同老化条件下高粘沥青流变性能研究[D]. 重庆交通大学，2023.

[5]谈海斌. 基于半圆弯曲和间接拉伸试验的沥青混合料断裂性能研究[J]. 交通科技与管理，2023，4（16）：90-92.

[6]王黎明，隽海文. 基于冻断试验的半柔性路面材料低温抗裂性影响因素研究[J]. 公路交通科技，2020，37（07）：39-44.

[7]李超，潘科，王岚. 基于逐级加载的弯曲蠕变试验分析沥青混合料低温开裂性能[J]. 中南大学学报（自然科学版），2021，52（07）：2450-2458.

[8]甄浩明. 纤维材料对骨架密实沥青混合料路用性能的影响[J]. 交通世界，2023，（22）：40-42.

[9]刘红霞. 沥青膜厚度对混合料性能的影响[J]. 北方交通，2017，（07）：127-129+133.

[10]董子震，张金喜，孙国强，等. 骨料级配对相变沥青混合料性能的影响[J]. 科学技术与工程，2024，24（01）：352-359.

[11]黄松，陈海涛. 橡胶沥青应力吸收层抗裂性能影响因素研究[J]. 西部交通科技，2023，（06）：40-44.

[12]王军，苏梁. 水泥路面沥青加铺层反射裂缝防治技术[J]. 交通标准化，2009，（17）：120-124.

[13]张阳，胡茂龙，鲁金铭. 应力吸收层的性能对比研究[J]. 交通世界，2018，（11）：52-55.

[14]顾璇. “白改黑”复合路面反射裂缝防治研究[J]. 西部交通科技，2018，（09）：50-55.

[15]黄福超. 沥青路面早期施工质量评估体系研究[J]. 西部交通科技，2018，（08）：60-62.

作者简介：

廖勇（1975年6月-），男，汉，四川成都，大学本科，高级工程师，机场工程、市政工程的施工技术与管理。

李鑫（1990.9-），男，汉，四川崇州人，工程师，本科，研究方向：民航工程专业工程、市政道路项目管理方面。