

# 旧水泥混凝土路面加铺沥青层反射裂缝防治措施探讨

张伟

招商局重庆公路工程检测中心有限公司 重庆 400067

**【摘要】**：旧水泥混凝土路面在加铺沥青层后常因原有裂缝和板块接缝的活动而导致反射裂缝产生，使加铺结构的耐久性显著下降。反射裂缝的形成涉及温缩作用、荷载反复应力以及旧路结构位移传递等多重因素。围绕这一问题，通过分析裂缝扩展机理与力学响应特征，探讨材料层间断、应力吸收层设置、界面处理优化以及结构组合调整等措施的有效性。在此基础上，结合典型加铺模式的工程表现，评价不同防治策略对抑制裂缝反射路径和降低应力集中的作用。研究表明，多措施协同应用能显著延缓裂缝反射进程，并提升加铺路面的整体使用性能。相关方法为旧水泥混凝土路面的再利用与功能恢复提供了技术路径，对道路养护决策具有实用参考价值。

**【关键词】**：反射裂缝；旧水泥混凝土路面；沥青加铺；应力吸收层；界面处理

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.043

## 引言

旧水泥混凝土路面在长期服役后常出现裂缝、错台与板块松动等病害，当以沥青加铺方式进行结构恢复时，潜在裂缝活动往往会沿加铺层再现，形成反射裂缝，直接影响行车舒适性与结构延寿效果。反射裂缝的存在使加铺层难以充分发挥抵抗疲劳与分散应力的能力，也使维护成本随之上升。随着交通荷载增长和道路服役标准提升，加铺路面的抗裂设计受到更高关注。围绕裂缝产生机制、应力传递路径及材料组合差异展开研究，有助于明确抑制裂缝反射的关键环节，并为构建更具韧性的加铺系统提供技术依据。

## 1 反射裂缝产生的条件与影响因素识别

旧水泥混凝土路面在长年荷载与环境作用下，内部结构不断经历温度梯度、湿度变化与疲劳累积，其裂缝形态由微裂隙逐渐演变为贯通性结构弱点。当加铺沥青层覆盖在已损伤的混凝土板面之上时，原有裂缝及接缝区域的活动便成为影响沥青层完整性的源头。温缩变形产生的板块开合运动、基层沉降导致的差异位移、板角翘曲引起的挠曲变形，会在加铺后仍保持持续性<sup>[1]</sup>。这类位移在界面间产生应力集中，使沥青层承受周期性拉应力与剪应力，从而触发反射裂缝的形成。道路服役环境中的昼夜温差变化、混凝土板块间刚度差异以及局部材料老化进一步强化了这种应力传递，使反射裂缝具有不可忽视的延展趋势。

在荷载作用方面，重载车辆产生的动荷载使混凝土板面产生反复弯拉效应，尤其在板角与接缝附近更容易出现高幅值应力。当沥青层加铺后，车辆荷载并未完全由沥青表层吸收，而是继续向下传递并与混凝土板结构产生耦合作用。混凝土板块的不均匀沉降、脱空区域的反复拍击、接缝处的剪切滑移，会通过界面共振效应使沥青层承受附加疲劳应力。若沥青混合料的高温稳定性不足，抗疲劳性能较弱，材料内部的微裂纹会在重复荷载下迅速扩展，与旧板裂缝的上反路径形成叠加效应，

使反射裂缝的出现更加迅速。同时，界面结合力不足也会加速裂缝的上反过程，当粘结力下降时，位移传递更加直接，使沥青层难以形成有效的应力扩散结构。

水与气体侵入同样是加剧反射裂缝的重要因素。旧混凝土裂缝为水分向结构内部迁移提供了路径，加铺后的沥青层内部温度变化会产生膨胀压力，使水汽在界面间形成周期性冲击。当水分进入脱空区域，又在荷载作用下形成动水压力，促使混凝土板块产生更大的上下跳动量。这些因素增加了构造层间的剪切滑移，使沥青层承受复杂耦合应力。气温骤降时，混凝土与沥青的温缩系数差异明显，界面变形不协调进一步加大裂缝向上发展的驱动力。在多重环境与荷载共同作用下，加铺体系中的位移传递、温缩响应与疲劳累积相互叠加，使反射裂缝成为旧水泥混凝土路面加铺沥青层后的突出结构性问题。

## 2 加铺体系中裂缝传递路径与力学响应分析

旧水泥混凝土路面加铺沥青层后，裂缝并不会因覆盖而停止运动，旧板内部的变形依然通过界面与结构层向上传递，并在沥青层中形成特定的应力轨迹。混凝土板块在温度梯度影响下产生翘曲变形，板边与板角的竖向位移差使界面局部出现拉剪复合应力区。当这种位移持续施加于沥青层下部时，材料内部的拉伸主应力逐渐集中，并沿着与原裂缝对应的薄弱带形成初始破坏带<sup>[2]</sup>。沥青混合料在面层中的黏弹性特征决定了其随温度变化的变形能力，但在频繁荷载与重复温缩作用下，黏弹性滞后现象加剧，使裂缝传递路径更容易被“固定”，从而呈现出与旧板裂缝相一致的线性延展趋势。

车辆荷载作用时，加铺体系内部的力学响应呈现显著的耦合特征。混凝土板面在重载下产生弯拉应力，板角区域的应力幅值更高，当沥青层附着在此结构上时，表层将承受随板块变形而产生的附加弯曲。界面黏结强度不足或局部脱空时，沥青层下部出现应力突变区，使剪切应力沿界面呈跳跃式增长。随着荷载循环次数提升，沥青材料中的微裂纹在主拉应力方向逐

步贯通,形成与混凝土裂缝对应的反射路径。加铺厚度不同也会改变裂缝上反速率,薄层加铺中,裂缝传递更直接,力流路径集中;厚层加铺虽具有一定缓冲能力,但在疲劳损伤积累后仍会沿主应力方向表现出明显的上反趋势。

气候环境对裂缝传递路径的力学响应影响同样显著。混凝土与沥青的线膨胀系数差异较大,在昼夜温差、季节交替条件下,两者变形并不同步,使界面出现周期性不协调位移。当温度急剧下降时,沥青层发生收缩,而混凝土板块因体积变化滞后而保持更高的刚性状态,界面因拉应力积累而产生细小开裂;当温度升高时,沥青层软化,旧裂缝的位移更易穿透其内部形成连续应力带。水分作用进一步强化了这种力学过程,水汽在界面膨胀产生气压驱动,使局部拉应力幅值升高,从而改变裂缝传递的路径形态。多种因素共同构成加铺体系中的复杂力学环境,使裂缝在结构内沿着应力最集中的方向上反发展,逐渐在沥青表层展现出可见的反射裂缝形态。

### 3 抑制裂缝扩展的材料与结构优化策略

抑制反射裂缝的过程依赖材料性能与结构体系的协同作用。旧混凝土路面在加铺前,通过对裂缝部位实施开槽填补、树脂灌缝或增强型密封处理,可降低旧裂缝的活动幅度,并削弱位移向加铺层传递的强度。在界面处设置具有一定柔性且耗能能力的应力吸收层,可改变应力集中分布,使位移在层间得到衰减<sup>[3]</sup>。此类材料通常具备较高黏弹性和较强延展性,在温缩作用与荷载循环下能够提供缓冲,使沥青层下部的主应力不再沿旧裂缝方向快速聚集。采用聚合物改性沥青、橡胶沥青等材质作为加铺材料,可提升抗裂、抗疲劳和抗剪性能,使面层在复杂应力条件下具备更强的变形适应能力。

结构层次的调整在抑制裂缝扩展中具有显著影响。加铺厚度的合理配置可改变力流分布,使反射裂缝的穿透路径被延长。较厚的沥青加铺层能在车辆荷载传递过程中形成力的扩散区,降低裂缝上反速度,同时使混凝土板块的局部位移难以直接作用于表层。采用多层复合结构,如在加铺体系中叠加抗裂功能层,可使应力在不同层次间发生分散,形成分级阻断效果。此外,界面处理质量对裂缝控制影响突出,通过优化乳化沥青洒布量、提高界面黏结可靠性,可避免因局部脱空导致的应力突变,使裂缝传递路径被迫改变,从而获得更高的抗裂稳定性。

在材料与结构策略基础上,施工过程中的细节控制也影响裂缝扩展趋势。温度控制、压实质量、层间湿度保持等因素决定加铺体系的整体工作状态。当施工温度过低时,改性沥青材料的黏弹性无法充分发挥,使结构内部形成潜在的应力弱带;压实度不足则使沥青层内部空隙率偏高,在荷载与水分作用下更易产生疲劳微裂纹,与旧裂缝形成耦合通道。为了减少这种结构性隐患,通过提高摊铺温度、控制碾压速度、调整压实遍数等方式,可使材料形成致密的骨架结构,使反射裂缝即使存

在上反趋势,也因整体性增强而受到延滞。通过材料性能提升、结构层次优化与施工工艺完善的共同作用,反射裂缝的扩展速度可被有效抑制,加铺路面的抗裂能力得以稳定提升。

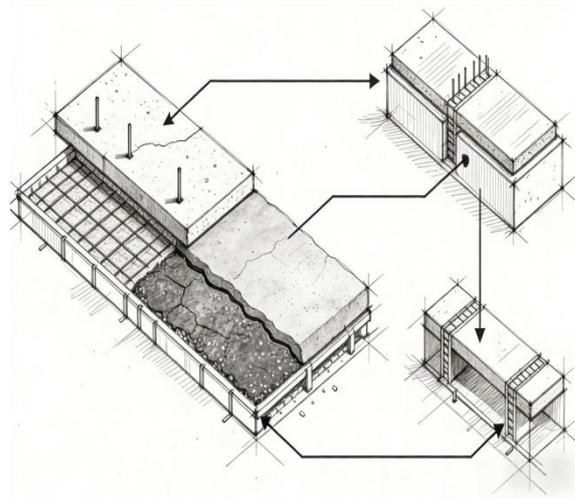


图1 反射裂缝抑制结构层次示意图

### 4 典型加铺路段的抗裂表现与措施成效对比

典型加铺路段在长期服役过程中呈现出明显的抗裂差异,通过对比不同结构组合与材料体系的表现,可直观洞察各项措施的有效程度。在某一重载交通路段中,采用单层普通沥青加铺的区域,在投入运营两年后反射裂缝密度达到每百米6.3条,裂缝宽度多集中在1.5~3.0 mm,表现出明显的上反趋势<sup>[4]</sup>。而同一试验路段内,设置应力吸收层并使用改性沥青混合料的区域,裂缝密度显著降低至每百米1.8条,裂缝宽度维持在1.0 mm以内且分布较为分散。应力吸收层对裂缝延伸路径的扰动效应,使表层呈现更长的裂缝潜伏期,为评价各项技术措施提供了可量化的对比依据。

在加铺厚度与结构组合方面,通过对东部某高速养护段加铺后的监测可观察到显著差异。该路段设置了4 cm厚加铺层、6 cm加铺层及6 cm加铺层叠加抗裂网三种结构形式,服役三年后的反射裂缝统计显示,薄层加铺区域反射裂缝率高达42%,多数裂缝沿旧板接缝位置成线形展开;6 cm加铺区域裂缝率下降至21%,但在高温季节依然出现由疲劳主拉应力驱动的纵向微裂纹;采用抗裂网的复合结构区域裂缝率仅为8%,且多数裂缝呈轻微表面纹裂状态,未形成贯穿性损伤。结构层次的差异直接影响荷载扩散路径,使不同加铺形式在抗裂表现上呈现出明显的分层特征。

在施工质量与环境适应能力方面,南方某干湿循环频繁地区的试验段提供了另一组对比视角。该路段分区采用不同压实标准,结果显示,压实度达到98%的区域在两年检测中裂缝出现率仅为12%,而压实度不足95%的区域裂缝出现率升至33%;此外,界面油膜控制优良的区段其裂缝萌生时间平均延

后约9个月。监测数据表明,在多雨、高湿和高温变化显著的外部条件下,材料密度与界面剩余强度对裂缝传递路径具有显著调节能力,通过提高结构致密程度与界面稳定性,可显著降低环境应力对应力集中区域的放大作用,从而提升加铺路段的抗裂表现。

## 5 反射裂缝防治路径的综合归纳与应用启示

反射裂缝的形成源于多层结构间的相互作用,而防治路径的构建需要在材料性能、结构体系与施工过程之间形成稳定的协调关系。针对旧混凝土路面的裂缝活动特征,通过控制裂缝源头的位移幅度,可显著改变加铺体系中的应力分布模式。开槽补强、深度密封以及刚柔结合型填缝材料的使用,使旧板裂缝区域的活动频率与位移量得以压制,减少向沥青层传递的连续性位移,为后续加铺体系创造较为稳定的基础条件<sup>[5]</sup>。在此基础上,功能性层间材料的配置能够进一步阻断裂缝上反路径,通过提供延展性、黏弹性耗能及应力扩散能力,使裂缝在结构内部被迫改变传播模式,从而延缓其显性化的过程。

在结构体系层面,反射裂缝的防治表现出明显的耦合调整特征。合理增厚加铺层、设置抗裂网、优化层间组合,可形成力流的重新分配,使主拉应力不再集中于旧裂缝对应区域。不同厚度层次之间形成的分级缓冲作用,使沥青层在受力时具备更多能量耗散空间,延长疲劳裂缝萌生周期。试验路段的对比监测显示,复合结构体系的裂缝上反速度普遍低于单层加铺体系,加铺层内部的剪切滑移现象得到有效抑制。同时,在温缩

影响敏感区域,通过调整加铺材料的温度敏感性与黏弹性参数,可使沥青层在昼夜温差和季节变换条件下保持更稳定的力学响应,从而减少由温缩不协调导致的裂缝传递现象。

施工环节中对温度、压实度与界面质量的把控构成防治路径中的另一关键环节。高质量界面黏结可避免局部脱空产生的应力突变,使结构层间保持协调变形;压实度控制可使沥青层形成良好的骨架结构,减少疲劳裂纹在内部加速扩展的条件;适宜的摊铺与碾压温度可确保材料黏弹性处于最佳状态,使结构形成连续、均匀的整体性。多项研究与工程监测均显示,加铺体系内部若具备较高致密性与稳定的界面强度,裂缝萌生时间可延后半年至一年以上。由材料、结构与施工三者形成的联合路径,使反射裂缝的上反过程从位移传递、应力集中的源头被削弱,实现从控制裂缝活动、扰动裂缝路径到延长裂缝潜伏期的多层次抑制效果,从而为旧水泥混凝土路面加铺工程的耐久性提升提供可直接应用的技术思路。

## 6 结语

反射裂缝的防治依赖材料、结构与施工环节的协同配合,各项策略在加铺体系中形成互补关系,使裂缝的上反过程得到有效抑制。旧混凝土裂缝的位移控制、功能性层间材料的设置、加铺结构的分级缓冲以及施工质量稳定发挥,共同构成加铺路面的抗裂体系。在复杂荷载与环境条件下,这些措施能够延长裂缝的潜伏周期,减缓损伤扩展速率,为提升旧水泥混凝土路面的再利用价值与服务性能提供可靠支撑。

## 参考文献:

- [1] 林夏敏.旧水泥混凝土路面共振碎石化加铺沥青层力学响应分析[J].福建建材,2025,(07):19-22.
- [2] 周建.旧水泥混凝土路面加铺改性沥青混凝土工艺应用分析[J].运输经理世界,2025,(07):43-45.
- [3] 张世强.旧水泥混凝土路面共振碎石化施工技术应用研究[J].混凝土世界,2025,(02):63-66.
- [4] 朱婧.水泥混凝土路面加铺沥青混凝土面层后反射裂缝的防治[J].运输经理世界,2024,(26):137-139.
- [5] 薛翔宇.旧水泥混凝土路面改沥青混凝土路面技术浅析[J].福建建设科技,2024,(04):110-112.