

沥青路面裂缝类病害的成因与处治技术

马凤瑶

山西晋城公路规划勘察设计有限公司 山西 晋城 048000

摘要：沥青路面裂缝类病害成因多样，包括材料性能劣化、路基不均匀沉降、基层反射及温度应力作用等。处治技术涵盖预防性养护与修复性处理：预防性养护采用微表处、雾封层等技术；修复性处理则针对裂缝类型选用灌缝、贴缝带、开槽灌缝等技术；严重裂缝需铣刨重铺或设置应力吸收层。多因素耦合作用下需综合分析，实施全周期精准养护。

关键词：沥青路面；裂缝类病害；成因；处治技术

引言：沥青路面作为现代道路的主要形式，其使用过程中裂缝类病害频发，严重影响行车安全与路用性能。裂缝成因涉及材料老化、结构缺陷、环境温变及施工不当等多重因素，呈现横向、纵向、网状等多样形态。准确识别裂缝类型、深入剖析其成因机制，是制定科学处治策略的前提。本文系统梳理裂缝分类特征，解析多因素耦合作用路径，并提出预防性养护、局部修补及结构补强等分层处治技术体系。

1 沥青路面裂缝类病害分类与特征

1.1 横向裂缝

（1）温缩型：核心诱因是冬季低温环境下沥青混合料收缩，当收缩产生的应力超过路面抗拉强度时引发开裂。缝宽具有明显温度敏感性，冬季低温时缝宽增大，夏季高温时因材料热胀而缩小，裂缝边缘相对整齐，无明显位移现象。（2）反射型：多源于半刚性基层（如水泥稳定碎石基层）的干缩或温缩开裂，基层裂缝向上反射至沥青面层形成。此类裂缝呈规则性间隔分布，间距通常与基层裂缝间距一致，多为直线状，贯穿路面全宽，裂缝两侧路面无明显沉降差。（3）荷载型：由重载车辆反复作用导致，路面承受的弯拉应力超过设计极限时开裂。裂缝常伴随支缝扩展，形成“Y”型或树枝状形态，多出现于车道轮迹带区域，随交通量增加裂缝宽度逐渐增大^[1]。

1.2 纵向裂缝

（1）不均匀沉降型：因路基压实度不足或软土地基处理不当，路基在运营过程中出现差异沉降，导致沥青面层拉裂。裂缝多呈断续状，随沉降差增大逐渐贯通，裂缝两侧路面存在明显高程差。（2）施工接缝型：沥青路面施工时，摊铺机接缝处理不当，新旧混合料结合不紧密，在行车荷载作用下接缝处逐渐开裂。裂缝呈直线状贯穿路面全宽，边缘整齐，多出现于每日施工段落的

衔接处。（3）结构失稳型：由边坡滑移、填挖交界处理不当或路基边坡排水不畅引发，路基整体稳定性不足导致面层开裂。裂缝形态不规则，常伴随路面局部隆起或沉降，多发生于道路边坡附近或填挖过渡段。

1.3 网状裂缝

（1）疲劳破坏型：长期行车荷载反复作用下，沥青面层产生累积疲劳损伤，当损伤超过极限时形成裂缝。裂缝呈不规则多边形网格，网格尺寸多为5-20cm，初期表现为细微短缝，逐渐发展为密集网状。（2）老化开裂型：沥青结合料在长期光照、温度变化和雨水作用下老化变硬，柔韧性下降，面层因温度应力或轻微荷载作用开裂。裂缝多发生于面层表面，初期为细微发丝状裂缝，逐渐扩展为网状，无明显荷载作用痕迹。（3）复合型：由温度、荷载、老化等多种因素共同作用形成，裂缝相互交织且成因复杂。此类裂缝兼具多种裂缝特征，如网格中存在明显支缝（荷载影响），同时伴随表面老化剥落（老化影响），治理难度较大。

1.4 裂缝特征参数

（1）几何参数：涵盖长度（裂缝两端点之间的直线距离，单位cm）、宽度（裂缝最宽处的水平距离，单位mm）、深度（裂缝从面层表面至底部的垂直距离，单位cm）、走向角度（裂缝与道路行车方向的夹角，单位°），直接反映裂缝的空间形态和规模。（2）力学参数：主要包括拉应力（裂缝两侧路面材料承受的拉伸应力，单位MPa）、剪应力分布（裂缝界面处的剪切应力大小及分布规律），通过力学参数可判断裂缝扩展趋势，评估路面结构稳定性。（3）环境参数：包含温度变化范围（裂缝区域全年最高与最低温度差值，单位℃）、湿度条件（裂缝区域土壤或基层的含水率，单位%），环境参数影响裂缝的产生与扩展速率，是制定针对性养护措施的重要参考。

2 沥青路面裂缝类病害成因分析

2.1 材料因素

(1) 沥青性能劣化: 长期使用中, 沥青受温度、氧气作用发生老化, 针入度降低表明沥青变硬、柔韧性下降, 延度衰减意味着抗拉伸能力减弱, 软化点升高使高温稳定性变差, 三者共同导致沥青混合料在温度变化或荷载作用下易开裂。(2) 集料质量缺陷: 集料棱角性不足会降低混合料内摩擦力, 影响整体结构稳定性; 含泥量超标会削弱沥青与集料的粘结力, 导致界面结合不良; 级配离析使混合料局部粗细集料分布不均, 出现薄弱区域, 易在应力作用下率先开裂。(3) 添加剂失效: 抗剥落剂挥发后, 沥青与集料的抗水剥离能力下降, 遇水易出现界面破坏; 纤维稳定剂降解则失去对沥青的加筋、稳定作用, 无法有效抑制裂缝萌生与扩展。

2.2 结构因素

(1) 基层强度不足: 基层CBR值不达标, 表明其承载能力无法满足设计要求, 在行车荷载作用下易产生过大变形; 基层与面层模量比失衡, 会导致应力在层间集中, 超出材料承受极限引发裂缝。(2) 排水系统失效: 盲沟堵塞、横向排水管破裂会导致路面内部积水, 水的浸泡使基层强度降低, 同时产生动水压力冲刷基层骨料, 加剧结构损伤, 进而诱发面层裂缝。(3) 结构层间粘结不良: 透层油渗透不足, 无法有效连接基层与面层, 导致层间出现滑动; 粘层油洒布不均, 使面层各层间结合不紧密, 荷载作用下层间产生相对位移, 引发层间开裂^[2]。

2.3 环境因素

(1) 温度应力: 当日温差超过25℃时, 沥青混合料热胀冷缩剧烈, 白天受热膨胀产生压应力, 夜间降温收缩产生拉应力, 反复循环的温度应力使路面材料产生疲劳损伤, 最终形成裂缝。(2) 水分侵蚀: 在降雨量超过800mm/年的地区, 雨水易渗入路面内部, 若渗水系数超过80ml/min, 水分无法及时排出, 会持续侵蚀基层、削弱材料性能, 同时在行车荷载下产生水毁作用, 诱发裂缝。(3) 紫外线老化: 高原地区紫外线辐射强烈, 会加速沥青的光氧化老化, 使沥青分子链断裂、变硬变脆, 沥青混合料抗裂性能大幅下降, 缩短路面使用寿命, 增加裂缝出现概率。

2.4 施工因素

(1) 压实度不足: 现场孔隙率超过设计值3%时, 路面密实度降低, 不仅抗渗性能下降, 易受水分侵蚀, 还会使混合料强度降低, 在荷载与温度作用下, 孔隙周围易产生应力集中, 裂缝风险显著增加。(2) 混合料离

析: 施工中若出现粗集料窝, 会导致局部混合料级配失衡, 抗拉强度降低, 成为路面结构的薄弱点, 在行车荷载反复作用下, 易率先产生裂缝并逐步扩展。(3) 养生不当: 半刚性基层养生期不足, 水分蒸发过快, 易产生干缩裂缝, 这些裂缝会向上反射至沥青面层, 形成反射型裂缝, 影响路面整体使用性能。

2.5 多因素耦合作用机制

(1) 通过建立有限元模型, 可精准分析温度-荷载耦合应力场, 模拟不同温度条件下行车荷载对路面应力分布的影响, 明确耦合作用下应力集中区域, 为裂缝预测提供依据。(2) “材料老化→结构刚度衰减→应力集中→裂缝扩展”的链式反应机制, 揭示了多因素相互作用的过程: 材料老化使结构整体刚度下降, 在荷载与环境作用下, 刚度薄弱区域产生应力集中, 进而导致裂缝萌生并不断扩展。(3) 裂缝发展三阶段理论中, 萌生期是在多因素初期作用下, 路面出现细微缺陷; 扩展期是随着因素持续作用, 细微缺陷发展为明显裂缝; 失稳期则是裂缝快速扩展, 严重影响路面结构稳定性, 为路面养护时机选择提供理论支撑。

3 沥青路面裂缝类病害处治技术体系

3.1 预防性养护技术

(1) 微表处技术: 采用改性乳化沥青作为粘结料, 搭配级配碎石(粒径范围3-5mm), 通过专业摊铺机均匀摊铺, 形成厚度8-12mm的防护层。该技术兼具密封裂缝、修复微小破损及提升抗滑性能的作用, 施工后路面平整度可提升15%-20%, 正常交通荷载下使用寿命可达4-7年, 尤其适用于车流量较大的干线公路。(2) 雾封层技术: 将稀释后的乳化沥青(沥青含量40%-50%)通过专用喷洒设备均匀喷洒于路面表面, 沥青渗透深度可达3-5mm, 能有效填充路面微小孔隙与发丝状裂缝, 阻断水分渗入。该技术施工便捷、成本低廉, 单位面积成本约10元/m², 施工后1-2小时即可开放交通, 适合在雨季前对大面积路面进行预防性处理。(3) 含砂雾封层技术: 在雾封层基础上掺入30%-50%的石英砂(粒径0.3-0.6mm), 与改性沥青混合后喷洒, 既保留了雾封层密封裂缝的功能, 又通过石英砂提升路面抗滑性能。施工后路面摩擦系数可稳定保持在 ≥ 0.55 , 解决了传统雾封层可能导致的路面抗滑性下降问题, 适用于收费站、急弯等对路面抗滑要求较高的路段^[3]。

3.2 局部修补技术

(1) 灌缝修补技术: 选用高温稳定性好、低温柔韧性强的聚氨酯或橡胶沥青密封胶, 通过灌缝机将密封胶注入裂缝内部。施工时需控制裂缝宽度在5-15mm, 灌缝

深度为宽度的1.5倍（如10mm宽裂缝需灌至15mm深），确保密封胶与裂缝壁紧密粘结，阻断水分与杂物进入。该技术施工效率高，单条裂缝处理时间仅需2-3分钟，适合中细裂缝的快速修补。（2）贴缝带修补技术：采用高分子聚合物改性材料制成的贴缝带（宽度 $\geq 30\text{mm}$ ，厚度2-3mm），施工时无需加热，直接将贴缝带粘贴于清理后的裂缝表面，通过材料自身粘性与弹性实现裂缝密封。贴缝带抗老化性能优异，在-30℃至60℃温度范围内可保持良好性能，使用寿命达2-3年，尤其适用于冬季低温或无法明火作业的路段（如加油站附近）。（3）开槽灌缝技术：对于缝宽不规则或伴有轻微剥落的裂缝，先采用开槽机切割出V型槽（槽宽10-15mm，槽深20-30mm），清理槽内杂物后灌注高性能密封胶，使密封胶与槽壁形成“嵌入式”粘结。该技术能有效解决裂缝边缘松散问题，灌缝成功率可达85%以上，适合处理中等宽度且边缘不整齐的裂缝。

3.3 结构补强技术

（1）铣刨重铺技术：采用铣刨机将破损面层铣刨4-6cm深度，清除铣刨废料后，铺设SBS改性沥青AC-16C混合料（集料最大粒径16mm），通过重型压路机碾压压实（压实度 $\geq 96\%$ ）。该技术能彻底清除裂缝及受损结构层，重新构建高强度面层，适用于裂缝密集、面层老化严重的路段，施工后路面承载能力可恢复至设计标准的95%以上。（2）薄层罩面技术：在原路面表面铺设2-3cm厚的高弹改性沥青混合料（如SBS+橡胶复合改性沥青），搭配间断级配集料，提升路面抗裂与抗滑性能。施工后路面抗滑值（BPN） ≥ 60 ，能有效分散荷载应力，抑制裂缝反射，同时改善路面平整度。该技术施工周期短（单日可施工1000-1500 m^2 ），适合对仍有一定结构强度的路面进行“升级改造”。（3）应力吸收层技术：在基层与面层之间铺设1.5-2.0cm厚的橡胶沥青碎石应力吸收层，橡胶沥青用量为2.8-3.2 kg/m^2 ，嵌入单一粒径碎石（9.5-13.2mm）。该层模量可达500-800MPa，能通过自身高弹性吸收基层裂缝产生的拉应力，阻断裂缝向上反射，适用于半刚性基层反射裂缝严重的路段，可使反射裂缝出现时间延迟3-5年^[4]。

3.4 特殊路段处治技术

（1）桥头跳车处治技术：针对桥头路基沉降导致的裂缝与跳车问题，采用泡沫轻质土（干密度 $\leq 600\text{kg}/\text{m}^3$ ）进行台背回填，分层压实（压实度 $\geq 96\%$ ），减少路基与桥台的沉降差。同时在桥头5-10m范围内铺设应力吸收层，抑制沉降差异引发的裂缝，施工后桥头跳车值可控制在 $\leq 3\text{mm}$ ，显著提升行车舒适性。（2）隧道口处治技术：隧道口温差大、湿度高，易产生温缩裂缝与水毁病害，采用温拌沥青混合料（如添加有机降粘剂）进行面层施工，施工温度较传统热拌沥青降低20-30℃（可降至140-160℃），减少因温度骤变导致的裂缝。同时在隧道口20m范围内设置抗滑表层，摩擦系数 ≥ 0.6 ，保障车辆进出隧道时的行车安全。（3）交叉口处治技术：交叉口交通量大、车辆启停频繁，路面承受反复剪切与冲击荷载，易产生疲劳裂缝，采用高模量沥青混合料（如添加纤维稳定剂）铺筑面层，其动稳定度 ≥ 8000 次/mm，抗车辙与抗裂性能优异。同时对交叉口井盖周边采用聚合物水泥砂浆加固，避免井盖周边裂缝发展，提升路面整体耐久性。

结束语

沥青路面裂缝类病害的治理需贯穿“预防-诊断-修复”全链条。本文通过剖析材料劣化、结构失稳、环境侵蚀及施工缺陷等核心成因，明确了裂缝演化的多因素耦合机制。实践中，应结合裂缝类型与严重程度，科学选用预防性养护、局部修补或结构补强技术，并强化施工质量控制。未来需进一步探索智能监测与绿色修复技术，推动道路养护向精准化、可持续化方向发展。

参考文献

- [1]李超.沥青路面纵横向裂缝病害的成因及养护灌缝施工工艺研究[J].建设监理,2024,4(10):92-94.
- [2]张晓燕.沥青混凝土路面工程病害及防治技术研究[J].四川建材,2025,51(01):154-156.
- [3]黄鲁明.沥青路面病害成因及处治措施分析[J].工程技术研究,2025,10(01):148-150.
- [4]陆晶晶,李康.柔性沥青路面病害成因分析及修复措施研究[J].建筑机械,2025,8(01):16-21.