

# Cause analysis and preventive maintenance strategy of road surface diseases

Tao Fan

Xinjiang Transportation Investment Maintenance Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830063, China

## Abstract

This article systematically explores the multidimensional causes and preventive maintenance strategies for highway pavement diseases. It analyzes the mechanisms behind common issues such as cracks, ruts, and potholes from aspects like material properties, structural design, environmental factors, and traffic loads. The article highlights the significant impact of asphalt material aging, insufficient subgrade compaction, temperature and humidity cycles, and overloaded traffic on pavement performance. Based on this analysis, a comprehensive preventive maintenance system is proposed, covering disease inspection, detection technology, maintenance techniques, construction management, and traffic optimization. The system emphasizes optimizing material properties, standardizing process control, and using intelligent traffic regulation to build a lifecycle management model that focuses on 'source prevention, process control, and dynamic response.' This approach aims to enhance the precision and intelligence of highway maintenance, reduce maintenance costs, extend pavement life, and provide theoretical references and technical pathways for the sustainable operation of highway infrastructure.

## Keywords

highway pavement; causes of disease; preventive maintenance; intelligent detection; traffic management

## 公路路面病害成因分析与预防性维护策略

樊涛

新疆交投养护集团有限责任公司，中国·新疆乌鲁木齐 830063

## 摘要

本文系统探讨公路路面病害的多维成因及预防性维护策略，从材料特性、结构设计、环境作用与交通荷载等方面剖析裂缝、车辙、坑槽等常见病害的致因机制，揭示沥青材料老化、路基压实不足、温湿度循环及超载交通对路面性能的显著影响。基于病害机理分析，提出涵盖病害巡查、检测技术、养护工艺、施工管理及交通优化的全流程预防性维护体系，强调通过材料性能优化、工艺标准化控制及智能交通调控，构建“源头预防—过程管控—动态响应”的全寿命周期管理模式，提升公路养护的精细化与智能化水平，以降低养护成本、延长路面使用寿命，为公路基础设施的可持续运营提供理论参考与技术路径。

## 关键词

公路路面；病害成因；预防性维护；智能检测；交通管理

## 1 引言

公路路面充当着交通运输体系的核心承载角色，其性能直接影响到通行效率以及行车安全，伴着经济社会的演进，公路的交通量持续上扬，车辆荷载朝着重型化、复杂化的情形发展，造成路面病害频发态势凸显，裂缝、车辙、坑槽之类的病害会增添养护成本，甚至会诱发交通事故，给公共安全埋下隐患，深入探究路面病害形成的缘由，构建合理实用的预防性保养机制，对增长公路使用寿命、减少全寿命周期成本意义非凡。本文结合公路工程基础理论，条理阐述病害致因及针对性防控方案，目的是为公路养护管理提供理

论借鉴。

## 2 公路路面病害成因分析

### 2.1 材料因素

#### 2.1.1 沥青材料质量

路面结构采用沥青作为胶结材料，其性能直接为路面的力学特性与耐久性定调，因沥青具有黏弹性，在高温环境下易产生塑性变形，于低温环境下，脆性明显增大，因收缩应力作用而出现裂缝，自然环境中长期暴露着沥青，受紫外线、氧气及水分的作用引发老化，轻质组分的挥发造成黏结力下滑，引发集料脱落、造成路面结构松散，质量欠佳的沥青或改性工艺有缺陷的沥青材料，其高温稳定性和低温抗裂性能难以契合使用需求，加速路面性能走向劣化。

【作者简介】樊涛（1984-），男，中国甘肃渭源人，本科，工程师，从事公路与桥梁研究。

## 2.1.2 集料特性

关键因素——集料的物理力学性能和级配组成，影响着路面结构稳定性，要是集料强度不足（比如压碎值偏大），荷载作用下会破碎，引发混合料骨架结构破损，造成路面出现变形；集料若耐磨性差则易被磨损，引起路面抗滑性能变差，级配不合理现象（如中间粒径颗粒缺失）可使混合料形成“骨架-空隙”或“悬浮-密实”结构，前者因为空隙率过大，极易出现渗水现象，后者由于胶浆过多，高温下易出现流淌现象，集料表面的粗糙性与洁净度左右着沥青裹覆效果，含泥量太高会污染沥青膜，弱化界面之间的黏结力，造成早期病害显现。

## 2.2 结构因素

### 2.2.1 路面结构设计不合理

路面结构层厚度、材料组合情况与排水系统设计缺陷，是病害出现的潜在原因，基层厚度匮乏或刚度较薄弱，不能把荷载进行有效分散，引起应力在面层汇集，引起反射裂缝病害；面层与基层间黏结层的施工品质欠佳，容易让层间形成滑动，引起推挤、拥包等相关病害，路面与路基结构的刚度匹配欠佳，将因变形不协调造成结构性的裂缝，排水设计若不足（比如横坡偏小、排水通道堵塞）会造成水分滞留于结构层内，加重水对结构层的损害。

### 2.2.2 路基压实度不足

路基充当着路面的支撑基础，其压实度直接关联着整体承载能力，压实不到位的路基有不少孔隙，因车辆荷载反复施加而发生压缩变形，造成路面出现沉降与开裂现象，路基填料选取失当（若含膨胀土、腐殖土等）或含水率控制不达标，因水稳性不良进而引发路基不均匀沉降，间接造成路面出现破损，路基边坡坡度设计不合理，防护措施又不足，说不定会在雨水冲刷中发生坍塌，给路面结构的安全埋下风险。

## 2.3 环境因素

### 2.3.1 温度变化

显著影响路面材料性能的是温度循环，造成温度应力及变形形成，沥青混合料抗剪强度出现了下降，受重载车辆作用影响，易出现永久性变形；路面材料收缩生成拉应力，若应力超过材料抗拉强度阈值，裂缝随即出现，季节温变及昼夜温差会引发结构层间产生温度梯度，导致层间出现剪应力，加速层间逐步剥离，北方冬季低温及冻融循环的影响，还也许引起路面材料内部结构破坏，造就冻胀裂缝生成。

### 2.3.2 水损害

水乃路面病害的关键诱因，其造成的损害贯穿路面的全寿命周期，雨水渗入到路面结构层当中，对集料与沥青的界面进行浸泡，减弱黏结效果，引发集料与路面分离、路面松散；自由水受荷载影响形成动水压力，对基层材料加以冲刷，引发唧泥现象和坑槽病害，长期积水的路段里，路面材料因一直受水侵蚀，将使老化加快且引起强度衰减，因受水浸泡，路基承载力出现下降，或许会引发整体沉降与滑移，使路面安全面临危机。

## 2.4 交通因素

### 2.4.1 超载超限车辆

路面遭受超载车辆破坏的情况呈指数级攀升，其轴载超出路面设计标准的程度极高，引发结构层应力水平显著上扬，疲劳寿命急剧减短，超限车辆几何尺寸超出既定范围，容易造成对路面边缘、桥梁等结构局部挤压的破坏，如啃边、碎裂等病害，重载车辆轮胎接地时压强偏高，容易让路面出现剪切形变，形成如推挤、波浪般的病害。

### 2.4.2 交通流量过大

因交通流量密集，路面疲劳破坏会加速出现，频繁施加的荷载使路面材料内部微损伤不断积聚，逐渐演变成较为明显的宏观裂缝，高车流量路段的路面长期处在应力循环状态里，沥青混合料的黏弹性性能渐次衰减，应对变形的能力降低，交通构成里重载车辆所占比例超乎寻常，将让路面的损耗进一步加重，引发车辙、裂缝等病害提前冒头。

## 3 公路路面预防性维护策略

### 3.1 建立科学的病害巡查制度

#### 3.1.1 定期巡查

制订标准化的定期巡检计划，厘定巡查的周期与相关内容，每月巡查高速公路及干线公路1~2次为宜，可每季度对县乡公路实施1次巡查，巡查人员需带上专业记录用具，对路面破损的类型（像裂缝、车辙、坑槽等）、位置与规模做详细记录，并拍摄影像形成资料留存，依靠搭建病害数据库，剖析病害的发展规律，为养护决策给出凭据，实施巡查工作期间，还需审视排水系统与交通安全设施的运行情形，迅速发现潜在隐患<sup>[1]</sup>。

#### 3.1.2 特殊时期巡查

在暴雨、高温、寒潮等极端天气前后以及重大节假日期间，增多巡查的次数，加紧对重点路段的监测行动，暴雨消停后，要着重检查路基边坡稳定性以及路面排水是否通顺无阻，马上清理堵塞的排水明沟；高温期间要留意易出现车辙的路段，审视路面的形变情形；需检查路面裂缝的封闭情形，阻止水分结冰膨胀造成裂缝扩展加剧，特殊阶段巡查应体现针对性，早前部署应急办法，保证公路实现安全通行。

### 3.2 采用先进的检测技术

#### 3.2.1 无损检测技术

采用无损检测技术对路面结构性能实施快速评定，防止传统开挖检测给路面造成破坏，探地雷达（GPR）可借助发射电磁脉冲，检测路面结构层的厚度、脱空程度及含水率等参数，精准定位潜藏的隐蔽病害；落锤式弯沉仪（FWD）采用模拟车辆荷载的手段，测得路面弯沉盆的实际数据，审定结构层承载能力及剩余有效寿命；红外热成像技术可凭借检测路面温度场的分布情形，判别防水层破损、地下管线渗漏等隐藏的隐患<sup>[2]</sup>。

#### 3.2.2 自动化检测设备

应用推广车载自动化检测设备，诸如激光平整度仪、车辙仪之类，做到对路面平整度、车辙深度、裂缝宽度等指

标的快速收集与解析,该类装置可在正常交通条件下开展高速行驶的检测,效率比人工巡查高出数倍,且数据精度表现佳,重复性好,凭借与地理信息系统(GIS)相结合,能生成路面性能状况的评价地图,直观呈现病害分布情况及严重程度,对养护资源的优化配置起到支撑作用。

### 3.3 合理选择预防性养护措施

#### 3.3.1 裂缝处理

针对各类不同宽度的裂缝,采用契合的处理方式,若裂缝宽度小于3mm的微裂缝,可利用自黏结橡胶沥青贴缝带进行封堵,防范水分渗入缝隙;若裂缝宽度为3~15mm之间,需先把缝内的各类杂物清除,再选取改性沥青灌缝胶加热后灌注,保证材料跟缝壁形成充分黏结;若裂缝宽度达15mm以上或者伴有沉陷现象,应对基层的稳定性开展检测,采用开挖回填、补强等措施。

#### 3.3.2 封层技术

采用封层技术可有效恢复路面防水性能,加大路面抗滑力度,轻度老化、无结构性病害的路面适合采用雾封层,采用喷洒乳化沥青及改性乳化沥青的方式,构建起薄层封层,填充表面的空隙;同步碎石封层借助同步撒布热沥青及碎石来实现,造就嵌挤状结构,适宜于中等破损情况的路面,显著增进路面抗滑性及承载能力;可借助稀浆封层或微表处技术修复轻微车辙与平整度的问题,完善路面服务水平<sup>[1]</sup>。

#### 3.3.3 补强加固

要是路面结构层承载能力不足,然而还未完全破坏,可实施补强加固手段,针对基层脱空、松散的危害情形,可采用钻孔注浆法填充空隙,恢复结构的整体连贯性;在进行加铺沥青面层前,敷设玻璃纤维格栅、土工布这类土工合成材料,抑制反射裂缝的萌生;就路基沉降引发的路面沉陷而言,可以用水泥粉煤灰稳定碎石等材料对路基加以补强,增强支撑本领。

### 3.4 加强施工质量管理

#### 3.4.1 材料控制

切实落实原材料准入规范,构建供应商信用评估体系,优先采用经长期工程证实的优质沥青与集料,应重点对沥青的黏温性能(例如针入度指数、软化点温差)和抗老化性能(旋转薄膜烘箱试验后延度保持率)展开检测,保证高温时抗车辙与低温时抗裂的能力;需强化对集料的控制,尤其是其耐磨性(洛杉矶磨耗率 $\leq 28\%$ )、级配均匀性(关键筛孔通过率偏差 $\pm 2\%$ )和洁净度(含泥量 $\leq 1\%$ ),施工前着手目标配合比设计验证事宜,采用马歇尔试验、车辙试验等途径评估混合料性能,禁止使用未符合设计指标的材料。

#### 3.4.2 施工工艺管理

打造覆盖“拌和—摊铺—压实”整个流程的工艺控制体系,于沥青混合料进行拌和之际,精准把控集料加热温度,保证混合料均匀,拌和时间控制在40~60秒,杜绝因温度欠缺导致裹覆不牢固,或过热引起沥青老化现象,进行摊铺操作之际,控制摊铺机速度在2~4m/min为宜,让螺旋布料器转速与摊铺速度达成匹配,以非接触式红外温度计实时监

测摊铺温度,保证纵向温度差最大为5℃。压实流程秉持“初压求结构稳定、复压求密实度增、终压求表面平整”原则:初压借助钢轮压路机(110~130℃)静压2次,复压采用处于90~110℃的胶轮压路机揉搓压实4~6遍,增高压实的密实效果;终压采用温度 $\geq 70\text{℃}$ 的钢轮压路机收光2遍,待每道工序执行完毕,及时对压实度、平整度等指标实施检测,不合格的部位要马上返工处理<sup>[1]</sup>。

### 3.5 优化交通管理

#### 3.5.1 治理超载超限

建立并完备超载超限治理的长效体系,利用固定检测站、流动稽查,再结合科技手段,提升对超载车辆的监管水平,采用不停车称重系统(WIM)、车牌识别系统之类的技术,实现针对超载车辆的自动查验、预警及追踪,切实落实“一超四罚”制度,对超载车辆相关联的车主、货主、运输企业及装载企业进行联合处置,同时将超载的违法信息归入信用档案体系,抬高违法的成本门槛,迫使运输企业实现合规运营。

#### 3.5.2 交通流量调控

借助智能交通系统(ITS)实现交通流量分布的优化,实现路网荷载的均衡,借助实时路况数据及交通流量预测模型来操作,经由可变情报板、导航APP等渠道推送诱导资讯,引导车辆绕越拥堵路段与重载集中路段,如在城市道路与高速公路衔接的路段,设立潮汐车道、货车专用通道等路段,实现客货分开流通,减少混行交通所引发的路面损伤,恰当调整货车通行时间,防止高峰时段重载车辆集中涌入道路,减小路面承担的荷载压力<sup>[1]</sup>。

## 4 结论

材料性能、结构设计、环境作用以及交通荷载等多因素耦合,造成了公路路面病害,预防性维护应按照“预防为主、防治结合”的原则来实施,形成从病因探究、监测预警、技术采用到管理提升的完备体系,借助构建科学的巡查检测机制、运用先进的养护技术、强化施工质量把控以及优化交通管理举措,可以实现病害的预先发现与即刻处理,切实减缓路面性能下降速度,减少养护开支。未来,随着智能传感技术、再生材料技术的发展,公路预防性维护将向智能化、绿色化方向深入发展,为公路基础设施的可持续运营提供更强支撑。

### 参考文献

- [1] 卢海根.公路路面病害检测与治理方案研究[J].运输经理世界,2024(30):144-146.
- [2] 刘敏,瞿隆钰.高速公路路面病害成因及养护施工技术[J].云南水力发电,2024,40(S2):32-34.
- [3] 夏鹏.公路养护工程病害成因与处治措施[J].汽车周刊,2024(09):16-18.
- [4] 彭昆.农村公路路面技术状况评定与养护研究[J].山西建筑,2024,50(15):139-142.
- [5] 欧阳镗.农村沥青混凝土公路病害成因分析及养护策略[J].四川水泥,2024(03):245-247.