

建筑施工

公路沥青路面施工病害防治技术探析

殷维春

天津市国腾公路咨询监理有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8836

[摘要] 沥青路面凭借行车舒适性佳、行驶噪音低、后期养护便捷等优势，广泛应用于各等级公路建设。但在实际施工过程中，受原材料性能波动、混合料配比不合理、摊铺碾压工艺不规范、层间处理薄弱、环境气候干扰等多重因素影响，极易诱发裂缝、车辙、坑槽松散、泛油、水损害及平整度超标等施工期病害。施工阶段产生的微小缺陷，会在后期行车荷载与自然环境耦合作用下持续恶化，降低道路整体结构稳定性，缩短服役年限，大幅增加运维资金投入。本文结合沥青路面施工全流程工序特点，系统剖析各类典型施工病害的形成机理与诱发因素，摒弃传统事后修补的被动治理模式，从原材料源头管控、拌合运输优化、摊铺碾压精细化作业、接缝构造处理、特殊工况施工保障、新型材料与数字化管控应用等方面，提出全流程、预防性、创新性病害防治技术措施，构建全过程协同防控体系。研究可为提升公路沥青路面施工质量、抑制早期病害发育、实现道路长效耐久运营提供实践参考。

[关键词] 公路工程；沥青路面；施工病害；成因分析；防治技术；精细化施

Analysis of Disease Prevention Technologies for Highway Asphalt Pavement Construction

Yin Weichun

Tianjin Guoteng Highway Consulting and Supervision Co., Ltd.

[Abstract] Asphalt pavements, renowned for their excellent driving comfort, low noise levels, and ease of maintenance, are widely used in highway construction across various grades. However, during actual construction, multiple factors—including fluctuations in raw material properties, improper mixture proportions, non-standard paving and compaction techniques, inadequate interlayer treatment, and environmental climate influences—can easily lead to construction-related defects such as cracks, rutting, potholes, oil bleeding, water damage, and excessive surface unevenness. Minor defects incurred during construction may progressively worsen under combined effects of traffic loads and environmental conditions, compromising the overall structural stability of roads, shortening their service life, and significantly increasing operational and maintenance costs. This paper systematically examines the formation mechanisms and contributing factors of typical construction defects by analyzing the entire construction process of asphalt pavements. Moving beyond traditional reactive repair approaches, it proposes comprehensive, preventive, and innovative disease prevention measures encompassing raw material source control, optimized mixing and transportation, precision paving and compaction techniques, joint construction treatment, special-condition construction safeguards, and the application of advanced materials and digital management systems. These measures establish a holistic, coordinated prevention and control framework. The research provides practical references for enhancing asphalt pavement construction quality, mitigating early-stage defect development, and ensuring long-term road durability.

[Key words] Highway engineering; Asphalt pavement; Construction defects; Cause analysis; Prevention and control technologies; Precision construction

一、引言

在现代化交通路网建设体系中，沥青路面是高等级公路的主流结构形式，兼具力学性能优良与行车体验良好的综合优

势。现阶段国内路网逐步进入建设与养护并重的发展阶段，重载车流密集化、极端天气常态化，对沥青路面施工质量提出了更高标准。沥青路面施工属于多工序连续化作业工程，涵盖沥

青混合料拌合、转运摊铺、压实成型、层间处理、成型封闭养护等关键环节，工序衔接紧密、温度敏感性强、工艺控制要求严苛。

现阶段部分项目施工存在重进度、轻质量的问题，施工管控粗放、工艺执行不到位、质量标准落实不严，导致施工期病害频发。多数养护维修工程仅关注病害成型后的修补处置，缺少施工全过程主动预防理念，治理成本高且修复效果有限。随着绿色施工、智能建造理念在交通工程领域不断普及，依托新型改性材料、智能碾压监测、全过程数字化管控等创新手段，实现沥青路面病害源头防控，已成为行业发展必然趋势。因此，深入梳理沥青路面施工病害类型及成因，探索科学高效的综合防治技术，对提升公路工程建设品质、延长道路使用寿命具有重要现实意义。

二、公路沥青路面典型施工病害及成因分析

(一) 裂缝病害

裂缝是沥青路面最普遍的施工病害，主要分为横向裂缝、纵向裂缝与网状龟裂。横向裂缝多由施工温度控制不当引发，混合料摊铺及碾压温度过低，沥青胶浆粘结性能下降，材料收缩变形不协调；基层养生开裂未做封闭处理，反射应力向上传递，也会形成规律性横向裂缝。纵向裂缝集中出现在施工接缝位置，梯队摊铺纵向热接缝搭接宽度不足、冷接缝切割清理不到位，结合面粘结失效；路基填筑不均匀、局部沉降差异，同样会诱发长条状纵向裂缝。网状龟裂多为整体性施工缺陷导致，混合料级配失衡、压实度不足、层间隔离处理失效，路面整体承载能力弱化，受力后出现大面积网状破损。

(二) 车辙变形病害

施工期车辙多属于压密型与流动型变形，集中出现在行车道轮迹带。混合料设计不合理是核心诱因，沥青用量偏大、细集料占比过高，高温条件下混合料高温稳定性不足，受压易产生塑性流动。碾压施工管控不当，压实遍数不足、局部压实度偏低，路面空隙率偏大，结构整体抗变形能力减弱；反之过度碾压会破坏集料骨架结构，同样加速变形病害产生。此外，路面未完全冷却固化即开放临时施工车辆通行，过早承受荷载挤压，会快速形成永久性施工车辙。

(三) 松散与坑槽病害

松散、坑槽属于典型粘结类病害，核心问题在于沥青与集料粘附性不足。原材料管控不严，集料含泥量超标、石料表面杂质过多，削弱沥青裹覆效果；拌合时间不足，混合料搅拌均匀，出现局部花白料、离析料，局部沥青含量不足。施工中层间清扫不彻底，浮尘、杂物残留导致透层、粘层油粘附失效，面层与基层脱离。雨季施工防护不到位，雨水侵入未成型路面，沥青膜剥落、集料松散脱落，逐步发展为坑槽缺陷，严重破坏路面结构完整性。

(四) 泛油与平整度缺陷

泛油病害表现为路表沥青富集、路面发亮滑腻，主要因配合比设计不合理，最佳沥青用量取值偏大，或是碾压温度过高，沥青受热上浮聚集于路表。混合料细料过多、空隙率偏小，内部多余沥青向外析出，也会加剧泛油问题，大幅降低路面抗滑

性能。平整度差主要源于摊铺作业管控缺陷，摊铺机行驶不稳定、找平系统校准偏差、人为随意补料；路基与基层顶面平整度不达标，上层施工无法弥补底层误差；施工接缝错台、碾压顺序混乱，最终造成路面起伏不平，影响行车平顺性。

(五) 施工期水损害病害

水损害属于隐蔽性施工病害，后期发展速度快、破坏范围广。施工过程中路表横坡设计不合理、临时排水设施缺失，路面积水长期滞留；混合料压实不均匀，局部空隙率过大，形成雨水下渗通道。透层油、粘层油喷洒不均匀、用量不足，层间防水隔离效果失效；路基排水体系不完善，地下水毛细上升侵蚀路面底部，长期干湿交替作用下，沥青与集料剥离，逐步引发剥落、软化、沉陷等连锁病害。

三、沥青路面施工病害源头预防关键技术

(一) 原材料精细化质量管控

严控原材料进场验收标准，构建源头筛选、进场复检、现场抽检三级管控机制。沥青材料根据区域气候条件差异化选型，高温重载路段选用 SBS 改性沥青，寒冷地区优先提升沥青低温延度与抗裂性能，严格检测针入度、软化点、老化指标，杜绝过期、变质沥青使用。粗集料选用质地坚硬、压碎值达标、针片状含量受控的碱性石料，提升沥青粘附性能；细集料与矿粉保证干燥洁净，杜绝受潮结块材料投入使用。通过原材料性能精准把控，从根本上减少粘结不足、稳定性差等基础性病害隐患。

(二) 混合料配合比科学优化

优化马歇尔配合比设计方法，结合高温车辙试验、低温弯折试验开展多指标验证，平衡混合料高温稳定性、低温抗裂性与水稳定性能。采用骨架密实型级配结构，强化集料嵌挤作用，提升整体抗剪切、抗变形能力；精准控制沥青最佳用量，规避泛油、松散双向缺陷。根据施工气温、运输距离、拌合设备工况，动态微调现场生产配合比与最佳含水量，减少施工环境对混合料性能的干扰，保障拌合料整体均匀性与稳定性。

四、施工全过程病害精细化防治技术

(一) 拌合与运输环节病害防控

沥青混合料采用全自动强制式拌合设备，严格设定拌合温度与拌合时长，干拌、湿拌分段控制，保证石料沥青裹覆均匀，杜绝花白料、离析料产生。合理控制沥青加热温度，避免高温老化降低材料耐久性。运输车辆采用密闭保温车厢，内壁涂刷防粘隔离剂，全程覆盖保温篷布，减少温度散失与雨淋污染。规划运输路线，控制运输时长，减少混合料现场等待积压，防止温度离析、结块硬化，保障摊铺施工连续性。

(二) 摊铺施工标准化控制

采用大宽度摊铺机连续匀速作业，合理控制行驶速度，杜绝中途随意停顿、变速行驶，减少摊铺波浪与离析缺陷。统一校准摊铺机自动找平系统，依托平衡梁或基准钢丝精准控制摊铺厚度、横坡与平整度。严格杜绝人工大面积修补、薄层贴补等违规操作，对局部离析、缺料部位采用细料人工精细填补。强化路基、基层交接验收，下承层强度、平整度、压实度不合格严禁铺筑面层，消除底层缺陷传导引发的路面病害。

(三) 碾压组合工艺优化与智能管控

推行分段、分区、分温度区间的组合碾压工艺, 严格遵循初压、复压、终压流程。初压快速稳定混合料形态, 复压重点保障压实度, 终压消除轮迹、优化表面平整度。严控碾压温度区间, 杜绝低温碾压造成压实困难、裂缝增多; 规范碾压路线, 禁止压路机在路面高温区域掉头、急停、转向, 防止表层挤压变形。引入智能压实监测系统, 实时采集碾压轨迹、遍数、振动参数与路面温度, 自动识别欠压、漏压区域, 实现压实质量数字化闭环管控, 有效抑制车辙与局部沉降病害。

(四) 施工接缝及薄弱部位处理

接缝是病害高发薄弱位置, 必须落实专项处理措施。纵向接缝优先采用热接缝梯队摊铺, 同步碾压咬合密实; 冷接缝需切割整齐、清理粉尘杂物、涂刷粘层油后搭接摊铺。横向平接缝切割垂直平整, 衔接处横向碾压过渡, 弱化接缝高差。针对检查井周边、桥头过渡段、加宽路段等压实盲区, 搭配小型振动夯实设备精细化作业, 避免局部松散开裂。全面规范透层、粘层、封层施工, 保证喷洒均匀、渗透充分, 构建完整层间粘结防水体系, 阻断水损害发育路径。

(五) 特殊气候施工专项防治

完善雨季、高温、低温季节施工方案, 恶劣天气条件下合理缩短施工段长度, 做到随铺随压、快速成型。雨天严禁沥青路面施工, 遇突发降雨及时清理未压实混合料; 高温时段错峰施工, 减少沥青老化与混合料形变; 低温环境适当提升出料温度, 缩短工序间隔时间, 做好保温防护, 抑制低温收缩裂缝。同步完善施工现场临时排水设施, 及时疏导积水, 避免施工区域长期积水浸泡。

五、后期管控与创新型防治措施

(一) 成品保护与早期病害处置

沥青路面成型后严格落实封闭管控, 完全降温冷却后方可开放通行, 严禁重载车辆提前碾压、制动滑行。安排专人常态化巡查, 及时排查细微裂缝、表层松散、局部泛油等早期缺陷, 采用密封灌缝、表层封护等微创工艺及时处置, 防止小病害持续扩张。规范成品保护流程, 杜绝施工废料、机械杂物堆放, 避免人为外力破坏路面结构。

(二) 新型材料与绿色防治工艺应用

推广橡胶改性沥青、温拌沥青、高模量沥青等新型环保材料, 提升混合料抗裂、抗车辙、耐老化综合性能。在基层与面层之间铺设土工格栅、应力吸收层、抗裂贴等加筋材料, 缓冲结构层应力传递, 有效抑制反射裂缝。依托低碳施工技术, 降低施工能耗与排放, 兼顾病害防治与绿色建造要求, 适配现代交通工程高质量发展需求。

(三) 数字化全过程质量监管

依托物联网、BIM 技术搭建施工管控平台, 实时汇聚拌合参数、运输温度、摊铺速度、碾压数据等关键信息, 实现施工全过程可追溯、可监控。利用智能感知设备实时捕捉施工异常数据, 自动预警违规操作与质量隐患, 推动病害防治由事后治

理转向事前预防、事中管控, 全面提升病害综合防治水平。

六、结论与展望

(一) 结论

公路沥青路面施工病害种类繁多、诱因复杂, 贯穿材料选配、拌合运输、摊铺碾压、接缝处理、成品养护全流程。裂缝、车辙、坑槽、泛油、水损害等病害的产生, 多源于管控体系不完善、施工工艺执行不规范、材料性能匹配不合理。只有坚持源头预防为主、过程管控为辅、后期快速修复补充的原则, 落实原材料精细化管控、配合比动态优化、标准化摊铺碾压、接缝专项处置、特殊环境专项防护等技术措施, 结合新型改性材料与数字化智能管控手段, 才能系统性降低施工病害发生率, 保障沥青路面整体施工质量与结构稳定性。

(二) 展望

未来公路沥青路面病害防治将朝着智能化、低碳化、长效化方向升级。人工智能检测、数字孪生模拟、智能碾压监测等技术会全面普及, 实现病害隐患精准预判; 低碳改性沥青、再生集料等绿色材料广泛应用, 推动养护施工绿色转型; 全生命周期管控理念深度落地, 实现设计、施工、养护一体化协同治理, 全面提升沥青路面耐久性能, 为交通强国建设提供坚实保障。

[参考文献]

- [1] 交通运输部. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40-2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 黄晓明, 廖卫东. 沥青路面早期病害机理及防控技术进展[J]. 中国公路学报, 2022, 35(08): 46-57.
- [3] 张磊. 高速公路沥青路面施工质量控制及病害防治对策[J]. 公路工程, 2023, 48(03): 168-173.
- [4] 刘阳. 沥青路面施工裂缝成因及综合防治技术研究[J]. 中外公路, 2023, 43(05): 79-83.
- [5] 王浩. 智能施工技术在沥青路面病害预防中的应用[J]. 施工技术, 2024, 53(02): 113-116.
- [6] 李建伟. 重载交通下沥青路面车辙施工防控技术[J]. 公路, 2023, 68(10): 214-218.
- [7] 周强. 温拌沥青混合料施工缺陷及防治措施[J]. 交通科技, 2024(01): 57-61.
- [8] 赵鑫. 公路沥青路面水损害成因及施工控制要点[J]. 中国市政工程, 2023(06): 46-50.
- [9] 陈明. 沥青路面智能碾压施工与质量优化研究[J]. 城市道桥与防洪, 2024(04): 199-202.
- [10] 吴云峰. 新型抗裂材料在道路沥青面层中的应用[J]. 交通节能与环保, 2023, 19(08): 157-160.
- [11] 黄涛. 复杂气候条件下沥青路面施工病害防控[J]. 路基工程, 2024(02): 146-150.
- [12] 董苗苗. 公路沥青路面全过程精细化施工管理研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(16): 133-135.