

公路沥青路面常见病害成因及养护技术研究

秦继荣

甘肃省天水公路事业发展中心高速公路养护所 甘肃 天水 741000

摘要：沥青路面作为我国公路网的主体结构形式，以其行车舒适、噪音低、施工便捷等优势被广泛应用。然而，在交通荷载、环境因素及材料老化等多重作用下，沥青路面易产生裂缝、车辙、坑槽、沉陷等多种病害，严重影响道路的使用性能与服役寿命。本文系统梳理了沥青路面八大类典型病害（裂缝、车辙、松散、坑槽、沉陷、拥包、泛油、唧泥）的形态特征，并深入剖析其内在成因，涵盖设计缺陷、施工质量、材料性能及外部环境等多维度因素。在此基础上，论文重点论述了针对不同病害的预防性与修复性养护技术体系，包括雾封层、微表处、超薄磨耗层、就地热再生、厂拌热再生等主流工艺的技术原理、适用条件与施工要点。旨在为提升我国公路沥青路面的养护科学化、精细化水平提供理论支撑与实践指导。

关键词：沥青路面；路面病害；成因分析；预防性养护；修复性养护

引言：公路交通是国民经济发展大动脉和民生保障重要设施，超 90% 高等级公路采用沥青混凝土路面结构，其因表面平整、行车舒适等优点成现代公路建设首选。但交通量增长、车辆轴载重型化及极端气候频发，使沥青路面服役中易受损，出现功能性或结构性病害。这些病害降低道路平整度、抗滑性和承载能力，影响行车安全与舒适，加速路面劣化，缩短使用寿命，增加养护负担。因此，科学认识病害发生机理、精准掌握成因并选择合适养护技术，是公路养护领域亟待解决的核心问题。本研究将对沥青路面常见病害系统分类、成因溯源，结合国内外先进技术与工程实践，构建完整病害防治与养护技术体系，助力我国公路养护事业高质量发展。

1 沥青路面常见病害类型及成因深度剖析

1.1 裂缝类病害

裂缝是沥青路面最早出现、也最为普遍的病害，是水分侵入路面结构内部的主要通道，常被视为其他病害的“始作俑者”。（1）横向裂缝：裂缝方向基本垂直于道路中心线。其主要成因有二：一是温度收缩应力，在寒冷季节，沥青混合料因降温而收缩，当产生的拉应力超过其抗拉强度时，便会在薄弱处开裂；二是半刚性基层反射裂缝，水泥稳定碎石等半刚性基层在干燥和温度变化下会产生收缩裂缝，在车辆荷载反复作用下，该裂缝会反射至面层。（2）纵向裂缝：裂缝方向基本平行于道路中心线。主要由路基不均匀沉降引起，如路基填挖交界处、软土地基处理不当、路基压实度不足或边坡失稳等。此外，施工接缝处理不良（如冷接缝未清理干净或压实不足）也是常见原因。（3）网状裂缝（龟裂）：

多条纵横交错的裂缝将路面分割成网状或龟甲状小块。这通常是路面结构整体承载能力严重不足的信号，表明基层或路基已发生破坏，无法有效支撑上部荷载。同时，沥青老化导致混合料变脆、失去粘结力，也是促成网裂的重要因素。

1.2 变形类病害

此类病害表现为路面宏观几何形状的改变，直接影响行车安全与舒适性。（1）车辙：在行车道轮迹带处形成的纵向带状凹槽。根据成因可分为失稳型车辙和结构型车辙。失稳型车辙源于沥青混合料在高温和重载作用下，沥青胶浆的抗剪强度不足以抵抗车轮的水平推力，导致集料骨架发生侧向位移。结构型车辙则是因为基层或路基的整体强度不足，在荷载作用下产生过大的永久变形，并传递至面层^[1]。（2）拥包：局部区域路面向上隆起，形成小丘状凸起。主要发生在交叉口、公交站台等车辆频繁启停、转向的区域。其成因是面层沥青混合料的稳定性不足，在水平力的反复搓揉下，沥青胶浆上浮并裹挟集料向受力方向迁移堆积而成。（3）沉陷：路面局部区域出现明显下沉，但无明显开裂。这通常是路基局部失稳或承载力丧失的直接表现，如地下管线渗漏淘空路基、路基填料含水量过高、或遭遇洪水浸泡等。

1.3 松散与剥落类病害

这类病害反映了沥青与集料之间粘结力的丧失。（1）松散：路面表层集料颗粒逐渐脱落、散失，露出下层或基层。根本原因是沥青与集料的粘附性差，尤其是在酸性石料（如花岗岩）与普通石油沥青搭配使用

时。此外，施工时混合料温度过低、碾压不实，导致沥青未能充分裹覆集料，以及长期水损害（沥青膜被水剥离）都会引发松散。（2）坑槽：松散病害的进一步发展，在行车荷载冲击下，松散的集料被完全带走，形成具有一定深度的凹坑。坑槽是危害性极大的病害，极易引发车辆爆胎等安全事故。

1.4 其他功能性病害

（1）泛油：高温季节，沥青混合料中的自由沥青在行车荷载作用下被挤压至路面表面，形成一层有光泽的沥青膜。这通常是因为混合料设计中沥青用量过多、矿粉用量不足，或施工时摊铺温度过高所致。泛油会降低路面的抗滑性能，雨天极易引发车辆侧滑^[2]。（2）唧泥：在裂缝或接缝处，车辆驶过时会有泥水被挤出现象。这表明路基或基层材料已被水浸泡软化，在荷载作用下形成泥浆，并通过路面缝隙被泵吸出来。唧泥是路基/基层水损害的典型标志，若不及时处理，将迅速导致路面结构的全面破坏。

2 沥青路面养护技术体系构建

面对上述复杂的病害谱系，单一的养护手段已无法满足需求。现代公路养护理念强调“预防为主、防治结合”，并据此构建了从轻度干预到重度修复的多层次技术体系。

2.1 预防性养护技术

预防性养护是在路面结构尚处于良好状态、仅出现轻微病害或功能性衰减时，采取的低成本、高效益的主动干预措施，旨在延缓病害发展，延长路面使用寿命。

2.1.1 雾封层（Fog Seal）

将稀释的慢裂型乳化沥青或专用再生剂，以雾状均匀喷洒于路面。其主要功能是封闭微裂缝、防止水分侵入、补充老化沥青的轻质油分、恢复集料间的粘结力。适用于路面轻微老化、渗水、细集料开始剥落但尚未形

成坑槽的情况。施工简便快捷，成本低廉，对交通干扰极小。优质的雾封层不仅能延缓病害，还能改善路面颜色，提升路容路貌。在材料选择上，现代雾封层多采用阳离子氯丁胶乳改性乳化沥青，其粘附性和渗透性远优于传统乳化沥青，能更有效地修复老化界面。

2.1.2 微表处（Micro-surfacing）

由聚合物改性乳化沥青、级配良好的细集料、矿物填料、水及添加剂按特定比例拌和而成的稀浆混合料，经专用设备摊铺于路面。它能快速形成一层耐磨、抗滑、防水的保护层，有效处治网裂、轻微车辙、泛油等病害，并显著改善路面的抗滑性能。微表处开放交通快（通常 1-2 小时），是高速公路和城市主干道预防性养护的常用技术^[3]。其核心在于聚合物改性乳化沥青（PMB），常用的聚合物为 SBR（丁苯橡胶）或 SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物），掺量通常为沥青质量的 3%-5%，能显著提升混合料的弹性恢复能力和抗裂性。施工时需严格控制拌和稠度（通常用粘稠度试验测定）和破乳时间，以确保摊铺均匀性和早期强度。

2.1.3 超薄磨耗层（Ultra-thin Wearing Course, UTWC）

一种厚度通常为 1.5-2.5cm 的间断级配热拌沥青混合料，采用同步摊铺工艺（先喷洒一层高粘改性沥青粘层，再立即摊铺热混合料）。UTWC 兼具优异的抗滑、降噪、防水和抗车辙性能，特别适用于交通量大、对行车舒适性和安全性要求高的高等级公路，用于恢复路面功能和提升服务水平。其开放式或半开放式级配结构能有效排除路表水，极大降低雨天行车的水漂风险。关键技术在于高粘改性沥青的应用，其 60℃动力粘度需达到 20,000 Pa·s 以上，以确保在高温下仍能牢牢裹覆粗集料，形成稳定的骨架结构。同时，同步摊铺工艺要求粘层油喷洒与混合料摊铺的时间间隔控制在数秒之内，以保证层间热粘结效果。

表 1 主要预防性养护技术对比分析

养护技术	典型厚度 (mm)	主要功能	适用病害	开放交通时间	成本指数 (相对)
雾封层	< 1	封闭微缝、防水、复原老化沥青	轻微老化、渗水、细集料剥落	< 1 小时	低 (1.0x)
微表处	5 - 10	抗滑、防水、处治网裂、轻微车辙	网裂、轻微车辙、泛油、抗滑不足	1 - 2 小时	中 (2.5x)
超薄磨耗层	15 - 25	高抗滑、降噪、强防水、抗车辙	功能性衰减、中度车辙、抗滑严重不足	2 - 4 小时	高 (4.0x)

注：成本指数以雾封层为基准（1.0x），数据为典型范围值。

2.2 修复性养护技术

当路面病害已发展到影响结构安全或服务功能的程

度时,必须采用修复性养护技术进行结构性处治。

2.2.1 就地热再生 (Hot In-place Recycling, HIPR)

利用专用设备在现场对旧沥青路面进行加热、翻松、添加再生剂及新沥青混合料,然后重新摊铺、碾压成型。该技术实现了 100% 原路面材料的循环利用,节能环保,且能有效消除车辙、拥包等变形类病害,恢复路面平整度。适用于面层损坏但基层完好的路段,再生深度一般不超过 5cm。其核心优势在于施工速度快,对交通影响小,且能很好地保留原有路面的横坡和标高。技术关键在于精确的温度控制,加热机组需将旧路面加热至 130-160℃,既要保证沥青充分软化以便再生,又要避免过度加热导致沥青老化。添加的再生剂多为芳香烃油或特殊合成再生油,能有效补充老化沥青缺失的轻质组分,恢复其流变性能。

2.2.2 厂拌热再生 (Central Plant Hot Recycling)

将回收的旧沥青路面材料 (RAP) 运至拌和厂,破碎筛分后,按一定比例与新集料、新沥青及再生剂重新拌和,形成再生沥青混合料,再运回现场摊铺压实。该技术对 RAP 的掺配比例控制更精确,再生混合料的质量更稳定,可用于各等级公路的中下面层,甚至上面层 (需严格控制 RAP 掺量和品质)。随着再生剂技术的进步,厂拌热再生混合料的路用性能已能媲美甚至超越全新混合料^[4]。目前,国内规范允许在中下面层掺加高达 40% 的 RAP,而在上面层,通过使用高活性再生剂和温拌技术,掺量也可达 20%-30%。拌和时需采用二次添加法,即先将 RAP 与新集料干拌,再加入新沥青和再生剂湿拌,以确保混合均匀。

2.2.3 铣刨重铺

对于病害严重、涉及多层结构的路段,最彻底的修复方法是铣刨掉所有损坏的结构层,重新铺设新的基层和面层。虽然成本高昂、工期长、交通影响大,但从根本上解决路基、基层和面层的所有问题,适用于大中修或改造工程。在铣刨过程中,可结合探地雷达等无损检测技术,精确定位各结构层的损坏深度,实现精细化铣刨,避免过度开挖。新铺面层常采用高性能沥青混合料,如 SMA (沥青玛蹄脂碎石) 或 OGFC (开级配抗滑磨耗层),以提升路面的耐久性和功能性。

3 养护决策支持与未来展望

高效的养护工作离不开科学的决策支持。现代养护管理正朝着信息化、智能化的方向发展。通过定期的路况自动化检测 (如激光断面仪、探地雷达、三维路面成像系统),获取路面破损率 (PCI)、国际平整度指数 (IRI)、横向力系数 (SFC) 等关键指标,建立路面性能预测模型,可以精准评估路面状况,并基于寿命周期成本分析 (LCCA) 方法,从多种备选养护方案中选出最优策略。展望未来,沥青路面养护技术将更加注重绿色低碳与智能融合。一方面,再生技术的应用比例将持续提高,生物沥青、温拌技术等新材料、新工艺将进一步降低养护过程的能耗与碳排放。另一方面,基于 BIM+GIS 的数字孪生养护平台将实现对路面资产的全生命周期管理,结合物联网传感器实时监测路面健康状况,推动养护模式从“被动响应”向“主动预测”转变,最终实现公路基础设施的可持续、高质量发展。

4 结语

公路沥青路面病害的防治是一项系统工程,需要深刻理解病害的内在成因,并据此选择科学、匹配的养护技术。本文通过对裂缝、车辙、松散、沉陷等八大类病害的成因进行细致剖析,揭示了设计、施工、材料与环境等多因素的耦合作用机制。在此基础上,系统阐述了以雾封层、微表处为代表的预防性养护技术和以热再生、铣刨重铺为核心的修复性养护技术体系,并通过对比分析明确了各类技术的适用边界。未来的养护工作应依托先进的检测评估手段和智能化决策平台,坚持预防为主、绿色低碳的原则,不断提升我国公路网的服务品质与韧性,为交通强国建设奠定坚实的路基。

参考文献

- [1] 朱传坤. 高速公路沥青路面病害成因及养护技术[J]. 四川水泥, 2026, (02): 205-207.
- [2] 陈国利. 公路工程沥青路面病害成因及预防性养护技术研究[J]. 时代汽车, 2026, (04): 157-159.
- [3] 张劲桥. 公路沥青路面常见病害及养护技术措施[J]. 四川建材, 2024, 50(05): 153-154+157.
- [4] 张红梅. 公路沥青路面常见病害养护技术分析[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(01): 33-35.