

高速公路沥青混凝土路面预防性养护措施

沈本磊

(四川蜀道养护集团有限公司, 四川 成都 610011)

摘 要 高速公路沥青混凝土路面作为交通基础设施的核心组成部分, 其服役性能直接影响行车安全、舒适性及通行效率。本文以路面性能衰变规律为切入点, 分析判定预防性养护干预时机的理论依据, 揭示了“缓变—拐点—陡变”三阶段演化特征及其对养护窗口期确定的意义, 在此基础上, 深入剖析了开裂、坑槽等典型病害的成因以及演化特征, 并针对上述病害类型, 阐述了雾封层、微表处等预防性养护技术的适用条件, 以期在高速公路沥青混凝土路面预防性养护工程实践提供参考。

关键词 高速公路; 沥青混凝土路面; 预防性养护

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.014

0 引言

高速公路沥青混凝土路面在使用过程中长期受到交通荷载及外部环境共同作用, 传统养护模式习惯于在路面出现明显破损后才采取修补措施, 这种被动响应的方式导致养护成本急剧攀升, 也无法复原路面结构的完整性。预防性养护理念主张在路面全寿命周期中合理配置预防性养护措施, 依据路面性能衰变规律及病害发展趋势, 在结构承载能力尚未明显下降之前提前介入, 尽可能把病害控制在初始阶段。

1 高速公路沥青混凝土路面预防性养护干预时机

确定预防性养护干预时点实质上是依据路面性能变化特征, 科学统筹养护资源的决策过程, 高速公路沥青混凝土路面劣化呈现“缓变—拐点—陡变”三阶段特征: 服役初期性能衰减缓慢为“平稳期”; 随着服役时间延长以及轴载持续累积, 路面内部开始出现微裂缝、细微空隙等早期损伤, 随之加快性能下降速度, 路面也由此进入“转折期”^[1]。若此时仍未采取防护措施, 便会继续扩展原有损伤, 路面很快滑入“失效期”并逐步表现出结构性破坏特征。在具体判断干预时机时, 若只依赖 PCI、RQI 等宏观指标无法及时反映路面内部早期病害的发展情况, 因为此类指标通常建立在表面功能变化已经较为明显的基础上, 因而具有一定的滞后特征。相较而言, 探地雷达、红外成像及激光扫描等检测技术能更早获取基层脱空、层间黏结性能减弱以及局部细微变形等隐性劣化信息, 借助这类技术手段可以在路面外观尚未出现明显异常之前, 提前识别内

部损伤演化趋势, 进一步增强预防性养护的前瞻性^[2]。

2 高速公路沥青混凝土路面破坏原因分析

2.1 路面开裂病害

高速公路沥青混凝土路面表面出现裂缝后, 地表水便会沿缝隙向结构内部渗入, 并逐步侵蚀基层甚至路基, 进而削弱路面的整体承载能力。随着水损害持续发展, 路面内部结构稳定性不断下降, 也随之形成病害扩展的条件。在车辆荷载的反复作用下, 裂缝边缘极易发生碎裂剥落, 会持续扩宽延伸原有裂缝, 若未及时处置部分早期看似并不严重的细微裂缝, 会在较短时间内演变为更大范围的结构性破损。裂缝的危害并不只体现在表面形态变化上, 更重要的是会打破路面原有的整体受力状态, 裂缝形成后, 局部区域的应力分布会发生明显改变, 原本由较大范围路面共同分担的车辆荷载逐渐集中到裂缝两侧较小区域, 进而加快该部位材料的疲劳损伤, 会明显加快路面性能衰减速度。

2.2 坑槽病害

坑槽是沥青路面病害中对行车安全影响最直接的一类问题, 车辆在高速行驶过程中一旦突然碾入坑槽, 会瞬间打破轮胎同路面的正常接触状态, 降低车辆的操纵稳定性, 车轮与坑槽边缘接触时还会产生较大的冲击力, 这种冲击会损伤轮胎、轮毂及悬挂系统, 也会反过来加剧路面的局部破坏。从结构受力角度看, 坑槽形成后破坏原本连续的路面表层, 坑槽边缘随之成为新的应力集中区域, 在车辆荷载反复作用下, 边

作者简介: 沈本磊 (1988-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路与桥梁。

缘位置会不断出现碎裂现象^[3]。若坑槽内部存在积水，车辆驶过时还会产生明显的动水压力，反复冲刷坑底及坑壁，进一步加快病害发展速度。更重要的是，坑槽的形成通常表明该区域沥青混合料的黏结性能已经发生明显破坏，单纯依靠表层修补无法从根本上恢复其使用性能。

2.3 松散病害

松散病害不断减弱沥青结合料对集料颗粒的黏结及裹覆能力，进而无法维持路表结构的稳定性，病害发生初期，路面表面通常只表现出轻微的贫油特征，整体变化并不明显，肉眼较难直接识别，但此时路面的渗水能力已经开始上升。随着病害持续发展，表层集料逐步脱落，破坏路面原有的均匀纹理，构造深度也随之发生变化，路表状态由相对密实转变为粗糙且不均匀的状态。表面集料脱落后，削弱路面的整体稳定性的同时，还会在车辆反复碾压作用下形成附加磨损，散落在路面的颗粒可能对周边完好区域产生研磨作用，导致相邻部位损伤。与此同时，随着脱落集料不断增加，剩余集料需要承受更大的荷载作用，沥青黏结系统内部应力也随之上升，路面的排水特性也会发生改变，原本应沿表面排出的水分更容易渗透至结构内部，为后续水损害提供条件。

2.4 沉陷病害

沉陷病害对行车舒适性的影响较为直接，车辆驶入沉陷区域后，车身会随路面凹陷产生明显起伏，若沉陷程度继续加重，高速行驶状态下还可能引起车辆

跳动，导致轮胎与路面接触状态不稳定，进而削弱车辆操控的安全性。除了影响通行体验，沉陷还会改变路面结构的受力状态，由于沉陷区域处于非均匀支撑条件下，凹陷边缘承受更大的弯拉应力，加剧局部应力集中现象，这也使该部位更容易出现纵向裂缝^[4]。而路面沉陷也会破坏原有的路面坡度条件，减弱横坡及纵坡排水功能，凹槽部位因此更易形成积水，车辆反复碾压积水区域后会产生较强的动水压力，促使沥青膜剥离及集料松散，进一步加快路面损坏。

2.5 路面车辙

车辙从初始出现到严重影响使用性能通常会经由轻到重的发展过程(如表1所示)，初期车辙深度较小，对通行功能的影响还不十分突出，但随着变形持续累积，路面横向形态发生改变，车辆在变道或超车时需要跨越车辙边缘，轮胎受力状态随之突然变化，实际转向响应容易与驾驶员预期产生偏差，从而增加操控难度。尤其在雨天条件下，车辙槽内容易积水且排水不畅，车辆高速通过时减弱轮胎同路面的有效接触面积，增加水漂的风险的同时也会延长制动距离。从材料状态来看，车辙的形成说明轮迹带区域的沥青混合料内部结构已经发生变化，槽底部位在持续压密及剪切作用下，容易出现集料压碎、沥青上浮等现象，导致抗剪强度不断下降；而车辙两侧的隆起部分则由于材料横向挤移而逐渐变得疏松，随之减弱抗松散能力。在后续交通荷载持续作用下，车辙深度还会继续增长，并由功能性问题逐步演变为影响路面整体稳定性的结构性问题。

表 1 车辙发展三阶段特征

发展阶段	车辙深度范围	变形特征	主要发生区域
初期压密阶段	0 毫米～ 5 毫米	通车初期混合料进一步压密，变形速率较快但逐渐减缓	全断面均匀分布
中期剪切流动阶段	5 毫米～ 15 毫米	高温下沥青混合料剪切流动，轮迹带下陷、两侧隆起	集中于轮迹带
后期失稳阶段	> 15 毫米	集料骨架破坏，变形速率重新加快，伴随纵向裂缝	轮迹带及周边区域

3 高速公路沥青混凝土路面预防性养护措施

3.1 雾封层养护技术

路面在服役过程中，表层沥青因老化、氧化而逐渐失去柔韧性，逐渐增多细微裂缝以及连通空隙，这些细微缺陷虽然不影响路面整体承载能力，却成为地表水下渗的通道。雾封层技术正是针对这一阶段的表层功能衰减而设置的预防性措施，材料喷洒后能渗入表层孔隙，并在固化后形成连续致密的防水膜，从而阻断水分进入路面结构，减缓沥青进一步老化，维持路面的防水性能及表层完整性。从技术经济特征看，

雾封层属于典型的薄层处治措施，其处理对象主要集中在路面表层，无需进行铣刨、加热等高能耗工序，因此施工资源消耗相对较低。一般情况下，材料用量控制在每平方米 0.5 L ～ 1.5 L 即可满足使用要求，与铣刨重铺等措施相比，雾封层能够以较小的投入恢复路面表层功能，具有较高的资源利用效率。除成本优势外，雾封层对交通运行的干扰也相对较小，这一点对于高速公路养护尤为关键，由于施工工艺简单且作业速度较快，喷洒完成后经过较短时间即可恢复通行，车道封闭时间明显短于多数常规养护措施。

3.2 微表处养护技术

实施微表处技术通常建立在原路面结构强度基本稳定、病害以表层功能性问题为主的前提下,施工前需先调查路面状况,重点检查是否存在严重沉陷、贯通裂缝及基层失稳等结构性病害。若原路面只表现为抗滑性能下降、轻度车辙、表面磨损或局部细小裂缝,便可将微表处作为预防性养护措施。在正式施工前,还要完成路面清扫以及处理病害,彻底清除松散颗粒、泥土及杂物,以保证微表处能与原路面形成良好结合。在施工过程中,应根据路面病害类型及设计要求合理确定混合料配比,使其既具备足够的和易性,又能在短时间内完成破乳成型。摊铺时,在摊铺槽内均匀分布混合料,并沿路面形成具有一定厚度的功能层对于轻微车辙路段,可调整摊铺厚度及施工遍数填补修正低洼部位;对于抗滑性能衰减明显的路段,则重点依靠表层重新构造均匀纹理,以恢复路面的构造深度及摩擦能力。摊铺完成后,混合料会在较短时间内完成成型并开放交通,这也是微表处适用于高速公路养护作业的重要原因。

3.3 裂缝嵌缝养护技术

裂缝嵌缝养护的实施,关键在于把握好“病害判定—裂缝处理—材料灌填—成型检查”这一连续流程,施工前需先梳理裂缝状况,重点判断裂缝类型、宽度、深度及分布范围,并区分活动裂缝以及稳定裂缝。对于仅表现为表层开口、尚未引起明显松散和沉陷的早期裂缝,可优先采用嵌缝处置;若裂缝已经伴随网裂、坑槽或基层受损,则不宜单独采用该方法。完成病害判定后,应使用开槽设备沿裂缝走向进行顺直开槽,使缝壁形成较为规则的断面,为后续材料填充创造条件。开槽完成后,必须彻底清理缝内杂物及潮气,裂缝内部若残留粉尘、松散颗粒或积水,都会削弱嵌缝材料同缝壁之间的黏结效果。完成清缝后即可进行灌缝施工,嵌缝材料加热温度应严格控制在规定范围内,避免因温度过高导致材料老化,或因温度不足影响流动性及填充密实度^[5]。灌缝时应沿裂缝均匀缓慢注入,使材料自下而上充满缝体,紧密结合缝壁,不能出现空鼓、断续及表面明显凹陷等问题,对于较宽裂缝,可分次灌填并适当整平,保证成型后的缝面饱满顺直。这种局部化的处理方式保留了原路面的整体性,避免了大规模施工对路面结构的扰动。

3.4 薄层罩面养护技术

薄层罩面的施工效果取决于病害处治、层间黏结及铺筑压实三个环节能否形成连续控制,施工前应先

检查原路面,重点判断车辙、裂缝、松散及局部沉陷的发展程度,确认其是否具备罩面条件。若路面已经出现明显结构性损伤、基层失稳或严重沉陷问题,必须先完成病害处治再组织后续施工。对于满足实施要求的路段,还应彻底清除灰尘、杂物及松散颗粒,保证原路面处于干净干燥状态,为新铺层稳定附着提供基础。在前期处理完成后,粘层油喷洒便成为保证新旧路面协同受力的关键,喷洒量不足,罩面层容易在车辆荷载反复作用下产生推移、脱空和剥离现象;喷洒量过大又会削弱层间稳定性。因此,施工中需要结合原路面状况、环境温度以及材料类型合理控制用量,并保证喷洒均匀,待粘层油达到适宜状态后方可进行混合料摊铺,避免因衔接不当影响层间结合效果。进入铺筑阶段后,应重点控制摊铺厚度、摊铺温度及压实质量,薄层罩面虽然铺筑厚度较小但对精度要求很高,若厚度不均或摊铺间断便容易引发离析、接缝不顺及表面不平整等问题。碾压作业应紧跟摊铺推进,在适宜温度范围内完成初压、复压及终压,使罩面层既具备足够密实度又保持必要的表面构造。该技术主要适用于交通量较大、原路面存在轻度疲劳及表层病害的路段,规范实施后能较好恢复路表功能并延缓损坏发展。

4 结束语

高速公路沥青混凝土路面的预防性养护,关键在于把养护重心前移到病害扩展之前,科学识别性能衰减拐点,尽早采取针对性措施,将路面损伤控制在可修复的阶段。未来,高速公路路面养护还应进一步强化检测数据支撑,提升隐性病害识别能力,推动养护决策由依赖经验判断逐步转变为基于数据分析的科学决策,不断提高路面使用性能、运营安全水平及养护资金利用效率。

参考文献:

- [1] 董洪学.高速公路预防性养护技术设计方案研究[J].科技创新与应用,2025,15(34):107-110.
- [2] 彭礼鹏.高速公路路面养护中再生雾封层技术的应用[J].交通世界,2025(32):84-86.
- [3] 戴雨欣.某高速公路沥青混凝土路面预防性养护技术分析[J].四川水泥,2025(09):189-190,193.
- [4] 申植元.论沥青混凝土路面预防性养护措施[J].交通科技与管理,2024,05(08):149-151.
- [5] 闫平.浅谈高速公路预防性养护沥青混凝土路面施工技术管理[J].低碳世界,2021,11(07):172-173.