

基于全寿命周期效益的沥青路面养护策略探究

崔振文¹ 李永强²

1. 中冶置业集团有限公司 北京 100080

2. 天津市交通科学研究院 天津 300074

摘要: 目前,对公路管理部门而言,必须革新传统工作理念,强化新型技术应用,制定更为科学、完善、合理的养护决策方案,推动养护工作创新发展,为公路交通稳定运行,区域经济高质量发展起到积极促进作用。路面养护是道路全寿命周期管理的重要组成部分,实行“建养并举”的模式,把智能检测系统与科学管理系统结合起来,使养护方案决策不失衡。

关键词: 全寿命周期效益; 沥青路面; 路面养护

引言

随着我国交通运输行业的快速发展,公路交通网络覆盖范围越来越广泛。沥青路面是我国公路主要的路面形式之一,随着道路使用年限的增加,路面的各类损伤逐渐凸显,沥青路面裂缝是最常见的道路损伤类型。沥青路面出现裂缝损伤,首先会影响路面摩擦系数,致使路面的光滑程度大幅提高,严重时会导致交通事故。路面出现裂缝后,会在基层向纵深延展,破坏路面结构,降低路面荷载,严重时会影响道路的正常行驶。此外,路面出现裂缝会导致基层形成存水区域,不仅不利于路面排水还会扩大道路病害,影响路基的稳定性和耐久性,因此对沥青路面裂缝展开研究十分必要。然而,公路建设情况受建设地点、气候条件等诸多因素影响,路面裂缝产生原因和危害不可一概而论,因此应根据道路建设的实际情况进行针对性研究。

一、公路沥青路面病害类型及特征

依照我国公路沥青路面病害处理相关标准,在日常养护工作开展中,主要存在如下几种病害类型:(1)裂缝类病害,如与道路中心线相垂直的横向裂缝,与道路中心线相平行的纵向裂缝,呈不规则和网状、块状分布的龟裂等。(2)松散类破坏,例如在道路表面出现集料散失、表皮剥落并伴有小坑洞形式的松散破坏;表面出现2cm深度以上、面积在 $0.2 \times 0.2\text{m}$ 之间的坑槽现象;由于车辆轨迹作用导致的带状凹槽破坏等。(3)变形类破坏,主要是表现为路基竖向变形导致的路面下凹和沉陷破坏;路面表层出现局部隆起和波浪状的涌包现象等。(4)在道路表面出现发亮的薄油层式泛油破坏,或

者是由于路面表层原有粗构造衰退及丧失,导致路面磨光等破坏现象。公路沥青路面病害现象的发生,不仅直接对道路交通运行安全产生影响,出现车辆行驶故障等现象,还会对道路运行寿命产生影响。传统养护工作开展中,主要是采用人工观察和检测方式识别病害现象,工作效率较为低下,难以及时发现养护作业范围内的病害现象,病害处理不够及时,道路交通安全管理工作相对较为滞后^[1]。近些年来,随着新型技术应用更加广泛,基于图像处理技术的目标检测方法、基于机器学习和深度学习的检测方法,在公路沥青路面病害识别和养护工作中的应用更加广泛,推动养护工作朝向精细化方向发展,养护工作成效不断提升。因此在公路部门养护工作中,必须构建起以新型技术为支撑的新型病害识别体系,精准评估路面运行中存在的病害现象,以预防性理念为指引,推动养护工作创新发展,以此才能够有效提升公路路面运行质量,为确保公路交通运行安全提供坚实保障。

二、沥青路面裂缝类型及成因

1. 横向裂缝

这主要与行车道垂直,缝宽大小不一,总体处于3~7mm范围内,裂缝的弯曲度较大,且末端多有分岔,裂缝的周边伴随着路面塌陷、破碎以及局部剥落等问题。根据横向裂缝的分布情况,可以判断其形成主要是荷载作用和低温缩裂作用,在车辆荷载作用下,路面的拉应力超过其疲劳应力范围,从而导致路面结构受损,出现结构性裂缝^[2]。除却车辆荷载的作用,受新疆冬夏温差大的影响,导致沥青面层出现较大的膨胀和收缩,形成收缩裂缝。由于道路使用年限逐渐增加,收缩裂缝逐渐

扩展，形成基层的反射裂缝，进一步扩大了路面的损伤程度。

2. 纵向裂缝

这主要沿道路的中心线分布，集中分布在车道的中间，裂缝宽度整体在4~6mm范围内。纵向裂缝的形成主要与施工过程和道路结构有关，在路面沥青混合料摊铺过程中若分幅衔接不完整，在道路使用过程中会在车辆荷载的作用下逐渐出现衔接性裂缝，这种裂缝通常延伸范围较长，且宽度较大，对道路结构稳定性影响相对较大；其次，在沥青混凝土路面进行压实处理过程中，因压实程度不够或者压实均匀性较差等会导致路面结构强度差异较大，在路基边缘等结构强度较低的位置容易形成存水区域，从而导致路面出现局部沉陷，损伤进一步扩大后形成纵向裂缝。

3. 成因

初始裂缝形成后在荷载和温度的作用下会进行扩展延伸，当横向裂缝和纵向裂缝共同出现时会在一定程度上阻断其延伸趋势，甚至会形成网状裂缝。为深入研究横、纵向裂缝的相互作用关系，对横向裂缝的平均间距和纵向裂缝的长度进行对比。可以看出，横向裂缝的间距对纵向裂缝的发展有明显的相关性，当横向裂缝间距整体较小时，随着横向裂缝间距增大，纵向裂缝的长度变化较小，并展示出一定的不连续性，这可能是因为在温度影响下，沥青材料发生收缩，从而形成横向裂缝。由于温度作用时间短，横向裂缝快速延展，此时纵向裂缝对温度响应较慢。随着横向裂缝的进一步积累，路面受到车辆荷载作用次数逐渐增加，损伤程度进一步扩大；当纵向裂缝与横向裂缝交汇时，车辆荷载作用对纵向裂缝的挤压作用被横向裂缝抵消一部分，降低疲劳损伤，使得纵向裂缝在横缝处不连续^[3]。随着横向裂缝间距增大，纵向裂缝逐渐增大，就实验路段而言，横向裂缝的平均间距从16m增加到28m的过程中，纵向裂缝的长度增加了70m，增幅达到233%。这主要是因为横向裂缝间距较大，表明当前路段抗裂性能较好，此时路面的剪切疲劳发育更大，因而纵向裂缝的连续性更强，长度更大。

三、基于全寿命周期效益的沥青路面养护策略

1. 预防性养护

(1) 开槽灌缝工艺

开槽灌缝工艺是一种常用于公路路面维护和养护的方法，主要用于填补路面上的裂缝，防止裂缝扩大并保持路面的稳定性。在开始开槽灌缝工艺之前，首先需要进行槽口准备。这涉及使用专门的设备，如槽口切割机，

对路面进行切割，形成一条细长的槽。槽的宽度和深度会根据路面的裂缝情况和具体养护要求进行调整。切割槽后，需要将槽内的灰尘、杂物和老化的沥青材料清除干净，以确保养护材料能够充分附着在裂缝内部。这一步骤通常使用高压气枪、风扫机等设备进行清理。养护材料是开槽灌缝工艺的关键^[4]。这些材料通常是沥青胶结剂、沥青混合料、聚合物改性材料等。这些材料具有填充裂缝、防水、提高路面抗老化性能的功能。一旦槽口准备就绪，操作人员将预先准备好的养护材料灌注到槽内。通常使用专用的养护材料喷洒设备，将材料均匀地注入槽中，确保材料填满整个裂缝。充入槽内的养护材料会逐渐固化和硬化，形成一个连续、密封的表面层。这一层可以防止水分渗透，阻止裂缝扩大，提高路面的抗损性能。在养护材料固化之后，可能需要进行表面处理，以确保养护后的路面与周围的路面平整度和摩擦性能相匹配。这可能涉及摊铺薄层沥青混合料或其他表面涂层。在养护材料固化后，可能需要一段时间的养护期，以确保养护材料达到最佳性能。在这个阶段，通常会限制车辆的通行，以避免对新养护层的损害。开槽灌缝工艺的优点在于可以有效地修复裂缝，防止裂缝扩大，提高路面的耐久性和稳定性。养护材料通常具有良好的防水和防渗性能，能够有效隔离外界的水分和化学物质，减缓路面老化速度，延长路面使用寿命。并且开槽灌缝工艺相对于其他养护方法来说，施工速度较快^[5]。一旦槽口准备就绪，养护材料可以相对迅速地注入槽内，减少交通中断时间。开槽灌缝适用于不同类型的路面，包括沥青路面、水泥混凝土路面等，适用于多种路况和环境。

(2) 雾封层施工工艺

雾封层施工工艺，也被称为雾化封层施工工艺，是公路养护中常用的一种表面处理方法，用于保护和修复沥青路面。它是在路面表面喷洒一层细小的沥青颗粒，形成一个薄而均匀的覆盖层，以提高路面的抗水、抗紫外线、抗老化性能，同时改善路面的摩擦性能和外观。这个工艺在维护老化路面和延长路面寿命方面具有重要作用。预处理：在进行雾封层施工之前，需要对路面进行预处理。这可能涉及清洁路面，去除杂物、油污和老旧的路面材料，以确保雾封层能够附着在路面表面。雾封层所使用的沥青材料通常是特殊配制的，以具有适当的黏度和特性。这些材料经过加热，使其成为液态状态，以便于喷洒。在路面表面喷洒沥青颗粒，这些颗粒通常是通过专用的喷洒设备雾化喷射而出。喷洒过程中，沥

青颗粒在空中形成雾状，均匀地覆盖整个路面^[6]。喷洒沥青颗粒后，通常使用辊压等设备将颗粒均匀铺展在路面上。这有助于确保雾封层的均匀厚度和紧密贴合，提高其效果和持久性。雾封层施工后，沥青颗粒会逐渐固化和硬化，形成一个保护层。在这个过程中，需要一定的时间进行养护，以确保雾封层能够达到预期的性能。

2. 矫正性养护控制要点

(1) 路面再生方案控制

矫正性维修过程中，沥青混合料的结构力学特性发生改变，直接影响到沥青混合料的承载能力与服役性能。在此基础上，提出了一种以沥青路面生命周期利益为基础的结构重构方法。沥青混合料是沥青混合料中最常用的一种，它直接关系到沥青混合料的服役性能和使用寿命。沥青混凝土路面改建工程的施工方案，直接影响到其后期的维修费用。路面修补是一场相对完备的路面修补“大型手术”，要从设计、材料选择和施工三个方面进行控制，以保证路面修补的费用和品质。对道路维修的各个阶段进行综合分析，综合考虑到工程效益和维修费用，对维修计划进行合理的决策。在此基础上，以生命周期收益为基础，从结构设计、实施方案和改性材料选择三个方面对沥青路面进行再利用，以达到最大投资收益^[7]。在此基础上，结合公路改造目标的要求，全面考虑各个阶段对路面维修目标的影响，分析期望的改造目标的侧重性，以达到公路维修目标。由于单一因素难以反映出公路养护管理的实际效果，因此，生命周期设计的核心是利益最大化。根据重要程度确定公路维修计划。

(2) 路面再生养护措施要点

在沥青路面生命周期收益的基础上，将技术因素引入到沥青路面的维修计划中。沥青路面再生材料（RAP）的资源化利用与多样化利用，是实现资源与环境保护的最大效益，是实现绿色、高质量发展的一项重要经济成本指标。随着废旧沥青用量的增大，其温敏性能下降，回弹性能下降，导致其低温、抗疲劳性能下降。废旧沥青材料由于丧失了表层多孔结构特性，在与沥青长期粘附的过程中，在其表层生成粘结薄膜，且新旧沥青的掺入量增大，导致其粘结强度下降。回收的粗集料因其密度较低，对沥青具有较强的吸附性，因此也可提高其最优掺量。再生沥青混合料柔韧性恢复、高温稳定和低温性能的保障，以及其抗疲劳、抗老化和抗剥落性能的优

劣，是目前急需解决的关键科学问题^[8]。因此，提高材料的综合利用率，提高材料的综合利用效率，提高材料的路用性能，是一项值得研究的课题。通过新型材料、再生剂与先进再生工艺相结合的方法，实现再生材料与再生材料的最佳组合，从而实现对道路性能的有效控制，减少施工成本。

结束语

总之，通过对维修对策的研究，既能满足路面的服役需求，又能确保整个生命周期的收益最大化。本项目拟从经济、环境、社会三个层面对其进行全面的生命周期效益分析，并将其与维修技术及维修方法相结合，形成一套完整的维修系统，以达到预期的效益目标。在一定的规范与限制下，使公路的收益达到最大，从而使公路的维修费用达到最低。

参考文献

- [1] 刘富勤, 秦雅淇, 郭伟鹏, 万娟. 基于全寿命周期的国道养护综合效益分析[J]. 公路, 2023, 68(05): 336-345.
- [2] 刘士南, 王厚植, 张磊, 陈辉民, 杨军. 基于全寿命周期的环氧再生路面碳排放研究[J]. 材料导报, 2022, 36(S2): 121-128.
- [3] 刘海. 基于全寿命周期的路面养护费用控制技术[J]. 交通建设与管理, 2021, (03): 88-89.
- [4] 李超. 公路养护维修中常见病害及全寿命周期养护管理[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(06): 254+256.
- [5] 兰勇烽, 龚余富, 洪盛祥, 陈涛. SMA路面就地热再生全寿命周期综合养护效益分析[J]. 现代交通技术, 2020, 17(05): 5-12.
- [6] 宋庄庄, 朱洪洲. 沥青路面全寿命周期节能减排策略案例研究[J]. 中外公路, 2020, 40(05): 36-42.
- [7] 刘甲荣, 王晓燕, 杨伟刚, 马士杰, 王凯. 永久性沥青路面结构全寿命周期内的能耗与碳排放分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(06): 111-113+117.
- [8] 柯文豪, 雷宇, 陈团结. 基于路用性能的沥青路面全寿命周期设计方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2013, 33(03): 7-13.