

公路沥青路面养护与病害修复施工技术分析

文 / 李发兰 青海省玉树公路总段结古公路段

摘要：公路沥青路面养护是保障道路通行能力与行车安全的重要手段，而沥青路面在运行一段时间后可能出现各种病害，需要采取有效的施工技术予以修复，以确保道路交通运行顺畅安全。基于此，本文阐述了公路沥青路面养护的意义，并分析了常见病害的类型成因。之后细致分析了公路沥青路面养护的技术体系及病害修复施工技术。在科学养护与精准修复的支撑下，能够使沥青路面使用寿命得以延长，进而提高公路服务水平，为车辆行人通行提供安全便利的条件。

关键词：公路；沥青路面；养护；病害修复；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.073

引言

近年来，我国交通事业迅猛发展，公路里程数也不断增加。沥青路面是公路建设中最常用的路面类型之一，具有平整舒适、行车噪音小等优点。不过，在长期使用过程中，沥青路面在车辆荷载及自然环境等因素的影响下，容易出现裂缝、车辙、坑槽等病害，不但影响行车舒适安全，还会缩短路面使用寿命。尽管当前公路沥青路面养护及病害修复已取得一定进展，但仍存在技术选择不当和修复效果不佳等问题，还需继续深入研究，并进一步完善施工技术措施。

一、公路沥青路面养护的意义

公路沥青路面是现代交通体系中的关键部分，其养护工作具有重要的价值意义。在经济层面上，及时有效的养护能避免路面病害恶化，减少大规模返修带来的高额费用。如果小病害得不到处理，会逐渐发展为严重损坏，修复成本也会成倍增长。而科学养护能将资金合理分配到预防和小修上，实现成本节约。在安全性上，完好的沥青路面可为车辆提供稳定行驶条件，裂缝、坑槽等病害会使车辆颠簸，影响驾驶操控性，甚至诱发交通事故。而及时的养护可降低这些风险，保证道路通行安全^[1]。此外，良好的路面也有助于提升运输效率，减少车辆磨损及能耗，让货物运输更为顺畅便捷，间接促进区域间的经济交流合作。优质的公路形象也是展示城市文明的窗口，能提升城市整体风貌和吸引力，因此具有多个层面上的重要意义。

二、公路沥青路面常见病害类型成因

（一）裂缝类病害

横向裂缝的常见因素是路基沉降，当路基填料压实度不足或地质条件差，在车辆长期荷载下就会发生不均匀沉降，拉裂路面形成横向裂缝。温度收缩是寒冷地区路面横向裂缝的重要因素之一，在气温骤降下沥青面层收缩，收缩应力超出沥青混合料抗拉强度，就会产生横向裂缝。而基层反射裂缝也可能引起此类病害，基层裂缝在车辆荷载及环境因素作用下，向上反射到沥青面层。纵向裂缝一般与路基不均匀沉降有关，例如路基一侧受

水侵蚀强度下降，在车辆荷载作用下产生沉降差异。施工接缝处理不当也是一个诱因，例如接缝处压实度不足、粘结不紧密等，在车辆反复碾压下就容易开裂。网状裂缝主要由于基层强度不足，无法承受车辆荷载，基层破坏反射到面层所致。沥青老化导致粘结性下降，混合料抗裂性能也会变差，容易形成裂缝。



图1 公路沥青路面横向裂缝病害

（二）变形类病害

车辙是公路沥青路面常见的变形病害，通常与高温稳定性不足有关。在高温环境下，沥青粘度下降变得柔软，沥青混合料抗变形能力就会随之降低。在车辆反复碾压下，路面就可能产生永久变形，进而形成车辙。基层压实度不足也是一个重要原因，由于承载能力减弱，在车辆荷载长期作用下，基层会发生变形，并传递至面层，进而引起车辙出现。此外，重载交通的频繁作用也会加大对路面的压力，使路面材料更容易产生塑性变形，进而加快车辙的形成与发展。波浪与拥包病害一般源于沥青混合料级配不合理，混合料密实度及稳定性不足，在车辆荷载作用下容易产生不均匀变形^[2]。此外，基层滑动也会引起此类病害，当基层和面层之间的粘结力不足，出现相对滑动时，面层在车辆荷载的推挤作用下就会形成波浪及拥包的病害。

(三) 松散类病害

坑槽的形成与多方面因素有关,例如水损害,当水渗入沥青路面内部,在车辆荷载反复作用下就会产生动水压力,不断冲刷沥青与集料之间的粘结面,使沥青膜逐渐剥落,集料失去粘结而松散,最终形成坑槽。如果基层强度不足或出现损坏,无法为面层提供稳定的支撑,在车辆荷载作用下,面层会因基层的变形而破裂,进而发展为坑槽。另外,施工材料离析会造成沥青混合料中粗细集料分布不均,局部粗集料过多,沥青含量不足,粘结力就会下降,在车辆碾压和自然环境作用下就容易出现松散并形成坑槽。脱皮松散主要是因为粘层油不足,使得面层和基层或各面层之间粘结不牢固,在车辆荷载与温度变化下层间出现滑移,造成脱皮松散。如果抗剥落性能较差,集料与沥青粘附性不足,在水的侵蚀下,沥青就容易从集料表面剥落,形成路面松散。



图2 公路沥青路面脱皮松散病害

(四) 其他病害

泛油现象一般与沥青用量和孔隙率有关。在沥青混合料配比设计或施工中,如果沥青用量过多超出合理范畴,在高温环境下过量的沥青就会受热变软并向上泛出,形成泛油病害。同时孔隙率过小也是一个重要因素,当路面孔隙率低于设计标准,沥青混合料内部空气含量少,在车辆荷载反复作用下,沥青无法有效被集料吸收稳定,多余的沥青就会逐渐上浮到路面表层形成泛油。磨光病害主要和集料性质及抗滑表层状况密切相关。如果选用的集料耐磨性不足,在车辆轮胎长期摩擦作用下,集料表面会逐渐被磨平,失去原有的粗糙度,进而使路面抗滑性能下降,出现磨光现象。此外,抗滑表层如果因使用时间过长或施工质量不佳等因素失效,无法为路面提供足够的摩擦力,也会导致路面在车辆行驶中被逐渐磨光,影响行车安全。

三、公路沥青路面养护技术体系

(一) 预防性养护技术

在预防性养护中,可采用雾封层技术,利用高压喷洒设备将乳化沥青、还原剂或含砂型复合材料等专用养护及均匀喷洒到路面,形成0.5-2mm薄膜。施工前彻底

清扫路面,清除积水或松散颗粒,如裂缝宽度>3mm要预先灌缝。含砂雾封层添加了碳化硅或铁钢砂,粒径0.3-0.6mm,能提高抗滑性,增大摩擦系数。施工时注意温度>10℃,风速<5m/s,材料养生期做好避雨。还可采用微表处技术,利用专用摊铺机将聚合物改性乳化沥青、粒径4.75-9.5mm矿料、填料、添加剂按比例拌和后摊铺,形成8-10mm磨耗层。施工前要修补裂缝并铣刨拥包,如车辙深度>15mm要预先填补。摊铺温度10-30℃,摊铺速度1.5-3.0km/h,采用6-10t轮胎压路机静压2次。此两项技术能大大提升公路沥青路面的抗损耗能力,有效预防各类病害发生。

(二) 日常养护技术

在日常养护中要及时进行裂缝灌缝,针对宽度3-25mm的纵向和横向裂缝,采用开槽灌缝工艺^[3]。先用专用开槽机沿裂缝切割6-10mm宽、10-30mm深的V形槽,清除碎屑后用热喷枪烘烤干燥。然后将180-200℃改性沥青或橡胶沥青灌密封胶通过压力灌缝机均匀注入槽内,高度略高于路面1-2mm形成密封层。材料冷却至常温后撒布细砂覆盖表面,以免车辆粘附。还可实施坑槽热补,针对0.1-2m²的坑槽,采用热拌沥青混合料局部修补。先划定修补范围,切割成规则矩形,深度到基层顶面,清除虚土和松散料后喷洒透层油。然后分层填筑热拌沥青混合料,每层厚度<6cm,压实到96%以上密实度。在应急修补或低温环境下可采用冷补技术,使用预拌冷补沥青混合料,清理坑槽后分层填筑,每层压实厚度<5cm,用小型振动夯或铁夯反复夯实至无松散。

(三) 智能化养护技术

引入无人机巡检技术,使用搭载高分辨率相机和多光谱传感器的无人机,按预设航线对路面进行低空巡航。采集影像数据后通过AI图像识别算法自动提取裂缝、车辙等病害特征。系统能识别0.5mm宽裂缝和2mm深车辙,集合GPS定位生成病害分布热力图,自动生成养护优先级清单。采用3D路面扫描技术,利用激光雷达或结构光扫描仪,以50km/h车速采集路面三维点云数据,构建分辨率1mm的高精度数字模型。借助算法分析平整度、构造深度、横坡坡度,自动标记沉陷、波浪等变形区域。应用物联网传感器,在路面内部埋设应变计、温度传感器、光纤光栅传感器等,实时监测结构层应力、温度、湿度变化。利用5G无线传输将数据传输至云平台,结合机器学习模型预测病害发展趋势。当传感器监测到参数变化超出预设范围,系统自动触发警报,提醒养护人员及时处置。

四、公路沥青路面病害修复施工技术

(一) 裂缝修复技术

6mm以下细裂缝采用灌缝+填缝的修复技术,先清除裂缝中的杂物,清理缝壁露出新鲜集料,再用专用灌缝枪将乳化沥青粘结料注入裂缝,深度达到基层顶面。

乳化沥青破乳后填入砂砾式沥青混合料并分层夯实,每层不超过3cm,表面撒布3-5mm预拌碎石增强抗滑性。6mm及以上宽裂缝采用开槽+清缝+填充的标准化修复技术,切割V形槽,槽壁倾斜度1:0.5。冲洗槽内浮尘后用烘烤设备干燥,分层填筑热拌沥青混合料,每层压实厚度不超过6cm,用10t双钢轮压路机静压3次,终压温度不低于110℃。反射裂缝采用应力吸收+结构补强的双控修复技术,铺筑2cm厚应力层,再用自粘式玻纤格栅满铺在裂缝两侧各1m范围,搭接宽度>20cm。最后摊铺4cm厚改性沥青磨耗层,使用胶轮压路机揉压,使格栅与结构层粘结密实。

(二) 车辙修复技术

15mm以下轻度车辙可采用表层铣刨+薄层重铺的修复技术,先用铣刨机去除车辙区域3-5cm沥青面层,宽度超出车辙边缘20-30cm。清扫基层后喷洒改性乳化沥青粘层油,随后摊铺细粒式沥青混合料,摊铺温度165-175℃。初压使用8t双钢轮压路机静压2次,复压使用12t胶轮压路机揉压4次,终压使用双钢轮压路机消除轮迹,终压温度不低于110℃。15mm及以上重度车辙可采取基层加固+全断面重建的修复技术,先对车辙路段进行地质雷达检测,定位基层松散区域后用高压水泥浆注浆加固,压力1.5-2.0MPa。强度达标后,全断面铣刨4-6cm面层和部分基层。重新铺筑时,基层采用C20水泥稳定碎石,面层分两层摊铺,下层用中粒式混合料,上层用改性沥青混合料,每层碾压都需要达到98%以上压实度^[4]。

(三) 坑槽修复技术

在坑槽修复中,以坑槽边缘为基准向外扩展20-30cm,切割成规则矩形,深度到达基层顶面。清理干净槽内碎屑后,喷洒改性乳化沥青粘层油,破乳后分层填筑热拌沥青混合料,每层厚度不超过5cm,压实到96%以上密实度。每层压实后检测平整度,误差低于±3mm。针对土壤坑槽可先清理松散集料,用冷补沥青混合料临时填充至高出路面2-3cm,压实至无松散。施工后20分钟即可开放交通,但需在72小时内再用热拌混合料永久修复。还可采用红外线加热板对坑槽及周边10-15cm范围路面加热至160-180℃,使旧沥青软化后耙松至5cm深,掺入5-10%新沥青混合料拌和均匀,再用振动夯分层压实。此项创新工艺能使旧料100%再生利用,修复后接缝平整度误差不超过2mm,强度能够恢复至原路面90%以上。

(四) 松散脱皮修复技术

对于面积<0.5m²的表层松散,可采取封层+集料嵌固的修复技术。先用高压水枪彻底清除松散颗粒和浮尘,待表面干燥之后,涂刷高稠度改性沥青作为粘结层,涂刷范围需要超过病害边缘的10-15cm。然后撒布预裹覆集料,用量控制在1.8-2.2kg/m²,用胶轮压路

机静压2次,使集料嵌入粘结层,形成抗剥落密封层。对于面积≥0.5m²的深度脱皮,可采取铣刨重建的修复技术。用铣刨机分层去除脱皮层至稳定结构层,清扫基层后喷洒橡胶沥青粘层油,随后摊铺改性沥青混合料。采取钢轮+胶轮组合的碾压工艺,初压用10t双钢轮压路机紧跟摊铺机静压2次,复压用16t胶轮压路机揉压4次,终压用双钢轮压路机消除轮迹,终压温度不低于100℃。修复后,接缝处平整度误差可控制在1.5mm以内,抗滑值也显著提升。

(五) 泛油修复技术

表层油膜厚度低于2mm的轻度泛油可采取撒布碎石+碾压嵌固的工艺修复,先清除路面浮尘,保证基层干燥清洁,随后均匀撒布3-5mm路径的预拌碎石,撒布量在1.5-2.0kg/m²,覆盖范围超过泛油区边缘20-30cm。撒布后使用6-8t轻型钢轮压路机,以2-3km/h低速静压2-3次,使随时嵌入油膜形成抗滑表层。施工温度应在20-35℃间,雨天或湿度>85%时禁止作业。如果是油膜厚度≥2mm,有明显车辙变形的重度泛油,应采用铣刨重铺的方案修复^[5]。先用铣刨机去除泛油层及软弱层,检测剩余结构层强度,如果基层松散需要同步注浆加固。重铺时调整混合料油石比,采用玄武岩混合料,摊铺温度在165-175℃。最后用8t双轮压路机紧跟摊铺机静压2次,用12t胶轮压路机揉压4次,用双钢轮压路机消除轮迹。

结语

公路沥青路面养护和病害修复是保障道路服务功能,延长使用寿命的重要内容。采用预防性养护可延缓病害发生,日常养护能及时处置早期损伤,智能化养护有利于提升决策精度,形成全周期管理体系。针对裂缝、车辙、坑槽、松散脱皮、泛油等典型的路面病害,要按照损伤程度选择适配的修复技术。未来需要进一步融合新材料及智能装备,推动养护及修复施工向绿色化、精细化的方向发展。

参考文献

- [1] 马国雄. 高速公路沥青路面改扩建及病害分析与处治[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(3): 57-59.
- [2] 海拉提·阿布都外力. 公路沥青路面的常见病害及养护技术分析[J]. 工程机械与维修, 2022, 15(4): 225-226.
- [3] 杨杰. 高速公路沥青路面典型病害及预防性养护技术分析[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(2): 76-78.
- [4] 董志华. 干线公路沥青混凝土路面修复性养护方案研究[J]. 工程机械与维修, 2024, 16(5): 46-48.
- [5] 黄广, 肖政. 探讨公路沥青路面病害及养护施工技术[J]. 市场调查信息: 综合版, 2022, 12(1): 107-109.