

公路沥青路面早期破损的成因及修复技术研究

王 晨

和田开元建筑安装工程有限责任公司 新疆 昆玉 848116

【摘要】：公路沥青路面行车舒适、维修费用低、施工方便等，目前已成为我国公路建设的重要组成部分。但是，由于交通流量的激增及恶劣气候的频繁发生，路面的开裂和坑槽等病害的出现，不仅影响了公路的使用寿命，增加了养护费用，也降低了车辆的行驶安全和舒适度。因此，需要采取有效的修复技术。本文阐述了公路沥青路面早期破损的成因，并对其修复技术的应用进行了探讨。

【关键词】：沥青路面；早期破损；成因分析；修复技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.076

沥青路面早期破损的原因涉及各个方面，不仅与路面形成以前的设计、施工等诸因素有关，还与路面形成以后的养护管理，以及自然条件、地形地理、气候等相关。形成以后的沥青路面，需要及时养护，发现问题及时处理，及早解决。公路沥青路面早期破损，不仅会带来重大的经济损失，而且会导致大量的资源和环境污染。为此，分析公路沥青路面早期破损的成因，探讨其早期修复技术具有重要意义。

1 公路沥青路面早期破损的成因

1.1 材料因素

沥青是一种粘结剂，在公路建设中，为了降低造价，而采用的沥青偏软。随着夏季气温的升高，其粘结力和内聚力显著降低，使得其具有较低的混合料抗剪切流动力，容易产生车辙和拥包现象。反之，如在冬天低温时，应用偏硬的沥青，由于其延展性较低，导致其应力松弛力较差，不能较好地满足路面的温度变化，导致其出现裂缝。常规公路沥青因其性能窗口狭窄，很难同时满足高、低温要求，在重型车辆及恶劣天气条件下，除非通过 SBS、SBR 改性等聚合物改性沥青，否则路面出现早期损坏是无法避免的。集料是混合料的骨架，其物理力学性能是决定其强度的关键因素^[1]。

1.2 结构设计因素

理想公路路面应是“上强下稳”的结构，每层的弹性系数由高到低依次减小，从而达到平滑的应力分布。但实际工程中常会发生模量“倒挂”现象，如将高模量沥青路面铺于软弱地基上，造成路面下部产生大的弯拉应力，从而加快了疲劳裂缝的发展。水半刚性基层具有较高的强度和承载力，但由于自身

的收缩等原因，在路面上会出现许多规则裂缝，从而引起路面的开裂。然而，采用柔性基层虽然可以有效抑制沥青路面的反射开裂，但是由于结构不合理，其刚性不足，容易引起路面的沉陷。防水排水设计不当是造成水破坏的结构原因。

1.3 施工质量控制因素

在拌和车间，如存在进料不稳定、温度加热波动大、搅拌时间短等问题，容易造成温度和物料的分离及一些集料包裹不均匀的情况。由于温度不均匀，在高温部位容易发生老化，而在较低部位不易密实。当交通工具隔热层未完全遮盖时，行车时车顶及周围路面的沥青路面温度迅速降低，路面出现明显的温差，导致路面压实不均，易出现空隙，从而造成路面渗水及病害的发生。摊铺机在摊铺过程中，若摊铺机螺旋送料机转速不均匀，将导致摊铺机粗细集料分布不均。压实作为沥青混凝土结构的关键环节，初始压力较小，导致沥青混凝土的流动性较差，不易达到高效密实；再压力或终压力的降低，都不能有效地解决空心缺陷问题^[2]。

1.4 环境和负荷因素

气候条件是长期的侵蚀因素。沥青属于典型的温敏性材料；在夏季连续的高温，会使路面上的沥青发生明显的软化，使路面的强度弹性明显降低，并且在重负荷的行驶过程中产生塑性变形。在寒冷的冬季，会导致沥青材料的脆性，在有限的收缩范围内形成拉伸应力，一旦超出材料的最大抗拉强度，就会出现温度收缩裂缝。多年的温差会导致沥青长期处于疲劳状态，从而加快沥青的老化及微裂缝的形成和发展。雨水和融雪水沿裂缝等渗漏进入公路构造中，水对沥青混凝土路面的粘结性能有很大影响。

2 公路沥青路面早期破损的修复技术应用

2.1 预防性养护修复技术

2.1.1 微表处技术

微表处技术是公路沥青面预养的关键技术，微乳化沥青面层的推广需要依靠系统的工艺来进行修补和改善。在施工之前，需要对原有路面进行一次全方位的检查，确定路面的平整度及轻微的裂缝等病害的存在情况，然后对工程现场进行大范围的清扫，将表面的灰尘和油污全部清除干净，对于一些比较严重的松散部位，则要先进行铣削，以保证原有路面的稳定性。按照路面的使用环境及原有路面的性质等因素，决定所需要的材料的配合比。在专门的拌和装置中，加入高分子改性乳化沥青、填料、水及外加剂掺入专门的拌和装置中，直到得到质地较好的稀浆液。在搅拌时，需要对搅拌的时间和速度进行适当调节，以保证混合料的流动性。摊铺由专用的微表处摊铺机以恒定的速率前进，通过调节松铺厚度和松铺速率，保证摊铺层的平整度、宽度和路幅适配，并留出足够的接缝处理余地^[3]。

比如，以河南省 G107 公路 K450-K455 路段为例，经检测，其结构厚度降低到 0.42mm，抗滑摆（BPN）为 48，有 32 条/公里的 5m 横向裂缝，局部疏松区域占 2.3%，平整度指标 IRI 达到 2.1m/km，满足微表处技术应用条件。在施工之前，利用激光平整度仪和裂缝宽度仪对整个路段进行全面检查，对 3 个暴露较大的路基表面进行 5cm 的铣削，然后用高压吹风机将公路上的尘土和杂物清理干净，然后使用乳化沥青清洗剂进行清理。按照年平均气温 36℃，日均交通量为 12000 台，配合比按年平均温度 36℃ 计算，配合比详见图 1。在施工过程中，将原料按照比例放入 XM1000 稀浆拌和机中，在 1200r/min 的速度下进行 45 秒的搅拌，得到了稀浆液，其塌落度测定结果为 22mm。使用维特根 S1500 型摊铺机，以 1.8m/分钟的车速进行摊铺，每层的摊铺厚度为 4mm，每层 12m 的路面，每层的接缝按 5cm 的重叠宽度进行铺设。在使用过程中，对周围的空气温度进行了 28~32℃，相对湿度 45%~55%。在结束对公路进行 6 个小时的封闭后，经检测，结构厚度提高到 0.85mm，抗滑能力达到 62，平整度降低到 1.0m/km，轻度开裂达到 100%，疏松地段修补后达到 98.2%。

2.1.2 裂缝密封技术

裂缝密封技术是公路沥青路面预维修与修补的关键环节，在施工中必须严格按照标准程序进行封缝，才能保证封缝效果和耐久性。在施工之前，需要对公路裂缝及其周围地区进行彻底的检查，确定裂缝的种类、深度和扩展面积，并将裂缝内外的杂物、松散颗粒和积水清除干净，如有需要，可以通过高压水和压缩气体的方法，保证裂缝的干净和干燥。然后，按缝隙宽度选取合适的封严材料，对于细小的缝隙，则需要使用乳化

沥青或者特殊的底涂层进行预先处理，以提高封严与墙体之间的粘附力。在施工过程中，通过专门的填缝装置，向缝隙中均匀地灌注达到预定的温度，保证填料在缝隙中完全充填，并与缝隙壁紧密结合，防止出现气泡和空洞，对大缝隙采取分段灌注的方法，保证充填密实。浇筑完毕后，要立即用专门的工具对裂缝面上的封严材料进行修整^[4]。

例如，中国北部地区某条公路采用压缝处理的施工工艺，并通过试验验证压缝处理的效果和控制效果。采用水泥固化沥青路面，在运营三年后产生大量 8~15m 的纵向裂缝，平均宽度为 5mm。根据《公路沥青路面养护技术规范》（JTG5142—2019）的要求，选择高性能的胶粉改性胶粉，采用高性能橡胶沥青密封胶。在进行工程前期检测时，发现在这些裂缝中存在一定数量的老化碎屑和灰尘，这些粉尘的平均作用深度是 42mm。在清洗过程中，使用 180℃ 及更高温度的高压喷枪，保证缝隙内的干净。在施工过程中，先将胶粘剂升温到 192℃ 建议的浇注温度，然后采用自推进式灌缝设备，以行走 0.5km/h 的速度均匀进行嵌缝，注入压力保持在 0.3-0.5MPa 范围内，以保证物料能完全填满裂隙，并与裂隙底部产生较好的结合（如表 1）。

表 1 橡胶沥青密封胶性能指标和应用效果

性能指标	技术要求（规范）	本工程采用材料实测值	测试方法
锥入度（0.1mm）	50-90	72	ASTMD5329
弹性恢复率（25° C, %）	≥60	85	ASTMD5329
低温拉伸（-20° C）	无裂	合格（延伸率>15%）	ASTMD5329
粘结强度（MPa）	≥0.8	1.2	拉拔试验
软化点（° C）	≥80	95	ASTMD36

2.2 局部破损修复技术

2.2.1 冷再生修复技术

冷再生修复技术是重要的公路沥青面层损伤修补方法，其实施是通过老路面进行再加工，从而达到对损伤部位进行重构，全过程需要严格按照相关标准进行。在施工前，需要精确地划分出部分破损的范围和基层的完整状态，然后根据破损情况和设计的再生层厚度，对划定的范围进行铣削或者粉碎，根据破损的情况和设计的再生层的厚度决定，并且要对这些旧材

料进行统一堆积,并将里面的大块的杂质和金属等杂质进行清理。根据老料的特性检测,确定原料的配合比,将再生剂、水泥或石灰等活性填料,按照一定的比例加入老料中,并加入一定量的水,通过专门的冷再生拌和装置将其充分拌和,保证混合料的均匀性,并将水分保持在优化的范围内^[5]。

例如,某条公路 K12+350 至 K12+500 路段的沥青路面发生局部网裂、松散等损伤,破坏范围 1800 平方 m,经过检验,原有路面沥青面层厚度 4cm,基层为 20cm 水泥稳定碎石,基层局部存在强度不足问题,采用冷再生修复技术进行处理。根据现场筛分结果,采用地雷达定位破坏区域,确定铣刨深度设定为 24cm,铣刨后得到 43.2t 的废旧材料,经过筛分检验,其颗粒级配为 0~5mm 的 32%,5~10mm 的占 28%,10~20mm 的占 30%,20~30mm 的占 10%,含泥量为 3.5%。在检测结果的基础上,根据试验数据,对原沥青的掺量分别为 85%、10% 的新集料(10~20mm)、3% 的水泥(P.O42.5)、2% 的再生剂(膨胀剂),最佳含水率为 14.5%。为了保证混合的均匀性,应用 CLG500 型冷再生机,拌和深度以 24cm 为宜,以 0.8m/分 的速度进行现场搅拌。在搅拌结束后,用 PY180 平地机进行摊铺,其摊铺系数为 1.25,然后用 YZC12 型压路机进行两次静压、振动碾压四次,最后,经两次静压收光,其压实度达到 98.2%。

2.2.2 热补修复技术

热补修复技术是利用新老沥青在受热条件下,实现新老沥青的高效结合,从而达到重建公路结构的连续性和总体强度的目的,提高修补区的耐久性。在施工之前,需要利用专门的仪器对病害区域进行定位,然后通过冷铣刨等机械把不规则的部分清理干净,直到露出坚实稳定的基层。基坑的外形要尽量整齐,一般是长方形或者圆形,基坑的墙壁应是竖直的或者倒梯

形,底部要平整,不要有松散物和积水。对于坑槽底面和四壁进行全面的清洗,使用高压空气吹扫或者钢丝刷进行清扫,保证不留有灰尘等,形成干净、干作业面。为了保证新老物质之间的良好结合,需要在干净的接触面上均匀地喷射一层粘层油,一般为快裂型乳化沥青,并对其加入量进行严格的调控,使其能被完全地覆盖。

比如,在京港澳高速公路某路段上,由于水损害和重负荷车辆需要进行深坑修复。该处坑槽为不规则椭圆形,厚度约 8cm,已经贯穿上层,损伤至中层。根据 JTGF40-2004《公路沥青路面施工技术规范》及其相关的设计要求,对其进行较为严密的技术控制。在工程实践中,先利用液压镐开挖其受损区域,到稳定地基,并在坑壁垂直的基础上,对底部与侧壁实施高压空气的钢丝刷清理。然后,喷洒 SBS 改性乳化沥青作为粘层油。用量不超过 0.4kg/m²。选择符合原有公路等级的 AC-16SBS 改性沥青混合料,出厂温度为 180℃,运到工地后不低于 165℃。在摊铺完成后,按照“前静压边缘,后振动碾压”的方式,用 1.5t 的小型双轮振动碾压,压实 4 次,压实温度不得少于 155℃;复压时,以轮碾方式进行 6 次,最后压实温度不得小于 90℃^[6]。

3 结论

总之,我国沥青混凝土路面的早期损伤存在路段和时间分布特点。在设计时结构承载能力不足与排水设计存在不足是早期破损的主要原因。采用微表处和封缝等预处理方法可以有效地延迟病害的发展,节约成本,提高效率;采用裂缝密封等修复技术,可以迅速地对裂缝进行修补,从根本上改善沥青路面的损坏状况,并具有良好的耐久性。

参考文献:

- [1] 王庆文.公路沥青路面病害分析及养护方案设计[J].交通世界,2025,(24):32-34.
- [2] 宋兴龙,李连志.黑龙江高速公路沥青路面质量通病调查与养护措施[J].黑龙江交通科技,2025,48(08):11-15+19.
- [3] 聂晓.干线公路沥青路面破损机理和季节性养护技术研究[J].工程机械与维修,2025,(07):35-37.
- [4] 张治强,郭朝阳,辛灵,等.内蒙古地区高速公路沥青路面预防养护决策体系研究[J].内蒙古公路与运输,2025,(02):31-33+43.
- [5] 邹缙,蒋煜.高速公路沥青路面技术状况检测数据的有效应用分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(02):7-11.
- [6] 麦麦提·吾普尔.公路沥青路面养护与病害修复施工技术研究[J].工程机械与维修,2025,(02):103-105.