

# 提升高速公路路面耐久性的结构优化分析

梁海明

广东省路桥建设发展有限公司广韶分公司 广东清远 511600

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15683

**[摘要]** 高速公路作为现代交通的关键脉络,其路面耐久性直接关乎交通服务品质与运营成本。在重载交通激增与极端气候频发的双重压力下,传统路面结构弊端渐显。本文深度挖掘影响路面耐久性的核心要素,从结构层优化组合、精准厚度设计、高效排水系统构建等方面探寻突破路径,结合新型材料特性与科学施工管理,提出全方位结构优化方案,旨在为高速公路路面长效服役、降本增效提供切实可行的理论与实践指引。

**[关键词]** 高速公路;路面耐久性;结构优化;材料选择;施工管理

## 引言

在国家交通强国战略的持续推进下,高速公路网络不断加密,成为支撑经济快速发展的交通动脉。路面作为直接接触车辆荷载与自然环境的结构,其耐久性不仅决定着行车的舒适性与安全性,还对高速公路的全寿命周期成本有着重要影响。近年来,随着交通流量持续攀升、车辆载重不断增加,以及暴雨、高温、冻融等极端天气频繁出现,高速公路路面病害问题日益突出。因此,深入研究路面结构优化方法,提升路面耐久性,对保障交通顺畅、推动交通基础设施高质量发展意义重大。

## 一、高速公路路面耐久性现状与问题

### 1.1 路面常见病害类型及危害

高速公路路面常见病害类型多样,主要包括裂缝、车辙、坑槽、沉陷等。裂缝是最为普遍的病害,可分为横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝,其产生会导致路面结构强度下降,水分渗入后进一步加剧路基损坏。车辙多出现于行车道,是车辆反复碾压致使路面材料变形积累的结果,不仅影响行车舒适性,还可能引发车辆打滑、跑偏等安全隐患。坑槽则是路面局部破损形成的凹陷,会对车辆轮胎、悬挂系统造成损害,同时降低道路通行效率。沉陷通常由路基不均匀沉降引起,使路面出现局部凹陷,严重时可导致车辆颠簸甚至失控。

### 1.2 现有路面结构耐久性不足的表现

现有路面结构在耐久性方面存在诸多不足。部分路面结构层组合不合理,如基层与面层材料性能不匹配,导致应力传递不畅,易引发路面开裂。路面厚度设计往往基于经验公式,未能充分考虑实际交通荷载与地质条件,在重载交通路

段,路面厚度不足使得结构层过早疲劳损坏。此外,排水系统设计不完善也是常见问题,路面内部积水无法及时排出,在车辆荷载作用下产生动水压力,加速路面结构破坏。

### 1.3 耐久性问题对交通运营的影响

路面耐久性问题给交通运营带来了严重负面影响。频繁出现的路面病害会降低行车舒适性,增加车辆颠簸与振动,影响乘客体验,同时加剧车辆零部件磨损,增加维修成本。病害导致的路面平整度下降,会使车辆行驶阻力增大,增加燃油消耗,造成能源浪费。当路面病害严重时,需要采取封闭施工等养护措施,这会导致交通拥堵,降低道路通行能力,影响物流运输效率,给社会经济活动带来不便。

## 二、影响高速公路路面耐久性的关键因素

### 2.1 交通荷载因素的作用机制

交通荷载是影响高速公路路面耐久性的关键因素之一。随着经济发展,货运车辆数量与载重不断增加,车辆轴重远超设计标准的情况屡见不鲜。重载车辆对路面产生的垂直压力和水平推力,会使路面结构层承受过大应力,导致材料疲劳损伤。车辆行驶过程中的动态荷载,如紧急制动、加速等产生的冲击力,会进一步加剧路面结构的破坏。此外,交通流量的持续增长意味着路面承受荷载的次数增多,疲劳破坏累积速度加快。

### 2.2 自然环境因素的侵蚀影响

自然环境因素对高速公路路面耐久性有着长期且复杂的侵蚀作用。温度变化是重要影响因素,高温会使沥青路面软化,在车辆荷载作用下易产生车辙和拥包;低温则会导致路面材料收缩,产生裂缝。季节性的冻融循环对北方地区路面

危害极大,水分在路面结构层中结冰膨胀,融化后体积收缩,反复作用使路面材料结构松散,出现坑槽、翻浆等病害。降雨和地下水会使路面结构层处于潮湿状态,降低材料的粘结力和强度,尤其是在水和车辆荷载共同作用下,会产生动水压力,冲刷路面基层和路基,导致路面沉陷。

### 2.3 路面材料与施工质量的制约

路面材料质量和施工质量直接制约着路面的耐久性。在材料方面,沥青的高温稳定性、低温抗裂性以及与集料的粘附性,水泥混凝土的强度、抗渗性等性能指标,都对路面耐久性有重要影响。若材料质量不达标,如集料含泥量过高、沥青针入度不符合要求,会降低路面结构的整体性能。施工过程中的质量问题同样不容忽视,基层压实度不足会导致路面承载能力下降,易出现沉陷;面层摊铺不均匀会造成路面平整度差,加速路面损坏。此外,施工工艺不当,如接缝处理不规范、排水设施施工质量差等,都会为路面病害埋下隐患。

## 三、高速公路路面结构优化的主要方向

### 3.1 路面结构层组合优化设计

路面结构层组合优化设计是提升路面耐久性的重要途径。应根据道路等级、交通荷载、地质条件等因素,合理选择各结构层材料和厚度。在面层设计中,可采用多层复合结构,上层选用抗滑耐磨、抗车辙性能好的材料,以应对车辆荷载和磨耗;下层采用柔韧性好、抗疲劳性能强的材料,增强面层整体抗裂能力。基层是路面结构的承重层,应选择强度高、稳定性好的材料,如水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定土等,并合理确定基层厚度,确保其能够有效传递和扩散车辆荷载。底基层可采用级配碎石等材料,起到排水和隔离作用。

### 3.2 路面厚度与强度参数的合理确定

合理确定路面厚度与强度参数是保障路面耐久性的关键。传统的路面厚度设计方法往往基于经验公式和标准轴载,难以适应复杂多变的实际交通情况。应借助先进的力学分析方法和计算机模拟技术,建立更符合实际的路面结构力学模型,综合考虑交通荷载、材料特性、地质条件等因素,精确计算路面各结构层所需的厚度和强度。对于重载交通路段,适当增加路面厚度,提高结构层的承载能力,以减少疲劳损坏。同时,要根据不同区域的自然环境特点,调整路面强度

参数,如在温度变化大的地区,提高路面材料的抗冻、抗温缩性能;在多雨地区,增强路面的排水和抗冲刷能力。

### 3.3 排水系统与防护结构的完善

完善排水系统与防护结构对提升路面耐久性至关重要。排水系统应包括路面表面排水、路面内部排水和路基排水。在路面表面,合理设置路拱横坡和排水边沟,确保雨水迅速排离路面,减少雨水在路面停留时间。路面内部排水可通过设置排水基层、排水垫层等方式,及时排除渗入路面结构层的水分,防止动水压力对路面结构的破坏。对于地下水位较高的路段,应采取设置渗沟、盲沟等措施降低地下水位,保护路基稳定。防护结构方面,在路面边缘设置路缘石和拦水带,防止雨水冲刷路面边缘;对易受紫外线、酸雨侵蚀的路面,可采用表面封层、涂覆防护涂料等措施,延缓路面材料老化。此外,加强对桥梁、隧道等构造物与路面衔接处的排水和防护设计,避免因排水不畅和结构差异导致路面病害,通过完善排水系统与防护结构,为路面提供良好的使用环境,延长路面使用寿命。

## 四、提升路面耐久性的材料选择与应用

### 4.1 高性能沥青混合料的性能优势

高性能沥青混合料在提升路面耐久性方面具有显著优势。改性沥青通过添加橡胶、塑料等改性剂,可大幅改善沥青的高温稳定性、低温抗裂性和抗老化性能。例如,SBS改性沥青能有效提高沥青混合料的高温抗车辙能力,在夏季高温时减少路面变形;橡胶改性沥青则具有良好的低温柔韧性和抗疲劳性能,可降低路面低温开裂风险。此外,高性能沥青混合料还注重集料的级配优化,采用间断级配或骨架密实型级配,使集料形成嵌挤结构,提高混合料的内摩阻力和抗变形能力。

### 4.2 新型水泥混凝土材料的创新发展

新型水泥混凝土材料的创新发展为提升路面耐久性提供了新的途径。纤维增强混凝土通过在普通混凝土中掺入钢纤维、聚丙烯纤维等,能够显著提高混凝土的抗裂性能、韧性和抗疲劳性能。纤维的加入可有效阻止裂缝的产生和扩展,增强混凝土结构的整体性。自密实混凝土具有良好的流动性和填充性,无需振捣即可在模板内自行流动并填充密实,避免了因振捣不密实导致的混凝土缺陷,提高了混凝土的强度和耐久性。

#### 4.3 路面功能层材料的优化配置

路面功能层材料的优化配置对提升路面耐久性有着重要作用。应力吸收层材料可有效吸收和分散路面结构层间的应力,减少反射裂缝的产生。常用的应力吸收层材料有橡胶沥青应力吸收层、土工合成材料应力吸收层等,它们具有良好的柔韧性和抗疲劳性能,能够适应路面结构的变形。防水粘结层材料能够增强路面结构层间的粘结力,同时起到防水作用,防止水分渗入结构层内部。例如,采用橡胶沥青防水粘结层,可在路面各结构层之间形成连续的防水膜,阻止水分侵入,提高路面结构的水稳定性。此外,抗滑层材料对于保障行车安全和延长路面使用寿命至关重要。通过选择耐磨性好、抗滑性能优良的集料和结合料,如玄武岩集料、高粘度改性沥青等,制作抗滑层,可提高路面的抗滑性能,减少车辆轮胎对路面的磨损,从而提升路面耐久性。

### 五、保障路面结构优化效果的实施措施

#### 5.1 强化材料质量管控与性能适配

材料作为路面结构的物质基础,其质量与性能直接决定优化效果的持久性。在原材料采购环节,需建立严格的供应商准入制度,对集料、沥青、水泥等关键材料进行多轮检测,包括集料的压碎值、磨耗率、棱角性,沥青的针入度、软化点、延度等指标,确保材料符合设计标准。同时,针对不同区域气候、交通荷载特点,开展材料性能适配性研究。例如,在高温地区采用高粘度改性沥青增强抗车辙能力,在冻融频繁区域选用抗冻性优异的集料与水泥,从源头上提升路面结构耐久性。此外,建立材料质量追溯体系,对每批次进场材料进行编号登记,留存检测报告与样品,实现质量问题的快速溯源与责任认定,杜绝劣质材料流入施工环节。

#### 5.2 规范施工工艺与过程监管

科学规范的施工工艺是路面结构优化设计得以精准落地的关键。施工前,需组织技术交底会议,向施工人员详细讲解优化后的路面结构设计方案、施工流程与质量控制要点,确保施工操作与设计要求高度契合。在摊铺环节,严格控制摊铺温度、速度与厚度,采用梯队作业方式保证摊铺连续性和平整度;压实过程中,依据不同结构层特性选择合适的压路机类型、碾压遍数与速度,遵循“先轻后重、先慢后快、由边向中”的原则,避免出现压实不均、推移等问题。同时,引入信息化监管手段,通过物联网设备实时采集摊铺温度、

压实度等关键数据,结合 BIM 技术进行施工模拟与进度管控,对施工过程中的偏差及时预警并纠偏,确保每道工序均符合设计规范,为路面结构长期稳定运行奠定坚实基础。

#### 5.3 构建多方协同与长效保障机制

为保障路面结构优化效果的持续性,需构建多方协同参与的管理体系。建立由建设单位、施工单位、科研机构、养护部门组成的联合工作小组,定期召开联席会议,共享路面结构运行数据、施工养护经验与技术难题,促进多方协同合作。例如,科研机构可基于实际数据开展优化方案的二次研究,为养护部门提供技术支撑,施工单位则根据建议改进施工工艺。同时,制定科学的应急预案,针对极端天气、突发交通荷载激增等情况,提前规划应急处置流程。如遇暴雨天气可能引发的路面水损害,提前储备应急抢修材料与设备,明确各部门职责分工,确保在灾害发生时能迅速响应,减少对路面结构的破坏。

### 六、结论

高速公路路面耐久性提升是融合结构优化、材料创新与科学管理的系统工程。当前重载交通与极端气候加剧路面病害,传统结构在层间组合、厚度设计及排水功能上的不足亟待改进。研究表明,通过优化结构层组合、精准厚度计算、完善排水系统,结合高性能沥青混合料、纤维混凝土等新材料应用,可显著增强路面抗疲劳、抗水损与抗变形能力。同时,强化材料管控、规范施工工艺及构建多方协同机制,能保障优化措施落地见效。未来需持续推进智能化监测与预防性养护,实现路面全寿命周期性能优化,为交通基础设施高质量发展提供持久支撑。

#### [参考文献]

- [1] 韩建文. 高速公路混凝土路面耐久性研究与应用[J]. 水泥, 2025, (04): 87-89.
- [2] 薛春元. 高速公路沥青路面在高寒气候条件下的耐久性研究[J]. 工程机械与维修, 2024, (10): 82-84.
- [3] 赵静. 高速公路路面检测评价与病害处理措施[J]. 交通世界, 2022, (18): 127-129.
- [4] 李青芳, 王淑妹. 建筑材料对高速公路沥青路面耐久性影响的试验研究[J]. 公路工程, 2017, 42 (03): 205-209.
- [5] 门雪峰. 高速公路橡胶颗粒复合改性沥青路面耐久性试验研究[J]. 北方建筑, 2024, 9 (06): 41-46.